



Schlussbericht 15.11.2016

NOSMOG III

Reduktion der Feinstaubemissionen bei Biomassefeuerungen - Partikel- und Extinktionsmessungen





Datum: 15. November 2016

Ort: Langenbruck

Auftraggeber:
Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Biomasse und Holzenergie
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Amt für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt
Hochbergerstrasse 158
4019 Basel
www.aue.bs.ch

Auftragnehmer/in:
Salerno Engeler GmbH
Schwengiweg 12
CH-4438 Langenbruck

www.sesolar.ch

Autor/in:
Basso Salerno, Salerno Engeler GmbH, salerno@sesolar.ch
Michael Sattler, Oekozentrum, michael.sattler@oekozentrum.ch
Alejandro Keller, Fachhochschule Nord West Schweiz, alejandro.keller@fhnw.ch (Kap 5.5, 6.3, 7.3)

BFE-Bereichsleitung: Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch
BFE-Programmleitung: Sandra Hermle, sandra.hermle@bfe.admin.ch
BFE-Vertragsnummer: SI/501265-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

NOSMOG ist ein multifunktionales Modul für Biomassefeuerungen, das Abgasanlage, Elektroabscheider, Lüftung und Warmwassererzeuger vereint.

Auf Grund der vielversprechenden Ergebnisse aus den Vorprojekten werden in diesem Projekt die Mechanismen, welche zur sehr guten Abscheideeffizienz von Feinstaub und SOA-Vorläufer führen, analysiert. Mit Extinktionsmessungen wird die Rolle des Wasserdampfes untersucht, da Wasserdampf das Potenzial hat die Abscheideeffizienz zu verbessern. Untersucht werden auch die Grenzen des ganzen NOSMOG Systems und deren Teilkomponenten.

Die Resultate zeigen eine Reduktion der Partikelemissionen auf unter 5 mg@stp13\%O_2 . Es kann keine Beziehung zwischen Wasserdampf im Abgas und einer Reduktion der Partikelemissionen beobachtet werden. Die Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades liegt mit 2.5 bis 7 % knapp unter den Erwartungen und die Alltagstauglichkeit ist zufriedenstellend.

NOSMOG III zeigt auf, dass eine zuverlässige Technik verfügbar ist, welche auch im kleinen Leistungsbereich bis 70 kW eine saubere und effiziente Nutzung der Biomasseenergie ermöglicht.

Die Realisierung von Pilotanlagen bei externen Kunden ist der nächste Schritt für NOSMOG.

Résumé

NOSMOG est un module multifonctionnel équipant des installations de chauffage à la biomasse. Il est composé d'un système d'évacuation des gaz de fumée, d'un électrofiltre, d'une ventilation et d'un échangeur pour le chauffage de l'eau sanitaire.

Du fait des conclusions positives des avant-projets, il a été décidé d'analyser les mécanismes du système NOSMOG assurant un abattement exceptionnel des émissions de particules fines et des particules secondaires. Au moyen de mesures d'absorbance, le rôle des vapeurs d'eau dans l'efficacité de la précipitation a été contrôlée. Les limites d'application du système NOSMOG et de ses composantes ont également fait l'objet d'analyses.

Les émissions de particules fines sont inférieures à $5 \text{ mg@stp stp13\%O}_2$. Il n'a pu être prouvé que la présence de vapeurs d'eau améliorerait la précipitation des particules fines. L'amélioration de l'efficacité énergétique est très légèrement en dessous des attentes (2.5 à 7%) et la fonctionnalité en situation réelle est satisfaisante. NOSMOG III montre que la technique est fiable également pour des plages de puissances faibles et permet une utilisation propre et efficace d'installations de chauffage à la biomasse.

La réalisation d'installations pilotes auprès de clients constitue la prochaine étape du projet NOSMOG.



Abstract

NOSMOG is a multifunctional module for wood firing which combines exhaust system, electrostatic precipitator, ventilation and hot water generator.

Due to the promising results of the pre-projects the mechanisms leading to the outstanding precipitation efficiency of particulate matter and SOA-precursors are investigated in this project.

The impact of water vapour has been analysed with extinction measurements as water vapour has the potential to increase the precipitation efficiency. The limits of the system and its subcomponents have been investigated.

The measurement results show that particulate matter emissions are reduced below 5mg@stp $13\%\text{O}_2$. No relation between water vapour content in the exhaust gas and the reduction of particulate matter has been observed. The achieved improvement of thermal efficiency of 2.5 to 7 % is just under the forecast. The suitability for daily use is satisfying.

NOSMOG III proves that a reliable technology is available that guarantees clean and efficient biomass energy production even for small scale wood firing systems up to 70 kW.

The realisation of pilot plants at external customers is the next step for NOSMOG.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	3
Abstract	4
1 Ausgangslage	6
2 Ziel der Arbeit	7
3 Grundlagen	8
4 Konzept – Anlagenbeschrieb	8
4.1 NOSMOG T	8
4.2 NOSMOG W	13
4.3 NOSMOG A	14
5 Vorgehen / Methode	15
5.1 Projektplan	15
5.2 Messinstallation.....	16
5.2.1 Messkonzept und Messstellen.....	16
6 Emissionsmessungen	18
6.1 Gravimetrische Staubmessung	18
6.2 On-Line-Staubmessung	18
6.3 Kohlenwasserstoff-Messung	19
6.4 Energiemessungen	19
6.5 Exinktionsmessungen	19
6.6 Installation in Plons	22
6.7 Testfeuerungen	23
6.8 Testübersicht.....	25
7 Ergebnisse/Erkenntnisse/Diskussion	26
7.1 Staubemissionen.....	26
7.2 Energie	28
7.2.1 NOSMOG W	28
7.2.2 NOSMOG A	30
7.3 Die Extinktionsmessungen.....	30
7.4 Die Anlage in Plons	34
7.4.1 Staubemissionen	34
7.4.2 Energie.....	35
8 Schlussfolgerungen	36
8.1 Staubreduktion	36
8.2 Energie	36
8.3 Extinktionsmessungen	36
8.4 Anlage in Plons NOSMOG T	36
9 Ausblick	37
Anhang A: Referenzen	38
Anhang B: Auswertungstabelle	39



1 Ausgangslage

Bereits heute und in zunehmendem Masse in den kommenden Jahren, wird die Biomassefeuerung eine beträchtliche Rolle in der Energieversorgung für Wohn- und Bürogebäuden spielen. Die Biomassefeuerung kann allein oder in Kombination mit anderen Systemen, wie einer Mini-Wärmepumpe, den Wärmebedarf eines energieeffizienten Gebäudes vollständig decken. Leider sind Biomassefeuerungen (vor allem Stückholzfeuerungen) in den letzten Jahren angesichts ihrer Partikel-Emissionen zunehmend in Verruf geraten.

Ferner ist eine Abgasanlage (Kamin) in der Gebäudetechnik immer eine energetische Schwachstelle der Gebäudehülle, die oft mit zusätzlichen Investitionen verbunden ist. Die Partikelemissionen aus Holzfeuerungen und die Nachteile der Installation einer Abgasanlage, erschweren den Absatz konventioneller Klein-Holzfeuerungen. Entsprechend kann das Potenzial für den sinnvollen, regenerierbaren Energieträger, der nicht nur energetisch, sondern auch kulturell den Menschen sehr viel bedeutet, nicht optimal genutzt werden.

Das **System NOSMOG** bietet eine gute Antwort auf die energetischen und lufthygienischen Aspekte der oben genannten Problematik, die in Zusammenhang mit der Biomasse-Feuerung noch ungelöst ist.

Das Projekt NOSMOG II ([UTF 457.13.13](#)) wurde im Dezember 2014 erfolgreich abgeschlossen. Der grösste Erfolg des Projekts NOSMOG II ist die äusserst effiziente Abscheidung von Feinstaubemissionen und SOA-Vorläufersubstanzen aus Holzfeuerungsabgasen. Ziel des Projektes NOSMOG II bezüglich Partikel war ein Maximalwert von 15 mg@stp13\%O_2 in allen Feuerungsphasen, erreicht wurden aber Werte unter 5 mg@stp13\%O_2 . Die Effizienz der Abscheidung ist derart hoch, dass bei einem korrekt funktionierenden System NOSMOG nach dem Abscheider in der Regel keine Feinstaubemissionen mehr gemessen werden können. Diese hohe Abscheideeffizienz kann auch bei sehr schlechter Verbrennung mit entsprechend hohen Feinstaubemissionen eingehalten werden. Gleichzeitig erreicht der thermische Wirkungsgrad (bezogen auf den unteren Heizwert) der Feuerung durch das System NOSMOG bis zu 100%.

Die bisherigen Erkenntnisse mit dem System NOSMOG zeigen, dass diese Technologie das Potenzial hat, Holzfeuerungen in allen Betriebsphasen und auch bei Fehlmanipulationen durch den Betreiber, ohne Feinstaubemissionen zu betreiben.

Durch die überraschend guten Resultate in Bezug auf die Feinstaubreduktion ergeben sich neue Fragestellungen, die in dieser Form zu Beginn des Projekts NOSMOG II nicht erkennbar waren:

1. Welcher Mechanismus führt in allen Betriebsphasen zu einer derart hohen Abscheideeffizienz? Bis jetzt wurde nicht detailliert untersucht, wie die Betriebsbedingungen sein müssen, damit die Feinstaubemissionen und die SOA-Vorläufer durch Kondensation/Elektroabscheider aus dem Abgas entfernt werden.

2. Wo sind die Grenzen des Systems?

Welche Optimierungen können am Produkt vorgenommen werden, um mit einer vereinfachten NOSMOG-Variante bei gleicher Reduktionsqualität der Feinstaubemissionen, schneller und preisgünstiger als ursprünglich geplant marktreife zu erlangen.



2 Ziel der Arbeit

Aus wissenschaftlicher Sicht besteht das Ziel darin, den Funktionsmechanismus des Abscheiders im Detail zu verstehen. Die exzellente Abscheidewirkung für Partikel ist bis heute noch nicht vollständig erklärbar. Die Ergebnisse aus dem vorliegenden Projekt helfen mit, die notwendigen Randbedingungen für eine Reduktion der Partikel besser zu verstehen, was die Entwicklung eines effizienten und kostengünstigen NOSMOG-Systems erlaubt. Das System soll auch weiterhin die Eigenschaft beibehalten, die Vorläufersubstanzen für sekundäre organische Aerosole stark (SOA) zu reduzieren.

Die Ziele des aktuellen Projektes sind:

- Die Untersuchung des Partikelabscheide-Prozesses im kondensierenden Abgasstrom in einem NOSMOG-System. Untersucht wird die Rolle des entstehenden Wasserdampfes und seine Verbindung mit den Partikeln im Abgas.
Die Erkenntnisse über den Abscheideprozess geben wichtige Hinweise für die weitere Entwicklung des NOSMOG-Systems.
- Die Entwicklung von Prototypen von vereinfachten NOSMOG-Systemen und deren Untersuchung in einer praktischen Anwendung im Leistungsbereich von 0 bis zu 70 kW. Die vereinfachten NOSMOG-Systeme sollen eine schnellere Vermarktung ermöglichen. Die vereinfachten Systeme sind:
NOSMOG W (Water) und NOSMOG A (Air) (Siehe 4.2 und 4.3)
Die lufthygienischen und energetischen Ziele für alle NOSMOG-Varianten sind:

	Partikelemissionen mg/m ³ _{stp} @13%O ₂	Effizienzsteigerung (thermisch) %	
		Stückholz	Pellet
NOSMOG	5	10-30	8-15
NOSMOG W	5	10-20	5-10
NOSMOG A	5	10-20	5-10



3 Grundlagen

Grundlagen für das vorliegende Projekt liefern die Berichte:

- NOSMOG (Entwicklung eines emissionsarmen und effizienten Energiemodul mit Biomasse)
[UTF 370.04.11](#)
- NOSMOG Phase II (Emissionsarmes effizientes Heiz- und Lüftungssystem auf Holzbasis)
[UTF 457.13.13](#)

4 Konzept – Anlagenbescrieb

4.1 NOSMOG T

NOSMOG T ist das komplette System für Gebäude (EFH bis Gewerbehäuser, für Kellerkessel oder Zimmeröfen im Wohnbereich) mit integrierter Lüftung, Abgasanlage und Elektroabscheider.

NOSMOG kann auch als multifunktionales Kamin definiert werden.

Die Erhöhung des Wirkungsgrades und die Reduktion der Staubemissionen basieren auf der starken Abgas-Abkühlung dank verschiedener Wärmetauscher (Abgas-Luft oder Abgas-Wasser), einzeln oder kombiniert sowie einem Elektroabscheider.

Die NOSMOG-Varianten T, A und W beruhen auf einem ähnlichen Funktionsprinzip. Durch Abkühlung des Abgases wird eine Kondensation im Bereich des Elektroabscheiders ausgelöst. Die vereinfachten NOSMOG-Varianten werden alle in einen senkrechten Kaminschacht eingebaut. Die Grundkomponenten des Systems sind deshalb im Aufbau sehr ähnlich.

Die Vorteile des NOSMOG-Systems können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Hoher Anlagewirkungsgrad:
Das System NOSMOG entzieht zusätzliche Energie aus dem Abgas, Der Feuerungswirkungsgrad wird erhöht: Es werden bei Pellet-Feuerungen bis 105% (bezogen auf den unteren Heizwert) erreicht, bei Feuerungen mit feuchteren Brennstoffen wie Stückholz, kann der auf den unteren Heizwert bezogene Wirkungsgrad sogar noch höher liegen.
- Minimale Partikelemissionen:
Durch die Kombination aus Elektroabscheidung und Abgaskondensation werden auch in kleinen Feuerungen die Feinstaubemissionen reduziert . Das System eignet sich bereits für Feuerungen mit einer Wärmeleistung ab 2 kW.
- Kompaktheit:
Das System ist kompakt und kann auch in Sanierungsobjekte eingesetzt werden.



- Freie Brennstoffwahl:
Das System NOSMOG kann bei kleinen Stückholz-Feuerungen, bei denen kondensierende Systeme bisher nicht möglich waren, eingesetzt werden. Dies ist ein absolutes Novum: Kondensation bei der Klein-Holzfeuerung.
- Raumlüftung mit WRG:
NOSMOG arbeitet gleichzeitig auch als Raumlüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG).
- Erweiterungsmöglichkeit:
NOSMOG kann für eine noch effizientere Primärenergienutzung mit einer Klein-Wärmepumpe erweitert werden.
- Minergiemodul:
Aufgrund seiner Eigenschaften hat NOSMOG alle Charakteristiken ein Minergiemodul zu werden.

Im System NOSMOG unterscheiden wir zwei Betriebsarten abhängig davon, ob der angeschlossene Ofen befeuert wird oder nicht: Wird der Ofen befeuert, dann ist die Lüftung der Wohnräume durch das System NOSMOG nicht aktiv. Die angesaugte Aussenluft dient in diesem Fall als Verbrennungsluft.

Ist der angeschlossene Ofen nicht im Betrieb, so arbeitet NOSMOG als Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.



Aufbau Prinzipschema

In Abb. 4.1.1. sind die Hauptkomponenten von NOSMOG schematisch dargestellt.

1. Abgasrohr mit Rauchgas- und Abluftanschluss.
2. integrierter Elektroabscheider
3. Abgas-Wasser-Wärmetauscher
4. Spül-Düse
5. Übergangselement
6. Abgas-Luft-Wärmetauscher
7. Abdeck-Haube
8. Wärmetauscher-Isolation
9. Aussenmantel aus feuerfestem Vermikulit
10. Kondensat-Behälter

Die Zirkulation der Luft und des Abgases ist mit 2 Ventilatoren (nicht abgebildet) sichergestellt. Diese sind in der Abdeck-Haube am oberen Ende des System NOSMOG platziert und so angeschlossen, dass abgas- oder abluftseitig immer Unterdruck und zuluftseitig immer Überdruck herrscht.

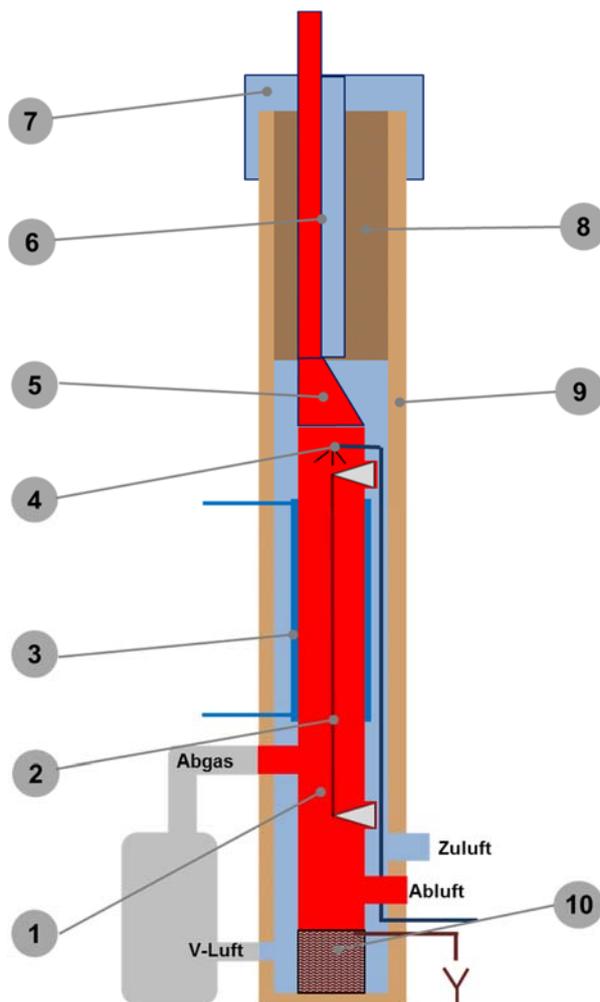


Abbildung 4.1.1: Komponenten des NOSMOG T-Systems

Funktion Prinzipschema

Die Frischluft aus der Umgebung tritt in die Abdeck-Haube (4) ein (Siehe Abbildung 4.1.2.). In der Heizperiode liegt die Luft-Temperatur zwischen -20°C bis $+10^{\circ}\text{C}$ (2°C bei den durchgeführten Messungen). Sie erwärmt sich im Abgas-Luft-Wärmetauscher und fliesst bis zum Frischluft-Anschluss des Ofens (oder des Kessels) (10) durch den hellblau markierten Bereich zwischen Aussenmantel und Abgasrohr. Die Zuluft-Klappe (5) ist geschlossen.

Nach dem Abgas-Luft-Wärmetauscher beträgt die Frischlufttemperatur 30 bis 60°C .

Die Abgase aus der Feuerung strömen mit einer Temperatur von 120°C bis 400°C durch den Abgaseintritt (1) in das Abgasrohr. Dort erfolgt eine Abkühlung durch den Abgas-Wasser-Wärmetauscher. Die mit Wasserdampf gesättigten Abgase kondensieren aus und reinigen so permanent das Abgasrohr. In diesem Bereich findet auch die Staub-Abscheidung durch den Elektro-Filter statt.

Die Abgase treten mit einer Temperatur von $50-70^{\circ}\text{C}$ in den Abgas-Luft-Wärmetauscher ein, wo sie weiter bis ca. $20-40^{\circ}\text{C}$ abkühlen.

Der Wasser-Kreislauf des Abgas-Wasser-Wärmetauschers ist aktiv. Die Wassertemperatur hängt vom Heizsystem des Hauses ab. Bei den durchgeführten Tests wurde die Wassertemperatur auf $35-45^{\circ}\text{C}$ Heizungsrücklauftemperatur eingestellt.

Mit der eingebauten Sprühdüse finden regelmässige Reinigungen statt.

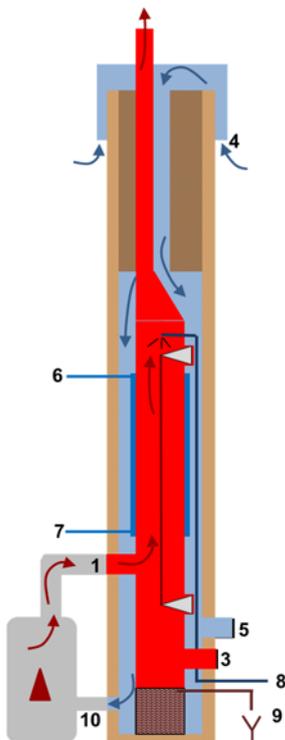


Abbildung 4.1.2: Abgas- und Verbrennungsluftbewegung in NOSMOG T.



Ist die Feuerung nicht im Betrieb, arbeitet NOSMOG als kleine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Siehe Abbildung 4.1.3.).

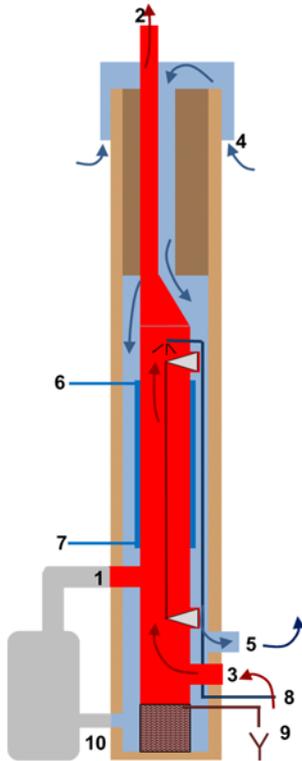


Abbildung 4.1.3.: NOSMOG T als Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

4.2 NOSMOG W

NOSMOG W ist das komplette System ohne Abgas-Luft-Wärmetauscher. NOSMOG W kann bis zu einer Feuerleistung von 70 kW angewendet werden. Das System NOSMOG W funktioniert analog dem System NOSMOG T, verzichtet jedoch auf den Abgas-Luft-WT wodurch die Feuerungseffizienz weniger hoch ist als im NOMSOG T (siehe Abbildung 4.2.1.).

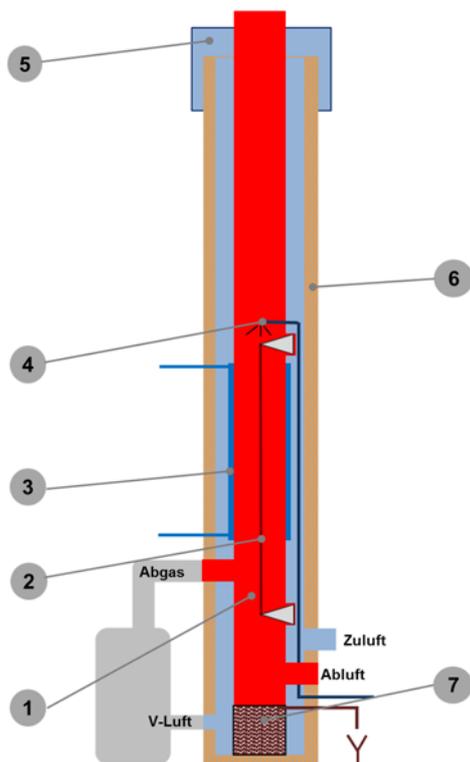


Abbildung 4.2.1: Komponenten in NOSMOG W.

- 1 Abgasrohr mit Rauchgas- und Abluftanschluss.
- 2 integrierter Elektroabscheider
- 3 Abgas-Wasser-Wärmetauscher
- 4 Spül-Düse
- 5 Abdeck-Haube
- 6 Aussenmantel aus feuerfestem Vermikulit
- 7 Kondensat-Behälter



4.3 NOSMOG A

NOSMOG A hat keinen Abgas-Wasser-Wärmetauscher und ist für Ein- und Zweifamilienhäuser oder Gebäude mit 3 Wohnungseinheiten gedacht. Die Feuerleistung beträgt max 20 kW. Voraussetzung ist, dass ein Lüftungssystem im Gebäude vorhanden ist.

- 1 Abgasrohr mit Rauchgas- und Abluftanschluss.
- 2 integrierter Elektroabscheider
- 3 Spül-Düse
- 4 Abgas-Luft-Wärmetauscher
- 5 Abdeck-Haube
- 6 Aussenmantel aus feuerfestem Vermikulit
- 7 Kondensat-Behälter

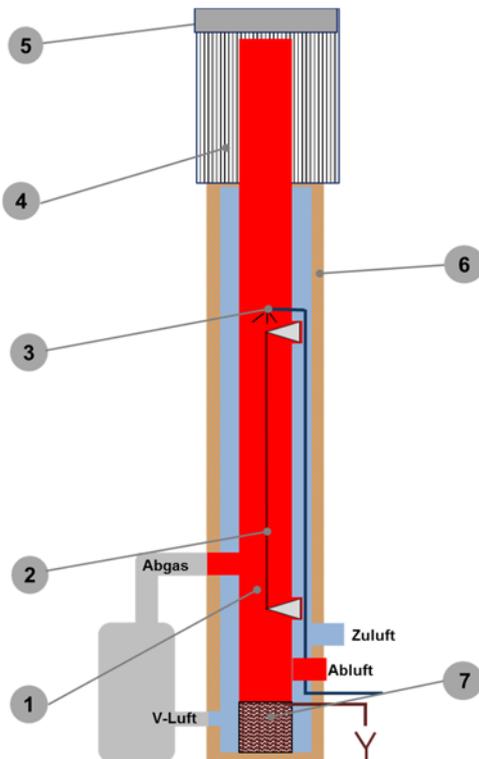


Abbildung 4.3.1: Komponenten in NOSMOG A.

5 Vorgehen / Methode

5.1 Projektplan

Das Projekt ist in vier Arbeitspakete (AP) unterteilt:

AP1 Konzept, Pflichtenheft, Planung aller Test-Prototypen

Nach Erstellung des Pflichtenheftes und des Detailkonzeptes werden die Systeme NOSMOG T, W und A sowie die speziellen Messstellen für die Extinktionsmessung detailliert geplant und durch die Projektpartner freigegeben.

AP2 Bau aller Prototypen, Installation in Langenbruck und Plons

Alle Test-Prototypen werden gebaut und in Langenbruck (Feuerungslabor) und Plons (Feldtest) installiert.

AP3 Messungen, Auswertung, Änderungen

Labormessungen werden im Ökozentrum in Langenbruck, Feldmessungen bei der Firma Oekosolve in Plons durchgeführt. Die im Labor gewonnenen Erkenntnisse werden ausgewertet und direkt an der Anlage in Plons umgesetzt, um somit die Praxistauglichkeit dieser Lösungen zu testen.

AP4 Schlussbericht

Der Schlussbericht dokumentiert primär die Projektergebnisse in den Bereichen Energieeffizienz und Feinstaubabscheidung.

Die Meilensteine (MS):

- MS1** **Abnahme der Pläne und Herstellungszeichnungen aller Test-Prototypen**
Dokumente: Herstellungszeichnungen, Komponentenliste, Lieferanten

- MS2** **Abnahme der Test-Prototypen inklusive Messnstation**
Resultat: die Test-Prototypen sind entsprechend den Herstellungszeichnungen aufgebaut.

- MS3** **Resultate aus der Extinktionsmessungen**
Erreichung der gesteckten technischen Ziele
Transfer der Erkenntnisse in die Praxis
Dokumentation: Test-Berichte, Auswertung

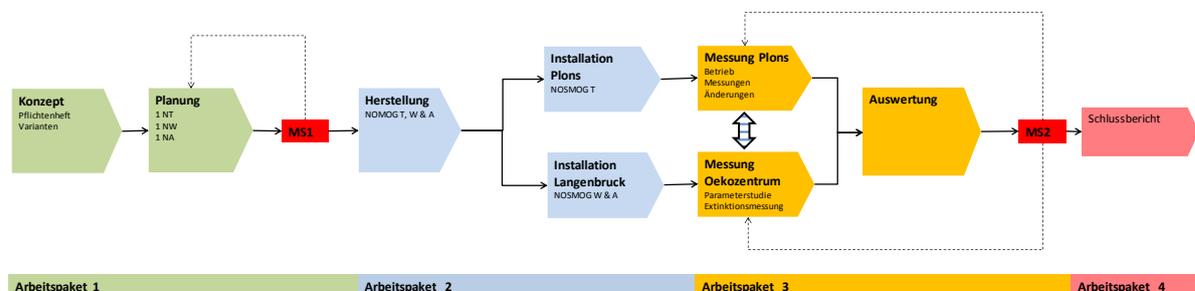


Abbildung 5.1.1: Arbeitspakete mit Meilensteinen

5.2 Messinstallation

5.2.1 Messkonzept und Messstellen

Die schematische Darstellung der Messinstallation im Messlabor des Ökozentrums in Langenbruck (Siehe auch Tabelle 5.2.1.1.)

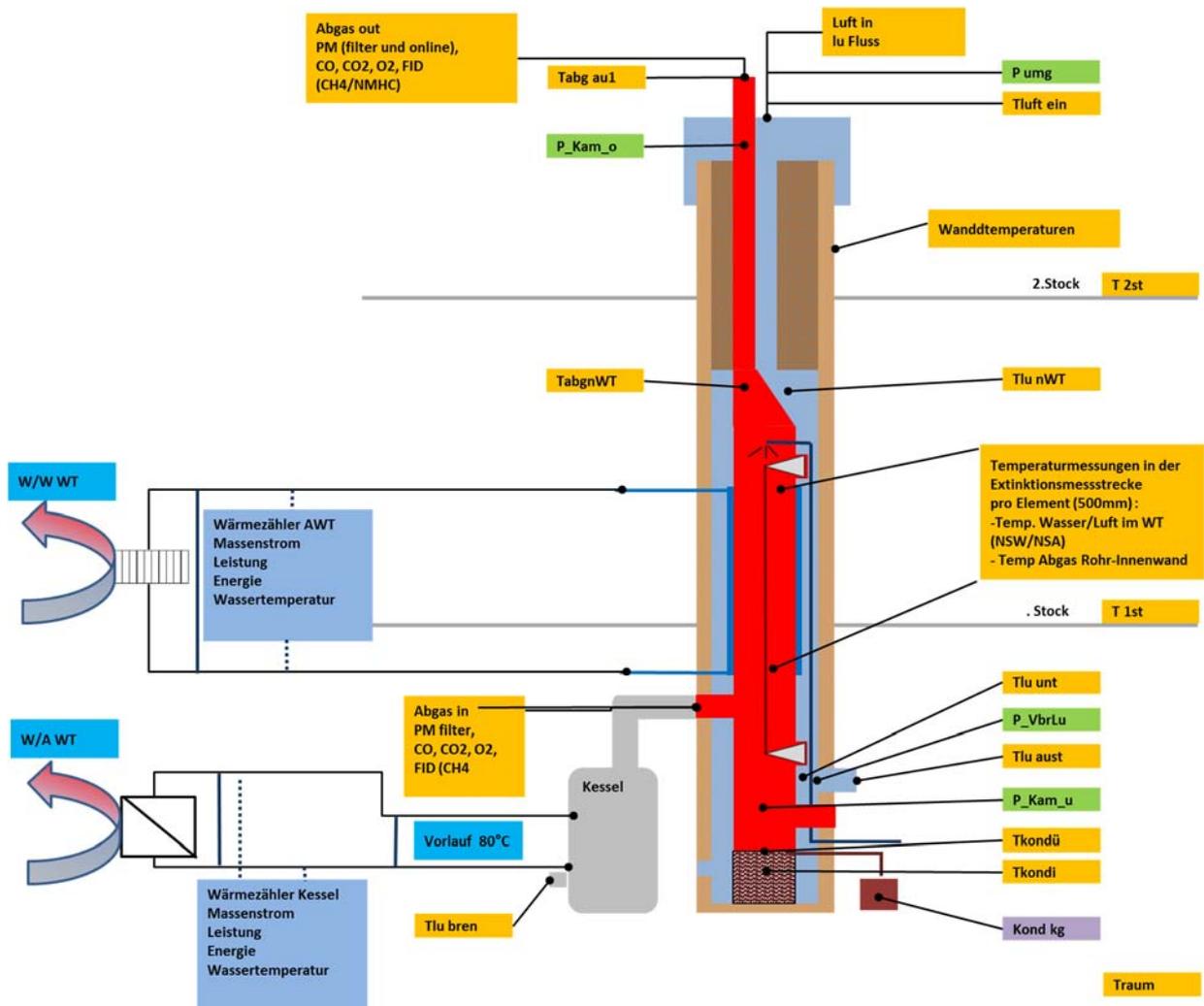


Abbildung 5.2.1.1: Prinzipschema und Anordnung der Messstellen.



Name	Kurzname	Name	Kurzname
Abgas Austritt1	Tabg au1	Kond innen	Tkond i
H2O Aus unten	TwaAusUn	Kond überlauf	Tkond ü
Abgas nach WT	TabgnWT	FID unten 10k	FIDu 10k
Abgas Eintritt	Tabg ein	FID oben CH4	FID_oCH4
<i>Glykol vor WT</i>	<i>Glykol</i>	FID oben Mode	FIDo Mod
Luft Eintritt	Tlu ein	FID oben THC1k	FIDoT1k
Luft nachWT	Tlu nWT	FID oben THC10k	FIDoT10k
Luft Mitte 4m	Tlu mitt	Parox O2	O2_o
Luft unten 1.5m	Tlu unt	Xstream CO	CO_o
Luft Austritt	Tlu aust	Xstream CO2	CO2_o
Verbrenn.luft	Tlu bren	Parox O2_u	O2_u
Luft nach WT 2	Tlu nWT2	NGA CO2	CO2_u
H2O Ein unten	TwaEinUn	NGA CO	CO_u
H2O Ein mitte	TwaEinMi	Feuchte Abg aus	Feuchte
H2O Ein oben	TwaEinOb	Fluss Verbrluft	Iu Fluss
Kamin auss 1.5m	Tka 1.5m	Druck Umgebung	P umg
Kamin auss 4m	Tka 4m	Druck VbrLu	P_VbrLu
Kamin auss 8m	Tka 8m	Druck Kamin unt	P_Kam_u
Kaloriraum	Tkalori	Druck Kamin ob	P_Kam_o
1. Stock	T 1st	Kondensat kg	Kond kg
2. Stock	T 2st		

Tabelle 5.2.1.1.: Liste der Messstellen.



Abbildung 5.2.1.2.: Die Waage misst alle 10 Sekunden die Menge des Kondensats, das durch das Rohr in den Kondensatbehälter fließt.

6 Emissionsmessungen

6.1 Gravimetrische Staubmessung

Die gravimetrischen Staubmessungen an den Messstellen "Abgas in" und "Abgas out" gemäss Tabelle 5.2.1.1. werden mit der im Projekt EN-PME-TEST vorgeschlagenen Methode durchgeführt. Diese Methode misst den Feinstaub gravimetrisch auf einem Planfilter in Anlehnung an die Europäische Norm EN16510. Die Temperaturen (180°C) im Filterhalter und Sondenrohr sind jedoch höher. Weiter erfolgt die Absaugung des Probegases senkrecht zur Strömungsrichtung des Abgases und daher nicht als isokinetische On-Line-Staubmessung.

6.2 On-Line-Staubmessung

Zusätzlich zur genannten Staubmessung werden die Emissionen an den gleichen Messpunkten mit dem Online-Feinstaubmessgerät testo 380 gemessen. Das Gerät ist in Deutschland für Messungen aller Brennstoffklassen (A, B und C) sowie für die Grenzwertstufen 1 und 2 gemäß 1. BImSchV zugelassen.



6.3 Kohlenwasserstoff-Messung

Die gasförmigen Kohlenwasserstoffe werden mit 3 Flammen-Ionisationsdetektoren gemessen. An der Messstelle "Abgas in" werden die Kohlenwasserstoffe mit dem Gerät JUM 109 A gemessen, welches als Brenngas H_2 verwendet. An der Messstelle "Abgas out" werden die Gesamtkohlenwasserstoffe mit dem Gerät JUM VE7 und die Methanemissionen mit dem Gerät JUM 3-900 gemessen. Beide Geräte verwenden ebenfalls reinen Wasserstoff als Brenngas.

6.4 Energiemessungen

Für die Bestimmung der Temperaturniveaus werden Temperaturfühler vom Typ K (NiCr-Ni) eingesetzt. Die Platzierung der Temperaturfühler kann der Abbildung 5.2.1.1. entnommen werden.

Die Energieflüsse im Wasser-Wärmetauscher werden mit einem Wärmezähler des Typs Ultraheat von Landys+Gyr erfasst.

Die Luft-Durchflussmessung an der Messstelle "Luft in" wird mit einem Proline t-mass der Firma Endress+Hauser durchgeführt.

Für Druckmessungen im System NOSMOG werden Sensoren der Firma AutoTran verwendet.

Sämtliche Daten werden über eine Datenerfassung im Zeitintervall von 10 Sekunden erfasst.

6.5 Exinktionsmessungen

Resultate die im Rahmen des NOSMOG II Projektes erzielt wurden, führten zur Hypothese, dass unter den im Abscheidebereich herrschenden Bedingungen, Russpartikel durch Kondensation von Wasser stark wachsen könnten, was zu einer wesentlich höheren Filtereffizienz im Elektroabscheider führen könnte. Dieses Wachstum könnte durch eine Übersättigung von Wasserdampf, verursacht durch die Temperaturreduktion im Wärmetauscher, verursacht werden. Diese Hypothese soll experimentell überprüft werden.

Mit einem Gerät, das den Wasserdampf nach dem Extinktionsprinzip misst, soll gezeigt werden, welche Temperaturen für die Bildung von Wasserdampf notwendig sind und, sofern die Kondensation überhaupt stattfindet, wie lang der Elektroabscheider sein muss, um den Effekt optimal nutzen zu können. Ein kürzerer Abscheider reduziert Systemgrösse und Kosten.

Für diese Messungen werden mehrere kommerziell erhältliche Opazimeter evaluiert und einen Eigenbau in Betracht gezogen. Entscheidungskriterien sind einerseits die Kosten, aber auch der Zeitaufwand, der bei einer Eigenentwicklung deutlich länger ist. Dies fällt stark ins Gewicht, weil als Start der Messungen die erste Kalenderwoche 2016 vorgesehen ist und damit nur sehr wenig Zeit für einen Eigenbau bleibt.

Die Wahl fällt auf das Modell DSL-220 von DynOptic Systems Ltd. Diese Opazimeter können die Opazität mit einem Rauschen entsprechend 0.1% Opazität messen. Die Sensor-Optik wird durch einen Schleierluftstrom vor Verschmutzung durch das Abgas geschützt (5 lpm pro Sensor-Kopf). Im Betrieb wird eine Drift im Bereich +0.2% bis -1% beobachtet, die durch Temperaturänderungen verursacht wird, aber die Messung nicht stört.



Es wurden fünf solcher Systeme im Abstand von 0m, 1m, 1.5m, 2m und 2.5m gemessen vom Beginn der Abscheiderelektrode und des Wärmetauschers angebracht (siehe Abbildung 6.5.1.).

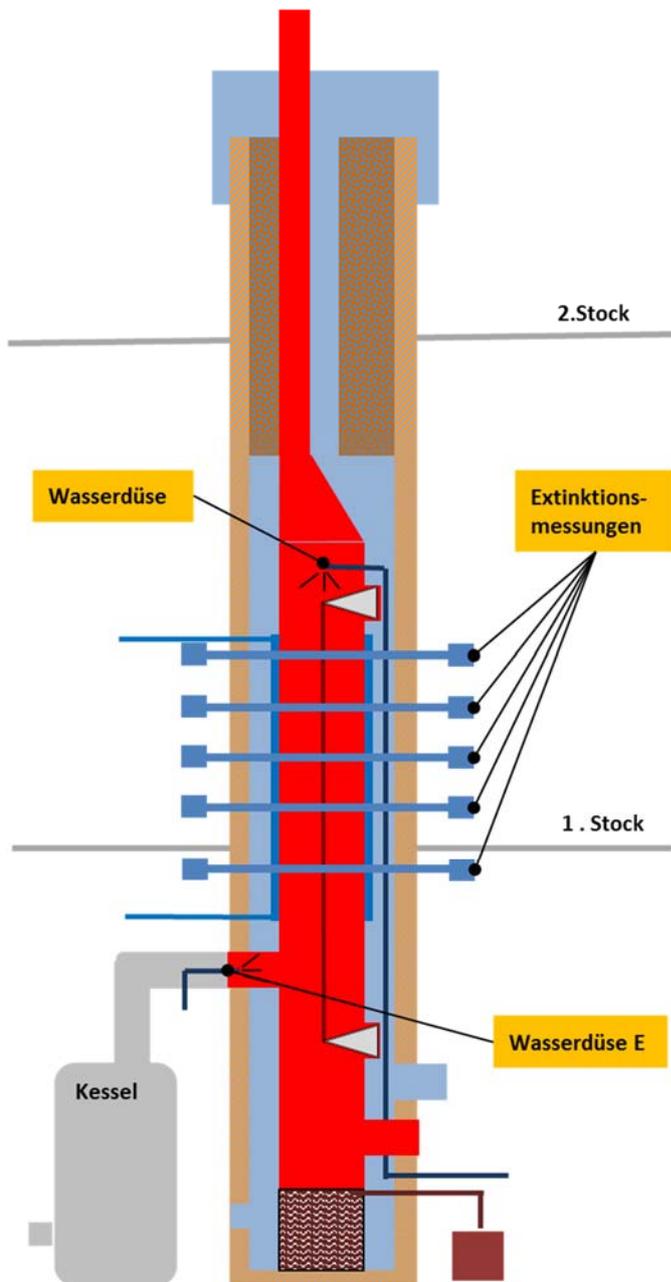


Abbildung 6.5.1.: Die 5 Extinktionsmessungen auf der Filterstrecke. Der Abstand zwischen zwei Messeinheiten beträgt 500 mm. Die Wasserdüse E wurde nur zur Kontrolle der Extinktionsmessungen eingebaut und ist keine Komponente des NOSMOG Systems.

Für die Anbringung der Opazimeter wurde der NOSMOG-Wärmetauscher entsprechend modifiziert (siehe Abbildung 6.5.2.)

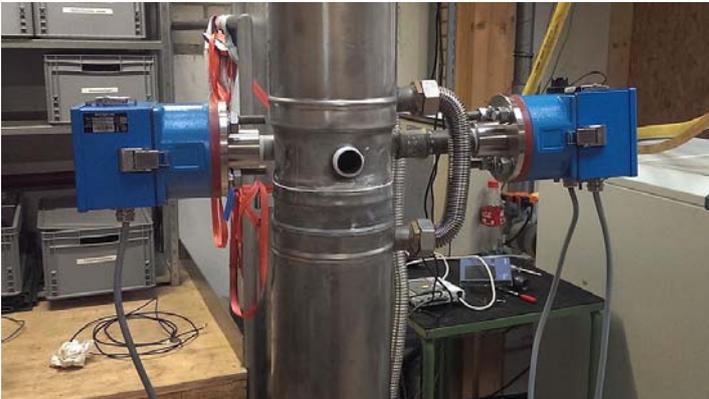


Abbildung 6.5.2.: DSL-220 Opazimeter Paar (Sender und Empfänger) wie sie am Wärmetauscher des NOSMOG-Systems angeflanscht sind. Damit der Lichtstrahl nicht von der Filterelektrode beeinflusst wird, geht er nicht direkt durch das Zentrum.

Im Abbildung 6.5.3. sind 4 der 5 Extinktionsmessgerät zu sehen.



Abbildung 6.5.3.: Fünf Opazimeter sind auf der Elektrofilterstrecke mit einem Abstand von 500 mm angebracht .



6.6 Installation in Plons

In Plons bei der Firma OekoSolve AG wird das System NOSMOG T installiert, um die Alltagstauglichkeit zu überprüfen. In den folgenden Abbildungen werden einige Komponenten des Systems gezeigt.



Abbildung 6.6.1.: Das Unterteil vom NOSMOG enthält den Kondensatbehälter mit der Entleerungs-, Überlaufleitung und Kontroll/Putzöffnung.



Abbildung 6.6.2.: Der doppelwandige Abgasrohr-Wärmetauscher



Abbildung 6.6.3.: Das obere Isolatorgehäuse und der Übergang zum Abgas-Luft-Wärmetauscher.

6.7 Testfeuerungen

Folgende drei Feuerungen werden für die Testfeuerungen verwendet:



Feuerung	Leistung kW	Brennstoff
Kombikessel Lindner & Sommerauer SL-P 110	25-70	Pellet, Holzschnitzel, Stückholz
Pelletofen Rika	3-10	Pellet
Stückholz-Kessel HDG R25	25	Stückholz

Tabelle 6.7.1.: Holzfeuerungen der Testreihen des Systemes NOSMOG

Der Kombikessel (Abbildung 6.7.1.) wird im Labor des Oekozentrum für den Grossteil der Versuche verwendet. Die gemessenen Emissionen sind für die jeweilige Feuerstätten nicht repräsentativ, da diese oft manipuliert werden, um absichtlich schlechte Abgaswerte zu erhalten.



Abbildung 6.7.1.: Kombikessel von der Firma Lindner & Sommerauer.

Der kleine Pelletofen wird nur für 2 Vergleichsmessungen verwendet. Da die Optimierung von NOSMOG mit dem Kombikessel am effizientesten erfolgen konnte, wurde dieser für ein Grossteil der Versuche mit dem Brennstoff Hackschnitzel genutzt.

Ein Stückholz-Kessel der Firma HDG mit einer Leistung 15-30 kW ist in Plons bei der Fa. OekoSolve installiert (Siehe Abbildung 6.7.2.)



Abbildung 6.7.2.: Stückholzkessel in Plons.

6.8 Testübersicht

Die Übersicht der Messungen am Oekozentrum ist in der Tabelle 6.8.1. zusammengestellt. Die Tests werden in der Periode Januar-Juni 2016 durchgeführt.

	Messtage mit System NOSMOG W	Messtage mit System NOSMOG A
Feuerung		
Kessel 20-70 kW	32	3
Pelletofen 10 kW	1	
Brennstoff		
Pellet	5	
Holzsplitzel	28	3
Abgasrohr-Durchmesser		
150 mm	23	3
200 mm	10	
Extinktionsmessungen	22	

Tabelle 6.8.1.: Messtage im Ökozentrumslabor in Langenbruck



Variiert wurden die folgenden Parameter:

- Elektrode: Band- oder Drahtförmig
- Durchmesser Abgasrohr: 150 mm oder 200 mm
- Maximale Elektroden-Spannung: 20 kV - 33 kV

7 Ergebnisse/Erkenntnisse/Diskussion

7.1 Staubemissionen

In der Abbildung 7.1.1. sind alle Staubmessungen in $\text{mgstp}@13\%\text{O}_2$ in Abhängigkeit der Feuerleistung in kW dargestellt. Tendenziell beobachten wir bei gleichen Parametern eine Verschlechterung der Staubemissionen mit der Steigerung der Leistung. Dies ist klarer in der Tabelle 7.1.2. zu sehen.

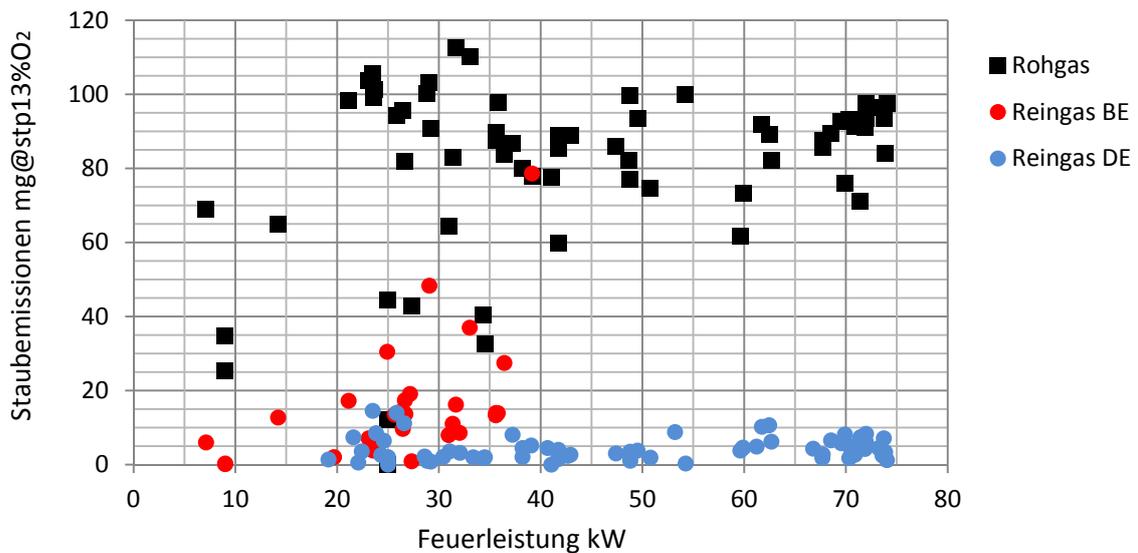


Abbildung 7.1.1.: Staubgehalt im Abgas beim Eintritt in das System NOSMOG W (Rohgas) und beim Austritt (Reingas) in abhängigkeit von der Feuerleistung. BE steht für Bandelektrode, DE für Drahtelektrode.

Die Durchschnittswerte aller Messungen sind in der Tabelle 7.1.1. ersichtlich.

mg@stp13%O ₂	
Rohgas	79
Reingas Bandelektrode	15



Reingas Drahtelektrode

4

Tabelle 7.1.1.: Durchschnittliche Staubemissionen im Roh- und Reingas.

Aus den Werten der Tabelle 7.1.1. resultiert ein durchschnittlicher Abscheidegrad von 81% für die Bandedelektrode und 96% für die Drahtelektrode. Diese Differenz ist nicht von der Form der Elektrode abhängig, sondern auf die erreichbare Betriebsspannung der Elektrode zurückzuführen. Die Drahtelektrode kann mit höherer Spannung stabil betrieben werden, da sie sich einfacher zwischen zwei Punkten mit einem Abstand von 4 Meter spannen lässt als die Bandedelektrode, die eher für eine Ein-Punkt-Aufhängung konzipiert ist. Bei kleiner Feuerungsleistung (< 20 kW) sorgen auch kleinere Spannungen für tiefe Staubwerte.

In der Tabelle 7.1.2. ist eine detaillierte Darstellung der Reingas-Messwerte pro Leistungsbereich und Aufbauvariante für NOSMOG W ersichtlich.

NOSMOG W						
kW	<20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Bandedelektrode /Standard Hochspannungsmodul /D=150 mm						
Mittelwert	3.5	15.6	22.8			
Max	12.7	48.3	78.6			
Min	0.0	0.9	8.0			
Drahtelektrode /Standard Hochspannungsmodul /D=150 mm						
Mittelwert		2.8	3.2	3.4	5.7	
Max		7.4	5.2	4.5	8.8	
Min		0.8	2.0	2.4	3.8	
Drahtelektrode /Standard Hochspannungsmodul /D=200 mm						
Mittelwert				2.0	2.3	7.1
Max				3.8	4.6	10.7
Min				0.0	0.3	4.3
Drahtelektrode /Extra Hochspannungsmodul /D=200 mm						
Mittelwert						2.3
Max						2.8
Min						1.8

Tabelle 7.1.2.: Staubemissionen im Austritt von NOSMOG W für diverse Leistungsbereiche.

Die Tabelle 7.1.2. zeigt, mit welchen Varianten der gesetzte Grenzwert von 5 mg@stp13%O₂ erreicht werden kann.



Bis zu einer Leistung von 20 kW ist eine Bandelektrode mit niedriger Spannung (20 kV) und einem Abgasrohr-Durchmesser von 150 mm ausreichend. Für diesen Zweck ist das Standard-Hochspannungsmodul der Firma Oekosolve ausreichend.

Bei Leistungen von 20 bis 50 kW wurde der Zielwert mit dem gleichen Hochspannungsmodul und einer Drahtelektrode mit besserer geometrischen Spanneigenschaften unterschritten. Die erreichte Elektrodenspannung beträgt 28kV.

Ab 50 kW ist ein grösseres Abgasrohr (D=200 mm) notwendig. Dies bewirkt eine Reduktion der Abgasgeschwindigkeit im Rohr mit konsequenter Verringerung der Staubemissionen auf unter 5 mg@stp13%O₂.

Für Leistungen grösser als 60 kW ist bei einem Durchmesser von 200 mm eine höhere Elektrodenspannung notwendig. Mit einem leistungstärkeren Hochspannungsmodul (33 kV) werden die gewünschten Staubwerte erreicht.

In der Tabelle 7.1.3. sind die Werte für NOSMOG A (Abgas-Luft-WT, Elektroabscheider) zu sehen.

NOSMOG A, Drahtelektrode /Standard Hochspannungsmodul /D=150 mm					
<20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
	0.6	1.9			
	0.6	2.0			
	0.6	1.8			

Tabelle 7.1.3.: Staubemissionen im Austritt von NOSMOG A für diverse Leistungsbereiche.

NOSMOG Air wird bis zu einer Leistung von 40 kW untersucht. Die Staubwerte bleiben unter dem gesetzten Ziel von 5 mg@stp13%O₂. Wichtiger ist hier die Fähigkeit des Systems, die Abgase so abzukühlen, dass Kondensat entsteht. Das ist nur möglich, wenn eine grössere Menge Luft als die für die Verbrennung notwendige Luftmenge durch den Abgas-Luft-Wärmetauscher fliesst. Dieser Überschuss an Luft muss aber wieder mit der aktuellen Wärmetauscher-Struktur in die Umgebung zurückfliessen. Dies bedeutet, dass nur ein Teil der Energie zurückgewonnen werden kann. Mit einem 3-Kanal-Wärmetauscher wäre es möglich die erwähnte Energie wieder zu gewinnen.

7.2 Energie

7.2.1 NOSMOG W

Der Abgas-Wasser-Wärmetauscher ist ein Doppelmantel-Abgasrohr. In der Mitte fliesst das Abgas und im Mantel das Wasser. Der Wärmetauscher ist 3 Meter lang und hat einen Durchmesser von 150 oder 200 mm. Die Wassertemperatur beträgt 35 bis 45 °C (Heizungsrücklauf), die Abgastemperatur vor dem Wärmetauscher 70 bis 170 °C, nach dem Wärmetauscher 39 bis 100 °C.

Die entnommene Wasserleistung variiert von 1 bis 5 kW und ist von der Kesselleistung abhängig, wie in der Abbildung 7.2.1.1. zu sehen ist. Abbildung 7.2.1.2. zeigt den Anteil der Wasserleistung in Prozent der Feuerungsleistung.

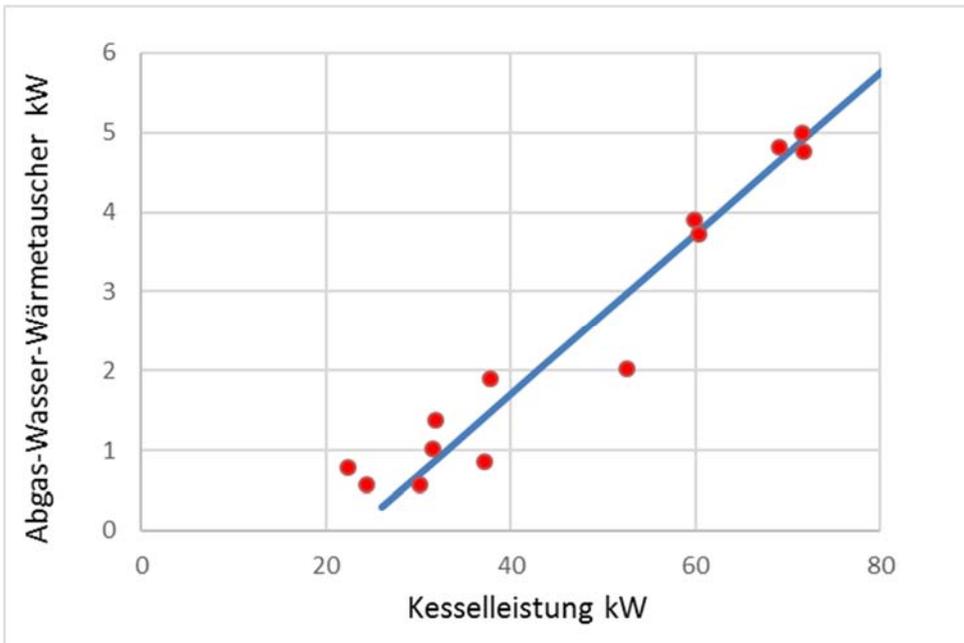


Abbildung 7.2.1.1.: Abhängigkeit der Wärmeleistung des Abgas-Wasser-Wärmetauschers von der Kesselleistung. Die Wärmeleistung des Abgas-Wasser-Wärmetauschers beträgt 0.5 bis 5 kW.

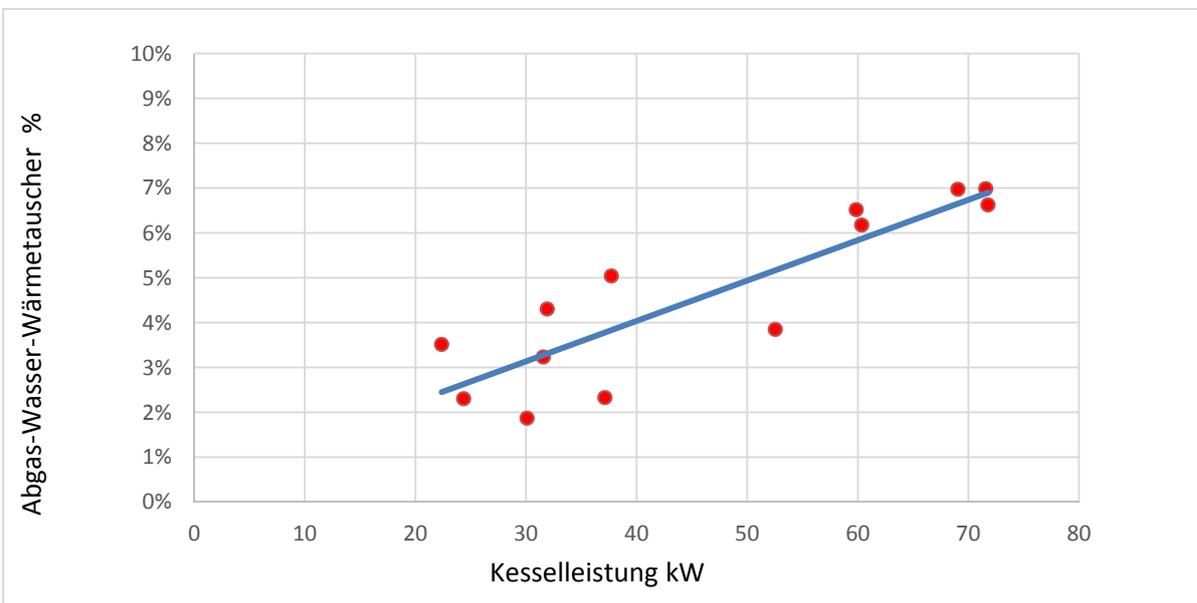


Abbildung 7.2.1.2.: Abhängigkeit der Wärmeleistung des Abgas-Wasser-Wärmetauschers von der Kesselleistung, diese liegt bei 3% bis 7% der Kesselleistung.

In Abbildung 7.2.1.2. ist zu erkennen, dass aus den Abgasen 3 bis 7 Prozent Energie, bezogen auf die gesamte Feuerleistung, gewonnen werden kann. Die Prozentanteile sind auf den unteren Heizwert bezogen. Die Kondensationswärme wird berücksichtigt.



7.2.2 NOSMOG A

Die im Abgas-Luft-Wärmetauscher von der Luft gewonnene Energie beträgt 2.5 bis 7 % der Kesselleistung, ohne Anschluss an eine Lüftungsanlage (Rückgewinnung nur durch die Verbrennungsluft) 3 % der Feuerungsleistung. Siehe Abbildung 7.2.2.1..

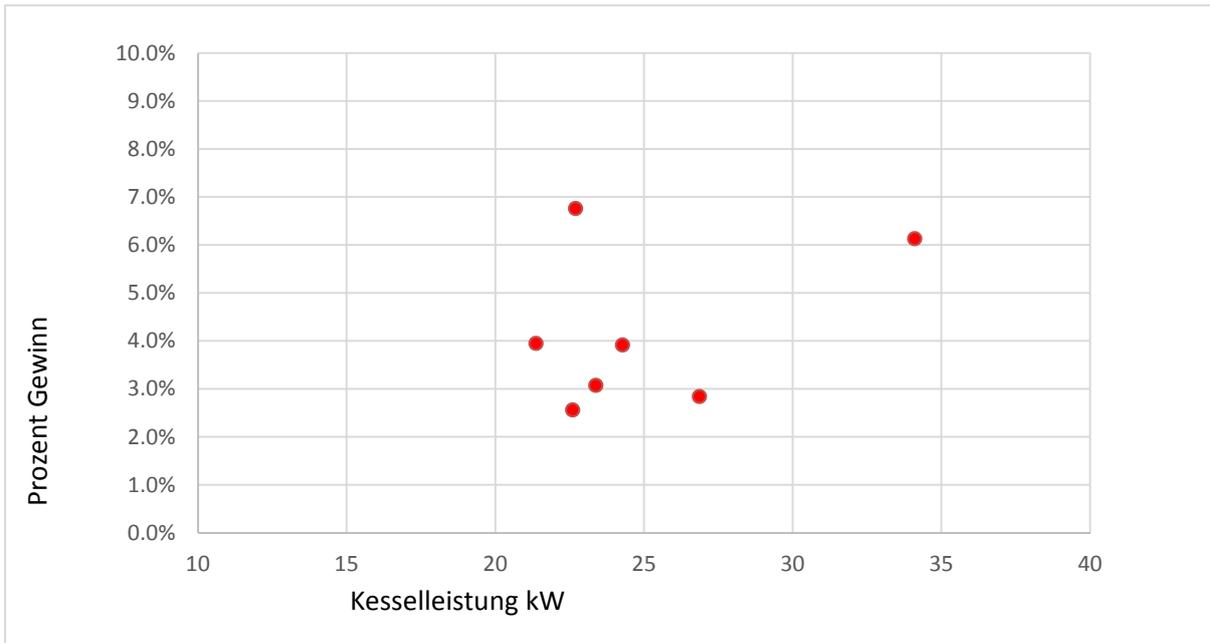


Abbildung 7.2.2.1.: Die Leistung des Abgas-Wasser-Wärmetauscher beträgt von 3% bis 7% der Kesselleistung.

7.3 Die Extinktionsmessungen

Häufig werden Extinktionsmessungen (=Opazitätsmessungen) über Weglängen von mehreren Metern durchgeführt, insbesondere wenn Partikel kleiner als die Lichtwellenlänge im Spiel sind. In diesem Fall (Rayleigh Regime) skaliert die Extinktion (wie die Lichtstreuung) mit der 6. Potenz des Partikeldurchmessers ($I_s \propto d^6$), nimmt bei kleinen Partikeln also sehr schnell ab. Bei grösseren Partikeln gilt $I_s \propto d^2$.

In unserem Projekt ist die Weglänge gleich dem Kamindurchmesser und damit $L = 125$ mm (nicht 150 mm, da die Messung auf Grund der mittig installierten Elektrode leicht versetzt durchgeführt werden muss).

Für diese Weglänge habe wir die zu erwartende Extinktion für drei Partikelarten abgeschätzt: Für Wassertropfchen, Russ (Brechungsindex $n=1.75+0.42i$ bei 660 nm Lichtwellenlänge) und Ammoniumsulfat ($n= 1.528$ bei 660nm). Ammoniumsulfat wurde als Modellsubstanz für nicht-kohlenstoffhaltiges Material verwendet (andere Salze und Mineralien verhalten sich ähnlich).

In einem ersten Schritt wird der Bereich der Opazität verursacht durch die Rohemissionen ohne Beigabe von Wasser bestimmt.

Die Extinktion wird bei verschiedenen Partikelgrössenverteilungen (basierend auf der Annahme einer lognormalen Verteilung mit einer geometrischen Standardabweichung von 1.8) berechnet. Für Russ zeigt die Rechnung ein Maximum in der Opazität für einen mittleren Partikeldurchmesser von 75nm. Hier liefert die Rechnung eine Opazität von 22% bei 100mg/m³ und 15% bei 50mg/m³.

Dagegen ist der Beitrag von Ammoniumsulfat (bei gleichen Grössen und Massen) vernachlässigbar (10⁻⁴%). Das zeigt, dass die Extinktion von Russpartikeln vollkommen durch Absorption und kaum durch Streuung bewirkt wird.

In Realität wird die Opazität dieser 'trockenen' Partikel irgendwo dazwischen sein, weil es sich um eine Mischung aus kohlenstoffhaltigem und nicht kohlenstoffhaltigem Material handelt und die Grössenverteilung eher zu kleineren Partikeln verschoben ist. Eine Mischung von 20mg/m³ Ammoniumsulfat und 30mg/m³ Russ verursacht z.B. eine Opazität von 3%.

Wie unten gezeigt wird, bewirkt ein Wachsen der Partikel durch Wasserkondensation schnell eine sehr viel grössere Opazität. Der 'Untergrund', der von den trockenen Partikeln stammt ist also kein Hindernis für die Detektion der Kondensation.

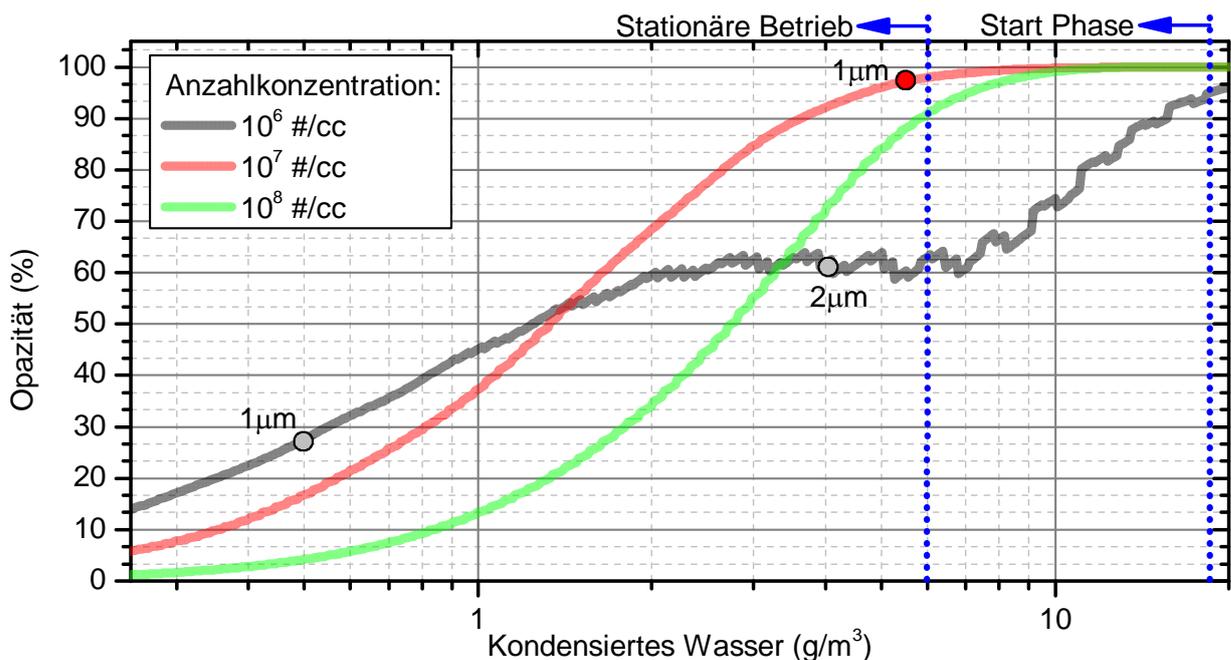


Abbildung 7.3.1.: Rechnerisch bestimmte Opazität durch Wassertröpfchen bei einer optischen Weglänge von 150 mm (Kamindurchmesser) bei drei verschiedenen Anzahlkonzentrationen. Die Opazität ist in Funktion der Masse von kondensiertem Wasser dargestellt (je grösser diese ist, desto grösser werden die Tröpfchen bei gegebener Anzahlkonzentration). Die vertikalen blauen Linien zeigen die verfügbare Wassermenge in der Startphase und im stationären Betrieb, basierend auf Holz mit 15% Wassergehalt. Die zugehörige Partikelgrösse ist an einigen Stellen angegeben.

In einem zweiten Schritt haben wir die Opazität berechnet, die durch Kondensation von Wasser auf bereits existierenden Partikeln bewirkt wird. Als Vereinfachung wird nur der Wasseranteil berücksichtigt, nicht aber das 'Kernpartikel'. Abbildung 7.3.1. zeigt die Resultate für typische Anzahlkonzentrationen im unverdünnten Rauchgas. Es ist offensichtlich, dass sehr schnell Opazitäten weit über 15% erreicht werden (Wert bei 50mg/m³ Russ). Die Wasserkondensation sollte also auch bei der relativ kurzen Weglänge problemlos detektierbar sein.



Typische Grössenverteilungen von trockenen Partikeln haben einen mittleren Durchmesser von weniger als 300nm. In diesem Grössenbereich haben sowohl Elektroabscheider als auch andere Filter ihr Effizienzminimum. Bei Grössen über ca. 2µm steigt die Effizienz stark an (siehe z.B. J.D. McCain, 1975). Aus Abbildung 7.3.1. ist ersichtlich, dass so grosse Tröpfchen im stationären Betrieb kaum auftreten werden. Kondensation sollte also nur in der Startphase oder in kurzen Abschnitten während des stationären Betriebs auftreten. Das wird auch durch die neu durchgeführten Messungen bestätigt. Ein Beispiel zeigt Abbildung 7.3.2.. Die Opazität erreicht in der Startphase an allen 5 Messpunkten 90% und sinkt dann schnell auf Werte unter 5%. Bei dieser Messung war der Wärmetauscher aktiv, sodass das Rauchgas am Ende des Wärmetauschers eine Temperatur von 40°C erreichte. Hingegen war der Elektroabscheider ausgeschaltet, was den gleichen Messwert an allen Messstellen erklärt.

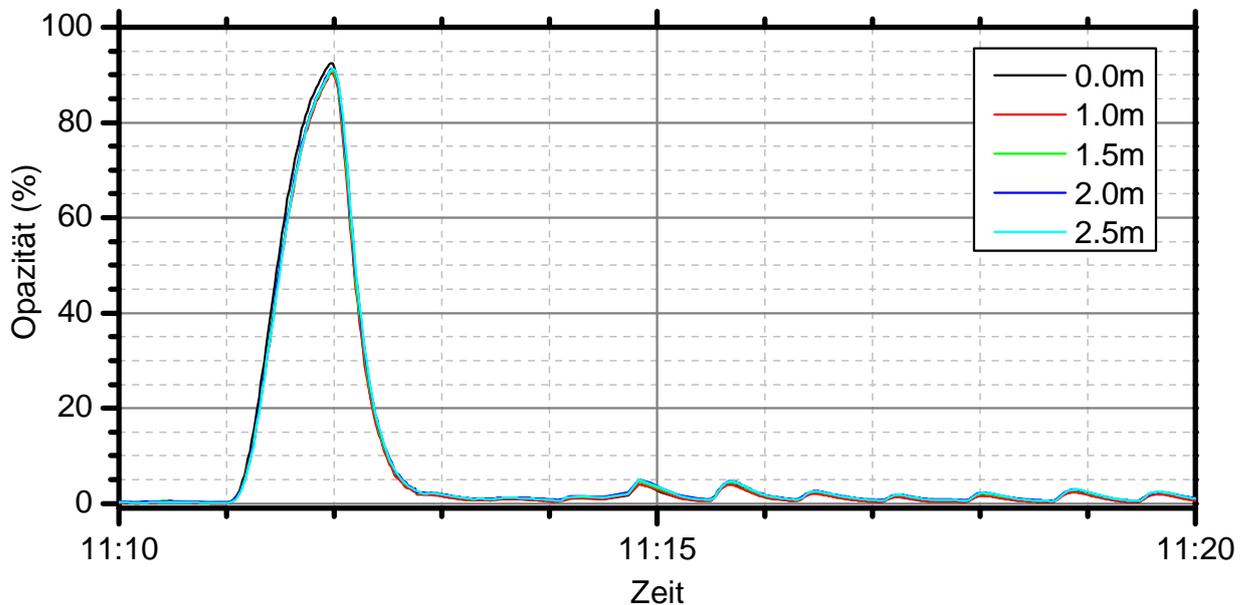


Abbildung 7.3.2.: Opazität während der Startphase des 30kW Kessels, wie sie von den 5 DSL-220- Sensoren gemessen werden. Die in der Legende angegebene Strecke ist die Sensorposition bezogen auf den Anfang des Wärmetauschers. Der Elektroabscheider war bei dieser Messung ausgeschaltet, der Wärmetauscher aber aktiv.

Abbildung 7.3.3. zeigt einen Ausschnitt aus einem Bereich im stationären Betrieb. Es können einzelne, isolierte Kondensations-Ereignisse beobachtet werden. Die Opazität ist aber deutlich kleiner als in der Startphase, was auf entsprechend kleinere Partikel hindeutet (unter 1µm). Bei dieser Messung war der Elektroabscheider eingeschaltet, was an der starken Abnahme der Opazität bei grösseren Abständen vom Abscheideranfang deutlich erkennbar ist. Nach 2.5m ist keine Zunahme der Opazität mehr erkennbar. Diese Einzelereignisse werden an einem Messtag beobachtet, an anderen Tagen treten sie gar nicht auf.

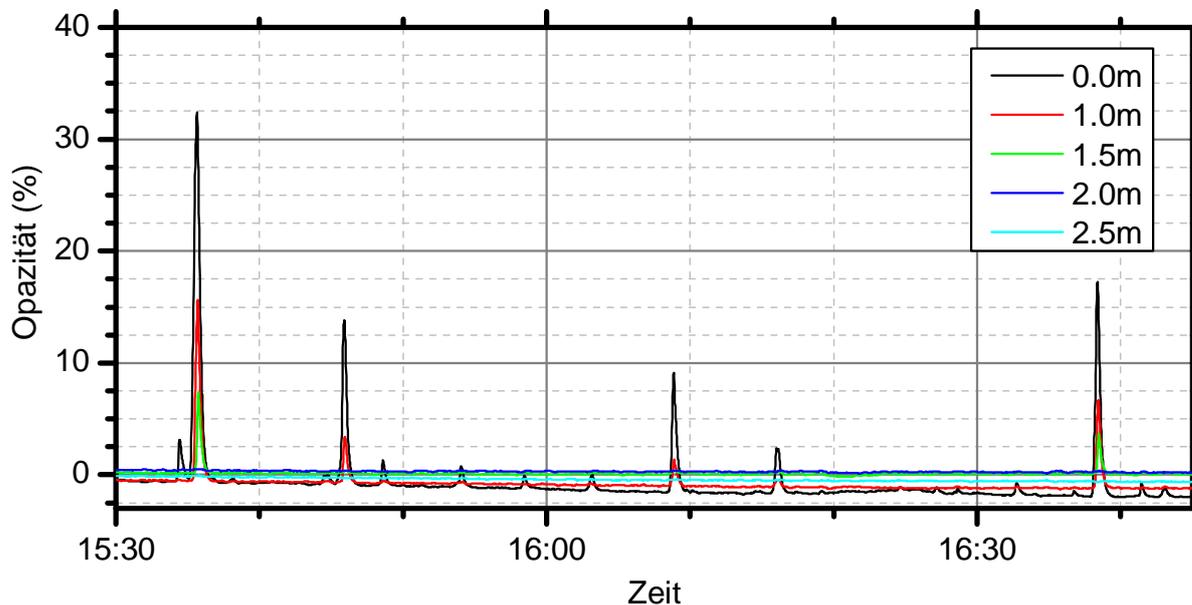


Abbildung 7.3.3.: Opazität im stationären Betrieb des 30 kW Kessels. Wieder die Messung bei verschiedenen Abständen vom Anfang des Wärmetauschers durchgeführt. Jetzt sind Wärmetauscher und Elektroabscheider eingeschaltet.

Der 30kW-Kessel, welcher für diese Messungen eingesetzt wird, stellt offensichtlich nicht genügend Wasser im Abgas zur Verfügung, um die Partikel auf Grössen über $2\mu\text{m}$ wachsen zu lassen. Aus diesem Grund kann eine Erhöhung der Abscheideeffizienz durch Wasserkondensation ausgeschlossen werden, ausser das NOSMOG-System würde den Wassergehalt erhöhen. Dies könnte der Fall sein, wenn Wasser im Kamin kondensiert. Da sich der Kondensat-Behälter während des Betriebs füllt, muss dies der Fall sein. Ein Teil des kondensierten Wassers kann eventuell bei den höheren Temperaturen im unteren Teil wieder verdampfen und so zu einer Anreicherung der Abgase mit Wasser führen. Um diese Hypothese zu überprüfen werden diverse Experimente durchgeführt. Wasser (5 Liter pro Stunde, l/h) wird durch eine Düse entweder ganz oben im Kamin oder vor Wärmetauscher und Elektroabscheider (siehe Abbildung 6.5.1.) zugegeben. Wenn dieses zusätzliche Wasser den Wassergehalt des Rauchgases ausreichend erhöhen würde, um ein signifikantes Partikelwachstum zu erreichen, würde das in einer Zunahme der Opazität sichtbar werden. Dies kann aber nicht beobachtet werden. Weder die Zugabe oben, um das Zurückrinnen zu simulieren noch unten, um die Verdampfung zu stimulieren haben einen wesentlichen Einfluss auf die Opazität. Offensichtlich kondensiert das Wasser in erster Linie an den kalten Wänden des Wärmetauschers und nicht auf den Partikeln. Dies gilt auch wenn 5l/h Wasser eingedüst werden, was mehr als der dreifachen Menge des Wassers entspricht, das bei der Verbrennung entsteht. Wasserkondensation als Erklärung für eine erhöhte Filtereffizienz kann somit, abgesehen von der Startphase, ausgeschlossen werden. Da in der Startphase die Emissionwerte generell erhöht sind, darf die Wirkung des Wassergehalts in dieser Phase nicht vernachlässigt werden.



7.4 Die Anlage in Plons

In Plons wurde das System NOSMOG T aufgebaut. Die Idee ist, die Alltagstauglichkeit zu prüfen und periodische Messungen durchzuführen.

Am 23. Juni 2016 nach 116 Abbränden wurden Messungen an der Anlage in Plons durchgeführt.

7.4.1 Staubemissionen

Die gravimetrischen Staubmessungen nach 2 Monaten Betriebszeit liegen nach der Abscheidung zwischen 1 und 2.5 mgstp@13%O₂, wie aus der Tabelle in der Abbildung 7.4.1.1. zu erkennen ist. Gleichzeitig zu den gravimetrischen Messungen wurden kontinuierliche Staubmessungen mit 2 Testo-Staubmessgeräten durchgeführt, welche die gravimetrischen Messresultate bestätigen (siehe Abbildung 7.4.1.2.).

Im unteren Teil der Abbildung 7.4.1.1. ist der Verlauf der Elektrodenspannung und -leistung zu sehen. Eine Spannung von 20 kV mit einer Leistung von 15 Watt reichen bei einer Kesselleistung von durchschnittlich 25 kW aus, um tiefe Staubemissionen zu erreichen. Die Stabilität der Spannung und der Leistung des Elektroabscheiders sind die Voraussetzungen für tiefe Staubemissionen. Daher kann die Überwachung der Spannung, bzw. Leistung des Elektroabscheiders gute Informationen zum Zustand des NOSMOG-Systems liefern.

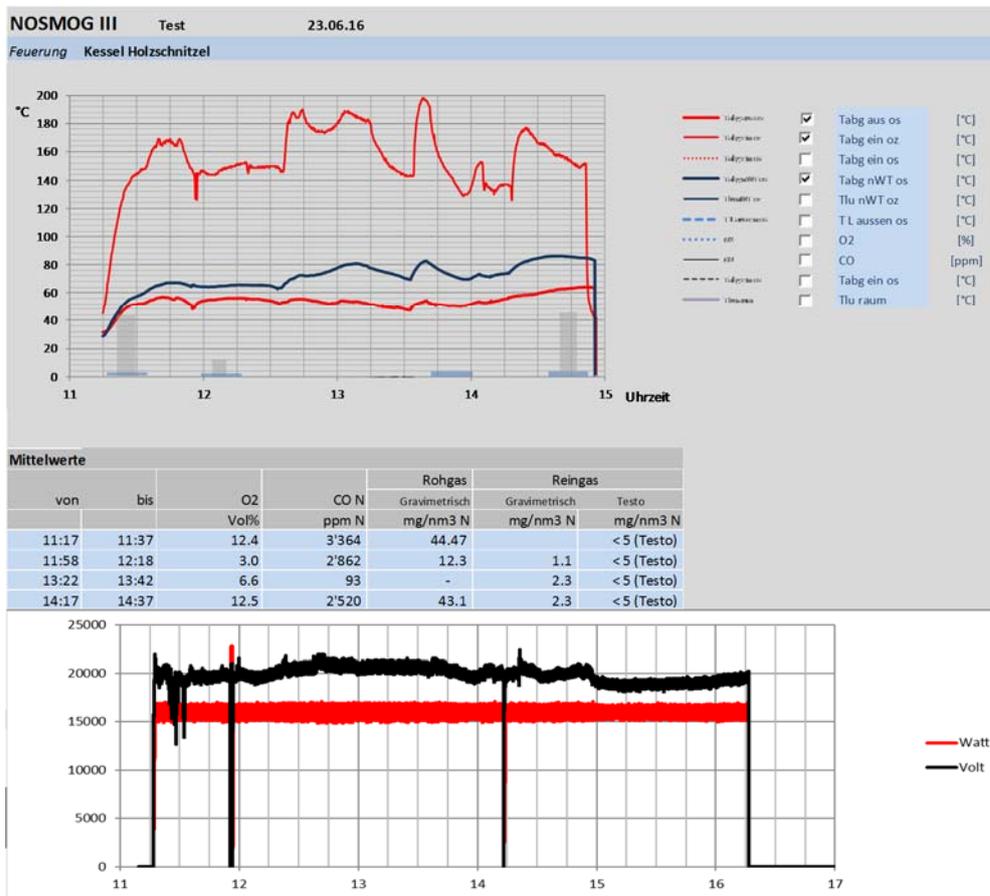


Abbildung 7.4.1.1.: Die Abgastemperatur beim Eintritt in NOSMOG variiert von 140 °C bis zu 200 °C, beim Austritt von 40 °C bis 60°C. Im unteren Teil ist der Verlauf der Elektrodenspannung und -leistung zu sehen.

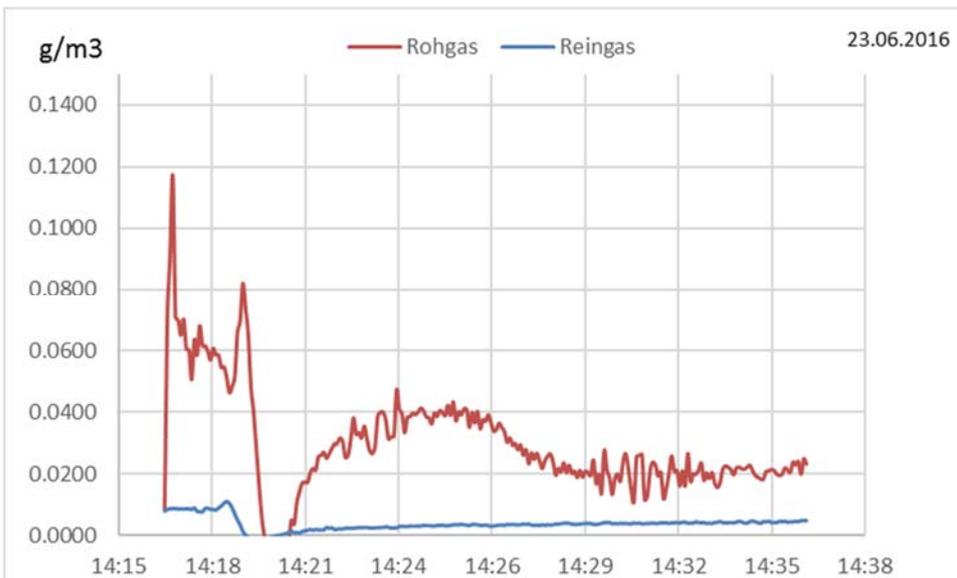


Abbildung 7.4.1.2.: Kontinuierliche Staubmessungen. Der Staubgehalt vom Roh- und Reingas wird gleichzeitig mit zwei Testo-Messgeräten erfasst.

7.4.2 Energie

Der Gesamtwirkungsgrad beträgt 96.1 % bezogen auf den unteren Heizwert. Der Kesselwirkungsgrad beträgt ohne Nosmog T 88.7%.

Die Verbesserung im Wirkungsgrad beträgt also 7.4 % und liegt unterhalb dem gesetzten Ziel.

Folgende Gründe führten zu einem tieferen energetischen Wirkungsgrad im Vergleich zum Projektziel:

- Der bereits gute Kesselwirkungsgrad
- Die Aussentemperatur, die am Tag der Messung um 30°C lag. Dies führte zu einer entsprechenden höheren Abgastemperatur, die zu einer signifikanten Reduktion der Kondensatmenge führt, was schlussendlich eine Reduktion des Wirkungsgrades bewirkt.

Der grösste Teil der Wärmerückgewinnung findet im Abgas-Wasser-Wärmetauscher mit 6 % bezogen auf den unteren Heizwert statt. Im Abgas-Luft-Wärmetauscher kann 1.4 % der Energie zurückgewonnen werden.



8 Schlussfolgerungen

8.1 Staubreduktion

Das Nosmog-System (A, W oder Total) ermöglicht eine Reduktion der Staubemissionen auf unter 5 mg/@stp13O₂ für den Leistungsbereich 0-70 kW. Die Emissionsziele sind erfüllt.

Das von Oekosolve produzierte Hochspannungsmodul kann bis zu einer Feuerungsleistung von 60 kW (Rohrdurchmesser 200 mm) eingesetzt werden.

Über einer Leistung von 60 kW ist ein stärkeres Hochspannungsmodul notwendig, das bei Oekosolve bereits entwickelt wird.

Die Entstehung einer Kondensation ist für alle NOSMOG-Varianten wichtig. Das Abgasrohr wird dadurch gereinigt. Dies ist für den zuverlässigen Betrieb mit dauerhafter Staubemissionreduktion sehr wichtig.

8.2 Energie

Der Kessel/Ofenwirkungsgrad kann bei bei NOSMOG W um 3 bis 7 Prozentpunkte erhöht werden, bei NOSMOG A um 2.5 bis 7 %.

In diesem Fall wird das energetische Ziel (von 5-10% für Pellets und 10-20% für Stückholz) nicht erreicht. Eine mögliche Verbesserung wäre die Erhöhung der Turbulenz in den Wärmetauschern

8.3 Extinktionsmessungen

Nur in der Startphase wird ein deutlicher Anstieg der Opazität beobachtet. Im stationären Betrieb ist die Opazität meist unter 5%, abgesehen von sporadischen Ereignissen, bei denen diese auf ca. 30% steigt. Diese Ereignisse sind vermutlich ebenfalls durch Wasserkondensation verursacht, sind aber unwesentlich um die beobachtete Erhöhung der Filtereffizienz zu erklären. Obwohl kondensiertes Wasser den Kaminwänden entlang läuft, ist die erhöhte Feuchtigkeit im Rauchgas im Normalfall nicht ausreichend für eine Kondensation auf den Partikeln.

Aus diesen Resultaten schliessen wir, dass unter normalen Betriebsbedingungen Wasserkondensation keine Verbesserung der Filtereffizienz bewirkt.

Die Steigerung der Filtereffizienz könnte auf die feuchten Rohrwände zurückgeführt werden. Die Kondensation reinigt fortlaufend die Kaminwände, was eine deutliche Verbesserung der Abscheideleistung des Elektroabscheiders zur Folge haben kann.

8.4 Anlage in Plons NOSMOG T

Die Anlage in Plons erfüllt die Ziele betreffend Staubemissionen. Knapp verfehlt wurden die energetischen Ziele. Die Alltagstauglichkeit ist bis zum jetzigen Zeitpunkt zufriedenstellend.

Die Anlage wird weiterhin getestet.



9 Ausblick

Neben den wissenschaftlichen Erkenntnissen, hat das Projekt NOSMOG III die Grenzen des NOSMOG-Systems aufgezeigt.

Grundsätzlich gilt, dass bezüglich Partikel eine machbare Lösung für NOSMOG W und NOSMOG A für Anlagen bis 60 kW vorhanden ist, wodurch die Staubemissionen dauerhaft auf $5 \text{ mg}_{\text{stp}}@13\%O_2$ begrenzt werden können. Bei Anlagen bis 70 kW liegen die Resultate bezüglich Energie knapp unter den gesetzten Zielen.

Die Reduktion der Staubemissionen auf unter $5 \text{ mg}_{\text{stp}}@13\%O_2$ gibt uns eine starke Argumentation, das Projekt NOSMOG weiter zu verfolgen.

Der nächste Schritt in der Praxis ist die Realisierung von Pilotanlagen bei externen Kunden.

Die nächsten Schritte in der Forschung sind: die Verbesserung der Wärmeübertragung bei den Wärmetauschern (Abgas-Wasser und Abgas-Luft).

Weiter muss überprüft werden, ob beim Produkt NOSMOG A und NOSMOG T der Abgas-Luft-Wärmetauscher als ein Element des Kaminhuts statt der Abgasanlage gesehen werden kann. Dies würde bedeuten, dass der Abgas-Luft/Abluft-Zuluft-Wärmetauscher ausserhalb des Hauses platziert ist und somit bezüglich Brandschutz die Zulassung vereinfacht, was die Marktchancen erhöht und die Zeit zur Markteinführung verkürzt.

In der Schweiz sind heute über 600'000 Feuerungsanlage für Biomasse mit einer Leistung kleiner als 70 kW in Betrieb. NOSMOG könnte bei diesen Anlagen die Staubemissionen der Holz- oder Biomasseverbrennung von heute über 100 (im realen Betrieb gemessenen) auf unter $5 \text{ mg}_{\text{stp}}@13\%O_2$ reduzieren. Das bedeutet nicht nur geringere Gesundheitsrisiken, sondern auch eine höhere Akzeptanz für den erneuerbaren einheimischen Brennstoff Holz.

Werden in der Schweiz die Emissionsgrenzwerte für Anlage kleiner als 70 kW gesenkt, so werden die Marktchance von NOSMOG massiv steigen.



Anhang A: Referenzen

1. B. Salerno, P. Häusler NOSMOG Entwicklung eines emissionsarme und effiziente Energiemodul. BAFU Vertrag Nr.: [UTF 370.04.11](#)
2. B. Salerno, M. Sattler, A. Koller NOSMOG Phase II (Emissionsarmes effizientes Heiz- und Lüftungssystem auf Holzbasis) [UTF 457.13.13](#)
3. Ch. Gaegauf, B. Salerno Das Abbrandverhalten von Klein-Holzfeuerungen, Enet, Bundesamt für Energie
4. Über die Emissionsmessung von Luftfremdstoffen bei stationären Anlagen, Eidgenössische Materialprüfung und Forschungsanstalt EMPA im Auftrag des BUWAL
5. Norbert Klippel, Thomas Nussbaumer, Wirkung von Verbrennungspartikel, ISBN 3-908705-16-9, Bundesamt für Energie, Bern, 2007
6. Willi Vock, Emissionsbilanzen für Feinstäube und Stickoxide: Stand 2005, Auswirkung der LR 06 und weiteren Massnahmen, Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, Abteilung Wald
7. Neuenschwander Nussbaumer, Good, Grundlagen der Abgaskondensation bei Holzfeuerungen Bundesamt für Energie Schlussbericht
8. M. Schmid / Biopoly Heat *EUREKA 3414, KTI 7438.3* Schlussbericht
9. Results of Field Measurements of Industrial Particulate Sources and Electrostatic Precipitator Performance Joseph D. McCain, John P. Gooch, and Wallace B. Smith
Journal of the Air Pollution Control Association Vol. 25 , Iss. 2, 1975
10. M. Kaltschmitt, H.Hartmann ENERGIE AUS BIOMASSE ISBN 3-540-64853-4 Springer-Verlag Berlin



Anhang B: Auswertungstabelle

NOSMOG Übersicht														Rohgas		Reingas Band		Reingas Draht				Bemerkungen		
Test	Datum	Brennstoff	Ref.	Staubmessung	Power	Velocity	O2	CO N13	THC vor	THC nach	Tabg in	Tabg WT	Leistung WT	Twasser WT	mg/nm3	mg/nm3	Testo	O2	CO	CO				
				Start	Ende	kW	m/s	Vol %	mg/nm3 N13	ppm N13	C°	C°	kW		N13	N13	gr/nm3 N	Vol%	ppm	mg/nm3 N13				
NG_160105N	5.1.16	Pellet																			Filter funktioniert nicht gut			
NG_160106N	6.1.16	Pellet																						
NG_160107N	7.1.16	Pellet																			Extinktionmessung eingerichtet			
NG_160111N	11.1.16	Pellet		1_A 1_B	11:55	12:15	29	2.35	14.6	224	6	-4	85	63	0	82	103	38.5	48.33					
				2_A 2_B	15:30	15:50	31	1.54	11.3	123	1	-5	76	50	0	78	64	10	8.01					
NG_160112N	12.1.16	Pellet		1_A 1_B	15:31	15:51	9	0.43	10.0	366	-9	24	123	34	34	48	35	0	0.32					
				2_A 2_B	16:35	16:55	9	0.50	11.0	178	-10	3	139	37	36	32	25	0.2	0.17					
NG_160113N	13.1.16	Holzschnitze		1_A 1_B	14:45	15:05	14	3.10	18.7	2'635	43	30	79	58	35	19	65	3.7	12.73		Filterleistung 8 W zu wenig			
				2_A 2_B	15:46	16:06	7	1.37	18.6	3'434	157	152	66	50	34	21	69	1.8	6.00		Filterleistung 8 W zu wenig			
NG_160115N	15.1.16	Holzschnitze		2_B	14:21	14:41	20	0.97	12.0	2'929	285	299	58	39	34			-7.4	-					
				1_B	13:41	14:01	20	1.01	12.3	2'639	303	318	58	40	35			2.2	2.04					
NG_160118N	18.1.16	Holzschnitze		1_A 1_B	13:48	14:08	27	1.17	10.5	2'646	176	190	61	41	34	56	43	1.2	0.93					
				2_A 2_B	15:47	16:07	39	2.55	13.1	1'076	16	14	92	54	15	77	78	77.3	78.63		Filter aus			
NG_160120N	20.1.16	Holzschnitze		1_A 1_B	15:46	16:06	36	2.49	13.6	1'220	24	22	89	53	15	78	84	25.4	27.46		Filterleistung zu wenig			
NG_160121N	21.1.16	Holzschnitze		1_A 1_B	14:39	14:59	27	1.59	13.5	1'194	27	24	53	49	34	77	82	16.4	17.39		Filterleistung zu wenig			
NG_160129N	29.1.16	Holzschnitze		1_A 1_B	11:53	12:13	33	1.56	10.7	4'906	131	124	78	51	35	142	110	47.7	36.98	0.0243	11.5	4'411	4'643.16	Filter aus
				2_A 2_B	13:22	13:42	36	1.62	10.3	4'144	88	84	77	50	35	131	98	18.7	13.94	0.0039	10.8	3'818	3'743.14	Filter mit 26kV Leistung begrenzt auf 16 Watt
NG_160201N	1.2.16	Holzschnitze		2_A 2_B	16:17	16:37	31	2.14	13.3	1'251	37	28	96	58	35	80	83	10.6	11.07	0.0042	13.6	859	1'160.81	Filter scheint zu funktionieren 30kV 28 Watt es hat immer woeder Lücken in Data Erfassung
				1_B 1_A	16:59	17:19	36	2.04	13.2	1'191	26	18	45	55	35	88	90	13.7	13.99					idem
NG_160205N	5.2.16	Holzschnitze		1_A 1_B	10:07	10:27	36	2.46	13.8	1'459	51	-5	97	40	34	79	88	12.1	13.35	0.0114	13.8	906	1'258.33	Zu wenig Spannung
				2_A 2_B	11:51	12:11	21	2.40	16.8	2'979	267	-10	84	36	34	51	98	9.0	17.27	0.0077	16.7	1'113	2'588.37	Zu wenig Spannung
NG_160218N	18.2.16	Holzschnitze		Testo	11:58	12:18	25	1.65	13.6	1'328	23	-6	78	52	34			0.0305	14	905	1'292.86			
				Testo	15:34	15:54	26	1.61	13.1	1'458	36	-6	77	51	35			0.0141	13.3	1'091	1'416.88			
				Testo	16:21	16:41	26	1.53	12.9	1'820	40	-6	76	49	35			0.0135	13.1	1'361	1'722.78			
				Testo	17:06	17:26	27	1.59	12.9	1'844	50	-6	75	47	33			0.0137	13.3	1'427	1'853.25			
NG_160219N	19.2.16	Holzschnitze		Testo	12:55	13:15	27	1.85	13.8	1'270	29	-68	77	53	34			0.0191	14.2	776	1'141.18			
				Testo	14:13	14:33	32	1.99	13.9	1'053	16	-69	49	46	34			0.0086	14.3	615	917.91			
				1_A 1_B	15:27	15:47	32	2.00	13.7	1'035	12	-25	65	47	34	103	113	14.9	16.21	0.0097	14.1	661	957.97	
NG_160222N	22.2.16	Holzschnitze		1_A 1_B	10:42	11:02	23	1.83	14.7	1'280	19	-80	77	58	43	81	104	5.6	7.11	0.0065	14.9	695	1'139.34	Wasser im WT aufgewärmt
				2_A 2_B	11:33	11:53	24	1.74	14.5	1'108	12	-81	73	50	40	83	101	5.6	6.85	0.0060	14.5	637	980.00	
				3_A 3_B	12:40	13:00	26	2.13	14.4	1'122	14	-84	78	79	89	78	96	7.9	9.67	0.0112	14.5	613	943.08	
NG_160223N	23.2.16	Holzschnitze		4_A 4_B	14:00	14:20	24	1.84	14.4	1'229	16	-84	76	70	81	82	99	3.1	3.82	0.0046	14.5	685	1'053.85	
				Testo	12:24	12:44	25	1.86	14.6	1'266	24	-72	74	50	35			0.0065	14.8	690	1'112.90	Elektrode Drahtseil		
				Testo	14:00	14:20	24	1.78	14.5	1'345	29	-77	77	51	34			0.0085	14.6	754	1'178.13			
				Testo	15:00	15:20	27	1.93	14.3	1'332	17	-74	77	53	35			0.0112	14.5	716	1'101.54			
				1_A 1_B	15:52	16:12	23	1.74	14.4	1'433	25	-72	77	54	35	87	106	0.0120	14.3	831	1'240.30			
				2_A 2_B	17:07	17:27	26	1.91	14.3	1'552	31	-69	77	54	35	78	94	11.6	13.98	0.0114	14.7	865	1'373.02	
NG_160224N	24.2.16	Holzschnitze		Testo	10:09	10:29	33	2.58	14.6	1'292	36	246	78	54	35			0.0020	14.4	657	995.45			
				Testo	11:26	11:46	30	2.37	14.7	1'384	40	283	77	53	33			0.0021	14.2	743	1'092.65			
				Testo	12:29	12:49	29	2.28	14.8	1'435	45	349	78	54	35			0.0022	14.5	859	1'321.54			
				1_A 1_B	15:44	16:04	29	2.14	14.2	1'200	19	114	79	57	38	77	91	0.7	0.84	0.0022	14.2	725	1'066.18	
				2_A 2_B	16:36	16:56	29	2.07	14.0	1'331	18	104	78	59	41	87	100	0.9	1.05	0.0021	13.9	824	1'160.56	
NG_160225N	25.2.16	Holzschnitze		Testo	12:13	12:33	22	1.68	14.7	1'300	43	289	78	53	35			0.0074	14.9	721	1'181.97			
				Testo	14:32	14:52	24	1.77	14.2	1'164	27	166	79	54	34			0.0026	14.5	709	1'090.77			
				1_A 1_B	16:02	16:22	42	2.29	11.9	878	12	40	76	63	34	97	85	4.6	4.01	0.0042	11.9	701	770.33	

NG 160226N	26.2.16	Holzschnitzel	Testo	12:37	12:57	43	2.52	11.9	894	14	53	99	64	1.80	35					0.0024	11.4	661	688.54		
			1_A 1_B	13:38	13:58	47	2.33	10.6	863	8	18	83	61			35	112	86	3.9	3.03	0.0025	10.5	792	754.29	
			2_A 2_B	14:32	14:52	49	2.60	11.1	727	8	11	89	66			35	95	77	4.3	3.50	0.0031	11.3	580	597.94	
			3_A 3_B	15:41	16:01	42	2.29	11.9	878	12	40	76	63			34	68	60	3.4	3.00	0.0055	14.6	2'157	3'370.31	Stromausfall
NG 160229N	29.2.16	Holzschnitzel	Testo	15:18	15:38	73	4.16	9.9	757	11	-85	134	88		36					0.0045	10.4	726	684.91		
			1_A 1_B	16:04	16:24	71	3.67	9.5	761	8	-80	117	78		36	102	71	10.6	7.42	0.0063	9.4	756	651.72		
			2_A 2_B	14:00	14:20	60	3.63	11.3	235	1	-51	119	78		36	75	62	4.6	3.80	0.0037	11.1	215	217.17		
			3_A 3_B	16:27	16:47	38	2.30	12.4	1'069	22	108	90	62		34						0.0052	14.4	1'218	1'862.00	
NG 160316	16.3.16	Holzschnitzel	Testo	15:40	16:00	39	3.37	14.3	2'122	94	-142	111	76		34					0.0036	12	801	899.00		
			1_A 1_B	14:52	15:12	60	3.79	11.8	1'417	44	310	108	80		36	84	73	5.3	4.56	0.0060	11.4	1'207	1'465.00	Unterbruch am Mittag (nicht brauchbar für Energieauswertung)	
NG 160317	17.3.16	Holzschnitzel	Testo	10:16	10:36	38	2.30	12.4	1'069	22	108	90	62		35					0.0045	13.7	729	1'026.00		
			1_A 1_B	14:52	15:12	60	3.79	11.8	1'417	44	310	108	80		36					0.0032	11.1	2'968	3'372.00		
NG 160406	6.4.16	Holzschnitzel	Testo	12:09	12:29	32	1.48	11.1	3'096	31	971	51	56		34					0.0036	10.7	2'128	2'332.00		
			1_A 1_B	13:29	13:49	31	1.52	11.7	2'475	20	564	50	57		35					0.0045	10.5	855	811.00		
			2_A 2_B	14:38	14:58	41	1.87	10.8	1'056	9	85	52	65		35					0.0088	11.3	627	814.00		
NG 160411	11.4.16	Holzschnitzel																					Test NOSMOG Air		
NG 160416	16.4.16	Holzschnitzel																					Test NOSMOG Air		
NG 160421	21.4.16	Holzschnitzel	Testo	16:30	16:50	22	1.04	11.2	1'967	24	775	63	47		35					0.0006	10.7	1'711	1'662.00	Test NOSMOG Air	
NG 160425	25.4.16	Holzschnitzel	Testo	11:02	11:22															0.0040	10.5	1'839	1'740.00	Test NOSMOG Air	
NG 160503	3.5.16	Holzschnitzel	1_A 1_B	14:10	14:30	34	1.69	10.7	968	2	34	83	57		43	52	40	2.4	1.84	0.0021	10.4	947	895.00		
			2_A 2_B	15:04	15:24	35	1.63	10.6	514	-2	33	80	50		38	42	33	2.4	1.84	0.0020	10.3	513	483.00		
			Testo	14:30	14:50	61	3.97	12.0	1'915	10	79	159	33		36						0.0049	11.1	1'490	1'522.00	Test NOSMOG W D=200 mm
			Testo	15:38	15:58	60	4.51	12.1	1'432	11	80	158	89		37						0.0046	11.5	1'205	1'281.00	
NG 160504	4.5.16	Holzschnitzel	Testo	09:12	09:32																0.0057	10.5	834	804.00	Test NOSMOG W D=200 mm
			1_A 1_B	09:57	10:17	72	5.27	11.2	814	7	79	172	100		37	114	93	7.7	6.32	0.0054	10.4	728	692.00		
			2_A 2_B	10:56	11:16	70	5.18	11.3	835	8	81	175	101		37	112	93	7.0	5.78	0.0060	10.7	758	743.00		
			3_A 3_B	14:32	14:52	22	6.26	19.0	3'086	38	280	106	73		34	51	201	0.9	3.59	0.0048	19.3	560	3'336.00		
NG 160509	9.5.16	Holzschnitzel	4_A 4_B	15:32	15:52	67	5.30	12.0	1'199	10	86	172	99		37										
			Testo	12:02	12:22	70	5.41	11.6	898	11	88	171	106		44						0.0050	10.9	800	801.00	Test NOSMOG W D=200 mm
			1_A 1_B	14:20	14:40	62	5.02	12.1	1'243	12	95	166	106		45	100	89	11.9	10.66	0.0080	11.7	1'003	1'251.00		
			2_A 2_B	15:00	15:20	62	4.81	11.8	1'107	13	92	166	106		46	106	92	11.8	10.24	0.0077	11.3	943	1'229.00		
NG 160512	12.5.16	Holzschnitzel	Testo	10:14	10:34	70	4.96	11.1	832	10	76	168	94		35						0.0047	10.7	753	736.00	Test NOSMOG W D=200 mm
			1_A 1_B	11:00	11:20	70	4.97	11.0	749	11	77	172	97		37	95	76	10.2	8.18	0.0042	10.5	669	639.00		
			2_A 2_B	12:08	12:28	74	4.96	10.2	607	10	74	177	100		37	126	93	9.6	7.15	0.0037	10.1	524	481.00		
			3_A 3_B	13:11	13:31	72	5.06	10.7	679	12	78	177	100		37	126	98	10.8	8.34	0.0063	10.7	657	643.00		
			4_A 4_B	13:56	14:16	63	5.72	13.5	979	18	100	161	94		36	77	82	5.9	6.24	0.0045	13.9	679	1'527.00		
			5_A 5_B	14:57	15:17	69	4.92	11.1	914	11	79	171	99		37	111	90	8.2	6.59	0.0055	11	813	825.00		
NG 160517	17.5.16	Holzschnitzel	Testo	16:00	16:20	71	4.95	10.6	738	12	77	176	98		38						0.0059	10.5	706	684.00	
			1_A 1_B	10:11	10:31	50	3.20	11.6	1'500	10	68	126	81		45	110	93	4.5	3.80	0.0032	10.3	1'370	1'284.00	Test NOSMOG W D=200 mm	
			2_A 2_B	11:15	11:35	49	2.82	10.8	1'743	8	60	121	78		45	105	82	3.8	2.99	0.0028	9.9	1'758	1'587.00		
			3_A 3_B	12:21	12:41	51	2.76	10.2	1'946	8	55	118	75		45	101	75	2.6	1.90	0.0021	9.6	1'890	1'644.00		
			4_A 4_B	13:39	13:59	42	2.48	11.6	1'791	10	58	107	70		45	104	89	1.7	1.47	0.0025	11.1	1'518	1'515.00		
NG 160518	18.5.16	Holzschnitzel	5_A 5_B	14:21	14:41	41	2.42	11.5	1'626	8	58	106	70		45	92	78	-0.8	-	0.0024	10.8	1'446	1'417.00		
			Testo	09:22	09:42	19	1.60	14.3	1'980	109	78	108	66		36						0.0014	11.4	945	1'006.00	Spannungsmodul 35 kv Test NOSMOG W D=200 mm
			1_A 1_B	10:20	10:40	70	5.46	11.5	848	20	91	172	109		46	110	93	2.1	1.79	0.0011	10.7	708	62.00		
			2_A 2_B	11:06	11:26	68	5.55	12.0	981	21	96	171	110		46	105	86	3.4	2.78	0.0007	11.3	834	865.00		
			3_A 3_B	11:48	12:08	71	5.42	11.2	642	14	91	176	114		45	113	91	3.3	2.67	0.0007	10.05	602	575.00		
			4_A 4_B	13:26	13:46	74	5.34	10.8	610	14	84	176	109		45	115	96	3.0	2.49	0.0013	10.2	585	549.00		
NG 160519	19.5.16	Holzschnitzel	5_A 5_B	14:16	14:36	74	5.58	11.1	634	13	89	177	113		47	123	98	1.5	1.23	0.0009	10.4	590	561.00		
			1_A 1_B	11:13	11:33	68	5.09	11.5	657	12	81	174	99		38	104	87	2.2	1.81	0.0007	10.7	573	559.00	Spannungsmodul 35 kv Test NOSMOG W D=200 mm	
			2_A 2_B	12:05	12:25	74	5.33	10.9	650	13	79	177	101		38	106	84	4.2	3.36	0.0026	10.8	623	621.00		
			3_A 3_B	12:52	13:12	72	5.30	11.1	661	12	82	179	102		38	113	91	5.2	4.23	0.0039	11	615	617.00		
NG 160523	23.5.16	Holzschnitzel	2_A 2_B	10:02	10:22	37	2.32	12.3	1'324	43	55	105	62		36	95	87	8.8	8.08	0.0100	11.7	1'066	1'548.00	Spannungsmodul Standard	
			3_A 3_B	11:06	11:26	43	2.39	11.2	2'353	112	49	106	62		36	109	89	3.3	2.67	0.0018	10.7	2'148	2'084.00		
			4_A 4_B	14:09	14:29	54	3.29	11.1	1'866	55	59	129	75		37	124	100	0.4	0.34	0.0026	10.6	1'778	1'814.00		
			5_A 5_B	14:45	15:05	49	3.18	11.8	1'867	56	64	127	75		36	115	100	1.2	1.07	0.0027	11.1	1'587	1'591.00		
NG 160623_C	23.6.16	Stückholz Plans	1_A 1_B	11:17	11:37	25	1.97	12.4	3'364	0	44	130	121		0	48	44	-9.7	-	0.0037					