

Schlussbericht

Feldmessungen CO- und Staubemissionen

## **Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen**

---



**Zuhanden:**

Bundesamt für Umwelt BAFU  
Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien  
3003 Bern

**Eingereicht durch:**

Verband Schweizerischer Hafner- und Plattengeschäfte VHP  
Solithurnerstrasse 236  
4603 Olten

Dieser Bericht wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt sind allein die Auftragnehmer verantwortlich.

Olten, 7. Juli 2015

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>Abbildungen .....</b>	<b>4</b>
<b>Tabellen .....</b>	<b>5</b>
<b>1    <b>Ausgangslage</b> .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1   <b>Projektorganisation</b> .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2   <b>Emissionsanforderungen</b> .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3   <b>Problemstellung</b> .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4   <b>Projektziele</b> .....</b>	<b>7</b>
1.4.1   Projektziele Teil 1: Feldmessungen an modernen Feuerungen	7
1.4.2   Projektziele Teil 2: Feldmessungen an älteren Feuerungen	7
1.4.3   Abgrenzungen	8
<b>2    <b>Vorgehensweise</b> .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1   <b>Messgeräte</b> .....</b>	<b>9</b>
2.1.1   Messgerät CO	9
2.1.2   Messgeräte Staub	9
2.1.3   Verifizierung Staubmessungen	9
2.1.4   Vergleich optische und gravimetrische Staubmessungen	10
<b>2.2   <b>Messverfahren</b> .....</b>	<b>11</b>
2.2.1   Grundlagen	11
2.2.2   Aufzeichnung der Messwerte	11
2.2.3   Bestimmung Holzmenge / Anfeuermethode	12
2.2.4   Dokumentation	12
2.2.5   Platzierung Messsonden	12
2.2.6   Hinweise zum Wirkungsgrad	12
2.2.7   Auswertung Messresultate	12
<b>3    <b>Resultate Projektteil 1</b> .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1   <b>Ausgewählte Feuerungen</b> .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2   <b>Messergebnisse</b> .....</b>	<b>15</b>
3.2.1   CO-Messungen	15
3.2.2   Staubmessungen	19
<b>3.3   <b>Alle Messergebnisse Projektteil 1, neue Feuerungen</b> .....</b>	<b>23</b>
<b>4    <b>Resultate Projektteil 2</b> .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1   <b>Ausgewählte Feuerungen</b> .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2   <b>Messergebnisse</b> .....</b>	<b>24</b>
4.2.1   CO-Messungen	24
4.2.2   Staubmessungen	29
<b>4.3   <b>Alle Messergebnisse Projektteil 2, alte Feuerungen</b> .....</b>	<b>33</b>

<b>5</b>	<b>Vergleich alte und neue Feuerungen</b>	<b>34</b>
<hr/>		
5.1	Vergleich der Messwerte .....	34
5.2	Erklärungen / Thesen .....	36
5.2.1	Problematik Holz mengen/Messprozedere	36
5.2.2	Prüfstand versus Realität	36
<b>6</b>	<b>Rückschlüsse von Rauchbild zu Emissionen</b>	<b>38</b>
<hr/>		
6.1	Flammen- und Rauchbild emissionsarmer Verbrennungen .....	38
6.2	Flammen- und Rauchs bilder mit hohen Emissionen .....	39
6.3	Beispiel einer Flammenbild- respektive Rauchs bildserie.....	40
6.4	Rauchentwicklung.....	41
6.5	Fazit Rauchs bild / Flammenbild.....	41
<b>7</b>	<b>Zusammenhang Anlagedruck / Schadstoffemissionen</b>	<b>42</b>
<hr/>		
<b>8</b>	<b>Abgastemperaturen</b>	<b>45</b>
<hr/>		
<b>9</b>	<b>Machbarkeit Feldmessungen</b>	<b>47</b>
<hr/>		
9.1	Hürden und Lösungsansätze .....	47
9.1.1	Messzeitpunkt / Messempfehlung	47
9.1.2	Abbruchkriterium 18 % O <sub>2</sub>	48
9.1.3	Luftüberschuss	51
9.1.4	Holz schüren, ja oder nein?	52
9.1.5	Messaufbau	52
9.1.6	Feuern ist (teilweise) „Glücksache“	54
9.2	Aufwand und Kosten.....	56
<b>Anhang</b>		<b>57</b>
<hr/>		
	Analyse Flammenbilder	57

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

---

### Abbildungen

Abbildung 2.1: CO-Messgerät Typ ecom-J2KN	9
Abbildung 2.2: Staubmessgerät AFRISO STM 225	9
Abbildung 2.3: Staubmessgerät Wöhler SM 96	9
Abbildung 2.4: Abweichungen optische (AFRISO) und gravimetrische (Wöhler) Messungen	10
Abbildung 2.5: Auszug aus Messempfehlung, Absatz 5.1.3	11
Abbildung 2.6: Auszug aus Messempfehlung, Absatz 5.2	11
Abbildung 2.7: Auszug aus Messempfehlung, Absatz 5.5., Beurteilung der Messung	11
Abbildung 3.1: Gemittelte Feuerungswärmeleistung FWL der verschiedenen Anlagekategorien	14
Abbildung 3.2: Alle CO-Werte der neuen Feuerungen. Erste 10 Min. und zweite 15 Min.	15
Abbildung 3.3: Mittelwerte CO aller Feuerungskategorien 1. Staffel	16
Abbildung 3.4: CO-Mittelwerte Cheminées EN 13229	16
Abbildung 3.5: CO-Mittelwerte Cheminéeöfen EN 13240	17
Abbildung 3.6: CO-Mittelwerte Kleinspeicheröfen EN 15250	17
Abbildung 3.7: CO-Mittelwerte Kleinspeicheröfen EN 15250	17
Abbildung 3.8: CO-Mittelwerte Speicheröfen Oekozentrum EN 15544	18
Abbildung 3.9: CO-Mittelwerte Speicheröfen Oekozentrum EN 15544	18
Abbildung 3.10: Verlauf CO-Konzentration Speicheröfen Oekozentrum EN 15544	19
Abbildung 3.11: Staub-Mittelwerte aller Feuerungskategorien	19
Abbildung 3.12: Staub-Mittelwerte Herde EN 12815	20
Abbildung 3.13: Staub-Mittelwerte Cheminées EN 13229	20
Abbildung 3.14: Staub-Mittelwerte Cheminéeöfen EN 13240	20
Abbildung 3.15: Staub-Mittelwerte Kleinspeicheröfen EN 15250	21
Abbildung 3.16: Staub-Mittelwerte Speicheröfen 15250	21
Abbildung 3.17: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten der 1. Staffel	22
Abbildung 3.18: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten der 1. Staffel ohne Ausreisser	22
Abbildung 4.1: Alle CO-Werte der alten Feuerungen. Erste 10 Min. und zweite 15 Min.	25
Abbildung 4.2: Mittelwerte CO aller Feuerungskategorien (alt)	25
Abbildung 4.3: CO-Mittelwerte Herde (alt)	26
Abbildung 4.4: CO-Mittelwerte Cheminées geschlossen (alt)	26
Abbildung 4.5: CO-Mittelwerte Cheminées offen (alt)	26
Abbildung 4.6: CO-Mittelwerte Cheminéeöfen (alt)	27
Abbildung 4.7: CO-Mittelwerte Tragöfen (alt und saniert)	27
Abbildung 4.8: CO-Mittelwerte Speicheröfen individuell (alt)	27
Abbildung 4.9: CO-Mittelwerte Specksteinöfen (alt)	28
Abbildung 4.10: Staub-Mittelwerte alle Kategorien (alt)	29
Abbildung 4.11: Staub-Mittelwerte Herde (alt)	29
Abbildung 4.12: Staub-Mittelwerte Cheminées geschlossen (alt)	30
Abbildung 4.13: Staub-Mittelwerte Cheminées offen (alt)	30
Abbildung 4.14: Staub-Mittelwerte Cheminéeöfen (alt)	30
Abbildung 4.15: Staub-Mittelwerte Tragöfen (alt und saniert)	30
Abbildung 4.16: Staub-Mittelwerte Speicheröfen individ. (alt)	31
Abbildung 4.17: Staub-Mittelwerte Specksteinöfen (alt)	31
Abbildung 4.18: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten der 2. Staffel	32
Abbildung 4.19: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten der 2. Staffel ohne Ausreisser	32

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

---

Abbildung 5.1: Vergleich alte und neue Feuerungen CO	34
Abbildung 5.2: Vergleich alte und neue Feuerungen Staub	34
Abbildung 5.3: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten aller Messungen	35
Abbildung 5.4: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten aller Messungen (1. und 2. Staffel) ohne Ausreisser	35
Abbildung 6.1: Minute 27, CO 1050 mg/m <sup>3</sup> .	38
Abbildung 6.2: Minute 25, kein Rauch sichtbar, CO 1150 mg/m <sup>3</sup>	38
Abbildung 6.3: Minute 25, CO 475 mg/m <sup>3</sup> .	38
Abbildung 6.4: Minute 26, kein Rauch sichtbar, CO 470 mg/m <sup>3</sup>	38
Abbildung 6.5: Minute 27, CO ca. 7500 mg/m <sup>3</sup>	39
Abbildung 6.6: Minute 28, kein Rauch sichtbar, CO > 8000 mg/m <sup>3</sup>	39
Abbildung 6.7: Minute 27, CO ca. 3400 mg/m <sup>3</sup>	39
Abbildung 6.8: Minute 26, kein Rauch sichtbar, CO ca. 3400 mg/m <sup>3</sup>	39
Abbildung 7.1: Anlagedruck / CO-Emissionen	43
Abbildung 7.2: Anlagedruck / Staub-Emissionen	43
Abbildung 8.1: Abgastemperaturen gemessen im Verbindungsrohr	45
Abbildung 8.2: Abgastemperaturen gemessen in der Abgasanlage	46
Abbildung 8.3: Abgastemperaturen gemessen über Dach	46
Abbildung 9.1: Minute 17	47
Abbildung 9.2: Minute 81	47
Abbildung 9.3: Minute 9	48
Abbildung 9.4: Minute 15, Messbeginn	48
Abbildung 9.5: Minute 30, Messende	48
Abbildung 9.6: % O <sub>2</sub> bei Messstart	49
Abbildung 9.7: % O <sub>2</sub> bei Messstart	50
Abbildung 9.8: Luftüberschuss Bei Kategorie EN 12815 Ausreisser mit $\lambda$ 36.3 nicht berücksichtigt. Unter Berücksichtigung des Ausreissers liegt gemitteltes $\lambda$ bei 14,3.	51
Abbildung 9.9: Zweite Viertelstunde Emissionen i.O., Ausbrand Rauchentwicklung, wahrscheinlich hohe Emissionen	52
Abbildung 9.10: Relativ einfacher Messaufbau im Verbindungsrohr	52
Abbildung 9.11: Aufwändiger Messaufbau über Dach	52
Abbildung 9.12: Sehr aufwändiger Messaufbau in Reinigungsöffnung	52
Abbildung 9.13: gemauerter Kaminhut 1	53
Abbildung 9.14: gemauerter Kaminhut 2	53
Abbildung 9.15: Alter Tragofen, nur Primärluft durch Rost	55
Abbildung 9.16: Beladung (schlechter) Abbrand 1	55
Abbildung 9.17: Beladung (guter) Abbrand 2	55

### Tabellen

Tabelle 1: Abweichungen Staubmessung gravimetrisch und optisch	10
Tabelle 2: Messergebnisse Projektteil 1	23
Tabelle 3: Messergebnisse Projektteil 2	33
Tabelle 4: Emissionen / Anlagedruck	42
Tabelle 5: Messkosten	56

## 1 Ausgangslage

---

### 1.1 Projektorganisation

#### Antragsteller

Verband Schweizerischer Hafner-  
und Plattengeschäfte VHP  
Martin Pfister  
Solothurnerstrasse 236  
4603 Olten  
m.pfister@vhp.ch  
Tel.: 062 205 90 80

#### Messungen

Kaminfeger-Plus GmbH  
Jonas Wieland  
Eichstrasse 1  
6055 Alpnach

#### Projektleitung

Energie & Holz GmbH  
Marco von Wyl  
Eichstrasse 1  
6055 Alpnach Dorf

#### Finanzierung

- Eigenleistung Industrie,
- Kostenbeteiligung der Feuerungshersteller für Messungen (Projektteil 1)
- Eigenleistung VHP
- Beitrag aus HeS-Missbrauchsfonds
- Beitrag Bundesamt für Umwelt BAFU

#### Mitglieder Begleitgruppe

- Mitglieder VHP-Fachgruppe Industrie
- Vertreter Bundesamt für Umwelt BAFU (Beat Müller, Simon Liechti, Rainer Kegel)
- Projektleitung

### 1.2 Emissionsanforderungen

Die Emissionsanforderungen für das Inverkehrbringen von Wohnraumfeuerungen sind in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) im Anhang 4 unter Ziffer 212 festgelegt. Mit einem Prüfbericht ist derzeit die Einhaltung dieser Mindestanforderungen Anforderungen auf dem Prüfstand nachzuweisen. Wohnraumfeuerungen werden im „Feld“ nicht systematisch gemessen. In Einzelfällen, insbesondere bei Nachbarschaftsklagen, werden aber auch bei Wohnraumfeuerungen CO-Messungen vor Ort durchgeführt. Als Mindestanforderung gilt dabei nicht der Grenzwert für das Inverkehrbringen, sondern der im Anhang 3 LRV unter Ziffer 522 festgelegte CO-Grenzwert von 4000 mg/m<sup>3</sup>. Die LRV beschreibt derzeit keinen „Feld-Grenzwert“ für die Staubemissionen.

Verschiedene Gespräche mit BAFU-Vertretern, aber auch die Entwicklung bei den kantonalen Massnahmenplänen Luftreinhaltung zeigen, dass...

- die Emissions-Mindestanforderungen (Prüfstandswerte) gesenkt werden sollen. Zielgrösse ist das Niveau der 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung (1. BImSchV) Stufe 2 bzw. der kommenden Ökodesign-Vorschriften in Europa.
- der „Feld-Grenzwert“ für CO gesenkt werden soll (der sich derzeit in der Vernehmlassung befindende Massnahmenplan des Kantons Zürich sieht einen Grenzwert von 2500 mg/m<sup>3</sup> vor).
- ein „Feld-Grenzwert“ für Staubemissionen eingeführt werden soll.

### 1.3 Problemstellung

Die Feuerungsbranche hat wenig Kenntnis über die Schadstoffemissionen der Wohnraumfeuerungen ausserhalb des Prüfstandes. In Frage gestellt ist die Verbrennungsgüte insbesondere dann, wenn die Rahmenbedingungen stark von den Prüfstandbedingungen abweichen (beispielsweise überlange Abgasanlagen [hoher Kamindruck] oder Montage der Geräte in Höhenlagen). Somit kann die Branche nur ungenügend abschätzen, wie sich die Absenkung des CO-Grenzwertes auf beispielsweise  $2500 \text{ mg/m}^3$  auswirken würde. Die fehlende Datenbasis erschwert künftige Grenzwert-Diskussionen mit den Behörden.

Heikel ist die Situation auch bei den Feinstaubemissionen. Bezüglich Feinstaub sind in der LRV Mindestanforderungen für Prüfstandmessungen zu finden. Die heutige LRV beinhaltet jedoch noch keinen Feldgrenzwert für Staubemissionen. Einzelne Behördenmitglieder fordern einen solchen. Bei den Staubemissionen liegen deutlich weniger Erfahrungen und Messresultate vor, um die Auswirkungen eines allfälligen Grenzwertes beurteilen zu können.

### 1.4 Projektziele

CO- und Staubbmessungen an Wohnraumfeuerungen im „Feld“ sollen aufzeigen, mit welchen Emissionen bei modernen Feuerungen effektiv zu rechnen ist. Die Feldmessungen sollen eine objektive Diskussionsgrundlage für die im Rahmen der kommenden LRV-Revision anstehenden Grenzwert-Diskussionen liefern. Das Gesamtprojekt ist in zwei Teile gegliedert:

- Teil 1: Feldmessungen an modernen Feuerungen (Inverkehrbringen nach 2007)
- Teil 2: Feldmessungen an älteren Feuerungen (Inverkehrbringen zwischen 1985 und 1995)

Teil 1 soll den aktuellen Stand der Technik von installierten und im „Feld“ überprüften modernen Feuerungen abbilden. Teil 2 soll die feuerungstechnische Qualität von Feuerungen aufzeigen, welche vor 20 bis 30 Jahren installiert wurden.

#### 1.4.1 Projektziele Teil 1: Feldmessungen an modernen Feuerungen

Folgende Fragen sollen mit den Messungen beantwortet werden:

- Wie hoch sind die CO- und Staubemissionen von modernen (Inverkehrbringen nach 2007) Cheminéeöfen, Cheminéés, Speicheröfen und Holzherden bei Messungen vor Ort?
- Wie stark beeinflusst die Abgasanlagelänge respektive der Anlagedruck die Emissionen?
- Wie gross ist der finanzielle und bauliche Aufwand, um Wohnraumfeuerungen vor Ort zu messen?

#### 1.4.2 Projektziele Teil 2: Feldmessungen an älteren Feuerungen

Folgende Fragen sind zu beantworten:

- Wie hoch sind die CO- und Staubemissionen von „alten“ Cheminéeöfen, Cheminéés, Speicheröfen und Holzherden (Inverkehrbringen 1985 bis 1995) bei Messungen vor Ort?
- Wie stark beeinflusst die Abgasanlagelänge respektive der Anlagedruck die Emissionen?
- Wie gross ist der finanzielle und bauliche Aufwand, um Wohnraumfeuerungen vor Ort zu messen?

### 1.4.3 Abgrenzungen

Die Messungen werden durchgeführt und ausgewertet. Die Messresultate werden hinsichtlich des Einflusses des Anlagedrucks, der Witterung oder von allfälligen Fehlmanipulationen interpretiert und kommentiert.

Im Rahmen des Schlussberichts werden keine Grenzwertempfehlungen abgegeben.

## 2 Vorgehensweise

### 2.1 Messgeräte

#### 2.1.1 Messgerät CO

Für die CO-Messungen kam ein Kompaktmessgerät des Typs ecom-J2KN zur Anwendung.



Abbildung 2.1: CO-Messgerät Typ ecom-J2KN

#### 2.1.2 Messgeräte Staub

Für die Staubmessungen kam ein Gerät mit optischem Messverfahren zur Anwendung.

Das AFRISO STM 225 ist ein Staubmessgerät für den mobilen Einsatz an Festbrennstoffanlagen zur Ermittlung der Staubmassekonzentration und zur Überwachung der Feinstaub-Grenzwerte. Das Gerät ist eignungsgeprüft zur Durchführung der verbindlichen Feinstaub-Messung gemäss 1. BlmSchV.



Abbildung 2.2: Staubmessgerät AFRISO STM 225

#### 2.1.3 Verifizierung Staubmessungen

Mit einem Messgerät des Typs Wöhler SM 96 wurden bei fünf Messungen die optischen Staubmessungen mit gravimetrischen Parallelmessungen verifiziert.



Abbildung 2.3: Staubmessgerät Wöhler SM 96

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

### 2.1.4 Vergleich optische und gravimetrische Staubmessungen

Sowohl bei der Entwicklung von Holzfeuerungen als auch bei Feldmessungen kamen in der Vergangenheit vorwiegend gravimetrische Staubmessgeräte zur Anwendung. Mit Blick auf künftige Feldmessungen – durchgeführt von Feuerungskontrolleuren – fiel die Wahl auf ein einfacher zu handhabendes optisches Staubmessgerät.

Da Erfahrungen im Umgang mit optischen Messgeräten fehlen, wurden fünf Abbrände parallel sowohl optisch als auch gravimetrisch gemessen. Dabei galt es zu ermitteln, wie weit die gravimetrisch und die optisch gemessenen Staubwerte auseinanderliegen.

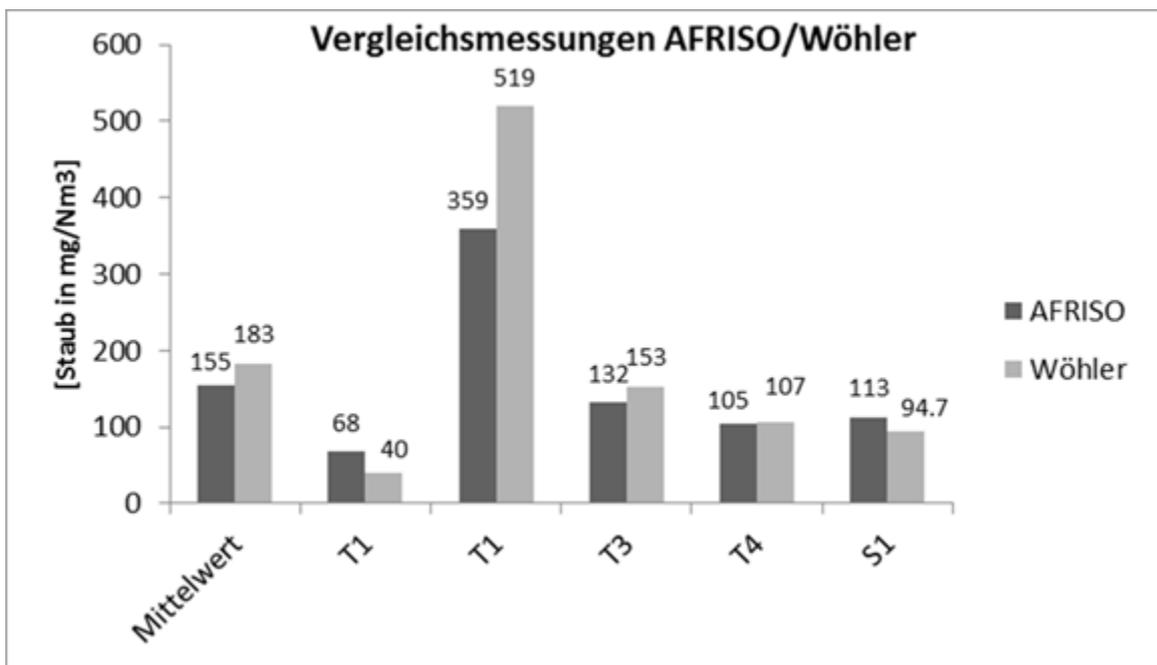


Abbildung 2.4: Abweichungen optische (AFRISO) und gravimetrische (Wöhler) Messungen

Die Abweichungen sind auf die AFRISO-Messwerte referenziert. Im Mittel liegen die Wöhler-Messwerte um 18 % höher als die AFRISO-Messwerte.

Feuerung	AFRISO mg/m <sup>3</sup>	Wöhler mg/m <sup>3</sup>	Abweichung
Mittelwert alle fünf Messungen	155	183	+ 18 %
Anlage 1 (Tragofen alt 1)	68	40	- 41 %
Anlage 2 (Tragofen alt 2)	359	519	+ 45 %
Anlage 1 (Tragofen alt 2, zweite Messung)	132	153	+ 16 %
Anlage 3 (Tragofen alt 2, zweite Messung)	105	107	+ 2 %
Anlage 4 (Speicherofen EN 15250)	113	95	- 16,2 %

Tabelle 1: Abweichungen Staubmessung gravimetrisch und optisch

Die Abweichungen betragen teilweise mehr als +/- 40 %, dies bei Feuerungen mit hohen Staubwerten (Anlage 2), aber auch bei Feuerungen mit tiefen Staubemissionen (Anlage 1).

## 2.2 Messverfahren

Alle Feuerungen wurden durch Jonas Wieland von der Kaminfeger-Plus GmbH gemessen. Somit sind Qualität und Vergleichbarkeit der Messresultate weitgehend garantiert. Für alle Messungen wurden dieselben Messgeräte verwendet und eine identische Vorgehensweise gewählt.

### 2.2.1 Grundlagen

Ziel war, die Emissionen gleich zu erfassen, wie dies in einem Klagefall von den Behörden gemacht wird. CO wird gemäss den BAFU-Messempfehlungen „Emissionsmessungen bei Feuerungen für Öl, Gas und Holz“ betrachtet. In der Folge einige relevante Auszüge aus den Messempfehlungen:

#### 5.1.3 Raumheizer<sup>26</sup> und Feuerstätten<sup>27</sup> handbeschickt

- <sup>1</sup> Die Anlagen werden aus dem kalten Zustand gemäss Bedienungsanleitung angefeuert.
- <sup>2</sup> Die Messung beginnt 15 Minuten nach dem Kaltstart und dauert 15 Minuten (eine Messung).

Abbildung 2.5: Auszug aus Messempfehlung, Absatz 5.1.3

#### 5.2 Anzahl der Messungen

- <sup>1</sup> Es müssen mindestens 2 Messungen durchgeführt werden (Ausnahme: handbeschickte Raumheizer und Feuerstätten: nur eine Messung, vgl. Ziff. 5.1.3).
- <sup>2</sup> Bei Heizkesseln wird der Mittelwert aus den beiden 15-Minuten-Messungen gebildet und mit dem Emissionsgrenzwert verglichen. Bei Raumheizern und Feuerstätten wird der 15-Minuten-Mittelwert mit dem Emissionsgrenzwert verglichen.

Abbildung 2.6: Auszug aus Messempfehlung, Absatz 5.2

- <sup>5</sup> Der Grenzwert gilt als eingehalten bzw. die Anlage wird nicht beanstandet, wenn der Mittelwert aus zwei Messungen (Heizkessel) bzw. der Messwert aus einer Messung (Raumheizer und Feuerstätten) nach Abzug des F-Wertes den Grenzwert nicht überschreitet.

Abbildung 2.7: Auszug aus Messempfehlung, Absatz 5.5., Beurteilung der Messung

### 2.2.2 Aufzeichnung der Messwerte

Die CO-Werte wurden bei allen Feuerungen bereits in den ersten 10 Minuten aufgezeichnet. Von Minute 10 bis 15 galt es jeweils, das Messgerät abzugleichen und für die „scharfen“ 15 Minuten vorzubereiten. Bei allen Feuerungen wurde die „scharfe“ CO-Messung exakt 15 Minuten nach dem Anzünden gestartet. Somit liegen für alle Feuerungen CO-Aufzeichnungen der Startphase und der zweiten Viertelstunde vor.

Die Staubmessung erfolgte bei allen Feuerungen ebenfalls in der zweiten Viertelstunde von Minute 16 bis 30.

### 2.2.3 Bestimmung Holzmenge / Anfeuerungsmethode

Die Feuerungen der ersten Staffel (Projektteil 1, neue Feuerungen) wurden gemäss Bedienungsanleitung beschickt (Holzmenge und Anfeuerungsmethode). Alle Bedienungsanleitungen sahen vor, den Brennstoff oben anzuzünden.

Bei den alten Feuerungen (Projektteil 2) kam das Merkblatt „Richtig Anfeuern“ von Holzenergie Schweiz zur Anwendung, da die Anleitungen bei älteren Anlagen nicht mehr vorhanden sind. Die Holzmenge wurde von den neuen Geräten und den Bedienungsgewohnheiten der Betreiber abgeleitet. Bei allen Feuerungen wurde das Brenngut mit einem „Anfeuermodul“ oben angezündet.

Die Feuerungen wurden vom Feuerungskontrolleur und nicht von den Kunden bedient. Der Feuerungskontrolleur stellte das Brennholz inklusive Anfeuerholz und Anzündhilfe zur Verfügung. Protokolliert wurden Holzfeuchte, Holzmenge, Stückigkeit, Witterung, Aussentemperatur, Luftdruck, Höhendaten (m.ü.M.), Tageszeit, Länge der Abgasanlage, Anordnung der Messstelle und allfällige besondere Witterungseinflüsse wie Wind oder Sonneneinstrahlung.

### 2.2.4 Dokumentation

Das Flammenbild aller Abbrände wurde mit Fotos (Intervall 3 Minuten) dokumentiert. Nebst dem Flammenbild wurde auch die Rauchfahne im 5-Minuten-Intervall fotografiert.

Die Anlagedaten sind in den Erfassungsprotokollen und die Messdaten in separaten Messrapporten erfasst.

### 2.2.5 Platzierung Messsonden

Wo immer möglich wurden die Messsonden im Verbindungsrohr (Verbindung zwischen Feuerung und Abgasanlage) platziert.

Bei den fest eingebauten Feuerungen (Speicheröfen und Cheminées) mussten die Messsonden in der Abgasanlage – sofern eine Reinigungsöffnung vorhanden war – oder über Dach platziert werden.

### 2.2.6 Hinweise zum Wirkungsgrad

Bei Messungen gemäss der BAFU Messempfehlung wird der Wirkungsgrad der Feuerstätte nicht berücksichtigt. Das heisst, die Emissionen stehen nicht im Verhältnis zur nutzbaren Energiemenge. Dies ist bei Geräten mit schlechten Wirkungsgraden von Bedeutung.

Grundsätzlich kann bei geschlossenen Feuerungen von Wirkungsgraden zwischen 65 % und 85 % ausgegangen werden. Bei offenen Cheminées liegen die Wirkungsgrade oftmals bei lediglich ca. 10 % bis 20 %. Von Interesse sind die Emissionen pro nutzbarer Energiemenge. Folglich müssten die Emissionen eines offenen Cheminées je nach Wirkungsgrad mit Faktor 3 bis 7 multipliziert werden. Nur so sind die Emissionen mit einer geschlossenen Feuerung vergleichbar.

Dieser Tatsache ist bei der Interpretation der Messresultate Beachtung zu schenken.

### 2.2.7 Auswertung Messresultate

In diesem Bericht erfolgt die Auswertung der CO- und Staubmessungen ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit. Alle CO- und Staubemissionen sind auf 13 % Sauerstoff normiert.

### 3 Resultate Projektteil 1

---

#### 3.1 Ausgewählte Feuerungen

Projektteil 1 umfasst Feuerungen, welche nach Inkrafttreten der letzten LRV-Revision installiert wurden (Installation zwischen 2008 bis 2014).

Betrachtet werden Cheminée-Heizeinsätze (EN 13229), Cheminéeöfen (EN 13240), Herde (EN 12815) und Speicheröfen (EN 15250).

Geeignete Feuerungen zu finden, erwies sich als grosse Herausforderung. Einerseits zögerten die Bauherrschaften mit Zusagen (sie befürchteten Aufwand und „Schmutz“), andererseits war es schwierig Anlagen zu finden, welche mit vertretbaren baulichen Anpassungen gemessen werden konnten.

Folgende Anlagen wurden im Projektteil 1 gemessen:

Feuerungskategorie	Anzahl Feuerungen
Feuerungen EN 13229 (Cheminées)	6
Feuerungen EN 13240 (Cheminéeöfen)	7
Feuerungen EN 12815 (Herde)	6
Feuerungen EN 15250 (Speicheröfen klein)	5
Feuerungen EN 15250 (Speicheröfen gross)	3
<b>Total Messungen Projektteil 1</b>	<b>27</b>

#### Speicheröfen nach EN 15544

Speicheröfen nach EN 15544 wurden im Rahmen dieses Projektes nicht gemessen, da für diese Feuerungen Datensätze des Ökozentrums Langenbruck vom November 2007 vorliegen. Sieben bereits vorhandene Messungen wurden im Rahmen des Projektes aufbereitet und in die Zusammenstellung integriert. Dabei sind jedoch lediglich die CO-Werte verwendbar. Staubmessungen der zweiten 15 Minuten liegen nicht vor.

#### Feuerungswärmeleistung FWL

Für die Feuerungswärmeleistung sind die Holzmenge respektive die Nennleistung massgebend. Bei den Feuerungen gemäss EN 13229, EN 13240 und EN 12815 wurde die von den Herstellern deklarierte Nennleistung mit dem in der Messempfehlung in der Fussnote 28 definierten Faktor 1,15 multipliziert und so die FWL errechnet.

Bei den Speicheröfen EN 15544 und 15250 wurde die FWL wie folgt hergeleitet:

Brennstoff pro Stunde \* unterer Heizwert Holz = Feuerungswärmeleistung

$$B_h * Hu = FWL$$

- Die in der Bedienungsanleitung empfohlene Gesamtholzmenge (bei EN 15250 gross) respektive die effektiv aufgelegte Holzmenge (bei EN 15544 und EN 1525 klein) wird als Brennstoff pro Stunde  $B_h$  angenommen.
- $B_h$  wird mit dem unteren Heizwert  $H_u$  von Holz (4 kWh/kg bei einem Wassergehalt  $w = 20\%$ ) multipliziert.

Aufgrund der deutliche grösseren Holzmassen der Speicheröfen (EN 15544, 15250) liegt auch die FWL dieser Kategorien deutlich über den anderen ausgewählten Aggregaten.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

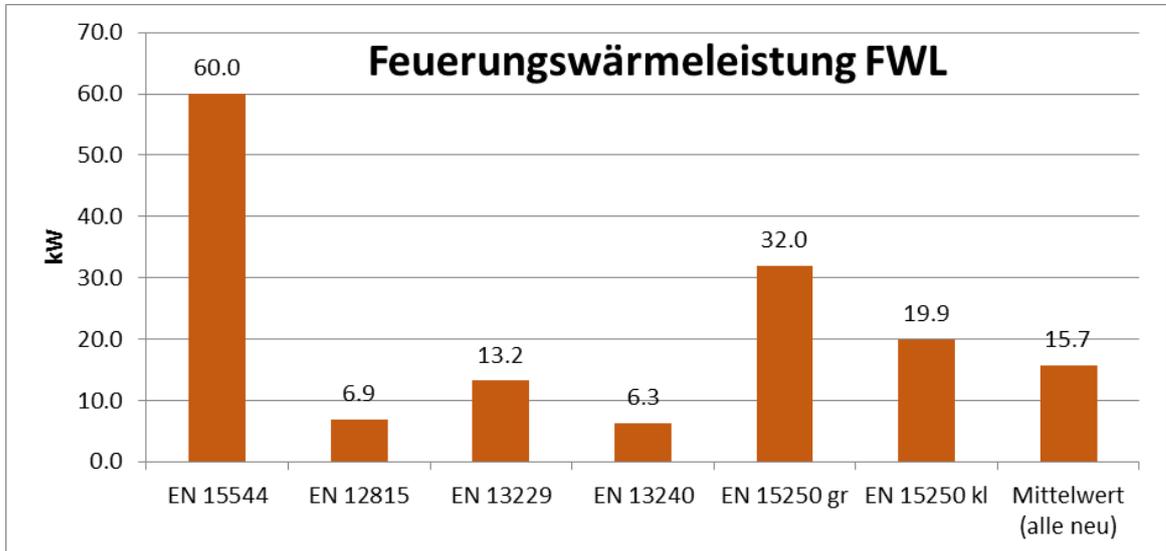


Abbildung 3.1: Gemittelte Feuerungswärmeleistung FWL der verschiedenen Anlagekategorien

Bei den Speicheröfen liegt die im Aufstellraum nutzbare Leistung – die Anlageleistung – deutlich tiefer. Beispielsweise haben die Anlagen der Kategorie EN 15544 bei einem Wirkungsgrad von 80 % und einer Speicherzeit von 12 Std. eine Anlageleistung von 4 kW. Bei der Kategorie EN 15250 kl (Kleinspeicheröfen) liegt die Anlageleistung bei ca. 2,2 kW. Für die Dimensionierung einer Wohnraumfeuerung ist die Anlageleistung relevant. In diesem Punkt schneiden Anlagen nach EN 15544 und EN 15250 sehr gut ab. Dank der Speichermasse ist die Anlageleistung tief, was dem heute üblichen geringen Heizleistungsbedarf für Neubauten entspricht.

## 3.2 Messergebnisse

### 3.2.1 CO-Messungen

Von den meisten Abbränden liegen Messwerte der ersten 10 Minuten und der zweiten 15 Minuten vor. Die in der folgenden Grafik vertikal übereinander angeordneten Punkte gehören zum selben Abbrand, das heisst jeweils: hellblaues Quadrat = Startphase, dunkelblaue Raute = „scharfe“ Messung gemäss BAFU-Messempfehlung.

Bei 7 der insgesamt 35 Messungen überschreiten die Feuerungen den LRV-Grenzwerte von  $4000 \text{ mg/Nm}^3$ . In den meisten Fällen lässt sich die Überschreitung damit begründen, dass sich der Abbrand aufgrund der sehr kleinen Brennstoffmengen nicht in der stationären Phase, sondern bereits im Ausbrand befindet. Im Ausbrand sind die CO-Konzentrationen hoch.

In der vermeintlich schlechteren Startphase überschreiten lediglich drei Feuerungen den LRV-CO-Grenzwert. Sofern das Brenngut mit einem Anfeuermodul von oben angezündet wird, ist die Startphase generell wenig problematisch. Heikel ist manchmal der Übergang vom Anfeuermodul zum Hauptbrennstoff. Insbesondere bei Feuerungen mit grosser Holzmenge, wie beispielsweise Kachelöfen, ist das im Merkblatt von Holzenergie Schweiz beschriebene Anfeuermodul nicht zielführend, die Holzmenge im Anfeuermodul ist zu erhöhen. In den Bedienungsanleitungen der Öfen nach EN 15544 ist das Anfeuerprozedere gut beschrieben. Alte Kachelöfen wurden analog den Bedienungsanleitungen neuer Kachelöfen beheizt.

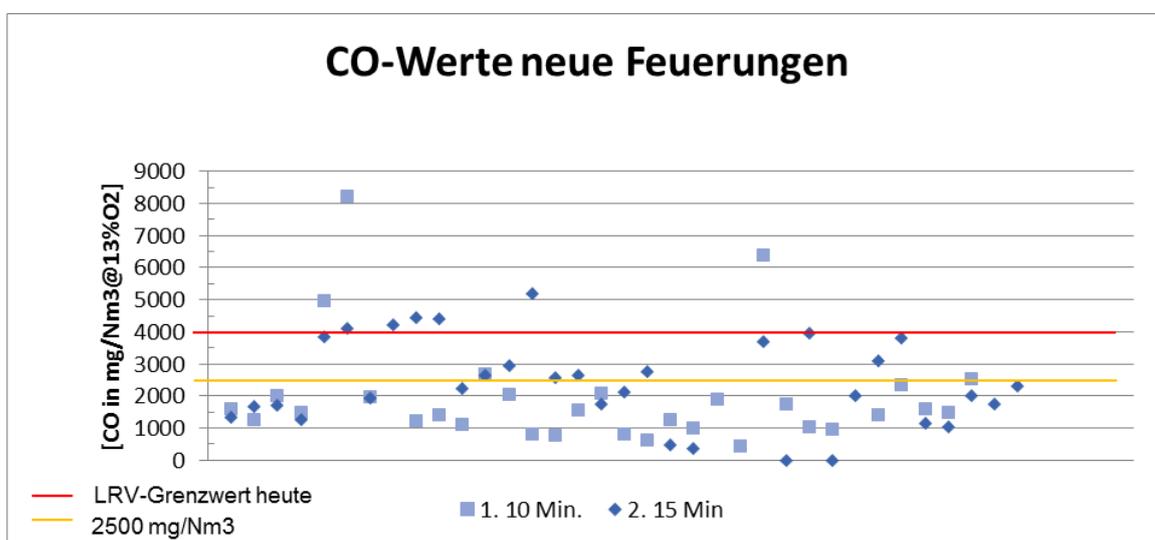


Abbildung 3.2: Alle CO-Werte der neuen Feuerungen. Erste 10 Min. und zweite 15 Min.

Zwei „Ausreisser“ – beides Cheminéeöfen 2. 15' – mit CO 17'127 mg (1,265 kg Holz) und 11'847 mg (1,345 kg Holz) sind aufgrund der Skalierung nicht sichtbar.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Bei fast allen Feuerungskategorien sind die Emissionen in den ersten 10 Minuten tiefer als im Zeitfenster der „scharfen“ Messungen. In vielen Fällen hat dies damit zu tun, dass sich das Feuer in den 2. 15 Minuten aufgrund der kleinen Holzaufmengen bereits im Ausbrand befindet. Die Messungen zeigen aber auch, dass die Startphase bei korrektem Anfeuern generell tiefe Emissionen aufweist.

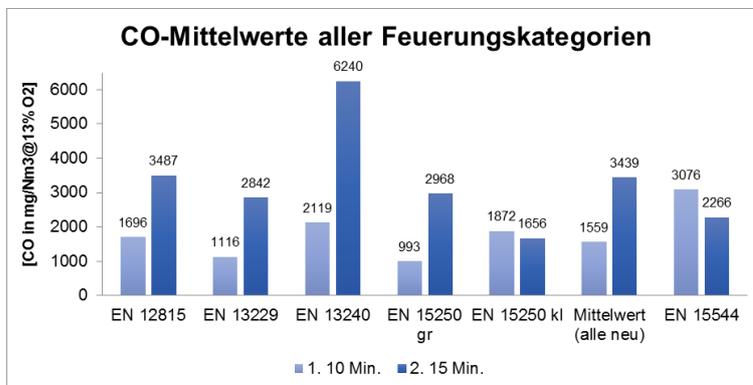


Abbildung 3.3: Mittelwerte CO aller Feuerungskategorien 1. Staffel

Bei den Herden präsentiert sich das Bild uneinheitlich. Drei der sechs Feuerungen erfüllen den heutigen LRV-Grenzwert nicht, drei erfüllen ihn problemlos. Bei den Feuerungen H1, H2, H5 und H6 handelt es sich um einen praktisch identischen Typen, bei welchem das Feuer unmittelbar unter der Herdplatte entfacht wird. Bei den Feuerungen H3 und H4 werden die Heizgase vor der Herdplatte umgelenkt.

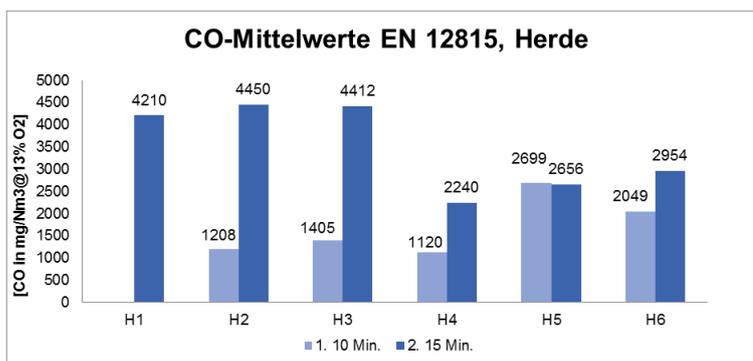


Abbildung 6.2: CO-Mittelwerte Herde EN 12815

Bis auf eine Ausnahme liegen die gemittelten CO-Werte bei Cheminées nach EN 13229 in den ersten 10 Minuten tiefer als in den zweiten 15 Minuten.

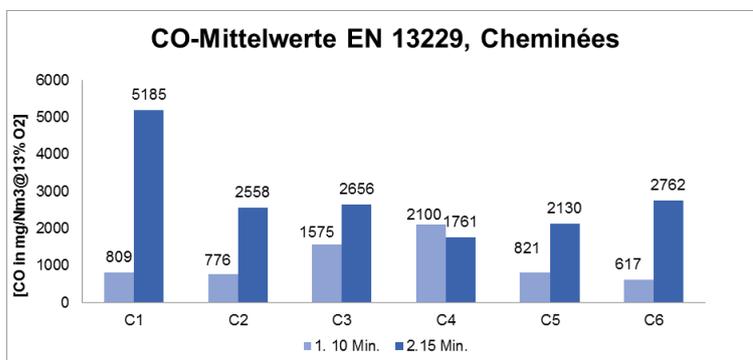


Abbildung 3.4: CO-Mittelwerte Cheminées EN 13229

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Bei der Messung der Anlage Co6 wurden die CO-Werte aufgrund einer defekten Messzelle nicht aufgezeichnet.

Die schlechten Werte der Anlagen Co3 und Co4 sind auf die gemäss Bedienungsanleitung sehr kleinen Holzmen gen (ca. 1,3 kg) zurückzuführen.

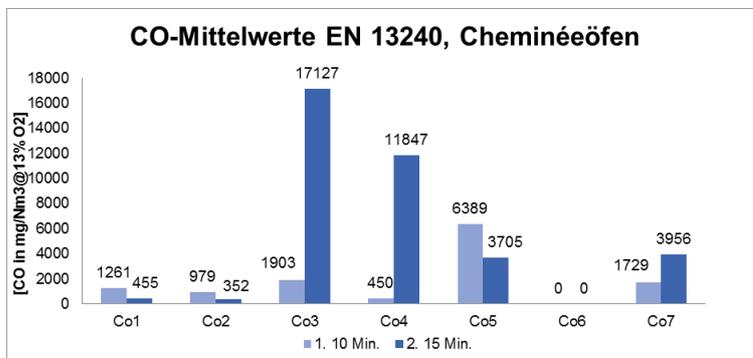


Abbildung 3.5: CO-Mittelwerte Cheminéeöfen EN 13240

In dieser Kategorie handelt es sich um serienell gefertigte Specksteinöfen. Gemäss Bedienungsanleitung ist die gesamte Brennstoffmenge in drei Chargen zu verbrennen (Anfeuern und zweimal Nachlegen). Gemessen wurde in der ersten Charge. Die Brennstoffmengen der einzelnen Chargen sind sehr klein (zwischen 2 und 3 kg). Die Messung der zweiten 15 Min. erfolgt im Ausbrand der ersten Charge. Die CO-Werte sind entsprechend hoch.

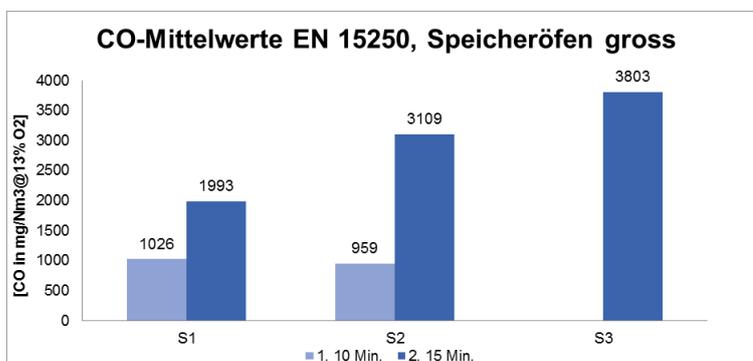


Abbildung 3.6: CO-Mittelwerte Kleinspeicheröfen EN 15250

Die Kleinspeicheröfen erwiesen sich insgesamt als die einheitlichste Feuerungskategorie. Die Emissionswerte dürfen generell als gut beurteilt werden.

Folgende Gründe können dafür verantwortlich sein:

- relativ grosse Holzmen gen
- kompakter und klar definierter Brennraum (Holz kann kaum falsch platziert werden)

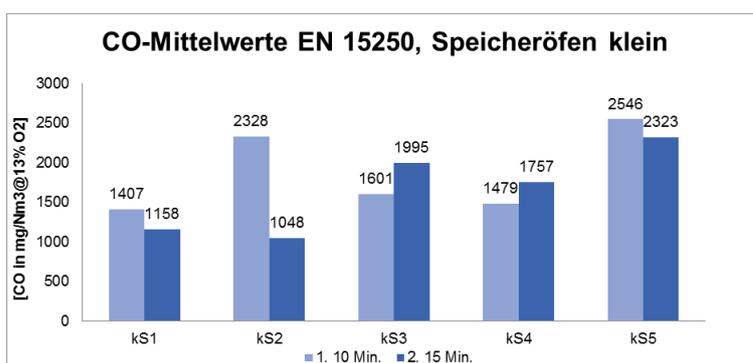


Abbildung 3.7: CO-Mittelwerte Kleinspeicheröfen EN 15250

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Die Messresultate für Speicheröfen stammen aus dem Forschungsprojekt „Brennkammern für Holzfeuerstätten mit geringen Partikelemissionen“ (Schlussbericht Juni 2010). Unter sehr praxisnahen Bedingungen konnten zwei nach EN 15544 dimensionierte Speicheröfen untersucht und gemessen werden.

Bei den Messungen K1, K2, K3, K4 und K7 handelt es sich um „obere Abbrände“ (oben anfeuern) in stehenden Brennkammern.

Bei K5 und K6 wurde der Brennstoff in liegenden Brennkammern hinten, unmittelbar beim Übergang zu den keramischen Nachheizflächen, entfacht.

Die Bedienungsanleitung verlangt generell einen „oberen Abbrand“, das heisst mit Anfeuermodul oben anzünden. Alle diese Abbrände dürfen bezüglich CO-Emissionen als gut bis sehr gut bezeichnet werden. Der VHP empfiehlt, auf liegende Brennkammer zu verzichten. Das Q-Siegel von Holzenergie Schweiz verlangt zwingend eine stehende Brennkammer.

Aufgrund der grossen Holzmassen dauern die Abbrände ungefähr eine Stunde. Die folgende Abbildung zeigt die CO-Werte der dritten und vierten 15 Minuten.

K1, K2 und K7 haben in der zweiten Abbrandhälfte sehr tiefe CO-Emissionen. Diese Abbrände wurden mit Volllast betrieben. Bei K3 und K4 steigen die Emissionen in den vierten 15 Minuten deutlich an. K3 und K4 wurden mit reduzierter Holzmenge in Teillast betrieben. In den vierten 15 Minuten befinden sich diese Feuerungen im Ausbrand, was zu erhöhten CO-Werten führt.

Der Verlauf der CO-Konzentrationen aus dem Forschungsprojekt ist in Abbildung 3.9 zu sehen. Die schwarze Linie zeigt den Mittelwert der Messungen. Gut ersichtlich ist hierbei, die Abnahme der CO-Konzentration während der ersten drei Messintervalle mit einer minimalen CO-Konzentration in den dritten 15 Minuten und einer anschliessenden Zunahme in den vierten 15 Minuten, während deren sich die Feuerungen bereits im Ausbrand befinden. Die Resultate zeigen deutlich, dass bei Speicheröfen mit grosser Holzmenge die Zeitdauer bis zur stationären Phase mit tieferen CO-Konzentrationen länger dauert als die in den Messempfehlungen definierten zweiten 15. Minuten.

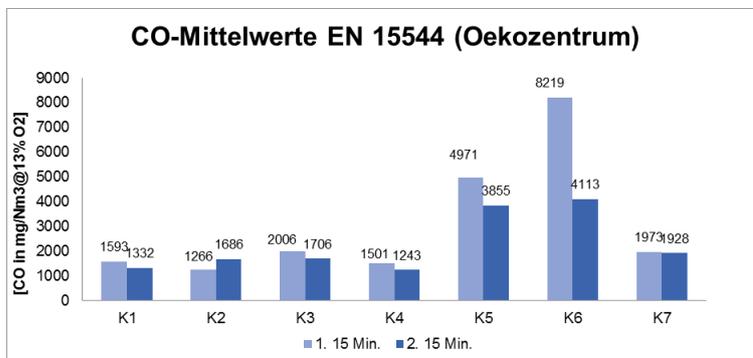


Abbildung 3.8: CO-Mittelwerte Speicheröfen Oekozentrum EN 15544

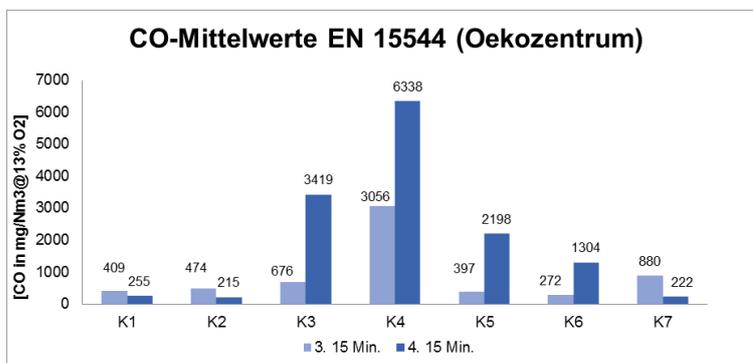


Abbildung 3.9: CO-Mittelwerte Speicheröfen Oekozentrum EN 15544 dritte und vierte 15 Minuten

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

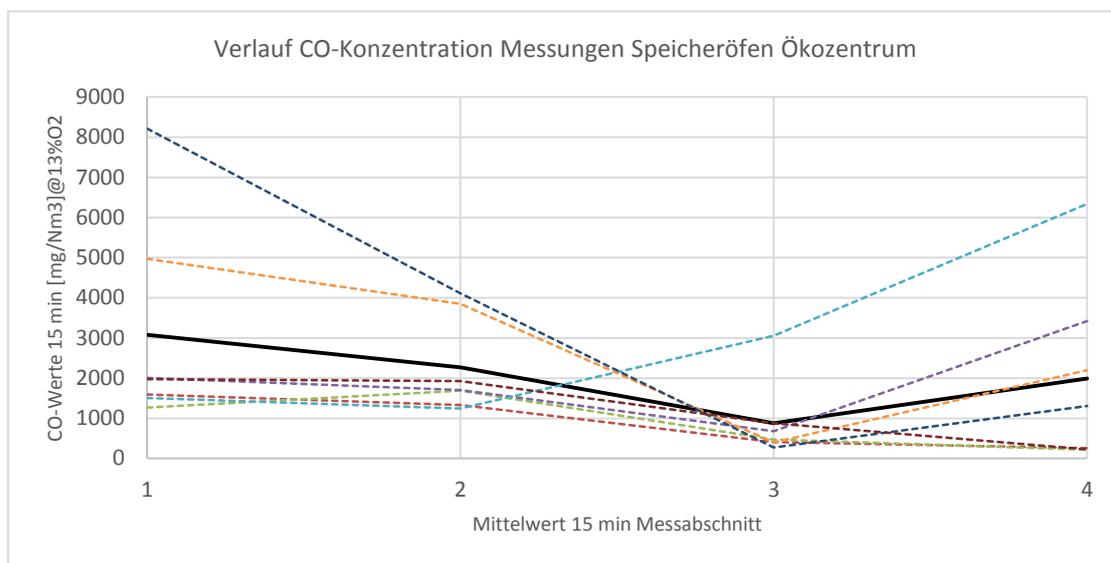


Abbildung 3.10: Verlauf CO-Konzentration Speicheröfen Oekozentrum EN 15544  
 Mittelwerte der 15 Min. Messabschnitte. Gestrichelte Linien: Einzelne Messungen; Schwarze Linie: Mittelwert der Messungen

### 3.2.2 Staubmessungen

Staub wurde nur in den zweiten 15 Minuten des Abbrandes gemessen, analog der Messempfehlung des BAFU für die CO-Messung und so, wie dies die Messvorgaben in Deutschland (1. BImSchV) vorsehen. Bezüglich Staubemissionen in der Startphase sind somit keine Aussagen möglich.

In der Schweiz gibt es bis anhin keinen Staub-Feldgrenzwert. Die 1. BImSchV sieht einen Staub-Feld-Grenzwert von  $150 \text{ mg/Nm}^3$  vor. An diesem Wert orientiert sich die folgende Auswertung.

Die Staubwerte liegen in einigen Kategorien relativ hoch. Die Durchschnittswerte werden zum Teil durch massive „Ausreisser“ einzelner Feuerungen verzerrt. Deshalb ist es sehr heikel, von diesen Durchschnittswerten auf die gesamten Anlagekategorien zu schliessen. Für solche Schlussfolgerungen ist die Datengrundlage zu klein.

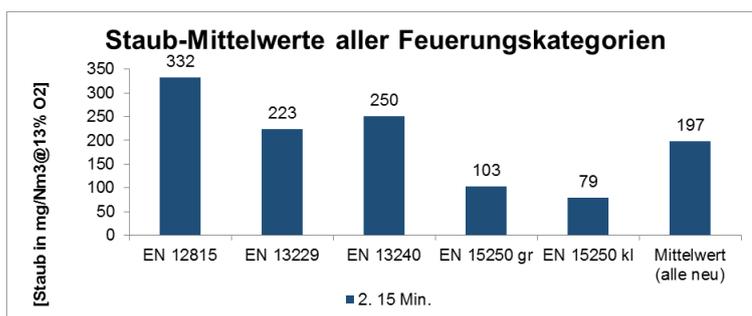


Abbildung 3.11: Staub-Mittelwerte aller Feuerungskategorien

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Analog zu den CO-Werten präsentieren sich auch die Staubemissionen bei den Herden sehr uneinheitlich.

Zwei Abbrände Staub >150mg/Nm<sup>3</sup>

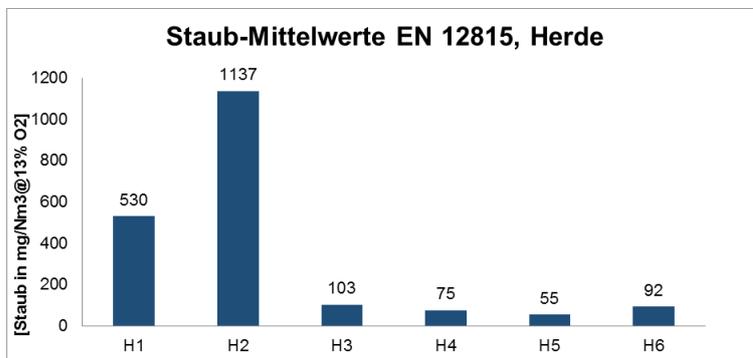


Abbildung 3.12: Staub-Mittelwerte Herde EN 12815

Zwei der sechs gemessenen Feuerungen bei den Cheminées haben relativ hohe Staubemissionen. Bei den zwei Feuerungen handelt es sich um Geräte desselben Typs.

Zwei Abbrände Staub >150mg/Nm<sup>3</sup>

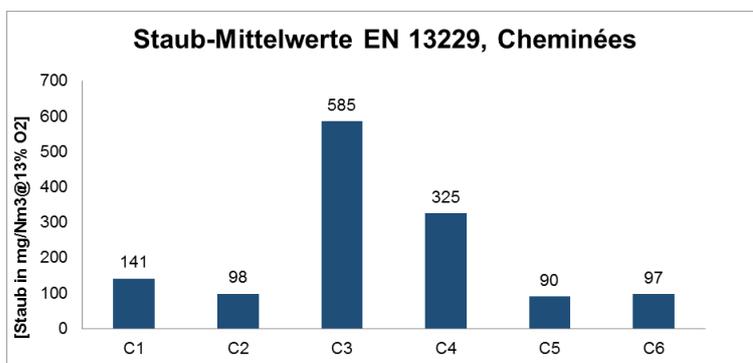


Abbildung 3.13: Staub-Mittelwerte Cheminées EN 13229

Die Staubemissionen liegen generell etwas höher als bei den Cheminées. Bei den Geräten Co5 und Co6 handelt es sich um Anlagen desselben Typs.

Vier Abbrände Staub >150mg/Nm<sup>3</sup>

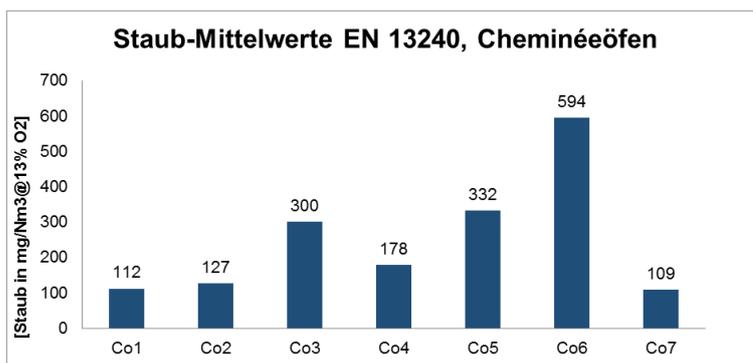


Abbildung 3.14: Staub-Mittelwerte Cheminéeöfen EN 13240

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Analog zu den CO-Messungen bilden die kleinen Speicheröfen die am meisten ausgeglichene Kategorie mit den tiefsten Staub-Emissionen.

Kein Abbrand Staub  $>150\text{mg}/\text{Nm}^3$

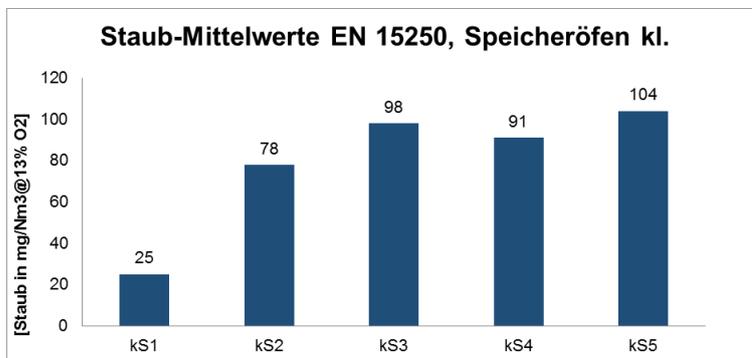


Abbildung 3.15: Staub-Mittelwerte Kleinspeicheröfen EN 15250

Die Staub-Mittelwerte sind bei den grossen Speicheröfen niedrig, dies trotz relativ hoher CO-Emissionen.

Kein Abbrand Staub  $>150\text{mg}/\text{Nm}^3$

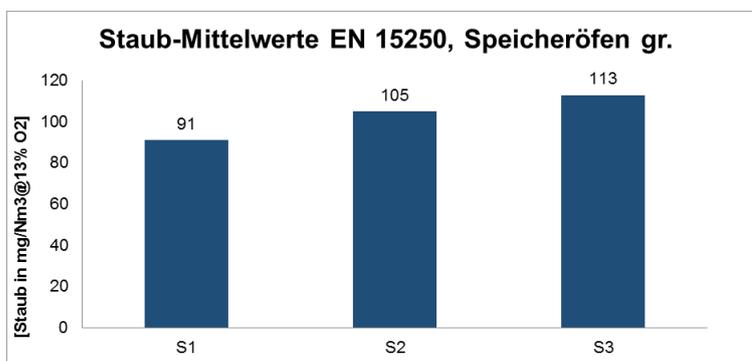


Abbildung 3.16: Staub-Mittelwerte Speicheröfen 15250

Das Bestimmtheitsmass (Mass für die Korrelation; Quadrat des Korrelationskoeffizienten) zwischen gemessenen CO- und Staubwerten der zweiten 15 Minuten gemäss Messempfehlung ist mit 0,0147 sehr gering (siehe Abbildung 3.17). Ohne Ausreisser ist das Bestimmtheitsmass mit 0,068 ebenfalls sehr tief (siehe Abbildung 3.18). Für die 1. Staffel besteht kein Zusammenhang zwischen den CO- und Staubemissionen. Grund dafür könnte sein, dass sich ein guter Teil der Feuerungen bereits im Ausbrand befindet, während welchem die CO- und Staubwerte nicht mehr korrelieren.

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

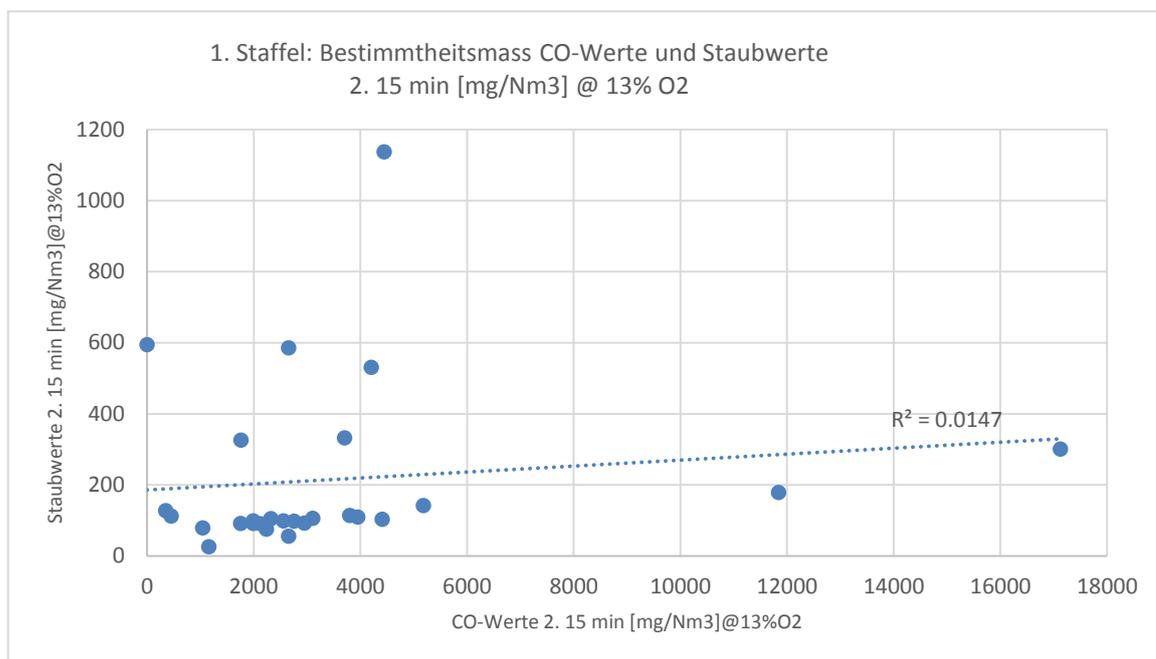


Abbildung 3.17: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten der 1. Staffel

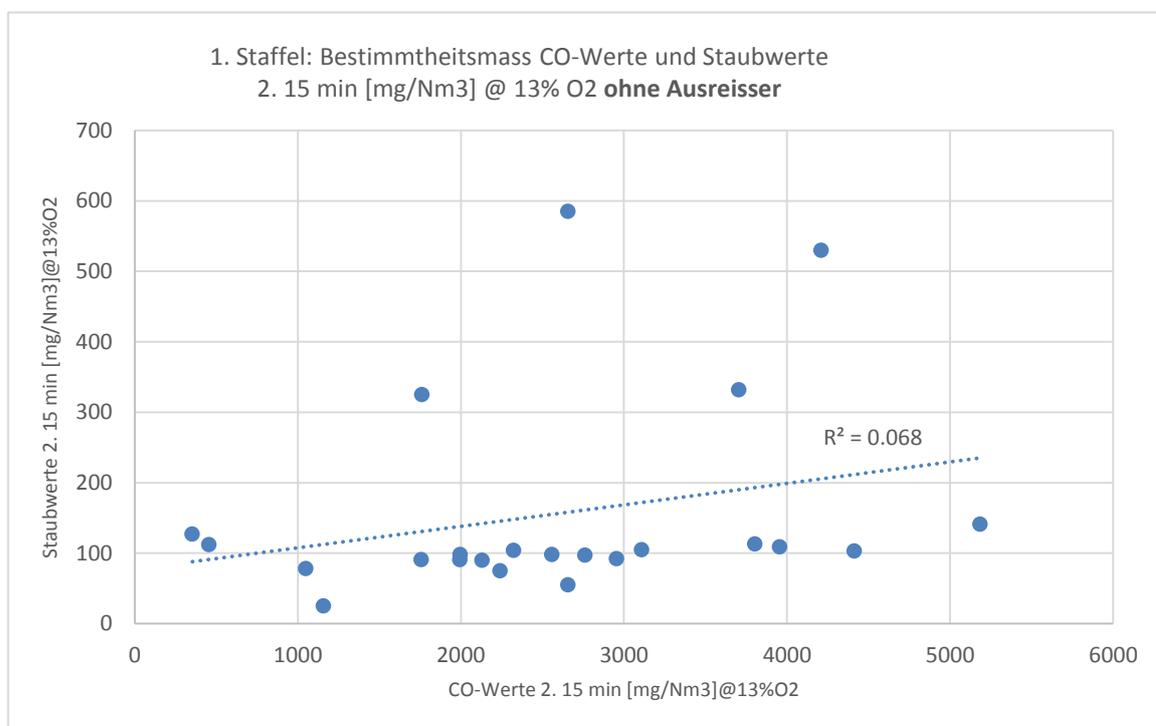


Abbildung 3.18: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten der 1. Staffel ohne Ausreisser

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

### 3.3 Alle Messergebnisse Projektteil 1, neue Feuerungen

	CO-Mittelwert 1. 15 Min [mg/Nm <sup>3</sup> @ 13% O <sub>2</sub> ]	CO-Mittelwert 2. 15 min [mg/Nm <sup>3</sup> @ 13% O <sub>2</sub> ]	Staub-Mittelwert 2. 15 Min [mg/Nm <sup>3</sup> ]
<b>EN 15544 (individ. Speicheröfen / Kachelöfen)</b>			
<b>Mittelwerte K</b>	<b>3076</b>	<b>2266</b>	
K1	1593	1332	keine Messwerte
K2	1266	1686	keine Messwerte
K3	2006	1706	keine Messwerte
K4	1501	1243	keine Messwerte
K5	4971	3855	keine Messwerte
K6	8219	4113	keine Messwerte
K7	1973	1928	keine Messwerte
<b>EN 12815 (Herde)</b>			
<b>Mittelwerte H</b>	<b>1696</b>	<b>3487</b>	<b>332</b>
H1		4210	530
H2	1208	4450	1137
H3	1405	4412	103
H4	1120	2240	75
H5	2699	2656	55
H6	2049	2954	92
<b>EN 13229 (Cheminées)</b>			
<b>Mittelwerte C</b>	<b>1116</b>	<b>2842</b>	<b>223</b>
C1	809	5185	141
C2	776	2558	98
C3	1575	2656	585
C4	2100	1761	325
C5	821	2130	90
C6	617	2762	97
<b>EN 13240 (Cheminéeöfen)</b>			
<b>Mittelwerte Co</b>	<b>2119</b>	<b>6240</b>	<b>250</b>
Co1	1261	455	112
Co2	979	352	127
Co3	1903	17127	300
Co4	450	11847	178
Co5	6389	3705	332
Co6	Messzelle defekt	Messzelle defekt	594
Co7	1729	3956	109
<b>EN 15250 (Speicheröfen gross / Specksteinöfen)</b>			
<b>Mittelwerte S</b>	<b>993</b>	<b>2968</b>	<b>103</b>
S1	1026	1993	91
S2	959	3109	105
S3	keine Aufzeichnung	3803	113
<b>EN 15250 (Speicheröfen klein)</b>			
<b>Mittelwerte kS</b>	<b>1872</b>	<b>1656</b>	<b>79</b>
kS1	1407	1158	25
kS2	2328	1048	78
kS3	1601	1995	98
kS4	1479	1757	91
kS5	2546	2323	104
<b>Mittelwerte (alle neu)</b>	<b>1559</b>	<b>3439</b>	<b>197</b>

Tabelle 2: Messergebnisse Projektteil 1

## 4 Resultate Projektteil 2

---

### 4.1 Ausgewählte Feuerungen

Im zweiten Projektteil wurden Feuerungen mit Installationsdatum von ca. 1985 bis 1995 gemessen. Dabei handelt es sich um ca. 20- bis 30-jährige Geräte, welche ans Ende der „Einsatzzeit“ gelangen. Soweit möglich und sinnvoll wurden ähnliche Anlagekategorien gebildet wie im Projektteil 1.

Geeignete Feuerungen zu finden erwies sich auch hier als grosse Herausforderungen. Einerseits zögerten die Bauherrschaften mit Zusagen (sie befürchteten Aufwand und „Schmutz“), andererseits war es schwierig Anlagen zu finden, welche mit vertretbaren baulichen Anpassungen gemessen werden konnten.

Folgend Anlagen wurden im Projektteil 2 gemessen:

Feuerungskategorie	Anzahl Feuerungen
Geschlossene Cheminées (ähnlich EN 13229)	3
Cheminéeöfen (ähnlich EN 13240)	6
Offene Cheminées	3
Holzkochherde (ähnlich EN 12815)	4
Individuelle Speicheröfen / Kachelöfen (ähnlich EN 15544)	3
Specksteinöfen seriell gefertigt (ähnlich EN 15250)	4
Tragöfen (saniert)	2
Tragöfen (alt)	3
<b>Total Messungen Projektteil 2</b>	<b>28</b>

### 4.2 Messergebnisse

#### 4.2.1 CO-Messungen

Von allen Abbränden des zweiten Projektteils liegen Messwerte der ersten 10 Minuten und der zweiten 15 Minuten vor. Die in der folgenden Grafik vertikal übereinander angeordneten Punkte gehören zum selben Abbrand, das heisst jeweils: hellgrünes Quadrat = Startphase, dunkelgrüne Raute = „scharfe“ Messung gemäss BAFU-Messempfehlung.

Bei 6 der insgesamt 28 Messungen überschreiten die Feuerungen den LRV-Grenzwert von  $4000 \text{ mg/Nm}^3$ . In den meisten Fällen lässt sich die Überschreitung damit begründen, dass sich der Abbrand aufgrund der sehr kleinen Brennstoffmengen nicht in der stationären Phase, sondern bereits im Ausbrand befindet. Im Ausbrand sind die CO-Konzentrationen hoch.

In der vermeintlich schlechteren Startphase überschreiten lediglich 4 Feuerungen den LRV-CO-Grenzwert.

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

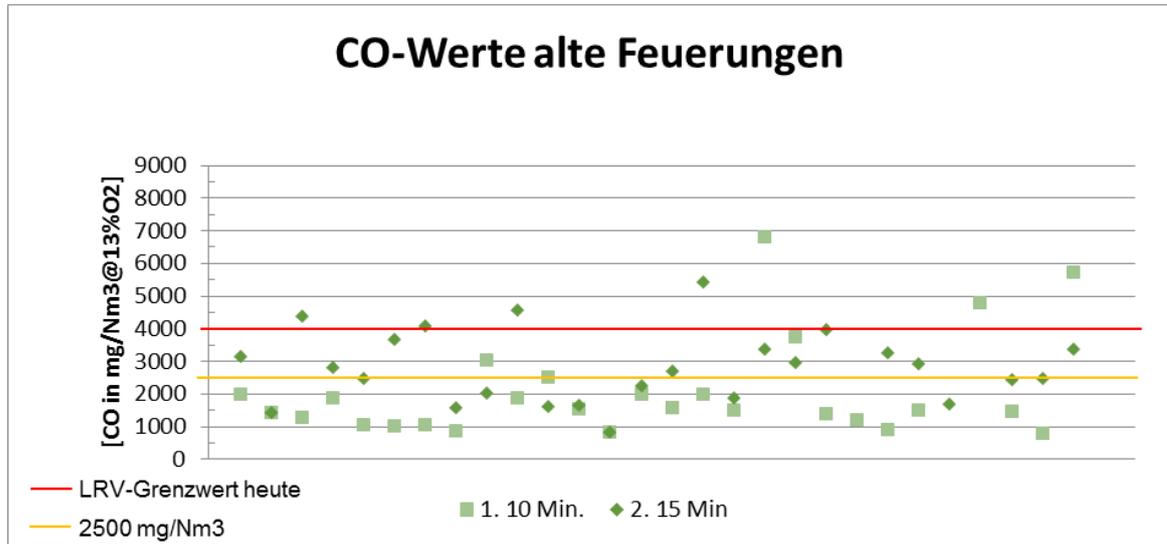


Abbildung 4.1: Alle CO-Werte der alten Feuerungen. Erste 10 Min. und zweite 15 Min.

Drei „Ausreisser“ sind aufgrund der Skalierung nicht sichtbar:

- Specksteinofen Spo2, 2.15'; CO 14493 mg, Holzmenge 1,617 kg (Ausbrand)
- Tragöfen To2, 2.15'; CO 12521 mg, Holzmenge 2,616 kg (Ganzer Abbrand schlecht. Nicht richtig gezündet.)
- Tragöfen To1, 1.15'; CO 1 mg, Holzmenge 2,17 kg (Schlechter Start. 2.15' CO 1708 mg)

Im Durchschnitt überschreiten die Specksteinöfen und die Tragöfen den LRV-Grenzwert von 4000 mg/Nm<sup>3</sup>. Bei den Specksteinöfen ist dies auf die (zu) kleinen Holzmenge zurückzuführen. Bei den Tragöfen verzerrt ein schlechter Abbrand das Bild. Rückschlüsse auf gesamte Anlagekategorien basierend auf dieser Darstellung sind aufgrund der geringen Datenbasis äusserst heikel. Einzelne schlechte Abbrände verzerren das Bild der ganzen Anlagekategorie teilweise erheblich.

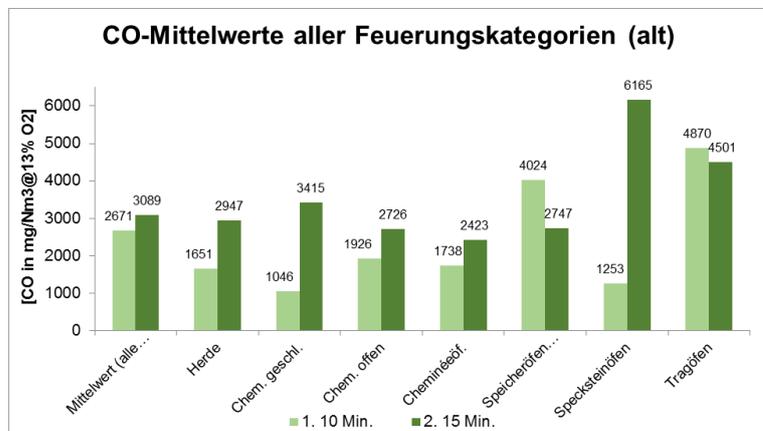


Abbildung 4.2: Mittelwerte CO aller Feuerungskategorien (alt)

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Die Emissionswerte der alten Herde sind verglichen mit den neuen Herden recht homogen und verhältnismässig tief.

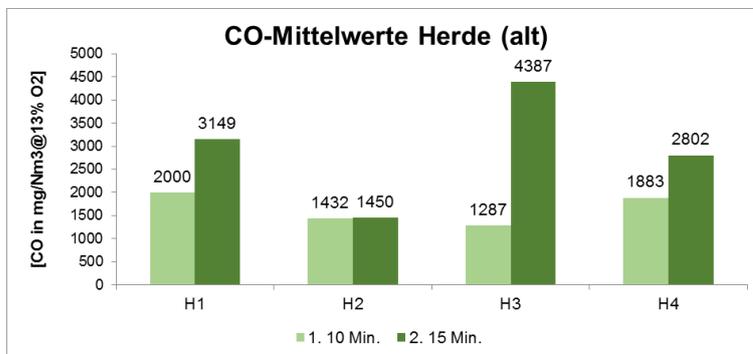


Abbildung 4.3: CO-Mittelwerte Herde (alt)

Auffällig ist die deutlich bessere Startphase bei den Cheminées, welche auch in diesen Fällen durch die kleinen Brennstoffmengen begründet ist.

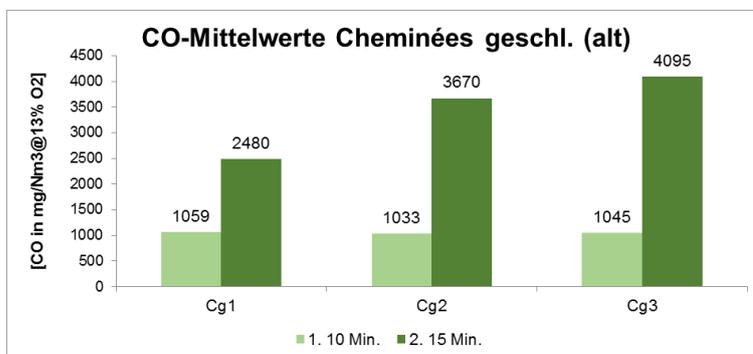


Abbildung 4.4: CO-Mittelwerte Cheminées geschlossen (alt)

Die Emissionen der offenen Cheminées verglichen mit den geschlossenen Cheminées unterscheiden sich nur unwesentlich.

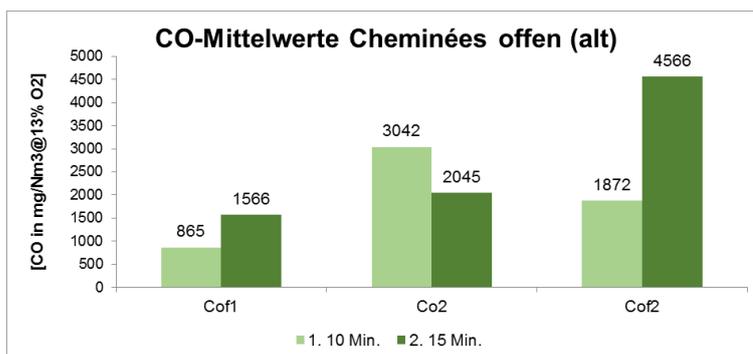


Abbildung 4.5: CO-Mittelwerte Cheminées offen (alt)

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Die CO-Emissionen der gemessenen alten Cheminéeöfen sind durchwegs tief.

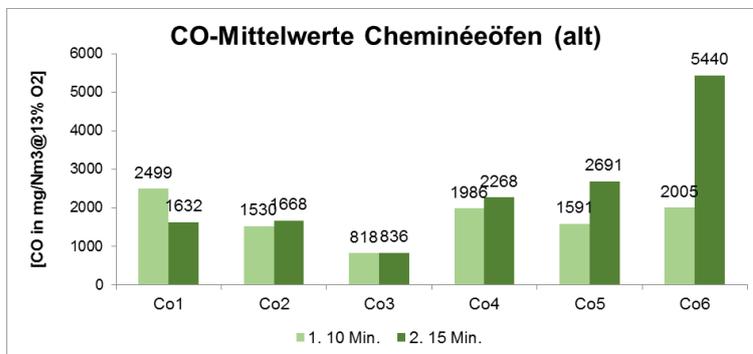


Abbildung 4.6: CO-Mittelwerte Cheminéeöfen (alt)

Bei To1 und To2 handelt es sich um sehr alte, nicht sanierte Tragöfen. To2 verfügt lediglich über Rostluft. Da die Messungen To1 und To2 (Mod1) sehr unterschiedlich ausfielen, wurde die Messung an Mod1 wiederholt. Die Anlage war weitestgehend ausgekühlt. Das Resultat der Messung To3 ist verglichen mit den Resultaten To2 um Faktoren besser.

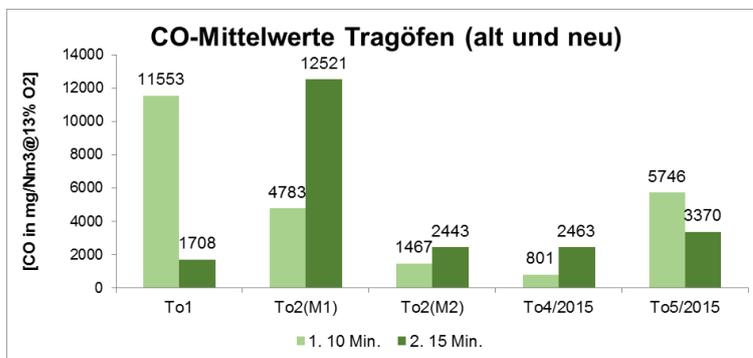


Abbildung 4.7: CO-Mittelwerte Tragöfen (alt und saniert)

Die Werte der Speicheröfen/Kachelöfen liegen in ähnlichen Bereichen wie jene der neuen Kachelöfen. Auch bei diesen Anlagen werden die stabil tiefen Emissionswerte erst in der Mitte der zweiten 15 Minuten erreicht. Die Werte der dritten und vierten 15 Min. lägen mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit noch wesentlich tiefer.

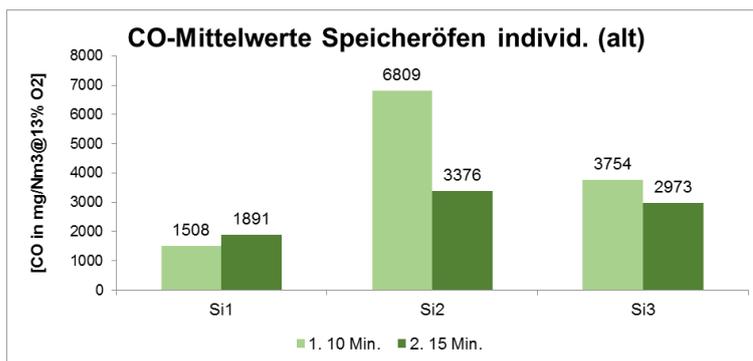


Abbildung 4.8: CO-Mittelwerte Speicheröfen individuell (alt)

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Die Brennstoffmenge wurde mit folgender Faustformel festgelegt:

Pro 100 kg Speichermasse  
1 kg Brennholz.

In Anlehnung an die neuen Specksteinöfen wurde die Holzmenge auf drei Chargen verteilt.

Das Vorgehen führt – gleich wie bei den neuen Specksteinöfen – zu kleinen Holzmenge pro Charge.

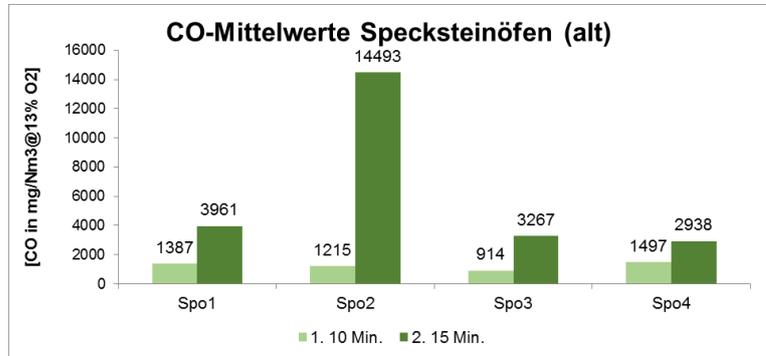


Abbildung 4.9: CO-Mittelwerte Specksteinöfen (alt)

Entsprechend höher liegen die CO-Werte in den zweiten 15 Minuten.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

### 4.2.2 Staubmessungen

Staub wurde nur in den zweiten 15 Minuten des Abbrandes gemessen, analog der Messempfehlung des BAFU für die CO-Messung und so, wie dies die Messvorgaben in Deutschland (1. BImSchV) vorsieht. Bezüglich Staubemissionen in der Startphase sind somit keine Aussagen möglich.

In der Schweiz gibt es bis anhin keinen Staub-Feldgrenzwert. Die 1. BImSchV sieht einen Staub-Feld-Grenzwert von  $150 \text{ mg/Nm}^3$  vor. An diesem Wert orientiert sich die folgende Auswertung.

Insgesamt liegen die Staubemissionen bei den alten Feuerungen deutlich tiefer als bei den neuen Feuerungen.

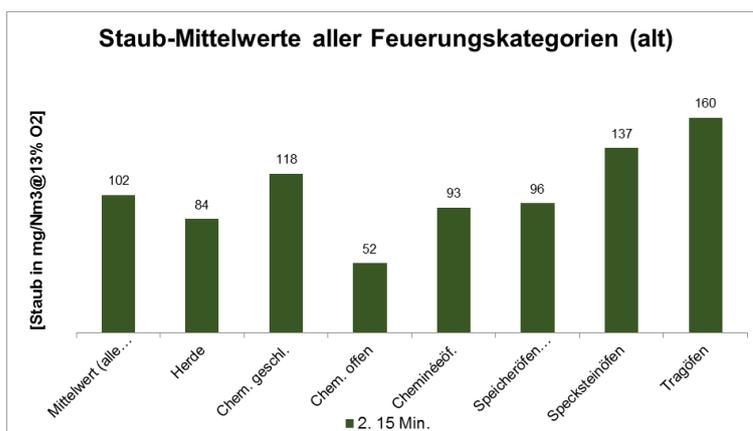


Abbildung 4.10: Staub-Mittelwerte alle Kategorien (alt)

Die Staubwerte bei den alten Herden sind generell tief und liegen alle deutlich unter den in Deutschland geforderten  $>150 \text{ mg/Nm}^3$ .

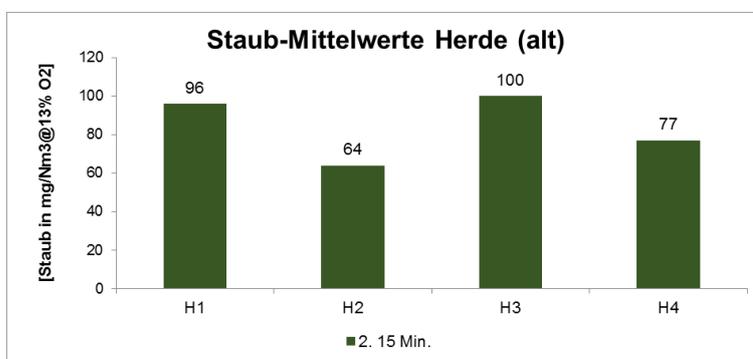
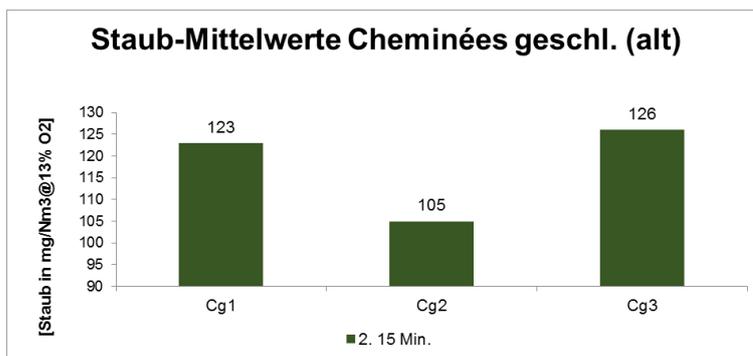


Abbildung 4.11: Staub-Mittelwerte Herde (alt)

Alle Messungen liegen unterhalb der „Staub-Schwelle“ von  $150 \text{ mg/Nm}^3$ .



## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Abbildung 4.12: Staub-Mittelwerte Cheminées geschlossen (alt)

Die Staubwerte liegen im offenen Betrieb der Cheminées alle deutlich unter den Werten im geschlossenen Betrieb. Aufgrund des massiven Luftüberschusses ist von erhöhten Messunsicherheiten auszugehen. Wie hoch diese Unsicherheiten sind, ist nicht bekannt. Jedoch lägen die Werte auch bei Messunsicherheiten von 100 % noch immer im Bereich der Anlagen mit geschlossenem Betrieb.

Kein Abbrand Staub  
 $>150\text{mg}/\text{Nm}^3$

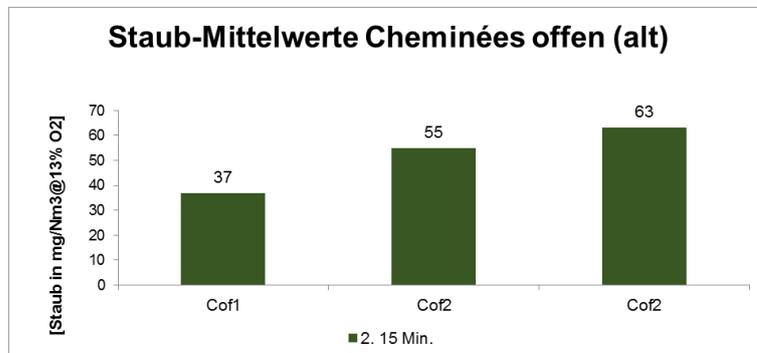


Abbildung 4.13: Staub-Mittelwerte Cheminées offen (alt)

Die Staubwerte der alten Cheminéeöfen sind recht einheitlich und relativ tief.

Kein Abbrand Staub  
 $>150\text{mg}/\text{Nm}^3$

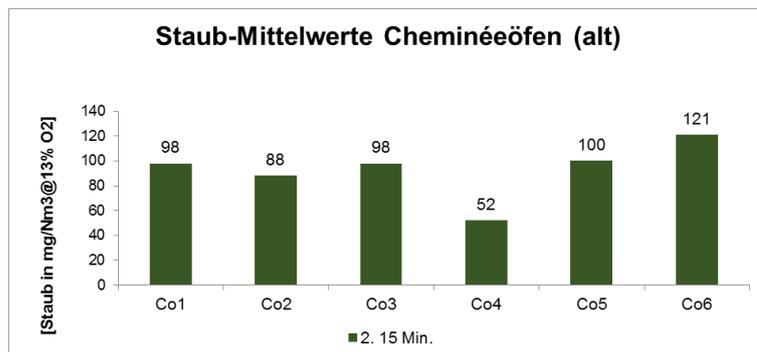


Abbildung 4.14: Staub-Mittelwerte Cheminéeöfen (alt)

Der Abbrand To2 ist missglückt, da sich das Holz nicht recht entzündete. Auch die CO-Werte sind bei To2 hoch. To3 zeigt einen geglückten Abbrand in derselben Feuerung.

Ein Abbrand Staub  
 $>150\text{mg}/\text{Nm}^3$

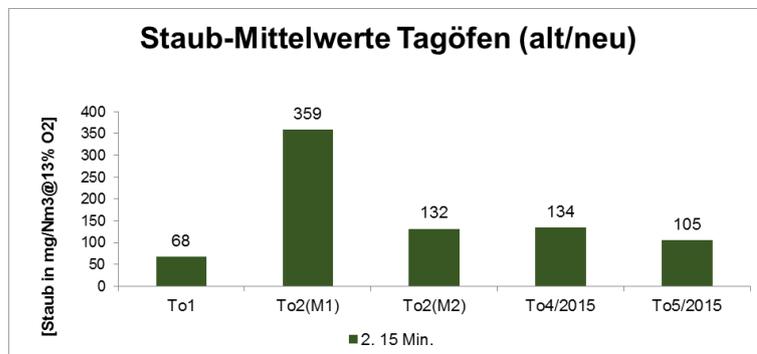


Abbildung 4.15: Staub-Mittelwerte Tragöfen (alt und saniert)

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Bei keinem der individuellen Speicheröfen liegen die Staubwert über  $150 \text{ mg/Nm}^3$ .

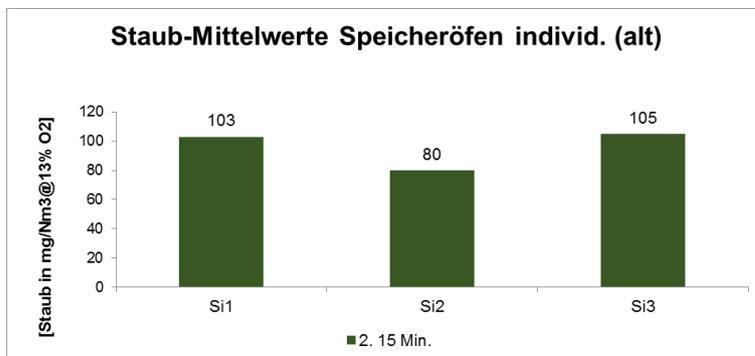


Abbildung 4.16: Staub-Mittelwerte Speicheröfen individ. (alt)

Spo2 ist mit 1,8 kg Brennstoff der kleinste gemessene Specksteinofen

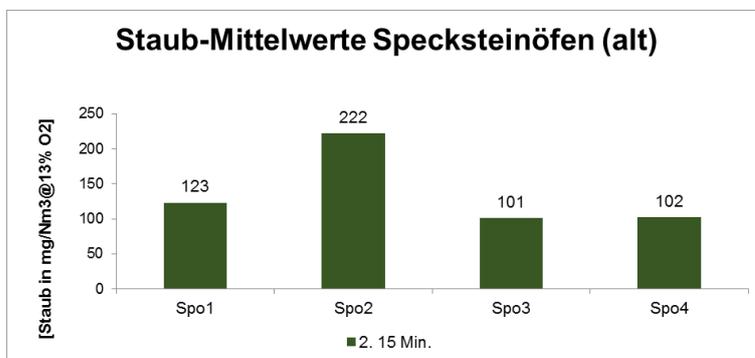


Abbildung 4.17: Staub-Mittelwerte Specksteinöfen (alt)

Das Bestimmtheitsmass zwischen gemessenen CO- und Staubwerten der zweiten 15 Minuten gemäss Messempfehlung ist mit 0,6751 relativ hoch (siehe Abbildung 4.18). Ohne Ausreisser sieht die Situation hingegen anders aus: Das Bestimmtheitsmass liegt lediglich bei 0,1283 (siehe Abbildung 4.19). Für die 2. Staffel kann daher ebenfalls nicht von einem Zusammenhang zwischen den CO- und Staubemissionen ausgegangen werden.

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

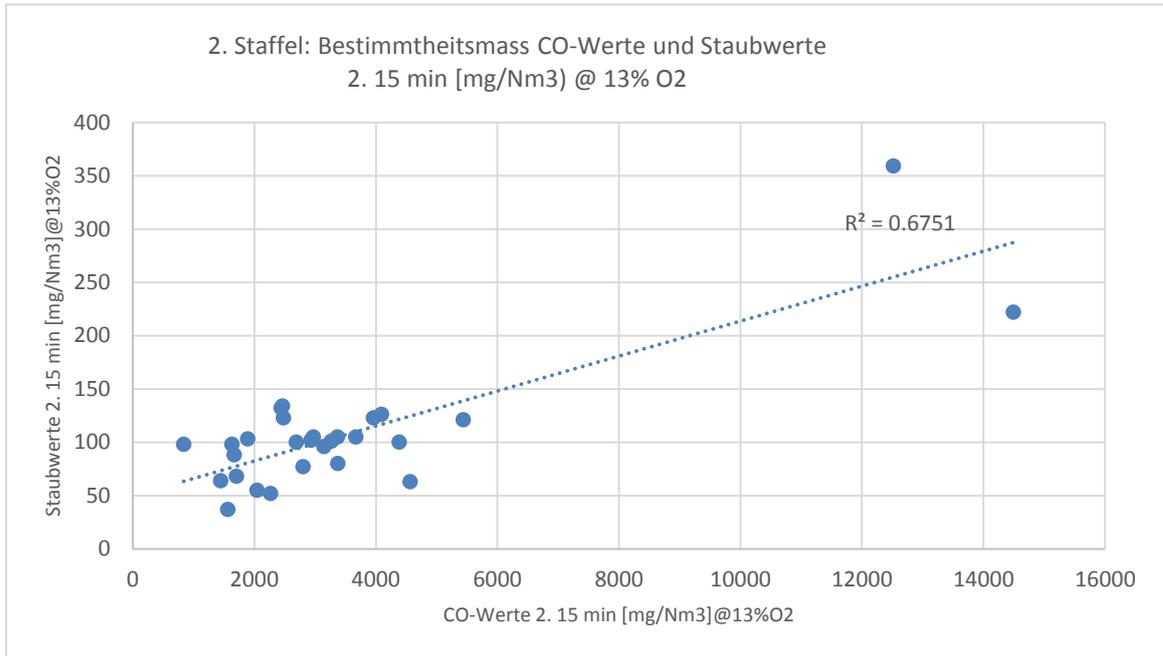


Abbildung 4.18: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten der 2. Staffel

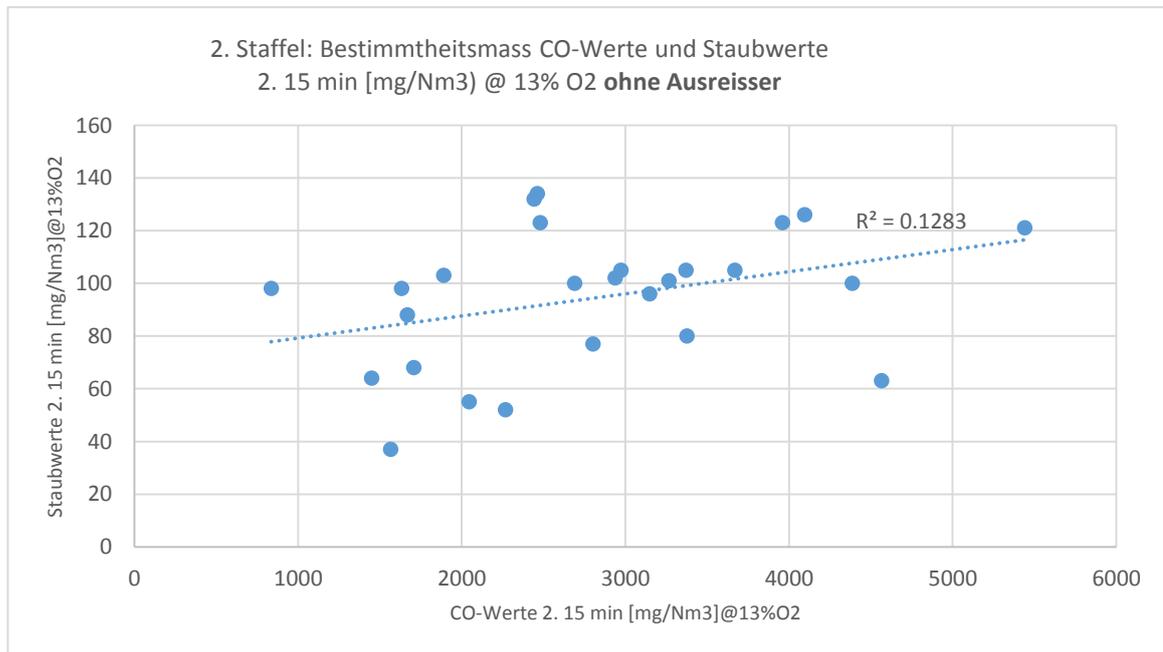


Abbildung 4.19: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten der 2. Staffel ohne Ausreisser

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

### 4.3 Alle Messergebnisse Projektteil 2, alte Feuerungen

	CO-Mittelwert 1. 15 Min [mg/Nm <sup>3</sup> @ 13% O <sub>2</sub> ]	CO-Mittelwert 2. 15 min [mg/Nm <sup>3</sup> @ 13% O <sub>2</sub> ]	Staub-Mittelwert 2. 15 Min [mg/Nm <sup>3</sup> ]
<b>Herde</b>			
<b>Mittelwerte H</b>	<b>1651</b>	<b>2947</b>	<b>84</b>
H1	2000	3149	96
H2	1432	1450	64
H3	1287	4387	100
H4	1883	2802	77
<b>Cheminées geschl. (Cg)</b>			
<b>Mittelwert Cg</b>	1046	3415	118
Cg1	1059	2480	123
Cg2	1033	3670	105
Cg3	1045	4095	126
<b>Cheminées offen (Cof)</b>			
<b>Mittelwerte Cof</b>	<b>1926</b>	<b>2726</b>	<b>52</b>
Cof1	865	1566	37
Cof2	3042	2045	55
Cof2	1872	4566	63
<b>Cheminéeöfen (Co)</b>			
<b>Mittelwerte Co</b>	<b>1738</b>	<b>2423</b>	<b>93</b>
Co1	2499	1632	98
Co2	1530	1668	88
Co3	818	836	98
Co4	1986	2268	52
Co5	1591	2691	100
Co6	2005	5440	121
<b>Speicheröfen individ. (Si)</b>			
<b>Mittelwerte Si</b>	<b>4024</b>	<b>2747</b>	<b>96</b>
Si1	1508	1891	103
Si2	6809	3376	80
Si3	3754	2973	105
<b>Specksteinöfen</b>			
<b>Mittelwerte Spo</b>	<b>1253</b>	<b>6165</b>	<b>137</b>
Spo1	1387	3961	123
Spo2	1215	14493	222
Spo3	914	3267	101
Spo4	1497	2938	102
<b>Tragöfen</b>			
<b>Mittelwerte To</b>	<b>4870</b>	<b>4501</b>	<b>160</b>
To1	11553	1708	68
To2(Mod1)	4783	12521	359
To3(Mod1)	1467	2443	132
To4/2015	801	2463	134
To5/2015	5746	3370	105
<b>Mittelwerte (alle alt)</b>	<b>2671</b>	<b>3089</b>	<b>102</b>

Tabelle 3: Messergebnisse Projektteil 2

## 5 Vergleich alte und neue Feuerungen

### 5.1 Vergleich der Messwerte

Die Vermutung, dass die alten Feuerungen deutlich mehr CO und Staub emittieren, hat sich nicht bestätigt. Insbesondere bei den Staubwerten ist das Gegenteil der Fall.

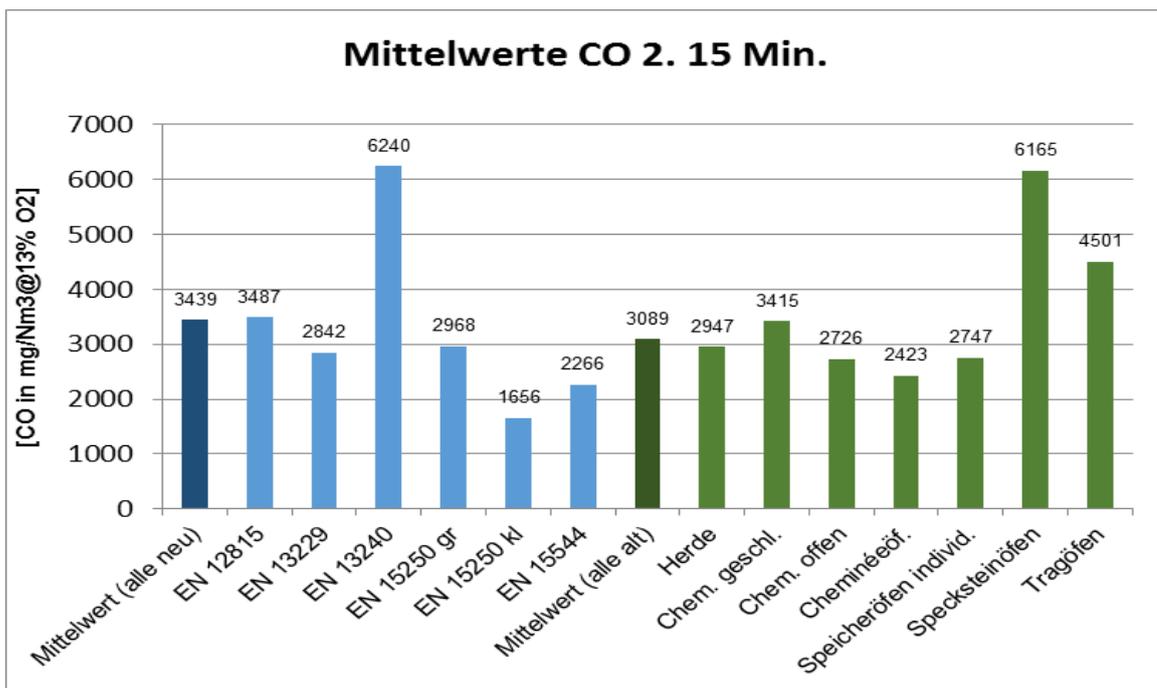


Abbildung 5.1: Vergleich alte und neue Feuerungen CO

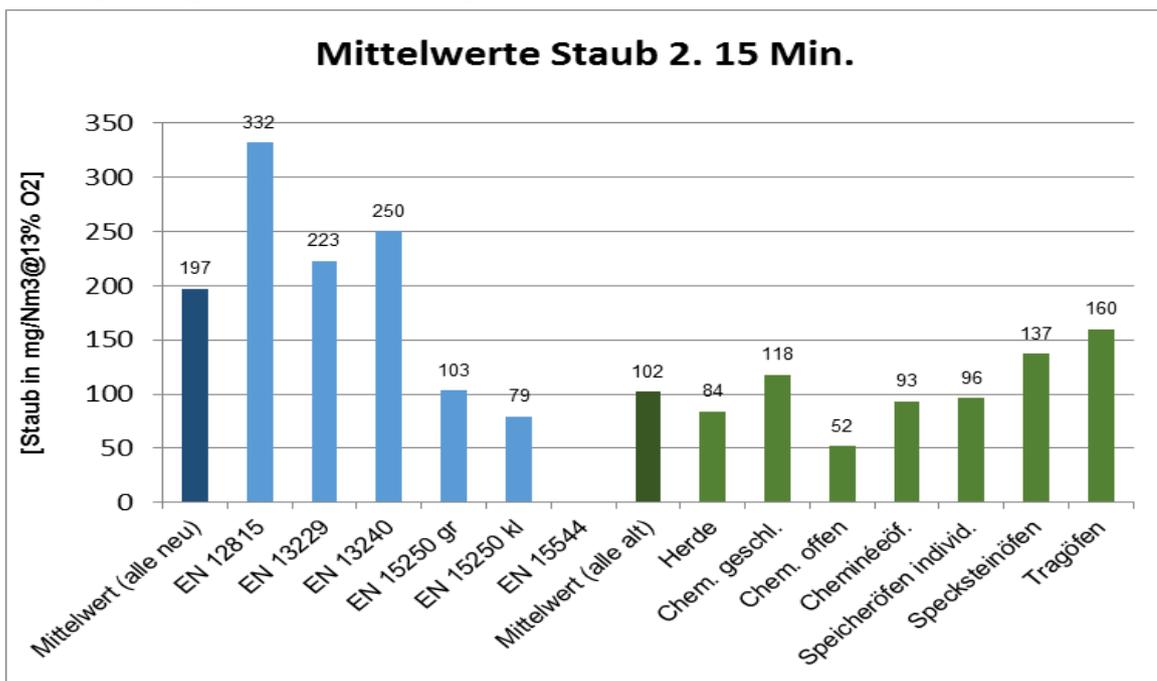


Abbildung 5.2: Vergleich alte und neue Feuerungen Staub  
 (für EN 15544 liegen keine Staubbmessungen vor)

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Das Bestimmtheitsmass zwischen gemessenen CO- und Staubwerten der zweiten 15 Minuten gemäss Messempfehlung ist für alle Messungen (1. und 2. Staffel) mit 0,0414 gering (siehe Abbildung 5.3). Ohne Ausreisser ist die Situation sehr ähnlich (Bestimmtheitsmass von 0,0362; siehe Abbildung 5.4). Die Messungen zeigen keinen Zusammenhang zwischen den CO- und Staubemissionen. Einzelne Öfen erreichten tiefe Staubwerte auch bei hohen CO-Emissionskonzentrationen. Auch das Gegenteil kann eintreffen, nämlich vergleichsweise höhere Staubemissionskonzentration bei mittleren bis tieferen CO-Emissionskonzentrationen.

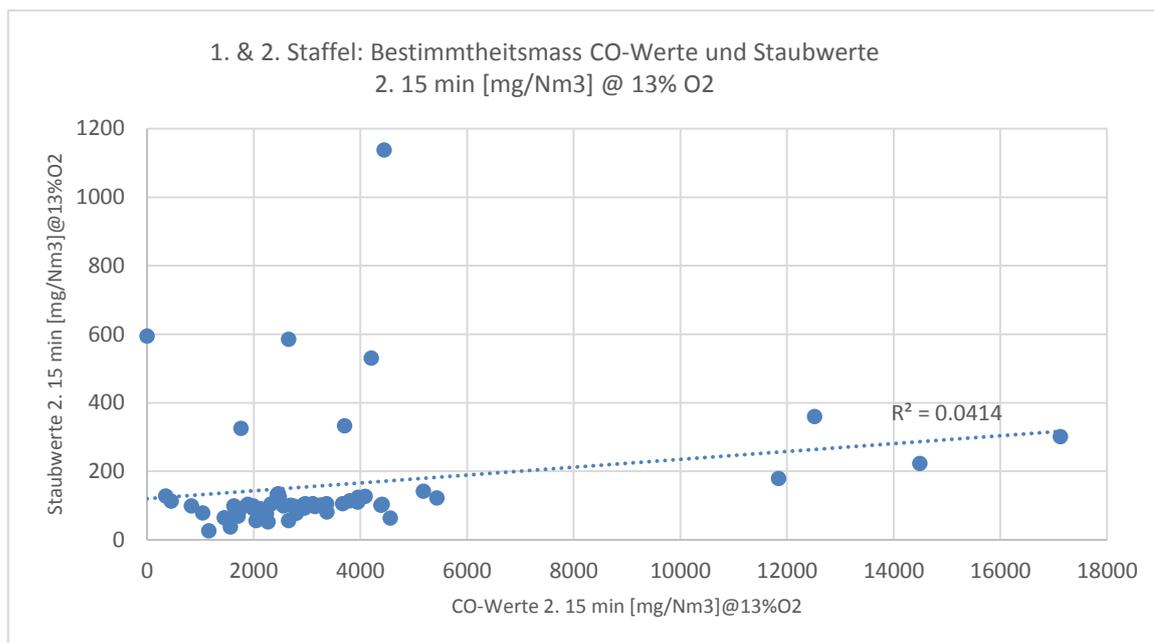


Abbildung 5.3: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten aller Messungen (1. und 2. Staffel)

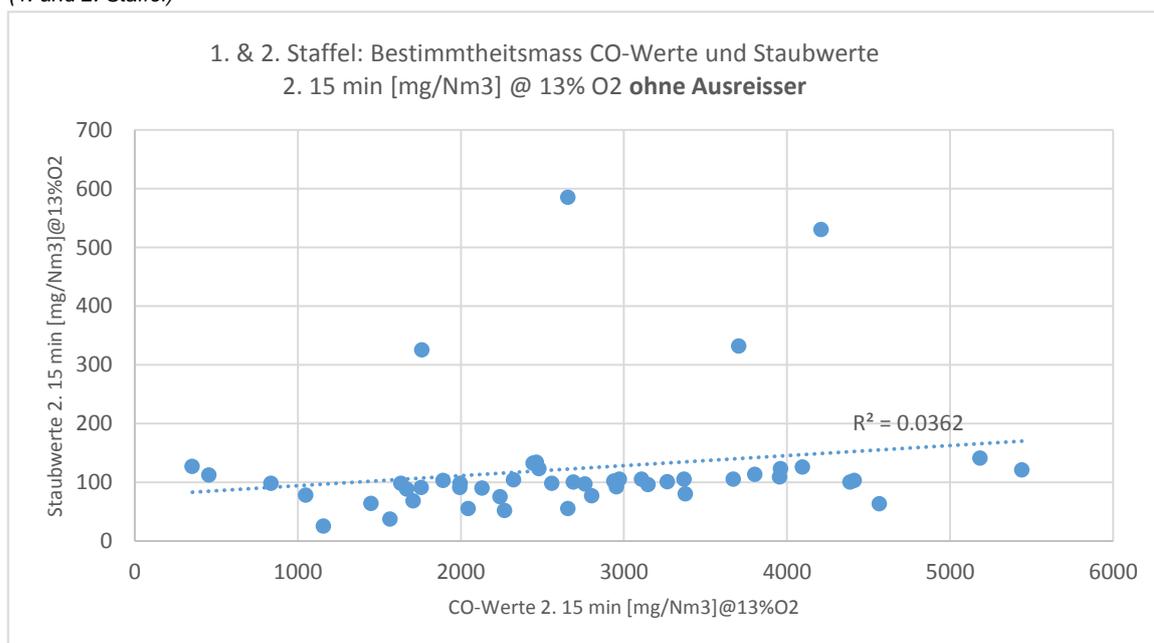


Abbildung 5.4: Bestimmtheitsmass CO- und Staubwerte zweite 15 Minuten aller Messungen (1. und 2. Staffel) ohne Ausreisser

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

### Fazit

Eine tiefe CO-Emissionskonzentration garantiert noch keine tiefen Staubkonzentrationen.

Die CO-Emissionen der alten Feuerungen sind leicht tiefer als jene der neuen Feuerungen. Die Staubemissionen der alten Feuerungen sind signifikant tiefer als jene der neuen Feuerungen.

	Mittelwert CO* [mg/Nm <sup>3</sup> @ 13% O <sub>2</sub> ]	Mittelwert Staub* [mg/Nm <sup>3</sup> @ 13% O <sub>2</sub> ]
Alle Feuerungen 1. + 2. Staffel	3414	141
Alle neuen Feuerungen 1. Staffel	3493	197
Alle alten Feuerungen 2. Staffel	3089	102

*\* In den Mittelwerten sind alle Anlagenkategorien gleich gewichtet, unabhängig davon, wie viele Feuerungen innerhalb der Kategorien gemessen wurden.*

Weshalb diese unerwarteten Resultate auftreten, ist schwierig zu erklären und mit Spekulationen verbunden. In der Folge sind zwei mögliche Gründe aufgeführt. Insbesondere die zweite Begründung ist jedoch als These zu verstehen, welche mit den vorliegenden Daten nicht abschliessend bewiesen werden kann.

## 5.2 Erklärungen / Thesen

### 5.2.1 Problematik Holzmengen/Messprozedere

Bei den Holzmengen stammen die Angaben für die neuen Feuerungen aus den Bedienungsanleitungen. Die Holzmengen pro Charge wurden in den letzten Jahren bei den neuen Feuerungen immer kleiner, dies um die Leistung der Geräte zu reduzieren, so dass die Anlagen dem sinkenden Heizwärmebedarf der Gebäude gerecht werden.

Die Holzmenge der alten Feuerungen wurde vom Feuerungskontrolleur basierend auf den Kundengewohnheiten, aber auch in Anlehnung an neue ähnliche Anlagen festgelegt. Tendenziell wurden die alten Feuerungen mit eher grösseren Holzmengen beschickt.

Die Messempfehlung des BAFU schreibt vor, dass die Feuerungen in der zweiten Viertelstunde des Abbrandes zu messen sind. Im Rahmen dieses Projektes wurde strikt nach Messempfehlung vorgegangen. Die in vielen Fällen deutlich besseren Werte in der Startphase, aber auch die Flammenbilder zeigen deutlich, dass viele neue Feuerungen während des emissionsmässig schlechten Ausbrandes und nicht während der stationären Phase gemessen wurden.

Die mit grösseren Holzmengen beladenen alten Feuerungen liefen während der Messzeit länger in der stationären Phase und erreichten deshalb bessere Werte.

### 5.2.2 Prüfstand versus Realität

Die Hersteller sahen sich in den letzten Jahren gezwungen ihre Geräte auf Grund immer strengerer Vorschriften zu optimieren. Der Nachweis zur Erfüllung der Anforderungen erfolgt auf dem Prüfstand entsprechend den einschlägigen Prüfnormen. Die Geräte wurden auf exakt diesen Prüfzustand optimiert und erreichen so die geforderten sehr tiefen Emissionswerte. Dafür ist ausgeklügelte und für die Prüfbedingungen ideale Feuerungstechnik nötig. Verlässt die Feuerung die „Rennstrecke“ (andere Rahmenbedingungen), dann kann das Gerät seine Qualitäten nicht entfalten.

Mit anderen Worten: Die Hersteller sind gezwungen, die Geräte auf einen realitätsfremden Betrieb – Laborbedingungen, Nachlegen auf Glut mit sehr kleinen Holzmengen – zu optimieren, um die Feuerungen überhaupt in Verkehr bringen zu dürfen. Weicht die Realität (Rahmenbedingungen, Betrieb, Brennstoff) von den Prüfvorgaben ab, dann funktionieren die Geräte um Faktoren

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

---

schlechter als auf dem Prüfstand. Die Optimierungen der letzten Jahre ging mitunter auch auf Kosten der „Gutmütigkeit“ der Feuerung.

Es ist davon auszugehen, dass mit den alten Feuerungen die heute geforderten Prüfstandwerte unmöglich erreicht werden können. Die eher grossen Holzmengen und die einfachen Luftführungen führen tendenziell aber zu eher gutmütig zu bedienenden Feuerungen, welche auch bei variierenden Rahmenbedingungen vernünftig betrieben werden können.

## 6 Rückschlüsse von Rauchbild zu Emissionen

Alle Messungen wurden mit Fotos dokumentiert. Das Flammenbild wurde im 3-Minutenintervall und das Rauchbild im 5-Minuten-Intervall festgehalten. Anhand der Dokumentation soll die Frage geklärt werden, ob vom Flammen-, respektive vom Rauchbild auf die Verbrennungsgüte geschlossen werden kann.

### 6.1 Flammen- und Rauchbild emissionsarmer Verbrennungen

#### Speicherofen 15250 (klein)



Abbildung 6.1: Minute 27, CO 1050 mg/m<sup>3</sup>.  
Gemittelttes CO 1158 mg/m<sup>3</sup>, gemittelter Staub 25 mg/m<sup>3</sup>



Abbildung 6.2: Minute 25, kein Rauch sichtbar, CO 1150 mg/m<sup>3</sup>

#### Chemineéofen (alt)



Abbildung 6.3: Minute 25, CO 475 mg/m<sup>3</sup>.  
Gemittelttes CO 836 mg/m<sup>3</sup>, gemittelter Staub 98 mg/m<sup>3</sup>



Abbildung 6.4: Minute 26, kein Rauch sichtbar, CO 470 mg/m<sup>3</sup>

## 6.2 Flammen- und Rauchbilder mit hohen Emissionen

### Speicherofen 15250 (klein)



Abbildung 6.5: Minute 27, CO ca. 7500 mg/m<sup>3</sup>  
Gemittelttes CO 4566 mg/m<sup>3</sup>, gemittelter Staub 63 mg/m<sup>3</sup>



Abbildung 6.6: Minute 28, kein Rauch sichtbar, CO > 8000 mg/m<sup>3</sup>

### Chemineéofen (alt)



Abbildung 6.7: Minute 27, CO ca. 3400 mg/m<sup>3</sup>  
Gemittelttes CO 2656 mg/m<sup>3</sup>, gemittelter Staub 585 mg/m<sup>3</sup>

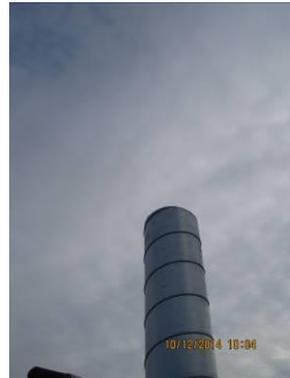
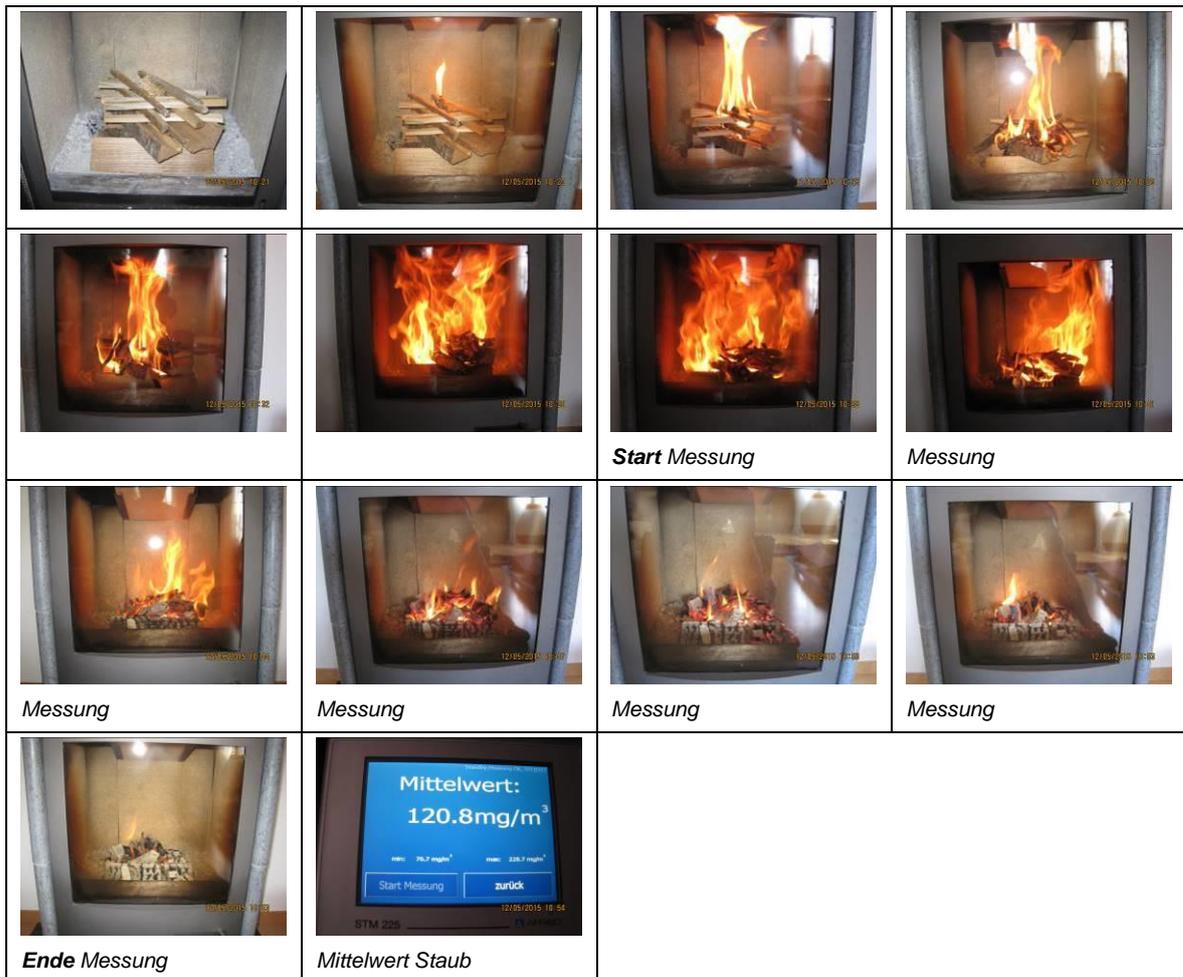
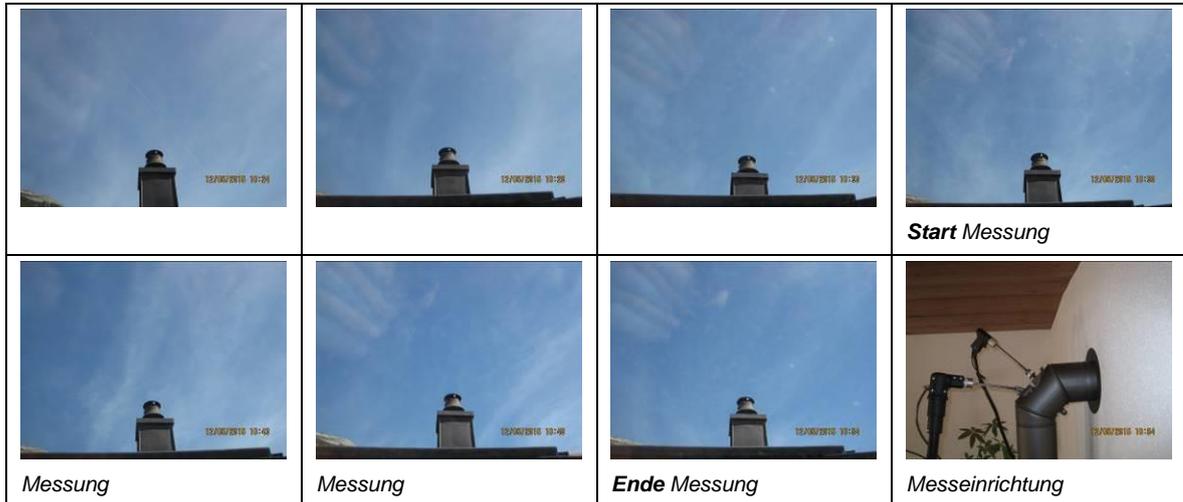


Abbildung 6.8: Minute 26, kein Rauch sichtbar, CO ca. 3400 mg/m<sup>3</sup>

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

**6.3 Beispiel einer Flammenbild- respektive Rauchbildserie**

Das folgende Beispiel zeigt eine Bildserie eines alten Cheminéeofens mit hohen CO-Werten (gemittelt 5440 mg/m<sup>3</sup>) und durchschnittlichem Staubwert (121 mg/m<sup>3</sup>).



## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

### 6.4 Rauchentwicklung

Im 5-Minuten-Intervall entstanden Aufnahmen des Rauchbildes. Bei den allermeisten Bildern ist keine Rauchfahne sichtbar. Nach Durchsicht aller Aufnahmen wurden von den alten und den neuen Feuerungen jeweils die vier Bilder mit der markantesten Rauchfahne ausgewählt und die entsprechenden CO-Werte eruiert. Die dazugehörigen Staubwerte konnten nicht ermittelt werden, da von den Staubmessungen nur Mittelwerte und keine Datenverläufe vorliegen.

<i>Markanteste Rauchfahnen der 1. Staffel (neue Feuerungen)</i>			
			
<i>Holzkochherd H2</i> 20 Minuten nach Anheizen, CO 8'300 mg/Nm <sup>3</sup>	<i>Cheminée C3</i> 10 Minuten nach Anheizen, CO 2'073 mg/Nm <sup>3</sup>	<i>Cheminéeofen Co4</i> 30 Minuten nach Anheizen, CO 18'324 mg/Nm <sup>3</sup>	<i>Speicherofen S1</i> 15 Minuten nach Anheizen, CO 2'900 mg/Nm <sup>3</sup>
<i>Die vier markantesten Rauchbilder der 1. Staffel (neue Feuerungen)</i>			
			
<i>Cheminéeofen Co1</i> 10 Minuten nach Anheizen, CO 2'809 mg/Nm <sup>3</sup>	<i>Holzherd Co1</i> 1 Minute nach Anheizen, CO 3033 mg/Nm <sup>3</sup>	<i>Specksteinofen Spo2</i> 1 Minute nach Anheizen, CO 19'206 mg/Nm <sup>3</sup>	<i>Tragofen To2(M1)</i> 11 Minuten nach Anheizen, CO 8'350 mg/Nm <sup>3</sup>

Bei schwach sichtbaren Rauchfahnen ist es nur bedingt möglich auf die Verbrennungsgüte zu schliessen, da es nicht möglich ist, zuverlässig zwischen „Dampfschwaden“ und „schmutzigem“ Rauch zu unterscheiden.

### 6.5 Fazit Rauchbild / Flammenbild

Auch für Experten ist es unmöglich, vom Rauchbild auf die Verbrennungsgüte zu schliessen, es sei denn, es handle sich um einen ausserordentlich schlechten Abbrand mit grossen Brennstoffmengen und entsprechend hohem Abgasvolumen. Im Rahmen dieses Projektes erfolgte kein solcher Abbrand.

Auch Rückschlüsse vom Flammenbild auf die Verbrennungsgüte sind äusserst schwierig. Generell kann gesagt werden, dass ein eher ruhiges Flammenbild auf einen guten Abbrand hindeutet. Die unterschiedlichen Brennraumgeometrien und Luftführungen machen aber allgemeingültige Aussagen praktisch unmöglich. Je nachdem, wo sich der Ausbrand respektive die Lufteinlässe befinden, verändert sich das Flammenbild.

## 7 Zusammenhang Anlagedruck / Schadstoffemissionen

Mit dem CO-Messgerät des Typs ecom-J2KN wurde bei allen Messungen jeweils zu Beginn und am Ende der „scharfen“ Messung der Anlagedruck erfasst (Druckbestimmung bei Minute 15 und Minute 30). Dieser steht im Zusammenhang mit der Länge der Abgasanlage und den Abgastemperaturen. Gegen Ende des Abbrandes sinken die Abgastemperaturen, damit reduziert sich auch der Anlagedruck. Die folgenden Betrachtungen fokussieren auf den jeweils zu Beginn der Messungen erfassten Anlagedruck.

In der folgenden Tabelle sind die zehn Abbrände mit den tiefsten und jene mit den höchsten Anlagedrücken abgebildet.

Feuerung		Kamindruck (Pa)	CO- Mittelwert	CO-Mittelwert	Staub- Mittelwert	alt/neu
			1. 15 Min [mg/Nm3 @ 13% O2]	2. 15 min [mg/Nm3 @ 13% O2]	2. 15 Min [mg/Nm3 @ 13% O2]	
<i>10 Feuerungen mit tiefstem Anlagedruck</i>						
geschl. Cheminée	Cg1	1	1059	2480	123	alt
offenes Cheminée	Cof1	2	865	1566	37	alt
Herd	H1	3	2000	3149	96	alt
geschl. Cheminée	Cg2	3	1033	3670	105	alt
offenes Cheminée	Cof2	3	3042	2045	55	alt
offenes Cheminée	Cof3	4	1872	4566	63	alt
Speicherofen	Spo3	5	914	3267	101	neu
Speicherofen	S2	6	959	3109	105	neu
Herd	H6	6	2049	2954	92	neu
geschl. Cheminée	C6	7	617	2762	97	neu
<i>10 Feuerungen mit höchstem Anlagedruck</i>						
Kleinspeicherofen	kS4	19	1479	1757	91	neu
geschl. Cheminée	C1	19	809	5185	141	neu
geschl. Cheminée	C3	19	1575	2656	585	neu
Cheminéeofen	Co2	22	979	352	127	neu
Herd	H4	22	1120	2240	75	neu
geschl. Cheminée	C4	23	2100	1761	325	neu
Speicherofen	Spo 1	24	1387	3961	123	alt
geschl. Cheminée	C5	30	821	2130	90	neu
Cheminéeofen	Co5	30	6389	3705	332	neu
Cheminéeofen	Co1	59	1261	455	112	neu
<b>Mittelwert</b>	<b>MW Pa hoch</b>	<b>4</b>	<b>1441</b>	<b>2956,8</b>	<b>87,4</b>	
<b>Mittelwert</b>	<b>MW Pa tief</b>	<b>26,7</b>	<b>1792</b>	<b>2420,2</b>	<b>200,1</b>	

Tabelle 4: Emissionen / Anlagedruck

Die Bandbreite der gemessenen Drücke reicht von 1 Pa bei einem offenen Cheminée bis 59 Pa bei einem Cheminéeofen.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Die mit durchschnittlich 26,7 Pa höchsten Kamindrücke wurden bei den Cheminéeöfen (EN 13240) der ersten Staffel gemessen. Am niedrigsten lagen die Drücke mit durchschnittlich 3 Pa bei den offenen Cheminéés.

Generell liegen die Emissionen bei den Anlagen mit starkem Kamindruck etwas höher.

Bei den CO-Emissionen ist die Abweichung jedoch eher gering und kann durchaus zufällig sein.

Bei den Staubemissionen scheint der Anlagedruck stärker ins Gewicht zu fallen. Stärkere Anlagedrücke bringen höhere Gasgeschwindigkeiten mit sich. Wahrscheinlich ist, dass sich höhere Gasgeschwindigkeiten negativ auf die Staubemissionen auswirken, indem vermehrt Staubpartikel aus dem Brennraum „herausgesogen“ werden.

Zu beachten ist jedoch, dass die Feuerung C3 mit 585 mg Staub den Mittelwert stark prägt. Aufgrund der Skalierung ist dieser Wert im Diagramm nicht ersichtlich. Bei der Mittelwertberechnung im Diagramm ist C3 jedoch berücksichtigt. Ohne diesen Ausreisser würde der gemittelte Staubwert bei den Anlagen mit hohem Kamindruck bei 157 mg liegen und somit nicht mehr sehr stark von den Anlagen mit tiefem Druck abweichen.

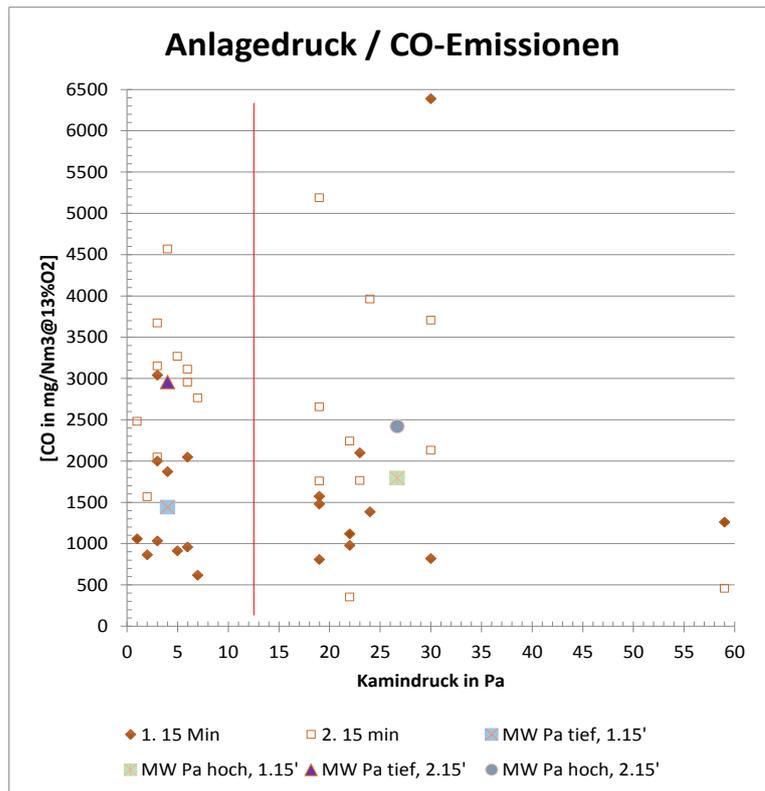


Abbildung 7.1: Anlagedruck / CO-Emissionen

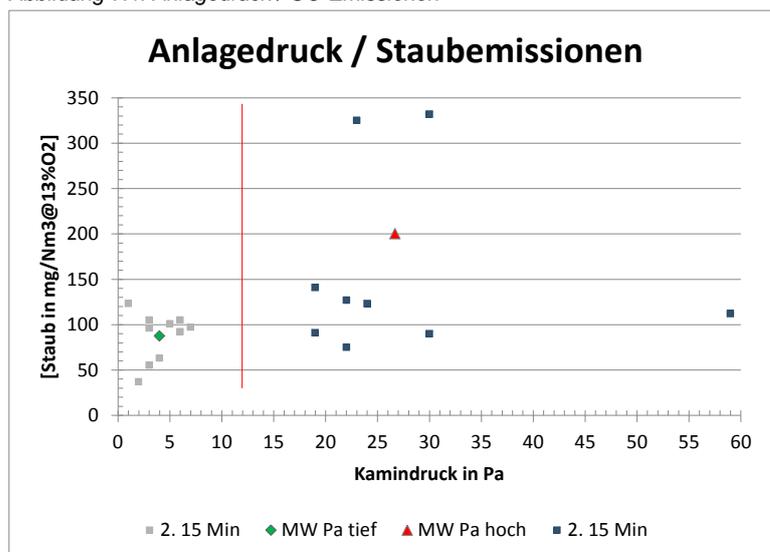


Abbildung 7.2: Anlagedruck / Staub-Emissionen  
 Feuerung C3 mit 585 mg Staub ist aufgrund der Skalierung im Diagramm nicht ersichtlich, bei der Mittelwertbildung jedoch berücksichtigt.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

---

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich ein hoher Anlagedruck tendenziell negativ auf die Staubemissionen auswirkt. Bei den CO-Emissionen zeigt sich dies weniger ausgeprägt. Um diese Aussagen zu verifizieren, wären zusätzliche Messungen nötig. Aufschlussreich wären Messungen an einer Feuerung mit hohem Anlagedruck, welche mit einer Nebenluftklappe ausgerüstet werden könnte. So könnte man den Anlagedruck variieren und die Auswirkungen auf die Verbrennungsgüte untersuchen.

## 8 Abgastemperaturen

Bei allen Messungen wurden die Abgastemperaturen erfasst. Im Grundsatz gilt: Je tiefer die Abgastemperatur, desto höher der Wirkungsgrad. Es gelten jedoch die folgenden Einschränkungen:

- Je weiter die Messstelle vom Feuerungsaggregat entfernt ist, desto tiefer ist die Abgastemperatur. Wärmeverluste in der Abgasanlage (Erwärmung der Abgasanlage und Abstrahlung an die Umgebung) kommen nicht in jedem Fall dem Gebäude respektive der Wohneinheit zu Gute und gelten somit als Verluste.
- Offene oder sehr undichte Feuerungen haben tiefe Abgastemperaturen und trotzdem sehr schlechte Wirkungsgrade. Mehrere Hundert m<sup>3</sup> vorgewärmte Raumluft und somit viel Energie strömt bei offenen beziehungsweise sehr undichten Feuerungen durch die Abgasanlage nach draussen. Der effektive Wirkungsgrad bei diesen Feuerungen sinkt oftmals gegen Null.

Bei knapp der Hälfte der Feuerungen (26 Aggregate) erfolgten die Messungen im Verbindungsrohr. Die durchschnittliche Abgastemperatur bei Messbeginn liegt bei 221 °C (siehe Abbildung 8.1). Die Unterschiede bei den einzelnen Geräten sind beträchtlich. Generell kann gesagt werden, dass bei allen Feuerungen mit relativ viel Speichermasse (S = Speicherofen, kS = Kleinspeicherofen, To = Tragofen) die Abgastemperaturen eher tief und die Wirkungsgrade in der Regel hoch sind. Bei den Cheminéeöfen liegt die Abgastemperatur verhältnismässig hoch, dies ist auch bei den neuen Feuerungen mit sehr kleinen Holzmenngen der Fall. Die Kunden beschreiben diese Geräte in der Praxis erfahrungsgemäss mit eher grösseren Holzmenngen als in den Bedienungsanleitungen beschrieben. Es ist davon auszugehen, dass die Abgastemperaturen in der Praxis oftmals noch etwas höher und die Wirkungsgrade entsprechend tiefer zu liegen kommen.

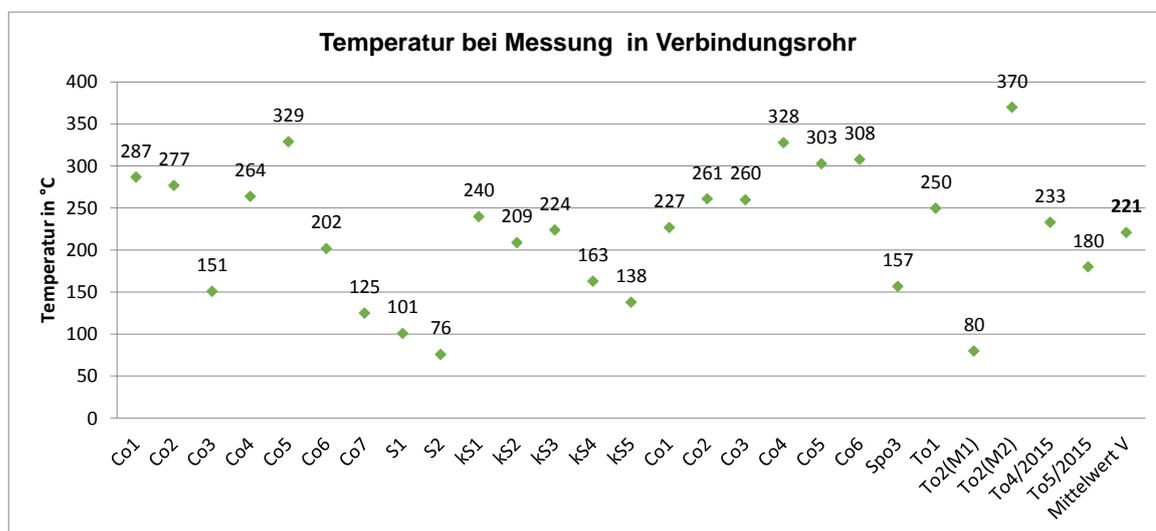


Abbildung 8.1: Abgastemperaturen gemessen im Verbindungsrohr

Bei 20 Feuerungen war die Messstelle irgendwo in der Abgasanlage angeordnet (siehe Abbildung 8.2). Die Temperaturen im Diagramm sind nur bedingt aussagekräftig, da einzelne Anlagen sehr nahe bei der Feuerung (unmittelbar nach dem Verbindungsrohr), andere einige Meter oberhalb der Feuerung (in der Reinigungsöffnung im Estrich) untersucht wurden.

9 Feuerungen wurden über Dach an der Kaminmündung gemessen (siehe Abbildung 8.3). Auch hier stellt sich die Frage, wie weit die Messstelle von der Feuerung entfernt ist.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Weiter ist bei Temperaturmessungen in der Abgasanlage oder an der Mündung der Abgasanlage entscheidend, um welchen Abgasanlagentyp es sich handelt. Bei gedämmten Metallabgasanlagen ist die Abkühlung der Heizgase relativ gering. In gemauerten Abgasanlagen oder Betonabgasanlagen hingegen kühlen sich die Heizgase auf dem Weg nach draussen deutlich stärker ab.

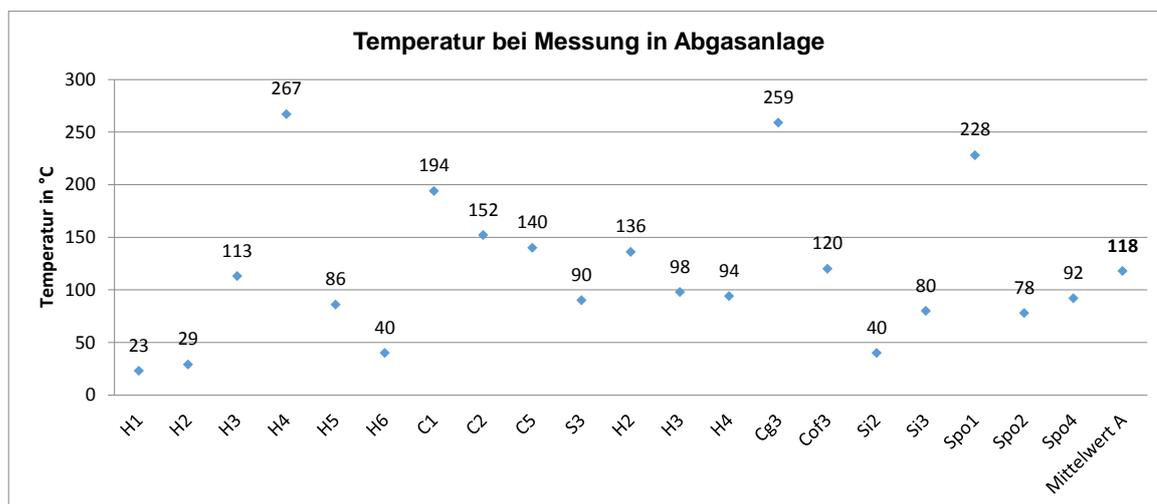


Abbildung 8.2: Abgastemperaturen gemessen in der Abgasanlage

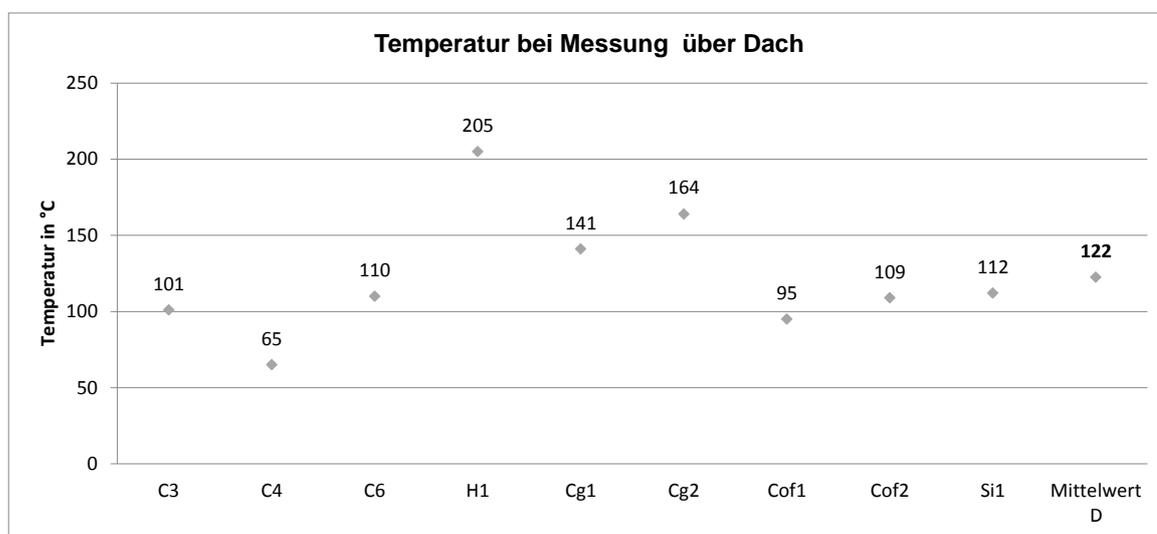


Abbildung 8.3: Abgastemperaturen gemessen über Dach

Für die im Rahmen dieses Projektes bearbeitete Fragestellung sind die Abgastemperaturen nicht von Bedeutung. Sollte künftig der Wirkungsgrad von Wohnraumfeuerungen im Feld überprüft werden, dann ist der Anordnung der Messstelle Beachtung zu schenken.

Bei einzelnen Feuerungen sinken die Temperaturen unter 100 °C. Möglich ist, dass die Heizgase bei diesen Temperaturen bereits kondensieren, was Auswirkungen auf die Staubmessung haben kann. Ob und wie stark der gemessene Staub bei kondensierenden Abgasen zunimmt wurde im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht und kann mit den vorliegenden Daten nicht eruiert werden.

## 9 Machbarkeit Feldmessungen

### 9.1 Hürden und Lösungsansätze

Im Rahmen der Messungen tauchten verschiedene Probleme und Abweichungen auf, welche die Abbrände beeinflussten.

#### 9.1.1 Messzeitpunkt / Messempfehlung

Gemäss BAFU-Messempfehlung hat die Messung in der zweiten Viertelstunde zu erfolgen. Je nach Anlagekategorie und aufzulegender Holzmenge befindet sich die Feuerung in diesem Zeitfenster aber nicht in der stationären Phase, sondern noch immer in der Startphase (bei sehr grossen Holzmassen) oder bereits im Ausbrand (bei sehr kleinen Holzmassen). Die Resultate haben entsprechend wenig Aussagekraft. Wie die folgenden Beispiele zeigen, können die Resultate der verschiedenen Anlagekategorien nur sehr schwer miteinander verglichen werden.

#### Beispiel 1: Feuerung mit sehr grosser Auflagemenge, Speicherofen mit Satellit

- Holzauflagemenge 32,8 kg (1 Meter-Spälten, total 14 Stück)
- Feuerungswärmeleistung 87.5 kW, Anlageleistung 6.56 kW, Nennheizzeit 16 h
- Mittelwert CO Minuten 1 bis 10 1508 mg/m<sup>3</sup>
- Mittelwert CO Minuten 16 bis 30 1891 mg/m<sup>3</sup>
- Mittelwert CO Minuten 33 bis 43 2130 mg/m<sup>3</sup> (Tendenz sinkend)
- Staub Minuten 16 bis 30 103 mg/m<sup>3</sup>



Abbildung 9.1: Minute 17



Abbildung 9.2: Minute 81

**Beispiel 2: Feuerung mit sehr kleiner Auflagemenge, Cheminéeofen EN 13240**

- Holzauflagemenge 1,265 kg (Scheiter 33 cm, 3 Stück)
- Feuerungswärmeleistung 5,8 kW
- Mittelwert CO Minute 1 bis 10 1903 mg/m<sup>3</sup>
- Mittelwert CO Minute 16 bis 30 17127 mg/m<sup>3</sup>
- Staub Minuten 16 bis 30 300 mg/m<sup>3</sup>



Abbildung 9.3: Minute 9



Abbildung 9.4: Minute 15, Messbeginn



Abbildung 9.5: Minute 30, Messende

Beispiel 2 zeigt anschaulich, dass die Messempfehlung für Feuerungen mit kleinen Auflagemengen nicht angewandt werden kann.

**9.1.2 Abbruchkriterium 18 % O<sub>2</sub>**

Unter der Ziffer 5.4.1. beschreibt die Messempfehlung, dass die Messungen zu Beginn der Ausbrandphase abzubrechen ist. Auszug aus Messempfehlung:

<sup>5</sup> Sollte bei Stückholzfeuerungen während der Messzeit die Ausbrandphase<sup>29</sup> beginnen, ist die Messung abzubrechen. Kriterium für den Beginn der Ausbrandphase kann ein Sauerstoffgehalt von über 18%vol sein.

Die entsprechende Fussnote beschreibt, was Ausbrand optisch bedeutet.

<sup>29</sup> Ausbrand bedeutet optisch, dass kaum mehr Flammen sichtbar sind.

Optisch ist beim Beispiel in den obigen Abbildungen bereits zu Messbeginn die Ausbrandphase erreicht (Feuerung CO3). Bei Messstart liegt der Sauerstoff mit 19.5 % bereits deutlich über dem Abbruchkriterium der Messempfehlung von 18 % O<sub>2</sub>.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Die Analyse der Sauerstoffwerte und der Flammenbilder<sup>1</sup> zeigt:

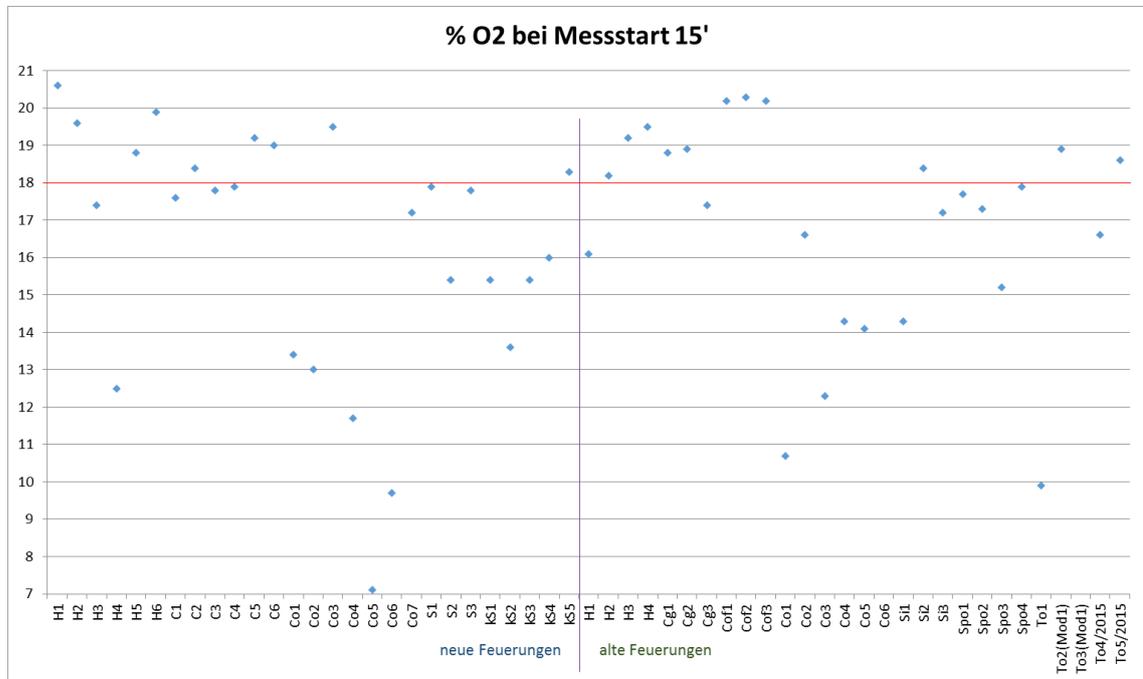


Abbildung 9.6: % O<sub>2</sub> bei Messstart

Messbeginn: Bei 20 Feuerungen liegt der Sauerstoff bereits bei Messbeginn oberhalb der Schwelle von 18 % O<sub>2</sub>.

- Bei 16 Feuerungen liegt der Sauerstoff O<sub>2</sub> offensichtlich aufgrund des hohen Luftüberschusses bereits beim Messbeginn (15') über der Schwelle von 18 %.
- 1 Feuerung befindet sich bei Messbeginn bereits im Ausbrand.
- Bei 3 Feuerungen ist aufgrund fehlender Bilder die Ursache für den hohen O<sub>2</sub>-Gehalt nicht nachvollziehbar.

<sup>1</sup> Bei Feuerungen ohne Sichtglas konnte das Flammenbild nicht fotografiert werden. Aus diesem Grund ist die Ursache für den hohen O<sub>2</sub>-Wert nicht nachvollziehbar. Dies betrifft vor allem die Anlagekategorien Holzkochherde, Tragöfen und individuell gebaute Speicheröfen (Kachelöfen).

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Messende: Nach 30 Minuten, dem Ende der Messung, liegt der Sauerstoffgehalt in den Abgasen bei 25 Feuerungen bei 18 % oder höher.

- 13 Feuerungen befinden sich bei Messende (30') optisch im Ausbrand.
- Bei 8 Feuerungen liegt O<sub>2</sub> aufgrund des hohen Luftüberschusses beim Messende (30') über der Schwelle von 18 %. Diese Feuerungen befinden sich gemäss der Definition aus der Messempfehlung optisch noch nicht im Ausbrand. Die optische Beurteilung ist in einigen Fällen jedoch nicht einfach, insbesondere dann, wenn sich beim Abbrand kein kompaktes Glutbett bildet und einzelne Holzstücke noch brennen, während der Grossteil des Brennstoffs bereits im Ausbrand ist.
- Bei 4 Feuerungen ist aufgrund fehlender Bilder die Ursache für den hohen O<sub>2</sub>-Gehalt nicht nachvollziehbar.

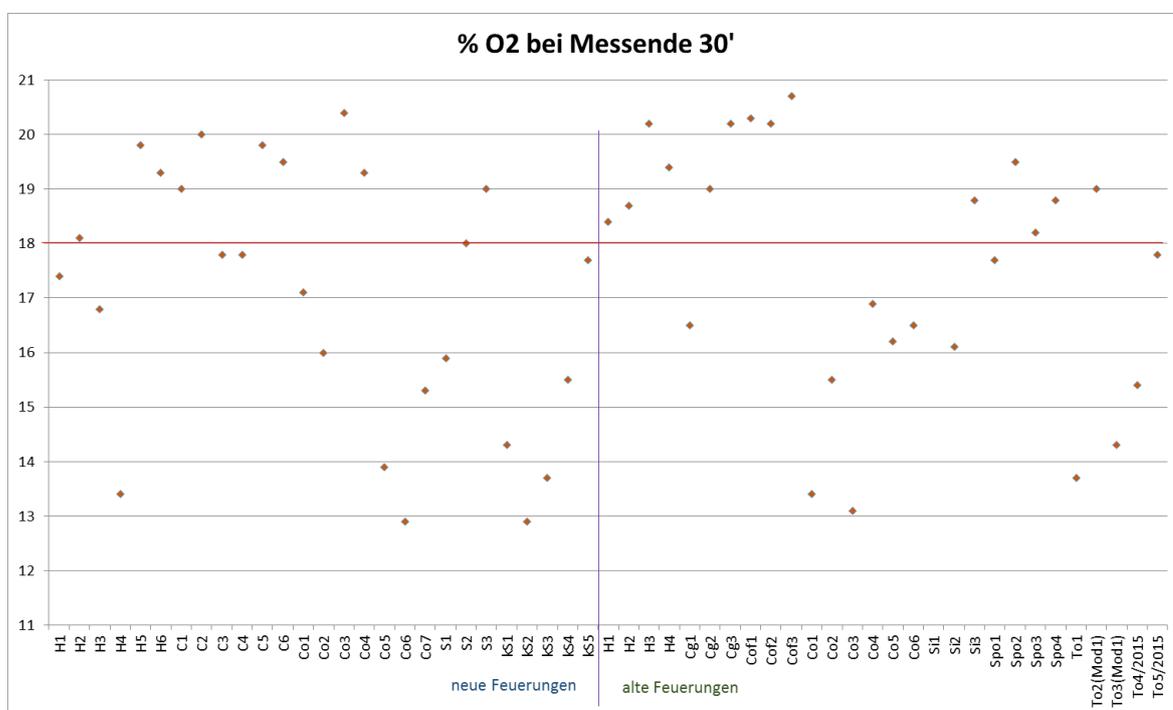


Abbildung 9.7: % O<sub>2</sub> bei Messstart

Details zu Analyse und Flammenbilder siehe Anhang.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

### 9.1.3 Luftüberschuss

Für alle Feuerungen wurde basierend auf den Sauerstoff- und den CO-Werten bei Messbeginn der Luftüberschuss (Lambda) berechnet.

$$\lambda = \frac{21}{(21 - O_2) + 0.4 * CO}$$

Hohe Lambda-Werte wirken sich negativ auf den Wirkungsgrad aus. Zudem kann ein hoher Luftüberschuss die Verbrennungsgüte ungünstig beeinflussen, da die „überschüssige“ Luft den Brennraum auskühlt.

Bei Wohnraumfeuerungen ist ein Luftüberschuss (Lambda-Wert) zwischen 2 und 5 anzustreben.

Bei den gemessenen Feuerungen liegt der Luftüberschuss teilweise deutlich über dem Zielwert. Dies kann auf Undichtheiten beim Feuerungsaggregat hinweisen. Eine Aussage zur Dichtheit der Feuerungen ist aber nicht möglich, da sich die Messstellen in den potentiell undichten Verbindungsrohren und Abgasanlagen befinden. Falschlufteintritte durch undichte Verbindungsrohre oder Abgasanlagen haben keinen Einfluss auf die Verbrennung, je nach Falschlufquelle beeinflussen sie aber den Wirkungsgrad negativ.

Der teilweise hohe Luftüberschuss hat zur Folge, dass sich beim Normieren der Abgase auf 13 % O<sub>2</sub> Messunsicherheiten potenzieren können.

Der Luftüberschuss bei den offenen Cheminées ist erwartungsgemäss sehr hoch, was sich stark auf den Wirkungsgrad dieser Geräte auswirkt.

Bei den geschlossenen Cheminées und den Herden ist der Luftüberschuss überdurchschnittlich gross. Die Frage, weshalb das so ist, kann mit dem vorliegenden Datenmaterial nicht abschliessend beantwortet werden.

Die geschlossenen Cheminées wurden mehrheitlich über Dach gemessen was einen Einfluss auf den Luftüberschuss haben kann.

Weiter haben die Cheminées verhältnismässig grosse Feuerungsöffnungen (Glasflächen), welche gegenüber dem Gerät abgedichtet werden müssen. Dies birgt Falschluftpotential. Der hohe Luftüberschuss bei den Herden ist nicht nachvollziehbar.

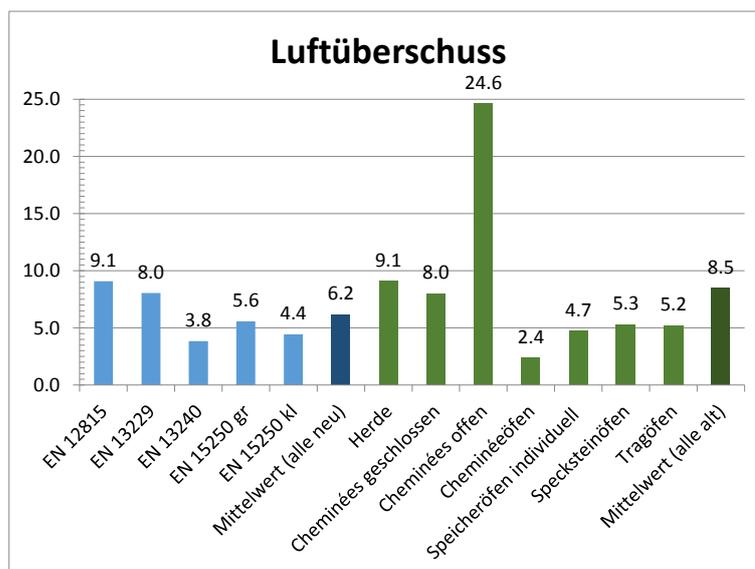


Abbildung 9.8: Luftüberschuss  
 Bei Kategorie EN 12815 Ausreisser mit λ 36.3 nicht berücksichtigt. Unter Berücksichtigung des Ausreissers liegt gemittelt λ bei 14,3.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

### 9.1.4 Holz schüren, ja oder nein?

Gemäss Bedienungsanleitungen sollte nach dem Anfeuern der Brennraum nicht mehr geöffnet werden. Insbesondere bei grossen Brennräumen besteht die Gefahr, dass sich nicht das ganze Brenngut rechtzeitig entzündet, was zu einem langen und schlechten Ausbrand führt.

Wird das Holz geschürt, führt dies zwischenzeitlich zu erhöhten Emissionen, über den gesamten Abbrand betrachtet, wäre dies aber sicherlich die sauberere Variante.



Abbildung 9.9: Zweite Viertelstunde Emissionen i.O., Ausbrand Rauchentwicklung, wahrscheinlich hohe Emissionen  
 Bild Brennstoff 11.05 Uhr, Bild Kaminhut 11.15 Uhr (11.15 Uhr keine Messdaten vorhanden)

### 9.1.5 Messaufbau

In den Verbindungsrohren und Abgasanlagen kleiner Holzfeuerungen sind keine Messstutzen vorgesehen. Im Falle einer Messung müssen die Öffnungen für die Sonden nachträglich angebracht werden. Dies ist in jedem Fall aufwändig, in einzelnen Fällen aber fast unmöglich. In den meisten Fällen ist es unumgänglich, dass der Feuerungskontrolleur einige Zeit vor der Messung die Situation vor Ort besichtigt. Nur so ist garantiert, dass am Tag der Messung die nötigen Materialien und Teile für das Einrichten der Messstelle zur Verfügung stehen.

Die folgenden Abbildungen zeigen drei unterschiedliche Messsituationen.



Abbildung 9.10: Relativ einfacher Messaufbau im Verbindungsrohr



Abbildung 9.11: Aufwändiger Messaufbau über Dach



Abbildung 9.12: Sehr aufwändiger Messaufbau in Reinigungsöffnung

Abbildung 9.10 zeigt den Einbau der Sonden in ein Verbindungsrohr. Im einfachsten Fall kann der Reinigungsdeckel durch ein Exemplar mit Bohrungen ersetzt werden. Da die Reinigungsöffnungen aber nicht standardisiert sind und je nach Hersteller unterschiedliche Grössen und Befestigungssysteme haben, ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass der Feuerungskontrolleur kein passendes Exemplar mit dabei hat. Weiter ist nicht in jedem Verbindungsrohr eine Reinigungsöffnung vorhanden. Fehlt diese, dann muss für die Messung ein bestehendes Rohr durch ein mit Messöffnungen versehenes Rohr ersetzt werden. Dies ist aufwändig und „schmutzig“.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Abbildung 9.11 zeigt einen Messaufbau über Dach. Dies ist bei fast allen fest eingebauten Feuerungen wie Cheminées und Speicheröfen nötig, da das Verbindungsrohr nicht zugänglich ist und die Abgasanlage meist keine Reinigungsöffnung hat. In diesem Fall ist der Kaminhut zu entfernen und die Abgasanlage zu verlängern. Messungen über Dach sind aufwändig und in vielen Fällen kaum möglich. Folgende Hindernisse können eine Messung über Dach sehr stark erschweren:

- Steildächer (Bau von Absturzsicherungen und Gerüsten ist nötig)
- Gemauerte Kaminhüte (Kaminhut kann nur schwer entfernt und muss vom Maurer wieder gesetzt werden)
- Kaminhüte aus CNS- oder Kupferblech, welche mit Nieten fest mit Abschlussteil/Regenzarge verbunden sind (Nieten müssen aufgebohrt und anschliessend wieder ersetzt werden).
- Unterschiedliche Querschnitte (rund, quadratisch) und Durchmesser erschweren das Verlängern der Abgasanlage.
- Schlechtes Wetter, nasse Dächer (Nässe schadet den Messgeräten, Arbeiten über Dach wird gefährlich).

Abbildung 9.12 zeigt den Einbau der Messsonden in eine Reinigungsöffnung der Abgasanlagen. Diese Öffnungen sind nicht standardisiert. Im abgebildeten Fall wurde eine Abdeckung vom Metallbauer nachgebaut und für die Messung mit den nötigen Öffnungen versehen.

Die folgenden Abbildungen zeigen sehr häufig anzutreffende gemauerte Kaminhüte, welche eine Messung über Dach praktisch verunmöglichen. In den Jahren von ca. 1960 bis ca. 1995 wurden diese Kaminabdeckungen in Kombination mit gemauerten oder Elementabgasanlagen sehr oft montiert.

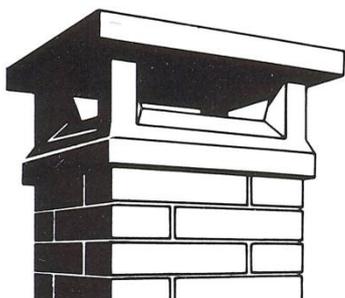


Abbildung 9.13: gemauerter Kaminhut 1



Abbildung 9.14: gemauerter Kaminhut 2

### Platzierung der Messsonde

Die BAFU-Messempfehlung „Emissionsmessungen bei Feuerungen für Öl, Gas und Holz“ definiert keine verbindlichen Vorgaben bezüglich des Messorts. Bei der Anordnung der Messsonde orientierte man sich an den Vorgaben aus der Emissions-Messempfehlung „Emissionen bei stationären Anlagen“.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

---

Auszug aus der Messempfehlung „Emissionen bei stationären Anlagen“, Ziffer 2.3.1:

### **Messort**

Dieser sollte die folgenden Kriterien erfüllen:

- > Die Abgaszusammensetzung muss für die Emissionen repräsentativ sein (keine unzulässige Verdünnung).
- > Die Schadstoffverteilung sollte über den Messquerschnitt möglichst homogen sein.
- > Die Strömung sollte geradlinig verlaufen. Umlenkungen, Abzweigungen, Absperrorgane, Ventilatoren und andere Einbauten stören den Strömungsverlauf.

Geeignet sind gerade Kanal-Abschnitte mit unveränderter Form und konstantem Querschnitt, wobei bei Staubmessungen vertikale Kanäle besser sind als horizontale. Die geraden Kanalabschnitte sollen mindestens die folgenden Längen aufweisen:

- > *vor dem Messort (Einlaufstrecke):* 5 hydraulische Durchmesser
- > *nach dem Messort (Auslaufstrecke):* 3 hydraulische Durchmesser

Wann immer möglich wurden die Vorgaben bezüglich Ein- und Auslaufstrecken befolgt. Bei Messungen in den Verbindungsrohren ist dies aber oftmals nicht möglich (Reinigungsöffnungen im Bogen, sehr kurze Verbindungsrohre, fest montierte Absperrorgane etc.).

Die CO-Messungen sind erfahrungsgemäss auch bei eher ungünstig angeordneten Messsonden zuverlässig. Wie stark die Resultate der Staubmessungen von ungünstigen Messorten beeinflusst wird, konnte im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht werden.

### **9.1.6 Feuern ist (teilweise) „Glücksache“**

Auch wenn eine Feuerung von „Profis“ nach bestem Wissen und Gewissen betrieben wird, kann es bei derselben Anlage zu markant unterschiedlichen Abbränden kommen. Beim folgenden Beispiel entzündete der Brennstoff beim ersten Abbrand nur ungenügend. Dies führte zu sehr schlechten Emissionswerten. Einige Stunden später wurde der weitgehend ausgekühlte Ofen mit identischer Holzmenge, jedoch leicht anders platziertem Anfeuermodul erneut eingeheizt. Die Unterschiede bei den Emissionen waren sehr gross.

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen



Abbildung 9.15: Alter Tragofen, nur Primärluft durch Rost



Abbildung 9.16: Beladung (schlechter) Abbrand 1



Abbildung 9.17: Beladung (guter) Abbrand 2

Tragofen alt	Abbrand 1	Abbrand 2
CO Mittelwert mg/m <sup>3</sup>	12'521	2443
Staub Mittelwert mg/m <sup>3</sup> AFRISO	359	132
Staub Mittelwert mg/m <sup>3</sup> Wöhler	519	153

Beim (missglückten?) Abbrand 1 hat der Ofen den heute geltenden LRV-Grenzwert für CO um Faktor 3 überschritten. Beim (geglückten) Abbrand 2 bleiben die CO-Emissionen deutlich unter dem heute geforderten Grenzwert.

## Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

### 9.2 Aufwand und Kosten

Wie die Kostenschätzungen in der folgenden Tabelle zeigen, sind Messungen an kleinen Holzfeuerungen aufwändig und entsprechend kostspielig. Der Aufwand ist abhängig von der Situation vor Ort. Bei der Kostenschätzung wird davon ausgegangen, dass vom lokalen Feuerungskontrolleur eine CO- und eine Staubmessung (optisches Verfahren) durchgeführt werden.

Tätigkeit	z / o / s *	Aufwand (Std.)	Kosten (Fr.) **
* z = zwingend nötig, o = oftmals nötig, s = selten nötig			
** Für administrative Arbeiten werden Kosten von Fr. 100.-- / Std. und für die Messungen von Fr. 125.-- / Std. angenommen (Kosten exkl. MWST).			
Kunde kontaktieren, Termine festlegen	z	0,25	25.--
Situation vor Ort aufnehmen (Dachsituation? Platzierung Messsonden? Abdeckarbeiten? Benötigtes Material?) <i>Abklärungen vor Ort 0,75 h, zuzüglich Reisezeit 0,25 h</i>	o	1,00	125.--
Spezialteile anfertigen lassen (z.B. Reinigungsdeckel)	s		200.--
Reisezeit Messtag (hin und zurück)	z	0,25	25.--
Vorbereitung für Messung: Die Vorbereitungszeit variiert sehr stark und ist abhängig davon, wo die Messsonden platziert werden können. <i>Bei Feuerungen gemessen über Dach mit gemauerten Kaminhöfen ist der Aufwand deutlich höher und teilweise durch „Dritte“ (Maurer, Ofenbauer) zu leisten.</i>	z	Aufwand klein 0,75 Aufwand Mittel 1,25 Aufwand hoch 1,75	95.--  155.--  220.--
Messung inkl. Abbau und Reinigungsarbeiten	z	1,00	125.--
Kosten Messgerät	z		75.--
Kleinmaterial, Anteil Kaminverlängerungen, Anteil Russdeckel etc. <i>Es wird davon ausgegangen, dass es sich nicht um eine Einzelmessung handelt und die K-Verlängerungen und die angepassten Reinigungsdeckel mehrfach verwendet werden können.</i>	z		30.--
Verarbeitung der Daten	z	0,30	35.--
<b>Total Kosten „einfache“ Messung</b>		<b>2,55</b>	<b>410.--</b>
<b>Total Kosten „durchschnittliche“ Messung</b>		<b>4,05</b>	<b>595.--</b>
<b>Total Kosten „aufwändige“ Messung</b>		<b>4,55</b>	<b>660.--</b>

*Bei Messungen auf Steildächern oder Messungen mit gemauerten Kaminhöfen kann der Aufwand sehr viel höher sein.*

Tabelle 5: Messkosten

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

Anhang

Analyse Flammenbilder

	15 Minuten			30 Minuten		
	% O <sub>2</sub>	*L/A/U	Flammenbild	% O <sub>2</sub>	*L/A/U	Flammenbild
*L = Luftüberschuss, A = Ausbrand, U = unbekannt						
H1	20,6	Un	kein Bild	17,4		
H2	19,6	L		18,1	L	
H3	17,4			16,8		
H4	12,5			13,4		
H5	18,8	U	kein Bild	19,8	U	kein Bild
H6	19,9	L		19,3	L	
C1	17,6			19,0	A	
C2	18,4	L		20,0	A	
C3	17,8			17,8		
C4	17,9			17,8		

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

	15 Minuten			30 Minuten		
	% O2	*L/A/U	Flammenbild	% O2	*L/A/U	Flammenbild
*L = Luftüberschuss, A = Ausbrand, U = unbekannt						
C5	19,2	L		19,8	A	
C6	19,0	L		19,5	A	
Co1	13,4			17,1		
Co2	13,0			16,0		
Co3	19,5	A		20,4	A	
Co4	11,7			19,3	A	
Co5	7,1			13,9		
Co6	9,7			12,9		
Co7	17,2			15,3		
S1	17,9			15,9		
S2	15,4			18,0	A	

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

	15 Minuten			30 Minuten		
	% O2	*L/A/U	Flammenbild	% O2	*L/A/U	Flammenbild
*L = Luftüberschuss, A = Ausbrand, U = unbekannt						
S3	17,8			19,0	A	
kS1	15,4			14,3		
kS2	13,6			12,9		
kS3	15,4			13,7		
kS4	16,0			15,5		
kS5	18,3	L		17,7		
H1	16,1		keine Bilder	18,4	U	keine Bilder
H2	18,2	L	kein Bild	18,7	A	
H3	19,2	L	kein Bild	20,2	L	
H4	19,5	L	kein Bild	19,4	L	

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

	15 Minuten			30 Minuten		
	% O2	*L/A/U	Flammenbild	% O2	*L/A/U	Flammenbild
*L = Luftüberschuss, A = Ausbrand, U = unbekannt						
Cg1	18,8	L		16,5		
Cg2	18,9	L		19,0	L	
Cg3	17,4			20,2	A	
Cof1	20,2	L		20,3	L	
Cof2	20,3	L		20,2	L	
Cof3	20,2	L		20,7	L	
Co1	10,7			13,4		
Co2	16,6			15,5		
Co3	12,3			13,1		
Co4	14,3			16,9		
Co5	14,1			16,2		

Standortbestimmung Wohnraumfeuerungen

	15 Minuten			30 Minuten		
	% O2	*L/A/U	Flammenbild	% O2	*L/A/U	Flammenbild
*L = Luftüberschuss, A = Ausbrand, U = unbekannt						
Co6	5,6			16,5		
Si1	14,3			4,5		
Si2	18,4	L	kein Bilder	16,1		kein Bilder
Si3	17,2		kein Bilder	18,8	U	kein Bilder
Spo1	17,7			17,7		
Spo2	17,3			19,5	A	
Spo3	15,2			18,2	A	
Spo4	17,9			18,8	A	
To1	9,9			13,7		
To2 (M1)	18,9	U	keine Bilder	19,0	U	keine Bilder
To2 (M2)	5,9			14,3		
To4 2015	16,6			15,4		
To5 2015	18,6	L		17,8		