

Provisorische Messempfehlung für die CO-Messung mit Rauchgascomputer-Messsystemen an Holzfeuerungen bis 70 kW

Version 2.0

Verfasser:
Heinz Jenal, Messtechniker
Luftreinhaltung

Zürich, 16. Juli 2008

Impressum

Herausgeberin

Stadt Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich UGZ
Abteilung Umwelt
Walchestrasse 31
Postfach 3251, 8021 Zürich

Tel. 044 412 28 03
Fax 044 361 10 07
ugz-umwelt@zuerich.ch
www.stadt-zuerich.ch/ugz

Gedruckt auf Recyclingpapier, 100% Altpapier - aus Verantwortung für die Umwelt

Inhaltsverzeichnis

	Seite:
Einführung.....	4
1 Ausgangslage und Zielsetzung	4
2 Vorgehen	5
3 CO-Messung mit Rauchgascomputer-Messsystemen.....	5
3.1 Messgasaufbereitung.....	6
3.2 Rauchgascomputer-Messsystem	6
3.3 Gassammelsackmethode.....	7
3.4 Messunsicherheit.....	7
3.5 Messort.....	9
3.6 Messung an Restholzfeuerungen.....	9
4 Beurteilung von Holzfeuerungen bis 70 kW.....	9
4.1 Stückholzfeuerungen mit oberem Abbrand	10
4.2 Stückholzfeuerungen mit unterem Abbrand	12
4.3 Automatische Feuerungen	13
4.4 Klagenbearbeitung.....	15
4.5 Rauchbildkontrolle	15
5 Kombinierte Holzfeuerungskontrolle an Zentralheizungen bis 70 kW	16
Schlusswort.....	17
Literatur.....	18

Einführung

Die Emissionen von Holzfeuerungen werden vor allem seit den ausgeprägten Inversionslagen vom Winter 2005/2006 thematisiert. Der Feinstaubgrenzwert in der Atemluft wurde damals tagelang massiv überschritten und belegte den offensichtlichen Handlungsbedarf auch bei den Holzfeuerungen. Bereits im Februar 2006 wurde der Aktionsplan Feinstaub des Bundes vorgestellt. Der Aktionsplan enthält unter anderem Massnahmen zur Senkung der Feinstaubemissionen aus Holzfeuerungen. So sind für Feuerungen über 70 kW deutlich strengere Feststoffgrenzwerte vorgeschrieben. Diese lassen sich oft nur mit aufwändigen Entstaubungseinrichtungen einhalten. Neue Holzfeuerungen bis 350 kW werden für den Verkauf nur zugelassen, wenn sie mit den entsprechenden Produktnormen der Europäischen Union konform sind. Zudem müssen sie fortschrittliche lufthygienische Anforderungen erfüllen. Dadurch soll sichergestellt werden, dass nur Holzfeuerungen von hoher Qualität in Verkehr gebracht werden können.

Während Holzfeuerungen über 70 kW im Feld mit Emissionsmessungen überwacht sind, besteht bis 70 kW Nachholbedarf. In einigen Kantonen wurde deshalb die Feuerungskontrolle für Holzfeuerungen bis 70 kW eingeführt. Bei dieser visuellen Kontrolle werden Brennstoff, Asche und der Zustand der Feuerungsanlage überprüft. Damit lässt sich aber nur bedingt das tatsächliche Emissionsverhalten einzelner Anlagen beurteilen. Einzelne Lufthygienefachstellen fordern deshalb schon seit längerem die CO-Emissionen Holz betriebener Zentralheizungen bis 70 kW messtechnisch zu kontrollieren.

Die Messempfehlung des BAFU schreibt für die Emissionsmessung an Holzfeuerungen VDI-Messverfahren vor. Der Einsatz dieser teuren Messsysteme führt zu hohen Messkosten, welche für Betreiber von kleinen Anlagen (bis 70 kW) unverhältnismässig wären. Deshalb wurden bereits in verschiedenen Arbeiten untersucht, ob kostengünstigere Rauchgascomputer-Messsysteme für die Bestimmung von CO-Emissionen bei Holzfeuerungen geeignet sind. Zum Beispiel zeigten Vergleichsmessungen mit VDI-Messgeräten sowie Laborversuche, dass der Rauchgascomputer rbr-ecom-SG^{PLUS} für die CO-Emissionsmessung an Stückholz-, Pellet-, Restholz- und Grünschnitzelfeuerungen eingesetzt werden kann [1].

Die vorliegende „Provisorische Messempfehlung für die CO-Messung mit Rauchgascomputer-Messsystemen an Holzfeuerungen bis 70 kW“ versteht sich als Hilfsmittel für Lufthygienefachstellen bis die BAFU-Messempfehlung überarbeitet ist. Der BAFU-Bericht „Vollzug Luftreinhalte-Verordnung (LRV) für Holzfeuerungen“ [2] von Willi Vock sowie Feldmessungen des UGZ bilden die Grundlagen für die vorliegende Messempfehlung.

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Verschiedene Arbeiten haben sich mit der Optimierung des Emissionsverhaltens von Stückholzfeuerungen bis 70 kW befasst [2], [3]. Darin wurde aufgezeigt, wie solche Holzfeuerungen nach heutigem Wissensstand betrieben werden sollten. Im Vordergrund stand die emissionsarme Anfeuerungs-methode für den oberen und unteren Abbrand. Neben den CO-Emissionen wurden auch die Feststoffemissionen sowie die Korrelation beider Schadstoffe untersucht. Es zeigte sich, dass für CO und

Feststoffe bei den Stückholzfeuerungen eine gewisse Korrelation besteht: Ausser in der Ausbrandphase ist bei hohen CO-Konzentrationen auch mit hohen Feststoffkonzentrationen zu rechnen. Dies lässt den Schluss zu, dass bei den Stückholzfeuerungen das CO als Leitkomponente für die Feststoffe zulässig ist. In der Auswertung entsprechender Messungen entstanden Arbeitsideen, welche Betriebsphasen für eine repräsentative Beurteilung einer Holzfeuerung herangezogen werden müssen. Aus diesen Betriebsphasen liessen sich die entsprechenden Messzeiten ableiten. Diese unter Prüfstandbedingungen erarbeiteten Grundlagen mussten anschliessend im Feld unter den üblichen Praxisbedingungen überprüft und bestätigt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war eine provisorische Messempfehlung für die CO-Messung mit Rauchgascomputer-Messsystemen an Holzfeuerungen bis 70 kW bis die entsprechende BAFU-Messempfehlung verfügbar ist. Die vorliegende Messempfehlung eignet sich für die CO-Messung mit Rauchgascomputer-Messsystemen an Stückholzfeuerungen mit oberem und unterem Abbrand bis 70 kW sowie automatischen Feuerungen bis 70 kW. Mit dem Rauchgascomputer können die Abgase aus der Verbrennung von naturbelassenem Holz und mit Einschränkungen auch jene aus Restholz gemessen werden.

2 Vorgehen

Im Frühjahr 2008 führte der UGZ anlässlich der Holzfeuerungskontrolle bis 70 kW an einem offenen Cheminée, einer automatischen Hackschnitzelfeuerung und vier Stückholz-Zentralheizungen mit unterem Abbrand CO-Messungen mit dem Rauchgascomputers rbr-ecom-SG^{PLUS} durch. Ausser beim offenen Cheminée wurden auf praxisnahe Bedingungen während der Messung geachtet: Die Anlagen wurden ausschliesslich durch den Betreiber und mit der in der Praxis üblichen Sorgfalt bedient. Die verbesserte Anfeuerungsmethode wurde gar nicht oder nur im Ansatz eingesetzt. Mit diesem Vorgehen wurden bei den Stückholzfeuerungen mit unterem Abbrand Hohlbrände provoziert, welche bei den Arbeiten unter Prüfstandbedingungen möglichst vermieden wurden. Die dort entstandenen Arbeitsideen liessen sich auf diesem Weg in der Praxis überprüfen. Beim erwähnten offenen Cheminée wurde untersucht, ob eine offene Feuerstelle den CO-Grenzwert von 4'000 mg/m³ bez. 13 %-vol O₂ einhalten kann und welche Anforderungen Rauchgascomputer bei hohen O₂-Gehalten im Abgas erfüllen müssen. Die Eignung des verwendeten Rauchgascomputers rbr-ecom-SG^{PLUS} für die CO-Messung an Holzfeuerungen wurde mit VDI-Vergleichsmessungen und Laborversuchen belegt [1]. Im Weiteren wird nicht mehr darauf eingegangen. Weiter wurde die Handhabung der Gassammelsackmethode untersucht.

3 CO-Messung mit Rauchgascomputer-Messsystemen

Nachfolgend wird auf die CO-On-line-Messung mit Rauchgascomputern sowie auf die Gassammelsackmethode mit anschliessender CO-Punkt-Messung mittels Rauchgascomputers eingegangen.

3.1 Messgasaufbereitung

Die Messgasaufbereitung ist beim Messen von Holzfeuerungsabgasen von zentraler Bedeutung. Die effiziente Filterung feiner Partikel ist wichtig, um die empfindlichen Sensoren zu schützen. Vor allem bei Stückholzfeuerungen kann der hohe Feststoffanteil im Abgas je nach Betriebsphase zu Problemen bei der Messgasaufbereitung führen. Im Vordergrund steht das Verstopfen der Messgasfilter mit anschliessendem Druckabfall im Messsystem. Einige Hersteller bieten speziell für Holzfeuerungen konzipierte Messgasaufbereitungen an. Diese zeichnen sich durch ein mehrstufiges Filtersystem aus. Nach der Entnahmesonde durchläuft das Abgasgas einen Vorfilter. Hier werden die groben Partikel zurückgehalten. In einer mit entionisiertem Wasser gefüllten Nasswasserstufe mit integriertem Feinfilter oder einer gleichwertigen Reinigungsstufe werden die kleineren Partikel sowie wasserlösliche Stoffe ausgeschieden. Danach wird das Probegas mittels einer Kondensatfalle oder eines Gaskühlers getrocknet. Verschmutzte Filter sind rechtzeitig zu ersetzen, um während der Messung Druckabfälle mit resultierenden Gerätestörungen zu vermeiden. Die im Vergleich zur Öl-Gasfeuerungskontrolle aufwändigere Messgasaufbereitung muss ebenfalls vor der Messung auf Dichtheit geprüft werden.

3.2 Rauchgascomputer-Messsystem

Verschiedene Anbieter haben eigens für die Abgasmessung an Holzfeuerungen entwickelte Rauchgascomputer-Messsysteme auf den Markt gebracht. Diese zeichnen sich durch folgende Punkte aus:

- METAS geprüft und zugelassen für die Abgasmessung an Feuerungsanlagen, die mit Heizöl „extra leicht“ und mit Erdgas betrieben werden (empfohlen). Zurzeit gibt es keine METAS-Prüfung für Rauchgascomputer-Messsysteme für die Abgasmessungen an Holzfeuerungen. Weiter können auch durch den Anwender kalibrierbare Rauchgascomputer-Messsysteme eingesetzt werden (TÜV-Prüfung empfohlen). Solche Messgeräte dürfen nur von speziell geschultem Personal verwendet werden.
- O₂-Bestimmung: Elektrochemischer Sensor mit einer hohen Linearität bis 21 %-vol O₂.
Messunsicherheit: $\pm \leq 0.4$ %-vol (abs.)
- CO-Bestimmung: Elektrochemischer Sensor oder NDIR-Messmethode. Die obere Messbereichsgrenze der CO-Messung sollte bei mindestens 10'000 ppm-vol liegen.
Messunsicherheit für elektrochemischen Sensor: $\pm \leq 10$ % (rel.)
Messunsicherheit für NDIR-Messmethode: $\pm \leq 6$ % (rel.)
- Für eine On-line-Messung müssen die Messwerte in einen Messdatenspeicher abgelegt werden können. Die Messdatenerfassungsrate muss für schnelle Konzentrationsschwankungen geeignet sein. Das Messsignal kann auch über Schnittstellen mit einer externen Datenerfassung aufgezeichnet werden. O₂ [%-vol] und CO [ppm-vol oder mg/m³; unbezogen] müssen einzeln aufgezeichnet werden können. Die anschliessende Normierung auf Bezugssauerstoff erfolgt mit den Mittelwerten und nicht mit den einzelnen Datensätzen einer Messung.

Zur Qualitätssicherung sollten Rauchgascomputer-Messsysteme auch ausserhalb des jährlichen Wartungs-/Eichungsintervalls regelmässig mit geeignetem Prüfgas kontrolliert werden. Spätestens bei Abweichungen ausserhalb der Messunsicherheit müssen die Messsysteme erneut durch eine akkreditierte Servicestelle geeicht werden.

3.3 Gassammelsackmethode

Diese Methode ermöglicht das Sammeln des Abgases in einem Gassammelsack über eine bestimmte Zeit. Anschliessend wird der Inhalt mit einem Rauchgascomputer detektiert. Ein Vorteil dieser Methode besteht darin, dass der Rauchgascomputer durch kurze Beaufschlagung mit Messgas geschont werden kann. Weiter kann direkt der Mittelwert über die gesammelte Zeit gebildet werden und es besteht die Möglichkeit das Probegas nachträglich zu verdünnen. Auch für die Gassammelsackmethode ist eine Messgasaufbereitung nach 3.1 erforderlich. Der Gassammelsack muss luftdicht verschliessbar sein. Vor der Messung muss der Gassammelsack gespült werden. Zu diesem Zweck wird der Gassammelsack mittels einer geeigneten Probenahmepumpe mit unbelasteter Umgebungsluft gefüllt und anschliessend mit derselben wieder vollständig entleert. Dieser Spülvorgang ist ein bis zweimal zu wiederholen. Unmittelbar vor Beginn der Probenahme wird das Totvolumen der Probenahmeeinrichtung für zwei Minuten mit Messgas gespült. Danach wird der Gassammelsack bei laufender Probenahmepumpe an die Probenahmeeinrichtung angeschlossen. Während der gesamten Sammelphase muss auf einen konstanten Probenahmefluss geachtet werden. Ist dieser nicht gewährleistet, kann es infolge schwankender Konzentrationen im Abgas zu Messfehlern kommen. Um 30 Minuten sammeln zu können, werden oft zwei bis drei Gassammelsäcke über eine Verzweigung parallel befüllt. Diese Füllmethode ist nur zulässig, wenn alle Gassammelsäcke gleichmässig befüllt bzw. entleert werden können. Alternativ können die Gassammelsäcke nacheinander einzeln befüllt bzw. entleert werden (z.B. zwei 15-Minuten-Mittelwerte oder dreimal zehn-Minuten-Mittelwerte; daraus wird der 30-Minuten-Mittelwert gebildet). Nach Befüllen eines Gassammelsackes wird der Inhalt durch drehen und leichtes Verformen des Sackes vermischt. Danach erfolgt vor Ort die CO-Messung mittels Rauchgascomputers. Das Probegasvolumen muss mindestens bis zur Stabilisierung der Geräteanzeige ausreichen (ca. 120 Sekunden). Bei der Messung kann mittels eines Dreiwegventils unbelastete Umgebungsluft zugemischt werden. Dadurch können auch Konzentrationen ausserhalb des Messbereiches gemessen werden. Über die Änderung des O₂-Gehaltes im un- und verdünnten Probegas wird der Verdünnungsfaktor ermittelt. Mit diesem werden die verdünnten CO-Konzentrationen in unverdünnte umgerechnet.

3.4 Messunsicherheit

Es gelten folgende Messunsicherheiten für die CO-Messung mit Rauchgascomputer-Messsystemen (Abschätzung):

- $\pm 15\%$ (rel.) für die CO-On-line-Messung
- $\pm 20\%$ (rel.) für die Gassammelsackmethode mit anschliessender CO-Punkt-Messung

Neben der Messunsicherheit der CO-Messmethode muss auch der Fehler der O₂-Messung berücksichtigt werden. Der Messfehler der O₂-Messung kann vor allem bei hohen O₂-Konzentrationen stark dominieren. Die Berechnung der O₂ bezogenen Messunsicherheit kann mit der nachstehenden Formel durchgeführt werden (BAFU-Messempfehlung [4]):

$$r^{uCO,N} = 100 \cdot \sqrt{(r^{uCO,n})^2 + \left[\frac{1}{21 - [O_2]} \right]^2 \cdot ({}^uO_2)^2}$$

$r^{uCO,N}$: Relative Messunsicherheit der CO-Messung;
 Bezugszustand: 0 °C, 1013 mbar, trocken, 13 %-vol O₂; [%]

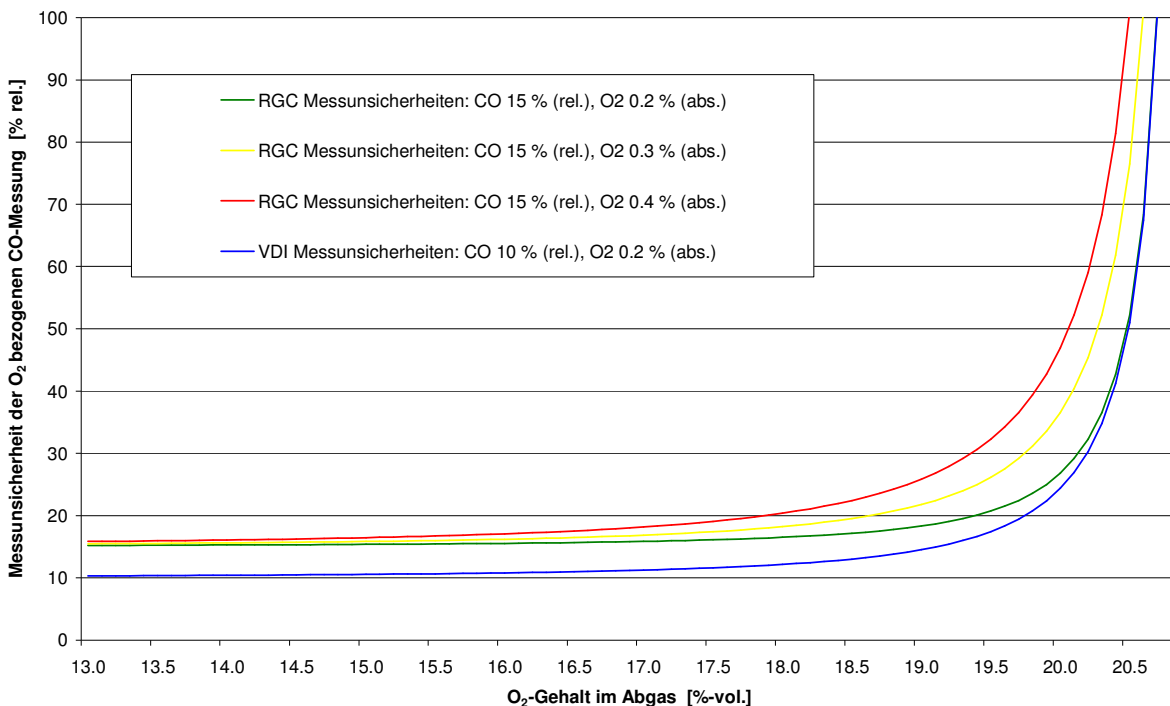
$r^{uCO,n}$: Relative Messunsicherheit der CO-Messung;
 Bezugszustand: 0 °C, 1013 mbar, trocken; [-]: Beispiel: 0.15

uO_2 : Absolute Messunsicherheit der O₂-Bestimmung;
 Bezugszustand: trocken; [%-vol]; Beispiel: 0.4 %-vol

[O₂]: O₂-Konzentration im Abgas;
 Bezugszustand: trocken; [%-vol]

Die folgende Grafik zeigt die Auswirkung unterschiedlicher Messunsicherheiten der O₂-Messung sowie hohe O₂-Gehalte auf die O₂ bezogene Messunsicherheit. Ab einem O₂-Gehalt von rund 19 %-vol ergeben sich bei der O₂-Normierung hohe Messunsicherheiten. Dabei dominiert vor allem der Messfehler aus der O₂-Messung.

O₂ bezogene Messunsicherheit der CO-Messung



RGC: Rauchgascomputer-Messsystem

Die rote Linie in der Grafik repräsentiert die O₂ bezogene Messunsicherheit der CO-Messung handelsüblicher Rauchgascomputer-Messsysteme. Bei Messungen an Holzfeuerungen mit O₂-Gehalten über 19 %-vol (Mittelwerte) sollte die Messunsicherheit für die O₂-Messung maximal ± 0.2 %-vol

(abs.) betragen (grüne Linie). Die beschriebene Problematik steht vor allem im Zusammenhang mit Messungen an offenen Feuerstellen.

Nichtberücksichtigung der Messunsicherheit

Für den praktischen Vollzug wird vorgeschlagen, die Messunsicherheit nicht zu berücksichtigen. Dies begründet sich darin, dass je nach Feuerungstyp und O₂-Gehalt im Abgas sehr hohe Messunsicherheiten von bis zu ± 100 % rel. resultieren können. Diese entstehen durch die O₂-Normierung und werden zugunsten des Anlagenbetreibers ausgelegt. Dadurch wird der an sich schon hohe CO-Emissionsgrenzwert von 4'000 mg/m³ bez. 13 %-vol O₂ (Anhang 3, Ziffer 522, LRV) abgeschwächt. Diese Abschwächung wird als kontraproduktiv erachtet, weil Belästigungen durch Holzfeuerungsabgase auch bei Konzentrationen unterhalb des CO-Emissionsgrenzwertes auftreten können. Die Berücksichtigung der Messunsicherheit - insbesondere einer hohen - könnte dazu führen, dass Holzfeuerungen trotz berechtigter Nachbarschaftsklagen nicht beanstandet würden. Die Nichtberücksichtigung der Messunsicherheit ist nur zulässig, wenn Rauchgascomputer-Messsysteme die Vorgaben nach 3.2 erfüllen. Im Kapitel 4 werden anhand von Beispielen Holzfeuerungen beurteilt. Dabei wird die Messunsicherheit aufgeführt. In der Beurteilung wird sie jedoch nicht berücksichtigt.

3.5 Messort

Die Probenahme erfolgt im Zentrum der Abgasleitung. Es soll auf eine genügende Beruhigungsstrecke geachtet werden (mindestens zwei Abgasleitungsdurchmesser). Da keine energetische Beurteilung durchgeführt wird, kann der Messort auch weiter entfernt von der Feuerung gewählt werden. Dabei sollte beachtet werden, dass durch allfällige Putzöffnungen etc. keine Falschlufte in die Abgasleitung gelangen kann. Zugunterbrecher in der Abgasleitung dürfen für die Messung nicht verschlossen werden (Änderung des Kaminzuges). In einem solchen Fall muss vor dem Zugunterbrecher gemessen werden.

3.6 Messung an Restholzfeuerungen

Bisher sind mit den Rauchgascomputer-Messsystemen keine signifikanten Querempfindlichkeiten bei der Verbrennung von naturbelassenem Holz und unbelastetem Restholz beobachtet worden. Wird eine Feuerung mit stark belastetem Restholz betrieben, sind Querempfindlichkeiten trotz der aufwändigeren Messgasaufbereitung nicht auszuschließen. Es empfiehlt sich deshalb im Zweifelsfall solche Restholzfeuerungen weiterhin mit VDI-Messsystemen zu messen bis eine bessere Datenlage vorliegt.

4 Beurteilung von Holzfeuerungen bis 70 kW

Für eine korrekte Beurteilung einer Holzfeuerung müssen die repräsentativen Betriebsphasen berücksichtigt werden. Repräsentative Betriebsphasen weisen vergleichsweise hohe CO-Emissionen und in den meisten Fällen auch hohe Feststoffemissionen auf. Bei den Stückholzfeuerungen steht hier vor allem die Anfahrphase im Vordergrund. Bisher wurde die Anfahrphase in der BAFU-Messempfehlung oder bei Prüfstandmessungen nicht in die Beurteilung miteinbezogen. Es wurden jeweils die Emissionen nach dem Holz nachlegen auf ein bestehendes Glutbett beurteilt (Warmstart).

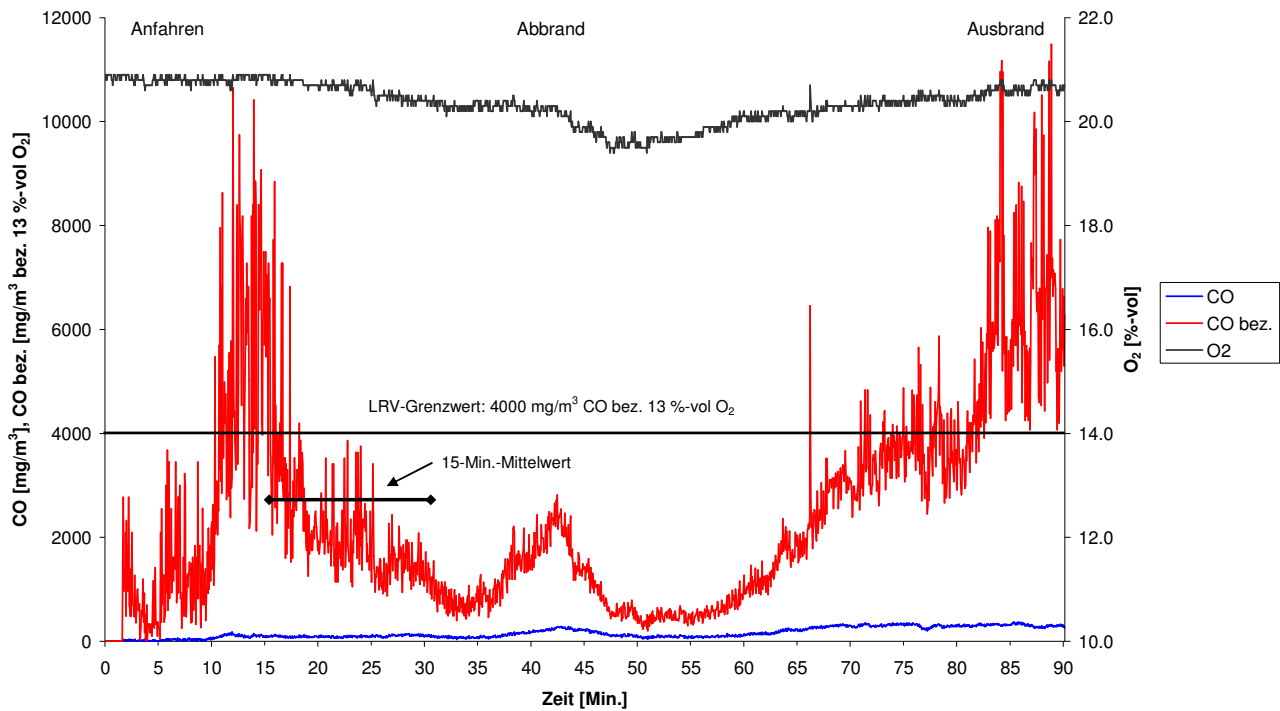
Zweifellos kann auch das Nachlegen bei unsachgerechter Bedienung zu übermässigen Emissionen führen. Die Anfahrphase mit hohen Feststoffemissionen wird aber als relevanter eingestuft. Deshalb sind bei Stückholzfeuerungen nur Messungen ohne bestehendes Glutbett vorgesehen (Kaltstartmessung). Durch die Beurteilung der Anfahrphase ist der Betreiber gezwungen die verbesserte Anfeuerungsmethode konsequent zu verwenden. Mit konventionellen Anfeuerungsmethoden lässt sich aufgrund der angepassten Messzeiten der CO-Emissionsgrenzwert von $4'000 \text{ mg/m}^3$ bez. 13 %-vol O_2 in der Regel nicht einhalten.

4.1 Stückholzfeuerungen mit oberem Abbrand

Bei Holzfeuerungen mit oberem Abbrand handelt es sich meistens um Einzelraumfeuerungen (Cheminée, Schwedenofen etc.). Bei Zentralheizungen sind noch Anlagen als Umstell- oder Wechselbrand in Betrieb. Holzfeuerungen mit oberem Abbrand weisen mit konventionellen Anfeuerungsmethoden einen schwer kontrollierbaren Verbrennungsablauf auf: Nach einer vergleichsweise langen Anfahrphase kommt es zu einem unkontrollierbaren Vollbrand der gesamten Brennstoffmenge. Die für eine vollständige Oxidation benötigte Verbrennungsluft kann oft nur ungenügend der Verbrennung zugeführt werden. Die Folge davon sind hohe CO- und Feststoffemissionen sowie weitere Produkte aus der unvollständigen Verbrennung. Mit der verbesserten Anfeuerungsmethode kann die Anfahrphase erheblich reduziert und der Abbrand verlangsamt werden. Dadurch kann das Feuer mit genügend Verbrennungsluft versorgt werden. Die vorliegende Messempfehlung sieht 15 Minuten nach dem Anfeuern eine Messung für 15 Minuten vor. Dies begründet einerseits darin, dass die Anfahrphase beim oberen Abbrand auch mit der verbesserten Anfeuerungsmethode eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Andererseits enthalten die Abgase in ersten 15 Minuten einen hohen Anteil unverbrannter Produkte, welche Rauchgascomputer-Messsysteme besonders strapazieren. Ein weiterer Punkt liegt im hohen O_2 -Gehalt in den ersten 15 Minuten solcher Feuerungen. Dieser führt zu einer hohen Messunsicherheit für den O_2 bezogenen CO-Messwert. Um die nicht beurteilten ersten 15 Minuten dennoch zu gewichten, wurde die eigentliche Messzeit von 15 Min verhältnismässig kurz angesetzt. Dadurch müssen die CO-Emissionen bereits wenige Minuten nach Beginn der laufenden Messzeit im Bereich des Grenzwertes liegen, sonst wird die Einhaltung des Grenzwertes schwierig. Mit diesem Vorgehen kann die Anfahrphase trotz der nur lückenhaften Erfassung beurteilt werden. Feuerungen mit oberem Abbrand erreichen nach der Abbrandphase vergleichsweise schnell die Ausbrandphase (z.B. Cheminée mit wenigen brennenden Scheitern). Im Ausbrand steigen die CO-Emissionen wieder an und können ohne weiteres über dem CO-Grenzwert liegen. In der Regel ist diese Betriebsphase mit geringen Feststoffemissionen und keinen Gerüchen verbunden. Deshalb wird der Ausbrand nicht beurteilt (Übergang zu Glutbett). Sollte während der Messzeit die Ausbrandphase beginnen, ist die Messung abzubrechen.

Die Grafik auf der nächsten Seite zeigt das Emissionsverhalten eines offenen Cheminées. Es wurde mit 12 kg Buchenholz und der verbesserten Anfeuerungsmethode von oben her abgebrannt. Offene Feuerstellen weisen einen hohen O_2 -Gehalt im Abgas auf. Dies führt zu diesem in der Grafik ersichtlichen unruhigen Emissionsverlauf für die O_2 bezogene CO-Werte (rot).

Offenes Cheminée; Emissionsverlauf (Kaltstart)



Nachfolgend ist die Auswertung und Beurteilung dieser Messung ersichtlich:

Auswertung

Messart:	CO-On-line-Messung
Messzeit:	Min. 15 - Min. 30 ab Kaltstart
O ₂ 15-Min.-Mittelwert:	20.6 %-vol ± 0.4 %-vol (abs.)
CO 15-Min.-Mittelwert; unbezogen:	133 mg/m ³ ± 20 mg/m ³ , ± 15 % (rel.)
CO 15-Min.-Mittelwert; bezogen 13 %-vol O ₂ :	2'660 mg/m ³ ± 2'660 mg/m ³ , ± 100 % (rel.)

Beurteilung

Der 15-Minuten-Mittelwert hält den Grenzwert von 4'000 mg/m³ CO bez. 13 %-vol O₂ ein. Die Messunsicherheit wird nicht berücksichtigt.

Messempfehlung für Stückholzfeuerungen mit oberem Abbrand bis 70 kW

Die CO-Messung erfolgt mit Rauchgascomputer-Messsystemen nach Kapitel 3.

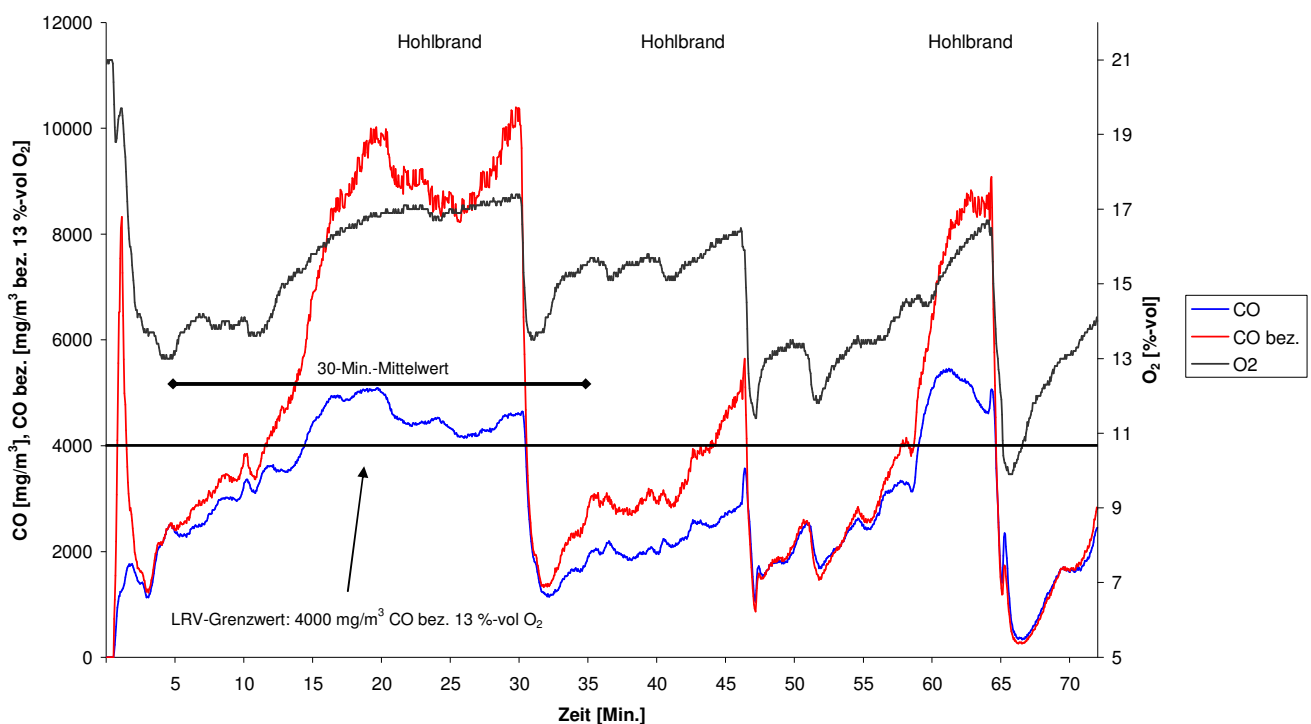
Die Messung beginnt 15 Minuten nach dem Kaltstart und dauert 15 Minuten. Die Beurteilung erfolgt anhand des 15-Minuten-Mittelwertes ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit.

4.2 Stückholzfeuerungen mit unterem Abbrand

Bei diesen Holzfeuerungen handelt es sich überwiegend um Zentralheizungen. Das Brennholz wird in einem Füllschacht geschichtet und von unten angezündet. Die eigentliche Verbrennung erfolgt in einem dem Füllschacht seitlich oder unten angeordneten Feuerraum. Solche Feuerungen zeichnen sich durch einen kontrollierten Verbrennungsablauf aus. Das Brennholz im Füllschacht kann nachrutschen und wird fortlaufend zur Verbrennung aufbereitet. Auch für Feuerungen mit unterem Abbrand wurde eine verbesserte Anfeuerungsmethode entwickelt. Sie sorgt dafür, dass das horizontal liegende Holz im Füllschacht gleichmässig aufbereitet wird. Erfolgt dies nicht gleichmässig, beginnen die Holzscheiter leicht zu kippen und zu verkeilen. Die Folge davon sind Hohlbrände mit sehr hohen CO- und Feststoffemissionen. Durch eine konsequente Anwendung der verbesserten Anfeuerungsmethode können Hohlbrände weitgehend vermieden werden. Weitere Ursachen für erhöhte Emissionen können falsche Einregulierungen (Verbrennungsluftzufuhr, Abgasventilator) sowie eine gestörte Wärmeabgabe an das System sein. Bei der Festlegung der Messzeiten wurde dem Rechnung getragen: Einerseits haben solche Feuerungen eine vergleichsweise kurze Anfahrphase, weshalb die Messung bereits fünf Minuten nach dem Kaltstart begonnen wird. Andererseits treten Hohlbrände oft erst nach einer gewissen Zeit auf. In den Feldmessungen zeigten Holzfeuerungen, welche konventionell angefeuert wurden in den ersten 35 Minuten Hohlbrände. Diese Holzfeuerungen konnten den CO-Grenzwert von 4'000 mg/m³ bez. 13 %-vol O₂ nicht einhalten. Deshalb wird fünf Minuten nach dem Start für 30 Minuten gemessen. In dieser Zeit werden falsche Einregulierungen sowie teilweise auch eine gestörte Wärmeabgabe an das System erkannt.

Folgende Grafik zeigt den Emissionsverlauf einer 50 kW Stückholz-Zentralheizung mit unterem Abbrand, die mit einer konventionellen Anfeuerungsmethode betrieben wurde.

Stückholzfeuerung mit unterem Abbrand 50 kW, Emissionsverlauf (Kaltstart)



Auswertung

Messart:	CO-On-line-Messung
Messzeit:	Min. 5 - Min. 35 ab Kaltstart
O ₂ 30-Min.-Mittelwert:	15.6 %-vol ± 0.4 %-vol (abs.)
CO 30-Min.-Mittelwert; unbezogen:	3'673 mg/m ³ ± 551 mg/m ³ , ± 15 % (rel.)
CO 30-Min.-Mittelwert; bezogen 13 %-vol O ₂ :	5'441 mg/m ³ ± 925 mg/m ³ , ± 17 % (rel.)

Beurteilung

Der 30-Minuten-Mittelwert überschreitet den Grenzwert von 4'000 mg/m³ CO bez. 13 %-vol O₂. Die Messunsicherheit wird nicht berücksichtigt.

Messempfehlung für Stückholzfeuerungen mit unterem Abbrand bis 70 kW

Die CO-Messung erfolgt mit Rauchgascomputer-Messsystemen nach Kapitel 3.

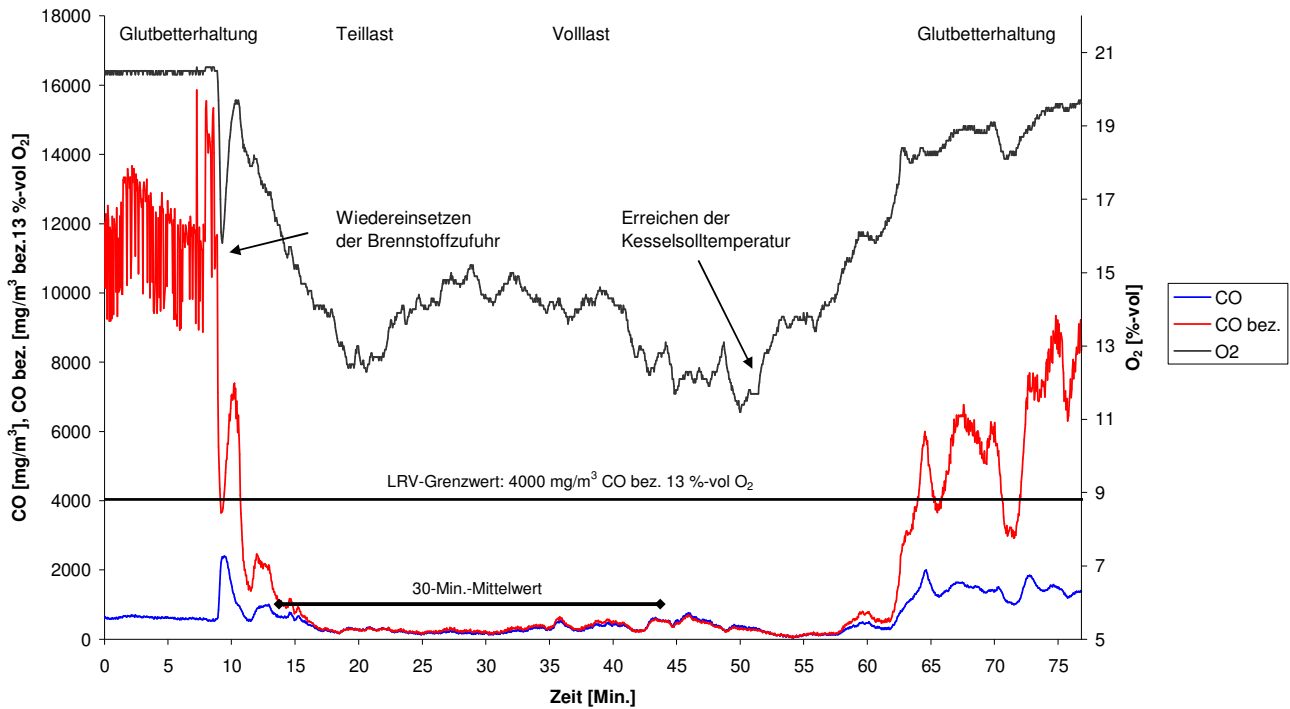
Die Messung beginnt 5 Minuten nach dem Kaltstart und dauert 30 Minuten. Die Beurteilung erfolgt anhand des 30-Minuten-Mittelwertes ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit.

4.3 Automatische Feuerungen

In automatischen Feuerungen wird nichtstückiges Holz verbrannt, wie Holzpellets, Hackschnitzel, Späne etc. Der Einfluss des Betreibers auf eine emissionsarme Verbrennung ist bei diesen Feuerungen deutlich geringer als bei Stückholzfeuerungen. Dies gilt insbesondere für Pelletfeuerungen. Bei den Hackschnitzelfeuerungen werden oft die Vorgaben des Herstellers bezüglich der Brennstofffeuchte missachtet. Gerade bei kleinen Unterschubfeuerungen kommt es bei zu feuchtem Brennstoff zu hohen CO-Emissionen. Bei der CO-Messung automatischer Holzfeuerungen werden in erster Linie die Einregulierungen überprüft. Wobei die CO- und Feststoffemissionen bei automatischen Feuerungen nicht korrelieren müssen. Für die CO-Messung kann der gesamte Lastbereich miteinbezogen werden. Gemessen wird in der Regel der angetroffene modulierende Betriebszustand für 30 Minuten. Bei Verdacht auf übermäßige Emissionen kann auch gezielt ein gewünschter Betriebszustand in Beharrung gemessen werden (z.B. Grundlast). Falls sich eine Feuerung im Glutbettunterhalt befindet, beginnt die Messung spätestens fünf Minuten nachdem die Brennstoffzufuhr wieder eingesetzt hat (Lastbetrieb). Bei einer automatischen Zündung müssen die fünf Minuten in Feldmessungen zuerst bestätigt werden. Vor allem für Grünschnitzelfeuerungen dürfte die Wartezeit eher zu kurz angesetzt sein.

Die Grafik auf der nächsten Seite zeigt den Emissionsverlauf einer 60 kW Hackschnitzelfeuerung. Während in der Glutbetterhaltung hohe CO-Emissionen mit geringem Volumenstrom auftreten, sinken die CO-Werte kurz nach Beginn des Lastbetriebes.

Hackschnitzelfeuerung 60 kW; Emissionsverlauf (Warmstart)



Auswertung

Messart:	CO-On-line-Messung
Messzeit / Laststufe:	Min. 5 – Min. 35 ab Wiedereinsetzen der Brennstoffzufuhr (auf Grafik ca. Min. 13 - Min. 43) / modulierender Lastbetrieb
O ₂ 30-Min.-Mittelwert:	13.8 %-vol ± 0.4 %-vol (abs.)
CO 30-Min.-Mittelwert; unbezogen:	305 mg/m ³ ± 46 mg/m ³ , ± 15 % (rel.)
CO 30-Min.-Mittelwert; bezogen 13 %-vol O ₂ :	339 mg/m ³ ± 54 mg/m ³ , ± 16 % (rel.)

Beurteilung

Der 30-Minuten-Mittelwert hält den Grenzwert von 4'000 mg/m³ CO bez. 13 %-vol O₂ ein. Die Messunsicherheit wird nicht berücksichtigt.

Messempfehlung für automatische Holzfeuerungen bis 70 kW

Die CO-Messung erfolgt mit Rauchgascomputer-Messsystemen nach Kapitel 3.

Gemessen wird der angetroffene oder ein gewählter Betriebszustand. Die Messung dauert 30 Minuten. Die Beurteilung erfolgt anhand des 30-Minuten-Mittelwertes ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit.

4.4 Klagenbearbeitung

Bei der Klagenbearbeitung an Stückholzfeuerungen empfiehlt sich die CO-Messung auf die gesamte Abbrandphase auszudehnen. Dadurch können die Emissionen auch ausserhalb der empfohlenen Messzeiten beurteilt werden. Der Messbeginn richtet sich nach 4.1 und 4.2. Für die Beurteilung werden bei Stückholzfeuerungen mit oberem Abbrand 15-Minuten-Mittelwerte sowie beim unteren Abbrand 30-Minuten-Mittelwerte gebildet, wobei keiner dieser Mittelwerte ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit den CO-Grenzwert überschreiten darf. Die Ausbrandphase wird in der Regel nicht beurteilt.

Bemerkung: Die Feuerung soll während der Messung durch den Feuerungslieferanten bedient werden. Auf diesem Weg kann das bestmögliche Emissionsverhalten erreicht werden. Dadurch kann die Frage geklärt werden, ob ein technisches Problem an der Feuerung oder die Bedienung des Betreibers Anlass für die Klage ist. Der Betreiber ist bei der Messung ebenfalls anwesend und erhält durch den Lieferanten eine situationsbezogene Instruktion.

Bei der Klagenbearbeitung an automatischen Holzfeuerungen werden - sofern einstellbar - die Grund- und Volllast und wenn nötig der Glutbettunterhalt oder die automatische Zündung gemessen. Für die Beurteilung der Grund- und Volllast wird pro Last ein 30-Minuten-Mittelwert gebildet, wobei keiner dieser Mittelwerte ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit den CO-Grenzwert überschreiten darf. Die Beurteilung des Glutbettunterhaltes und der automatischen Zündung wird durch die Behörde im Einzelfall festgelegt. Im Vordergrund steht die lufthygienische Optimierung solcher Betriebsphasen.

4.5 Rauchbildkontrolle

In den Feldmessungen wurde die Korrelation zwischen der Rauchentwicklung am Kamin und der korrespondierenden CO-Konzentration im Abgas untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass wenn sichtbarer Rauch - auch sehr schwacher - an der Kaminmündung vorhanden war, der CO-Messwert über $4'000 \text{ mg/m}^3$ bez. 13 %-vol O_2 lag. Wiederholt wurde jedoch bei CO-Messwerten im Bereich von $8'000 \text{ mg/m}^3$ keine Rauchemissionen beobachtet. Dabei herrschten vergleichbare metrologische Verhältnisse (Bewölkung, Windeinfluss). Weshalb es trotz hohen CO-Werten zu keiner Rauchentwicklung kam, konnte nicht abschliessend geklärt werden.

Fazit: Für die periodische Kontrollen von Holzheizungen <70 kW wird sich die CO-Messung durchsetzen. Die Rauchbildkontrolle versteht sich als ein qualitatives Hilfsmittel für die Überwachung eines fachgerechten Anlagebetriebes.

5 Kombinierte Holzfeuerungskontrolle an Zentralheizungen bis 70 kW

Die CO-Messung versteht sich als Ergänzung zu der in einigen Kantonen durchgeführten visuellen Holzfeuerungskontrolle. Eine hohe Aussagekraft erhält die Beurteilung einer Holzfeuerung erst durch die Kombination der visuellen Kontrolle mit der Emissionsmessung - der kombinierten Holzfeuerungskontrolle. Nachstehend wird der Ablauf dieser Kontrolle am Beispiel einer Stückholz-Zentralheizung mit unterem Abbrand aufgezeigt.

Zeit ab Start in Minuten	Tätigkeit
0	<ul style="list-style-type: none"> • Begrüssung und Besprechung des Kontrollablaufes mit dem Betreiber
5	<ul style="list-style-type: none"> • Visuelle Kontrolle (Checkliste): <ul style="list-style-type: none"> – Feuerraum und Feuerraumasche (gegebenenfalls Ascheprobe) – Primär- und Sekundärluft – Füllschacht – Holzbrennstoff für CO-Messung, Holzfeuchtemessung
15	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolleur richtet Messgerät ein (Dichtheit, Abgleich, Datenerfassung) • Kundenberatung • Betreiber bereitet Feuerung vor (Anfeuerungsmodule, Füllschacht füllen)
30	<ul style="list-style-type: none"> • Feuerung wird durch den Betreiber angefeuert
35	<ul style="list-style-type: none"> • Beginn und Überwachung der CO-Messung • Visuelle Kontrolle (Checkliste): <ul style="list-style-type: none"> – Restliches Feuerungssystem – Brennstoffvorrat • Kontrollrapport ausfüllen
65	<ul style="list-style-type: none"> • Ende der CO-Messung (Messgerät mit Umgebungsluft spülen lassen) • Auswertung der Messung (Mittelwertbildung) • Beurteilung der visuellen Kontrolle und der CO-Messung • Kontrollrapport fertig stellen
75	<ul style="list-style-type: none"> • Besprechung der Beurteilung mit dem Betreiber • Kundenberatung
85	<ul style="list-style-type: none"> • Abschalten und Abbau des Messgerätes
90	<ul style="list-style-type: none"> • Verabschiedung

Die gesamte Kontrolle dauert rund 90 Minuten. Im Vergleich zu einer Messung an einer kleinen zwei-stufigen Ölfeuerung ist der zeitliche Aufwand auf der Anlage rund ½ Stunde grösser. Der Preis für die kombinierte Holzfeuerungskontrolle an Zentralheizungen bis 70 kW wird auf rund 250 Franken (exkl. allfälliger Ascheanalyse) geschätzt.

Nachfolgend ist ein Vorschlag für die Zulassung von Kontrolleuren für die kombinierte Holzfeuerungskontrolle aufgeführt:

Phase 1

- Feuerungskontrolleur mit eidgenössischem Fachausweis (ab sofort)
- Feuerungsfachmann Holz mit eidgenössischem Fachausweis oder Holzfeuerungskontrolleur SKMV (ab 2010)

Phase 2

- Ausbildungsmodul für die CO-Messung an Holzfeuerungen mit Rauchgascomputer-Messsystemen (frühestens nach Fertigstellung entsprechender BAFU-Messempfehlung, eventuell sind kantonale Lösungen erforderlich)

Die Kantone führen Listen mit ausgebildeten und zugelassenen Kontrolleuren.

Schlusswort

Zurzeit existieren erst wenige Erfahrungen mit den Vorgaben dieser provisorischen Messempfehlung. Die bisher in den Feldmessungen gewonnenen Erfahrungen lassen aber den Schluss zu, dass die Vorgaben wegweisend sind: So lässt sich der CO-Grenzwert nur durch sorgfältig betriebene und technisch einwandfreie Holzfeuerungen einhalten. Wodurch die Sensibilisierung für die Voraussetzung eines emissionsarmen Betriebes stark gefördert werden kann. In weiteren Feldmessungen muss die provisorische Messempfehlung nun überprüft und bestätigt werden. Die dabei gewonnenen Erfahrungen sollten bei der Überarbeitung der BAFU-Messempfehlung miteinbezogen werden.

Literatur

- [1] Jenal, H: Eignungsabklärung des Rauchgascomputers rbr-ecom-SG^{PLUS} für die Kohlenmonoxidmessung an Holzfeuerungen, UGZ Stadt Zürich, 2007
- [2] Vock, W: Vollzug Luftreinhalte-Verordnung (LRV) für Holzfeuerungen, Entwurf Stand Juli 2008, BAFU, 2008
- [3] Jenni, A.; Vock, W: Bericht zur 1. und 2. Mess-Serie: Emissionsarme Anfeuerungsverfahren für Stückholzfeuerungen, BFE, BAFU, Kantone AG, BE, BL/BS, LU/ZUDK, SH, SG, SO, TG, TI, VD, ZH, Maschwanden, inkl. Nachtrag: Erweiterte Auswertung der Messresultate und Empfehlungen für den Vollzug der LRV, 2007
- [4] Empfehlungen über die Emissionsmessung von Luftfremdstoffen bei stationären Anlagen, Emissions-Messempfehlungen vom 25. Januar 1996, Stand Mai 2001, BAFU, 2001