

Betriebs-Beurteilung für automatische Holzfeuerungen: Verfahren zur Durchführung und Auswertung von Langzeitmessungen

Langzeitmessungen für automatische Holzfeuerungen

Zum Vollzug der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) bei automatischen Holzfeuerungen werden Abnahme- und Kontrollmessungen durchgeführt [1]. Damit wird geprüft, ob die Emissionsgrenzwerte bei stationärem Betrieb eingehalten werden [2]. Um auch im Praxisbetrieb niedrige Schadstoffemissionen zu gewährleisten, setzen einzelne Kantone zudem Messungen über drei Tage ein, die als Langzeitmessungen bezeichnet werden. Im Auftrag des Bundesamts für Energie sowie der Kantone Graubünden, Luzern, St. Gallen und Zürich wurde ein Verfahren zur Durchführung und Auswertung solcher Messungen entwickelt [3].

Thomas Nussbaumer, Adrian Lauber *

Die hier vorgestellte Methode ermöglicht eine rasche Beurteilung des Betriebs einer automatischen Holzfeuerung und dient als Grundlage für eine einheitliche Anwendung. Sie basiert auf der Messung des Gehalts an Kohlenmonoxid (CO) und Sauerstoff (O₂) im Abgas und deren Bewertung anhand von definierten Kriterien sowie optional einer Messung der gasförmigen organischen Verbindungen (VOC). Erfasst werden der Heizbetrieb und das Verhalten beim An- und Abfahren. Für Anlagen mit Feinstaubabscheider wird zusätzlich deren Verfügbarkeit bestimmt.

Anhand einer Tabelle oder eines Sets von Grafiken wird das Betriebsverhalten einer Anlage anschaulich beschrieben. Bei Anlagen, welche die Anforderungen nicht erfüllen, unterstützt die Auswertung die Suche nach den Ursachen für den ungünstigen Betrieb.

1 Ausgangslage

Bei sachgemäsem Betrieb und im stationären Zustand erzielen automatische Holzfeuerungen eine nahezu vollständige Verbrennung mit niedrigen Emissionen an CO und VOC sowie an Russ und organischem Staub. Das Abgas enthält

dann noch anorganischen Staub, der in Feinstaubabscheidern abgeschieden wird. Im Praxisbetrieb können jedoch Situationen mit tiefen Temperaturen oder Luftmangel auftreten, welche erhöhte Emissionen verursachen oder die Feinstaubabscheidung beeinträchtigen. Häufige Ursachen dafür sind das An- und Abfahren, ein Betrieb bei Schwachlast oder ungeeignete Einstellungen der Feuerung. Wenn viele Anlagen unsachgemäß betrieben werden, beeinträchtigt dies die Massnahmen zur Luftreinhaltung. Daneben kann aber auch eine einzelne Anlage als Folge von erhöhten Emissionen lokale Geruchsprobleme und Nachbarschaftsklagen verursachen. Da solche Zustände in der Regel mit erhöhten CO-Emissionen verbunden sind, dient der CO-Gehalt im Abgas als einfach messbarer Indikator für den Verbrennungszustand. →



▲ Autor Thomas Nussbaumer blickt in den Feuerraum einer automatischen Holzfeuerung.

Heizraum: rechts Holzfeuerung, links Elektroabscheider.

2 Methode

Zur Beurteilung des Anlagenbetriebs werden unterschiedliche Betriebszustände für die Feuerung und den Feinstaubabscheider definiert, die anhand der aufgezeichneten Messdaten je einzeln beurteilt werden. Die für eine automatisierte Auswertung notwendigen Definitionen der Betriebszustände sind in [3] beschrieben und basieren auf der folgenden, in Bild 1 dargestellten Unterteilung:

- Für den Feuerungsbetrieb wird anhand des Sauerstoffgehalts im Abgas und des Abgasvolumenstroms zwischen den Zuständen «Ein» und «Aus» unterschieden. Beim Anfahren gilt die Feuerung bei Unterschreitung eines Sauerstoffgehalts von 18 Vol.-%

als eingeschaltet, sofern ein relevanter Abgasvolumenstrom vorliegt, was zum Beispiel anhand des Zustands des Abgasventilators beurteilt werden kann. Beim Abfahren gilt die Anlage ab einer Überschreitung des Sauerstoffgehalts von 19 Vol.-% oder ab der Abschaltung des Abgasventilators als ausgeschaltet.

- Anhand des momentanen CO-Gehalts und des zeitlichen Verlaufs des Anlagenbetriebs wird identifiziert, wenn sich die Feuerung in einer Anfahr- oder Abfahrphase befindet. Zur Beurteilung der An- und Abfahrvorgänge wird die Dauer der Grenzwertüberschreitung mit dem mittleren CO-Gehalt während dieser Phase bestimmt. Der Zeitraum des Anfahrens wird da-

bei auf eine Stunde und derjenige des Abfahrens auf vier Stunden begrenzt. Ob der Grenzwert überschritten ist oder nicht, wird anhand des auf den Sauerstoff-Bezugswert normierten CO-Gehalts bestimmt. Für das Produkt aus Dauer und CO dient dagegen der nicht normierte CO-Gehalt, da die Normierung bei hohem Sauerstoffgehalt zu einer Überschätzung der Schadstofffrachten führt.

- Zur Bewertung der Verfügbarkeit der Feinstaubabscheidung dient für Elektroabscheider ein Signal der elektrischen Leistung und für Gewebefilter der Druckverlust.

Um den Anlagenbetrieb zu beurteilen, werden insgesamt fünf Kriterien definiert, wie in Tabelle 1 für ein Beispiel beschrieben ist. Für die Beurteilung wird dabei zwischen Anlagen ohne und mit Feinstaubabscheider unterschieden: Für Anlagen ohne Abscheider kommt Kriterium 1 zur Anwendung, das den zeitlichen Anteil der Überschreitung des CO-Grenzwerts bewertet.

Für Anlagen mit Abscheider wird dieses Kriterium so ergänzt, dass es als Kriterium 2 zur Anwendung kommt und mit dem Kriterium 3 zur Verfügbarkeit des Feinstaubabscheiders ergänzt wird. Das Kriterium 4 bewertet das Anfahren und das Kriterium 5 das Abfahren, weshalb diese zwei Kriterien für alle Anlagen zur Anwendung kommen.

Die Auswertung erfolgt in der Regel mit Nachweis des Betriebs an drei aufeinanderfolgenden Messperioden von je 24 Stunden, die im Beispiel in Tabelle 1 vereinfachend als Tag 1, 2 und 3 bezeichnet sind.

Um die Resultate zu visualisieren und verschiedene Betriebszustände zu vergleichen, werden die Resultate zusätzlich grafisch dargestellt. Bild 2 zeigt dazu die Auswertung des in Tabelle 1 eingeführten Beispiels in einem Set von fünf Diagrammen, in dem jedes Diagramm einem Kriterium entspricht.

3 Messtechnik

Zur Anwendung der Methode werden die Konzentrationen an CO und Sauerstoff im Abgas gemessen und im Bedarfsfall durch eine VOC-Messung ergänzt. Zudem werden ein Zustandssignal oder die Drehzahl des Primärluft- und des Abgasventilators erfasst. Dazu können Stromzangen verwendet werden, die eine berührungslose Überwachung ohne Eingriff in die Steuerung ermöglichen. Mit diesen Informationen werden die mo-

| Kriterium | Anforderung | Tag 1 | Tag 2 | Tag 3 | Gesamtbeurteilung | |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------------------|---|
| Hilfsgrößen | | | | | | |
| Betriebszyklen in [#] pro 24 h | | 1 | 2 | 2 | | |
| mittlere Tagesheizlast nach QMH-Leitfaden Tabelle 20 | | 50% | | | | |
| Kriterium 1 CO EGV-Überschreitung pro 24 h während des Feuerungsbetriebs | | | | | | |
| Feuerungsbetriebszeit in [h] pro 24 h | | 16 | 16 | 16 | | |
| EGW-Überschreitung in [h] pro 24 h | | 3 | 3 | 6 | | |
| EGW-Überschreitung | < 20 % | 19% | 19% | 38% | | |
| Beurteilung | | + | + | - | - | |
| Kriterium 2 CO-Mittelwert pro 24 h während des Feuerungsbetriebs | | | | | | |
| CO-Mittelwert in [mg/m ³] bei 13 Vol.-% O ₂ | < EGV | 500 | 500 | 750 | | |
| Beurteilung | | + | + | - | - | |
| Kriterium 3 Betrieb Feinstaubabscheider pro 24 h während des Feuerungsbetriebs | | | | | | |
| Ausfallzeit in Minuten | < 60 | 45 | 90 | 90 | | |
| Verfügbarkeit | k.A. | 95% | 91% | 91% | | |
| Beurteilung | | + | - | - | - | |
| Kriterium 4 CO-Emissionen während des Anfahrens | | | | | | |
| a) Erfüllungsgrad pro 24 h | > 66 % | 0 | 100% | 0 | | |
| b) Erfüllungsgrad Total | > 66 % | 33% | | | | |
| Beurteilung (a und b) | | - | | | - | |
| Kriterium 5 CO-Emissionen während des Abfahrens | | | | | | |
| a) Erfüllungsgrad pro 24 h | > 66 % | 0 | 100% | 0 | | |
| b) Erfüllungsgrad Total | > 66 % | 33% | | | | |
| Beurteilung (a und b) | | - | | | - | |
| Gesamtbeurteilung | | | | | | |
| Erfüllungsgrad Total | | | | | | - |

Tabelle 1: Beispiel zur Beurteilung des Anlagenbetriebs anhand der Kriterien 1 bis 5. Für Anlagen ohne Feinstaubabscheider kommen die Kriterien 1, 4 und 5 zur Anwendung, für Anlagen mit Feinstaubabscheider die Kriterien 2 bis 5. EGV = Emissionsgrenzwert, k.A. = keine Anforderung, ++ hohe Qualität, + erfüllt, - nicht erfüllt.

mentane Feuerungswärmeleistung abgeschätzt und der Betriebszustand der Feuerung beurteilt.

Die Überwachung der Feinstaubabscheidung erfolgt für Elektroabscheider

über den Stromverbrauch des Hochspannungs-Netzgeräts, der mittels Stromzange erfasst wird [4]. Bei Gewebefiltern kommt dagegen eine Differenzdruckmessung über das Filter zum

Einsatz. Mit diesen Daten werden die Verfügbarkeit des Abscheiders während der Messung erfasst und die Dauer der Einschaltverzögerung des Abscheiders beim Anfahren der Feuerung bestimmt.

Als Basisvariante für Langzeitmessungen kommen Emissionsmessgeräte zum Einsatz, wie sie für Abnahmemessungen an Anlagen über 70 kW verwendet werden [2]. Für eine kostengünstige Beurteilung werden für kurzfristige Messungen ausgelegte, tragbare Abgasmessköpfe eingesetzt, die für Emissionsmessungen an Holzfeuerungen bis 70 kW zugelassen sind [5].

4 Beispiele

Der Einsatz von Langzeitmessungen wurde während zwei Heizperioden an 26 Praxisanlagen getestet und dabei die vorgestellte Methode entwickelt [3]. Die Resultate zu den fünf Kriterien sind in Bild 3 zusammengefasst und zeigen, dass alle Kriterien von mindestens der Hälfte der Anlagen erfüllt wurden. Den niedrigsten Erfüllungsgrad von 50% weist das Kriterium 4 zum Anfahren aus, den höchsten das Abfahren nach Kriterium 5 mit 75%. Für zwei Anlagen kann beispielhaft gezeigt werden, wie die Auswertung zur Identifikation von Verbesserungsmöglichkeiten genutzt werden kann.

Das erste Beispiel in Bild 4 zeigt die Auswertung von zwei Messtagen an einer Altholzfeuerung. Im Diagramm zum Kriterium 5 «Abfahren» rechts unten ist erkennbar, dass das Abfahren an beiden Tagen nicht erfüllt wird. Der blau umrandete Punkt mit erhöhtem CO-Gehalt ist auch im zeitlichen Verlauf im Diagramm links unten erkennbar. Der zeitliche Verlauf von Sauerstoffgehalt, Frequenz des Abgasventilators und Betriebsspannung des Elektroabscheiders lässt erkennen, dass der Abgasventilator und der Elektroabscheider beim Abschalten keine Nachlaufzeit gegenüber der Feuerung aufweisen. Dies ist ein möglicher Grund für das Nichterfüllen des Abfahrkriteriums. Da dieser Mangel durch die Überwachung sofort erkannt wird, können der Anlagenbetrieb durch eine Anpassung der Regelung optimiert und störende Betriebszustände vermieden werden.

Das zweite Beispiel in Bild 5 beschreibt die Auswertung einer automatischen Holzfeuerung, welche zwei Kriterien nicht erfüllt. Einerseits ist wie im ersten Beispiel der CO-Gehalt im Abfahren

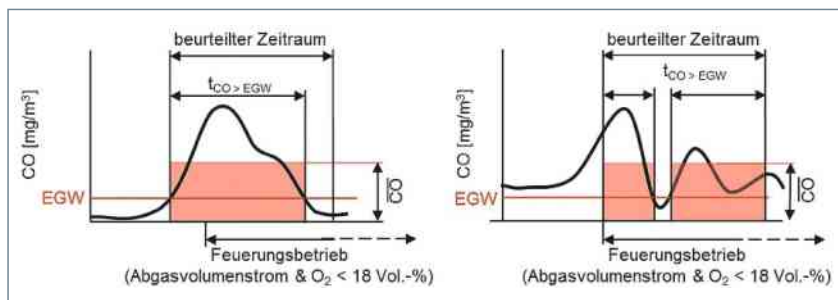


Bild 1: Zeitlicher Verlauf der CO-Emissionen für zwei Beispiele eines Anfahrvorgangs. Links eine Anlage, die einen Scheitelpunkt aufweist, bevor die CO-Konzentration dauerhaft unter den Grenzwert sinkt. Rechts eine Anlage, die bereits vor dem Anfahren hohe CO-Konzentrationen aufweist und bei welcher der CO-Gehalt nicht dauerhaft unter den Grenzwert sinkt.

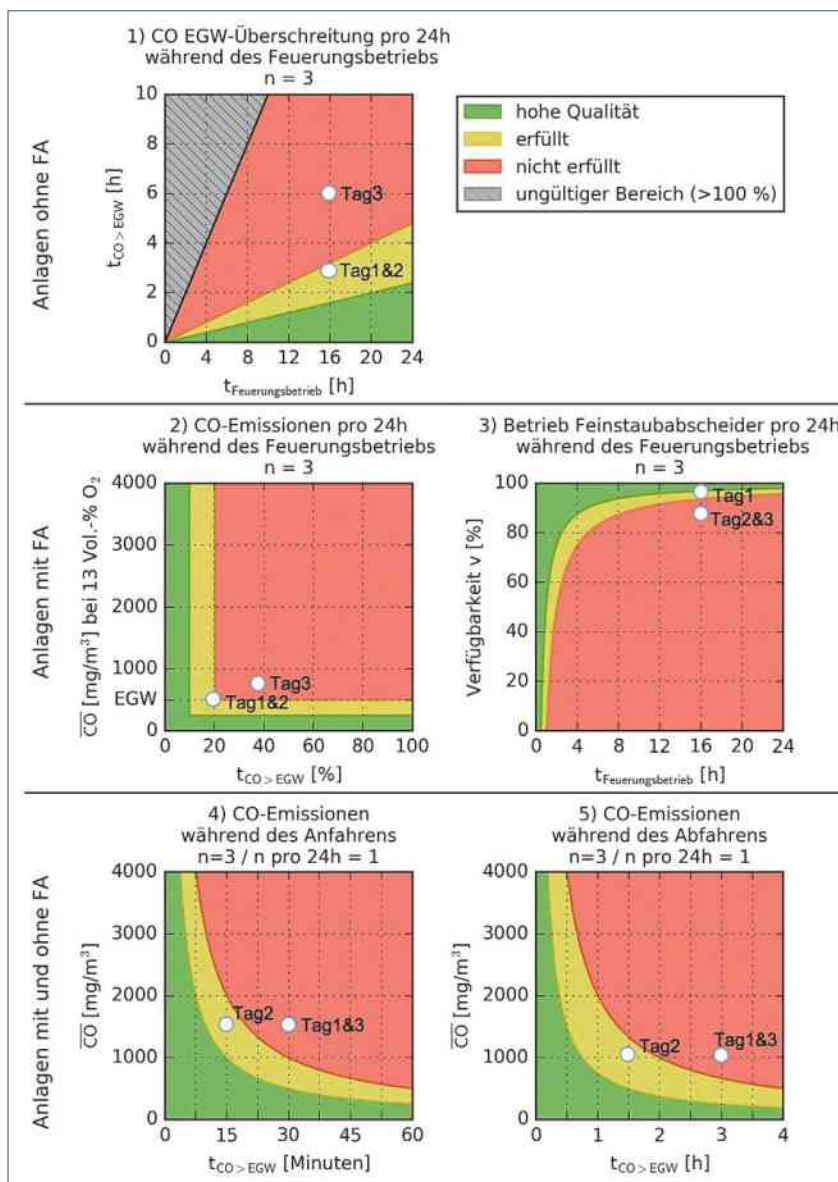


Bild 2: Grafische Beurteilung der CO-Emissionen und der Verfügbarkeit des Feinstaubabscheiders (FA) am Beispiel nach Tabelle 1 mit Messungen an drei Tagen.

überschritten, was auch bei dieser Anlage durch eine Optimierung des Abfahrvorgangs verbessert werden kann. Andererseits ist anhand von Kriterium 3 erkennbar, dass der Elektroabscheider eine unzureichende Verfügbarkeit aufweist. Die Ursache dafür geht aus dem zeitlichen Verlauf des Betriebs von Ab-

gasventilator und Elektroabscheider hervor. Der Elektroabscheider schaltet beim Anfahren der Feuerung jeweils rund 10 bis 12 Minuten nach Start der Feuerung ein, was bei Betriebsphasen der Feuerung von rund einer Stunde zu lediglich rund 80 % Verfügbarkeit führt. Um diese zu erhöhen, kann die Ein-

schaltverzögerung verkürzt werden, sofern dies vom Temperaturverhalten der Anlage zulässig ist. Wenn dies nicht zulässig ist, muss die Temperaturhaltung des Elektroabscheiders verbessert werden oder es müssen die Betriebsphasen der Feuerung verlängert werden.

5 Fazit

Die vorgestellte Methode basiert auf einer Messung von CO und Sauerstoff im Abgas zusammen mit der Erfassung des Betriebszustands der Feuerung und – sofern vorhanden – des Feinstaubabscheiders. Die Methode kann mit hochwertiger oder vereinfachter Messtechnik angewendet werden. Das Betriebsverhalten einer Anlage kann mit einer Auswertung in einem Tabellenkalkulationsprogramm beurteilt und auf einer Seite als Tabelle oder Grafik dargestellt werden. Für die Bewertung werden fünf Kriterien eingeführt. Drei davon beschreiben die Emissionen im Heizbetrieb sowie während des An- und Abfahrens der Feuerung und kommen für Anlagen ohne Feinstaubabscheider zum Einsatz. Für Feuerungen mit Feinstaubabscheider wird das Kriterium im stationären Betrieb durch ein modifiziertes ersetzt und die Beurteilung durch die Verfügbarkeit des Feinstaubabscheiders ergänzt.

Mit der vorgestellten Methode können der Praxisbetrieb automatischer Holzheizungen beurteilt und Situationen mit erhöhten Emissionen identifiziert werden. Die Methode eignet sich zum Monitoring von Anlagen oder zur Erstbeurteilung in Klagefällen. Für Betreiber und Lieferanten der Anlagen dient sie zudem als Basis für eine Betriebsoptimierung. Beim Praxiseinsatz an rund 20 Anlagen wurde ein Erfüllungsgrad der Kriterien zwischen 50 % und 75 % ermittelt. Dies zeigt einerseits, dass die Kriterien von gut betriebenen Anlagen erreicht werden können. Gleichzeitig zeigt die Nichterfüllung in einigen Fällen auf, dass einzelne Anlagen ein Optimierungspotenzial aufweisen und dass die grafische Auswertung des Betriebsverhaltens die Identifikation der Schwachstellen unterstützen kann. Die Methode wird deshalb seit 2017 von mehreren Kantonen eingesetzt. ■

Verdankung

Die Arbeit entstand mit Unterstützung des Bundesamts für Energie und der Kantone Graubünden, Luzern, St.Gallen und Zürich.

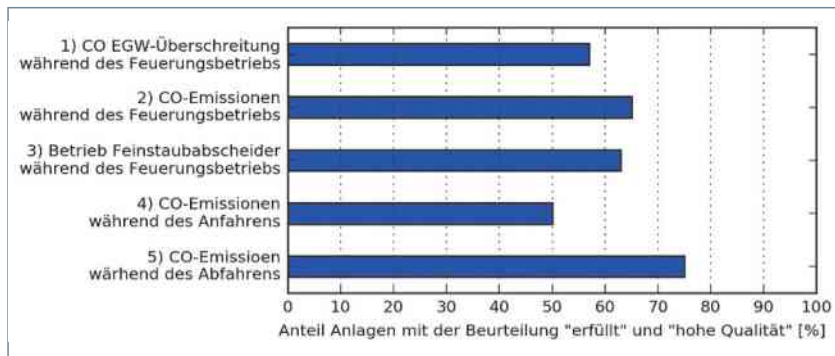


Bild 3: Erfüllungsgrad der Kriterien 1 bis 5 aus Langzeitmessungen an 26 Anlagen [3]. Für die Auswertung wurden nur Messungen berücksichtigt, bei denen eine minimale Tagesheizlast gemäss QM Holzheizwerke [6] erreicht wurde. Die Beurteilung basiert damit je nach Kriterium auf 16 bis 23 Anlagen.

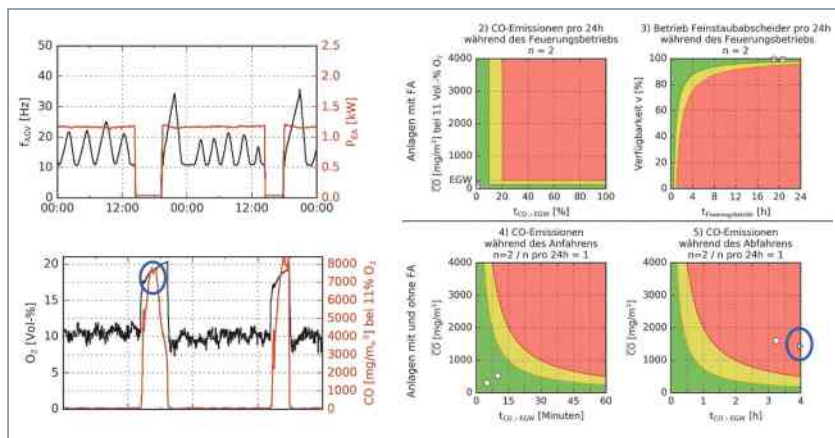


Bild 4 / Beispiel 1: Messungen an einer 360-kW-Altholzfeuerung mit Elektroabscheider. Links: Zeitlicher Verlauf der Frequenz des Abgasventilators und der Leistungsaufnahme des Elektroabscheiders (oben) sowie Sauerstoffgehalt und CO-Gehalt im Abgas (unten) während zwei Messtagen. Rechts: Auswertung der zwei Messtage nach Kriterien 2 bis 5.

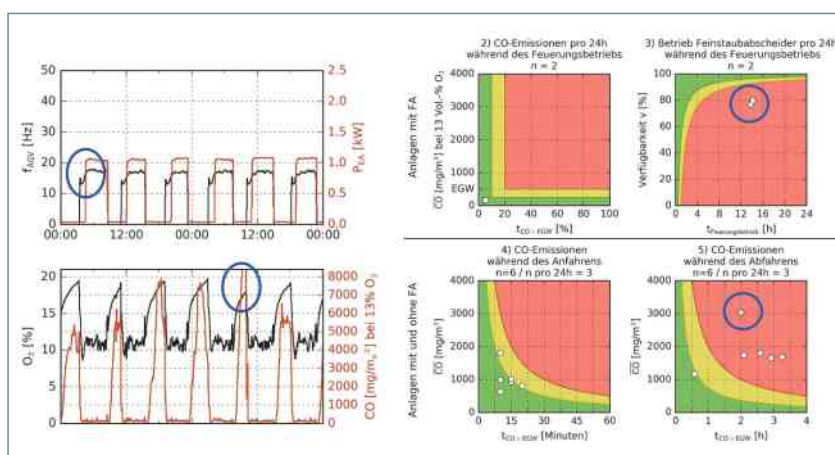


Bild 5 / Beispiel 2: Messungen an einer 550-kW-Feuerung mit Elektroabscheider, die mit Waldhack-schnitzeln betrieben wird.

*** Zu den Autoren:**

Prof. Dr. Thomas Nussbaumer ist Inhaber der Firma Verenum in Zürich (www.verenum.ch) und Professor an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur (www.hslu.ch).

Adrian Lauber, Dipl. Ing. FH, ist Projektleiter zu Elektroabscheidung und Anlagenüberwachung bei Verenum.

Literatur

[1] Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985, Artikel 814.318.142.1

[2] Emissionsmessung bei stationären Anlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern 2013. Umwelt-Vollzug Nr. 1320

[3] Lauber, A.; Good, J.; Nussbaumer, T.: Beurteilung von automatischen Holzfeuerungen mittels Langzeitmessungen im Praxisbetrieb, Bundesamt für Energie, Bern 2016

[4] Lauber, A.; Nussbaumer, T.: Praxiseinsatz und Überwachung von automatischen Holzfeuerungen mit Elektroabscheider, Verenum, Zürich und Bundesamt für Energie, Bern, 18.11.2014, 79 Seiten, ISBN 3-908705-29-0

[5] Verordnung des EJPD über Abgasmessmittel für Feuerungsanlagen (VAMF). Beschluss vom 22. April 2011, Stand am 1. Januar 2013, SR 941.210

[6] QM Holzheizwerke: FAQ 38 vom 10.2.16, Stand am 28.6.16, www.qmholzheizwerke.ch, 16.9.16



Aufbau der vereinfachten Abgasmessung.



Abgasmessung im Kamin einer automatischen Holzfeuerung.

S&G Mobile Heizzentrale AG

Tel. 044 923 75 70 · info@mobile-heizzentrale.ch
Esslingerstrasse 25 · 8618 Oetwil am See

UNSERE PRODUKTE IHR VORTEIL

Mobile Heiz- und Warmwasserzentralen → 960 kW



25
Jahre
Erfahrung

Pelletwarmluft → 120 kW

Ölwarmluft → 175 kW



www.mobile-heizzentrale.ch

FAHRER



Foto: Peter Bolliger, Volkstwil



Für schlaue Füchse: Fernwärme nach Mass

Basic-Modul und individuelle Stationen

- Fernwärmestationen von 5 kW - 10 MW
- erstaunlich flexibel, ab Lager lieferbar
- markant günstiger
- kompakt und servicefreundlich

Fahrer AG

Energie-, Mess- und Regeltechnik
Alte Winterthurerstrasse 33
CH-8309 Nürensdorf

Telefon 043 266 20 40
Fax 043 266 20 41

Email info@fahrer.ch, www.fahrer.ch