

# Forscherguppe ThiWertBioMobil

Mobilisierung der Biomassenutzung aus sekundären Rohstoffquellen  
in Thüringen



Recy & DepoTech 2022 Montanuniversität Leoben (Österreich) 09. - 11. November

# Gliederung



Hintergrund



TP 1 – Automatisierte Sortierung der Altholzklassen



TP 2 – Entfernung von Störstoffen aus dem Bioabfall



TP 3 – Karbonisierung und Nutzung der Pyrolysekohle



TP 4 – Wirkung der Pyrolysekohle auf Biogaserzeugung

# ThiWert – Standort und Partner

<p><b>Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH (IAB)</b> Herr Dr.-Ing. U. Palzer</p>	<p><b>Hochschule Nordhausen (HSN)</b> Frau Prof. Dr. A. Ruff</p>	<p><b>Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is)</b> Herr Prof. Dr.-Ing. E. Kraft</p>
---	--	--

Lenkungsgruppe	
Gemeinsame Öffentlichkeitsarbeit	

**Weitere Partner aus Industrie und Forschung in Thüringen**

Kooperation innerhalb der Fachthemen

 <p>Baustoffrecycling Alternative Baustoffe</p>	 <p>Gipsrecycling/ Gipsersatzstoffe</p>	 <p>Bioressourcenmanagement</p>	 <p>Elektroaltgeräte, Batterien, Kunststoffe und Probennahme</p>
--	--	---	---

Gemeinsame Durchführung von Projekten



# Mitarbeitende ThiWertBioMobil



Prof. Ariane Ruff



Dr. Christian Borowski



David Gaeckle, M. Sc.



Dipl.-Ing. (FH) M. Pieplow



Martin Miethlau, B. Eng.



Andreas Glimm, M. Eng.

# Projektpartner und Beirat ThiWertBioMobil

## Projektpartner:



Prof. Ariane Ruff

Bauhaus-Universität  
Weimar

Prof. Eckhard Kraft

## Industriebeirat:



Oliver Lambertz



Thomas Mund



Marco Schmidt



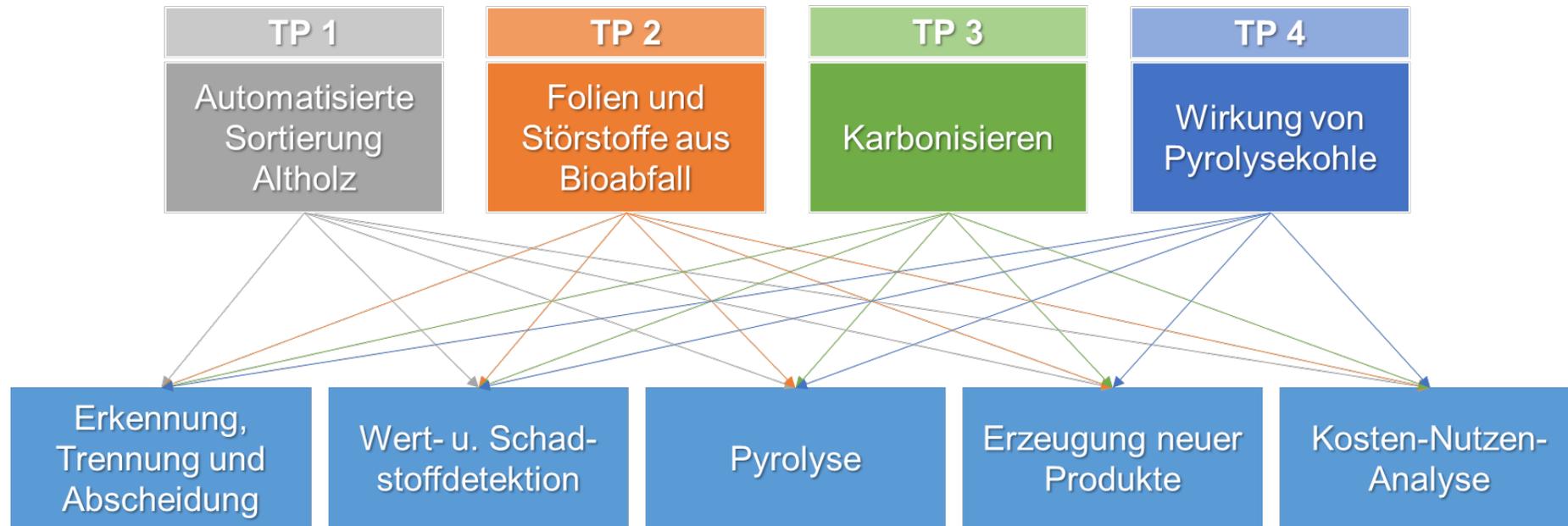
Martin Kaufmann



Marcel Keilholz

# Projektübersicht ThiWertBioMobil

Mobilisierung der Biomassenutzung aus sekundären Rohstoffquellen in Thüringen



Laufzeit: 01.01.2021 bis 31.12.2022

# Hintergrund: Nutzung energetisch vs. stofflich

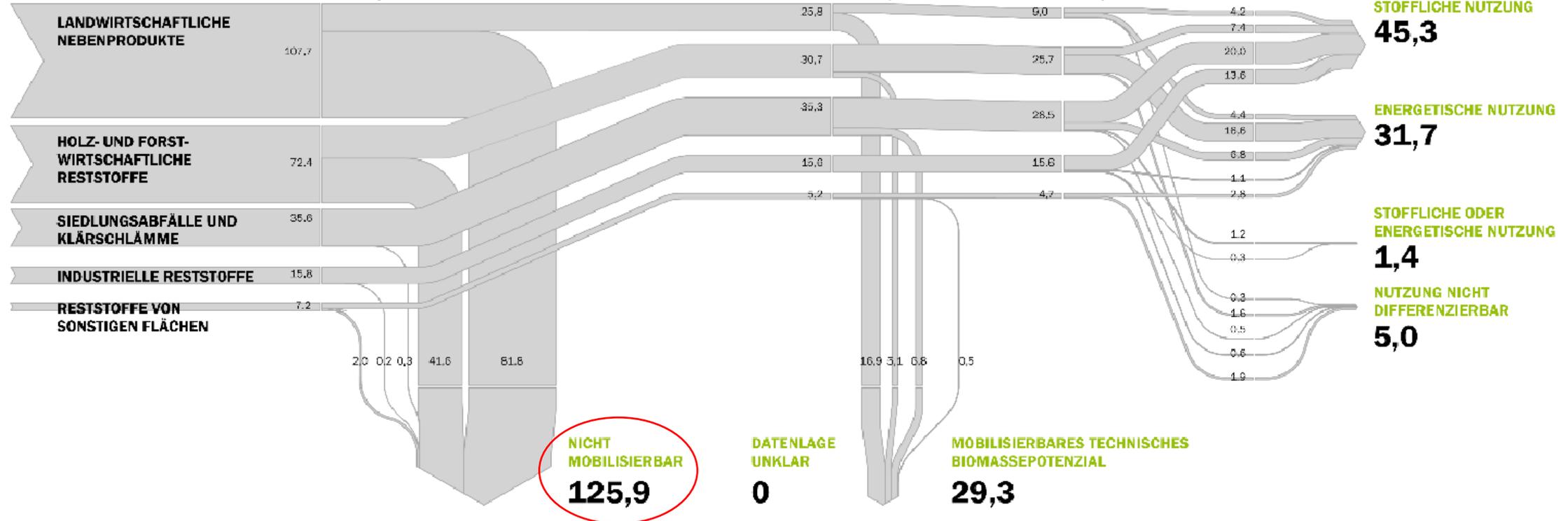
## BIOGENE RESTSTOFFE IN DEUTSCHLAND MITTELWERTE

Jahr 2015  
Einheit Mio. t TM  
Einzelbiomassen 77

**THEORETISCHES  
BIOMASSEPOTENZIAL  
238,6**

**TECHNISCHES  
BIOMASSEPOTENZIAL  
112,7**

**GENUTZTES TECHNISCHES  
BIOMASSEPOTENZIAL  
83,4**



Quelle: DGAW-Positionspapier Biogene Reststoffe – ein wesentlicher Stoffstrom für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie, 2021; DBFZ Ressourcendatenbank, <http://webapp.dbfz.de>.

# TP 1 | Automatisierte Sortierung Altholzklassen



# Zahlen und Fakten Frischholz

## Deutschland

- 25 % Fichte
- 23 % Kiefer
- 19 % Eiche
- 16 % Buche
- 17 % andere Baumarten

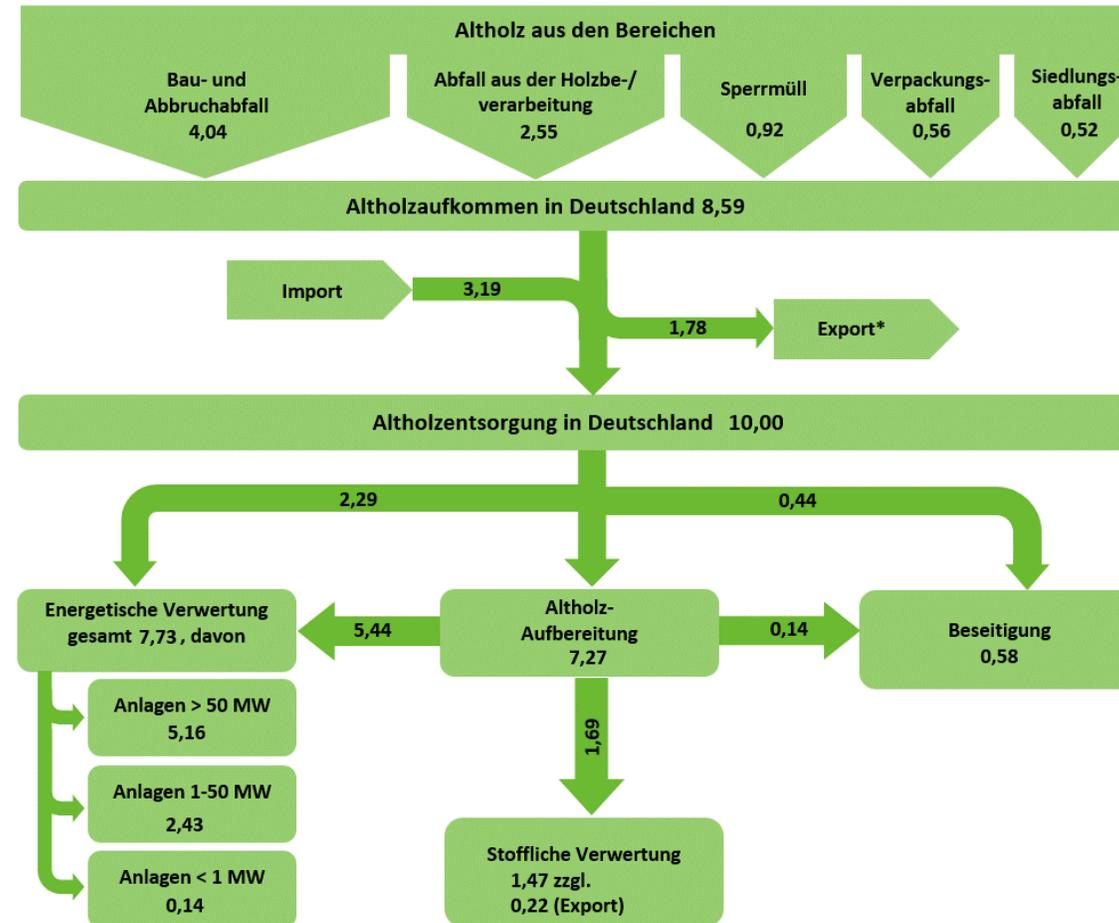
**Lediglich 21 % ohne  
Kronenschaden!**

Quelle: Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft



# Stoffstrom Altholz

**Aufkommen und Entsorgung von Altholz in Deutschland für das Jahr 2016**



\* - inkl. 0,22 aus der Altholzaufbereitung zur stofflichen Verwertung

Angaben in Mio. Mg

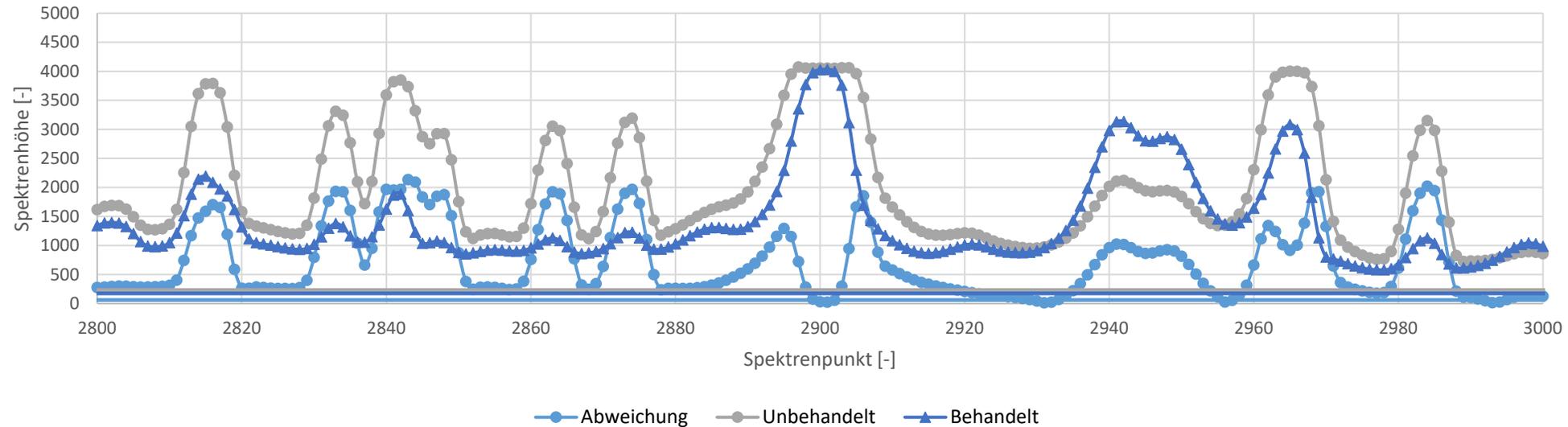
Quelle: Umweltbundesamt - Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung - Abschlussbericht 2020

# Gleitfunkenpektrometer zur Altholzerkennung

- IoSys SSS2 von IoSys - Dr. Timur Seidel e. K.
- Entwickelt zur Analyse von Kunststoffen
- Zusätzliche Elemente-Detektion definierter chemischer Elemente
- Prinzip der Atomemissionspektrometrie
- Analysebereich 214...510 nm Wellenlänge
- $\approx$  6300 Messpunkte



# Spektren - Auswertung



$$\text{Abweichung} = |\phi_{unbehandelt} - \phi_{behandelt}|$$

Ermittlung der Bereiche größter und kleinster Abweichung zur Erkennung von behandeltem und unbehandeltem Altholz gleicher Holzart

# TP2 | Entfernung von Folien und Störstoffen aus Bioabfall

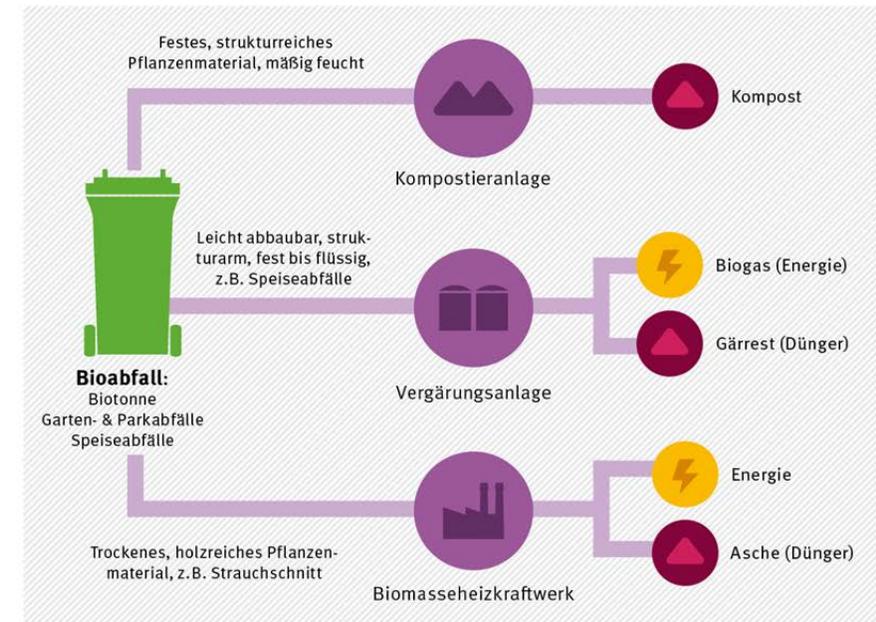


# Problemstellung

## Mögliche Verwertungswege und Störstoffe



Mieten einer Bioabfallkompostierung in Sachsen-Anhalt



Umweltbundesamt, 2021

# Problemstellung

## Input-Grenzwerte nach novellierter Bioabfallverordnung ab 01.05.2025:

Bioabfälle und Materialien in fester Form			
Grenzwerte	Kunststoffanteil $\leq 0,5$ % FM	Kunststoffanteil $> 0,5$ % FM	Störstoffgehalt $> 3$ % FM
Vorbehandlung	Nicht erforderlich	erforderlich	Rückweisung

Bioabfall aus getrennter Sammlung von privaten Haushalten (Biotonne)			
Grenzwerte	Kunststoffanteil $\leq 1$ % FM	Kunststoffanteil $> 1$ % FM	Störstoffgehalt $> 3$ % FM
Vorbehandlung	Nicht erforderlich	erforderlich	Rückweisung

FM – Frischmasse

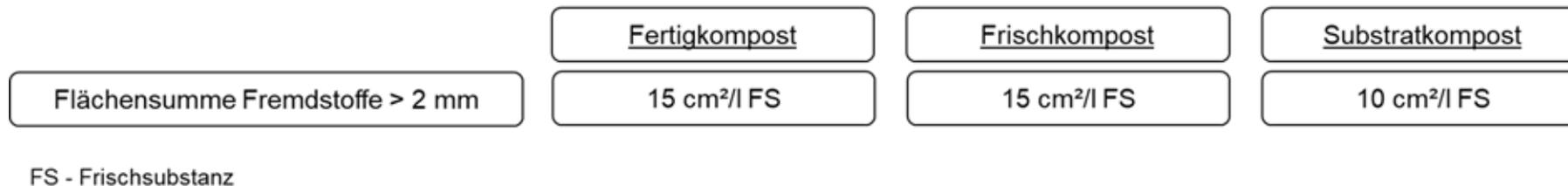
Siebdurchgang  $\leq 20$  mm

# Problemstellung

## Output-Grenzwerte nach Düngemittelverordnung:

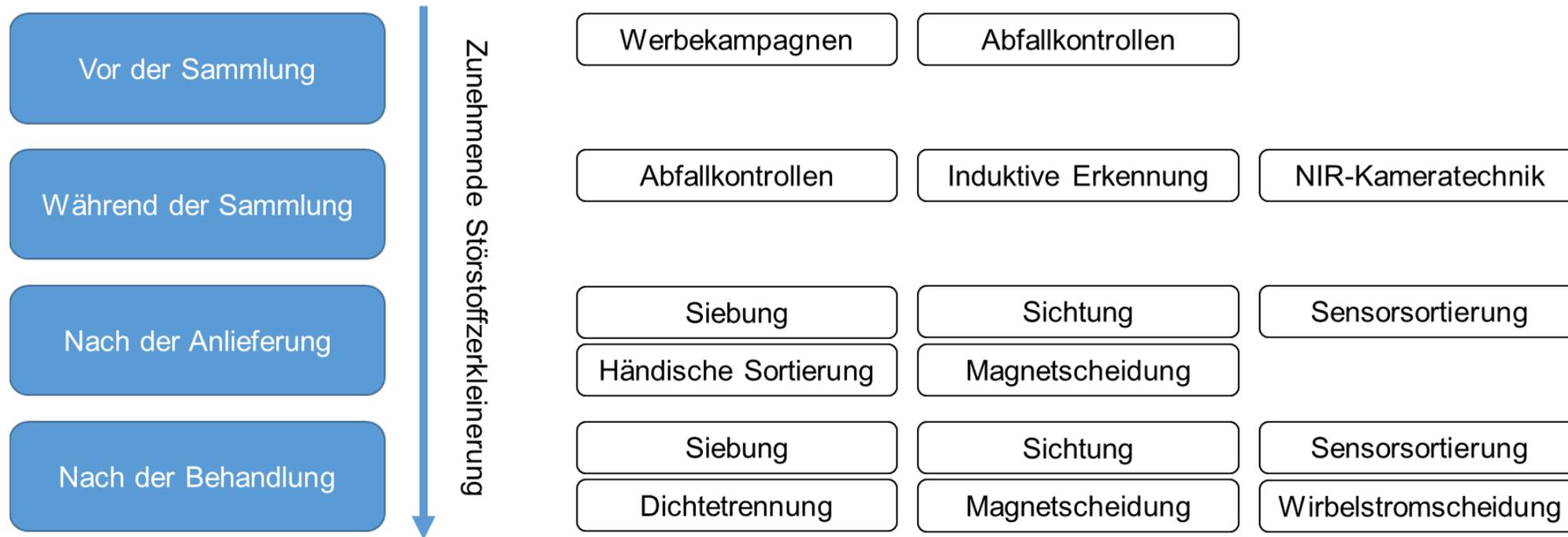


## Qualitätsanforderungen Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.:



# Auswahl geeigneter Verfahren

## Übersicht verschiedener Möglichkeiten zur Störstoffreduktion

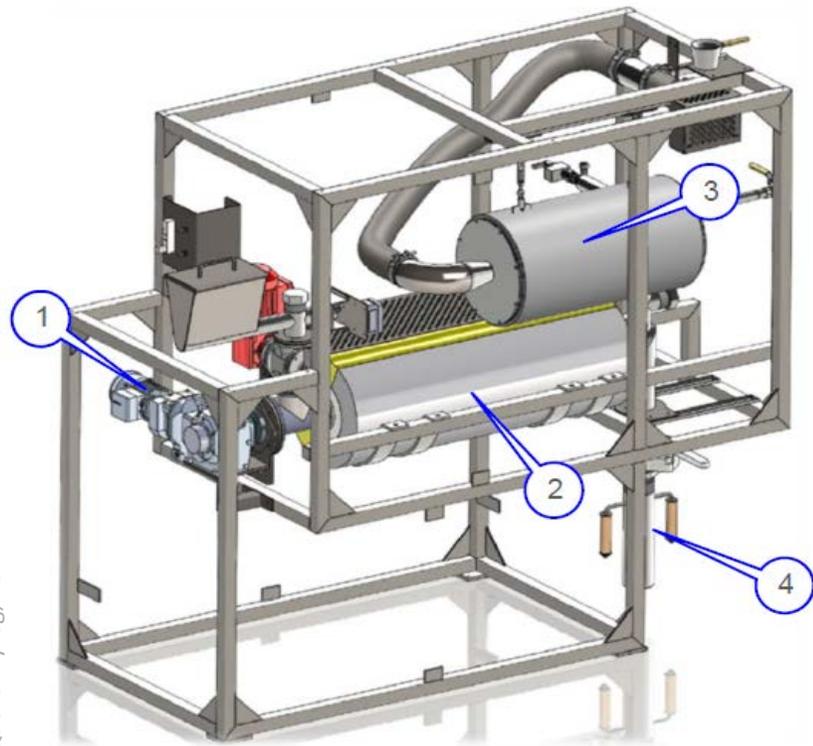


# Handlungsempfehlungen

Handlungsempfehlungen	Adressaten	
	Abfallsammler und zuständige Behörden	Bioabfallaufbereiter
<u>Kurzfristig</u>	Ausweitung von Aufklärungskampagnen	Austausch mit Bioabfallsammler und Behörden
	Durchführung von zufälligen Tonnenkontrollen	Fachgespräche mit Innovatoren im Bereich Bioabfallaufbereitung
<u>Mittelfristig</u>	Integration eines Tonnendetektionssystems bei der Beschaffung neuer Sammelfahrzeuge	Investition in Aufbereitungstechnik
	Sanktionierung von Haushalten mit verschmutzten Bioabfalltonnen	Zusammenschluss mit weiteren Recyclern zu einem "Recyclingring"
<u>Langfristig</u>	Erweiterung der Scantechnologien zur Erfassung der Abfallzusammensetzung	Aufbau eines Netzwerks zur Vermarktung abgeschiedener Fraktionen
	Rückmeldung der Ergebnisse an Bürger	Weiterführung der Technologierecherche Aufbereitungstechnik + Eigenverwertung

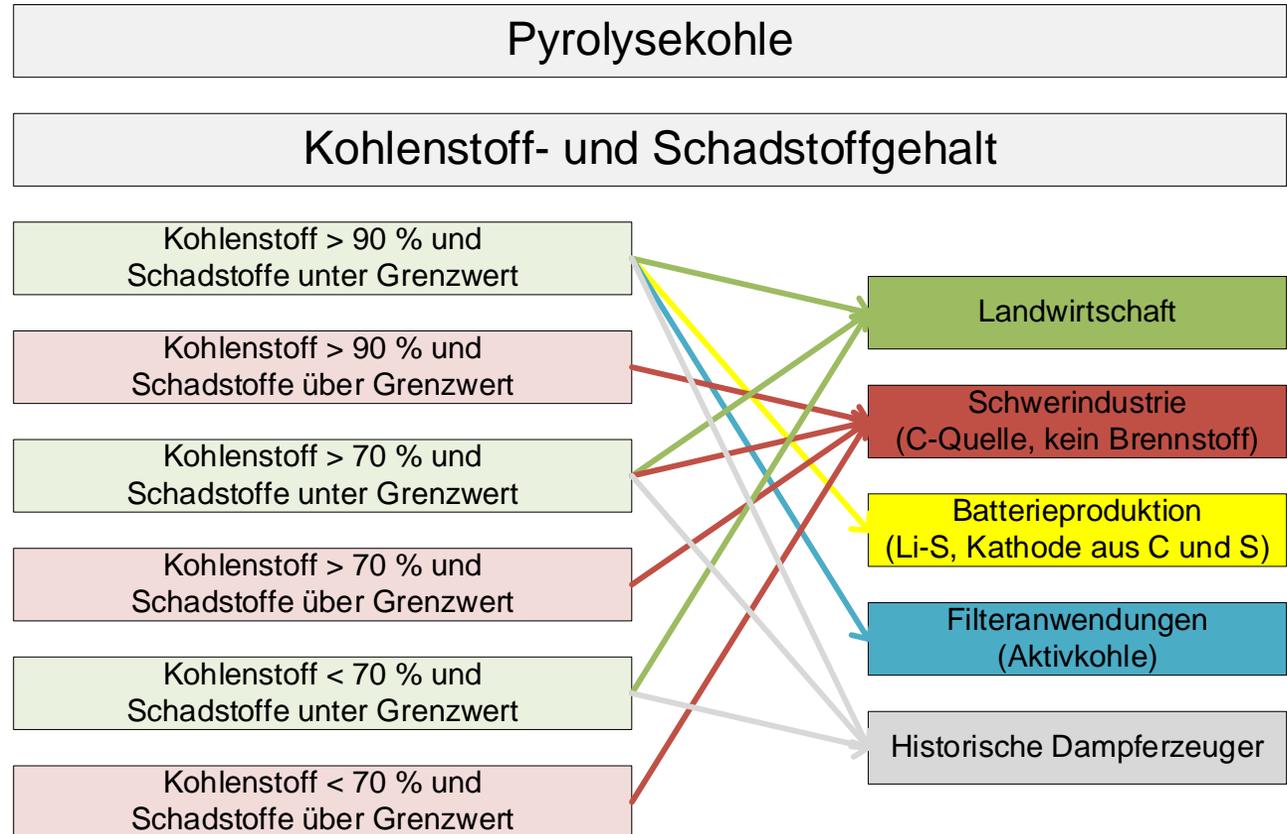
# TP3 | Karbonisierung und Nutzung der Pyrolysekohle

# Aufbau Laborpyrolyseanlage und Nutzung Kohle



Quelle: Pyreg, 2022.

1) Feeder; 2) Reaktor; 3) Abgasbehandlung; 4) Austrag



# Ausgewählte Ergebnisse von Pyrolysaten

Material	Temperatur	Verweilzeit	Dest. Wasser	Stickstoff		C-Gehalt <sup>1</sup>
	[°C]			[l/h] <sup>2</sup>	[l/min] <sup>2</sup>	
<b>Altholz Kl. I</b>	350	13	0,0	1,5	2,5	72,3
	600	30	0,0	1,5	2,5	87,8
	600	13	0,0	1,5	2,5	86,1
	850	13	1,5	1,5	2,5	87,8
<b>Altholz Kl. II</b>	400	13	0,0	2,5	2,5	77,4
	500	13	0,0	2,5	2,5	83,6
	700	13	0,0	2,5	2,5	88,3
	800	13	0,0	2,5	2,5	88,8
<b>Pferdemist</b>	350	26	1,5	1,5	2,5	26,3
	450	30	3,0	2,5	3,0	23,9
	450	26	1,5	1,5	2,5	25
	550	26	1,5	1,5	2,5	25,4
	650	30	3,0	2,5	3,0	19,5
	650	26	1,5	1,5	2,5	24,1
	750	26	1,5	1,5	2,5	19,7
	850	26	1,5	1,5	2,5	10,7
<b>Speckiger Kuhmist</b>	500	26	0,0	5,0	5,0	58,2
	600	27	0,0	5,0	5,0	61,9
	650	26	1,5	1,5	2,5	28,4
	700	27	0,0	5,0	5,0	60,8
	750	26	1,5	1,5	2,5	47,2

<sup>1)</sup> wasserfreier Zustand; <sup>2)</sup> Eindüsung am Reaktoreingang; <sup>3)</sup> Eindüsung am Reaktorausgang.

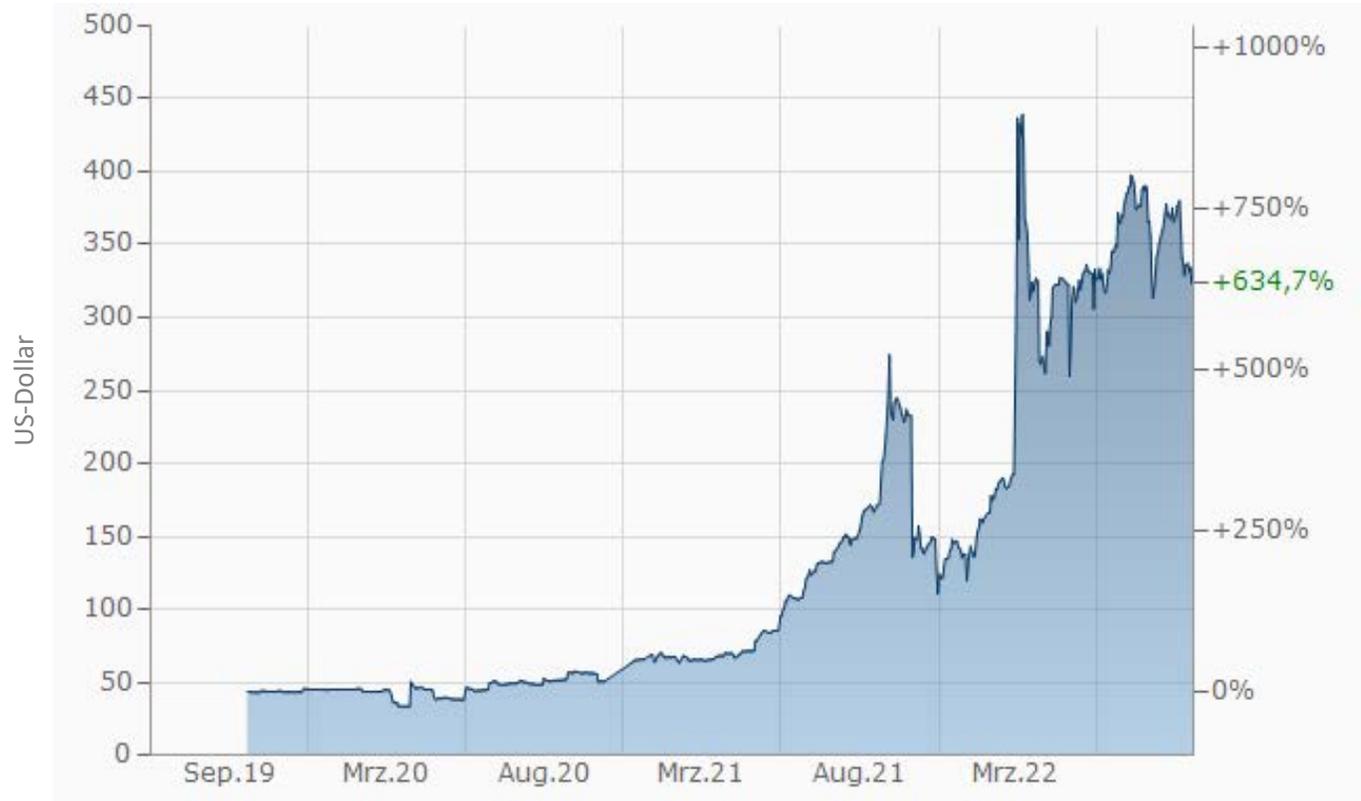
# Einsatzmöglichkeiten des Pyrolysats

Ziel ist die stoffliche Nutzung der Pyrolysekohle zur langfristigen Bindung von Kohlenstoffdioxid

**Aber:**

Rahmenbedingungen zwingen zum Umdenken

# Einsatzmöglichkeiten des Pyrolyсата - HSB



Quelle: Finanzen.net, 23.09.2022



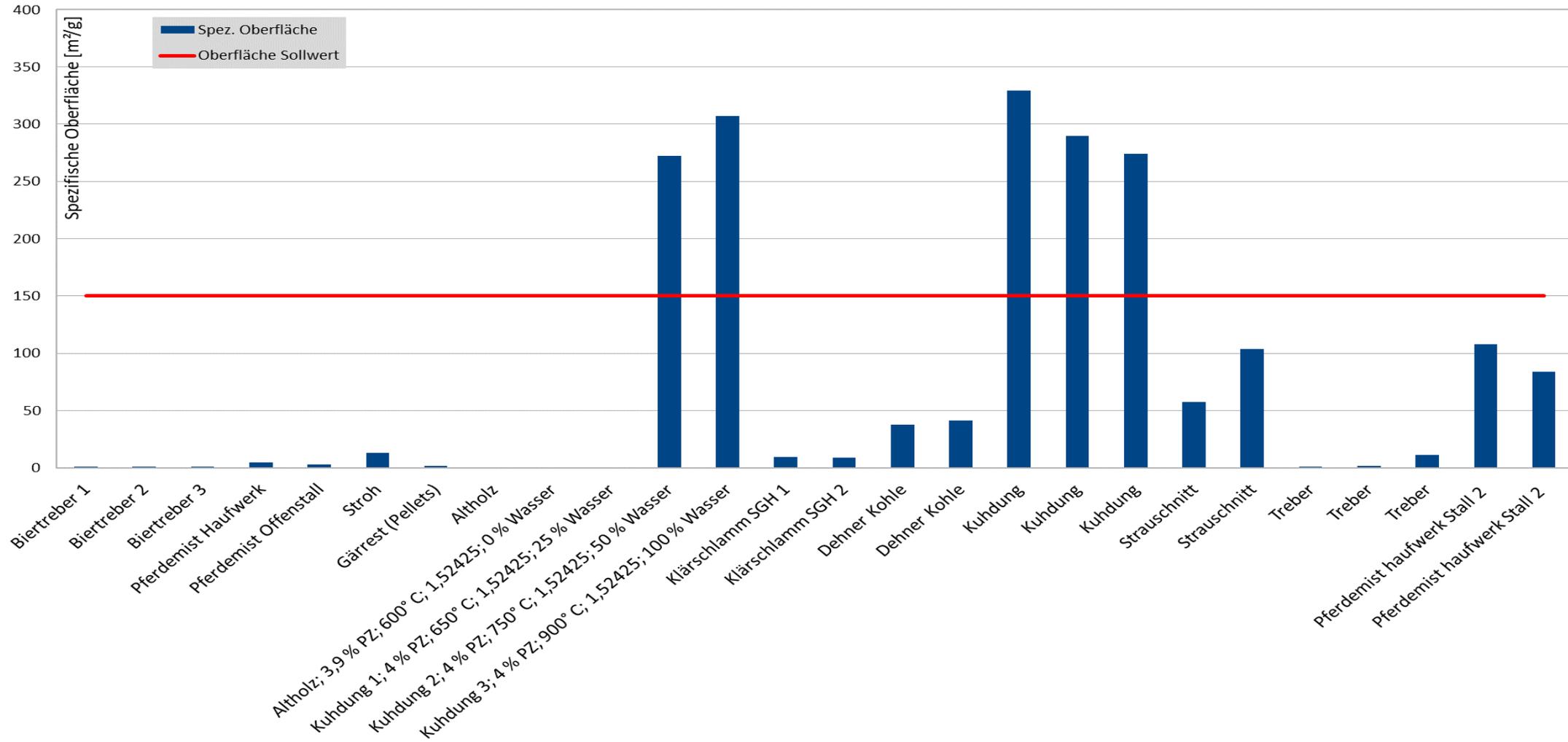
# Mengenberechnung HSB und Sektorenkopplung

Material	Kohlenstoffgehalt [M.-%]	Erzeugte Kohle pro kg Input [M.-%]	Benötigte Menge Pyrolysekohle Basis Steinkohle [kt/a]	Benötigte Menge Inputmaterial auf Basis Pyrolysekohle [kt/a]
Altholz, Kl. II	89	33	6	18
Altholz, Kl. I	88	47	6	13
Schlesische Steinkohle Ø	86		6	
Biertreber	77	25	7	27
Getreidespelzen	69	28	8	27
Gärrest Biogasanlage	63	30	8	28
Speckiger Kuhmist	62	43	8	19
Pferdemist, Offenstall	53	30	10	33
Getreidestroh	48	30	11	36
Pferdemist Haufwerk	28	52	19	36

Hersteller	Anlagen-Typ	Input Kapazität	bei Input-	Output-Biokohle	Wärmeüberschuss	
			TS-Gehalt		t/a	kW <sub>th</sub>
		t/a	%	t/a		
3R-Systems		8.000	60	2.200 – 2.400	700 - 900	5.600 – 7.200
Pyreg	P1500	2.300	65-80	680	600	4.800
Carbon Technik Schuster	E900	1.200		400		3.200
Biomacon	Edition I		70	4.200 – 13.000	160 - 600	1.300 – 4.800
New Generation Elements	PyroDry 5000	3.000-5.000	75-80	675	bis 450	bis 3.600

# TP4 | Wirkung der Pyrolysekohle mit dem Ziel der Kreislaufschließung

# Oberflächenbestimmung der generierten Kohlen



# Pyrolysekohle in Batch-Vergärung

## Ergebnisse (basierend auf arithmetischem Mittel der Dreifachansätze)

	Bioabfall ohne Kohle	Bioabfall mit Kohle (5 Mas.-% TS)	Bioabfall mit Kohle (10 Mas.-% TS)
Gasertrag (brutto)	257,104 NI/68 d	233,012 NI/68 d	273,557 NI/68 d
Standardabweichung (brutto)	32,79 NI	23,33 NI	19,9 NI
<b>Gasertrag (nur Bioabf.)</b>	<b>107,916 NI/68 d</b>	<b>83,824 NI/68 d</b>	<b>124,368 NI/68 d</b>
Gasertrag (pro oTR Bioabf.)	242,19 NI/kg oTR	188,122 NI/kg oTR	279,113 NI/kg oTR
Abweichung ggü. Nullprobe	-	<b>-22,3 %</b>	<b>+15,2 %</b>

→ Repräsentative Vergleichbarkeit schwierig

# Übertragbarkeit auf andere Typen

## Ergebnisse in statistischer Auswertung

	Kohlezugabe 5 Mas.-% (TS)			Ohne Kohlezugabe		
	CSTR 1	CSTR 2	CSTR 3	CSTR 4	CSTR 5	CSTR 6
∅ Gasertrag	38,66 NI/d	42,79 NI/d	21,64 NI/d	42,00 NI/d	40,51 NI/d	42,13 NI/d
<b>∅ Gasertrag</b>	<b>34,36 NI/d (Stdabw.: 11,21 NI/d)</b>			<b>41,55 NI/d (Stdabw.: 0,9 NI/d)</b>		
∅ Methangehalt	57,2 %	57 %	49,2 %	59,2 %	57,4 %	56,7 %
<b>∅ Methangehalt</b>	<b>54,5 %</b>			<b>57,7 %</b>		
	Kohlezugabe 20 Mas.-% (TS)			Ohne Kohlezugabe		
	CSTR 1	CSTR 2	CSTR 3	CSTR 4	CSTR 5	CSTR 6
∅ Gasertrag	36,31 NI/d	37,42 NI/d	35,92 NI/d	36,12 NI/d	34,94 NI/d	36,88 NI/d
<b>∅ Methangehalt</b>	<b>36,55 NI/d (Stdabw.: 0,78 NI/d)</b>			<b>35,98 NI/d (Stdabw.: 0,98 NI/d)</b>		
∅ Methangehalt	57,3 %	56,3 %	56,8 %	57,3 %	57,1 %	56,7 %
<b>∅ Methangehalt</b>	<b>56,8 %</b>			<b>57 %</b>		

# Wasserhaltekapazität

Probenbeszeichnung	Gewicht Sandbad feucht mit Kiste (kg)+ Wasser(l)	Probe Kohle	Gewicht KSR leer + Container	KSR+Probe feucht nach Wasserbad	KSR+Probe feucht nach Sandbad 60 min	KSR+Probe feucht nach Sandbad 120 min	KSR+Probe feucht nach Sandbad 180 min	KSR+Probe feucht nach Sandbad 240 min	KSR+Probe feucht nach Sandbad 300 min	KSR+Probe feucht nach Sandbad 360 min	gehaltenes Wasser pro 1g Substrat	WK <sub>max</sub>
	[kg]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]		[%]
<b>Altholz</b>												
350°C (N:1.5-2.5, Pz:7.8)	26,7+4,41	48,20	102,54	207,2	172,1	172,02	171,48	171,01	170	169,35	0,40	18,75
600°C (N:1.5-2.5, Pz:4.1)	26,7+4,41	57,53	103,45	233,06	202,83	201,45	200,01	197,89	197,19	195,74	0,59	25,51
600°C (N:1.5-2.5, Pz:3.9)	26,7+4,41	39,68	103,35	213,3	172,36	173,03	173,84	174,75	175,41	176,05	0,65	28,53
850°C (W:25%, N:1.5-2.5, Pz:7.6)	26,7+4,41	33,68	102,69	231,89	196,99	198,28	199,05	199,59	199,78	199,77	0,35	15,48

# Zusammenfassung

# Zusammenfassung

- Zukünftig Separierung von Altholzklasse I mit dem Ziel 100 % stoffliche Verwertung
- Altholzerkennung unbehandelt / behandelt mit Gleitfunkenpektrometer möglich
- Störstoffgrenzwerte sind herausfordernd für Bioabfallaufbereiter
- Vorabscheidung / Vermeidung von Störstoffen im Bioabfall ist anzustreben
- Höherwertige Nutzung von Pyrolysekohle in technischen Anwendungen sinnvoll
- Sektorenkopplung der Pyrolyseanlage (Kohleerzeugung und Abwärme) möglich
- Oberflächen ausgewählter Pyrolysekohlen ähneln der konventionellen Aktivkohle
- Gasertrag und Wasserhaltekapazität können mit Pyrolysekohle positiv beeinflusst werden
- Ziel: Nutzung von Pyrolysekohle in der (roh-) stofflichen Verwertung zur langfristigen Bindung von CO<sub>2</sub>

# Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

