



Schlussbericht 15.01.2016

NOSMOG IV

Emissionsarmes effizientes Energiemodul für
Biomasse-Feuerungen NOSMOG – Phase IV





Datum: 31. Dezember 2020

Ort: Langenbruck

Auftraggeber:

Bundesamt für Umwelt BAFU

Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien

CH-3003 Bern

www.bafu.admin.ch

Auftragnehmer/in:

Salerno Engeler GmbH

Schwengiweg 12

CH-4438 Langenbruck

Oekozentrum Langenbruck

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

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

Vertrag Nr.: UTF 555.13.17

Dokument Nr.: Q341-0384



Zusammenfassung

Die an sich CO₂-neutrale Holzfeuerung stösst bei kleineren Anlagen (< 70 kW) im Verhältnis zur gewonnenen Energie einen noch zu hohen Anteil an Feinstaubemissionen aus. Diese Tatsache ist nicht nur für die Umwelt, sondern auch für die Akzeptanz von Holzfeuerungen ungünstig, da viele umweltbewusste Kunden aus diesem Grund (zu viel Feinstaub) tendenziell ein solches Heizsystem ablehnen.

Das NOSMOG-System für Kleinholzfeuerungen kann aber die Feinstaubemission massiv reduzieren sowie auch deren Effizienz erhöhen und daher den Markt positiv beeinflussen.

Der Kern des Systems ist ein Elektroabscheider, der entweder in die Abgasanlage oder direkt zwischen Kessel und Abgasanlage eingebaut wird.

Das bisher im Labor getestete NOSMOG-Konzept wurde im aktuellen Projekt in der Praxis auf seine Wirksamkeit und Alltagstauglichkeit geprüft.

Die gesetzten Ziele sind:

- die Reduktion von Staubemissionen auf durchschnittlich Werte von unter 10 mg/nm³ @13Vol%O₂ vom Anfeuern bis und mit Abbrand.
- die Verbesserung des Feuerungswirkungsgrads von 5% bis 20%

Von den fünf gemessenen Anlagen sind zwei Pellet- und drei Stückholzcentralheizungen.

Insgesamt wurden in den 19 Messsequenzen über 80 Feinstaubproben in allen Feuerungsphasen genommen.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate zu sehen:

Anlage ↓	Dauer →	Start	Leistungsphase	Ausbrand	Total Abbrand
		15 '	3.5h bis 4h	12' bis 60'	4.5h bis 5.25h
NOSMOG-W Stückholz 40 kW		55.7	2.5	12.1	7.0
NOSMOG-W Stückholz 45 kW		26.1	4.2	16.7	7.6
NOSMOG-A Pellet 18 kW Kondens		13.5	5.8	14.6	6.7
NOSMOG-BOX Pellet 14 kW Kondens		3.2	0.3	3.0	0.6
NOSMOG-J Restholzbricket 45 kW		64.8	3.5	10.8	7.7
		Alle Werte in mg/nm ³ @13 O ₂			

Der Durchschnitt über den ganzen Abbrand schwankte zwischen den unterschiedlichen Systemen zwischen 0.6 und 7.7 mg/nm³@13%O₂ und liegt somit tiefer als die angestrebten 10 mg/nm³@13 O₂. Die Effizienzsteigerung liegt knapp bei 5%.

Die Staubwerte über den ganzen Abbrand liegen unter dem Projektziel und deutlich unter den aktuellen LRV-Grenzwerten von 100 bzw. 50 mg/nm³@13%O₂ für Stückholz- resp. Pelletfeuerungen.

Die Energieeffizienzsteigerung hingegen liegt nur knapp über dem minimalen Projektziel von 5-20%.

Die massive Reduktion von Feinstaub zeigt, dass NOSMOG für die Zentraleizungen mit Holzbrennstoffen eine langfristige praktikable Lösung bietet.



Finanziell ist die Eliminierung von Feinstaub mit dem System NOSMOG jedoch noch unattraktiv, da bisher wenig Anreiz besteht, freiwillig die Emissionen mit einer solchen Zusatzinstallation massiv unter die zurzeit tolerierten Grenzwerte zu bringen.

Ein Förderprogramm mit z. B. Fr 1'500 pro Installierten Elektroabscheider könnte, neben dem verbesserten Vollzug der neuen LRV-Verordnung vom 1.6.2018, deren Umsetzung beschleunigen und damit eine erhebliche Verminderung der Feinstaubemissionen bewirken.



Résumée

Dans les systèmes de chauffage (<70 kW), la combustion de bois neutre en CO₂ émet une proportion trop élevée d'émissions de particules par rapport à l'énergie produite. Ce fait est non seulement défavorable pour l'environnement, mais aussi pour l'acceptation du chauffage au bois, car de nombreux clients soucieux de l'environnement ont tendance à rejeter un tel système de chauffage pour cette raison (trop de poussière fine).

Le système NOSMOG pour la combustion au bois peut réduire massivement les émissions de particules et également augmenter leur efficacité et donc influencer positivement le marché.

Le cœur du système est un séparateur électrique qui est installé soit dans la cheminée, soit directement entre la chaudière et la cheminée.

Le concept NOSMOG, préalablement testé en laboratoire, a été testé en pratique pour son efficacité et son aptitude à un usage quotidien dans le projet en cours.

Les objectifs fixés sont:

- La réduction des émissions de poussières à une moyenne inférieure à mg/nm³@13%O₂ de l'éclairage jusqu'à la combustion incluse.
- l'amélioration du rendement de combustion de 5% à 20%

Sur les cinq systèmes mesurés, deux sont des systèmes de chauffage central à pellet et trois à bûches.

Au total, plus de 80 échantillons de poussières fines ont été prélevés dans toutes les phases de cuisson dans les 19 séquences de mesure.

Les résultats peuvent être consultés dans le tableau suivant:

	Phase initiale	Phase de performance	Phase finale	Total
Système ↓ Durée →	15 '	3.5h bis 4h	12' bis 60'	4.5h bis 5.25h
NOSMOG-W Bois 40 kW	55.7	2.5	12.1	7.0
NOSMOG-W Bois 45 kW	26.1	4.2	16.7	7.6
NOSMOG-A Pellet 18 kW Kondens	13.5	5.8	14.6	6.7
NOSMOG-BOX Pellet 14 kW Kondens	3.2	0.3	3.0	0.6
NOSMOG-J brique en bois 45 kW	64.8	3.5	10.8	7.7
Valeurs en mg/nm ³ @13 O ₂				

La moyenne sur l'ensemble du burn-up a fluctué entre les différents systèmes entre 0.6 et 7.7 mg/nm³@13%O₂ et est donc inférieure aux 10 mg/nm³@3O₂ ciblés. L'augmentation de l'efficacité est légèrement inférieure à 5%.



Les valeurs de poussière sur l'ensemble de la combustion sont inférieures à l'objectif du projet et bien inférieures aux valeurs limites actuelles de LRV de 100 ou 50 mg/nm³@3O₂ pour les fours à bûches et à pellets, respectivement.

L'augmentation de l'efficacité énergétique, en revanche, n'est que légèrement supérieure à l'objectif minimum du projet de 5 à 20%.

La réduction massive des particules montre que NOSMOG offre une solution praticable à long terme pour le chauffage central au bois.

Sur le plan financier, cependant, l'élimination des particules avec le système NOSMOG est toujours peu attrayante, car jusqu'à présent, il n'y a pas eu d'incitation à ramener volontairement les émissions en dessous des valeurs limites actuellement tolérées avec une telle installation supplémentaire.

Un programme de financement avec p. ex. Fr 1 500 par précipitateur électrostatique installé pourrait, en plus de la mise en œuvre améliorée du nouveau règlement LRV du 1.6.2018, accélérer sa mise en œuvre et ainsi entraîner une réduction héréditaire des émissions de particules.



Abstract

The CO₂-neutral wood-firing (power < 70 kW) emits an excessively high particulate matter in relation to the generated energy. This fact is not only unfavorable for the environment, but also for the acceptance of wood firing, as many environmentally conscious customers reject such a heating system for this reason (too much fine dust).

The NOSMOG system for small wood firing can strongly reduce particulate matter, increase their efficiency and therefore have a positive effect on the market.

The core of the system is an electrostatic precipitator that is installed either in the exhaust system or directly between the boiler and the exhaust system.

The NOSMOG concept, previously tested in the laboratory, was tested in practice for its effectiveness and suitability for everyday use in the current project.

The goals of the project are:

- The reduction of particulate matter to an average of less than mg/nm³@13%O₂ from lighting up to and including combustion.
- the improvement of the combustion efficiency from 5% to 20%

Of the five systems measured, two are pellet and three log central heating.

A total of over 80 particulate matter samples were taken in all firing phases in the 19 measurement sequences.

The results can be seen in the following table:

	Start	Power phase	End phase	Total
System ↓ duration →	15 '	3.5h bis 4h	12' bis 60'	4.5h bis 5.25h
NOSMOG-W wood log 40 kW	55.7	2.5	12.1	7.0
NOSMOG-W wood log 45 kW	26.1	4.2	16.7	7.6
NOSMOG-A Pellet 18 kW Kondens	13.5	5.8	14.6	6.7
NOSMOG-BOX Pellet 14 kW Kondens	3.2	0.3	3.0	0.6
NOSMOG-J wood bricket 45 kW	64.8	3.5	10.8	7.7
	value in mg/nm ³ @13 O ₂			

The average over the entire burn down fluctuated in all systems between 0.6 and 7.7 mg/nm³@13%O₂ and is therefore lower than the targeted of the project of 10 mg/nm³@13%O₂. The increase in efficiency is just under 5%.

The particulate matter of the entire burn down are below the project goal and far below the current LRV limit values of 100 (wood log) or 50 (pellet) mg/nm³@13%O₂.

The increase in energy efficiency (6%), on the other hand, is only slightly above the minimum project target (5-20%).

The strongly reduction of particulate matter shows that NOSMOG offers a long-term, practicable solution for central heating with wood fuel.

Financially, however, the elimination of particulate matter with the NOSMOG system is still unattractive, as there has been little incentive to voluntarily bring emissions further below the currently tolerated limit values with such an additional installation.



A funding program with e.g. Fr. 1'500 per installed electrostatic precipitator could, in addition to the improved implementation of the new LRV regulation of 1.6.2018, accelerate its implementation and thus bring about a heritable reduction in particulate emissions.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	5
Abstract	7
1 Ausgangslage	10
2 Ziel der Arbeit	11
3 Grundlagen	12
4 Die Umsetzung	12
4.1 Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit	12
5 Die Pilotanlagen	13
5.1 Blüemlisalp, Waldenburg	13
5.2 Erzenberg, Langenbruck.....	13
5.3 Mühlestettenweg, Sissach	14
5.1 Mettlenstrasse, Oberbipp.....	14
5.2 Hammestrasse, Basel.....	15
6 Emissionsmessungen	16
6.1 Gravimetrische Staubmessung	16
6.2 On-Line-Staubmessung	16
6.3 Energiemessungen	16
6.4 Messungsverfahren.....	16
6.5 Dauer der Messungen.....	17
6.6 Berechnung der Feinstaubemission über den ganze Abbrand.....	17
7 Ergebnisse	18
7.1 Blüemlisalp, Waldenburg	18
7.2 Erzenberg, Langenbruck.....	20
7.3 Mühlestettenweg, Sissach	22
7.4 Mettlenweg, Oberbipp	24
7.5 Hammerstrasse, Basel.....	26
8 Schlussfolgerungen	28
8.1 Staubreduktion	28
8.2 Energie	29
8.3 Wirtschaftlichkeit	29
9 Ausblick	30
Anhang A: Tabelle allen Messungen	31

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.

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

Die bisherigen Erkenntnisse (Siehe NOSMOG II [UTF 457.13.13](#) und Nosmog III [SI/501265](#)) mit dem System NOSMOG zeigten in Labortests, dass diese Technologie das Potenzial hat, die Feinstaubemissionen aus Holzfeuerungen in allen Betriebsphasen und auch bei Fehlmanipulationen durch den Betreiber/die Betreiberin massiv zu reduzieren.

Die Erkenntnisse aus den vorangegangenen NOSMOG-Projekten sollen mit diesen Felduntersuchungen erweitert werden.

2 Ziel der Arbeit

Das Ziel des Projektes NOSMOG IV ist, das System NOSMOG in verschiedenen Varianten bei Endkunden in bestehenden und neuen Anlagen über die Dauer einer ganzen Heizsaison zu untersuchen. Vorgesehen sind 5 Pilotanlagen mit unterschiedlichen Voraussetzungen bezüglich Leistung, Konstruktion, Feuerungstypen und wärmetechnischer Peripherie.

Miteinbezogen ins Projekt werden auch bestehende Anlagen, die nicht mit einem vollständigen NOSMOG-System aufgerüstet werden konnten.

Die Partikelemissionen werden mit den im Proojekt EN-PME.TEST entwickelten Methoden untersucht.

Ziele:

Staubemissionen	<	10 mg/nm ³ durchschnittlich in allen Feuerungsphasen
Verbesserung des Feuerungswirkungsgrads		5% bis 20%

3 Grundlagen

Die Grundlagen für das vorliegende Projekt liefern die folgenden 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](#)
- NOSMOG Phase III (Reduktion der Feinstaubemissionen bei Biomassefeuerungen - Partikel- und Extinktionsmessungen)
[SI/501265](#)

4 Die Umsetzung

4.1 Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit

Die Möglichkeit, ein NOSMOG-System für Biomassefeuerungen mit einer Leistung < 70 kW einzubauen, wird aktuell kaum genutzt. Die elektronischen Informationen und Presseartikel zum neuen System auf regionaler und nationaler Ebene haben nur wenige Reaktionen oder Anfragen aufgelöst.

Auch die Abgasanlagenbau-Unternehmen haben auf Grund der geringen Nachfrage noch kaum Interesse gezeigt das System in ihr Produkteportfolio aufzunehmen.

Für den nachträglichen Einbau des NOSMOG-Systems ist meist eine Abgasanlage-Sanierung notwendig. In vielen dieser Fälle sind die baulichen Massnahmen aufwendig und teuer und stehen nicht im Verhältnis zum individuellen Nutzen.

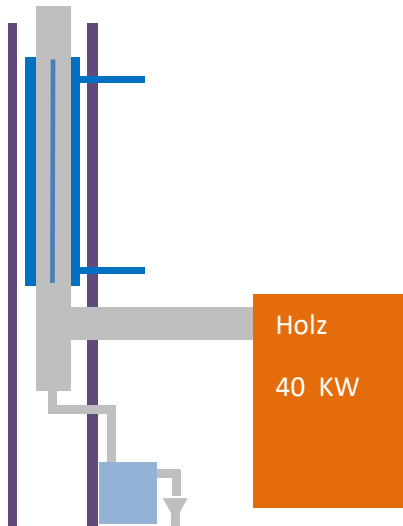
Ohne gesetzliche Massnahmen oder Förderungen wird es schwierig Kunden für eine NOSMOG-Anlage zu gewinnen.

Im Funktionsumfang reduziere Varianten des NOSMOG-Systems, wie NOSMOG-Air oder NOSMOG-Box oder NOSMOG-Jet, könnten ohne aufwendige Abgasanlagen-Umbauten kurzfristig am ehesten umgesetzt werden.

5 Die Pilotanlagen

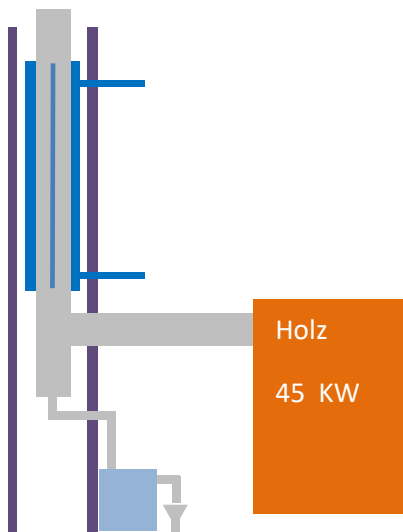
5.1 Blüemlisalp, Waldenburg

Feuerung	Stückholzkessel, 2008
Leistung	40 kW
Brennstoff	Stückholz 50 cm / Anfeuerholz / Anfeuerhilfe
Anlage	Heizung, Warmwasser, Speicher, Solarenergie
Abgasanlage	Duchmesser 180 mm, (200mm Elektroabscheider-Strecke), Höhe 9 m Sanierung
NOSMOG W (water)	mit Wassermantel



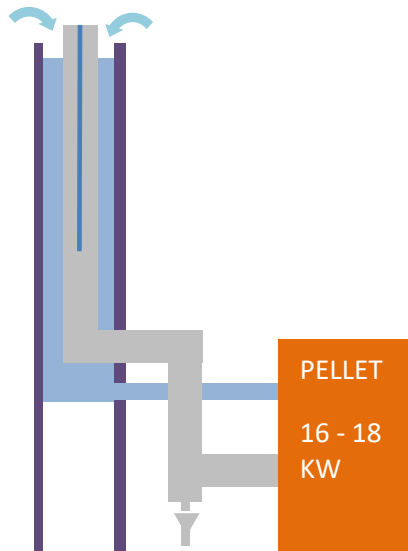
5.2 Erzenberg, Langenbruck

Feuerung	Stückholzkessel, 2014
Leistung	45 kW
Brennstoff	Stückholz 50 cm / Anfeuerholz / Anfeuerhilfe
Anlage	Heizung, Warmwasser, Speicher, Solarenergie
Abgasanlage	Duchmesser 150 mm, Höhe 14 m neue Abgasanlage im alten Kamin eingebaut.
NOSMOG (water)	mit Wassermantel



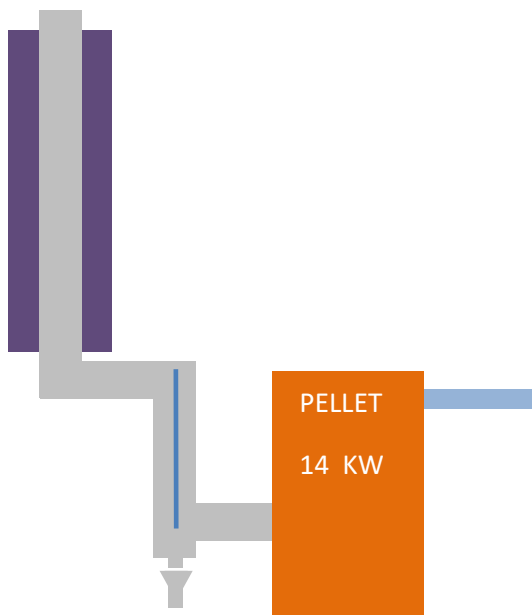
5.3 Mühlestettenweg, Sissach

Feuerung	Kondensierende Pelletfeuerung 2018
Leistung	18 kW
Brennstoff	Pellet
Anlage	Heizung, Warmwasser, Speicher, Solarenergie
Abgasanlage	Duchmesser 130 mm, Höhe 9 m
NOSMOG A (air)	mit Abgas/Luftwärmetauscher, Abscheider im oberen Bereich



5.1 Mettlenstrasse, Oberbipp

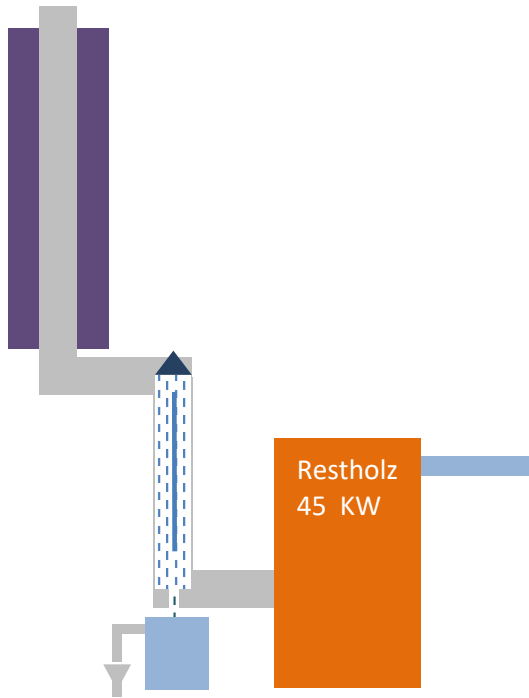
Feuerung	Kondensierende Pelletfeuerung 2018
Leistung	14 kW
Brennstoff	Pellet
Anlage	Heizung, Warmwasser, Speicher, Solarenergie
Abgasanlage	Duchmesser 130 mm, Höhe 10 m



NOSMOG B (Box) Abscheider vor Abgasanlage

5.2 Hammestrasse, Basel

Feuerung	Stückholzfeuerung 2009
Leistung	45 kW
Brennstoff	Restholz, Bricket
Anlage	Heizung, Speicher
Abgasanlage	Duchmesser 200 mm, Höhe 9 m
NOSMOG J (Jet)	mit Wasserstrahlspühlung, Abscheider vor Abgasanlage



6 Emissionsmessungen

6.1 Gravimetrische Staubbmessung

Die gravimetrischen Staubbmessungen 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-Staubbmessung. Dieses Messverfahren entspricht dem aktuell in Erarbeitung befindlichen Normenvorschlag «Prüfverfahren zur Ermittlung der Wirksamkeit von nachgeschalteten Staubbminderungseinrichtungen – DIN 33999-1».

6.2 On-Line-Staubbmessung

Zusätzlich zur genannten Staubbmessung werden die Emissionen am Messpunkt nach dem Abscheider 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 Energiemessungen

Die Energiemessungen für NOSMOG W berücksichtigen die Nettoenergie aus dem Doppelmantelwärmtauscher.

Temperaturfühler: Pt1000

Durchfluss: Impulsgeber (TA 01/VIGO0.3-40 / TA01/EZ4-50)

Bei den NOSMOG A Systemen wird die rekuperierte Energie anhand der Abkühlung der Abgase errechnet.

Die Energiegewinnung in Prozent wird mit der Holzmenge pro Abbrand ermittelt.

$$E\% = (\text{KWh aus dem Wärmehähler}) / (\text{Holzmenge}) * (\text{Kesselwirkungsgrad})$$

6.4 Messverfahren

Insgesamt wurden 82 Feinstaubmessungen durchgeführt.

Pro Anlage wurden durchschnittlich 20 Feinstaubproben genommen in den diversen Feuerungsphasen: Start-, stationäre Betrieb- und Ausbrandphase.

Einige Messungen wurden zum Vergleich ohne Elektroabscheider durchgeführt.

Die Messphasen sind wie folgt definiert (Siehe ABB. 6.4.1.):

A Startphase: 0 - 15 Minuten ab Anzündung für alle Feuerungen

B Leistungsphase: ab der 15. Minute

bis $O_2 = 12\text{Vol}\%$ bei Stückholz

bis «Brenner aus» bei Pelletfeuerung

Die Dauer ist System- und Feuerungsabhängig und liegt durchschnittlich zwischen 3.5 und 4 Stunden bei Stückholz, bei Pellets ist sie entsprechend der Ladezyklen kürzer.

C Ausbrand: Ab Ende der Leistungsphase bis $O_2 = 18\text{Vol}\%$.

Dauer: 8 bis 60 Minuten.

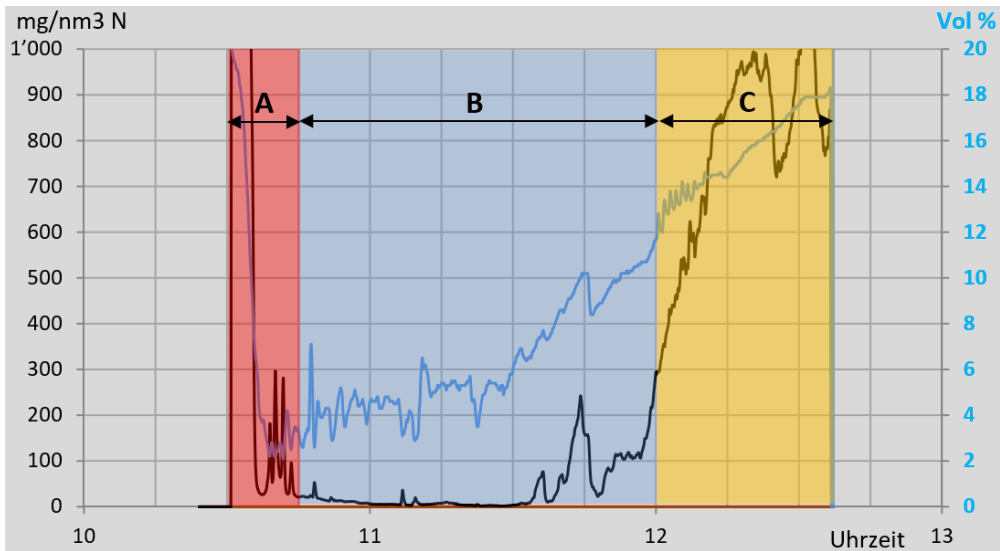


ABB.: 6.4.1. Die Feuerungsphasen: A Start- oder Anfeuerungsphase, B Leistungsphase, C Ausbrand oder Endphase.

6.5 Dauer der Messungen

Die Messdauer ist bei jeder Phase unterschiedlich:

A Startphase	15 Minuten-Feinstaubmessungen (1 Probe)
B Leistungsphase	30 Minuten-Feinstaubmessungen (mehrere Proben)
C Ausbrand	8' bis 60' je nach Feuerung (1 Probe)

Aus Zeitgründen wurden bei den Stückholzfeuerungen der Brennraum nur halb- oder 1/3-gefüllt.

6.6 Berechnung der Feinstaubemission über den ganze Abbrand

Die Ermittlung der Feinstaubemissionen über den ganzen Abbrand in $\text{mg/nm}^3@13\text{O}_2$ erfolgt mit der Berücksichtigung der durchschnittlichen Start- (A), Leistungs (B)- und Ausbranddauer (C) der verschiedenen Feuerungen im realen Betrieb. Angenommen wird, dass der Abgasvolumenstrom konstant ist.

Die Formel lautet:

$$pm \text{ Total} = \frac{pm \text{ Start} \times A + pm \text{ Leistungsphase} \times B + pm \text{ Ausbrand} \times C}{A+B+C}$$

pm Total Feinstaub in $\text{mg/nm}^3@13\text{O}_2$ über den ganzen Abbrand

pm Start Feinstaub in $\text{mg/nm}^3@13\text{O}_2$ über die Startphase (15 Minuten)

pm Leistungsphase Feinstaub in $\text{mg/nm}^3@13\text{O}_2$ über die Leistungsphase oder Mittelwert von allen Messungen in dieser Phase

pm Ausbrand Feinstaub in $\text{mg/nm}^3@13\text{O}_2$ über den Ausbrand

7 Ergebnisse

7.1 Blüemlisalp, Waldenburg

Feuerung	Stückholzkessel, 2008
Leistung	40 kW
Brennstoff	Stückholz 50 cm / Anfeuerholz / Anfeuerhilfe
Anlage	Heizung, Warmwasser, Speicher, Solarenergie
Abgasanlage	Duchmesser 180 mm, (2000mm Elektroabscheider-Strecke), Höhe 9 m Sanierung
NOSMOG W (water)	mit Wassermantel

Staub

In der Tab. 7.1.1. sind die Feinstaubemissionen ersichtlich.

Messung		Start	Leistungsphase	Ausbrand	Total Abbrand
Datum ↓	Dauer →	15 '	3.5 h	45 '	4.5 h
1	30.05.19	55.7	10.1	12.1	13.0
2	17.11.20	35.5	0.9	11.0	4.5
3	26.11.20	27.4	0.5	12.1	3.9
4	03.12.20	141.4	0.4	20.2	11.6
5	14.12.20	18.5	0.4	5.2	2.2
Mittel		55.7	2.5	12.1	7.0
Alle Werte in mg/nm ³ @13 O ₂ rot = hochgerechnet					

TAB. 7.1.1. Normierte Partikelemissionen in den diversen Feuerungsphasen in mg/nm³ bezogen auf 13% O₂.

Bemerkungen zu den Messresultaten:

- Der Durchschnitt aller Messungen beträgt 7.0 mg/nm³ @13Vol%O₂.
- In der problematischen aber kurzen Startphase wird ein Durchschnittwert von 55.7 mg/nm³ @13Vol%O₂ erreicht. Das ist auf den partiellen Betrieb des Abscheiders durch die vermutlich starke Kondensation zurückzuführen. Um die entstehenden Stromdurchschläge zu reduzieren, wurden vor der Messung Nr. 5 spezifische Massnahmen ergriffen.
- Für die Feuerungsphasen, für die keine Messungen vorhanden sind, werden die Partikelemissionen (rot markiert) aus dem Durchschnittswert von vorhandenen Messungen errechnet (Siehe Kap 6.6)

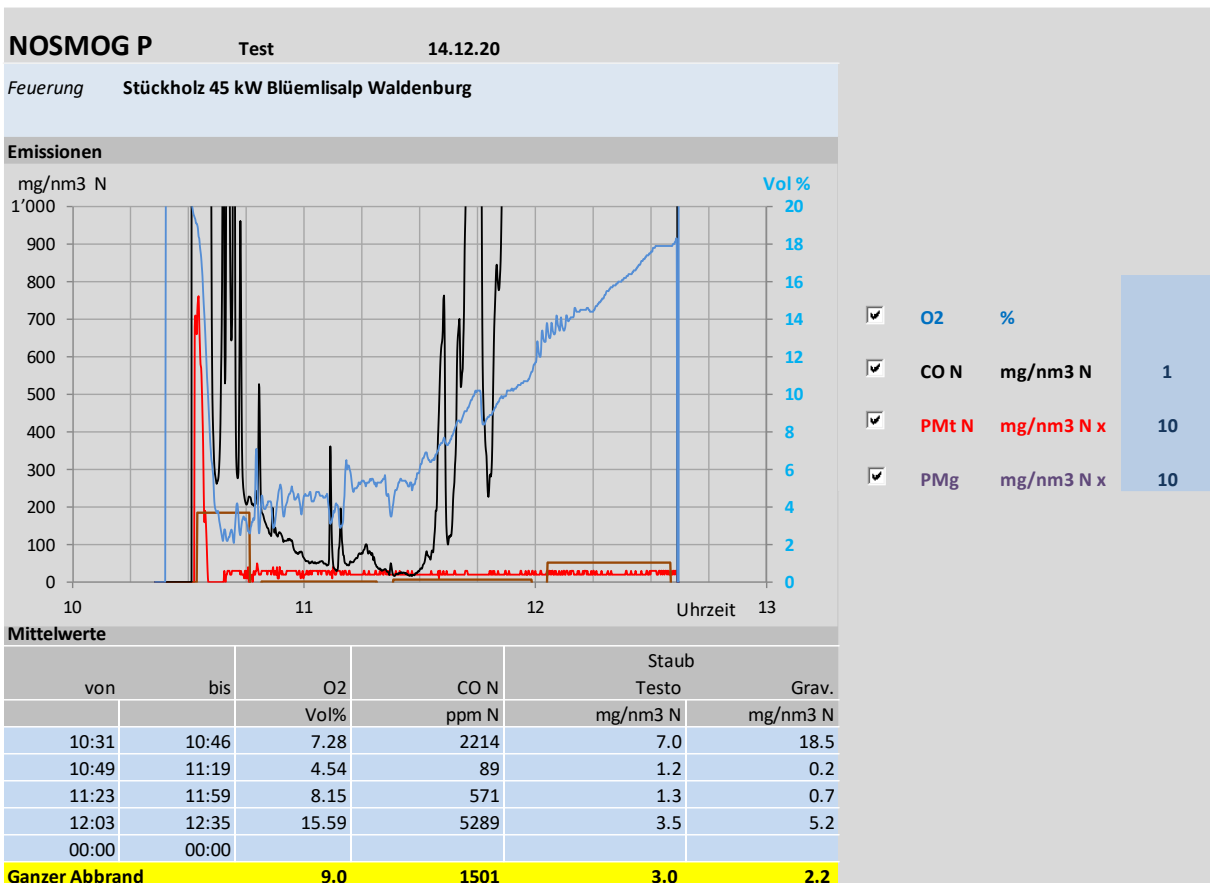


ABB. 7.1.1. Typischer Verlauf eines Abbrandes. Aus zeitlichen Gründen wurde der Brennraum nur 1/3 gefüllt. Die Abbrand-Dauer beträgt bei der Messung ca. 2 Stunden, im Normalfall durchschnittlich 4.5 Stunden.

Energie

In der TAB. 7.1.2. sind die Energiemessungen ersichtlich.

	Do 3.12.2020	Mo 14.12.2020
Holz kg	24.0	61.0
kWh/kg	3.8	3.8
W'grad Kessel (η)	90%	90%
kWh ans Wassersystem Kessel	82.1	208.6
kWh Stand vor	41.1	187.9
kWh Stand nach	47.1	202.2
Total kWh Ertrag Wärmetauscher	6.0	14.3
Anteil	7.3%	6.9%

TAB. 7.1.2. Energiegewinnung aus dem Doppelmantel-Wärmetauscher NOSMOG

Durchschnittlich beträgt der Energiegewinn des Kaminwärmetauschers 7 % des Gesamtbrandes.

7.2 Erzenberg, Langenbruck

Feuerung	Stückholzkessel, 2014
Leistung	45 kW
Brennstoff	Stückholz 50 cm / Anfeuerholz / Anfeuerhilfe
Anlage	Heizung, Warmwasser, Speicher, Solarenergie
Abgasanlage	Duchmesser 150 mm, Höhe 14 m neue Abgasanlage im alten Kamin eingebaut.
NOSMOG (water)	mit Wassermantel

Staub

In der Tab. 7.2.1. sind die Feinstaubemissionen ersichtlich.

		Start	Leistungsphase	Ausbrand	Total Abbrand
Datum ↓	Dauer →	15 '	4 h	60 '	5.25 h
1	19.11.20	62.4	7.3	26.0	13.5
2	23.11.20	11.8	10.7	23.2	13.2
3	04.12.20	4.2	0.9	0.8	1.0
4	10.12.20	26.1	2.0	16.7	5.9
5	18.12.20	26.1	0.2	16.7	4.6
Mittel		26.1	4.2	16.7	7.6
Alle Werte in mg/nm ³ @13 O ₂ rot = hochgerechnet					

TAB. 7.2.1. Normierte Partikelemissionen in den diversen Feuerungsphasen in mg/nm³ bezogen auf 13% O₂.

Bemerkungen zur Messresultate:

- Der Durchschnitt aller Messungen beträgt 7.6 mg/nm³ @13Vol%O₂.
- Nach den Messungen 1 und 2 wurde die Stromverbindung zum Elektroabscheider verbessert.
- Für die Feuerungsphasen, für die keine Messungen vorhanden sind, werden die Partikelemissionen (rot markiert) aus dem Durchschnittswert von vorhandenen Messungen errechnet (Siehe Kap 6.6)

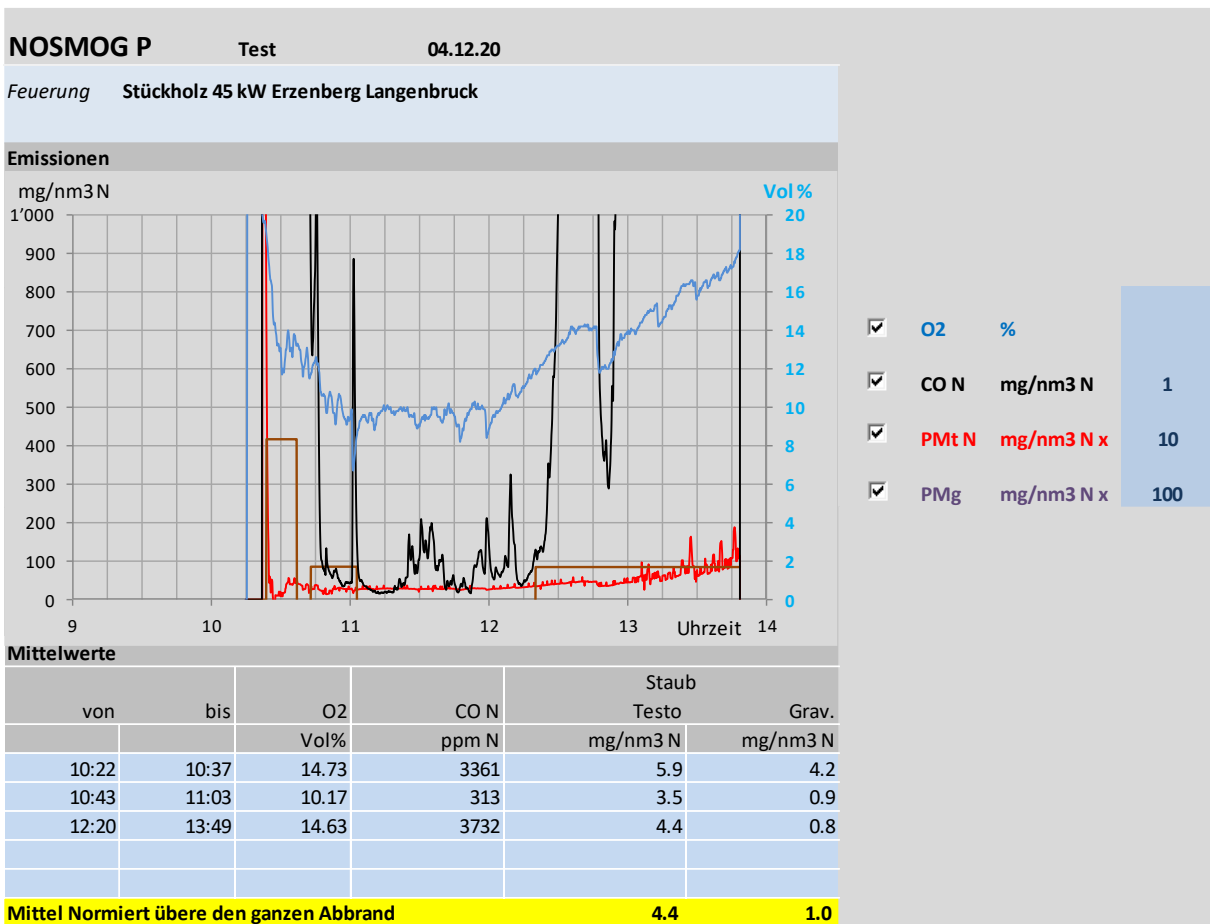


ABB. 7.2.1. Typischer Verlauf eines Abbrandes. Aus zeitlichen Gründen wurde der Brennraum nur 1/3 - 1/2 gefüllt. Die Abbrand-Dauer beträgt bei der Messung ca. 2 Stunden, im Normalfall durchschnittlich 5.5 Stunden.

Energie

In der TAB. 7.2.2. sind die Energiemessungen ersichtlich.

Energie Erzenberg			
	Fr 4.12.2020	DO 10.12.2020	Sa 19.12.2020
Holz kg	27.4	29.4	100.0
kWh/kg	3.8	3.8	3.8
W'grad Kessel	90%	90%	90%
kWh Input ans Wasser	93.7	100.5	342.0
kWh Stand vor WZ	319.9	451.4	608.1
kWh Stand nach WZ	325.5	459.1	624.7
Total kWh WZ	5.6	7.7	16.6
Anteil	6.0%	7.7%	4.9%

TAB. 7.2.2. Energiegewinnung aus dem Doppelmantel-Wämetauscher NOSMOG

Durchschnittlich beträgt der Energieanteil 6.2 %.

7.3 Mühlestettenweg, Sissach

Feuerung	Kondensierende Pelletfeuerung 2018
Leistung	18 kW
Brennstoff	Pellet
Anlage	Heizung, Warmwasser, Speicher, Solarenergie
Abgasanlage	Duchmesser 130 mm, Höhe 9 m
NOSMOG A (air)	mit Abgas/Luftwärmetauscher, Abscheider im oberen Bereich

Staub

In der Tab. 7.3.1. sind die Feinstaubemissionen ersichtlich.

	Start	Leistungsphase	Ausbrand	Total Abbrand
Datum ↓ Dauer →	15 '	4 h	12 '	4.45 h
1 30.05.19	10.5	4.3	14.6	5.1
2 20.11.20	9.0	9.0	9.0	9.0
3 24.11.20	14.5	0.6	14.6	2.0
4 08.12.20	18.4	9.5	14.6	10.3
5 21.12.20	15.4	5.8	20.1	7.0
Mittel	14.6	5.8	20.1	6.7
Alle Werte in mg/nm ³ @13 O ₂ rot = hochgerechnet				

TAB. 7.3.1. Normierte Partikelemissionen in den diversen Feuerungsphasen in mg/nm³ bezogen auf 13% O₂.

Bemerkungen zu den Messresultaten:

- Der Durchschnitt aller Messungen beträgt 6.7 mg/nm³@13Vol%O₂.
- Die relativ hohen Partikelwerte sind zum Teil auf die Konstruktion der Messhaube an der Kaminmündung zurückzuführen. Die Messungen wurden auf dem Dach durchgeführt. Um den Einfluss des Windes auf die Messungen zu eliminieren wurde eine Messhaube eingesetzt, die beim Wind immer wieder Kondensation bei der elektrischen Verbindung zur Elektrode verursachte. So wurde der korrekte Betrieb der Elektroabscheider teilweise gestört.
- Für die Feuerungsphasen, für die keine Messungen vorhanden sind, werden die Partikelemissionen (rot markiert) aus dem Durchschnittswert von vorhandenen Messungen errechnet (Siehe Kap 6.6)
- Ohne Elektroabscheider wurden Werte zwischen 12 und 20 mg/nm³ @13Vol%O₂ gemessen.

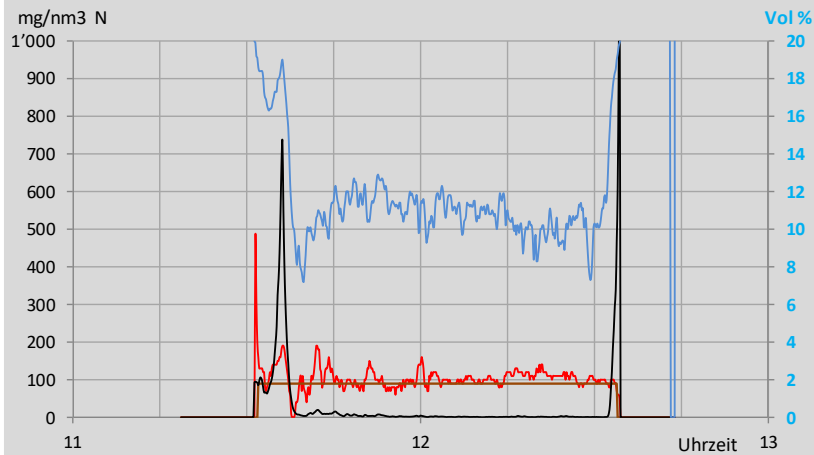
NOSMOG P

Test

20.11.20

Feuerung Pellet Kondens. 18 kW Mühlestettenweg Sissach

Emissionen



<input checked="" type="checkbox"/>	O2	%	
<input checked="" type="checkbox"/>	CO N	mg/nm3 N	0.1
<input checked="" type="checkbox"/>	PMt N	mg/nm3 N x	10
<input checked="" type="checkbox"/>	PMg	mg/nm3 N x	10

Mittelwerte

von	bis	O2	CO N	Staub	Grav.
		Vol%	ppm N	Testo mg/nm3 N	mg/nm3 N
11:31	12:34	11.6	116	10.2	9.0
Ganzer Abbrand		11.6	116	10.2	9.0

ABB. 7.3.1. Bei dieser Messung wurde nur eine Messpatrone für den ganzen Abbrand verwendet.

Energie

Die energetische Effizienzsteigerung durch die Abkühlung der Abgase kann nur abgeschätzt werden.

Eine Abkühlung der Abgase um 10 K von 40 auf 30 C° bewirkt eine Steigerung des Kesselwirkungsgrades von 100% auf 104%. Dadurch beträgt die angenommene Verbesserung knapp 4 %.

7.4 Mettlenstrasse, Oberbipp

Feuerung	Kondensierende Pelletfeuerung 2018
Leistung	14 kW
Brennstoff	Pellet
Anlage	Heizung, Warmwasser, Speicher, Solarenergie
Abgasanlage	Duchmesser 130 mm, Höhe 10 m

Staub

In der Tab. 7.4.1. sind die Feinstaubemissionen ersichtlich.

		Start	Leistungsphase	Ausbrand	Total Abbrand
Datum ↓	Dauer →	15 '	4 h	12 '	4.45 h
1	17.11.20	5.3	1.0	2.1	1.3
2	27.11.20	1.6	0.1	1.0	0.2
3	07.12.20	0.8	0.0	2.0	0.1
4	21.12.20	5.3	0.0	6.9	0.6
Mittel		3.2	0.3	3.0	0.6
Alle Werte in mg/nm ³ @13 O ₂ rot = hochgerechnet					

TAB. 7.4.1. Normierte Partikelemissionen in den diversen Feuerungsphasen in mg/nm³ bezogen auf 13% O₂.

Bemerkungen zu den Messresultaten:

- Der Durchschnitt aller Messungen beträgt 0.6 mg/nm³@13Vol%O₂.
- Für kondensierende Pelletkessel scheint eine NOSMOG-Box-Variante die ideale Lösung um eine Biomassefeuerungsanlage praktisch partikelfrei zu betreiben. Die Resultate übertreffen unsere Erwartungen bei weitem.
- Alle Partikelmessungen weisen Werte unter 10 mg/nm³@13Vol%O₂ aus.
- Für die Feuerungsphasen, für die keine Messungen vorhanden sind, werden die Partikelemissionen (rot markiert) aus dem Durchschnittswert von vorhandenen Messungen errechnet (Siehe Kap 6.6)
- Ohne Elektroabscheider wurden Werte zwischen 19 und 28 mg/nm³@13Vol%O₂ gemessen.

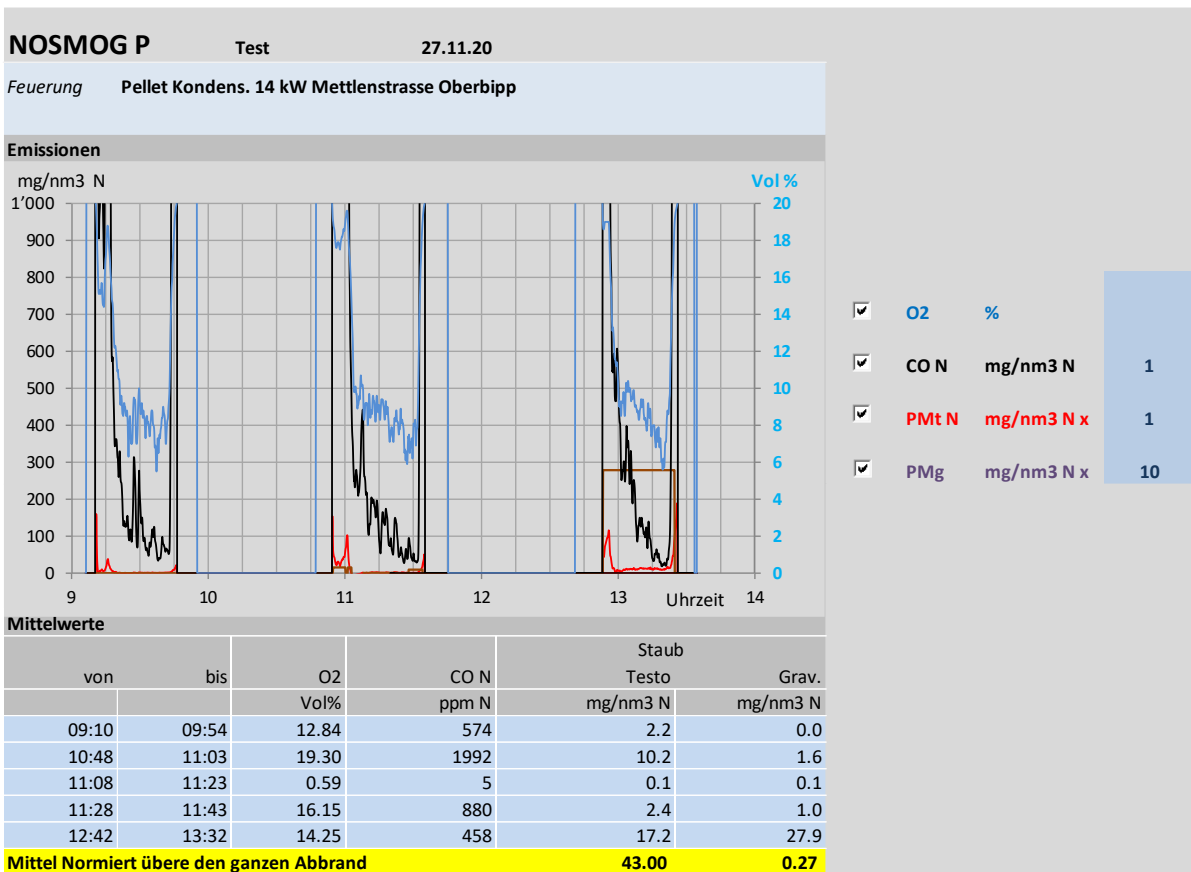


ABB. 7.4.1. Der Pelletkessel wurde 3 Mal neu gestartet. Ohne Elektroabscheider im letzten Lauf.

Die Messungen wurden bei drei ähnlichen Betriebszyklen durchgeführt.

Die Messung von 9:10-9:54Uhr weist einen Partikelwert von 0.0 mg/nm³@13Vol%O₂ auf. Die Wiederholung um 12:42-13:32 Uhr mit einem Partikelwert vom 27.9 mg/nm³ N13 wurde dann mit abgeschaltetem Elektroabscheider durchgeführt. Dies Zahlen zeigen die Grössenordnung der Verbesserung durch den Elektroabscheider.

Energie

Diese NOSMOG-Variante reduziert nur die Partikelemission, eine zusätzliche Energiegewinnung ist nicht möglich

7.5 Hammerstrasse, Basel

Feuerung	Stückholzfeuerung 2009
Leistung	45 kW
Brennstoff	Restholz, Bricket
Anlage	Heizung, Speicher
Abgasanlage	Duchmesser 200 mm, Höhe 9 m
NOSMOG J (Jet)	mit Wasserstrahlspühlung, Abscheider vor Abgasanlage

Staub

In der Tab. 7.5.1. sind die Feinstaubemissionen ersichtlich.

		Start	Leistungsphase	Ausbrand	Total Abbrand
	Datum ↓ Dauer →	15 '	4 h	45 '	5 h
1	12.04.19 *	64.8	3.9	10.8	8.0
2	11.12.20	64.8	0.8	10.8	5.5
3	15.12.20	39.0	3.9	9.8	6.5
4	17.12.20	114.8	6.0	13.3	12.6
5	22.12.20	40.5	3.0	9.3	5.8
	Mittel	64.8	3.5	10.8	7.7
Alle Werte in mg/nm ³ @13 O ₂ rot = hochgerechnet					

TAB. 7.5.1. Normierte Partikelemissionen in den diversen Feuerungsphasen in mg/nm³ bezogen auf 13% O₂.

* Die Messung 1 wurde vom Amt für Lufthygiene Beider Basel durchgeführt. Gemessen wurde nur in der Leistungsphase. Start- und Endphase sind aus den anderen Messungen hochgerechnet.

Bemerkungen zu den Messresultaten:

- Der Durchschnitt aller Messungen beträgt 7.7 mg/nm³ @13Vol%O₂
- 4 der 5 Messreihen weisen einen Partikelwert von unter 10 mg/nm³@13Vol%O₂ aus.
- NOSMOG Jet eignet sich somit auch für besondere Feuerungen (1-Meter-Spälten) und spezielle Brennstoffe Holzspäne-Brickets, Durchmesser=60 mm).
- Für die Feuerungsphasen, für die keine Messungen vorhanden sind, werden die Partikelemissionen (rot markiert) aus dem Durchschnittswert von vorhandenen Messungen errechnet (Siehe Kap 6.6)

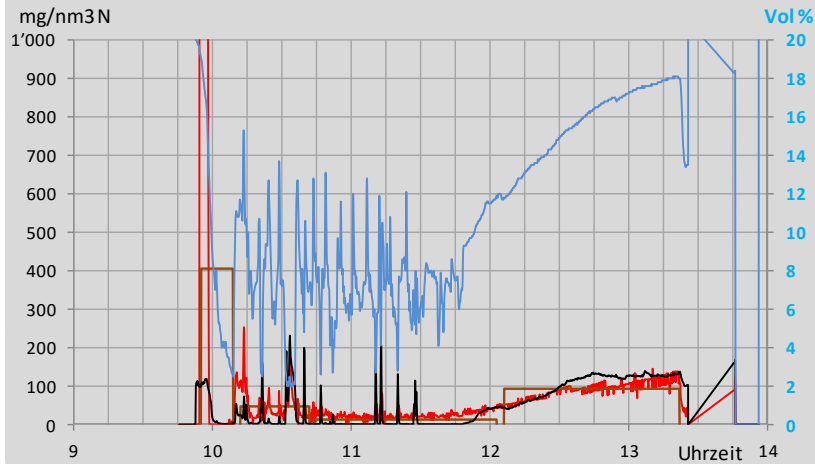
NOSMOG P

Test

22.12.20

Feuerung Stückholz 45 kW Restholz Hammerstrasse Basel

Emissionen



<input checked="" type="checkbox"/>	O2	%	
<input checked="" type="checkbox"/>	CO N	mg/nm3 N	0.01
<input checked="" type="checkbox"/>	PMt N	mg/nm3 N x	10
<input checked="" type="checkbox"/>	PMg	mg/nm3 N x	10

Mittelwerte

von	bis	O2 Vol%	CO N ppm N	Staub	
				Testo mg/nm3 N	Grav. mg/nm3 N
09:54	10:09	9.27	1717	9.8	40.5
10:12	10:42	7.46	3929	8.1	4.7
10:44	12:03	7.75	1061	4.3	1.3
12:06	13:22	15.76	6247	5.8	9.3
Mittel Normiert übere den ganzen Abbrand				3.0	5.8

ABB. 7.5.1. Auch bei grossen Schwankungen des CO-Verlaufs bleiben die Partikelemissionen tief.

Energie

Diese NOSMOG-Jet-Variante reduziert nur die Partikelemission, eine zusätzliche Energiegewinnung ist nicht möglich

8 Schlussfolgerungen

8.1 Staubreduktion

Das Projektziel, mit dem System NOSMOG die Staubemission unter $10 \text{ mg/nm}^3@13\%O_2$ zu senken ist erreicht. Damit werden die gesetzlich maximal zulässigen Grenzwerte auch über den gesamten Abbrand deutlich unterschritten.

In der TAB 8.1.1. sind die Mittelwerte aller Messungen pro Anlage ersichtlich. Die Berechnung der Mittelwerte ist im Kap. 6.6 beschrieben.

Die Tabelle lässt die folgenden Feststellungen zu:

- Die erhobenen Durchschnittswerte bei allen Anlagen liegen zwischen 0.6 und 7.7 $\text{mg/nm}^3@13\%O_2$, also deutlich unter unserem Projektziel von $10 \text{ mg/nm}^3@13\%O_2$.
- Der Mittelwert der stationären Leistungsphase ist bei allen Anlagen kleiner als der Projektzielwert von $10 \text{ mg/nm}^3@13\%O_2$. Von allen Messungen in dieser Phase (37) liegen nur 4 mit 10 und $15 \text{ mg/nm}^3@13\%O_2$ leicht drüber.
- In der Ausbrandphase liegen die Durchschnitts-Werte zwischen 3 und 16.7 $\text{mg/nm}^3@13\%O_2$.
- In der Startphase wurden bei den Stückholz-Feuerungen höhere Partikelemissionen gemessen, die zum Teil auch auf einen temporären Ausfall des Elektroabscheiders zurückzuführen sind. In allen Fällen dauert die Startphase nicht länger als 15' und belastet daher nur begrenzt den Durchschnittswert über den ganzen Abbrand.
- Im Anhang A sind alle Messresultate in Detail zu sehen. Die durchschnittlichen Werte von Kohlenmonoxid (CO) und Partikel zeigen keine Korrelation.
- Die vom Testo-Messgerät ermittelten Werte sind zum Teil weit entfernt von denen aus den gravimetrischen Messungen und wurden daher nicht separat ausgewertet und lediglich als Indikation genutzt.

	Start	Betrieb	Ausbrand	Total Abbrand
Dauer ->	15'	3.5h bis 4h	12' bis 60'	4.5h bis 5.25h
NOSMOG-W Stückholz 40 kW	55.7	2.5	12.1	7.0
NOSMOG-W Stückholz 45 kW	26.1	4.2	16.7	7.6
NOSMOG-A Pellet 18 kW Kondens.	13.5	5.8	14.6	6.7
NOSMOG-BOX Pellet 14 kW Kondens.	3.2	0.3	3.0	0.6
NOSMOG-J Restholzbricket 45 kW	64.8	3.5	10.8	7.7
Alle Werte in $\text{mg/nm}^3@13 O_2$				

TAB. 8.1.1 : Gesamtergebnisse der Staubmessungen pro Anlage.

8.2 Energie

Das Projektziel (5 – 20% Energiegewinnung) ist knapp erreicht.

Der Anteil an Energiegewinnung liegt bei NOSMOG-W-Anlagen knapp über 5%, bei den kondensierenden Pelletkesseln mit NOSMOG-A knapp darunter (Schätzung).

Die Energiegewinnung ist daher gering und bildet allein keinen Anreiz für die Installation einer NOSMOG-Anlage. Das ist auf die tiefere Abgastemperaturen der gemessenen Feuerungen zurückzuführen.

8.3 Wirtschaftlichkeit

In der TAB. 8.3.1. sind die aktuellen Kosten (ohne MWST) für den Einbau der verschiedenen NOSMOG-Systeme -Water, -Air, -Box und -Jet ersichtlich.

Die Installation von NOSMOG-W bedeutet eine Kaminsanierung. Die in der Tabelle eingetragenen Kosten sind als Mehrkosten zu verstehen. Daher kommt NOSMOG-W aktuell nur in Zusammenhang mit einer bevorstehenden Kaminsanierung in Frage oder wenn massive lufthygienische Probleme (z.B. für die Nachbarschaft) auftreten. Ansonsten ist die Installation zu teuer. Die Energiegewinnung ist zu gering, um den Kostenaufwand zu rechtfertigen.

Die günstigste Lösung mit grosser Wirkung betrifft kondensierende Pellet- Kessel mit NOSMOG-B.

Für nichtkondensierende Kessel steht NOSMOG-J zur Verfügung, mit händischer oder automatischer Wasserspülung.

	Komponenten	Arbeit	Total
NOSMOG-W	4'500	1'000-3'000	5'500-7'500
NOSMOG-A/B	1'500	1000-2000	2'500-3'500
NOSMOG-J	1'800	2'000-3000	3'800-4'800

TAB. 8.3.1. Kosten für die Installation von NOSMOG Water, Air/Box und Jet. Die Kosten für NOSMOG-W beinhalten auch die hydraulischen Komponenten und Installationsarbeit und sind als Mehrkosten gegenüber eine Kaminsanierung zu verstehen.

9 Ausblick

Die Auswertung zeigt, dass das NOSMOG-System auch bei realen Anlagen und in der alltäglichen Nutzung die Staubemissionen bis auf Werte unter $10 \text{ mg/nm}^3@13\%O_2$ über den ganzen Abbrand gerechnet reduzieren kann.

In kondensierenden Pelletfeuerungen sind sogar Werte unter $1 \text{ mg/nm}^3@13\%O_2$ zu erreichen.

Mit dem NOSMOG-System kann die Holzfeuerung mit gutem Gewissen und emissionsfrei eingesetzt werden. Das gilt für alle Heizkessel mit händischer wie automatischer Beschickung mit Holzbrennstoffen (Stückholz, Holz-Pellet, Holzschnitzel).

Für bestehende Holzfeuerungen bis 70 kW bildet NOSMOG eine heute umsetzbare Perspektive zum staubminimierten Betrieb.

Die relativ geringe Energiegewinnung von 5% durch die Abgaskühlung mit dem Kaminwärmetauscher ist kein Anreiz, die Investition in ein NOSMOG-System zu tätigen.

Die momentan gültigen Partikel-Grenzwerte von 50 (Pelletfeuerung) oder 100 (Stückholzkessel) $\text{mg/nm}^3@13\%O_2$ (nur in der Leistungssphase gemessen) setzen keine Anreize für potentielle Sanierungskandidaten.

Ein Förderprogramm für Elektroabscheider könnte jedoch den Markt für diese Produkte anschieben. Die Autoren sehen bereits durch eine Förderung mit z. B. Fr 1'500 pro installierten Abscheider positive Effekte auf die Anzahl installierte Geräte.

Die Messungen haben ausserdem gezeigt, dass vor allem die Anfeuerphase von Stückholzkesseln mit verbesserter Regeltechnik eine zusätzliche Emissionsreduktion bewirken kann.

Für Einzelraumfeuerungen (Speicher- und Cheminée-Öfen) ist noch keine wirtschaftliche Lösung in Sicht.

Anhang A: Tabelle allen Messungen

NOSMOG Pilot										
Anlage	Datum	Start	Ende	O2 Vol%	CO ppm	Testo mg/nm3 N	Grav mg/nm3 N		Bemerkungen	
Blüemlisalp	30.5.19	14:41	14:55	19.3	7'679	53.3	98.8	SO	Startphase Filter aus	
		14:58	15:24	10.7	2'780	2.6	5.1	B		
		15:40	16:10	4.9	1'246	5.9	15.1	B2		
		16:32	16:47	5.7	476	22.2	35.5	EO		Ohne Filter
		Ganzer Abbrand						12.2		12.4
17.11.20		14:33	14:46	13.9	6'409	4.7	35.5	S	Startphase	
		14:49	15:19	5.8	425	1.8	0.9	B		
		15:48	16:35	14.5	5'552	5.5	11.0	E		
		Ganzer Abbrand						7.0		2.0
26.11.20		11:45	12:00	11.6	2'890	14.6	27.4	S	Startphase	
		12:03	12:33	4.0	1'112	9.9	0.5	B		
		12:36	13:06	4.7	1'114	8.1	0.4	B2		
		Ganzer Abbrand						2.0		3.3
3.12.20		12:07	12:14	15.1	5'946	140.5	141.4	S	Startphase Holzmenge 24 kg, Filter aus	
		12:21	12:51	4.9	117	1.2	0.4	B		
		13:11	14:11	13.9	4'252	7.4	20.2	E		
		Ganzer Abbrand						9.0		11.6
14.12.20		10:31	10:46	7.3	2'214	7.0	18.5	S	Verbesserte Filterhaltu, Kamin gereinigtng mit Teflonschlauch	
		10:49	11:19	4.5	89	1.2	0.2	B		
		11:23	11:59	8.1	571	1.3	0.7	B2		
		12:03	12:35	15.6	5'289	3.5	5.2	E		
		Ganzer Abbrand						3.0		2.2

SO: Start ohne ESP; S: Start; BO: Leistungsphase ohne ESP; B, B2, B3: Leistungsphase; EO: Abbrand ohne ESP; E: Abbrand

NOSMOG Pilot										
Anlage	Datum	Start	Ende	O2 Vol%	CO ppm	Testo mg/nm3 N	Grav mg/nm3 N		Bemerkungen	
Erzenberg	19.11.20	10:52	11:11	16.8	1'733		62.4	S	Startphase Abscheide 25 kV Luftbögen Elektro beobachtet beim Anschluss	
		11:13	11:43	5.1	189		4.7	B		
		11:46	12:45	6.4	12		10.0	B2		
			12:56	13:57	7.7	763		26.0	E	Abbrand
			00:00	00:00						
			Ganzer Abbrand				9.0	13.5		
	23.11.20	10:05	10:20	15.1	1'683		11.8	S	Startphase	
		10:22	10:51	6.8	66	1.2	11.3	B		
		10:56	11:26	7.7	13	3.0	10.1	B2		
			11:32	11:52	7.3	39		23.2	E	Abbrand
			00:00	00:00						
			Ganzer Abbrand				1.7	13.2		
	4.12.20	10:22	10:37	14.7	4'289	3.4	4.2	S	Abscheider 26 kV neue Konstruktion Isolator beim Teflon gereinigt gereinigt 27.4 kg Holz	
		10:43	11:03	10.2	231	3.6	0.9	B		
		12:20	13:47	14.6	4'569	4.4	0.8	E		
			Ganzer Abbrand				4.2	1.0		
	10.12.20	09:52	10:09	14.1	1'605	74.4	91.5	SO	Start ohne ESP	
		10:14	10:34	13.8	2'038	67.4	80.4	BO		ohne ESP
			10:48	11:18	11.5	861	3.6	2.0	B	
			Ganzer Abbrand				43.0	5.9		
	18.12.20	10:00	10:30	7.8	20	2.9	0.2	B		
		10:36	11:06	7.9	37	11.2	20.7	BO		
			Ganzer Abbrand				7.0	4.6		

SO: Start ohne ESP; S: Start; BO: Leistungsphase ohne ESP; B, B2, B3: Leistungsphase; EO: Abbrand ohne ESP; E: Abbrand

NOSMOG Pilot										
Anlage	Datum	Start	Ende	O2 Vol%	CO ppm	Testo mg/nm3 N	Grav mg/nm3 N		Bemerkungen	
Mühlenstettenweg	30.5.19	09:48	09:59	13.0			10.5	S	O2 geschätzt Messgerät Panne	
		10:02	10:32	9.8	55	3.8	4.3	B		
		10:59	11:27	11.1	69	16.2	20.0	BO	Ohne Abscheider	
		Ganzer Abbrand					9.0	5.1		
	20.11.20	11:31	12:34	11.6	116	10.2	9.0	B		
	-	Ganzer Abbrand					9.0	9.0		
	24.11.20	09:24	09:54	12.5	17	27.3	14.1	BO	Ohne Abscheider	
		10:52	11:22	9.6	6	3.5	0.6	B		
		Ganzer Abbrand					43.0	2.0		
	8.12.20	09:42	09:57	14.5	0	5.6	18.4	S		
		10:15	10:45	9.6	0	8.3	9.5	B		
		10:49	11:19	9.9	0	23.7	29.1	BO	Ohne Abscheider	
		11:26	11:38	15.4	0	12.1	12.1	BO2	Ohne Abscheider	
	-	Ganzer Abbrand					43.0	10.3		
	21.12.20	09:05	09:15	16.8	1'251	6.9	15.4	S		
		09:18	09:59	9.5	25	9.5	15.7	BO		
		10:02	10:08	11.3	143	12.2	20.1	E		
		Ganzer Abbrand					43.0	7.0		

SO: Start ohne ESP; S: Start; BO: Leistungsphase ohne ESP; B, B2, B3: Leistungsphase; EO: Abbrand ohne ESP; E: Abbrand

NOSMOG Pilot									
Anlage	Datum	Start	Ende	O2 Vol%	CO ppm	Testo mg/nm3 N	Grav mg/nm3 N		Bemerkungen
Mettlenstrasse	17.11.20	09:52	10:58	8.8	176	1.8	1.0	B	
		11:00	11:30	19.6	3'978	0.0	2.1	E	
		Ganzer Abbrand				43.0	1.3		
	27.11.20	09:10	09:54	12.8	574	2.2	0.0		
		10:48	11:03	19.3	1'992	10.2	1.6	S	
		11:08	11:23	0.6	5	0.1	0.1	B	
		11:28	11:43	16.2	880	2.4	1.0	E	
		12:42	13:32	14.3	458	17.2	27.9	AO	Ohne Abscheider
		Ganzer Abbrand				43.0	0.2		
	7.12.20	09:34	09:49	13.3	770	2.6	0.8	S	
		09:56	10:26	8.1	66	2.7	-0.1	B	
		10:31	11:01	8.7	99	15.0	19.4	BO	Ohne Abscheider
		11:06	11:11	13.2	472	2.9	2.0	E	
		Ganzer Abbrand				2.7	0.1		
	21.12.20	13:10	13:25	15.4	913	3.1	5.3	S	
		13:28	13:58	8.7	75	3.2	0.0	B	
		14:01	14:07	11.7	396	4.0	6.9	E	
		Ganzer Abbrand				2.7	0.6		

SO: Start ohne ESP; S: Start; BO: Leistungsphase ohne ESP; B, B2, B3: Leistungsphase; EO: Abbrand ohne ESP; E: Abbrand

NOSMOG Pilot										
Anlage	Datum	Start	Ende	O2 Vol%	CO ppm	Testo mg/nm3 N	Grav mg/nm3 N		Bemerkungen	
Hammerstrasse	12.4.19	10:00	10:15	9.5	600		18.0	S		
		10:21	10:36	6.5	392		3.6	B		
		10:41	10:56	6.7	285		3.7	B2		
		11:01	11:56	6.0	892		4.8	B3		
		11:21	11:36	6.3	202		2.4	B		
		11:41	11:56	6.0	534		5.2	B		
		Ganzer Abbrand					0.0	8.0		
	11.12.20	09:20	09:35	13.1	6'751	46.4	49.9	SO		
	09:41	10:13	11.0	1'361		1.1	B	O2 hochgerechnet (kurzer Ausfall)		
	10:18	10:48	5.8	415	2.8	1.0	B2			
	10:55	11:18	5.8	253	2.0	0.2	B3			
	Ganzer Abbrand					0.0	5.5			
15.12.20	09:15	09:45	10.4	1'479	7.9	39.0	S			
	09:49	10:47	6.4	1'474	6.8	3.3	B			
	11:41	12:25	6.6	1'286	3.4	4.4	B2			
	12:33	13:42	15.1	3'721	6.7	9.8	E			
	Ganzer Abbrand					5.6	6.5			
17.12.20	10:10	10:25	12.9	6'917	19.5	114.8	S			
	10:28	10:58	7.5	64		13.7	B			
	11:19	11:50	7.3	18	2.8	1.0	B2			
	11:59	12:41	7.5	577	3.5	3.3	B3			
	12:45	13:42	16.4	8'064	3.8	13.3	E			
	Ganzer Abbrand					0.0	12.6			
22.12.20	09:54	10:09	9.3	1'717	9.8	40.5	S			
	10:12	10:42	7.5	3'929		4.7	B			
	10:44	12:03	7.8	1'061	4.3	1.3	B2			
	12:06	13:22	15.8	6'247	5.8	9.3	E			
	Ganzer Abbrand					3.0	5.8			

SO: Start ohne ESP; S: Start; BO: Leistungsphase ohne ESP; B, B2, B3: Leistungsphase; EO: Abbrand ohne ESP; E: Abbrand