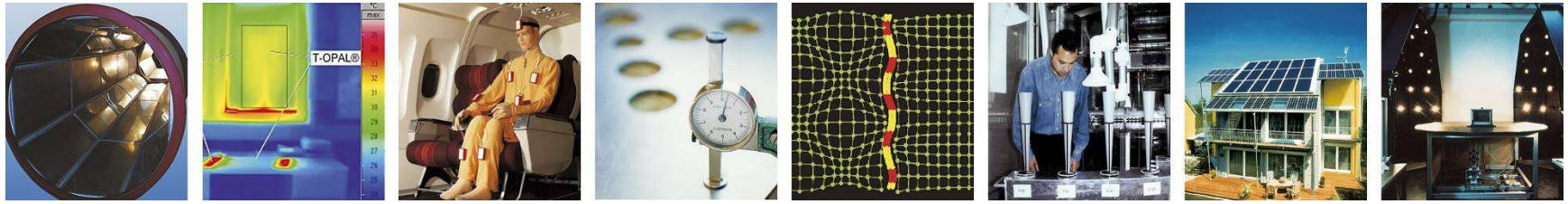
Gestufte Verbrennung mit Abgasrückführung und integrierter Abgasreinigung zur Schadstoffminderung und Effizienzerhöhung in automatisch beschickten Biomassefeuerungsanlagen zur thermischen Verwertung von biogenen und Restbrennstoffen

Dr.-Ing. Mohammad Aleysa, M. Sc. Niro Akbary

Fachgebiet Verbrennungs- und Umweltschutztechnik

Biomass to Power and Heat
06. Juni bis 07. Juni 2018 in Zittau

Auf Wissen bauen



© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Inhalt

- Neue Anforderungen gemäß der Ökodesignrichtlinie 2009/125/EG
- Bildung von Feinstaub und Stickstoffoxiden
- Feinstaub- und NO_X
  - Bildung bei der Verbrennung von Biomassen
  - Minderungs- und Behandlungsmaßnahmen
  - Innovative Technologien
  - Ergebnisse aktueller Forschungsprojekte
- Fazit

© Fraunhofer IBP

Emissionsanforderungen an Heizkessel, Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG

Verbrennungsanlagen unterteilt in zwei Leistungsbereiche (≤ 20 kW und > 20 kW) sowie in manuell und automatisch betriebene Heizkessel.		**Ökodesignrichtlinie 2009/125/EG ab dem 01.01.2020**				
		Raumheizungs-Jahres-Emissionen E_S				Raumheizungs-Jahresnutzungsgrad h_{son}
		CO	**NO_x**	OGC	Staub	
		[mg/Vm³]*				[%]
Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von 20 kW oder weniger	manuell	700	200	30	60	75
	automatisch	500	200	20	40	
Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 20 kW	manuell	700	200	30	60	77
	automatisch	500	200	20	40	

*) $E_s = 0{,}85 * E_{s,p} + 0{,}15 * E_{s,n}$

**) Die Emissionen von Staub, gasförmigen organischen Verbindungen OGC, Kohlenstoffmonoxid CO und Stickstoffoxiden NO_x werden in standardisierter Form bezogen auf trockenes Abgas mit einem Sauerstoffgehalt von 10 Vol.-% und unter Normbedingungen bei einer Temperatur von 0 °C und einem Druck von 1013 Millibar angegeben.

© Fraunhofer IBP

Maßnahmen zur Feinstaubminderung und Behandlung

Aschegehalt [ma.-%]	a < 1,5	1,5 > a < 5,5	5,5 > a
Wassergehalt [ma.-%]	w< 12 (manu.) w< 25 (auto.)	w< 16 (manu.) w< 38 (auto.)	w < 18 (manu.) w< 45 (auto.)

Wirtschaftlicher Bereich

Anschaffungs- und Betriebskosten

- Elektroabscheider
- Abreinigungs- und Speicherfilter
- Abgaswäscher
- Kombinationsverfahren (**Zyklojekt**)

Sekundärmaßnahmen (nachgeschaltet)

Intergierte Maßnahmen

- Flieh- und Trägheitsabscheider (Zyklonbrennkammer)
- Einbautentechnik
- Katalysatoren
- usw.

Primär-maßnahmen

- Konzeptionelle Maßnahmen (zweistufige Verbrennung, Abgasrückführung usw.)
- Konstruktive Maßnahmen (Gestaltung der Verbrennungsluftzufuhr, des Feuerraums mit der Nachbrennkammer)
- Regelungstechnische Maßnahme

Verfahrenstechnische Komplexität

Bewertung gemäß der Anforderungen 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

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

Maßnahmen zur Minderung von Stickstoffoxiden NO_x

N [ma.-%]	N < 1,8	N > 1,8
T [°C]	< 1.200	< 1.200

Anschaffungs- und Betriebskosten

Trockenverfahren:
- SCR: Selektive katalytische Reduktion
- Aktivkohle, Aktivkoks (BF-Uhde, Petersen, Krantz)
- CUO (Shell-FGT)
- Elektronenstrahl (ESV)

Nassverfahren:
- NH_3-Wäsche (Walther)
- Fe-EDTA (SHL)
- Schwefel-,Salpetersäure (Ciba-Geigy)

Sekundärmaßnahmen

- Trockenverfahren, bei dem die Reduktion katalytisch unter Zugabe von Ammoniak oder Harnstoff erfolgt.
- Nassverfahren, bei dem das NO_x durch die Oxidation zu Nitrit/Nitrat in ein verkaufsfähiges Produkt (Düngemittel) umgewandelt wird.

intergierte Maßnahmen

(SNCR -Verfahren), bei dem Stickstoffoxide unter hohen Temperaturen (> 800 °C) sowie Zugabe von Ammoniak (NH_3) oder Harnstoff ($CO(NH_2)_2$) zu Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O) bzw. Kohlendioxid (CO_2) umgewandelt werden.

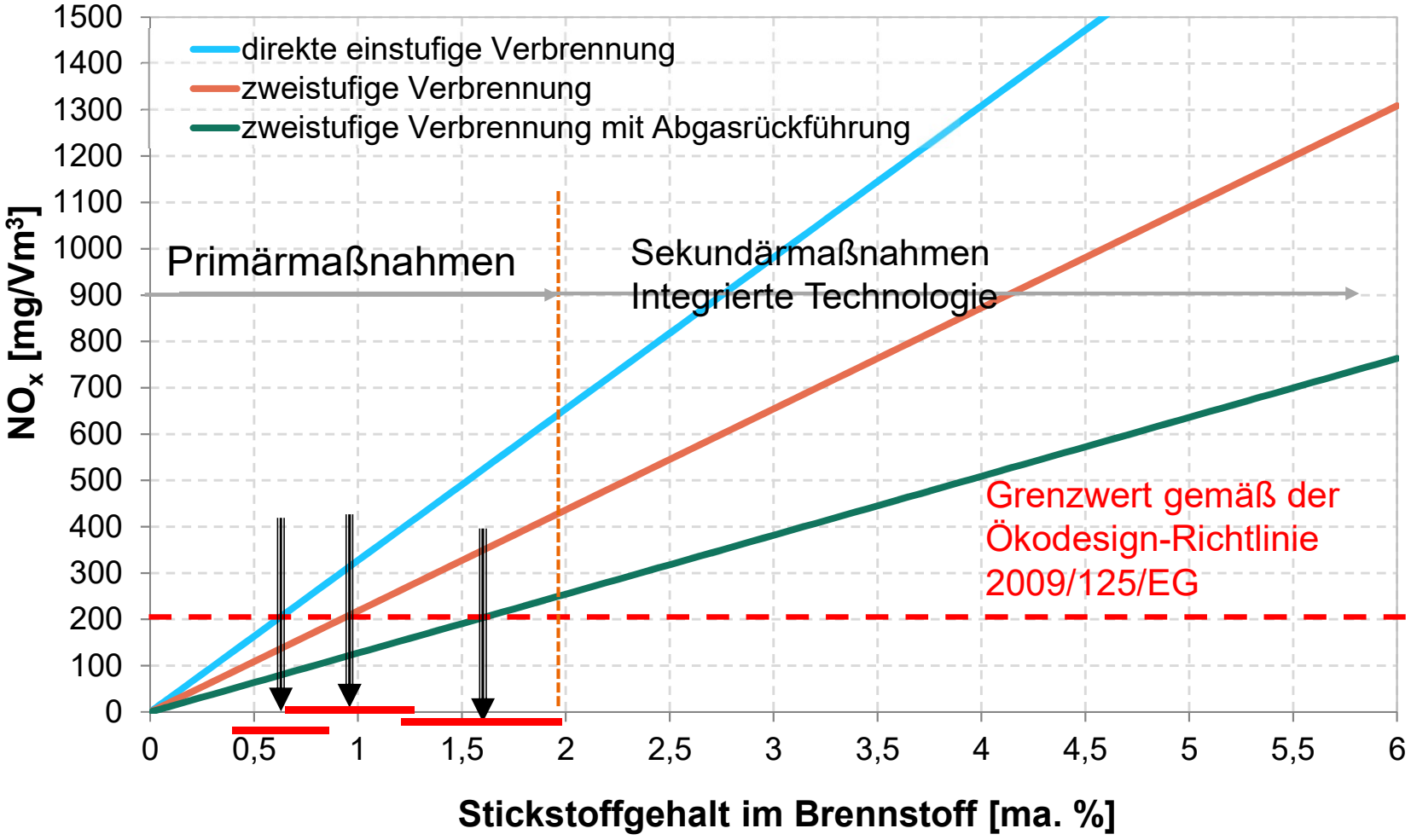
Primär-maßnahmen

- Abreicherung vom Sauerstoff im Glutbettbereich
- Vermeidung hoher Temperaturen im Glutbett- und Flammenbereich
- Zugabe von Additiven zur Bindung elementarem Brennstoffstickstoff in der Asche

Wirtschaftlicher Bereich

Verfahrenstechnische Komplexität

Bewertung gemäß den Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG



© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Bewertung der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG

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

A: direkte Verbrennung

B: zweistufige Verbrennung

C: zweistufige Verbrennung mit Abgasrückführung

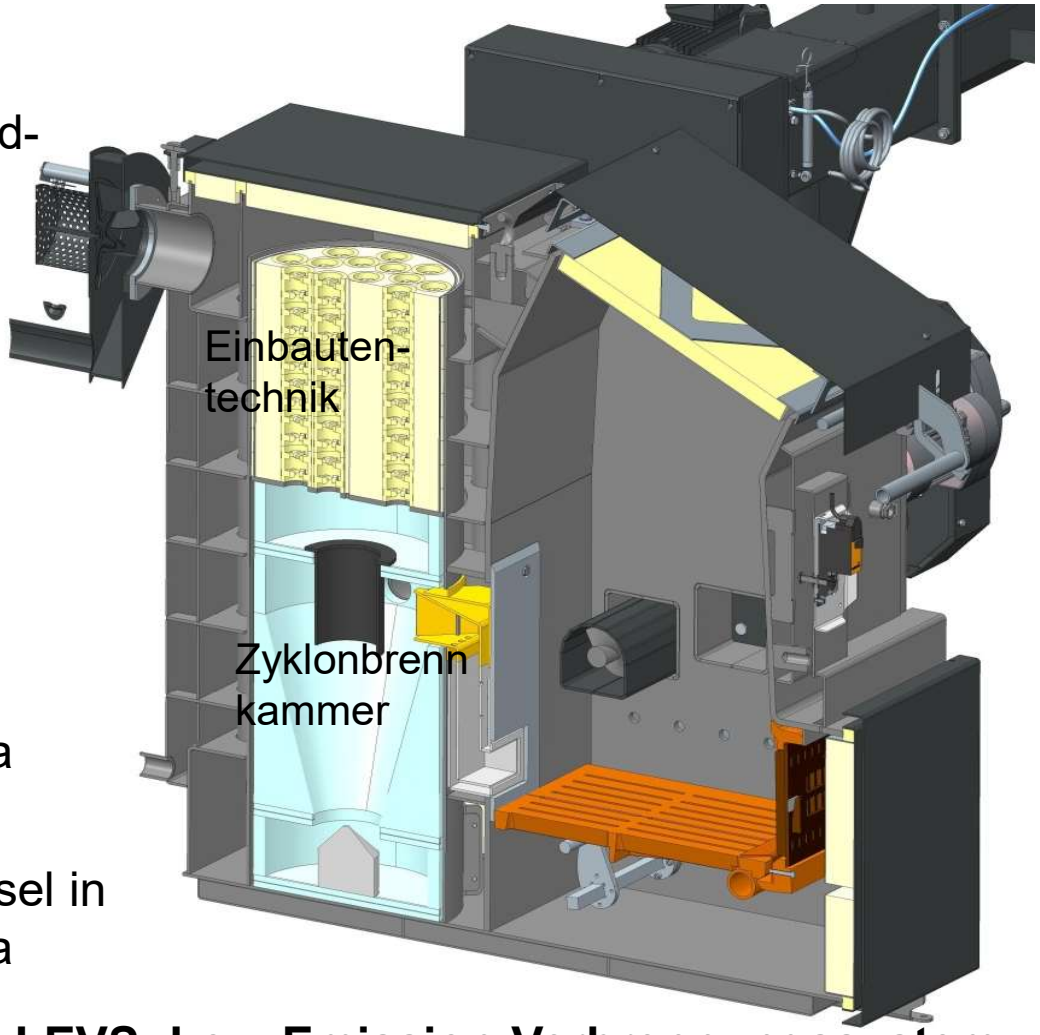
Sekundär- und integrierte Maßnahmen:
Selektive nicht katalytische Reduktionverfahren SNCR-Verfahren

Brennstoff	N [ma.%]	Bewertung		
		A	B	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

Primäre und integrierte Abgasreinigungsmaßnahmen

- **LEVS**: Low-Emissions-Verbrennungssystem für hand- und automatisch beschickte Biomasseheizkessel
- Innovationen
  - Verbrennungsluftzufuhrsystem
  - Zyklonbrennkammer
  - Einbautentechnik
- Erforscht für handbeschickte Heizkessel (Holzvergaser) in Kooperation mit HDG Bavaria
- Erforschung für automatisch beschickte Biomasseheizkessel in Kooperation mit HDG Bavaria



LEVS: Low-Emission-Verbrennungssystem

© Fraunhofer IBP

Low-Emission-Verbrennungssystem (LEVS)

© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Feinstaubminderung durch primäre und integrierte Abgasreinigung, LEVS-Projekt

Messungen		**Staub [mg/m³] im Vergleichszustand**	
		TESTO-Online	Gravimetrisch
ohne integrierte Abgasreinigung	Min.	17	56
	Max.	27	37
	Mittel	**23**	**42**
mit Zyklonbrennkammer	Min.	< 5	7
	Max.	11	14
	Mittel	**< 8**	**11**
mit Einbautentechnik + Zyklonbrennkammer	Min.	< 5	3
	Max.	< 5	7
	Mittel	**< 5**	**4**

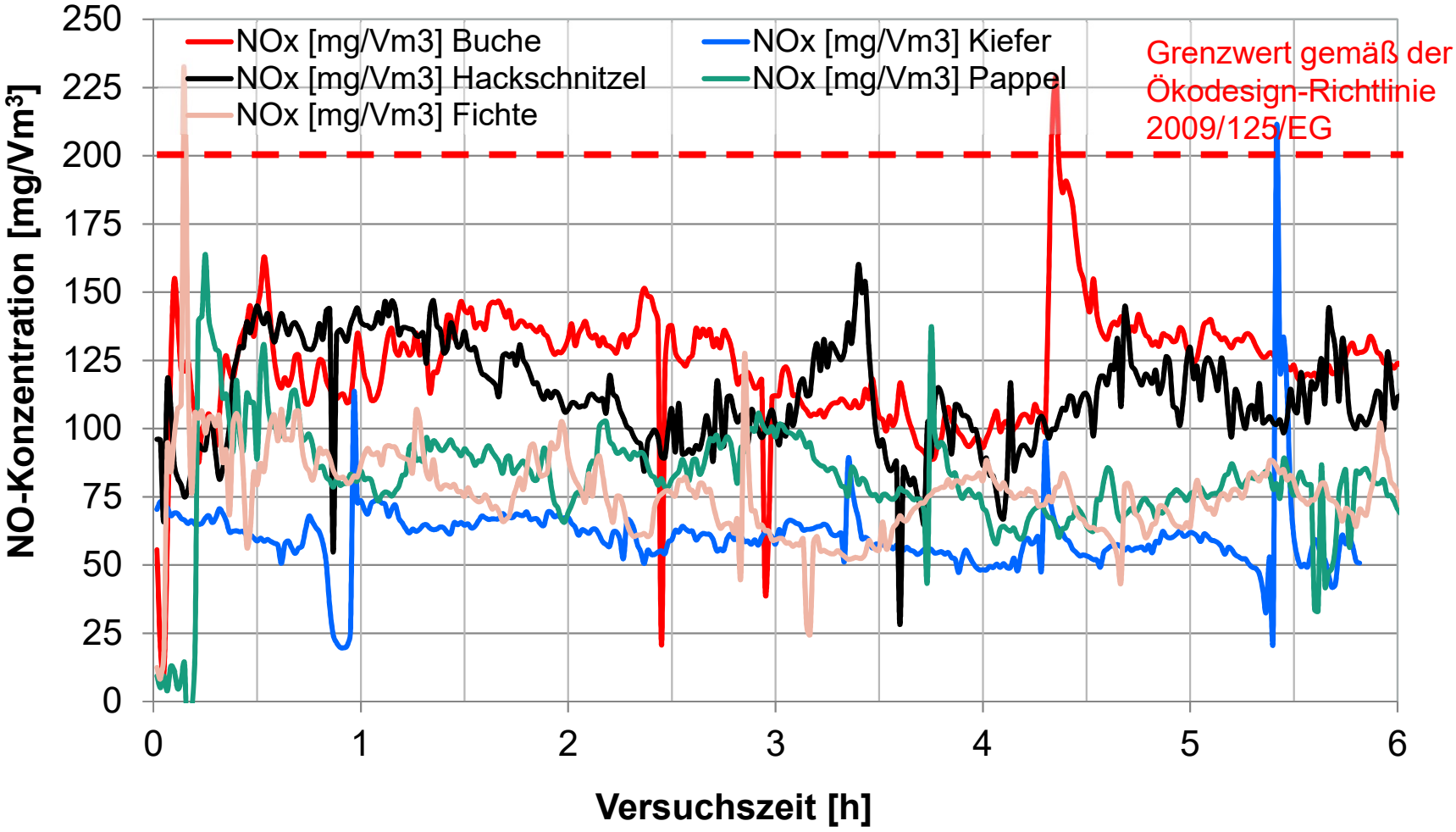
73%

91%

© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

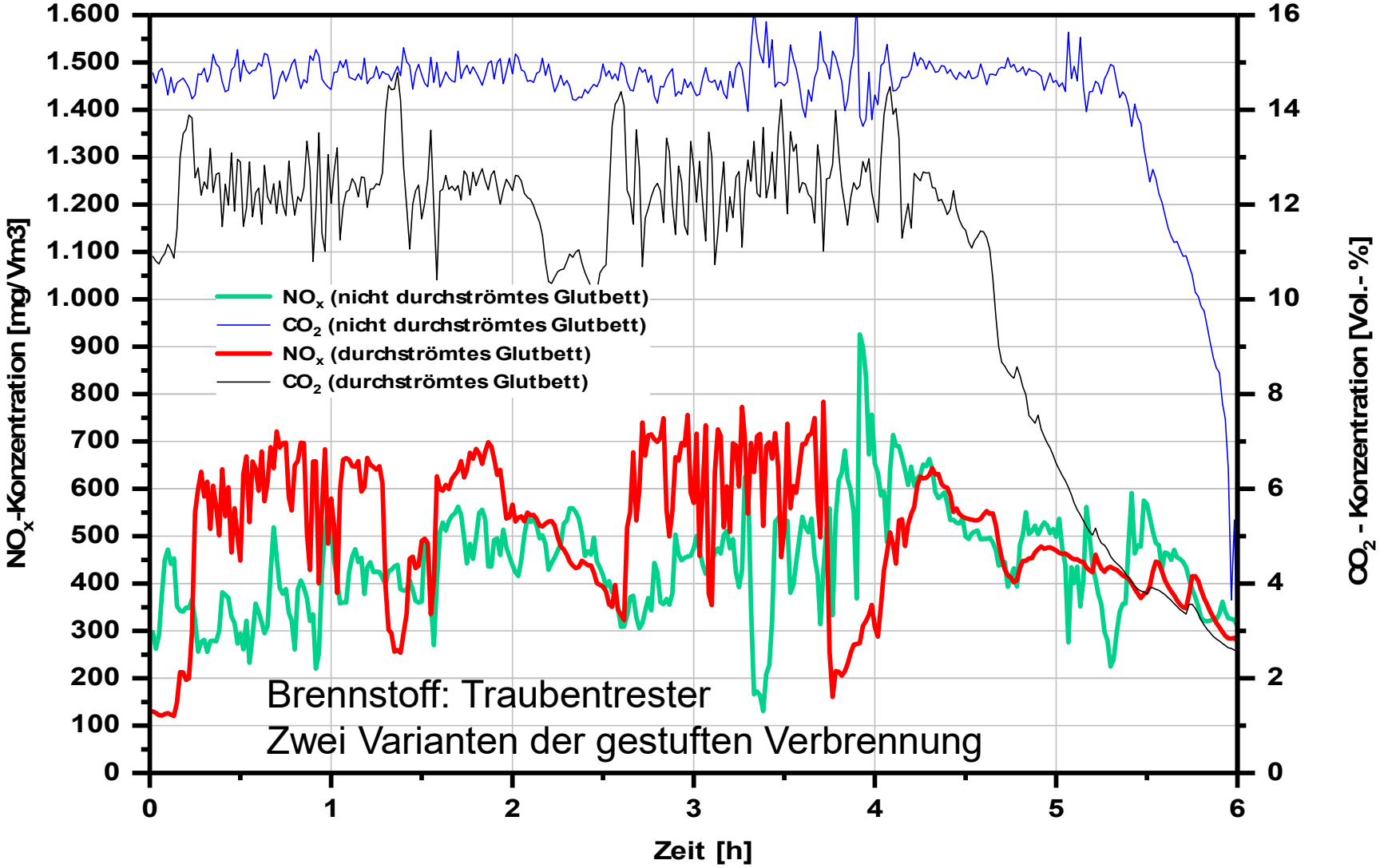
NO_x-Emissionen bei der Verbrennung unterschiedlicher Hölzer, zweistufige Verbrennung in Vergaserkessel



© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

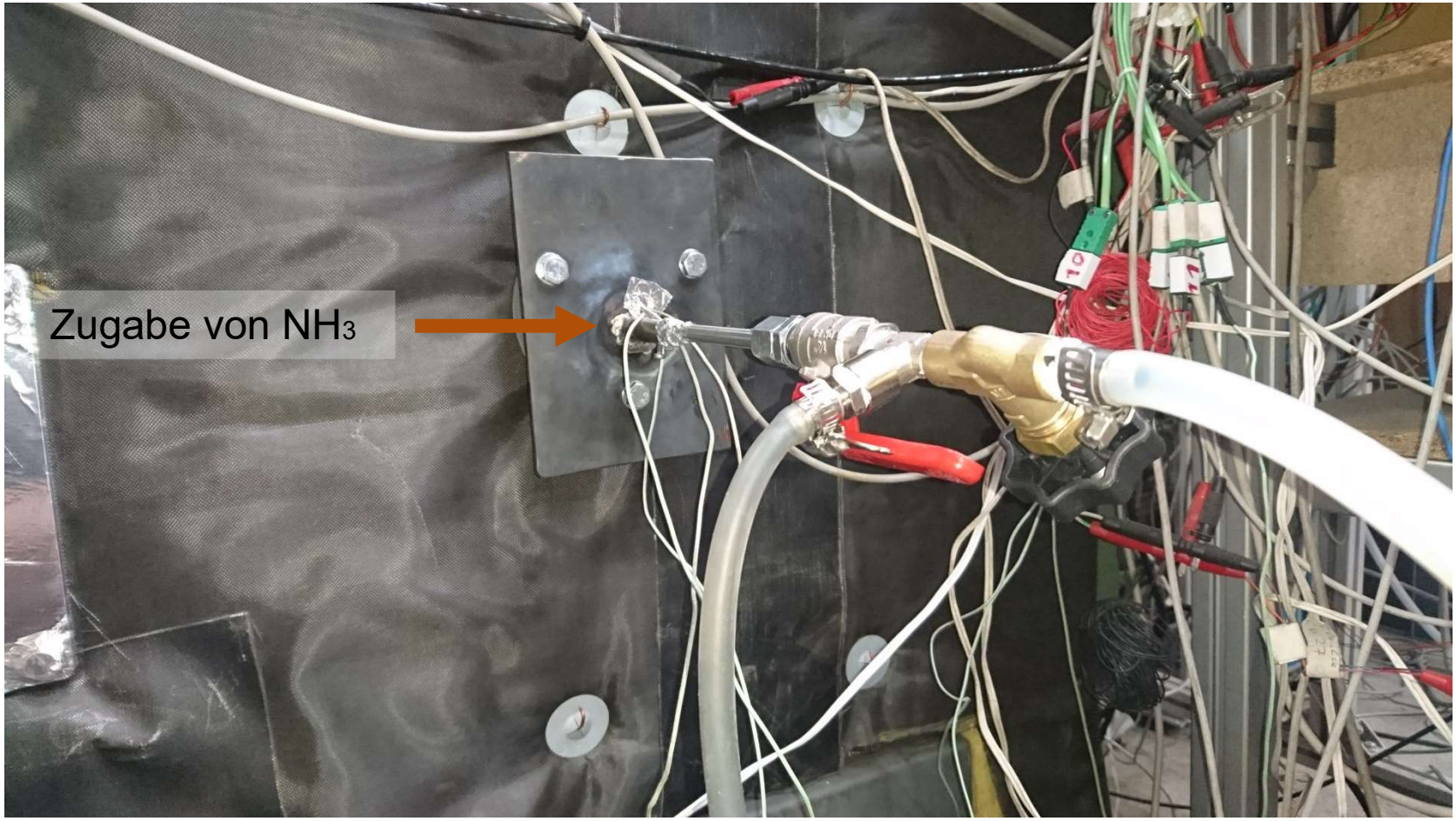
NO_x, Einfluss der Strömung im Glutbettbereich



© Fraunhofer IBP

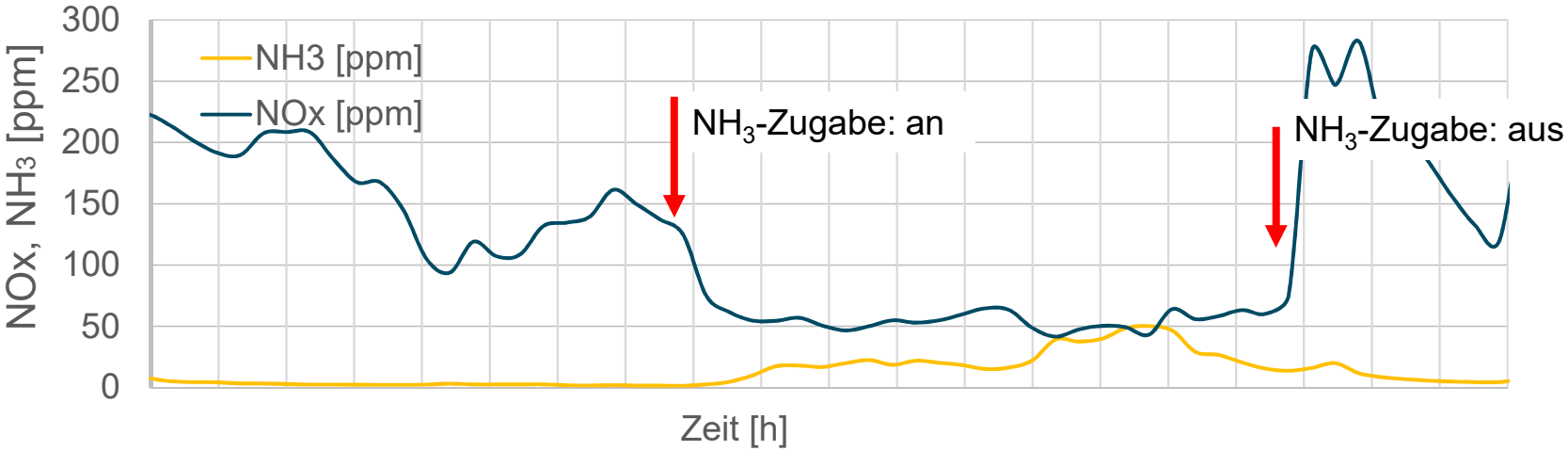
Fraunhofer IBP

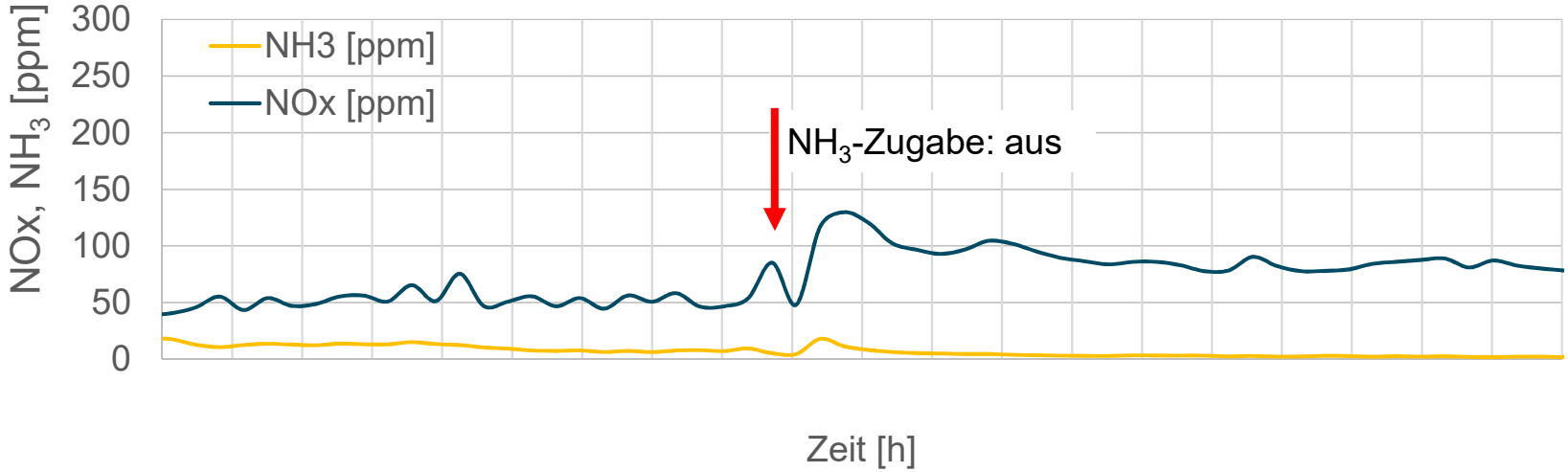
Integrierte Maßnahmen, NO_x-Out-System



© Fraunhofer IBP

Integrierte Maßnahmen, NO_x-Out-System





© Fraunhofer IBP

Fraunhofer IBP

Fazit

- Die Bildung von Feinstaub und Stickstoffoxiden hängt nicht nur von der Verbrennungstechnik sondern auch maßgeblich vom Brennstoff ab
- Aufgrund der kommenden Ökodesignrichtlinie 2009/125/EG werden viele Brennstoffe in Biomasseheizkesseln mit herkömmlichen Verbrennugskonzepte nicht eingesetzt werden. Eine Weiterentwicklung der vorhandenen Verbrennungstechnologien ist notwendig
- Bei vielen biogenen und Restbrennstoffen ist der Einsatz von Sekundärmaßnahmen zur Feinstaub- und NO_x-Minderung nicht vermeidbar
- Integrierte Technologien zeigen ein hohes Potential für eine gleichzeitige Minderung von staub- und gasförmigen Emissionen
- Sekundärmaßnahmen zur Abgasentsticklung sind forschungsbedürftig
- Staubabscheider sollten weiterentwickelt und im Praxisbetrieb dauererprobt werden
- Aufgrund hoher Kosten der Sekundärmaßnahen ist eine staatliche Fördern notwendig

© Fraunhofer IBP

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit