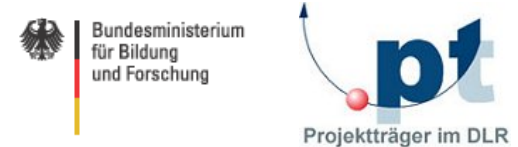


Dezentrale CO₂-negative energetische Verwertung von land- und forstwirtschaftlichen Produktionsreststoffen

PYREG Forschungsverbund

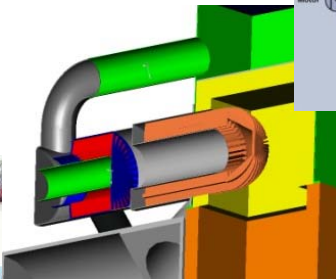


FH Bingen, ITB gGmbH	Prof. Dr.-Ing. W. Sehn	→ Wissenschaftliche Begleitung
Universität Dortmund	Prof. Dr.-Ing. A. Brümmer	→ KWK-Dampfprozess
Universität Bayreuth	PD Dr. B. Glaser	→ Bodenphysik
E-flox GmbH	Dr.-Ing. R. Berger	→ Brennerentwicklung
IG Dr. Siekmann+Partner mbH	Dr. K. Siekmann	→ Implementierung
Scherer GmbH	Dipl.-Ing. J. Scherer	→ Fertigung
PYREG GmbH	Dipl.-Ing. H. Gerber	→ Verfahrensentwicklung

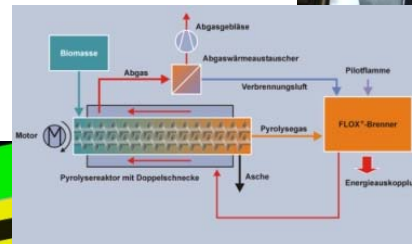
Entwicklungsschritte PYREG-Reaktor



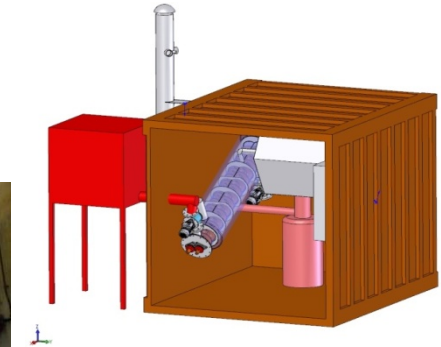
1999 Holzvergaser BHKW



2004 Holzpellet Stirling



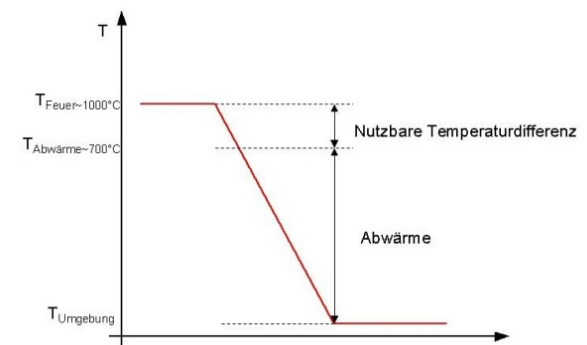
2005 Reaktorentwicklung



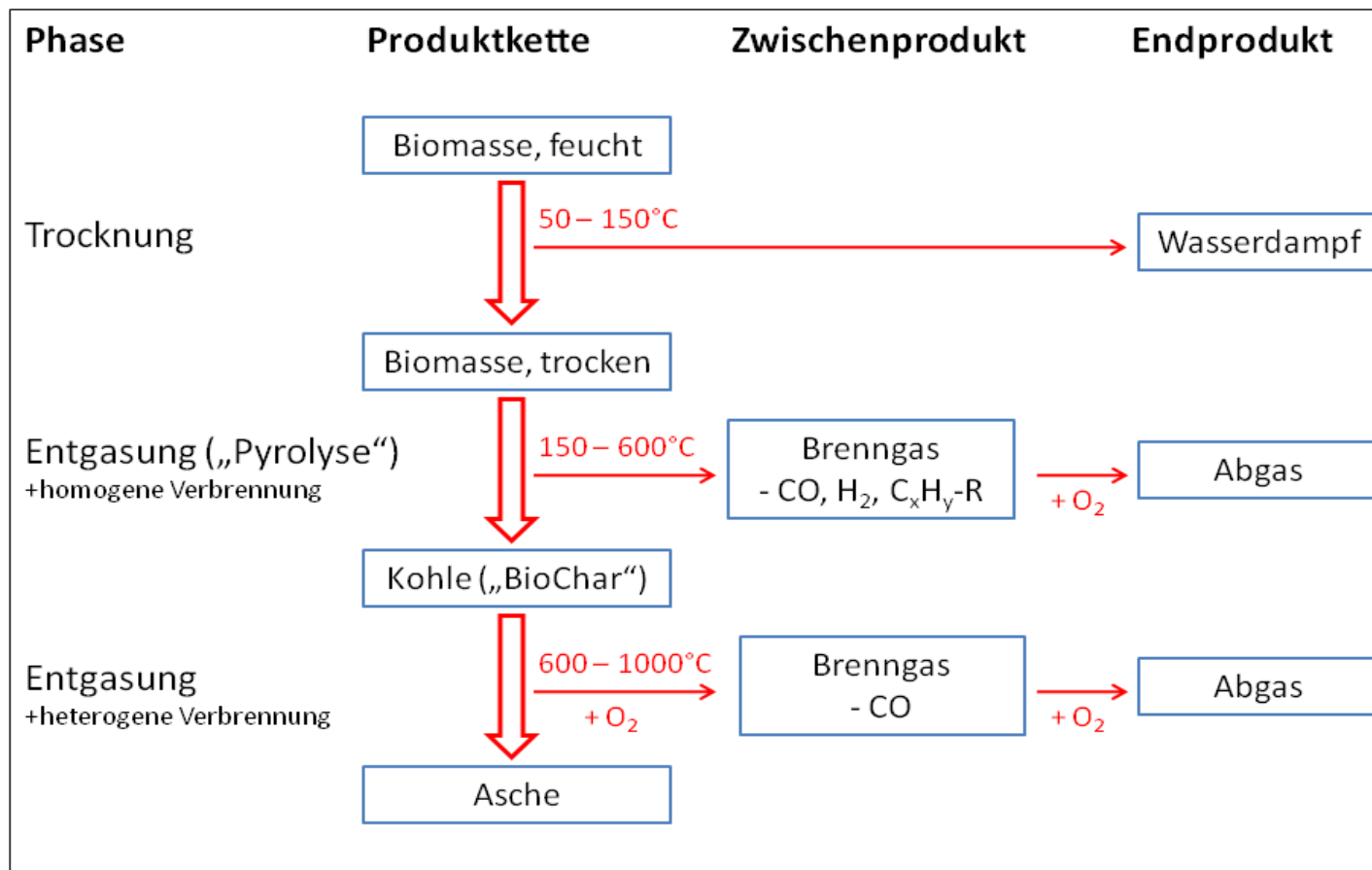
2008 PYREG-Prototyp

Entwicklungsproblematik thermische Reststoffverwertung

- Hoher Aschegehalt → hohe Staubemissionen
- Hoher Gehalt an Stickstoff → hohe NO_x -Emissionen
- Geringe Ascheerweichungstemperatur → Verschlackungsgefahr
- Hohe Brennstofffeuchte → Wärmerezirkulation notwendig
- Dezentrale Anlage kleiner Leistung → kompakter Technikaufwand
- Feuerungstemperatur $1000^\circ\text{C} < t_f < 1200^\circ\text{C}$ → Gasverbrennung



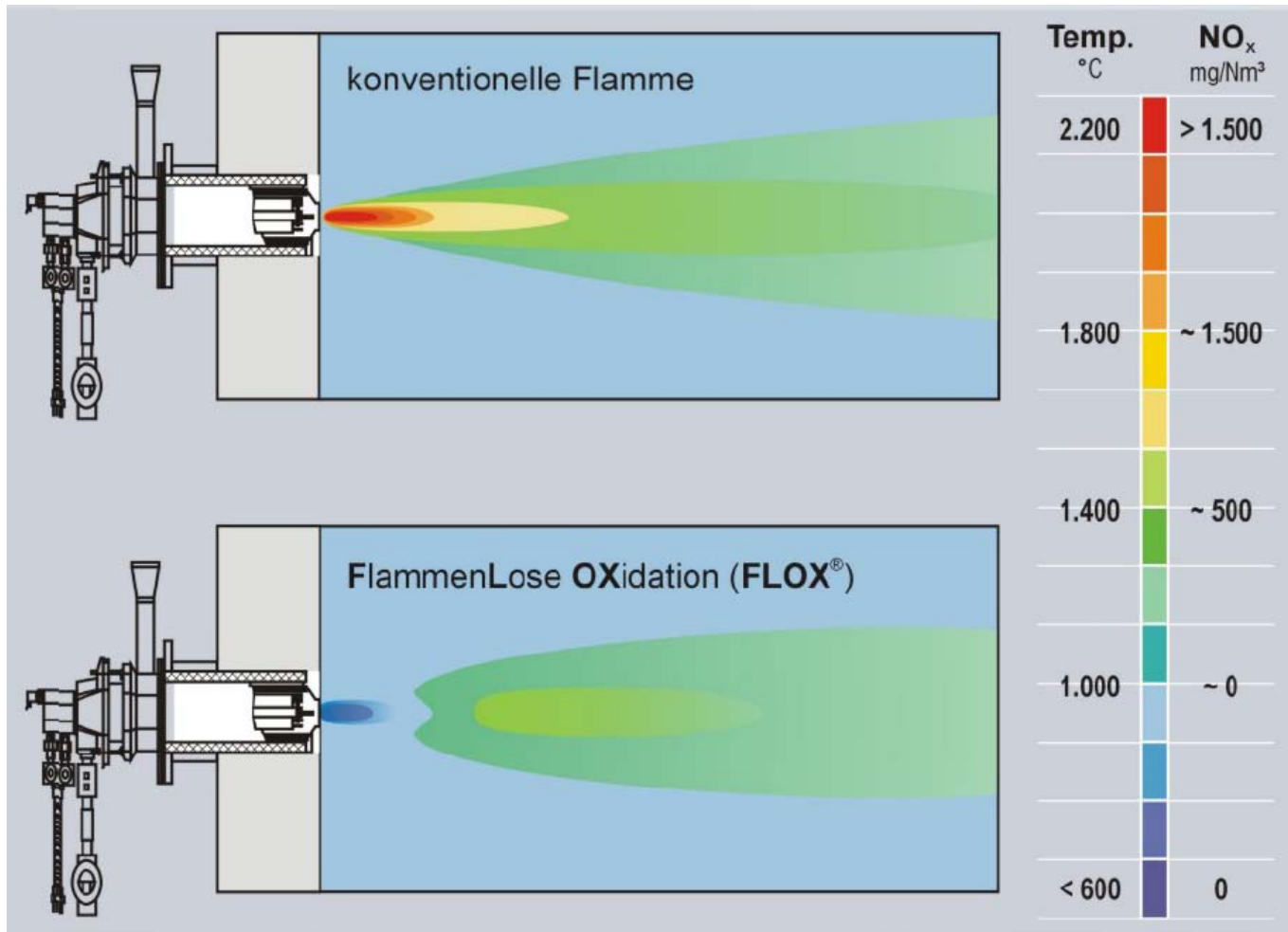
Ablaufkette thermische Biomasseverwertung (Verbrennung)



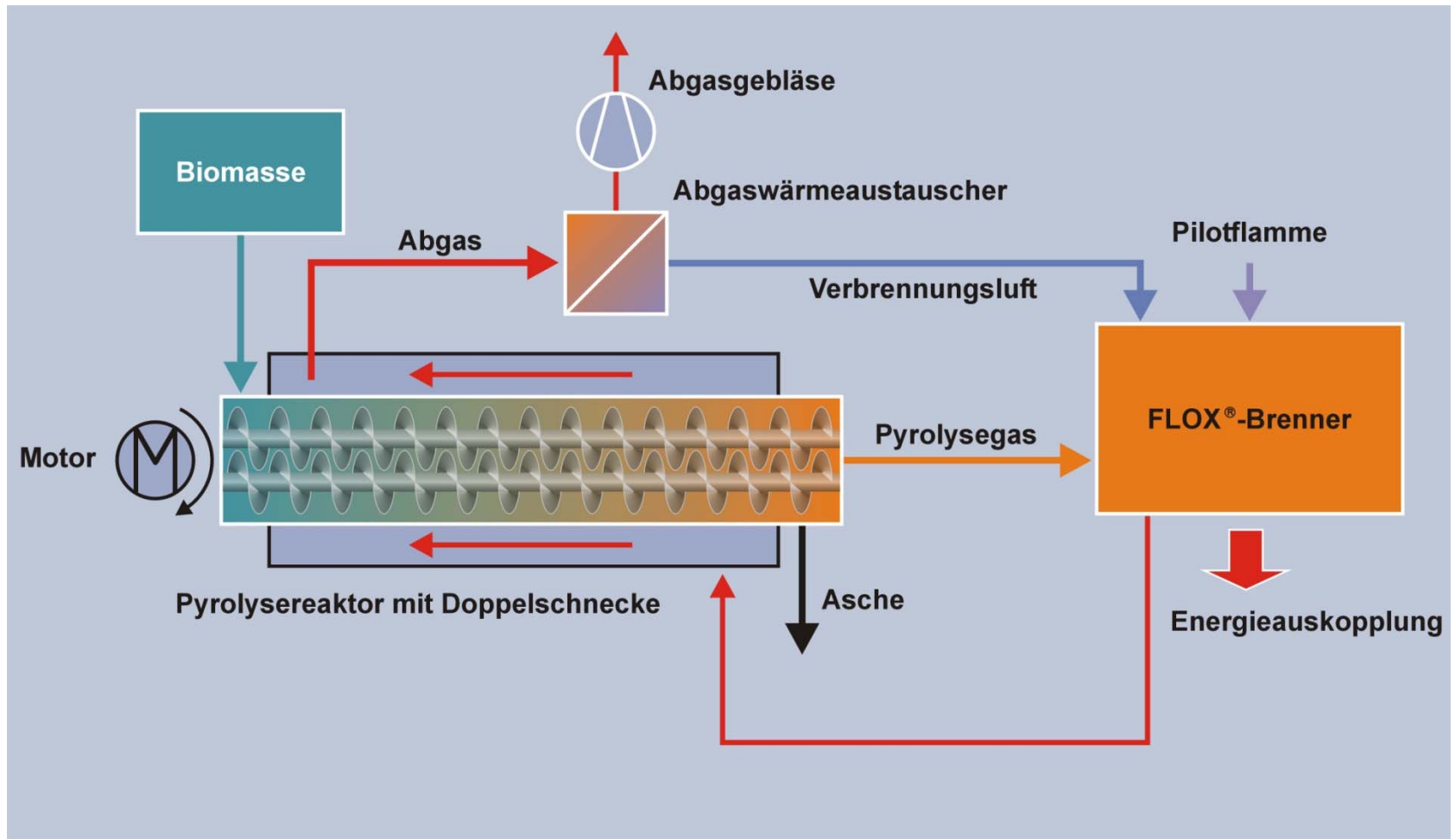
Lösungsansatz

- Pyrolyse des Brennstoffes im selbstreinigenden Doppelschneckenreaktor unterhalb der Ascheerweichungstemperatur (800°C).
- Reduktion der Staubemissionen durch indirekten Ausbrand des Festbrennstoffes (Primärbrennkammer - Gasbrennkammer) bei 1000°C - 1200°C.
- Reduktion brennstoffbedingter NO_x-Emissionen durch Nutzung der Redoxreaktionen in reduzierender Atmosphäre nahe $\lambda=1$ (LEA, Reburning).
- Verbrennungsluftstufung mit Oberluft zur Nachverbrennung von CO (OFA).
- Verhinderung thermischer NO_x-Bildung durch Betrieb der Brennkammer im FLOX[®]-Verfahren (FLOX[®] = Flammlose Oxidation) mit interner Rauchgasrückführung (FGR).

FLOX[®] - Flammlose Oxidation



Anlagenschema



Pilotanlage auf der Kläranlage AVUS Ingelheim



Standort:

Therm. Leistung:

Durchsatz:

Entsorgungsleistung:

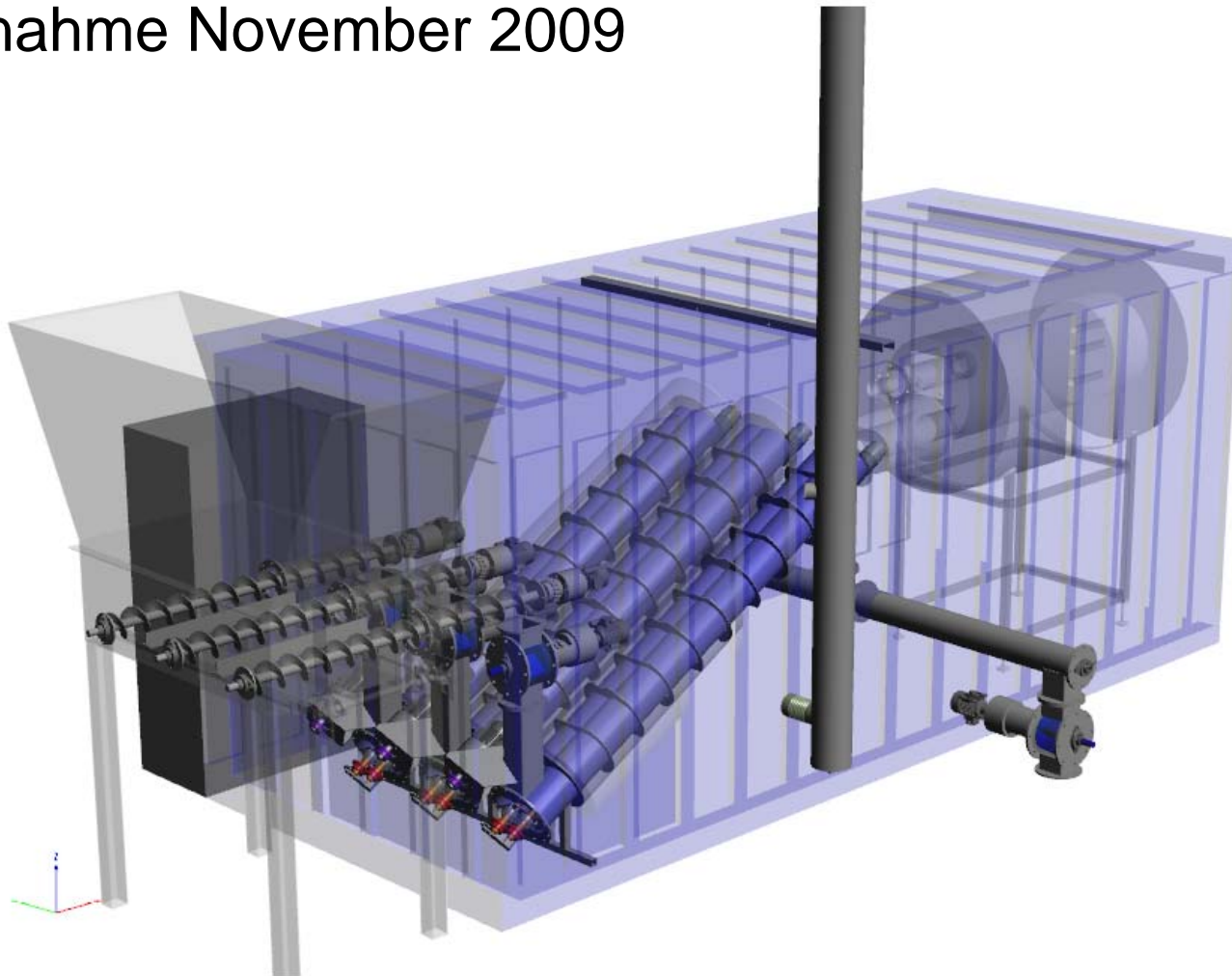
Kläranlage des AVUS, Ingelheim

ca. 100 kW_{th}

ca. 40 kg/h (TS), 300 t/a (TS)

15.000 EW (Klärschlamm)

0,5 MW-Anlage, 120 kg/h (Tr) Grünschnitt
Inbetriebnahme November 2009



Forschungsverbund **PYREG**-Reaktor

„Schliessung von Stoffkreisläufen“, UBA Dessau, 19.–20.11.2009

Dipl.-Ing. H. Gerber, Projektkoordinator



Ergebnisse der Einstufungsmessung Abgasemission

<i>Emissionen (in mg/m³_{norm})</i>	<i>Messwert</i>	<i>Grenzwert 1. BImSchV</i>
Gesamt-C (org. Stoffe)	3,8	-
NO _x als NO ₂	140,6	-
CO	20,3	1000
Dioxine/Furane	0,000000013	-
Benzo(a)pyren	<0,00004	-
Gesamtstaub	28,4	150

*(Tagesmittelwerte, Bezugssauerstoffgehalt 11%, Messung vom 31.03. – 02.04.2009,
Brennstoff Klärschlamm AVUS+Böhringer Ingelheim, Messung Fa. Wessling Umweltanalytik)*

Grenzwerte 1. BImSchV, 4. BImSchV, TA Luft

Anlagengröße	relevante	Bezugs-	Emissionsgrenzwerte				
	Vorschrift	sauerstoff	CO	Staub	Ges.-C	NO _x	SO ₂
		Vol. %	g/m ³ _n	mg/m ³ _n	mg/m ³ _n	mg/m ³ _n	g/m ³ _n
Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von unbehandeltem Holz							
< 15 kW			keine Emissionsbeschränkungen				
15 - 50 kW	1.BImSchV	13	4	150	-	-	-
50 - 150 kW	1.BImSchV	13	2	150	-	-	-
150 - 500 kW	1.BImSchV	13	1	150	-	-	-
500 - 1000 kW	1.BImSchV	13	0,5	150	-	-	-
1 - 2,5 MW	TA-Luft	11	0,15	100	10	250	2,0
2,5 - 5 MW	TA-Luft	11	0,15	50	10	250	2,0
5 - 50 MW	TA-Luft	11	0,15	20	10	250	2,0
Besondere Regelung beim Einsatz von Stroh und ähnlichem pflanzlichen Material							
< 15 kW			kein Einsatz von Halmgut erlaubt				
15 - 100 kW	1.BImSchV	13	4	150	-	-	-
100 - 1000 kW	TA-Luft	11	0,25	50	50	500	2,0
1 - 50 MW	TA-Luft	11	0,25	20	50	400	2,0

Reststoffanalyse Asche

- | | |
|--|------------------|
| - Polychlorierte Biphenyle (PCB) | <0,01 mg/kg (TS) |
| - Halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) | <0,01 mg/kg (TS) |
| - Aromaten: Benzol, Toluol, Xylol und Ethylbenzol (BTXE) | <0,1 mg/kg (TS) |
| - Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) | 0,65 mg/kg (TS) |

(Analyse vom 03.07.2008 Analyse Fa. CLD Kaiserslautern, Brennstoff Klärschlamm AVUS+Böhringer Ingelheim,)

➤ Die Asche entspricht der Düngemittelverordnung und ist als organischer NPK-Dünger deklarierbar (0,15 - 8,5 – 0,8)



Reststoff aus pflanzl. Biomasse

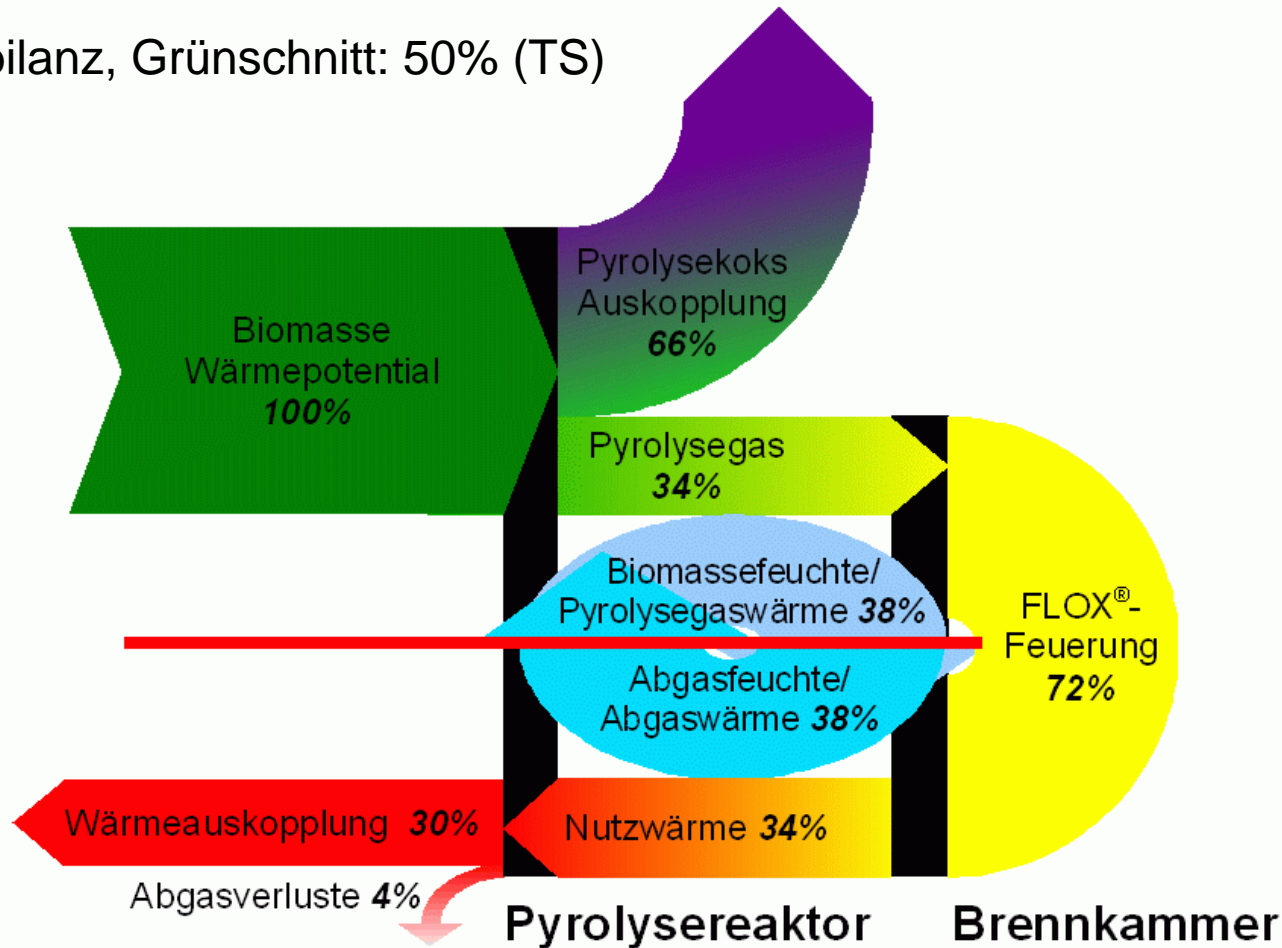


Reststoff aus Klärschlamm

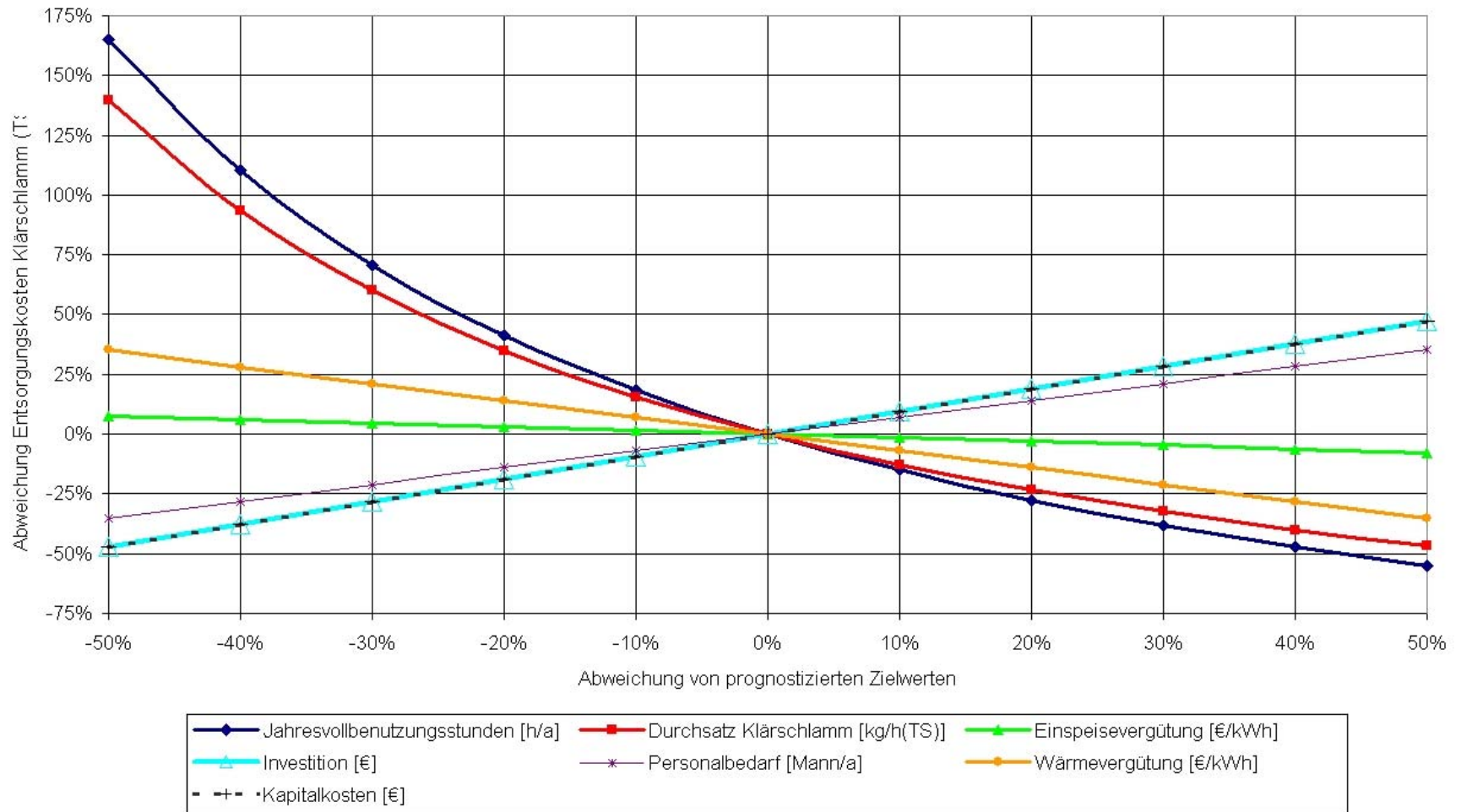
PYREG Sequestrierungspotential Grünschnitt

Nr.	Bezeichnung Arbeitsschritt	PYREG CO ₂ -Emission in kg CO ₂ / t Grüngut (tr)
1.	Bereitstellung, Ernte	2,4
2.	Transport zur Grüngutannahmestelle	2,6
3.	Aufbereitung durch Häcksler	9,4
4.	Eigenverbrauch, Bereitstellung Abwärme	1281 (C-Effizienz: 60%)
5.	Elektrischer Eigenverbrauch	31
6.	Transport zum Landwirt	1,2
7.	Ausbringen durch Landwirt	3
A	Summe CO ₂ -Aufwand	1.330
B	CO ₂ -Einlagerung Grüngut in der Wachstumsphase	1.830
C	CO ₂ -Sequestrierung pro Tonne Grüngut	500

Energiebilanz, Grünschnitt: 50% (TS)



Sensitivitätsanalyse Klärschlammpyrolyse-BHKW



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Kontakt

PYREG GmbH

Dipl.-Ing. Helmut Gerber
Schloßstrasse 2
55490 Gemünden

Tel.: 06721.688990
Web: www.pyreg.de
mail: info@pyreg.de

Rentabilität *PYREG* Grüngutentsorgung

Invest	PYREG-Anlage 500 kW			300.000,00	€
Kosten-Kapital				28.080,00	€/a
	15 Jahre Abschreibung, Zinssatz 5%	28.080,00	€/a		
Kosten-Betrieb				13.000,00	€/a
	Versicherung, Verwaltung	3.000,00	€/a		
	Wartung (0,5 h/Arbeitstag, Mechaniker)	5.000,00	€/a		
	Reparaturen	5.000,00	€/a		
Kosten-Verbrauch				2.100,00	€/a
	Stromkosten, 0,15 €/kWh, 8000h/a, P=1,5 kW	1.800,00	€/a		
	Gaskosten 333kg/a Propan	300,00	€/a		
Gesamtkosten				43.180,00	€/a
Erträge				117.400,00	€/a
	BioChar-Ertrag, 340 t/a, 150 €/t	51.000,00			
	Wärmeertrag, 166 kW, 0,05 €/kWh, 8000h/a	66.400,00			
Jahresbilanz			+	74.220,00	€/a