

München, im November 1997

Emissionen bayerischer Biomassefeuerungen Ergebnisse einer Grundsatzuntersuchung

Dr.-Ing. Stefan Huber / Dipl.-Phys. Hans Frieß
Bayer. Landesamt für Umweltschutz (LfU)
Rosenkavalierplatz 3, 81925 München
Tel.: 089-9214-0, Fax.: 089-9214-3281
email: abt1.ee@lfu.bayern.de

1. Einleitung

Der Einsatz von Biobrennstoffen als regenerative Energieträger ist angesichts der anhaltenden Diskussion über den anthropogenen Treibhauseffekt neben der Nutzung von Wasserkraft und Sonnenenergie als ein wesentlicher Baustein einer zukünftigen Energieversorgungsstruktur anzusehen. Laut Regierungserklärung des Bayerischen Ministerpräsidenten vom 19.07.1995 ist es erklärtes Ziel der Bayerischen Staatsregierung, den Anteil des Energieträgers Biomasse an der Energieerzeugung von derzeit ca. 3% auf 5 % zu erhöhen. Die Staatsregierung will die Förderung der energetischen Nutzung von Biomasse hierzu weiter um rund 54,4 Mio. DM aufstocken.¹⁾

¹⁾ Vortrag von Frau Staatssekretärin Marianne Deml zum Thema „Vorreiterrolle Bayerns bei nachwachsenden Rohstoffen“ anlässlich des 6. CARMEN-Symposiums am 30.06.1997 in der Würzburger Residenz

Damit der verstärkte Einsatz von Biomasse auch unter dem Aspekt des Immissions-schutzes eine breite tragfähige Basis findet und behalten kann, ist der Nutzung von Biobrennstoffen mit umweltfreundlicher Energietechnik ein hoher Stellenwert einzu-räumen. Hinsichtlich der möglichen Umweltbeeinträchtigungen durch die Nutzung von Biomasse als Ersatz für fossile Energieträger bestehen noch Wissenslücken, die im Rahmen des FuE-Projektes „Umweltauswirkungen der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ des Bayerischen Landesamt für Umweltschutz (LfU) geschlossen werden sollen. Das FuE-Projekt wird vom Bayerischen Staatsministeri-um für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) getragen.

In diesem Rahmen hat die A.M.U. TÜV GmbH im Auftrag des LfU in den Jahren 1996 und 1997 Emissionsmessungen sowie Brennstoff- und Ascheuntersuchungen an drei bayerischen Biomasse-Feuerungen vorgenommen. Das Labor des LfU in Wackersdorf war insbesondere mit der Bestimmung von chlororganischen Stoffen, wie Dioxinen, das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) mit Eluatanaly-sen an der Untersuchung beteiligt.

Eine detaillierte Aus- und Bewertung der umfangreichen Meßdaten erfolgt derzeit durch das LfU. Die Aschequalität der Anlagen wird in Zusammenarbeit mit dem LfW, der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) und der Bay-erischen Landesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (LWF) beurteilt.

Im folgenden werden Ergebnisse zum ermittelten Emissionsverhalten der Anlagen vorgestellt. Dabei werden Fragestellungen verfolgt, welchen Einfluß der Brennstoff selbst, das Ausbrandverhalten und die Abgasreinigung auf das Emissionsverhalten haben.

2. Biomasse - Feuerungen

Das LfU hat unter Berücksichtigung der im Einzelfall eingesetzten biogenen Brenn-stoffe, der Anlagengröße sowie der vorhandenen Feuerungs- und Abgasreinigungs-

technik in enger Abstimmung mit den Betreibern drei neue Anlagen unterschiedlicher Größe ausgewählt, die in den letzten Jahren den Betrieb aufgenommen haben.

Eine kurze Charakterisierung der Ausstattung der Anlagen ist folgender Übersicht zu entnehmen (Tabelle 1).

	Biomasse-Feuerung 1 Anlage „E“	Biomasse-Feuerung 2 Anlage „C“	Biomasse-Feuerung 3 Anlage „A“
<u>Brennstoffe</u>	<ul style="list-style-type: none"> • naturbelassenes Rest-/Waldholz (nbH) • Getreideganzpflanzen Pellets (Gpf) 	<ul style="list-style-type: none"> • naturbelassenes Rest-/Waldholz (nbH) • Getreideganzpflanzen Pellets (Gpf) 	<ul style="list-style-type: none"> • naturbelassenes Rest-/Waldholz (nbH) • Getreidestroh (S)
<u>Feuerung</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Vorschubrostfeuerung • Naßentaschung • Feuerungswärmeleistung: 11 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • wassergekühlte Vorofenfeuerung mit Ascheschieber • Nachbrennkammer • Feuerungswärmeleistung: 950 kW 	<ul style="list-style-type: none"> • wassergekühlte Vorofenfeuerung mit Ascheschieber • Nachbrennkammer • Feuerungswärmeleistung: 600 kW
<u>Kessel</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserrohrkessel • Dampferzeugung 11,6 t/h (59 bar, 500 °C) • Nennwärmeleistung: 8,4 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • Großwasserraumkessel • Heißwassererzeugung mit 0,5 bar, 120 °C • Nennwärmeleistung: 950 kW 	<ul style="list-style-type: none"> • Großwasserraumkessel • Heißwassererzeugung mit 0,6 bar, 120 °C • Nennwärmeleistung: 640 kW
<u>Abgasreinigung</u>	<ul style="list-style-type: none"> • kein Vorabscheider • Horizontal-Trocken-Filter mit 2 Kammern, 7 Gassen, 504 m² Niederschlagsfläche, für max. 3,5 g/m³ Rohgasstaubgehalt bei 45.000 Bm³/h 	<ul style="list-style-type: none"> • Zyklon • Schlauchfilter mit aufgenadelten PTFE-Fasern, 65 m² Filterfläche, ausgelegt auf 200 mg/m³ bei 4.500 Bm³/h 	<ul style="list-style-type: none"> • Multizyklon • Horizontal-Trocken-Elektrofilter mit 24 m² Niederschlagsfläche, ausgelegt auf 1,2 g/m³ Rohgasstaubgehalt bei 2.400 Bm³/h
<u>Aschefraktionen</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Feuerraumasche • Filterstaub 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuerraumasche • Zyklonasche • Filterstaub 	<ul style="list-style-type: none"> • Feuerraumasche • Zyklonasche • Filterstaub

Während die Anlage „E“ als Biomasse-Heizkraftwerk Heizwärme und ganzjährig Strom erzeugt, werden die Biomasse-Feuerungen der Anlagen „C“ und „A“ überwiegend in der kalten Jahreszeit zur Bereitstellung von betrieblicher Heizwärme bzw. zur Wärmeversorgung eines Dorfes (Nahwärme) betrieben.

3. Zielsetzung und Meßprogramm

Das der Untersuchung zugrunde liegende Meßprogramm wurde vom LfU erstellt. Die relevanten Ascheparameter wurden in Zusammenarbeit mit dem LfW und der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) festgelegt.

Zielsetzung der Grundsatzuntersuchung war die detaillierte Ermittlung des Emissionsverhaltens von modernen, ausgeführten Anlagen, die mit effektiven Entstaubungseinrichtungen ausgerüstet sind. Dabei sollten in acht ganztägigen Meßreihen in den Anlagen entsprechend dem jeweiligen Genehmigungsumfang halmgutartige Biomasse (Stroh und Ganzpflanzenpellets) und zum Vergleich naturbelassenes Holz als Brennstoff eingesetzt werden.

Neben den für die Feuerungsanlagen typischen Emissionsparametern, wie Staub, Stickstoffoxiden und Kohlenmonoxid wurden auch ausgewählte organische und chlororganische Stoffe, wie z.B. Aldehyde, BTX, PAH, Dioxine/Furane, PCB etc. sowie Schwermetalle untersucht. Besonders bei Einsatz von Stroh und Ganzpflanzen lagen hierzu bisher nur vereinzelte, für einzelne Parameter noch keine Meßergebnisse vor. Speziell für diese Brennstoffe wurden daher an jeder Anlage auch Roh- und Reingasmessungen vorgenommen, um auch die Effizienz der installierten Entstaubungseinrichtungen zur Abscheidung von Staub und staubgebundenen, luftverunreinigenden Stoffe quantifizieren zu können.

Darüberhinaus war die genaue Charakterisierung der anfallenden Feuerraum- und Filteraschen Ziel der Untersuchung, um Rückschlüsse auf deren stoffliche Verwertbarkeit, insbesondere im Bereich der Land- und Forstwirtschaft, ziehen zu können. Durch die Vorgaben des Immissionsschutzes und der Kreislaufwirtschaft muß sichergestellt sein, daß eine Ascheverwertung schadlos und ordnungsgemäß erfolgt. Die Auswertung der Ergebnisse hierzu soll jedoch an anderer Stelle erfolgen.

Die folgende Darstellung zeigt den Gesamtumfang der untersuchten Parameter:

Untersuchungsumfang Brennstoffe

standardmäßig:

- unterer Heizwert
- Feuchte
- Chlorgehalt
- Stickstoffgehalt
- Schwefelgehalt
- Metalle und Schwermetalle: Hg, Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Zn, Mn, As, Fe, Mo, Sb, Ba

teilweise:

- Fluorgehalt
- EOX
- PCDD/F
- PCP

Untersuchungsumfang Emissionen

kontinuierlich:

- Kohlenmonoxid
- organische Stoffe, als Gesamt-C
- Stickstoffoxide, als Stickstoffdioxid
- Schwefeloxide, angegeben als Schwefeldioxid

diskontinuierlich:

- Gesamtstaub
- Schwermetalle: Hg, Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Zn, Mn, As, Mo, Sb
- dampf- oder gasförmige anorganische Chlorverbindungen, angegeben als Chlorwasserstoff (HCl)
- Benzol, Toluol, Xylol (BTX)
- Aldehyde (C1 - C4)
- polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH; EPA 610)
- polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F gem. Anhang 17. BImSchV)

Sonderparameter:

- | | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| - Summe der Phenole | - Nitropyrene |
| - Summe der Chlorbenzole | - Chlor |
| - Summe der Chlorphenole | - Carbonylchlorid |
| - PCB gemäß DIN 51527 Teil 1 | - Distickstoffoxid (N ₂ O) |

Bei Einsatz von Stroh und Ganzpflanzen: Roh- und Reingasmessungen für Staub, Schwermetalle und PAH, PCB, PCDD/F.

Untersuchungsumfang Aschen

Originalsubstanz, bezogen auf TS

- organischer Anteil des Trockenrückstandes als
 - = Glühverlust in Masse-%
 - = TOC in Masse-%
- Stickstoff
- Ammoniumstickstoff
- Chlor
- Phosphat (P₂O₅)
- Kalium (K₂O)
- Magnesium (MgO)
- Calcium (CaO)
- Hg, Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Zn, Mn, As, Mo, Sb, Fe, Ba
- Cr (VI)
- PCDD/F

Eluat gemäß DIN 38414-S4

- pH-Wert
- Leitfähigkeit
- TOC
- Phenole
- Ammoniumstickstoff
- Fluorid
- Chlorid
- Sulfat
- Nitrat
- Hg, Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Zn, Mn, As, Mo, Sb, Ba
- Cr (VI)
- Abdampfrückstand

Bei der nachfolgenden Auswertung der vielfältigen Daten wurde der Schwerpunkt der Betrachtungen auf die folgenden Fragestellungen gelegt:

- Vergleich brennstoffbedingter Emissionen bei Einsatz von naturbelassenem Holz und Stroh/Ganzpflanzen (SO_x , HCl, NO_x)
- Einfluß des Ausbrandverhaltens auf Emissionen organischer Stoffe
- anlagenbezogene Betrachtung der Wirkung der effektiven Staubabscheidung (Staub, PCDD/F, Schwermetalle)

Die im folgenden angegebenen Emissionswerte beziehen sich auf das trockene Abgas im Normzustand bei einem Sauerstoffgehalt von 11 Vol.-%.

4. Brennstoffeinfluß

Für die 8 Meßreihen wurden an den 3 Anlagen unterschiedliche Biomasse-Brennstoffe eingesetzt, um den Einfluß der Brennstoffe auf das Emissionsverhalten zu ermitteln. Während in den Anlagen „E“ und „C“ im Betrieb vorrangig naturbelassenes Rest- und Waldholz (nbH) eingesetzt wird und Ganzpflanzen (Gpf) oder Stroh (S) nicht von praktischer Bedeutung sind, kann die Anlage „A“ wahlweise mit naturbelassenen Rest- und Waldholz und/oder Stroh (Ballenauflöser) betrieben werden.

Der Gehalt an umweltrelevanten Inhaltsstoffen der Biomasse-Brennstoffe hat - unabhängig von der Feuerung - maßgeblichen Einfluß auf die Emissionen. In Halmgütern sind die Gehalte Schwefel, Chlor und Stickstoff gegenüber Holz stark erhöht (Abbildung 1). Bei der Verfeuerung setzen sich diese im Brennstoff enthaltenen Elemente vornehmlich zu SO_x , HCl und NO_x um, so daß hier erhöhte Emissionen auftreten (Abbildung 2).

Die Ergebnisse zeigen, daß die im Vergleich mit Holz höheren Schwefelgehalte im Stroh und in der Ganzpflanze sich in den SO_x -Emissionen entsprechend widerspiegeln. Die Unterschiede beim Chlorgehalt im Brennstoff verstärken sich bei den HCl-Emissionen sogar deutlich. Durch den höheren Stickstoffgehalt in den Halmgütern kommt es oft zu einer Verdoppelung der NO_x -Emissionen.

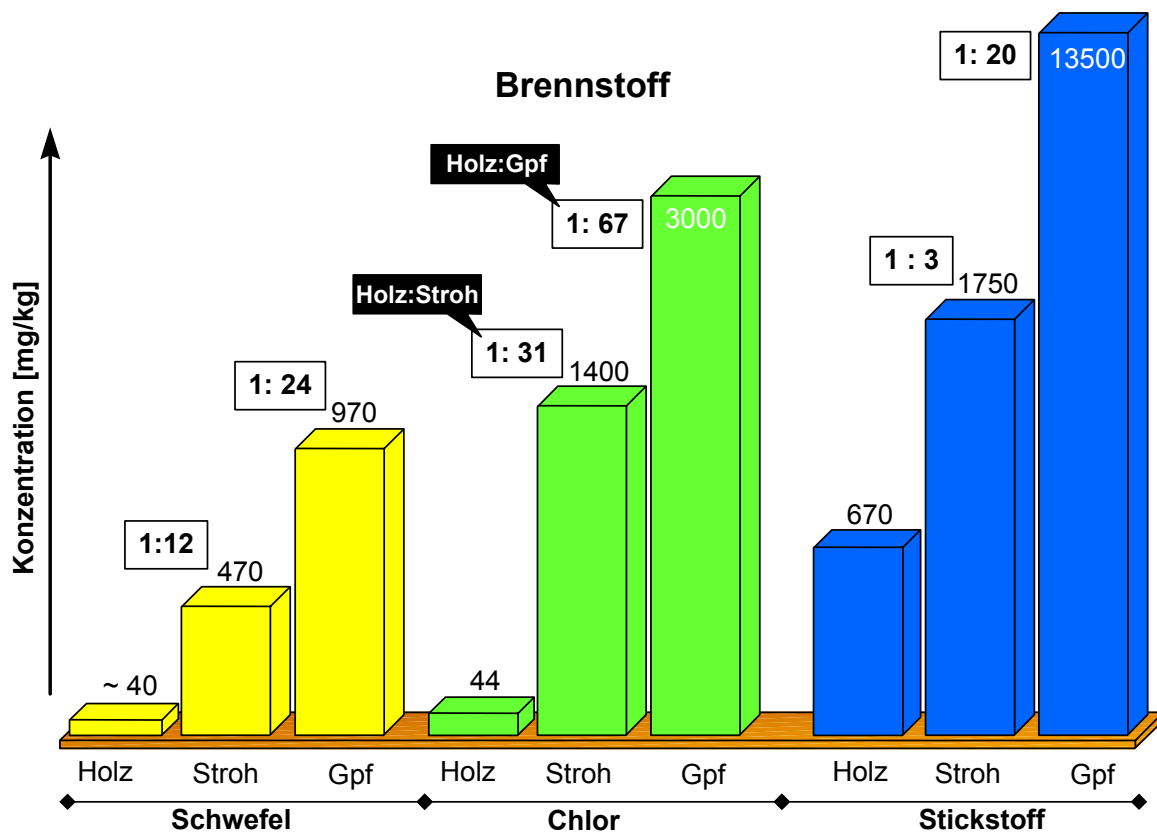


Abbildung 1: Emissionsrelevante Inhaltsstoffe der Biobrennstoffe (gemittelte Werte)

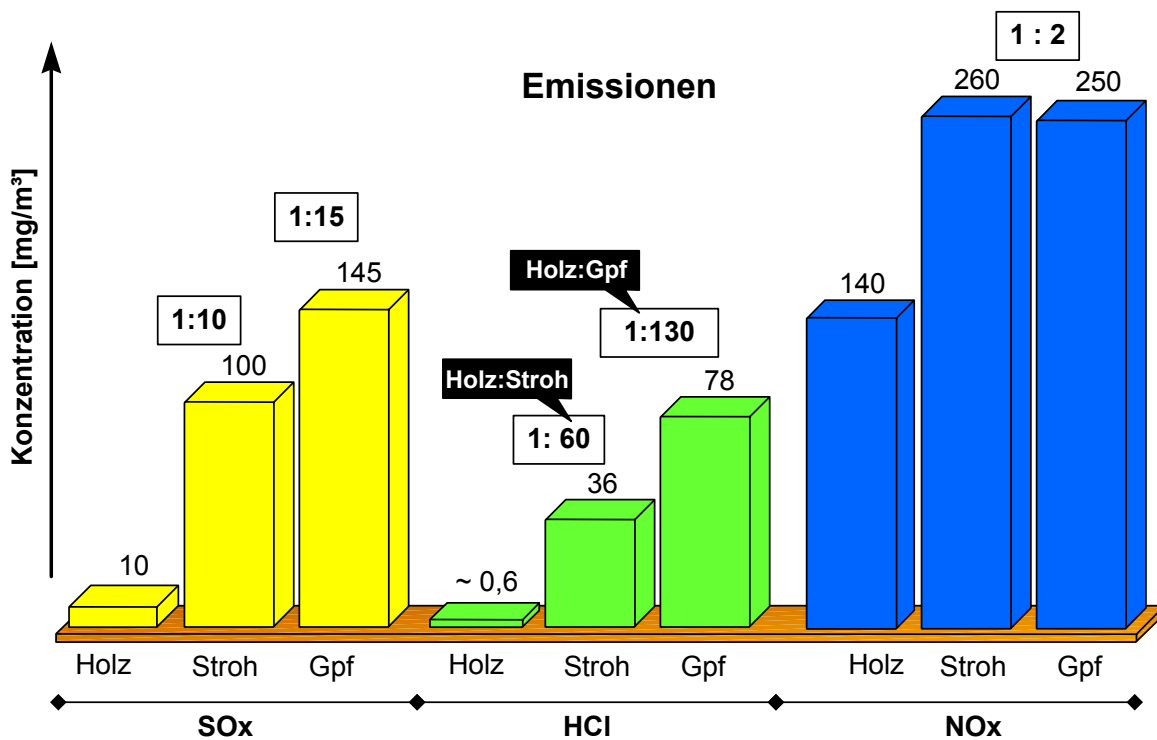


Abbildung 2: Brennstoffabhängige Emissionen luftverunreinigender Stoffe (gemittelte Werte)

Die Abbildungen 3 - 5 zeigen die gemittelten NO_x -, HCl - und SO_x -Emissionen, aufgetragen für die acht einzelnen Meßreihen. Bei der Verbrennung von Ganzpflanzen kann es bezüglich der NO_x -Emissionen im Einzelfall zu Überschreitungen des zulässigen Emissionswertes (Halbstundenmittelwert) kommen. Die HCl -Emissionen überschreiten bei den Halmgütern den TA Luft-Emissionswert von 30 mg/m^3 regelmäßig und zum Teil deutlich (Abbildung 4). Dagegen bleiben die SO_x -Emissionen in allen Fällen deutlich unter 500 mg/m^3 , wenngleich im Falle der Halmgüter rund 10 - 20 mal höhere Werte erzielt werden als bei der Verbrennung von Holz (Abbildung 5).

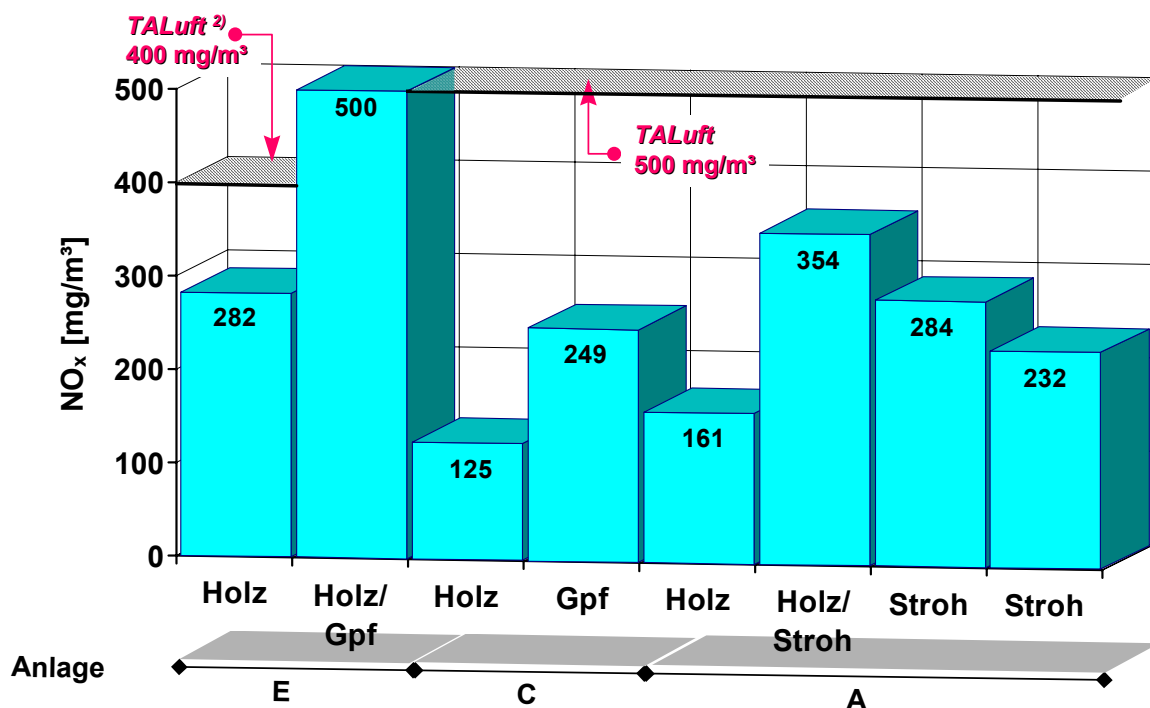


Abbildung 3: Brennstoff- und anlagenspezifischer Vergleich der NO_x -Emissionen

Maßnahmen zur Emissionsminderung für HCl (z.B. Kalkzugabe im Flugstromverfahren mit Gewebefilter) sind daher für größere Anlagen bei Einsatz von chlorhaltiger Biomasse i.d.R. einzuplanen. Sekundärmaßnahmen zur NO_x -Minderung sind im Einzelfall bei Einsatz von Biomasse mit erhöhten N-Gehalt vorzusehen.

²⁾ Konkretisierung der Dynamisierungsklausel

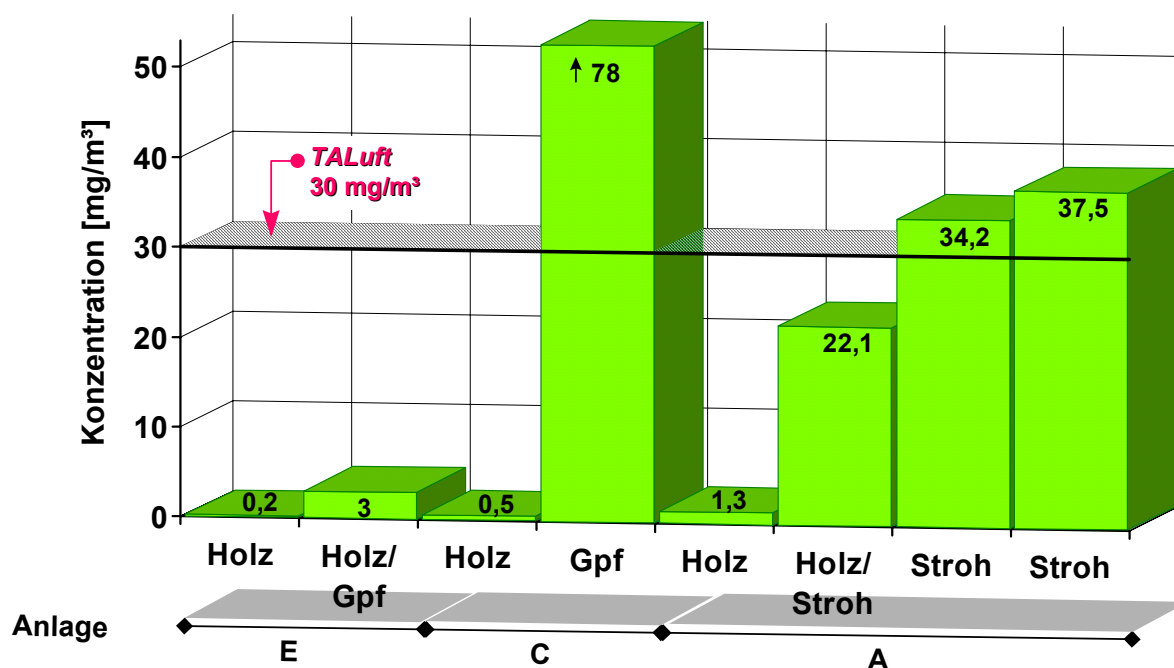


Abbildung 4: Brennstoff- und anlagenspezifischer Vergleich der HCl-Emissionen

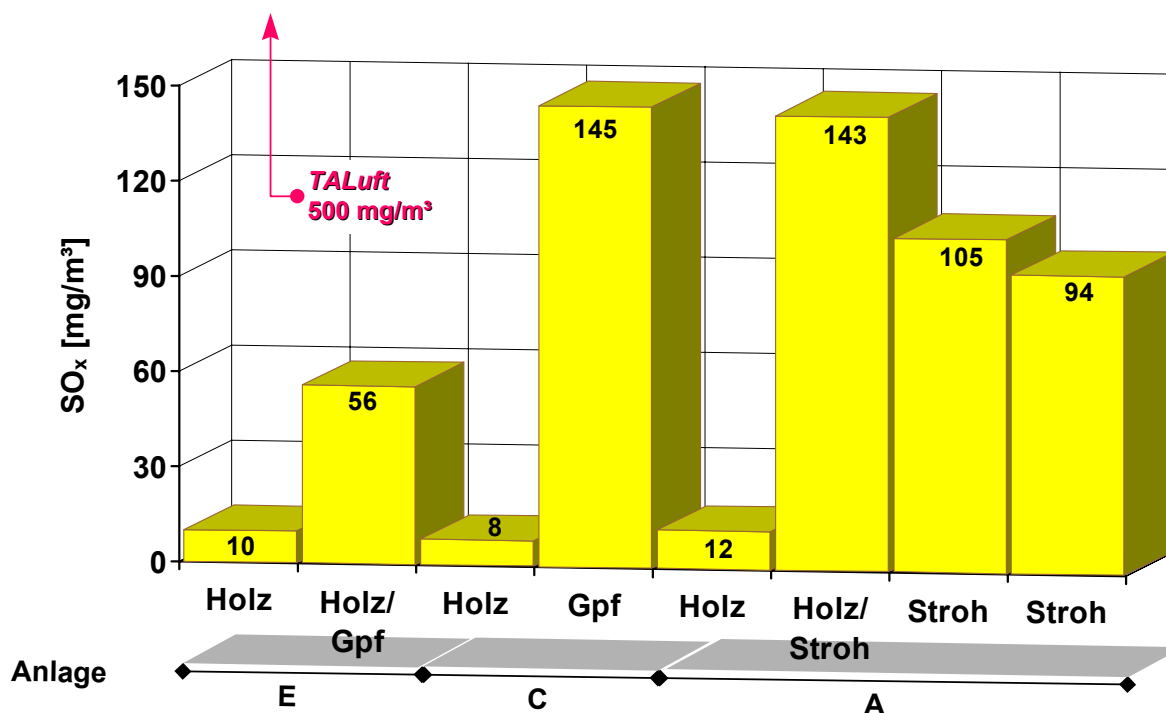


Abbildung 5: Brennstoff- und anlagenspezifischer Vergleich der SO_x-Emissionen

Pflanzen nehmen im Lauf der Zeit bestimmte Mengen an Schwermetallen auf, die je nach Standort, Pflanzenart und Expositionsdauer variieren können. Im Rahmen dieser Untersuchung stellte sich heraus, daß kaum Unterschiede in den Schwermetall-

gehalten, unterteilt in die Klassen I - III nach der TA Luft Nr. 3.1.4, zwischen naturbelassenem Holz und den Halmgütern bestehen (Abbildung 6). Als Folge dessen ergeben sich auch beim brennstoffspezifischen Vergleich der Schwermetallemissionen keine signifikanten Unterschiede zwischen Holz und Halmgütern (Abbildung 7). Die ermittelten niedrigen Emissionswerte liegen darüberhinaus deutlich unter den in der TA Luft genannten Werten.

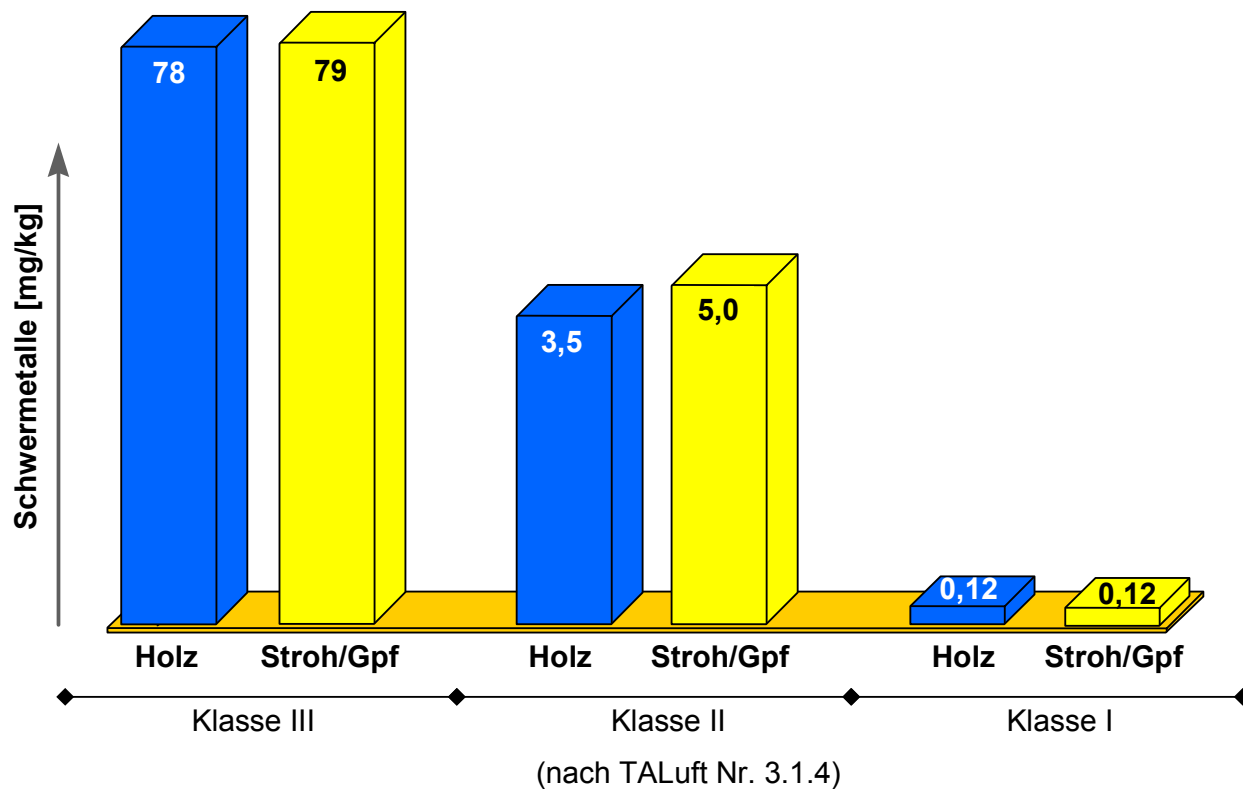


Abbildung 6: Vergleich der Schwermetallgehalte im Brennstoff

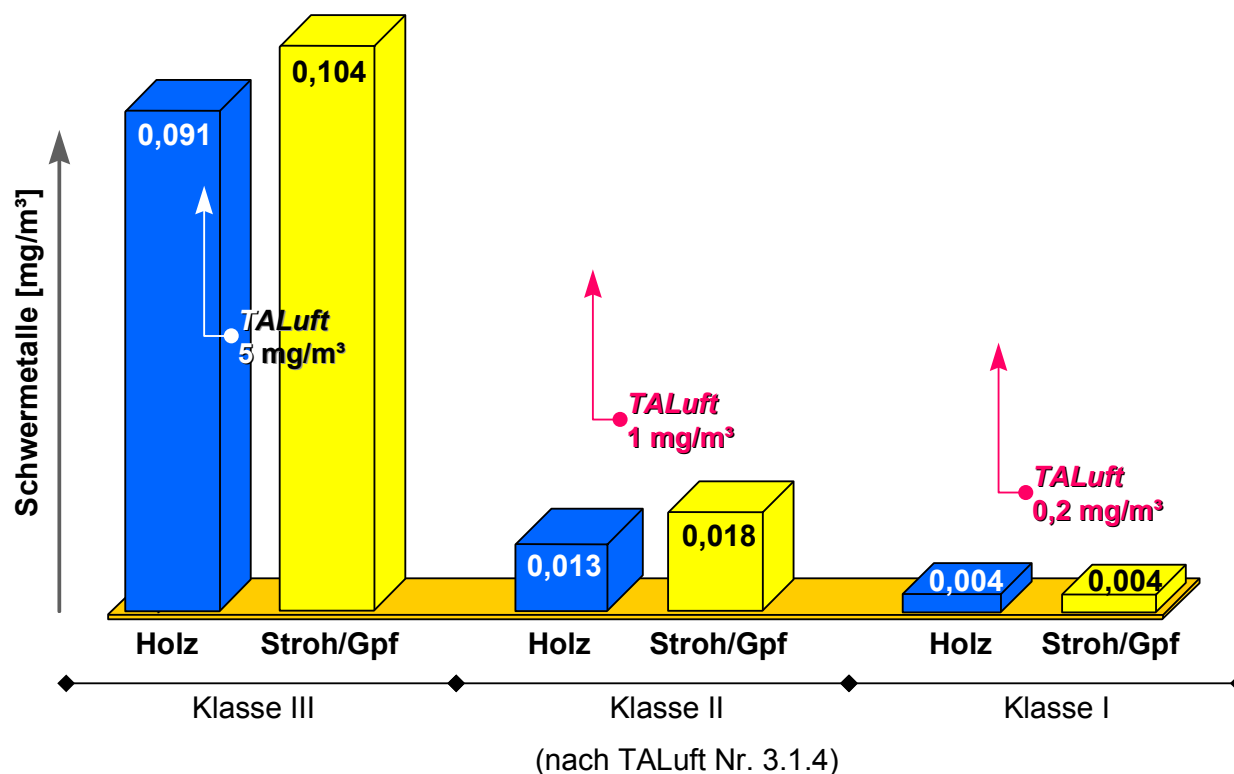


Abbildung 7: Vergleich der Schwermetallemissionen für verschiedene Brennstoffe

Angesichts der Bedeutung des Gehalts bestimmter, umweltrelevanter Inhaltsstoffe (z.B. N, Cl) auf das Emissionsverhalten wird derzeit im Auftrag des LfU bei der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik ein FuE-Projekt zur Ermittlung und Beeinflussung der umweltrelevanten Eigenschaften naturbelassener biogener fester Brennstoffe bearbeitet.

5. Ausbrand

Das Ausbrandverhalten der 3 Anlagen wurde in den 8 Meßreihen für die unterschiedlichen Biomasse-Brennstoffe unter Berücksichtigung verschiedener Lastzustände untersucht. Die einzelnen Meßreihen sind in der folgenden Tabelle charakterisiert:

Anlage Nr.	Brennstoff-Spezifikation			Lastzu- stand
	Brennstoffart	Feuchte	Aufbereitung	
1 „E“	nb Holz	43 %	Hackschnitzel	87 %
2 „E“	90 % nb Holz + 10 % Ganzpflanzen	37 %	Hackschnitzel Pellets	90 %
3 „C“	nb Holz	49 %	Hackschnitzel	88 %
4 „C“	Ganzpflanzen	11 %	Pellets	78 %
5 „A“	nb Holz	13 %	Hackschnitzel	85 %
6 „A“	65 % nb Holz + 35 % Stroh	25 %	Hackschnitzel Häckselgut	100 %
7 „A“	Stroh	9 %	Häckselgut	100 %
8 „A“	Stroh	9 %	Häckselgut	60 %

Die Ausbrandgüte bei Biomasse-Feuerungen ist wesentlich von folgenden technischen Einflußgrößen abhängig:

- Feuerungstechnik (Feuerraumgestaltung, Verbrennungs- und Luftstufung, Regelungstechnik, Anlagendimensionierung)
- Feuerungseinstellung (Brennstoffzufuhr, Luftverteilung, Luftmenge)
- Lastzustand (Teillast, Mittellast, Nennlast)
- Brennstoffbeschaffenheit (Stückigkeit, Feuchte, Ascheschmelzverhalten)

Diese Parameter haben Einfluß auf die unmittelbar ausbrandbestimmenden Größen wie die Feuerraumtemperatur, die Verweilzeit bei hoher Temperatur, die Durchmischung der Verbrennungsgase mit Luft und den Sauerstoffüberschuß. Als geeignete Leitgröße zur Beschreibung der Ausbrandgüte wird regelmäßig der Gehalt an Kohlenmonoxid (CO) im Abgas herangezogen (vgl. hierzu Nr. 3.2.3.3 der TA Luft).

Umweltfreundliche Biomasse-Feuerungen werden von erfahrenen Planungsbüros und Betreibern so geplant, errichtet und betrieben, daß sie optimal auf die im Einzelfall zum Einsatz kommenden biogenen Brennstoffe (Art, Stückigkeit, Feuchte, Asche-

schmelzverhalten, Chlorgehalt etc.) sowie die betrieblich zu erwartenden Lastzustände (Mindestteillast) ausgelegt sind. Derartige Holzfeuerungen erzielen bei einem guten Ausbrand hierbei zuverlässig Emissionswerte für Kohlenmonoxid (CO) von $<100 \text{ mg/m}^3$. Die TALuft legt in Nr. 3.3.1.2.1 hingegen einen Emissionswert von $0,25 \text{ g/m}^3$ fest, der bei Anlagen unter 2,5 MW zudem nur bei Betrieb mit Nennlast gilt.

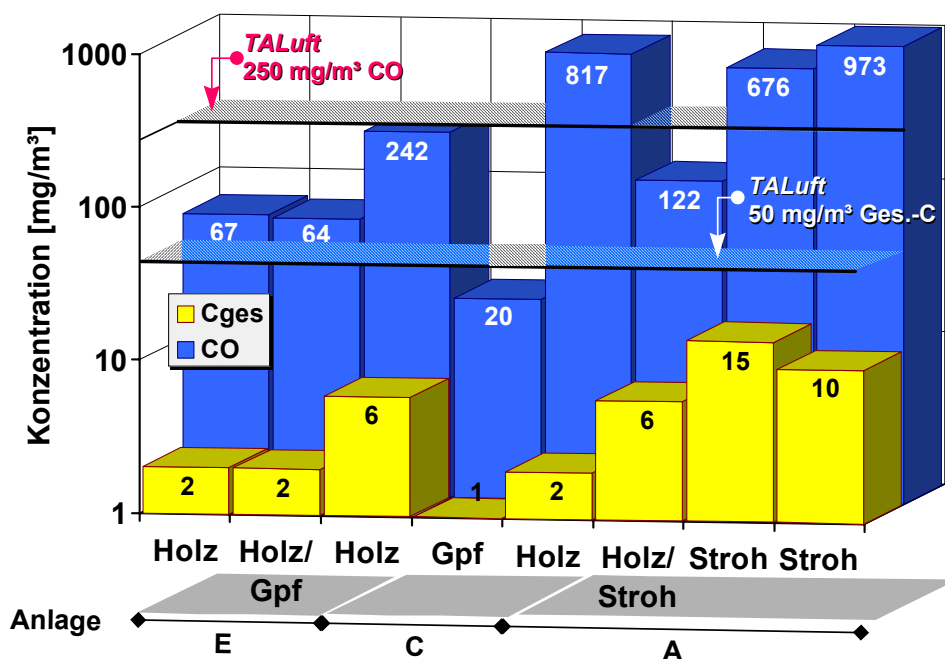


Abbildung 8: CO- und Gesamt-C-Emissionen (Mittelwerte der 8 Meßreihen; Meßzeitraum ca. 6 - 10 h)

Abbildung 8 gibt einen Überblick über die ermittelten CO-Emissionen für die 8 Meßreihen. Die jeweils über die gesamte Meßreihe gemittelten CO-Emissionswerte decken einen Bereich von 20 mg/m^3 bis 973 mg/m^3 ab. Während die Anlage „E“ sowie die Anlage „C“ für die untersuchten Betriebszustände überwiegend mit gutem Ausbrand betrieben wurden, war dies an der Anlage „A“ nur bei der Meßreihe mit einem Brennstoffmix aus Holz und Stroh der Fall. Nachdem bei der Anlage „A“ die sichere Einhaltung des Emissionswertes der TA Luft von $0,25 \text{ g/m}^3$ (Halbstundenmittelwert) derzeit nicht gewährleistet ist, muß eine Überprüfung der Ursachen zur Klärung von betrieblichen und technischen Abhilfemaßnahmen in diesem Fall erfolgen.

Grundsätzlich sind bei schlechten Ausbrandbedingungen (z.B. ungeeignete Anlage, zu feuchter Brennstoff, zu geringe Last, Gluterhaltungsbetrieb) neben hohen CO-Emissionen auch erhöhte Emissionen organischer, geruchsintensiver und z.T. krebs-

erzeugender Stoffe zu erwarten. Als Summenparameter gibt der Gesamtgehalt an organischen Stoffen (angegeben als Gesamt-Kohlenstoff (Gesamt-C)) Auskunft über die Emissionssituation. Abbildung 8 verdeutlicht, wie der Verlauf des Gesamt-C qualitativ dem des CO folgt. Die CO-Konzentration kann folglich als Leitgröße für die Emissionen organischer Stoffe dienen. Abbildung 9 zeigt daher für alle 3 Anlagen die ermittelten Emissionen ausgewählter organischer Stoffe, klassiert für solche 1/2-h-Meßwerte, während derer die Anlagen mit guten bis ausreichenden ($\text{CO} \leq 250 \text{ mg/m}^3$) sowie mit unzureichenden bis schlechten Ausbrandbedingungen ($250 \text{ mg/m}^3 < \text{CO} < 1.750^3) \text{ mg/m}^3$) betrieben wurden. Die Abhängigkeit der Emissionen umweltrelevanter, organischer Einzelstoffe von der Ausbrandgüte (CO-Emissionen) ist von grundsätzlichem Interesse, um die Funktion von CO als Leitgröße zu verifizieren. Vor diesem Hintergrund sind die Ergebnisse für Phenole, Formaldehyd und für den Summenwert BTX⁴⁾ im Verhältnis zu den CO-Emissionen dargestellt.

Die gemessenen Emissionswerte für Phenole, Formaldehyd und BTX liegen, ebenso wie die Emissionswerte für Gesamt-C, trotz des deutlichen Anstiegs bei schlechteren Ausbrandbedingungen jedoch stets klar unter den einschlägigen Emissionswerten der TA Luft.

Die Grundsatzuntersuchung unterstreicht damit für Biomasse-Feuerungen, gerade im Hinblick auf den in der Praxis immer wieder angestellten Vergleich mit Erdgas- oder Heizöl-EL-befeuerten Anlagen, daß zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen in der Nachbarschaft sowie zur Minimierung der Emissionen krebserzeugender Stoffe stets auf einen guten Ausbrand geachtet werden muß. Bereits bei der Anlagenkonzeptionierung (richtige Dimensionierung der Biomasse-Feuerung), bei der Anlagenauswahl (Hersteller-Garantie: z.B. $\text{CO} < 100 \text{ mg/m}^3$) und im laufenden Betrieb (Anlageneinstellung, Brennstoffqualität) müssen Fehler vermieden werden.

³⁾ höchster CO-Halbstunden-Meßwert

⁴⁾ Benzol, Toluol, Xylol

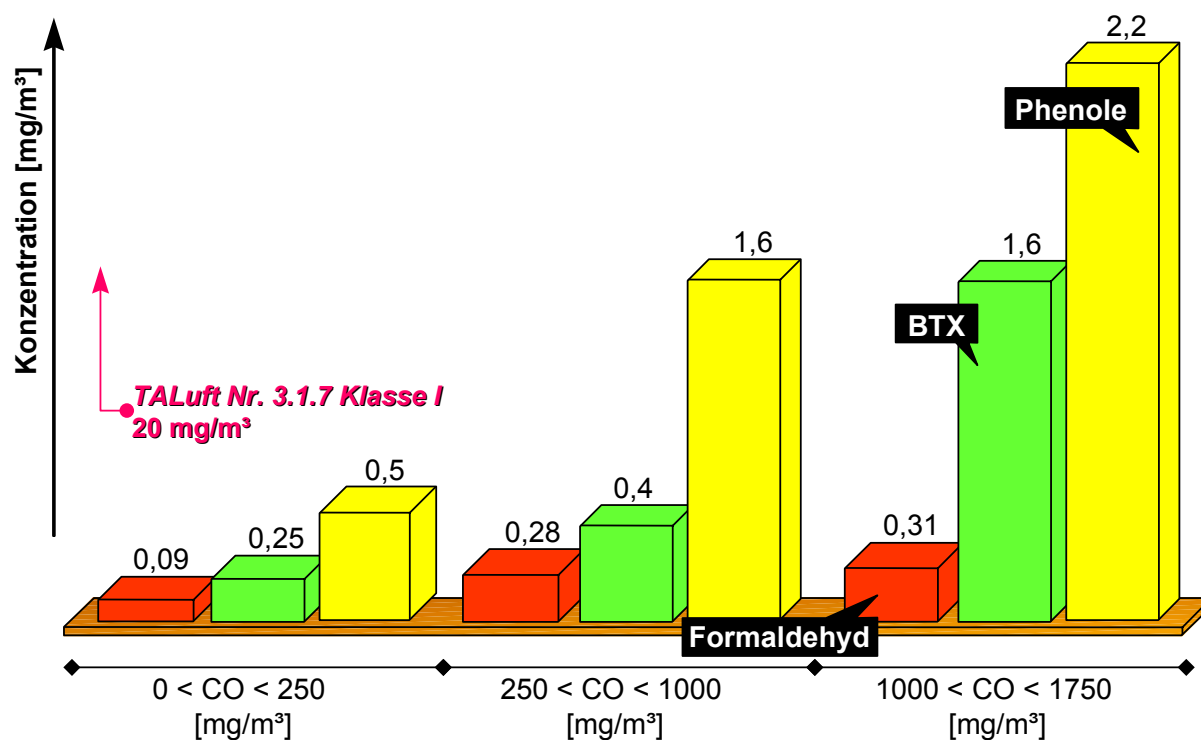


Abbildung 9: Einfluß der Ausbrandqualität auf die Emissionen ausgewählter organischer Verbindungen

Vor allem bei kleineren Anlagen erweist es sich oftmals auch als regelungstechnisch schwierig, jeweils eine ausbrandoptimierte Anlageneinstellung vorzunehmen, die der schwankenden Brennstoffbeschaffenheit gerecht wird. Anlagenbetreiber, die besonders darauf bedacht sind, ihre Anlage stets ausbrandoptimiert zu fahren, sind daher daran interessiert, regelmäßig Kenntnis über die Leitgröße Kohlenmonoxid zu erlangen. Sofern daher nicht bereits ein kontinuierliches CO-Meßgerät in die Biomasse-Feuerung eingebaut ist, sollten regelmäßig mit geeigneten Hand-Emissions-Meßgeräten Kontrollmessungen vorgenommen werden.

6. Effektive Staubabscheidung

Bei der Verbrennung von Biomasse, insbesondere von aschereichen Halmgütern ist mit hohen Staubfrachten und sehr feinen Staubpartikeln zu rechnen. Die untersuchten 3 Anlagen sind daher alle mit praxiserprobten effektiven Einrichtungen zur Staubabscheidung ausgestattet. Während die Anlage „E“ über ein großzügig dimensio-

niertes Elektro-Filter (ohne Zyklon) verfügt, kommt bei der Anlage „C“ ein Gewebefilter (mit Zyklon) und bei der Anlage „A“ ein Elektro-Filter (mit Zyklon) sehr kleiner Bauart zum Einsatz. Derartige Entstaubungstechnologien, sowie zunehmend auch Kondensationsanlagen, finden bei neuen Biomasse-Feuerungen zwischenzeitlich eine weite Verbreitung. Dies ist aus der Sicht der Luftreinhaltung zu begrüßen.

Den Staubemissionen aus Verbrennungsvorgängen kommt aus der Sicht des Immissionsschutzes künftig eine erhöhte Aufmerksamkeit zu. Gerade im Hinblick auf Feinstäube ist zu erwarten, daß zukünftig Strategien zu weiteren Minderungsmaßnahmen erforderlich werden. Als Folge des Gehaltes an mineralischer Asche im Brennstoff sowie bei unzureichenden Ausbrandbedingungen sind Staubemissionen aus Biomasse-Feuerungen von Bedeutung.

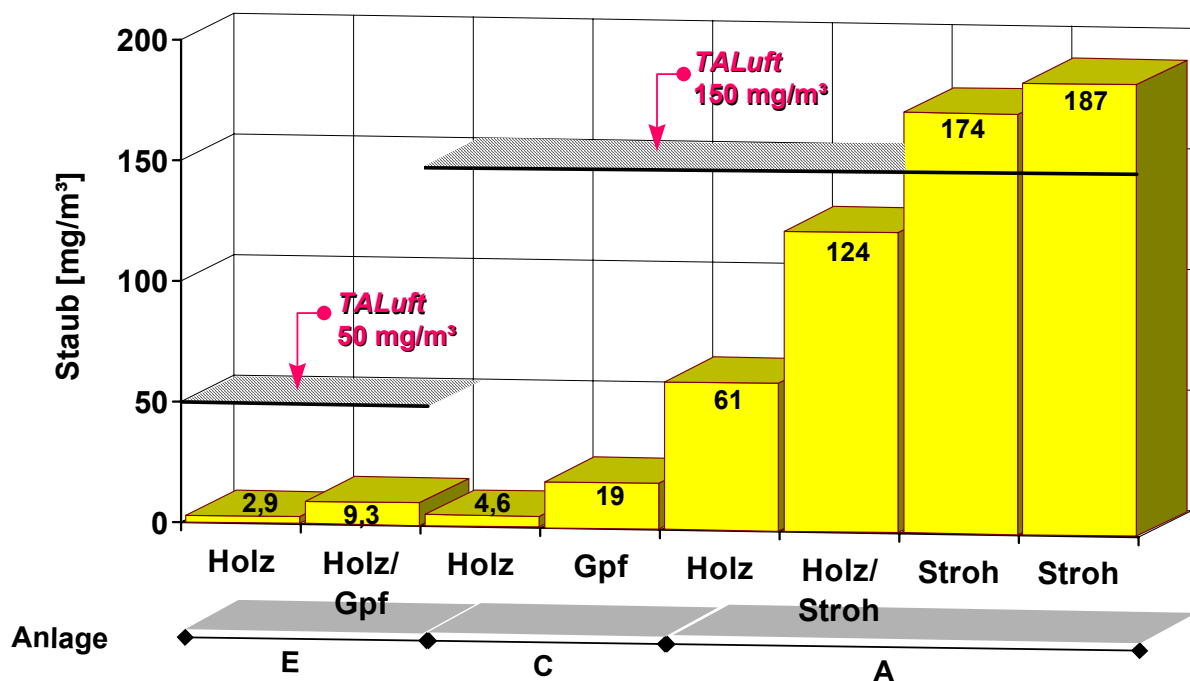


Abbildung 10: Staub-Emissionen (anlagen- und brennstoffabhängig)

Abbildung 10 zeigt, daß in Abhängigkeit von der Auslegung der Abgasreinigung im Einzelfall sowie dem jeweils eingesetzten Biomasse-Brennstoff die mittleren Staubemissionen einen weiten Bereich von 3 mg/m^3 bis zu 187 mg/m^3 abdecken.

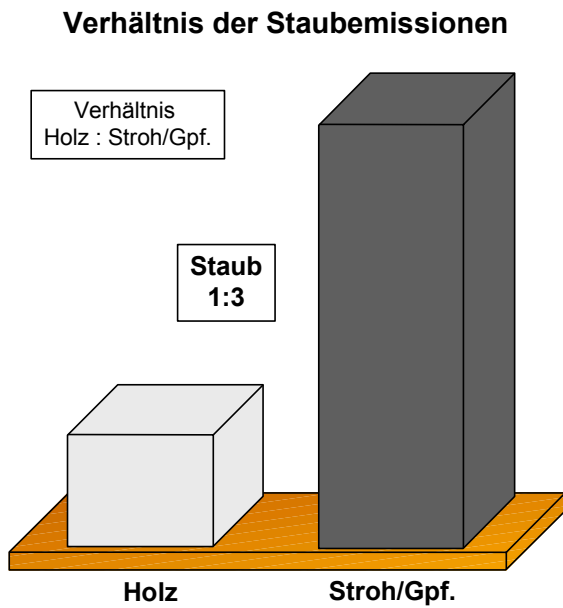


Abbildung 11: Vergleich der Staubemissionen bei Holz- bzw. S/Gpf-Verfeuerung

Gerade beim Einsatz oder bei der Zumischung von halmgutartiger Biomasse (Stroh, Ganzpflanzen) sind an allen drei Anlagen jeweils um ca. den Faktor 3 - 4 höhere Emissionswerte festzustellen. Dies wird in Abbildung 11 veranschaulicht.

Die richtige Einstellung des E-Filters der Anlage „A“ muß insbesondere bei Einsatz von Stroh überprüft werden, da der Emissionswert der Nr. 3.3.1.2.1 der TA Luft von 0,15 g/m³ nicht sicher eingehalten wird.

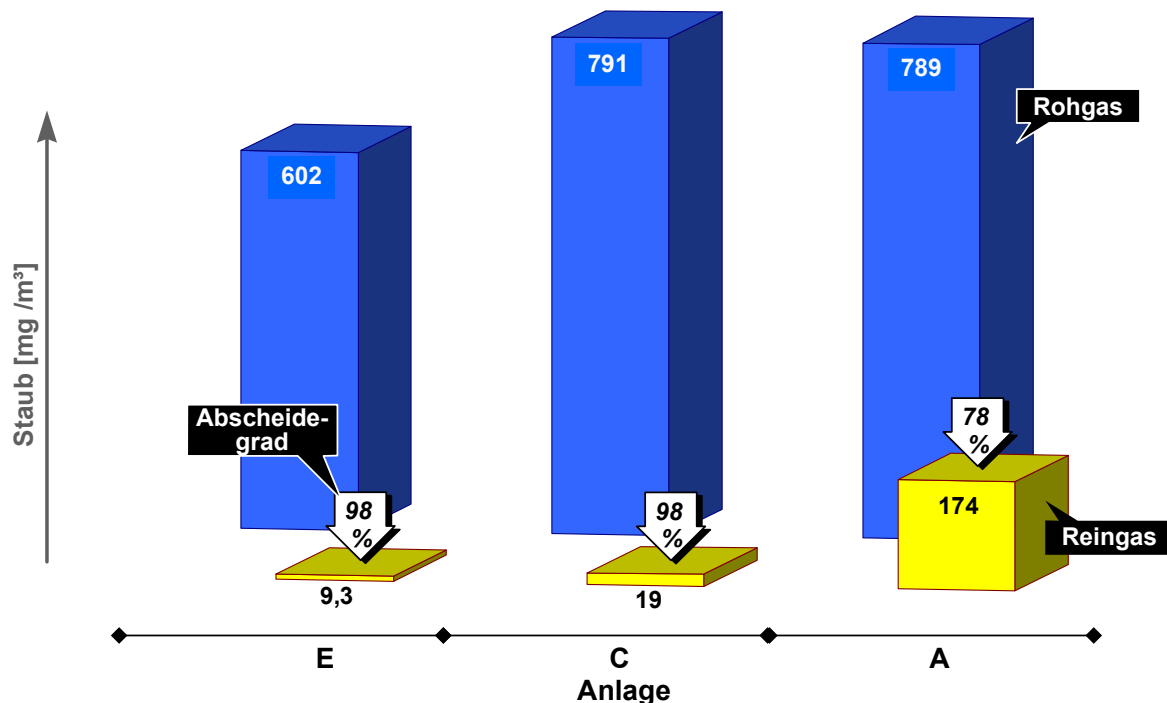


Abbildung 12: Staubemissionen und Abscheidegrad bei der Verbrennung von Halmgütern

Im Rahmen der LfU-Grundsatzuntersuchung wurde neben den Emissionen an Staub auch die Wirksamkeit der Staubabscheidung bei der Verbrennung von Halmgütern untersucht. Durch gleichzeitige Messungen im Roh- und Reingas konnte die Abscheidewirkung (Abscheidegrad) der jeweiligen Entstaubungssysteme ermittelt werden (Abbildung 12). Sowohl das Elektro-Filter der Anlage „E“ als auch das Gewebefilter mit Vorabscheider der Anlage „C“ weisen einen hohen Abscheidegrad von 98 % auf. Dagegen besitzt die Entstaubungseinrichtung der Anlage „A“ einen Abscheidegrad von lediglich rund 78 %, was reingasseitig zur Überschreitung des TA Luft-Wertes von $0,15 \text{ g/m}^3$ führt.

Auch biogene Brennstoffe enthalten Schwermetalle, die bei der Verbrennung von Biomasse zur energetischen Nutzung zwar überwiegend in der anfallenden Feuer- raumasche und in den abgeschiedenen Flugaschen verbleiben, aber z.T. auch emittiert werden. Insbesondere bei stärker flüchtigen Schwermetallen wie beispielsweise Cadmium, Arsen oder Quecksilber ist die Frage nach der Abscheidewirkung der Rauchgasreinigung zu stellen.

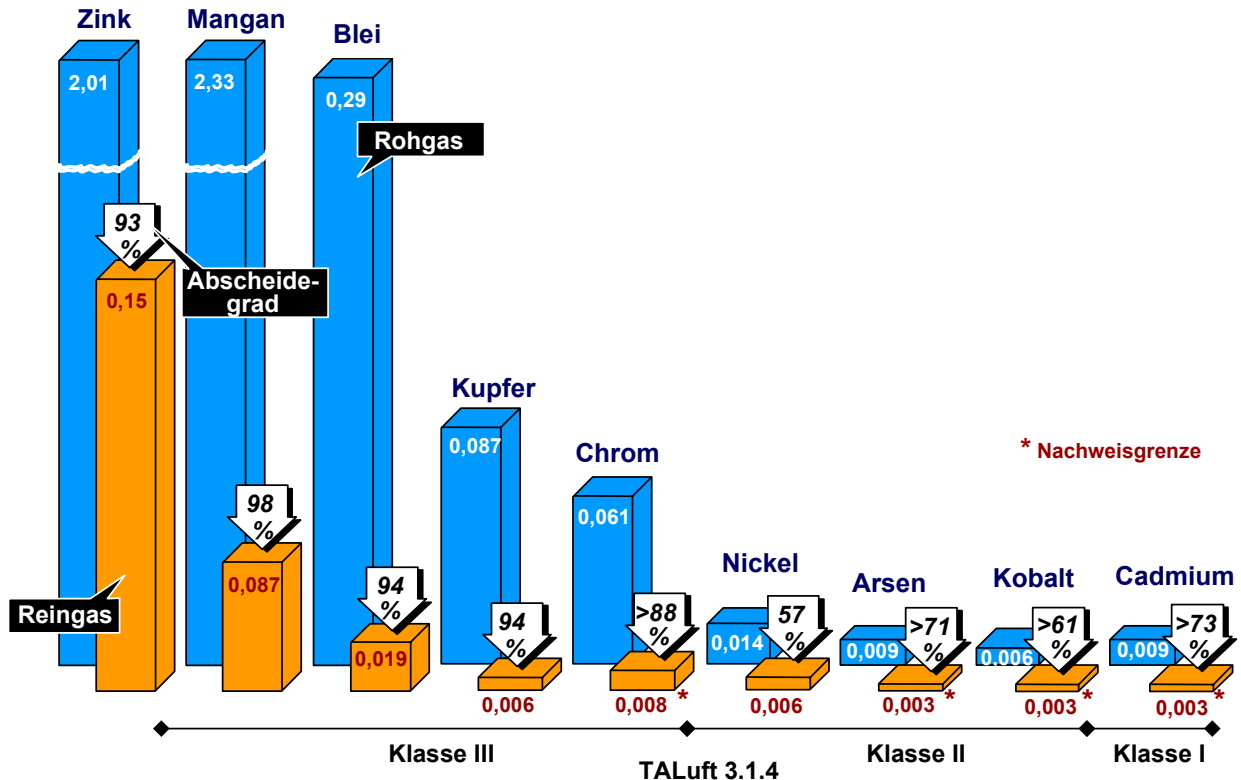


Abbildung 13: Abscheidewirkung der Abgasreinigung bei Schwermetallen

Die Emissionswerte der Schwermetalle wurden bereits in Abbildung 7 dargestellt. Die Schwermetallabscheidung konnte für die Halmgutverbrennung wiederum durch Roh- und Reingasmessung ermittelt werden (Abbildung 13). Für Metalle der Klasse III sowie Zink werden im Mittel Abscheidegrade von über 90 % erzielt. Für die untersuchten Schwermetalle der Klassen I und II liegen die Abscheidegrade bei mindestens 60 - 70 %. Für Quecksilber (Hg) konnte kein Abscheidegrad ermittelt werden, da die Hg-Konzentration im Rohgas bereits unter der Nachweisgrenze ($0,001 \text{ mg/m}^3$) lag.

Neben den anorganischen Bestandteilen wurden auch die Emissionen einer Vielzahl organischer, teilweise staubgebundener Substanzen untersucht. Ein Schwerpunkt dieser Grundsatzuntersuchung war die Ermittlung der Emissionen an chlorierten Dibenzodioxinen und -furanen (PCDD/F).

Während die PCDD/F-Emissionen aus Holzfeuerungen bereits weitergehend untersucht und im Rahmen der 43. Umweltministerkonferenz (UMK) am 24./25.11.94 in Chemnitz unter Nennung von Maßnahmen zur Minderung bereits bewertet wurden, sind derartige Emissionsmessungen an betrieblichen Biomasse-Feuerungen bei Einsatz von halmgutartiger Biomasse, wie Stroh etc. bislang nicht umfassend vorgenommen worden.

Abbildung 14 gibt einen anlagen- und brennstoffbezogenen Vergleich der PCDD/F-Emissionen.

Mit dem Einsatz von Stroh und Ganzpflanzenpellets ist im Vergleich zum ausschließlichen Einsatz von naturbelassenem Wald- und Restholz an allen untersuchten Biomasse-Feuerungen ein leichter Anstieg der PCDD/F-Emissionen zu erkennen. Dieser Anstieg kann mit dem erhöhten Chloreintrag bei diesen Brennstoffen (vgl. Abbildung 1) und den erhöhten Staubemissionen (vgl. Abbildungen 10 und 11) erklärt werden. Emissionswerte von $0,1 \text{ ng TE/m}^3$, wie sie als Grenzwert für Anlagen gemäß der 17. BImSchV gelten und im o.g. UMK-Beschluß auch für Holzfeuerungen als Bewertungsmaßstab herangezogen werden, wurden jedoch in allen Meßreihen bei bestimmungsgemäßen Betrieb der Feuerung und Entstaubung nicht überschritten.

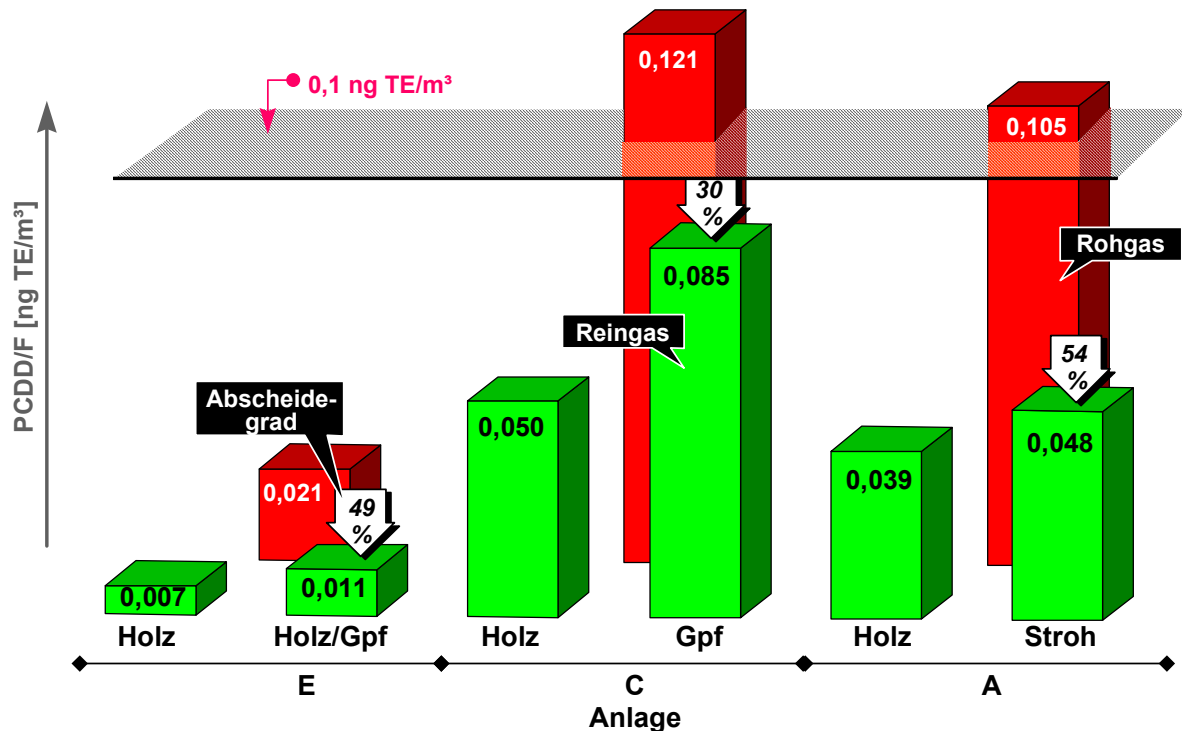


Abbildung 14: PCDD/F-Emissionen (anlagen- und brennstoffbezogen)

Während die niedrigen PCDD/F-Emissionswerte der Anlage „E“ gut mit den niedrigen Staub- und CO-Emissionswerten im Einklang sind, ist für die vergleichsweise etwas erhöhten Werte an der Anlage „C“ eine plausible Erklärung bisher noch offen.

Die Wirksamkeit (Abscheidegrad) der in den Anlagen vorhandenen Entstaubungsanlagen beim Einsatz von halmgutartiger Biomasse wurde auch für PCDD/F gezielt näher untersucht (Abbildung 14). Zusammen mit dem Staub werden bei allen Anlagen auch staubgebundene PCDD/F zu 30 - 54 % abgeschieden. Nachdem jedoch PCDD/F sowohl staubgebunden als auch in der Gasphase emittiert werden, ist eine strenge Korrelation der PCDD/F-Abscheiderate mit der Staub-Abscheiderate nicht zu erwarten. Während bei der Anlage „A“ die Abgastemperatur vergleichsweise niedrig um 110°C lag, wurden die Anlagen „E“ und „C“ i.d.R. bei Abgastemperaturen über 170°C betrieben. Zur Minimierung der PCDD/F-Emissionen in Verbindung mit Entstaubungsanlagen ist eine möglichst niedrige Abgastemperatur empfehlenswert. Hierdurch kann auch die deNovo-Synthese im Bereich der Entstaubungsanlagen weitergehend vermieden werden.

7. Weitere organische Emissionen (Sonderparameter)

Im Rahmen der Grundsatzuntersuchung wurden auch umfangreiche Untersuchungen zu organischen luftverunreinigenden Stoffen unternommen. Die Emissionsmessung einiger bestimmter Substanzen, wie Chlorphenole und -benzole wurden erstmalig bei Biomasse-Feuerungen für Halmgüter durchgeführt. Abbildung 15 gibt Auskunft über die durchschnittlich festgestellten Emissionen verschiedener organischer Stoffe. Die mittleren PAH⁵⁾-Emissionswerte betragen rund 0,1 mg/m³. Die mittleren Emissionswerte der krebserzeugenden PAH Benzo(a)pyren und Dibenz(a,h)anthracen liegen bei rund 0,11 µg/m³ bzw. bei 0,08 µg/m³. Im Nano-Gramm-Bereich finden sich außerdem Chlor-Phenole mit ca. 400 ng/m³, PCB⁶⁾ mit 150 ng/m³ und Chlor-Benzole mit 40 ng/m³.

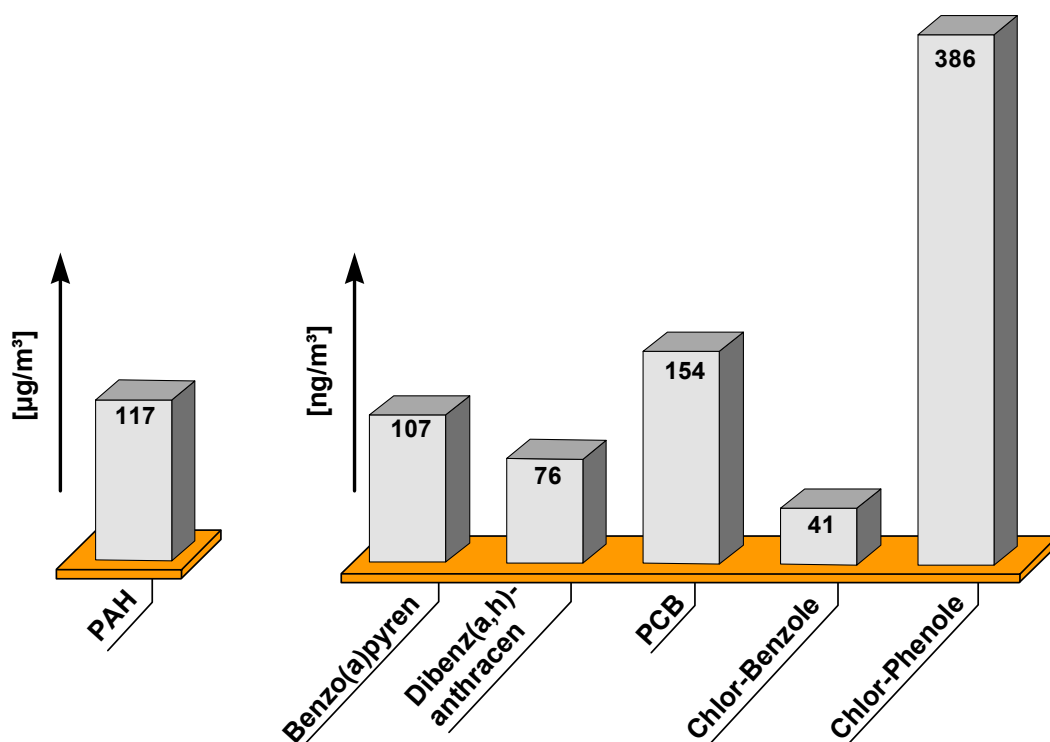


Abbildung 15: Überblick über das Emissionsniveau verschiedener organischer und chlororganischer Verbindungen

⁵⁾ polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe nach EPA 610

⁶⁾ polychlorierte Biphenyle nach DIN 51527 Teil 1

8. Zusammenfassung

Das LfU hat im Rahmen eines FuE-Projektes die Emissionen und die Aschequalität an drei neuen bayerischen Biomasse-Feuerungen untersucht. Dabei wurde auf die Biomasse-Brennstoffe Stroh und Ganzpflanzen ein Schwerpunkt gesetzt. Eine erste Auswertung der umfassenden Meßdaten wurde mit den Zielsetzungen durchgeführt, den Brennstoffeinfluß auf das Emissionsverhalten, das Ausbrandverhalten und die Effektivität der installierten Abgasentstaubungseinrichtungen bewerten zu können.

Die Untersuchungen zeigen, daß bei Verbrennung von Stroh und Ganzpflanzen im Vergleich zum Biomasse-Brennstoff „naturlassenes Holz“ z.T. deutlich höhere Emissionen zu erwarten sind.

Während zwei der untersuchten Anlagen mit überwiegend guten Ausbrandbedingungen, d.h. niedrigen CO-Emissionen, betrieben werden konnten, sind an der dritten Anlage weitergehende Optimierungsmaßnahmen vorzunehmen. Dies gilt im gleichen Maße auch für die gemessenen Staubemissionen.

Die PCDD/F-Emissionen lagen regelmäßig in einem Bereich unter $0,1 \text{ ng TE/m}^3$.

Die Ergebnisse zeigen, daß moderne Biomasse-Feuerungen mit guten Ausbrandbedingungen und mit hoher Entstaubungseffizienz betrieben werden können. Hierzu sind eine fachliche fundierte Planung, die Auswahl einer hochwertigen Feuerungs- und Entstaubungstechnik und eine im Hinblick auf die Eigenschaften des eingesetzten Brennstoffs jeweils optimierte Anlageneinstellung erforderlich.