

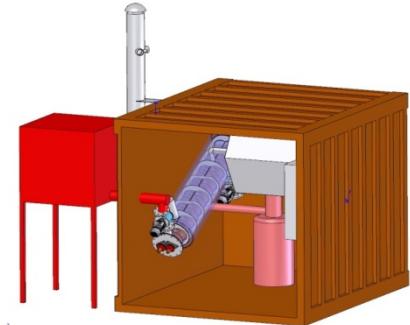
# Dezentrale CO<sub>2</sub>-negative energetische Verwertung von land- und forstwirtschaftlichen Produktionsreststoffen

## PYREG Forschungsverbund

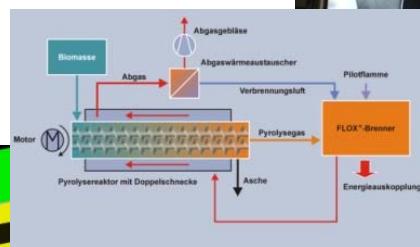


FH Bingen, ITB gGmbH	Prof. Dr.-Ing. W. Sehn	→ Wissenschaftliche Begleitung
Universität Dortmund	Prof. Dr.-Ing. A. Brümmer	→ KWK-Dampfprozess
Universität Bayreuth	PD Dr. B. Glaser	→ Bodenphysik
E-flox GmbH	Dr.-Ing. R. Berger	→ Brennerentwicklung
IG Dr. Siekmann+Partner mbH	Dr. K. Siekmann	→ Implementierung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

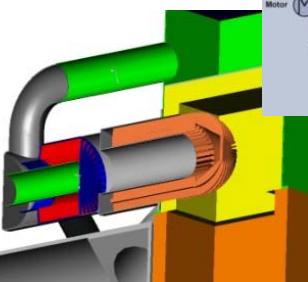
# Entwicklungsschritte PYREG-Reaktor



2008 *PYREG*-Prototyp



2005 Reaktorentwicklung



2004 Holzpellet Stirling



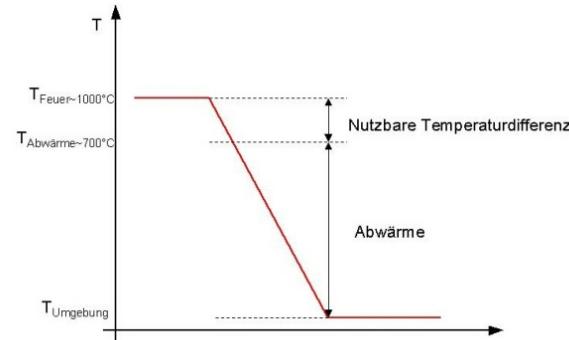
2001 Holz-Stirling BHKW



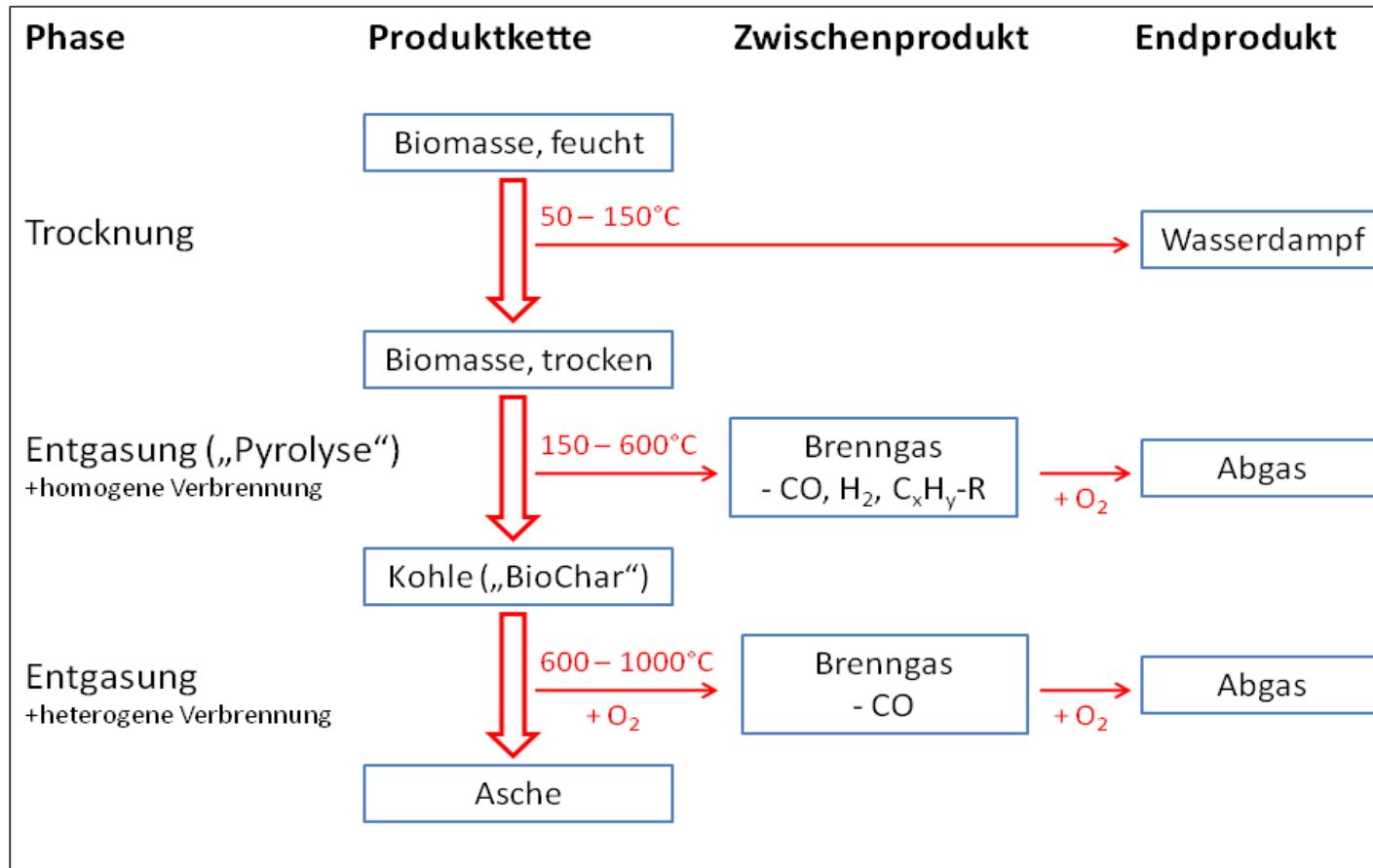
1999 Holzvergaser BHKW

## Entwicklungsproblematik thermische Reststoffverwertung

- Hoher Aschegehalt → hohe Staubemissionen
- Hoher Gehalt an Stickstoff → hohe  $\text{NO}_x$ -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



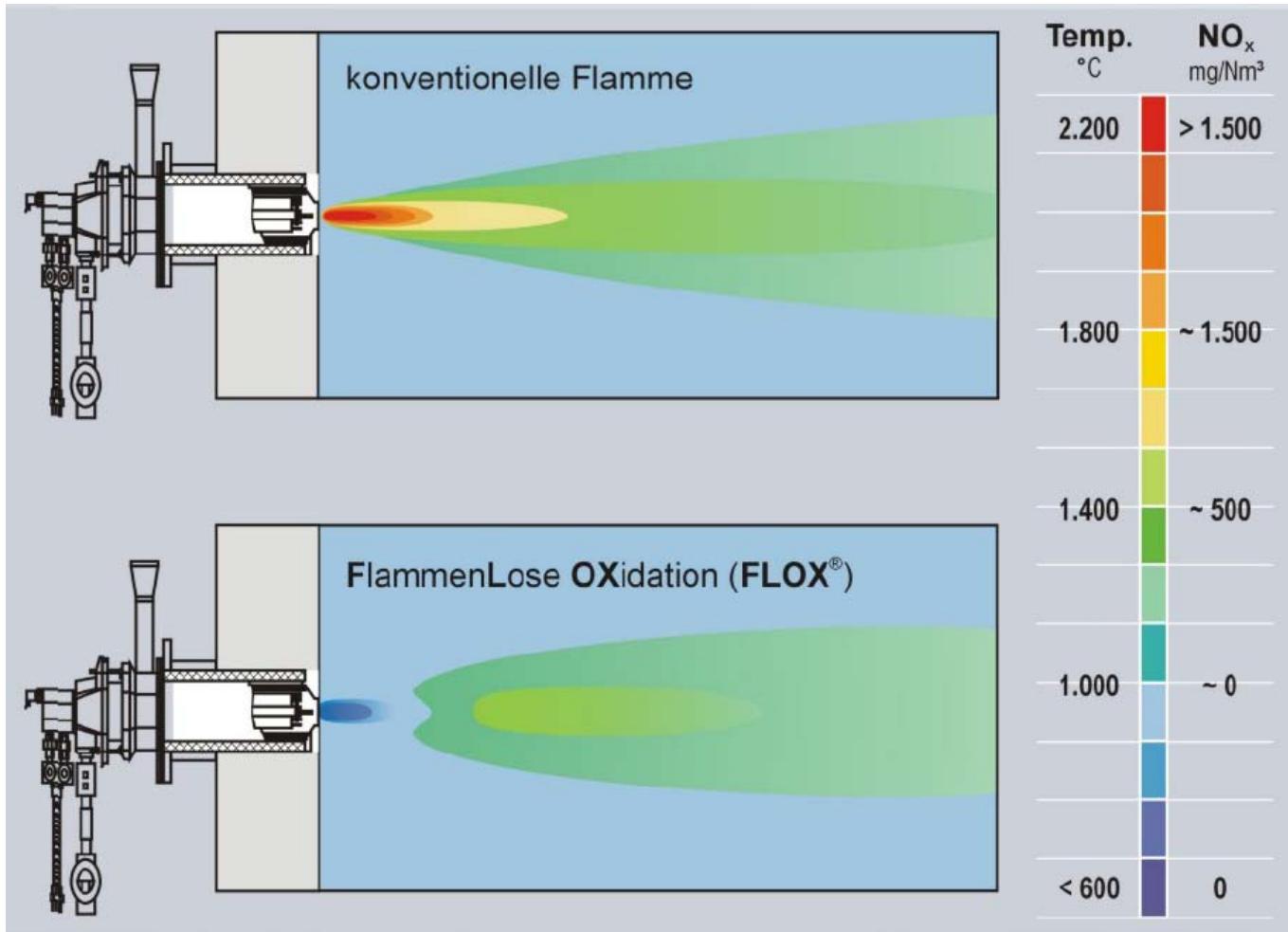
## Ablaufkette thermische Biomasseverwertung (Verbrennung)



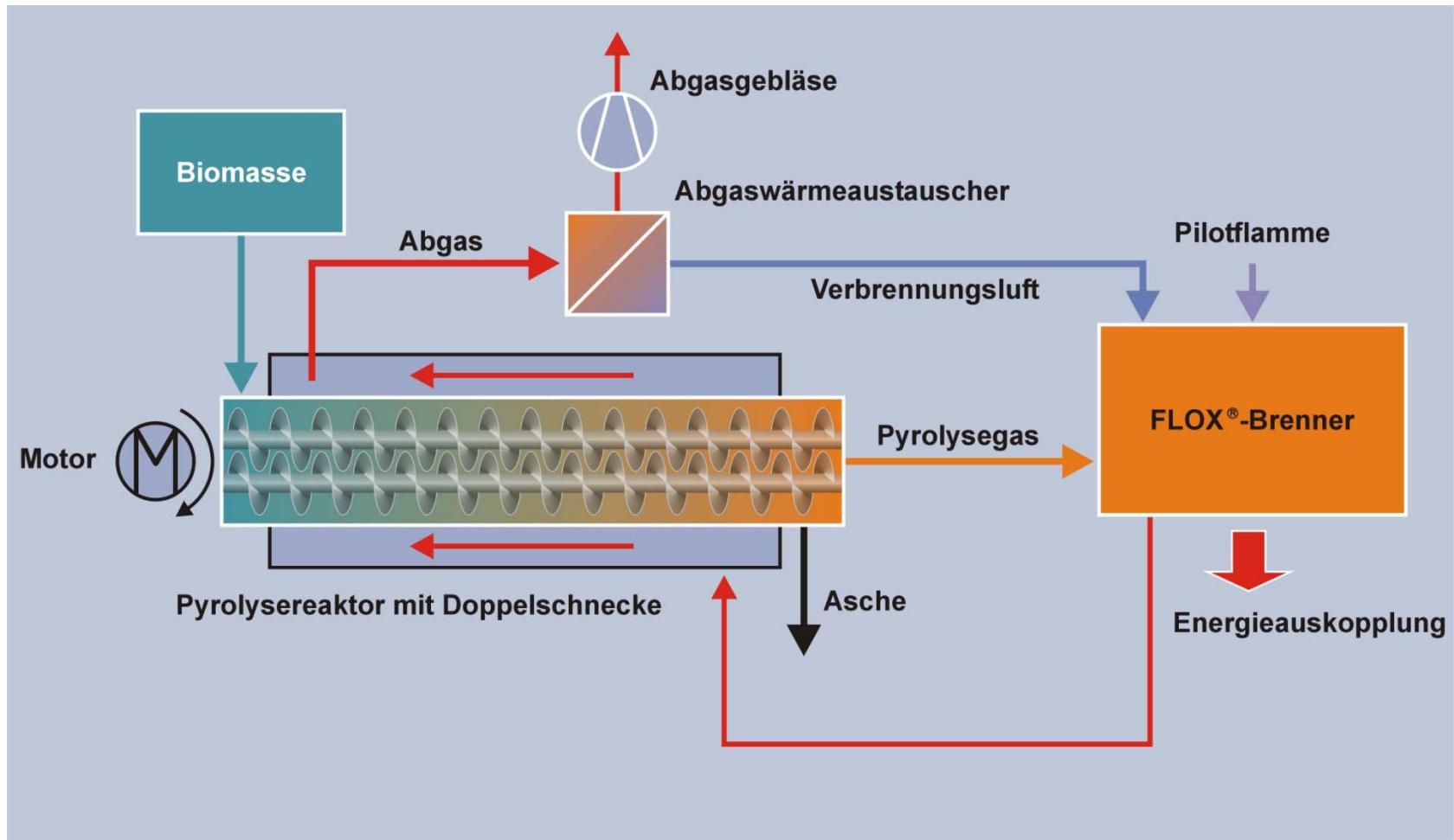
## Lösungsansatz

- 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<sub>x</sub>-Emissionen durch Nutzung der Redoxreaktionen in reduzierender Atmosphäre nahe  $\lambda=1$  (LEA, Reburning).
- Verbrennungsluftstufung mit Oberluft zur Nachverbrennung von CO (OFA).
- Verhinderung thermischer NO<sub>x</sub>-Bildung durch Betrieb der Brennkammer im FLOX®-Verfahren (FLOX® = Flammlose Oxidation) mit interner Rauchgasrückführung (FGR).

## FLOX® - Flammlose Oxidation



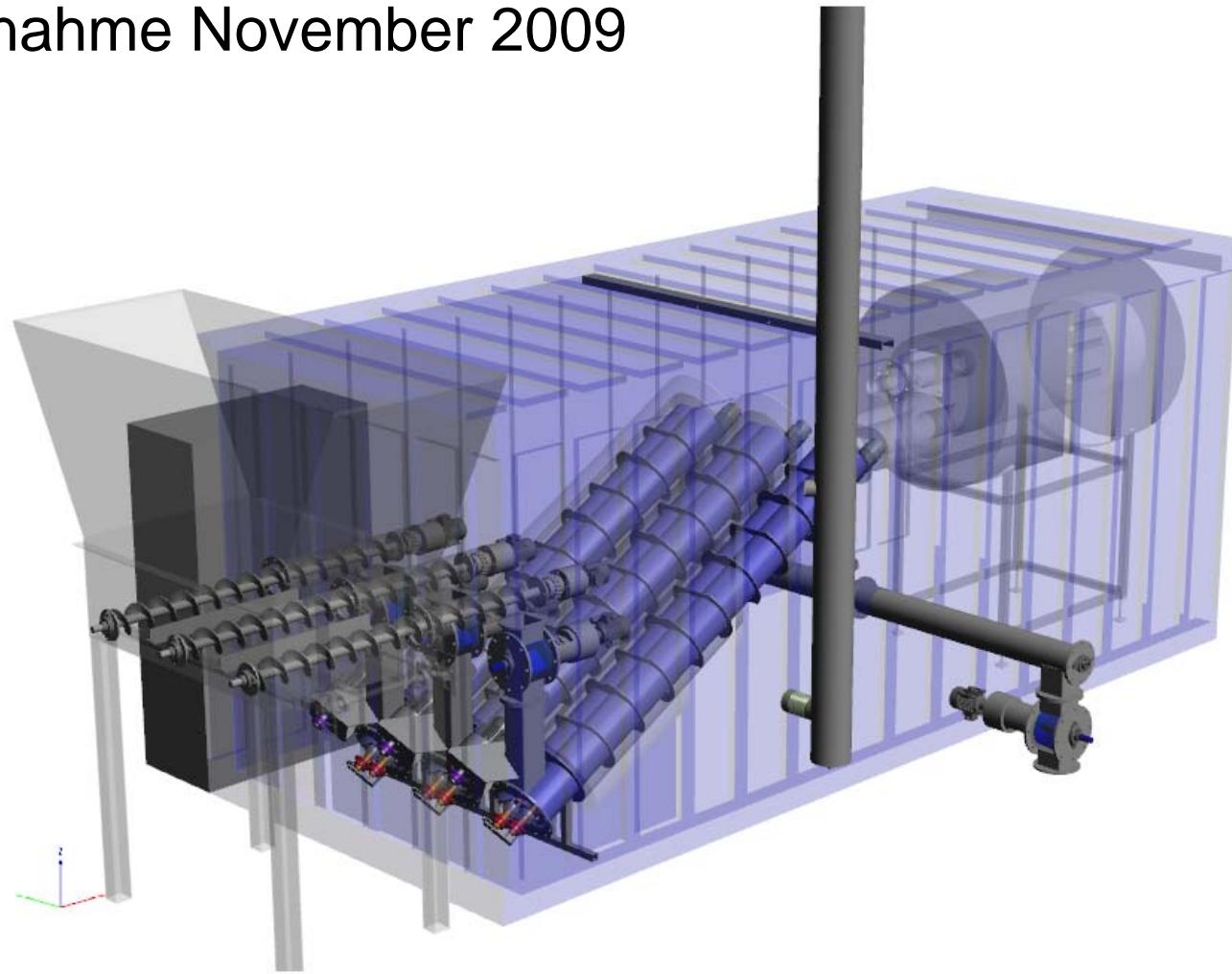
## Anlagenschema



## Pilotanlage auf der Kläranlage AVUS Ingelheim



## 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

**PYREG**  
GmbH



## Ergebnisse der Einstufungsmessung Abgasemission

<b>Emissionen (in mg/m<sup>3</sup><sub>norm</sub>)</b>	<b>Messwert</b>	<b>Grenzwert 1. BImSchV</b>
Gesamt-C (org. Stoffe)	3,8	-
NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub>	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 Vorschrift	Bezugs- sauerstoff Vol. %	Emissionsgrenzwerte				
			CO g/m <sup>3</sup> n	Staub mg/m <sup>3</sup> n	Ges.-C mg/m <sup>3</sup> n	NO <sub>x</sub> mg/m <sup>3</sup> n	SO <sub>2</sub> g/m <sup>3</sup> 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
<b>Besondere Regelung beim Einsatz von Stroh und ähnlichen pflanzlichen Material</b>							
< 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

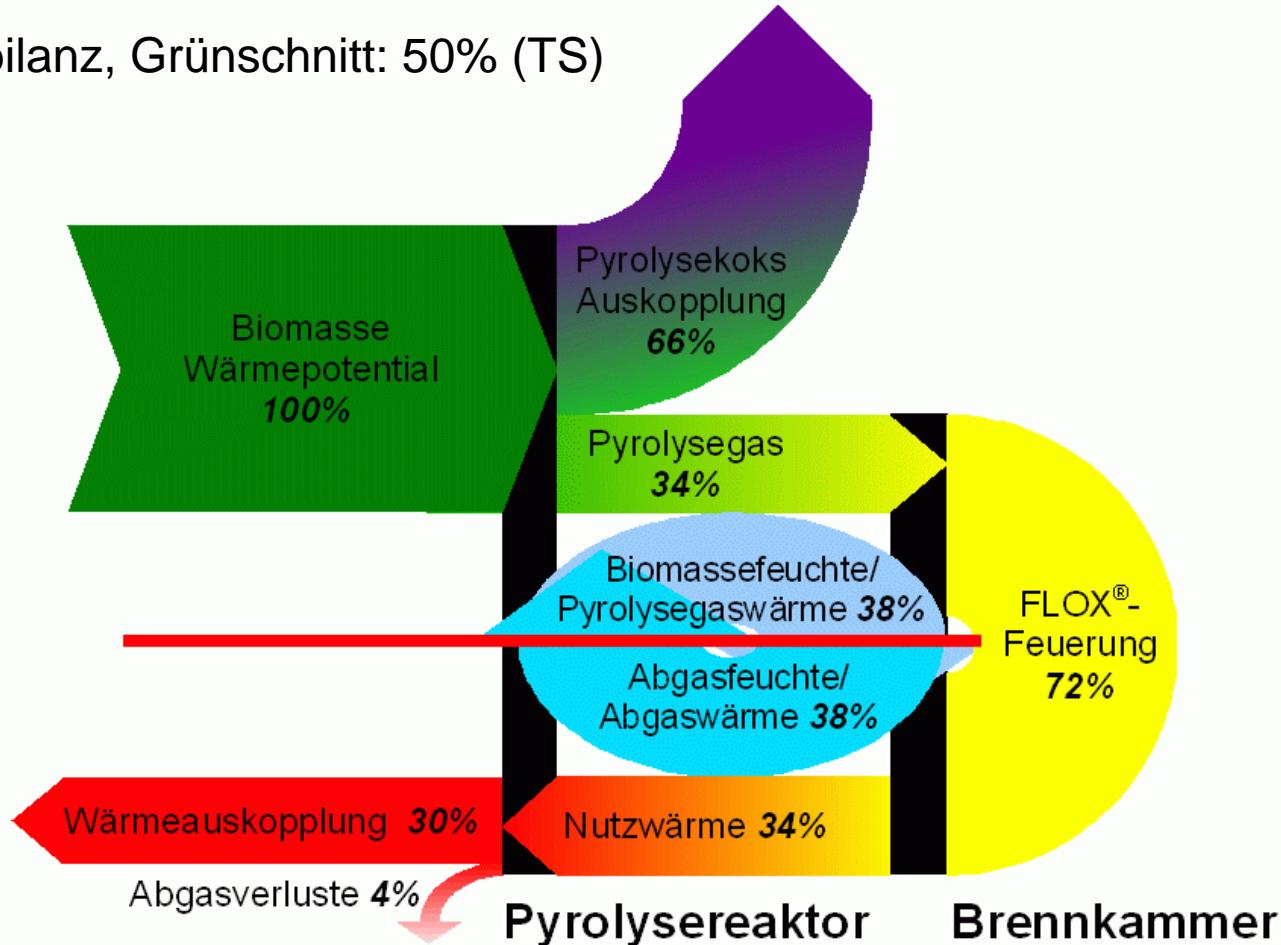


Reststoff aus Klärschlamm

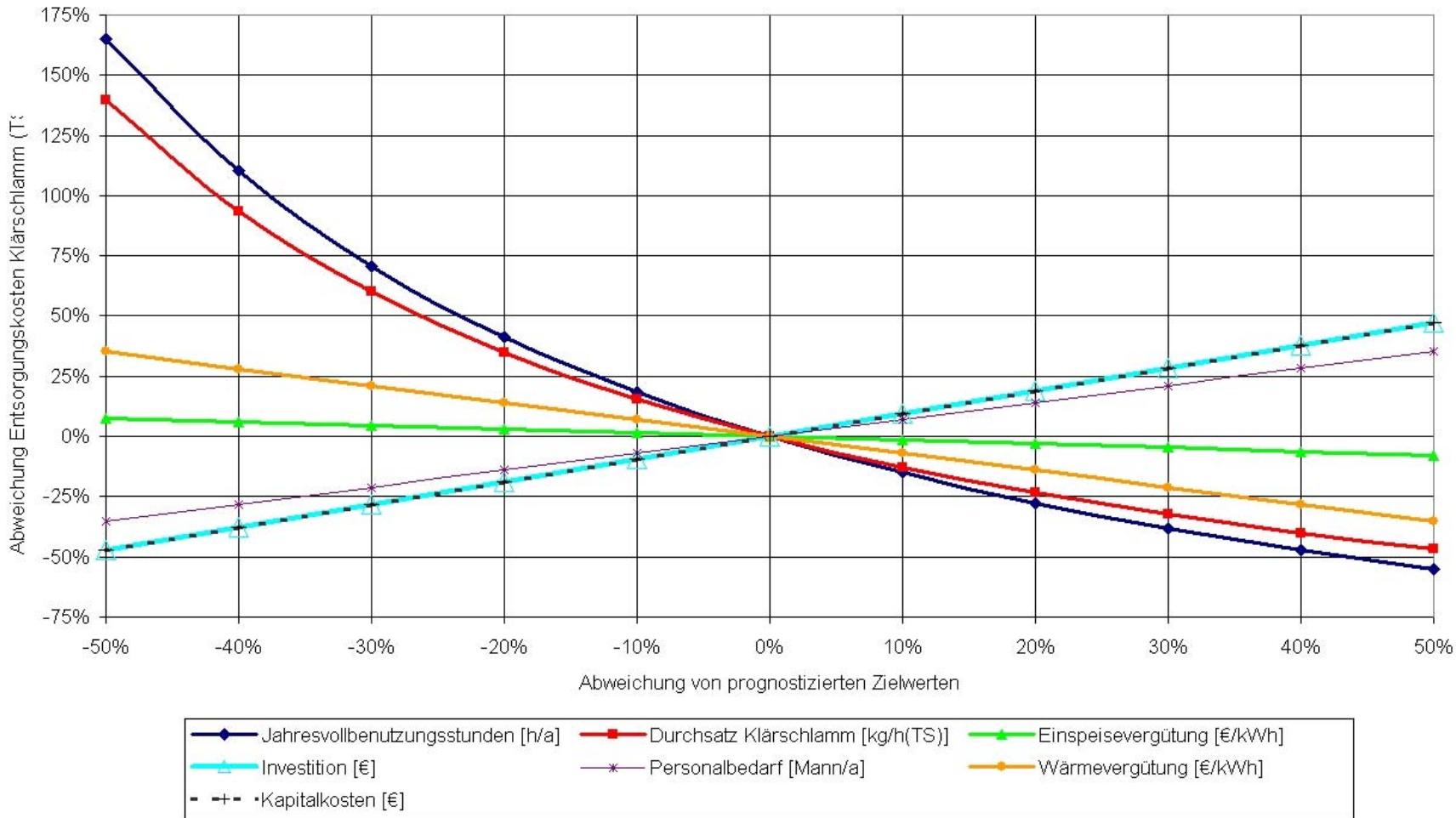
## **PYREG Sequestrierungspotential Grünschnitt**

<b>Nr.</b>	<b>Bezeichnung Arbeitsschritt</b>	<b>PYREG CO<sub>2</sub>-Emission in kg CO<sub>2</sub> / t Grüngut (tr)</b>
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 <sub>2</sub> -Aufwand	1.330
B	CO <sub>2</sub> -Einlagerung Grüngut in der Wachstumsphase	1.830
C	CO <sub>2</sub> -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](http://www.pyreg.de)  
mail: [info@pyreg.de](mailto:info@pyreg.de)

## Rentabilität *PYREG* Grünwertentsorgung

<b>Invest</b>	PYREG-Anlage 500 kW	300.000,00	€
<b>Kosten-Kapital</b>		28.080,00	€/a
	15 Jahre Abschreibung, Zinssatz 5%	28.080,00	€/a
<b>Kosten-Betrieb</b>		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
<b>Kosten-Verbrauch</b>		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
<b>Gesamtkosten</b>		43.180,00	€/a
<b>Erträge</b>		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	
<b>Jahresbilanz</b>		+ 74.220,00	€/a