



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FONA
Sustainable
Water Management
BMBF

NaWaM
Sustainable Water Management



ERWAS

Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft



Phosphorrecycling mit Klärschlammsschmelzvergasung

Projektstand KRN-Mephrec Nürnberg

B. Hagspiel, Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg



1 Ziel

Rohstoffversorgung mit moderner Metallurgie



Abb. 15. Thomasmehl erhöht den Ertrag an schmackhaften und gut haltbaren Kartoffelknollen.

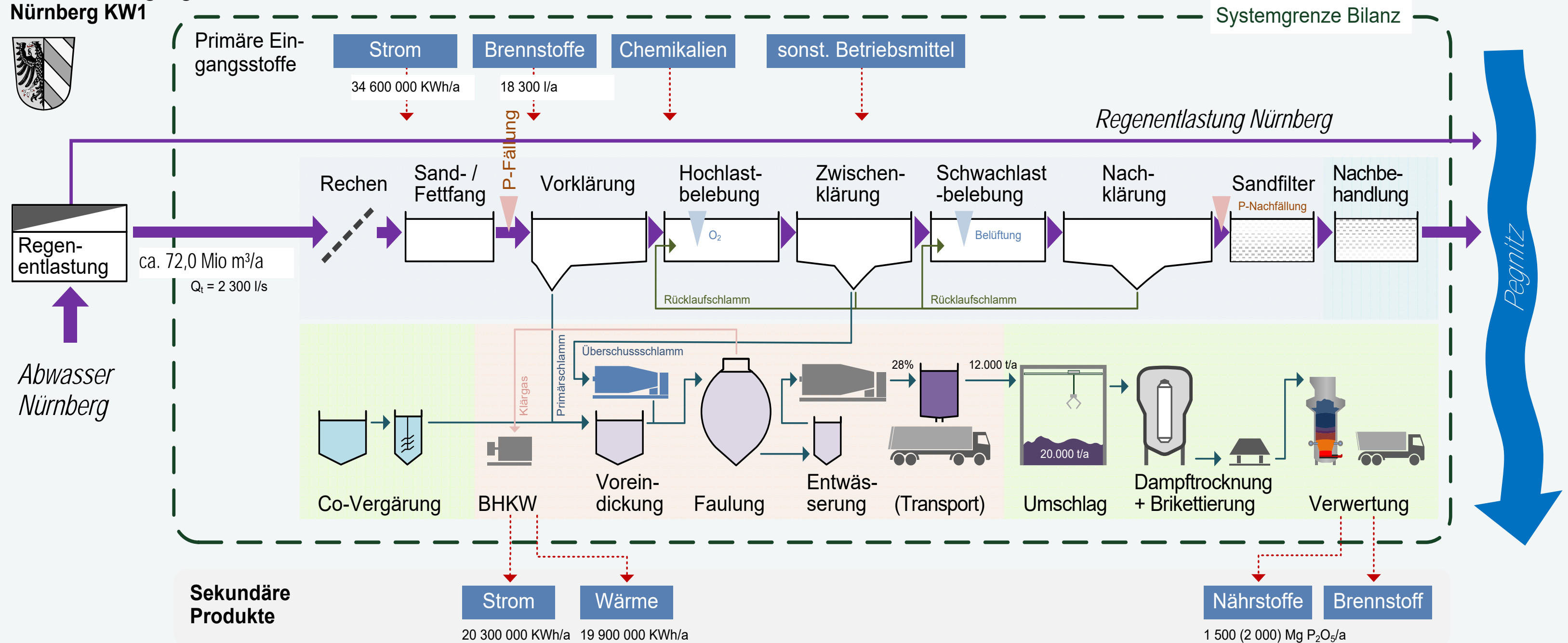
Kreislaufwirtschaftsgesetz:

- Nachhaltige,
- energieneutrale,
- schadstofffreie
- Erzeugung
- sauberer Rohstoffe mit
- positivem Marktwert:
- Wasser
- Minerale (Dünger)
- Metalle
- CH-Energieträger

Quelle: Verlag für Bodenkultur 1929

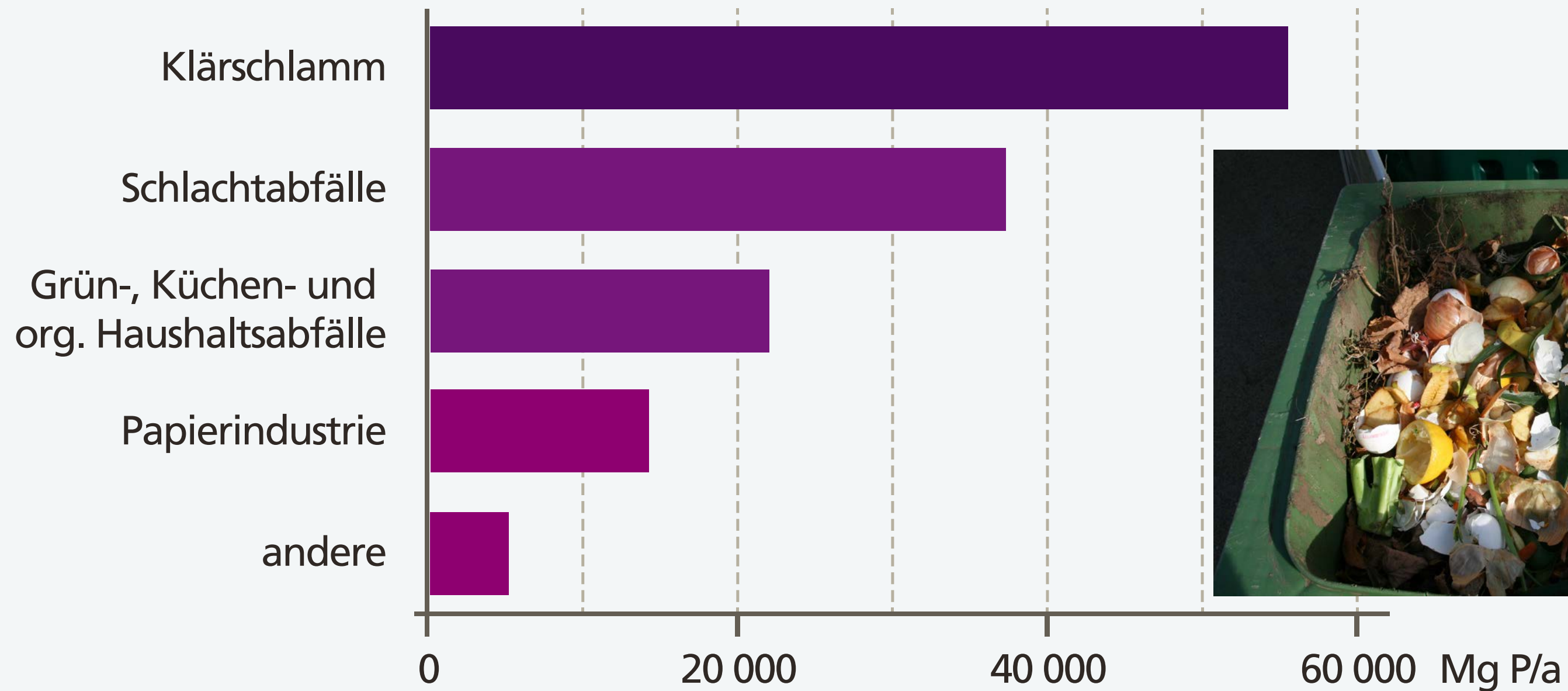
1 Ziel Integration Abwasser + Abfallwirtschaft

Abwasserreinigung Nürnberg KW1



1 Ziel sonstige regenerierbare C+P-Quellen

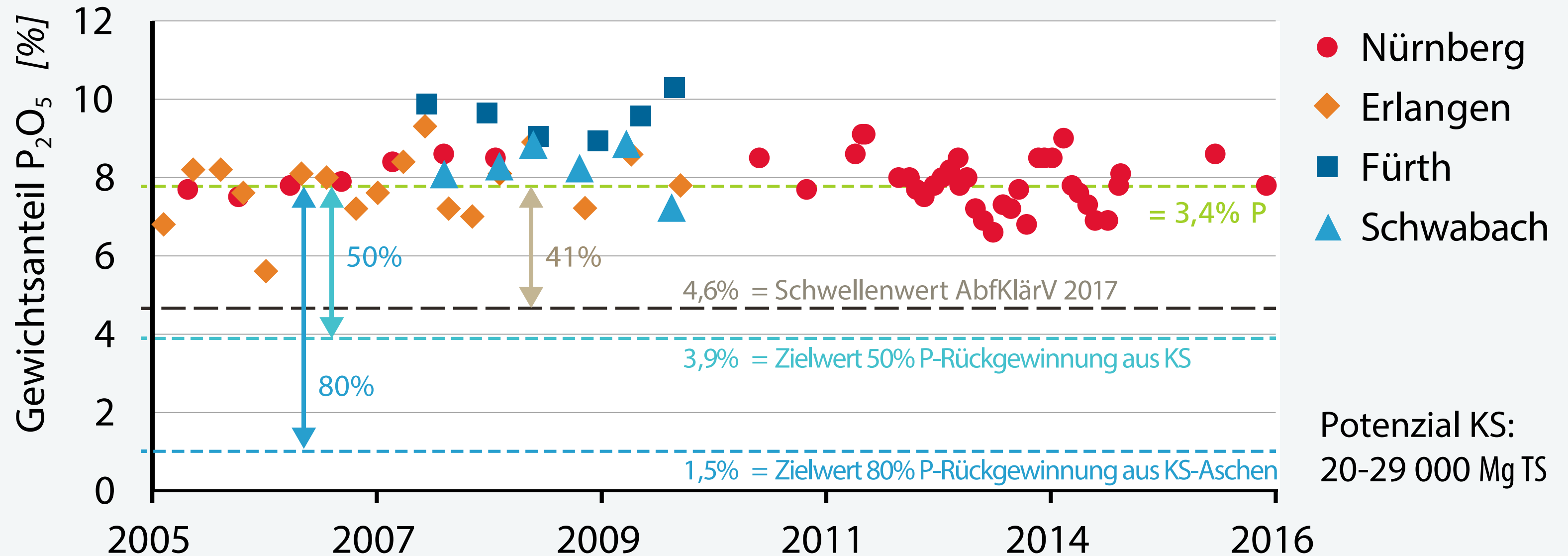
Phosphorpotenzial in Deutschland



[Fricke & Bildlingmaier 2003]

1 Ziel P

Phosphorgehalt im getrockneten Klärschlamm: Potenzial 50% Eigenbedarfsdeckung



Gesetzlicher Schwellenwert für P-Rückgewinnung = 20 mg/g KS TS)
 Soll-Rückgewinnungsquote KS $\geq 50\%$
 Soll-Rückgewinnungsquote KS-Asche $\geq 80\%$

670 - 960 Mg P_2O_5 /a
 770 - 1 100 Mg P_2O_5 /a
 1 200 - 1 760 Mg P_2O_5 /a

2 Optionen (Einschätzung für Nürnberg)

MAP-Verfahren (Airprex, NuReSys, Ostara etc.)

- Rechtlich irrelevant (Wirkungsgrad $< 20\%$).
- Gärresteabfälle statt Rohstoffe.
- Kein betrieblich/wirtschaftlicher Vorteil.

Säureaufschluss KS (Option Kohlensäureverfahren)

- Rechtfertigung geringer Wirkungsgrad durch Produktqualität/P-Verfügbarkeit (!)
- Gärresteabfälle statt Rohstoffe (Entsorgung statt Ertrag).
- Weitere Verfahren (Gifhorn, Stuttgart) ökonomisch/ökologisch nicht valide.

Thermochemischer Aufschluss (Optionen Pyreg, Mephrec, Kubota, Susten)

- Energetisch zu aufwändig? (Gas- und Wärmewirtschaft)
- Erzeugung Rohstoffe oder Abfälle? (Entsorgung statt Ertrag)

2 Optionen (Einschätzung für Nürnberg)

Säureaufschluss KS-Asche (EcoPhos, LeachPhos, Reco-Phos, TetraPhos, ZAR)

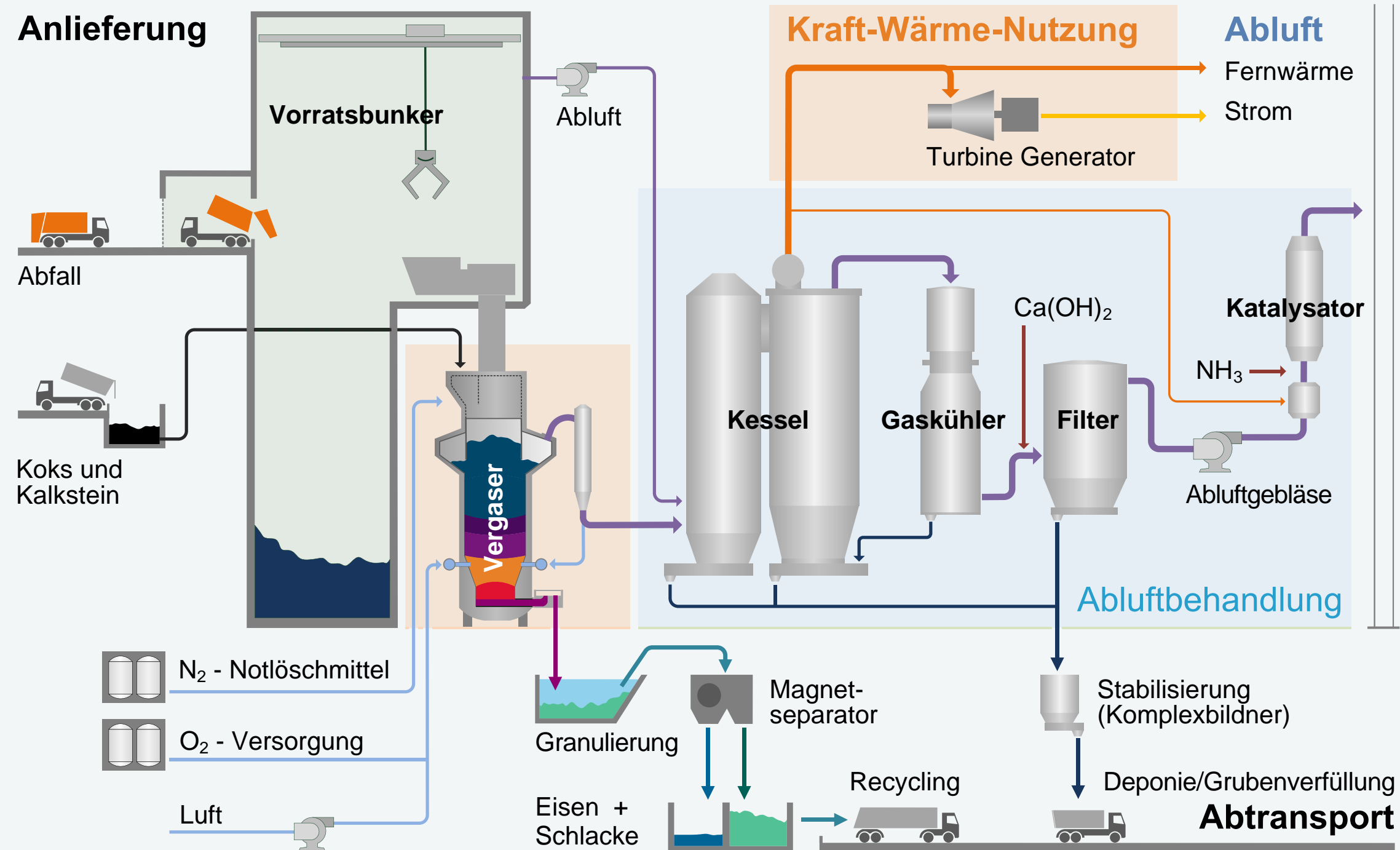
- Gefährlicher/ökologisch kritischer Betriebsmittelbedarf.
- Verbrennungsabfälle (Entsorgung statt Ertrag).
- Technisch-wirtschaftlicher Aufwand im Vergleich zu Rohphosphataufschluss fragwürdig.

Thermochemischer Aufschluss KS-Asche (Optionen ASH-DEC, RecoPhos)

- Verbrennungsabfälle (Entsorgung statt Ertrag).
- Energetisch-technisch-wirtschaftlicher Aufwand im Vergleich zu Rohphosphataufschluss fragwürdig. (2 stufig)

3 Potenzial Schmelzvergasung

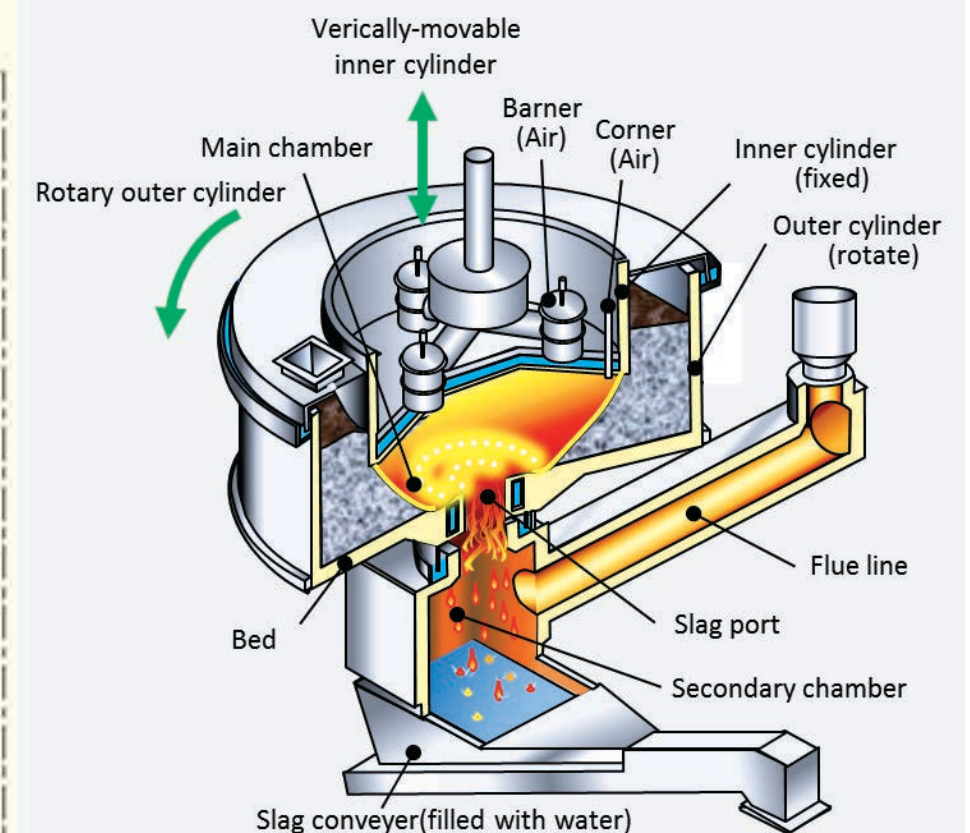
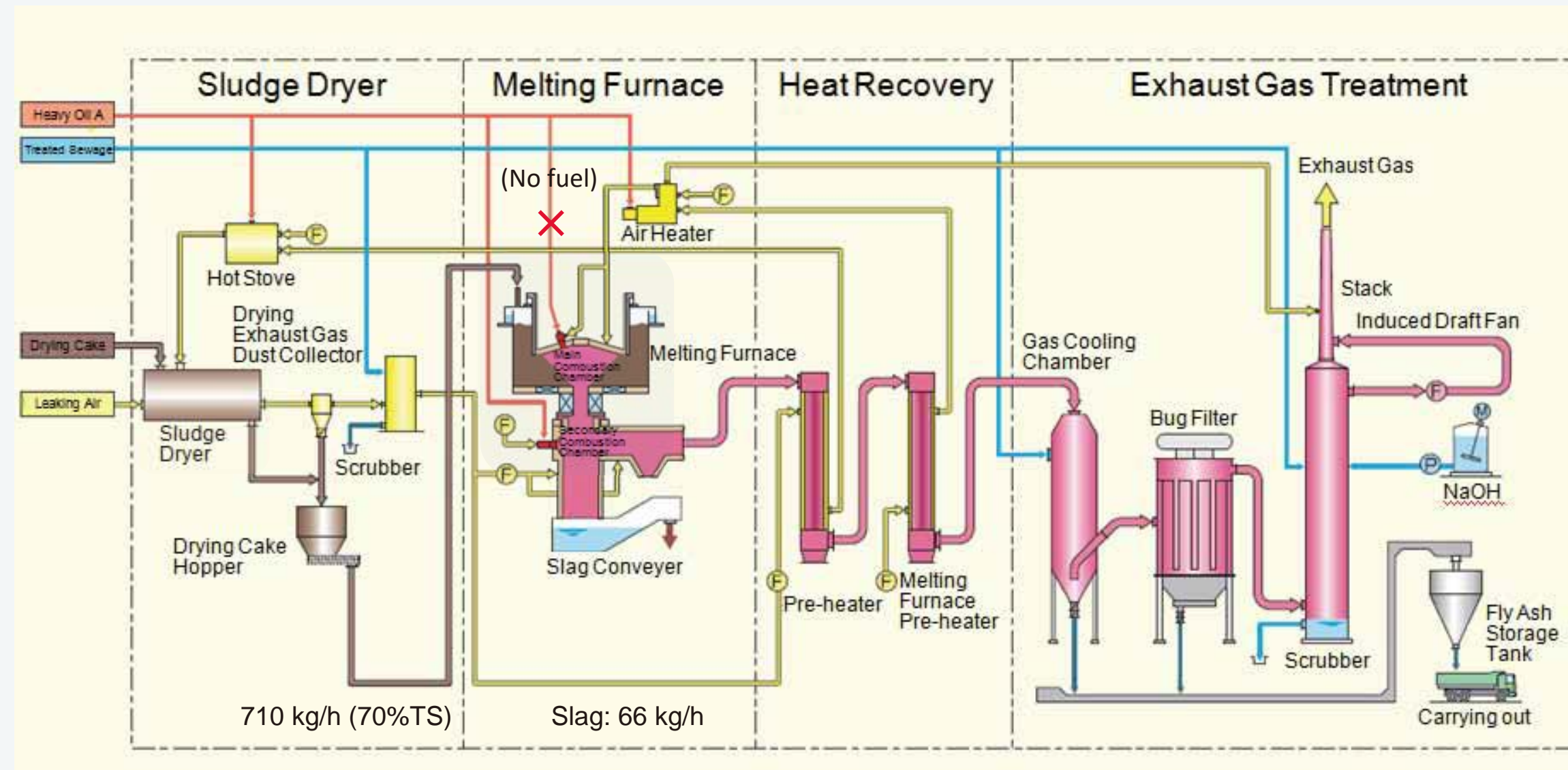
Schmelzen von Abfall (Direct Melting, JFE Japan)



Größte Schmelzvergasungsanlage
Shin-Moji, Japan
Baujahr 2007
Kapazität 3 × 10 Mg/h (720 Mg/d)
Stromerzeugung 23,5 MW

3 Potenzial Schmelzvergasung

Schmelzen von getrockneten Schlämmen (Surface Melting, Kubota Japan)



Schmelzvergasungsanlage
 Toyama, Japan
 Auftrag 2012
 Kapazität 2,5 Mg/h (20%TS)
 (60 Mg/d)
 Wärmeverwertung Trocknung
 Schlackeverwertung Baustoffe

3 Potenzial Metallurgie

Schmelzen Eisenerz im Rennofen

750 - 450 v.Ch. (Hallstattzeit)



2010 n.Ch.



3 Potenzial Metallurgie für KS

Energie

- Auf hohem Temperaturniveau, begrenzter Schlupf.
- Gasverwertung mit Option konv. KWK, Verflüssigung, Option Heißdampf (Prozessgas für hocheffiziente Dampftrocknung, Hydrolyse).

Produkte

- Saubere, vermarktbare Produkte: Eisenlegierung, Schlacke, Synthesegas.
- Schmelzprodukt stark modifizierbar.
- Keine Abfälle und sonstigen gefährlichen Produkte, marginale Filterstaubmenge.

Betrieb

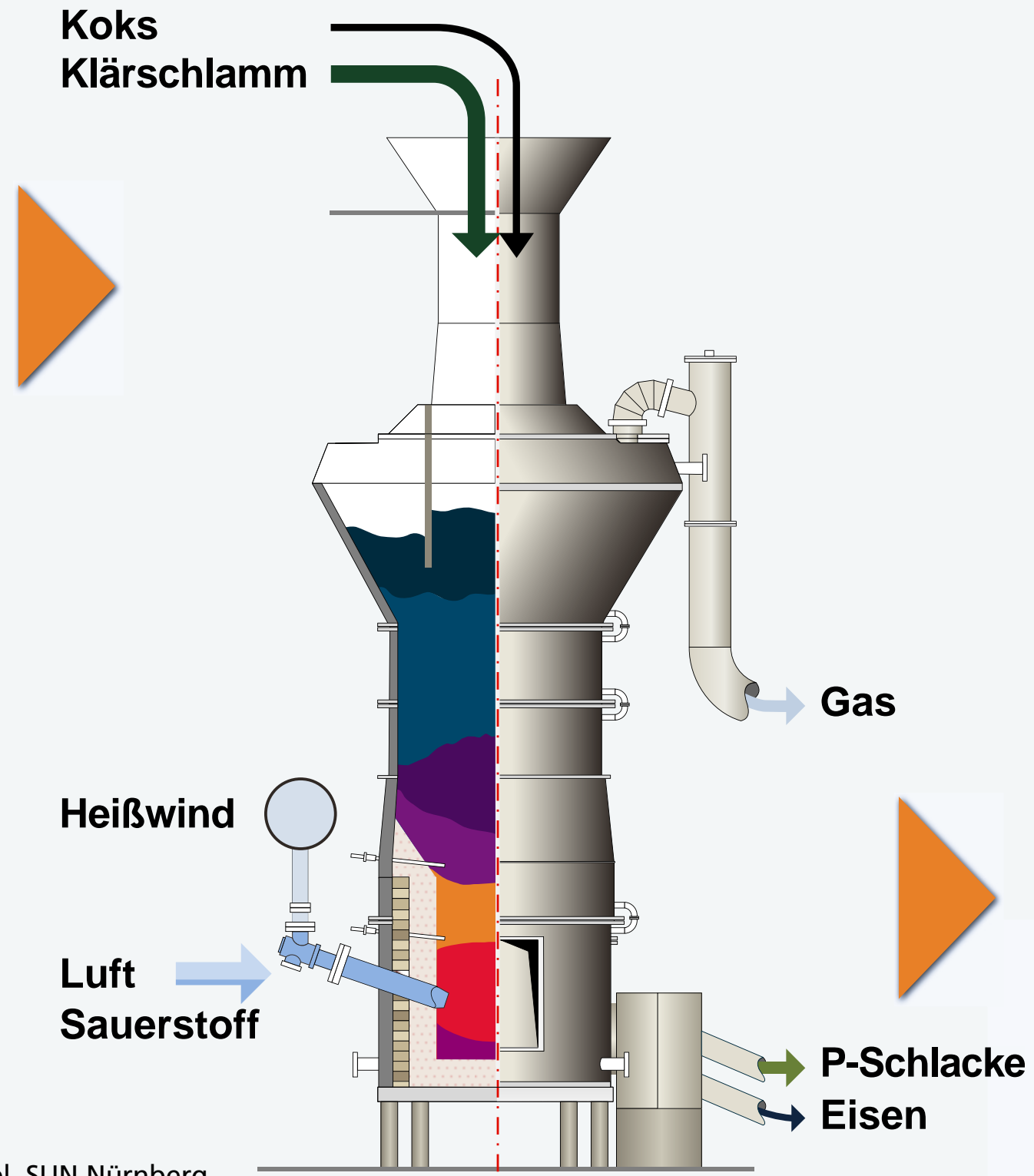
- Keine Zwischenschritte (Hydrolyse/Vergärung, Verbrennung, P-Recycling).
- Kontinuierlicher Prozess mit simultaner Vergasung und Schmelzung.

Wirtschaftlichkeit/Ökologie

- Kein höherer Energieinput als bei alternativer Rohstoffbereitstellung.
- Bei voller Klärwerksintegration: Geschlossene Kreisläufe.

3 Potenzial Metallurgie

Schmelzen von Klärschlamm



4 Erprobung Metallurgie

Ziel Versuchsanlage

- Nachweis Technologie für KS (Maßstab ca. 1 bis 2 zu 5)
 - KS (-Asche) statt Erz
 - Struktur und Kontinuität
 - Umgang mit Gasaufkommen
- Nachweis verwertbare Produkte (Metalle, Schlacke, Gas)
- Wirtschaftlicher Betrieb
Maßstab: Alternative thermische Verfahren + P-Elimination >50%
Volkswirtschaftlicher Nutzen, Standortvorteil Klärwerk
- Nachweis ökologischer Vorteil (Ökobilanz, THW-Beitrag, Regionalität)

4 Erprobung Metallurgie



Klärschlamm-trocknung
Band-trocknung in
Dinkelsbühl auf 93% TS

Bilanz geklärt
Brüdenbehandlung im
KW Nürnberg



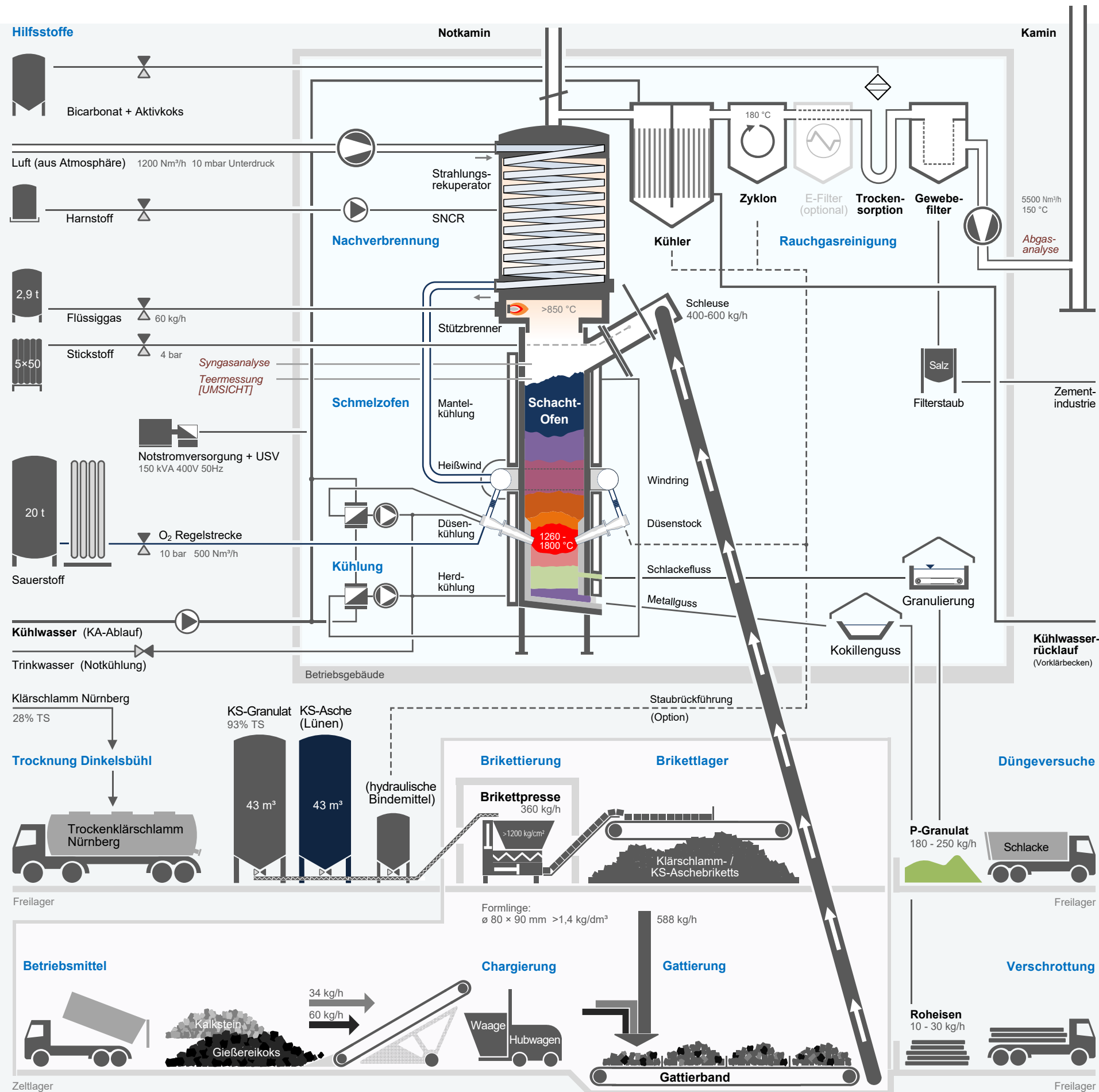
Brikettierung
Pressvordruck 60 bar
Presshauptdruck 180 bar

Leistung 485 kg/h
11 Mg/d
6 sec/St
Nennleistung 66 kWh



Feuchtigkeit 4 %
Glühverlust 55 %
 P_2O_5 -Gehalt 8 %
Festigkeit 55 N/mm²
Gewicht 850 g/St

lagerbeständig



Technologie

Kupolofen (Schlackeschmelzofen)

Maßstab ca. 600 kg/h

Mit Nachverbrennung und Rekuperation

4 Erprobung Metallurgie

Konstruktionsentwicklung

Reaktor (Rohbau)



Reaktor mit Düsenebene



Nachverbrenner
mit Lufterhitzer

Kühler!



5 Ergebnisse

Allgemein

- Im Prinzip in allen Teilen konventionelle Technik
- Aufwand Know-How:
 - 1 Komposition der Technik
 - 2 Erlernen Metallurgie und Schmelzbertrieb
 - 3 Erfahrung
- Struktureller und finanzieller Aufwand nicht proportional zu Großanlage

Technologie (Potenzial)

- Stabilisierung: (Fav. Hydrolyse)
- Trocknung: (Fav. Dampftrocknung)
- Brikettierung: Machbar, energiekritisch, KS-Brikett einwandfrei, KS-Aschebrikett unklar
- Ofen: Robust, sehr leistungsfähig
- Gasproduktion: CO! Messtechnik, (Unter-)Druckmanagement, Gasreinigung/Gasverflüssigung
- Abluftbehandl.: BiCa, robuste heißstaubresistente Kühlung

5 Ergebnisse



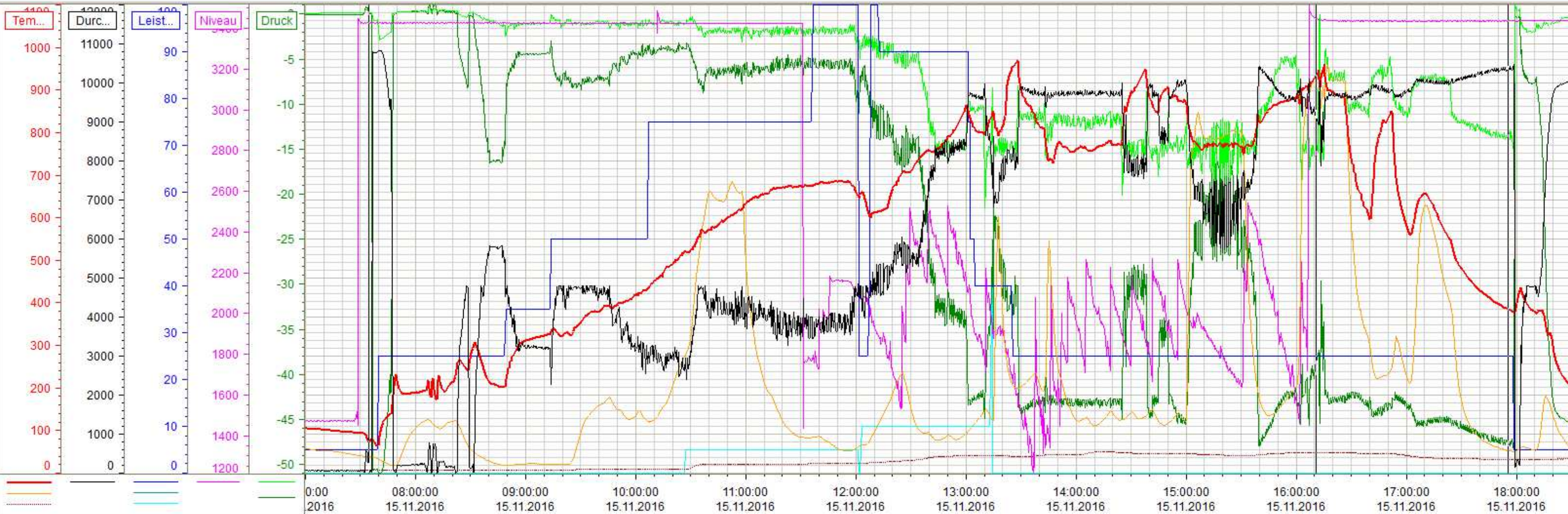
Pflege Schlackeloch, Granulierung

Eisenabstich



5 Ergebnisse

Prozessführung



| | Name | Y-Wert | X-Wert/Zeitstempel |
|----|--------------------------------|-----------|------------------------|
| 2 | Temp Rauchgas nach Brennkammer | 934,0 i. | 15.11.2016 16:10:49 i. |
| 3 | Temp Syngas | 935,5 i. | 15.11.2016 16:10:49 i. |
| 4 | Brenner 1 Leistung | 25,0 i. | 15.11.2016 16:10:49 i. |
| 5 | Brenner 2 Leistung | 25,0 i. | 15.11.2016 16:10:49 i. |
| 6 | Niveau Ofen | 3451,2 i. | 15.11.2016 16:10:49 i. |
| 7 | Druck Ofen | -15,7 | 15.11.2016 16:10:38 |
| 8 | Druck vor Saugzug | -40,1 | 15.11.2016 16:10:38 |
| 9 | Temp Warmwind | 48,6 | 15.11.2016 16:10:43 |
| 10 | Warmwindklappe Duesen | 0,0 i. | 15.11.2016 16:10:49 i. |

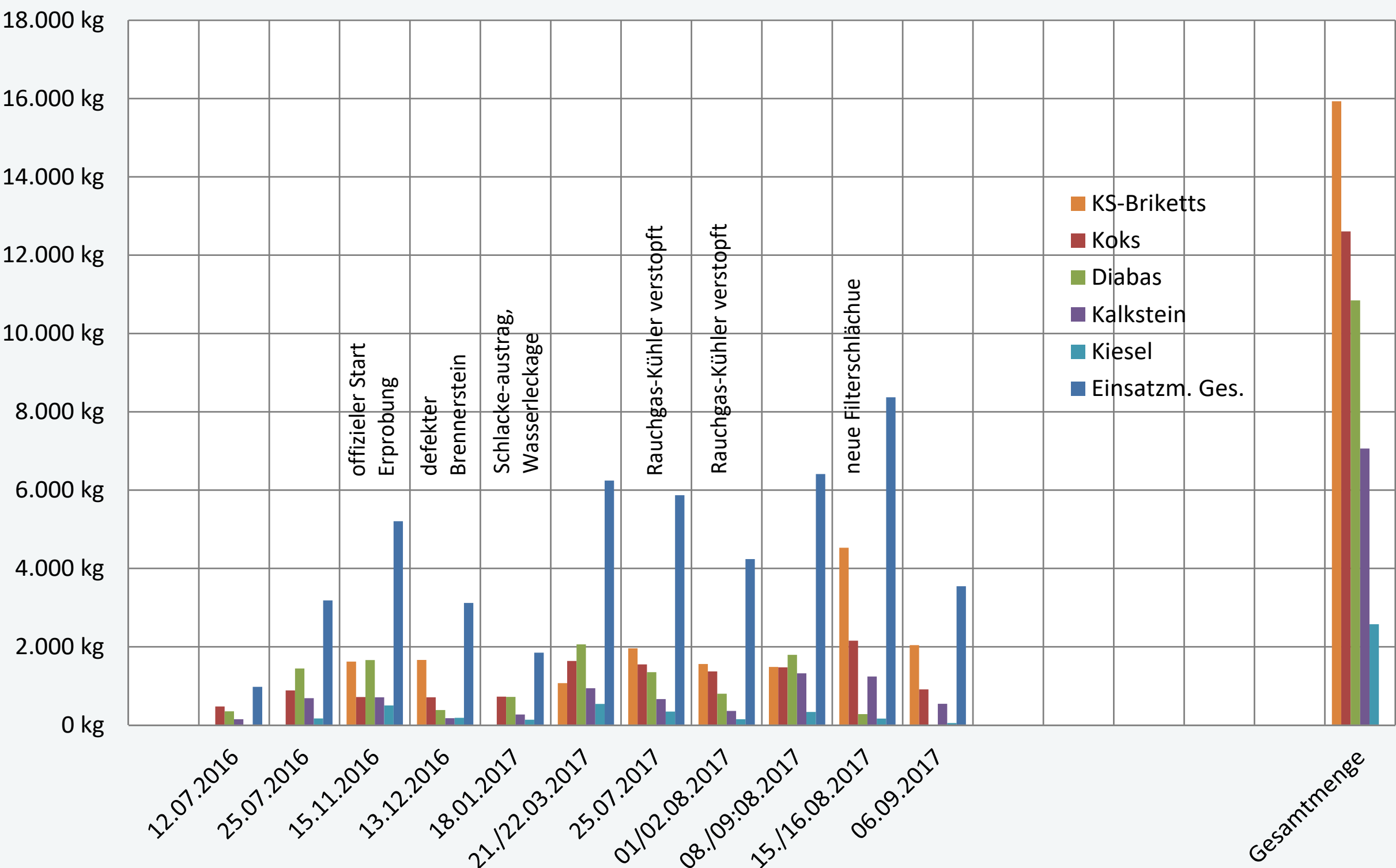
5 Ergebnisse



Schmelzbetrieb



5 Ergebnisse

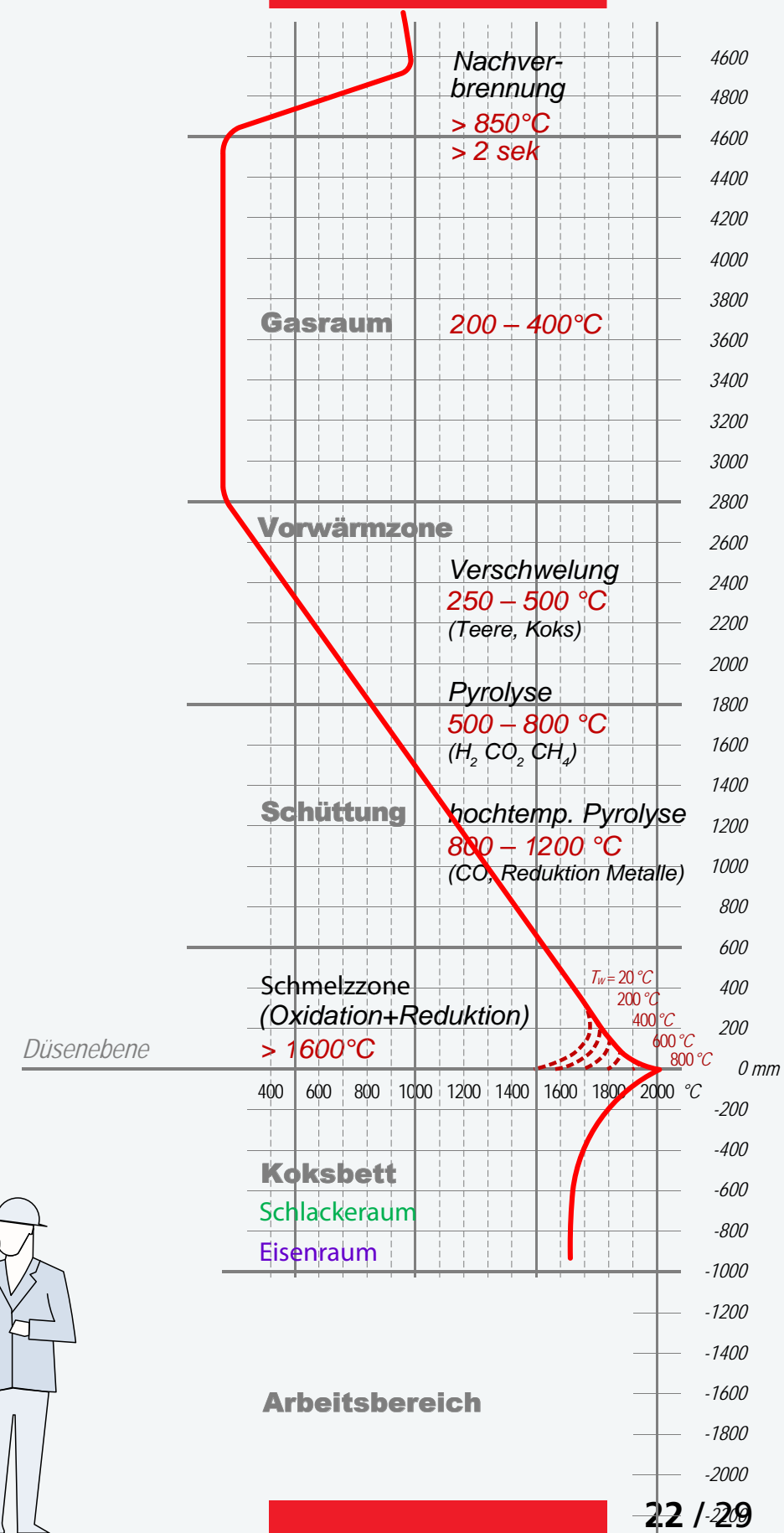
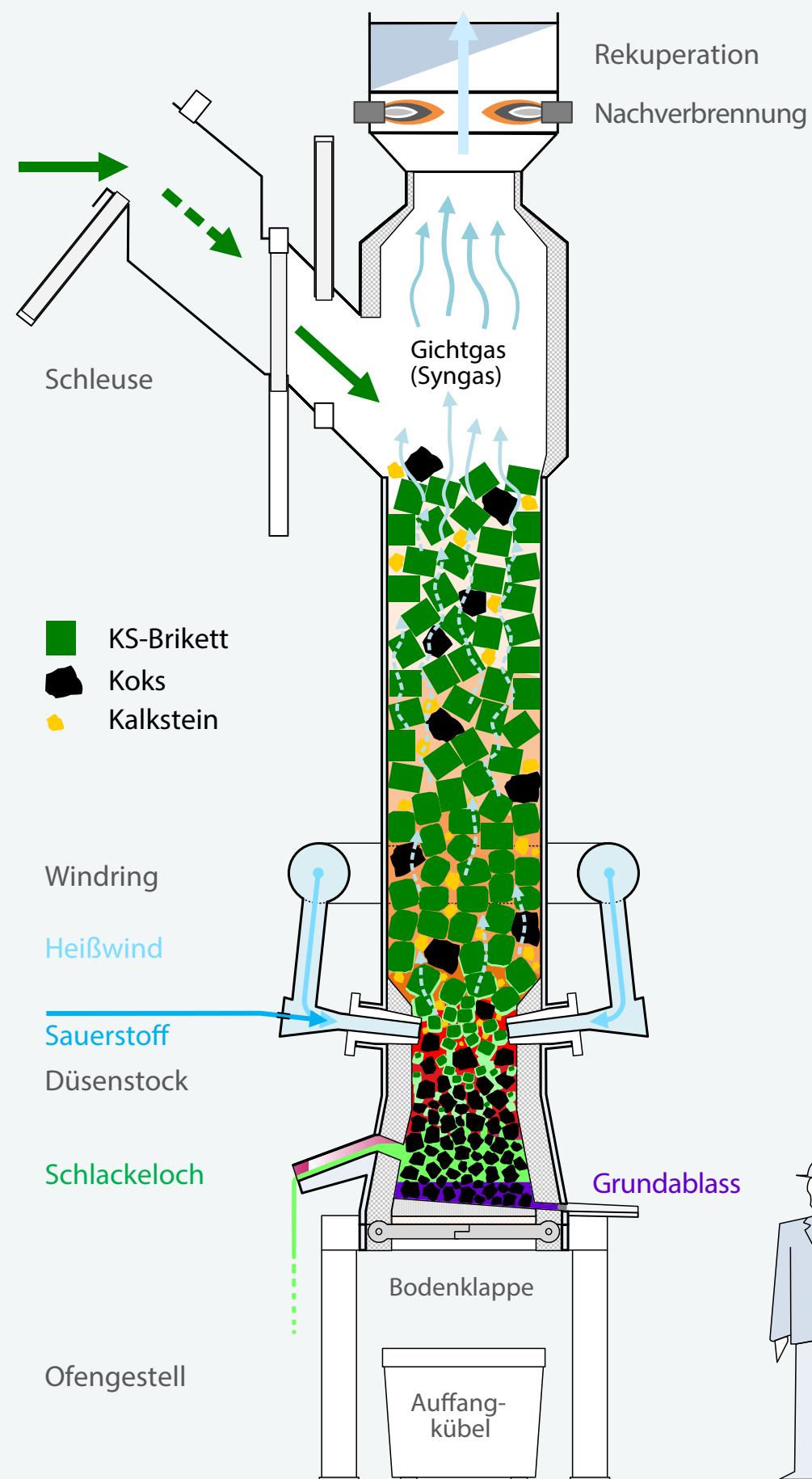


5 Ergebnisse

Verfahren



Phoshorrecycling mit Schmelzvergasung | Hagspiel, SUN Nürnberg



5 Ergebnisse

Betrieb

- Flexibel (Kontibetrieb aber auch 2-Schichtbetrieb)
- Fahrweise schnell + entschieden (nicht wie Kläranlage)
- Syngasproduktion trotz allem gefährlicher als Faulgas
- 3(4) Mann-Betrieb (Manuelle Klein- wie automatische Großanlage)

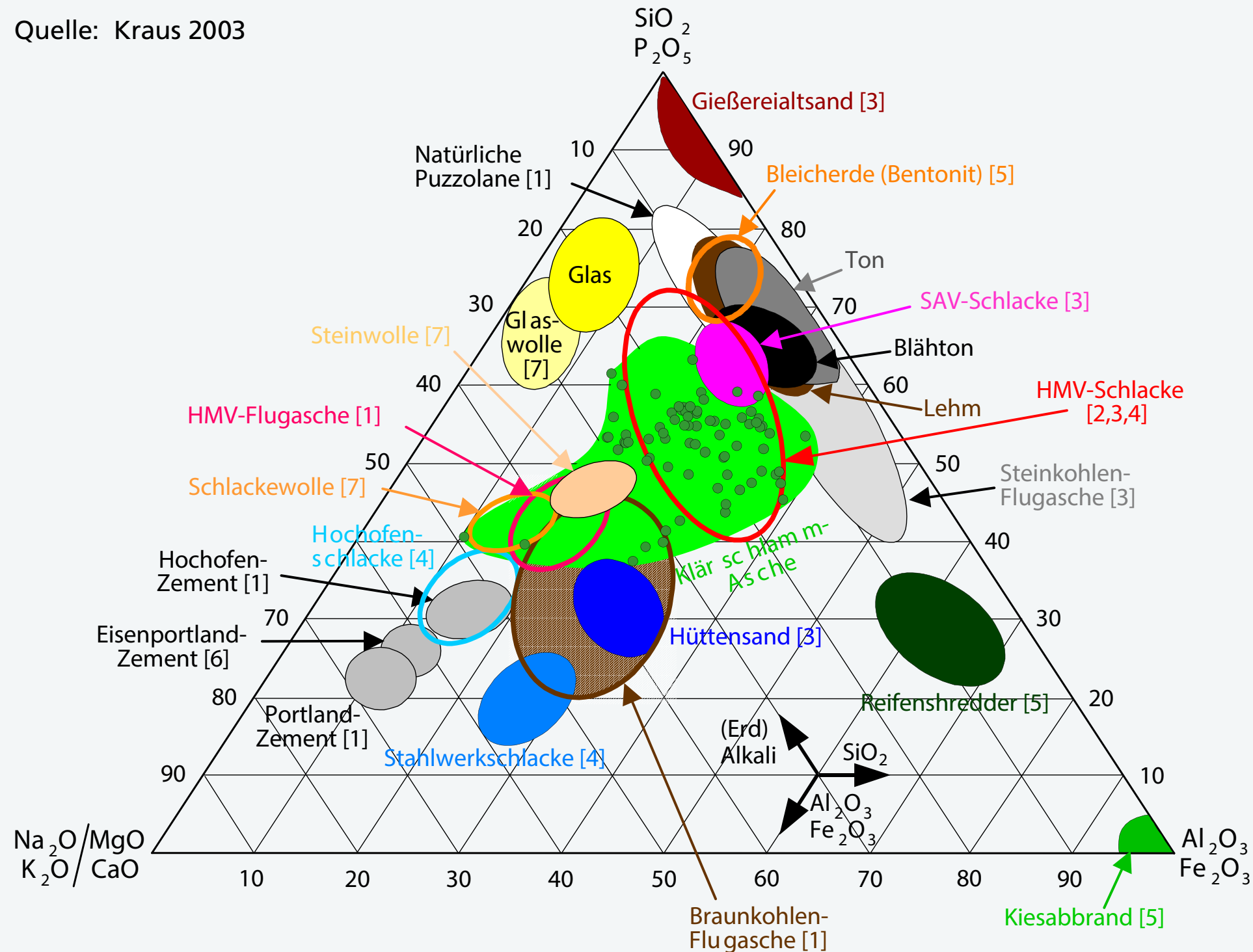
Produkte

- Metalle siliziumreich
- Schlacke: Basizität bestimmt P-Verfügbarkeit? Wiederfindungsrate?
- Synthesegasqualität und -aufbereitung ?
- Staub ?

6 Aussichten

Zusammensetzung min. Roh- und Reststoffe Baumaterial

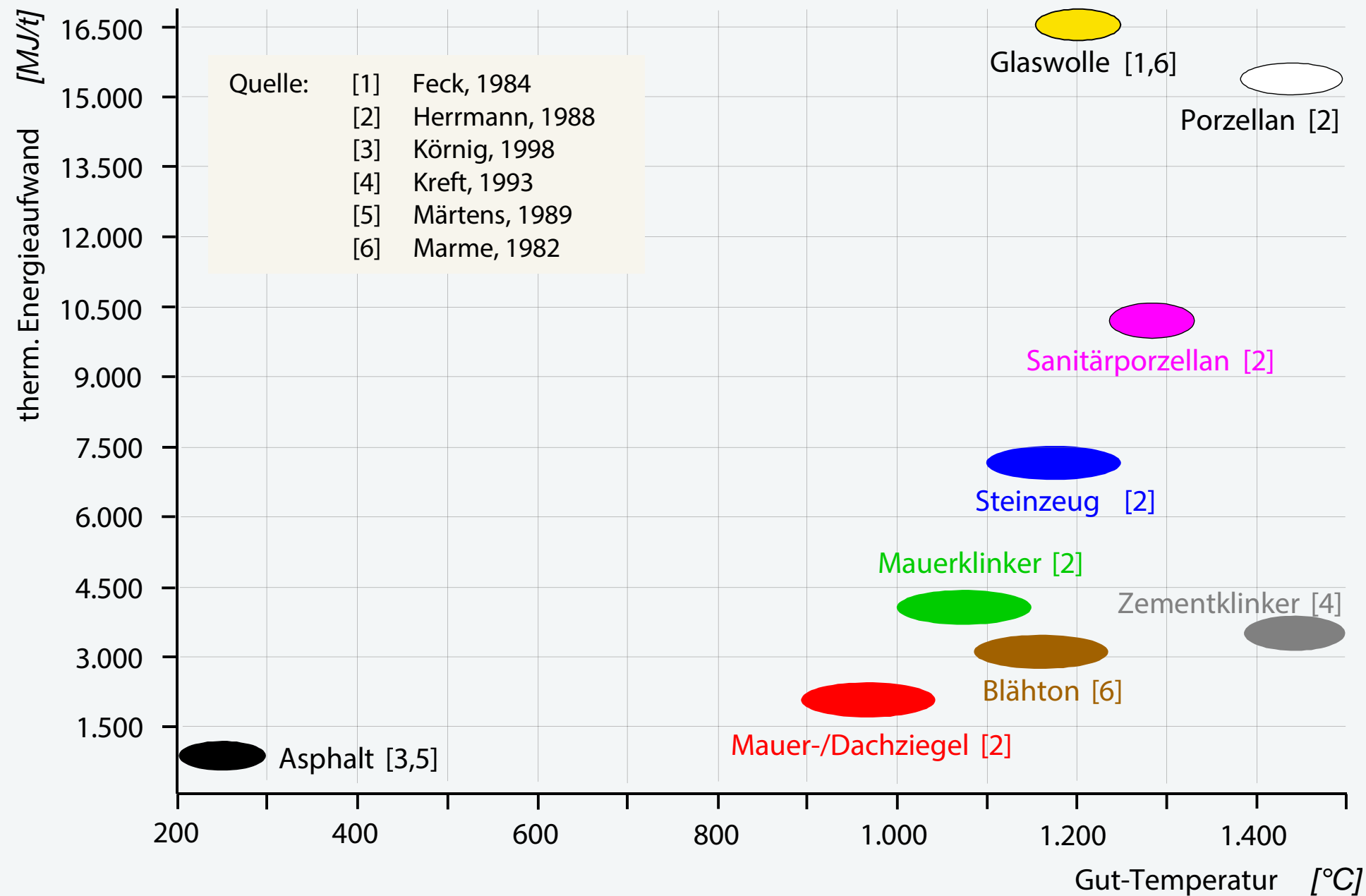
Quelle: Kraus 2003



Klärschlamm als Ausgangsprodukt zwischen etablierten Produkten. Sehr gute mech. Eigenschaften der Schlacken.

6 Aussichten

Produktaussichten Schlacken



Gute mech. Eigenschaften der Schlacken.

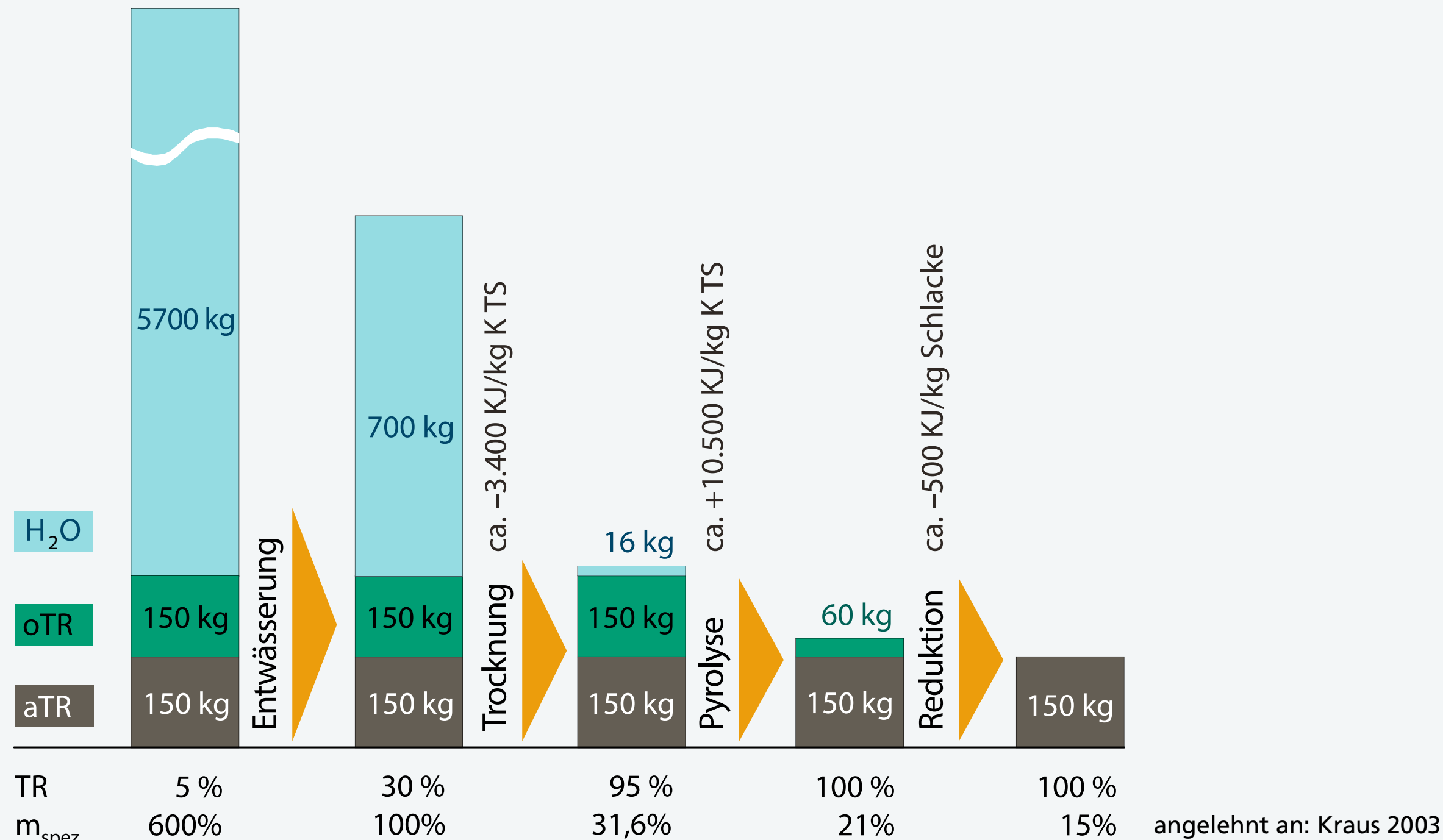
Verfügbarkeit Inhaltsstoffe sehr variabel,

abhängig vom Anteil saure Oxide ($\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5$)

und Nebensstoffen (Flussmittel (Erd-)Alkalimetalle)

6 Aussichten

Stoffbilanz thermische Klärschlammbehandlung



Energiebilanz schlechter Wirbelschicht, sofern Syngas nicht stofflich verwertbar.

Energieüberschuss für Stromerzeugung etc. knapp ($< 2 \text{ KWh/kg}$ Produkt)

6 Aussichten

Dreistoffdiagramm zur Bestimmung Schmelztemperatur

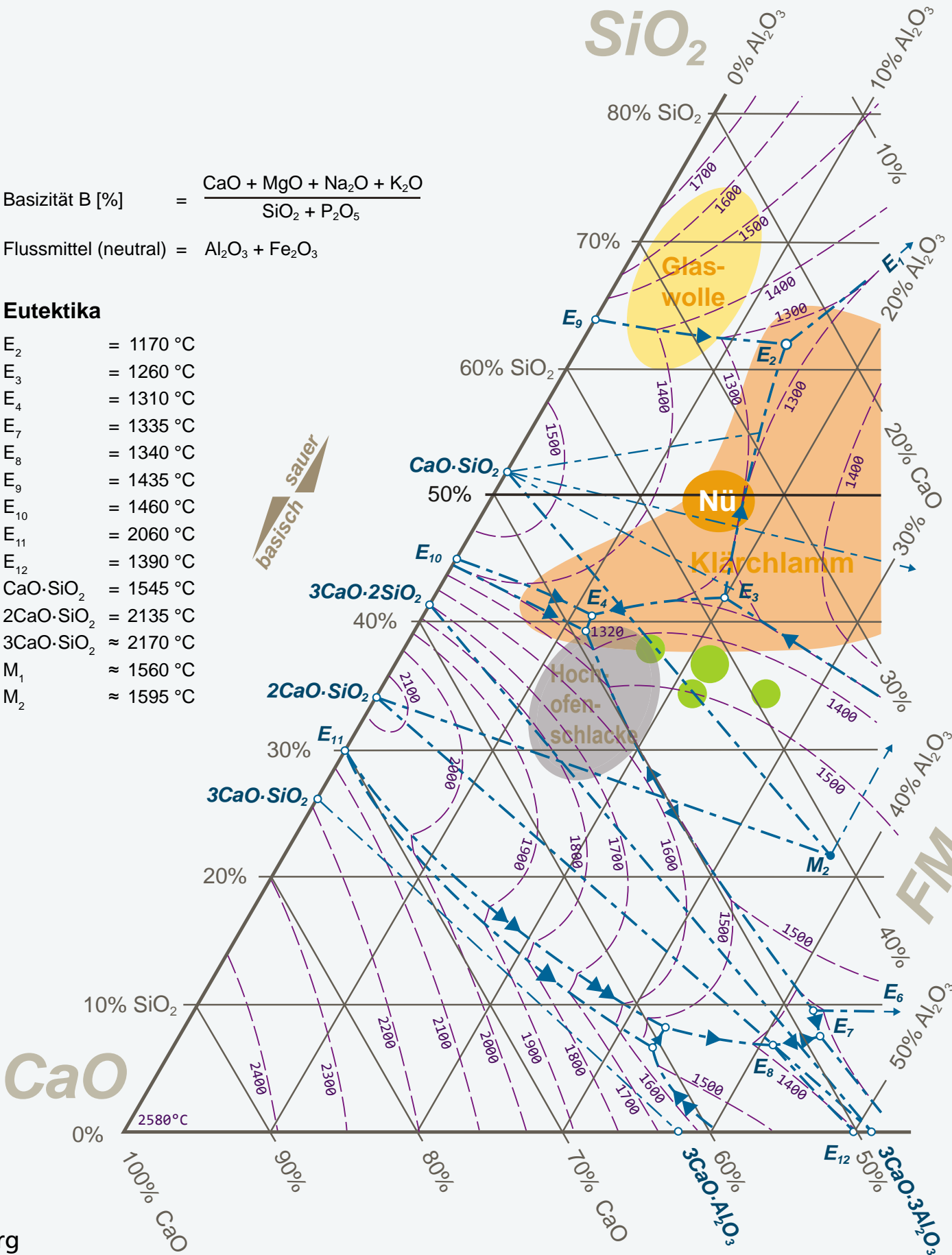
Grenzen des Betriebs

$$\text{Basizität } B [\%] = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5}$$

$$\text{Flussmittel (neutral)} = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$$

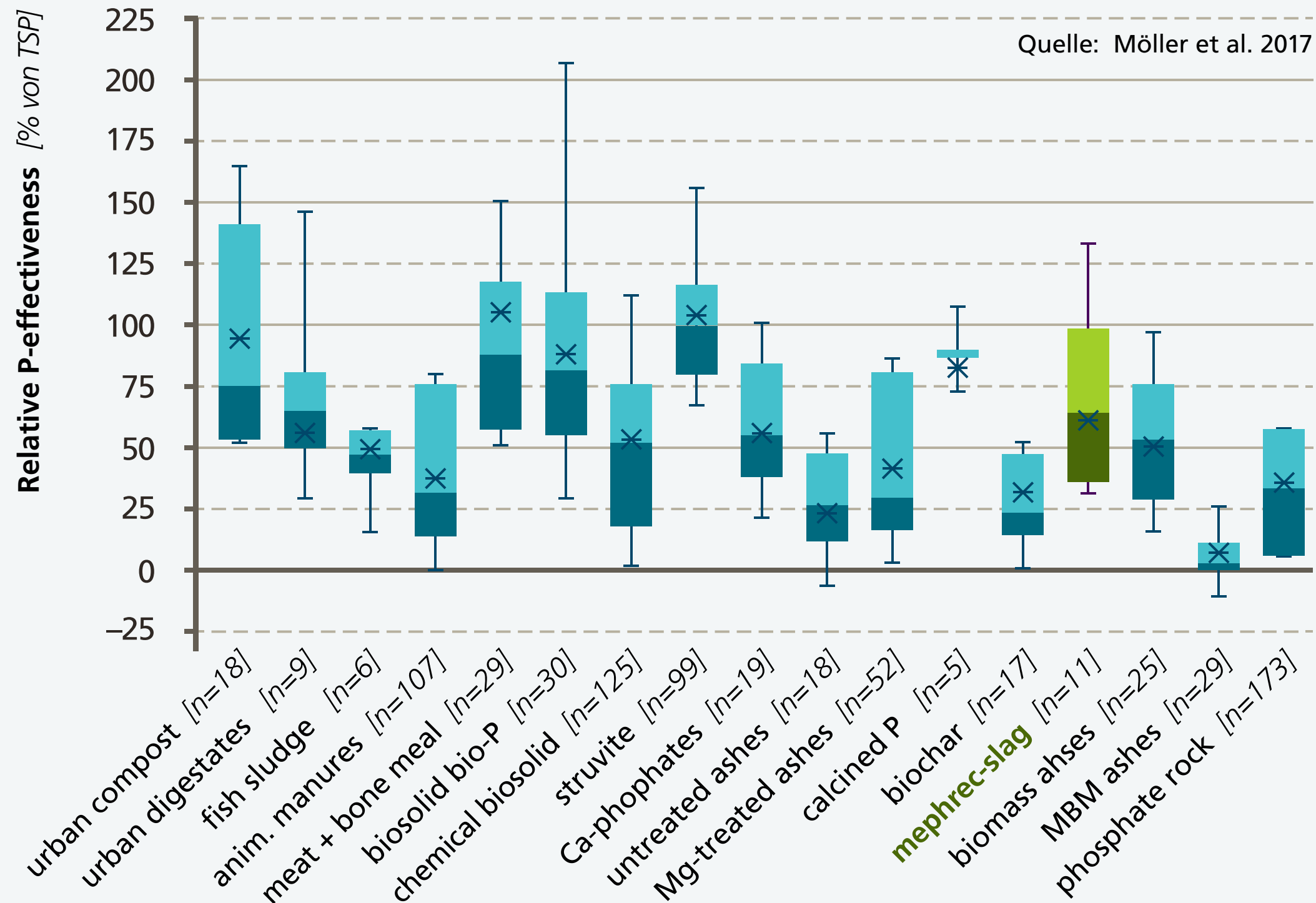
Eutektika

| | |
|----------------------------------|-----------|
| E_2 | = 1170 °C |
| E_3 | = 1260 °C |
| E_4 | = 1310 °C |
| E_7 | = 1335 °C |
| E_8 | = 1340 °C |
| E_9 | = 1435 °C |
| E_{10} | = 1460 °C |
| E_{11} | = 2060 °C |
| E_{12} | = 1390 °C |
| $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | = 1545 °C |
| $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | = 2135 °C |
| $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | ≈ 2170 °C |
| M_1 | ≈ 1560 °C |
| M_2 | ≈ 1595 °C |



6 Aussichten

Einstufung Düngewirkung (Mineraldüngeräquivalente)



Eigenschaften

- Wie Konverterschlacke
- Konstanz?
- Düngewirkung bodenabh.
- weitere Anreicherung
- preiswert



Ausblick

- Technik: Potent. Entwicklungszyklus nicht geringer als Wirbelschichtverbrennung
- Betrieb: Herausforderung Automation und betriebliche/personelle Integration
- Preis: Kritische Faktoren: Brikettierung, Syngasgewinnung/Gasaufbereitung, Vergleichbar Monoverbrennung + Deponierung
- Produkt: Verlängerung Wertschöpfungskette mit Abfall als Teil der Abwasserwirtschaft

Dank an:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



**Stadtentwässerung und
Umweltanalytik Nürnberg**
Adolf-Braun-Straße 33, 90429 Nürnberg

Burkard Hagspiel
+49 (0)9 11 / 231 45 20
klaerschlammsverwertung.nuernberg.de