

# NOS-MODUL

## Installation und Test

Projekt 44535 Vertrag 87159

Schlussbericht Oktober 2005

**Auftraggeber:**

Forschungs- und P+D Programm Biomasse des  
Bundesamtes für Energie

**Auftragnehmer:**

Basso Salerno

**Autoren:**

Basso Salerno  
Salerno Engeler GmbH  
Schwengistrasse 12 4438 Langenbruck  
[basso.salerno@sesolar.ch](mailto:basso.salerno@sesolar.ch)

Dieses Dokument ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet worden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist alleine der/die Autor/in/en verantwortlich.

**Bundesamt für Energie BFE**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • [office@bfe.admin.ch](mailto:office@bfe.admin.ch) • [www.admin.ch/bfe](http://www.admin.ch/bfe)

Vertrieb:

Vorliegender Bericht kann unter [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch) bezogen werden.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	4
1. Ausgangslage .....	5
2. Ziel .....	5
3. Die Anlagen und Module .....	6
3.1 Die stationäre Anlage .....	6
3.2 Die Container-Anlage .....	7
3.2.1 Ausbrennkammer .....	8
3.2.2 Multizyklon.....	8
3.2.3 Späne-Katalysator.....	9
3.3 Keramik-Wärmetauscher.....	9
3.4 Der Metallgewebe-Filter .....	10
4. Messungen und Resultate .....	11
4.1 Übersicht der Messungen .....	11
4.2 Stationäre Anlage.....	12
4.3 Container Anlage.....	15
4.3.1. Multizyklon.....	15
4.3.2 Späne-Katalysator.....	16
4.4 Keramik-Wärmetauscher.....	17
4.5 Der Metallgewebe-Filter .....	18
4.6 Messgeräte.....	19
5. Schlussfolgerungen.....	20
5.1. Ausbrennkammer (ABK) .....	20
5.2. Zyklontechnik (Fliehkraftabscheider).....	20
5.3. Späne-Katalysator.....	21
5.5. Keramik-Wärmetauscher.....	21
5.6 Metallgewebe-Filter .....	22
5.7 Das NOS-Modul .....	22
6. Ausblick.....	22
7. Dank.....	23
Anhang.....	23
Literaturverzeichnis .....	23

# Zusammenfassung

Bei Feuerungsanlagen von Holz und Biomasse hat die Reduktion des Staub- und Stickoxid( $\text{NO}_x$ )-Gehaltes aufgrund der Ökobilanz eine hohe Priorität. Kleinere Anlagen (Leistung bis 500 kW) haben ein grosses Potential zur Senkung von Staub und  $\text{NO}_x$ -Gehalt im Rauchgas. Es kann aber nicht sein, dass ein Staubfilter teurer als der Rest der Anlage ist. Damit diese kleineren Anlagen aus ökonomischer und ökologischer Sicht attraktiv bleiben, sind hier günstige und praxistaugliche Lösungen gefragt.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden aus den auf dem Projekt Apollo basierenden Erfahrungen an 2 Anlagen Änderungen durchgeführt oder neue Komponenten eingebaut

Für diesen Zweck wurden zwei Pilotanlagen gebaut. Eine stationäre Anlage mit einer Leistung von 70-300 kW befindet sich in Bösing (FR). Die Zweite (Leistung 150-500 kW) ist eine mobile Anlage. Das heisst, die ganze Anlage ist samt Silo in einem mobilen Container eingebaut. Bei beiden Anlagen handelt es sich um eine angepasste automatische Feuerung der Firma Lopper Kesselbau AG. Diese Prototypen mit rotierendem Rost erlauben die Verbrennung problematischer Biomasse wie Getreide, Hühnermist, nasse Holzschnitzel, Stroh etc.

Die zur  $\text{NO}_x$ - und Staubminderung gewählten Aggregate und Änderungen sind:

- Änderung der Geometrie der Ausbrennkammer für die  $\text{NO}_x$ -Reduktion (Primärmasnahme) und Verminderung von Schlackeformation
- Zyklontechnik für Staubreduktion mit wassergekühltem Zyklon und Multizyklon.
- Keramik-Kondensations-Wärmetauscher für Staub
- Späne-Katalysator zur  $\text{NO}_x$ -Reduktion (Sekundäre Massnahme)

Die Staubreduktion beträgt mit wassergekühltem Zyklon 40 %, gleich viel für Holzschnitzel als auch Hühnermist. Bei Teillast wurde eine weitere Reduktion von 30% festgestellt. So wurden z.B. bei Hühnermist ein Staubgehalt von  $200 \text{ mg/nm}^3$  erreicht. Die Partikelgrössenanalyse zeigt ein weiteres Potenzial auf.

In Bezug auf die  $\text{NO}_x$ -Reduktion konnte bei der stationären Anlage nur bedingt positive Ergebnisse erreicht werden. Die  $\text{NO}_x$ -Werte (als  $\text{NO}_2$  bezogen auf  $11\% \text{O}_2$ ) liegen bei  $300 \text{ mg/nm}^3$  bei Holzschnitzel Vollast, über  $1000 \text{ mg/nm}^3$  Hühnermist Vollast und bei  $500 \text{ mg/nm}^3$  Hühnermist Teillast.

Die vorgesehenen Messungen an der Containeranlage konnten aufgrund einer Panne der Anlage auch aus terminlichen Gründen nicht durchgeführt werden.

Die Schlussfolgerungen betreffend Multizyklon und Spänekatalysator basieren auf bestehenden Berichten.

Informationen über Testsergebnisse und Applikationen des neu entwickelten Metallgewebe-Filters sind ebenso im Bericht zu finden. Der Metallgewebe-Filter stellt aufgrund der ersten Resultate eine mögliche und kostengünstige Lösung für die Staubemissions-Minderung für kleinere Biomassefeuerung (100-1000 kW) dar.

# 1. Ausgangslage

Bei Feuerungsanlagen von Holz und Biomasse hat die Reduktion des Staub- und NO<sub>x</sub>-Gehaltes aufgrund der Ökobilanz eine hohe Priorität. Kleinere Anlagen (Leistung bis 500 kW) haben ein grosses Potential für die Senkung des Staub- und NO<sub>x</sub>-Gehaltes im Rauchgas. Es kann aber nicht sein, dass ein Staubfilter teurer als der Rest der Anlage ist. Damit diese kleineren Anlagen aus ökonomischer und ökologischer Sicht attraktiv bleiben, ist eine günstige und praxistaugliche Lösung gefragt.

Die Erfahrung im Apollo-Projekt hat gezeigt, dass eine starke Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen mit einer geometrischen Änderung der Ausbrennkammer und einer adäquaten Luftführung machbar ist. Ein weiterer Schritt ist notwendig, um wirtschaftlich machbare und erreichbare Grenzen zu setzen.

## 2. Ziel

Ziel des Projektes **NOS** ist die Minimierung der **NO<sub>x</sub>**- und **Staub**-Emissionen für kleinere Anlagen (von 50 bis 500 kW Leistung), dies in einem vertretbaren finanziellen Aufwand. Überprüft wird die Idee eines Moduls, das in einer Anlage integriert oder nachträglich eingebaut werden kann.

Das NOS-Modul zur Reduktion der Staub- und Stickstoffemissionen basiert auf die folgenden Arbeitsprinzipien:

**Ausbrennkammer-Geometrie.** Diese zusammen mit der Luftführung beeinflusst die Bildung von Stickoxid sowie die Formation von Schlacke. Die Brennkammergeometrie ist bei nicht holziger Biomasse für den Betrieb entscheidend. Die vorgenommenen Änderungen sehen auch ein Austragungssystem (Schnecke) in der Ausbrennkammer vor.

**Zyklontechnik.** Es werden die Erkenntnisse im Apollo-Projekt erweitert. Der Einfluss der Zyklontechnik (Einfach- und Multizyklon) auf Staub-Emissionen wird in den Tests eruiert.

**Späne-Katalysator.** Der Katalysator wurde vom Institut für Energie und Umwelttechnik (IUTA) (D) entwickelte. Das Katalysatorsubstrat besteht aus einer losen Schüttung gereinigter Metallspäne, vorzugsweise Cr-Ni-Späne, die als Abfallprodukt bei Spanabhebenden Prozessen in der Metall verarbeitenden Industrie anfallen. Der Katalysator soll den NO<sub>x</sub>-Gehalt reduzieren.

**Keramik-Wärmetauscher.** Der Keramikwärmetauscher (Kondensationswärmetauscher KWT) ist ein marktreifes Produkt, das vor allem für Effizienzsteigerung in Gas- und Ölfeuerung eingesetzt wird und vor allem eine angenehme Nebenwirkung zeigt: die Reduktion des Staubgehalts im Abgas. In der Tat wirkt der im Abgasbereich installierte KWT wie eine Abgaswäsche.

### 3. Die Anlagen und Module

Die Tests wurden auf zwei praxistauglichen Anlagen durchgeführt. Eine stationäre Anlage befindet sich in der Schweiz und wurde schon im Projekt Apollo eingesetzt. Die Container-Anlage ist mobil. Zur Zeit der Messungen war diese in Deutschland stationiert.

#### 3.1 Die stationäre Anlage

Als stationäre Anlage für das NOS-Projekt wird eine Biomasse-Verbrennungsanlage (Leistung 100-300 kW) mit rotierendem Rost verwendet. Der Aufbau der Ausbrennkammer und weitere Bauteile basieren auf den neuesten Erkenntnissen aus dem Projekt Apollo.

Der Prototyp ist eine Weiterentwicklung aus dem Standard-Kessel für Holzschnitzen der Turner-Serie der Fa. Lopper. Neue oder geänderte Elemente sind:

- Das Pelletsilo zur Lagerung von trockenen Holzpellet zum Einsatz beim Kaltstart (Kaltstart=Anlage ist länger als 6 h still) der Anlage, wenn Brennstoffe mit besonders hohem Wassergehalt verbrannt werden.
- Die Verteilungsschnecke für eine bessere Verteilung des Brennstoffes im Füllraum (1)
- Die Ausbrennkammer, die im Lauf des Projektes in der Geometrie ständig verbessert wurde (2). Eine zusätzliche Aschenaustragung wurde in der Ausbrennkammer integriert.
- Der wassergekühlte Zyklon (3), mit Aschenaustragung.
- Die automatische Reinigung des Wärmetauschers

Der Aufbau der Biomasse-Verbrennungsanlage basiert auf 4 Elemente:

Der Füllraum wird von oben befüllt. Unten ist der Rollrost eingebracht. Das Glutbett bleibt bei der Befüllung erhalten. Nach der Nachbrennkammer sind zwei Anschlüsse für Abgas sowie Wasser vorgesehen, an denen ohne grossen Aufwand ein NOS-Modul angedockt werden kann. (Abb. 3.1.1).

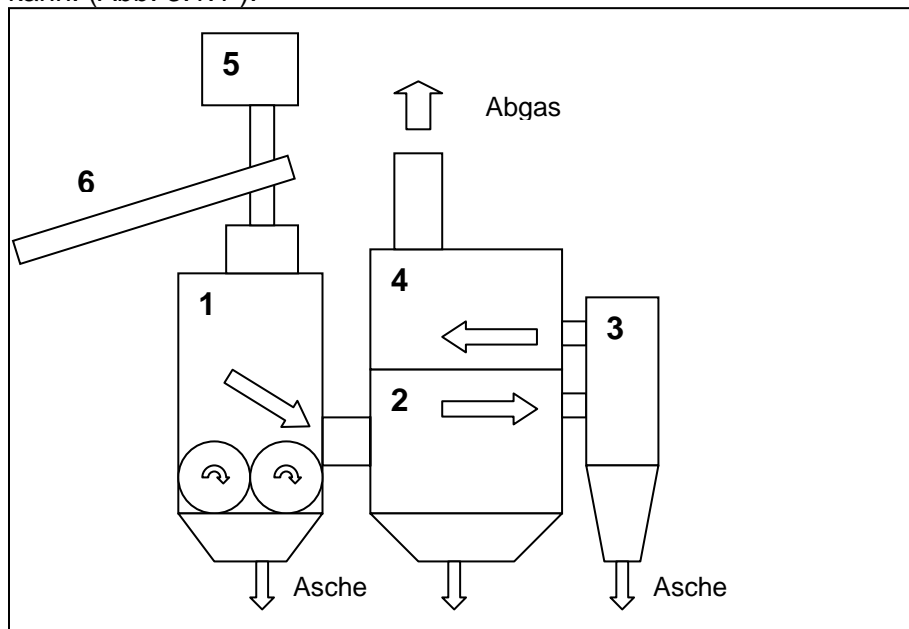


ABB. 3.1.1 Prinzipschema der Testanlage. 1 Füllraum mit Rollrost, 2 Ausbrennkammer, 3 Modul Zyklon, 4 Wärmetauscher, 5 Pelletsilo, 6 Steigschnecke Biomasse

Der wassergekühlte Zyklon hat einen Durchmesser von 310 mm und ist nach der Ausbrennkammer vor dem Wärmetauscher (WT) eingesetzt, um Verschmutzungsgrad im Wärmetauscher zu reduzieren.



ABB. 3.1.2 *Der Zyklon mit einem Durchmesser von 310mm ist wassergekühlt, ebenso die Anschlüsse an den Kessel.*

## 3.2 Die Container-Anlage

Diese Anlage ist für den mobilen Einsatz, vor allem für Landwirtschaftsbetriebe konzipiert. Die ganze Anlage samt Silo ist in einem Container von 12 x 2.5 m<sup>2</sup> eingebaut, so dass das ganze per Lastwagen transportiert werden kann. Notwendig für einen Betrieb sind hydraulischen Verbindungen (Vor- und Rücklauf, Frischwasser-Anschluss für die Notkühlung), sowie Stromanschluss. Ansonsten ist der Betrieb ortsunabhängig. Das Brennstoff-Silo (40 m<sup>3</sup>) ist im ersten Drittel des Containers eingebracht. Die Austragung erfolgt mit einem Schubboden und 2 Transportschnecken. Die Feuerung hat eine Nennleistung von 500 kW (Betrieb mit Trockenschnitzel).



Abb. 3.2.1. *Die erste Container-Anlage für die Verbrennung von Biomasse hat eine Leistung von 500 kW.*

### 3.2.1 Ausbrennkammer

Die neuartige Ausbrennkammer ist wassergekühlt. Zwei Schnecken sorgen für die Austragung, der in diesem Bereich anfallenden Asche. Die Geometrie und die Kühlung verhindern eine Schlackebildung und sorgen für eine Stickstoffreduktion.

Die Entwicklung der Ausbrennkammer mit entsprechender Luftzufuhr ist noch nicht abgeschlossen.

### 3.2.2 Multizyklon

Der Multizyklon wird von der spanische Firma Sugimat produziert. Wie der Name verrät, ist der Multizyklon aus mehreren kleinen Zyklons zusammengesetzt. Anzahl und Dimensionen sind vom Abgasvolumenstrom und Staubabscheidungsgrad abhängig. In unserem Fall sind neun kleine Zyklons mit 200 mm Durchmesser in Serie geschaltet. Das Gewicht des Multizyklons beträgt ca. 800 kg, die Dimension 850x850x1'500 mm<sup>3</sup>. Das Aggregat kann den Staubgehalt im Abgas auf 100 mg/nm absenken. In unserem Fall erwarten wir eine Verminderung um bis zu 60%.

Der Zyklon wird nach dem Gebläse, vor dem Kamin installiert, und ist Anlageunabhängig. Einzig könnte die relativ grosse Dimension ein Problem darstellen. Die Kosten eines Multizyklon dieser Grösse liegen um ca. 7'000.- CHF (nur Apparat ohne MWST). Also eine günstige Gelegenheit für Anlage von 200-500 kW.



Abb. 3.2.2.1 *Der Multizyklon der Firma Sugimat ist aus mehrere Mini-Zyklons aufgebaut und sollte den Staubgehalt auf 100 mg/nm<sup>3</sup> vermindern.*

### 3.2.3 Späne-Katalysator

Vom Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA) und dem Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie (FEM) wurde ein kostengünstiges Katalysatorsystem zur Umsetzung kohlenwasserstoffhaltiger Abgase für kleinere Abluftreinigungsanlagen entwickelt.



ABB. 3.2.3.1 Die Chromstahlspäne werden je nach Anwendung speziell oberflächlich behandelt.

Das Katalysatorsubstrat besteht aus einer losen Schüttung gereinigter Metallspäne (ABB. 3.2.3.1), vorzugsweise Cr-Ni-Späne, die als Abfallprodukt bei spanabhebenden Prozessen in der Metall verarbeitenden Industrie anfallen. Zurzeit werden diese Metallspäne nach einem aufwändigen Reinigungsprozess, bei dem anhaftende Kühlschmierstoffe abgetrennt werden, verhüttet. In dem von IUTA und FEM entwickelten Verfahren werden die Metallspäne durch Dotierung mit verschiedenen Übergangsmetallen zu einem Katalysator aufgebaut. Durch eine ausgefeilte Beschichtungstechnik wird dabei eine hohe Anzahl an Gefügeanomalien generiert, wodurch eine hohe Aktivität des Katalysators erzielt wird.

Neben seiner Eignung zur Oxidation leicht flüchtiger Kohlenwasserstoffe in Abluftströmen zu unschädlichem und geruchsneutralem Kohlendioxid, ist der Späne-Katalysator prinzipiell auch als Reduktionskatalysator zur Stickoxid-Minderung einsetzbar.

Diese Vorteile des Späne-Katalysators gegenüber herkömmlichen Katalysatoren; sein attraktiver Preis, dem geringen Druckverlust und die hohe Wärmeleitfähigkeit, prädestinieren den Katalysator zu Reinigungsaufgaben, für die es bisher keine wirtschaftlich tragbare Lösung gab. Die Reinigung von Abgasen aus häuslichen Kleinfeuerungsanlagen wie z.B. Kaminöfen, Kachelöfen, offenen Kaminen etc. bietet ebenso für diesen Katalysator an.

## 3.3 Keramik-Wärmetauscher

Der Keramik-Wärmetauscher ist ein Produkt der Firma BOMAT in Deutschland. Dieser kesselunabhängige Bomat-Wärmetauscher (Abb. 3.3.1) wird erfolgreich bei Oel- oder Gasfeuerungen eingesetzt. Der Leistungsbereich liegt zwischen 20 und 2'000 kW (Kesselleistung). Dank der Kondensation kann die Feuerungseffizienz je nach Wassergehalt des Brennstoffes um bis zu 35 % erhöht werden.

Die Tauscherfläche des Bomat-Wärmetauschers hat keramische Eigenschaft und ist daher korrosionsbeständig. Dank der tiefen austretenden Abgastemperaturen wäre ein Kamin nicht mehr notwendig.

Die austretenden Abgase werden in die Keramik-Rohren geleitet, wo sie sich abkühlen und kondensieren. Die Rohre werden mit einer Wasser-Luft-Mischung gespült.



ABB. 3.3.1 Der Keramik-Wärmetauscher der Firma Bomat.

Emissionsmessungen bei Öl- und Gasfeuerungen haben gezeigt, dass der Keramik-Wärmetauscher einen positiven Einfluss auf den Schadstoffausstoß hat. Die Firma Bomat entwickelt zur Zeit einen Keramik-Wärmetauscher für den Einsatz für Biomasse-Feuerungen. Der erste Prototyp wurde an einer 100 kW- Schnitzelfeuerung (HDG Compact C 100) angeschlossen.

### 3.4 Der Metallgewebe-Filter

Eine neue viel versprechende und fortgeschrittene Entwicklung in der Filtertechnik ist der Metallgewebe-Rauchgasfilter der Firma Oskar Winkel in Amberg (D). Dieser wurde am 5. Stuttgarter Holzfeuerungskolloquium (Okt. 05) vom Herrn Winkel präsentiert. Der aus nicht brennbarem Material hergestellte Filter ist aus austauschbaren Patronen zusammengestellt, hat einen geringen Luftwiderstand und wirkt robust. Die sehr kompakte Komponente ist im Vergleich mit anderen Filteranlagen sehr günstig, daher auch für kleinere Feuerungen (200 kW) attraktiv. Nach Aussagen vom Herrn Winkel laufen die Kosten für eine 150 kW-Anlage auf 6'000 bis 8'000 Euro.

## 4. Messungen und Resultate

### 4.1 Übersicht der Messungen

Viele Änderungen wurden bei der stationären Anlage im Bereich Rost und Ausbrennkammer durchgeführt. Dies erklärt den grossen Zeitabstand der Messungen. Insgesamt wurden 4 Messreihen in einer Zeitspanne von 2 Jahren durchgeführt.

Durch eine Panne der Container-Anlage haben die durchgeführten Messungen keine brauchbaren Daten liefern können. Die notwendige Änderung und Reparaturen für den Einsatz in Biomasse/Hühnermist-Verbrennung wurden nicht durchgeführt, da die Firma Ruba sich aus dem Projekt zurück gezogen hat.

#### Messreihen

Datum	Anlage	Schwerpunkt	Brennstoff	Messgrössen
Jan 03	Stationär	Zyklon, Geometrie Brennraum	Holzpellet, Holzschnitzel, Hühnermist	NO <sub>x</sub> , Staub, Partikelgrösse- verteilung HC, CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> ,
Apr 03	Stationär	Verbesserte Betriebsparameter Einfluss der Rostbewegung Teillast	Hühnermist	NO <sub>x</sub> , Staub, HC, CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> ,
Dez 03	Stationär	Kontrollmessungen	HühnermistA	Staub, CO, CO <sub>2</sub>
Feb 05	Container	Multizyklon Spänekatalysator	Strohpellets Hühnermist	Staub, CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ,

Tab 4.1.1 Übersicht der durchgeführten Messungen.

In Tab. 4.1.2 sind die angewendeten Brennstoffarten dargestellt.

Brennstoff	Wassergehalt atro %	Untere Heizwert MWh/Tonne
Hühnermist Stroh	12	3.9
Holzpellet	9	5
Strohpellets		4.9
Holzchnitzel	80	2.1
Hühnermist		

Tab. 4.1.2. Wassergehalt und Untere Heizwert der verwendeten Brennstoffe

## 4.2 Stationäre Anlage

In der 1. Messreihe im Januar 2003 wird der Einfluss vom wassergekühlten Zyklon (Staub) und der veränderten Geometrie der Ausbrennkammer eruiert.

Mit der neuen Geometrie der Ausbrennkammer und leichten Veränderungen der Luftzufuhr im Rostbereich, wird eine kontinuierliche, relativ stabile aber noch nicht zufrieden stellende Verbrennung erreicht. Das Verschlackungsproblem ist mit der Rostbewegung und der grösseren Ausbrennkammer beseitigt.

Als Brennstoff wurden Holzpellet, Holzschnittel und Hühnermist/Stroh(HMB) gebraucht.

Die Betrachtung der Mittelwerte zeigt eine eindeutige Wirkung des Zyklons. Bei Holzschnittel wird der Staubgehalt von 192 auf 121 mg/nm<sup>3</sup> reduziert, bei HMB von 874 auf 539 mg/nm<sup>3</sup>. Die Reduktion beträgt in beiden Fällen fast 40 %.

mg/nm <sup>3</sup> 11 % O <sub>2</sub>	Holzpellets mit Zyklon	HMB mit Zyklon	HMB ohne Zyklon	Holzschnittel mit Zyklon	Holzschnittel ohne Zyklon
Staub	83	539	874	121	192
Stickoxide NO + NO <sub>2</sub> als NO <sub>2</sub>	332	1'169	1'366	428	795
Kohlenmonoxid CO	106	1'347	1'049	294	71

Tab. 4.2.1 Schadstoffe in der 1. Messreihe. Mittelwerte in mg/nm<sup>3</sup> bezogen auf 11 % Sauerstoff

Die Partikelgrösse-Verteilung ist in ABB 4.2.1 und ABB 4.2.2 dargestellt. Der so genannte MODE-(most frequently diameter) Durchmesser liegt bei HMB um 220 nm. Bei dieser Partikelgrösse kann mit einer verbesserten Zyklontechnik eine weitere Reduktion des Staubgehaltes erwartet werden.

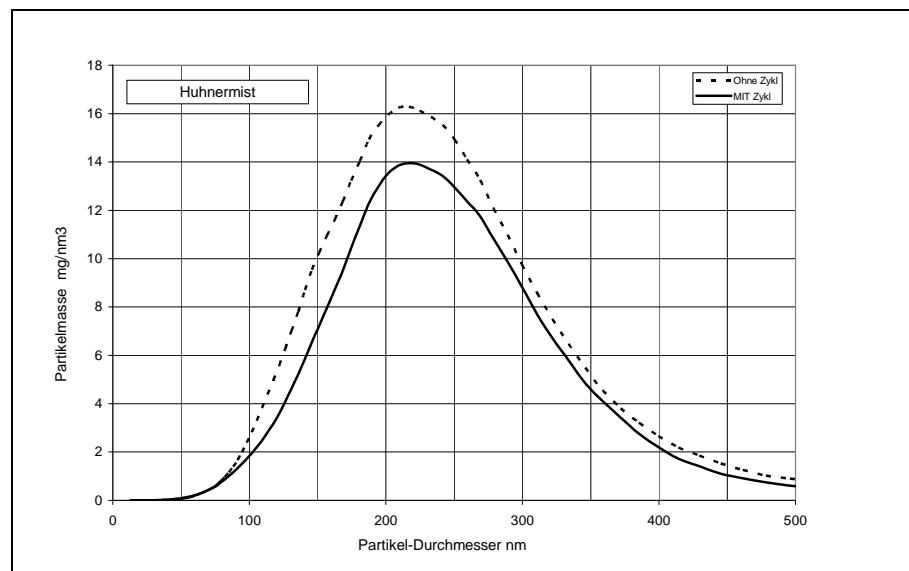


Abb. 4.2.1 Partikel-Verteilung bei HMB. Der MODE-Durchmesser liegt bei 220 nm. Bei dieser Partikelgrösse ist eine weitere Reduktion des Staubgehaltes durch eine verbesserte Zyklontechnik nicht ausgeschlossen.

Bei Holzschnittel liegt der MODE-Durchmesser zwischen 100 nm mit Zyklon und 140 nm ohne Zyklon. In Abb. 4.2.2 ist die Verteilung mit oder ohne Zyklon dargestellt. Da die Zyklontechnik bei Partikelgrösse kleiner als 150 nm keine grosse Wirkung hat, ist die Verbesserung auch auf verschiedene momentane Betriebszustände als auf die „Zyklon-Wirkung“ zurück zu führen. In der Tat die Einschaltung des Zyklons bewirkt eine Reduktion des Volumenstroms, die einen positiven Einfluss auf die Verbrennung bewirkt.

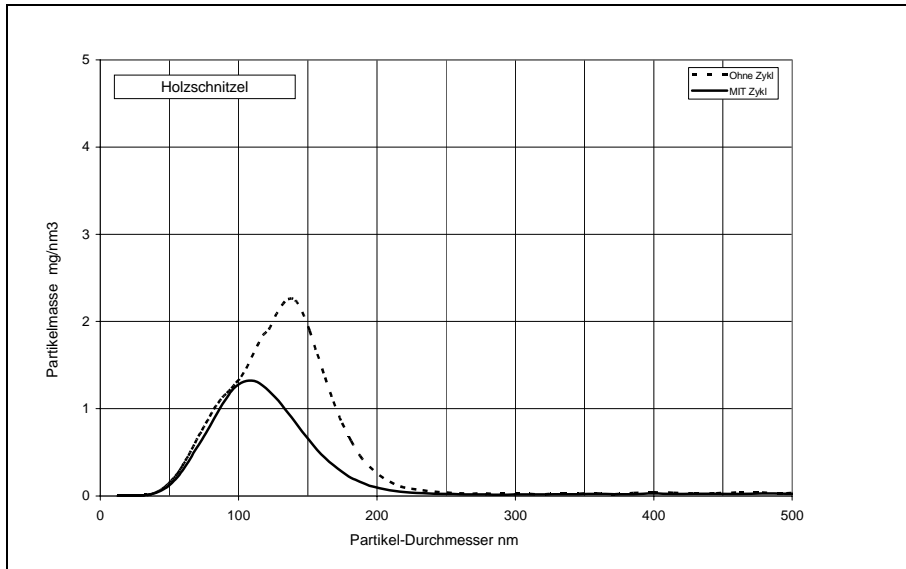


Abb. 4.2.2 Partikel-Verteilung bei Holzschnitzel. Die Verbesserung mit dem Zyklon scheint plausibel, kann aber auch auf den durch die Einschaltung des Zyklons reduzierten Volumenstrom zurückgeführt werden.

Die NO<sub>x</sub>-Werte (als NO<sub>2</sub> bezogen auf 11% O<sub>2</sub>) liegen beim HMB über 1000 mg/nm<sup>3</sup>, Werte die schlechter sind als die erreichten beim ersten Prototyp im Projekt APOLLO II. Das ist auf die im Vergleich mit dem Apollo-Prototyp höhere Ausbrennkammertemperatur zurückzuführen (da ist die Ausbrennkammer noch nicht wassergekühlt).

Der Tagesverlauf ist in Abb. 4.2.3 dargestellt. Der Einsatz diverser Brennstoffe, der Zeitpunkt der Staubmessungen, der Einsatzes des Zyklons, sowie der Kohlendioxid-Verlauf (CO<sub>2</sub>) sind aufgezeigt.

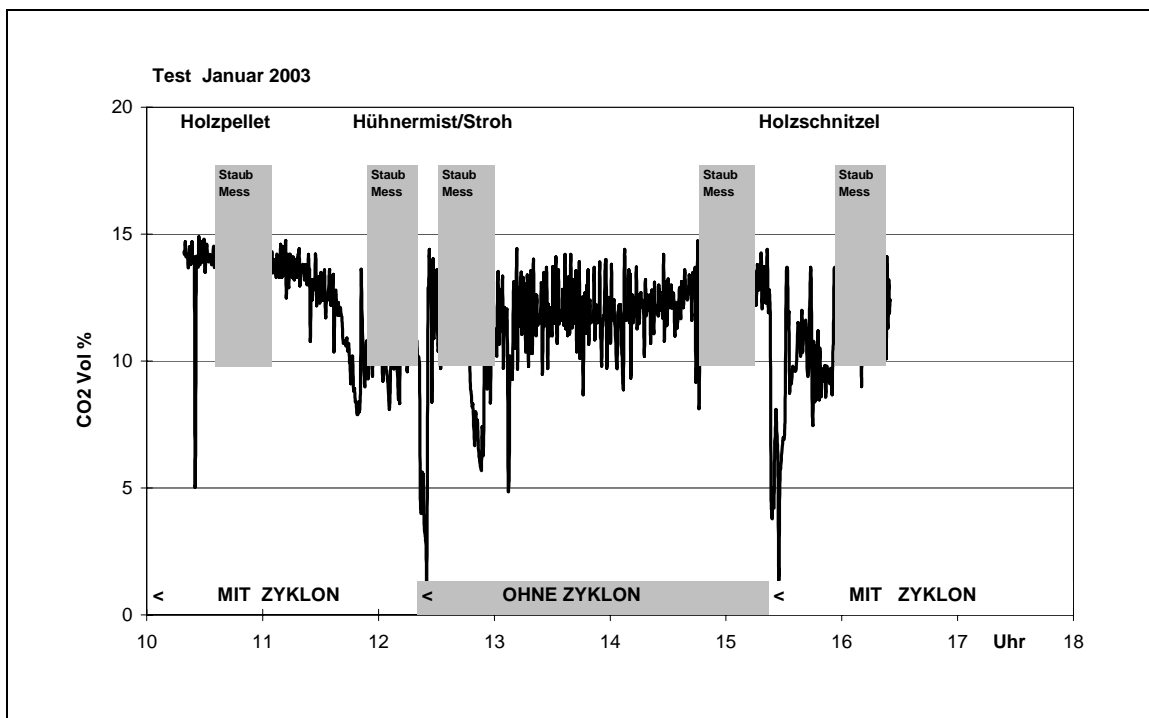


ABB. 4.2.3. Der Tagesverlauf vom CO<sub>2</sub>-Inhalt. Der Zeitpunkt der Zyklonseinschaltung, der Staubmessungen sowie die Brennstoffwechsel.

Der Kohlendioxid-Verlauf ist mit Holzpellets relativ stabil. Aus der Regelung verursachte Schwankungen halten sich im Bereich von 1% (13.5 bis 14.5%). Mit anspruchsvolleren Brennstoffen bewegt sich der CO<sub>2</sub>-Gehalt zwischen 10 und 14 %. Grössere Schwankungen sind von der Umstellung (Zyklon aus/ein) verursacht.

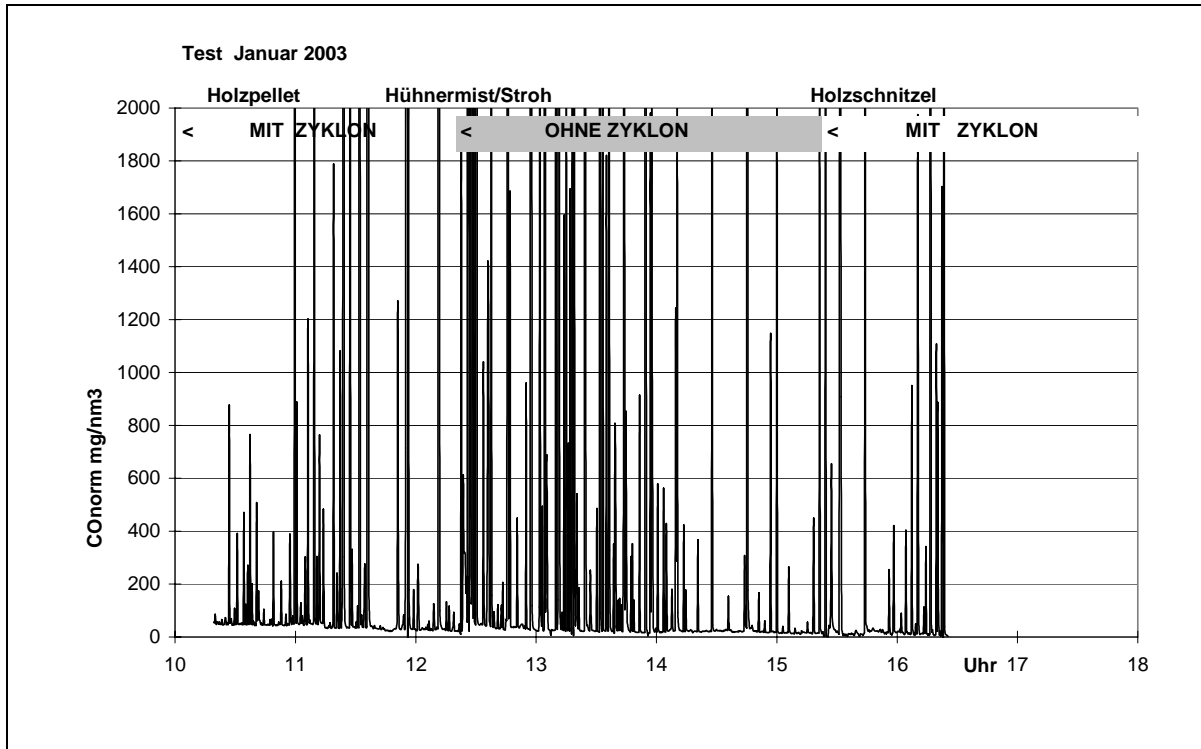


ABB. 4.2.4. Der CO-Inhalt in Verlauf der Zeit.

Im CO-Verlauf treten immer wieder punktuelle Störungen ein, die den CO-Gehalt in die Höhe treiben. Das eigentliche Niveau von CO liegt unter  $100 \text{ mg/nm}^3$  (11%  $\text{O}_2$ ) und ist brennstoffunabhängig. Diese Piks sind bei allen Brennstoffarten, zu beobachten, und auf Störungen zurück zu führen, die von der Rostbewegungen verursacht sind, wie klar im Abb. 4.2.4 mit gestreckter Zeitachse zu sehen ist.

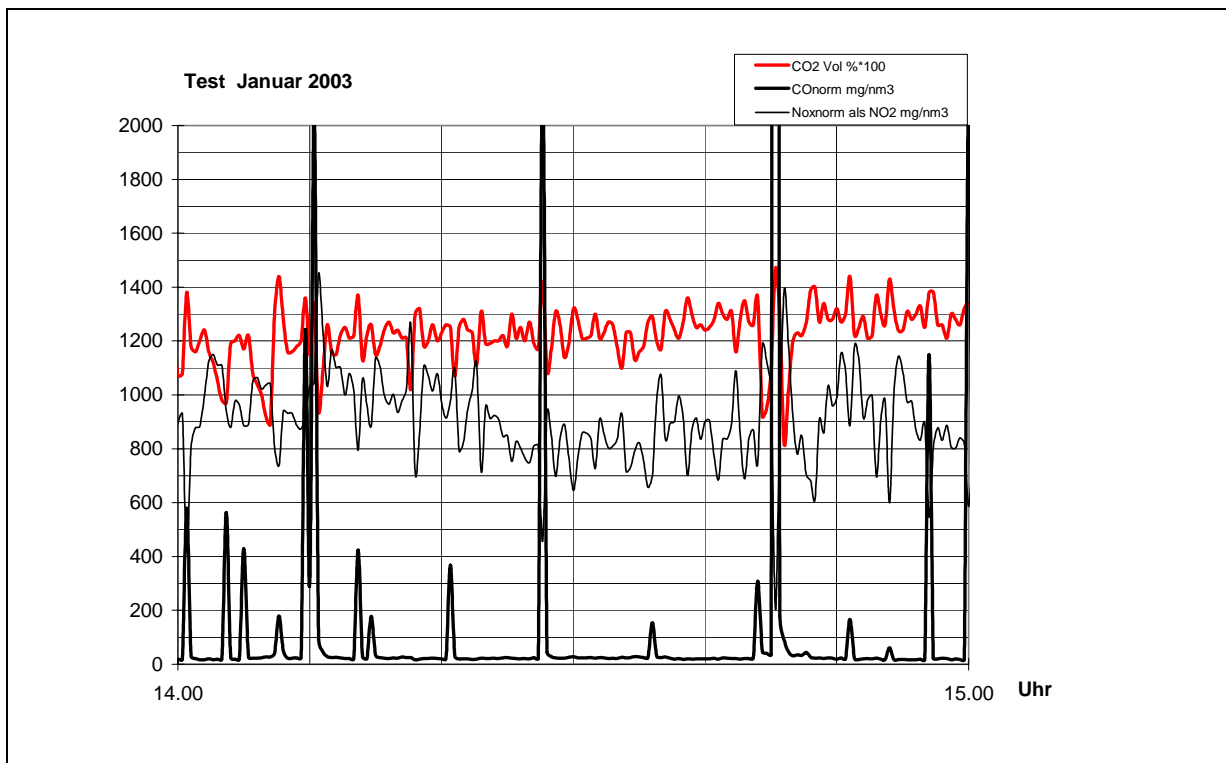


ABB. 4.2.5 Zeitverlauf von  $\text{CO}_2$ , CO und  $\text{NO}_x$  mit gestreckter Zeitachse. Die kleinen Piks treten alle ca. 4 Minuten ein und sind auf die Rostbewegung zurück zu führen. Ohne Piks bleibt der CO-Gehalt unter  $100 \text{ mg/nm}^3$ .

Aus diesen Überlegungen stellte sich die Frage, ob die Rostbewegung auch für den hohen Staubgehalt verantwortlich ist. Diese Bewegung ist aber notwendig, um die Asche aus dem

Kohlenbett ab zu transportieren. Die Frequenz hängt von der Brennstoffart ab und liegt zwischen 0.02 und 0.1 Umdrehung pro Minute.

Die Messreihe April03 analysiert den Einfluss der Rostbewegung und der Leistung.

In der Tab 4.2.2. sind die Mittelwerte von CO, NO<sub>x</sub> und Staub bei durchschnittlichen Leistung von 70 kW (Teillast 40%) und 180 kW (Volllast). Hühnermist/Stroh wird als Brennstoff verwendet. Der wassergekühlte Zyklon ist aktiv.

mg/nm <sup>3</sup> 11 % O <sub>2</sub>	Teillast 40%	Teillast 40%. ohne RB	Volllast	Volllast ohne RB	Volllast	Volllast ohne RB
Kohlenmonoxid	396	195	380	182	330	192
Stickoxide als NO <sub>2</sub>	430	573	938	1'476	1'250	1'231
Staub	214	179	293	330	336	336

Tab. 4.2.2 Mittelwerte der April03-Messungen. Durchführung mit Hühnermist/Stroh und Zyklon.  
RB: Rostbewegung.

Tabelle 4.2.2 zeigt, dass im Teillast-Bereich die Rostbewegung eine Verschlechterung des Staub-Gehaltes verursacht. Beim Volllast ist kein Unterschied fest zu stellen. Die Reduktion der Staubemissionen von fast 40 % ist auch an dem Volumenstrom gebunden. Weniger Leistung heisst in diesem Fall auch weniger Luft/Abgasmenge. Also kleinere Geschwindigkeiten mit resultierendem kleinem Mitschlepper-Effekt. Die NO-Reduktion bei Teillast kann auf die längere Verweilzeit in einer CO-reicheren Umgebung (in der Ausbrennkammer) zurück geführt werden. Von den gemessenen Schadstoffen wird nur CO von der Rost-Rotation negativ beeinflusst. Der Grund könnte in der von der Vergrösserung des Glutbettes verursachten CO-Überproduktion liegen, welche in der aktuellen Ausbrennkammer nicht mehr vollständig oxidiert wird. Im Zeitablaufs-Diagramm (Abb. 4.2.1.5) sind bei dem plötzlichen CO-Anstieg kleinere Stickoxid-Werte ersichtlich.

## 4.3 Container Anlage

Die Container-Anlage wurde in Januar 2005 in Betrieb genommen. Der erste Anlauf für Messungen wurde in Februar 2005 genommen. Wegen einer Panne mussten die Messungen unterbrochen werden.

Fa. RUBA GmbH hat die ursprüngliche Idee „Energiecontracting mit Biomasseverbrennung“ aufgegeben. Die Fa Lopper Kesselbau AG hat als Konsequenz und Aufgrund interner Schwerpunktsetzung das Projekt auf unbestimmte Zeit sistiert.

Dadurch wurde es unmöglich, in nützlicher Zeit neue Messungen bei anderen Anlagen zu realisieren.

Es wurde auf diese Messungen verzichtet.

Es liegen im Moment keine Messungen mit dem Späne-Katalysator bezüglich NO<sub>x</sub>-Reduktion im Abgas. Die folgenden Informationen basieren auf bestehenden Berichten über das betreffende Thema.

### 4.3.1. Multizyklon

Die Messungen mit dem Multizyklon der spanischen Firma Sugimat konnten aufgrund der oben beschriebenen Umstände nicht durchgeführt werden.

Die kostengünstige und betriebsfreundliche Multizyklon-Technik kann eine Reduktion des Staubgehaltes um bis zu 30 % je nach Partikelgrösse bewirken.

Gemäss Institut UMEG /10/ weisen Anlagen (Leistung ab .5 MW) Staubemissionen von 170-300 gr/nm<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>) auf.

Die Firma Sugimat garantiert einen Staubgehalt von 150 mg/nm<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>).

Als weitere mechanische Lösung für die Reduktion des Staubgehaltes gilt das so genannte Ciborn-System der Fa. Sugimat. Sugimat garantiert einen Staubgehalt unter  $80 \text{ mg/nm}^3$ . Keine Angaben werden aber über Partikelgrösse gemacht. Problematisch bei Fliehkraftabscheider (Multi-Zyklon) bleibt der grosse Anteil an Kleinpartikel. Ab Partikelgrösse mit aerodynamischem Durchmesser kleiner als  $.5 \mu\text{m}$  ist die Wirkung praktisch null.

### 4.3.2 Späne-Katalysator

Der Späne-Katalysator kann nach Aussagen vom IUTA-Institut für die Reduktion vom Stickstoff als sekundäre Massnahme eingesetzt werden.

Der Katalysator wirkt in einem Temperaturbereich liegt um  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dieser Temperaturbereich wäre zu hoch für den nachträglichen Einbau an einer bestehenden Feuerungsanlage ohne Fremdheizung.

Es liegen im Moment keine Anwendungen, Tests oder öffentliche Resultate vor, die diese Aussagen bestätigen können.

Erste Versuche mit Biomasse wurden im Bereich Kleinholzfeuerung mit einem im Abgasrohr eingeschalteten Filterpatrone (ABB 4.3.2.1) durchgeführt. Im /10/ werden die ersten Ergebnisse dargestellt. Schwerpunkt der Testsreihe war die Reinigung von Kohlenstoff-Verbindungen.



ABB. 4.3.2.1 Die Spänenkatalysator-Patronen für den Einbau im Abgasrohr bei Zimmer- und Cheminée-öfen

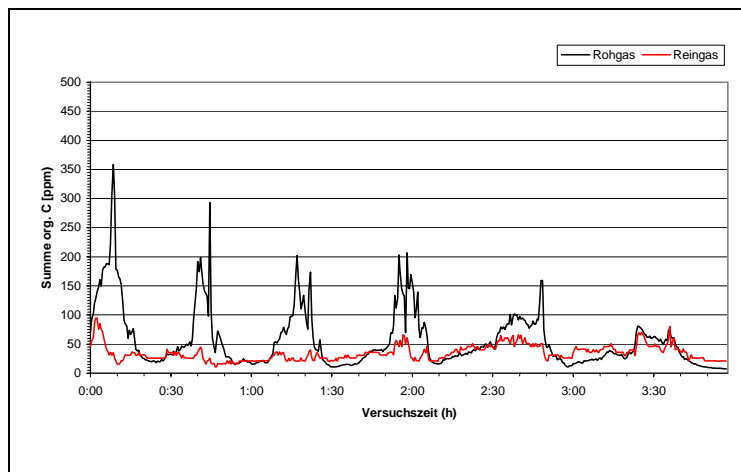


ABB. 4.3.2.2. Auswirkung des Katalysators auf die Kohlenstoff-Verbindungen. Rote Kurve zeigt den Gehalt nach dem Katalysator.

Nur bei den Kohlenwasserstoffe ist eine eindeutige positive Wirkung fest zu stellen (ABB 4.3.2.2).

Der Einfluss des Spänekatalysators auf die Reduktion von NOx wurde noch nicht untersucht. Daher bleibt es noch offen, ob sich der Spänekatalysator als Modul für den Einbau in ein Feuerungsaggregat eignet.

## 4.4 Keramik-Wärmetauscher

Bei den von der Firma Bomat und dem Institut TFZ (Technologie und Förderzentrum für Nachwachsende Rohstoffe Straubing D) durchgeführten Messungen /3/ /10/ wurden Holzschnitzel, Chinaschilf und Triticale Korn als Brennstoff (Siehe Tab. 4.4.1.) eingesetzt.

Brennstoff	Wassergehalt % Basis feucht
Holzschnitzel M40	40-44
Holzschnitzel M30	30
Holzschnitzel M10	12
Mischung Sägemehl/-Späne	11
Stroh-Pellets	11
Chinaschilf	11
Triticale Korn	12

Tab. 4.4.1. Brennstoffwahl bei den Untersuchungen in Keramik-Wärmetauscher

Kein messbarer Einfluss konnte auf Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (CnHm) und Stickoxid (NOx) festgestellt werden.

Der Staubinhalt im Abgas wurde gleichzeitig vor und nach dem Keramik-Wärmetauscher in 3 Messungen pro Brennstoffart gravimetrisch gemessen.

In der Tab. 4.4.2 sind die Mittelwerte zu sehen (Siehe auch ABB. 4.4.1.). Die Staub-Reduktion liegt je nach Brennstoffsorte zwischen 15 und 40 %, beim Holz und Tritical Korn über 30 %, bei Stroh-Pellets und Chinaschilf um 15%.

Brennstoff	Staubgehalt mg/nm <sup>3</sup> 13% O <sub>2</sub>		Reduktion %
	Vor	Nach	
Holzschnitzel M40	47	29	38
Holzschnitzel M30	34	21	38
Holzschnitzel M10	37	25	32
Sägemehl/-Späne	71	49	31
Stroh-Pellets	390	329	16
Chinaschilf	126	110	13
Triticale Korn	295	194	34

Tab. 4.4.2. Die Staubemissionen vor und nach dem Keramik-Wärmetauscher.

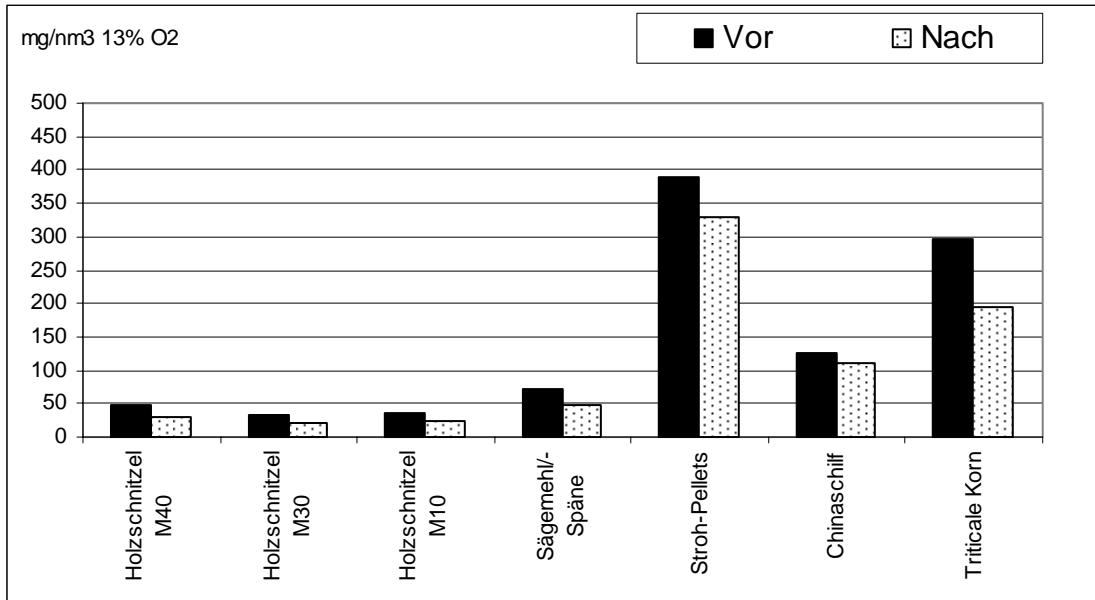


Abb. 4.4.1 Staubemissionen vor und nach dem Keramik-Wärmetauscher in mg/nm<sup>3</sup> bezogen auf 13 % O<sub>2</sub>.

## 4.5 Der Metallgewebe-Filter

Der Metallgewebefilter ist aus Patronen mit Durchmesser 175 mm und Länge 1305 mm und hat Filterfläche von 2.7 m<sup>2</sup>. Filtermaterial ist Edelmetallgewebe (Temperaturbeständigkeit bis 400 °C). Mittig in der Patronenachse ist der Erhitzer angeordnet (elektrische Leistung 2400 Watt), der sichert, dass die Filtertemperatur über dem Taupunkt bleibt. Der Filter wird automatisch mit Druckluft-Impulse gereinigt. In der jährlichen Wartung kann er mit Dampfstrahlreinigung komplett regeneriert werden. Der Druckverlust ist nicht all zu hoch und liegt im vollen Betrieb bei einem Volumenstrom vom 400 nm<sup>3</sup>/h bei 800 Pascal (80 mmWS).

Die Testsergebnisse für Holz liegen im Bereich 5 bis 10 mg/nm<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>) mit einem Abscheidungsgrad über 90%. Bezüglich Partikelgrösse ist die Wirkung des Filters durchaus positiv: beim grössten Teil der abscheidenden Partikeln liegt der aerodynamische Durchmesser zwischen 100 und 200 nm (Feinpartikelbereich PM<sup>1</sup> 0.1 – 0.2).

Weitere noch nicht abgeschlossene Untersuchungen laufen im Bereich Biomasseverbrennung: Stroh und Getreide.

<sup>1</sup> PM1:Partikelfraktion mit Arodynamischem Durchmesser < 1 µm PM:Particulate matter

## 4.6 Messgeräte

Die Messungen an der stationären Anlage in Januar 2003 und April 2003 wurden in Zusammenarbeit mit dem Oekozentrum Langenbruck (CH) durchgeführt.

Die Messungen an der Container-Anlage werden vom Institut IUTA (D) in Düsseldorf durchgeführt. Das Institut IUTA ist anerkannte Messanstalt. Die verwendeten Messgeräte sind in der Tab 4.5.1 zu sehen.

Messgerät	Messgas	Genauigkeit	Bemerkung
ECOM	O <sub>2</sub> CO NO	Max +/-0.5 %	Anerkannt für Abgaskontrolle
MAD/Siemens Infrarot	CO <sub>2</sub> CO	1%	Aus dem BfE-Projekt „MAD Mobile Dataerfassung“ (Siehe Literatur 9)
Siemens Infrarot	NO	Max +/-0.5 %	
Gravimetrisches Messverfahren	Staub		Gemäss ISO/DIS 13336-Norm
TSI, 3936	Staubpartikelgrösse		SMPS-Messausrüstung (scanning mobility particle sizer (Siehe Literatur 8)

Tab.4.5.1. Verwendete Messgeräte bei den durchgeführten Messungen

## 5. Schlussfolgerungen

Die auf Rollrostprinzip basierende Feuerung der Fa. Lopper Kesselbau AG in einem Leistungsbereich von 100 bis 500 kW, eignet sich für die Verbrennung diverser problematischer Brennstoffe, wie Getreide, Chinaschilf, Hühnermist, Stroh etc.

Das Rollrostprinzip und die neue Ausbrennkammer verhindern die Bildung von Schlacke und garantieren einen kontinuierlichen Betrieb mit noch relativ hohem NO<sub>x</sub>- und Staubgehalt bei der Verbrennung von Biomasse.

### 5.1. Ausbrennkammer (ABK)

Aufgrund der genannten Anlagepanne lassen sich über NO<sub>x</sub>-Reduktion mit der realisierten Ausbrennkammererweiterung (Primären Massnahmen) keine Schlussfolgerungen ziehen. Punktuelle Messungen und die im Teillastbereich erzielte NO<sub>x</sub>-Werte deuten aber doch auf eine Verbesserung von 40% hin.

<b>aktuellen Zustand der ABK</b>	→	<b>Problem Schlacke-Formation beseitigt</b>
		<b>erwartete NO<sub>x</sub>-Reduktion 40 % (Schätzung)</b>
<b>weitere Optimierung der ABK</b>	→	<b>erwartete NO<sub>x</sub>-Reduktion 50-70 % (je nach Brennstoff)</b>

### 5.2. Zyklontechnik (Fliehkraftabscheider)

Bei ersten Versuchen bei der stationären Anlage mit einem wassergekühlten Zyklon werden Staub-Werte von 300 mg/nm<sup>3</sup> erreicht, bei Teillast 200 mg/nm<sup>3</sup>. Abscheidengrad maximal 40 %. Der wassergekühlte Zyklon kann aber als wirkungsvoller selbst reinigender Wärmetauscher gesehen werden. Nachteil ist der erhöhte Druckverlust.

Die Analyse der Partikelgrössen-Verteilung zeigt, dass der massgebende MODE-Durchmesser der Partikeln für Hühnermist/Stroh (HMB) bei 220 nm, für Holzschnitzel bei 120 nm liegt. Das heisst, bei HMB ist noch Potential für eine verbesserte Zyklontechnik vorhanden. Mit der Zyklontechnik können Partikel mit MODE-Durchmesser grösser als 180 nm abgeschieden werden.

Die Zyklontechnik ist relativ günstig. Der Preis des eingesetzten Multizyklons liegt bei 6'000 CHF (ohne MWST, Transport und Installation).

Gemäss Institut UMEG /10/ weisen Anlage (Leistung ab .5 MW) Staubemissionen von 170-300 gr/nm<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>) auf.

Die Firma Sugimat garantiert einen Staubgehalt kleiner als 200 mg/nm<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>). Keine Angaben werden aber über Partikelgrösse-Verteilung gemacht.

- **Wassergekühltes Zyklon** - **Staubreduktion bis 200-300 mg/nm<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>)**  
- **Abscheidengrad maximal 40 %**
- **Multizyklon** - **Staubreduktion bis 150-200 mg/nm<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>)**  
- **Abscheidengrad maximal 40 %**
- **Applikationen** - **beide Zyklons dienen als günstige Lösung für die Nachrüstung. Die Wirkung ist aber beschränkt. Das Problem von Feinstaub-Abscheidung ist nicht gelöst.**

### 5.3. Späne-Katalysator

Der aus behandelten Chromstahlspänen zusammen gesetzte Katalysator arbeitet bei einer Temperatur von 300°C und sollte als sekundäre Massnahme den NO<sub>x</sub>-Gehalt weiter reduzieren. Aufgrund der hohen Temperatur kann der Katalysator beschränkt als Nachrüstapparat eingesetzt werden.

Der Späne-Katalysator wird zukünftig von einer deutschen Firma in Lizenzvertrag mit dem IUTA Institut hergestellt. In einer erste Schätzung werden die Kosten für Anlagen bis 1 MW-Leistung bei 5'000 CHF liegen (telefonische Auskunft).

Die Wirkung ist als NO<sub>x</sub>-Katalysator noch nicht bestätigt. Es fehlen vor allem noch praktische Erfahrungen im Bereich Biomassefeuerung (Stichwort: Verstopfungsfahr, Regenerierbarkeit).

- **mögliche günstige Lösung für die Reduktion von NO<sub>x</sub> als sekundäre Massnahme (Wirkung und Praxistauglichkeit müssen noch geprüft werden!)**
- **mögliche Applikationen**
  - Biomassefeuerung
  - beschränkte Nachrüstungsmöglichkeit
  - Pflanzenölmotoren (BHKW)

### 5.5. Keramik-Wärmetauscher

Der Keramik-Wärmetauscher bietet eine sehr interessante und günstige Lösung. Dies vor allem bei Biomasse mit hohem Wassergehalt, um den feuerungstechnischen Wirkungsgrad zu erhöhen.

Der Wärmetauscher ist Anlage unabhängig und kann nach dem Kessel oder Ventilator eingesetzt werden. Die Kosten liegen bei einer 200kW-Anlage bei 6000.- CHF (ohne Installation). Wobei in vielen Fällen der Keramik-Wärmetauscher in kurzer Zeit wegen Wirkungsgradsteigerung amortisiert ist.

Wo eine Nutzung von Warmwasser bei tieferen Temperaturen möglich ist, sind Verbesserungen des feuerungstechnischen Wirkungsgrades je nach Wassergehalt im Brennstoff von bis zu 20% zu erwarten.

Als positiver Nebeneffekt ist die Reduktion des Staubgehaltes um bis zu 30% je nach Brennstoff möglich.

- **wirtschaftliche Massnahme für die Erhöhung der Energieeffizienz**
- **Staubminderung bis 30% je nach Brennstoff**
- **zu wenig Langzeit-Praxis mit Biomassefeuerung**
- **Applikationen**
  - gute Nachrüstungsmöglichkeit für verschiedenste Feuerungsanlagen

## 5.6 Metallgewebe-Filter

Der Metallgewebe-Filter bietet mit seinen ausgezeichneten Eigenschaften und Testsergebnissen eine viel versprechende Lösung für die Staubgehalt-Minderung bei der Biomassefeuerung.

Werden die Praxistauglichkeit überprüft und die Resultate der Pilotanlagen bestätigt, so kann der Metallgewebe-Filter eine wichtige Rolle in der Verbrennung (nicht nur) von Biomasse spielen. Mit dem robusten Aufbau besitzt der Filter gute Nachrüstungseigenschaften.

- **Günstige zukunftsweisende Lösung für hervorragende Staubminderung (Abscheidungsgrad >90%, Staubwerte < 10 mg/nm<sup>3</sup> Schnitzelfeuerung)**
- **Applikationen:**
  - **Biomassefeuerung (auch Nachrüstungsmöglichkeiten)**
  - **Pflanzenöl-Motoren (BHKW)**

## 5.7 Das NOS-Modul

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen und Informationen ist ein kostengünstiges Staub-Modul für die Nachrüstung bestehender Anlagen möglich. Das Staub-Modul basiert auf den Metallgewebe-Technologie.

Bezüglich sekundärer Massnahmen für die Stickstoffoxid-Reduktion bleibt die Frage über NO<sub>x</sub>-Modul noch offen. Mit dem Späne-Katalysator (falls die katalytische Wirkung bestätigt wird) wäre ein Modul mit beschränkten Nachrüstungseigenschaften durchaus möglich.

- **kostengünstiges Staubmodul möglich**
- **NO<sub>x</sub>-Modul noch offen**

# 6. Ausblick

Ein Handlungsbedarf besteht bei sekundären Massnahmen in folgenden Bereich:

### **Spänekatalysator:**

- Auswirkung auf NO<sub>x</sub>-Reduktion
- Analyse der Einbaumöglichkeiten bei Biomasse-Feuerungsanlagen

### **Metallgewebe-Filter:**

- weitere Erfahrung über die Praxistauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Fa. Winkel ist bereit für eine Zusammenarbeit. Möglich wäre problematische bestehende Anlage nachzurüsten.
- Erweiterung der Applikationen an Pflanzenöl-Verbrennungsmotoren
- Überprüfung der Möglichkeit einer katalytischen Effekt durch Materialwahl und Oberflächenbehandlung des Metallgewebe-Filters

-

## 7. Dank

Für die Realisierung des Projektes NOS sei ein Dank an die folgende Mitwirkende herzlich ausgesprochen:

Firma Lopper

Oskar Schneuwly und Familie

Herr Block Bigatec  
Mitarbeiter des IUTA-Instituts (D)

Herr Schmid, Oekozentrum..

für die prompte Umsetzung der erarbeiteten Lösungen zur Verbesserung der Biomassefeuerung  
für die Bereitschaft, den geschätzten Einsatz und Inputs in die Praxis-Tauglichkeit  
für die Organisation der Messungen in Deutschland die Bereitschaft die Spezialmessungen an der Containeranlage zu realisieren.  
für die angenehme Zusammenarbeit bei der Partikelgrösseverteilungs-Messungen

## Anhang

### Literaturverzeichnis

- |    |                                |  |
|----|--------------------------------|--|
| 1  | Müller 2003                    | Verfahren zur Staubabscheidung bei Biomassefeuerungen ab 100 kW Holzenergie-Symposium 2003   |
| 2  | Erich Ergon 2004               | Abfälle der spanenden Metallbearbeitung als Trägermaterial für katalytische Abluftreinigungssysteme, interner Bericht IUTA Institut , Duisburg                 |
| 3  | Hartmann, et al 2004           | Secondary flue gas condensation for domestic wood chip boilers, Deutsche Bundesstiftung Umwelt Osnabrück / Fa. Bomat Bericht in Bearbeitung                    |
| 4  | Hersener, Bühler, 1998         | Energetische Nutzung von Hofdüngerfeststoffen; ARGE Biomasse, Tänikon  |
| 5  | Infras, 1995                   | Ökoinventar Transportsysteme, SPP Umwelt, Modul 5, Zürich  |
| 6  | Salerno, Hersener, Dinkel 2002 | Apollo II Thermische Nutzung von Hühnermist Salerno Engeler GmbH Langenbruck   |
| 7  | Salerno, 2000                  | Apollo I Energiegewinnung aus Hühnermist; Salerno Engeler GmbH, Langenbruck  |
| 8  | Wieser, Gaegauf, Macquet. 2001 | Partikelemissionen aus Holzfeuerungen, Oekozentrum Langenbruck   |
| 9  | P. Schweizer 1995              | MAD Auswertungs- und Messdataerfassung DIANE7-ENET   |
| 10 | UMEG Jahresbericht 1999        | Feinstaubuntersuchungen im Rauchgas von Holzfeuerungsanlagen UMEG, Zentrum für Umweltmessungen, Umw3760020elterhebungen und Gerätesicherheit D-76135 Karlsruhe |
| 11 | Jahresbericht 2005             | Arbeitsgruppe Luftreinhaltung Stuttgart ALS, Baumbach, Costa   |