

TEXTE

87/2024

# Evaluierung der 1. BImSchV von 2010

Endbericht

TEXTE 87/2024

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für  
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 51 352 0  
FB000552

## **Evaluierung der 1. BImSchV von 2010**

Endbericht

von

Dr. Ingo Hartmann, Dr. Volker Lenz, Christian Thiel, Tobias Ulbricht  
Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

### Durchführung der Studie:

Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH  
Torgauer Str. 116  
04347 Leipzig

### Abschlussdatum:

August 2020

### Redaktion:

Fachgebiet III 2.1  
Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie, Feuerungsanlagen  
Christian Liesegang

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Juni 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

### **Kurzbeschreibung: Evaluierung der 1. BImSchV von 2010**

In dem Forschungsvorhaben wird die 1. BImSchV von 2010 hinsichtlich der Maßnahmen zur Reduzierung der Luftbelastung aus Festbrennstofffeuerungen, insbesondere Einzelraumfeuerungsanlagen (EFA), evaluiert.

Sowohl die Typprüfung als auch die Qualitätssicherung von Anlagen und Brennstoffen – während des Herstellungsprozesses und im dauerhaften Betrieb – wurden hinsichtlich ihres Verbesserungspotentials untersucht. Darüber hinaus wurde der Einfluss des Anlagenbetreibers auf das Emissionsverhalten im realen Alltagsbetrieb betrachtet und Möglichkeiten zur Verringerung der Realemissionen aufgezeigt und bewertet. Dies schließt primäre als auch sekundäre Emissionsminderungstechniken mit ein. Ebenfalls wurde untersucht, inwieweit Betriebsmessungen, wie sie für zentrale Heizkessel vorgeschrieben sind, für EFA geeignet sind.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden umfangreiche Emissionsmessungen an fünf Kaminöfen mit drei unterschiedlichen Prüfzyklen durchgeführt und ausgewertet.

#### **Abstract:**

The research project evaluates the 1st BImSchV of 2010 with regard to measures for the reduction of air pollution from solid fuel firing systems, especially single room firing systems (EFA).

Both the type testing and the quality assurance of plants and fuels - during the manufacturing process and in continuous operation - were investigated with regard to their potential for improvement. Furthermore, the influence of the plant operator on the emission behaviour in real everyday operation was considered and possibilities for reducing real emissions were identified and evaluated. This includes primary as well as secondary emission reduction techniques. Furthermore, the suitability of operational measurements, as required for central heating boilers, for EFA was investigated.

Within the scope of this project, extensive emission measurements were carried out and evaluated on five stoves with three different test cycles.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis.....	9
Abkürzungsverzeichnis.....	14
Zusammenfassung.....	15
1   Arbeitspaket 1: Evaluierung der 1. BImSchV – Bestandsaufnahme und Anlagenquerschnitt.....	20
1.1   Methodisches Vorgehen zur Bestandsaufnahme und dem Anlagenquerschnitt.....	20
1.2   Stand des Wissens zu Einzelraumfeuerungsanlagen und zur Umsetzung der 1. BImSchV ..	22
1.2.1   Betrachtungen zur Typprüfung.....	22
1.2.1.1   Allgemeine Betrachtung der Typprüfung .....	23
1.2.1.2   Typprüfung nach EN 13240 bzw. DIN EN 16510-1 .....	26
1.2.1.3   beReal-Verfahren.....	30
1.2.2   Emissionen von EFA im Alltagsbetrieb.....	36
1.2.2.1   Anfeuern .....	37
1.2.2.2   Scheitgröße .....	38
1.2.2.3   Nachlegemasse .....	40
1.2.2.4   Nachlegezeitpunkt.....	42
1.2.2.5   Wassergehalt .....	42
1.2.2.6   Förderdruck .....	44
1.2.2.7   Häufige Betreiberfehler und deren Auswirkungen .....	44
1.2.2.8   Anlagenkonzepte .....	48
1.2.3   Wiederkehrende Prüfungen oder Emissionsmessungen an EFA.....	49
1.2.3.1   Wiederkehrende Emissionsmessungen an EFA.....	49
1.2.3.2   Wiederkehrende Überprüfungen an EFA .....	51
1.2.3.3   Bewertung wiederkehrender Überprüfungen bzw. Emissionsmessungen .....	52
1.2.4   Einführung von Partikelzählverfahren .....	52
1.2.4.1   Motivation zum Einsatz von Partikelzählverfahren.....	52
1.2.4.2   Messverfahren zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung .....	55
1.2.4.3   Bewertung der Anwendbarkeit .....	59
1.2.5   Ermittlung von Handlungsempfehlungen für EFA .....	59
2   Arbeitspaket 2: Stand der Technik und Ausblick.....	64
2.1   Kontinuierliche Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungstechnik.....	64
2.2   Qualitätssicherung im Lebenszyklus .....	67
2.2.1   Aktuell verpflichtend vorgesehene Maßnahmen zur Qualitätssicherung.....	67

2.2.1.1	Typprüfung.....	68
2.2.1.2	Werkseigene Produktionskontrolle .....	68
2.2.1.3	Abnahme der Feuerstätte durch die bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegerin oder den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger .....	68
2.2.1.4	Regelmäßige Sichtprüfung durch die bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegerin oder den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger im Rahmen der Feuerstättenschau .....	69
2.2.1.5	Marktüberwachung von Bauprodukten nach der EU-Bauprodukteverordnung und Ökodesign-Verordnung.....	69
2.2.1.6	Bewertung der verpflichtend vorgesehenen Maßnahmen .....	70
2.2.2	Weitere mögliche qualitätssichernde Maßnahmen .....	71
2.2.2.1	Sicherung des Informationsflusses über den optimalen Betrieb der Feuerung.....	71
2.2.2.2	Verpflichtende Beratungsgespräche vor dem Kauf einer EFA.....	71
2.2.2.3	Kompetente erreichbare Kontaktpersonen für Fragen der Verbrauchenden .....	71
2.2.2.4	Einhaltung höherwertigerer Anforderungen.....	72
2.3	Label / Lokale Anforderungen.....	72
2.3.1	DINplus.....	74
2.3.2	HKI CERT (HKI – Qualitätszeichen) .....	75
2.3.3	Blauer Engel .....	77
2.3.4	Qualitätslabel Ausland .....	79
2.3.4.1	Nordic Swan .....	79
2.3.4.2	Flamme Verte .....	80
2.3.4.3	Conto Termico .....	81
2.3.4.4	Österreichisches Umweltzeichen .....	82
2.4	Maßnahmen an der Feuerungsanlage und im Abgasweg .....	85
2.4.1	Maßnahmen der Betreibenden von Feuerungen .....	85
2.4.1.1	Maßnahmen im Bereich Brennstoffe .....	85
2.4.1.2	Ofenführerschein.....	85
2.4.1.3	Schulung durch das Schornsteinfegerhandwerk .....	85
2.4.2	Maßnahmen an der Feuerungsanlage.....	86
2.4.2.1	Sturzbrandprinzip .....	86
2.4.2.2	Kerzenabbrandprinzip.....	86
2.4.3	Maßnahmen im Abgasweg .....	86
2.4.3.1	Einfluss des Abgasweges auf die Feuerung .....	86
2.4.3.2	Einrichtung zur Anzeige der Abgastemperatur.....	87

2.4.3.3	Nachgeschaltete Staubabscheider / Katalysator .....	87
2.4.3.4	Einrichtung zur Regulierung des Schornsteinzuges (Zugbegrenzer) .....	87
2.4.3.5	Einrichtung zur Erzeugung eines Förderdruckes (Rauchsauger) .....	88
2.4.3.6	Einrichtungen zur Reduzierung des Windeinflusses (Schornsteinköpfe) .....	89
2.4.4	Wirksamkeit gegenüber negativem Einfluss der Betreibenden .....	89
2.4.5	Wirksamkeit der Maßnahmen auf Emissionen.....	90
2.5	Filternde und abscheidende Emissionsminderungstechnik .....	91
2.5.1	Staubabscheider für Kleinfeuerungsanlagen .....	91
2.5.1.1	Verfügbare nachgeschaltete Technologien zur Staubabscheidung.....	92
2.5.1.2	Reinigungsintervalle, Standzeiten und Verfügbarkeit .....	94
2.5.1.3	In der Entwicklung befindliche nachgeschaltete Technologien zur Staubabscheidung.....	94
2.5.1.4	Verfügbare integrierte Technologien zur Staubabscheidung.....	95
2.5.1.5	Möglichkeit zur kontinuierlichen Überwachung der Funktionsfähigkeit von Staubabscheider .....	95
2.5.2	Verfügbare Technologien zur katalytischen Emissionsminderung.....	96
3	Arbeitspaket 3: Messprogramm an Einzelraumfeuerungsanlagen.....	97
3.1	Auswahl geeigneter Kaminöfen für die Messungen .....	97
3.2	Erfahrungen mit Kauf, Bedienungsanleitung und Herstellungsqualität .....	98
3.3	Messprogramm .....	99
3.4	Messmethoden .....	100
3.5	Durchgeführte Messungen und Messergebnisse .....	102
3.6	Interpretation der Messergebnisse .....	113
3.6.4	Einfluss der Alterung unter Prüfstandsbedingungen.....	116
4	Fazit .....	123
5	Quellenverzeichnis .....	126
A	Befragung der Länder.....	133
A.1	In die Befragung einbezogene Institutionen.....	133
A.2	Besteht Ihrer Meinung nach ein signifikanter Bedarf, die Schadstoffemissionen aus häuslichen Feuerungsanlagen weiter zu reduzieren und welche Maßnahmen (Feuerungstechnik, Abgasnachbehandlung, Abscheider) schlagen Sie vor? .....	133
A.3	Welche Erfahrungen bezüglich Abgasemissionen haben Sie bei der Verbrennung von Scheitholz in häuslichen Feuerungen gemacht?.....	134
A.4	Haben Sie selbst oder in Zusammenarbeit mit Partnern Messkampagnen an Holzfeuerungen durchgeführt und können Sie entsprechende Messprotokolle oder Berichte zur Verfügung stellen?.....	135

A.5	Sind Ihrer Meinung nach neben Staub weitere Schadstoffe (Kohlenwasserstoffe, Stickstoffoxide) aus Holzverbrennungsprozessen relevant, die bezüglich des Immissionsschutzes zusätzlich betrachtet werden müssen? .....	136
A.6	Besteht Ihrerseits Interesse an der Mitwirkung und Durchführungen von Fachgesprächen zur Ermittlung des Standes der Technik an Kleinf Feuerungsanlagen?.....	136
B	Expertenbefragung.....	137
B.1	Zusammenfassung der Antworten.....	137
B.1.1	Auswirkungen der Novellierung der 1. BImSchV .....	137
B.1.2	Betrachtung der Typprüfung .....	138
B.1.3	Emissionen von EFA im Alltagsbetrieb.....	139
B.1.4	Wiederkehrende Messungen an EFA.....	139
B.1.5	Einführung von Partikelzählverfahren .....	140
B.1.6	Ermittlung von Handlungsbedarf für EFA .....	140
C	Zusammenstellung ausgewählter Messdaten.....	142
C.1	Prüfzyklus .....	142
C.2	Messwerte .....	144

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schema des beReal Messzyklus für Scheitholz-Kaminöfen [16] .....	31
Abbildung 2:	beReal Testmethode für Scheitholz-Kaminöfen [14] .....	33
Abbildung 3:	Exemplarischer Emissionsverlauf an einem Kaminofen mit Kennzeichnung der unterschiedlichen Prozessschritte und der jeweiligen Emissionscharakteristik .....	36
Abbildung 4:	Einfluss der Scheitgröße auf die gasförmigen Emissionen CO und Org.-C sowie die Staubemissionen im unverdünnten und verdünnten Abgas bei drei verschiedenen Einzelraumfeuerungsanlagen. Brennstoff: Buche ohne Rinde in Normscheitform, Auflegemasse: gemäß Herstellerangabe für Nennleistung, Wassergehalt: 12-16 % (n = Anzahl der Messungen) [29] .....	39
Abbildung 5:	Einfluss der Nachlegemasse auf die gasförmigen Emissionen CO und Org.-C sowie die Staubemissionen im unverdünnten und verdünnten Abgas bei allen drei eingesetzten Einzelraumfeuerungsanlagen. Brennstoff: Buche ohne Rinde in Normscheitform mit 7 x 7 cm Kantenlänge, Wassergehalt: 12 - 16 % (n = Anzahl der Messungen) [29].....	41
Abbildung 6:	Einfluss der Brennstofffeuchte von Buchenscheitholz auf die gas- und partikelförmigen Emissionen [29] .....	44
Abbildung 7:	Darstellung der an Biomasse-EFA auftretenden Partikelgrößenverteilung in Form eines Oberflächendiagramms, Uhrzeit auf der x-Achse, Partikelgröße auf der y-Achse, Anzahlkonzentration auf der z-Achse in Form von Farbabstufungen .....	56
Abbildung 8:	Darstellung der an Biomasse-EFA auftretenden Partikelanzahlsummesowie der zugehörige Modalwert der Partikelgröße .....	57
Abbildung 9:	Exemplarische Grundstruktur einer Steuerung mit integrierter Regelung für die Hauptbrennphase eines Scheitholzofens basierend auf einem Zustandsautomaten nach [62] .....	65

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Emissionsgrenzwerte der 1. BImSchV für Einzelraumfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe .....	23
Tabelle 2:	Beispiel realer Messungen an drei unterschiedlichen Kaminöfen zur Untersuchung der Konvergenz zwischen Typprüfung und realeren Emissionen [3] .....	26
Tabelle 3:	Übersicht der im Feldtest untersuchten Kaminöfen [17].....	34
Tabelle 4:	Gegenüberstellung der Durchschnittswerte der über alle Kaminöfen gemessenen Emissionen und Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Prüfmethoden [17] (Hinweis: die hier aufgeführten Mittelwerte lassen nicht alle Tendenzen erkennen, wie sie sich aus den Einzelergebnissen ergeben würden) .....	35

Tabelle 5:	Typische Kennwerte eines Kaminofens während der unterschiedlichen Prozessschritte .....	37
Tabelle 6:	Einfluss unterschiedlicher Scheitgrößen auf die absolute und relative Abweichung gegenüber der optimalen (Herstellerangabe) Scheitgröße im Hinblick auf die gasförmigen Emissionen CO und Org.-C sowie die Staubemissionen im unverdünnten und verdünnten Abgas bei drei verschiedenen Einzelraumfeuerungsanlagen. Brennstoff: Buche ohne Rinde in Normscheitform, Auflegemasse: gemäß Herstellerangabe für Nennleistung, Wassergehalt: 12-16 % [29] .....	40
Tabelle 7:	Einfluss unterschiedlicher Nachlegemassen auf die absolute und relative Abweichung gegenüber der optimalen (Herstellerangabe) Nachlegemasse im Hinblick auf die gasförmigen Emissionen CO und Org.-C sowie die Staubemissionen im unverdünnten und verdünnten Abgas bei drei verschiedenen Einzelraumfeuerungsanlagen. Brennstoff: Buche ohne Rinde in Normscheitform, Auflegemasse: gemäß Herstellerangabe für Nennleistung, Wassergehalt: 12-16 % [29] .....	42
Tabelle 8:	Übersicht der wichtigsten Bedienfehler an Einzelraumfeuerungsanlagen und deren Auswirkungen auf die Emissionen .....	46
Tabelle 9:	Gesundheitseffekt für Partikelanzahlkonzentration (PNC) und Partikelmasse (PM <sub>2,5</sub> ) nach [35] .....	53
Tabelle 10:	Gegenüberstellung verschiedener Indikatoren zur Abschätzung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen von Partikelemissionen nach [35] und eigenen Erkenntnissen .....	54
Tabelle 11:	Größenbereich und Zusammensetzung einzelner Feinstaubfraktionen aus Holzfeuerungen .....	55
Tabelle 12:	Messverfahren zur Bestimmung der Anzahlgrößenverteilung von Feinstaub [44].....	58
Tabelle 13:	Emissionsfaktoren für biomassegefeuerte EFA in den Bereichen Haushalte und GHD (inkl. Militär) im zeitlichen Verlauf für PM und NMVOC (Szenario Aktuelle Politik bzw. Energiewende (Zahl nach Schrägstrich bei Abweichungen der Szenarien)) .....	61
Tabelle 14:	Emissionsgrenzwerte unterschiedlicher städtischer Verordnungen im Vergleich zur 2.Stufe der 1.BImSchV und den ab dem 1.1.2022 geltenden Anforderungen der Ökodesign-RL [51], [52] .....	72
Tabelle 15:	Emissionsgrenzwerte und Wirkungsgrad für das Qualitätslabel DINPlus im Vergleich zu den ab dem 01.01.2022 geltenden Anforderungen der Ökodesign-RL.....	74
Tabelle 16:	Grenzwertanforderungen HKI CERT [10].....	75
Tabelle 17:	Grenzwertanforderungen Entwurf Blauer Engel für Kaminöfen [65] .....	78
Tabelle 18:	Grenzwertanforderungen Nordic Swan [11] .....	79
Tabelle 19:	Grenzwertanforderungen Flamme Verte für EFA [57].....	80
Tabelle 20:	Grenzwertanforderungen Conto Termico für offene Kamine, Kamineinsätze und Raumheizer.....	81

Tabelle 21:	Grenzwertanforderungen Conto Termico für Speicherfeuerstätten .....	81
Tabelle 22:	Grenzwertanforderungen österreichisches Umweltzeichen für EFA [13] .....	82
Tabelle 23:	Vergleich der CO-, Org.-C- und PM-Emissionen gemessen an drei unterschiedlichen Kaminöfen bei 12 Pa, 24 Pa und 48 Pa Förderdruck [32] .....	88
Tabelle 24:	Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich Auslegungs- und Bedienungsfehlern .....	89
Tabelle 25:	Elektrostatische Abscheider für Feuerungsleistungen bis 25 kW (Stand Juli 2020).....	92
Tabelle 26:	Abscheidegrade elektrostatischer Abscheider an EFA – Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsvorhaben (Keine Herstellerangaben).....	93
Tabelle 27:	elektrostatische Abscheider für Feuerungsleistungen bis 25 kW [72].....	95
Tabelle 28:	Auswahlkriterien für die zu untersuchenden Kaminöfen .....	97
Tabelle 29:	Für das Messprogramm ausgewählte Kaminöfen.....	98
Tabelle 30:	Messgrößen, -bereiche und -fehler des FTIR- Gasanalysator Typ CX-4000 (ANSYCO GmbH) .....	100
Tabelle 31:	Messgrößen, -bereiche und -fehler des TESTA Flammenionisationsdetektor .....	101
Tabelle 32:	Messgrößen, -bereiche und -fehler des SIEMENS- Gasanalysesystems.....	101
Tabelle 33:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1.....	103
Tabelle 34:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2.....	105
Tabelle 35:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3.....	107
Tabelle 36:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4.....	109
Tabelle 37:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 ohne Umbauten.....	111
Tabelle 38:	ausgewählte Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 mit Umbauten .....	112
Tabelle 39:	Gemessene Kaminöfen nach Preiskategorie .....	116
Tabelle 40:	Vergleich der Emissionswerte (13 % O <sub>2</sub> und Normbedingungen) von KO1 (geringster Preis) und KO5 (höchster Preis) nach Mängelbehebung .....	117
Tabelle 41:	Fragen und Antworten .....	117
Tabelle 42:	Ablauf des Prüfzyklus EN „in Anlehnung an Typprüfung“ .....	142
Tabelle 43:	Ablauf des Prüfzyklus bR „nach dem Prüfzyklus beReal“ .....	142
Tabelle 44:	Ablauf des Prüfzyklus bEEN „Umweltzeichen Blauer Engel“ .....	143
Tabelle 45:	Ablauf des Prüfzyklus VBE „Vorschlag des DBFZ für ein Umweltzeichen“ .....	143
Tabelle 46:	Hinweise zu den Messdatentabellen.....	144
Tabelle 47:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 25.04.2018.....	145
Tabelle 48:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 02.05.2018.....	146
Tabelle 49:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 03.05.2018.....	147
Tabelle 50:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 07.05.2018.....	148

Tabelle 51:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 25.03.2019.....	149
Tabelle 52:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 12.06.2019.....	150
Tabelle 53:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 14.05.2018.....	151
Tabelle 54:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 15.05.2018.....	152
Tabelle 55:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 16.05.2018.....	153
Tabelle 56:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 17.05.2018.....	154
Tabelle 57:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 04.03.2019.....	155
Tabelle 58:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 07.03.2019.....	156
Tabelle 59:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 02.07.2018.....	157
Tabelle 60:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 03.07.2018.....	158
Tabelle 61:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 19.02.2019.....	159
Tabelle 62:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 20.02.2019.....	160
Tabelle 63:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 18.06.2018.....	161
Tabelle 64:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 26.02.2019.....	162
Tabelle 65:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 27.02.2019.....	163
Tabelle 66:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 20.08.2018.....	164
Tabelle 67:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 21.08.2018.....	165
Tabelle 68:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 22.08.2018.....	166
Tabelle 69:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 23.08.2018.....	167
Tabelle 70:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 11.03.2019.....	168
Tabelle 71:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 14.03.2019.....	169

Tabelle 72:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 18.03.2019.....	170
Tabelle 73:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 19.03.2019.....	171
Tabelle 74:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 20.03.2019.....	172
Tabelle 75:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 04.06.2018.....	173
Tabelle 76:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 05.06.2018.....	173
Tabelle 77:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 06.06.2018.....	174
Tabelle 78:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 07.06.2018.....	175
Tabelle 79:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 11.06.2018.....	176
Tabelle 80:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 12.06.2018.....	177
Tabelle 81:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 08.04.2019.....	178
Tabelle 82:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 10.04.2019.....	179
Tabelle 83:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 11.04.2019.....	180
Tabelle 84:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 17.04.2019.....	181
Tabelle 85:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 25.04.2019.....	182
Tabelle 86:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 29.04.2019.....	183
Tabelle 87:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 02.05.2019.....	184
Tabelle 88:	Messdaten bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 06.05.2019.....	185

## Abkürzungsverzeichnis

<b>1. BImSchV</b>	Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV)
<b>CEN</b>	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
<b>CO</b>	Kohlenstoffmonoxid
<b>CVD</b>	Cardiovascular disease (Herz-Kreislauf-Erkrankungen)
<b>DIBt</b>	Deutsches Institut für Bautechnik
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>EFA</b>	Einzelraumfeuerungsanlage(n)
<b>EN</b>	Europäische Norm
<b>GHD</b>	(Sektor) Gewerbe-Handel-Dienstleistung
<b>HKI</b>	Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V.
<b>NM VOC</b>	Non-methane volatile organic compounds (Flüchtige Organische Verbindungen ohne Methan)
<b>NWL</b>	Nennwärmeleistung
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer (Hersteller bringt Produkt nicht selber auf den Markt)
<b>OGC</b>	Organic Gaseous Carbon (OGC)
<b>Org.-C</b>	Organisch gebundener Kohlenstoff
<b>PM</b>	Particulate Matter (Feinstaub)
<b>TFZ</b>	Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
<b>TS</b>	Technical Specification
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
<b>ZIV</b>	Zentralinnungsverband (Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks)

Es wurde versucht, für alle Formulierungen im Endbericht geschlechterneutrale Formulierungen zu finden. Wenn im Bericht dennoch nur die männliche oder weibliche Form benutzt wurde, ist damit keine Eingrenzung auf nur ein Geschlecht gemeint.

## Zusammenfassung

Mit der Novellierung der 1. BImSchV 2010 wurden insbesondere Vorschriften für Festbrennstofffeuerungen überarbeitet sowie neue Vorgaben ergänzt. Zum einen wurden die Emissionsgrenzwerte für neue Anlagen deutlich verschärft und zum anderen wurden erstmals auch für bestehende Anlagen im Endkundenbereich – mit Übergangsfristen – neue Grenzwerte festgelegt und mit Nachrüst- oder Stilllegungspflichten verbunden.

Acht Jahre später stellt sich die Frage, ob die Novelle der 1. BImSchV die erhofften und auch in einzelnen Studien zu zukünftigen Emissionsentwicklungen angenommenen Schadstoffminderungen tatsächlich erbringt und ob es gegebenenfalls noch weiteren Verbesserungsbedarf gibt.

Da Einzelraumfeuerungsanlagen (EFA) (ca. 11 Mio.) anzahlmäßig deutlich relevanter sind als Festbrennstoffkessel (knapp 1 Mio.), ihre spezifischen Realemissionen im Durchschnitt signifikant über denen moderner Kessel liegen und sie keiner regelmäßigen Emissionsmessung im Betrieb unterliegen, besteht besonderer Forschungsbedarf zur Klärung der Auswirkungen der Novelle der 1. BImSchV in diesem Anlagensegment.

Die Untersuchung der Entwicklung und Entwicklungsoptionen der EFA wurde zunächst anhand von Literaturquellen und Expertenanhörungen und -interviews durchgeführt. Auf Basis ähnlicher Erhebungsmethoden wurde der Stand der Technik von EFA abgebildet und dargestellt, wobei insbesondere die Frage der weiteren Verbesserungsmöglichkeiten betrachtet wurde. Gerade die Frage der realen Emissionen und Fragen notwendiger technischer Anpassungen der 1. BImSchV wurden im Rahmen von Labormessungen mit realitätsnäheren Messmethoden als der Typenprüfung an fünf Scheitholzkaminöfen unterschiedlicher Preissegmente und unterschiedlicher Beschaffungswege experimentell untersucht.

Wesentliche Erkenntnisse dieser Studie sind:

- ▶ Unter den derzeitigen ordnungsrechtlichen und politischen Rahmenbedingungen<sup>1</sup> konnten und können sich innovative Technologieentwicklungen im Bereich der Einzelraumfeuerungsanlagen am Markt nicht in derart ausreichenden Stückzahlen durchsetzen, damit eine nennenswerte über die 1. BImSchV hinausgehende Emissionsminderung beobachtbar wäre.
- ▶ Im Endkundenmarkt für EFA orientiert sich das Emissionsniveau für EFA vornehmlich am gesetzlichen Rahmen. Die Zahl an Kunden, die freiwillig mehr Geld für Emissionsminderungen über das gesetzliche Niveau hinaus ausgeben, ist sehr gering, obwohl für Designfragen eine erhebliche Zahlungsbereitschaft besteht. Insofern lassen sich in der Summe nachweisbare weitergehende Emissionsminderungen nur durch verschärfte ordnungsrechtliche Vorgaben erreichen.
- ▶ Es gibt vielfältige marktreife und marktnahe technologische Ansätze, die sowohl den Nutzereinfluss als auch die Emissionen an Staub, Kohlenstoffmonoxid (CO) und anderen Luftschadstoffen auch im realen Betrieb deutlich unter das Anforderungsniveau der

---

<sup>1</sup> Bestehende Kombination aus Grenzwert und Messmethoden garantiert nicht die beste Technologie; fehlende wiederkehrende Emissionsmessungen von Anlagen stellt den Stand der im Markt befindlichen Anlagen in Frage; fehlende Internalisierung (Zurechnung externer Effekte auf den Verursacher) von Folgekosten des Klimawandels und anderen emissionsbedingten Schadkosten – z.B. CO<sub>2</sub>-Steuer erlaubt keine Refinanzierung zusätzlicher Minderungseinrichtungen

1. BImSchV mindern können. Teilweise wurden entsprechende Entwicklungen aufgrund fehlender Nachfrage wieder vom Markt genommen.

- ▶ Bei der in 2010 erfolgten Novellierung der 1. BImSchV ist mit der Verschärfung der Grenzwerte in der einmaligen Typprüfung eines neuen Produkts nicht sichergestellt, dass neue EFA in allen Fällen im realen Betrieb niedrigere Emissionen aufweisen als ältere Anlagen, die nach Vorschrift ausgetauscht werden müssen – nach Aussage einiger Hersteller von EFA bedarf es zur Erreichung der gesenkten Typenprüfwerte einer weitergehenden Optimierung der Feuerung auf den Typenprüfzustand (Nennlast, vorgeheizt). Dadurch könnte es unter gewissen Umständen bei EFA im von der Typprüfung abweichenden Realbetrieb leichter zu Störungen der Verbrennung mit erhöhten Emissionen (z.B. falsche Holzauflagemenge, falscher Nachlegezeitpunkt) kommen.
- ▶ Wiederkehrende Überprüfungen sind für technische Einrichtungen, die 20 und mehr Jahre von wechselnden Nutzenden mit unterschiedlichem Wissensstand betrieben werden, und deren Fehlbetrieb maßgebliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben kann, unerlässlich. Die Feuerstättenschau erscheint mit Blick auf das Emissionsverhalten der EFA nicht ausreichend. Historisch und aufgrund der Einbausituation wäre eine wiederkehrende Messpflicht für Bestandsanlagen nur sehr bedingt in der Praxis durchsetzbar. Für Neuanlagen erscheint eine wiederkehrende Mess- und Schulungspflicht jedoch als durchführbar und empfehlenswert. Die Häufigkeit der Messungen könnte ggf. an der Zahl der Jahresbetriebsstunden einer Feuerung orientiert werden.
- ▶ Bei den derzeitigen Emissionsniveaus für Feinstaub von 20 bis 100 mg/m<sup>3</sup> i.N. bei 13% O<sub>2</sub> ist eine reproduzierbare Partikelzählung schwierig und kann nur wenige zusätzliche Informationen liefern. Werden jedoch perspektivisch Emissionswerte im realen Betrieb von unter 1 bis 2 mg/m<sup>3</sup> i.N. bei 13% O<sub>2</sub> für Gesamtstaub erreicht, werden die Messunsicherheiten bei der gravimetrischen Bestimmung der Staubemissionen (5 bis 10 mg/m<sup>3</sup> i.N. bei 13% O<sub>2</sub>) derart relevant, dass eine Partikelzählung zielführend und durchführbar wird.
- ▶ EFA sollten zukünftig nach Heizgeräten und Ambiente-Geräten unterschieden werden. Viele EFA werden vom Kunden nur für einen sehr gelegentlichen Gebrauch aus „Stimmungsgründen“ angeschafft. Dabei liegt die Auswahl stark auf dem Aussehen und nicht auf einer optimierten Verbrennung. Hersteller von EFA führen an, dass der „Ambiente“-Gerätemarkt benötigt wird, um die Entwicklung und den Absatz von sehr emissionsarmen Geräten mitfinanzieren zu können. Mittlerweile existieren geeignete Messeinrichtungen, die z.B. anhand der Abgastemperatur Betriebsstunden für EFA erfassen und z.B. für die Bezirksschornsteinfegerin und den Bezirksschornsteinfeger prüfbar machen. Damit ließe sich zukünftig für „nur gelegentlich“<sup>2</sup> oder nur sehr

---

<sup>2</sup> Formulierung entspricht den Vorgaben der 1. BImSchV (2010) Abschnitt 2 §4 (4) „Offene Kamine dürfen nur gelegentlich betrieben werden...“. Nach einem Urteil des Oberverwaltungsgerichtes Koblenz (Az.: 7 B 10342/91.OVG) handelt die Behörde rechtmäßig, wenn sie den Betrieb auf nicht mehr als 8 Tage je Monat für 5 Stunden beschränkt.

gelegentlich (z.B. maximal 40 h/a) genutzte EFA die 1. BImSchV in der gegebenen Form anwenden, während für Heizgeräte durchaus strengere Emissionsanforderungen möglich und auch vom Markt akzeptierbar wären.

- ▶ Für Heizgeräte erscheint unter Beachtung obiger Marktsegmentierung eine Anpassung der Gerätezulassung auf ein realitätsnäheres Verfahren und die planbare, schrittweise Verschärfung der Grenzwerte in einem technisch umsetzbaren Rahmen als machbar und für den Markt stimulierend.

## Summary

With the amendment of the 1st BImSchV 2010, especially regulations for solid fuel firing systems were revised and new requirements were added. On the one hand, the emission limit values for new plants have been tightened considerably and, on the other hand, for the first time new limit values have been set also for existing plants in the end customer sector - with transition periods - and combined with retrofitting or decommissioning obligations.

Eight years later, the question arises whether the amendment of the 1. BImSchV actually achieves the hoped-for reductions in pollutant emissions and also those assumed in individual studies on future emission developments, and whether there is a need for further improvement.

Single-room firing installations or solid fuel local space heaters (EFA) are far more relevant in terms of quantity (approx. 11 million units) than solid fuel boilers (just under 1 million units). Their specific real emissions are on average significantly higher than those of modern boilers and they are not subject to regular emission measurement during operation. For these reasons, there is a particular need for research to clarify the effects of the amendment to the 1st BImSchV in this plant segment.

The investigation of the development and development options of EFA was initially carried out using literature sources and expert hearings and interviews. The state of the art of EFA was mapped and presented on the basis of similar survey methods, with particular attention being paid to the question of further improvement options. Especially the question of real emissions and questions of necessary technical adjustments of the 1st BImSchV were experimentally investigated within the scope of laboratory measurements with more realistic measuring methods than type testing on five log wood stoves of different price segments and different procurement channels.

Key findings of this study are:

- ▶ Under the current regulatory and political framework conditions<sup>3</sup>, innovative technological developments in the field of single-room furnaces could not and cannot be established on the market in such sufficient quantities that a significant reduction in emissions beyond the 1st BImSchV would be observable.
- ▶ In the end customer market for EFA, the emission level for EFA is primarily based on the legal framework. The number of customers who voluntarily spend more money on emission reductions above the legal level is very low, although there is a considerable willingness to pay for design issues. In this respect, verifiable further reductions in emissions can only be achieved by stricter regulatory requirements.
- ▶ There are a variety of market-ready and near-market technological approaches that can reduce both user influence and emissions of dust, carbon monoxide (CO) and other air pollutants to levels well below the requirements of the 1st BImSchV, even in real operation. In some cases, corresponding developments have been withdrawn from the market due to a lack of demand.

---

<sup>3</sup> Existing combination of limit value and measurement methods does not guarantee the best technology; missing recurrent emission measurements of installations calls into question the status of installations on the market; missing internalisation (attribution of external effects to the polluter) of consequential costs of climate change and other emission-related pollution costs - e.g. CO<sub>2</sub> tax does not allow refinancing of additional abatement facilities

- ▶ With the amendment of the 1st BImSchV in 2010, the tightening of the limit values in the one-time type test of a new product does not guarantee that new EFA will in all cases have lower emissions in real operation than older plants that have to be replaced according to the regulations – as EFA manufacturers stated, the firing system must be further optimised to the type test condition (nominal load, preheated) in order to achieve the lower type test values. Under certain circumstances, this could lead to combustion disturbances with increased emissions (e.g. incorrect wood feed quantity, incorrect time of replenishment) in real operation deviating from the type test.
- ▶ Periodic inspections are indispensable for technical facilities that are operated for 20 years or more by changing users with different levels of knowledge, and whose malfunction can have significant effects on humans and the environment. The fireplace inspection does not appear to be sufficient with regard to the emission behaviour of the EFA. Historically, and due to the installation situation, a recurring measurement obligation for existing installations would only be enforceable to a very limited extent in practice. For new plants, however, a recurring measurement and training obligation seems feasible and recommendable. The frequency of the measurements could, if necessary, be based on the number of annual operating hours of a furnace.
- ▶ At current emission levels for particulate matter of 20 to 100 mg/m<sup>3</sup> STP at 13% O<sub>2</sub>, reproducible particle counting is difficult and can only provide little additional information. If, however, emission levels of less than 1 to 2 mg/m<sup>3</sup> STP at 13% O<sub>2</sub> for total dust are achieved in real operation in the future, the measurement uncertainties in the gravimetric determination of dust emissions (5 to 10 mg/m<sup>3</sup> STP at 13% O<sub>2</sub>) become so relevant that particle counting becomes target-oriented and feasible.
- ▶ EFA should in future be differentiated between heaters and ambience appliances. Many EFA are only purchased by customers for very occasional use for "mood reasons". The choice is strongly based on appearance and not on optimised combustion. EFA manufacturers argue that the "ambience" appliance market is needed to co-finance the development and sales of very low emission appliances. In the meantime, suitable measuring devices exist which, for example, record operating hours for EFA on the basis of the exhaust gas temperature and make them testable for the district chimney sweep, for example. In future, this would make it possible to apply the 1st BImSchV in the given form for "only occasionally"<sup>4</sup> or only very occasionally (e.g. maximum 40 h/a) used EFA, while stricter emission requirements for heaters would be possible and also acceptable for the market.
- ▶ For heating appliances, taking into account the above market segmentation, an adjustment of the appliance approval to a more realistic procedure and the planned, gradual tightening of the limit values within a technically feasible framework appears to be feasible and stimulating for the market.

---

<sup>4</sup> Formulation complies with the requirements of the 1. BImSchV (2010) Section 2 §4 (4) "Open-hearth fireplaces may only be operated occasionally...". According to a ruling of the Higher Administrative Court of Koblenz (Ref.: 7 B 10342/91.OVG), the authority acts lawfully if it limits operation to no more than 8 days per month for 5 hours.

# 1 Arbeitspaket 1: Evaluierung der 1. BImSchV – Bestandsaufnahme und Anlagenquerschnitt

## 1.1 Methodisches Vorgehen zur Bestandsaufnahme und dem Anlagenquerschnitt

Das Arbeitspaket 1 stützt sich im Wesentlichen auf einschlägige Fachliteratur. Basierend auf einer ersten Literaturvorgabe des UBA wurden weitere vielversprechende Literaturquellen zusätzlich gesichtet. Da nicht für alle Fragestellungen ausreichende Informationen in der zugänglichen Literatur vorhanden sind, erfolgten Befragungen (siehe Anhang A Befragung der Länder und Anhang B Expertenbefragung).

Ergänzend zur Literaturrecherche und den Befragungen fanden im Projekt umfangreiche Messreihen an Kaminöfen statt.

Im Rahmen der Befragung wurden den Experten die unten aufgeführten Fragen mit der Bitte um Beantwortung übermittelt. Die Befragung der Kommunen bzw. der Vertreter der Länder erfolgte getrennt von der Befragung der restlichen Akteure.

An die Vertreter der Länder wurden folgende Fragen gestellt:

- ▶ Besteht Ihrer Meinung nach ein signifikanter Bedarf, die Schadstoffemissionen aus häuslichen Feuerungsanlagen weiter zu reduzieren und welche Maßnahmen (Feuerungstechnik, Abgasnachbehandlung, Abscheider) schlagen Sie vor?
- ▶ Welche Erfahrungen bezüglich Abgasemissionen haben Sie bei der Verbrennung von Scheitholz in häuslichen Feuerungen gemacht? Beispiele:
  - Erhebungen und Erfahrungsberichte des Schornsteinfegerhandwerks
  - neuartige Feuerungstechniken
  - neue Techniken wie Staubabscheider
  - außergewöhnliche Belastungen
  - Fälle von Fehlverhalten der Betreibenden, z.B. Abfallverbrennung
  - Beschwerden von Anwohnern
  - Unfälle
  - Sonstige
- ▶ Sind Ihrer Meinung nach neben Staub weitere Schadstoffe (Kohlenwasserstoffe, Stickstoffoxide) aus Holzverbrennungsprozessen relevant, die bezüglich des Immissionsschutzes zusätzlich betrachtet werden müssen?
- ▶ Besteht Ihrerseits Interesse an der Mitwirkung und Durchführungen von Fachgesprächen zur Ermittlung des Standes der Technik an Kleinf Feuerungsanlagen?

Weitere zu befragende Experten wurden im Einvernehmen zwischen dem UBA und DBFZ identifiziert und angeschrieben. Der HKI hat die Fragen zur Beantwortung auch an seine Mitglieder weitergeleitet. Zunächst wurden 14 Einrichtungen/Personen angeschrieben, von denen 10 geantwortet haben. Vier weitere Antworten gingen nach Weitergabe der Fragen durch den HKI beim DBFZ ein.

Es wurden an die anderen Akteure folgende Fragen formuliert:

- ▶ Welche Auswirkung hatte aus Ihrer Sicht die Novellierung der 1. BImSchV auf den Markt der Einzelraumfeuerstätten?
- ▶ Welche Auswirkung hatte aus Ihrer Sicht die Novellierung der 1. BImSchV auf die Emissionen?
- ▶ Welche Erfahrungen (positiv / negativ) haben Sie mit Prüfstandsmessung (Typprüfung)?
- ▶ Wie beurteilen Sie den Vergleich zwischen Prüfstandsmessungen und Emissionen im Alltagsbetrieb?
- ▶ Welche Einflüsse auf Emissionen im Alltagsbetrieb sind aus Ihrer Sicht für Einzelraumfeuerstätten besonders relevant?
- ▶ Welche häufigen Fehler machen aus Ihrer Sicht Betreibende von Einzelraumfeuerstätten?
- ▶ Welche Möglichkeiten einer weiteren Emissionssenkung sehen Sie bei Einzelraumfeuerstätten?
- ▶ Wie würden Sie den Nutzen und den Aufwand möglicher wiederkehrender Messungen an Einzelraumfeuerungen bewerten?
- ▶ Wie würden Sie eine mögliche Einführung von Partikelzählverfahren in der Typprüfung bewerten?

Die einzelnen Antworten wurden ausgewertet und zusammengefasst. Die Zusammenfassungen befinden sich in den Anhänge A und B. Diese Ergebnisse sind in die im Folgenden dargestellten Erkenntnisse mit eingeflossen und wurden, falls angebracht, als Quelle [1] bezeichnet.

## **1.2 Stand des Wissens zu Einzelraumfeuerungsanlagen und zur Umsetzung der 1. BImSchV**

Im Folgenden werden die mittels der unter 1.1 beschriebenen und erläuterten Verfahren gewonnenen Erkenntnisse nach fünf Fragestellungen sortiert dargestellt.

### **1.2.1 Betrachtungen zur Typprüfung**

EFA können aufgrund ihrer Emissionen eine Belastung für die menschliche Gesundheit, aber auch für die Umwelt darstellen. Daher hat der Gesetzgeber die Notwendigkeit festgestellt verbindliche Regelungen zu erlassen. Die Zulassung von EFA ordnet sich dabei in den bestehenden europäischen Rechtsrahmen für Gerätezulassungen ein [49]. Bei EFA handelt es sich um geregelte Bauprodukte, für welche die Hersteller die einschlägigen Normen, Verordnungen und Gesetze einzuhalten haben, indem sie alle geforderten Prüfungen erfolgreich absolvieren, die Nachweise archivieren und für jedes gebaute Produkt die Konformität zum geprüften Gerät erklären.

Durch die 1. BImSchV sind weitergehende Vorgaben zum Immissionsschutz festgehalten worden. Immissionsschutzvorgaben enthalten drei Elemente: Festlegung eines Prüfablaufs / einer Messvorschrift (unter welchen Betriebsbedingungen der EFA soll wie lange welche Emission gemessen werden), Festlegung der für die jeweiligen Messgrößen anzuwendenden Messverfahren (mit welchen Messprinzipien soll mit welcher noch zulässigen Messunsicherheit gemessen werden) und Festlegung der jeweiligen Grenzwerte der Messgrößen unter Berücksichtigung des Umgangs mit den Messunsicherheiten. Die Einhaltung eines Grenzwertes kann und darf immer nur im Zusammenhang mit der festgelegten Messvorschrift und dem zugehörigen Messverfahren beurteilt werden. Kommt es zu Abweichungen bei einem der beiden Punkte, ist die Vergleichbarkeit der Messwerte hinlänglich nachzuweisen.

Für EFA sieht der Gesetzgeber im Rahmen der Typprüfung eine einmalige Überprüfung eines Gerätes bei einer zugelassenen Prüfstelle vor, d. h. es erfolgen keine wiederkehrenden Emissionsmessungen und keine regelmäßigen Kontrollmessungen nach der Produktion. Lediglich im Zuge der Marktüberwachung oder bei Verdachtsfällen wird in Einzelfällen ein Gerät aus der Produktion nachgeprüft.

Die 1. BImSchV sieht eine Begrenzung der Staub- und CO-Emissionen vor, sowie einen Mindestwirkungsgrad für neue Anlagen. Die Emissionsprüfung sieht die im Kapitel 1.2.1.2 beschriebene Messvorschrift vor.

Feuerungsanlagen, welche nach dem 31.12.2014 errichtet wurden und werden, müssen die Emissionsgrenzwerte der zweiten Stufe der 1. BImSchV einhalten. Anlagen, welche zwischen dem 22.03.2010 und dem 31.12.2014 errichtet wurden müssen die Stufe 1 der 1. BImSchV einhalten.

**Tabelle 1: Emissionsgrenzwerte der 1. BImSchV für Einzelraumfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe**

Art der Feuerstätte	Stufe 1 CO [g/m <sup>3</sup> ]	Stufe 1 Staub [g/m <sup>3</sup> ]	Stufe 2 CO [g/m <sup>3</sup> ]	Stufe 2 Staub [g/m <sup>3</sup> ]
Raumheizer mit Flachfeuerung Speichereinzelfeuerstätte Kaminofeneinsatz Kachelofeneinsatz mit Flachfeuerung	2,0	0,075	1,25	0,04
Raumheizer mit Füllfeuerung Kachelofeneinsatz mit Füllfeuerung	2,5	0,075	1,25	0,04
Herde	3,0	0,075	1,50	0,04
Heizungsherde	3,5	0,075	1,50	0,04
Pelletöfen ohne Wassertasche	0,40	0,05	0,25	0,03
Pelletöfen mit Wassertasche	0,40	0,03	0,25	0,02

EFA, die vor dem 22.03.2010 errichtet wurden, müssen einen Staubgrenzwert von 0,15 g/m<sup>3</sup> und einen CO-Grenzwert von 4 g/m<sup>3</sup> (jeweils bezogen auf 13% Sauerstoff) einhalten. Es gibt jedoch noch laufende Übergangsfristen. Feuerungen, welche zwischen dem 01.01.1985 bis zum 31.12.1994 errichtet wurden müssen diese Grenzwerte ab dem 31.12.2020 und Feuerungen welche zwischen dem 01.01.1995 und dem 21.03.2010 errichtet wurden, müssen diesen Grenzwert ab dem 31.12.2024 einhalten. Kann der Nachweis der Einhaltung nicht geführt werden, sind die Feuerstätten zum genannten Termin mit einer Staubminderungseinrichtung nach dem Stand der Technik nachzurüsten oder außer Betrieb zu nehmen (siehe § 26 1. BImSchV).

#### 1.2.1.1 Allgemeine Betrachtung der Typprüfung

Messvorschriften vollumfänglich zu erstellen ist hinreichend schwierig. Daher gibt es für die Zeit zwischen dem Erlassen einer Messvorschrift und der offiziellen Anpassung dieser Messvorschrift die Option, offene Fragestellungen, welche aus den bestehenden Messvorschriften (z. B. EN-bzw. DIN-Normen) nicht eindeutig beantwortet werden, in sog. Decisions der Notified Bodies zu klären und für alle Messstellen verbindlich zu vereinheitlichen („Decision List“). Diese Festlegungen können auch einen relevanten Einfluss auf die Messergebnisse haben. Diese „Decision List“ ist öffentlich nicht zugänglich. Dies ist eine mögliche Ursache dafür, dass die Messergebnisse der Typprüfung außerhalb der Notified Bodies, selbst bei Einhaltung der bekannten Messvorgaben, messtechnisch wiederholt als nicht nachvollziehbar empfunden wurden [1].

Die Typprüfung für EFA stellt häufig die einzige Emissionsvorschrift für den Verkauf und Betrieb dar. Daher optimieren Hersteller ihre Anlagen nachvollziehbarerweise für diese Typenprüfung. Mit der Verschärfung der Grenzwerte im Zuge der Novellierung der 1. BImSchV in 2010, 2. Stufe, mussten die Hersteller zwischen dem Einsatz zusätzlicher Sensoren, Luftregelungen und/oder sekundärer Emissionsminderungseinrichtungen oder einer weitergehenden Optimierung der Anlagen für die Typenprüfung wählen. Eine derart intensive Optimierung der EFA auf einen vorgegebenen Verbrennungszustand, der jedoch nur einer von vielen in der Realität möglichen Zustände ist, birgt jedoch Risiken. Treten im späteren Betrieb abweichende Zustände auf, kann sich die Optimierung als ungünstig erweisen und zu höheren Emissionen führen. Auch ein Quick User Guide, der im Zuge der Typprüfung getestet werden soll, wird sich weniger an den im

Realbetrieb herrschenden Bedingungen, sondern an den speziellen Prüfbedingungen (z.B. fest eingestellter Zug in allen Betriebszuständen – selbst beim Anzünden) orientieren. Es ist zu befürchten, dass sich damit Abweichungen im Emissionsverhalten zwischen dem Prüfverfahren der Typprüfung und realen Betriebsituationen weiter erhöhen. Die Fokussierung auf die Typprüfung zur Emissionsbewertung erhöht also das Risiko, insbesondere bei gleichzeitig sinkenden Leistungen, dass EFA ohne zusätzliche technische Vorrichtungen zunehmend anfälliger für nicht optimale Betriebsbedingungen in der Realität werden [2]. Bereits in der Schweiz wurde im Zusammenhang mit einer Verschärfung der Vorgaben für EFA in der einmaligen Typprüfung vermutet, dass vormals störungsunanfälligere Anlagen vermeintlich störanfälliger für den realen Betrieb wurden. Man kam zu dem Schluss: „Die Hersteller sind gezwungen, die Geräte auf einen realitätsfremden Betrieb – Laborbedingungen, Nachlegen auf Glut mit sehr kleinen Holzmenen – 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 schlechter als auf dem Prüfstand. Die Optimierungen der letzten Jahre ging mitunter auch auf Kosten der „Gutmütigkeit“ der Feuerung [2]. Eine im Hinblick auf Feinstaubemissionen optimierte Biomasseverbrennung benötigt eine optimale Ausregelung von Primär- und Sekundärluft entsprechend der vorhandenen Brenngasmenge und der Temperaturen im Brennraum [62]. Die meisten EFA verfügen jedoch nicht über eine aktive Einstellung der Luftmengen in Abhängigkeit von einer Messung der Temperaturen und Brenngas- bzw. Abgaszusammensetzung (Sensorik + Regelung + aktive Einstellung der Luftzufuhr). Daher kann ein für einen durch die Bauform der EFA gegebenen Brennraum optimaler Abbrandprozess bei Scheitholzfeuerungen mit manueller Einlage des Brennstoffs in diesen Brennraum nur für genau einen physikalisch-chemisch definierten Zustand aus Glutbetthöhe, Brennstoffart, -form, -wassergehalt und -auflage mit einer Lufteinstellung bei einem von außen aufgeprägten konstanten Zug erreicht werden. Für erfahrene Prüfende kann dieser Zustand mit den bei der Prüfung vorhandenen Messgeräten und Einrichtungen (Abbrandwaage, Emissionsmessgeräte, Saugzuggebläse, Unterdruckmessung) gefunden und weitgehend reproduziert werden. Entsprechend kann die Luftströmung durch die Feuerung soweit reduziert werden, dass das Mitreißen von Partikeln weitgehend ausgeschlossen wird und ein Überhitzen des Glutbetts vermieden wird. Gleichzeitig garantiert eine korrekte Auflage handverlesener Scheite eine gute Durchmischung von Brenngas und Luft, so dass die reduzierte Luftmenge ausreicht um eine vollständige Verbrennung zu erreichen und gleichzeitig hohe Temperaturen im Brennraum und ausreichende Verweilzeiten garantiert.

Wird nun eine derart optimierte Feuerung von einem weniger versierten Nutzenden zum Beispiel mit zu dicht aneinander gelegten Scheiten bestückt, kann es leicht zu einer erhöhten Emissionsfracht kommen.

Grundsätzlich ist die Typprüfung eine auf Reproduzierbarkeit optimierte Prüfvorschrift. Sie ist ein Kompromiss zu Gunsten der Wiederholbarkeit der Messergebnisse unter deutlichen Abstrichen bei der Realitätsnähe. EFA für Scheitholz ohne automatisierte Luftregelung und sekundäre Emissionsminderungsanlagen weisen nachweislich eine hohe Schwankungsbreite zwischen grundsätzlich vergleichbaren Abbränden auf. Dadurch ist es auch heute noch schwierig über vollständige Abbrände inkl. Anzünden und Nachlegen mit wenigen Messungen Mittelwerte zu bilden, die ein repräsentatives Bild der Feuerung ergeben. Daher werden wichtige Einflussgrößen (Anzündphase, Zugvariationen durch die Ausbildung der Thermik im Schornstein, Nachlegeeffekte) bei der Typprüfung gezielt ausgeschaltet und andere Betriebseinflüsse zielgerichtet minimiert. So wird der Ofen nach Anleitung und Erfahrungen der Prüfeinrichtung unter Einbeziehung der aktuellen Messwerte möglichst optimal betrieben und auch der Brennstoff ist in einem Maße optimiert, wie es in der Realität selten zu erwarten ist. Dadurch ist jedoch die konkrete Aussagekraft im Hinblick auf die Einschätzung der

Emissionshöhe im realen Betrieb gering. Dies wird von Branchenvertretern in Verbindung mit der formulierten Hoffnung eingeräumt [1], dass die idealisierten Emissionen eine signifikante Korrelation zu den Realemissionen aufweisen. Messungen zeigen jedoch, dass es in der Breite der Anlagen keinen festen Faktor zwischen den in der Typprüfung gemessenen Emissionswerten und den im Realbetrieb auftretenden Emissionen gibt.

Bisher wird behauptet, dass die Reihenfolge der Emissionsgüte der Anlagen in der Typenprüfung auch die Reihenfolge der Emissionsgüte in der Realität abbildet, soll heißen, es wird angenommen, dass die Anlage mit dem besten Typenprüfwert auch im Realbetrieb die Anlage mit den niedrigsten Emissionen ist.

Dieser Ansatz wird durchaus auch in der Fachwelt und unter Herstellern kontrovers diskutiert [1].

Zudem zeigen verschiedene Quellen und eigene Messungen des DBFZ, dass zwischen Nennlastemissionen und Teillast-, Anzünd- und Ausbrandemissionen sehr unterschiedliche Effekte liegen können. Allein bei den Feinstaubemissionen kann es bei reduzierter Leistung zu Minderungen, aber auch Erhöhungen im Vergleich zum Volllastbetrieb kommen<sup>5</sup>.

Insofern erscheint aus wissenschaftlicher Sicht die Hypothese, dass gute Nennlastemissionen (gemäß derzeitiger Typenprüfung) auch repräsentativ für gute Realemissionen stehen, zumindest bei den heute üblichen EFA ohne Regelung und sekundärer Emissionsminderung als nicht haltbar. Die im Projekt durchgeführten Messungen am DBFZ haben gezeigt, dass die Reihenfolge der Geräte nach Typenprüfemissionen nicht die gleiche sein muss, wie bei alternativen (realitätsnäheren) Messverfahren. Auch die Ergebnisse aus dem europäischen „beReal“- Projekt (siehe Tabelle 2) zeigt diesen Effekt der Verschiebung von Reihenfolgen zwischen Typenprüfwerten und in diesem Fall dem Messverfahren nach „beReal“. Das zugrundeliegende Messverfahren wird in Kapitel 1.2.1.3 erläutert.

---

<sup>5</sup> Feinstaub entsteht auf unterschiedliche Weise (siehe auch Kaltschmitt et. al. 2016). Teillast durch reduzierte Luftzufuhr kann durch Absenkung der Glutbetttemperatur und der Strömungsgeschwindigkeiten zu einer verminderten Freisetzung von anorganischen Aschen (Verdampfung und Resublimation) und einem verminderten Mitreißen von Aschen staubemissionsmindernd wirken. Gleichzeitig kann aber auch die Temperatur, sowie die Durchmischung mit Sauerstoff durch die verminderte Reaktionsintensität soweit sinken, dass ein vollständiger Ausbrand unterbleibt und vermehrt Rußpartikel mit steigender Feinstaubemission und steigender toxikologischer Relevanz der Emissionen auftritt.

In der folgenden Tabelle 2 wird anhand von Messwerten einer Forschungseinrichtung die Problematik verdeutlicht.

**Tabelle 2: Beispiel realer Messungen an drei unterschiedlichen Kaminöfen zur Untersuchung der Konvergenz zwischen Typprüfung und realeren Emissionen [3]**

PM in mg/m <sup>3</sup> bei 13% O <sub>2</sub>	Kaminofen 1		Kaminofen 2		Kaminofen 3	
	Typ.-Prüf.	beReal	Typ.-Prüf.	beReal	Typ.-Prüf.	beReal
1. Messung	61	69	46	213	50	45
2. Messung	49	113	36	73	47	36
3. Messung	70	46	33	83	43	59
4. Messung	75	43	91	69	38	59
5. Messung	64	31	52	32	55	47
Durchschnitt Typprüfung (3 besten Messungen)	58		38		43	
<b>Platzierung nach Typprüfung (3 besten Werte)</b>	<b>3</b>		<b>1</b>		<b>2</b>	
Durchschnitt beReal (Messung 1-5)	60		94		49	
<b>Platzierung nach beReal (Messungen 1-5)</b>	<b>2</b>		<b>3</b>		<b>1</b>	

Ausgehend von der Annahme, dass der beReal-Prüfablauf näher am täglichen Anlagenbetrieb liegt als die Typprüfung, würde sich die Platzierung der EFA bei der Typprüfung und im „Praxisbetrieb“ tatsächlich signifikant unterscheiden – die in der Typenprüfung am besten abschneidende Anlage kommt nach beReal nur auf den letzten der drei Plätze, wobei sich ihre Staubemissionen mehr als verdoppeln. Das heißt, dass die Typenprüfung zumindest in diesem konkreten Fall nicht die Emissionsgüte in einem realitätsnahen Betrieb widerspiegelt.

Das in Tabelle 1 aufgezeigte Beispiel verdeutlicht auch die Schwankungsbreite in den Faktoren zwischen realitätsnäherer Messung und Typprüfung. Während bei Kaminofen 1 beide Ergebnisse fast gleichauf bei den Feinstaubemissionen liegen, unterscheiden sich diese beim Kaminofen 3 um rund 14%, während für Kaminofen 2 die Emissionen um fast 150% abweichen.

#### 1.2.1.2 Typprüfung nach EN 13240 bzw. DIN EN 16510-1

Im Folgenden wird auf die Typprüfung für Kaminöfen eingegangen. Andere Einzelraumfeuerungsanlagen haben aktuell abweichende Prüfvorschriften.

Die Typprüfung, vorrangig die Messvorschrift, wird in den einschlägigen Normen z.B. DIN EN 13240 für Kaminöfen beschrieben[4]. Da in diesen älteren Normen noch keine Angaben zu den Staubemissionen vorhanden sind, gilt derzeit noch die DIN CEN/TS 15883 für diesen Aspekt [5].

Aktuell wurde der erste Teil der Normenfamilie EN 16510 veröffentlicht, welche zusammen mit den dazugehörigen noch ausstehenden Blättern die Typprüfungen für EFA umfänglich regeln soll. Aufgrund rechtlicher Fragen ist die EN 16510 jedoch noch nicht in Kraft getreten. Der erste Teil ist als DIN EN 16510-1 jedoch seit November 2018 veröffentlicht<sup>6</sup> [6].

<sup>6</sup> Im Folgenden Dokument wird nur Bezug genommen auf die DIN EN 16510-1:2018.

Die Messverfahren werden in der DIN EN 16510-1 meist mit informativem Charakter im Anhang angegeben. Zur Staubmessung bestehen im Anhang weitere normative Anforderungen.

Die Typprüfung nach DIN EN 13240 [4] bzw. DIN EN 16510-1 [6] besteht aus mehreren Einzelprüfungen, welche je nach Spezifikation der EFA durchgeführt werden müssen. Die wichtigsten sind:

- ▶ Prüfung bei Nennwärmeleistung
- ▶ Prüfung bei Teillastwärmeleistung
- ▶ Prüfung bei Schwachlast
- ▶ Prüfung der Wiederzündfähigkeit
- ▶ Sicherheitsprüfungen

Im Folgenden soll der Ablauf der Prüfung der Nennwärmeleistung, welche aus verschiedenen Phasen besteht, grob vorgestellt werden. Die Phasen der Nennwärmeleistungsprüfung umfassen Anzünden, eine oder mehrere Vorprüfungen und die Prüfungsabbrände

### **Anzünden**

Die Feuerung wird nach Herstellerangaben gezündet, wobei der Schornsteinzug mittels Rauchsauger auf den nach Norm vorgegebenen Wert, in der Regel 12 Pa, eingestellt und nachgeregelt wird. Hat der Brennstoff gezündet, wird die für die Prüfung vorgesehene Prüfbrennstoffmenge aufgelegt.

### **Vorprüfung**

Im Rahmen der Vorprüfung soll die EFA auf Betriebstemperatur gebracht und mit einem ausreichenden Glutbett (Grundglut) versehen werden. Dabei wird die Feuerung bei Nennlast betrieben. „Die Dauer der Vorprüfung muss ausreichen, damit Betriebsbedingungen erreicht werden und Grundglut vorhanden ist“ [6].

### **Prüfung**

Ist nach einer oder mehreren Vorprüfungen die EFA so eingestellt, dass die gewünschte Leistung und Abbrandgeschwindigkeit erbracht wird, beginnt mit dem Auflegen der nächsten Charge des Prüfbrennstoffs auf die Grundglut der erste Prüfungsabbrand.

Nach Norm darf nach dem Auflegen des Brennstoffes in den ersten drei Minuten das Feuer noch geschürt oder Lufteinstellungen angepasst werden. Von dieser Möglichkeit wird in der Prüfpraxis von den notifizierten Prüfstellen derzeit jedoch kein Gebrauch gemacht [7].

Die Bestimmung der gasförmigen Emissionen (CO) beginnt sofort nach dem Auflegen und dauert den gesamten Abbrand. Die 30-minütige Staubmessung beginnt drei Minuten nach dem Auflegen und endet üblicherweise vor Abbrandende, da EFA gemäß DIN EN 13240 [4] bzw. DIN EN 16510-1 [6] eine Mindestbrenndauer von 45 Minuten einhalten müssen.

Der Prüfungsabbrand endet nach DIN EN 16510-1, wenn in der EFA wieder die Grundglutmasse zuzüglich der hinzugekommenen Asche vorhanden ist<sup>7</sup> oder die Kohlenstoffdioxidkonzentration im Abgas unter einen Wert von 4 % ( $\pm 0,5$  %) gefallen ist. Die DIN EN 13240 [4] kennt nur die Bestimmung der Dauer des Prüfungsabbrandes über die Grundglutmasse.

---

<sup>7</sup> Eine Abweichung um 100g ist nach DIN EN 16510-1 zulässig. Nach DIN EN 13240 [4] beträgt die zulässige Abweichung 50g.

Anschließend wird für den nächsten Prüfabbrand der Brennstoff aufgelegt. Zwischen Abbrandende und dem nächsten Abbrand ist eine zeitlich nicht definierte Pause zulässig.

Die Prüfungsergebnisse werden als Mittelwert aus drei Abbränden aus einer beliebigen Gesamtzahl an Abbränden gebildet, wobei nach DIN EN 16510-1 mindestens zwei der gewerteten Abbrände unmittelbar aufeinander folgen müssen.

Neben den auch unter Punkt „Emissionen im Alltagsbetrieb“ diskutierten Einflussgrößen, welche während der Typprüfungen durchaus angepasst werden können, unterscheiden sich die Messvorschriften zu Typprüfungen und damit die Emissionen vom Alltagsbetrieb in folgenden Punkten:

- ▶ Die Emissionen während des Anheizprozesses der Feuerung vom kalten Zustand (Raumtemperatur) bis zur Betriebstemperatur werden nicht berücksichtigt. Auf den Anheizprozess wird weiter unten genauer eingegangen.
- ▶ Es wird von einer maximalen Messzeit von 30 Minuten (Messzeitende 33 Minuten nach der Brennstoffauflage) für die gravimetrische Staubmessung ausgegangen. Damit wird nicht der vollständige Abbrandzyklus von Auflage bis Wiederauflage erfasst (auch das Ende der Staubprobenahme könnte sich an einem vom Abbrand abhängigen Kriterium wie bei der CO-Messung orientieren)<sup>8</sup>.
- ▶ Bei der Typprüfung müssen nur zwei Abbrände im Zuge der Mittelwertbildung vor der Bewertung des Ergebnisses unmittelbar aufeinander folgen. Vor und nach diesen beiden Abbränden sowie zwischen diesen beiden Abbränden und dem dritten bewerteten Abbrand dürfen beliebig viele weitere gültige und ungültige Abbrände liegen.

Der Anheizprozess der Feuerung ist durch folgende Randbedingungen definiert:

- ▶ Zu Beginn des Anheizprozesses befindet sich keine Glut (Grundglut) im Feuerraum.
- ▶ Die Temperatur des Feuerraumes, der Umschließungsflächen des Feuerraumes, möglicher nachgeschalteter Elemente und die Abgastemperatur werden zu Beginn bei Raumtemperatur liegen. Nach dem Zünden des Feuers steigt die Lufttemperatur im Feuerraum rasch an, ebenso kann mit einem ofencharakteristischen Zeitverzug das Ansteigen der Abgastemperatur beobachtet werden. Die Zeitspanne variiert je nach Feuerungskonstruktion. Je mehr Einbauten vorhanden sind, desto länger ist üblicherweise diese Zeitspanne. Die Temperatur möglicher Einbauten im Abgasweg steigt etwas zeitversetzt zur Abgastemperatur an. Die Temperatur der Feuerraumumschließungsflächen ist abhängig von der Feuerraumtemperatur (Lufttemperatur) und der Wärmestrahlung durch Feuer und Glut sowie der Wärmeleitfähigkeit der Umschließungsmaterialien. Bis die genannten Temperaturen einen quasistationären Zustand erreichen, werden üblicherweise ein bis zwei Abbrände benötigt.
- ▶ Der Schornsteinzug, welcher hauptsächlich durch die Temperaturdifferenz des Abgases im Schornstein zur Umgebungstemperatur hervorgerufen wird, beträgt zu Beginn nur

---

<sup>8</sup> Bei den früher üblichen deutlich höheren Staubgehalten hat man die Gesamtmesszeit begrenzt, um eine Überladung des Filters zu vermeiden. Dieses Risiko besteht bei den mittlerweile zu erreichenden Grenzwerten nicht mehr.

wenige Pa. Bei warmer Witterung (Temperaturen über 15 °C) kann zu Beginn auch kein Zug vorhanden sein. Durch das nachströmende heiße Abgas wird jedoch relativ schnell ein Schornsteinzug aufgebaut. Bei Stahlschornsteinen (geringe Wärmespeicherfähigkeit) ist der Zug der Typprüfung (gemäß Herstellervorgaben 12 Pa ± 2 Pa) meist nach wenigen Minuten erreicht. Bei sehr massereichen Schornsteinen werden einige Minuten mehr benötigt.

Nach einer erfolgreichen Brennstoffzündung stellt sich in der Regel nach wenigen Minuten der Prüfzustand bezüglich des Schornsteinzuges ein. Somit beruht die emissionsseitige Wirkung des Anheizprozesses bei erfolgreicher Brennstoffzündung vermutlich weniger auf dem anfangs geringeren Zug und den damit verbundenen geringeren Abgasvolumenströmen. Den Haupteinfluss auf den Verbrennungsprozess dürften die niedrigen Temperaturen in der Brennkammer haben, wodurch insbesondere in den noch vorhandenen kalten Zonen ein abrupter Abbruch der thermochemischen Prozesse stattfinden kann. Weiterhin können sich auch die Strömungsverhältnisse in der Feuerung ändern, da z.B. die Zähigkeit des Brenngas-Luftgemisches temperaturabhängig ist (sie erhöht sich mit steigender Temperatur). Durchläuft eine EFA einen verzögerten Startprozess, hat dies sehr häufig die Folgen einer ungleichmäßigeren bzw. geringeren Grundglut und damit eines ungleichmäßigeren bzw. verzögerten Abbrandes des später aufgelegten Brennstoffs sowie einer geringeren Vorheizung der EFA. Dies wirkt sich fast immer emissionssteigernd nicht nur auf den Folgeabbrand, sondern auch auf eine ganze Reihe von folgenden Abbränden aus.

In einigen Fällen kommt es bei EFA mit Naturzug zu Fehlzündungen, bei welchem der Brennstoff bis zum Zünden längere Zeit vor sich hin schwelt und in Einzelfällen die Flamme wieder erlischt. Mögliche Gründe liegen in einer zu geringen Wärmeabgabe des gezündeten Brennstoffs bzw. Anzünders und/oder in einer zu starken Abkühlung des Abgases innerhalb der EFA. Ist das Abgas am Abgasstutzen der Feuerung zu kalt, kann sich im nachfolgenden Schornstein kein natürlicher Zug aufbauen. Dieser Zustand ist meist mit massiver Rauchentwicklung im Brennraum verbunden und tritt bei einem über einen Rauchsauger erzwungenen Zug von 12 Pa nicht auf.

Nach den bisher gültigen Prüfvorschriften müssen die zum Mittelwert zusammengefassten Messwerte nicht aus unmittelbar aufeinanderfolgenden Messungen stammen. Die DIN EN 16510-1 schränkt diese Praxis etwas ein, da bei Scheitholz als Brennstoff drei Abbrandperioden für den Mittelwert zu berücksichtigen sind, von denen zwei aufeinander folgen müssen. Die freie bzw. bedingt freie Wahl der berücksichtigten Messungen soll der Erhöhung der Reproduzierbarkeit der Messungen dienen [1]. In der Wissenschaft ist das nicht dokumentierte Weglassen von Messergebnissen als Verstoß gegen die „gute wissenschaftliche Praxis“ zu werten. [8] Es gibt geeignete statistische Verfahren, um „Ausreißer“ transparent eliminieren zu können. Eine Darstellung in entsprechend angepassten Box-Plot-Diagrammen ist dabei eine empfehlenswerte Methode. Diese Erstellung von Box-Plot-Diagrammen und die Interpretation dieser Diagramme ist beispielsweise unter [http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/daten/statistik/median\\_statistik\\_vlu.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/daten/statistik/median_statistik_vlu.html) erläutert.

Zur Orientierung für Kunden wurden einige Label auf den Markt gebracht, welche besonders vorteilhafte EFA kennzeichnen sollen. Diese sind beispielsweise HKIzert, Nordic Swan und das Österreichische Umweltzeichen UZ37 [10], [11], [12], [13], [64]. Diese Zeichen verwenden den für die Typprüfung normativ geregelten Prüfablauf, fordern aber teils schärfere Grenzwerte und fordern meist weitere Untersuchungen, z. B. zur Leistungsaufnahme und zur Dichtheit, welche

ergänzend durchgeführt werden müssen. Mögliche Schwachstellen im normativ geregelten Prüfablauf werden damit jedoch weitgehend übernommen.

Um Emissionen im praktischen Betrieb zu mindern fordern verschiedene Stellen eine Anpassung der Typenprüfmethode [1], [9]. Auch wenn die Methode der Typprüfung um die Technik und nicht den Prüfenden zu prüfen den Einfluss der Nutzenden und der Umwelt bewusst minimiert, vergibt sie die Möglichkeit technische Einrichtungen die den Nutzereinfluss vermindern sollen auf ihre Wirksamkeit und Effektivität zu prüfen [15].

Des Weiteren wird bei vom Hersteller als teillastfähig ausgewiesenen Kaminöfen eine Teillastprüfung durchgeführt. Bei Teillastbetrieb wird von der Feuerung eine reduzierte Wärmeleistung abgegeben. Bei Kaminöfen mit einer Nennwärmeleistung unter 5 kW darf die Teillastwärmeleistung 80% der Nennwärmeleistung nicht überschreiten. Für größere Kaminöfen gilt, dass die Teillastwärmeleistung 40% der Nennwärmeleistung plus 2 kW nicht überschreiten darf. Die Teillastprüfung erfolgt analog zur Nennwärmeleistungsprüfung mit der vom Hersteller für den Teillastbetrieb angegebenen Brennstoffmenge und LuftEinstellung. Abweichend zur Nennwärmeleistungsprüfung wird mit einem reduzierten Förderdruck gearbeitet. Wenn der Hersteller nichts anderes vorgibt, wird ein Förderdruck von 6 Pa eingestellt [6].

Für Dauerbrandfeuerstätten ist des Weiteren eine Prüfung bei Schwachlast [9] und die Prüfung der Wiederzündfähigkeit vorgesehen, welche in diesem Rahmen nicht näher beschrieben werden soll.

#### **1.2.1.3 beReal-Verfahren**

Im Rahmen des beReal-Projektes wurde eine Prüfmethode für Scheitholz-Kaminöfen entwickelt, die den Realbetrieb realistischer als die gegenwärtige Typenprüfung widerspiegeln soll. Die Bedienung des jeweils zu prüfenden Ofens erfolgt nach einer Kurzanleitung (QuickUserGuide), die vom Hersteller auf einer A4-Seite zur Verfügung zu stellen ist. Die erarbeiteten Methoden wurden dazu bereits in einem frühen Entwicklungsstadium validiert. Der Nachweis der Tauglichkeit erfolgte über Feld- bzw. Demonstrationsmessungen. Des Weiteren wurde ein Ringversuch zum Nachweis der Zuverlässigkeit und der Reproduzierbarkeit der Testmethode durchgeführt [14].

Das beReal-Testverfahren besteht aus 8 aufeinanderfolgenden Abbränden vom „Anzünden“ des Scheitholz-Kaminofens bis zum „Abkühlen“ (vgl. Abbildung 1). Die Einteilung der unterschiedlichen Abbrände ist nachfolgend aufgelistet:

- ▶ Abbrand 1-2: Zündung und Vorwärmung
- ▶ Abbrand 3-5: Nennlastbetrieb (100 %)
- ▶ Abbrand 6-8: Teillastbetrieb (50 %)
- ▶ Abkühlung bis  $T < 50 \text{ °C}$

---

<sup>9</sup> „Teillast“ wird über die abgegebene Wärmeleistung definiert. Sie muss beispielweise für Feuerungen mit einer Nennwärmeleistung kleiner 5 kW bei unter 80% der Nennwärmeleistung liegen. „Schwachlast“, auch als „langsame Verbrennung“ bezeichnet, wird hingegen über die Abbrandrate (Brennstoffverbrauch pro Zeiteinheit) definiert. Für Scheitholzdauerbrandöfen darf die Abbrandrate beispielsweise 33% der Abbrandrate bei Nennwärmeleistung nicht überschreiten.

Der Teillastbetrieb definiert sich aus 50 % der Brennstoffmasse des Nennlastbetriebes<sup>10</sup>. Die zusätzlichen Spezifikationen (Anzahl der Holzscheite, Platzierung im Brennraum, Lufteinstellungen) müssen durch den jeweiligen Hersteller im QuickUserGuide vorgegeben werden [14].

**Abbildung 1: Schema des beReal Messzyklus für Scheitholz-Kaminöfen [16]**



Die Feuerraumtür muss bei einer maximalen Nachlegezeit von 60 s unmittelbar nach dem Befüllen geschlossen werden. Weitere wichtige Kriterien für die Durchführung der beReal-Methode sind nachfolgend aufgelistet:

- ▶ manuelle Lufteinstellung nur nach dem 1. bzw. 2. Abbrand
- ▶ keine manuelle Einstellung der Luft im Nennlastbetrieb (Abbrand 3-5)
- ▶ Anpassung der Lufteinstellung zu Beginn des 6. Abbrand entsprechend des QuickUserGuides
- ▶ Anpassungen durch automatische Steuerungssysteme sind dauerhaft erlaubt
- ▶ geregelter Schornsteinzug: 12 Pa während der gesamten Prüfung inkl. des Zündens (max. 2 Pa Abweichung)
- ▶ gasförmige Abgaskomponenten: ununterbrochene Messung (O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, OGC, NO<sub>x</sub>)
- ▶ Gesamtstaubmessung in Abbrand 1, 3, 5, 7 (jeweils über gesamten Abbrand)
- ▶ Nachlegezeitpunkt: CO<sub>2</sub> < 4 % und < 25 % CO<sub>2max</sub> (Option: CO<sub>2</sub> < 3 % wenn zuvor CO<sub>2max</sub> < 12 % war)

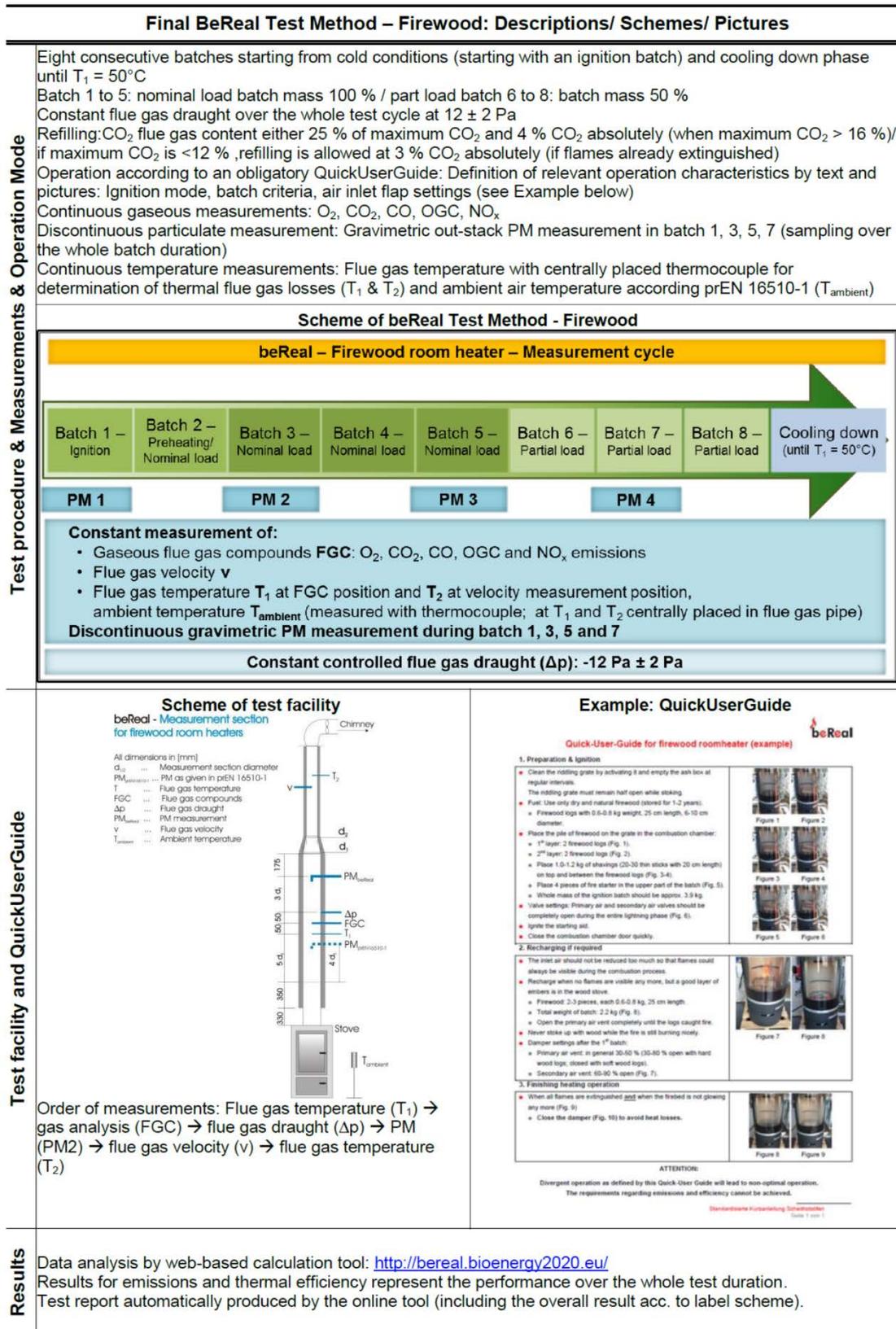
Die Möglichkeit, den Nachlegezeitpunkt mittels der CO<sub>2</sub>-Konzentration zu bestimmen, ist auch in der DIN EN 16510-1 enthalten, dort ist ein Fenster zwischen 3,5% und 4,5% CO<sub>2</sub> festgelegt. Die Kopplung des Nachlegezeitpunktes an die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration führt dazu, dass bei ungünstig verlaufenden Abbränden oder Feuerungen mit ungünstiger Luftführung der Nachlegezeitpunkt sehr spät erreicht wird. Bei Feuerungen mit optimaler Luftführung entspricht die Dauer zwischen den Nachlegezeitpunkten in etwa denen aus der Typprüfung. Bei ungünstigen Konstellationen ist diese Zeitpanne deutlich länger.

Bezüglich der Staubmessung ist ferner zu beachten, dass in der Typprüfung 33 Minuten nach der Brennstoffaufgabe die Messung beendet wird. Die beReal-Methode bewertet jedoch den gesamten Abbrand und berücksichtigt somit einen längeren Zeitraum.

<sup>10</sup> [14], Seite 7: "Part load operation is defined by using 50 % of batch mass of nominal load operation. Further specification for part load operation (number of pieces, placement in combustion chamber, air settings) must be provided by the manufacturer in the QuickUserGuide (QUG)."

Eine Übersicht der finalen beReal-Prüfmethode mit Schema des Prüfstandes und einem Beispiel für einen QuickUserGuide kann der Abbildung 2 entnommen werden [14].

Abbildung 2: beReal Testmethode für Scheitholz-Kaminöfen [14]



Im Rahmen der Feldmessungen des beReal-Projektes wurden 13 Kaminöfen untersucht, eine Übersicht der untersuchten Kaminöfen kann der Tabelle 3 entnommen werden. Beim Vergleich aller im Rahmen der Feldtests durchgeführten Messungen wird deutlich, dass die Werte der Typenprüfung weit unterhalb der Ergebnisse aus den Feldmessungen liegen. Auch bei der im Labor durch die Projektpartner durchgeführten Messungen nach DIN EN 13240 wurden Emissionen gemessen, die mehr als doppelt so hoch lagen, als bei der Typenprüfung. Die höchsten Emissionen wurden während der drei Feldmesstage detektiert, an denen nach der beReal Prüfmethode gemessen wurde. Ein ähnliches Bild ergibt sich hinsichtlich der ermittelten Wirkungsgrade. So konnte der höchste Wirkungsgrad, der bei der Typenprüfung ermittelt wurde, im Rahmen der Labormessung in Anlehnung nach DIN EN 13240 durch die Projektpartner sowie bei den durchgeführten Feldmessungen nicht erreicht werden. Eine Übersicht der gemessenen Durchschnittswerte bei den unterschiedlichen Prüfprozeduren kann der Tabelle 4 entnommen werden. Bei den Feldmessungen nach der beReal-Prüfmethode wurden die Kaminöfen am ersten Tag lediglich durch die Betreibenden wie gewohnt betrieben. Am zweiten Tag erfolgte der Betrieb durch die Betreibenden entsprechend der Vorgaben des QuickUserGuide. Am dritten Tag der beReal-Prüfung erfolgte der Betrieb erneut nach Vorgaben des QuickUserGuide, wobei zusätzlich Prüfbrennstoff eingesetzt wurde und es erfolgte eine Beratung der Betreibenden durch das geschulte Messpersonal [17].

**Tabelle 3: Übersicht der im Feldtest untersuchten Kaminöfen [17]**

Kaminofen-Nr.	Produktionsjahr	Nennwärmeleistung [kW]	Gewicht [kg]	Abmessungen [mm x mm x mm]	raumluft-unabhängig	automatische Luftregelung
1	2014	6,0	111	904x557x427	Nein	nein
2	2013	8,0	280	1109x584x499	Ja	Ja
3	2015	9,0	245	1098x817x424	Ja	Ja
4	2015	5,0	135	1150x460x435	Ja	nein
5	2015	9,0	145	975x470x400	Nein	nein
6	2015	4,5	75	1000x430x370	Ja	ja (mechanisch)
7	2015	8,0	204	1464x520 (∅)	Ja	nein
8	2015	8,0	204	1464x520 (∅)	Ja	nein
9	2014	8,0	224	1140x574x446	Ja	nein
10	2015	6,0	114	1040x447x465	Ja	nein
11	2015	4,5	75	100x43x37	Ja	Ja
12	2014	5,0	105	1080x495x440	Ja	nein
13	2015	10,0	260		Ja	nein

**Tabelle 4: Gegenüberstellung der Durchschnittswerte der über alle Kaminöfen gemessenen Emissionen und Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Prüfmethoden [17] (Hinweis: die hier aufgeführten Mittelwerte lassen nicht alle Tendenzen erkennen, wie sie sich aus den Einzelergebnissen ergeben würden)**

	Typenprüfung bei Nennlast	Messung im Labor der Projektpartner in Anlehnung an die Typenprüfung	beReal-Prüfung Versuchstand	beReal-Prüfung im Feld Tag 1	beReal-Prüfung im Feld Tag 2	beReal-Prüfung im Feld Tag 3
CO (mg/m <sup>3</sup> 13% O <sub>2</sub> )	848	1877	2891	3443	3211	3099
PM (mg/m <sup>3</sup> 13% O <sub>2</sub> )	21	58	74	76	74	84
OGC (mg/m <sup>3</sup> 13% O <sub>2</sub> )	58	130	245	310	279	297
Wirkungsgrad (%)	81	70	70	65	65	65

**Schlussfolgerungen.** Die nachfolgend aufgelisteten Schlussfolgerungen ergeben sich aus den Projektergebnissen [14], [17]:

- ▶ Die alltagsnahe Betriebsweise einer beReal-Prüfung erreicht, im Bereich der aktuell gültigen Grenzwerte, ausreichend hohe Genauigkeitsanforderungen bei mäßigem Zusatzaufwand<sup>11</sup>.
- ▶ Die wichtigsten typischen Betriebsphasen sind darin abgedeckt. Aber: Nicht alle möglichen Einsatzsituationen sind abgebildet (das wäre unmöglich).
- ▶ Feldversuche bestätigen die Alltagsrelevanz des Prüfzyklus.
- ▶ Öfen mit guter Alltags-Performance können mit beReal-Prüfung erkennbar gemacht werden.
- ▶ Der QuickUserGuide ist ein wichtiges Werkzeug für die Qualitätssicherung.
- ▶ Die beReal-Prüfung kann helfen, Fehlentwicklungen bei der Ofenentwicklung zu vermeiden, da diese Methode die Entwicklung „bedienfehlertoleranter“ Öfen begünstigen kann.
- ▶ Die gemessenen Emissionen der Typenprüfung und die Messungen der Projektpartner nach DIN EN 13240 liegen unter den gemessenen Emissionen der beReal-Prüfmethode.

<sup>11</sup> Ein Prüfzyklus nach beReal dauert voraussichtlich länger als der der aktuellen Typprüfung, lässt sich aber an einem Arbeitstag realisieren. Bezüglich der Messzeit erheblich ist die Regelung, dass fehlerhafte Abbrände im beReal nicht übergangen werden können, sondern der gesamte Prüfzyklus neu ablaufen muss.

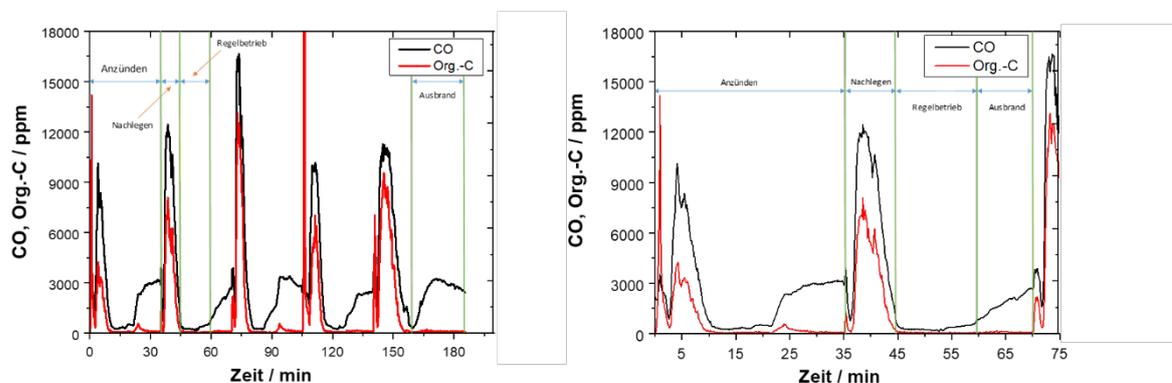
- ▶ Die gemessenen Emissionen bei der beReal-Prüfmethode auf dem Versuchstand liegen etwas niedriger als bei der beReal-Prüfung im Feld, sind jedoch untereinander vergleichbar.
- ▶ Die ermittelten Wirkungsgrade der Typenprüfung liegen höher als die im Feld nach beReal-Methode bestimmten Werte.
- ▶ Der Vergleich zwischen beReal-Methode auf dem Versuchstand und im Feld an Tag 1 zeigt, dass die Emissionen zu- und die Wirkungsgrade abnehmen.

### 1.2.2 Emissionen von EFA im Alltagsbetrieb

Im Folgenden werden einige Einflussfaktoren und mit diesen zusammenhängende Bedienfehler betrachtet. Die Auswirkungen auf die Emissionen sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Einzelraumfeuerungsanlagen (EFA) für Stückholz oder Holzbriketts werden heute in den allermeisten Fällen im Batch-Verfahren betrieben. Das heißt, es wird wiederholt eine gewisse Menge an Brennstoff auf einmal in die Feuerung gelegt und dann möglichst vollständig umgesetzt, bevor auf das Glutbett das nächste Batch aufgelegt wird. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem ersten Anzünden einer kalten EFA mit einem ersten Batch und einer Anzündvariante, dem Vorgang des Nachlegens und Entzündens des neuen Brennstoffes, der anschließenden Umsetzung des auf die vorhandene Glut aufgelegten Batches im „Regelbetrieb“ und dem finalen Ausbrand am Ende des Betriebszyklus. Jeder dieser Prozessschritte ist mit einer eigenen Emissionscharakteristik verbunden, die in der folgenden Abbildung 3 und der Tabelle 5 kurz dargestellt sind.

**Abbildung 3: Exemplarischer Emissionsverlauf an einem Kaminofen mit Kennzeichnung der unterschiedlichen Prozessschritte und der jeweiligen Emissionscharakteristik**



Quelle: eigene Darstellung, DBFZ

Die Emissionen einer EFA sind stark von der Konstruktion der Feuerung, dem Brennstoff, den Randbedingungen wie beispielsweise dem Schornsteinzug und der Handhabung durch die Nutzenden abhängig. Die in Tabelle 5 aufgezeigten Werte sind Erfahrungswerte des DBFZ, welche jedoch im konkreten Fall deutlich abweichen können.

Anhand Tabelle 5 wird deutlich, dass gerade im Bereich der Staubmessungen noch erhebliche Wissenslücken im Hinblick auf die unterschiedlichen Abbrandphasen in einer EFA bestehen. Dies liegt in erster Linie daran, dass das Standardverfahren zur Bestimmung von Partikelemissionen das gravimetrische Filterverfahren in Anlehnung an die VDI 2066 ist. Hierbei sind gewisse Mindestmesszeiten notwendig, um belastbare Ergebnisse zu generieren. Dadurch

ist das Verfahren für sich schnell ändernde instationäre Zustände nur sehr eingeschränkt nutzbar. Die im Zuge der Novellierung der 1. BImSchV in 2010 neu entwickelten Online-Staubmessgeräte können hier Abhilfe schaffen. Messergebnisse hierzu finden sich in Kapitel 3.

**Tabelle 5: Typische Kennwerte eines Kaminofens während der unterschiedlichen Prozessschritte**

	Anfeuern	Nachlegen	Quasistationäre Phase	Ausbrand
Abgastemperatur [°C]	20-400	150-300	ca. 250	250-150
Feuerraumtemp. [°C]	20-900	250-900	ca. 700-800	700-250
CO [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	600-6000	1200-3000	100-600	1200-3000
PM [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	>50	bisher nicht gemessen	10-50	<5
OGC [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	100-1500	100-10000	10-300	100-500
Zeit [min]	20-40	5-10	15-35	10-20
LuftEinstellung	Primärluft auf Sekundärluft auf	Primärluft zu (ggf. kurzzeitige Öffnung) Sekundärluft auf	Primärluft zu Sekundärluft auf	Primärluft zu Sekundärluft auf

#### 1.2.2.1 Anfeuern

In der Anzündphase kann es je nach Einbausituation der Feuerung, Wetterbedingungen, Reinigungszustand der EFA und der Abgasanlage, der Brennstoffqualität, der Art des Befüllens der Feuerung und des Anzündens durch die Nutzenden zu erheblichen Abweichungen bei den Emissionen vom eigentlichen in der Typprüfung gemessenen Nennlastbetrieb kommen.

Für den Anzündvorgang ist wesentlich, dass möglichst schnell am Ort der Verbrennung hohe Temperaturen erreicht werden. Unterschieden wird zwischen der Anzündmethode „von oben“ und der Anzündmethode „von unten“. Empfohlen wird die Anzündmethode von oben [1][15]. Bei der traditionellen Anzündmethode „von unten“ werden die Holzscheite über dem Anzündbereich aufgeschichtet. Dabei wird jedoch viel Brennstoff auf einmal entzündet, was zu einer großen Menge an Pyrolysegasen führt. Diese reagieren jedoch in dem noch kalten Brennraum nur langsam, die Reaktionsgeschwindigkeit ist entsprechend gering. Dies führt zu erhöhten Emissionen und sinkenden Wirkungsgraden. Beim Anzünden „von oben“ werden die aufgeschichteten Holzscheite mittels einer Anzündhilfe von oben entzündet. Dies hat den Vorteil, dass der obere Feuerraum kleiner ist und sich somit schneller aufheizen kann und die Wärmeverluste nach unten durch den Rost geringer ausfallen. Des Weiteren ist die an der Anzündphase beteiligte Brennstoffmenge wesentlich geringer, wodurch weniger Pyrolysegase bei längerer Verweilzeit im Brennraum entstehen.

Aufgrund sehr unterschiedlicher Bauarten der EFA gibt es jedoch auch Geräte, bei denen ein Anzünden von oben dazu führen kann, dass die unter dem Anzündfeuer liegende Holzcharge nicht schnell genug entzündet wird, so dass es nach einiger Zeit zu einem Schwelbrand mit sehr hohen Emissionen kommen kann [28].

Insofern ist eine generelle Aussage bezüglich des Anzündens nicht in allen Fällen zutreffend, wobei in der überwiegenden Anzahl der Fälle das Anzünden von „oben“ niedrigere Emissionen

aufweisen kann. Letztlich muss aber für jede EFA das beste Anfeuern im Einzelnen vom Hersteller festgelegt und in der Bedienungsanleitung beschrieben werden.

### 1.2.2.2 Scheitgröße

Die Scheitgröße hat einen großen Einfluss auf die Emissionen [18][23][24][25][26][29]. Zu kleine Scheite führen auf Grund des höheren Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen zu einem sehr starken Anstieg der Emissionen.

Insbesondere in den ersten Minuten nach Holzaufgabe werden bei der Auswahl von zu kleinen Scheiten durch die thermische Holzersetzung große Mengen an Brenngasen gebildet, die den Brennraum mit einhergehender zu geringer Verweilzeit überladen und zudem einen lokalen Sauerstoffmangel hervorrufen können. Selbst wenn im Abgasstrutzen noch etwas Restsauerstoff vorhanden ist, kann wegen der häufig ungünstigen Strömungsverhältnisse in Scheitholzfeuerungen ein lokaler Sauerstoffmangel auftreten.

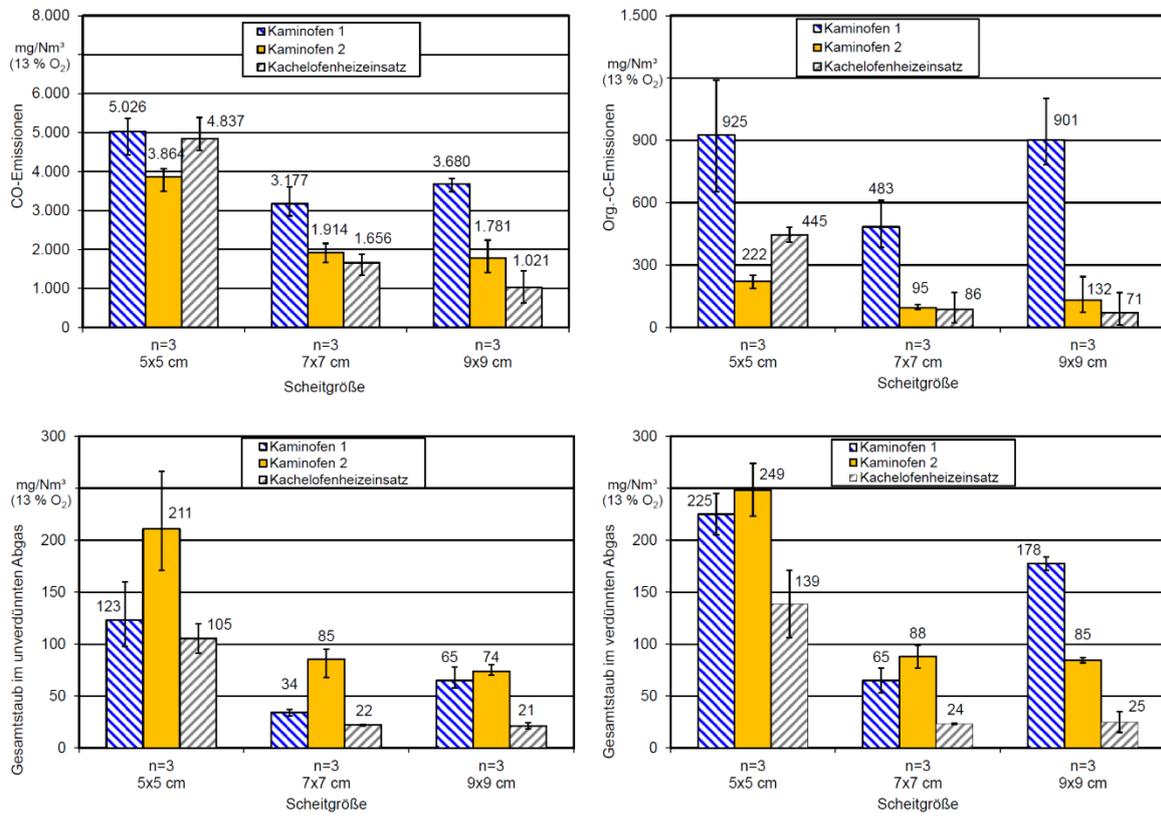
Zu große Scheite führen dagegen aufgrund des kleineren Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen zu einem verlangsamten Abbrand, so dass die Brennraumtemperaturen zu gering sein können und damit die notwendigen Temperaturen für eine ausreichend schnelle Verbrennungskinetik nicht ausreichen, so dass sich auch hier keine optimal niedrigen Emissionen einstellen.

Die Wahl mittlerer Scheitgrößen entsprechend der Herstellerangaben (soweit diese konsistent und passend sind) ist für eine optimierte Abbrandgeschwindigkeit von großer Bedeutung. Es können damit ausreichend hohe Temperaturen erreicht werden und zudem Sauerstoffmangel und eine Überfrachtung des Brennraums mit Pyrolysegasen vermieden werden.

Bei der Typenprüfung kann durch die Wahl einer optimalen Scheitgröße mit handverlesenen und manuell stückweise angepassten Scheiten nach Herstellervorgaben der Verbrennungsprozess so gestaltet werden, dass vergleichsweise gute Ergebnisse hinsichtlich des Wirkungsgrades bei möglichst langem Abbrandintervall sowie Emissionen unterhalb der Grenzwerte erzielt werden. In der Praxis verwenden die Nutzenden jedoch die zur Verfügung stehenden Holzscheite mit variierenden Durchmessern und Formen (ggf. sogar variierende Längen), so dass die Verwendung zu großer, aber auch zu kleiner Scheite ein sehr häufiges Ereignis darstellt, das die Emissionen in der Praxis erheblich erhöhen kann. Insbesondere gehen Laien und durchschnittliche Kaminofenbetreiber häufig davon aus, dass eine große und helle und damit besonders heiße Flamme für die Verbrennung günstig ist. Dies kann sich jedoch bei den Emissionen an Staub, Kohlenstoffmonoxid und Kohlenwasserstoffen durch den bereits angesprochenen Sauerstoffmangel sowie zu geringe Verweilzeiten sehr ungünstig auswirken.

Um den Einfluss der Scheitgröße und der aufgelegten Brennstoffmasse pro Abbrand bei der Verbrennung in EFA auf die gas-, sowie partikelförmigen Emissionen zu ermitteln, wurden am TFZ entsprechende Messungen an zwei Kaminöfen mit Rost sowie einem Kachelofenheizeinsatz ohne Rost durchgeführt. Als Brennstoff kam bei allen Versuchen Buchenscheitholz ohne Rinde zum Einsatz. Dieses wurde gemäß der Norwegischen Prüfnorm NS 3058 quaderförmig aufbereitet [29]. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sowohl zu kleine als auch zu große Scheite grundsätzlich zu einem negativen Emissionsverhalten führen. Der Vergleich der drei aufgeführten Feuerungen zeigt aber auch, dass die Ausprägung des Effekts insbesondere für zu große Scheite stark von der EFA abhängig ist. Hier besteht bei einigen Anlagen eine höhere Toleranz gegenüber Abweichungen als bei anderen (vgl. Abbildung 4, Tabelle 6).

**Abbildung 4: Einfluss der Scheitgröße auf die gasförmigen Emissionen CO und Org.-C sowie die Staubemissionen im unverdünnten und verdünnten Abgas bei drei verschiedenen Einzelraumfeuerungsanlagen. Brennstoff: Buche ohne Rinde in Normscheitform, Auflegemasse: gemäß Herstellerangabe für Nennleistung, Wassergehalt: 12-16 % (n = Anzahl der Messungen) [29]**



**Tabelle 6: Einfluss unterschiedlicher Scheitgrößen auf die absolute und relative Abweichung gegenüber der optimalen (Herstellerangabe) Scheitgröße im Hinblick auf die gasförmigen Emissionen CO und Org.-C sowie die Staubemissionen im unverdünnten und verdünnten Abgas bei drei verschiedenen Einzelraumfeuerungsanlagen. Brennstoff: Buche ohne Rinde in Normscheitform, Auflegemasse: gemäß Herstellerangabe für Nennleistung, Wassergehalt: 12-16 % [29]**

Einzelraumfeuerung	Scheitgröße	CO	Org.-C	PM <sub>UV</sub>	PM <sub>V</sub>
		Abweichung absolut [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ] / relativ [%]			
Kaminofen 1	zu klein	+1849 / +58	+442 / +92	+89 / +262	+160 / +246
	zu groß	+503 / +16	+418 / +87	+31 / +91	+113 / +174
Kaminofen 2	zu klein	+1950 / +102	+127 / +133	+126 / +148	+161 / +183
	zu groß	-133 / -7	+37 / +39	-11 / -13	-3 / -3
Kachelofenheizeinsatz	zu klein	+3181 / +192	+359 / +417	+83 / +377	+115 / +479
	zu groß	-635 / -38	-15 / -17	-1 / -5	+1 / +4

PM<sub>UV</sub> Staubemissionen im unverdünnten Abgas;

PM<sub>V</sub> Staubemissionen im verdünnten Abgas <sup>12</sup>

Insgesamt kann festgehalten werden, dass bei korrekter Brennstoffmenge deutlich zu kleine Scheite in allen EFA mit üblicher Bauform und ohne sensorgesteuerter Luftregelung zu einer Verdopplung der Emissionen führen. Zu große Scheite können ebenfalls zu höheren Emissionen führen, aber in einem geringeren Umfang als zu kleine Scheite. Für die Praxis bedeutet diese Erkenntnis eine besondere Herausforderung. Gerade im Bereich der Selbstwerber im Forst ist die Kronen- und Knüppelholzaufarbeitung mit besonders niedrigen Preisen verbunden. Auch im Bereich der privaten Baumpflege fallen eher kleinere Holzdurchmesser an, als dass ausreichend dickes Material für die Gewinnung der vorgesehenen Scheitgrößen anfällt. Letztlich sind die emissionsseitig geeigneten Scheitgrößen und -formen regelmäßig nur aus Stammholz durch Zuschneiden und Spalten zu gewinnen.

### 1.2.2.3 Nachlegemasse

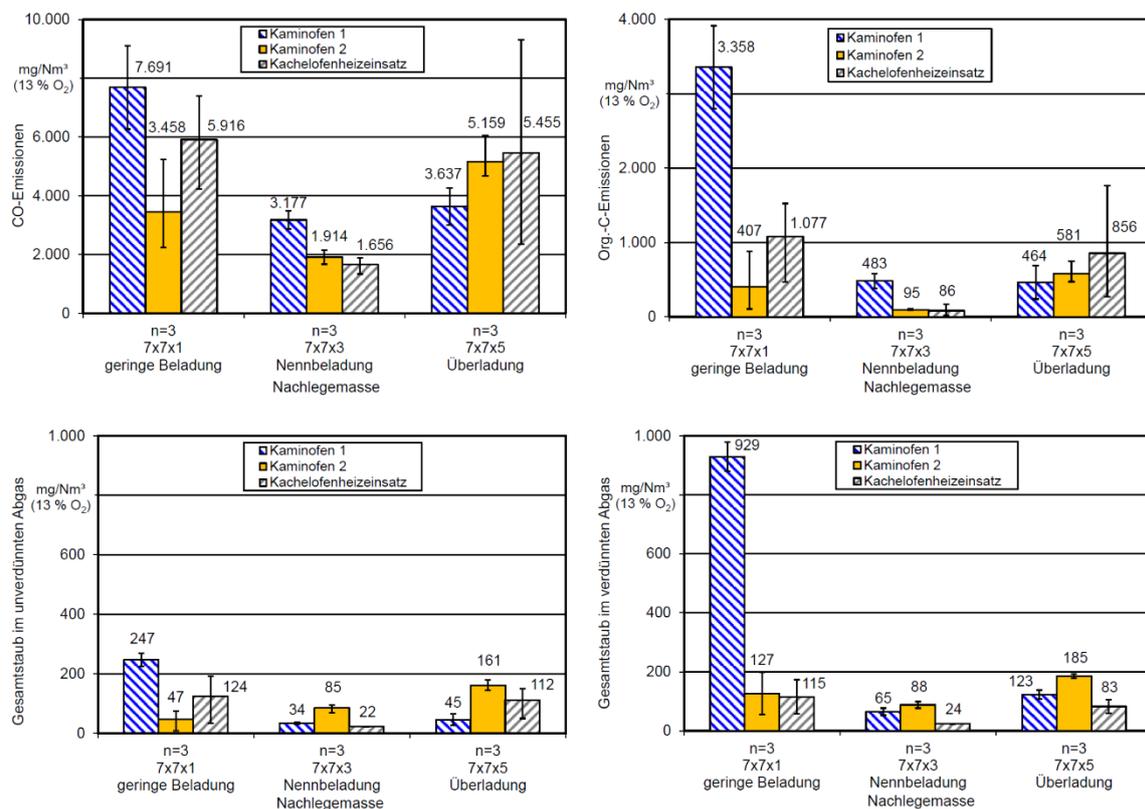
Im Hinblick auf die Nachlegemasse kann zwischen drei Zuständen, der Nennbeladung (maximale vom Hersteller empfohlene Auflegemasse), einer zu geringen Beladung und einer Überladung unterschieden werden.

Bei einer zu geringen Brennstoffauflage zeigt sich in jedem Fall ein ungünstiges Abbrandverhalten, da oft lediglich einzelne Scheite nachgelegt werden. Viele Nutzende neigen dann auch dazu die EFA in einen quasi Teillastprozess zu zwingen, indem weniger Brennstoff aufgelegt und/oder die Luftzufuhr deutlich gedrosselt wird. Dadurch können sich deutlich höhere Emissionen ergeben. Bei einer zu geringen Beladung ist die quasistationäre Phase im Vergleich zur An- und Ausbrandphase sehr kurz. Des Weiteren werden nur niedrige Brennraum- und Abgastemperaturen erreicht. Dies führt dazu, dass die notwendigen Temperaturen für eine

<sup>12</sup> Durch eine Verdünnung des heißen Abgases kann es je nach Zusammensetzung des Abgases zu einer Auskondensation von gasförmigen Partikelbildnern kommen. Dadurch steigt gerade bei emissionsreichen Verbrennungsprozessen die Partikelmasse im Vergleich zwischen verdünntem und unverdünntem (heißem) Abgas häufig deutlich an. Die Verdünnung des Abgases kann aber auch gleichzeitig dazu führen, dass der konzentrationsbedingte Druck sinkt und gewissen Partikel-/Aerosolfractionen wieder gasförmig werden. Insofern beeinflusst das Verdünnungsverhältnis ebenfalls die Partikelmasse.

ausreichend schnelle Verbrennungskinetik nicht erreicht werden, womit eine erhöhte Schadstoffbildung einhergeht [23][24][25][26][29].

**Abbildung 5: Einfluss der Nachlegemasse auf die gasförmigen Emissionen CO und Org.-C sowie die Staubemissionen im unverdünnten und verdünnten Abgas bei allen drei eingesetzten Einzelraumfeuerungsanlagen. Brennstoff: Buche ohne Rinde in Normscheitform mit 7 x 7 cm Kantenlänge, Wassergehalt: 12 - 16 % (n = Anzahl der Messungen) [29]**



Eine Brennraumüberladung wirkt sich vor allem bei Kaminöfen mit kleinem Feuerraum negativ auf die Emissionen aus. Hier besteht die Problematik, dass der Brennstoff möglicherweise die Öffnungen für Sekundär- bzw. Tertiärluft blockiert. Des Weiteren führt eine Brennraumüberladung meist zu niedrigen Restsauerstoffgehalten bei gleichzeitig geringen Verweilzeiten der Brenngase im Brennraum. Eine vollständige Verbrennungsreaktion ist somit nicht möglich.

Bei der vom Hersteller empfohlenen maximalen Brennraumbeladung wurden im Rahmen von Messungen am TFZ die geringsten Schadstoffemissionen für die drei untersuchten Einzelraumfeuerungen erzielt (siehe Abbildung 5, Tabelle 7). Die vom Hersteller für das jeweilige Gerät empfohlene Brennstoffmenge sollte deshalb zwingend eingehalten werden.

**Tabelle 7: Einfluss unterschiedlicher Nachlegemassen auf die absolute und relative Abweichung gegenüber der optimalen (Herstellerangabe) Nachlegemasse im Hinblick auf die gasförmigen Emissionen CO und Org.-C sowie die Staubemissionen im unverdünnten und verdünnten Abgas bei drei verschiedenen Einzelraumfeuerungsanlagen. Brennstoff: Buche ohne Rinde in Normscheitform, Auflegemasse: gemäß Herstellerangabe für Nennleistung, Wassergehalt: 12-16 % [29]**

Einzelraumfeuerung	Nachlegemasse	CO	Org.-C	PM <sub>UV</sub>	PM <sub>V</sub>
		Abweichung absolut [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ] / relativ [%]			
Kaminofen 1	geringe Beladung	+4514 / +142	+2875 / 595+	+213 / +626	+864 / 1329+
	Überladung	+460 / +14	-19 / -4	+11 / +32	+58 / +89
Kaminofen 2	geringe Beladung	+1544 / +81	+312 / +328	-38 / -45	+39 / +44
	Überladung	+3245 / +170	+486 / +512	+76 / +89	+97 / +110
Kachelofenheizeinsatz	geringe Beladung	+4260 / +257	+991 / +1152	+102 / +464	+91 / +379
	Überladung	+3799 / +229	+770 / +895	+90 / +409	+59 / +246

Insgesamt ist festzuhalten, dass es von entscheidender Bedeutung ist bei jedem Nachlegen die vom Hersteller vorgegebene Brennstoffmenge einzuhalten. Sowohl eine zu geringe als auch eine zu große Nachlegemenge führt zu ganz erheblichen Emissionssteigerungen; z.T. um einen Faktor 3 bis 10. Nutzende sollten daher regelmäßig ihre übliche Auflagemenge mit Hilfe einer Waage überprüfen und ggf. anpassen.

#### 1.2.2.4 Nachlegezeitpunkt

Besonders kritisch im praktischen Betrieb von EFA ist das Nachlegen von Holz. Hier ist sowohl die richtige Brennstoffmenge zu wählen, die passende Stapelung in der Feuerung zu finden und besonders wichtig der richtige Nachlegezeitpunkt zu treffen [23][24][25][26]. Dieser kann nach übereinstimmender Meinung von den Betreibenden nicht sicher identifiziert werden, da ohne Emissionsmessgerät ein optimaler Nachlegezeitpunkt für eine spezielle Feuerung bei den jeweiligen Wetterbedingungen nicht bestimmbar ist. Hinzu kommt, dass die Frage des Schürens und der Luftstellung zum Zünden des neuen Holzes offen sind und den Prozess für die Nutzenden weiter erschweren. Werden die Emissionen des Nachlegens mitgemessen, kommt es zu einer deutlichen Erhöhung des Emission sniveaus und der Variationsbreite der Emissionen. Eine häufige Empfehlung durch die Hersteller ist es, mit dem Nachlegen zu warten, bis kaum noch Flammen vorhanden sind bzw. bis zum Erlöschen der leuchtend gelben Flammen [19][20][21][22][27]. Im Rahmen der Messungen in diesem Vorhaben wurden mit Herstellern auch Gespräche zum Nachlegezeitpunkt geführt. Hier offenbarte sich eine große Bandbreite der empfohlenen Nachlegezeitpunkte. Während bei einem Hersteller das Erlöschen der Flamme der letztmögliche Nachlegezeitpunkt ist und für ein optimales Zünden eigentlich noch ausreichend Flammen im Brennraum gewünscht werden, stellt bei einem anderen Hersteller das Erlöschen der Flamme den frühestmöglichen Nachlegezeitpunkt dar.

Aufgrund der Komplexität und der sehr von den jeweiligen EFA abhängigen Anforderungen scheint hier nur eine von den Herstellern integrierte Nachlegeanzeige als zielführend.

#### 1.2.2.5 Wassergehalt

Der Wassergehalt der in Kaminöfen eingesetzten Scheithölzer hat einen großen Einfluss auf die Emissionen. Dabei kann sich sowohl zu trockenem- als auch zu feuchtem Holz sehr negativ auf die

Emissionen auswirken. Idealerweise sollte der Wassergehalt im Bereich von 10 bis 20 % liegen. Natürlich getrocknetes und mindestens einjährig an einem trockenen und luftigen Ort abgelagertes Holz sollte den geforderten Wassergehalt erreichen. Der in der 1. BImSchV verbindlich vorgeschriebene maximale Feuchtegehalt von 25% entspricht einem Wassergehalt von 20 %.

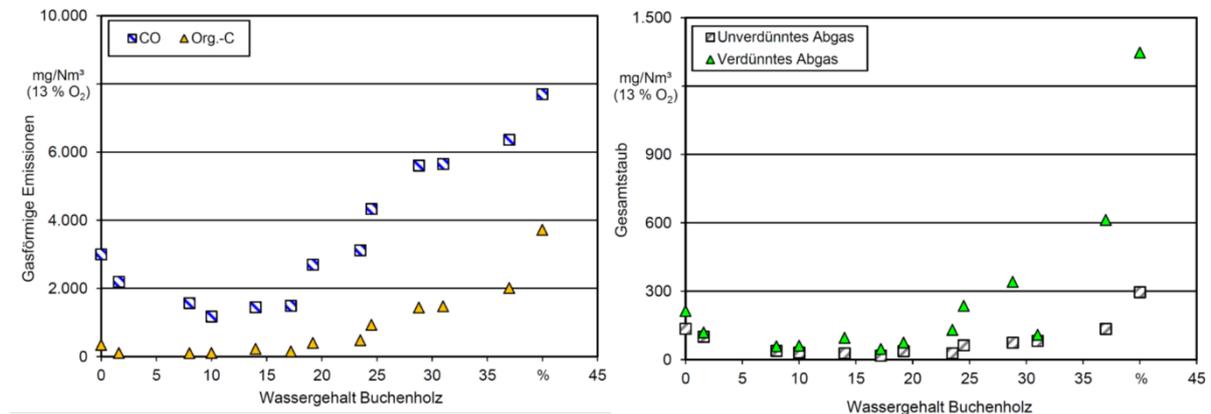
Vor allem ein zu hoher Wassergehalt führt dazu, dass eine unvollständige Verbrennung begünstigt wird, da die Verdampfung des Wassers endotherm ist und dem Verbrennungsprozess sehr viel Reaktionswärme entzieht, so dass die Flammentemperatur herabgesetzt wird. Nach der als Faustformel anzusetzenden RGT-Regel würde eine Verringerung der Reaktionstemperatur um 10 K die Reaktionsgeschwindigkeit um den Faktor 2 verringern. Ein nur leicht erhöhter Wassergehalt würde in einem Anstieg der kurzkettenigen leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe wie Methan sowie Kohlenstoffmonoxid resultieren, da die Oxidation dieser Gaskomponenten selbst bei hohen Temperaturen vergleichsweise langsam stattfindet. Ein deutlich erhöhter Wassergehalt im Brennstoff hat eine als kritisch zu betrachtende Verminderung der Verbrennungstemperatur zur Folge. Dabei würden die im Holz vorliegenden organischen Polymere (Cellulose, Hemicellulose und Lignin) in länger-kettige semi- und schwerflüchtige Molekülfragmente aufgespalten und teilweise als gasförmige geruchsintensive Kohlenwasserstoffe und teilweise als auf den Staubpartikeln kondensierte organische Fragmente emittiert werden, da die notwendigen weiteren thermo-chemischen Reaktionen nicht vollständig stattfinden. Der Effekt der Bildung semi- und schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe lässt sich durch Messungen mittels FID und zudem mit Staubmessungen im Verdünnungstunnel nachweisen, wobei die kondensierbaren Kohlenwasserstoffe erheblich zur Staubmasse beitragen. Der Übergang von Verbrennungsprozessen mit leicht erhöhten Emissionen an flüchtigen Kohlenwasserstoffen über die merkliche Zunahme von Geruchsemissionen bis hin zu sehr emissionsintensiven Schwelbränden ist dabei fließend und korreliert mit der Zunahme an Wasser im Brennstoff [23][24][25][26].

Ein zu geringer Wassergehalt kann aus zwei Gründen zu einem Anstieg der Emissionen führen:

1. Einerseits kann die Verbrennungstemperatur beim Nachlegen von Holz stark ansteigen und damit zu einer sehr schnellen Holzzerlegung mit der damit einhergehenden Brenngasbildung führen. Damit wird der Anteil leicht flüchtiger Bestandteile im naturbelassenen Holz innerhalb kürzester Zeit durch pyrolytische Zersetzungsprozesse freigesetzt, in Brenngas überführt und resultiert im Zusammenhang mit schnell ansteigenden Verbrennungstemperaturen einerseits in einer Brennraumüberlastung sowie andererseits in lokalem Sauerstoffmangel. Eine hohe Flammentemperatur in Verbindung mit Sauerstoffmangel hat eine Hochtemperatursynthese von Rußpartikeln zur Folge und kann damit zu einer Steigerung der Staubemissionen führen. Zusätzlich wird der Abbrand beschleunigt und die quasistationäre emissionsärmere Abbrandphase wird auf Kosten einer längeren Kohleausbrandphase mit hohen Kohlenstoffmonoxidemissionen erheblich verkürzt.
2. Eine Steigerung der Glutbetttemperaturen resultiert in einer erhöhten Freisetzung von flüchtigen anorganischen Bestandteilen wie Kalium, welches über mehrere Reaktionsschritte beispielsweise als Kaliumsulfat in den emittierten Staubpartikeln auftritt und somit zur Staubemission beiträgt. Zudem führt die steigende Verbrennungstemperatur zu einem Anstieg der Temperaturen im Abgas und letztlich zu einem stärkeren Zug im Schornstein, wodurch mehr Luft über die Verbrennungslufteinlässe angesaugt wird. Insbesondere bei einem Anstieg der Primärluft bzw. Rostluft können damit sogar gröbere Aschebestandteile mitgerissen werden und zur Partikelemission beitragen.

Im Hinblick auf den optimalen Wassergehalt hat sich, im Rahmen von am TFZ durchgeführten Messungen, ein Bereich zwischen 8 und 17 % als, vor allem im Hinblick auf die Partikelemissionen, günstig erwiesen (vgl. Abbildung 6)[29]. Bei Wassergehalten über 20% steigen im verdünnten Abgas die Partikelemissionen schnell sehr deutlich an, wobei mit steigendem Wassergehalt auch der Unterschied der ermittelten Staubkonzentrationen zwischen verdünntem und unverdünntem Abgas sehr stark ansteigt. Dies deutet darauf hin, dass der Gehalt an kondensierbaren<sup>13</sup> Staubanteilen (insbesondere auch Teere) stark zunimmt.

**Abbildung 6: Einfluss der Brennstofffeuchte von Buchenscheitholz auf die gas- und partikelförmigen Emissionen [29]**



Insgesamt ist ein Wassergehalt von mehr als 20% bei EFA zwingend zu vermeiden, da sich die Emissionen sonst schnell um den Faktor 2 bis 10 erhöhen können. Zu geringe Wassergehalte sind nur bei sehr niedrigen Werten kritisch, die in der Praxis nur bei einer technischen Übertrocknung oder einer zu langen Lagerung z.B. im Heizraum auftreten könnten.

#### 1.2.2.6 Förderdruck

Im realen Betrieb könnte es zu Abweichungen in den Emissionen durch einen Zug der Schornsteinanlage kommen, der von den typischerweise genutzten 12 Pa der Typenprüfung abweicht. Offensichtlich erleichtert ein künstlicher Zug den Anzündprozess, wobei hier ggf. sogar höhere Emissionen auftreten als bei einem realen Betrieb. Dafür besteht im Naturzug das Risiko, dass eine Feuerung gar nicht zündet und nach Abbrand des Anzünders in einen Schwelbrand übergeht. Dieses Risiko wird durch die derzeitige Typenprüfung noch erhöht, da die Hersteller ohne eigene Prüfeinrichtungen ggf. gar nicht bemerken, dass ihre EFA unter gewissen Umständen Probleme beim Zünden im Naturzug haben kann. Weiterhin zeigen Untersuchungen des Nennlastbetriebs mit unterschiedlichen Zugbedingungen ein uneinheitliches Bild (z.B. Kaminofen bei 12 Pa und 32 Pa ähnliche Staubemissionen und bei 22 Pa im verdünnten Abgas Verdopplung der Emission)[30]. Messungen, die am TFZ durchgeführt wurden, bestätigen dieses Bild ebenfalls. So lässt sich auch hier kein eindeutiger Trend im Hinblick auf die gasförmigen als auch auf die staubförmigen Emissionen bei zunehmendem Förderdruck erkennen. Im Unterschied zu den Emissionen nimmt der Wirkungsgrad bei steigendem Förderdruck deutlich ab [32].

#### 1.2.2.7 Häufige Betreiberfehler und deren Auswirkungen

Die häufigsten Betreiberfehler und deren voraussichtliche Auswirkungen auf die Emissionen der Einzelraumfeuerungsanlage sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

<sup>13</sup> Im Abgas enthaltene gasförmige Emissionen, die unter Abkühlung zu Partikeln kondensieren.

In Tabelle 8 bedeutet „EFA immanent“, dass die Fehlbedienbarkeit bei der jeweiligen EFA durch ihr Konstruktionsprinzip vorgegeben ist und technisch nicht abgestellt werden kann. Eine manuell beschickte EFA ist bei der Brennstoffaufgabe technikbedingt immer von den Nutzenden abhängig.

**Tabelle 8: Übersicht der wichtigsten Bedienfehler an Einzelraumfeuerungsanlagen und deren Auswirkungen auf die Emissionen**

Art des „Fehlverhaltens“	Vorsatz / Unwissenheit	EFA immanent oder techn. abstellbar	Einfluss auf PM	Einfluss auf CO	Einfluss auf OGC
<b>Überladung des Brennraums</b>	Vorsatz	Immanent oder andere Gerätekonstruktion [33]	Zunahme	Zunahme	Zunahme
<b>Luftdrosselung</b>	Vorsatz	techn. Abstellbar mit Regelungstechnik	Zunahme	Zunahme	Zunahme
<b>falsches Anzünden</b>	Vorsatz / Unwissenheit	techn. abstellbar (automatischer Zündung)	Zunahme	Zunahme	Zunahme
<b>Verbrennen von Plastik</b>	Vorsatz	immanent	messseitig offene Frage	messseitig offene Frage	messseitig offene Frage
<b>Verbrennen von Getränkekartons</b>	Vorsatz	immanent	messseitig offene Frage	messseitig offene Frage	messseitig offene Frage
<b>Verbrennen von mit Holzschutz behandeltem Holz</b>	Vorsatz	immanent	gering	gering	messseitig offene Frage
<b>zu nasses Holz</b>	Vorsatz / Unwissenheit	immanent*,**	Zunahme	Zunahme	Zunahme
<b>zu trockenes Holz</b>	Vorsatz / Unwissenheit	immanent**	Zunahme	Zunahme	messseitig offene Frage
<b>zu große Scheite</b>	Vorsatz / Unwissenheit	immanent**	Zunahme	Zunahme	messseitig offene Frage
<b>zu kleine Scheite</b>	Vorsatz / Unwissenheit	immanent**	Zunahme	Zunahme	messseitig offene Frage
<b>falsche Luftklappenstellung beim Anzünden</b>	Vorsatz / Unwissenheit	techn. Abstellbar mit Regelungstechnik	Zunahme	Zunahme	Zunahme
<b>zu viel Zug</b>	Unwissenheit	techn. abstellbar (Zugbegrenzer/Regelungstechnik)	Zunahme/Abnahme (kein eindeutiger Trend)	Zunahme/Abnahme (kein eindeutiger Trend)	Zunahme/Abnahme (kein eindeutiger Trend)

Art des „Fehlverhaltens“	Vorsatz / Unwissenheit	EFA immanent oder techn. abstellbar	Einfluss auf PM	Einfluss auf CO	Einfluss auf OGC
zu frühes Nachlegen	Unwissenheit	techn. Abstellbar mit Regelungstechnik	tendenziell geringe Zunahme	messeitig offene Frage	messeitig offene Frage
zu spätes Nachlegen	Unwissenheit	techn. Abstellbar mit Regelungstechnik	Zunahme	messeitig offene Frage	messeitig offene Frage

\* In Verbindung mit einem Nachfüllschacht für Scheitholz in einen Unterbrandkaminofen hat sich gezeigt, dass zu nasses Holz zu einem selbständigen Ausgehen des Feuers führen kann [33].

\*\* Mit einer Verbrennungssensorik mit automatischer Luftregelung könnte das Emissionsniveau bei diesen Fehlbedienungen möglicherweise deutlich gesenkt werden. Hierzu fehlen jedoch noch aussagekräftige Untersuchungen.

Die unterschiedlichen Arten des „Fehlverhaltens“ treten in der Regel in Kombination miteinander auf. Die Stärke ihrer Wirkung auf Emissionen ist weiterhin von der Feuerungskonstruktion (Auslegung) abhängig.

Geschulte, erfahrende Nutzende, welche mit der EFA vertraut sind, können einen emissionsarmen Feuerungsbetrieb durchführen. Je weniger Wissen und Erfahrungen Nutzende haben, desto höher ist die Gefahr einer unbewussten Fehlbedienung. Deshalb ist es generell für niedrige Emissionen förderlich, wenn die notwendigen und möglichen Eingriffe durch die Nutzenden durch technische Maßnahmen, welche auf den tatsächlichen Zustand der Feuerung reagieren können, zurückgedrängt werden.

Aus Sicht der Autorenschaft lassen sich Emissionen durch Fehlbedienung durch folgende Maßnahmen am effizientesten reduzieren.

- ▶ Mittels einer aktiven Anzeige zum Anlagenzustand z.B. der Abgastemperatur können Nutzende Rückschlüsse auf die Wirkung ihres Handelns ziehen und bei der nächsten Nutzung ihr Handeln verbessern. Eine falsche Brennstofffeuchte, Brennstoffmenge oder Brennstoffform kann beispielsweise häufig aus der Abgastemperatur (Höhe, Anstiegsgeschwindigkeit) herausgelesen werden. Auch Informationen zum richtigen Nachlegezeitpunkt können aus der Temperatur abgeleitet werden. Die Nutzenden müssen jedoch z.B. durch Schulungen die notwendigen Informationen über einen optimalen Feuerungsbetrieb erhalten.
- ▶ Eine aktive automatische Luftregelung ist in der Lage, Emissionen, welche aufgrund von nicht passenden Lufteinstellungen entstehen, zu reduzieren. Durch Regelungen kann auch die emissionstechnisch ungünstige Wirkung von einer falschen Brennstoffmenge oder einem falschen Nachlegezeitpunkt in gewissen Grenzen abgemildert werden. Dabei ist eine Regelung weitgehend unabhängig von den durch die Nutzenden durchzuführenden Handlungen. Ein Teil der oben genannten wichtigsten Bedienungsfehler kann dadurch abgestellt und die Emissionen im Realbetrieb reduziert werden.

#### 1.2.2.8 Anlagenkonzepte

Neben den klassischen Oberbrand bzw. Durchbrandfeuerungen für EFA werden auch immer wieder alternative Konzepte überlegt und versucht am Markt zu etablieren.

**Oberbrand:** Die Primärluft wird seitlich in das Glutbett eingebracht. Die Sekundärluft wird über dem Glutbett der Flamme zugeführt.

**Durchbrand:** Die Primärluft wird von unten durch rostähnliche Konstruktionen in das Glutbett eingeführt. Die Sekundärluft wird über dem Glutbett der Flamme zugeführt.

**Unterbrand:** Die Primärluft wird von oben und/oder seitlich dem Glutbett zugeführt. Die Sekundärluft wird unter dem Glutbett der nach unten geführten Flamme zugeführt, auch als Sturzbrandprinzip bezeichnet.

EFA wie Kaminöfen sind fast ausnahmslos Mischformen aus Ober- und Durchbrand, was auch damit begründet werden kann, dass die Händler gerne Feuerungen anbieten wollen, die für Kohle und Holz gleichermaßen geeignet sind. Auch in modernen EFA wird daher Luft über drei Positionen der Reaktion zugeführt:

Rostluft = „Durchbrandluft“

Scheibenspülluft = „Oberbrandluft“ und teilweise auch „Verbrennungsluft“

Sekundärluft = „Verbrennungsluft“

Manchmal wird auch zusätzlich „Oberbrandluft“ über Lufteinlässe von den Seitenwänden oder der Hinterwand dem Glutbett seitlich zugeführt.

Durchbrand durch Zuführung von Rostluft ist charakteristisch für Kohlefeuerungen. Bei Holzfeuerungen wird die Rostluft nach Entzündung und ausreichender Grundglutentwicklung idealerweise komplett geschlossen und die Oberbrandluft im oberen Drittel des Glutbettes der Feststoffreaktion eingeführt, damit eine Aufwirbelung von Aschepartikeln und eine zu schnelle unkontrollierte pyrolytische Brennstoffzersetzung vermieden werden kann.

### **1.2.3 Wiederkehrende Prüfungen oder Emissionsmessungen an EFA**

Der Nutzen wiederkehrender Messungen im Vergleich zum Aufwand wird grundsätzlich sehr kontrovers diskutiert [1].

Als Zielstellungen für eine mögliche wiederkehrende Messung werden aufgeführt:

- ▶ Anlass zur Schulung der Betreibenden
- ▶ Prüfung, ob die ausgelieferten Geräte den zur Typprüfung vorgestellten EFA entsprechen
- ▶ Prüfung, ob durch Schäden am Gerät und durch Überschreiten von Standzeiten von Komponenten die EFA noch ordnungsgemäß funktioniert
- ▶ Prüfung, ob das System EFA und Schornstein funktioniert

Während bei herkömmlichen, einfacher aufgebauten EFA keine oder kaum Baugruppen verwendet wurden, welche ihre Funktion einstellen könnten, wird zunehmend bei modernen Feuerungen auf derartige Bauteile zurückgegriffen. Sensoren können verschmutzen, Stellmotoren ausfallen, Filterelemente sich zusetzen und Katalysatoren ihre Wirksamkeit einbüßen [32]. Im Rahmen von wiederkehrenden Messungen könnte die Funktionstüchtigkeit entweder durch eine Funktionskontrolle am Gerät (Stellmotor dreht sich, Sonde liefert plausible Werte) und / oder durch eine Emissionsmessung überprüft werden, deren Messergebnisse nicht im Vergleich zur Typprüfung, sondern zu einer ersten Inbetriebnahmemessung vor Ort zu sehen sind. Auf diesem Wege würde der Kunde über eine fehlerhafte Anlage informiert und kann analog zur Prüfung beim Heizkessel eine Reparatur bzw. einen Austausch einleiten.

Im Folgenden soll in der Betrachtung zwischen wiederkehrenden Emissionsmessungen und wiederkehrenden Überprüfungen unterschieden werden.

#### **1.2.3.1 Wiederkehrende Emissionsmessungen an EFA**

Ein Vergleich mit den Emissionswerten aus der Typprüfung wird aufgrund der starken Abhängigkeit von vor Ort nicht ausreichend beeinflussbaren Randbedingungen kritisch gesehen. Trotzdem sollte der Gedanke der Emissionsüberwachung nicht fallen gelassen werden [1].

Um die Frage systematisch zu beleuchten werden im Folgenden zentrale Fragestellungen mit der Unterscheidung nach Neuanlagen und Bestandsanlagen betrachtet und beantwortet.

- ▶ Verfügbarkeit geeigneter Messgeräte:
  - Geeignete Messgeräte für gasförmige Emissionen und Gesamtstaub stehen durch die wiederkehrenden Messungen für Festbrennstoffkessel zur Verfügung. Die derzeit in

Umlauf befindlichen Messgeräte dürften jedoch bei weitem nicht ausreichen, so dass die Schornsteinfegerbetriebe weitere Messgeräte kaufen müssten.

► Verfügbarkeit von geeignetem Messpersonal:

- Flächendeckend in Deutschland ist das Schornsteinfegerhandwerk als Fachpersonal für den Betrieb des Systems „Feuerungsanlage und Schornstein“ verfügbar. Seit Jahrzehnten gehören auch Emissionsmessungen an automatischen Feuerungen zu ihrem Kompetenzbereich. Unter bestimmten Randbedingungen hält der ZIV in der Befragung „verkürzte CO-Messungen“ für sinnvoll [1]. Es ist also davon auszugehen, dass auch handbesockte EFA messtechnisch bewertet werden können.
- Im Jahr 2018 führten das Schornsteinfegerhandwerk 32 Mio. Messungen und Überprüfungen an Kleinfeuerungsanlagen (Öl, Gas, Festbrennstoffe) durch [31]. Eine jährliche Emissionsmessung der ca. 11 Millionen EFA ist aufgrund der begrenzten personellen Kapazitäten des Schornsteinfegerhandwerks nicht umsetzbar. Mit einem geringeren Anstieg des Arbeitsanfalls könnte eine Messung im Rhythmus der zweimal in sieben Jahren durchzuführenden Feuerstättenschau möglich sein.

► Sicherstellung notwendiger Messbedingungen (Schornsteinzugang an geeigneter Stelle, vergleichbare Feuerungsbedingungen)

- Die Herstellung vergleichbarer Messbedingungen ist die größte Herausforderung. Im Unterschied zur Typprüfung muss hier mit den lokalen Gegebenheiten vorliebgenommen werden. Während Brennstoffmasse, Brennstoffauflage und Feuerungseinstellungen vergleichbar gehalten werden können, ist dies bei der Brennstoffzusammensetzung und dem Schornsteinzugang nicht möglich. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Reproduzierbarkeit derartiger Messungen nicht sehr gut ist und nur größere Abweichungen der Messwerte von den Ergebnissen der Typprüfungen als signifikant angesehen werden können.
- Problematisch wird zumindest bei Altanlagen auch die Schaffung einer geeigneten Messstelle sein, da in den meisten Fällen nicht genügend Ein- und Auslaufstrecke für die Einrichtung einer normgerechten Messstelle vorhanden ist. Zudem liegt die Messstelle möglicherweise in einem Bereich, an den ästhetisch erhöhte Anforderungen gestellt werden oder ist gänzlich hinter einer Verkleidung verbaut.

► Kosten

- Die entstehenden Kosten pro Messung könnten im Bereich der Emissionsmessungen an Festbrennstoffkesseln liegen. Da das vorgeschriebene Messintervall einen sehr großen Einfluss auf die Gesamtkosten hat, sollte dieser nicht zu kurz gewählt werden. Eine Möglichkeit wäre, die Messung zweimal in sieben Jahren durchführen zu lassen (Intervallvorgabe der Feuerstättenschau) [53].

► Nutzen und Aussagekraft der Messungen:

- Eine Prüfung der EFA auf Übereinstimmung mit konstruktiven Details ist durch das Schornsteinfegerhandwerk nur sehr bedingt durchführbar. Offensichtliche Abweichungen würden zwar auffallen, jedoch müsste den prüfenden Personen Konstruktionszeichnungen, Bilder etc. zu jeder zu prüfenden EFA an die Hand gegeben werden. Dies ließe sich wahrscheinlich nur über das Einrichten einer offiziellen elektronischen Datenbank sicherstellen, in denen die CE-Zertifizierungsunterlagen von den Herstellern abzulegen sind. Hierbei sind die Interessen der Hersteller auf Schutz ihrer Geschäftsgeheimnisse und dem Interesse der Gesellschaft auf Schutz vor fehlerhaften Feuerungsanlagen abzuwägen. Insofern könnten Emissionsmessungen gegenüber Funktions- und Gleichheitsprüfungen weniger aufwendig sein.
- Ähnlich wie die Typprüfung spiegelt eine wiederkehrende Messung einen besonderen Anlagenbetrieb wieder. Die Aussagekraft ist gegenüber der Typprüfung jedoch etwas besser, da nicht nur die Feuerung alleine, sondern das System Feuerung und Schornstein bewertet werden. Grobe Fehlauselegungen werden hierbei erkannt. Eine direkte Übertragbarkeit auf den „Normalbetrieb“ ist jedoch aufgrund des Betreiberverhaltens nur eingeschränkt möglich.

#### **1.2.3.2 Wiederkehrende Überprüfungen an EFA**

Eine wiederkehrende Prüfung der Feuerstätte, bei der die EFA über einen Abbrand lang betrieben und mit einer Emissionsmessung überwacht wird, könnte den Schulungsgedanken, den die in 2010 novellierte 1. BImSchV in sich trägt, fortführen. Die Schulungen der Betreibenden durch das Schornsteinfegerhandwerk bei Inbetriebnahme und Nutzerwechsel werden durchweg als ein positiver Effekt der Novellierung bewertet. Die Messergebnisse würden dann vorrangig der Illustration bzw. als Gesprächsimpulse genutzt werden. Damit ein offenes Gespräch zustande kommt, sollten jedoch keine Grenzwerte, sondern lediglich Orientierungswerte, z.B. aus vorherigen Messungen vor Ort an der gleichen Anlage, zur Einordnung der Emissionen existieren, da ansonsten die Betreibenden die Feuerung bewusst im „Prüfungsmodus“ und nicht im „Realbetrieb“ vorführen werden. Bewusste Bedienfehler würden so kaschiert werden. Kommt es zu massiven Abweichungen von den Orientierungswerten ist eine fachkundige Überprüfung der Anlagen durch den Kundendienst erforderlich. Die Kundschaft berichtet die Abstellung des Mangels an die zuständige Schornsteinfegerin oder den zuständigen Schornsteinfeger.

Durch Prüfung konstruktiver Details, der Ausstattung der EFA und durch Hinzuziehen der ermittelten Messwerte könnte geprüft werden, ob im Markt abgesetzte Geräte auch den Spezifikationen der Typenprüfung entsprechen. Fraglich ist jedoch, ob z. B. die Schornsteinfegerin oder der Schornsteinfeger vor Ort in der Lage sind, konstruktive Änderungen z.B. im Bereich der Schweißnähte zu erkennen und zu bewerten.

Eine Funktionskontrolle der EFA ist durch das Schornsteinfegerhandwerk durchführbar und wird im Rahmen der Feuerstättenschau zum Teil auch durchgeführt. Sicher wäre es hilfreich insbesondere für EFA Regelungen und Abgasnachbehandlungsanlagen den prüfenden Personen konkrete Checklisten an die Hand zu geben. Diese könnten z.B. durch den Hersteller erstellt werden und durch geeignete Prüfstellen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit überprüft und freigegeben werden (elektronische Ablage ebenfalls in einer offiziellen Datenbank mit Fernzugriff).

### 1.2.3.3 Bewertung wiederkehrender Überprüfungen bzw. Emissionsmessungen

In der Zusammenführung obiger Fakten und Einschätzung lässt sich erkennen, dass für neu zu errichtende EFA eine wiederkehrende Emissionsmessung technisch - auch wegen der Möglichkeiten zum Vorsehen einer geeigneten Messstelle mit entsprechenden Ein- und Auslaufstrecken - durchführbar ist. Bei Kosten von 150 bis 300 € je Messung (Schweiz 410 bis 660 Schweizer Franken [1]) und dem Zeitaufwand für die Nutzenden ist mit einer gewissen Reduzierung der Neuanschaffungen zu rechnen. Ebenso ist eine regelmäßig wiederkehrende Überprüfung umsetzbar, deren Aufwand zwischen den Feuerungsanlagen schwanken kann. Bei beiden Ansätzen werden positiven Effekte auf die Qualität der Feuerungen, die Wartung und den Betrieb der Feuerung und das Wissen zum Betrieb bei den Nutzenden erwartet.

Für Bestandsanlagen dürfte eine wiederkehrende Messung flächendeckend nicht durchsetzbar sein. So fehlen bisher geeignete Messöffnungen, die zunächst angebracht werden müssten (Kosten 50 €/Loch bohren und Abdichtung schaffen - bis einige 1000 € - Messöffnung im verkleideten Schornstein in der Nähe der Feuerung). Regelmäßig wiederkehrende Überprüfungen würden sich im Bestand einfacher umsetzen lassen, da diese zumindest in weiten Teilen ohne Eingriff in die Installation durchgeführt werden können.

Im Sinne einer praktikablen Lösung ist zu prüfen, ob eine Differenzierung zwischen regelmäßig genutzten EFA und „nur gelegentlich“<sup>14</sup> verwendeten Geräten möglich ist. Bei ersteren ist eine regelmäßige wiederkehrende Überprüfung und Fortbildung der Nutzenden wenigstens für Neugeräte (diese auch mit wiederkehrender Messung) dringendst zu empfehlen, während bei den nur gelegentlich genutzten Geräten das absolute Emissionseinsparpotenzial gering ist. Im Zuge einer gesetzlichen Regelung ließe sich hier gegebenenfalls darüber nachdenken, dass auch neu installierte Geräte, bei denen nur eine sporadische Nutzung beabsichtigt ist, grundsätzlich messbar sein müssen und dass die wiederkehrende Messpflicht von der zuständigen Kommune nach begründeten Nachbarschaftsbeschwerden oder bei Gefahr der Nicht-Einhaltung der Luftqualitätsgrenzwerte (Immissionsgrenzwerte) angeordnet werden kann.

## 1.2.4 Einführung von Partikelzählverfahren

### 1.2.4.1 Motivation zum Einsatz von Partikelzählverfahren

Die Bewertung der Staubemissionen einer Festbrennstofffeuerung erfolgt sowohl bei der Typprüfung als auch bei der Emissionsmessung von zentralen Heizkesseln im laufenden Betrieb mit der gravimetrischen Methode. Für einen Vergleich von EFA untereinander wird der gravimetrische Ansatz noch als ausreichend bewertet, da die massebezogenen Emissionsniveaus meist noch deutlich über  $5 \text{ mg/m}^3$  i.N. bei 13% O<sub>2</sub> liegen [1]. Eine weitere Möglichkeit bietet die Bestimmung der Partikelanzahlgrößenverteilung bzw. der Partikelanzahl in einem bestimmten Größenbereich. Wenn im Folgenden von Partikelzählung die Rede ist, ist die Zählung in einem festgelegten Größenbereich gemeint.

Für die Einführung der Partikelzählung anstatt einer gravimetrischen Staubmessung sprechen folgende Argumente:

- ▶ bessere Korrelation mit den gesundheitlichen Auswirkungen (siehe Tabelle 9)

<sup>14</sup> Formulierung entspricht den Vorgaben der 1. BImSchV (2010) Abschnitt 2 §4 (4) „Offene Kamine dürfen nur gelegentlich betrieben werden...“. Nach einem Urteil des Oberverwaltungsgerichtes Koblenz (Az.: 7 B 10342/91.OVG) handelt die Behörde rechtmäßig, wenn sie den Betrieb auf nicht mehr als 8 Tage je Monat für 5 Stunden beschränkt.

Ggf. kann die Formulierung auch auf „sehr gelegentlich“ mit z.B. 3 Tage pro Monat und in Summe maximal 40 h pro Jahr eingegrenzt werden.

- bessere Eignung für sehr geringe Partikelkonzentrationen bzw. sehr niedrige Staubmassefrachten

Für lange Betrachtungszeiträume und/oder große Kohorten (Städte/Regionen) können signifikante Zusammenhänge zwischen Staubmassekonzentrationen und gesundheitlichen Effekten hergestellt werden. Diese geben aber keinen Aufschluss darüber, wie die genauen Wirkmechanismen sind und welche Eigenschaften der Feinstäube toxikologisch besonders relevant sind. In Tabelle 9 werden mehrere Studien zu Auswirkungen erhöhter Partikelmasse und Partikelanzahlkonzentration auf die Kurzzeitsterblichkeit an Herz-Kreislauf-Erkrankungen zusammengefasst. Gegenüber der Partikelmasse zeigt die Partikelanzahl einen höheren signifikanten Einfluss.

**Tabelle 9: Gesundheitseffekt für Partikelanzahlkonzentration (PNC) und Partikelmasse (PM<sub>2,5</sub>) nach [35]**

Study	City, Year	CVD increase per PN per PNC	CVD-PN per 10 µg/cm <sup>3</sup>	CVD-PM <sub>2,5</sub> per 10 µg/cm <sup>3</sup>
Atkinson [36]	London 2010	2,2% / 10166	6,8%	0 – 0,5%
Stolzel [37]	Erfurt 2007	3,1% / 9748	9,9%	0 – 1,5%
Breitner [38]	Beijing 2011	7,3% / 6250	36,5%	NA
Branis [39]	Prag 2010	1,1% / 1000	34,1%	0 – 0,4%
Forastiere	Rom 2006	7,6% / 27790	8,4%	0,1-3,1%
Kettunen	Helsinki 2012	8,5% / 4979	52,7%	2,1 – 23%
Average			24,7%	3,1%

CVD: Cardiovascular disease (Herz-Kreislauf-Erkrankungen)

PM 2,5: Partikelmasse im Größenbereich bis 2,5 µm

PN: Partikelanzahl

Die Korrelation zwischen der Partikelanzahlkonzentration und gesundheitlichen Auswirkungen scheint zwar besser als die zwischen Partikelmasse und gesundheitlichen Auswirkungen. Abschließende Ergebnisse liegen in der Wissenschaft noch nicht vor, so dass weiterer Forschungsbedarf besteht. Für eine vollständige toxikologische Einzelbewertung sind wahrscheinlich weitere bzw. andere Parameter notwendig [28]. Dies sind Angaben über die Partikelzusammensetzung, die Bioverfügbarkeit der Inhaltsstoffe, die Partikelgröße, die Partikelform und oder die Größe aktiver Oberflächen der Partikel [34]. Ausgehend von der Annahme, dass die Partikel bei der Typprüfung in Zusammensetzung und Form ähnlich sind, könnte die Bestimmung der Partikelanzahl in einem bestimmten Größenbereich eine bessere toxikologische Bewertung ermöglichen. Ob alleine die Messung der Anzahlgrößenverteilung für die toxikologische Bewertung ausreicht oder es weitere geeignete Parameter gibt, wird durchaus diskutiert. So wird in [35] vorgeschlagen, statt der Partikelanzahlkonzentration ein Parameter zu wählen, der nachweislich Einfluss auf die Toxizität hat und von der Verbrennungsqualität beeinflusst wird. Ein möglicher Parameter ist der Gesamtkohlenstoffgehalt (TC) in einem bestimmten Größenbereich (siehe Tabelle 10).

**Tabelle 10: Gegenüberstellung verschiedener Indikatoren zur Abschätzung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen von Partikelemissionen nach [35] und eigenen Erkenntnissen**

	Masse <sup>1</sup>	Anzahl	TC <sup>2</sup>
Beachtung, der geringeren toxikologischen Relevanz großer Partikel	nein	ja	ja
starke Korrelation mit Toxizität	nein	nein	bedingt
spiegelt die Verbrennungsqualität wieder	bedingt	nein	ja
Messung kann online oder semi-online erfolgen	bedingt	ja	ja
tauglich für Prüfstand- und Feld-Messungen	ja	ja	ja
berücksichtigt primäre und sekundäre Emissionen <sup>3</sup>	nein	nein	ja
niedrige Nachweisgrenze	ja	ja	bedingt
auf nationale Normale rückführbar	ja	ja	bedingt

1 Referenzmethode: Isokinetische Probenahme (120°C) und gravimetrische Analyse

2 TC: Total Carbon Analyse mit Größen-Begrenzung (cut-off)

3 Sekundäre Emissionen mittels „micro smog chamber“ Konditionierung

In einem weiteren Ansatz zur Toxizitätsbewertung wird als Parameter die BET-Oberfläche der Partikel [40] betrachtet. Das BET-Modell nach Brunauer, Emmett und Teller (BET) beschreibt Mehrschichtadsorption von Gasen an Festkörpern. Beim standardmäßigen Einsatz von Stickstoffgas als Messgas bei Flüssigstickstofftemperatur und Auswertung nach Norm ISO 9277 [41] erhält man die sog. spezifische BET-Oberfläche in m<sup>2</sup>/g der Festkörper. Bei diesem Ansatz wird davon ausgegangen, dass die toxikologische Relevanz der Partikel mit der Oberfläche korreliert, an der sich besonders kritische Stoffe anlagern können bzw. an denen Reaktionen im Organismus stattfinden können. Bei fester Gesamtmasse steigt die aktive Oberfläche sowohl durch eine größere Partikelanzahl, als auch durch weniger kugelförmige Partikel (Form) und durch größere innere zugängliche Flächen. Das heißt die BET-Oberfläche bildet mehrere Einzelaspekte, die für eine höhere toxikologische Relevanz sprechen, in einem bestimmbar Parameter ab.

Die Autorenschaft geht davon aus, dass die alleinige Nutzung der Partikelzählverfahren die toxikologische Aussagekraft der Messungen nicht ausreichend verbessern wird. In die toxikologische Bewertung sollten deshalb weitere Parameter einfließen.

Bei der gravimetrischen Partikelmassebestimmung wird die Masse des auf einem Filter in einem Teilstrom aufgefangenen Staubes durch das im Teilstrom abgesaugte Volumen dividiert. Da bei EFA mit Festbrennstoffen aufgrund des Chargenabbrandes nur eine begrenzte Messzeit zur Verfügung steht und somit nur ein begrenztes Volumen abgesaugt werden kann, ist die erreichbare Nachweisgrenze limitiert. Je geringer die gesammelte Staubmasse ist, desto höher ist der Anteil absoluter Messabweichungen am Ergebnis. Da die Partikelanzahlmessung sehr geringe Partikelemissionen detektieren kann, bietet sie im Bereich sehr niedriger Staubkonzentrationen deutliche Vorteile. Dieser Umstand führte im Bereich der Kraftfahrzeuge zu einem Umstieg von einer Trübungsmessung (vor EURO6/VI) auf die Bewertung der Partikelanzahl. Aufgrund des Einsatzes hoch effizienter Filtersysteme im Kraftfahrzeugbereich wären die Emissionen ansonsten nicht mehr nachweisbar.

Im Bereich der EFA liegen die derzeit bei der Typprüfung geforderten Partikelemissionsgrenzwerte noch um ein Vielfaches über den üblichen Messunsicherheiten der gravimetrischen Messung durch notifizierte Prüfstellen. Notifizierte Prüfstellen müssen für die Emissionsmessungen nach DIN EN 303-5 eine Messunsicherheit für den Parameter Gesamtstaub von unter  $10 \text{ mg/m}^3$  aufweisen [42].

#### 1.2.4.2 Messverfahren zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung

In der Literatur sind nur vereinzelt Angaben zur Partikelgrößenverteilung von Emissionen aus Scheitholz-Einzelraumfeuerungsanlagen vorhanden [43]. Dabei liegen fast nur Informationen zur Holzverbrennung vor, auf welche hier näher eingegangen werden soll. Für den Brennstoff Kohle liegen keine aktuellen Messungen an Kleinf Feuerungsanlagen in der Literatur vor.

Bei der Bewertung und ggf. einem Vergleich ist der angegebene Durchmesser zu berücksichtigen. Beispielsweise liefert das in der Quelle [43] genutzte Messgerät den aerodynamischen Partikeldurchmesser, während die im Rahmen dieses Vorhabens und für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Kaminöfen eingesetzten Partikelanzahlmessgeräte auf Basis von Kondensationspartikelzählern den elektrischen Mobilitätsdurchmesser verwenden. Die für eine Umrechnung zwischen diesen Durchmessern notwendigen Informationen stehen in der Regel nicht zur Verfügung.

Die Partikelanzahlverteilung von Festbrennstofffeuerungen mit dem Brennstoff Holz wird mit einem Maximum bei ca. 20 nm aerodynamischen Durchmessers / ca. 15nm – 80 nm Elektromobilitätsdurchmesser als bimodal beschrieben, welches aufgrund der extrem kleinen Massen in einer Massenbetrachtung nicht als Maximum sichtbar ist, und einem weiteren Maximum bei ca. 70 nm - 125 nm aerodynamischer Durchmesser / > 120 nm Elektromobilitätsdurchmesser.

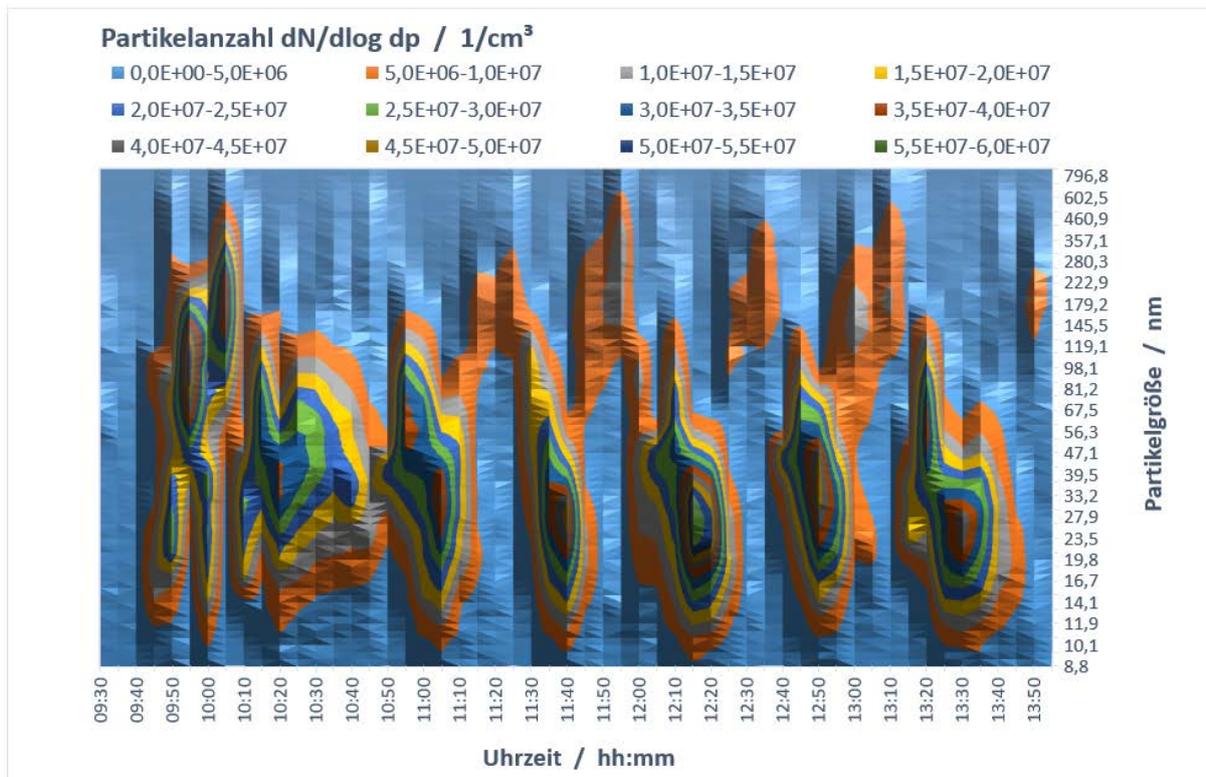
**Tabelle 11: Größenbereich und Zusammensetzung einzelner Feinstaubfraktionen aus Holzfeuerungen**

Bezeichnung	Partikelgröße $d_p$	Anzahl
anorganische Salzpartikel	< 100 nm	Alkali-Salze aus den Komponenten $K^+$ , $Na^+$ , $SO_4^{2-}$ , $Cl^-$ , $OH^-$ , $CO_3^{2-}$ , $NO_3^-$
anorganische Rußpartikel und OC	< 120 nm	Ruß Anlagerung von Organik-Komponenten wie PAK, Phenole und andere semi- bzw. schwerflüchtige OC sowie PCDD/F durch Adsorption
anorganische oxidische Partikel	120 - 10.000 nm	Oxide von Schwermetallen (Zn, Fe, Mn u.a. in Spuren wie Cr, Cu, Pb, Cd) Kondensation von Alkali-Komponenten
anorganische Aschepartikel und unverbrannte Brennstoffpartikel	> 10.000 nm	Erdalkali-/Übergangsmetall-Verbindungen (Ca, Mg, Al, Fe als Oxide, Sulfate, Silikate, Phosphate) Kohlenstoff-Verbindungen

$d_p$ : Partikeldurchmesser

In Abbildung 7 ist schematisch die an einer mit Scheitholz befeuerten EFA auftretende Partikelgrößenverteilung unter  $10 \mu\text{m}$  Elektromobilitätsdurchmesser dargestellt. Die Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen ist aus Tabelle 11 ersichtlich [24].

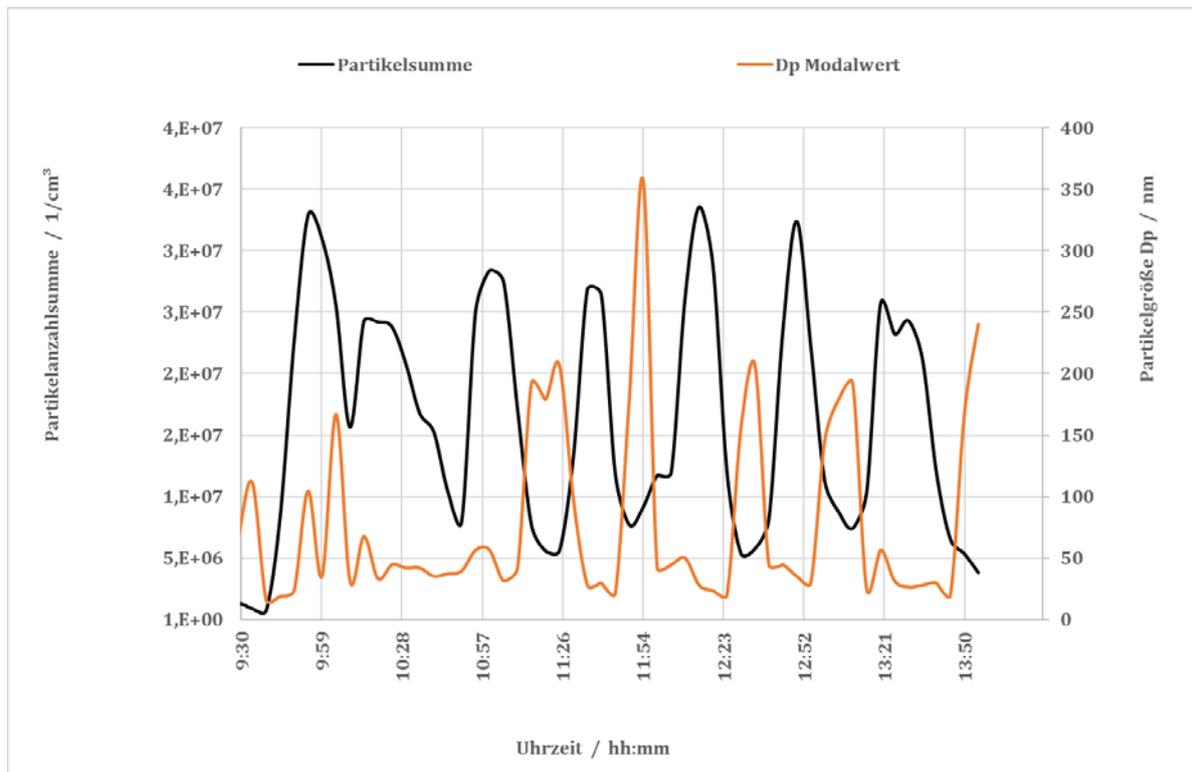
**Abbildung 7: Darstellung der an Biomasse-EFA auftretenden Partikelgrößenverteilung in Form eines Oberflächendiagramms, Uhrzeit auf der x-Achse, Partikelgröße auf der y-Achse, Anzahlkonzentration auf der z-Achse in Form von Farbabstufungen**



Quelle: eigene Darstellung, DBFZ

Die Abbildung 8 zeigt, dass an Biomasse-EFA ein Anzahlkonzentrationsmaximum in der Größenordnung von größer  $10^7 \text{ cm}^{-3}$  im Größenbereich von 15 bis 80 nm auftritt.

**Abbildung 8: Darstellung der an Biomasse-EFA auftretenden Partikelanzahlsumme sowie der zugehörige Modalwert der Partikelgröße**



Quelle: eigene Darstellung, DBFZ

Bezüglich des zeitlichen Verlaufes der Partikelgrößenverteilung lassen sich nach Erfahrungen des DBFZ und anderen Quellen 3 Phasen des Batch-Betriebes feststellen.

In den ersten Minuten nach dem Auflegen / Nachlegen von Scheitholz bei hell leuchtender gelber Flammerscheinung tritt das Anzahlmaximum auf. Der Zeitpunkt der Neuaufgabe von Scheitholz ist erkennbar an den steil ansteigenden Kurvenabschnitten der Partikelanzahlsumme (schwarze Kurve), wobei jeweils kurze Zeit vorher Holz nachgelegt wurde. Diese Phase wird auch **Anbrandphase** genannt. Der Partikelaustritt ist in dieser Phase auf Rußpartikel und schwerflüchtige organische Komponenten aus unvollständiger Verbrennung zurück zu führen. Aber auch flüchtige mineralische Bestandteile wie Kalium und Schwefel werden im Partikelgrößenbereich unter 100 nm durch die thermische Holzzerlegung gebildet.

Die Anbrandphase geht in die **Verbrennungsphase** über. In dieser im Idealfall quasistationären Phase sollte die Verbrennung weitgehend vollständig erfolgen und somit der Anteil von Rußpartikeln und anderer schwerflüchtigen Komponenten im Vergleich zur Anbrandphase geringer sein. Anbrandphase und Verbrennungsphase dauern etwa 20 – 30 Minuten.

Sind durch die pyrolytische Zersetzung des Holzes die flüchtigen Holzbestandteile weitgehend ausgebrannt, werden im sogenannten **Kohleausbrand** ohne sichtbare Flamme mit noch glühender Holzkohle deutlich geringe Anzahlkonzentrationen emittiert, die im Wesentlichen auf anorganische Partikel im Größenbereich über 120 nm zurückzuführen sind. Dieser Zustand tritt

in der Praxis nur beim Beenden des Betriebes der Einzelraumfeuerstätte für eine längere Zeit auf, da der Beginn des Kohleausbrandes in der Regel mit dem empfohlenen Nachlegezeitpunkt zusammenfällt.

Zu berücksichtigen ist, dass sich diese Phasen im Betrieb überlagern. Während ein Teil des Brennstoffes schon in den Kohleausbrand übergeht, ist bei dem anderen Teil des Brennstoffes die Verbrennungsphase noch im vollen Gange. Ab dem Zeitpunkt des ersten Nachlegens befindet sich immer ein Teil des Brennstoffs der vorherigen Auflage im Kohleausbrand.

Ob zwischen Nennlast und Teillast in der Partikelanzahlgrößenverteilung ein Unterschied sichtbar ist, hängt mit den konkreten Verbrennungsbedingungen und der Auslegung der Feuerung bzw. des Feuerraumes ab. Sichtbar würde ein Anstieg der Partikel aus einer unvollständigen Verbrennung. Diese kann bei Nennlast beispielsweise durch einen lokalen Sauerstoffmangel und bei Teillast durch eine zu starke Absenkung der Temperaturen im Brennraum entstehen.

Die nach Wiedensohler zur Bestimmung der Anzahlgrößenverteilung üblichen Messprinzipien sind aus Tabelle 12 ersichtlich [44].

**Tabelle 12: Messverfahren zur Bestimmung der Anzahlgrößenverteilung von Feinstaub [44]**

Messverfahren	aerodynamisches Partikelgrößenpektrometer	optisches Partikelgrößenpektrometer	Mobilitäts-Partikelgrößenpektrometer
Bewerteter Parameter	Partikel-Relaxationszeit (Trägheit)	Lichtstreuung; $D_p >$ als Wellenlänge	elektrischen Mobilität
Partikelgrößenbereich	$d_p > 0,7 \mu\text{m}$	$d_p > 0,3 \mu\text{m}$	$10 \text{ nm} < d_p < 1 \mu\text{m}$
Eignung für die Bestimmung der Anzahlverteilung von Verbrennungsaerosolen	nicht geeignet	nur eingeschränkt geeignet	am besten geeignet für Anzahlverteilungen von Verbrennungsaerosolen

Aufgrund der an Biomasse-EFA zu erwartenden Größenverteilung müssen die Messverfahren sehr kleine Partikel detektieren können. Aus diesem Grund sollten Mobilitäts-Partikelgrößenpektrometer verwendet werden.

Mobilitäts-Partikelgrößenpektrometer werden aufgrund ihrer Eigenschaften in der Immissionsmessung bzw. im Reinraumbereich eingesetzt. Deshalb muss das Messgas bei Messungen an heutigen Biomassefeuerungen vor der Messung zwingend verdünnt werden. Übliche Verdünnungsverhältnisse liegen zwischen 1:100 bis 1:1000.

Der Verdünnungsprozess kann die Partikelanzahl bzw. die Partikelgrößenverteilung stark beeinflussen. So kann bei einem mehrstufigen Verdünnungssystem mit Verdünnungslufttemperierung der Taupunkt entweder gezielt unterschritten werden, so dass gasförmige Abgasbestandteile nukleieren oder sich an vorhandene Partikel anlagern und diese vergrößern. Oder es wird so verdünnt, dass vor der Temperaturverringering die Konzentration dieser gasförmigen Abgasbestandteile derart verringert wird, dass eine Taupunktunterschreitung nicht mehr stattfindet. Während in der Forschung diese Möglichkeiten aktiv genutzt werden, sollte beim Einsatz der Partikelzählung bei der Typprüfung der Verdünnungsvorgang festgelegt und möglichst nicht verstellbar sein.

Aktuelle biomassebetriebene Einzelraumfeuerungen liegen mit ihrer Partikelanzahlkonzentration mit  $10^7 \text{ cm}^3$  bis  $10^8 \text{ cm}^3$  in einem Bereich, in welchem durch

Koagulationseffekte eine Differenzierung der Feuerungen nicht möglich ist [43]. Würde die Partikelanzahlkonzentration um eine Zehnerpotenzen niedriger sein, würde die Koagulation so stark verlangsamt, dass eine Bewertung möglich ist [62].

Messgeräte für die Partikelzählung in einem definierten Größenbereich werden im Automobilbereich eingeführt. In diesen Geräten sind Verdüner und Partikelmessgerät in einem Gehäuse bzw. System verbaut. Der gemessene Größenbereich wird konstruktiv im Gerät eingestellt. Diese Geräte lassen sich nach einer kurzen Einführung einfach bedienen. Aufgrund der Menüführung bzw. fehlenden Einstellmöglichkeiten für das Messpersonal ist ihr Einsatz vergleichsweise einfach und führt für vergleichbare Messbedingungen und bei regelmäßiger Kalibrierung in dieser Anwendung zu weitgehend reproduzierbaren Ergebnissen.

Eine direkte Übernahme zu Messungen an EFA ist jedoch nicht möglich, da die Partikelkonzentrationen aus Kleinf Feuerungsanlagen für biogene Festbrennstoffe um zwei Größenordnungen über den heute im KFZ-Bereich üblichen Konzentrationen liegen.

#### **1.2.4.3 Bewertung der Anwendbarkeit**

Generell lässt sich sagen, dass die Partikelanzahl bei heutigen Emissionsniveaus der EFA ohne weitere Angaben keine große Aussagekraft hat. Aussagen über die Partikelgrößenverteilung bzw. die Partikelzahl in einem bestimmten Größenbereich bringen voraussichtlich einen Mehrwert, wenn die EFA nur eine moderate Partikelanzahl emittiert. Bei zu hohen Partikelkonzentrationen besteht die Gefahr, dass nicht die EFA, sondern vorrangig der Koagulationsprozess und die Verweilzeit der Abgase bewertet werden.

Bei der Typprüfung könnte der Einsatz der Partikelzählung nützlich sein, wenn die Emissionen soweit abgesenkt wurden, dass eine gravimetrische Bestimmung nicht mehr zuverlässig möglich ist. Der Einsatz der Partikelzählung zur Verbesserung der Aussagekraft hinsichtlich möglicher gesundheitlicher Auswirkungen wird in der Forschung sehr kontrovers diskutiert. Hier sollten alternativ Ansätze geprüft werden, die über die Partikelzählung hinausgehen. Die derzeit auf dem Markt befindlichen Messgeräte für Prüfstellen sind für Messungen an modernen Verbrennungsmotoren ausgelegt und eignen sich noch nicht uneingeschränkt für den betrachteten Einsatzzweck. Hier sind Modifikationen notwendig und werden nach Aussage von Herstellern an derartigen Geräten derzeit durchgeführt.

Gegen einen Einsatz im Rahmen von wiederkehrenden Messungen sprechen neben den im Punkt 1.2.3 angesprochenen Punkten insbesondere die Kosten für derartige Geräte. Aktuell kosten die möglicherweise nach einer Modifikation geeigneten Messgeräte zur Partikelzählung mit 30.000 € etwa das Fünffache eines kombinierten Gas- und Staubmessgerätes für das Schornsteinfegerhandwerk, welches für ca. 6.000 € erhältlich ist.

#### **1.2.5 Ermittlung von Handlungsempfehlungen für EFA**

Auf Basis des Endberichts von Tebert, Volz und Töfge [45] zur „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher“ (2016) werden im Folgenden die Anlagengruppen identifiziert die vermeintlich die größten Reduktionspotenziale im Hinblick auf PM<sub>2,5</sub> und NMVOC haben könnten. Hierbei geht es neben der Anzahl der Anlagen, den in diesen Anlagen umgesetzten Brennstoffmengen und den spezifischen Emissionsfaktoren auch darum, wie hoch der Aufwand in der jeweiligen Anlagengruppe ist, um durch organisatorische oder technische Maßnahmen die genannten Emissionen zu mindern.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die genannte Literaturquelle auf einer umfangreichen Datenerhebung beruht, nichtsdestotrotz mit den bekannten Unzulänglichkeiten im Hinblick auf

Bestandsangaben zu den EFA, deren Nutzungshäufigkeit und deren realen Emissionen zu kämpfen hatte. Insofern stehen die im Folgenden dargelegten Erkenntnisse immer unter dem Vorbehalt, dass die in der Studie dargelegten Ergebnisse nicht der Realität entsprechen könnten.

Die Studie stellt fest, dass der Bestand<sup>15</sup> an Festbrennstofffeuerungen (v.a. für Biomasse) von 2005 nach 2010 um 0,2 Mio. auf 14,2 Mio. abgenommen hat (-1%); dabei nahmen Holzkessel (für Pellets, Stückholz, Hackschnitzel) um 0,2 Mio. auf 0,8 Mio. zu (+33%) und Einzelraumfeuerungsanlagen um 0,4 Mio. auf 13,3 Mio. ab (-3%).

Die Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in Deutschland wurden anhand neu ermittelter Emissionsfaktoren und des Energieverbrauchs bestimmt. Für das Jahr 2010 lagen Erhebungsdaten für den Energieverbrauch vor, für die Jahre 2015, 2025 und 2030 wurde der Energieverbrauch auf Basis der Prognosen der „Politiksznarien Klimaschutz VI“ (Matthes et al. 2013) berechnet.

Die Ergebnisse zeigen gegenüber 2005 extrem hohe Emissionen im Bezugsjahr 2010, das durch einen besonders kalten Winter und die verstärkte Nutzung von Kohle und Holz charakterisiert war.

Grundlage der Prognosen sind die zwei Szenarien „Aktuelle Politik“ und „Energiewende“. In beiden Szenarien wird von einem Anstieg der Zahl der Biomassefeuerungen ausgegangen. Die Emissionen der Feuerungen werden im Szenarium „Aktuelle Politik“ jedoch weitgehend fortgeschrieben. Im Szenarium „Energiewende“ wird von einer deutlichen Erhöhung der Anzahl moderner und emissionsarmen Biomassefeuerungsanlagen, insbesondere Pelletkessel, ausgegangen.

In beiden Szenarien geht der Bestand an Einzelraumfeuerungen von 13,8 Mio. Stück im Jahr 2005 auf 13 Mio. Stück zurück. Für den Zeitraum 2011-2030 wird im Szenarium „Energiewende“ von ca. 6,85 Mio. verkauften Einzelraumfeuerungen ausgegangen. Im gleichen Zeitraum werden jedoch 6,14 Mio. Einzelraumfeuerungen, insbesondere ältere Kachel- und Dauerbrandöfen, stillgelegt. Im Szenarium „Energiewende“ wird davon ausgegangen, dass die Altanlagen durch besondere emissionsarme Einzelraumfeuerungen (z.B. Pelletöfen) ersetzt werden. Im Szenarium „Aktuelle Politik“ erfolgt der Ersatz durch Kaminöfen für Scheitholz nach dem aktuellen Stand der Technik.

Für die Prognosen der Jahre 2015, 2025 und 2030 wurde eine hohe Stilllegungsrate der älteren, emissionsintensiven Einzelraumfeuerungsanlagen angenommen, sowie ein allmählicher Austausch von Holzgefeuerten Anlagen, die nicht der 1. BImSchV entsprechen. Auf Basis dieser Annahmen erhöhen sich die NMVOC-Emissionen aufgrund der wesentlichen Erneuerung der Anlagenstruktur zunächst nicht, steigen dann aber in beiden Szenarien, weil zunehmend Holzgefeuerte Anlagen verwendet werden.

Bei Staub (PM<sub>2,5</sub>) kommt es in den Jahren 2015-2030 gegenüber dem Jahr 2005 trotz einer anteiligen Erhöhung der Holzgefeuerten Brennstoffe nicht zu einem Anstieg der Emissionen, weil davon ausgegangen wird, dass staubintensive ältere Anlagen durch emissionsärmere Anlagen auf Holzbasis (v. a. Pelletkessel) ersetzt werden. Bei Stickstoffoxiden, Schwefeldioxid und Kohlenstoffmonoxid sinken die Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen im Zeitraum 2015-2030 gegenüber dem Jahr 2005 deutlich.

Bei den Abschätzungen der Emissionen werden sekundäre Minderungsmaßnahmen noch nicht vollumfänglich berücksichtigt, da diese zum Zeitpunkt der Studie noch nicht in allen Fällen

---

<sup>15</sup> Anm. d. Verf.: Diskrepanz der Zahlen von Tebert und des ZIV, 11 Mio. Bestandsanlagen: Zahlen zum Bestand basieren auf einer Hochrechnung. Durch eine umfangreiche Datenerhebung auf Basis der Kehrbücher der Schornsteinfeger durch den ZIV wurden die Bestandszahlen deutlich nach unten korrigiert.

marktreif waren. Inwiefern die Annahme zu den Emissionsreduktionen bei neuen Anlagen im Realbetrieb zutreffen, ist anhand der Studie nicht zu beurteilen. Auch die Überführung von Kachelöfen in das Kaminofensegment erscheint im Rahmen der Studie hinreichend nachvollziehbar, erschwert aber die Auswertung im Hinblick auf relevante Einzeltechnologiegruppen.

In Tabelle 13 sind die spezifischen Emissionsfaktoren nach Tebert für die Partikelemissionen und die NMVOC in ihrer Entwicklung über die Jahre 2010, 2015, 2025 und 2030 dargestellt. Im Szenarium „Energiewende“ wird für einige Anlagentypen von einem schnelleren Austausch und somit einem geringeren Anlagenalter ausgegangen. Dadurch ergeben sich für diese Anlagen geringere Emissionsfaktoren, welche in der Tabelle nach einem Schrägstrich dargestellt sind.

**Tabelle 13: Emissionsfaktoren für biomassegefeuerte EFA in den Bereichen Haushalte und GHD (inkl. Militär) im zeitlichen Verlauf für PM und NMVOC (Szenario Aktuelle Politik bzw. Energiewende (Zahl nach Schrägstrich bei Abweichungen der Szenarien))**

	Partikel in kg/TJ				NMVOC als C in kg/TJ			
	2010	2015	2025	2030	2010	2015	2025	2030
Dauerbrandöfen	86	86	86	86	273	273	273	273
Kachelöfen	142	117	107	102/97	270	270	270	270
Kamine	144	156	145	138/132	51	51	51	51
Kaminöfen	84	65	38/37	32	179	179	179	179
Pelletöfen	34	29/27	24/22	24/21	5,4	2,5/2,0	1,3/0,6	1,01/0,39
Badeöfen	51	51	51	51	71	71	71	71
Herde	76	54	43/44	40/41	69	69	69	69

GHD: Gewerbe, Handel, Dienstleistung

NMVOC: Nicht-Methan – VOC angegeben als Kohlenstoff

Tabelle 13 zeigt, dass aus Sicht der Emissionsfaktoren vor allem Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine und Kaminöfen zu betrachten wären. Pelletöfen haben erwartungsgemäß sehr niedrige Emissionswerte und können diese auch durch den hohen Automatisierungsgrad regelmäßig halten. Badeöfen und Herde weisen vergleichsweise niedrige Emissionsniveaus bei PM und NMVOC auf. In Verbindung mit nach Tebert sehr niedrigen Nutzungsanteilen bei weiter zurückgehendem Brennstoffeinsatz erscheint eine eingehendere Betrachtung dieses Gerätesegments für diese Untersuchung zweitrangig.

Gemäß den Angaben von Tebert nimmt der Holzeinsatz in Dauerbrandöfen im Bereich der Haushalte und des GHD (inkl. Militär) bis 2015 bereits auf unter 1,5% ab mit weiter sinkender Tendenz, so dass auch hier eine intensivere Betrachtung an dieser Stelle zurückgestellt werden kann.

In Bezug auf den Brennstoffeinsatz gehören die bei Tebert aufgeführten Gruppen Kachelöfen und Kaminöfen zu den wichtigsten Geräten mit über alle Betrachtungsjahre rund 50% Anteil (mit leicht sinkender Tendenz), wobei zumindest für die Feinstaubemissionen der Kaminöfen aufgrund der 1.BImSchV von deutlich sinkenden Emissionen beim Staub ausgegangen wird.

Kamine (offen und geschlossen) sind mit rund 10% Anteil am Holzeinsatz über die Jahre ebenfalls eine prioritär zu betrachtende Gruppe. Bezüglich der Handlungsbedarfe und

Minderungsoptionen finden sich in Tebert keine konkreten weiteren Hinweise. Jedoch können folgende Feststellungen getroffen werden:

**Offene Kamine.** Diese dürfen nur noch gelegentlich benutzt werden, so dass technische Nachrüstungen und Weiterentwicklungen nur wenig Wirkung entfalten können. Viel wesentlicher ist in diesem Zusammenhang die Frage zu sehen, ob offene Kamine nicht grundsätzlich eine technische Einrichtung haben sollten, um beim Nichtbetrieb dicht verschlossen zu werden, da sie ansonsten eine ständige Undichtigkeit in Gebäuden mit entsprechenden Wärmeverlusten darstellen, oder ob ihr Betrieb sogar mit einer Übergangsfrist komplett verboten werden sollte.

**Geschlossene Kamine.** Aufgrund der meist großvolumigen Ausführung und dem meist ungünstigen Breiten-zu-Höhen-Verhältnis weisen diese Geräte häufig heiße Luftmangelzonen und kalte Abkühlzonen auf, so dass Ruß und andere organische Emissionen in besonderem Maße auftreten können, wie sich auch in der Tabelle 13 zeigt. Aufgrund der Baugröße bietet sich bei den Kaminen jedoch häufig die Option der Nachrüstung eines modernen Heizeinsatzes an, der die Emissionen deutlich senken kann. Soll der eigentliche Kamincharakter erhalten bleiben ist die Integration von Nachbrennkammern mit Luftregelung und katalytischen Emissionsminderungseinrichtungen empfehlenswert. Zur Vermeidung von erhöhten Staubemissionen im Innenraum kann es sinnvoll sein ein Saugzuggebläse am Schornsteinkopf zu integrieren, um beim Öffnen der großen Türen den Schornsteinzug bei ungünstigen Wetterbedingungen nicht zu stark zu schwächen. Über die Einweisung in der 1. BImSchV hinausgehende Schulungen erscheinen nur bedingt zielführend, da starke Fehlbedienungen i. d. R. zu unangenehmen Situationen im Wohnraum und im Anblick führen, während gleichzeitig die Konstruktion nicht darauf ausgelegt ist sehr emissionsarm betrieben werden zu können.

**Kachelöfen.** Eine deutliche Emissionsminderung kann auch hier mittels moderner Heizeinsätze für einen Füllfeuerungsbetrieb erreicht werden, soweit diese einbaubar sind. Daneben steht die Möglichkeit der Nachrüstung von katalytischen Emissionsminderungsansätzen und nachgeschalteten Staubabscheidern. Aufgrund der Einbaubedingungen können hier insbesondere Aufdachlösungen für Abscheider interessant werden. Besondere Schulungen könnten helfen das regelmäßige Heizen zu verbessern, insbesondere im Hinblick auf mögliche Versuche zum Gluterhalt über die Nacht hinweg.

**Kaminöfen.** Diese Bezeichnung dürfte bei Tebert eine große Zahl an unterschiedlichen Anlagentypen umfassen und kann daher nicht in aller Kürze abschließend betrachtet werden. Mit einem nach Tebert wachsenden Holzeinsatz von bis zu 35% in Haushalten und GHD (inkl. Militär) sollten gerade in dieser Produktgruppe alle möglichen Maßnahmen zur Emissionsminderung ergriffen werden. Irritierend ist in der obigen Tabelle 13, dass zwar von einer deutlichen Feinstaubminderung über die Jahre bis 2030 ausgegangen wird, dass aber gleichzeitig die NMVOC auf dem gleichen spezifischen Niveau verharren. Je nach Bauform (leichtes Gehäuse, kleine Feuerräume, wenig Speichermassen, kurze Abbrandphasen) neigen Kaminöfen zum Teil zu sehr empfindlichen Reaktionen auf die Einflüsse der Betreibenden. Insofern besteht gerade bei diesen Geräten ohne automatisierte Luftregelung ein erhöhtes Risiko, dass die realen Emissionen deutlich über dem Messniveau der Typenprüfung liegen. Dieses Risiko scheint durch die Verschärfung der Grenzwerte in der Typenprüfung nicht geringer geworden zu sein.

Verbunden mit der möglichen Abweichung zwischen Typprüfung und Nutzbetrieb und der Vielfalt der Anlagen und der Einbausituationen beim Kunden ist es schwierig allgemeingültige Betriebsempfehlungen aufzustellen. Vielmehr ist hier eine noch intensivere Einweisung durch das Schornsteinfegerhandwerk angeraten (z. B. gemeinsames Anfeuern). Unabhängig davon ist

der Einsatz von automatischen sensorgestützten Luftregelungen sehr zu empfehlen. Ergänzend können dann noch katalytische Emissionsminderungen und nachgeschaltete Staubabscheider zum Einsatz kommen, um sicher auch im realen Betrieb niedrige Emissionen zu erreichen.

Auch sind verstärkt innovative Feuerungskonzepte am Markt zu etablieren (z.B. Unterbrandfeuerungen).

## 2 Arbeitspaket 2: Stand der Technik und Ausblick

### 2.1 Kontinuierliche Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungstechnik

Um die Effekte des Verhaltens der Betreibenden bei einer EFA zu erfassen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die Messung von Betriebszeiten und Abgastemperaturen ist durch den Einsatz geeigneter Thermoelemente möglich. Auch im Hinblick auf ein kontinuierliches Monitoring von gasförmigen Emissionen sind bereits verschiedene Sensoren am Markt verfügbar, die im Industriebereich seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt werden. Diese sind aktuell für den Einsatz an EFA jedoch wirtschaftlich noch nicht tragbar [46]. Der Grund hierfür ist der fehlende Markt für Sensorik, der sich durch entsprechende Anreize und gesetzliche Vorgaben jedoch entwickeln könnte. Nur durch eine steigende Nachfrage an entsprechender Sensorik sind Sensorhersteller in der Lage, Investitionen in die Entwicklung kostengünstiger und robuster Sensoren für Festbrennstofffeuerungen zu tätigen. Ohne Anreize und Gesetze ist das wirtschaftliche Risiko zu groß, weil damit kein ausreichender Marktabsatz absehbar ist.

Steuern und Regeln sind Mechanismen, die sich im Wirkungsablauf erheblich unterscheiden. Nach DIN 19226 sind Steuerung bzw. Regelungen folgendermaßen definiert:

Das **Steuern**/die **Steuerung** - ist ein Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als **Eingangsgrößen** andere Größen als **Ausgangsgrößen** auf Grund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen. Kennzeichen für das Steuern ist der **offene Wirkungsablauf** über das einzelne Übertragungsglied oder die Steuerstrecke.[63]

Das **Regeln**/die **Regelung** ist ein Vorgang bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe (**Regelgröße**), fortlaufend erfasst, mit einer anderen Größe, der **Führungsgröße** verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Kennzeichen für das Regeln ist der **geschlossene Wirkungsablauf**, bei dem die Regelgröße im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst [63].

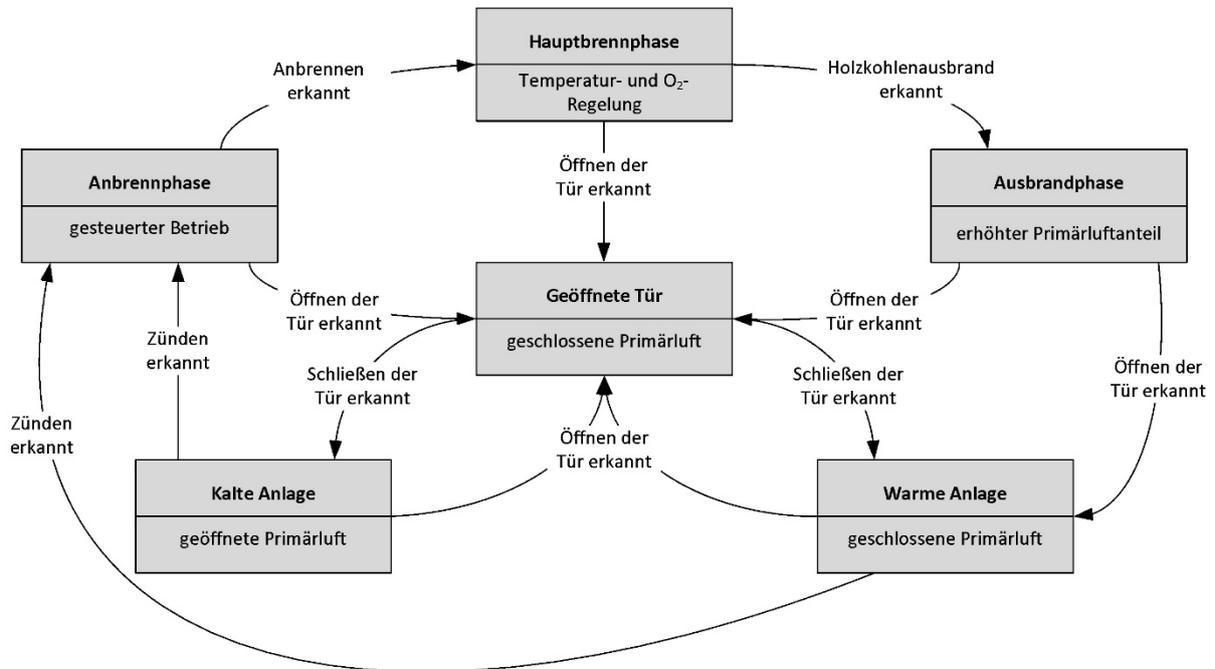
Die **Überwachung** ist ein Vorgang, bei dem eventuelle **Abweichungen** zwischen beobachtbaren **Istzuständen** und vorzugebenden bzw. zu ermittelnden **Sollzuständen festgestellt** und **beurteilt** werden soll. Dies erfolgt zum Zweck der Fehlerentdeckung und Fehlervermeidung sowie dem Erlangen von Informationen, die der Entscheidungsverbesserung all derjenigen dienen können, die über das Ergebnis einer Überwachung unterrichtet werden.

Im Hinblick auf Feuerungsanlagen erfolgt vor allem die Überwachung von Emissionen an Festbrennstoffkesseln durch das Schornsteinfegerhandwerk, in Form einer punktuellen, wiederkehrenden Messwerterfassung, -verarbeitung und -auswertung nach vorgegebenen Kriterien und unter Berücksichtigung verschiedener Einflussgrößen.

Da EFA nicht automatisch beschickt werden, unterliegen sie dem speziellen Verbrennungsablauf des Chargenabbrandes. Dieser wird in drei unterschiedliche Phasen, die Anbrennphase, die Hauptbrennphase und die Ausbrandphase unterteilt. Entsprechende für EFA verfügbare Abbrandregler zielen darauf ab, dass in jeder dieser Phasen optimale Verbrennungsbedingungen ermöglicht werden. Auf diese Weise sollen die Emissionen minimiert bzw. der Wirkungsgrad der Feuerung maximiert werden. Des Weiteren müssen neben den drei Abbrandphasen auch noch das Nachlegen, das Öffnen und Schließen der Ofentür und viele weitere Detailzustände bzw. Zustandsänderungen berücksichtigt werden. Meist erfolgt die Regelung durch eine Beeinflussung der Stellklappen für die unterschiedlichen Luftströme (Primär-, Sekundär-, Spülluft). Als Sensoren werden überwiegend Temperatursensoren, in seltenen Fällen auch Lambdasonden verwendet. Der Abbildung 9 kann ein einfaches Beispiel für eine

grundlegende Struktur einer Steuerung mit integrierter Regelung für die Hauptbrennphase eines Kaminofens entnommen werden.

**Abbildung 9: Exemplarische Grundstruktur einer Steuerung mit integrierter Regelung für die Hauptbrennphase eines Scheitholzofens basierend auf einem Zustandsautomaten nach [62]**



Aktuell sind am Markt für EFA vor allem einfache Steuerungen, die von verschiedenen Herstellern angeboten werden, verfügbar. Dabei handelt es sich zumeist um Temperatursteuerungen. Diese basieren vorwiegend auf sogenannten Zustandsautomaten, wobei aus den aufgenommenen Messwerten und den zeitlichen Veränderungen auf den Zustand des Ofens sowie des Abbrandes rückgeschlossen wird. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es jedoch noch keine standardmäßige Vorgehensweise um die einzelnen Abbrandphasen und die Übergänge der einzelnen Phasen, sowie um die jeweils umzusetzenden Maßnahmen zu erkennen. Des Weiteren unterscheiden sich die Anlagen verschiedener Hersteller teilweise erheblich. Die aus verbrennungstechnischer Sicht in den jeweiligen Abbrandphasen umzusetzenden Maßnahmen unterscheiden sich bei den gegenwärtig angebotenen Regelungen unterschiedlicher Hersteller nicht. Nachfolgend sind einige der am Markt verfügbaren Abbrandsteuerungen aufgelistet:

- ▶ Drooff Kaminöfen GmbH & Co. KG: Abbrandsteuerung FIRE+
- ▶ Spartherm Feuerungstechnik GmbH: Abbrandsteuerung S-Thermatik NEO
- ▶ LEDA Werk GmbH & Co. KG Boekhoff & Co: LEDATRONIC - Elektronische Steuerung
- ▶ Ulrich Brunner GmbH: Elektronische Abbrandsteuerung EAS
- ▶ Wodtke: Wodtke Air Control

Eine Regelung wurde von der Firma HARK GmbH & Co. KG Kamin- und Kachelofenbau vertrieben. Diese bestimmt mittels einer Lambdasonde permanent den Sauerstoffgehalt im Abgasstrom. Die Brennraum- und Abgastemperatur wird mittels Temperaturfühlern ebenfalls erfasst. Aus diesen Daten errechnet die Steuerelektronik die optimalen Einstellwerte und vergleicht diese mit den tatsächlich gemessenen Werten. Bestehen zwischen den gemessenen Istwerten Abweichungen zu den vorgegebenen Sollwerten, werden die Sekundär- und Primärluft automatisch nachgeregelt. Dieses System einer Ofenregelung stellt im Bereich der EFA gegenwärtig eine Ausnahme dar. Der damit ausgestattete Ofen ist zurzeit aufgrund zu geringer Kundennachfragen nicht mehr erhältlich.

Monitoringsysteme zur kontinuierlichen Emissionsüberwachung an EFA sind zum derzeitigen Zeitpunkt nicht kommerziell am Markt verfügbar. Lediglich eine kontinuierliche Erfassung von Betriebstemperaturen sowie -drücken ist mittels der zuvor beschriebenen Steuerungen möglich. Im Rahmen zweier durch das BMEL und des BMWi geförderter Forschungsvorhaben wurden jedoch zwei CO-basierte Regelungs- und Überwachungssysteme für Biomasseheizkessel entwickelt. Beide Systeme befinden sich gegenwärtig noch im Demonstrationsstatus.

Eines dieser zwei Forschungsvorhaben war das Verbundvorhaben „Sensorgestützte Verbrennungsluftregelung zur Minimierung der Emissionen von Biomasseheizkesseln“ (FKZ: 22037314) [46], in dessen Rahmen das Projektkonsortium ein intelligentes Feuerungsprozess-Regelungs- und Monitorsystem für automatisch beschickte Feuerungsanlagen für feste Biomasse-Brennstoffe, mit dem die in der 1. BImSchV ab 2015 festgelegten Grenzwerte weit unterschritten werden können, entwickelte. Diese Entwicklung soll gleichermaßen auch für manuell betriebene EFA einsetzbar sein. Neben der erheblichen Reduktion sowohl der gasförmigen als auch der partikulären Emissionen durch innovative Verbrennungsluftregelung auf der Basis von kontinuierlicher Abgasanalyse durch geeignete, in-situ fähige Gassensoren, sollen insbesondere auch sich abzeichnende Fehlfunktionen, bzw. Wartungs- und Prozesszustände der Feuerungsanlagen über einen sogenannten Feuerungsmonitor angezeigt werden (optisches und akustisches Signal durch ein ggf. in der Feuerung integriertes Gerät).

Im zweiten Forschungsvorhaben „Kombinationssystem - Intelligentes Kombinationssystem zur regelungstechnischen Optimierung der Verbrennung und zur Vermeidung der Fehlbedienung in Biomasseheizkesseln“ (FKZ: 03KB109A) [48] wurde ein Kombinationssystem zur frühzeitigen Erkennung von Fehlbedienungen und Bewertung von Verbrennungsprozessen entwickelt. Der Fokus lag im Unterschied zum Verbundvorhaben „Sensorgestützte Verbrennungsluftregelung zur Minimierung der Emissionen von Biomasseheizkesseln“ nicht auf der Verbrennung selbst, sondern vorrangig im Zusammenspiel zwischen den in einem Heizungssystem vorhandenen Komponenten. Das im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Kombinationssystem soll den Betrieb von Biomasseheizkesseln energetisch und wirtschaftlich optimieren und auf diese Weise eine Reduzierung von Schadstoffen erzielen. Dieses System wurde speziell für den Einsatz an Biomasseheizkesseln entwickelt. Eine Aussage, ob es auch für einen Einsatz an manuell betriebenen EFA geeignet ist, kann aus den zur Verfügung stehenden Veröffentlichungen nicht abgeleitet werden.

Für die Überwachung, Regelung bzw. Steuerung von EFA stehen gegenwärtig die zuvor beschriebenen Möglichkeiten zur Verfügung. Regelungssysteme für Kesselanlagen könnten modifiziert in EFA mit Wärmeauskopplung in ein Heizsystem und / oder mit Komponenten wie beispielsweise Rauchsaugern eingesetzt werden. Diese könnten zukünftig, vor allem im Hinblick auf die Reduktion des Nutzereinflusses, ein erhebliches Verbesserungspotenzial darstellen. In der Praxis werden diese Systeme an EFA bisher jedoch nur in geringem Maße eingesetzt. Diesem Zustand kann zukünftig insbesondere durch Anreizprogramme für die Betreibenden bzw. eine gezielte Gesetzgebung entgegengewirkt werden.

Um die Wirksamkeit von automatischen Verbrennungsluftsteuerungen oder -regelungen besser beurteilen zu können, ist die Entwicklung eines speziellen Prüfablaufs unabdingbar. Des Weiteren ist zusätzlich eine Norm zur Sicherstellung der Wirksamkeit von Regelungen und Steuerungen erforderlich. Diese Vornorm wurde im Oktober 2019 als DIN SPEC 18843-1 „Häusliche Geräte für feste Brennstoffe - Verbrennungslufteinrichtungen - Steuerungen und Regelungen für Einzelraumfeuerstätten - Teil 1: Elektrisch betriebene, temperaturgeführte Verbrennungslufteinrichtungen“ erstellt [47]. Zukünftig soll diese Vornorm zur Bewertung für automatische Verbrennungsluft-Steuerungen und -Regelungen von chargenweise handbeschickten EFA für feste Brennstoffe dienen.

Die wesentlichen Inhalte dieser Vornorm sind nachfolgend kurz zusammengefasst.

Zusammen mit der EFA sollen diese eine Funktionseinheit bilden und aus diesem Grund auch gemeinsam mit der EFA geprüft werden. Die Vornorm berücksichtigt dabei Verbrennungsluftregelungen bzw. Steuerungen mit elektrisch betriebenen, temperaturgeführten Sensoren, Steuer-/Regeleinheiten und Aktoren. Ausgenommen sind die nachfolgend aufgeführten Punkte:

- ▶ Zusatzfunktionen (z. B. Datalogger, zusätzliche Information über Nachlegezeitpunkt, Überheizung etc.)
- ▶ Mechanisch arbeitende Steuerungen/Regelungen (z.B. Bimetall, Kapillarthermostate);
- ▶ Steuerungen/Regelungen, die den Wärmebedarf (z. B über die Raumtemperatur oder eine Wassertemperatur in Wasserspeichern) als Steuer- oder Regelgröße für die Verbrennungsluft verwenden;
- ▶ Steuerungen/Regelungen, die eine automatische Brennstoffzündung oder -zufuhr bewirken;
- ▶ Steuerungen/Regelungen, die Abgaskomponenten als Steuerungs- oder Regelgröße haben.

Die Prüfung soll im Rahmen der Typprüfung der EFA nach der entsprechenden Feuerstättennorm von CEN/TC 295 unter Nennlast und ggf. auch Teillast der EFA erfolgen.

Die lange Liste der Ausschlüsse begrenzt hiernach prüfbare Systeme auf ein sehr enges Band technischer Lösungsoptionen und schränkt die mögliche Wirksamkeit erheblich ein.

## **2.2 Qualitätssicherung im Lebenszyklus**

### **2.2.1 Aktuell verpflichtend vorgesehene Maßnahmen zur Qualitätssicherung**

Folgende Maßnahmen zur Qualitätssicherung im Lebenszyklus sind verpflichtend vorgesehen:

- ▶ Typprüfung
- ▶ werkseigene Produktionskontrolle
- ▶ Abnahme der Feuerstätte nach dem Einbau durch die bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegerin oder den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger

- ▶ regelmäßige Sichtprüfung durch die bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegerin oder den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger im Rahmen der Feuerstättenschau
- ▶ Marktüberwachung von Bauprodukten nach der EU-Bauprodukteverordnung und der Ökodesign-Verordnung EU 2015/1185 für Raumheizer

#### **2.2.1.1 Typprüfung**

Nach EU-Bauprodukteverordnung (EU-BauPVO) [49] wird eine Typprüfung durch eine unabhängige notifizierte Stelle gefordert. Diese prüft, ob der vorgestellte Prüfling die in der Leistungserklärung des Herstellers angegebenen Eigenschaften erfüllt. Im Rahmen der Typprüfung wird auch die Bedienungsanleitung der EFA begutachtet.

Auf die Typprüfung wird an anderer Stelle detaillierter eingegangen.

#### **2.2.1.2 Werkseigene Produktionskontrolle**

Im Rahmen der EU-BauPVO [49] wird eine werkseigene Produktionskontrolle gefordert deren Details in harmonisierten Normen und Europäischen Bewertungsdokumenten festgelegt werden sollen. Es werden mehrere Systeme der Überwachung vorgestellt, wobei ein Unterscheidungskriterium die Überwachung der werkseigenen Produktkontrollen durch eine notifizierte Prüfstelle ist.

In der DIN EN 16510 [6] werden die Anforderungen an die Dokumentation und regelmäßige Prüfungen für häusliche Feuerstätten für feste Brennstoffe festgelegt. Ziel dieser Produktionskontrolle ist es sicherzustellen, dass die in der Leistungserklärung des Herstellers angegebenen Werte nicht nur durch den Prüfling, sondern durch alle in Verkehr gebrachten Produkte erfüllt werden. Nach DIN EN 16510 beträgt die Mindestprüfhäufigkeit eine von 1000 hergestellten EFA oder eine EFA in zwei Jahren. Es muss jedoch „nur geprüft werden, ob die Proben hinsichtlich Konstruktion und Herstellungsvorgang der typgeprüften Feuerstätte entsprechen. Das kann z. B. anhand von Zeichnungen erfolgen. Für eine Typprüfung der Proben besteht keine Notwendigkeit“ [6]. Nach dieser Norm ist auch keine Überwachung der werkseigenen Produktkontrolle durch eine notifizierte Stelle vorgesehen.

#### **2.2.1.3 Abnahme der Feuerstätte durch die bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegerin oder den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger**

In einigen Landesbauordnungen ist vorgesehen, dass nach Anschluss einer EFA der Bauherr eine Bescheinigung der bevollmächtigten Bezirksschornsteinfegerin oder des bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger über den ordnungsgemäßen Zustand des Schornsteins und der Eignung des Schornsteins für die installierte EFA vorzulegen hat [50]. Auch die bundesweit gültige 1. BImSchV [51] fordert bei neuen und wesentlich geänderten Feuerungsanlagen eine Überprüfung durch die bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegerin oder den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger. Ferner ist nach Neueinrichtung oder Betreiberwechsel einer handbeschickten Feuerungsanlage für feste Brennstoffe eine Beratung hinsichtlich des ordnungsgemäßen Betriebs der Feuerung vorgeschrieben.

Die Dokumentation erfolgt mittels der in der Kehr- und Überprüfungsordnung – KÜO [53] enthaltenen Formblätter.

Es ist somit davon auszugehen, dass offensichtliche Mängel durch das Schornsteinfegerhandwerk erkannt werden. Nichtoffensichtliche Mängel sind hingegen kaum zu erkennen, da keine Messungen von Emissionen vorgeschrieben sind.

Eine Möglichkeit einige nichtoffensichtliche Mängel zu erkennen wäre die Durchführung von Dichtheitsprüfungen im Rahmen der Feuerstättenschau oder bei Neuinstallation um den ordnungsgemäßen Zustand. Im einfachsten Fall erfolgt eine Prüfung der Dichtheit der Feuerraumtür durch den „Papiertest“ bei dem in die Tür ein Streifen Papier geklemmt wird. Dieser darf sich nur schwer herausziehen lassen. Aussagekräftiger sind Dichtheitstests, bei denen der Leckagevolumenstrom der Feuerung bei einem gegebenen Differenzdruck zur Umgebung bestimmt wird. Dieser Wert könnte beispielsweise mit einem vom Hersteller gegebenen Sollwert verglichen werden. Letztere Möglichkeit könnte insbesondere vor der Installation der Feuerung am geplanten Aufstellort zur Anwendung kommen. Für betriebsbereit angeschlossene Feuerungen ist dieses Verfahren nur bedingt geeignet, da für die Messungen der Abgasstutzen der Feuerstätte verschlossen werden muss.

#### **2.2.1.4 Regelmäßige Sichtprüfung durch die bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegerin oder den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger im Rahmen der Feuerstättenschau**

Gemäß dem Schornsteinfeger-Handwerksgesetzes (SchfHwG) [54] erfolgt zweimal in sieben Jahren (der Dauer der Bestellung als bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegerin oder bevollmächtigter Bezirksschornsteinfeger) eine Feuerstättenschau. Diese darf frühestens drei Jahre und soll spätestens fünf Jahre nach der letzten Feuerstättenschau durchgeführt werden.

Auch bei dieser Sichtprüfung wird die Schornsteinfegerin oder der Schornsteinfeger offensichtliche Mängel aufdecken. Der zunehmende Einsatz von verschleißenden Elementen wie motorisch bewegten Klappen, Sensoren oder Katalysatoren erfordert ggf. über eine Sichtprüfung hinausgehende Prüfhandlungen der Schornsteinfegerin oder des Schornsteinfegers, die bisher nicht üblich sind. Geprüft werden könnten beispielsweise:

- ▶ Probefeuern
- ▶ Plausibilitätstest von Sensoren (Temperatur, Sauerstoffgehalt) bei Raumluft und im Betrieb der Feuerstätte
- ▶ Funktionstest von automatischen Klappen ggf. in Verbindung mit einer Dichtheitsprüfung
- ▶ Prüfung von Haltbarkeitsdaten von Bauelementen z.B. Katalysatoren
- ▶ Funktionsfähigkeit von Sensoren bzw. Steuerung und Regelung
- ▶ Einsatzfähigkeit und Funktionsfähigkeit eines Abscheiders (wenn vorhanden)

#### **2.2.1.5 Marktüberwachung von Bauprodukten nach der EU-Bauprodukteverordnung und Ökodesign-Verordnung**

Zur Marktüberwachung existiert in Deutschland ein „zentral-dezentrales System“ [55]. Neben den Marktüberwachungsbehörden der Bundesländer sichert das DIBt die einheitliche Prüfung und Bewertung.

In den Jahren 2014 bis 2016 wurden planmäßig sowie aufgrund von Anzeigen möglicher Verstöße auch in der Produktgruppe „Raumerwärmungsanlagen“, zu welcher auch EFA gehören, Kontrollen durchgeführt. Darüber hinaus wurden aufgrund von Meldungen des Zolls von 2014 bis 2016 in dieser Produktgruppe 51 Marktüberwachungsverfahren eingeleitet. Abweichungen ergaben sich u.a. in den Bereichen Brandsicherheit und Emissionen [55]. Für das Jahr 2019 sind keine aktiven Kontrollen für Raumheizer für feste Brennstoffe vorgesehen [60].

2016 hat das DIBt ein Informationsblatt für das Schornsteinfegerhandwerk zur Marktüberwachung harmonisierter Bauprodukte im Bereich Raumwärmungsanlagen/Feuerungsanlagen herausgegeben und 2017 aktualisiert [59].

In diesem Rahmen ist auch die Marktaufsicht nach Ökodesign-Verordnung EU 2015/1185 für Raumheizer zu nennen [61].

#### **2.2.1.6 Bewertung der verpflichtend vorgesehenen Maßnahmen**

Nach der Typprüfung wird die EFA bei Inbetriebnahme und regelmäßig bei der Feuerstättenschau einer Sichtprüfung durch Fachpersonal unterzogen. Die Anzahl der Prüfungen kann, insbesondere bei nur gelegentlich betriebenen EFA als ausreichend angesehen werden.

Probleme treten auf, wenn:

- ▶ der Mangel durch eine Sichtprüfung nur schwer oder nicht entdeckt werden kann und/oder
- ▶ der Mangel bemerkbar ist, jedoch davon ausgegangen wird, dass der zur Typprüfung vorgestellte Prüfling diesen Mangel auch hatte und/oder
- ▶ ein bemerkter und gemeldeter Mangel nicht zu geeigneten Maßnahmen der zuständigen Behörden führt.

Folgende Maßnahmen könnten Abhilfe schaffen:

- ▶ Die Hersteller der EFA erstellen in Zusammenarbeit mit einem Sachverständigen für jede EFA eine Checkliste mit den zur Bewertung der Funktionsfähigkeit der EFA zu prüfenden Komponenten. Diese wird in geeigneter Form den Betreibenden und dem Schornsteinfegerhandwerk zur Verfügung gestellt.
- ▶ Es werden weitere geeignete messbare Merkmale für eine Prüfung definiert. Dies könnte z. B. der Leckagevolumenstrom bei geschlossenen Luftschiebern sein. Dieser wird von einigen Labels im Rahmen der Produktionskontrolle des freiwilligen HKI-Qualitätszeichens gefordert [10][64]. Wird der vom Hersteller zugelassene Leckagevolumenstrom überschritten, liegt offensichtlich ein Fehler vor.
- ▶ Für Baugruppen mit Standzeiten bzw. Lebensdauern, welche deutlich unterhalb der vorhersehbaren Nutzungszeit der EFA liegen, z. B. Katalysatoren, sollten durch den Hersteller ggf. in Zusammenarbeit mit einem Sachverständigen Fristen für intensivere Prüfungen und/oder Austauschfristen festgelegt werden.
- ▶ Die Vorgehensweise im Vollzug der gesetzlichen Regelungen sollte zwischen den Kommunen besser abgestimmt und vereinheitlicht werden. Zu Verstimmungen führt insbesondere, dass bei durch das Schornsteinfegerhandwerk an die zuständigen Behörden gemeldeten Mängeln von Kommune zu Kommune teilweise sehr unterschiedliche Maßnahmen angeordnet werden.

Eine Marktüberwachung durch die zuständigen Behörden findet statt. Jedoch sollte geprüft werden, ob geplante Prüfungen nicht in höherer Anzahl durchgeführt werden sollten.

Insbesondere vor dem Hintergrund, dass eine einmal installierte fehlerhafte EFA nicht mehr vermessen wird und über viele Jahre eine Sicherheits- und Gesundheitsgefahr darstellen kann.

## **2.2.2 Weitere mögliche qualitätssichernde Maßnahmen**

Neben den gesetzlich verpflichtenden Maßnahmen bestehen eine Reihe weiterer Möglichkeiten die Qualität der EFA und den bestimmungsgemäßen Betrieb zu sichern.

### **2.2.2.1 Sicherung des Informationsflusses über den optimalen Betrieb der Feuerung**

Im Bereich der notifizierten Prüfstellen liegt das notwendige Expertenwissen für einen zumindest bei festem Förderdruck optimalen Betrieb der Feuerstätte vor. Auch viele Hersteller haben auf eigenen Prüfständen umfangreiches Wissen zu ihren Anlagen und deren optimalem Betrieb gesammelt. Die Herausforderung besteht darin, dieses Wissen über Hersteller und Handel an die Nutzenden von EFA zu übermitteln.

Einige Prüfstellen fügen schon jetzt detaillierte Informationen in Form von Beschreibungen und Fotodokumentationen zum optimalen Betrieb der konkreten EFA unter Prüfbedingungen ihren Prüfberichten bei. In den Bedienungsanleitungen ist von diesen speziell auf die EFA zugeschnittenen Informationen meist nur ein Bruchteil enthalten. Beispielsweise enthalten viele Bedienungsanleitungen nur noch vage Angaben zum richtigen Nachlegezeitpunkt und zur optimalen Scheitgröße und Scheitabstand.

Zur Sicherung des Informationsflusses würde es sich anbieten, den richtigen Betrieb der EFA in Internetvideos ggf. im Rahmen der Typprüfung aufzunehmen und kostenlos den Betreibenden zur Verfügung zu stellen.

### **2.2.2.2 Verpflichtende Beratungsgespräche vor dem Kauf einer EFA**

Im Rahmen des durchgeführten Projektes wurden überwiegend positive Erfahrungen mit der Beratung im Handel gemacht. Hervorzuheben ist die häufig frühzeitig gestellte Frage, ob Kaufende schon mit der zuständigen Schornsteinfegerin oder dem zuständigen Schornsteinfeger gesprochen haben. Auch das aktive Fragen Verkaufender nach dem Wärmebedarf des Aufstellungsraumes schützt Kaufende vor einem möglichen Fehlkauf einer überdimensionierten EFA und später einem unnötig emissionsstarken Betrieb.

In Fachgeschäften und Baumärkten findet im Zusammenhang mit dem Verkauf in der Regel immer ein Verkaufsgespräch statt. Im Onlinehandel sind „Verkaufsgespräche“ nicht vorgesehen. Hier sollte geprüft werden, ob zumindest ein direkter Kontakt zwischen Kaufenden und Verkaufenden beispielsweise mittels E-Mail, Chat oder Videoverbindung vorgeschrieben werden sollte.

Des Weiteren sollten durch regelmäßige Schulungsmaßnahmen ggf. in Zusammenarbeit mit Hersteller, Handel und Schornsteinfegerhandwerk versucht werden die Qualität der Beratung auf einem hohen Niveau zu stabilisieren.

### **2.2.2.3 Kompetente erreichbare Kontaktpersonen für Fragen der Verbrauchenden**

Beim ersten Betrieb der EFA, nach längeren Betriebspausen und nach Informationsaustauschen mit anderen Betreibenden kommt es bei einigen EFA-Betreibenden zu Fragen, welche geklärt werden müssen.

Als Anlaufstelle bieten sich derzeit der Handel oder wenn ersichtlich, die Herstellerfirma der EFA an. Ob kurzfristig eine kompetente Kontaktperson zur Verfügung steht, ist jedoch u. a. von der Unternehmensgröße und dem Spezialisierungsgrad des Unternehmens abhängig.

Um den Betreibenden immer eine kompetente Kontaktperson bieten zu können, sollte geprüft werden, in wieweit eine „Feuerungs-Hotline“ ggf. in Verantwortung der Herstellerverbände geschaltet werden kann. Der Vorteil einer einheitlichen Hotline ist auch die Möglichkeit einer anonymen Frage, welche ggf. derzeit unsichere Betreibende zu Rückfragen ermutigt.

#### 2.2.2.4 Einhaltung höherwertigerer Anforderungen

Für einige Einsatzgebiete bestehen strengere Vorgaben. Beispielsweise bestehen für Kaminöfen, welche für einen raumluftunabhängigen Betrieb vorgesehen sind, derzeit erweiterbare bauaufsichtliche Vorschriften, welche zusätzliche Prüfungen und strengere Qualitätskontrollen vorschreiben. Hier sind insbesondere erhöhte Dichtheitsanforderungen und unabhängige Produktionskontrollen zu nennen.

Durch diese zusätzlichen Anforderungen sind die Hersteller gezwungen, sich tiefer mit einigen konstruktiven Details auseinanderzusetzen. Häufig ist es so, dass dadurch Lösungen entwickelt werden, welche die Öfen auch bei einem raumluftabhängigen Betrieb verbessern.

Es sollte geprüft werden, ob einige dieser Anforderungen zum Beispiel durch Aufnahme in die 1. BImSchV auch im Allgemeinen Anwendung finden sollten.

### 2.3 Label / Lokale Anforderungen

Für den deutschen Markt gab es eine Reihe von Verordnungen hinsichtlich der Nutzung von EFA. Diese regulierten hauptsächlich die Errichtung bzw. den Betrieb von ortsfesten Feuerstätten für feste Brennstoffe. In den Städten Regensburg, Aachen, München und Düsseldorf mussten aufgrund der jeweiligen Verordnungen die Grenzwerte der zweiten Stufe der 1. BImSchV bereits vor deren Inkrafttreten eingehalten werden. Die im Rahmen der zuvor aufgezählten Verordnungen geltenden Emissionsgrenzwerte sind nachfolgend in der Tabelle 14 aufgelistet.

Des Weiteren gibt es eine Verordnung der Landesregierung Baden-Württemberg vom 31.01.2017 über Betriebsbeschränkungen für kleine Feuerungsanlagen (Luftqualitätsverordnung-Kleifeuerungsanlagen) für das Gemeindegebiet Stuttgart [56]. Diese regelt ein Betriebsverbot von EFA für feste Brennstoffe. Das Betriebsverbot gilt zwischen dem 15. Oktober und dem 15. April und verbietet an Tagen mit Feinstaubalarm den Betrieb von Komfort-Kaminen.

**Tabelle 14: Emissionsgrenzwerte unterschiedlicher städtischer Verordnungen im Vergleich zur 2.Stufe der 1.BImSchV und den ab dem 1.1.2022 geltenden Anforderungen der Ökodesign-RL [51], [52]**

Verordnung	Kohlenstoffmonoxid (CO) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	Partikel (PM) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	Kohlenwasserstoffe (OGC) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]
Regensburger Brennstoffverordnung	1500	75/50*	200	-
Münchener Brennstoffverordnung	1250	40	200	-
Aachener Festbrennstoffverordnung	1250	40	-	-

Verordnung	Kohlenstoffmonoxid (CO) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	Partikel (PM) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	Kohlenwasserstoffe (OGC) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]
Düsseldorfer Festbrennstoffverordnung	1250	40	-	-
Berliner Luftreinhalteplan Maßnahme M 7.3 „Blauer Engel“ Kaminöfen**	500	15	180	70
2.Stufe 1.BImSchV für Raumheizer mit Flachfeuerung	1250	40	-	-
Ökodesign LOT ENER 20 ab 1.1.2022 für Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräte mit geschlossener Brennkammer	1500	40	200	120

\*für EFA mit Wärmetauscher 50 mg/m<sup>3</sup> i.N. bei 13% O<sub>2</sub>, EFA ohne Wärmetauscher 75 mg/m<sup>3</sup> i.N. bei 13% O<sub>2</sub>

\*\* eigener Prüfablauf u.a. inklusive Anzünden (siehe 2.3.3)

Zu Komfort-Kaminen werden alle EFA für feste Brennstoffe gezählt, die eine bereits vorhandene Heizung ergänzen und nicht den Grundbedarf an Wärme decken. Von dem Betriebsverbot ausgenommen sind:

- ▶ EFA für feste Brennstoffe in Objekten, deren Wärmeversorgung ausschließlich über diese Anlagen erfolgt.
- ▶ EFA für feste Brennstoffe, mit denen die Nutzungspflicht im Zusammenhang mit dem Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg erfüllt wird.
- ▶ Herde mit oder ohne indirekt beheizte Backvorrichtung.
- ▶ Automatisch beschickte EFA für feste Brennstoffe, die ausschließlich mit Presslingen aus naturbelassenem Holz in Form von Holzbriketts oder in Form von Holzpellets betrieben werden.
- ▶ EFA für feste Brennstoffe, die nach dem 31.12.2014 errichtet wurden und die die Grenzwerte der Stufe 2 der 1. BImSchV einhalten.
- ▶ EFA, die mit einer nachgeschalteten Einrichtung zur Staubminderung (Partikelabscheider) nach dem Stand der Technik ausgerüstet sind.
- ▶ Die Behörde kann befristete Ausnahmen zulassen, wenn die Ausnahmen im öffentlichen Interesse oder zur Abwendung unverhältnismäßiger Nachteile für die Betroffenen erforderlich sind.

Für den deutschen Markt gibt es aktuell zwei relevante Qualitätslabel für EFA, die vergeben werden. Neben dem Zertifizierungsprogramm DINplus („Raumheizer für feste Brennstoffe mit

schadstoffarmer Verbrennung“), welches von DIN CERTCO vergeben wird, gibt es das Qualitätszeichen HKI CERT welches vom HKI (Industrieverband Haus-, Heiz und Küchentechnik e.V.) vergeben wird. Nachfolgend werden die beiden Label mit ihren speziellen Anforderungen an Einzelraumfeuerungsanlagen vorgestellt. Seit Ende 2019 gibt es zusätzlich noch den „Blauen Engel“ für Kaminöfen für Holz (DE-UZ 212) [65].

### 2.3.1 DINplus

Das Zertifizierungsprogramm DINplus gilt für Raumheizer für feste Brennstoffe nach DIN EN 13240 mit schadstoffarmer Verbrennung und dient als Prüfgrundlage für die Vergabe des Qualitätszeichens. Im Rahmen dieses Zertifizierungsprogramms sind die Anforderungen an das Produkt selbst sowie die Anforderungen hinsichtlich dessen Prüfung, Überwachung und Zertifizierung festgelegt. Das Qualitätslabel kann freiwillig von Herstellern zur Imagepflege oder aufgrund von Verbraucherwünschen eingehalten werden, eine Pflicht zur Umsetzung besteht jedoch nicht [64].

Mit dem Prädikat DIN plus ausgewiesene EFA zeichnen sich über die reguläre DIN-Prüfung hinaus durch besondere Qualitätsmerkmale hinsichtlich Effizienz und Umweltschutz aus. Um das Label zu erhalten mussten Feuerungshersteller die Grenzwerte der zweiten Stufe der 1. BImSchV bereits vor deren Inkrafttreten am 1.1.2015 einhalten. Gegenwärtig entsprechen die Werte den Anforderungen für die Typenprüfung (siehe Tabelle 15). Zusätzlich zu den Anforderungen der Typenprüfung müssen Grenzwerte für die Emissionen für Kohlenwasserstoffe sowie Stickstoffoxide eingehalten werden. Darüber hinaus erfordert das Label DIN plus einen höheren Wirkungsgrad (78 %) der Feuerstätte als er in der gegenwärtigen Prüfnorm (73 %) gefordert wird. Ein weiteres über die Norm hinausgehendes Qualitätsmerkmal ist die Dichtheitsprüfung der EFA. Dazu muss vor und nach der thermischen Prüfung die Dichtheit des Feuerraums bei drei verschiedenen statischen Drücken zwischen 5 Pa und 15 Pa überprüft werden. Aus den gemessenen Ergebnissen werden Ausgleichskurven gebildet, wobei die Differenz der Leckageraten, die sich für die Ausgleichskurven bei 10 Pa ergeben, 1,5 m<sup>3</sup>/h nicht überschreiten darf. Für die Zertifizierung der EFA mit dem Label DIN plus sind unabhängige Prüflaboratorien zuständig. Diese übermitteln die Ergebnisse der Prüfung an die Zertifizierungsstelle DIN CERTCO. Sind alle Kriterien erfüllt, erhält die entsprechende EFA die Zertifizierung [64].

**Tabelle 15: Emissionsgrenzwerte und Wirkungsgrad für das Qualitätslabel DINPlus im Vergleich zu den ab dem 01.01.2022 geltenden Anforderungen der Ökodesign-RL**

Emission	Anforderungen DINPlus	Anforderungen Ökodesign LOT ENER 20 ab 1.1.2022 für Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräte mit geschlossener Brennkammer
Kohlenstoffmonoxid (CO) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	≤ 1250	≤ 1500
Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	≤ 200	≤ 200
Kohlenwasserstoffe (C <sub>N</sub> H <sub>M</sub> ) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	≤ 120	≤ 120
Partikel (PM) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	≤ 40	≤ 40

Emission	Anforderungen DINPlus	Anforderungen Ökodesign LOT ENER 20 ab 1.1.2022 für Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräte mit geschlossener Brennkammer
Wirkungsgrad ( $\eta$ )	Zeit- brand: Holz $\geq 78\%$ fester mineralischer Brennstoff $\geq 76\%$	$\geq 65\%*$
	Dauer- brand: $\geq 73\%$	

\*Raumheizungs-Jahresnutzungsgrad

### 2.3.2 HKI CERT (HKI – Qualitätszeichen)

HKI CERT ist ein Zertifizierungsprogramm für Raumheizer (Kaminöfen) nach EN 13240, Heizeinsätze (Kamineinsätze sowie Kachel- und Putzofenheizeinsätze) nach EN 13229 und Speicherfeuerstätten nach EN 15250 für feste Brennstoffe. Das Qualitätslabel wurde vom HKI mit dem Ziel geschaffen eine Verschlechterung der Emissionen und des Wirkungsgrades im Praxisbetrieb gegenüber den Ergebnissen aus der Typprüfung zu minimieren. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Dauerbeständigkeit der Geräte [10].

Um das Qualitätszeichen zu erlangen muss der Hersteller durch eine Prüfstelle zusätzlich zu der Typprüfung weitere Prüfungen gemäß den Vorgaben des Zertifizierungsprogramms durchführen lassen. Die dafür festgelegten Grenzwertanforderungen können der Tabelle 16 entnommen werden. Zusätzlich zu den Mindestanforderungen nach gültiger Gesetzgebung (1. BImSchV) sind Grenzwerte für Organische Kohlenwasserstoffe (OGC) und Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) einzuhalten [10]. Die Grenzwertanforderungen von HKI CERT sind gleich zu den Grenzwertanforderungen nach DINPlus und etwas strikter als die Anforderungen nach Ökodesign LOT ENER 20 ab 1.1.2022, vgl. Tabelle 15.

**Tabelle 16: Grenzwertanforderungen HKI CERT [10]**

Feuerstättenart	Wirkungs- grad [%]	Kohlenmonoxid (CO)	Partikel (PM)	Kohlenwasserstoffe (OGC)	Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ )
Raumheizer mit Flachfeuerung	78	1,25	0,04	0,12	0,2
Raumheizer mit Füllfeuerung	78	1,25	0,04	0,12	0,2
Kamineinsätze (geschlossene Betriebsweise)	78	1,25	0,04	0,12	0,2
Kaminkassetten zum Nachrüsten offener Kamine	76	1,25	0,04	0,12	0,2
Kachelofenheizeinsätze mit Flachfeuerung	80	1,25	0,04	0,12	0,2

Feuerstättenart	Wirkungs- grad	Kohlenmonoxid (CO)	Partikel (PM)	Kohlenwasserstoffe (OGC)	Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> )
	[%]	[g/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]			
Kachelofenheizeinsätze mit Füllfeuerung	80	1,25	0,04	0,12	0,2
Speicherfeuerstätten für feste Brennstoffe	80	1,25	0,04	0,12	0,2

Des Weiteren sind für die Vergabe des Qualitätssiegels Anforderungen hinsichtlich der Dauerbeständigkeit, der Aufstell- und Bedienungsanleitung sowie der Fertigungsqualität zu erfüllen, welche nachfolgend aufgezählt sind [10]:

- ▶ Dauerbeständigkeit:
  - Vorbelastung des Prüflings von min. 8 Stunden NWL-Prüfung oder min. 4,5 Stunden Sicherheitsprüfung des Geräts vor der Typprüfung bei einem Notified Body (NB) oder beim Hersteller.
  - Nachweis, dass alle durch Feuer/Heizgas thermisch belasteten metallischen Komponenten eine Mindestwandstärke von 2 mm aufweisen (z. B. Feuerraum, Heizgaszug, Tür). Ausgenommen sind Bauteile, die funktionsbedingt kleinere Stärken aufweisen müssen.
- ▶ In der Aufstell- und Bedienungsanleitung des Herstellers muss folgendes verbindlich beschrieben sein:
  - die Empfehlung einen Zugregler zu installieren.
  - Sofern der Wirkungsgrad > 80 % und die Abgastemperatur < 170 °C (in der Messstrecke) ist, müssen Hinweise zu einem möglichen Kondensatanfall im Schornstein sowie zu einer ggf. notwendigen Schornsteinsanierung gegeben werden [10].
  - Daneben können weitere Hinweise bei höheren Abgastemperaturen erforderlich sein. Dabei ist insbesondere die Notwendigkeit des Nachweises der sicheren Abfuhr der Abgase abhängig von der Schornsteinsituation in den Anleitungen aufzuführen.
  - Hinweis zum (langsamen) Öffnen der Türen zwecks Nachlegens des Brennstoffs zur Vermeidung eines möglichen Heißgasaustritts. Hinweis zum Öffnen eines Fensters für den Zeitraum des Nachlegens.
  - Einseitige Kurzanleitung mit Bildern inklusive der Beschreibung zum richtigen Anzünden mit dem Gerät.
  - Link und / oder QR-Code zu den Broschüren ([www.richtigheizenmitholz.de](http://www.richtigheizenmitholz.de) und ggf. <http://hki-online.de/de/heiz-und-kochgeraete/heizen-mit-bb>) oder eine CD mit entsprechenden Filmen und den Broschüren.
- ▶ Fertigungsqualität:

- Prüfung der Leckrate eines Referenzgerätes aus der Fertigung direkt bei Beantragung des HKI-Qualitätszeichens zur Festlegung eines definierten Referenzwertes, sofern dies nicht aus der Typprüfung bekannt ist.
  - Die Leckrate soll  $2 \text{ m}^3/\text{h} + 2 \text{ m}^3/\text{h}$  pro kW Feuerungsleistung bei 10 Pa Unter- oder Überdruck nicht überschritten.
  - Die Fertigungskontrolle im Werk soll das erste im Jahr produzierte Gerät und danach jedes hundertste von allen Geräten einer Familie nach den entsprechenden Normen erfassen.
  - Für vor Ort endmontierte Feuerstätten, die in Einzelteilen ausgeliefert werden, kann die entsprechende Kontrolle vor Ort erfolgen.
  - Die Abweichung der Leckrate zwischen Referenzgerät und Gerät aus der Fertigung darf nicht größer sein als folgender Toleranzbereich:  $+2\text{m}^3/\text{h}$  oder  $+10\%$  /  $-4\text{m}^3/\text{h}$  oder  $-20\%$ .

### 2.3.3 Blauer Engel

Auf Initiative der Deutschen Umwelthilfe wurde mit der Erarbeitung eines Vorschlages für die Vergabegrundlage für das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Kaminöfen begonnen. Der Fokus dieses Vorhabens liegt auf sehr geringen Emissionen. Die Verabschiedung der Kriterien erfolgte im Dezember 2019 durch die Jury Umweltzeichen.

Aufgrund des vorliegenden Vergabekriterien „Kaminöfen für Holz“ [65] können folgende wichtige Anforderungen benannt werden:

- ▶ Strenge Emissionsanforderungen bezüglich Staub, CO, OGC und  $\text{NO}_x$  (siehe Tabelle 17). Ab 2022 soll ein Grenzwert für die Partikelanzahl verbindlich gelten. Bei den Parametern Staubkonzentration und Partikelanzahl kann bei Einhaltung bestimmter Rahmenbedingungen ein geprüfter Staubabscheider rechnerisch berücksichtigt werden.
- ▶ Die Grenzwerte beziehen sich nicht auf die Messwerte der Typprüfung. In den Vergabekriterien wird ein eigenständiges Messverfahren in Anlehnung an die Typprüfung und die beReal-Methode beschrieben. Enthalten ist auch eine Beschreibung für ein Messverfahren zur Partikelanzahlbestimmung.
- ▶ Anforderungen an die Dichtheit nach mechanischer Belastung.
- ▶ Im bestimmungsgemäßen Betrieb können die Betreibenden keine manuelle Einstellung der Luftzufuhr vornehmen. Die Luftklappeneinstellung soll z.B. durch eine automatische Regelung erfolgen.
- ▶ Es wird eine Installationsanleitung, eine Inbetriebnahmeanleitung, eine ausführliche Bedienungsanleitung und analog zu beReal eine Kurzbedienungsanleitung „Quick-User-Guide“ gefordert. Darüber hinaus muss eine Anzeige vorhanden sein, die eine Abweichung vom optimalen Betriebszustand der Feuerung angibt und den geeigneten Nachlegezeitpunkt erkennen lässt.

- Des Weiteren gibt es Anforderungen an die Reparaturfähigkeit, die Bereitstellung von Ersatzteilen sowie an eine recyclinggerechte Konstruktion und die Verpackung.

Die Grenzwerte für die Emissionen und den Wirkungsgrad gibt Tabelle 17 wieder. Ein direkter Vergleich mit den Grenzwerten anderer Label ist aufgrund des eigenen Messverfahrens nicht möglich.

**Tabelle 17: Grenzwertanforderungen Entwurf Blauer Engel für Kaminöfen [65]**

Parameter	Maximalwert der Emissionen
Staub-Partikelmasse (PM) [g/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	0,015
Staub-Partikelanzahl [1/cm <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	Zielwert ab 01.01.2022: 5 x 10 <sup>6</sup> /cm <sup>3</sup>
Kohlenstoffmonoxid (CO) [g/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	0,50
Kohlenwasserstoffe (C <sub>N</sub> H <sub>M</sub> ) [g/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	0,07
Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ) [g/m <sup>3</sup> i.N.]	0,18
Wirkungsgrad (η) [%]	75%

Bezogen auf trockenes Abgas, normiert auf 0 °C, 1013 mbar, 13 Vol.-% Sauerstoff

Das Messverfahren sieht die Anzündphase (zwei Brennstoffauflagen), die Nennlastphase (drei Brennstoffauflagen) und die Teillast-Phase (zwei Brennstoffauflagen) vor. Für Kaminöfen ohne Teillast werden statt der Teillast-Phase zwei weitere Nennlastmessungen durchgeführt.

In der Anzündphase erfolgt der Betrieb der Feuerung bei Naturzug. In den anderen Phasen werden die Zugvorgaben der Typprüfung nach DIN EN 16510-1:2018-11 verwendet. Bei den Nennlastmessungen werden 12 Pa gefordert. Für die Teillastmessungen wird der Zug nach Herstellerangaben oder, wenn keine Herstellervorgabe erfolgt, auf 6 Pa eingestellt. Ebenfalls an den Forderungen der Typprüfung orientieren sich der Nachlezeitpunkt und die Anforderungen an den Brennstoff.

Die Bewertung der gasförmigen Emissionen erfolgt durchgehend vom Zünden der Feuerung bis zum Erreichen des Nachlezeitpunktes nach dem letzten Abbrand. Die Messung des Parameters Gesamtstaub erfolgt in der Nenn- und Teillastphase analog der Typprüfung. In der Anzündphase beginnt die Messung mit dem Zünden des Brennstoffs und endet bei Erreichen des Nachlezeitpunktes nach der zweiten Brennstoffauflage.

Entsprechend der Anforderungen dürfen keine manuellen Veränderungen an der Luftzufuhr durchgeführt werden.

Insgesamt kann das Messverfahren im Vergleich zur Typprüfung als strenger bewertet werden. Es ist davon auszugehen, dass im Vergleich zur Typprüfung höhere Emissionen ermittelt werden.

Im Vergleich zur Prüfmethode beReal wurden beim „Blauen Engel“ signifikante Änderungen vorgenommen:

- Die Anzündphase wird bei Naturzug durchgeführt. Im Zusammenhang mit dem Eingriffsverbot bezüglich der Luftklappen kann dadurch auch eine Luftregelung mit überprüft werden.

- ▶ Die Messvorgaben in den Nenn- und Teillastphasen entsprechen denen der Typprüfung. So sollen die Messwerte ggf. auch zur Typprüfung herangezogen werden können.
- ▶ Das Verfahren wurde gestrafft, indem nur zwei Teillastmessungen vorgesehen sind und die Abkühlphase nicht berücksichtigt wird. Durch die Verkürzung des Messablaufes werden wirtschaftliche Vorteile erhofft.

### 2.3.4 Qualitätslabel Ausland

#### 2.3.4.1 Nordic Swan

Das Umweltlabel "Nordic Swan" wurde im Jahr 1989 vom Nordischen Ministerrat etabliert. Gegenwärtig wird es von allen nordischen Ländern (Dänemark, Norwegen, Island, Schweden) genutzt. Das Umweltsiegel gibt es für alle Produkte, die keine Nahrungsmittel sind und zeigt dem Verbraucher, dass das Produkt in seiner Warengruppe die Umwelt am wenigsten belastet. Auf diese Weise soll die Umweltbelastung und -verschmutzung reduziert werden. Im Hinblick auf EFA soll das Label so streng sein, dass max. 25% der Kamine auf dem Markt die Anforderungen erfüllen.

Die Vorgaben des Siegels umfassen unter anderem:

- ▶ strenge Umweltvorschriften in allen Produktionsphasen
- ▶ laufende Verschärfung von existierenden Normen, sodass ein hoher Standard gesichert wird
- ▶ strenge Vorschriften zur Verwendung von Chemikalien
- ▶ laufende Kontrollen<sup>16</sup>, sodass sich der Verbraucher bei seiner Produktwahl sicher fühlen kann
- ▶ Installationsanleitung, sowie Betriebs- und Wartungsanleitung in allen relevanten Sprachen
- ▶ Unterlagen, die die Einhaltung der nationalen Vorschriften und Gesetze sowie etwaiger Branchenvereinbarungen über Rücknahmesysteme für Verpackungen belegen

Im Hinblick auf die Emissionen dürfen EFA die in der folgenden Tabelle 18 angegebenen Grenzwerte für organische gasförmige Kohlenwasserstoffe, Kohlenstoffmonoxid und Partikel nicht überschreiten.

**Tabelle 18: Grenzwertanforderungen Nordic Swan [11]**

Emissionen	EFA
Kohlenstoffmonoxid (CO) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	≤ 1250
Kohlenwasserstoffe (C <sub>N</sub> H <sub>M</sub> ) [mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	≤ 100
Partikel (PM) [g/kg]	2 (für bis zu 4 Abbrände) 5 (für alle Abbrände)

<sup>16</sup> Anm. d. Verf.: Die Kontrolle der Produktion und die Nachkontrolle der Geräte auf dem Markt sind dabei wünschenswert.

Emissionen	EFA
Wirkungsgrad ( $\eta$ ) [%]	$\geq 83$

Es ist zwingend zu berücksichtigen, dass die Partikelmesswerte unter Bedingungen gemessen werden, die von dem in Deutschland gebräuchlichen Messverfahren abweichen. So wird als Brennstoff nicht natürliches Buchenscheitholz, sondern ein Gitter aus gesägten Nadelholzlatten verwendet, welche im Vergleich zu Buchenscheitholz zu höheren Emissionen führen. Des Weiteren erfolgt die Partikelmassebestimmung nach einem Verdünnungstunnel. Daten des TFZ zeigen, dass in Abhängigkeit von der Abgaskonzentration an flüchtigen organischen Verbindung bei Verdünnungstunnelmessungen eine Zunahme der Partikelmassekonzentration auftritt. Bei einer maximal zulässigen VOC-Konzentration von  $100 \text{ mg/m}^3$  würden damit etwa  $15 \text{ mg/m}^3$  auf durch die Verdünnung zurückzuführende kondensierte organische Verbindung in der Gesamtstaubmenge basieren.

Ein direkter Vergleich mit den Grenzwerten der 1. BImSchV ist aus diesen Gründen nicht zulässig.

Die Prüfung erfolgt zur Messung von CO (EN 13240 / EN 13229) und VOC (CEN/TS 15883:2009) bei Nennlast, sowie für bis zu vier Abbrände in verschiedenen Lastbereichen für Partikel (NS 3058 / NS 3059) und muss durch unabhängige Prüfinstitute erfolgen.

#### 2.3.4.2 Flamme Verte

Flamme Verte ist ein französisches Qualitätslabel. Mit diesem Label werden unter anderem effiziente EFA, welche mit festen Brennstoffen betrieben werden, ausgezeichnet. Das Label gibt es seit dem Jahr 2000 und wird von SER (Syndicat des énergies renouvelables) in Zusammenarbeit mit l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) vergeben. Ziel ist es geschlossene Feuerstätten, Kachelöfen und Kochanlagen, die besonders effizient sind, auszuzeichnen und somit den Verbraucher transparent über die Energieeffizienz und die Umweltverträglichkeit der Geräte aufzuklären. Die Auszeichnung erfolgt nach einem Sterne-System. Bis 2015 gab es vier bis sieben Sterne. Seit 2015 wurden lediglich Geräte, die die Anforderungen von mindestens fünf Sternen erfüllen, und seit 2018 lediglich Geräte mit mindestens sechs Sternen ausgezeichnet. Bei der Vergabe werden zusätzlich seit 01.01.2019 auch Stickstoffoxide berücksichtigt. Ab dem Jahr 2020 sollen nur noch Geräte mit mindestens sieben Sternen ausgezeichnet werden. Der Erhalt des Flamme Verte Labels setzt eine Mitgliedschaft (Mitgliedsbeitrag) des jeweiligen Herstellers bei Flamme Verte voraus. Die Sterne-Klassifizierung erfolgt anhand von einzuhaltenden Grenzwerten für Kohlenstoffmonoxid und Staub. Des Weiteren müssen unterschiedliche Wirkungsgrade erreicht werden. Die für Flamme Verte festgelegten Grenzwertanforderungen, die über die Typprüfung nachgewiesen werden müssen, können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden [57].

**Tabelle 19: Grenzwertanforderungen Flamme Verte für EFA [57]**

Klasse	Wirkungsgrad [%]	Kohlenstoffmonoxid (CO) [ $\text{mg/m}^3$ i.N. bei 13% $\text{O}_2$ ]	Partikel (PM) [ $\text{mg/m}^3$ i.N. bei 13% $\text{O}_2$ ]	Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ )
5 Sterne (5 *)	70	3750	90	-
6 Sterne (6 *)	75	1875	50	200
7 Sterne (7 *)	75	1500	40	200

Um die Klassen 6 oder 7 zu erreichen, reicht es nicht einen Typenbericht vorzulegen. In diesem Fall benötigt der Notified Body eine zusätzliche Zertifizierung, die über eine zusätzliche Prüfung durch Flamme Verte und Eurovent-Certita erfolgen. Der Kaufende eines von der Flamme Verte zugelassenen Gerätes, mit mindestens fünf Sternen, kann von einer Steuergutschrift von bis zu 30 % des Gerätepreises profitieren. Auf diese Weise soll das Label einen Austausch von alten Öfen und somit eine Anpassung an den aktuellen Stand der Technik bewirken [58].

### 2.3.4.3 Conto Termico

In Italien wird für die staatliche Förderung im Bereich der Energieeffizienz das System „Conto Termico“ verwendet. Die Feuerungen werden hierzu mit 1 bis 5 Sternen bewertet. Die Grenzwerte für offene Kamine, Kamineinsätze und Raumheizer sind in Tabelle 20 und die Grenzwerte für Speicherfeuerstätten in Tabelle 21 aufgeführt.

**Tabelle 20: Grenzwertanforderungen Conto Termico für offene Kamine, Kamineinsätze und Raumheizer**

Bewertung	Einheit	Bewertung 5 Sterne	Bewertung 4-Sterne	Bewertung 3-Sterne	Bewertung 2-Sterne
Wirkungsgrad	[%]	85	77	75	75
Kohlenmonoxid (CO)	[mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	650	1250	1500	2000
Gesamtstaub (PM)	[mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	25	30	40	75
Kohlenwasserstoffe (OGC)	[mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	35	70	100	150
Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> )	[mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	100	160	200	200

**Tabelle 21: Grenzwertanforderungen Conto Termico für Speicherfeuerstätten**

Bewertung	Einheit	Bewertung 5 Sterne	Bewertung 4-Sterne	Bewertung 3-Sterne	Bewertung 2-Sterne
Wirkungsgrad	[%]	85	77	75	75
Kohlenmonoxid (CO)	[mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	650	1000	1250	2000
Gesamtstaub (PM)	[mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	25	30	40	75
Kohlenwasserstoffe (OGC)	[mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	35	70	100	150
Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> )	[mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]	100	160	200	200

Die Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie entsprechen in etwa einer Bewertung von 3 Sternen.

#### 2.3.4.4 Österreichisches Umweltzeichen

Im Rahmen des österreichischen Umweltzeichens gibt es die Richtlinie UZ 37 „Holzheizungen“, in der die Voraussetzungen zur Erlangung des Labels für EFA definiert sind. Neben technischen Anforderungen hinsichtlich Emissionen und Energieausbeute ist auch der Einsatz qualitativ hochwertiger Brennstoffe vorgeschrieben. Des Weiteren wird auch auf die Anforderungen der Umweltzeichen-Richtlinie UZ 38 „Brennstoffe aus Biomasse“ verwiesen. In dieser wird neben den brennstofftechnischen Eigenschaften auch die richtige Lagerung und der Transport von Holz beschrieben [13].

Voraussetzung zum Erhalt des Labels ist der Betrieb der Anlagen mit qualitätsgeprüften Brennstoffen. Aus diesem Grund muss der Hersteller Angaben zum zulässigen Brennstoff und seinen technischen Anforderungen machen. Bei Einsatz von Scheitholz sind dies Angaben zu Holzart, Größe und zum Wassergehalt. Die Bestimmung des Wirkungsgrads muss für EFA nach der ÖNORM EN 13240 durch eine dafür akkreditierte Prüfanstalt erfolgen. Die einzuhaltenden Grenzwerte hinsichtlich der Emissionen sowie der geforderte Wirkungsgrad für EFA, die im Rahmen der Typenprüfung nachzuweisen sind, sind in der nachfolgenden Tabelle 22 aufgelistet.

**Tabelle 22: Grenzwertanforderungen österreichisches Umweltzeichen für EFA [13]**

Emissionen	EFA
Kohlenstoffmonoxid (CO) [mg/MJ]	≤ 650
Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ) [mg/MJ]	≤ 120
Kohlenwasserstoffe (C <sub>N</sub> H <sub>M</sub> ) [mg/MJ]	≤ 45
Partikel (PM) [mg/MJ]	≤ 30
Wirkungsgrad (η) [%]	≥ 80

Ein Vergleich mit Werten nach 1. BImSchV (Angabe der Werte in mg/m<sup>3</sup> bei 13 % O<sub>2</sub>) ist nur unter bestimmten Annahmen möglich. Der Grenzwert für Partikel von 30 mg/MJ entspricht in etwa einem Grenzwert von 0,04 g/m<sup>3</sup> bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub> der 1. BImSchV.

Des Weiteren werden verschiedene Dienstleistungen und Informationen vom Hersteller gefordert, die nachfolgend aufgelistet sind [13]:

- ▶ Angebot der Erstinbetriebnahme des Wärmeerzeugers durch den Zeichennutzer bzw. Anlagenerrichter. Erläuterung aller Parameter für eine effiziente, emissionsarme Verbrennung und Betriebsführung (Kundenschulung).
- ▶ Angebot eines zu üblichen Kundendienstzeiten verfügbaren Wartungsdienstes.
- ▶ Angebot der jährlichen Überprüfung des Heizgerätes.

- ▶ Angebot zur Ausstattung der Anlage mit zusätzlichen Messeinrichtungen (z. B. Abgasthermometer, Betriebsstundenzähler, etc.).
- ▶ Verfügbarkeit gleichwertiger Ersatzteile für mindestens 10 Jahre.
- ▶ Hinweise auf alle relevanten Regelwerke und Normen von Brennstoffqualität, Lager- und Transportlogistik.
- ▶ technische Schulung für Anlagenerrichter und Verkaufende.

Um fehlerhafte Installationen zu vermeiden müssen die nachfolgend aufgelisteten schriftlichen und grafischen Unterlagen dem jeweiligen Installateur verständlich vorliegen:

- ▶ technische Informationen zum Wärmeerzeuger: Kesselklasse, Abgasanschlussdurchmesser, Abgastemperaturen im Betrieb sowie notwendige Förderdruck, Füllraumabmessungen, Wasserinhalt, wasserseitiger Widerstand, benötigter Kaltwasserdruck, kleinste Rücklauftemperatur, Elektroanschluss, Absicherung und Schaltungen, Zusatzaggregate.
- ▶ Brennstoffart und -stückgröße, maximaler Wassergehalt und Wärmeleistung, Füllgrade und entsprechende Brenndauer.
- ▶ Montageanleitung für den schrittweisen Zusammenbau und der notwendigen Prüfungen vor Ort, Aufstellung und Varianten; Hinweise zur Vermeidung von Fehlerquellen, Einbaulage aller Fühler für Regel- und Anzeigegeräte, Einstellbereiche der Regler, korrekte Einstellungen für die Inbetriebnahme.

Im Hinblick auf die Wartung der EFA ist es erforderlich den Betreibenden, unterteilt nach Eigen- und Fremdwartung, die folgenden Informationen und Anleitungen zur Verfügung zu stellen [13]:

- ▶ periodische Wartungen während des Heizbetriebs (Intervall, Umfang),
- ▶ wöchentliche Kontrollen (z.B. Sichtkontrolle),
- ▶ Wartung und Kontrollen der Raumaustragung,
- ▶ Führen eines Wartungsbuches und
- ▶ Wartung durch Anlagenbauer bzw. geeigneten Wartungsdienst (Intervall, Umfang).

Vor dem Kauf müssen der Kunde oder die Kundin zwingend über nachfolgende Punkte informiert werden [13]:

- ▶ Abstimmung der Anlagendimensionierung auf die notwendige Energiedienstleistung,
- ▶ für eine ordnungsgemäße Anlagendimensionierung ist Fachpersonal (Hersteller, Anlagenbauer) hinzuzuziehen,
- ▶ Quellenangabe einschlägiger technischer Normen oder Gesetze für die Anlagendimensionierung und
- ▶ wichtigste technische Daten und alle Emissionswerte.

Die Bedienungsanleitung muss alle wesentlichen und für die Effizienz des Gesamtsystems notwendigen Parameter für die Nutzenden verständlich darstellen, so dass auch im Alltagsbetrieb die Umweltstandards eingehalten werden können. Aus diesem Grund müssen Informationen zu den zulässigen Brennstoffen, Hinweise zur Ascheentsorgung, Entsorgungshinweise für einzelne Anlagenkomponenten sowie Angaben zum effizienten und umweltschonenden Heizen enthalten sein. Weitere Hinweise bzgl. der zulässigen Brennstoffart (Feuchtegehalt, Größe, Masse), der maximalen Füllhöhe, der Brenndauer bei Nennwärmeleistung, des Energiegehalts einer Brennstofffüllung sowie die Deklaration des Prüfbrennstoffs sind ebenfalls gefordert. Den Betreibenden sollen zusätzlich die wichtigsten Punkte zur Inbetriebnahme, Betrieb, Service und Wartung klar und verständlich in der Betriebsanleitung dargestellt werden. [13]

Im Gesamtpaket stellt das österreichische Umweltzeichen deutlich höherer Anforderungen als die europäischen Vorgaben in Folge der Ökodesignrichtlinie.

## 2.4 Maßnahmen an der Feuerungsanlage und im Abgasweg

Baurechtlich ist der Abgasweg ein Teil der Feuerungsanlage. In der Verortung von Emissionsminderungsmaßnahmen ist es jedoch üblich den Abgasweg getrennt von der eigentlichen Feuerung (im Sinne des Heizgerätes) zu betrachten.

### 2.4.1 Maßnahmen der Betreibenden von Feuerungen

#### 2.4.1.1 Maßnahmen im Bereich Brennstoffe

Beim Einsatz von Scheitholz können die CO- und OGC-Emissionen brennstoffseitig vor allem durch den Feuchtegehalt und Homogenität der Scheitholzabmessungen sowie die Höhe der partikelgebundenen Emissionen insbesondere durch den Anteil an aerosolbildenden Elementen (wie z.B. Kalium) durch den anhaftenden Erdboden oder Staub, dem Anteil der Rinde und die Holzart beeinflusst werden [95,96,97]. Die Nutzenden können durch sachgemäße Trocknung und Lagerung des Brennstoffs eine Überschreitung des optimalen Feuchtegehaltes verhindern. Der Einfluss auf die aerosolbildenden Elemente im Brennstoff ist in der Regel jedoch begrenzt.

#### 2.4.1.2 Ofenführerschein

Das Konzept des Ofenführerscheins schließt neben den Aspekten des richtigen Betriebs auch die richtige Auswahl der Feuerung und die richtige Brennholzbeschaffung mit ein [67]. Dadurch können neben Betriebsfehlern auch Auslegungsfehler minimiert werden und die Betreibenden können besser einschätzen, ob für die konkreten Randbedingungen der Einsatz einer EFA tatsächlich zielführend ist.

Im Rahmen des Projektes „CleanAir by biomass“ wurde unter anderem an einigen Anlagen die Wirksamkeit von Betreiberschulungen bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Emissionen untersucht. Wenn das Betreiberverhalten ohne Schulung ungünstig war und hohe Emissionen hervorrief, konnten mit Schulung die partikelförmigen und gasförmigen Emissionen um 45 % bis 67 % gesenkt werden. Auswirkungen auf die Effizienz hatte die Schulung hingegen nicht [68].

Insbesondere wenn die Lernkurve durch regelmäßige Auffrischungen im Rahmen der Schornsteinreinigung und Feuerstättenschau positiv beeinflusst wird, können Schulungen Emissionen reduzieren, indem sie negative Nutzereinflüsse minimieren. Theoretisch ist eine Reduzierung der Emissionen bis in den Bereich von Prüfstandsmessungen (Expertenbetrieb) möglich.

#### 2.4.1.3 Schulung durch das Schornsteinfegerhandwerk

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Wirksamkeit der Schulungen des Schornsteinfegerhandwerks bei Erstinbetriebnahme und im Rahmen der Feuerstättenschau sind nicht bekannt.

Neben Schornsteinfegerinnen und Schornsteinfegern kommen als Referierende für solche Veranstaltungen weitere private oder wissenschaftliche Dozierende in Frage. Im Unterschied zu Referierenden ohne hoheitliche Kontrollaufgaben (z.B. private oder wissenschaftliche Dozierende), wird die Schornsteinfegerin oder der Schornsteinfeger eher als Amtsperson wahrgenommen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden Betriebsweisen, welche aus Sicht der Betreibenden problematisch sind, weniger mit der Schornsteinfegerin oder dem Schornsteinfeger diskutiert. Vorausgesetzt die Schornsteinfegerin oder der Schornsteinfeger erkennt die Betreiberfehler, können die Emissionen im gleichen Maß gesenkt werden, wie durch andere Schulungsmaßnahmen.

## 2.4.2 Maßnahmen an der Feuerungsanlage

### 2.4.2.1 Sturzbrandprinzip

Beim Sturzbrandprinzip, welches auch als unterer Abbrand bezeichnet wird, werden die Heizgase im Gegensatz zum oberen Abbrand oder zum Durchbrand nicht nach oben abgeführt. Die Ausbreitung der Flammen erfolgt unter dem Brennstoffrost, wodurch nur die unterste Brennstoffschicht an der Verbrennung teilnimmt. Durch den Zug werden die erzeugten Brenngase in eine untere Brennkammer gelenkt, in dieser erfolgt unter Zugabe von Sekundärluft die Nachverbrennung bei hohen Temperaturen. Durch die Trennung der beiden Reaktionszonen wird eine sehr kontinuierliche pyrolytische Zersetzung und anschließende Vergasung des Brennstoffs ermöglicht, mit der Möglichkeit einer anschließenden Anpassung der Verbrennungsluftmenge an die freigesetzte Brenngasmenge. Dies führt zu einem sehr guten Ausbrand und somit kann eine hohe Verbrennungsqualität erreicht werden. Im Unterschied zum bei EFA weit verbreiteten Prinzip des oberen Abbrands ist beim Sturzbrand meist der Einsatz eines Saugzuggebläses oder ein Feuerungsrichtungsumschalter nach Erreichen des natürlichen Schornsteinzugs notwendig. Deshalb wird das Prinzip des Sturzbrandes bisher in EFA nur selten eingesetzt [62].

### 2.4.2.2 Kerzenabbrandprinzip

Ein völlig neues Konzept für EFA stellt der Kerzenbrenner von BIOENERGY 2020+ dar. Er soll mit Briketts bei sehr niedriger Leistung betrieben werden. Über einen Förderschacht werden zwei Holzbriketts zugeführt, welche mechanisch nach oben gefördert werden. Dies ermöglicht eine Einstellung der gewünschten Wärmeleistung (1,8 - 4kW). Durch den Einsatz von Briketts, die einen sehr homogenen Brennstoff mit gleichmäßigem Abbrandverhalten darstellen, werden quasistationäre Verbrennungsbedingungen erreicht und nur geringe Emissionen freigesetzt. Die geltenden Grenzwerte für Emissionen der 1. BImSchV aus Pelletöfen in Deutschland (0,25g/m<sup>3</sup> CO und 0,03 g/m<sup>3</sup> Staub) und Österreich (15a B-VG), wurden mit dem ersten Prototyp unterschritten. Das Abbrandverhalten des Ofens soll bei BIOENERGY 2020+ weiter optimiert werden. Neben einem Gebrauchsmuster wurde auch ein nationales Patent eingereicht und erteilt (Pat. Nr. 514525). Eine internationale Patenteinreichung in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen ist in Arbeit [66].

## 2.4.3 Maßnahmen im Abgasweg

### 2.4.3.1 Einfluss des Abgasweges auf die Feuerung

Der Großteil der EFA wird an Schornsteinen mit Naturzug installiert. Ein Naturzugschornstein ist dadurch charakterisiert, dass der Schornsteinzug (Unterdruck am Anschluss der EFA an den Schornstein) nur durch die Dichteunterschiede des Abgases im Schornstein im Vergleich zur Umgebung herrühren. Haupteinflussgröße ist hierbei der Temperaturunterschied zwischen Abgas und Umgebung.

Die Auslegung des Schornsteins erfolgt nach DIN EN 13384. Die Schornsteinauslegung berücksichtigt vorrangig quasistationäre Vorgänge, welche sich jedoch erst nach einer gewissen Betriebszeit einstellen. Der Zeitraum bis zum Erreichen des quasistationären Zustandes ist abhängig von der Feuerung (Abgasmassstrom, Abgastemperatur) und dem Schornstein selbst (Ausgangstemperatur, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit). Während z. B. sehr gut gedämmte Edelstahlschornsteine durch die geringe Wärmekapazität und niedrige Wärmeleitung relativ schnell in ihren quasistationären Betrieb kommen, benötigen schwere gemauerte Schornsteine eine längere Zeit, um diesen Zustand zu erreichen. In diesen Startphasen kann es vorkommen,

dass der für den ordnungsgemäßen Betrieb der Feuerung notwendige Schornsteinzug nicht bereitgestellt werden kann.

Da der Schornsteinzug von der Temperaturdifferenz abhängig ist, können auch hohe Außentemperaturen insbesondere im Sommer und der Übergangszeit zu einem unzulänglichen Zug führen.

Im ungünstigsten Fall führt eine mangelhafte Zugentwicklung zu einem Schwelbrand der EFA mit sehr hohen Emissionen, sichtbarem Rauch und einer starken Geruchsbelastung des Umfelds.

Umgekehrt kann sich im Nennlastbetrieb bei niedrigen Außentemperaturen auch ein Zug deutlich über den Vorgaben des EFA-Herstellers ausbilden. Ohne Zugbegrenzer kann es dann zum Mitreißen von größeren Aschepartikeln aus der Feuerung kommen. Während durch einen deutlich zu hohen Schornsteinzug die Effizienz der EFA grundsätzlich sinkt, sind die Auswirkungen auf die Emissionen von vielen anderen Effekten beeinflusst und können sowohl steigen als auch sinken (siehe auch 2.4.3.4) [32].

#### **2.4.3.2 Einrichtung zur Anzeige der Abgastemperatur**

Aus dem Kesselbereich stammend befinden sich Messgeräte zur Anzeige der Abgastemperatur auf dem Markt. Der Verlauf der Abgastemperatur lässt eine Aussage zu folgenden Punkten zu:

Temperaturmaximum

- ▶ zu hoch – zu viel Brennstoff; falsche Leistungsvorwahl
- ▶ zu gering – zu wenig Brennstoff

Temperaturgradient beim Start

- ▶ zu langsamer Anstieg – falsche Zündmethode; ungeeigneter Brennstoff

Erfahrene Betreibende können diese Informationen an einem einfachen Thermometer ablesen. Die Brunner GmbH bietet einen elektronischen Sensor mit einer Auswerteeinheit an, welcher den Betreibenden direkt eine Rückmeldung gibt.

Hierdurch können Fehlbedienungen vermieden werden, die regelmäßig zu einer Erhöhung der Emissionen im Praxisbetrieb führen können.

#### **2.4.3.3 Nachgeschaltete Staubabscheider / Katalysator**

Zur Reduzierung der Staubfracht und zum Abbau gasförmiger Schadstoffe können nachgeschaltete Staubabscheider und Katalysatoren eingesetzt werden. Auf diese Maßnahmen wird im Kapitel 2.5 gesondert eingegangen.

#### **2.4.3.4 Einrichtung zur Regulierung des Schornsteinzuges (Zugbegrenzer)**

Da EFA in der Regel ohne zusätzliche Gebläse arbeiten, ist der Schornsteinzug die einzige Kraft, welche die Luftströmung in der Feuerung vorantreibt. Da die Typprüfung, wenn vom Hersteller kein höherer Wert vorgegeben wird, einen konstanten Zug von 12Pa +/- 1 Pa vorgibt, werden viele EFA auf diesen Wert ausgelegt. Im Betrieb an Naturzugschornsteinen wird der Zug bei Feuerungsstart meist unterschritten und bei längerem Betrieb meist überschritten.

Wie eine EFA auf Schwankungen des Zuges (Förderdruckes) reagiert, ist schwer vorherzusagen. Untersuchungen zeigen hierzu kein klares Bild (vgl. Tabelle 23). [32].

**Tabelle 23: Vergleich der CO-, Org.-C- und PM-Emissionen gemessen an drei unterschiedlichen Kaminöfen bei 12 Pa, 24 Pa und 48 Pa Förderdruck [32]**

Einzelraumfeuerung	Förderdruck [Pa]	CO	Org.-C	PM
		[mg/m <sup>3</sup> i.N. bei 13% O <sub>2</sub> ]		
Kaminofen A	12	1579	107	81
	24	2070	164	77
	48	2103	164	86
Kaminofen B	12	2983	317	42
	24	2602	281	49
	48	2227	208	40
Kaminofen C	12	3086	169	124
	24	2252	74	117
	48	1702	80	109

Aufgrund der Bedeutung des Schornsteinzuges für einen ordnungsgemäßen Betrieb einer Feuerstätte werden Zugbegrenzer angeboten, welche im Bereich der Feuerstätte installiert werden. Übersteigt der Zug einen eingestellten Wert, wird eine gewichtsbelastete Klappe geöffnet und Nebenluft wird in den Schornstein gesaugt. Mit dieser Einrichtung lässt sich ein zu hoher Zug auf ein gewünschtes Niveau hinabregeln. Da es sich meist um einfache mechanische Elemente handelt, können beim Betrieb störende Geräusche (Klappern) auftreten, welche im Wohnbereich meist nicht toleriert werden. Wird die zugeführte Nebenluft der beheizten Gebäudehülle entnommen, führt dies zu Energieverlusten im Gebäude.

Zugbegrenzer sind Stand der Technik zur Begrenzung des Förderdruckes und sollten bei Naturzugschornsteinen, wo immer möglich, zum Einsatz kommen.

#### **2.4.3.5 Einrichtung zur Erzeugung eines Förderdruckes (Rauchsauger)**

Rauchsauger sind Gebläse, welche den Förderdruck zur Verfügung stellen. Da die meisten Schornsteinsysteme als Unterdruckanlagen ausgeprägt sind, sitzt der Rauchsauger meist auf der Schornsteinmündung. Auch bei Gebläsen in der EFA wird angestrebt, am Schornsteineintritt im Unterdruckbereich zu sein.

Rauchsauger sorgen dafür, dass sofort nach dem Start ein ausreichender Zug vorliegt. Somit werden der geringe Zug beim Aufheizen der Feuerstätte und des Schornsteins ebenso ausgeglichen, wie mögliche Auslegungsfehler des Schornsteins. Dieser Umstand wird derzeit bei den Typprüfungen genutzt, um nur die Feuerung selber und nicht die Gesamtanlage mit Feuerung und Schornstein zu bewerten. Jedoch weisen Rauchsauger einen Energiebedarf auf, was die Wirtschaftlichkeit der Anlage beeinträchtigen kann. Zudem muss u. U. über mehrere Stockwerke eine Verbindung zwischen Dachinstallation und EFA geschaffen werden.

Emissionsseitig vorteilhaft ist der Einsatz vor allen an Feuerungen, welche in der Übergangszeit (niedrige Temperaturdifferenzen zur Außenluft und damit niedriger Zug) und an Schornsteinen schwerer Bauart (gemauerte Schornsteine) betrieben werden sollen. Verfügt die Feuerung über ein eigenes Gebläse, trägt der Einsatz eines Rauchsaugers nicht mehr relevant zur Emissionsreduzierung bei.

Neben der Vermeidung einer mangelhaften Zündung mit sehr hohen (Geruchs-)Emissionen, die im Umfeld der Anlage zu Beeinträchtigung der Nachbarschaft führen kann, kann ein statisch betriebener Rauchsauger im Vergleich zu einer Installation mit einer aufeinander abgestimmten Schornstein-EFA-Auslegung nur wenig zur Emissionsminderung beitragen und wird daher bisher auch nur sehr selten in Verbindung mit EFA eingesetzt.

Unabhängig davon stellt er eine wirksame Methode dar, um Auslegungsfehler in der Kombination aus EFA und Schornstein sowie von Systemschwächen der EFA (z.B. kritisches Verhalten beim Anzünden) zu kompensieren.

#### 2.4.3.6 Einrichtungen zur Reduzierung des Windeinflusses (Schornsteinköpfe)

Insbesondere im letzten Jahrhundert wurde versucht, mittels speziell geformter Schornsteinaufsätze den Einfluss des Windes zurückzudrängen bzw. gezielt zur Erzeugung des Förderdruckes zu nutzen [69]. Es wurde festgestellt, dass ein ungünstiger Windeinfluss im Bereich mehrerer Meter im Schornstein einen temporären Überdruck erzeugen kann und somit einen Austritt von Rauchgasen aus dort befindlichen Öffnungen begünstigt. Diese Gefahr sollte durch die Kaminköpfe reduziert werden.

Der Sachverhalt fand Eingang in der Auslegungsnorm für Hausschornsteine, der DIN 18160-1:1962 Feuerungsanlagen – Hausschornsteine – Bemessung und Ausführung [70], in welcher (unter 3.2.f) folgende Anforderung enthalten ist: „Die Höhe vom Rost bzw. Brenner der obersten Feuerstätte für feste oder flüssige Brennstoffe bis zur Schornsteinmündung darf 4,50 m nicht unterschreiten.“ [DIN 18160-1:1962]. Gleichlautende Anforderungen waren in Landesrecht schon vorhanden. So forderte die „Verordnung zur Durchführung der Hessischen Bauordnung (DVO)“, die Durchführungsbestimmung zur Hessischen Bauordnung vom 6. Juli 1957, ebenfalls eine Mindesthöhe von 4,50 m [71]. Gleichlautende Regelungen gelten auch noch heute.

Die Verwendung der teilweise sehr kunstvoll gearbeiteten Schornsteinköpfe ist in Deutschland regional sehr verschieden ausgeprägt. Da Aufbauten auf den Schornstein den Austritt des Abgases aus dem Schornstein behindern, wird ihr Einsatz nur in besonders exponierten Lagen und nach Beratung durch die Schornsteinfegerin oder den Schornsteinfeger empfohlen.

Zum konkreten Einfluss auf die Emissionen liegen bisher keine Daten vor.

#### 2.4.4 Wirksamkeit gegenüber negativem Einfluss der Betreibenden

Die dargestellten Maßnahmen wurden hinsichtlich ihrer Wirksamkeit gegenüber Auslegungsfehlern und Betreibereinfluss bewertet und die Ergebnisse in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

**Tabelle 24: Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich Auslegungs- und Bedienungsfehler**

Maßnahme	wirksam gegenüber Auslegungsfehlern	wirksam gegenüber Systemschwächen	wirksam gegenüber Betreibenden-einfluss
Schulungen (z.B. Ofenführerschein)	L	0	L
passende Auslegung des Schornsteins	0	0	0
Einsatz eines Zugbegrenzers	+	+	0
Einrichtung zur Anzeige der Abgastemperatur	0	0	L

Maßnahme	wirksam gegenüber Auslegungsfehlern	wirksam gegenüber Systemschwächen	wirksam gegenüber Betreibenden-einfluss
nachgeschaltete Staubabscheider / Katalysator	0	0	+
Einsatz eines Rauchsaugers	+	++	+
Einsatz spezieller Kaminköpfe	0	0	0

++ sehr wirksam, + wirksam, 0 neutral, - verstärkt negative Wirkung, L Lerneffekt

### 2.4.5 Wirksamkeit der Maßnahmen auf Emissionen

Maßnahmen bei den Betreibenden der Feuerung zielen darauf ab, die Bedienhandlungen zu optimieren. Im günstigsten Fall lassen sich dadurch die Emissionen, welche in der Typprüfung nachgewiesen worden sind, erreichen. Da nicht angewendetes Wissen nach einiger Zeit wieder verblasst, zeigen voraussichtlich die Maßnahmen die beste Wirkung, welche regelmäßig auf den Betreibenden einwirken.

Maßnahmen an der Feuerung sind geeignet, Emissionen deutlich zu Reduzieren. Dabei bleibt die Wirksamkeit, von technischen Ausfällen abgesehen, über die Standzeit der Feuerung wirksam. Da die Bandbreite der derzeit angebotenen Feuerungen sehr breit ist und die Emissionen sehr stark von Randbedingungen wie dem Schornsteinzug abhängig sind, kann keine allgemeingültige Aussage zu den möglichen Emissionssenkungen getätigt werden. Durch eine konsequente Umsetzung innovativer Ideen dürfte sich jedoch die Streuung der Emissionen zwischen den angebotenen Kaminöfen deutlich verringern lassen. Insbesondere die Staubemissionen lassen sich durch Maßnahme an der Feuerungsanlage, optimale Randbedingungen vorausgesetzt, deutlich unter die aktuellen Grenzwerte senken.

Maßnahmen im Abgasweg zielen zum einen auf die Herstellung optimaler Randbedingungen für den Betrieb der Feuerung ab, zum anderen können durch Emissionsminderungseinrichtungen wirksam Emissionen abgesenkt werden. Die Optimierung der Randbedingungen betreffenden Maßnahmen können dafür sorgen, dass die bei der Typprüfung nachgewiesenen Emissionen auch im Alltagsbetrieb der Feuerung eingehalten werden können.

Im Abgasweg eingesetzte Staubabscheider ermöglichen eine deutliche Reduzierung der partikelförmigen Emissionen einschließlich der Partikelanzahl. Katalysatoren reduzieren gasförmige Emissionen, wobei dadurch in der Regel auch die partikelförmigen Emissionen vermindert werden. Die anderen vorgeschlagenen Maßnahmen zielen auf eine Verbesserung der Verbrennung ab und können deshalb sowohl gasförmige und auch partikelförmige Emissionen positiv beeinflussen.

Durch eine Kombination der aufgezeigten Maßnahmen, insbesondere der Optimierung des Brennraumes, dem Einsatz nachgeschalteter Emissionsminderungseinrichtungen wie Filter und Katalysatoren sowie einer Regelung zur Reduzierung von Bedienfehlern, können derzeit Kaminöfen Staubemissionen von  $15 \text{ mg/m}^3$  und OGC-Emissionen von  $70 \text{ mg/m}^3$  unterschreiten. Die Machbarkeit wird beispielsweise durch erfolgreiche Vergaben des Umweltzeichens „Blauer Engel“ für Kaminöfen nachgewiesen, da diese Werte dort als Grenzwerte dienen.

Im Bereich von Prototypen sind derzeit Staubemissionen von  $< 10 \text{ mg/m}^3$  ohne den Einsatz von nachgeschalteten Staubfiltern und OGC-Emissionen von ca.  $25 \text{ mg/m}^3$  möglich [72]. Dies wird durch aufbereitete Brennstoffe, einem automatischen Betrieb, dem Einsatz von Katalysatoren und einer konstruktiven Anpassung der Feuerung möglich. Laboranlagen erreichen sogar

Staubemissionen  $< 5 \text{ mg/m}^3$  [72]. Würde zusätzlich ein Staubfilter mit einem durchschnittlichen Abscheidegrad von 75% eingesetzt, ergeben sich Staubemissionen von  $1 - 3 \text{ mg/m}^3$ .

## 2.5 Filternde und abscheidende Emissionsminderungstechnik

### 2.5.1 Staubabscheider für Kleinf Feuerungsanlagen

Während im Bereich der Kraftwerkstechnik nachgeschaltete Staubabscheider seit Jahrzehnten zum Stand der Technik gehören, wurden erst in den letzten 10 bis 15 Jahren Staubabscheider für Festbrennstoffkleinfeuerungen interessant. In Deutschland löste die geplante Verschärfung der Staubgrenzwerte im Rahmen der Novellierung der 1. BImSchV in 2010 vielfältige Entwicklungsarbeiten aus [73][72][74].

Anfang der 2000er Jahre bestand das politische Ziel, fossile Brennstoffe durch erneuerbare bzw. nachwachsende Brennstoffe zu ersetzen. Der verstärkte Einsatz von Holz war gewünscht, allerdings wurde bald auch nach Lösungen für die damit einhergehenden bzw. zu erwartenden Emissionsprobleme gesucht. Der Fokus der Entwicklungen lag deshalb auf Staubabscheider für Feuerungsanlagen für holzartige Brennstoffe. Grundsätzlich lassen sich Staubabscheider auch für Kohlenfeuerungen einsetzen. Eine Zulassung für den deutschen Markt für den Brennstoff Braunkohlenbriketts hat aktuell nur der Staubabscheider „OekoTube OT2“ der Firma Ökosolve [76].

In Anlehnung an die VDI 3670 [75] werden Staubabscheider für Kleinf Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe bezüglich ihres Einsatzes in folgende Gruppen unterteilt:

- ▶ Zentralheizungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung von bis zu 50 kW
- ▶ Zentralheizungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung von über 50 kW bis 1000 kW
- ▶ Einzelraumfeuerungsanlagen

Im kleineren Feuerungsleistungsbereich unter 25 kW dominieren die Abscheider der Hersteller CCA, Schröder/Ökosolve und Kutzner+Weber. 2020 neu auf den Markt gekommen ist ein Produkt der Firma Exodraft. Im Bereich ab einigen 100 kW kommen Abscheider weiterer Spezialfirmen hinzu, welche in der Regel Abscheider nach Kundenwunsch fertigen. Der größte Abscheider mit Bauartzulassung durch das DIBt wird derzeit für eine Feuerungsleistung von 600 kW angeboten.

Im Bereich der EFA sind neben in oder an der Feuerung integrierten filternden Elementen auch die Elektroabscheider vertreten, welche die Schornsteinwandung als Abscheideelektrode verwenden. Da sich aus den rechtlichen Rahmenbedingungen kein Zwang oder besonderer Nutzen für den Einsatz von Staubabscheidern nach EFA ergibt, ist dieses Marktsegment nicht stark ausgeprägt. In den letzten Jahren lag der Fokus der Entwicklung und Vermarktung eher auf Kesselanlagen mit verpflichtenden wiederkehrenden Messungen. Durch die mögliche Kombination von Kaminöfen und Staubabscheider im Rahmen des Umweltzeichens „Blauer Engel“ für Kaminöfen tut sich ein möglicher Markt für Staubabscheider speziell für EFA auf. Der Dänische Entwickler PHX innovation Aps stellte anlässlich des Abscheiderfachgesprächs 2019 einen elektrostatischen Staubabscheider mit automatischer Trockenabreinigung und integriertem Rauchsauger vor, welcher explizit für den Einsatz an EFA vorgesehen ist [85].

Für EFA sind Katalysatoren erhältlich, welche primär auf die Reduzierung gasförmiger Emissionen abzielen. Da sich aus diesen gasförmigen Emissionen beim Abkühlen teilweise Partikel bilden, reduzieren Katalysatoren mittelbar auch die Staubemissionen. Einen direkten

Einfluss haben Katalysatoren auf die Staubemissionen durch ihre filternde Wirkung. Jedoch beeinträchtigt der abgeschiedene Staub die Wirksamkeit des Katalysators. Katalysatoren sind deshalb nicht primär Staubabscheider. Ihre emissionsmindernde Funktion für Gase können sie langfristig nur dann erfüllen, wenn sie nicht mit zu hohen Staubbeladungen im Abgas konfrontiert werden.

### 2.5.1.1 Verfügbare nachgeschaltete Technologien zur Staubabscheidung

Aufgrund fehlender harmonisierter Normen benötigen Staubabscheider eine separate Bauaufsichtliche Zulassung, welche in Deutschland vom DIBt ausgestellt wird. In Tabelle 25 sind die vom DIBt zugelassenen Staubabscheider bis 25 kW Feuerungsleistung aufgelistet.

Im Bereich der EFA kommen als nachgeschaltete Staubminderungseinrichtung derzeit nur elektrostatische Abscheider zum Einsatz.

**Tabelle 25: Elektrostatische Abscheider für Feuerungsleistungen bis 25 kW (Stand Juli 2020)**

		Feuerungsleistung	Abreinigung	Betriebsstunden-zähler	Abscheidegrad laut Hersteller	Zulassung	Gültig bis
Airjekt	Airjekt 1	25 kW	M		50% - 90%	Z-7.4-3442	21.10.2020
CAROLA	CCA-mini	4-100 kW	M			Z-7.4-3537	11.12.2024
CAROLA	CCA-25	25 kW	M		bis 90 %	Z-7.4-3504	24.08.2020
ESP	ESP	10 kW	A			Z-7.4-3536	17.12.2024
OekoTube-Inside	OTI 130	32 kW	M	(X)	bis 85%	Z-7.4-3451	04.08.2021
OekoTube OT2	OT2	(50 kW)	M	X	bis 85 %	Z-7.4-3451	04.08.2021

M manuelle Trockenabreinigung, A automatische Trockenabreinigung

Da die Emissionsgrenzwerte für Kleinf Feuerungsanlagen in Deutschland sich bezüglich des Staubes auf die Gesamtstaubkonzentration beziehen, wird von den Herstellern auch der massebezogene Abscheidegrad angegeben.

Die Angabe eines „Abscheidegrades“ für die Partikelanzahl führt in der Regel in diesem Zusammenhang zu Missverständnissen. Zum einen werden die Partikel nicht zwangsweise abgeschieden, sondern agglomerieren in vielen Fällen zu größeren Partikeln. Zum anderen liegt der partikelanzahlbezogene „Abscheidegrad“ in der Regel deutlich über dem massebezogenen Abscheidegrad. Theoretisch ist es möglich, dass ein Produkt einen partikelanzahlbezogenen „Abscheidegrad“ von 90% aufweist, jedoch keine Staubmasse aus dem Abgas entfernt wird.

Beispielhaft wurde für das Vorgängerprodukt des Airjekt, den Zumikron, in einer Untersuchung an einer EFA ein massebezogener Abscheidegrad von 54% und ein anzahlbezogener Abscheidegrad von 75% bestimmt [77]. Aus diesem Grund ist es zu begrüßen, dass in den Produktunterlagen der Staubabscheider vorrangig der massebezogene Abscheidegrad angegeben wird.

Im Rahmen wissenschaftlicher Veröffentlichungen wurden für einige Abscheider im Zusammenwirken mit EFA massebezogene Abscheidegrade veröffentlicht.

**Tabelle 26: Massebezogene Abscheidegrade elektrostatischer Abscheider an EFA – Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsvorhaben (Keine Herstellerangaben)**

	Bereich Abscheidegrad	Mittelwert Abscheidegrad	Jahr der Veröffentlichung	Quelle
CCA-Prototyp	54% bis 70%	-	2015	[78]
Airjekt 1 (Zumikron)	-62% bis 73% -45% bis 70%	17% 11%	2010	[79]
Airjekt 1 (Zumikron)	8 bis 31%	-	2015	[78]
OTI	8% bis 61% 46% bis 80%	-	2017	[80]
OTI	70% bis 83%	-	2016	[81]

Bis auf die Produkte von CCA und Exodraft nutzen die aufgeführten Staubabscheider die Schornsteininnenseite als Abscheideelektrode. Da diese ständig vom Abgas angeströmt wird, ist das Risiko des Reentrainment hoch. Reentrainment ist das Ablösen und Eintragen schon abgeschiedener Partikel von den Abscheideelektroden in den Abgasstrom innerhalb des elektrostatischen Staubabscheiders.

Die starken Schwankungen und teilweise negativen Abscheidegrade werden u. a. auf diesen Effekt zurückgeführt. Das Reentrainment von Agglomeraten, also der Wiedereintrag von bereits abgeschiedenen sich ausbildenden größeren Partikeln und der Aufbau von größeren Partikeln durch Partikelwachstum, führt zwar zu einer deutlichen Abnahme des Masse-Abscheidegrades, der anzahlbezogene Abscheidegrad wird durch diesen Vorgang jedoch in einem weit geringeren Maße beeinflusst, da nur die kleinen gasgetragenen Partikel unter 2,5 µm in den aktuell zur Anwendung kommenden Anzahlmessungen erfasst werden.

Durch eine regelmäßige Reinigung (z.B. Abklopfen, Spülen) kann das Reentrainment reduziert bzw. weitgehend verhindert werden. Wichtig ist jedoch, dass während der Abreinigung der Staub gesammelt und nicht mit dem Abgasstrom in die Umwelt gelangt.

In vielen Studien wurde eine Abhängigkeit des Abscheidegrades von der Staubkonzentration und den Staubeigenschaften festgestellt.

Grundsätzlich gilt für elektrostatische Abscheider, je höher die Rohgasstaubkonzentration, desto niedriger ist der Abscheidegrad. Bei genauerer Betrachtung ist es vor allem die Partikelanzahlkonzentration im Abgas, welche den elektrostatischen Abscheider beeinflusst. Der Abscheider muss in der Lage sein, in einem elektrischen Feld die Partikel zu laden. Dieses Feld entsteht zwischen der Sprühelektrode und bei den betrachteten Abscheidern der Abscheideelektrode. Es ist unter anderem von den geometrischen Abmessungen der Elektroden und der angelegten Hochspannung abhängig. Letztere kann nicht unbegrenzt gesteigert werden. Ab einem bestimmten Punkt kommt es zu Spannungsüberschlägen und das Feld bricht zusammen. Befinden sich sehr viele geladene Partikel zwischen Sprüh- und Abscheideelektrode schwächen diese ebenfalls das elektrische Feld, da sie ein Gegenpotenzial bilden. In Extremfällen werden an der Sprühelektrode keine freien Ladungsträger mehr gebildet, neue Partikel können nicht mehr geladen werden und der Abscheider verliert seine Wirksamkeit.

Auch die Staubzusammensetzung hat einen Einfluss auf den Abscheidegrad, wobei die Wirkungstendenz gegensätzlich sein kann. Üblicherweise ist der Anteil an Kohlenstoff im Staub des Abgases eines Scheitholzkaaminofens (ungünstigere Verbrennung) höher als der im Staub

des Abgases einer Pelletfeuerung (optimale Verbrennung). In einem untersuchten Fall lag der Anteil an organisch gebundenem Kohlenstoff im Staub des Abgases bei einer Pelletfeuerung bei 1,3 Massenprozent (Ma-%). Der Staub aus dem Abgas eines Kaminofens wies einen Anteil an organisch gebundenem Kohlenstoff von 41 Ma-% auf [84].

Der ermittelte Abscheidegrad sank bei den untersuchten Staubabscheidern von 75 % bis über 90 % nach der Pelletfeuerung auf 50 % bis 90 % nach dem Kaminofen. [84]

Organische Kohlenstoffkomponenten (VOC) verstärken in vielen Fällen die Haftung des Staubes an den Elektroden und Isolatoren und kann somit zu einer Leistungsminderung oder gar zum Ausfall des Abscheiders führen [84][82].

Ein erhöhter Rußanteil führt dazu, dass die Abscheideleistung sinkt. Der Ruß weist eine hohe elektrische Leitfähigkeit auf, so dass nach dem Kontakt der Partikel mit der Abscheideelektrode eine rasche Entladung erfolgt und sich eher verästelte Partikel bilden, welche sich dann schnell wieder lösen können und mit dem Abgasstrom ins Freie getragen werden [78] [84] [82].

#### **2.5.1.2 Reinigungsintervalle, Standzeiten und Verfügbarkeit**

Die Reinigungsintervalle hängen sehr stark von der Nutzungshäufigkeit bzw. der zurückgehaltenen Staubmenge ab. Für Staubabscheider ohne eigene Abreinigung an nur gelegentlich betriebenen EFA reicht nach Herstellerangaben das übliche Kehrintervall des Schornsteinfegerhandwerks aus. Dieses beträgt in Deutschland nach KÜO zwei Kehrungen pro Kalenderjahr [53]. Bei höheren Staubfrachten oder Nutzungshäufigkeiten sollen durch die Schornsteinfegerin oder den Schornsteinfeger zusätzliche Kehrungen durchgeführt werden. Das vorgefundene starke Re-entrainment weist jedoch darauf hin, dass eine häufigere Abreinigung angeraten ist. Die Hersteller haben auf diesen Umstand schon durch von den Nutzenden zu betätigende manuelle oder automatische Abreinigungseinrichtungen reagiert.

Bei den eingesetzten elektrostatischen Abscheidern wurden keine auffälligen Ausfälle aufgrund der Alterung von Baugruppen festgestellt. Dies war aufgrund des geringen Alters der bisher im Markt installierten Geräte auch nicht zu erwarten. Durch ungünstige Einbausituationen oder ungünstige Betriebszustände kann es jedoch zu Schäden an Abscheidern kommen [81].

Die Verfügbarkeit eines bewerteten elektrostatischen Staubabscheiders lag bei Obernberger bei 93% für eine Anlage mit Kaminofen. Unter Berücksichtigung weiterer Holzheizungen lag die Spanne zwischen 82% und 98%, wobei Werte um die 98% üblich waren [81]. Zur Verringerung der Verfügbarkeit kam es häufig durch Verschmutzungen, welche Spannungsüberschläge hervorriefen. Veröffentlichte statistisch belastbare Aussagen über die Verfügbarkeit in Feldanlagen gibt es derzeit noch nicht.

#### **2.5.1.3 In der Entwicklung befindliche nachgeschaltete Technologien zur Staubabscheidung**

Am Karlsruher Institut für Technologie befindet sich derzeit ein Fadenabscheider für Biomassefeuerungen kleiner Leistung in der Entwicklung. Als Filtermaterial werden Bündel von Glasfasern verwendet, welche sich durch ihre Bewegung selbstständig abreinigen [83].

An der RWTH Aachen wurde ein Tiefenfilter als Schornsteinaufsatz für EFA entwickelt und in Feldtests erprobt. Die Entwickler rechnen mit Abscheidegraden von über 90%. Etwas problematisch ist jedoch der notwendige Filterwechsel auf dem Dach [86].

Tabelle 27 listet bekannte Staubabscheiderentwicklungen für Kleinf Feuerungsanlagen auf, welche in den letzten Jahren eingestellt wurden. Welche dieser Entwicklungen zu Produkten für EFA geführt hätten, kann nicht festgestellt werden.

**Tabelle 27: elektrostatische Abscheider für Feuerungsleistungen bis 25 kW [72]**

Filter	Elektrostatische Abscheider
ATZ – Schüttschichtfilter	CLEANAIR / R ESP (APP)
High-flux Mikrosiebfiltration Fraunhofer UMSICHT	Drahtelektrofilter System Schiedel
KERA-Top	Elektroabscheider (Robert Bosch GmbH)
Lamellenfilter (MAHLE)	Elektrofilter ILK / Kiefel
Offener Lamellenfilter (KLIEWE)	Multiple-Tube Electrostatic Trap
Schaumkeramikfilter (Fraunhofer IKTS)	Ökotherm® Plattenelektrofilter
	REKA-Elektrofilter
	Spider
	TRION Kaminfilter
	TRION Turmfilter

#### 2.5.1.4 Verfügbare integrierte Technologien zur Staubabscheidung

Einen offenporigen Schaumkeramikfilter setzt die Firma Hark in einigen ihrer Kaminöfen ein. Die mit dieser Technologie ausgestatteten Feuerungen wiesen bei der Typprüfung sehr niedrige Staubemissionen ( $15 \text{ mg/m}^3$  bei  $13\% \text{ O}_2$ ) auf. Da bei der Weiterentwicklung gleichzeitig auch der Feuerraum optimiert wurde, konnte nicht festgestellt werden, welchen Anteil am guten Gesamtergebnis tatsächlich auf den Filter entfallen. Eine wissenschaftliche Studie zeigte jedoch, dass an einem Kaminofen in der dabei gewählten Einbausituation der Einsatz eines nicht katalytisch beschichteten Schaumkeramikfilters (Tiefenfilter) im Vergleich zu einem Dummyfilter (Vermiculite Platte mit ähnlichen Strömungseigenschaften) zu keiner Emissionsreduzierung führte. Als möglicher Grund wurde die zu geringe Durchströmung des Filterelementes aufgrund der bauaufsichtlich geforderten Bypässe genannt [80][87][88].

#### 2.5.1.5 Möglichkeit zur kontinuierlichen Überwachung der Funktionsfähigkeit von Staubabscheider

Im Kraftwerksbereich erfolgt nach dem Staubabscheider eine kontinuierliche Überwachung der Staubemissionen mit einem geeigneten Messgerät. Schon im Bereich der Biomasseheizkraftwerke und besonders bei Kleinf Feuerungsanlagen ist ein solcher apparativer Aufwand aus Platz- und Kostengründen indiskutabel. Somit bleibt nur zu überprüfen, dass die Staubminderungseinrichtung bei Betrieb der Feuerung funktionsfähig bzw. wirksam war.

In Großanlagen werden filternde Staubabscheider grundsätzlich mit einer Differenzdrucküberwachung ausgestattet, um die notwendigen Abreinigungen bzw. Filterwechsel zu erkennen. Durch Aufzeichnung dieser Messungen in Verbindung mit einer Rauchgastemperaturaufzeichnung kann die Verfügbarkeit des Abscheiders ermittelt und nachgewiesen werden. Die aktuell bekannten integrierten Filterlösungen für EFA verfügen hingegen nicht über eine solche Differenzdrucküberwachung.

Für elektrostatische Abscheider gibt es zwei aufeinander aufbauende Ansätze.

Elektrostatische Staubabscheider sind nur wirksam, wenn die Hochspannungseinheit arbeitet und somit das Gerät elektrische Energie aufnimmt.

Im einfachsten Fall könnte die Leistungsaufnahme des Abscheiders als Indiz für die Wirksamkeit genutzt werden. Jedoch sind Anlagenzustände denkbar, in denen eine Leistungsaufnahme vorliegt, obwohl der Staubabscheider nicht ordnungsgemäß arbeitet. Deshalb nutzen aktuelle Ansätze Informationen über die Spannung und den Strom des Hochspannungsmoduls als Indiz für die Wirksamkeit. Liegen diese Parameter in einem gerätespezifischen Fenster, kann der Staubabscheider als wirksam angesehen werden [89][90]. Dieser Ansatz wurde zwar für größere Leistungen zum kontinuierlichen Nachweis der Verfügbarkeit des Abscheiders entwickelt. Ein daran angelehntes Verfahren wäre aber auch für Kleinfeuerungsanlagen und die Überwachung der zugehörigen Abscheider denkbar.

Für die Anwendung im Bereich der EFA ist jedoch zu beachten, dass ein Signal „Feuerung“ in Betrieb vorliegen muss. Die Untersuchungen an Heizkesseln haben gezeigt, dass die Suche nach einem geeigneten Parameter nicht trivial ist. Aktuell wird bei Kesselanlagen die Nutzung der Signale der Primär- und Sekundärluftventilatoren ggf. in Kombination mit einem Sauerstoffsensoren (Lambda-Sonde) diskutiert. Klassische EFA verfügen jedoch nicht über derartige Einrichtungen. Hier böten sich beispielsweise die Feuerraumtemperatur bzw. die Abgastemperatur an.

Für den Vollzug der Überwachung müsste das Schornsteinfegerhandwerk dazu verpflichtet werden, im Rahmen der Feuerstättenschau den Verfügbarkeitswert zu prüfen und ggf. notwendige Maßnahmen bei Unterschreiten der Vorgabewerte oder ersichtlichen Manipulationen der Aufzeichnungen zu veranlassen.

## 2.5.2 Verfügbare Technologien zur katalytischen Emissionsminderung

Am DBFZ werden seit 2008 umfangreiche Forschungsarbeiten zur katalytischen Emissionsminderung an Holzfeuerungsanlagen durchgeführt. In einschlägigen Publikationen wurden dazu umfangreiche Übersichten zu FuE-Arbeiten aber auch zu marktverfügbaren Systemen erstellt. Ein weitgehend vollständiger Überblick zu Forschungsarbeiten aber auch zu marktnahen Systemen findet sich in [25].

Viele der Entwicklungen werden mittlerweile nicht mehr am Markt vertrieben. In Deutschland wird ein marktverfügbarer Katalysator von der Firma Blue Fire GmbH angeboten, der aufgrund der hohen Temperaturstabilität brennraumnah integriert werden kann. Dieser Katalysator wird bereits von einigen Ofenherstellern in Produkten am Markt angeboten. Entsprechende Informationen zum Produkt finden sich auf der Internetseite des Unternehmens.

Nach Unternehmensangaben können durch den Katalysator sowohl CO als auch VOC und zudem im geringen Maße auch Staubpartikel gemindert werden. Bei CO wird dabei eine Minderung von mindestens 50 % und bei Staubpartikeln eine Massekonzentrationsminderung um 20 % erzielt.

Am DBFZ werden derzeit weitere Forschungsarbeiten zu Katalysatoren an Kleinfeuerungsanlagen durchgeführt. Weitere Informationen finden sich unter den folgenden Links:

<https://www.dbfz.de/forschung/forschungsschwerpunkte/katalytische-emissionsminderung/>

<https://data.mendeley.com/datasets/2xcp6rytgw/1>

Aktuelle Forschungsergebnisse zu Katalysatoren finden sich in [95] [94].

## 3 Arbeitspaket 3: Messprogramm an Einzelraumfeuerungsanlagen

### 3.1 Auswahl geeigneter Kaminöfen für die Messungen

Für die Auswahl an Kaminöfen wurden die in Tabelle 28 aufgeführten Kriterien mit dem Umweltbundesamt diskutiert und zugrunde gelegt:

**Tabelle 28: Auswahlkriterien für die zu untersuchenden Kaminöfen**

Kriterium\Modell	gewünschte Variationen	Fragestellung/Hypothese										
Preis	<table> <tr> <td>&lt;300 €</td> <td>sehr günstig</td> </tr> <tr> <td>300 € - 600 €</td> <td>günstig</td> </tr> <tr> <td>1000 € - 1500 €</td> <td>mittel</td> </tr> <tr> <td>1500 € - 2500 €</td> <td>hochpreisig</td> </tr> <tr> <td>&gt;2500 €</td> <td>preisintensiv</td> </tr> </table>	<300 €	sehr günstig	300 € - 600 €	günstig	1000 € - 1500 €	mittel	1500 € - 2500 €	hochpreisig	>2500 €	preisintensiv	Ist das Emissionsverhalten vom Preis der Feuerung abhängig?
<300 €	sehr günstig											
300 € - 600 €	günstig											
1000 € - 1500 €	mittel											
1500 € - 2500 €	hochpreisig											
>2500 €	preisintensiv											
Beschaffungsweg	Baumarkt (1-2); Fachhandel (2-3); Internet (1)	Hat der Vertriebsweg Einfluss auf die Qualität der Geräte? Gibt es Unterschiede in der Beratung?										
Luftregelung + Tertiärluftöffnung	manuelle Luftregelung; automatisiert gesteuerte Luftklappe (mechanisch); elektronisch geregelte Luftklappe mit Sensor	Bewirkt eine automatisierte Luftregelung in allen Verbrennungszuständen einen vollständigeren und emissionsärmeren Abbrand?										
Schaumkeramik	ohne und ggf. mit katalytischer Beschichtung	Liegen die Emissionen signifikant niedriger?										
DINPlus Label	mindestens ein Gerät	Wirksamkeit des Labels beurteilen										
Schamottierung	Keine; Schamotte-Platten von Nutzenden eingelegt; vom Hersteller eingefügte Schamotte	Hat die Qualität der Schamottierung Einfluss auf die Emissionen?										
Leistung	möglichst einheitlich 6-8 kW?	Vergleichbarkeit der Ergebnisse, da diese zumindest über die Scheitgröße von der Leistung abhängen könnten										
besonders große Scheiben	ein Gerät	Führt mehr Scheibenfläche zu höheren Emissionen?										
Dauerbrand / Füllfeuerung?	Zeitbrand oder Dauerbrand	Ist das ein zu beachtendes Kriterium?										

Nach Rücksprache mit dem UBA wurden die in Tabelle 29 aufgeführten Kaminöfen für die Untersuchungen ausgewählt.

**Tabelle 29: Für das Messprogramm ausgewählte Kaminöfen**

Bezeichnung	Preis	Vertriebsweg	Einstellung der Luftzuführung	Schaumkeramikfilter
K01	sehr günstig	Internet	manuell	nein
K02	günstig	Baumarkt	automatisiert gesteuerte Luftklappe (mechanisch)	nein
K03	mittel	Baumarkt	manuell	nein
K04	preisintensiv	Fachhändler	manuell	nein
K05	preisintensiv	Fachhändler	elektronisch geregelte Luftklappe mit Sensor	ja

## 3.2 Erfahrungen mit Kauf, Bedienungsanleitung und Herstellungsqualität

### 3.2.1 Erfahrungen beim Kauf

Die Beschaffung der Kaminöfen erfolgte auf unterschiedlichen Vertriebswegen.

Die Beschaffungen über das Internet und den Baumarkt verliefen problemlos. Im Internethandel stand eine Kontaktperson zur Verfügung, die Fragen schnell beantwortete.

Beim Bezug über den Fachhandel ergab sich ein gemischtes Bild. Angefragt wurden ein bestimmter Kaminofen (K04) und eine bestimmte Regelung des Kaminofenherstellers. Diese wurden angeboten und geliefert, obwohl der Kaminofen nicht mit der Regelung betrieben werden kann. Der Händler war jedoch bereit, die Regelung zurückzunehmen. Eine Nachrüstung des Kaminofens war jedoch nicht möglich.

### 3.2.2 Erkenntnisse aus den Bedienungsanleitungen

Zu jedem Kaminofen wurde eine Bedienungsanleitung mitgeliefert.

Bei zwei Kaminöfen (K01 und K03) wurden in der Bedienungsanleitung zwei abweichende Scheitlängen angegeben [19][22]. Dies könnte beim ersten Brennstoffkauf zu einem Fehlkauf führen, da Scheitholz mit der längsten angegebenen Länge nicht in den Feuerraum passt.

Anweisungen zur Installation, zur Inbetriebnahme und zum Betrieb waren in allen Fällen enthalten. Ungünstig sind interpretierbare Angaben und Fachausdrücke, welche über die durchschnittliche Allgemeinbildung hinausgehen. Beispiele hierfür sind „Bis eine satte Grundglut vorhanden ist (...)“, „Sobald der Kaminofen gut angeheizt ist und ausreichend Grundglut vorhanden ist, heizen Sie weiter wie es für den Normalbetrieb vorgesehen ist.“ oder „Holz darf nicht „kokeind“ verfeuert werden“.

Bei einigen Herstellern wurden in der Anleitung weitere Hintergrundinformationen zum Verbrennungsprozess gegeben, welche technisch verständige Betreibende in die Lage versetzen, den Betrieb zu optimieren [20][27].

### 3.2.3 Qualitätsmerkmale

Zwei Kaminöfen wurden mit Fertigungsfehlern geliefert.

Am Kaminofen KO1 wurde die Tür fehlerhaft angeschweißt, so dass diese undicht war. Dieser Mangel wurde nicht als solcher erkannt, so dass die Messungen zunächst in diesem Anlieferungszustand durchgeführt wurden. Aufgrund hoher Emissionswerte wurde Kontakt mit dem Hersteller aufgenommen und bei der darauffolgenden Inaugenscheinnahme durch den Hersteller wurde die undichte Türdichtung als erheblicher Mangel erkannt. Die Feuerung wurde durch DBFZ-Techniker mit einer provisorischen Türdichtung versehen und entsprechend abgedichtet und dann erneut gemessen, wobei die Emissionswerte gemindert werden konnten (vgl. Tabelle 33). Anschließend wurde der Ofen zum Hersteller geschickt, der durch den Einbau einer geeigneten Dichtung den Mangel beheben konnte.

Der Kaminofen KO5 fiel bei der Inbetriebnahme durch eine augenscheinlich emissionsreiche Verbrennung mit Sauerstoffmangel auf, worauf bei der Hotline des Herstellers angerufen wurde. Nach einer ersten Antwort des Servicetechnikers, dass dies so sein müsste, rief eine Führungskraft des Herstellers zurück und teilte mit, dass doch ein Fehler vorliegt und der Kundendienst geschickt wird. Es wurde festgestellt, dass eine Schweißperle die ordnungsgemäße Installation eines relevanten Temperaturfühlers verhindert. Der Fehler konnte vor Ort behoben werden. Es erfolgte zusätzlich eine Anpassung der Regelungsparameter.

Die Hersteller der Öfen KO1 und KO5 gaben an, dass die werkseigene Endkontrolle diese Fehler hätte bemerken müssen und haben durch entsprechende Maßnahmen die Mängel kostenlos beseitigt.

### 3.3 Messprogramm

Das Messprogramm umfasste folgende Messungen:

- ▶ Messung nach dem Messverfahren der Typprüfung (**EN**)
- ▶ Messung nach dem Messverfahren beReal (**BR**)
- ▶ Alterung der Kaminöfen mittels mehrerer Abbrände und Messung nach der Alterung<sup>17</sup>
- ▶ Zusätzliche Messungen zur Beantwortung von Fragen wie beispielsweise Einfluss von Nachlegezeitpunkten, Emissionsminderung durch Katalysatoreinbau, Regelungsanpassung, Vermeidung Leckage an der Türdichtung.

Weiterhin wurden an ausgewählten Kaminöfen auch Messungen nach dem zum Zeitpunkt der Messung in der Erarbeitung befindlichen Messverfahren zum Umweltzeichen „Blauer Engel“ (**BE**) durchgeführt. Da bei dem überarbeiteten Messverfahren für den Blauen Engel die Messung nach Blauer Engel und Typprüfung parallel an einem Messtag erfolgen können, erfolgten ab August 2018 alle Messung in Anlehnung an die Typprüfung auch nach dem Entwurf der Messroutine des Blauen Engels (gekennzeichnet durch **BE-EN**).

---

<sup>17</sup> Die Alterung erfolgte durch Abbrände nach Bedienungsanweisung. Es wurden so viele Abbrände durchgeführt, dass zu Beginn der Messung die Feuerung 40 Abbrände am DBFZ durchlaufen hatte.

### 3.4 Messmethoden

#### 3.4.1 FTIR - Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer

Für die Messungen wurde ein GASMET CEMS Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer eingesetzt. Dieses stationäre Emissionsmessgerät besteht aus einem FTIR-Gasanalysator vom Typ CX-4000 der Firma ANSYCO GmbH, einem Sauerstoffanalysator vom Typ PMA 100-L der Firma M&C TechGroup Germany GmbH sowie einem beheizten Probenahmesystem und einem PC zur Steuerung und Erfassung der Daten. Der integrierte Sauerstoffanalysator nutzt das physikalische Messprinzip des Paramagnetismus zur Messung des Sauerstoffgehaltes und ist in seinen Messbereichen von 0 - 25 und 0 – 100 Vol.-% O<sub>2</sub> frei parametrierbar. Die Probenahme des CEMS erfolgt mit einer beheizten Entnahmesonde, deren auswechselbarer Filter zur Partikelabscheidung vor jedem Versuch ausgetauscht wird. Alle mit Messgas in Berührung stehenden Teile des stationären Emissionsmessgerätes von der Entnahmesonde bis zur Messzelle werden mit 180 °C beheizt. Das Messgerät GASMET CEMS ist durch den TÜV SÜD zertifiziert und darf gemäß 13. und 17. BImSchV zur Analyse von Rauchgasen in Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen eingesetzt werden. An dem GASMET CEMS Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer wurde jeweils vor Versuchsbeginn sowie nach dem Versuchsende ein Nullspektrum aufgenommen, eine tägliche Kalibrierung erfolgte nicht. Tabelle 30 zeigt die für die Messungen relevanten Emissionskomponenten mit dazugehörigen Messbereichen und Messgrößen. Die Messdaten wurden über die mitgelieferte CALCMET-Software erfasst.

**Tabelle 30: Messgrößen, -bereiche und -fehler des FTIR- Gasanalysator Typ CX-4000 (ANSYCO GmbH)**

Messgröße	Nachweisgrenze	Messbereich	max. Messfehler
NO	3 ppm	0 – 2 000 ppm	± 10 ppm bzw. 4 % FS*
NO <sub>2</sub>	4 ppm	0 – 1 500 ppm	± 5 ppm bzw. 4 % FS
SO <sub>2</sub>	3 ppm	0 – 2 000 ppm	± 5 ppm bzw. 4 % FS
HCl	1 ppm	0 – 1 000 ppm	± 2 ppm bzw. 4 % FS
CO	2 ppm	0 – 15 000 ppm	± 15 ppm bzw. 4 % FS
CO <sub>2</sub>	0,2 Vol.-%	0 - 25 Vol.-%	± 0,5 Vol.-% bzw. 4 % FS
H <sub>2</sub> O	0,2 Vol.-%	0 - 30 Vol.-%	± 0,5 Vol.-% bzw. 4 % FS

FS: Messbereichsendwert

Das FTIR-Abgasmesssystem wurde parallel zum Gasanalysesystem der Firma Siemens (vgl. Abschnitt 3.4.3) eingesetzt, um eine Überprüfung und Redundanz der Gasmessdaten zu ermöglichen. Zusätzlich war es möglich, mit dem FTIR einzelne gasförmige Kohlenwasserstoffe wie Methan, Formaldehyd und Benzol halbquantitativ zu messen. Auch konnte mit dem FTIR-System der Volumenanteil von Wasser gemessen werden um damit die OGC-Konzentration des FID auf trockenes Abgas zu beziehen.

#### 3.4.2 FID – Flammenionisationsdetektor

Die Messung der Gesamtkohlenwasserstoffemissionen erfolgte mit einem Flammenionisationsdetektor. Hierfür wurde der FID-2010T der Fa. Testa verwendet. Dieser wurde täglich vor

Versuchsbeginn kalibriert. Als Nullgas kam dabei Stickstoff und als rückgeführtes Prüfgas ein Gasgemisch aus Propan, Sauerstoff und Stickstoff zum Einsatz.

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Gesamtkohlenwasserstoffemissionen (OGC) mittels FID bestimmt, wobei ein FID aufgrund des Messprinzips nur Kohlenstoffatome in Kohlenwasserstoffmolekülen detektiert. Die Kohlenwasserstoffemissionen ohne Methan (NMVOC) wurden durch Einberechnung des Methan-Messwertes aus dem FTIR-Gasanalysator ermittelt. Da für die Umrechnung des von den Messgeräten ausgegebenen Volumenanteils in ppm auf die Massekonzentration in mg/m<sup>3</sup> die Molmassen heranzuziehen sind, muss dies bei der Berechnung von NMVOC in mg/m<sup>3</sup> berücksichtigt werden. Für OGC und NMVOC werden die Massekonzentrationen mit der Molaren Masse von Kohlenstoff (12 g/mol) aus den vom FID gemessenen OGC-Volumenanteilen berechnet. Die Massekonzentrationen von Methan werden aus den vom FTIR gemessenen Methan-Volumenanteilen und der Molaren Masse von Methan (16 g/mol) ermittelt. Daher ist es nicht möglich, NMVOC aus den Massekonzentrationen durch einfache Differenzbildung zu berechnen. Die Methanmassekonzentration muss zunächst auf die Molare Masse von Kohlenstoff umgerechnet werden. Die Berechnungsgleichung für NMVOC ergibt sich dadurch zu  $NMVOC = OGC - CH_4 \cdot 12/16$ .

**Tabelle 31: Messgrößen, -bereiche und -fehler des TESTA Flammenionisationsdetektor**

Messgröße	Messbereich	Max. / typ. Messfehler (rel.)
OGC	0 – 1500 mg/m <sup>3</sup>	± 26,8% / ± 6,7%

### 3.4.3 Siemens-Gasanalyzesystem

Zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenstoffmonoxid (CO) nach DIN EN 15058:2017 [92] kam ein ULTRAMAT 23 der Firma Siemens AG zum Einsatz. Dieser verwendet das Standardreferenzverfahren (NDIR) zur Bestimmung der Massenkonzentration von Kohlenstoffmonoxid.

Zur Bestimmung der Sauerstoffkonzentration (O<sub>2</sub>) nach DIN EN 14789:2017 [93] wird ein OXYMAT 61 von Siemens eingesetzt, welches das Messverfahren Paramagnetismus als Standardreferenzverfahren für Sauerstoff nutzt.

Die Kalibrierung der Geräte erfolgt arbeitstäglich am Nullpunkt mit Umgebungsluft bzw. Stickstoff und am Spanpunkt mit DAkkS-zertifiziertem Prüfgas.

**Tabelle 32: Messgrößen, -bereiche und -fehler des SIEMENS- Gasanalyzesystems**

Messgröße	Messbereich	Max. / typ. Messfehler (rel.)
O <sub>2</sub>	0 - 25 Vol.-%	± 20,6% / ± 5,15 %
CO	0 - 10.000 ppm*	± 12,5% / ± 3,7 %

\* verteilt auf zwei Geräte mit mehreren Messbereichen

### 3.4.4 SMPS - Scanning Mobility Particle Sizer

In ausgewählten Versuchen wurde zusätzlich die Partikelanzahlverteilung mit einem SMPS (Scanning Mobility Particle Size)-Analysator (Hersteller: Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig) bestimmt. Für das Erreichen des Messbereiches des SMPS wurde ein zweistufiger Teilstromverdünner FPS 4000 von Dekati Ltd. eingesetzt.

### 3.4.5 Gravimetrische Staubmessung

Die Messung der Gesamtstaubemissionen erfolgt gravimetrisch in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2066 Blatt 1 [91]. Bei den Messungen wurde die Out-Stack-Filtration angewendet und eine Probenahmedauer von 30 min eingehalten. Ausnahmen ergaben sich jedoch beim Kaltstartzyklus (Anzünden und erster Abbrand) der Kaminöfen zur Erfassung der Emissionswerte nach beReal-Prüfzyklus und nach der Messroutine des Blauen Engel. Hierbei ist die Probenahmedauer variabel und abhängig von der Abbrandgeschwindigkeit, wobei die Probenahmedauer bis zum Nachlegen der nächsten Brennstoffcharge fortgeführt wurde. Für die Absaugung und Volumenstromermittlung des Teilabgasstromes wurde die automatische Isokinetikregelung ITES der Paul Gothe GmbH eingesetzt. Der abgesaugte Teilgasstrom durchströmt die Entnahmesonde aus Titan und passiert dabei die Filtereinheit, welche mit einem Planfilter versehen ist. Als Filtermaterial wird Quarzmikrofaserpapier der Fa. Munktell (Typ MG 160) mit einem Durchmesser von 45 mm und einem Aufnahmevermögen für Staub von 20 mg verwendet, auf dem sich die vom Abgasstrom mitgetragenen Partikel ablagern. Die Entnahmesonde wird während der Probenahme durch eine Heizmanschette konstant auf 70 °C geheizt, um ein Auskondensieren von Abgasbestandteilen zu vermeiden. Für jeden Versuch wurden mindestens drei Staubmessungen bei Nennlast und zwei Staubmessungen bei Teillast in Anlehnung an die VDI 2066 durchgeführt [91].

Nach Abschluss des Versuchstages wurde die Messsonde mit Aceton und dest. Wasser gespült. Die in der Spülflüssigkeit enthaltene Staubmasse wurde auf die einzelnen Messdurchgänge aufgeteilt. Die Aufteilung erfolgte analog der gesammelten Staubmengen pro Filter. Es werden die Staubemissionen einmal mit Berücksichtigung der Sondenspülflüssigkeit (Staub) und einmal ohne Berücksichtigung der Spülflüssigkeit (Staub ohne Spülung) angegeben.

### 3.5 Durchgeführte Messungen und Messergebnisse

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die in Tabelle 33 bis Tabelle 38 aufgeführten Messungen durchgeführt und dabei entsprechende Messergebnisse erhalten, wobei die Liste die notwendigen Vorversuche sowie die Abbrände zur Alterung der Feuerung nicht enthält.

Die in der Spalte „Messung-Nr.“ aufgeführten Zahlenkürzel haben folgende Bedeutung.

- ▶ **EN** – Die Messung und Auswertung erfolgte in Anlehnung an die derzeit übliche Typenprüfung (siehe Tabelle 42. Von den Nennlastabbrände (nach Kaltstart und erstem Abbrand) wurden für die Mittelwertbildung die drei hinsichtlich der Staub- und ggf. CO-Emissionen günstigsten ausgewählt.
- ▶ **br** – Die Messung und Auswertung erfolgte nach der Messprozedur beReal (Tabelle 43.
- ▶ **VUz** – Die Messung und Auswertung erfolgte nach einer vorgeschlagenen Messprozedur für ein Umweltzeichen (Stand: 15.Juni 2018) siehe Tabelle 45
- ▶ **bE-EN 1** – Die Messung und Auswertung erfolgte in Anlehnung an die derzeit übliche Typenprüfung, allerdings an demselben Prüftag wie die Messung zum Blauen Engel.
- ▶ **bE-EN 2** – Die Messung und Auswertung erfolgte nach der Messprozedur für den Blauen Engel (Stand: 06. September 2018) siehe Tabelle 44.
- ▶ **TP** – Daten des zum Kaminofen vorliegenden Typprüfprotokolls

► M – mit Modifikationen am Kaminofen

Nachfolgend werden die Daten in Form von Mittelwerten dargestellt und diskutiert. Die Einzelwerte der Abbrände sind im Anhang C aufgeführt.

**Tabelle 33: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1**

Messung-Nr.	Datum	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]
EN*	25.04.18	15	2964	108	174	91	295	126	201
EN*	07.05.18	14	2112	112	143	127	285	71	231
bE-EN 1*	25.03.19	12	3765	188	199	182	674	213	514
bE-EN 1	12.06.19	14	1811	137	68	62	300	57	257
bR*	02.05.18	16	2687	113	134		335	105	256
bR*	03.05.18	16	2001	88	126		215	75	159
bE-EN 2*	25.03.19	13	2769	147	157		414	134	313
bE-EN 2	12.06.19	15	2670	139	68		400	114	315
TP	27.05.14	13	< 1250	-	//	< 40	< 120	-	-

\* Messungen mit Produktionsfehler bezüglich Dichtheit der Tür

Folgende Hinweise sind bei der Auswertung der Messungen an KO1 zu beachten:

Aufgrund der hohen Emissionswerte wurde mit dem Hersteller ein Gespräch zur Erörterung der Gründe geführt und der Ofen im Technikum einer Sichtprüfung unterzogen. Dabei wurde festgestellt, dass die Ofentür nicht nach den Qualitätsanforderungen des Herstellers ausreichend dicht schließt. Daraufhin wurde eine zusätzliche Ofendichtung durch DBFZ-Techniker eingebaut und die Messung am Ofen am 12.06.2019 wiederholt. Als Nachlegekriterium wurde das CO<sub>2</sub>-Maximum mit zusätzlicher Bedingung „Flamme aus“ herangezogen. Da auch diese Werte über den Erwartungswerten des Herstellers lag, wurde der Versuch mit derselben Feuerung im Werkslabor des Herstellers wiederholt. Die erzielten Ergebnisse lagen im Bereich der Typprüfung. Die Unterschiede lagen vorrangig in der Brennstofffeuchte sowie in einer längeren Pause zwischen dem Erreichen des Nachlagezeitpunktes und dem Nachlegen. Weitere Untersuchungen konnten in diesem Vorhaben nicht durchgeführt werden.

Kurzauswertung:

Die erhöhten OGC-Konzentrationen lassen auf eine Verbrennung mit teilweise zu kalten Stellen bzw. ein „Kokeln“ des Feuers bei zu geringer Temperatur schließen. Im Betrieb des Kaminofens

fiel auf, dass am Ende des Abbrandes der Brennstoff im vorderen Teil des Feuerraums schon heruntergebrannt war, während die Verbrennung im hinteren Teil noch mit sichtbarer Flamme lief. Dieser ungleichmäßige Abbrand zog sich über mehrere Brennstoffauflagen hinweg und führte zu geringeren CO<sub>2</sub>-Spitzen. Somit lagen die Nachlegezeitpunkte, welche rechnerisch mittels der CO<sub>2</sub>-Spitzen bestimmt werden, in einem späten Bereich. Es wird angenommen, dass dies auch der Grund ist, weshalb die Emissionswerte der beReal-Messungen (Messung-Nr. 2\*) beim Kaminofen KO1 mit defekter Tür mit den anderen Prüfzyklen vergleichbar sind.

Auch nach der Reparatur der undichten Tür konnten am DBFZ die Werte der Typprüfung nicht erreicht werden. Es wird davon ausgegangen, dass dies am Brennstoff und der Handhabung der Feuerung durch die Betreibenden liegt. Insbesondere bei Betrieb durch ungeschulte Betreibende sind die niedrigen Emissionen wahrscheinlich nicht erreichbar und die Feuerung emittiert um den Faktor 2-3 höher Schadstoffkonzentrationen.

**Tabelle 34: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2**

Messung -Nr.	Datum	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	18.06.18	13	1152	120	96	87	81	42	50
EN	02.07.18	12	1363	107	107	98	129	28	107
bE-EN 1	19.02.19	13	1838	113	167	150	76	31	52
bE-EN 1	20.02.19	13	1345	131	158	145	60	19	46
bE-EN 1	26.02.19	13	1667	120	141	136	75	24	57
bE-EN 1	27.02.19	13	1310	131	149	136	95	33	70
bR	03.07.18	14	1584	100	86		166	52	127
bE-EN 2	19.02.19	14	2006	114	165		111	46	76
bE-EN 2	20.02.19	14	2060	120	126		102	48	66
bE-EN 2	26.02.19	14	1975	117	154		111	50	73
bE-EN 2	27.02.19	14	1879	125	141		118	51	79
TP	12.10.16	11	< 1250	-	//	< 40	< 120	-	-

Folgende Hinweise sind bei der Auswertung der Messungen an KO2 zu beachten:

Die Messungen ab dem 19.02. und 20.02.2019 erfolgte nach Alterung des Ofens. Anschließend wurde der Ofen einer Überlastprüfung unterzogen (Daten nicht aufgeführt) und am 26.02. und 27.02.2019 erneut auf dem DBFZ-Prüfstand gemessen. Es wurden dabei jeweils zwei Messtage durchgeführt, um die Wiederholbarkeit der Messungen zu bestätigen. Als Nachlegkriterium wurde das CO<sub>2</sub>-Maximum mit zusätzlicher Bedingung „Flamme aus“ herangezogen.

Kurzauswertung:

Der Kaminofen KO2 wies über den gesamten Versuchszeitraum relativ konstant hohe Emissionen auf, welche auch durch die Alterungsversuche nicht relevant beeinflusst wurden. Insbesondere die Staubemissionen lagen ein Vielfaches über den in der Typprüfung ermittelten Werten.

Die vergleichsweise moderaten OGC-Konzentrationen lassen auf eine ausreichend hohe Verbrennungstemperatur schließen. Auffällig sind die vergleichsweise geringen Staub- und CO-Emissionen im beReal-Messzyklus. Da dieser durch einen sehr späten Nachlegezeitpunkt und

Teillastmessungen charakterisiert ist, liegt die Vermutung nahe, dass bei früherer und größtmöglicher Brennstoffauflage dieser zu schnell zündet und nicht an alle Stellen der Verbrennung genügend Luft zugeführt werden kann. Ein solcher Vorgang wird in der Regel von hohen Rußemissionen begleitet.

Ein möglicher Grund ist eine fehlerhafte Abstimmung zwischen Brennstoffmenge und Verbrennungsluftversorgung.

**Tabelle 35: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3**

Messung -Nr.	Datum	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	14.05.18	14	2839	128	28	23	296	96	224
EN	15.05.18	14	2853	100	22	17	302	115	216
bE-EN 1	04.03.19	13	2114	154	21	17	217	71	164
bE-EN 1	07.03.19	12	1853	190	31	27	417	56	375
bR	16.05.18	14	2672	113	50		388	106	308
bR	17.05.18	16	3321	116	130		816	131	718
bE-EN 2	04.03.19	13	2347	154	43		245	78	186
bE-EN 2	07.03.19	12	1777	337	45		336	47	337
TP	26.02.18	k.A.	< 1250	-	//	< 40	< 120	-	-

Folgende Hinweise sind bei der Auswertung der Messungen an KO3 zu beachten:

In einem Vorversuch hatte sich am KO3 gezeigt, dass ohne Anpassung der Luftklappeneinstellung während eines Abbrandzyklus keine sichere Entzündung von nachgelegten Holzscheiten erfolgte und die Vermeidung eines minutenlangen Schwelbrandes der frischen Holzscheite nur möglich war, wenn die Aschetür unterhalb des Rostes für ein bis zwei Minuten geöffnet und der Aschekasten ein kleines Stück herausgezogen wurde. In der Anleitung des Herstellers ist zwar für den Anzündvorgang ein öffnen der Luftklappe vorgesehen, nicht jedoch im Zusammenhang mit dem Nachlegen von Brennstoff. Die Messungen am 14.05. und 15.05.2018 wurden entsprechend mit kurzzeitiger Primärluftzufuhr über den Aschekasten durchgeführt. Gleiches gilt für die Messung nach beReal-Prozedur am 16.05.2018. Dagegen wurde bei der Messung am 17.05.2018 unter beReal-Prozedur trotz der Schwelbrandbedingungen mit einhergehenden hohen Emissionswerten beim Nachlegen auf eine Öffnung des Aschekastens verzichtet. Die Messungen ab dem 04.03. und 07.03.2019 erfolgten nach Alterung des Ofens. Am 04.03.2019 wurde die Primärluft nicht über den Aschekasten zugeführt, sondern die Primärluftöffnung für drei Minuten nach dem Nachlegen voll geöffnet. Am 07.03.2019 wurde der gealterte KO3 dann entgegen der Herstellerangaben in der Bedienungsanleitung mit 30 % geöffneter Primärluftklappe über die gesamten Abbrände betrieben, so dass während der Abbrände kein manueller Eingriff bei Lufteinstellungen notwendig war. Als Nachlegekriterium wurde das CO<sub>2</sub>-Maximum mit zusätzlicher Bedingung „Flamme aus“ herangezogen.

**Kurzauswertung:**

Dieser Kaminofen erfordert in den ersten Minuten nach dem Auflegen des Brennstoffs noch Eingriffe durch die Betreibenden bzw. eine von der Bedienungsanleitung abweichende Lufteinstellung. Zündete der Brennstoff schnell, lagen die erzielten Staubemissionen im Bereich oder unterhalb der Werte der Typprüfung. Die CO- und OGC-Emissionen lagen um den Faktor 2-3 über den Typprüfwerten.

Es ist davon auszugehen, dass die erhöhten CO- und OGC-Emissionen sich auf die Schwelbrände zum Beginn der Abbrandphasen zurückführen lassen. Die insgesamt moderaten Staubemissionen lassen den Schluss zu, dass während der Verbrennung ausreichend Sauerstoff zu Verfügung stand und somit nur wenig Ruß emittiert wurde.

**Tabelle 36: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4**

Messung -Nr.	Datum	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]
bE-EN 1	20.08.18	13	778	91	20	18	81	37	53
bE-EN 1	21.08.18	14	978	83	16	13	106	45	72
bE-EN 1	11.03.19	14	1662	125	23	20	159	76	103
bE-EN 1	14.03.19	14	1444	118	26	23	133	64	85
bE-EN 1	18.03.19	13	1089	112	n.g.	n.g.	84	46	50
bE-EN 1	19.03.19	13	1146	119	n.g.	n.g.	83	46	48
bE-EN 1	20.03.19	13	1200	121	29	26	88	52	49
bE-EN 2	20.08.18	14	878	90	30		96	33	71
bE-EN 2	21.08.18	14	1109	83	26		106	42	75
bE-EN 2	11.03.19	14	2032	135	35		234	91	166
bE-EN 2	14.03.19	14	1713	121	35		150	67	100
bE-EN 2	18.03.19	13	1268	116	n.g.	n.g.	112	54	72
bE-EN 2	19.03.19	13	1873	132	n.g.	n.g.	192	82	132
bE-EN 2	20.03.19	13	1561	134	38		124	61	78
bR	22.08.18	15	1288	90	41		n.g.	47	n.g.
bR	23.08.18	14	1269	88	39		109	45	75
TP	09.12.08	14	< 1250	-	//	< 40	< 120	-	-

Folgende Hinweise sind bei der Auswertung der Messungen an KO4 zu beachten:

Die Messungen am 11.03., 14.03. und 18. bis 20.03.2019 erfolgten nach Alterung des Ofens. Am 18.03. und 19.03.2019 wurden keine Gesamtstaubmessungen durchgeführt. Während bei Messtagen, soweit nichts Anderes vermerkt, das Nachlegekriterium anhand des CO<sub>2</sub>-Maximums

mit zusätzlicher Bedingung „Flamme aus“ herangezogen wurde (CO<sub>2</sub> lag bei etwa 3,5 % CO<sub>2</sub>), erfolgte an den Tagen 18. bis 20.03.2019 jeweils das Nachlegen von Holz bei 4 % CO<sub>2</sub>, auch wenn noch sichtbare Flammen vorhanden waren.

Kurzauswertung:

Bei Kaminofen KO4 werden die Möglichkeiten und Grenzen der zulässigen Selektierung der Abbrände während der Typprüfung deutlich. Die anzugebenden Staubemissionen konnten deutlich gesenkt werden, während dies bei anderen Schadstoffen nicht im gleichen Umfang möglich war. Jedoch konnte der Kaminofen auch ohne Selektion die in der Typprüfung angegebenen Staubwerte einhalten bzw. sogar unterbieten. Auch bezüglich der anderen betrachteten Schadstoffe, konnten Werte im Bereich der Typprüfung erzielt werden.

Wird eine Selektierung der Abbrände zugelassen, verbesserten sich die Emissionen, wenn früher (bei brennender Flamme) nachgelegt wurde. Ohne Selektierung ist diese Wirkung nicht erkennbar.

**Tabelle 37: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 ohne Umbauten**

Messung -Nr.	Datum	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	06.06.18	12	1530	109	24	21	187	46	152
EN	07.06.18	12	2999	107	40	33	420	108	339
bE-EN 1	08.04.19	10	1042	114	93	87	119	36	92
bE-EN 1	02.05.19	11	674	139	9	8	47	25	28
bR	11.06.18	14	3805	250	58		636	193	491
bR	12.06.18	14	3597	92	60		518	154	403
VUz	04.06.18	14	2335	108	59		321	106	242
VUz	05.06.18	14	2035	99	62		239	80	179
bE-EN 2	08.04.19	12	1201	111	84		106	35	80
bE-EN 2	02.05.19	12	1239	131	23		88	42	56
TP	21.01.13	10	< 1250	-	//	< 40	< 120	-	-

Folgende Hinweise sind bei der Auswertung der Messungen an KO5 zu beachten:

Alle Messungen im Jahr 2018 vor der Alterung des Ofens erfolgten mit einem Nachlegekriterium je nach CO<sub>2</sub>-Maximum zwischen 4,0 und 3,0 Vol.-% CO<sub>2</sub> und der Bedingung „Flamme aus“. Alle Messungen im Jahr 2019 nach der Alterung des Ofens erfolgten mit einem angepassten Nachlegekriterium je nach CO<sub>2</sub>-Maximum zwischen 4,5 und 3,5 Vol.-% CO<sub>2</sub> und der Bedingung „Flamme aus“. Die Messungen am 08.04.2019 erfolgten nach Alterung und Nachlegen von Holz nach angepasstem Nachlegekriterium je nach CO<sub>2</sub>-Maximum zwischen 4,5 und 3,5 Vol.-% CO<sub>2</sub> und der Bedingung „Flamme aus“. Bei der Messung am 02.05.2019 wurde festgelegt, dass unabhängig vom CO<sub>2</sub>-Maximum zwingend bei 4,5 Vol.-% nachgelegt werden muss. Auch wurde dabei nicht berücksichtigt, ob die Flammen erloschen waren oder nicht.

Kurzauswertung:

Der Kaminofen KO5 reagiert sehr stark auf Variationen des Nachlegezeitpunktes, obwohl eine automatische Luftregelung vorhanden ist. Wird erst spät nachgelegt, sind insbesondere die gasförmigen sowie OGC-Emissionen deutlich erhöht. Besonders deutlich wird dieser Effekt bei der Messung am 02.05.19, bei welcher der nach DIN EN 16510-1 frühestmögliche Nachlegezeitpunkt gewählt und die niedrigsten Emissionen festgestellt wurden. Hingegen

wiesen die Messzyklen Nr. 2 und 3 einen deutlich späteren Nachlegezeitpunkt auf und stehen insbesondere mit hohen CO und OGC-Emissionen hervor.

Beim optimalen Nachlegezeitpunkt konnten die Werte der Typprüfung erreicht werden. Bei einem ungünstigen, jedoch in der Praxis nicht unwahrscheinlichen späteren Nachlegezeitpunkt stiegen die Emissionen deutlich an.

**Tabelle 38: ausgewählte Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 mit Umbauten**

Messung-Nr.	Datum	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]
bE-EN 1	08.04.19	10	1042	114	93	87	119	36	92
bE-EN 1,M	10.04.19	10	1059	107	21	19	121	41	91
bE-EN 1,M	11.04.19	11	711	117	15	14	70	26	51
bE-EN 1,M	17.04.19	11	742	108	139	135	79	41	49
bE-EN 1,M	25.04.19	11	477	130	8	7	41	27	21
bE-EN 1,M	29.04.19	11	485	141	9	9	46	33	22
bE-EN 1,M	06.05.19	11	544	137	9	8	44	26	25
bE-EN 3	08.04.19	12	1201	111	84		106	35	80
bE-EN 2,M	10.04.19	12	1531	107	39		138	57	95
bE-EN 2,M	11.04.19	12	959	114	27		140	66	91
bE-EN 2,M	17.04.19	12	962	106	104		100	58	57
bE-EN 2,M	25.04.19	12	1137	123	21		147	100	72
bE-EN 2,M	29.04.19	12	983	134	30		132	83	70
bE-EN 2,M	06.05.19	13	1072	127	23		118	76	61

Folgende Hinweise sind bei der Auswertung der Messungen an KO5 mit Umbauten zu beachten:

Die Messung am 10.04.2019 nach Alterung des Ofens erfolgte mit einem zusätzlich von DBFZ-Technikern installierten Leitblech mit 12 mm Abstand zum im KO5 standardmäßig installierten Keramikschwamm. Dieses Leitblech hatte einerseits die Aufgabe, den direkten

Flammenanschlag am Keramikschwamm zu vermeiden und damit eine Flammenauslöschung an der Anströmseite sowie eine übermäßige thermische Belastung des Keramikschwammes zu vermeiden. Andererseits war das Leitblech für die Strömungsführung der Gase im Brennraum notwendig, so dass der Großteil der Gase nicht durch den permanent vorhandenen Bypass strömt, sondern den Strömungsweg durch den Keramikschwamm nimmt.

Bei der Messung am 11.04.2019 war der experimentelle Aufbau identisch zum 10.04.2019, allerdings wurde der standardmäßige Keramikschwamm durch einen mit Edelmetall-Katalysator beschichteten Keramikschwamm (nachfolgend als EM-Kat bezeichnet) gleicher geometrischer Eigenschaften wie der Standardschwamm ersetzt.

Bei der Messung am 17.04.2019 war das Versuchsdesign identisch zum 11.04.2019, allerdings wurde der Abstand zwischen EM-Kat und Leitblech auf 6 mm reduziert. Vor der Messung am 25.04.2019 wurde der Ofen an drei Tagen mit jeweils ca. 8 Brennstoffauflagen ohne Messung betrieben, um eine kurzzeitige Alterung des Katalysators zu erzielen. Hierbei erfolgten keine Messungen.

Am 25.04.2019 wurde der mittlerweile fünf Prüftage gealterte EM-Kat mit Leitblech eingesetzt. Der Abstand zwischen Leitblech und EM-Kat wurde auf 12 mm eingestellt. Bei der Messung am 29.04.2019 wurde die Messung vom 25.04.2019 wiederholt, wobei der EM-Kat sechs Prüftage mit jeweils 8 Brennstoffauflagen im bestimmungsgemäßen Betrieb gealtert war. Bei der Messung am 06.05.2019 wurde die Messung vom 29.04.2019 wiederholt (mit Leitblech bei 12 mm Abstand zum EM-Kat, wobei dieser sieben Prüftage gealtert war).

Kurzauswertung:

Da der Ofen K05 bereits im Originalzustand einen Keramikschwamm zur Staubminderung beinhaltet, war es naheliegend, dieses Modell mit einem am Markt verfügbaren Edelmetallkatalysator (EM-Kat) auszurüsten. Wie bereits unter der Messwerttabelle des K05 (vgl. Tabelle 38) beschrieben wurde, war es notwendig, bei Einbau des EM-Kat ein Leitblech einzubauen, um einerseits einen direkten Flammenanschlag zu verhindern und andererseits eine übermäßige Bypassströmung zu vermeiden, damit der Katalysator die erwartete Wirkung zeigen konnte. Mit eingebautem EM-Kat und entsprechender Leitblechintegration wurden mit K05 in der gesamten Versuchsreihe die niedrigsten Emissionswerte erzielt. Die Gesamtstaubwerte lagen im Bereich 10 bis 20 mg/m<sup>3</sup>. CO und OGC lagen unter 1000 mg/m<sup>3</sup> bzw. bei etwa 100 mg/m<sup>3</sup>.

## 3.6 Interpretation der Messergebnisse

### 3.6.1 Bewertung hinsichtlich der Prüfmethode

Die Messungen in Anlehnung an die Typprüfung erfolgten auf Grundlage der genannten Normen sowie Hinweisen von notifizierten Prüfstellen zu offiziellen Absprachen zur Anwendung dieser Normen. Im Rahmen dieser Absprachen wurden beispielsweise Eingriffsmöglichkeiten durch die Betreibenden, welche durchaus in die Norm interpretiert werden können, als unzulässig ausgeschlossen. Dadurch verringerten sich einige Unterschiede zu den anderen Prüfmethode. Bei der Typprüfung nach EN 13240 und zukünftig nach EN 16510-1 ist es zulässig, dass drei Abbrände aus einer beliebigen Anzahl an Abbränden gemittelt werden, wobei zwei aufeinanderfolgende Abbrände und ein dritter weiterer einzelner Abbrand ausgewertet werden dürfen. Dies führte bei den vorliegenden Messungen zu niedrigeren anzugebenden Emissionen, wobei insbesondere der Staubwert gut zu beeinflussen war. Das Ansinnen, durch die Selektion Ausreißer aus der Auswertung zu eliminieren ist nachvollziehbar. Jedoch müsste dies mittels statistischer Verfahren erfolgen, damit das Gesamtergebnis nicht verfälscht wird.

Neben der fehlenden Selektionsmöglichkeit hebt sich die Prüfmethode beReal besonders durch die Berücksichtigung von der Startphase, Teillastzuständen und einen späten Nachlegezeitpunkt ab. Im Vergleich der Prüfroutinen EN und beReal zeigte sich über alle fünf gemessenen Öfen kein einheitliches Bild. Während beim günstigen Ofenmodell KO1 im Anlieferungszustand mit undichter Ofentür kaum Unterschiede in den Emissionswerten der verschiedenen Prüfroutinen vorhanden waren, neigten die Kaminöfen KO3 und KO4 vor allem bei den Staubemissionen tendenziell zu höheren Gesamtstaubemissionen im beReal-Prüfzyklus. Der Kaminofen KO2 neigte hingegen zu niedrigeren Staubemissionen.

Der Messzyklus nach dem Entwurf des Blauen Engels ist besonders durch den Start bei Naturzug, der Berücksichtigung von zulässigen Teillastabbränden und der Einschränkung von Bedienhandlungen charakterisiert. Insbesondere beim Kaminofen KO3 zeigte sich, dass ungünstige Startbedingungen zu Störungen in der Verbrennung führen können. Dieser Effekt kann so groß sein, dass das Feuer erlischt und neu entzündet werden muss. Da die beiden anderen Prüfmethode von Beginn an mit konstantem Schornsteinzug arbeiten, kann diese Fehlfunktion mit diesen Methoden nur unzureichend bzw. nur in besonders schweren Fällen erkannt werden. Werden die Messdaten nach der Prozedur unter Anlehnung an die EN-Typprüfung mit den Messdaten aus dem Messzyklus nach dem Entwurf des Blauen Engels verglichen, zeigte sich ähnlich wie bei beReal eine tendenzielle Zunahme der Emissionswerte nach Blauer Engel-Prozedur. Die Gesamtstaubwerte der günstigeren Kaminöfen KO1 und KO2 sind dabei auf vergleichbarem Niveau wie nach angelehnter EN-Typprüfung, während bei CO und OGC ein Anstieg erkennbar war. Bei den Öfen mit vergleichsweise niedrigen Gesamtstaubwerten in dieser Versuchsreihe KO3, KO4 und KO5 stiegen dagegen die Emissionswerte bei der Prüfroutine des Blauen Engels.

Aufgrund der begrenzten Anzahl von Messungen können nur Tendenzen abgeleitet werden. Diese sind:

- ▶ Es kann bezüglich der Emissionen nicht Allgemeingültig von „einfacheren“ und „strengerer“ Prüfmethode gesprochen werden. Die Kaminöfen reagieren durchaus gegensätzlich auf die unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Messverfahren).
- ▶ Bei Kaminöfen mit einem höheren Emissionsniveau sind die Unterschiede eher weniger stark ausgeprägt als bei emissionsarmen Feuerungen.
- ▶ Relevante Parameter der Prüfmethode sind zulässige Selektionen, die Eingriffsmöglichkeiten durch die Betreibenden, der Umgang mit zulässigen Teillastzuständen, der Nachlegezeitpunkt und die Startbedingungen der Kaminöfen.

### 3.6.2 Bewertung der Kaminöfen

Die Messergebnisse zeigten, dass trotz der vorliegenden Typzulassungen aller fünf getesteten Kaminöfen die Einhaltung der 1. BImSchV auf dem DBFZ-Prüfstand ohne umfangreiche Vorversuche und ohne Kenntnis der „Decisions of notified bodies“ nicht durchgehend reproduziert werden konnte. Lediglich bei KO4 konnte im angelieferten Neuzustand eine Einhaltung der Grenzwerte für Gesamtstaub und Kohlenstoffmonoxid auf dem DBFZ-Prüfstand festgestellt werden.

Eine Rangfolge der getesteten Kaminöfen **von höheren zu geringeren Emissionen** ergibt sich bei alleiniger Betrachtung der Emissionswerte (CO, OGC und Staub) sowohl im Neuzustand und nach der durchgeführten Alterung in folgender Weise:

$K01 > K03 \approx K05 > K02 > K04$

Werden nur die Gesamtstaubemissionen betrachtet, ändert sich die Rangfolge und kann wie folgt dargestellt werden:

$K02 > K05 > K01 > K03 > K04$

Demnach wies der Kaminofen K04 die geringsten Emissionen auf und dieser ist der einzige Ofen, der im Neuzustand die Emissionsgrenzwerte der 1. BImSchV auf dem DBFZ-Prüfstand einhielt. Der Ofen K02 war dagegen hinsichtlich der CO- und OGC-Werte vergleichsweise emissionsarm, zeigte aber die höchsten Gesamtstaubwerte.

K01 als günstigstes getestetes Modell zeigte im Mittel die höchsten Emissionswerte bei Anlieferung im Neuzustand, was zumindest teilweise auf die undichte Ofentür zurückzuführen war. Auch wenn nach Abdichtung der Ofentür die Emissionswerte verringert werden konnten, zeigte K01 im Mittel über alle Werte die höchsten Emissionen.

Der Kaminofen K03 konnte zwar bei entsprechender Primärluftzufuhr über dem Aschekasten während der ersten Minuten nach dem Nachlegen bei Vergleich mit den anderen Modellen relativ emissionsarm hinsichtlich Gesamtstaub betrieben werden, allerdings sind die OGC-Werte mit über  $300 \text{ mg/m}^3$  relativ hoch und liegen über dem Niveau der OGC-Werte von K01.

Der Kaminofen K05 zeigte im Anlieferungszustand vergleichsweise niedrige Gesamtstaubwerte, was vermutlich auf den integrierten Keramikschwamm zurückzuführen war. Allerdings verfügt dieser Ofen auch über eine Lambda-Regelung der Verbrennungsluft, welche anhand Temperatur und Sauerstoffgehalt die Abbrandphase erfasst und entsprechend regelt. Allerdings wurde im Vorversuch bei Anlieferung im Neuzustand anhand hoher CO-Emissionen festgestellt, dass die Temperatursonde nicht wie notwendig im Messstutzen installiert war. Die Eintauchtiefe der Sonde war zu gering, was jedoch Nutzende üblicherweise nicht hätten erkennen können. Nach Rücksprache mit dem Hersteller wurde dieser Fehler durch einen Servicetechniker behoben, so dass die entsprechenden Emissionsmessungen ausgeführt werden konnten. Mit entsprechender Anpassung der Regelungsparameter war es möglich, die CO- und OGC-Werte an K05 in Bereiche unterhalb der Grenzwerte der 1. BImSchV zu mindern. Allerdings stiegen dadurch die Gesamtstaubwerte etwas an und lagen dann deutlich über  $40 \text{ mg/m}^3$  bei den Messungen auf dem DBFZ-Prüfstand, so dass dieser Ofen dann hinsichtlich der Gesamtstaubemissionen auf die zweithöchsten Werte kam. Eine weitere Anpassung der Regelungsparameter erscheint damit notwendig, was jedoch im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht möglich war.

### 3.6.3 Hinweise zur Bedeutung des Nachlegezeitpunktes

Die aus der Literatur bekannte Bedeutung des richtigen Nachlegezeitpunktes kann durch die vorliegenden Messungen bestätigt werden. Wird (zu) spät neuer Brennstoff aufgelegt, steigt zum einen die Gefahr, dass Brennraumtemperatur zu weit absinkt und die Feuerung vermehrt organische Komponenten emittiert. Zum anderen wird der Anzündvorgang gehemmt, so dass es zu ungünstigen Schwelzuständen kommen kann.

Die Messung an K05 im Originalzustand und mit dem Nachlegekriterium von  $\text{CO}_2 = 4,5 \text{ Vol.-%}$  unabhängig vom maximalen  $\text{CO}_2$ -Anteil und zudem auch noch sichtbaren Flammen, zeigte, dass unter diesen Versuchsbedingungen ähnlich niedrige Emissionswerte wie bei Katalysatorintegration erzielt werden konnten.

Eine Nutzung dieses Nachlegekriteriums unter Praxisbedingungen ist jedoch schwer umsetzbar, da die Betreibenden eine entsprechende Nachlegeanzeige benötigen würden und ggf. eine Ofentürverriegelung benötigt werden würde, um ein zu spätes Nachlegen von Holz zu vermeiden.

### 3.6.4 Einfluss der Alterung unter Prüfstandsbedingungen

Hinsichtlich der Alterungseinflusses auf die Emissionen konnte im Rahmen der Untersuchungen kein eindeutiger Effekt erkannt werden. Die aufgetretenen Mängel (Undichtigkeiten, fehlerhafte Fühlerpositionen) bestanden an den betroffenen Feuerungen schon bei der Erstinbetriebnahme. Eine Verschlechterung der Feuerung bei bestimmungsgemäßem Betrieb über die Projektlaufzeit konnte nicht festgestellt werden. Die Betriebszeiten der Feuerungen lagen im Bereich einer gelegentlich betriebenen Einzelraumfeuerung über eine Heizperiode.

Auch die gezielte Überlastung des Kaminofens KO2 führte nicht zu Schäden, welche höhere Emissionen nach sich ziehen würden. Zu beachten ist jedoch, dass diese Feuerungen keine empfindlichen Komponenten wie Katalysatoren oder elektronische Sensoren und Stellglieder enthielt.

Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen wird postuliert, dass vor allem emissionsärmere Feuerungen mit Katalysatoren oder elektronischen Regelungen erhöhte Emissionen aufgrund Alterungserscheinungen aufweisen werden. Im Rahmen eines bestimmungsgemäßen Betriebes des Kaminofens wird sich eine Alterung jedoch nicht in überschaubaren Zeiträumen umsetzen lassen.

Im Folgenden sollen die aufgestellten Hypothesen (vgl. Tabelle 28) überprüft werden.

### 3.6.5 Hypothese 1: Emissionsverhalten ist vom Preis der Feuerung abhängig?

Die beschafften Kaminöfen können folgenden Preisgruppen zugeordnet werden.

**Tabelle 39: Gemessene Kaminöfen nach Preiskategorie**

Bezeichnung	Preiskategorie
K01	Sehr günstig
K02	günstig
K03	mittel
K04	preisintensiv
K05	preisintensiv

Anhand der Emissionsmessdaten aus den Versuchsreihen lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang von Preis und Emissionen feststellen. Der vergleichsweise preisintensive Kaminofen KO4 zeigte zwar die geringsten Emissionswerte unter den gemessenen fünf Öfen, dafür kann hinsichtlich der Differenzierung der übrigen vier Öfen kein eindeutiger Zusammenhang festgestellt werden. Dass innerhalb dieser Messreihe keine eindeutige Aussage möglich ist, liegt auch an den Mängeln bei Anlieferung der Kaminöfen KO1, KO3 und KO5. Diese Mängel konnten zwar nach Rücksprache mit den Herstellern bei KO1 und KO5 behoben bzw. durch Veränderung der LuftEinstellung bei KO3 während der Abbrände vermieden werden, allerdings muss bezweifelt werden, dass eine Privatperson diese Mängel aufgrund fehlender Messgeräte überhaupt erkannt hätte.

Ein Datenvergleich von KO1 und KO5 zeigte deutlich, dass der Preis keine Aussage hinsichtlich niedriger Emissionswerte zulässt (vgl. Tabelle 40).

**Tabelle 40: Vergleich der Emissionswerte (13 % O<sub>2</sub> und Normbedingungen) von KO1 (geringster Preis) und KO5 (höchster Preis) nach Mängelbehebung**

Datum	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]
KO1: 12.06.2019	14	1811	68	300	257
KO5: 08.04.2019	10	1042	93	119	92

Werden die Emissionswerte von KO1 mit dem niedrigsten Preis nach Türabdichtung (12.06.2019, Tabelle 33) mit den Werten von KO5 mit dem höchsten Preis ohne Katalysator- und Leitblechintegration (08.04.2019, Tabelle 38) miteinander verglichen, ergibt sich bei KO1 ein Gesamtstaubwert von 68 mg/m<sup>3</sup> und bei KO5 ein Gesamtstaubwert von 93 mg/m<sup>3</sup>. Dagegen waren bei KO5 die CO- und OGC-Werte deutlich geringer als bei KO1.

### 3.6.6 Hat der Vertriebsweg Einfluss auf die Qualität der Geräte? Gibt es Unterschiede in der Beratung?

Der Kauf der Öfen im Onlinehandel (KO1) und auch beim Internetshop der Baumärkte (KO2 und KO3) erfolgte ohne größere Schwierigkeiten.

Der Kaminofen KO4 wurde im Fachhandel bei einem lokal ansässigen Ofensetzer beschafft. Dieser verkaufte den Kaminofen mit einer vom Hersteller verfügbaren Luftregelung, die jedoch am Ofentyp KO4 nicht nachrüstbar ist. Die Luftregelung wurde nach Reklamation durch das DBFZ vom Fachhändler wieder zurückgenommen und der Preis erstattet.

Der Kaminofen KO5 wurde direkt im Handelsgeschäft des Ofenherstellers beschafft. Da dieser Ofen mit Lambdaregelung derzeit nicht als Serienprodukt verfügbar ist, wurde ein beim Hersteller auf dem Prüfstand und im Ausstellungsraum bereits betriebenes Gerätes angeboten und beschafft. Ein Servicetechniker des Herstellers hatte per Telefon Fragen zu einem vom Hersteller vorgesehenen Erhebungsbogen gestellt und die entsprechenden Antworten dokumentiert und eine Kopie des Erhebungsbogens an das DBFZ geschickt.

Der Kaminofen KO1 wurde über den Onlinehandel beschafft. Folgende Fragen wurden an den Service per E-Mail (nicht erkennbar als DBFZ) geschickt und die entsprechenden Antworten (*kursiv*) innerhalb von 24 h erhalten:

**Tabelle 41: Fragen und Antworten**

Frage / Antwort	Antwort fehlerhaft?
<p>Welche Leistung empfehlen Sie für einen Wohnraum mit 40 m<sup>2</sup> und einem Baujahr des Hauses von 1975 ohne besonderen Wärmeschutzstandard?</p> <p><i>„Bei der Wohnraumgröße gehen wir von einer Raumhöhe von 2,50 m aus. Dann wäre die optimale kW-Angabe 5 kW.“<sup>18</sup></i></p>	nein
<p>Welchen Wirkungsgrad hat der Ofen?</p> <p><i>„80 %“</i></p>	nein

<sup>18</sup> Bis 6 kW wird kein separater Nachweis für den Wärmebedarf des Aufstellraumes gefordert (LAI). Die Heizleistung von 5 kW ist für den angefragten Raum gut dimensioniert.

Frage / Antwort	Antwort fehlerhaft?
<p>Welche Informationen benötigt die Schornsteinfegerin oder der Schornsteinfeger für die Erstinbetriebnahme?</p> <p><i>„Bevor Sie den Ofen überhaupt bestellen, empfehlen wir Ihnen, dass Sie dem Schornsteinfeger die technischen Daten zeigen (siehe Artikelbeschreibung).“</i></p>	<p>Detailinformationen wären wünschenswert.</p> <p>nein</p>
<p>Welche Schornsteinbedingungen wie Höhe, Durchmesser, Rauchsauger und Zugbegrenzer sind zu empfehlen?</p> <p><i>„Das müssen Sie bei Ihrem Schornsteinfeger erfragen.“</i></p>	<p>nein</p>
<p>Welche Brennstoffe empfehlen Sie bzw. sind zulässig? (z.B. Kohlebriketts?)</p> <p><i>„Scheitholz, Holzbriketts, Braunkohlebriketts“</i></p>	<p>nein</p>
<p>Welche Besonderheiten sind bei den verschiedenen Brennstoffen zu beachten?</p> <p><i>„Am Ofen muss auf Braunkohle oder Holz umgeschaltet werden.“</i></p>	<p>nein</p>
<p>Muss der Ofen regelmäßig gewartet werden und sind Verschleißteile in gewissen Abständen auszutauschen?</p> <p><i>„Der Schornsteinfeger prüft dies im Normalfall ein- bis zweimal im Jahr<sup>19</sup>. Wenn Schamottestein gerissen sind und man den Stahl dahinter sieht, müssen die Platten getauscht werden.“</i></p>	<p>teilweise</p>
<p>Welche Holzmenge (Brennstoffmenge) kann pro Abbrand eingefüllt werden und wie lange brennt der Ofen dann?</p> <p><i>„Dazu können wir keine Angabe machen. Das hängt von Holz und Zug ab.“<sup>20</sup></i></p>	<p>teilweise</p>
<p>Wo kann die anfallende Asche entsorgt werden?</p>	<p>teilweise</p>

<sup>19</sup> Bei der Reinigung des Schornsteins muss nicht zwingend die Feuerstätte begutachtet werden. Die ausführlichere Feuerstättenschau findet nur zwei Mal in sieben Jahren statt. Reinigungsarbeiten durch die Betreibenden werden nicht erwähnt.

<sup>20</sup> Die Brennstoffmenge wird vom Hersteller angegeben und kann zwischen Hart- und Weichholz Unterschiede aufweisen. Meist wird nur eine Holzmenge / ein Holzmengebereich angegeben. Die Brenndauer hängt u. A. von der Holzmenge, der Holzart sowie der zugeführten Verbrennungsluftmenge ab. Einer emissionsarmen Anpassung der Brenndauer des Ofens sind jedoch sehr enge Grenzen gesetzt.

Frage / Antwort	Antwort fehlerhaft?
<p>„Die Asche sollten Sie in einen Ascheimer entsorgen.“<sup>21</sup></p>	
<p>Welche Maßnahmen zur Staubminderung empfehlen Sie?                      „keine Angabe“</p>	
<p>Ist zusätzliches Zubehör für den Betrieb notwendig?                      „Der Ofen muss mit Ofenrohren angeschlossen werden. Ggf. benötigen Sie eine Funkenschutzplatte für den Fußboden.“</p>	nein
<p>Benötigt der Ofen eine zusätzliche Stromversorgung?                      „Nein“</p>	nein
<p>Ist es möglich, falls notwendig, eine Luftsteuerung nachzurüsten?                      „Nein“</p>	nein
<p>Ist der Ofen raumluftabhängig oder raumluftunabhängig zu betreiben?                      „raumluftabhängig“</p>	nein
<p>Welche Möglichkeiten empfehlen Sie, den Ofen anzuzünden?                      „Feuer (ggf. Streichholz)“<sup>22</sup></p>	teilweise
<p>Darf ich den Ofen selbst aufbauen bzw. anschließen oder können Sie mir einen Handwerker empfehlen?                      „Sie können den Ofen selbst aufbauen und anschließen oder Sie nutzen einen Ofenmontageservice.“ <a href="#">Linkverweis auf Ofen-Montageservice</a><sup>23</sup></p>	nein

<sup>21</sup> Ein Verweis auf die Entsorgung im Hausmüll wäre angebracht.

<sup>22</sup> An dieser Stelle hätte ein Hinweis auf Kaminofenanzünder und mögliche Anzündmethoden gegeben werden müssen.

<sup>23</sup> Der Anschluss der Feuerung darf durch einen Laien erfolgen. Ein Hinweis auf die Abnahmepflicht durch das Schornsteinfegerhandwerk wäre jedoch angebracht gewesen.

Frage / Antwort	Antwort fehlerhaft?
<p>Welche Brandschutzvorschriften sind einzuhalten?</p> <p><i>„ggf. Funkenschutzplatte, wenn der Boden aus brennbarem Material ist, wenn die Rückwand hinter dem Ofen aus brennbarem Material ist, muss ein Abstand von 20 cm eingehalten werden. Zur Seite dann 30 cm.“</i></p> <p><i>„Für weitere Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.“</i></p>	<p>nein</p>

*„Vielen Dank für Ihre Anfrage und Interesse an unserem Artikel. Gerne sind wir Ihnen bei Ihren Fragen behilflich und haben die Antworten jeweils hinter die Fragen geschrieben.“*

Aus den Erkenntnissen der Beschaffungswege kann positiv hervorgehoben werden, dass der Online-Handel auf Rückfragen entsprechend zeitnah antwortete. Die Qualität und Tiefe der Antworten hätte jedoch an einigen Stellen deutlich besser sein können. Der nicht nur einem Hersteller zugehörige Fachhandel kann nicht beurteilt werden, allerdings ist der Verkauf eines nicht passenden Zubehörteils wie einer Luftregelung nicht positiv zu bewerten. Die Beschaffung über das Herstellerfachgeschäft erscheint dagegen empfehlenswert, da ein direkter Kontakt mit dem Service des Herstellers möglich ist und auch ohne Aufforderung des Kunden Fragen im Rahmen eines Erhebungsprotokolls geklärt wurden.

### 3.6.7 Wird durch eine Luftregelung bzw. Tertiärluftzufuhr eine vollständigere bzw. emissionsarme Verbrennung in allen Zuständen erreicht?

Die beiden Geräte KO1 (sehr günstiges Preissegment) und KO2 (günstiges Preissegment) verfügen über eine Tertiärluftzufuhr. KO2 hat zusätzlich eine nicht elektrische Primärluftregelung mittels Thermostaten. KO2 hat mit OGC-Emissionen mehrheitlich deutlich unter  $120 \text{ mg/m}^3$  geringere Werte als KO1 mit mehr als  $\text{OGC} = 200 \text{ mg/m}^3$ . Dies kann ein Hinweis sein, dass eine temperaturgeführte Primärluftregelung vorteilhaft für eine vollständigere Verbrennung ist. Allerdings muss auch bemerkt werden, dass KO2 die höchsten Staubemissionen aller getesteten Öfen zeigte.

KO3 hat weder eine Tertiärluftzufuhr noch eine automatische Luftregelung. Dieser Ofen zeigte zwar vergleichsweise niedrige Gesamtstaubemissionen, wenn die Primärluft manuell beim Nachlegen kurzzeitig über den Aschekasten zugeführt wurde, trotzdem lagen die OGC-Emissionen über  $200 \text{ mg/m}^3$ . Auch die CO-Werte lagen mehrheitlich über  $200 \text{ mg/m}^3$ . Wird keine Anpassung der Primärluft bei Nachlegen vorgenommen, wurden die höchsten CO- und OGC-Werte gemessen, wobei sogar ein Schwelbrand mit der Gefahr von Verpuffungen und Rauchgasaustritt durch Überdruck in den Aufstellraum gegeben ist. In den Bewertungsforen von Online-Händlern wurden Hinweise gefunden, dass dies keine Ausnahme an diesem Ofentyp ist, so dass es möglich ist, dass dies ein grundlegendes Problem des Ofens KO3 ist. Betreibende werden diesen Ofen vermutlich nur unter ständiger Anpassung der Luftklappen sicher betreiben können. Da die entsprechenden Griffe an den Luftklappen vergleichsweise heiß werden, ist davon auszugehen, dass die Luftklappen bei den meisten Betreibenden teilweise oder sogar vollständig während der gesamten Abbrandphasen geöffnet werden, was vermutlich zu höheren Gesamtstaubemissionen und einem geringeren Wirkungsgrad führt.

KO4 zeigte aufgrund seiner besonderen Feuerraumgeometrie mit einer Art Feuerkorb für vertikal einzuschichtende Scheite die niedrigsten Emissionswerte. Dieser Ofen hat weder eine Tertiärluftregelung noch eine automatische Luftregelung.

K05 war mit einer Lambda- und Temperatur-Sonde integriert in einer elektrisch betriebenen Luftregelung ausgerüstet und hatte keine Tertiärluftzufuhr. Dieser Ofen konnte nach Mangelbehebung an der Temperatursonde und Anpassung der Regelungsparameter mit CO unter  $1250 \text{ mg/m}^3$  und OGC unter  $120 \text{ mg/m}^3$  betrieben werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine automatische Luftregelung hinsichtlich niedriger CO- und OGC-Werte vorteilhaft sein kann. Allerdings kann anhand der in diesem Projekt durchgeführten Messungen keine signifikante Aussage getroffen werden, da dafür Messwerte an Kaminöfen notwendig wären, die sowohl manuell als auch automatisch hinsichtlich der Verbrennungsluftzufuhr betrieben werden können.

Eine Tertiärluftzufuhr erscheint abhängig vom Ofenmodell sinnvoll zu sein, allerdings kann anhand der in diesem Projekt gewonnenen Versuchsdaten keine allgemeine Aussage abgeleitet werden.

### **3.6.8 Können durch Integration eines Keramikschwamms die Emissionen signifikant gemindert werden?**

Die Messdaten an K05 mit integriertem Keramikschwamm zeigen, dass eine Emissionsminderung möglich war, wenn die Strömungsführung so gerichtet wurde, dass der Großteil der Gase durch den Schwamm strömte. Das zeigen die Daten an K05 vom 10.04.2019 mit Leitblech ohne Katalysatorbeschichtung.

Zudem zeigen die Ergebnisse, dass durch Einbau eines Katalysators eine weitere Emissionsminderung vor allem für CO und OGC möglich war. Die niedrigsten Emissionswerte der gesamten Messreihe dieses Vorhabens konnten mit K05 am 02. und 06.05.2019 erzielt werden. Die Gesamtstaubemissionen lagen dabei um  $10 \text{ mg/m}^3$  bei Anlehnung an EN-Prüfung bzw. ca.  $20 \text{ mg/m}^3$  nach Blauer Engel-Prüfroutine. Die Minderung der Partikelmassekonzentration ist auf den Einbau des Umlenkleches und weniger auf die Katalysatorwirkung zurückzuführen, da erst durch Einbau des Umlenkleches eine Staubbminderung gemessen werden konnte. Der begrenzte Umfang der im Vorhaben möglichen Alterungsdauer von maximal sieben Tagen deutete nicht auf eine schnelle Alterung bzw. Desaktivierung des eingesetzten Katalysators hin. Eine Bewertung der Alterung über einen längeren Zeitraum ist aber nur mit umfangreichen weiteren Messungen und Alterung unter Praxisbedingungen möglich.

### **3.6.9 Können anhand des Labels DINPlus niedrige Emissionswerte abgeleitet werden?**

Lediglich der Ofen K03 weist das Label DINPlus auf. Wie bereits beschrieben, kann dieser Ofen nur bei Anpassung der Primärluft sicher und mit geringeren Emissionen betrieben werden. Demnach scheint das Label DINPlus keine Gewähr zu liefern, dass ein emissionsarmes Gerät angeboten wird. Um eine verlässliche allgemeingültige Aussage treffen zu können, müssen jedoch weitere umfangreiche Messungen an Kaminöfen mit DINPlus-Label durchgeführt werden.

### **3.6.10 Hat die Qualität der Schamottierung Einfluss auf die Emissionen?**

Alle im Vorhaben getesteten Öfen, aber auch die in die Auswahl genommenen Geräte sind mit Schamottesteinen oder Vermiculite ausgerüstet. Die Brennkammerauskleidung ist demnach Stand der Technik. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der emissionsarme Betrieb von Kaminöfen heute ohne Brennkammerauskleidung nicht möglich ist.

### **3.6.11 Nennleistung, Scheibengröße und Art der Feuerung (Zeit- und Dauerbrand)**

Da alle gemessenen Öfen mit vergleichbarer Nennleistung angeboten werden, kann eine Bewertung der Emissionen nach der Nennleistung nicht erfolgen. Allerdings erscheint es einleuchtend zu sein, dass eine zu hohe Nennleistung in einem gut gedämmten oder zu kleinen Aufstellraum eher zum Teillastbetrieb führt, wobei zu erwarten ist, dass die CO- und OGC-Emissionen bei zu geringen Verbrennungstemperaturen steigen. Hierbei sei angemerkt, dass Verbrennungstemperaturen unterschiedlicher Feuerungen nicht miteinander im Verbindung stehen. Auch ein Anstieg der Rußpartikelemissionen ist dabei wahrscheinlich, wobei dies nicht unbedingt mit einem Anstieg der Gesamtstaubwerte einhergehen muss.

Die Scheibengröße ist ein wesentliches Designelement, führt aber auch zur Abgabe der erzeugten Verbrennungswärme über Abstrahlung durch die Scheibe an den Aufstellungsraum. Eine zu hohe Scheibenfläche kann zu einer geringen Verbrennungstemperatur mit daraus folgenden hohen Emissionen führen. Durch entsprechendes Brennraumdesign kann dieser Effekt zumindest teilweise ausgeglichen werden. Die Messungen im Rahmen dieses Vorhabens lassen keine Aussage zum Einfluss der Größe der Ofenscheibe zu.

Zeit- und Dauerbrand bezeichnet bei einem Ofentyp die Möglichkeit, neben Scheitholz auch Kohlebriketts als Brennstoff einzusetzen. Hinsichtlich der Emissionen beim Einsatz von Kohlebrennstoffen ist mit den derzeit vorliegenden Daten keine Aussage möglich.

## 4 Fazit

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden:

- ▶ Die Novellierung der 1. BImSchV erzielte ihre verschärfende Wirkung hinsichtlich der Emission insbesondere in Kombination mit schärferen Wirkungsgradanforderungen aus Österreich, da üblicherweise die Feuerungen sowohl auf dem deutschen wie auch österreichischen Markt angeboten werden sollen. Ohne diese Kombination sind die Grenzwerte deutlich weniger ambitioniert.
- ▶ Bei Inkrafttreten der novellierten 1. BImSchV im Jahr 2010 hielt ein Teil der auf dem Markt befindlichen Geräte die neuen Emissionsgrenzwerte bereits ein. Aufgrund der mehrjährigen Vorarbeiten zur Novelle konnte die Branche hinsichtlich der offensichtlich bevorstehenden Grenzwertverschärfung bereits im Vorfeld gezielt Anpassungen der Feuerungstechniken vorantreiben oder auf Basis von experimentellen Erkenntnissen die Feuerungsprozeduren für erforderliche Nachprüfungen anpassen. Somit konnten einige Geräte – z.T. lediglich mit einer erneuten Typprüfung – ohne weitere Entwicklungen oder konstruktive Veränderungen die im Jahr 2010 in Kraft tretenden Grenzwerte einhalten (unterschreiten). Während ein anderer Teil der Feuerungsanlagen im Verlauf der folgenden Jahre weiterentwickelt und auf den geforderten technischen Stand gebracht wurden, wurde auch einige Produkte vom Markt genommen. Diese Geräte hätten die neuen Grenzwerte nicht ohne aufwendige Weiterentwicklungen einhalten können oder eine Nachprüfung wäre aus Herstellersicht nicht wirtschaftlich gewesen. Da die Grenzwerte der 1. BImSchV für Kaminöfen sich auf eine Typenprüfung beziehen, welche bestimmte Störgrößen bewusst ausblendet, ist nicht sichergestellt, dass die EFA im Alltagsbetrieb diese Grenzwerte einhalten.
- ▶ Um Fehlbedienungen zu vermeiden, sollte verstärkt auf Steuerungs- und Regelungstechnik insbesondere zur Luftklappensteuerung und Signalisierung des optimalen Nachlegezeitpunktes zurückgegriffen werden. Dadurch ließe sich der Abstand zwischen den Emissionen in der Typprüfung und den Alltagsemissionen deutlich verringern oder im Idealfall aufheben.
- ▶ Nicht zuletzt um die Wirksamkeit der Steuerungs- und Regelungskomponenten prüfen zu können, sollten zukünftige Prüfzyklen die Randbedingungen nicht im Optimum halten, sondern in den im Alltagsbetrieb auftretenden Grenzen variieren.
- ▶ Positiv wirkte sich die in die 1. BImSchV aufgenommene verpflichtende Betreiberschulung durch das Schornsteinfegerhandwerk aus. Da in der dafür zur Verfügung stehenden Zeit nicht alle Aspekte ausreichend detailliert geschult werden können, sollte über weitere Schulungsangebote z.B. einen freiwilligen Kaminofenführerschein nachgedacht werden.
- ▶ Vor dem Hintergrund des notwendigen Wissenstransfers sind auch Maßnahmen sinnvoll, welche den Handel bei Beratungsgesprächen unterstützen.

- ▶ Der Bedienungsanleitung als elementarer Bestandteil des Produktes sollte bei der Erstellung ausreichend Aufmerksamkeit gewidmet werden. Insbesondere Angaben, welche Interpretationen zulassen, sollten vermieden werden. Bedienungsanleitungen könnten durch die Einbindung von Online-Videos beispielsweise zum richtigen Anzünden oder Nachlegen des Brennstoffs ergänzt und somit wirksamer werden.
- ▶ Der Ansatz, einer Bedienungsanleitung einem kurzen „Quick-User-Guide“ beizufügen wird ausdrücklich unterstützt. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass nicht die Randbedingungen des Typprüfstandes, sondern die üblicherweise vorliegenden Bedingungen angenommen werden.
- ▶ In Ergänzung zu den Typprüfungen sollte über regelmäßige Prüfungen z.B. im Rahmen der Feuerstättenschau nachgedacht werden. Da aufgrund der abweichenden Randbedingungen die Einhaltung der Grenzwerte der 1. BImSchV nicht zu erwarten ist, sollten andere Prüfpunkte herangezogen werden. Aus Sicht des DBFZ böten sich eine Leckageprüfung, eine Prüfung der Funktion von Regelungs- und Steuerungselementen sowie, wenn vorhanden, der Betriebsfähigkeit von Emissionsminderungseinrichtungen an.
- ▶ Die Maßnahmen der Marktüberwachung werden von vielen Marktbeteiligten als unzureichend bewertet. Seriöse Hersteller leiden unter dem Gerücht, dass Feuerungen auf dem Markt sind, welche die gesetzlichen Anforderungen nicht einhalten. Hier sollte auf eine transparentere Darstellung der Marktüberwachungsmaßnahmen geachtet und wenn möglich, die Maßnahmen verstärkt werden.
- ▶ Um „Ausreißer“ bei den Typprüfungen zu eliminieren und somit konsistentere Messergebnisse zu erhalten, sollten den Prüfeinrichtungen verbindlich statistische Verfahren an die Hand gegeben werden. In der aktuellen Situation kann durch das Deklarieren von ungewünschten Messergebnissen als „Ausreißer“ das Endergebnis verfälscht werden.
- ▶ Da die „Decision List“ der „notified bodies“ zur Auslegung der Messvorschriften in der Typenprüfung nicht allgemein öffentlich zugänglich ist, können die Typenprüfergebnisse von anderen Einrichtungen nicht (vollständig) nachvollzogen und bewertet werden. An dieser Stelle scheint ein transparenterer Umgang angebracht.
- ▶ Bei den im Rahmen des Projekts beschafften Kaminöfen wiesen zwei von fünf gekauften Feuerungen Produktionsmängel auf, welche durch Laien nicht ohne weiteres zu entdecken waren. Auch wenn es sich hierbei um keine statistisch gesicherte Aussage handelt, ist sie ein Indiz, dass die Produktionskontrolle bei den Herstellern teilweise verbessert werden sollte. Auch über eine regelmäßige externe Produktionskontrolle, sollte nachgedacht werden.
- ▶ In vielen Fällen herrscht bei Betreibenden und dem Handel Unklarheit darüber, welche Behörde in Fällen von Nachbarschaftsbeschwerden oder dem Verdacht von unberechtigt auf den Markt gekommenen Produkten zuständig ist. Auch wird durch Betreibende und

das Schornsteinfegerhandwerk festgestellt, dass bei augenscheinlich gleichen Sachverhalten die zuständigen Überwachungsbehörden unterschiedliche Auflagen erteilen. Da dies verständlicherweise zu Verdruss führt, sollten sich die Behörden stärker abstimmen und die Zuständigkeiten besser darstellen. Für letzteres könnten Informationsblätter, welche bei der Feuerstättenschau den Betreibenden übergeben werden, hilfreich sein.

- ▶ Sekundäre Emissionsminderungstechniken sollten dann eingesetzt werden, wenn durch Maßnahmen an der Feuerung (Feuerraumoptimierung und Einsatz einer Regelung) und im Abgasweg (Zugbegrenzer und ggf. Rauchsauger) keine nennenswerten Emissionssenkungen mehr erreicht werden können. Durch eine Kombination aller aufgezeigten Maßnahmen erscheinen Staubemissionen von 1 - 3 mg/m<sup>3</sup> für Kaminöfen langfristig möglich.
- ▶ Bei zukünftigen sehr niedrigen Staubemissionen ist zu prüfen, ob neben oder anstatt der derzeit üblichen gravimetrischen Gesamtstaubmessung die Partikelzählung zum Einsatz kommen sollte. Hier besteht jedoch noch Forschungs- und Normungsbedarf.

#### **Zusammenfassendes Gesamtfazit:**

Das Projekt hat gezeigt, dass es vielfältige Ansätze zur Emissionsminderung bei den Herstellern der EFA gibt, die jedoch aus verschiedenen Hemmnissen derzeit noch nicht nennenswert genutzt werden. Emissionsniveaus im Rahmen des „Blauen Engel“ für Kaminöfen sind heute schon möglich und zukünftig noch weiter unterschreitbar. Hierzu ist neben dem bedarfsgerechten und optimierten Einsatz von Sekundärmaßnahmen der Einsatz von automatischen sensorgestützten Luftregelungen, Heizanzeigern und möglichst eine wiederkehrende Überprüfung zukünftiger Geräte zwingend notwendig. Auch die Schulung der Nutzenden bezüglich der einzusetzenden Brennstoffe ist zusammen mit einem praxisorientierten Quick-User-Guide ein wesentliches Element der Emissionsminderung.

Für einen spürbaren Trend hin zu emissionsarmen EFA sind neben einem attraktiven Förderanreiz verbindliche Vorgaben der öffentlichen Hand notwendig (z.B. Ausnahme von Feststoffverbrennungsverboten für EFA mit „Blauem Engel“), wobei eine kontinuierliche Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens im Gleichschritt mit den möglichen technischen Entwicklungen am Markt erfolgen muss.

## 5 Quellenverzeichnis

- [1] Expertenbefragung im Rahmen des Vorhabens „Evaluierung der 1. BImSchV
- [2] Verband Schweizerischer Hafner- und Plattengeschäfte VHP (2015): Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Bern
- [3] Lenz, V. (2018): Messbeispiel zum Nachweis der fehlenden Konvergenz zwischen Typprüfung und realeren Emissionen (Zusammenstellung auf Basis von Daten des TFZ aus dem beReal-Projekt). Blauer Engel Fachgespräch, Umweltbundesamt, 15.06.2018, Dessau-Roßlau
- [4] DIN EN 13240: Raumheizer für feste Brennstoffe - Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe: Oktober 2010
- [5] DIN CEN/TS 15883: Häusliche Feuerstätten für feste Brennstoffe – Emissionsprüfverfahren, Ausgabe: Februar 2010
- [6] DIN EN 16510-1: Häusliche Feuerstätten für feste Brennstoffe - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren Ausgabe: November 2018
- [7] Gespräch mit notifizierter Prüfstelle am 04.10.2018
- [8] Deutsche Forschungsgemeinschaft (2013): Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis - Denkschrift, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- [9] Schön, C.; Hartmann, H.; von Sonntag, J. (2015): Entwicklung einer abgestimmten Methode zur Bestimmung der Partikelemissionen von mit fester Biomasse betriebenen Feuerstätten (EN-PME-Test). Straubing
- [10] Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V. (2015): Zertifizierungsprogramm für Raumheizer (Kaminöfen) nach EN 13240, Heizeinsätze (Kamineinsätze sowie Kachel- und Putzofenheizeinsätze) nach EN 13229 und Speicherfeuerstätten nach EN 15250 für feste Brennstoffe. <http://cert.hki-online.de/pdf/de/grundlagen-fuer-das-hki-qualitaetszeichen.pdf> (12.11.2018)
- [11] Nordic Ecolabelling (2018): Nordic Ecolabelling for Stoves. <https://www.nordic-ecolabel.org/product-groups/group/?productGroupCode=078> (12.11.2018)
- [12] RAL: Umweltzeichen Blauer Engel – Holzpelletöfen – DE-UZ 111 Vergabekriterien; Ausgabe Februar 2016. <https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20111-201602-de%20Kriterien-2020-01-07.pdf>
- [13] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) Richtlinie UZ 37 Ökolabel. [https://www.umweltzeichen.at/file/Richtlinie/UZ%2037/Long/Uz37\\_R6.0a\\_Richtlinie\\_Holzheizung\\_n\\_2017.pdf](https://www.umweltzeichen.at/file/Richtlinie/UZ%2037/Long/Uz37_R6.0a_Richtlinie_Holzheizung_n_2017.pdf) (12.11.2018)
- [14] Reichert, G.; Sturmlechner, R.; Stressler, H.; Schwabl, M.; Schmiedl, C.; Oehler, H.; Mack, R.; Hartmann, H. (2016): beReal - Deliverable D3.3 Final Report: Definition of Suitable Measurement Methods and Advanced Type Testing Procedure for Real Life Conditions. BIOENERGY 2020+ GMBH, Wieselburg
- [15] Klippel, N.; Nussbaumer, T. (2007): Einfluss der Betriebsweise auf die Partikelemissionen von Holzöfen - Projektzusatz 1+2 zum Projekt Wirkung von Verbrennungspartikeln. Bundesamt für Energie, Bern
- [16] Hartmann, H.: (2018): Vergleich der Messwerte aus dem beReal-Projekt und von Typenprüfungen. Expertenfachgespräch zum Vorhaben „Evaluierung der 1. BImSchV“. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 25.09.2018, Berlin

- [17] Rönnbäck, M.; Persson, H.; Jespersen, M.-G.; Hinnerskov, J.: beReal - Deliverable D7.1 Documentation and evaluation of field data demonstration. SP Technical Research Institute of Sweden, Borås
- [18] Hartmann, H.; Schön, C.: User and Fuel Impact on Emissions of Wood Stoves. 20th ETH-Conference on Combustion Generated Nanoparticles. ETH Zürich, 14.06.2016, Zürich
- [19] Bedienungs- und Aufstellanleitung PLUTO/JUPITER/NINO/YUNA/ERES/GRANDE/MARS/SATURN ... . Wamsler Haus- und Küchentechnik GmbH, Ismaning, Ausgabe 07.2016 V5
- [20] Aufbau- und Bedienungsanleitung Dauerbrandofen-Kaminofen HARK 44 GT ECOplus. HARK GmbH & CO.KG, Duisburg, Ausgabe 02:2018
- [21] Aufstellungs - und Bedienungsanleitung für Kaminofen München V1, THERMIA d.o.o., Viljevo
- [22] Aufstell- und Bedienungsanleitung Varde Shape, Varde Ovne A/S, Vejle, 4. Ausgabe 17.05.2018 DE
- [23] Lenz, V.; Thrän, D.; Hartmann, H.; Turowski, P.; Ellner-Schuberth, Frank; Gerth, J. (2010): Bewertung und Minderung von Feinstaubemissionen aus häuslichen Holzfeuerungsanlagen. (DBFZ-Report, 1). Leipzig: DBFZ. XII, 274 S.
- [24] Döhling, F.; Hartmann, I.; Lenz, V.; Schröder, T.; v. Sonntag, J.; Ulbricht, T.; Hartmann, H.; Schön, C.; Turowski, P.; Dietrich, D.; Gauggel, S.; Ahlf, W.; Gerth, J.; Gutiérrez, I.; Hegemann, B.; Mühlhopt, S.; Paur, H.-R.; Böge, O.; Wiedensohler, A. (2012): Wärme aus Holz - Feinstaubemissionen: Brennstoffeinfluss, Nutzer, Feuerungs-Wettbewerb, Sekundärmaßnahmen, Charakterisierung und Toxizität. FKZ 03MAP144, Schlussbericht nach Anlage 2 zu Nr. 8.2 NKBF 98. DOI: 10.2314/GBV:814789935.
- [25] Hartmann, I.; Lenz, V.; Schenker, M.; Thiel, C.; Kraus, M.; Matthes, M.; Roland, U.; Bindig, R.; Einicke, W.-D. (2011): Katalytisch unterstützte Minderung von Emissionen aus Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen. (DBFZ-Report, 6). Leipzig: DBFZ. IV, 171 S.
- [26] Brunner, S.; Dobler, U.; Fellner, A.; Groll, A.; Hartmann, I.; Kohler, H.; Matthes, M.; Riebel, U.; Schmatloch, V.; Thiel, C. (2014). Emissionsminderung durch integrierte und kombinierte Maßnahmen in Biomasse-Kleinfeuerungen: Endbericht. FKZ: 03KB051. DOI: 10.2314/GBV:853480265.
- [27] Aufstell- und Bedienungsanleitung UNICA Kaminofen, LEDA WERK GMBH & CO. KG BOEKHOFF & CO, Leer
- [28] Lenz, V.; Hartmann, I.; et al. (2012): Wärme aus Holz – Feinstaubemissionen: Brennstoffeinfluss, Nutzer, Feuerungs-Wettbewerb, Sekundärmaßnahmen, Charakterisierung und Toxizität. Deutsches BiomasseForschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig
- [29] Schön, C.; Hartmann, H. (2014): Berichte aus dem TFZ 36 - Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing
- [30] Lenz, V. (2010): DBFZ Report Nr.3 – Feinstaubminderung im Betrieb von ScheitholzKaminöfen unter Berücksichtigung der toxikologischen Relevanz. Deutsches BiomasseForschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig
- [31] Schlichter, M.: Aktuelle Erfahrungen aus der Überwachung von Kleinfeuerungsanlagen. 23 Arbeitskreis Holzfeuerung 2018, 05.06.2019, Straubing
- [32] Mack, R.; Kuptz, D.; Schön, C. Hartmann, H. (2018): Berichte aus dem TFZ 57 – Optimierungspotenziale bei Kaminöfen - Emissionen, Wirkungsgrad und Wärmeverluste. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing

- [33] Nussbaumer, T. (2003): Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. In: Energy & Fuels, 2003, 17, American Chemical Society, S. 1510-1520
- [34] Schmid, O.; Stoeger, T.: Surface area is the biologically most effective dose metric for acute nanoparticle toxicity in the lung. In: Journal of Aerosol Science, 2016, 99, Elsevier, Amsterdam, S. 133-143
- [35] Keller, A. (2016): Masse, Anzahl und weitere Metriken: Bestimmung von Emissionsfaktoren für Partikelemissionen aus Systemen zur Biomasseverbrennung. In: 7. Abscheider-Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen - Tagungsreader, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig, S. 218-227
- [36] Atkinson RW, Fuller GW, Anderson HR, Harrison RM, Armstrong B. (2010) : Urban ambient particle metrics and health: a time-series analysis. in Epidemiology. 2010 Jul;21(4) S.:501-11.
- [37] Stölzel M, Breitner S, Cyrus J, Pitz M, Wölke G, Kreyling W, Heinrich J, Wichmann HE, Peters A. (2006): Daily mortality and particulate matter in different size classes in Erfurt, Germany. in J Expo Sci Environ Epidemiol. 2007 Aug;17(5) S. :458-67.
- [38] Breitner S, et.al. (2011): Sub-micrometer particulate air pollution and cardiovascular mortality in Beijing, China. In Sci Total Environ. 2011 Nov 15;409(24) S.:5196-204. d
- [39] Braniš M, et.al. (2010): Association of size-resolved number concentrations of particulate matter with cardiovascular and respiratory hospital admissions and mortality in Prague, Czech Republic in Journal Inhalation Toxicology Volume 22, 2010
- [40] Schmid O., Stoeger T. (2016): Surface area is the biologically most effective dose metric for acute nanoparticle toxicity in the lung. In Journal of Aerosol Science Volume 99 S.133-143
- [41] DIN ISO 9277\_ Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Festkörpern mittels Gasadsorption - BET-Verfahren (ISO 9277:2010) Ausgabe Januar 2014
- [42] DIN EN 303-5: Heizkessel - Teil 5: Heizkessel für feste Brennstoffe, manuell und automatisch beschickte Feuerungen, Nennwärmeleistung bis 500 kW - Begriffe, Anforderungen, Prüfungen und Kennzeichnung Ausgabe: Oktober 2010
- [43] Obaidullah, M.; Dyakov, I.V.; Brams, S.; De Ruyck; J. (2015): Particle Emissions from Domestic Wood Stoves under Laboratory Conditions; in Global NEST Journal, Vol 17, No.3 S. 637-652
- [44] Wiedensohler, A. (2016): Möglichkeiten und Grenzen partikelzählender Verfahren. In: 7. Abscheider-Fachgespräch Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen - Tagungsreader, DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig, S. 209-217
- [45] Tebert, C.; Volz, S.; Töfge, K.: (2016): Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher. Umweltbundesamt, Dessau
- [46] Hartmann, I., et al. (2017): Sensorgestützte Verbrennungsluftregelung zur Minimierung der Emissionen von Biomasseheizkesseln. Abschlussbericht; DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig
- [47] DIN SPEC 18843-1: Häusliche Geräte für feste Brennstoffe - Verbrennungslufteinrichtungen - Steuerungen und Regelungen für Einzelraumfeuerstätten - Teil 1: Elektrisch betriebene, temperaturregulierte Verbrennungslufteinrichtungen; Oktober 2019
- [48] Aleya, M.; Leistner, P. (2019): Intelligentes Kombinationssystem (VREM-System) zur Regelungstechnischen Optimierung der Verbrennung und zur Vermeidung der Fehlbedienung in

- Biomasseheizkesseln durch den Einsatz der O<sub>2</sub>/CO<sub>e</sub>-Sonde. Abschlussbericht; Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart
- [49] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates Text von Bedeutung für den EWR
- [50] Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (Landesbauordnung 2018 – BauO NRW 2018) vom 21.07.2018
- [51] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1. BImSchV) V. v. 26.01.2010 BGBl. I S. 38 (Nr. 4); zuletzt geändert durch Artikel 2 V. v. 13.06.2019 BGBl. I S. 804
- [52] Verordnung (EU) 2015/1185 der Kommission vom 24. April 2015 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräten
- [53] KÜO Kehr- und Überprüfungsordnung vom 16. Juni 2009 (BGBl. I S. 1292), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 760) geändert
- [54] Schornsteinfeger-Handwerksgesetz vom 26. November 2008 (BGBl. I S. 2242), zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2495) geändert
- [55] Marktüberwachung in Deutschland 2014-2016 Evaluierungsbericht über die Marktüberwachung von Bauprodukten nach der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 Stand September 2017.  
[https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P3\\_P6/Marktueberwachung\\_Evaluierungsbericht\\_2014-2016.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P3_P6/Marktueberwachung_Evaluierungsbericht_2014-2016.pdf)  
(12.08.2019)
- [56] Regierung des Landes Baden-Württemberg (2017): Verordnung der Landesregierung über Betriebsbeschränkungen für kleine Feuerungsanlagen (Luftqualitätsverordnung-Kleinf Feuerungsanlagen).  
[https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/PM\\_Anhang/Luftqualitaetsverordnung\\_Kleinf Feuerungsanlagen\\_Verordnung.pdf](https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/PM_Anhang/Luftqualitaetsverordnung_Kleinf Feuerungsanlagen_Verordnung.pdf) (13.03.2019)
- [57] Flamme Verte Communication SAS (2018): RÈGLEMENT INTÉRIEUR ET REFERENTIEL TECHNIQUE DU LABEL FLAMME VERTE SECTION « APPAREILS INDEPENDANTS ».  
<https://www.flammeverte.org/fichs/72039.pdf> (10.05.2019)
- [58] Flamme Verte Communication SAS (2019): Informations générales.  
<https://www.flammeverte.org/aides-disponibles/informations-generales> (10.05.2019)
- [59] Marktüberwachung harmonisierter Bauprodukte im Bereich Raumwärmungsanlagen/Feuerungsanlagen – Informationsblatt für das Schornsteinfegerhandwerk. Stand: April 2016 – Redaktionell überarbeitet: August 2017  
[https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P3\\_P6/Marktueberwachung\\_Informationen\\_Raumerwaermungsanlagen-Feuerungsanlagen.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P3_P6/Marktueberwachung_Informationen_Raumerwaermungsanlagen-Feuerungsanlagen.pdf) (12.08.2019)
- [60] Programm zur Marktüberwachung von harmonisierten Bauprodukten nach der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 und der Verordnung (EG) Nr. 765/2008 vom 9. September 2009, aktualisiert am 20.09.2017  
[https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P3\\_P6/Marktueberwachung\\_Programm.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P3_P6/Marktueberwachung_Programm.pdf) (12.08.2019)

- [61] VERORDNUNG (EU) 2015/1185 DER KOMMISSION vom 24. April 2015 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Festbrennstoff-Einzelraumheizgeräten
- [62] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. [Hrsg.] (2016): Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3. aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- [63] DIN 19226: Regelungstechnik und Steuerungstechnik; Begriffe und Benennungen Ausgabe: Mai 1968
- [64] DIN CERTCO: DINplus (2011): Zertifizierungsprogramm Raumheizer für feste Brennstoffe mit schadstoffarmer Verbrennung nach DIN EN 13240.  
[https://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente\\_1/zertifizierungsprogramme/Raumheizer\\_DINplus\\_Zertifizierungsprogramm.pdf](https://www.dincertco.de/media/dincertco/dokumente_1/zertifizierungsprogramme/Raumheizer_DINplus_Zertifizierungsprogramm.pdf)
- [65] RAL Umwelt (2019): Vergabekriterien zum Blauen Engel für Kaminöfen für Holz (DE-UZ 212) Ausgabe Januar 2020, Version 3
- [66] BIOENERGIE 2020+ (2017): Ideen mit Zukunft.  
[https://www.bioenergy2020.eu/webroot/files/file/Imagebroschuere/BE2020\\_Imagebroschu%CC%88re\\_deutsch.pdf](https://www.bioenergy2020.eu/webroot/files/file/Imagebroschuere/BE2020_Imagebroschu%CC%88re_deutsch.pdf) (07.12.2018)
- [67] Reutlinger Ofenführerschein 2018 - einfach clever unterwegs beim Heizen!  
<https://www.klimaschutz-reutlingen.de/ceasy/resource/?id=29594&download=1> (12.08.2019)
- [68] Höftberger E.: Ergebnisse aus dem Clean Air Projekt in Österreich. 23. Arbeitskreis Holzfeuerung 2018, 05.06.2019, Straubing
- [69] Dr.-Ing. H. Meuth (1934): Der Einfluß des Windes auf den Kaminzug nach Untersuchungen an Kaminköpfen natürlicher Größe in: Die Grundlagen der häuslichen Wärmeversorgung, 1934 in Wärmetechnische Vorbedingungen für eine wirtschaftliche Gebäudeheizung Sonderdruck aus „Berufsarbeit und Wissen“ Heft 5/6, Landesgewerbemuseum: Württ. Wärmewirtschaftsverb. e. V. Stuttgart
- [70] DIN 18160-1:1962 Feuerungsanlagen – Hausschornsteine – Bemessung und Ausführung Ausgabe: 1962
- [71] Kauth, R. (1959): Hessische Schornstein- und Brandschaußibel. Landesinnungsverband d. Schornsteinfegerhandwerks Hessen; Frankfurt a.M.
- [72] Hartmann, I.; Lenz, V.: Emissionen aus Kleinfeuerungsanlagen und deren Minderung, VDI Fachtagung „Emissionsminderung“, 26. und 27. April 2016, Nürnberg.
- [73] Ulbricht T., Lenz V. (2011): Abscheider für biogene Kleinfeuerungsanlagen - Technologien und Marktübersicht in DBFZ Report Nr. 8 - Kompakt - DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig (S.73 – 105)
- [74] Obernberger, I., Mandl, Ch. (2011): Particle precipitation devices for residential biomass combustion, IEA Bioenergy TASK32 report; Institute for Process and Particle Engineering, Graz University of Technology, Austria
- [75] VDI 3670 Abgasreinigung - Nachgeschaltete Staubminderungseinrichtungen für Kleinfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe. Ausgabe: April 2016
- [76] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für „Staubabscheider für Abgasanlagen, System „OekoTube OT2“ und „OekoTube-Inside“ vom 12.08.2016; Deutsches Institut für Bautechnik

- [77] Griffin T., Burtscher H. (2008): Elaluation von Messverfahren zur Messung der Wirksamkeit von Partikelabscheidern bei kleinen Holzfeuerungen. Schlussbericht Prüfstelle für Holzfeuerungen - Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz
- [78] Struschka M., Winter P., Baumbach G. (2015): Überprüfung der Wirksamkeit von Staubabscheidern für Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe. Abschlussbericht Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) der Universität Stuttgart, Stuttgart
- [79] Kiener S., Turowski P., Hartmann H., Schmoeckel, G. (2010): Berichte aus dem TFZ 23 – Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing
- [80] Struschka M., Goy J., Gugelfuß A. (2017): Methodische Bewertung von Sekundärmaßnahmen für kleine Biomassefeuerungen (mit Messbericht zu den Teilprojekten I bis III und Kurzbericht zu ergänzenden Messungen IV). Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) der Universität Stuttgart, Stuttgart
- [81] Obernberger I., Brunner Th., Würcher G., Kanzian W., Weiss G., Rosenkranz I. (2016): Effiziente Feinstaubreduktion durch Einsatz von Elektrofiltern für Biomasse-Kleinfeuerungen – Feldtest, Begleitforschung und Bewertung, BIOS Bioenergiesysteme GmbH, Graz
- [82] Lauber A., Nussbaumer Th. (2010): Charakterisierung der Partikelarten aus der Holzverbrennung und Eigenschaften in Elektroabscheidern in 11. Holzenergie-Symposium: Potenzial und Technik zur Holzenergie-Nutzung. Tagung an der ETH Zürich am 17. September 2010, Verenum Zürich 2010
- [83] Leibold, H., Geiger, E-M., Budikartika, S. (2015): Abscheidung von Feinpartikeln aus Kleinfeuerungsanlagen mit einem innovativen Fadenabscheider, KIT-Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technische Chemie;  
[https://www.kit-technology.de/fileadmin/user\\_upload/02\\_Glasfaserbuendel\\_faengt\\_Feinstaub\\_Poster.pdf](https://www.kit-technology.de/fileadmin/user_upload/02_Glasfaserbuendel_faengt_Feinstaub_Poster.pdf)
- [84] Ulbricht T. (2011): Partikelabscheider für Biomassekleinfeuerungen. HLH 62 (2011) Nr. 8, S. 100-102, Düsseldorf
- [85] Hansen P.H. (2019): Partikelabscheider mit eingebautem Rauchsauger und automatischem Reinigungsgitter. in Tagungsreader zum 10. Abscheider-Fachgespräch – Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen, Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, Leipzig
- [86] Quicker et al., 2015 Quicker P., Wohter D., Neuerburg F. (2015): Entwicklung eines Feinstaubabscheiders für Biomassekleinfeuerungsanlagen. Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe der RTWH Aachen. in Tagungsreader zum 6. Abscheider-Fachgespräch – Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen, Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, Leipzig
- [87] Thorwarth H. (2018): Untersuchungen der Wirksamkeit von integrierten Emissionsreduktionssystemen bei Scheitholzöfen unter realen Nutzerbedingungen in Tagungsreader zum 6. Abscheider-Fachgespräch – Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen, Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, Leipzig
- [88] Wöhler M., Thorwarth H. (2016): Messungen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Schaumkeramik-Abscheidern an einem Kaminofen der Fa. Hark. in Methodische Bewertung von Sekundärmaßnahmen für kleine Biomassefeuerungen (mit Messbericht zu den Teilprojekten I bis III und Kurzbericht zu ergänzenden Messungen IV). Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) der Universität Stuttgart, Stuttgart

- [89] Lauber, A.; Nussbaumer, T. (2014): Betriebsüberwachung von automatischen Holzfeuerungen mit Elektroabscheider. Vortrag zum 13. Holzenergie-Symposium am 12.9.2014, Zürich
- [90] Alt B., Gaderer M. (2019): Entwicklung einer Methodik zur kontinuierlichen Überwachung von Elektrofiltern. in Tagungsreader zum 10. Fachgespräch "Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen" am 20. März 2019 in Straubing, Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, Leipzig
- [91] VDI Fachbereich Umweltmesstechnik (2012): Messen von Partikeln - Staubmessungen in strömenden Gasen - Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung (VDI 2066 Blatt 1). Beuth Verlag, Berlin
- [92] DIN EN 15058\_2017 Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von Kohlenmonoxid - Standardreferenzverfahren: Nicht-dispersive Infrarotspektrometrie; Ausgabe 2017
- [93] DIN EN 14789:2017: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Volumenkonzentration von Sauerstoff - Standardreferenzverfahren: Paramagnetismus; Deutsche Fassung EN 14789:2017 Ausgabe 2017
- [94] Butt S. (2019): High temperature oxidation of pollutants on solid state catalysts, Dissertation Universität Leipzig, Leipzig
- [95] Frieß M. (2019): Entwicklung monolithischer Katalysatoren für die dielektrische Erwärmung, Dissertation Universität Leipzig, Leipzig
- [96] Orasche J., Seidel T., Hartmann H., Schnelle-Kreis J., Chow J. C., Ruppert H., Zimmermann R. (2012): Comparison of Emissions from Wood Combustion. Part 1: Emission Factors and Characteristics from Different Small-Scale Residential Heating Appliances Considering Particulate Matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)-Related Toxicological Potential of Particle-Bound Organic Species, American Chemical Society
- [97] Orasche J., Schnelle-Kreis J., Schön C., Hartmann H., Ruppert H., Arteaga-Salas J. M., Zimmermann R. (2013): Comparison of Emissions from Wood Combustion. Part 2: Impact of Combustion Conditions on Emission Factors and Characteristics of Particle-Bound Organic Species and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)-Related Toxicological Potential, American Chemical Society
- [98] Venturini E., Vassura I., Agostini F., Pizzi A., Toscano G., Passarini F. (2018): Effect of fuel quality classes on the emissions of a residential wood pellet stove, Elsevier

## A Befragung der Länder

### A.1 In die Befragung einbezogene Institutionen

Die Kontaktdaten der Vertreter der Länder hat das UBA bereitgestellt. Folgende Institutionen wurden angeschrieben:

- ▶ Freie und Hansestadt Hamburg; Behörde für Umwelt und Energie Amt für Immissionsschutz und Betriebe – Energie und Abfall - IB 1206 –
- ▶ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz; Referat für Anlagenbezogene Luftreinhaltung, Anlagensicherheit, Störfallvorsorge und Emissionshandel
- ▶ Bayerisches Landesamt für Umwelt; Referat 21 - Luftreinhaltung bei Anlagen
- ▶ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz Referat 75 - Luftreinhaltung und Anlagensicherheit
- ▶ Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin; Referat Immissionsschutz
- ▶ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; Referat 42 Immissionsschutz, Lärm, Störfallvorsorge
- ▶ Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz; Referat 1064: Luftreinhaltung, Luftqualitätsüberwachung, Anlagensicherheit, Abfallverwertung
- ▶ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes NRW; Fachbereich 73
- ▶ Stadtverwaltung Krefeld; Fachbereich Umwelt
- ▶ Stadt Gelsenkirchen; Referat 60 – Umwelt

### A.2 Besteht Ihrer Meinung nach ein signifikanter Bedarf, die Schadstoffemissionen aus häuslichen Feuerungsanlagen weiter zu reduzieren und welche Maßnahmen (Feuerungstechnik, Abgasnachbehandlung, Abscheider) schlagen Sie vor?

Es wird ein signifikanter Bedarf gesehen, die Emissionen aus Holzfeuerungen weiter zu reduzieren. Durch Geruchsbelästigungen und sichtbare Abgasfahnen kommt es zu Nachbarschaftsbeschwerden.

Als Maßnahmen wurden genannt:

- ▶ Austausch von Altanlagen
- ▶ Schulung zum Erwerb der Sachkunde für den Betrieb

- ▶ Beratung durch den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfegermeister / die bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegermeisterin (keine Beratung im Rahmen nichtthoheitlicher Tätigkeiten)
- ▶ Abgasnachbehandlung und Staubabscheider
- ▶ Nennleistung angepasst an Raumwärmebedarf
- ▶ Auch wurde beklagt, dass keine ausreichenden Vollzugsmaßnahmen, Kontroll- und Ahndungsmöglichkeiten bei Fehlverhalten vorhanden sind.
- ▶ Kehrbücher des Schornsteinfegerhandwerks sollten an die zuständigen Behörden jährlich übermittelt werden.
- ▶ Insbesondere in Regionen mit dichter Bebauung ist es notwendig, Partikelabscheider vorzuschreiben. Andernfalls kämen nur noch Verbrennungsverbote als Maßnahme in Betracht.
- ▶ Die Anforderung an die Produktqualität zusammen mit der Dichtheitsprüfung (auch widerkehrend) ist als weitere Maßnahme genannt worden.
- ▶ Weiterhin sollten Typenprüfmessungen angepasst werden, um z.B. auch Anheiz- und Teillastphasen zur berücksichtigen (beReal, Blauer Engel o.ä.)
- ▶ Die Nachrüstung mit Minderungsmaßnahmen wie E-Abscheider sind für Bestandsanlagen mit Sanierungsbedarf als Ansatz genannt worden.
- ▶ Zusätzlich sollten Anpassungen zur Abgasabführung überlegt werden.
- ▶ Eine effektive Marktüberwachung von Feuerungsanlagen wurde vorgeschlagen.

### **A.3 Welche Erfahrungen bezüglich Abgasemissionen haben Sie bei der Verbrennung von Scheitholz in häuslichen Feuerungen gemacht?**

Das Fehlverhalten der Betreibenden, z.B. Abfallverbrennung oder zu feuchtes Holz, wurde sehr häufig genannt.

Auch die verbesserte Erhebung von Daten aus den Kehrbüchern des Schornsteinfegerhandwerks wurde als möglicher Ansatz genannt, um gezielte Luftreinhaltepläne ausarbeiten zu können.

Auch scheinen unklare Regelungen der 1. BImSchV zu Problemen zu führen, z.B. der „gelegentliche“ Betrieb offener Kamine nach §4 (4) der 1. BImSchV.

Vor allem die Scheitholzverbrennung ist kritisch zu sehen.

Solange keine verpflichtenden Maßnahmen existieren, werden Minderungstechnologien keinen großflächigen Einsatz finden.

Mittlerweile werden Holzfeuerungen zahlreich eingesetzt, so dass zu fast jeder Wind- und Wetterlage Belastungen vorhanden sind.

Auch der Einsatz von Abfallhölzern (gelegentlich bis systematisch) wird immer wieder beobachtet.

Die Beschwerden häufen sich und sind in einigen Bundesländern zahlreich. Maßnahmen dazu sind in der Erarbeitung und sollen demnächst durch Vollzugsempfehlungen veröffentlicht werden.

Auch wurde eine verstärkte Innenraumbelastung als Problem genannt.

In Bayern wurden in einem Projekt Daten zu Nutzenden und deren Nutzerverhalten sowie dem Anlagenbestand per Fragebogen ermittelt, Zitat:

„Eine Auswertung der Fragebögen zeigte, dass die im Beratungsgespräch der Schornsteinfeger vermittelten Tipps (siehe die LfU- Broschüre „Heizen mit Holz in Kaminöfen“) zum richtigen Anlagenbetrieb den Betreibenden [...] unbekannt sind:

- ▶ zum richtigen Anzündmaterial: 20 % der Betreibenden
- ▶ zur richtigen Stellung der Luftschieber beim Anzünden: 5 % der Betreibenden
- ▶ zum richtigen Zeitpunkt zum Schließen der Primärluftklappe: 25 % (Interesse für Ofenthermometer sollte geweckt werden)
- ▶ zur richtigen Brennstoffmenge beim Nachlegen: 45 % der Betreibenden
- ▶ zum richtigen Zeitpunkt zum Nachlegen: 50 % der Betreibenden
- ▶ kein Gluthaltebetrieb: 30 % der Betreibenden
- ▶ Bei 15 % aller Anlagen wurden Fremdbestandteile in der Asche identifiziert (Brennstoffmissbrauch). Bei 60 % der Beschwerdefälle lag Brennstoffmissbrauch vor.
- ▶ Bei 10 % der Anlagen war das Brennstofflager nicht geeignet.
- ▶ Bei 15 % der Anlagen war der Scheitumfang nicht passend. Bei 10 % war die Scheitlänge nicht passend.
- ▶ Bei 15 % der Anlagen war der technische Zustand nicht in Ordnung.
- ▶ 40 % der Anlagen sind überdimensioniert.“

#### **A.4 Haben Sie selbst oder in Zusammenarbeit mit Partnern Messkampagnen an Holzfeuerungen durchgeführt und können Sie entsprechende Messprotokolle oder Berichte zur Verfügung stellen?**

Bisher wurden nur wenige eigene Messungen durchgeführt. Das Land Berlin ist jedoch in Zusammenarbeit mit der DUH bei der Planung eines entsprechenden Projektes für Pelletfeuerungen.

Das Land NRW bietet über das LANUV Untersuchungen zur Rostasche an, um Brennstoffmissbrauch feststellen zu können. Zudem liegen Daten zu Levoglucosan als Tracer vor.

In Bayern wurden zahlreiche Messkampagnen und Studien durchgeführt. Die Informationen stehen zum Download im Internet bereit.

**A.5 Sind Ihrer Meinung nach neben Staub weitere Schadstoffe (Kohlenwasserstoffe, Stickstoffoxide) aus Holzverbrennungsprozessen relevant, die bezüglich des Immissionsschutzes zusätzlich betrachtet werden müssen?**

Als Schadstoffe wurden insbesondere PAK und VOC (Benzol) genannt. Auch NO<sub>x</sub> sollte mit betrachtet und diskutiert werden.

Auch die Messung der Partikelanzahlkonzentrationen und von Schwermetallen wurden von einem Teilnehmer genannt.

Geruchsemissionen und auch Dioxine/Furane sind ebenfalls genannt worden, die zukünftig erfasst und betrachtet werden sollten.

**A.6 Besteht Ihrerseits Interesse an der Mitwirkung und Durchführungen von Fachgesprächen zur Ermittlung des Standes der Technik an Kleinf Feuerungsanlagen?**

Ein Interesse wurden bei allen Antworten bekundet. Bei vielen Antworten wurde jedoch darauf hingewiesen, dass eine Teilnahme an entsprechenden Beratungen wegen der hohen Arbeitsbelastung und geringen Personalverfügbarkeit nicht definitiv zugesagt werden kann.

## B Expertenbefragung

### B.1 Zusammenfassung der Antworten

#### B.1.1 Auswirkungen der Novellierung der 1. BImSchV

Im Allgemeinen wird eingeschätzt, dass die Novellierung der 1. BImSchV folgende Auswirkungen hatte:

- ▶ Den Verbrauchern wurde die Relevanz ihrer Feuerstätten bezüglich der Luftreinhaltung deutlich gemacht. Dies führte insbesondere im Zusammenhang mit nicht klar kommunizierten Auslegungsfragen zu einer Verunsicherung der Verbraucher. Jedoch entstanden durch das neue Bewusstsein Gesprächsansätze, welche zu einer Weiterbildung der Betreibenden sowie im optimalen Fall zu einem emissionsärmeren Betrieb der Feuerstätte führten.
- ▶ Insbesondere durch die Altanlagenregelungen in der 1. BImSchV wurden ältere Feuerungen ausgetauscht bzw. stillgelegt, wobei vermutlich eher ein Austausch durchgeführt wurde.
- ▶ Der befürchtete Zusammenbruch des Marktes für Kaminöfen blieb aus. Als Grund hierfür wird die marktstimulierende Wirkung der Altanlagenregelung gesehen.
- ▶ Verschärfte kommunale Anforderungen sowie die Novellierung der 1. BImSchV führten zu Weiterentwicklungen vorrangig im Bereich der primären Verbrennungstechnik (Sekundärluftzuführung, Optimierung der Strömungsbedingungen).
- ▶ Auch im Bereich der Sekundärmaßnahmen (Staubabscheider, Katalysatoren) gab es Weiterentwicklungen, welche im Vergleich zu den Primärmaßnahmen jedoch weit weniger verbreitet sind.
- ▶ Ausgehend von der Annahme, dass Feuerungen, welche bei der Typprüfung geringere Emissionen bescheinigt bekommen auch im Alltagsbetrieb in gleicher Weise geringere Emissionen aufweisen, wird festgestellt, dass insbesondere die Substituierung älterer Feuerungen durch neue Feuerungen zu einer Reduzierung des Schadstoffaustausches führt.
- ▶ Durch die gewährten Übergangsfristen für Altanlagen wird sich die Wirkung erst in den nächsten Jahren zeigen können. Die Übergangsfristen für Einzelraumfeuerungsanlagen welche zwischen dem 01.01.1985 und 31.12.1994 errichtet wurden laufen am 31.12.2020 und die für Einzelraumfeuerungsanlagen mit dem Errichtungsdatum zwischen 01.01.1995 und 31.03.2010 laufen am 31.12.2024 aus.
- ▶ Aufgrund einer Vielzahl von Ausnahmetatbeständen, dem großen Einfluss von Betreiberverhalten und anderen Rahmenbedingungen für die Verbrennung sowie den fehlenden Kontrollmöglichkeiten, wird die voraussichtliche Wirksamkeit hinsichtlich des

Immissionsschutzes im Vergleich zu den Erfolgen im Bereich der Kesselanlagen als geringer eingeschätzt.

### **B.1.2 Betrachtung der Typprüfung**

Von allen Experten wird herausgehoben, dass der Fokus der Typprüfung auf der Vergleichbarkeit der Ergebnisse liegt. Dies führt zu Vorgaben in den Prüfabläufen, welche teilweise, selten oder gar nicht im Alltagsbetrieb einer Einzelraumfeuerungsanlage auftreten.

Folgende Aussagen wurden vertreten:

- ▶ Der Fokus der Typprüfungen liegt auf der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Eine von der Stiftung Warentest bei einem Prüfinstitut beauftragte wiederholte Messung nach den Vorgaben der Typprüfung ergab eine hohe Übereinstimmung der Messergebnisse.
- ▶ Die europäische Harmonisierung der Typprüfung sorgt für gleiche Bedingungen auf dem europäischen Binnenmarkt und wird sehr begrüßt.
- ▶ Die Emissionen im Alltagsbetrieb liegen meist deutlich über den veröffentlichten Werten aus der Typprüfung. Dies hat insbesondere folgende Gründe:
  - Die Feuerung wird durch die Prüfvorschriften unter vorhersehbaren Bedingungen betrieben. Zu nennen ist der konstante Schornsteinzug, Brennstoffqualität sowie der Nachlegezeitpunkt.
  - Durch den Erfahrungsschatz der Prüfstellen erfolgt der Betrieb unter optimalen Bedingungen. Dies betrifft insbesondere die Brennstoffform, die Anordnung des Brennstoffs und die Platzierung des Brennstoffs im Feuerraum.
  - Wichtige immissionsträchtige Verbrennungsphasen wie z.B. der Start der Feuerung werden nicht berücksichtigt.
  - Ungünstige Messungen aus Typprüfungen werden nicht veröffentlicht.
- ▶ Aufgrund von nicht festgelegten bzw. nicht öffentlich zugänglichen Festlegungen zu Parametern der Typprüfung sowie der Möglichkeit, ungünstige Messwerte aus der Bewertung herauszunehmen ist das Verfahren manipulationsanfällig.
- ▶ Trotz des Nutzens der Typprüfungen stellen diese auch ein Innovationshemmnis dar, da nach konstruktiven Änderungen an der Feuerung in der Regel die Typprüfung wiederholt werden muss.
- ▶ Kombinationen mit z.B. nachgeschalteten Abgasnachbehandlungsanlagen können nicht adäquat berücksichtigt werden.
- ▶ Aufgrund der höheren Anforderungen durch die Novellierung der 1. BImSchV besteht ein größerer Aufwand bei der Typprüfung.
- ▶ Auch die Rangfolge geprüfter Feuerungen kann sich bei Änderung der Prüfbedingungen verändern.

### B.1.3 Emissionen von EFA im Alltagsbetrieb

Sind die Alltagsemissionen einer Feuerung mit den Werten aus der Typprüfung vergleichbar?

- ▶ Ein Vergleich von Emissionen von EFA im Alltagsbetrieb mit den Werten der Typprüfung macht wenig Sinn, da der Haupteinfluss, die Betreibenden, bei der Typprüfung nicht berücksichtigt werden.
- ▶ Vergleichende Prüfstandsmessungen ergaben, dass die Feuerungen im Durchschnitt um den Faktor 2,5 über denen der Typprüfung liegen. Ein fester Faktor kann jedoch nicht ermittelt werden.

Welche Einflussfaktoren sind im Alltagsbetrieb besonders relevant?

- ▶ Bedienungseinflüsse:
  - Falsche Lufteinstellung (Primärluft offenlassen, zu frühes Schließen der Sekundärluft)
  - Falsches Zünden der Feuerung
  - zu spätes Nachlagen
  - falsche Brennstoffqualität (Material, Feuchte)
  - Auflegen der falschen Brennstoffmenge bzw. der falschen Brennstoffform (Abmessungen, Stückigkeit)
  - keine oder fehlerhafte Wartung
- ▶ Auslegungsfehler:
  - zu groß dimensionierte Feuerungen
  - Auslegung der Abgasanlage (zu hoher Schornsteinzug)

### B.1.4 Wiederkehrende Messungen an EFA

Expertenbefragung:

- ▶ Weitgehend übereinstimmend wird der mögliche Nutzen wiederkehrender Messungen in der „Ausbildung“ der Betreibenden gesehen. Im Gespräch oder z.B. bei einem Probefeuern kann auf ungünstiges Verhalten hingewiesen werden.
- ▶ Aufgrund der schwankenden Randbedingungen (Zug, Brennstoff, Nutzereinfluss) wird die Reproduzierbarkeit der Messungen für eine Bewertung nicht ausreichen. Ebenso verfügen Einzelraumfeuerungsanlagen in der Regel nicht über die notwendigen Messöffnungen. Von einer Messung (im Sinne von bestanden / nicht bestanden) wird deshalb weitgehend übereinstimmend abgeraten.

- ▶ Aufgrund der im Vergleich zu Kesselanlagen tendenziell geringeren Betriebszeiten der Feuerungen wird die Überprüfung der Feuerungsanlage im Rahmen der Feuerstättenschau als ausreichend bewertet.
- ▶ Je moderner die Anlagen werden, desto höher ist die Auftretenswahrscheinlichkeit von technischen Defekten. Um technische Defekte (Undichtigkeiten, Ausfall von Regelungen e.c.t.) aufdecken zu können, sollte dieser Aspekt bei der Feuerstättenschau stärker berücksichtigt werden. Sinnvoll könnte es sein, wenn die Hersteller entsprechende Prüfpläne dem Schornsteinfegerhandwerk an die Hand geben.

### **B.1.5 Einführung von Partikelzählverfahren**

Überwiegend wird die Einführung von Partikelzählverfahren sehr kritisch gesehen.

- ▶ Es ist fraglich, ob bei dem derzeitigen Emissionsniveau die Partikelzählung einen nennenswerten Informationsgewinn gegenüber der gravimetrischen Staubkonzentrationsmessung bringt.
- ▶ Partikelzählverfahren werden derzeit vorrangig bei stationären bzw. quasistationären Prozessen genutzt. Der Einsatz an Feuerungen ist unüblich und meist auf wissenschaftliche Studien beschränkt. Es liegen deshalb zu wenig Erfahrungen vor.
- ▶ Vor einer Einführung müssen einige Dinge festgelegt werden. Beispielsweise der zu berücksichtigende Größenbereich (inkl. welche Partikelgröße gemeint ist) sowie die Probenahmeprozedur und das Messverfahren. Auch Fragen zur Prüfung der Messgeräte für derartige Verbrennungsaerosole sind zu klären.
- ▶ Bei der Festlegung von Grenzwerten müssten auch die Prozesse in der Luft (Verdünnung, Kondensation, Agglomeration) berücksichtigt werden. Ohne eine fundierte Bewertung der Wirkung der Partikelzahl im Rahmen von Grenzwertfestlegungen macht die Messung keinen Sinn. Die für eine normative Einführung notwendigen Untersuchungen und Abstimmungsprozesse auf europäischer Ebene dürften Jahre dauern.

### **B.1.6 Ermittlung von Handlungsbedarf für EFA**

Wie kann eine weitere Emissionssenkung bei Einzelraumfeuerungsanlagen erreicht werden?

- ▶ Die meisten aktuellen Feuerungen sind bei richtigem Betrieb vergleichsweise emissionsarm. Eine weitere Senkung könnte durch Reduzierung des Betreibereinflusses sowie dem Einsatz von Sekundärmaßnahmen erreicht werden.
- ▶ Betreiberbezogene Maßnahmen
  - Schulung der Feuerungsbetreibenden

- bessere Information der Feuerungsbetreibenden zu empfohlenen Brennstoffabmessungen
- Feedbacksysteme z.B. Emissions-Anzeigen, die dem Kunden eine Rückmeldung geben
- ▶ Anlagentechnik
  - Durch automatische Verbrennungsluftregelungen lassen sich die Auswirkungen von Fehlbedienungen reduzieren.
  - Einsatz der Holzvergaserentechnik (Nachverbrennung von Abgasen)
- ▶ Sekundärmaßnahmen
  - Katalysatoren würden auch eine Emissionsreduzierung bewirken.
  - Installation von Partikelabscheidern
  - Der Einsatz von Sekundärmaßnahmen kann jedoch auch zu Problemen führen. (Minderung des Schornsteinzuges, Inaktivierung)
- ▶ Auslegungsfragen / Randbedingungen
  - bessere Anpassung der Feuerungsleistung an den Raumwärmebedarf (geringere Leistungen)
  - besseres Zusammenspiel von Abgasanlage und Feuerung
  - Erneuerung des Altanlagenbestandes

## C Zusammenstellung ausgewählter Messdaten

### C.1 Prüfzyklus

Im Folgenden sind die wichtigsten Anforderungen der verwendeten Prüfverfahren aufgelistet. Dabei werden insbesondere die Unterschiede dargestellt. Die Auflistungen sind nicht vollständig.

**Tabelle 42: Ablauf des Prüfzyklus EN „in Anlehnung an Typprüfung“**

Parameter	Anforderung
Einzustellende Last	Nach dem Zünden der ersten Brennstoffauflage ist mindestens ein Vorversuch bei Nennlast durchzuführen. Diesem folgen weitere Abbrände bei Nennlast und ggf. bei Teillast. Es werden drei Nennlastabbrände für die Auswertung herangezogen.
Schornsteinzug	Die Nennlastabbrände werden bei 12 Pa und die Teillastabbrände bei 6 Pa durchgeführt, sofern vom Hersteller nichts anderes Vorgegeben wird.
Einstellungen am Kaminofen	Es sind die in der Bedienungsanleitung festgelegten Einstellungen durchzuführen. Als Einschränkung gilt, dass die Einstellungen nur innerhalb von drei Minuten nach dem Nachlegen angepasst werden dürfen.
Nachlegekriterium	Das Nachlegekriterium ist erreicht, wenn die CO <sub>2</sub> -Konzentration zwischen 4,5% und 3,5% liegt und die Flamme erloschen ist. Bei 3,5% ist das Kriterium auch erreicht, wenn die Flamme noch brennt.
Staubmessung	Die Staubmessungen beginnen 3 Minuten nach dem Nachlegen und Enden nach 30 Minuten Absaugzeit.

**Tabelle 43: Ablauf des Prüfzyklus bR „nach dem Prüfzyklus beReal“**

Parameter	Anforderung
Einzustellende Last	Es werden 8 Abbrände durchgeführt. 5 Abbrände in Volllast, beginnend mit dem Anzünden und anschließend 3 Abbrände in Teillast.
Schornsteinzug	Alle Abbrände werden bei 12 Pa durchgeführt.
Einstellungen am Kaminofen	Es sind die in der Bedienungsanleitung festgelegten Einstellungen durchzuführen. Als Einschränkung gilt, dass die Einstellungen nur innerhalb einer Minute nach dem Nachlegen angepasst werden dürfen.
Nachlegekriterium	Das Nachlegekriterium ist erreicht bei 25% der maximalen CO <sub>2</sub> -Konzentration im Abbrand, wenn die CO <sub>2</sub> -Konzentration zwischen 4% und 3% liegt, und die Flamme erloschen ist oder, wenn die CO <sub>2</sub> -Konzentration unter 3% liegt und die Flamme erloschen ist.
Staubmessung	Gesamtstaubmessungen sind für die Abbrände 1,3,5 und 7 vorgesehen. Die Staubmessungen beginnen 1 Minuten nach dem Nachlegen und Enden mit Erreichen des Nachlegekriteriums.

**Tabelle 44: Ablauf des Prüfzyklus bEEN „Umweltzeichen Blauer Engel“**

Parameter	Anforderung
Einzustellende Last	Es sind 6 Brennstoffauflagen bei Nennlast, beginnend mit dem Zündvorgang, und 2 Brennstoffauflagen bei Teillast durchzuführen. Bei nicht teillastfähigen Kaminöfen werden die Teillastabbrände und Nennlastabbrände ersetzt.
Schornsteinzug	Die beiden ersten Abbrände werden bei Naturzug durchgeführt. Die weiteren Nennlastabbrände bei 12 Pa und die Teillastabbrände bei 6 Pa.
Einstellungen am Kaminofen	Es sind die in der Bedienungsanleitung festgelegten Einstellungen durchzuführen. Als Einschränkung gilt, dass die Einstellungen nur unmittelbar beim Nachlegen angepasst werden dürfen.
Nachlegekriterium	Das Nachlegekriterium ist erreicht bei 25% der maximalen CO <sub>2</sub> -Konzentration im Abbrand, wenn die CO <sub>2</sub> -Konzentration zwischen 4,5% und 3,5% liegt, und die Flamme erloschen ist oder, wenn die CO <sub>2</sub> -Konzentration unter 3,5% liegt.
Staubmessung	Die Staubmessung beginnt für die ersten beiden Brennstoffauflagen unmittelbar nach dem Anzünden des Brennstoffs und endet bei Erreichend es Nachlegezeitpunktes nach der zweiten Brennstoffauflage. Die beiden ersten Abbrände werden auf einen Staubfilter gezogen. Die weiteren Staubmessungen beginnen 3 Minuten nach dem Nachlegen und Enden nach 30 Minuten Absaugzeit.

**Tabelle 45: Ablauf des Prüfzyklus VBE „Vorschlag des DBFZ für ein Umweltzeichen“**

Parameter	Anforderung
Einzustellende Last	Es sind 4 Brennstoffauflagen bei Nennlast, beginnend mit dem Zündvorgang, und 2 Brennstoffauflagen bei Teillast durchzuführen.
Schornsteinzug	Die ersten drei Abbrände werden bei Naturzug durchgeführt. Der vierte mit 35 Pa und die folgenden Abbrände wieder mit Naturzug.
Einstellungen am Kaminofen	Es sind die in der Bedienungsanleitung festgelegten Einstellungen durchzuführen. Als Einschränkung gilt, dass die Einstellungen nur innerhalb von 5 Minuten nach dem Nachlegen angepasst werden dürfen.
Nachlegekriterium	Das Nachlegekriterium ist erreicht bei 25% der maximalen CO <sub>2</sub> -Konzentration im Abbrand, wenn die CO <sub>2</sub> -Konzentration zwischen 4% und 3% liegt, und die Flamme erloschen ist oder, wenn die CO <sub>2</sub> -Konzentration unter 3% liegt und die Flamme erloschen ist.
Staubmessung	Die Staubmessungen beginnen mit dem Zünden bzw. Auflagen des Brennstoffs und Enden bei Erreichend es Nachlegezeitpunktes. Die beiden ersten Abbrände sowie die Abbrände 3 bis 6 werden jeweils auf einen Staubfilter gezogen.

## C.2 Messwerte

In diesem Anhang werden Daten der in diesem Bericht verwendeten Messungen tabellarisch dargestellt. Hinweise zur Interpretation gibt Tabelle 46.

**Tabelle 46: Hinweise zu den Messdatentabellen**

Bezeichnung	Hinweis
Messablauf	<p>Hier wird der verwendete Prüfzyklus angegeben.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ EN in Anlehnung an die Prüfvorschrift für Kaminöfen</li> <li>▶ bR nach dem Prüfzyklus beReal</li> <li>▶ bEEN in Anlehnung an das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Kaminöfen</li> <li>▶ VBE nach einem Vorschlag des DBFZ für ein Umweltzeichen für Kaminöfen</li> </ul>
Brennstoffauflage	<p>Angegeben wird die laufende Zahl der Brennstoffauflagen am Versuchstag. Begonnen wird mit dem Entzünden der 1. Brennstoffauflage.</p>
Lastart	<p>Angegeben ist die nach Herstellerangaben eingestellte Lastart (Nennlast „NL“ bzw. Teillast „TL“). Die Einstellung erfolgte gemäß der Bedienungsanleitung des Kaminofens in der Regel durch die aufgelegte Brennstoffmenge und die vorgegebenen (Luft-) Einstellungen.</p>
Startzeit	<p>Zeitpunkt der Brennstoffauflage und Beginn der Auswertung für gasförmige Emissionen. Die Staubmessung beginnt in Abhängigkeit vom Prüfzyklus entweder auch zu diesem Zeitpunkt bzw. in einem Abstand von 3 Minuten.</p>
Endzeit	<p>Zeitpunkt des Unterschreitens des Nachlegekriteriums und Endpunkt für die Auswertung gasförmiger Emissionen. In der Regel wurde innerhalb von 0,5 Minuten die nächste Brennstoffauflage aufgelegt. Für die Staubmessung gelten je nach Prüfzyklus abweichende Endzeitpunkte.</p>

**Tabelle 47: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 25.04.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	3	NL	11:28	12:05	14,8	2125	172	73	195	71	142	121
EN	4	NL	12:05	12:46	14,7	2585	244	101	196	77	138	99
EN	5	NL	12:46	13:29	15,5	3895	278	119	379	143	271	119
EN	6	NL	13:29	14:12	15,7	2872	231	98	311	163	188	85
EN	7	TL	14:12	14:52	16,7	3734	46	20	270	122	178	57
EN	8	TL	14:52	15:38	17,6	4235	60	27	522	144	414	174

**Tabelle 48: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 02.05.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bR	1	NL	10:55	11:44	17,5	5514	146	137	974	274	769	200
bR	2	NL	11:44	12:35	16,6	2795	n.g.	n.g.	368	117	280	114
bR	3	NL	12:35	13:10	14,3	2221	98	92	264	81	203	102
bR	4	NL	13:10	13:44	13,7	2033	n.g.	n.g.	245	72	191	111
bR	5	NL	13:44	14:20	13,2	3119	156	147	387	121	297	112
bR	6	TL	14:20	14:54	16,3	821	n.g.	n.g.	42	18	28	81
bR	7	TL	14:54	15:31	17,3	1185	50	46	181	84	118	88
bR	8	TL	15:31	16:02	17,2	923	n.g.	n.g.	127	66	78	86

**Tabelle 49: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 03.05.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bR	1	VL	09:14	09:46	15,2	2011	167	156	230	61	184	82
bR	2	VL	09:46	10:40	17,0	3910	n.g.	n.g.	464	173	335	94
bR	3	VL	10:40	11:24	15,7	1778	61	55	201	72	147	107
bR	4	VL	11:24	12:06	13,4	2122	n.g.	n.g.	246	73	191	92
bR	5	VL	12:06	12:37	15,0	1047	150	136	77	29	55	83
bR	6	TL	12:37	13:10	16,3	1340	n.g.	n.g.	140	43	108	75
bR	7	TL	13:10	13:44	16,8	1248	221	221	124	59	79	77
bR	8	TL	13:44	14:17	17,1	846	n.g.	n.g.	116	64	68	80

**Tabelle 50: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 07.05.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	3	NL	10:30	11:07	13,9	1821	155	137	229	69	178	97
EN	4	NL	11:07	11:43	14,2	2679	163	144	388	112	304	114
EN	5	NL	11:43	12:22	13,8	2459	141	125	317	68	266	121
EN	6	NL	12:22	12:57	14,1	2055	133	118	308	76	250	117
EN	7	TL	12:57	13:38	16,4	1942	50	43	112	65	63	83
EN	8	TL	13:38	14:06	15,6	858	122	107	42	18	29	89

**Tabelle 51: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 25.03.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	10:00	11:04	14,8	2063	145	132	273	78	214	127
bEEN	3	NL	11:04	11:37	11,9	2251	n.g.	n.g.	276	196	203	127
bEEN	4	NL	11:37	12:15	12,2	3836	217	198	679	221	514	172
bEEN	5	NL	12:15	12:54	12,7	3704	172	157	508	178	375	168
bEEN	6	NL	12:54	13:30	12,3	3756	208	190	834	241	653	223
bEEN	7	TL	13:30	13:55	12,6	1287	105	95	77	21	62	96
bEEN	8	TL	13:55	14:39	13,4	991	97	88	131	69	80	100

**Tabelle 52: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO1 am 12.06.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:37	10:51	14,5	2282	98	89	366	89	299	161
bEEN	3	NL	10:51	11:38	14,6	1863	109	100	531	83	469	149
bEEN	4	NL	11:38	12:43	14,8	2375	82	74	262	54	221	115
bEEN	5	NL	12:43	13:23	14,2	1609	59	53	308	53	268	164
bEEN	6	NL	13:23	14:05	13,8	1450	63	58	332	65	283	132
bEEN	7	TL	14:05	14:53	14,4	2989	29	25	476	203	324	134
bEEN	8	TL	14:53	16:07	15,4	5355	36	33	535	233	360	121

**Tabelle 53: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 14.05.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	3	NL	11:15	12:21	14,4	2985	26	21	250	88	184	112
EN	4	NL	12:21	13:51	13,2	2305	28	23	285	87	220	134
EN	5	NL	13:51	14:11	16,5	5585	n.g.	n.g.	335	249	148	37
EN	6	NL	14:11	15:18	14,6	3226	32	26	353	113	269	138
EN	7	TL	15:18	16:03	15,1	3430	18	13	407	131	309	86
EN	8	TL	16:03	16:54	15,2	4396	19	16	589	244	406	92

**Tabelle 54: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 15.05.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	3	NL	10:56	11:50	14,1	2933	27	20	414	128	317	128
EN	4	NL	11:50	12:58	14,8	3523	64	48	540	155	424	128
EN	5	NL	12:58	14:03	14,6	3050	19	15	276	130	178	81
EN	6	NL	14:03	15:11	14,4	2576	19	15	217	87	152	91
EN	7	TL	15:11	15:58	16,1	6300	106	79	1507	221	1341	207
EN	8	TL	15:58	16:40	15,6	4378	65	48	922	179	788	244

**Tabelle 55: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 16.05.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bR	1	VL	08:59	09:34	14,2	1998	124	115	295	78	236	95
bR	2	VL	09:34	10:19	13,2	1926	n.g.	n.g.	422	81	361	145
bR	3	VL	10:19	11:15	14,1	2533	28	26	309	98	236	96
bR	4	VL	11:15	12:10	14,6	2625	n.g.	n.g.	372	113	288	109
bR	5	VL	12:10	13:19	14,1	2937	20	19	382	94	311	124
bR	6	TL	13:19	14:02	15,6	2839	n.g.	n.g.	478	135	377	107
bR	7	TL	14:02	14:41	15,0	2124	24	21	317	102	241	93
bR	8	TL	14:41	15:19	15,3	3747	n.g.	n.g.	595	191	452	120

**Tabelle 56: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 17.05.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bR	1	VL	08:56	09:33	15,2	1929	98	92	217	83	154	87
bR	2	VL	09:33	10:25	15,6	3357	n.g.	n.g.	876	154	761	115
bR	3	VL	10:25	11:23	15,7	3973	119	111	1289	174	1158	131
bR	4	VL	11:23	12:23	14,8	2454	n.g.	n.g.	335	73	281	119
bR	5	VL	12:23	13:23	15,8	4647	257	242	1859	158	1740	167
bR	6	TL	13:23	14:08	16,6	3478	n.g.	n.g.	691	181	555	102
bR	7	TL	14:08	14:46	16,1	2494	48	44	298	92	229	80
bR	8	TL	14:46	17:27	18,5	2932	n.g.	n.g.	389	150	276	49

**Tabelle 57: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 04.03.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:45	11:01	12,0	1383	83	73	191	47	155	160
bEEN	3	NL	11:01	12:03	13,3	2380	20	17	173	68	122	141
bEEN	4	NL	12:03	13:08	13,7	2718	46	40	315	83	253	145
bEEN	5	NL	13:08	14:02	12,9	2636	27	24	307	101	232	181
bEEN	6	NL	14:02	15:03	13,1	2664	32	27	253	92	184	155
bEEN	7	NL	15:03	15:48	11,9	1326	17	15	170	45	137	139
bEEN	8	NL	15:48	17:05	13,2	3369	75	66	301	117	213	n.g.

**Tabelle 58: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO3 am 07.03.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:45	10:57	11,4	1146	79	70	150	28	129	150
bEEN	3	NL	10:57	11:42	12,0	1747	28	25	374	51	335	196
bEEN	4	NL	11:42	12:23	12,1	1552	29	25	348	46	314	192
bEEN	5	NL	12:23	13:14	12,6	2258	35	31	528	71	475	181
bEEN	6	NL	13:14	14:16	13,3	2455	53	46	405	54	365	994

**Tabelle 59: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 02.07.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	3	NL	10:52	11:55	12,4	1696	123	113	139	42	107	94
EN	4	NL	11:55	12:48	12,4	1119	66	61	71	14	61	118
EN	5	NL	12:48	13:38	11,7	1274	130	121	176	29	154	109
EN	6	NL	13:38	14:34	11,5	1784	172	159	170	29	149	101
EN	7	TL	14:34	15:44	14,7	3548	14	13	363	173	234	73
EN	8	TL	15:44	16:37	13,3	2596	35	32	261	94	190	88

**Tabelle 60: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 03.07.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bR	1	VL	09:16	09:56	16,6	2250	81	74	143	38	115	70
bR	2	VL	09:56	10:41	14,4	1819	n.g.	n.g.	343	79	284	135
bR	3	VL	10:41	11:31	12,8	1011	65	59	47	13	37	108
bR	4	VL	11:31	12:09	11,3	764	n.g.	n.g.	54	10	47	106
bR	5	VL	12:09	12:58	12,4	1061	111	102	40	11	32	98
bR	6	TL	12:58	13:40	15,2	1676	n.g.	n.g.	136	41	105	70
bR	7	TL	13:40	14:19	15,8	2231	57	52	281	98	207	89
bR	8	TL	14:19	15:06	16,7	3644	n.g.	n.g.	545	234	370	96

**Tabelle 61: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 19.02.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:34	10:36	13,9	1775	214	191	23	75	174	142
bEEN	3	NL	10:36	11:19	12,8	1602	n.g.	n.g.	42	15	31	116
bEEN	4	NL	11:19	11:57	12,8	1774	192	172	122	49	85	118
bEEN	5	NL	11:57	12:33	12,0	1261	144	129	69	27	49	113
bEEN	6	NL	12:33	13:19	13,2	2480	165	148	37	18	24	108
bEEN	7	TL	13:19	14:16	15,0	3381	127	114	125	60	80	81
bEEN	8	TL	14:16	14:53	14,8	1340	147	131	237	91	169	102

**Tabelle 62: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 20.02.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:49	11:16	15,3	2759	92	83	201	102	125	122
bEEN	3	NL	11:16	11:48	12,6	790	157	144	76	15	64	145
bEEN	4	NL	11:48	12:40	14,0	2228	117	107	77	40	48	125
bEEN	5	NL	12:40	13:20	13,3	1128	161	147	51	19	36	127
bEEN	6	NL	13:20	14:04	12,9	2116	158	144	52	21	36	121
bEEN	7	TL	14:04	14:57	15,0	2800	88	80	109	46	74	93
bEEN	8	TL	14:57	15:34	15,3	1364	110	101	227	63	179	99

**Tabelle 63: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 18.06.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	3	NL	11:15	11:55	12,7	833	84	76	71	40	41	120
EN	4	NL	11:55	12:39	12,5	893	n.g.	n.g.	70	35	44	120
EN	5	NL	12:39	13:21	12,5	1020	n.g.	n.g.	115	37	88	116
EN	6	NL	13:21	14:10	13,2	1731	107	98	103	52	64	120
EN	7	TL	14:10	14:52	14,6	1817	80	72	161	101	86	112
EN	8	TL	14:52	15:33	15,0	2082	40	37	204	137	101	103

**Tabelle 64: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 26.02.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:43	11:02	14,8	2410	151	146	173	74	118	122
bEEN	3	NL	11:02	11:36	12,2	1626	326	316	102	34	76	128
bEEN	4	NL	11:36	12:16	12,4	1574	142	137	44	16	32	118
bEEN	5	NL	12:16	12:52	12,2	1797	154	149	91	35	65	116
bEEN	6	NL	12:52	13:36	13,5	1630	127	123	89	20	74	127
bEEN	7	TL	13:36	14:24	14,6	2445	78	75	106	57	64	100
bEEN	8	TL	14:24	15:05	15,2	1721	102	99	216	121	125	100

**Tabelle 65: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO2 am 27.02.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:41	11:00	14,8	2412	144	131	235	79	176	144
bEEN	3	NL	11:00	11:32	12,6	1039	147	135	117	35	91	151
bEEN	4	NL	11:32	12:07	12,1	1453	131	120	78	33	54	114
bEEN	5	NL	12:07	12:55	13,1	2574	134	122	31	15	20	122
bEEN	6	NL	12:55	13:28	12,8	1437	168	153	91	32	67	128
bEEN	7	TL	13:28	14:09	13,8	1683	117	106	118	67	68	103
bEEN	8	TL	14:09	14:52	14,9	1446	143	130	167	93	97	99

**Tabelle 66: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 20.08.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:29	10:33	15,3	1209	68	61	185	28	164	99
bEEN	3	NL	10:33	11:16	14,2	1104	29	25	57	23	39	97
bEEN	4	NL	11:16	11:58	13,1	879	24	21	88	42	57	86
bEEN	5	NL	11:58	12:40	13,3	811	18	16	77	37	49	80
bEEN	6	NL	12:40	13:30	14,0	784	20	18	81	40	52	92
bEEN	7	NL	13:30	14:11	13,1	611	29	26	46	18	32	85
bEEN	8	NL	14:11	14:49	12,5	740	20	19	85	35	59	101

**Tabelle 67: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 21.08.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:34	10:30	14,5	1232	60	53	95	27	75	95
bEEN	3	NL	10:30	11:13	14,3	969	34	30	86	30	64	73
bEEN	4	NL	11:13	11:58	13,5	1143	22	19	102	42	70	74
bEEN	5	NL	11:58	12:46	13,9	1102	16	13	113	45	79	78
bEEN	6	NL	12:46	13:25	13,0	605	17	15	56	25	37	78
bEEN	7	NL	13:25	14:12	13,6	1227	14	12	149	65	100	93
bEEN	8	NL	14:12	14:57	13,6	1416	21	18	139	60	95	90

**Tabelle 68: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 22.08.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bR	1	VL	08:40	09:06	14,8	1880	77	72	n.g.	43	n.g.	103
bR	2	VL	09:06	09:45	15,6	2167	n.g.	n.g.	n.g.	49	n.g.	125
bR	3	VL	09:45	10:31	14,7	1281	27	25	n.g.	38	n.g.	67
bR	4	VL	10:31	11:25	14,5	1099	n.g.	n.g.	n.g.	50	n.g.	84
bR	5	VL	11:25	12:12	14,4	1285	28	24	n.g.	53	n.g.	90
bR	6	VL	12:12	12:57	13,8	911	n.g.	n.g.	n.g.	36	n.g.	89
bR	7	VL	12:57	13:47	14,3	1476	34	30	n.g.	55	n.g.	81
bR	8	VL	13:47	14:32	13,9	897	n.g.	n.g.	n.g.	47	n.g.	94

**Tabelle 69: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 23.08.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bR	1	VL	09:39	10:08	15,0	1882	74	65	138	46	104	93
bR	2	VL	10:08	10:46	15,5	2368	n.g.	n.g.	242	72	188	123
bR	3	VL	10:46	11:32	14,6	987	22	20	92	38	63	63
bR	4	VL	11:32	12:20	14,4	1290	n.g.	n.g.	134	61	88	76
bR	5	VL	12:20	13:14	14,2	1164	29	27	106	58	62	83
bR	6	VL	13:14	14:03	14,1	1096	n.g.	n.g.	85	36	58	86
bR	7	VL	14:03	14:53	13,8	1215	31	27	78	35	52	98
bR	8	VL	14:53	15:38	14,1	839	n.g.	n.g.	61	25	42	98

**Tabelle 70: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 11.03.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:34	10:40	15,4	2010	71	64	291	52	252	151
bEEN	3	NL	10:40	11:22	14,4	1328	21	18	128	55	86	131
bEEN	4	NL	11:22	12:07	13,9	1839	25	22	187	86	122	116
bEEN	5	NL	12:07	12:57	13,6	1818	23	20	163	85	99	129
bEEN	6	NL	12:57	13:38	14,3	2826	38	34	439	154	323	192
bEEN	7	NL	13:38	14:25	13,8	2186	26	23	233	118	145	118
bEEN	8	NL	14:25	15:11	14,2	2274	43	39	222	103	144	116

**Tabelle 71: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 14.03.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:46	10:42	14,6	2119	62	57	210	56	167	135
bEEN	3	NL	10:42	11:24	14,1	1590	30	27	149	57	106	115
bEEN	4	NL	11:24	12:06	13,6	1499	27	25	129	56	87	121
bEEN	5	NL	12:06	12:54	14,0	1735	37	34	141	73	86	118
bEEN	6	NL	12:54	13:37	13,6	2092	35	32	146	77	88	117
bEEN	7	NL	13:37	14:25	14,4	1644	32	29	145	70	92	122
bEEN	8	NL	14:25	15:10	14,0	1245	20	18	121	78	62	118

**Tabelle 72: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 18.03.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	10:40	11:15	13,1	1221	n.g.	n.g.	118	50	81	122
bEEN	3	NL	11:15	11:59	13,5	1958	n.g.	n.g.	250	87	139	123
bEEN	4	NL	11:59	12:43	13,0	1277	n.g.	n.g.	86	49	49	118
bEEN	5	NL	12:43	13:24	12,2	1097	n.g.	n.g.	92	46	57	112
bEEN	6	NL	13:24	14:14	12,8	892	n.g.	n.g.	76	43	43	106

**Tabelle 73: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 19.03.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:40	10:28	14,4	3928	n.g.	n.g.	490	163	367	178
bEEN	3	NL	10:28	11:12	13,9	1679	n.g.	n.g.	191	78	133	112
bEEN	4	NL	11:12	11:55	13,6	2434	n.g.	n.g.	270	114	184	152
bEEN	5	NL	11:55	12:29	11,9	955	n.g.	n.g.	60	33	36	125
bEEN	6	NL	12:29	13:13	13,3	984	n.g.	n.g.	63	34	37	115
bEEN	7	NL	13:13	13:53	13,1	1693	n.g.	n.g.	151	83	89	123
bEEN	8	NL	13:53	14:35	13,3	1498	n.g.	n.g.	126	72	72	117

**Tabelle 74: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO4 am 20.03.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:40	10:31	14,4	3215	86	74	304	112	220	181
bEEN	3	NL	10:31	11:10	13,6	1403	29	25	134	62	88	141
bEEN	4	NL	11:10	11:50	12,8	1242	29	26	98	57	55	120
bEEN	5	NL	11:50	12:28	12,3	988	31	27	77	50	40	121
bEEN	6	NL	12:28	13:11	13,1	1481	33	28	106	61	60	121
bEEN	7	NL	13:11	13:53	12,7	1215	32	28	63	40	33	131
bEEN	8	NL	13:53	14:36	12,8	1369	27	24	89	48	53	122

**Tabelle 75: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 04.06.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
VBE	1+2	VL	09:00	10:36	15,4	2957	81	77	400	113	316	123
VBE	3-6	VL+TL	10:40	14:42	13,0	2122	36	34	292	95	221	104

**Tabelle 76: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 05.06.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
VBE	1+2	VL	09:26	10:54	14,9	2302	89	81	259	86	195	95
VBE	3-6	VL+TL	10:57	14:57	13,0	1930	33	31	226	73	172	101

**Tabelle 77: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 06.06.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	3	NL	10:21	11:54	13,6	2782	39	36	275	85	211	102
EN	4	NL	11:54	12:52	11,3	1517	30	26	134	44	101	101
EN	5	NL	12:52	14:06	11,9	1651	24	21	193	53	154	110
EN	6	NL	14:06	15:07	11,2	1421	19	17	233	41	202	116
EN	7	TL	15:07	16:27	14,4	3804	12	11	308	114	223	65
EN	8	TL	16:27	17:19	14,5	3990	51	46	544	196	398	81

**Tabelle 78: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 07.06.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
EN	3	NL	10:26	11:42	12,7	3100	52	43	521	145	412	111
EN	4	NL	11:42	13:00	12,6	3228	76	62	651	123	558	106
EN	5	NL	13:00	14:16	11,6	3208	50	41	521	123	428	108
EN	6	NL	14:16	15:43	11,8	2690	19	15	219	58	176	104
EN	7	TL	15:43	17:00	14,7	7813	40	33	1568	390	1275	170
EN	8	TL	17:00	17:49	15,4	5014	66	55	639	242	457	56

**Tabelle 79: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 11.06.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bR	1	VL	08:45	09:21	15,6	2730	101	92	250	65	201	110
bR	2	VL	09:21	10:10	14,6	3495	n.g.	n.g.	698	205	544	139
bR	3	VL	10:10	11:23	12,5	3848	34	30	692	154	577	146
bR	4	VL	11:23	12:53	12,8	3660	n.g.	n.g.	796	240	617	93
bR	5	VL	12:53	14:01	12,4	3282	65	55	688	153	573	145
bR	6	TL	14:01	15:07	14,0	3916	n.g.	n.g.	360	142	254	61
bR	7	TL	15:07	16:06	15,5	4928	30	27	797	243	615	93
bR	8	TL	16:06	17:03	16,5	2983	n.g.	n.g.	1077	375	796	129

**Tabelle 80: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 12.06.2018**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bR	1	VL	08:50	09:32	16,6	3959	104	92	431	126	337	120
bR	2	VL	09:32	10:28	14,3	4977	n.g.	n.g.	891	281	680	127
bR	3	VL	10:28	11:34	12,6	3645	51	46	801	202	649	114
bR	4	VL	11:34	12:47	11,9	2789	n.g.	n.g.	454	137	351	94
bR	5	VL	12:47	14:10	12,1	3011	26	23	276	67	226	88
bR	6	TL	14:10	15:10	14,0	3201	n.g.	n.g.	254	118	165	60
bR	7	TL	15:10	16:14	15,2	4839	32	29	658	194	513	60
bR	8	TL	16:14	17:07	15,2	2608	n.g.	n.g.	648	268	447	59

**Tabelle 81: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 08.04.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	10:01	11:17	13,4	1166	97	90	121	28	100	132
bEEN	3	NL	11:17	12:06	11,0	1126	104	97	141	43	108	119
bEEN	4	NL	12:06	12:55	10,3	823	59	55	93	26	73	117
bEEN	5	NL	12:55	13:41	9,8	1176	116	108	124	38	95	105
bEEN	6	NL	13:41	14:32	10,5	1279	113	105	91	28	70	97
bEEN	7	TL	14:32	15:21	13,8	1546	46	43	60	39	30	98
bEEN	8	TL	15:21	16:05	14,1	1553	53	50	96	53	56	102

**Tabelle 82: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 10.04.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	08:24	09:47	14,4	1692	100	93	171	67	120	120
bEEN	3	NL	09:47	10:37	11,6	1288	34	31	141	53	101	128
bEEN	4	NL	10:37	11:34	10,3	1451	18	16	179	75	123	107
bEEN	5	NL	11:34	12:39	10,7	976	18	16	115	28	94	113
bEEN	6	NL	12:39	13:36	10,1	750	28	26	70	20	55	100
bEEN	7	TL	13:36	14:46	13,7	2591	27	24	96	74	41	85
bEEN	8	TL	14:46	15:37	13,4	2544	46	42	225	106	146	92

**Tabelle 83: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 11.04.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:13	10:38	13,2	1306	87	83	230	79	170	128
bEEN	3	NL	10:38	11:46	11,8	910	21	20	103	70	50	110
bEEN	4	NL	11:46	12:43	10,5	557	13	12	49	22	32	117
bEEN	5	NL	12:43	14:00	11,8	842	12	12	76	25	57	115
bEEN	6	NL	14:00	14:59	10,6	733	20	19	85	30	62	120
bEEN	7	TL	14:59	16:06	11,7	1300	3	3	130	87	65	89
bEEN	8	TL	16:06	16:53	13,0	1812	35	33	407	204	254	123

**Tabelle 84: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 17.04.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	09:46	11:24	13,3	1020	47	46	120	59	76	120
bEEN	3	NL	11:24	12:25	12,0	877	135	131	91	54	50	104
bEEN	4	NL	12:25	13:22	11,3	877	161	157	98	48	62	115
bEEN	5	NL	13:22	14:26	11,4	646	179	175	44	28	24	112
bEEN	6	NL	14:26	15:28	10,9	472	120	116	48	20	33	106
bEEN	7	TL	15:28	16:33	13,7	1457	41	40	100	82	39	84
bEEN	8	TL	16:33	17:25	13,2	1746	45	43	244	150	132	86

**Tabelle 85: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 25.04.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	08:55	10:23	14,6	1388	67	61	234	138	131	129
bEEN	3	NL	10:23	11:22	11,8	1108	20	19	113	67	62	138
bEEN	4	NL	11:22	12:26	10,9	515	9	8	45	30	23	129
bEEN	5	NL	12:26	13:27	10,6	466	7	6	39	26	20	128
bEEN	6	NL	13:27	14:31	10,3	450	9	8	40	24	21	134
bEEN	7	TL	14:31	15:42	13,6	2193	8	7	305	233	131	99
bEEN	8	TL	15:42	16:52	13,5	2315	29	27	329	240	149	98

**Tabelle 86: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 29.04.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	08:49	10:15	14,6	1473	106	96	280	141	175	140
bEEN	3	NL	10:15	11:12	11,5	888	17	15	96	54	55	141
bEEN	4	NL	11:12	12:10	10,6	438	13	12	54	38	25	143
bEEN	5	NL	12:10	13:18	10,9	589	8	7	52	38	23	143
bEEN	6	NL	13:18	14:27	10,9	426	7	7	34	21	18	137
bEEN	7	TL	14:27	15:33	13,5	1378	18	17	106	97	34	110
bEEN	8	TL	15:33	16:27	13,7	2438	38	34	418	272	214	111

**Tabelle 87: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 02.05.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	08:58	10:14	12,7	1686	65	59	182	68	131	146
bEEN	3	NL	10:14	11:12	10,6	759	11	11	54	255	35	140
bEEN	4	NL	11:12	12:09	10,4	684	7	7	52	25	33	140
bEEN	5	NL	12:09	13:11	10,5	578	7	7	34	25	15	136
bEEN	6	NL	13:11	14:22	10,6	760	15	14	56	14	46	133
bEEN	7	TL	14:22	15:31	13,5	2869	19	17	149	116	62	93
bEEN	8	TL	15:31	16:20	13,3	2001	35	32	156	95	85	106

**Tabelle 88: Messdaten bezogen auf 13 % O<sub>2</sub> und im Normzustand am Kaminofen KO5 am 06.05.2019**

Messablauf	Brennstoff- auflage	Lastart	Startzeit	Endzeit	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Staub ohne Spülung [mg/m <sup>3</sup> ]	OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NMOGC [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
bEEN	1+2	NL	08:44	10:13	14,0	1203	68	67	177	81	116	139
bEEN	3	NL	10:13	11:15	11,9	873	29	27	101	55	59	130
bEEN	4	NL	11:15	12:20	11,5	517	10	10	39	21	23	140
bEEN	5	NL	12:20	13:19	11,3	539	11	10	50	30	28	139
bEEN	6	NL	13:19	14:26	11,3	574	4	4	45	29	23	133
bEEN	7	TL	14:26	15:46	13,8	2185	6	6	172	139	68	97
bEEN	8	TL	15:46	16:41	13,4	1919	29	27	297	221	132	102