

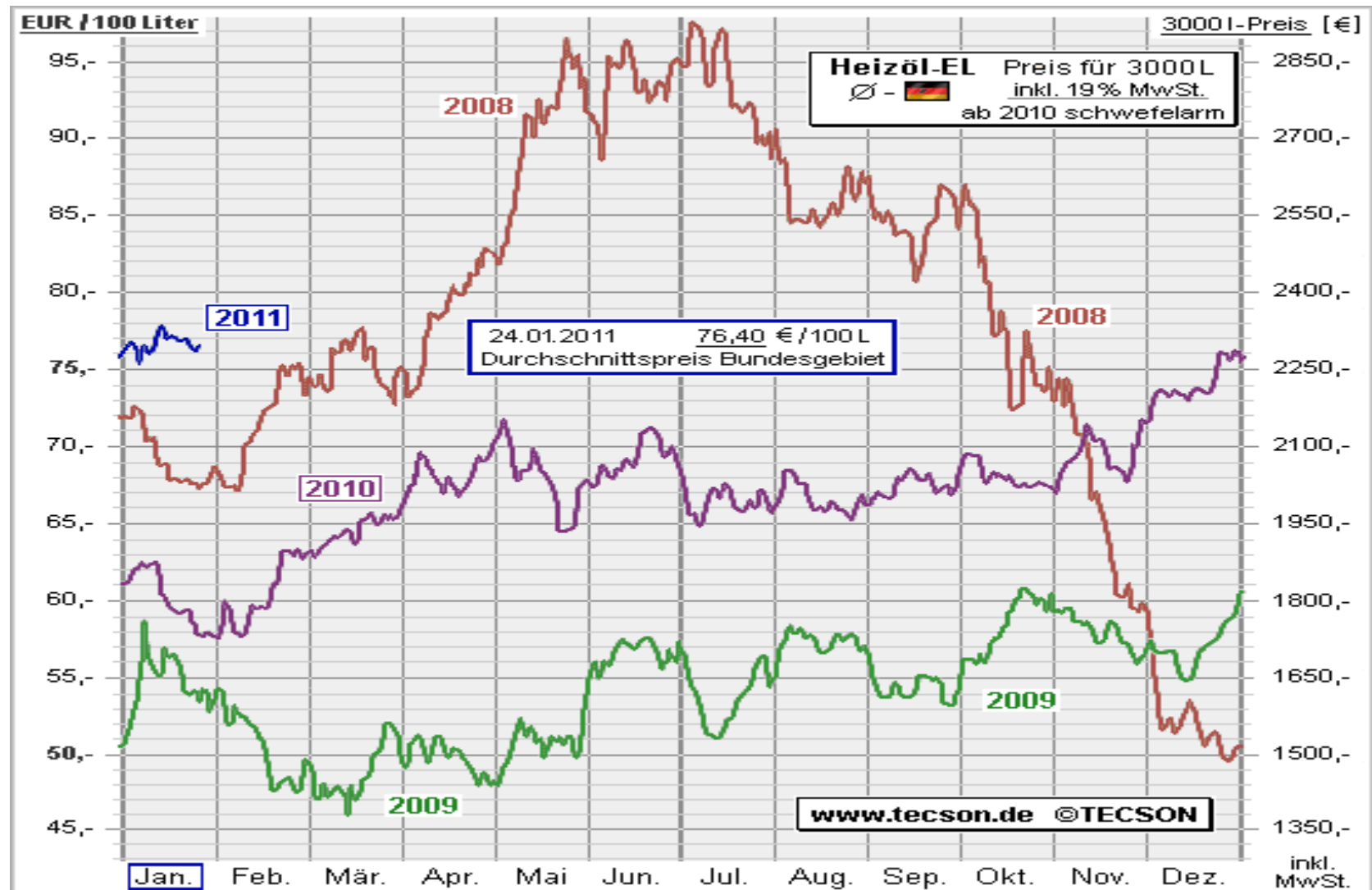
Geeignete Brennkesseltechnik für Strohfeuerung

Prof. Dr. Christiane Rieker

Fachhochschule Köln

Institut für Landmaschinentechnik
und Regenerative Energien

Heizölpreise der letzten 3 Jahre



Wert der im Getreidestroh enthaltenen Energie (Heizwert)

Ölpreis (Ct/l) (9,8 kWh/l)	Gegenwert €/ dt Getreidestroh (15 % W) (4 kWh/kg)
55	27,05
60	29,51
65	31,96
70	34,42
75	36,53
80	39,34

Ölheizung: Bei 75 ct/l: 7,65 ct/kWh; bei 50.000 kWh/a = 3825 €

Kosten für Pelletierung: ca. 8 – 10 €/dt; bei 125 dt = 1250 €

Ersparnis: 2575 € (Vergleich mit erzielbarem Marktpreis...)

Vor-Ort Pelletierung durch Lohnunternehmer

Anfahrt: **29,00 €/Stunde** + Diesel
Pelletierung: **35,00 €/Tonne** - zzgl.
35,00 €/Stunde

Zusatzstoffe (Kalk, Melasse):
5,00 €/Tonne

Kraftstoff (leichtes Heizöl):
Tagespreis je Liter

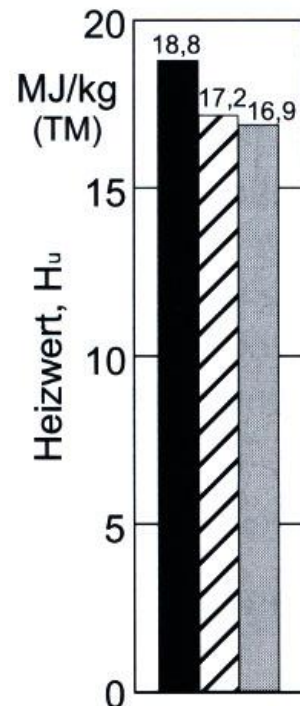
Ges. Mehrwertsteuer: zur Zeit **19%**



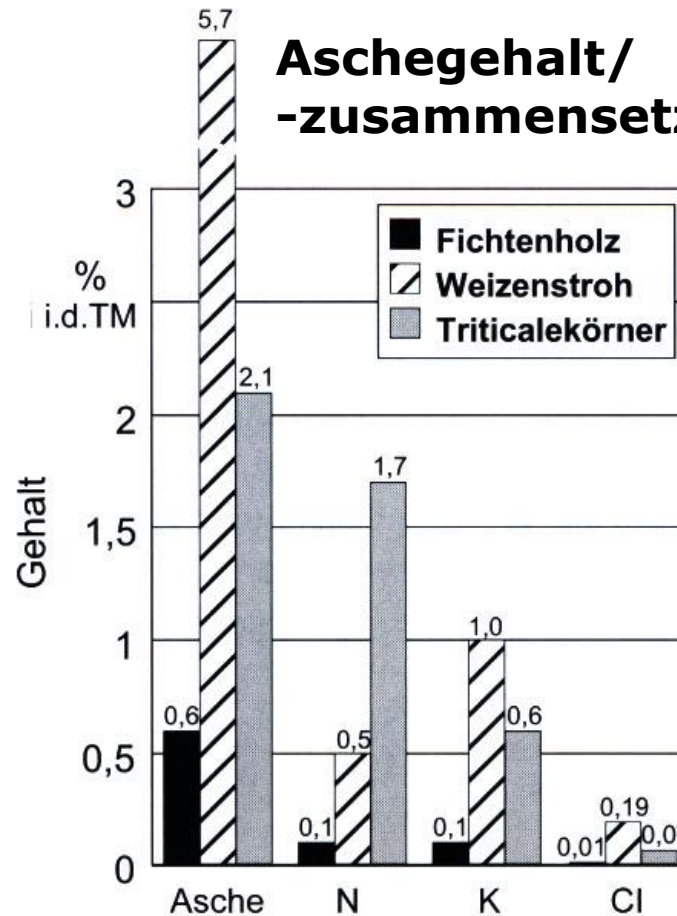
**Und die Kesseltechnik?
Können Strohpellets in
Holzheizkesseln verbrannt
werden?**

Merkmale von Stroh im Vergleich mit Holz

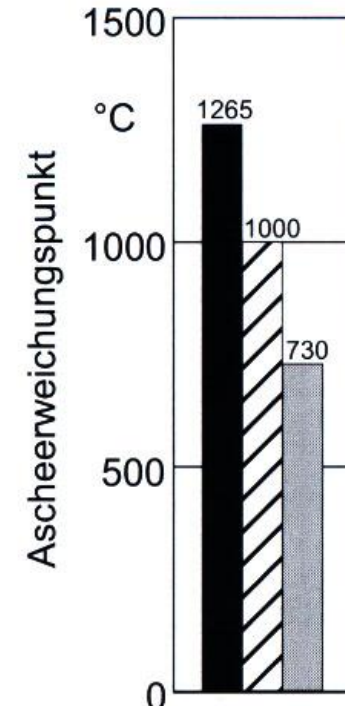
Heizwert



Aschegehalt/-zusammensetzung

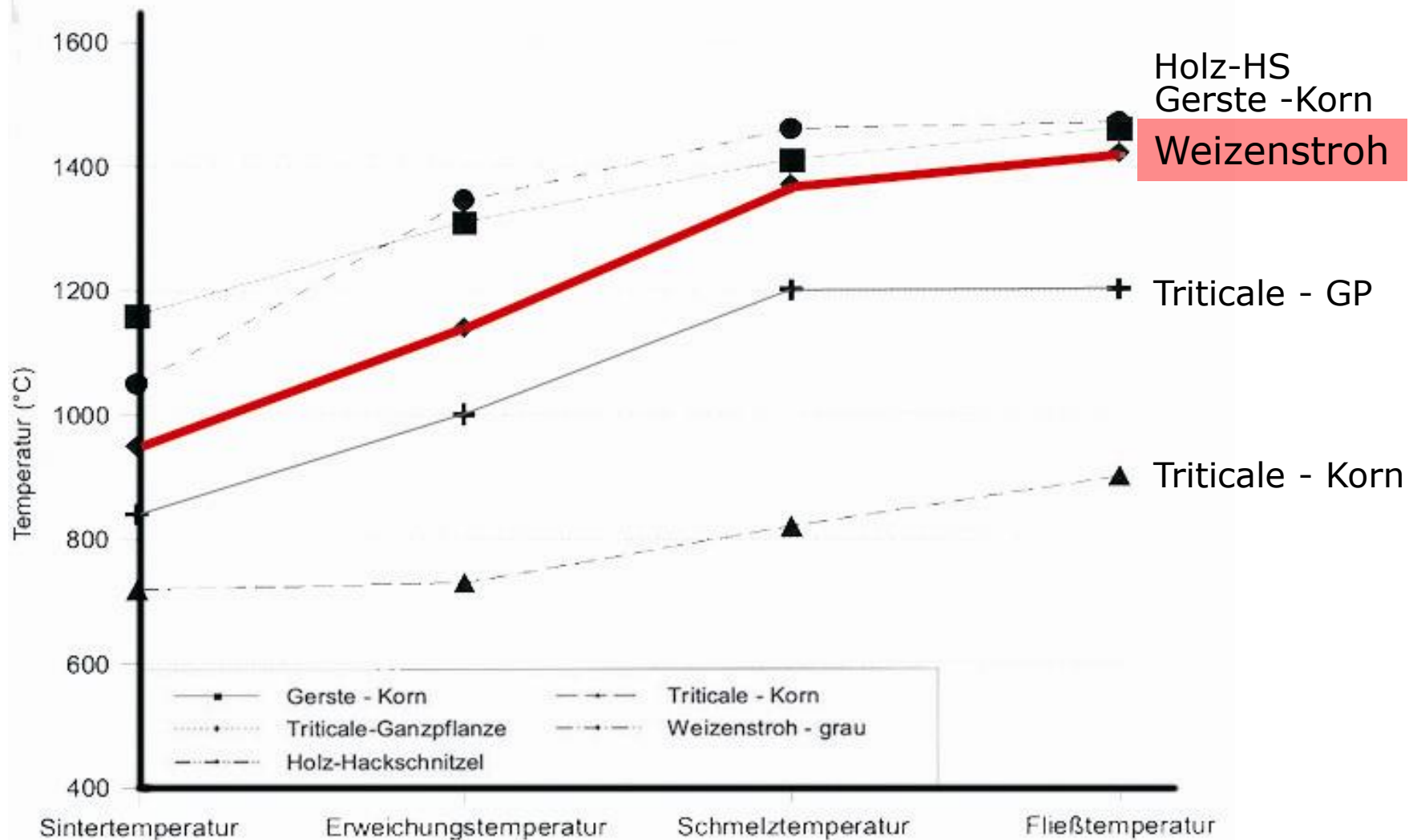


Ascheschmelze/Schlackebildung

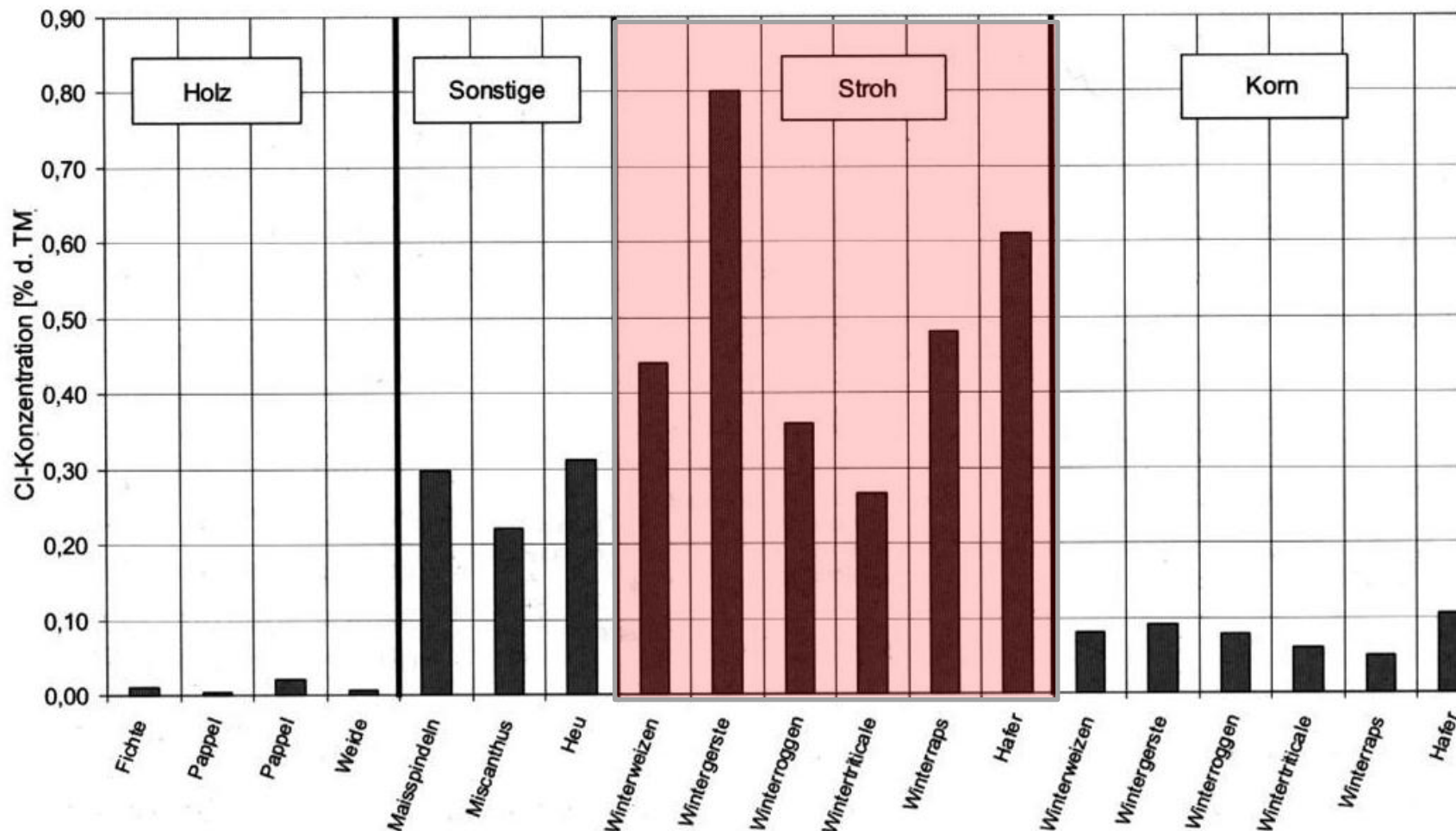


Qualitätsmerkmale und kritische Inhaltsstoffe von Holz, Stroh und Getreidekörnern als Brennstoff
(Quelle: Mittelwerte der NAWARO-Datenbank, vgl. HARTMANN et al. 2000)

Ascheschmelzverhalten



Chlorkonzentrationen verschiedener Biomassefestbrennstoffe (Mittelwerte)



Vergleich von Schüttgewicht und Energiedichte bei Biomassefestbrennstoffen

Aufbereitung	Schüttgewicht kg/m³	Energiedichte MJ/m³
Holz		
Scheitholz	300-475	4600-7300
Hackschnitzel	200-260	3100-4030
Holzpellets	650	10100
Halmgut		
Lose Häcksel (Stroh)	70	1000
Rundballen (Stroh)	120	1700
Rundballen (Getreide-GP)	150	2200
Quaderballen (Stroh)	160-190	2300-2800
Strohriketts	450	6500
Strohpellets	600	8700
Getreidekorn (Weizen)	760	10800
Heizöl	840	36000

Kleinf Feuerungsverordnung 1. BImSchV (ab 4 kW und <100

^{kW_{FWL})}
In Feuerungsanlagen nach § 1 dürfen nur die folgenden

Biomasse-Festbrennstoffe eingesetzt werden:

- 3a. Grill-**Holzkohle**, Grill-Holzkohlebriketts,
- 4. naturbelassenes **stückiges Holz** einschließlich anhaftender Rinde, beispielsweise in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln, sowie Reisig und Zapfen,
- 5. naturbelassenes **nicht stückiges Holz**, beispielsweise in Form von Sägemehl, Spänen, Schleifstaub oder Rinde,
- 5a. **Presslinge** aus naturbelassenem Holz (gemäß DIN 51731)
- 6./7. **gestrichenes, lackiertes oder beschichtetes Holz, . Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten** ohne Holzschutzmittel oder halogenorganischen Verbindungen oder Schwermetalle
- 8. **Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe (z.B. Heu, Maisspindeln, Miscanthus) Getreideganzpflanzen, Getreidekörner und -bruchkörner, Pellets aus Getreideganzpflanzen oder Getreidekörnern, Getreideausputz, Getreidespelzen und –halmreste**

Novellierung der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (22.3.2010)

- Absenkung der Leistungsgrenze für Emissionsanforderungen und deren Überwachung durch den Schornsteinfeger von 15 auf 4 Kilowatt (kW) Nennwärmeleistung für alle Heizkessel
- Überwachung von Öfen und Kaminen ab einer Nennwärmeleistung von 8 kW
- Betriebserlaubnis für Einzelraumfeuerstätten nur bei Einhaltung bestimmter Grenzwerte bei Typenprüfung
- Verschärfung der Emissionsgrenzwerte für Heizkessel für Kohlenmonoxid und Staub in zwei Stufen
- Ausstattung neuer Heizkessel mit einem Pufferspeicher (Scheitholzkessel mind. 55 Liter/kW, automatisch beschickte Anlagen mind. 20 Liter/kW)
- wiederkehrende Emissionsmessungen auch für Scheitholzkessel
- Übergangsregelungen für Altanlagen in Hinblick auf verschärfte Grenzwerte, Nachrüstungsverpflichtungen bzw. Außerbetriebnahmen
- Historische Öfen und Küchenherde sind von den Regelungen ausgenommen
- Aufnahme von Getreide in den Brennstoffkatalog, sowie Mischpellets aus den Regelbrennstoffen für einen eingeschränkten Nutzerkreis

Einzuhaltende Grenzwerte bezüglich Rauchgasemissionen nach 1.BImSchV (Kleinfeuerungsanlagen <100 kW)

Kessel, errichtet vor dem 22.3.2010:

Staub: **150** mg/m³ (13 % Bezugs-O₂)

CO: **4000** mg/m³

Kessel, errichtet nach dem 22.3.2010:

Staub: **100** mg/m³ (13 % Bezugs-O₂)

CO: **1000** mg/m³

Kessel, errichtet nach dem 31.12.2014:

Staub: **20** mg/m³ (13 % Bezugs-O₂)

CO: **400** mg/m³

Keine Begrenzung für NO_x!

Verbrennung in Anlagen über 100 kW_{FWL}

- **Genehmigungsbedürftige Anlagen** gemäß 4. BImSchV
- Für **Stroh und ähnl. pflanzliche Stoffe** (Getreide, Gräser, Miscanthus) gemäß Nr.1.3 (Anhang der 4. BImSchV) gilt:
 - unter 1 MW_{FWL}: **vereinfachtes** Verfahren
 - ab 1 MW_{FWL}: **förmliches** Verfahren
- Erhöhter Aufwand für Genehmigung und Emissionsüberwachung
- Grenzwerte gemäß **TA Luft** (11 % Bezugs-O₂):
 - Staub: **50** mg/m³ (bis 1 MW)
20 mg/m³ (ab 1 MW)
 - NO_x: **500** mg/m³ (bis 1 MW)
400 mg/m³ (ab 1 MW)
 - CO: **250** mg/m³
 - C_{ges.}: **50** mg/m³

Probleme der Strohverbrennung

Hohe Staubgehalte im Abgas

Lösung:

- Ofentechnik optimieren (Strömungstechnik, z.B. Abscheidezonen)
- Filter oder Wäscher nachschalten

Verschlackung bei Temperaturen $> 830\text{ °C}$ (K, evtl. Mg)

Lösung:

- Ofentechnik: Brennmulde/-rost kühlen, Asche bewegen, Verbrennungsluftführung, Zuschlagstoffe (Kalk) zusetzen

Cl-Gehalte = starke Korrosion bei Abkühlung des Kessels

Lösung:

- im Sommer Holz-Pellets brennen, Pufferspeicher, „graues“ Stroh verwenden

Projekt an der FH Köln /Haus Düsse (LWK Westfalen-Lippe)

**“Messung an kleinen Feuerungsanlagen
zur Verbrennung von
Stroh-Pellets bzw. Getreide (<150 kW_{th})”**

im Schwerpunkt:

“Energetische Nutzung von festen Bioenergieträgern,
insbesondere von Getreide, Stroh und anderen nachwachsenden Rohstoffen
außer Holz sowie Felduntersuchungen zum Nachweis der Genehmigungsfähigkeit
im Bereich dezentraler Wärmeerzeugungsanlagen <1 MW_{th}”

Antragsteller und Projektleitung:

**Fachhochschule Köln,
Institut für Landmaschinentechnik und Regenerative Energien,
Prof. Dr. Christiane Rieker
Kooperationspartner
Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe,
Zentrum für Nachwachsende Rohstoffe - ZNR,
Dr. Karsten Block**

Laufzeit des Projektes: 1.12.2004 – 30.6.2006

Untersuchte Stroh & Getreide-Heizkessel



Passat (DK)



Guntamatic (A)

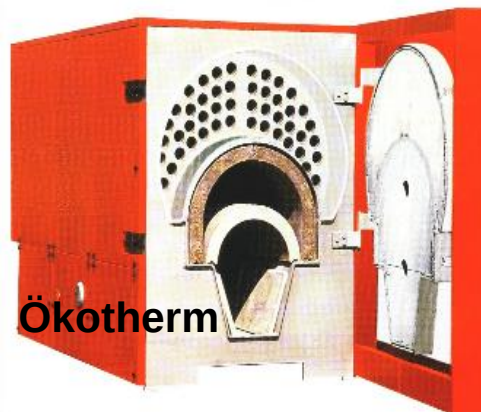
POWERCORN



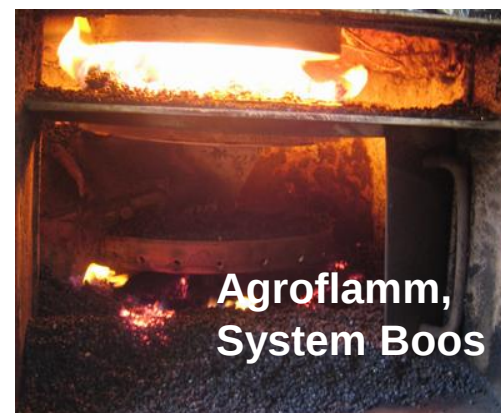
**Biokompakt
Gerlinger (A)**



Heizomat



Ökotherm



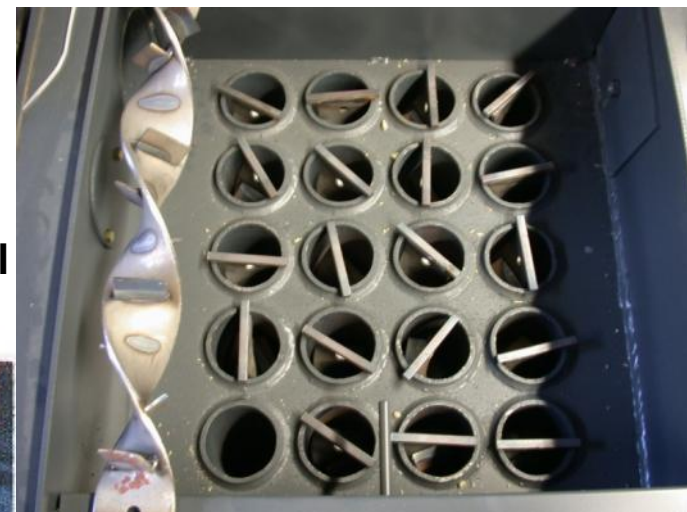
**Agroflamm,
System Boos**

Kessel Firma Passat C4 (42 / 36 kW)



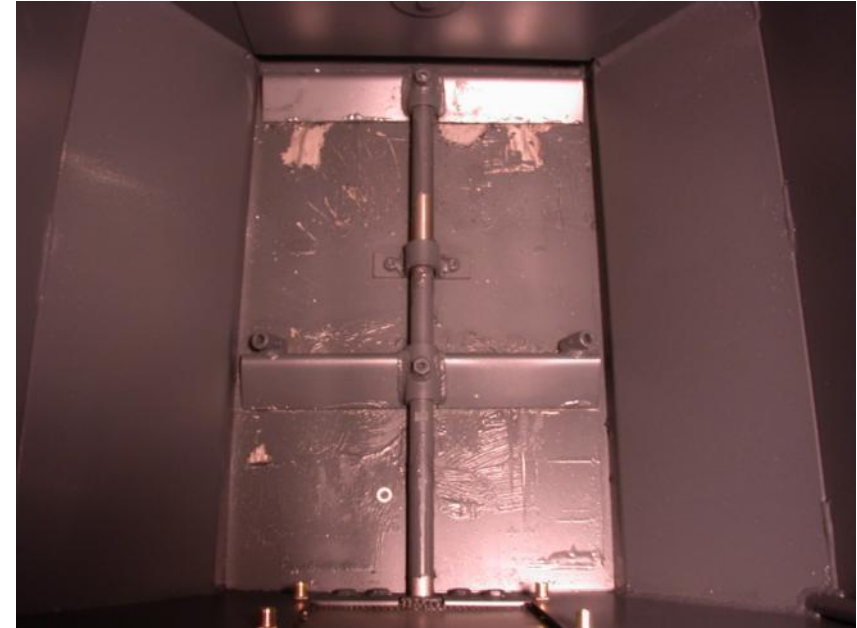
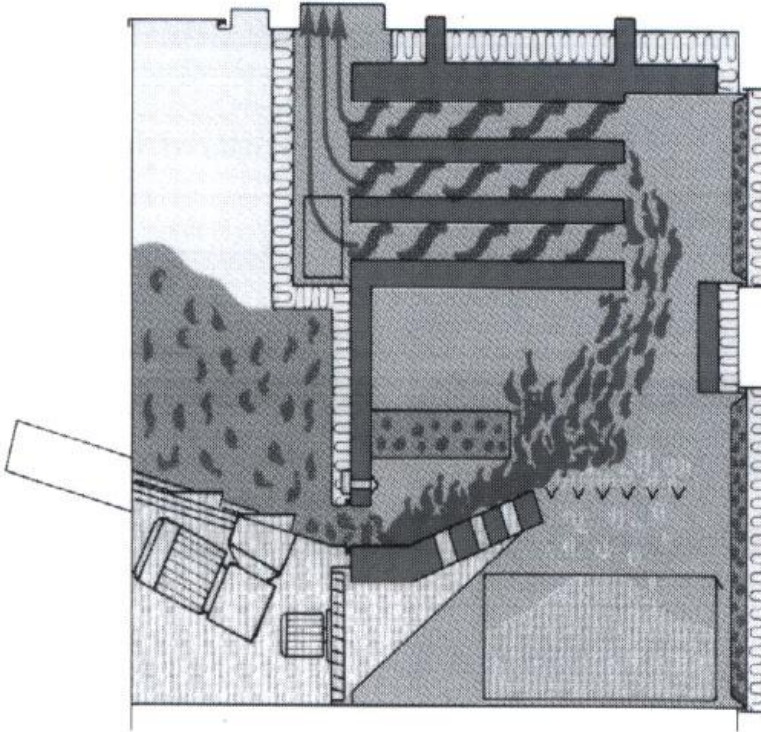
Wartung: täglich
Zugreinigung: manuell

Baugleich: Ferro- Kessel



Quelle: Firmeninfos, eigene Bilder

Schubboden Firma Passat

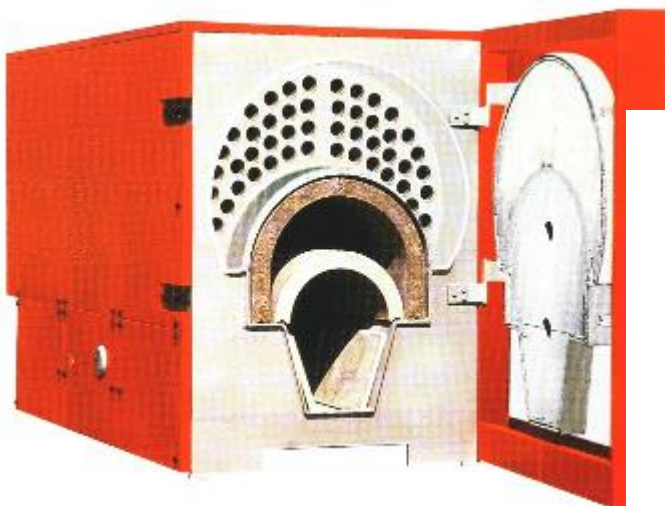


*Schnittbild des PASSAT-Magazin mit
Schneckenzuführungskessels C4 mit Schubboden*

**Prinzip: Brennstoffschieber und
Aschebremse**

Quelle: Firmeninfos

Fa. A.P. Bioenergietechnik GmbH: Kessel Ökotherm Compact 120 kW

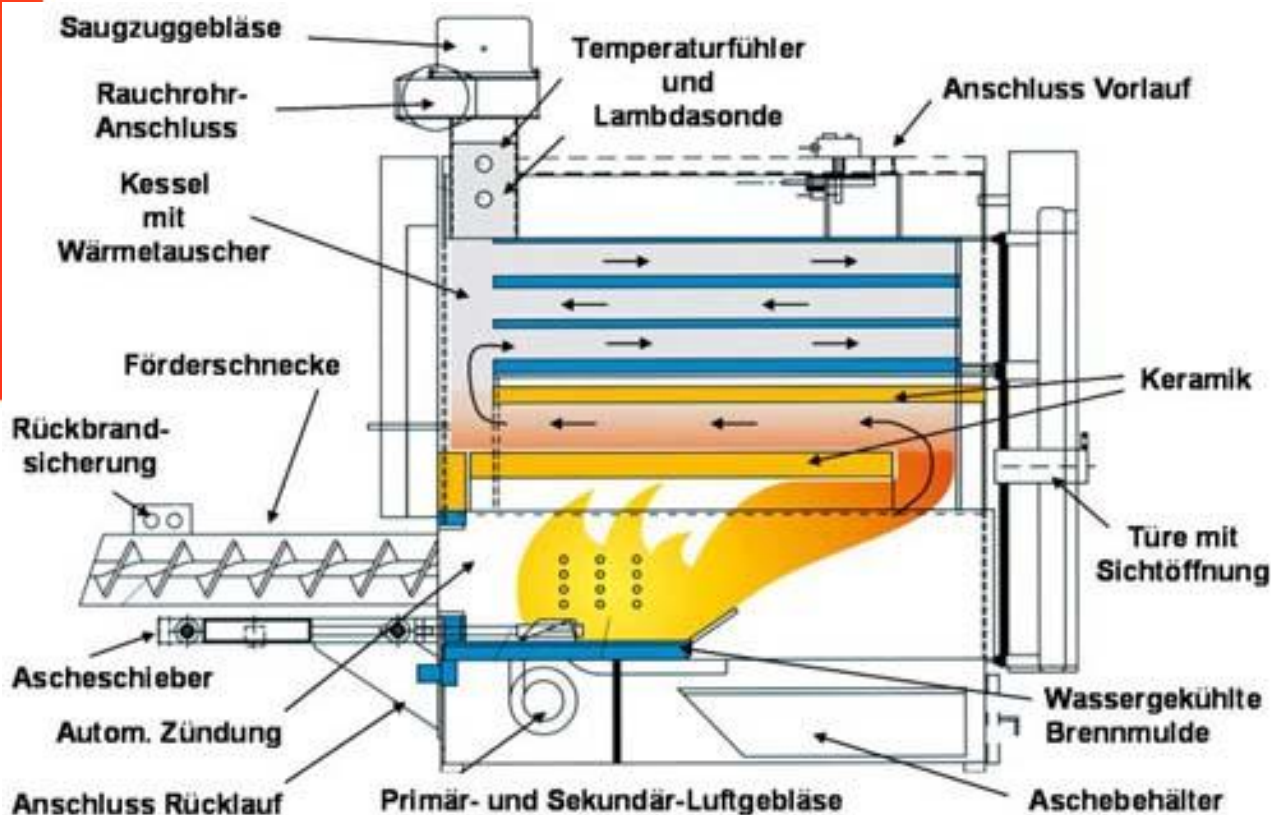


Wassergekühlte Brennmulde

**Brennstoffzufuhr /-transport
über Schnecke und Asche-
Schieber**

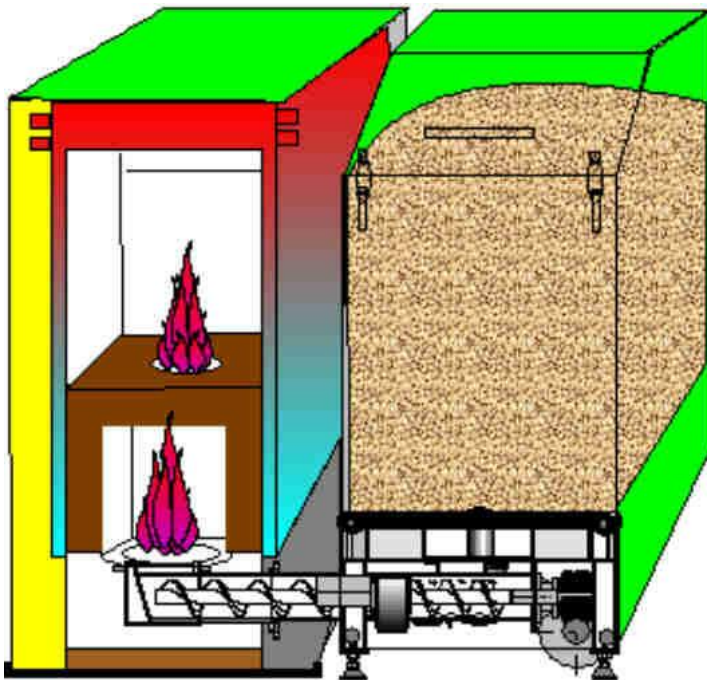
**Luftzufuhr außerhalb des
Glutbetts**

Großer Aschebehälter

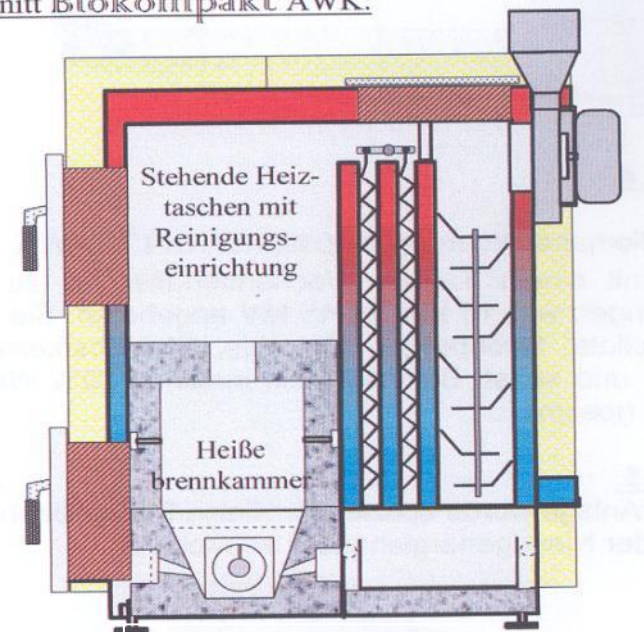


Quelle: Firmeninfos

Biokompakt (Fa. Gerlinger), 40 kW



Schnitt Biokompakt AWK:



Automat. Kalkdosierung möglich
Vollschamottierte Wirbelbrennkammer
Stoker- und Ascheschnecke
Luftvorwärmung durch Feuerbetonretorte
Automat. Zündung
Nach Herstellerangabe: Geprüft durch TÜV
München

Quelle: Firmeninfos

Getreidebrenner, System Boos/Agroflamm 40 kW

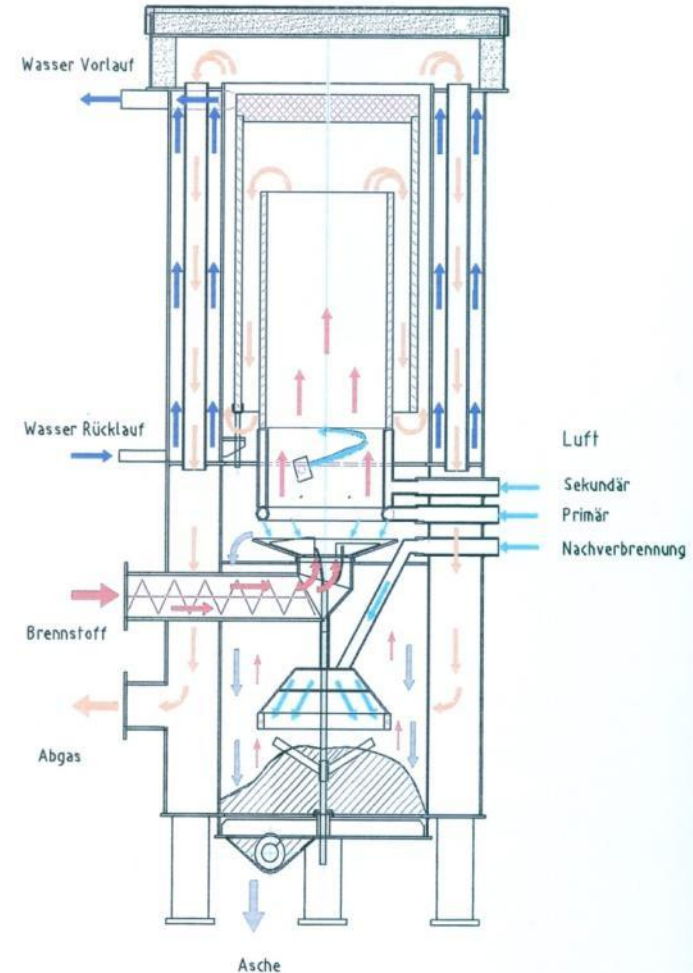
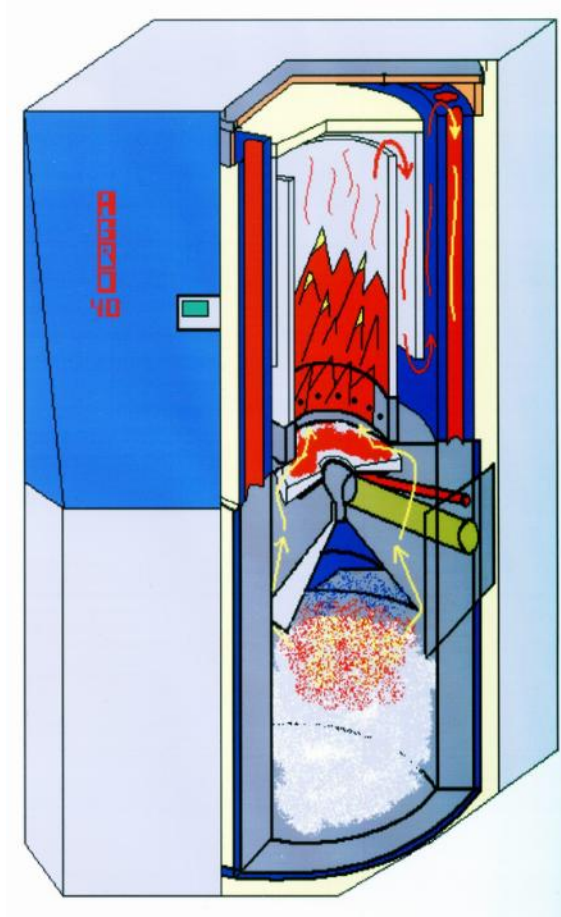


Eintrag/Transport über Stokerschnecke, Bewegungselement
Nachverbrennung (2-stufige Verbrennung)
Automat. Ascheaustrag
Automat. Rauchzugreinigung („Sprungfeder“-Turbulatoren)
Dynamische Steuerungsmöglichkeiten



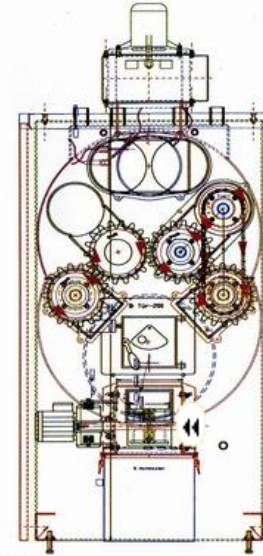
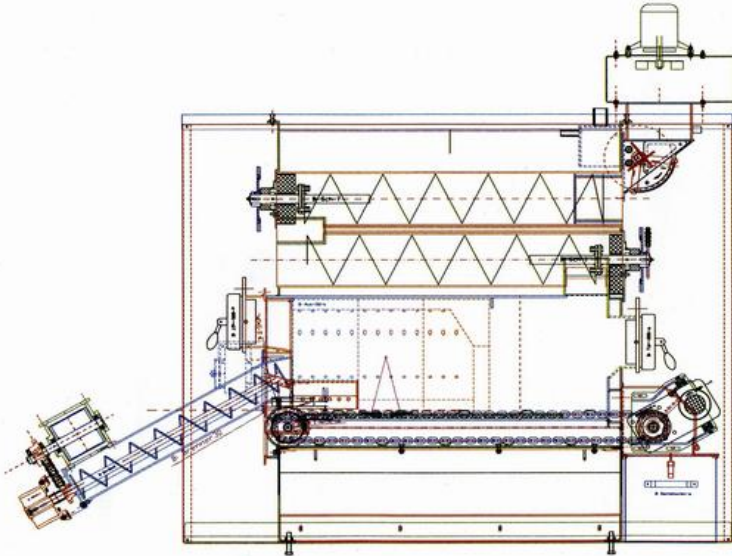
Fotos: Haus Düsse

Getreidebrenner, System Boos/Agroflamm



Quelle: Firmeninfos

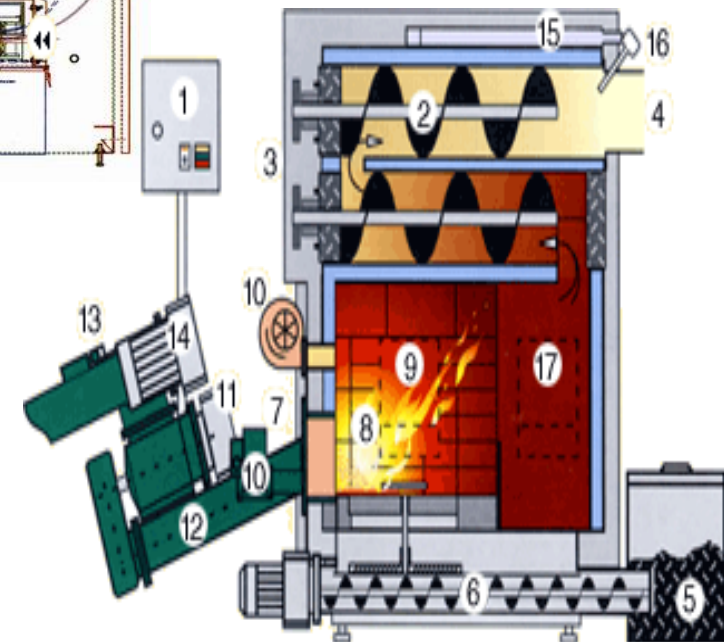
Heizomat, Fa. Döpik (60 kW)



Kettenumlaufrost

Automat. Ascheaustrag

**Automat. Zugreinigung durch
Wirbulatorenantrieb**

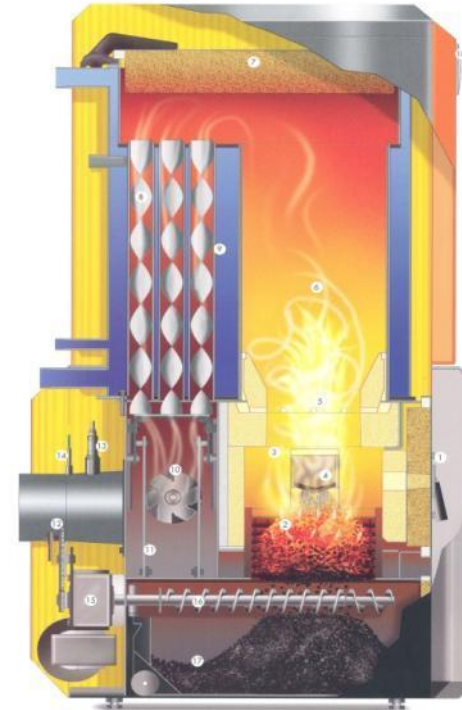
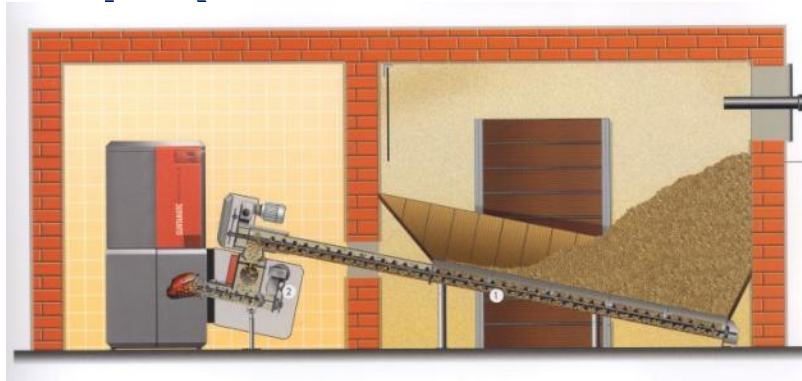


Heizomat, Fa. Döpik (60 kW)



Quelle: Firmeninfos

Kessel Powercorn, Fa. Guntamatic (7–30



1. Feuerumkleide
2. Treppenrost - Fröndel
3. Brennkammer
4. Füllstutzen
5. Wirbelkammer - Sekundärluft
6. Reaktionsrohr
7. Reinigungsdeckel
8. Wirbelkammer
9. Rohrbrückenabstreifer
10. Saugzuggebläse
11. Wärmetauschereinrichtung
12. Rauchrohr
13. Lufteinlass
14. Rauchgasdreh
15. Reinigungs- bzw. Reaktions
16. Ascheschnecke
17. Füllbarer Aschebehälter
18. Mengengeführte Regelung

Quelle: Firmeninfos

Zufuhrschnecke und selbstreinigender Treppenrost
Luftzufuhr über Lambdasonde gesteuert
Langsame Entzündung, geringe Rauchentwicklung
Langsam laufende Wirbulatorien

Entstaubung - Wäscher

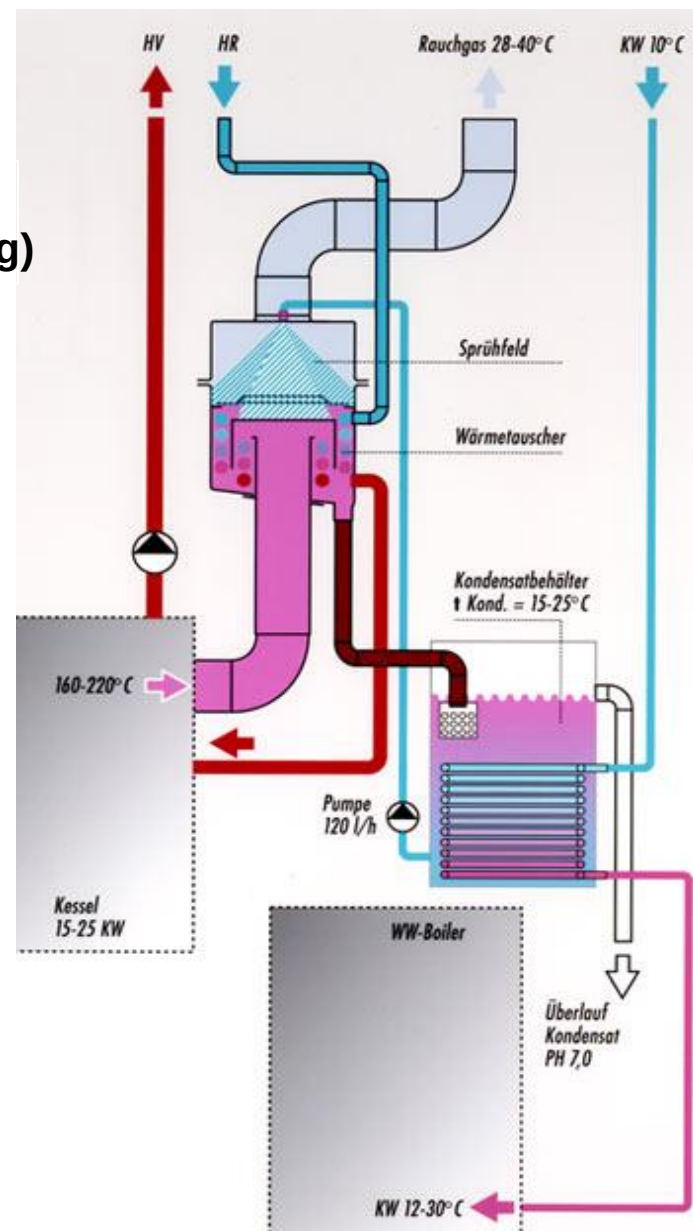


Schröder Hydrobox
(v.a. zur Leistungssteigerung)



Quelle: Firmeninfos

Neu: Hydrocube
(Wäscher mit Metallgeflecht
und E-Aufladung)



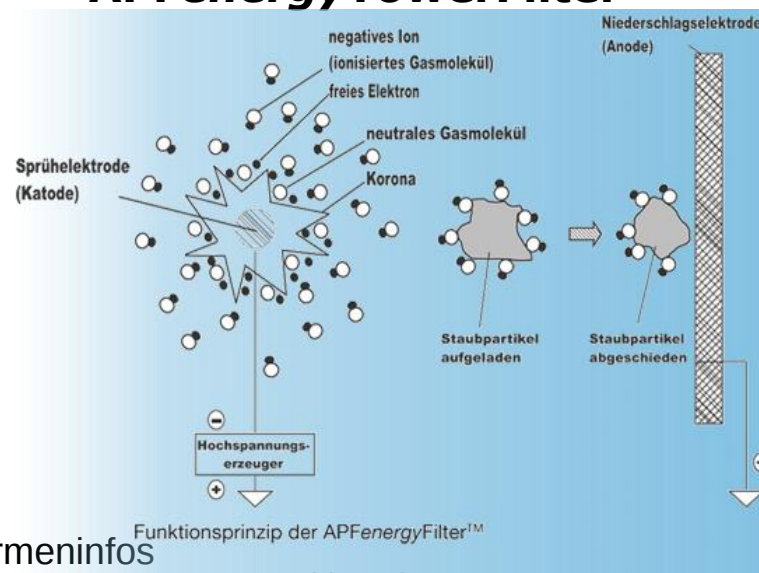
Entstaubung - Gewebefilter und Elektrofilter



links: Edelstahl- Gewebefilter
z.B. Fa. Köb (vorm. Oskar Winkel)

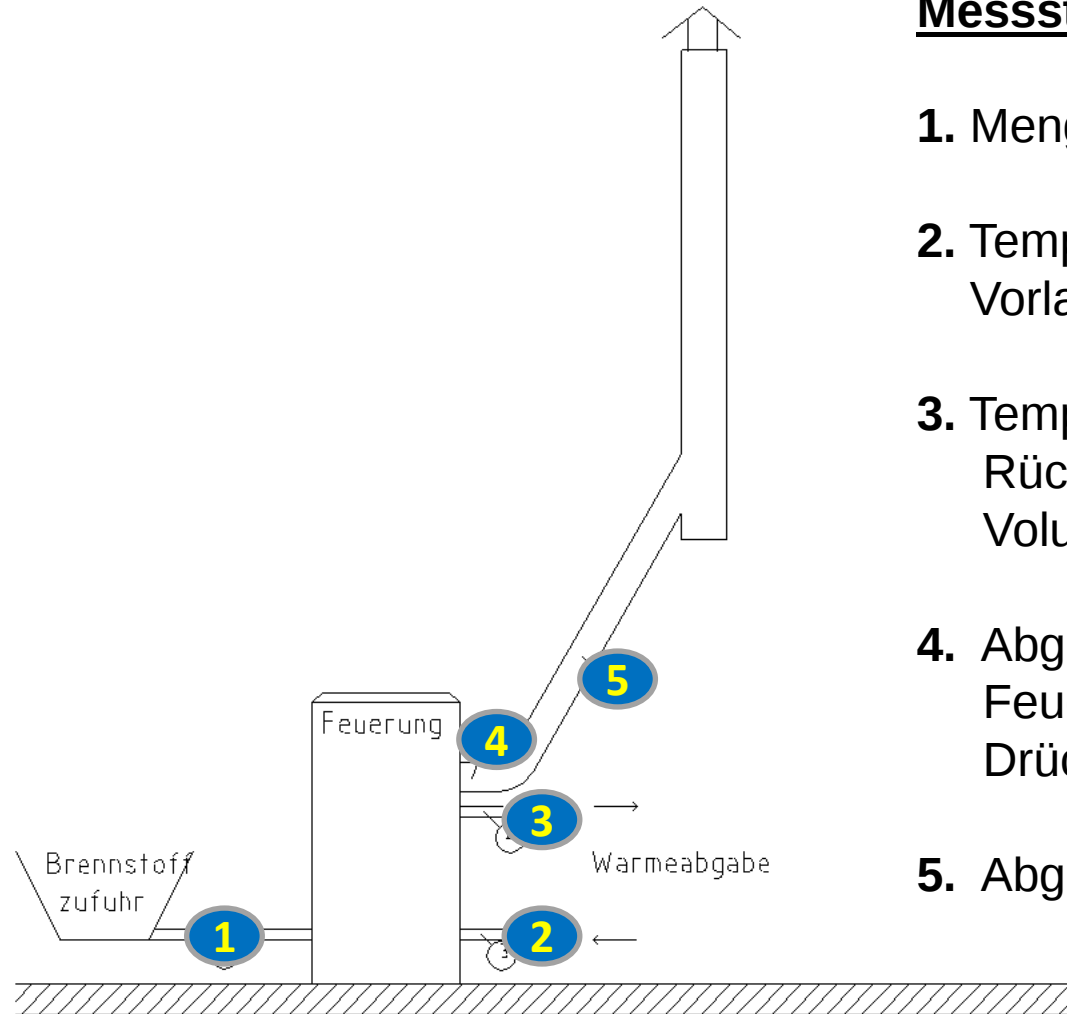
Tests durch DEULA, Rendsburg
sowie Uni Stuttgart
Sowie E-Filter Fa. REKA
in Kombination mit REKA-Kessel

rechts: Röhren-Elektrofilter
APFenergyTowerFilter



Quelle: Firmeninfos

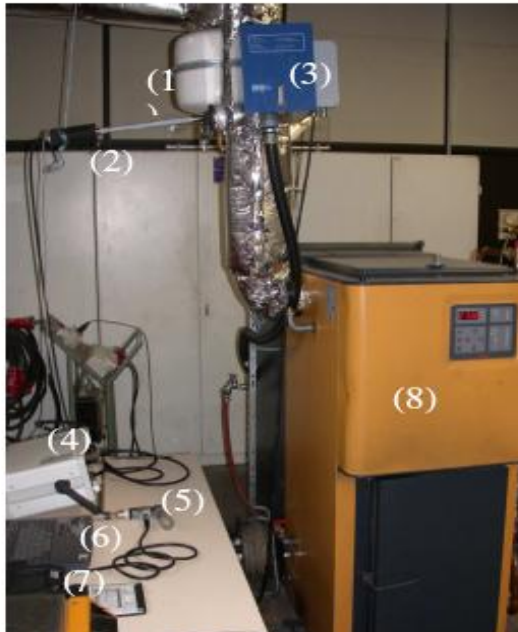
Projekt an der FH Köln /Haus Düsse



Messstellen für:

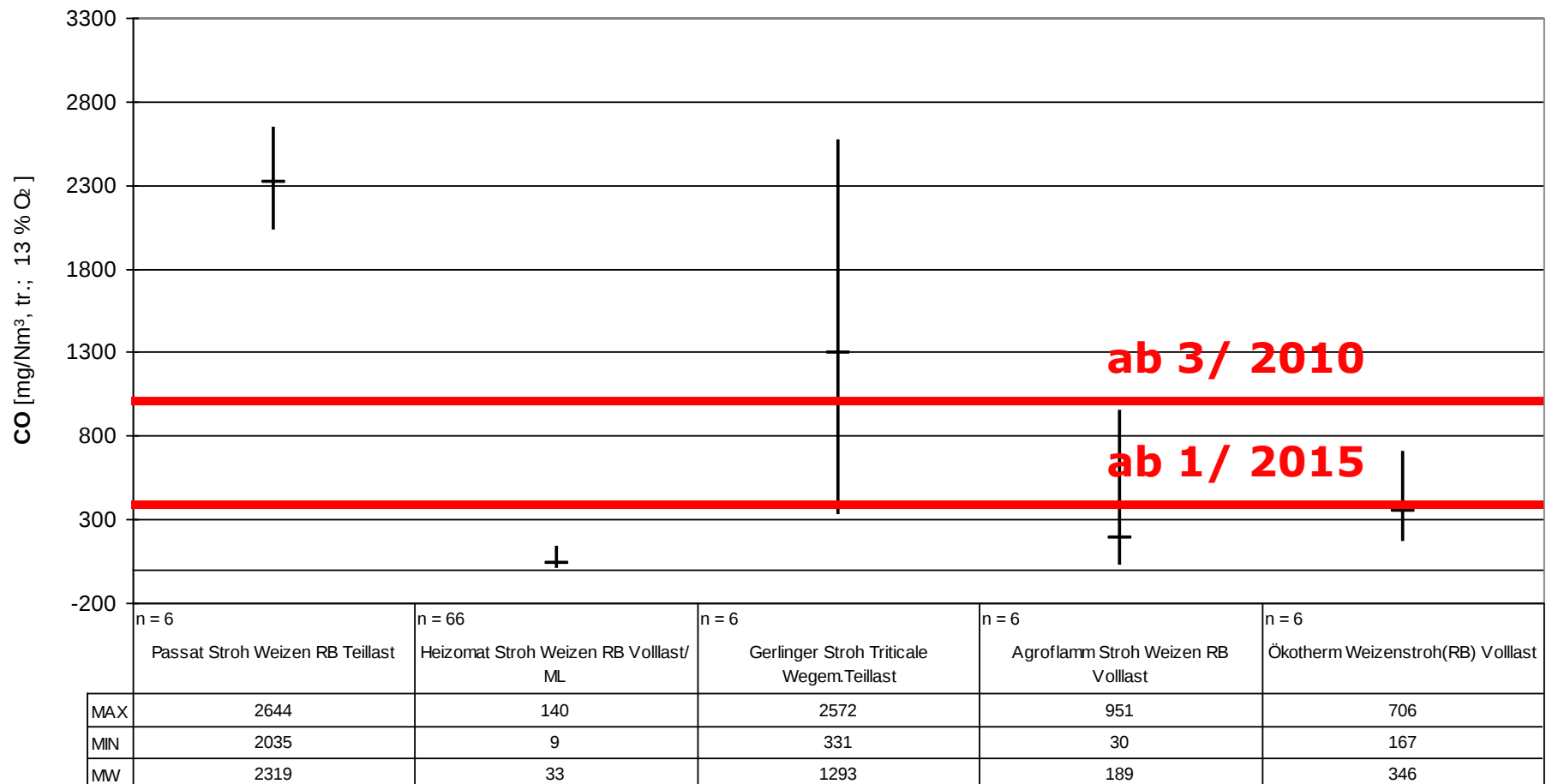
1. Menge Brennstoffzufuhr
2. Temperatur Wärmetauscher Vorlauf
3. Temperatur Wärmetauscher Rücklauf
Volumenstrom Wasser
4. Abgastemperaturen,
Feuchtigkeit,
Drücke
5. Abgasemissionen

Projekt an der FH Köln /Haus Düsse



- (1) Messstelle Abgassonde für Staubmessung und mobile Gasanalyse
- (2) Entnahmesonde mit Staubmessfilter
- (3) Gasentnahmesonde für stationäre Messeinrichtung
- (4) Wöhler Staubmessgerät
- (5) Wöhler Gasentnahmesonde
- (6) Datenerfassung
- (7) Wöhler Gasanalysecomputer
- (8) Passat C4 Feuerungskessel
- (9) Prüfgas
- (10) Kohlenwasserstoffanalysator Fidas 2T
- (11) Betriebsphotometer
- (12) Stickoxidanalysator CLD 700
- (13) Wärmeleistungsmessstrecke

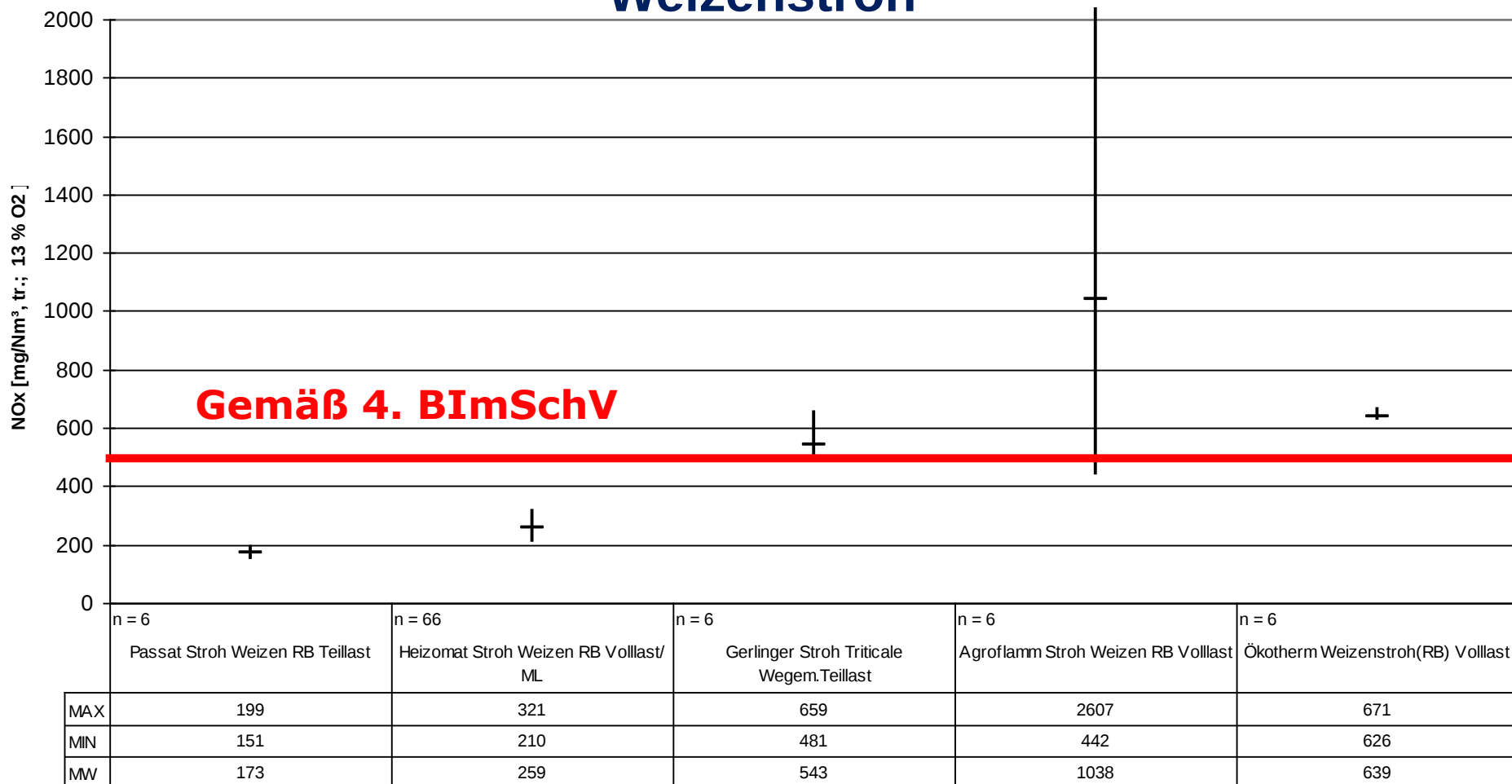
CO-Emissionen: Kesselvergleich mit Brennstoff Weizenstroh



Powercorn: Messungen mit Weizenkorn: 42 mg/m³



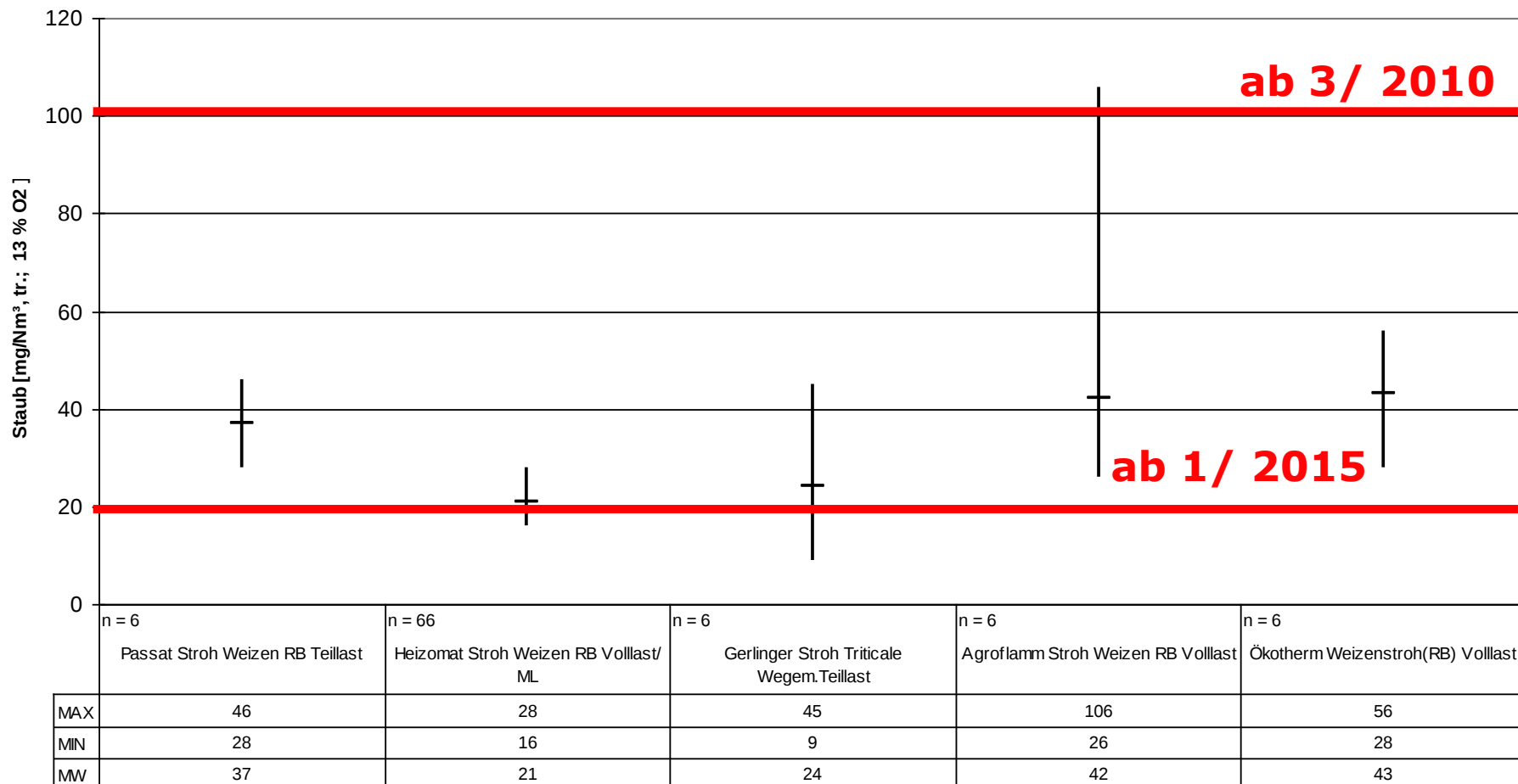
NO_x-Emissionen: Kesselvergleich mit Brennstoff Weizenstroh



Powercorn: Messungen mit Weizenkorn: 613 mg/m³



Staub-Emissionen: Kesselvergleich mit Brennstoff Weizenstroh

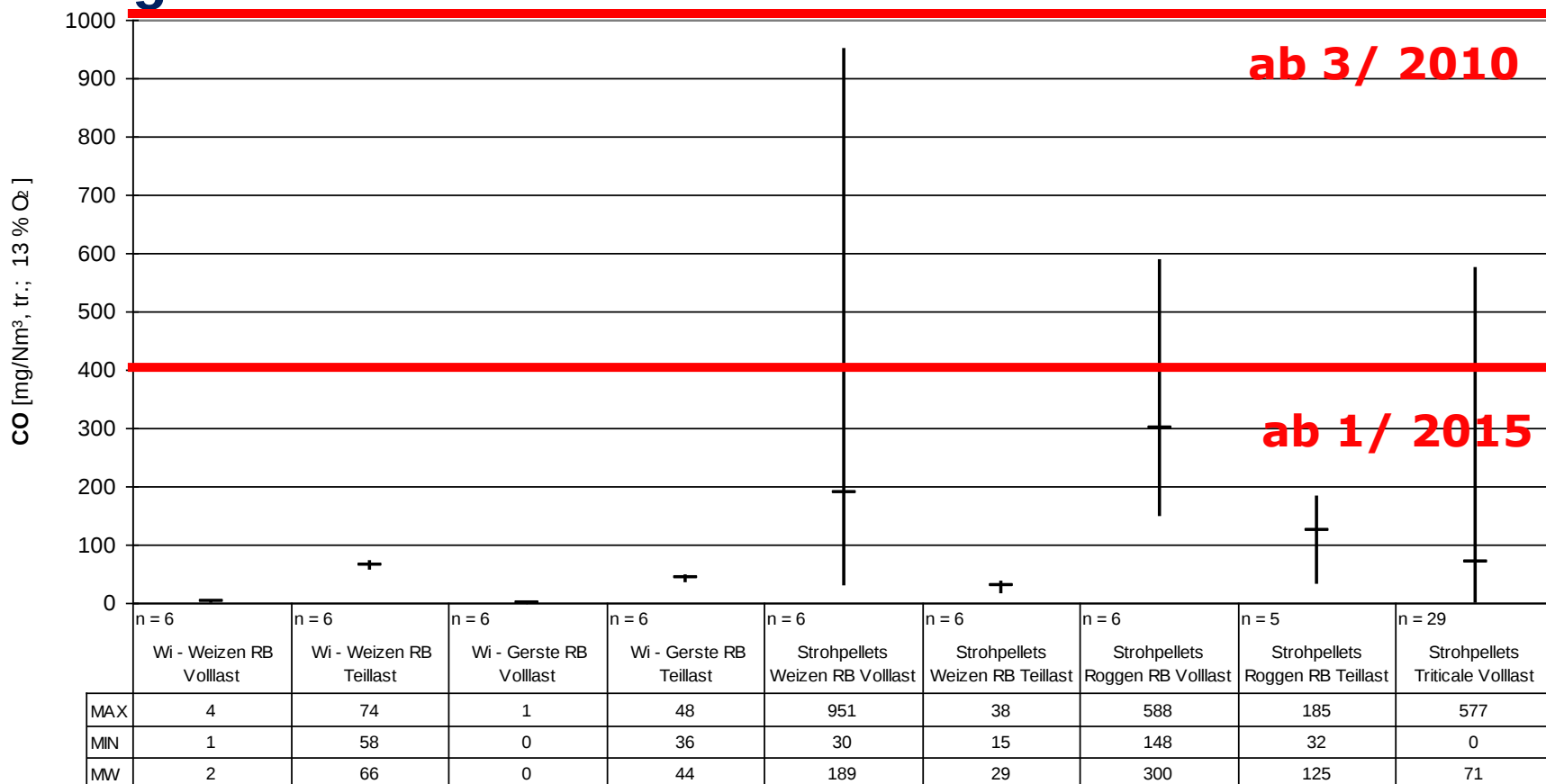


Powercorn: Messungen mit Weizenkorn: 200mg/m³

Strohkessel - ALB Hessen

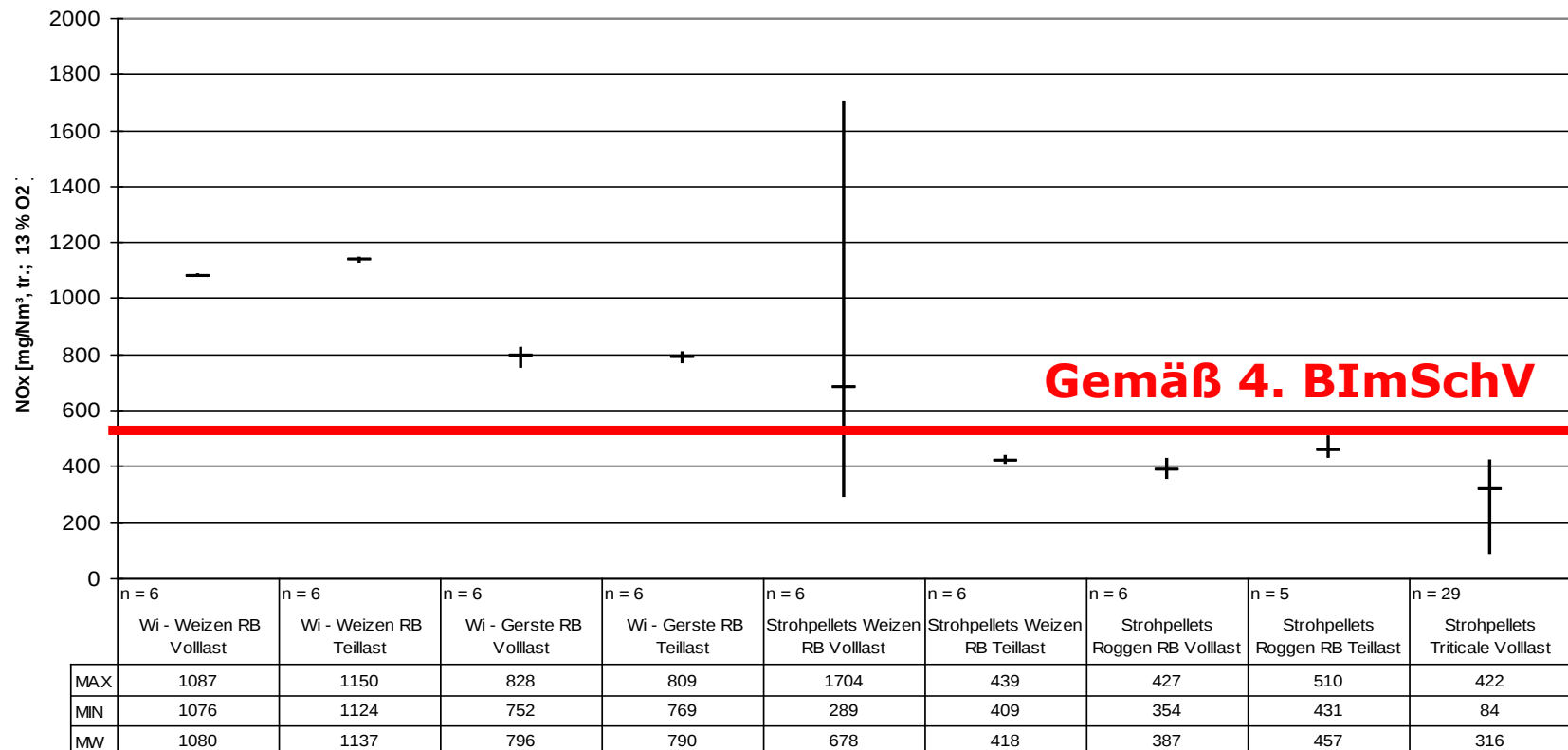
CO im Abgas – Vergleich versch. Brennstoffe im Kessel

Agroflamm



Vergleich der CO- Emissionen verschiedener Getreidekörner und Strohpellets, ermittelt durch Feldtests am Kessel Agroflamm, angegeben als Viertelstundenmittelwerte bezogen auf 13% Restauerstoffgehalt im trockenen Abgas unter Normbedingungen

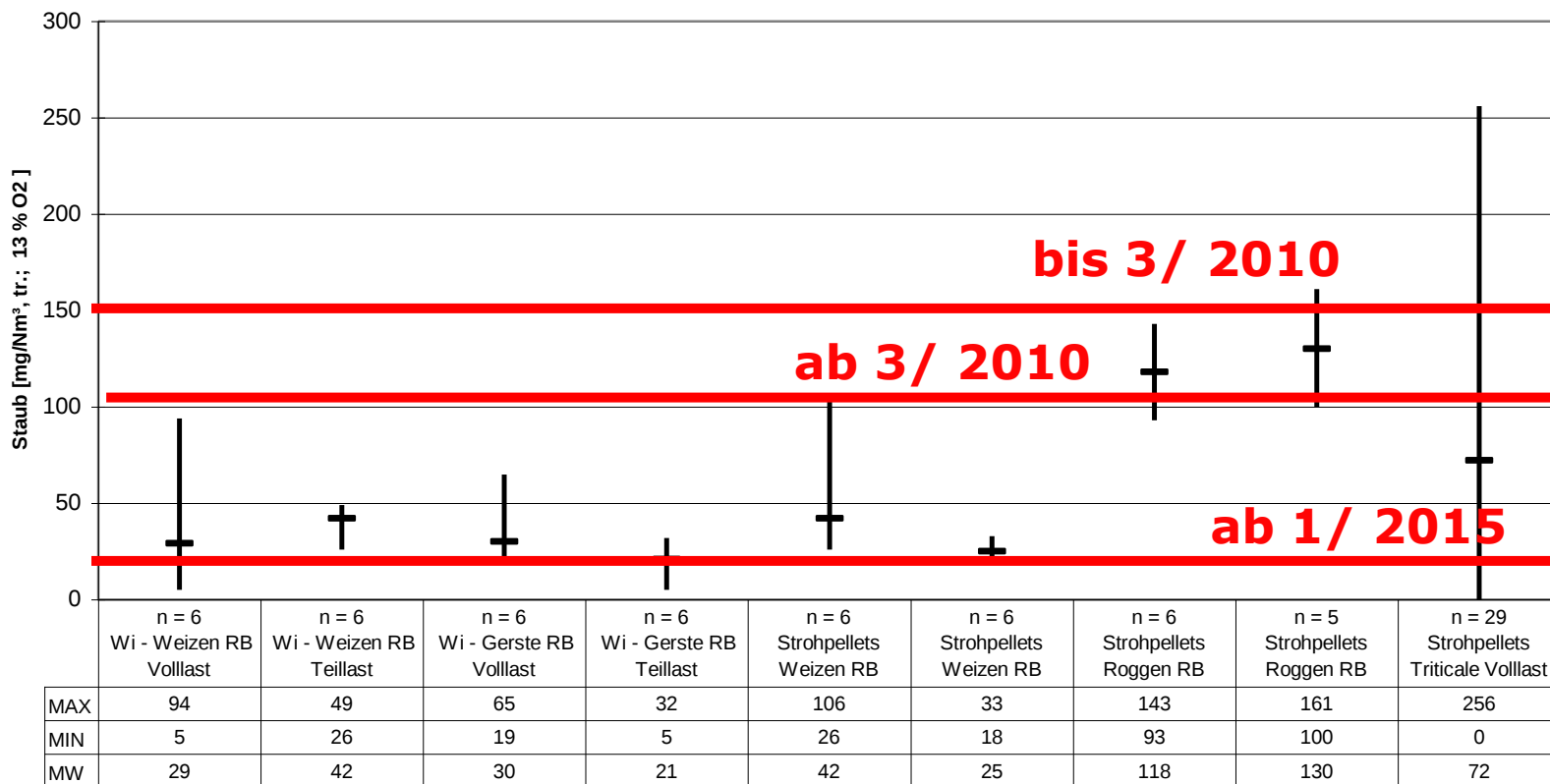
NOx im Abgas – Vergleich versch. Brennstoffe im Kessel Agroflamm



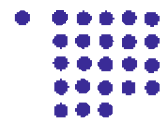
Vergleich der NOx - Emissionen verschiedener Getreidekörner und Strohpellets, ermittelt durch Feldtests am Kessel Agroflamm; angegeben als Viertelstundenmittelwerte bezogen auf 13% Restauerstoffgehalt im trockenen Abgas unter Normbedingungen

Staub im Abgas – Vergleich versch. Brennstoffe im Kessel

Agroflamm



Vergleich der Staub - Emissionen (1.BImSchV) verschiedener Getreidekörner und Strohpellets, ermittelt durch Feldtests am Kessel Agroflamm, angegeben als Viertelstundenmittelwerte bezogen auf 13% Restauerstoffgehalt im trockenen Abgas unter Normbedingungen



Ergebnisse: Vergleich der gemessenen Emissionen im Kleinfeuerungsanlagenbereich

Brennstoff (Weizen-) Stroh :

- CO: Grenzwerte von allen eingehalten, außer Gerlinger und Passat
Geringste CO-Werte: Heizomat
- NOX: nur Passat und Heizomat halten Grenzwerte(4. BImSchV) ein.
Geringste NOx-Werte: Passat
- Staub: alle halten momentane GW ein, geringste Werte: Heizomat
Keiner hält zukünftige GW ein!
Weiterentwicklung de Agroflamm-Kessel durch Fa. IHT (Luftring modifiziert)
führte zur Absenkung der Staubemissionen

Weitere Messungen:

Gesamt-C: wird von Passat nicht eingehalten (Schlechter Ausbrand)
Dioxine, Furane, Gesamt-C, HCl -Messungen bei Heizomat: GW eingehalten

Vergleich von Stroh und Korn als Brennstoff bei Passat und Agroflamm:

Agroflamm: Bei Stroh liegen die Werte für Staub und CO höher, für NOx geringer als
bei Korn
Passat: Gleiche Tendenz wie bei Agroflamm, Staubwerte insgesamt höher



Große Strohheizkessel - Bereitstellungsarten von Stroh

		Häcksel	Rundballen	Quaderballen	Pellets/ Getreide
Abmessungen		2 – 5 cm	1,5 * 2,5 m	1,2 * 1,3 * 2,4 m	6 – 40 * 100 mm
Lagerungsdichte (kg/m³)		65 - 80	110 - 150	150 - 200	400 - 600
Transport- eignung	nah	-	++	++	++
	fern	--	+	++	++
Feuerungstyp		(1) Unterschub- (2) Vorschub- rostfeuerung	(1) Feuerung mit Scheibenteiler (2) Strohvergaser	(1) Zigarrenbrenner (2) Feuerung mit Scheibenteiler	Pellet- /Getreide- anlagen
Leistungs- bereich		(1) bis ca. 1 MW (2) alle Bereiche	(1) ab ca. 500 kW (2) 85 bis 400 kW	ab ca. 3 MW	bis max. 500 kW
Brennraum- beschickung		kontinuierlich	chargenweise	(1) kontinuierlicher Vorschub (2) chargenweise	kontinuierlich

verändert nach Strehler 1988 und Hartmann/Kaltschmitt 2002

Ergebnisse anderer Arbeitsgruppen zu Emissionsmessungen an Strohkesseln

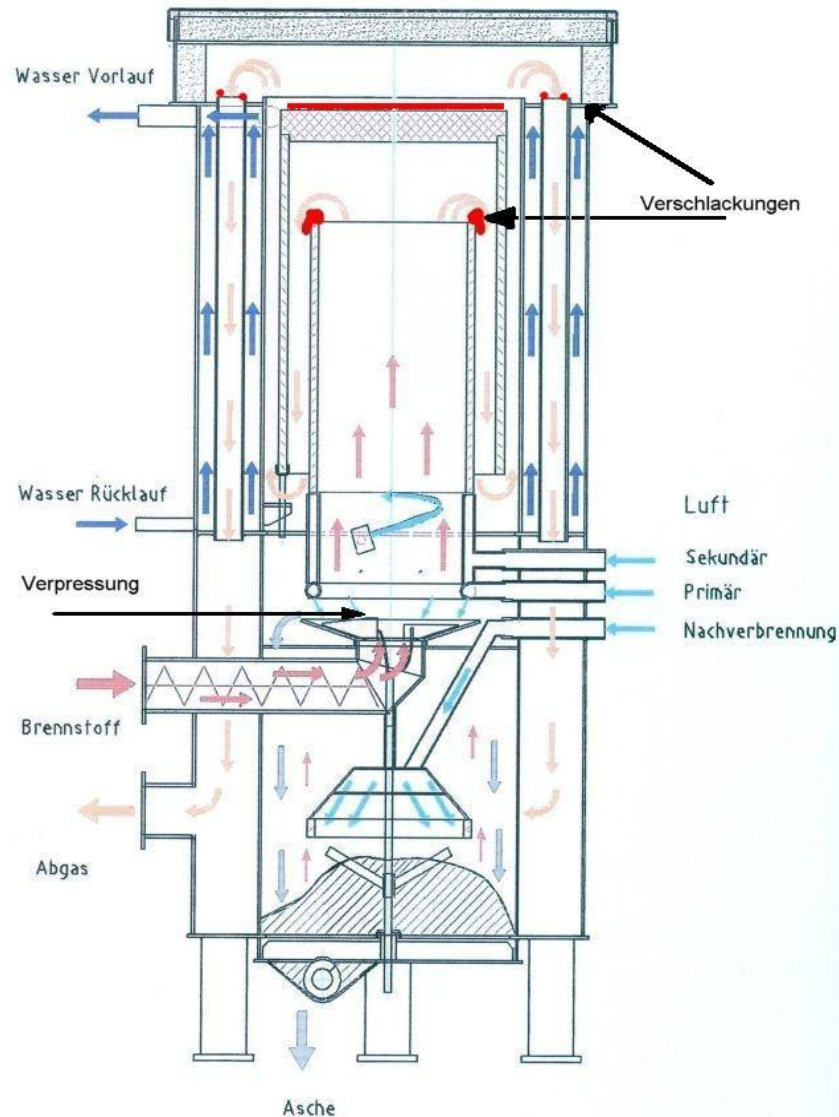
Kessel	CO mg/Nm ³	NO _x mg/Nm ³	Staub mg/Nm ³
Reka (DK) HKRST 30 (30 kW) mit Pellets	2967 !	203	1165 !
Reka (DK) HKRST 60 (60 kW) mit Strohhacksel	98	423	48
IHT modifiziert(40 kW) mit Pellets	46	333	45
Linka (DK) (400 kW) mit Strohhacksel (Ballenauflöser)	623 !	356	328 !
Linka (DK) (400 kW)mit Strohhacksel und Gewebefilter (Fa. Deichmann)			25
Herlt (145 kW) Ganzballenvergaser	86	286	67 !

Agroflam: Schlackebildung im Langzeitversuch



Mit Triticale-Strohpellets

Agroflamm Langzeitversuch - Verkrustungen



Passatkessel - Langzeitversuch



Schlacke aus dem Feuerraum nach der Verbrennung von Strohpellets, tägliche Entfernung notwendig

Verkrustungen an den Wärmetauscherspindeln, wöchentliche Reinigung erforderlich

Passatkessel - Langzeitversuch



**Korrosion und Ablagerungen aus den
Wärmetauschern nach 4- wöchigem Stillstand**



**Erhöhte Emissionen während
der An- und Abfahrvorgänge**

Maßnahmen bezüglich Emissionen und Verschlackung

- **Brennstoff:**
Einflussnahme bei Anbau/Erntezeitpunkt (N, Cl), „Graues“ Stroh verwenden, optimierte Pelletherstellung (Abrieb etc., Zerkleinerung statt Vermahlung, Kalkzusatz)
- **Kesseltechnik:**
Brennstoff- und Aschebewegung notw. (Verschlackungsneigung), Rauchgasumlenkung (Staub)
- **Betrieb / Fahrweise der Anlage**
 - Einstellung des Kessels auf den jeweiligen Brennstoff (z.B. Luftzufuhr)
 - Einbindung des Kessels in das Heizsystem, möglichst nur Volllastbetrieb (Wärmepuffer), Überdimensionierung der Kesselleistung vermeiden
 - An- und Abfahrvorgänge sowie Teillastbereiche kritisch
 - Wartungen einhalten
 - Verschlackungen und Verkrustungen regelmäßig entfernen
 - Gefahr erhöhter Korrosion in Standzeiten

Abschließend noch...

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Das FH-Projektteam:

Projektleiterin:	Prof. Dr. Christiane Rieker
Projektbetreuer:	Dipl.-Ing. Thomas Mockenhaupt
Projektbearbeiter:	Dipl.-Ing. Daniel Deventer
Die (ehem.) Studenten:	Dipl.-Ing. Jan Bäuscher
	Dipl.-Ing. Werner Hofene

