



Technische  
Universität  
Braunschweig

**ISU**

Institut für Siedlungswasserwirtschaft



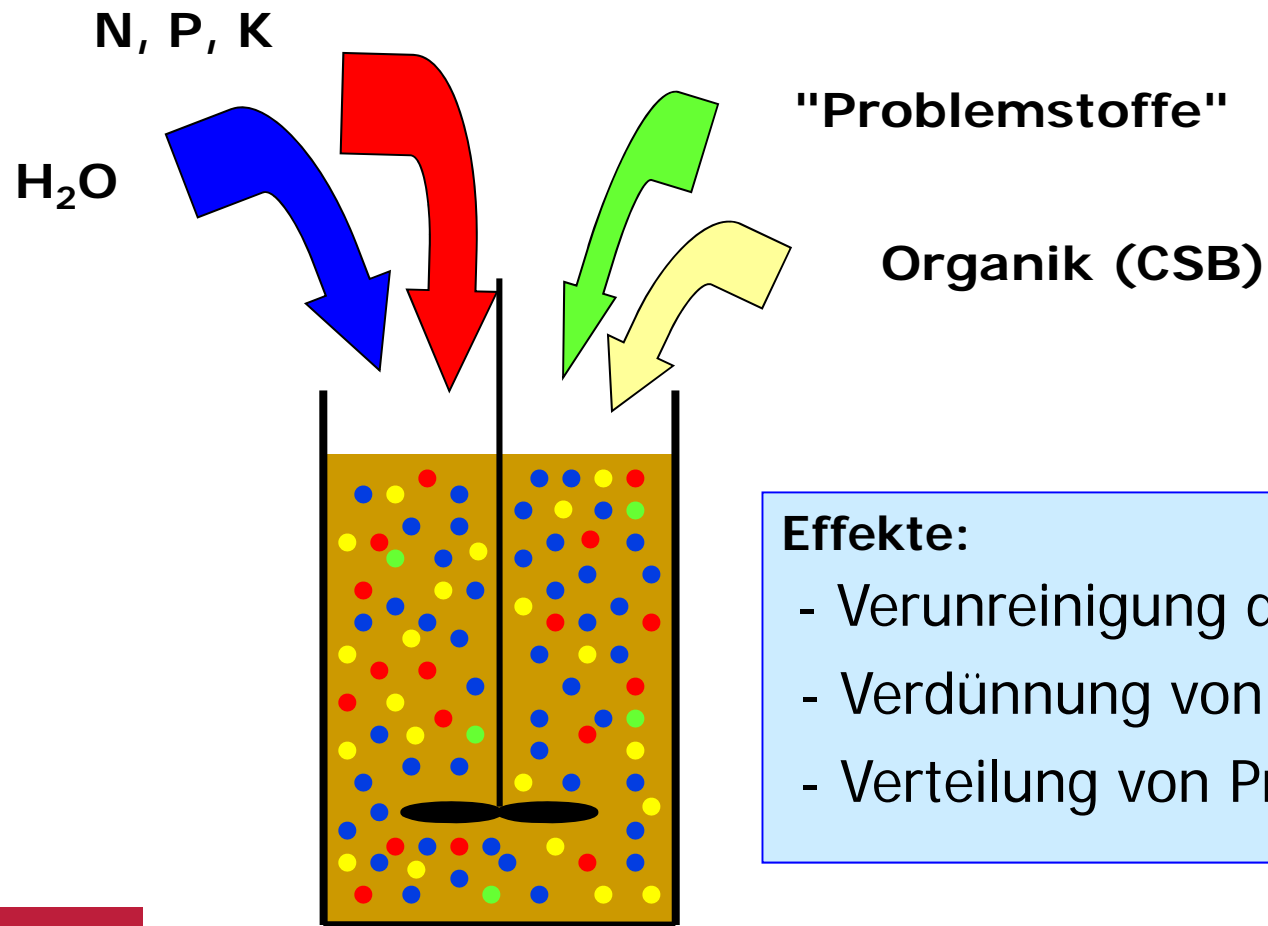
## **Klärschlamm als Nährstoff- und Biomasseträger**

**72. Symposium des ANS e.V., 5. - 6. Oktober 2011, Berlin**

**Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Dockhorn**

**Prof. Dr.-Ing. Norbert Dichtl**

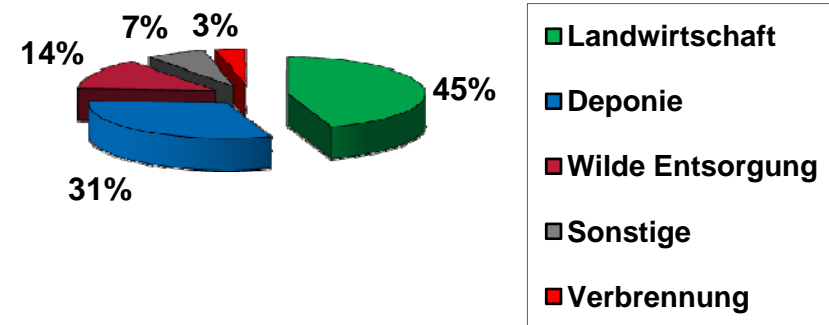
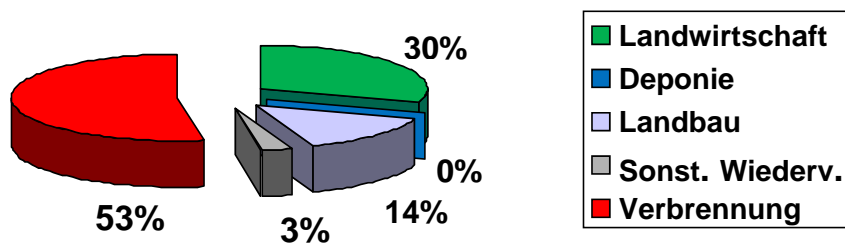
# Abwasser als Gemisch von Ressourcen



# Klärschlammanfall

In Deutschland: 2 Mio. t TS  
(Stat. Bundesamt, 2010)

In China: 9 Mio. t TS  
(Wang et al., 2007)

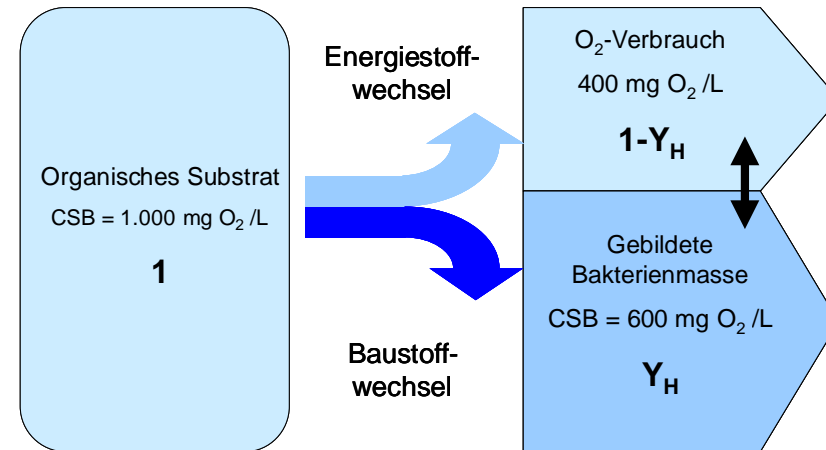


→ Theoretisch 38 Mio. t TS/a für 1.3 Mrd EW

# Abwasserreinigung und Schlammproduktion

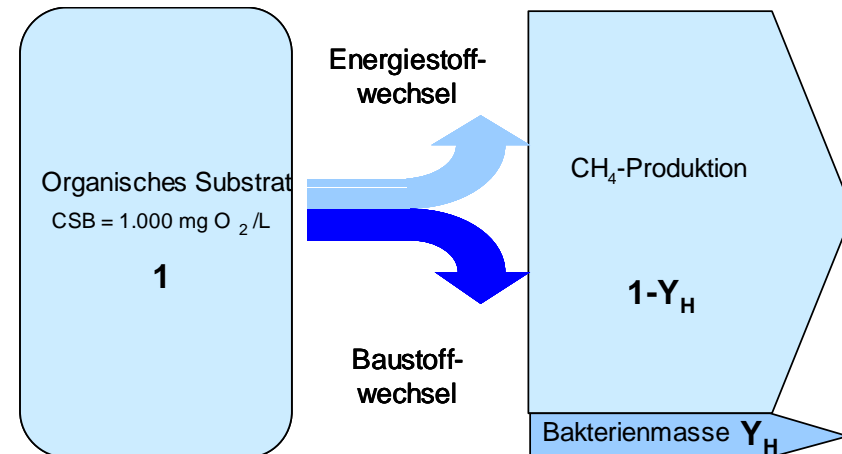
## Aerobe Abwasserbehandlung:

- Hohe Biomasseproduktion
- Hoher Energiebedarf

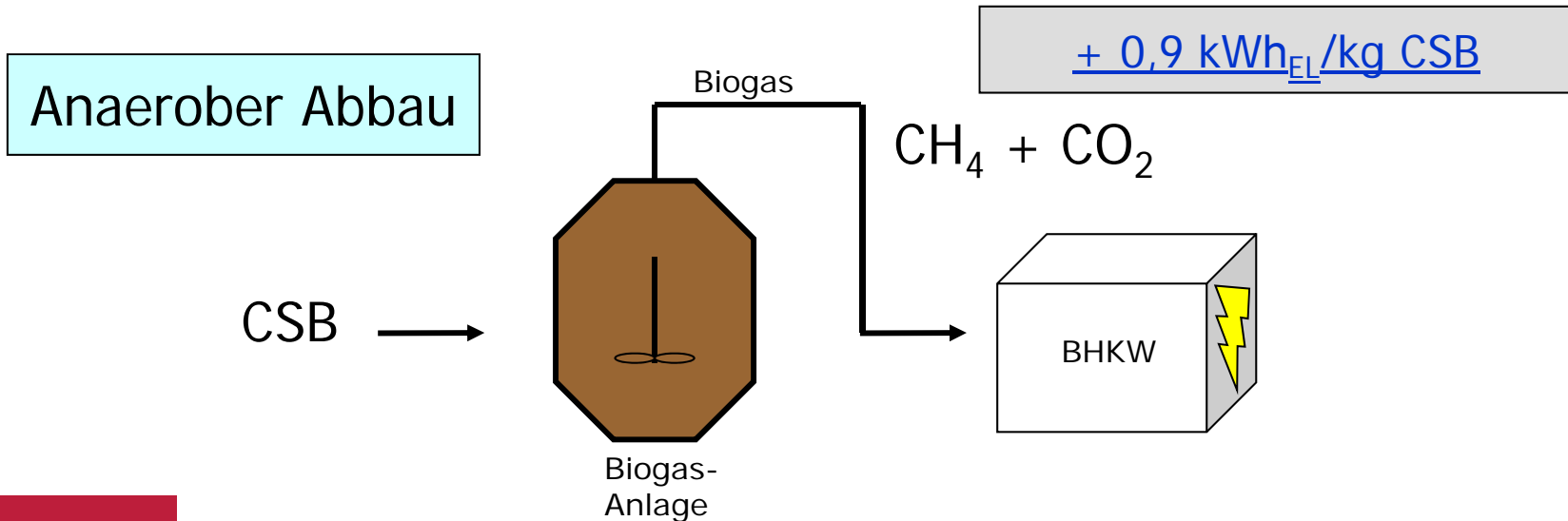
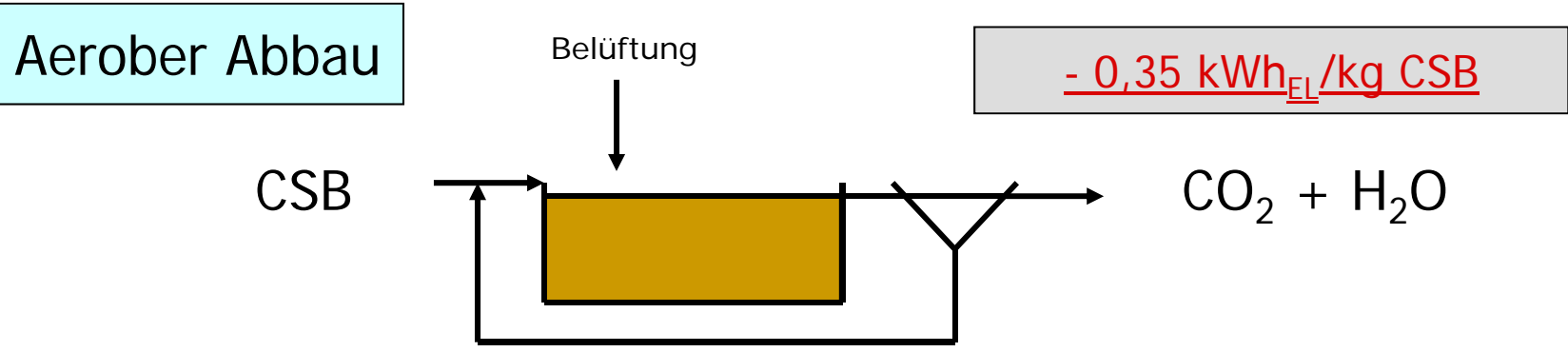


## Anaerobe Abwasserbehandlung:

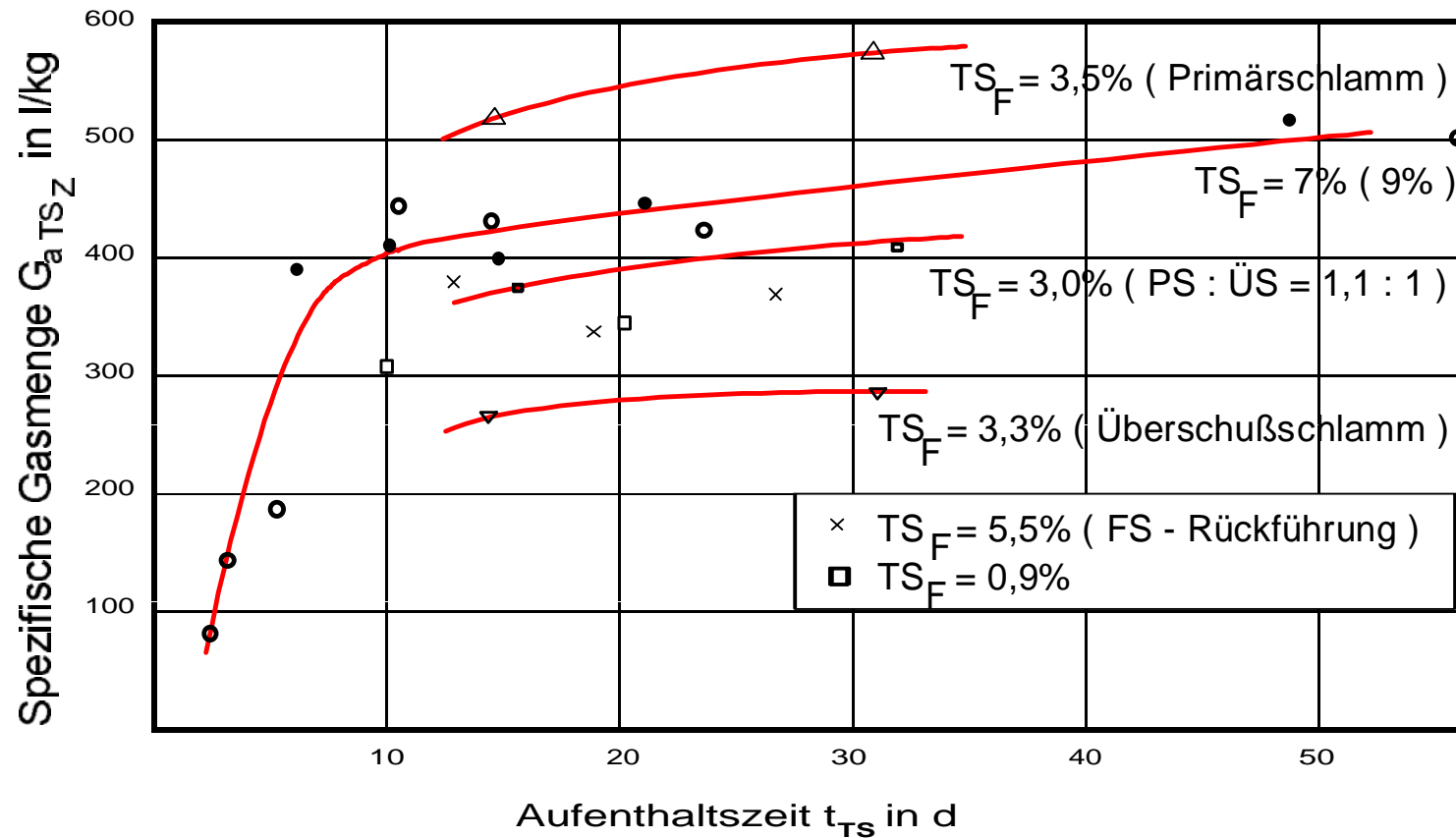
- 90% Energiestoffwechsel
- 10% Baustoffwechsel



# Organische Verbindungen (CSB) als Ressource



# Gasproduktion unterschiedlicher Schlämme



Spezifische Gasproduktion in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit

(Kapp, 1984)

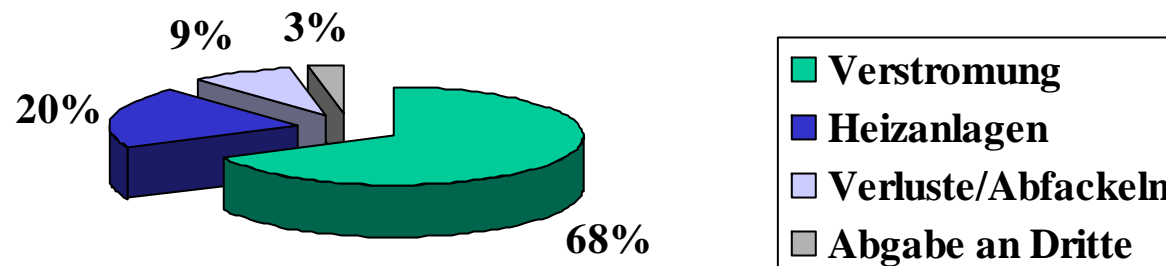
# Faulgasausbeute unterschiedlicher Substrate

Substrat	Gasproduktion [NL/kg oTR <sub>zu</sub> ]	CH <sub>4</sub> Gehalt
Primärschlamm	500-600	60-65%
Überschussschlamm	200-300	60-65%
PS + ÜS	400-500	60-65%
Kohlenhydrate	890	50%
Eiweiße	590	84%
Fette*	1.540	70%

(\*1 kg Fett = 10 kWh Primärenergie)

# Gasverwertung auf Kläranlagen

## Verwendung des Faulgases auf Kläranlagen in Deutschland



(Haberker et al., 2004)

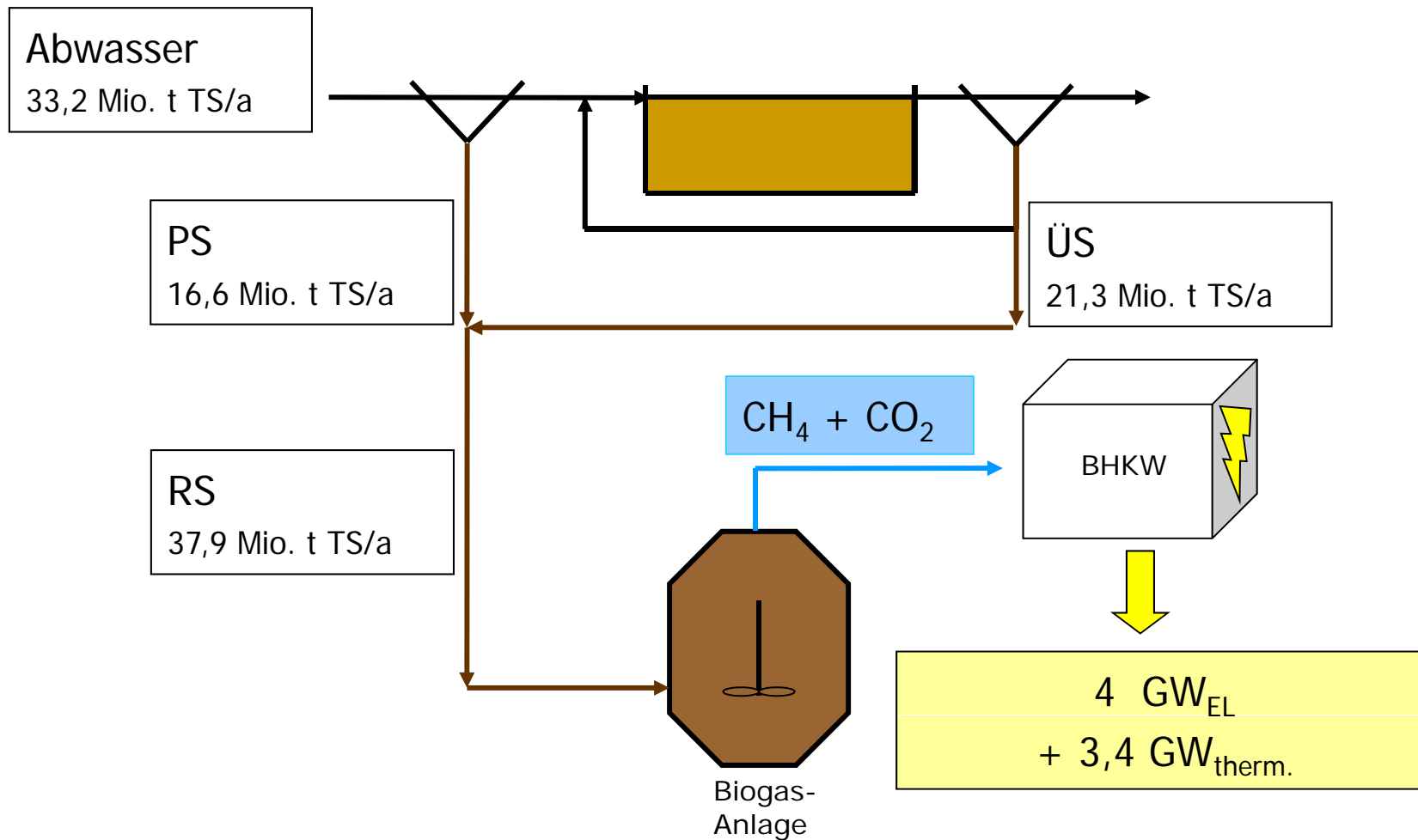
### Verstromung im BHKW:

Aus 100% Primärenergie werden:

- 30-40% Strom und
- 60-70% Wärme (hiervon sind ca. 56% nutzbar)

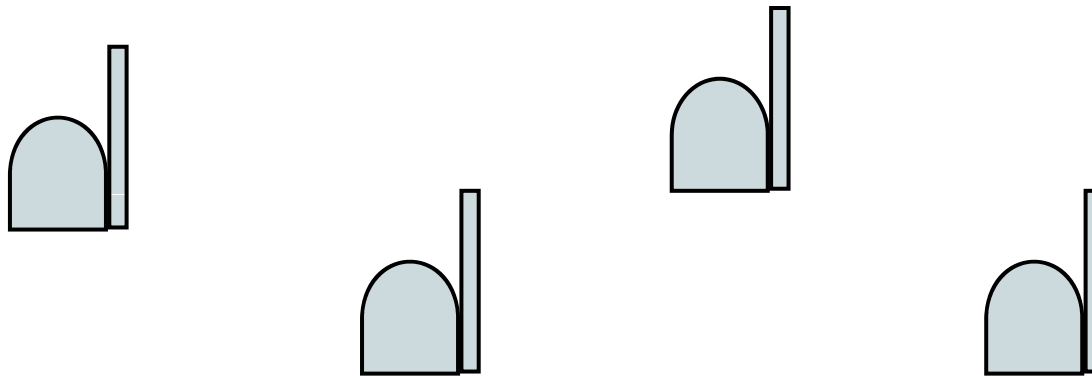


# Schlamm-Massenbilanz für China und Energiepotential

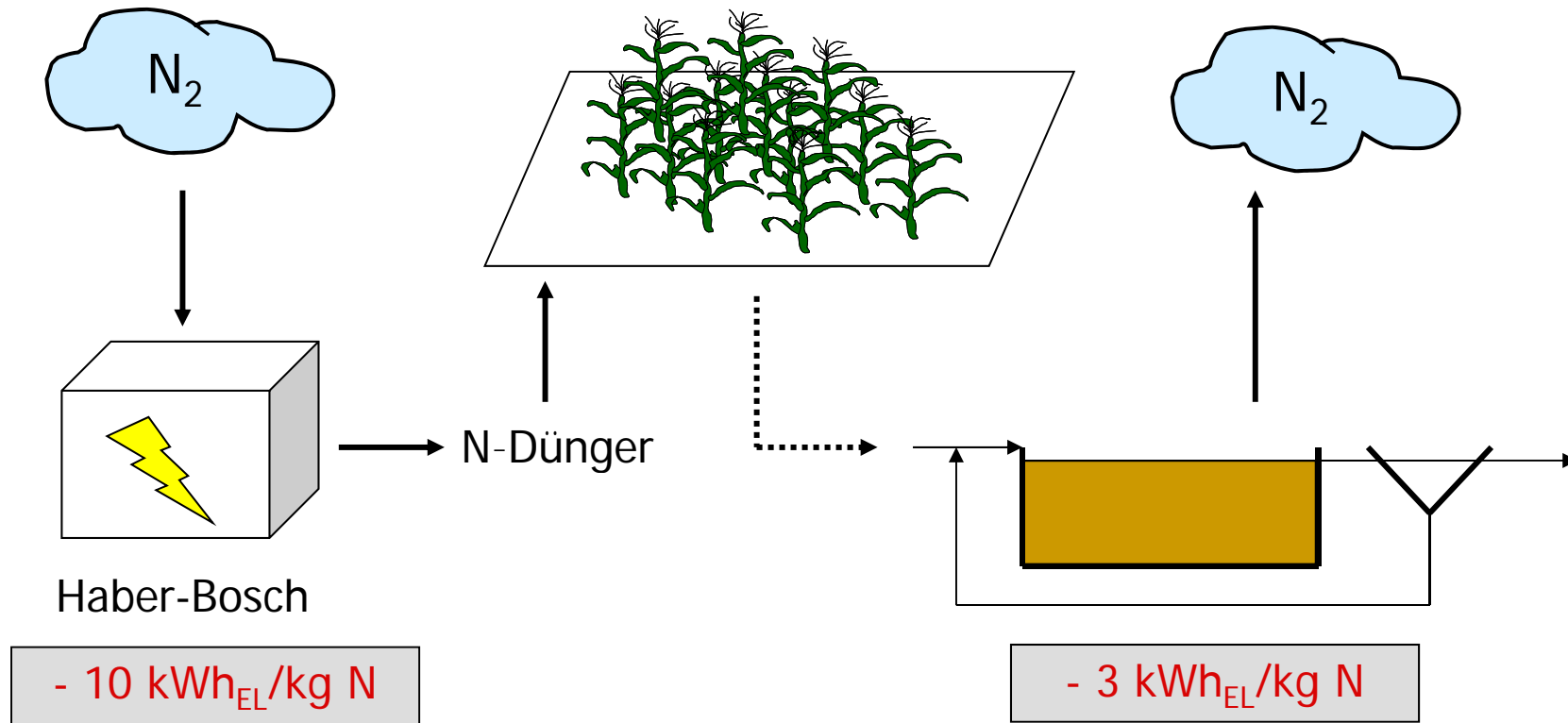


# Schlamm-Massenbilanz für China und Energiepotential

4 GW = 4 große AKW



# Die Ressource Stickstoff (N) - Energiebilanz von Erzeugung und Elimination

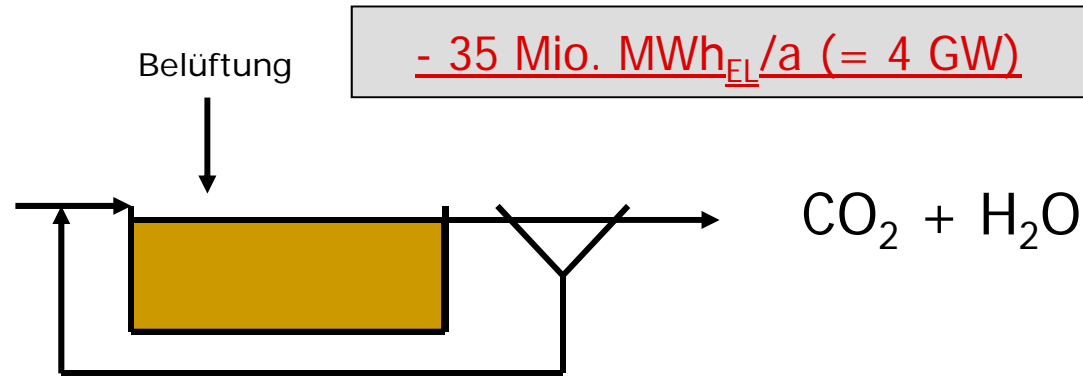


$$\Sigma = -13 \text{ kWh}_{\text{EL}}/\text{kg N} \text{ bzw. } -40 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{kg N}$$

# Energieverbrauch der Abwasserreinigung vs. Energieproduktion aus Abwasser für China (1,3 Mrd. EW)

## Aerober Abbau

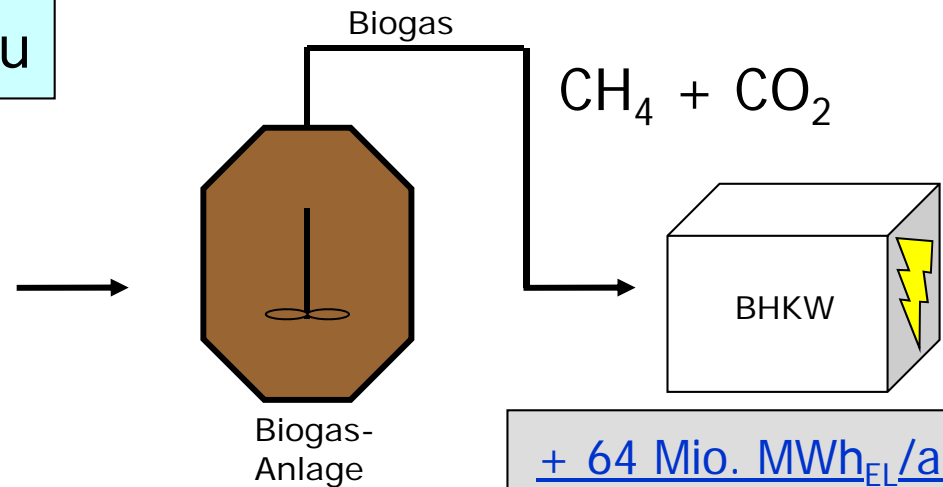
57 Mio. t CSB/a  
+ 5.2 Mio. t N/a



- 35 Mio. MWh<sub>EL</sub>/a (= 4 GW)

## Anaerober Abbau

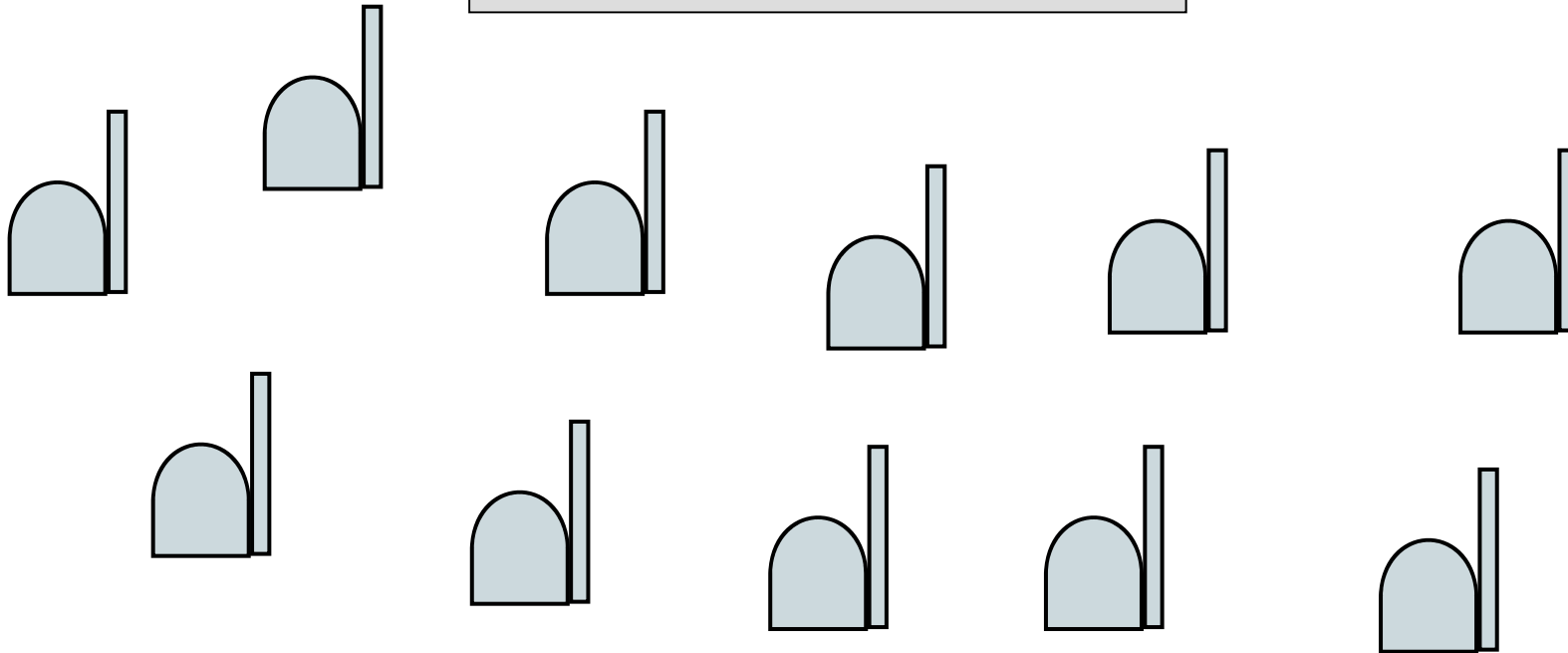
57 Mio. t CSB/a



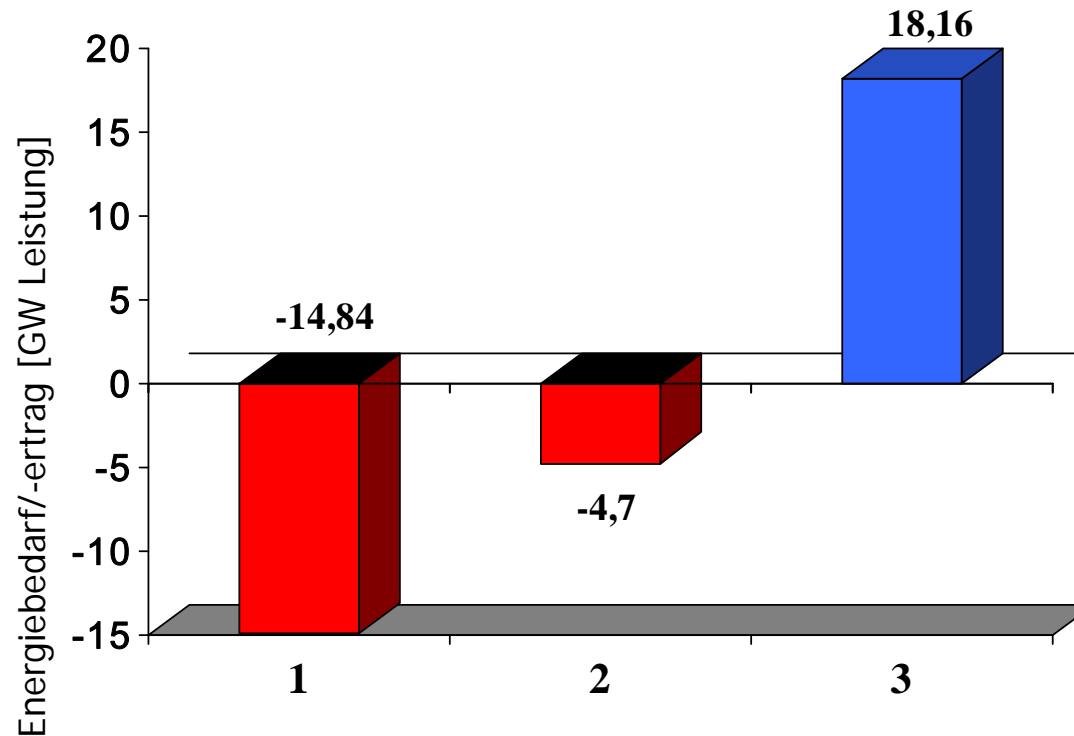
+ 64 Mio. MWh<sub>EL</sub>/a (= 7,3 GW)

# Energieverbrauch der Abwasserreinigung vs. Energieproduktion aus Abwasser für China (1,3 Mrd. EW)

$$\begin{aligned} 4 + 7,3 \text{ GW} &= 11,3 \text{ GW} \\ &= \underline{11 \text{ große AKW}} \end{aligned}$$



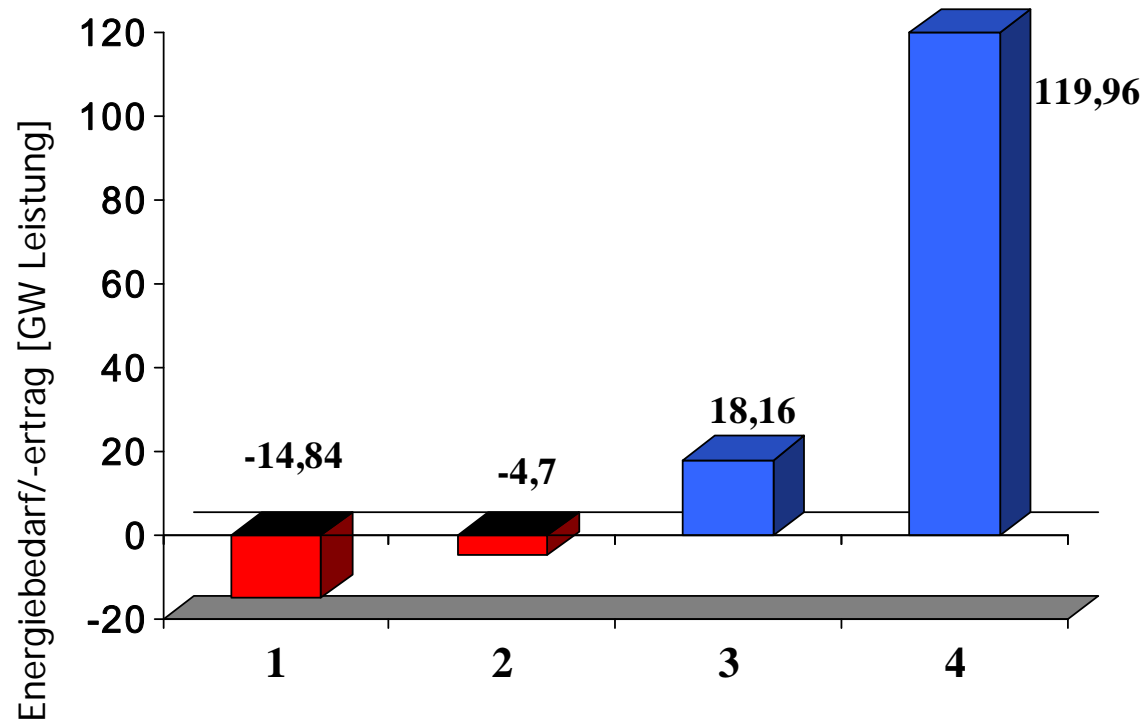
# Primärenergiebedarf/-ertrag unterschiedlicher Szenarien (für 1,3 Mrd. EW)



- 1 Abwasserreinigung (AR) (32 kWh/EW\*a)
- 2 ARA und Faulung
- 3 Stoffstromseparation und anaerobe AR



# Primärenergiebedarf/-ertrag unterschiedlicher Szenarien (für 1,3 Mrd. EW)

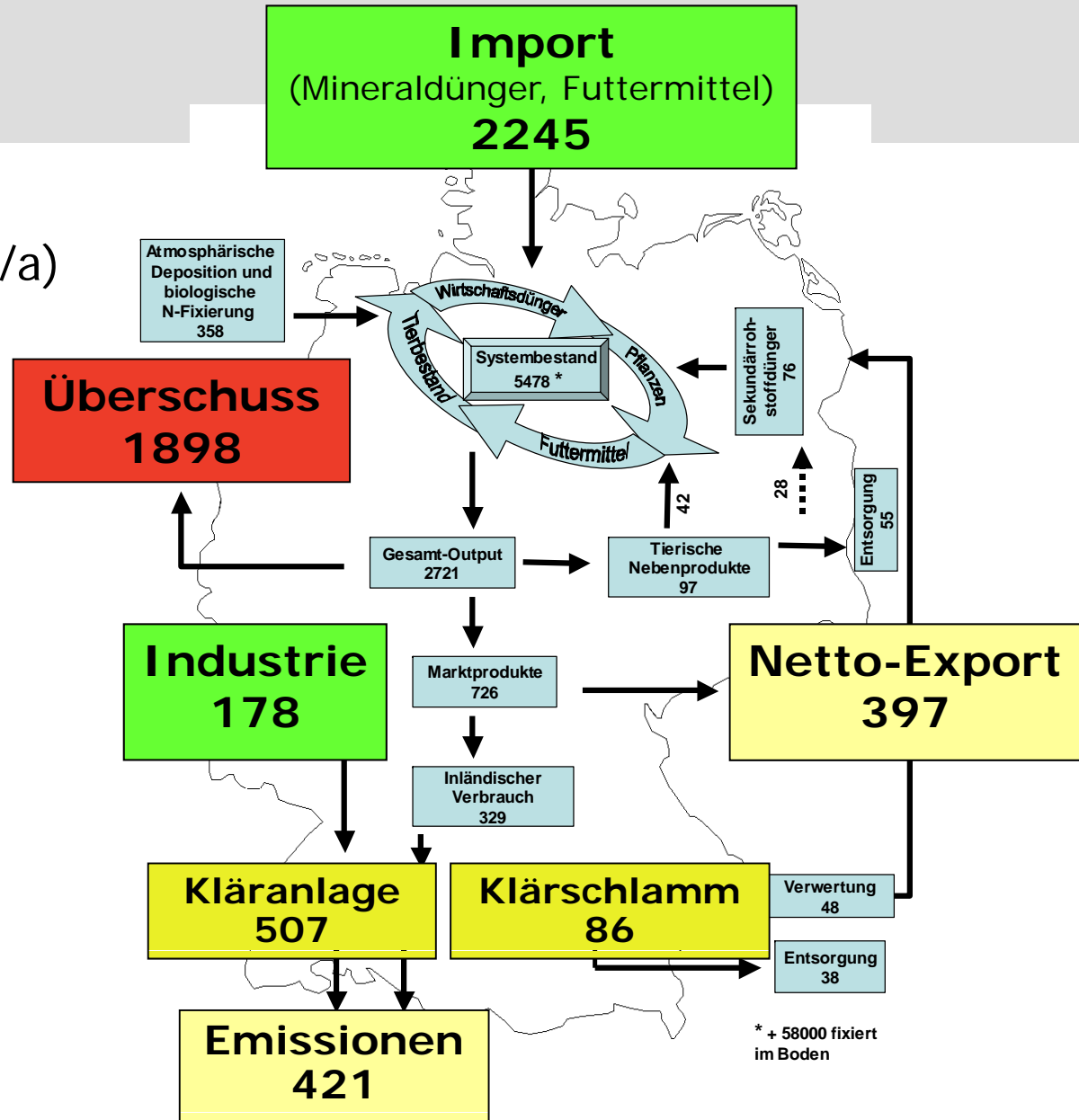


- 1 Abwasserreinigung (ARA)
- 2 ARA und Faulung
- 3 Stoffstromseparation und anaerobe ARA
- 4 Produktion Nachwachsender Rohstoffe

# N-Bilanz für Deutschland

(Alle Angaben in 1.000 t N/a)

→ Systeminput ≈ Systemverlust



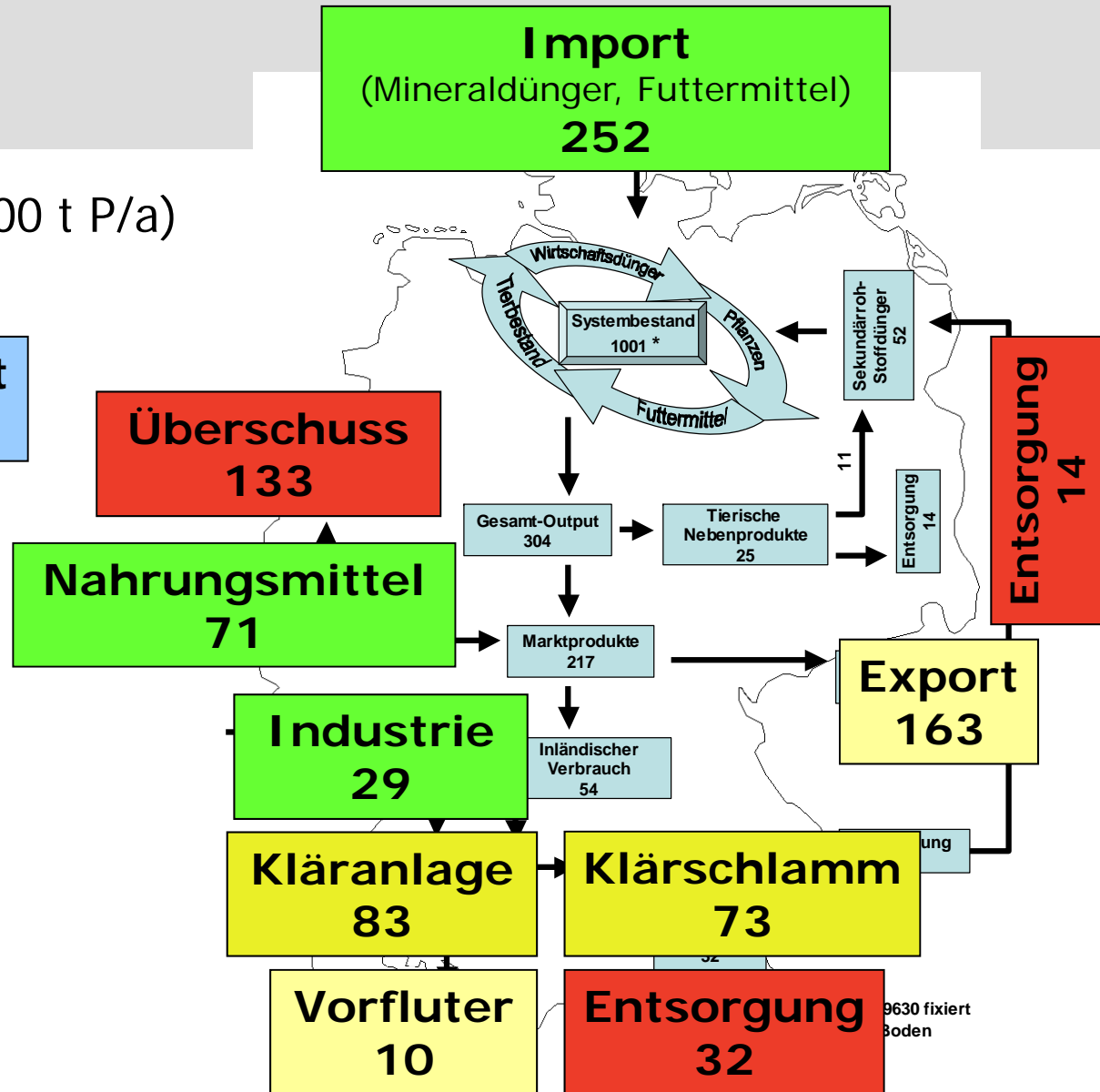
\* + 58000 fixiert im Boden



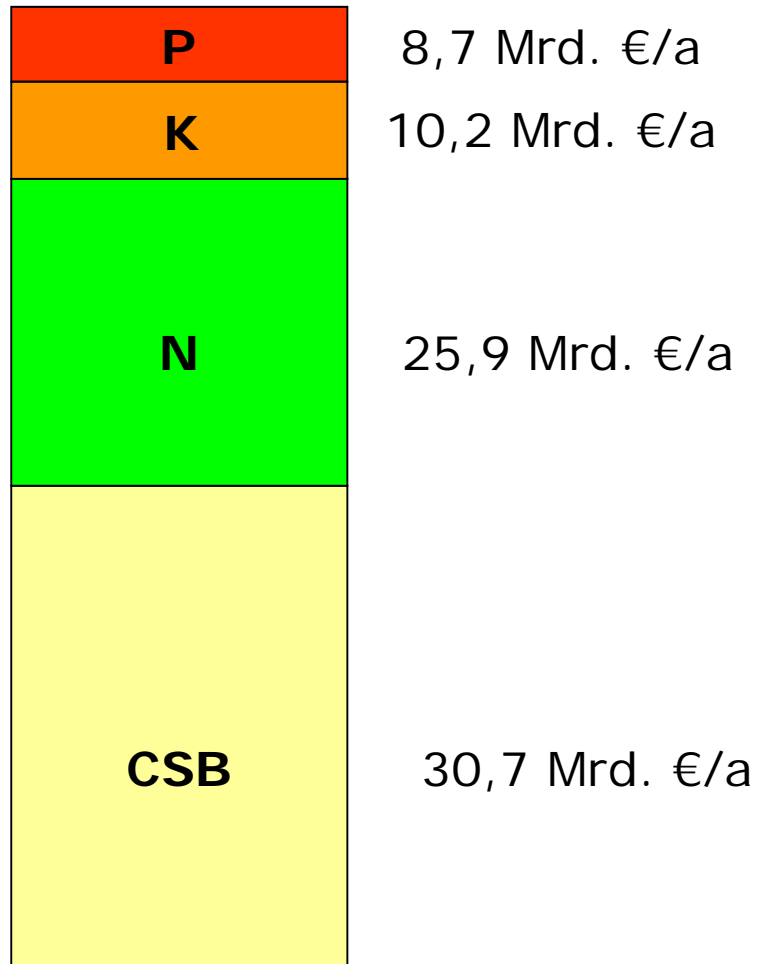
# P-Pilanz für Deutschland

(Alle Angaben in 1.000 t P/a)

→ Netto-Import 179



# Marktwert der Ressource Abwasser (für 6,6 Mrd. Menschen) (Basis: Marktpreise 07/2011)



**$\Sigma = 75,5$  Mrd. €/a**



# Klärschlamm als (ökonomisch relevante) Ressource

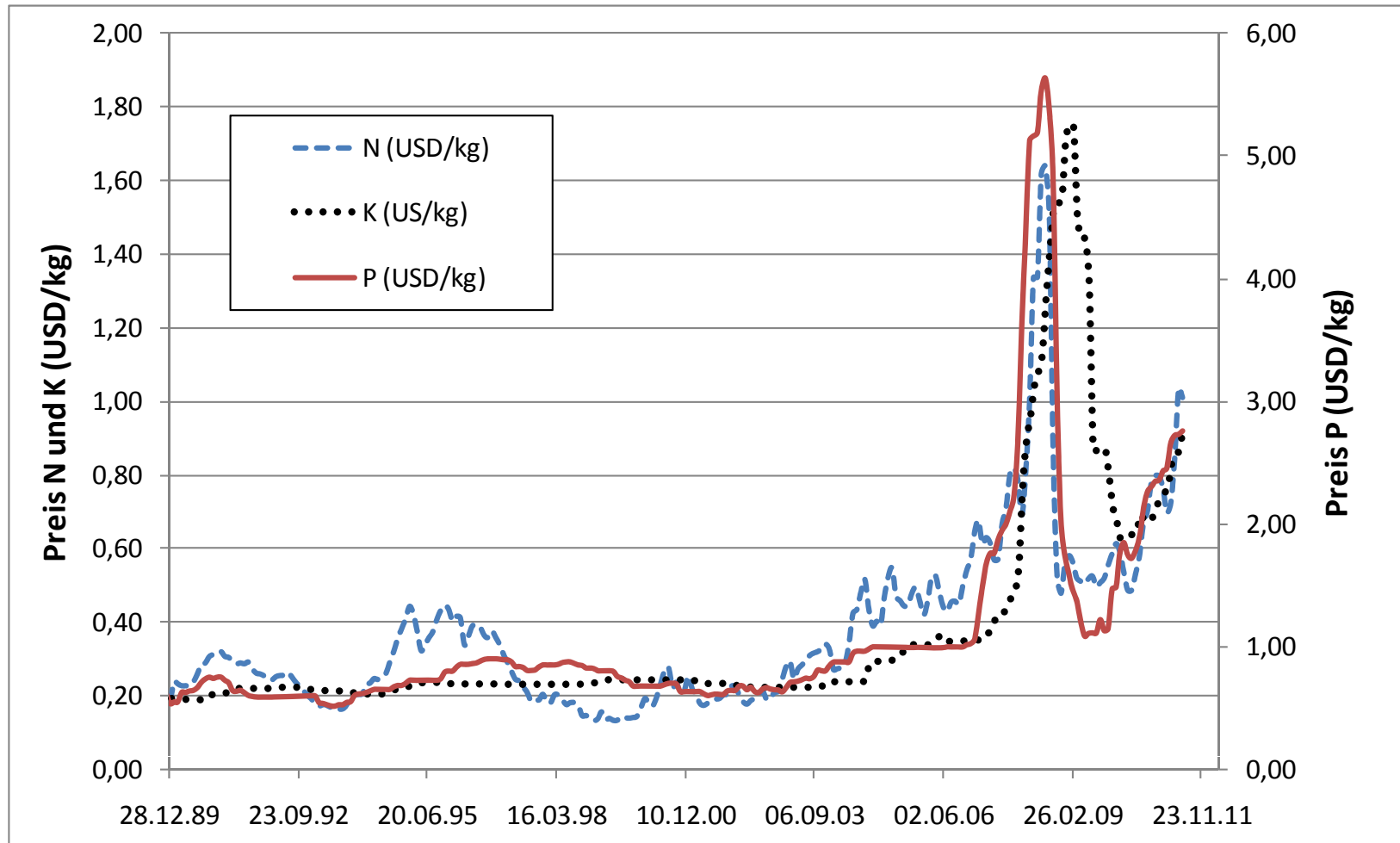
Der kalkulatorische Wert des deutschen Rohschlammes  
(Marktpreise 07/2011)

Ressource	Marktwert	Wert RS [€/tTR]	Ressourcenpotential Deutschland [€/a]
Phosphor (P)	2,02 €/kg P	57,52 €	137.711.255
Stickstoff (N)	0,98 €/kg N	37,06 €	88.727.486
Feststoffe (TS)	0,094 €/kg TS	93,60 €	224.115.840

→  $\Sigma = 450$  Mio. €/a bzw. 188 €/ t TR Rohschlamm



# Entwicklung der Düngemittelpreise

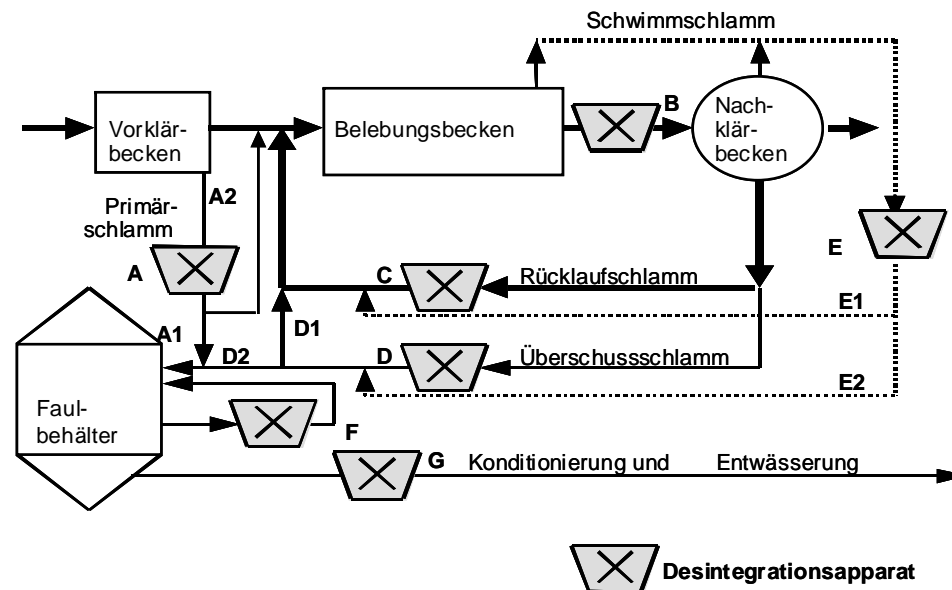
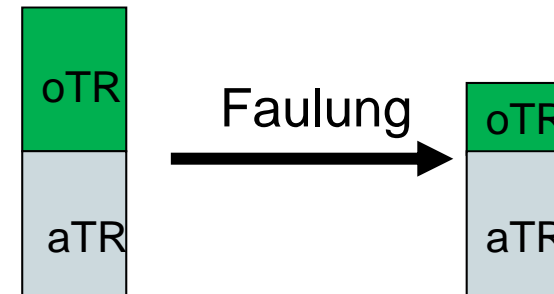


Berechnet nach Daten von [www.indexmundi.com](http://www.indexmundi.com)



# Desintegration zur Steigerung der Biogasausbeute

- Intensivierung der Faulung, z.B.
  - thermophil statt mesophil
  - Festbettfaulung
  - Längere Faulzeiten
  
- Klärschlamm-desintegration
  - Mechanisch
  - Thermisch
  - Chemisch
  - Biologisch



(Quelle: Dichtl, 2007)

# „Schlammaufbereitungsanlage“ -Bsp. Seaborne

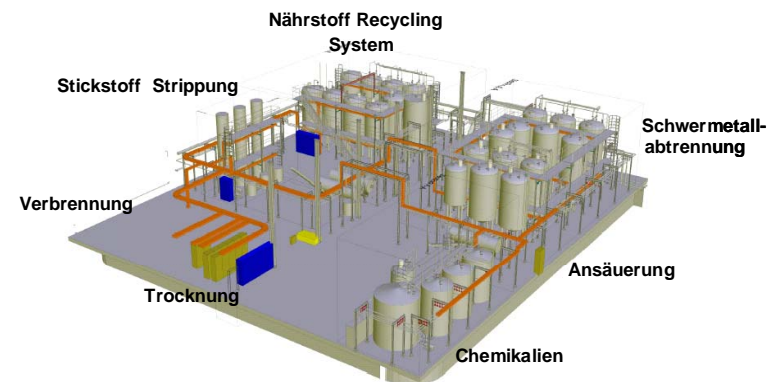
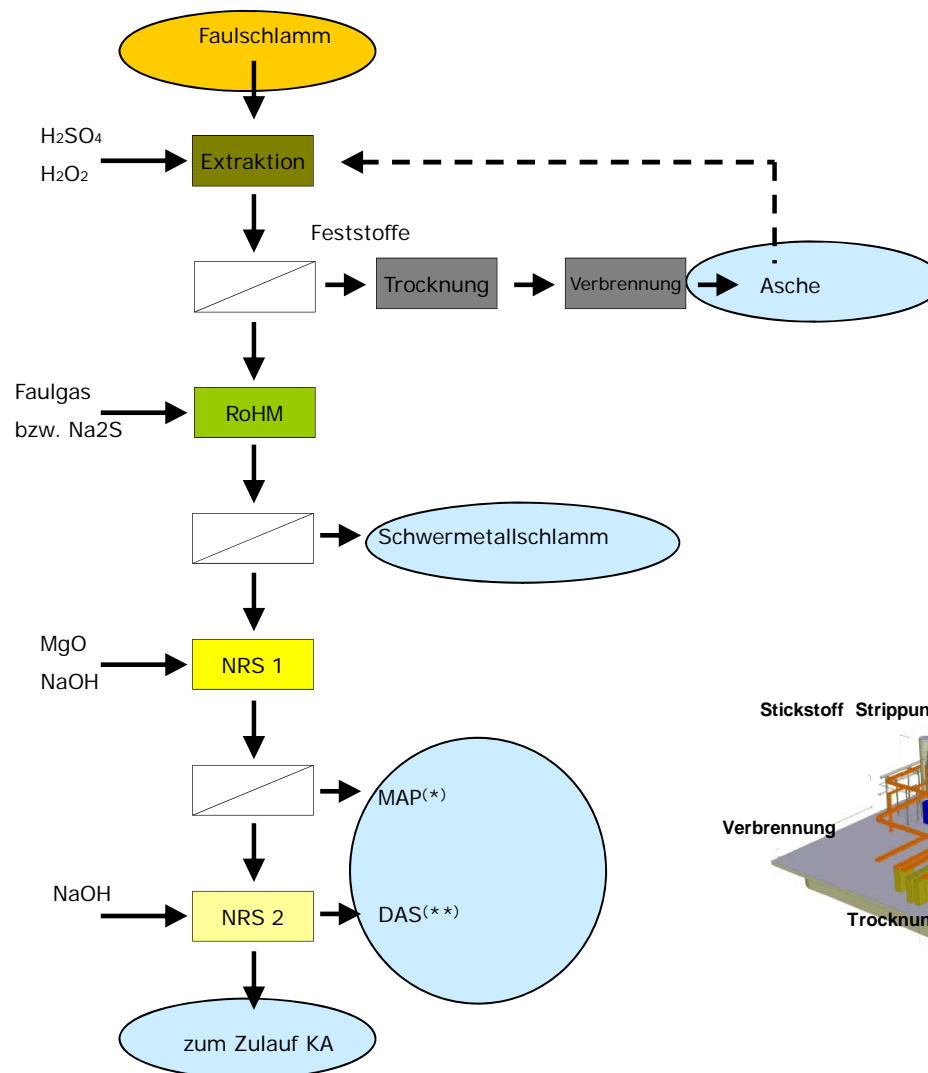
Erste großtechnische Realisierung auf der KA Gifhorn.

## Leitkonzept des Verfahrens:

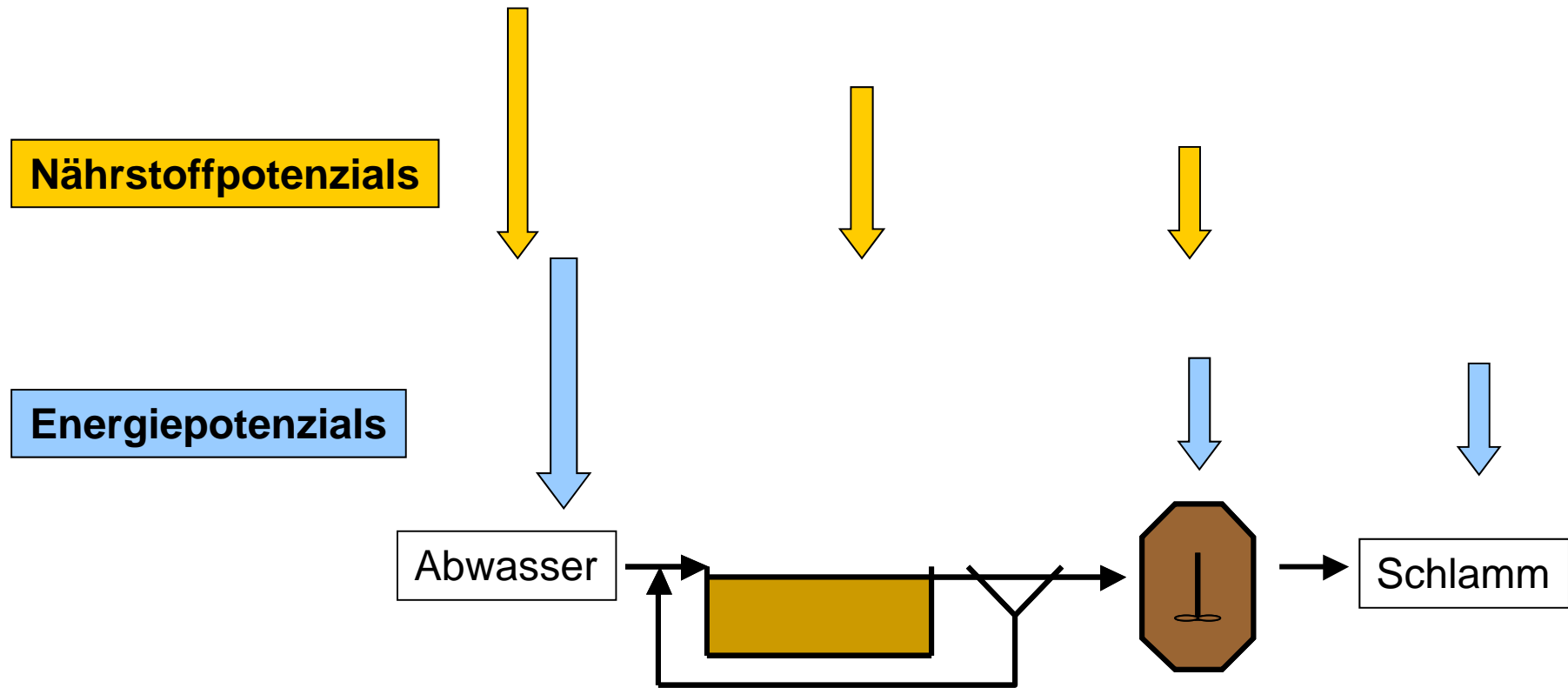
- Zerlegung des Klärschlammes in Wert- und Schadstoffe
- Weitgehende energetische Nutzung
- Betrieb einer Kläranlage ohne die Produktion von Klärschlamm



# „Schlammaufbereitungsanlage“ -Bsp. Seaborne



# Quintessenz –optimale Ansatzpunkte zur Nutzung des...



→ Stoffstrommanagement als Instrument zur gezielten Nutzung des Nährstoff- und Energiepotenzials einsetzen.