Integrierte und regelungstechnische Maßnahmen für eine effiziente und schadstoffarme Verbrennung unterschiedlicher Biomassearten in Festbrennstoffkesseln

Dr.-Ing. Mohammad Aleysa

8. Statuskonferenz BMWi „Energetische Biomassenutzung“
BIOENERGIE – Der X-Factor, 17.-18.09.2019, Leipzig

Auf Wissen bauen

© Fraunhofer IBP

INHALT

- Vorgehensweis zur Reduzierung von Schadstoffemissionen in Kleinfeuerungsanlagen
- relevante Primärmaßnahmen zum Einsatz in Biomasseheizkesseln
- Grenzen der Primärmaßnahmen zur Minderung von Feinstaub und Stickstoffoxiden
- Forschungsergebnisse:
  - LEVS-Projekt: Low-Emission-Verbrennungssystem (FKZ-Nr. 03KB093)
  - Kombinationssystem-Projekt/VREM-System (FKZ-Nr. 03KB109)
- Vermarktung innovativer Technologien
- Schlussfolgerung

© Fraunhofer IBP

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

LEVS (FKZ-Nr. 03KB093):
Low-Emission-Verbrennungssystem für die Verbrennung von festen Brennstoffen in Vergaserkesseln

Kombinationssystem-Projekt/VREM-System (FKZ-Nr. 03KB109):
Intelligentes Kombinationssystem zur regelungstechnischen Optimierung der Verbrennung und zur Vermeidung der Fehlbedienung in Biomasseheizkesseln

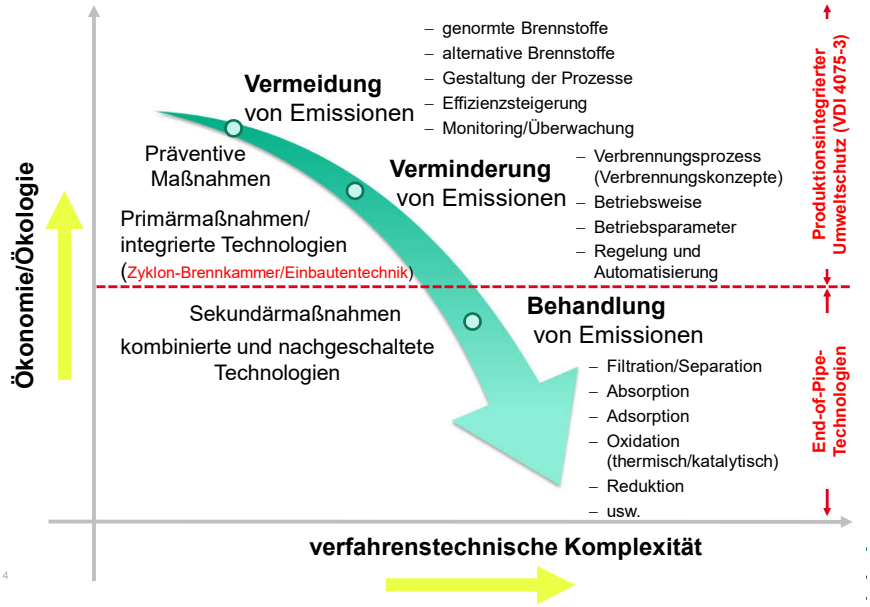
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Heizsysteme für Holz
hdg-bavaria.com
Komfortabel heizen. Mit Holz!

LAMTEC

© Fraunhofer IBP

Hierarchie zur Reduzierung von Schadstoffemissionen



Primärmaßnahmen zur Minderung von staub- und gasförmigen Emissionen

Primärmaßnahmen		Schadstoffe/Effekte
zweistufige Verbrennung		Feinstaub, NO_x/Verbrennungsstabilität
Abgasrückführung (Reduzierung der Verbrennungstemperatur und des Sauerstoffgehalts in der Vergasungszone)		Feinstaub, NO_x, SO_2, Dioxine und Furane (*)
Intergierte Abgasbehandlung	Zyklon-Brennkammer	organische und anorganische Feinstäube
	Einbautentechnik (thermische Nachbehandlung)	Feinstaub, Ruß, PAKs, VOCs, C_nH_m und sonstige schwer oxidierbare Komponenten
O_2/CO_e-Regelung (Regelung und Monitoring des Verbrennungsprozesses)		– Verbrennungsqualität (brennbare staub- und gasförmige Emissionen) – Verbrennungseffizienz

(*): Es hängt von dem Konzept der Abgasrückführung ab.

© Fraunhofer IBP
intern

Grenzen der Primärmaßnahmen zur Minderung vom Feinstaub gemäß der 1. BImSchV

Brennstoff	a [Ma.%]	Bewertung		
		1	2	3
Fichtenholz	0,6	√		
Buchenholz	0,5	√		
Pappelholz	1,8		√	
Weidenholz	2,0		√	

1: Primärmaßnahmen

2: integrierte Maßnahmen

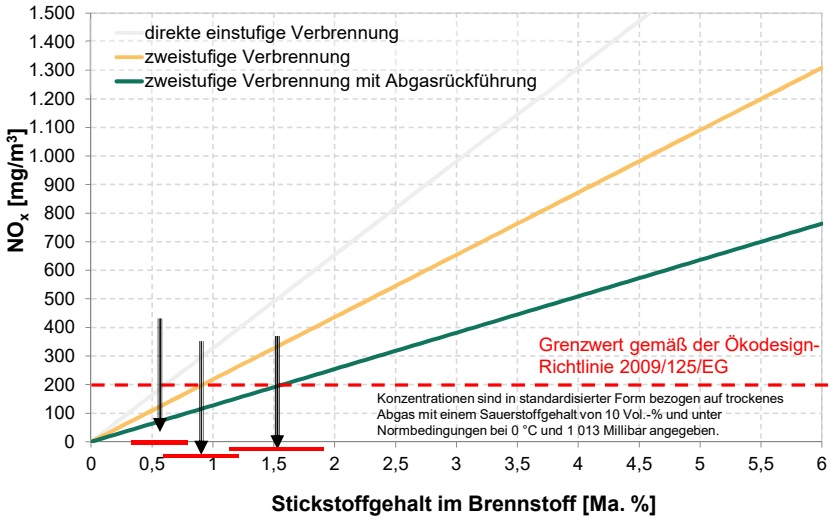
3: Sekundärmaßnahmen

Voraussetzung:
nahezu vollständige Verbrennung bzw.
gut konstruierte Verbrennungstechnik

Brennstoff	a [Ma.%]	Bewertung		
		1	2	3
Roggenstroh	4,8		√	
Weizenstroh	5,7			√
Triticalestroh	5,9			√
Gerstenstroh	4,8		√	
Rapsstroh	6,2			√
Maisstroh	6,7			√
Sonnenblumenstroh	12,2			√
Hanfstroh	4,8		√	
Roggenganzpflanzen	4,2		√	
Weizenganzpflanzen	4,1		√	
Triticaleganzpflanzen	4,4		√	
Roggenkörner	2,0		√	
Weizenkörner	2,7		√	
Triticalekörner	2,1		√	
Rapskörner	4,6		√	
Miscanthus	3,9		√	
Landschaftspflegeheu	5,7			√
Rohrschwingel	8,5			√
Weidelgras	8,8			√
Straßengrasschnitt	23,1			√

© Fraunhofer IBP
intern

Grenzen der Primärmaßnahmen zur Minderung von NO_x gemäß der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG



© Fraunhofer IBP
intern
Fraunhofer IBP

Grenzen der Primärmaßnahmen zur Minderung von NO_x gemäß der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG

Brennstoff	N [Ma.%]	Bewertung A	Bewertung B	Bewertung C
Fichtenholz	0,13			
Buchenholz	0,22			
Pappelholz	0,42			
Weidenholz	0,54			

A: direkte Verbrennung

B: zweistufige Verbrennung

C: zweistufige Verbrennung mit Abgasrückführung

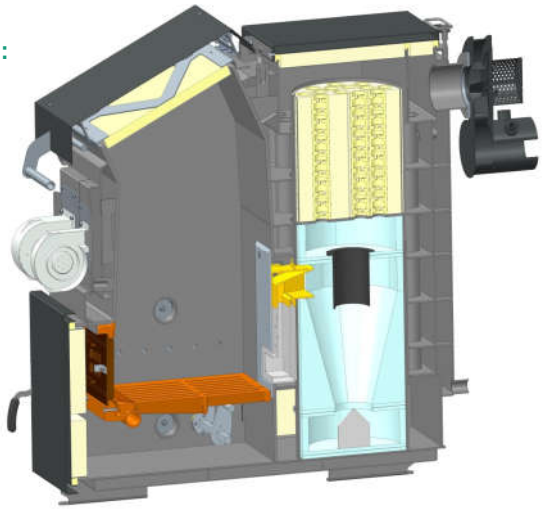
Brennstoff	N [Ma.%]	Bewertung A	Bewertung B	Bewertung C
Roggenstroh	0,55			
Weizenstroh	0,48			
Triticalestroh	0,42			
Gerstenstroh	0,46			
Rapsstroh	0,84			
Maisstroh	0,65			
Sonnenblumenstroh	1,11			
Hanfstroh	0,74			
Roggenganzpflanzen	1,14			
Weizenganzpflanzen	1,41	Sekundärmaßnahmen		
Triticaleganzpflanzen	1,08			
Roggenkörner	1,91	Sekundärmaßnahmen		
Weizenkörner	2,28	Sekundärmaßnahmen		
Triticalekörner	1,68	Sekundärmaßnahmen		
Rapskörner	3,94	Sekundärmaßnahmen		
Miscanthus	0,73			
Landschaftspflegeheu	1,14			
Rohrschwingel	0,87			
Weidelgras	1,34			
Straßengrasschnitt	1,49	Sekundärmaßnahmen		

© Fraunhofer IBP
intern
Fraunhofer IBP

LEVS-Projekt (FKZ-Nr. 03KB093), Kombinationssystem-Projekt/VREM-System (FKZ-Nr. 03KB109)

Verwendete Primärmaßnahmen:

- Zweistufige Verbrennung
- Integrierte Abgasbehandlung
  - Zyklon-Brennkammer
  - Einbautentechnik (thermische Nachbehandlungsstufe)
- O_2/CO_e-Regelung:
  - Regelung des Verbrennungsprozesses
  - Emissionsüberwachung

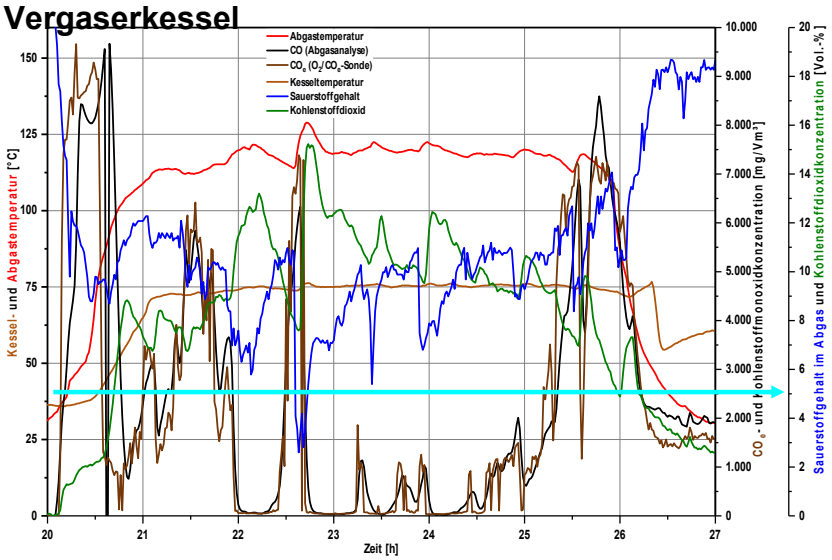


© Fraunhofer IBP

Low-Emission-Verbrennungssystem (LEVS)

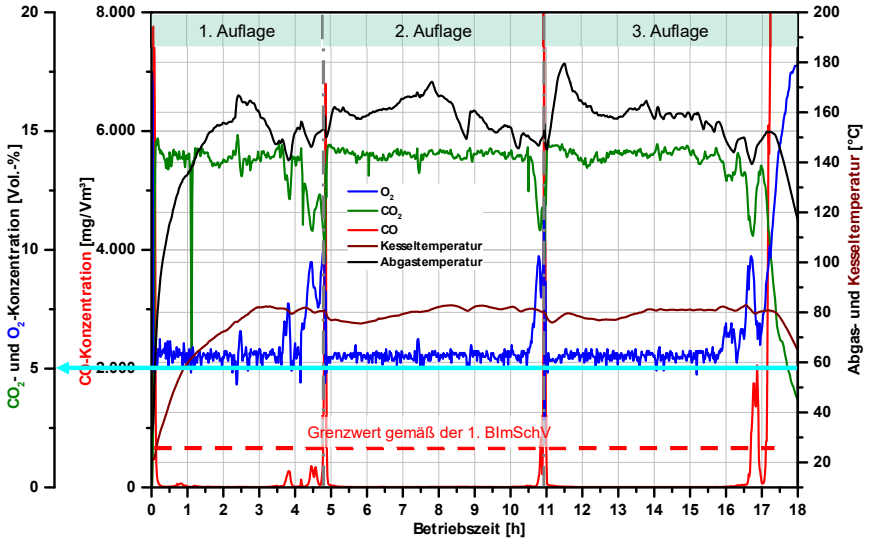
© Fraunhofer IBP

Verbrennungsverhalten im Praxisbetrieb, Vergaserkessel



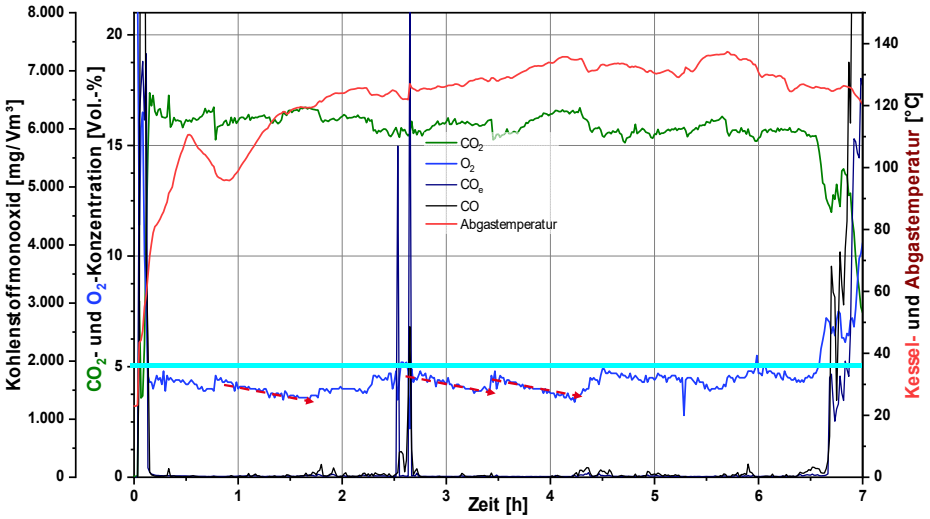
© Fraunhofer IBP
intern

Verbrennungs- und Emissionsverhalten, O_2-Regelung



© Fraunhofer IBP
intern

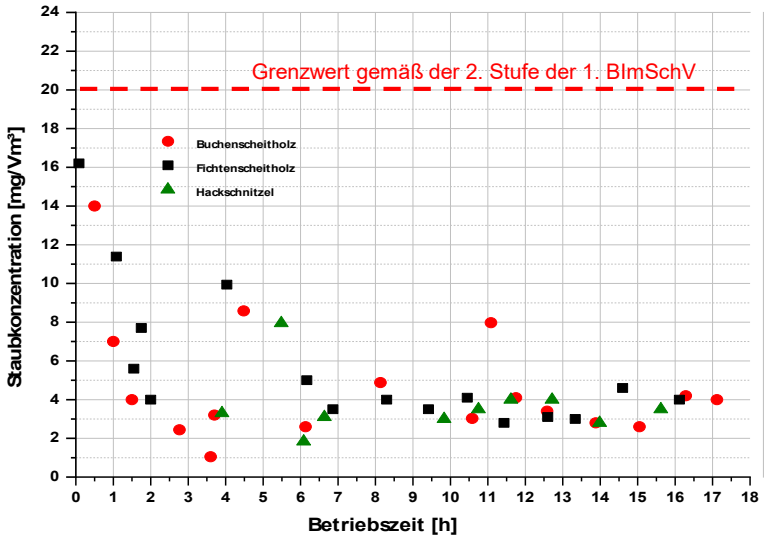
Verbrennungs- und Emissionsverhalten, O_2/CO_e-Regelung



© Fraunhofer IBP
intern
Fraunhofer IBP

Betriebsphase	Betriebszeit	Mittelwerte (ohne jegliche Abzüge der Messunsicherheit)				Staub gemäß VDI 2066 -1
		CO_2	CO	C_nH_m	NO_x	
	[Stunden]	[Vol.- %]	[mg/Vm³]			[mg/Vm³]
Anfahrbetriebsphase	0 - 1	13,1	462	177	98	20 - 140
Regelbetriebsphase	1 - 2	13,6	12	6	122	9,4
	2 - 3	13,8	8	4	121	2,4
	3 - 4	13,8	49	2	100	1,1
Nachbeschickung	4 - 5	12,4	423	8	115	8,6
Regelbetriebsphase	5 - 6	14,1	12	1	136	3,0
	6 - 7	14,0	8	1	128	2,6
	7 - 8	14,0	8	30	141	3,5
	8 - 9	14,0	10	0	124	4,9
	9 - 10	14,1	8	0	113	2,5
Nachbeschickung	10 - 11	13,1	428	0	103	3,0
Regelbetriebsphase	11 - 12	14,2	17	2	133	8,0
	12 - 13	13,9	6	0	112	3,0
	13 - 14	14,1	7	0	113	2,5
	14 - 15	14,2	7	0	110	1,8
	15 - 16	13,9	7	0	103	2,0
Ausbrand	16 - 17	12,7	383	0	79	4,0
	17 - 18	7,3	8.050	0	81	2,0
	18 - 19	2,2	3.301	0	50	0,0

Staub beim Betrieb vom LEVS

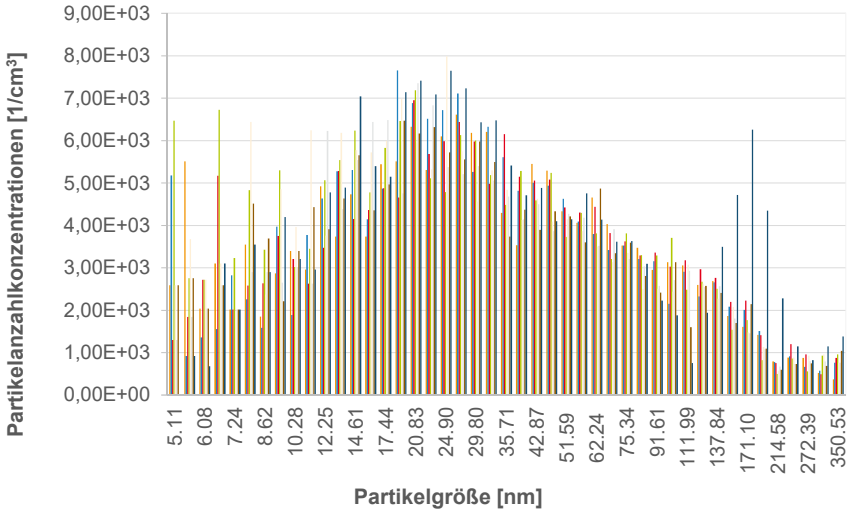


© Fraunhofer IBP
intern

Staubabscheidung in der Zyklon-Brennkammer

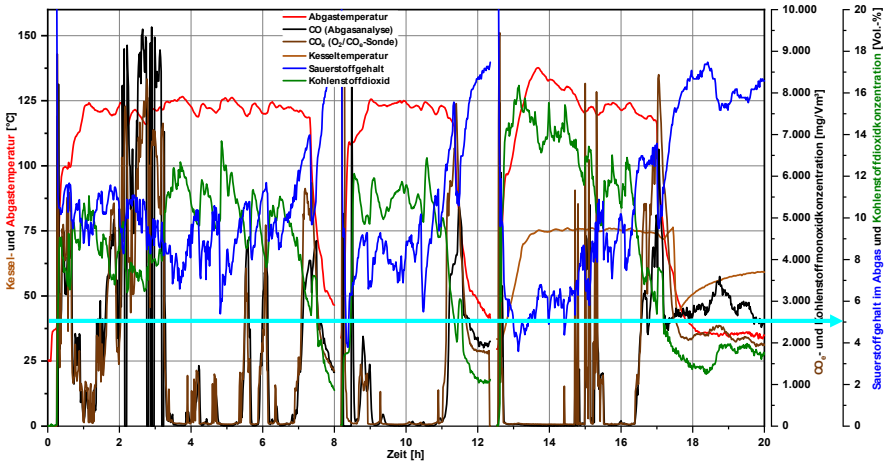
© Fraunhofer IBP
intern

Korngrößenanalyse der Zyklonstäube (Siebfraktion < 32 µm)



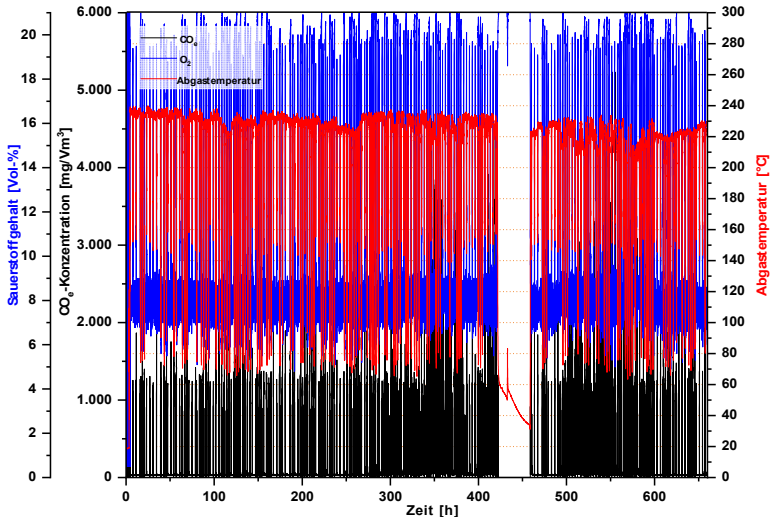
© Fraunhofer IBP
intern
Fraunhofer IBP

Emissionsüberwachung im Praxisbetrieb handbeschickter Heizkessel



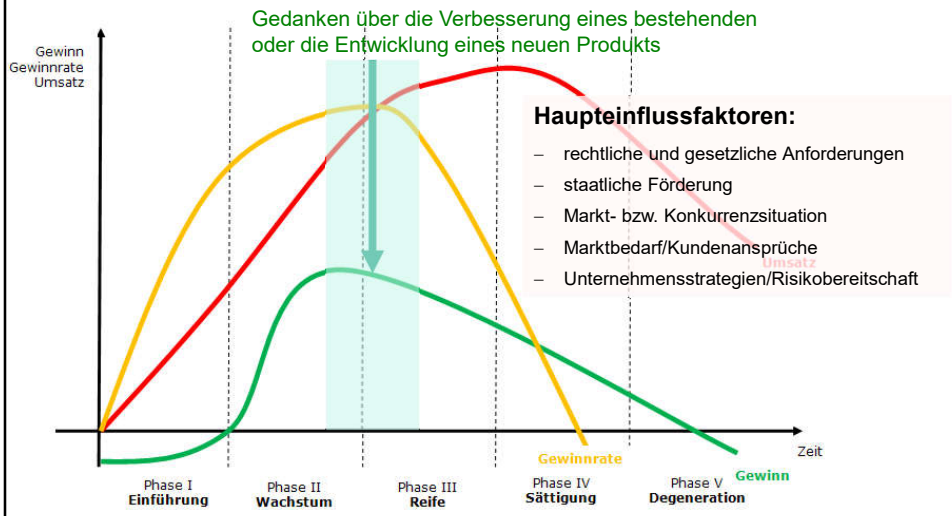
© Fraunhofer IBP
intern
Fraunhofer IBP

Emissionsüberwachung im Praxisbetrieb, Pelletheizkessel



© Fraunhofer IBP
intern
Fraunhofer IBP

Vermarktung innovativer Technologien, Verlauf des Produktlebenszyklus



© Fraunhofer IBP
intern
Fraunhofer IBP

Von der Idee bis zum Prototyp/Produkt

Schritte zur Entwicklung eines neuen Heizkesseltyps vom Konzept bis zu einer erfolgreichen Vermarktung.
Dauer: 3 bis 5 Jahre, Gesamtkosten (*): von 0,85 Mio. € bis 1,2 Mio. €

Entwicklung (Konzeptionierung, Auslegung, Konstruktion und Anfertigung) eines Prototyps mit der Erprobung auf dem Test- oder Prüfstand.

Dauer-erprobung mit der technischen Optimierung

Herstellung eines Null-Serien-produkts für die Erprobung in der Praxis

Zulassungs-prüfung gemäß der DIN EN 303-5 und der Maschinen-richtlinie 2006/42/EG

Erprobung des Null-Serien-produkts in der Praxis anhand von mehreren Produkten bzw. Heizkesseln

Technische Verbesserung mit gegebenen-falls Wieder-holung der Zulassungs-prüfung

Vermarktung des Produkts bzw. des Heizkessels

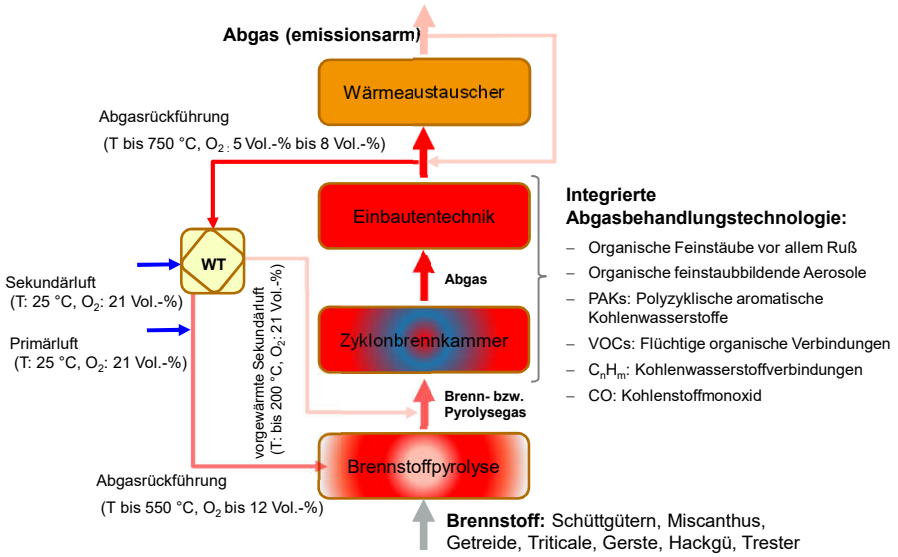
(*) Die Gesamtkosten beinhalten sowohl die Material- (weniger 10 %) und Personalkosten (> 88 %) als auch die Kosten für Fremdleistung bzw. Dienstleister (< 5 %) sowie die Kosten für die Aufrechterhaltung der Kompetenzen im Bereich der Forschung und der Entwicklung bei den Unternehmen. Diese Kostenspanne (0,85 Mio. € bis 1,2 Mio. €) ist für eine erfolgreiche technische Umsetzung mit Null-Risiko approximativ ermittelt und variiert von einem zum anderen Unternehmen. Bei einem Umsetzungsmisserfolg werden sich diese Kosten mindestens verdoppeln.

© Fraunhofer IBP

Schlossfolgerung

- präventive und primäre Maßnahmen haben ein großes Potential zur Schadstoffminderung und sollten systematisch betrachtet und eingesetzt werden
- integrierte Abgasbehandlungstechnologien wie z. B. Zyklonbrennkammer und Einbautentechnik sind wirtschaftlich und gewährleisten eine sichere und nachhaltige Minderung von Schadstoffemissionen
- CO_e-Kantenregelung ermöglicht eine effiziente und schadstoffarme Verbrennung unterschiedlicher Brennstoffe in der gleichen Feuerungsanlage
- die kontinuierliche Überwachung bietet sich als zukunftsträchtige präventive Maßnahme zur Schadstoffminderung im Praxisbetrieb an. Dadurch können technische Fehler, Fehlbedienungen und der Einsatz ungünstiger Brennstoffe vermieden werden, welche in der Regel zu einem erhöhten Ausstoß vieler staub- und gasförmiger Schadstoffemissionen frühen
- die Umsetzung innovativer und CO_2-senkender Technologien erfordert eine spezielle Förderung, bei der ein großer Wert auf die dauerhafte Funktionalität in der Praxis gelegt werden sollte.

© Fraunhofer IBP



Integrierte Abgasbehandlungstechnologie:

- Organische Feinstäube vor allem Ruß
- Organische feinstaubbildende Aerosole
- PAKs: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- VOCs: Flüchtige organische Verbindungen
- C_nH_m: Kohlenwasserstoffverbindungen
- CO: Kohlenstoffmonoxid

© Fraunhofer IBP
intern