

# **Luftreinhalte-Verordnung (LRV) Revision Teil Holzfeuerungen – Abklärungen zum Stand der Technik 2015**

## **Autoren**

Josef Wüest

Fachhochschule Nordwestschweiz, Prüfstelle für Holzfeuerungen, 5210 Windisch

Thomas Nussbaumer

Verenum, 8006 Zürich und Hochschule Luzern – Technik & Architektur, 6048 Horw

## **Auftraggeber**

Bundesamt für Umwelt, Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, 3003 Bern

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

Windisch und Zürich, 29. September 2015

Dokument: SdT\_LRV-Rev14\_V2015-9

## Inhalt

Abkürzungen .....	4
1 Ausgangslage / Einführung .....	5
2 Anforderungen zur Inverkehrbringung (Typenprüfung) .....	8
2.1 Übersicht .....	8
2.2 Emissionsgrenzwerte .....	10
2.2.1 Kohlenmonoxid (CO) .....	10
2.2.2 Staub .....	12
2.2.3 Gasförmige organische Verbindungen (OGC) .....	13
2.2.4 Stickoxide (NO <sub>x</sub> ) .....	16
2.3 Wirkungsgrade .....	18
2.3.1 Wohnraumfeuerungen: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	18
2.3.2 Heizkessel: Kesselwirkungsgrad .....	19
3 Grenzwerte im Betrieb .....	20
3.1 Übersicht .....	20
3.2 Emissionsgrenzwerte .....	20
3.2.1 Kohlenmonoxid (CO) .....	20
3.2.2 Staub .....	22
3.2.3 Organische Gasförmige Verbindungen (OGC) .....	23
3.2.4 Stickoxide (NO <sub>x</sub> ) .....	23
3.3 Wirkungsgrade .....	23
3.4 Leistungsklassen .....	24
4 Messverfahren und Messvorschriften .....	25
4.1 Typenprüfung .....	25
4.1.1 Messungen bei Nennwärmeleistung (NWL) .....	25
4.1.2 CO-Messung .....	26
4.1.3 Staubmessung .....	27
4.1.4 Messungen bei Kleinlast (Schwachlast, Teillast) .....	27
4.2 Feldmessung .....	28
4.2.1 Messablauf in der Schweiz .....	28
4.2.2 Messablauf nach 1. BImSchV .....	29
4.3 Vergleich von Typenprüfung und Feldmessung .....	30
4.3.1 Unterschiede und Gemeinsamkeiten .....	30
4.3.2 Auswertung nach Typenprüfung und nach Emissions-Messempfehlungen BAFU .....	31
4.4 Messverfahren .....	35
4.4.1 Standard Messverfahren .....	35
4.4.2 Ecodesign Messverfahren .....	35
4.4.3 Messung verdünnter Abgase im Verdünnungstunnel (Dilution tunnel) .....	36
4.4.4 ISO 9096 [11] .....	36
4.4.5 CEN/TS 15883 .....	37
4.4.6 Einfluss der Probenahme .....	37

5	Erfahrungen .....	43
5.1	Prozess- und Messunsicherheit .....	43
5.2	Vergleich der Ergebnisse aus dem Feld .....	45
5.3	Brennstoff-Einfluss .....	48
5.4	Korrelation zwischen CO und Staub .....	49
5.5	Anteil von CH <sub>4</sub> in OGC .....	50
5.6	Neue Entwicklungen.....	50
5.6.1	Übersicht.....	50
5.6.2	Stückholzkessel mit zweistufiger Verbrennung.....	51
5.6.3	Hackgut-Feuerungen.....	54
5.6.4	Pellet-Feuerungen.....	55
5.6.5	Wohnraumfeuerungen und Kochherde mit zweistufiger Verbrennung .....	55
5.6.6	Weitere Verbesserungsmassnahmen und Sekundärmassnahmen.....	57
5.6.7	Schwachstellen .....	58
6	Schlussfolgerungen/Empfehlungen .....	59
6.1	Wahl der Schadstoffe und Messverfahren für Grenzwerte .....	59
6.1.1	These 1 und These 2 zur Umweltrelevanz .....	59
6.1.2	These 3: Berücksichtigung des Brennstoffs und unterschiedlicher Feststoffanteile ..	62
6.1.3	These 4: Einfluss und Wahl der Probenahme .....	63
6.1.4	These 5: Grenzwerte für Stickoxide, Schwefel und weitere Verbindungen .....	64
6.2	Leistungsklassen.....	65
6.3	Grenzwerte für Typenprüfungen.....	66
6.3.1	Wohnraumfeuerungen.....	66
6.3.2	Heizkessel.....	66
6.3.3	Stickoxide.....	67
6.3.4	Teillast .....	67
6.3.5	Vergleiche mit den aktuellen Grenzwerten .....	67
6.4	Grenzwerte für den Betrieb .....	71
6.5	Empfehlungen zu Wirkungsgraden.....	71
7	Literatur.....	73
8	Abbildungsverzeichnis.....	75

## Abkürzungen

A	Österreich
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BauPG	Bauproduktegesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
CEN	Europäisches Komitee für Normung
CH	Schweiz
CPR	Europäische Bauprodukte-Verordnung (Construction Products Regulation)
CO	Kohlenmonoxid
D	Deutschland
Fülltür	Beinhaltet fallweise die Füllraumbür oder die Brennraumbür
HHS	Holz hackschnitzel
LRV	Luftreinhalte-Verordnung
NO <sub>x</sub>	Stickoxide (Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid angegeben als Stickstoffdioxid)
NWL	Nennwärmeleistung
OGC	Organic gaseous carbon (organischer gasförmiger Kohlenstoff, gleichbedeutend mit Volatile organic compounds, VOC)
RL	Richtlinie
SOA	Sekundäres organisches Aerosol
Ecodesign-Verordnung	Verordnung zur Durchführung der Ecodesign-Richtlinie 2009/125/EG
WRF	Wohnraumfeuerungen

# 1 Ausgangslage / Einführung

Die Einführung der totalrevidierten Bauproduktegesetzgebung in der Schweiz erfordert eine Anpassung der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) [1]. Zudem gelten in den Nachbarländern Deutschland (1. BImSchV [2]) und Österreich (Art. 15a B-VG [3]) seit 01.01.2015 verschärfte Grenzwerte, welche eventuell auch in der Schweiz zum Stand der Technik erhoben werden sollen.

Bei den Holzfeuerungen unterscheidet die LRV zwischen verschiedenen Anwendungen bzw. Feuerungsanlagen sowie zwischen Brennstoffen, Leistungen und Prüfzeitpunkten.

Die **Anwendungen** gliedern sich in Wohnraumfeuerungen (WRF), Heizkessel und Industriefeuerungen. Während Wohnraumfeuerungen teilweise auch Kesselfunktionen enthalten können, gilt als Merkmal für diese Anwendung, dass sie ihren Aufstellungsraum auch mitheizen, während Heizkessel ihre Energie ausschliesslich über das Medium Heisswasser abgeben. Zur Übersicht sind in der Tabelle 1 die entsprechenden Normen für die verschiedenen Anwendungen aufgeführt.

Bei den **Brennstoffen** wird unterschieden zwischen Kohle (fossile Brennstoffe) und Biomasse (nachwachsende Rohstoffe). Biomasse wird unterteilt in Holz und nichtholzartige Brennstoffe. Holz wiederum wird unterteilt in Rest- und Altholz sowie naturbelassene Holzbrennstoffe in Form von Stückholz, Holzpellets, Waldhackschnitzel und Sägemehl. Der vorliegende Bericht beschränkt sich auf die Beurteilung von naturbelassenem Holz in Form von Stückholz, Hackschnitzeln und Pellets.

**Tabelle 1 Übersicht über die Parameter bzw. Dimensionen zur Einteilung der Feuerungsanlagen.**

Merkmal	Kategorie			Normen (neu)	
Anwendung	Wohnraumfeuerung	Cheminées (Kamine)		EN 13229 (EN 16510-2-2)	
		Herde		EN 12815 (EN 16510-2-3)	
		Speicheröfen		EN 15250 (EN 16510-2-5)	
		Raumheizer	(Zimmeröfen)	EN 13240 (EN 16510-2-1)	
			(Pellet)	EN 14785 (EN 16510-2-6)	
	Kessel		EN 12809 (EN 16510-2-4)		
	Heizkessel	handbeschickt		EN 303-5	
automatisch		EN 303-5			
Industriefeuerung					
Brennstoff	Kohle				
	Biomasse	nichtholzartig			
		Holz	Restholz Altholz		
				naturbelassen	Stückholz
					Holzpellets
			Holz hackschnitzel		
			Sägemehl		
Leistung	Feuerungsleistung				
	Nennwärmeleistung				
	Teillast				

Für die **Leistung** findet man die Begriffe der Feuerungswärmeleistung (FWL), welche sich auf die Menge des eingesetzten Brennstoffs bezieht, der Nennwärmeleistung (NWL), welche die Nutzwärmeleistung bei Nennbedingungen beschreibt und die Teillast, welche die minimale, kontinuierlich erzeugbare Nutzwärmeleistung der Feuerung beschreibt. Die Norm EN 303-5 unterscheidet kleinste (intermittierend) und kleinste kontinuierliche Wärmeleistung.

Das totalrevidierte Bauproduktgesetz (BauPG) der Schweiz wurde auf die neue europäische Bauproduktenverordnung (CPR [4]) abgestimmt und trat per 1. Oktober 2014 in Kraft. Das Bauproduktrecht lässt möglicherweise für Wohnraumfeuerungen keine nationalen Vorschriften zum Inverkehrbringen mehr zu. Die in Anhang 4 LRV festgelegten Grenzwerte für das Inverkehrbringen von Feuerungen wären dann nicht mehr anwendbar. Für das Inverkehrbringen von Wohnraumfeuerungen sind auch nach Einführung des BauPG immer noch Typenprüfungen notwendig (in europäischen Normen (EN) und der Bauprodukteverordnung (BauPV) als Typprüfung bezeichnet). Ob dabei nebst den allgemeinen Anforderungen der entsprechenden EN zusätzlich die länderspezifischen Grenzwerte (in den aktuell gültigen Normen als A-Abweichungen aufgeführt) unter der Bauproduktgesetzgebung noch anwendbar sind, ist derzeit unklar.<sup>1</sup>

Zusätzlich zu den Grenzwerten für das Inverkehrbringen können Grenzwerte für den Betrieb (Kontrollen im Feld) verlangt werden. Der vorliegende Bericht soll als Basis dienen zur Festlegung entsprechender Grenzwerte für die Schweiz für Holzfeuerungen im für Typenprüfungen relevanten Leistungsbereich bis 500 kW.

Zu diesem Zweck sollen die aktuell gültigen Grenzwerte innerhalb von Europa zusammengestellt und verglichen werden. Der Unterschied zwischen Typenprüfung und Feldmessungen soll verdeutlicht werden, z.B. welche Unterschiede daraus zu erwarten sind und welche Erfahrungen in Deutschland und der Schweiz dazu gemacht wurden. Schliesslich soll gezeigt werden, welche Emissionen mit dem neusten Stand der Technik auf dem Prüfstand und in der Praxis erreicht werden können.

**Tabelle 2 Übersicht über die Parameter der Grenzwerte für Emissionen und Wirkungsgrad**

Parameter	Messung	Merkmale
Betriebsart	Prüfstand	Definierter Kaminzug von konstant 12 Pa, in der Regel mittels Abgasventilator sichergestellt
	Feld	In der Regel variabler, von Abgastemperatur und Kaminhöhe abhängiger Naturzug
Emissionen	CO	Kohlenmonoxid gilt als Blutgift
	Staub	Feine Partikel sind gesundheitsschädlich und insbesondere krebserregend, vor allem wenn sie organische Verbindungen und Russ enthalten.
	OGC	Volatile Organic Compounds (auch organische gasförmige Kohlenwasserstoffe, OGC). OGC sind Vorläufer von sekundären organischen Aerosolen (SOA)
	NO <sub>x</sub>	Stickoxide als NO, NO <sub>2</sub>

<sup>1</sup> Zur Zeit der Fertigstellung dieses Berichtes waren diese Fragen durch das BAFU noch nicht geklärt.

<b>Parameter</b>	<b>Messung</b>	<b>Merkmale</b>
Wirkungsgrad	bei NWL	
	bei Teillast	
	Saisonaler Wirkungsgrad	Ein Begriff der Verordnung zur Durchführung der Ecodesign-Richtlinie 2009/125/EG, der verschiedene Grössen berücksichtigt

## 2 Anforderungen zum Inverkehrbringen (Typenprüfung)

### 2.1 Übersicht

Als erstes wird eine Zusammenstellung der aktuellen Emissionsgrenzwerte und erforderlichen Wirkungsgrade für das Inverkehrbringen erstellt. Basis dazu liefern Anhang 4 LRV [1] aus der Schweiz, die 1. BImSchV [2] Stufe 2 aus Deutschland (ab 1.1.2015), Art. 15a B-VG [3] aus Österreich (ab 1.1.2015), die EN 303-5 für Stückholzkessel, das Q-Siegel von Holzenergie Schweiz [5] und die Verordnungen zur Durchführung der Ecodesign-Richtlinie 2009/125/EG (kurz „Ecodesign-Verordnung“) [6], [7].

Bei dieser Zusammenstellung zeigen sich folgende wesentlichen Punkte:

- Die Grenzwerte sind europaweit noch nicht einheitlich.
- Die Darstellung bzw. die Einheiten der Grenzwerte sind nicht einheitlich. Meistens werden  $\text{mg}/\text{m}_n^3$  (Milligramm pro Normkubikmeter) verwendet. In Österreich sind jedoch  $\text{mg}/\text{MJ}$  üblich, wobei als Basis für die Einheit MJ der Heizwert dient. Der Umrechnungsfaktor zwischen  $\text{mg}/\text{m}_n^3$  und  $\text{mg}/\text{MJ}$  ist abhängig von der Brennstoffzusammensetzung und dem Wassergehalt und ist somit zum Beispiel unterschiedlich für Stückholz, Pellet und Waldhackschnitzel, weil der Heizwert in  $\text{MJ}/\text{kg}$  und das spezifische Abgasvolumen bei einem bestimmten Bezugs-Sauerstoffgehalt von zum Beispiel 13 Vol.-%  $\text{O}_2$  in  $\text{m}^3_n/\text{kg}$  in die Berechnung einfließen. Dabei ist zu beachten, dass die feucht gemessenen OGC-Emissionen auch auf trockene Abgasvolumen bezogen werden. Auch die Bezugsgrösse ist z.B. für Heizkessel nach EN 303-5 nicht einheitlich festgelegt. Die Norm EN 303-5 verlangt eine Darstellung der Ergebnisse bezogen auf 10 Vol.-%  $\text{O}_2$  (für biogene und fossile feste Brennstoffe). Die Grenzwerte der Ecodesign-Verordnung beziehen sich auch auf 10 Vol.-%  $\text{O}_2$ . Die Grenzwerte in der Schweiz werden für feste biogene Brennstoffe bis 1 MW auf 13 Vol.-%  $\text{O}_2$  bezogen. In Deutschland ist die Bezugsgrösse meist 13 Vol.-%  $\text{O}_2$ .
- In der Schweiz werden die einzelnen Wohnraumfeuerungen (WRF) emissionsmässig unterschiedlich behandelt, ebenso in Deutschland, wobei bei WRF (siehe Anlage 4) die Feuerstätten zwischen Flachfeuerung (Zeitbrand) und Füllfeuerung (Dauerbrand) oder zwischen Pelletöfen mit und ohne Wassertasche unterschieden werden. In Österreich werden der Anwendungsbereich und der Brennstoff zur Emissionsklassierung herangezogen.
- Für Kessel werden unterschiedliche Leistungsbereiche verwendet:
  - CH: < 350 kW und > 350 kW für Inverkehrbringen  
bis 70, 500 kW, 1 MW, 10 MW für den Betrieb
  - A: bis 400 kW und > 400 kW,
  - D: bis 4, 15, 50, 150, 500 kW.
- Die EN 303-5 unterscheidet zudem verschiedene Kesselklassen von Klasse 1 bis Klasse 5 mit unterschiedlichen Anforderungen an Emissionen und Wirkungsgrad. Diese Klassen widerspiegeln einerseits den Stand der Technik und bieten andererseits die Möglichkeit, national gewisse Minimalanforderungen zu definieren, wenn für das Inverkehrbringen eine Kesselklasse eingehalten werden muss. Aus diesem Grund sind in der neuen EN 303-5:2102 [9] die Klassen 1 und 2 nicht mehr aufgeführt. Dafür sind 2 neue Klassen 4 und 5 mit strengeren Grenzwerten eingeführt worden. Die Kesselklassen weisen zudem die Möglichkeit auf, dass europäisch ein bestimmter Mindeststandard gefordert werden kann, z.B. Klasse 3, während national höhere

Anforderungen und somit höhere Klassen gefordert werden können. Zudem ist denkbar, für das Inverkehrbringen eine höhere Klasse als für den Betrieb zu fordern.

- Die Grenzwerte für Heizkessel gelten teilweise sowohl für Nennwärmeleistung (NWL) und Teillast, teilweise nur für NWL.
- Hinzu kommen unterschiedliche zeitliche Geltungsbereiche (z.B. in D 1. BImSchV Stufe 2 und in A Art. 15a B-VG sind gültig ab 1.1.2015, (für Scheitholz in D aber erst ab 1.1. 2017) oder die Ecodesign-Verordnung, ab 1.1.2020 (für Kessel), bzw. 2022 (für WRF).

Dieser Bericht soll Klarheit über die aktuelle Vielfalt der Grenzwerte liefern. Dargestellt sind in den folgenden Abbildungen diejenigen für feste holzartige Brennstoffe. Die entsprechenden Werte finden sich in Tabellen im Anhang A.

Die Bestrebungen der EU, diese Grenzwerte zu harmonisieren, gipfeln nun in den EU Ecodesign-Richtlinien. In entsprechenden Ausführungs-Verordnungen sind energetische und emissionsbedingte Grenzwerte für Heizkessel und WRF festgelegt, die für sämtliche EU-Länder gelten werden. Sobald diese eingeführt sind, dürfen grundsätzlich keine nationalen Grenzwerte für das Inverkehrbringen mehr existieren. Die Anforderungen in den Ecodesign-Verordnungen müssen für die Ausarbeitung der LRV berücksichtigt werden.

Für das Inverkehrbringen unterscheiden die europäischen Normen folgende Feuerungskategorien für Wohnraumfeuerungen sowie für Heizkessel für feste Brennstoffe:

Wohnraumfeuerungen:

Norm	Feuerungstyp
EN 12815	Herde für feste Brennstoffe
EN 12815 ZH	Herde für feste Brennstoffe mit Zentralheizungseinsatz
EN 13229	Kamineinsätze einschliesslich offene Kamine für feste Brennstoffe
EN 13240	Raumheizer für feste Brennstoffe
EN 15250	Speicherfeuerstätten für feste Brennstoffe
EN 14785	Pelletöfen, Pelletraumheizer

Heizkessel für feste Brennstoffe:

Norm	Feuerungstyp
EN 303-5	Heizkessel für feste Brennstoffe, Nenn-Wärmeleistung bis 500 kW
EN 12809	Heizkessel für feste Brennstoffe - Nennwärmeleistung bis 50 kW. Diese Kessel gehören rechtlich zu den WRF, werden aber wegen den Grenzwerten mit den Kesseln nach EN 303-5 verglichen.

Für beide Kategorien wird zudem nach Brennstoffen bzw. Beschickungsart unterschieden:

- handbeschickt (hand)
- automatisch beschickt für Brennstoffe mit Ausnahme von Pellets (auto)
- automatisch beschickt mit Pellets (Pellet)

Die Begriffe in Klammern dienen zur Unterscheidung in nachfolgenden Abbildungen. In den folgenden Darstellungen findet man Kessel > 50 kW in der Kategorie EN 303-5 und Kessel < 50 kW

(EN 303-5 und EN 12809) in der Kategorie EN 12809. EN 12809 ist somit ein Synonym für Kessel < 50 kW.

## 2.2 Emissionsgrenzwerte

### 2.2.1 Kohlenmonoxid (CO)

**Wohnraumfeuerungen:** Sämtliche Werte Anh. 4 LRV [1], 1. BImSchV [2] Stufe 2 (für die Brennstoffe 4, 5 und 5a und Leistung > 4kW), Art. 15a B-VG [3] Werte gültig ab 1.1.2015, Q-Siegel Holzenergie Schweiz [5] Stand 2011 und Ecodesign-Verordnungen Lot 15 [7] und Lot 20 [6]. In den Diagrammen sind alle Emissionsgrenzwerte angegeben in mg/m<sup>3</sup> bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>, wobei Emissionsgrenzwerte von Verordnungen mit davon abweichender Bezugsgrösse (Ecodesign-Verordnung für Heizkessel) für die Vergleichbarkeit auf 13 Vol.-% O<sub>2</sub> umgerechnet wurden.

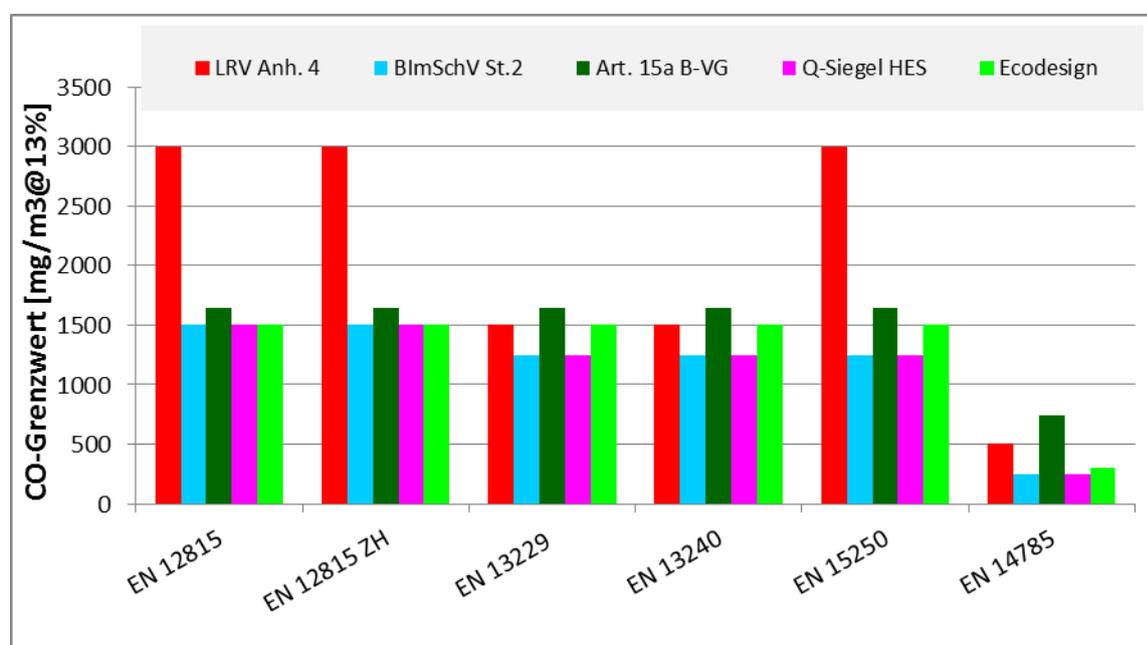


Abbildung 1: Aktuelle CO-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe.

**Heizkessel:** Für eine Darstellung der EN 303-5 Grenzwerte aus alter [10] und neuer Norm [9] - unterteilt in die verschiedenen Leistungsbereiche und Kesselklassen - ist eine logarithmische Darstellung notwendig, damit die Unterschiede in den neueren Werten überhaupt zu erkennen sind. Diese Darstellung spiegelt die Entwicklung der letzten 20 bis 30 Jahre wider. Für CO liegt das Verhältnis zwischen den höchsten Wert der Klasse 1 (25'000) und dem tiefsten der Klasse 5 (500) bei 50. Für OGC liegt dieses Verhältnis bei 100 (2000/20) beim Staub bei 5 (200/40).

Abbildung 2 zeigt die CO-Grenzwerte für die fünf Kesselklassen.

In Abbildung 3 sind die CO-Grenzwerte aller Feuerungskategorien dargestellt, wobei nur die beste Kesselklasse 5 berücksichtigt ist (EN 12809 für Kessel < 50 kW und EN 303-5 für Kessel > 50 kW).

Die Grenzwerte für handbeschickte Holzessel gelten in Deutschland erst ab dem 1.1.2017. Vorher gelten die Werte der Stufe 1 (1000 mg/m<sup>3</sup>).

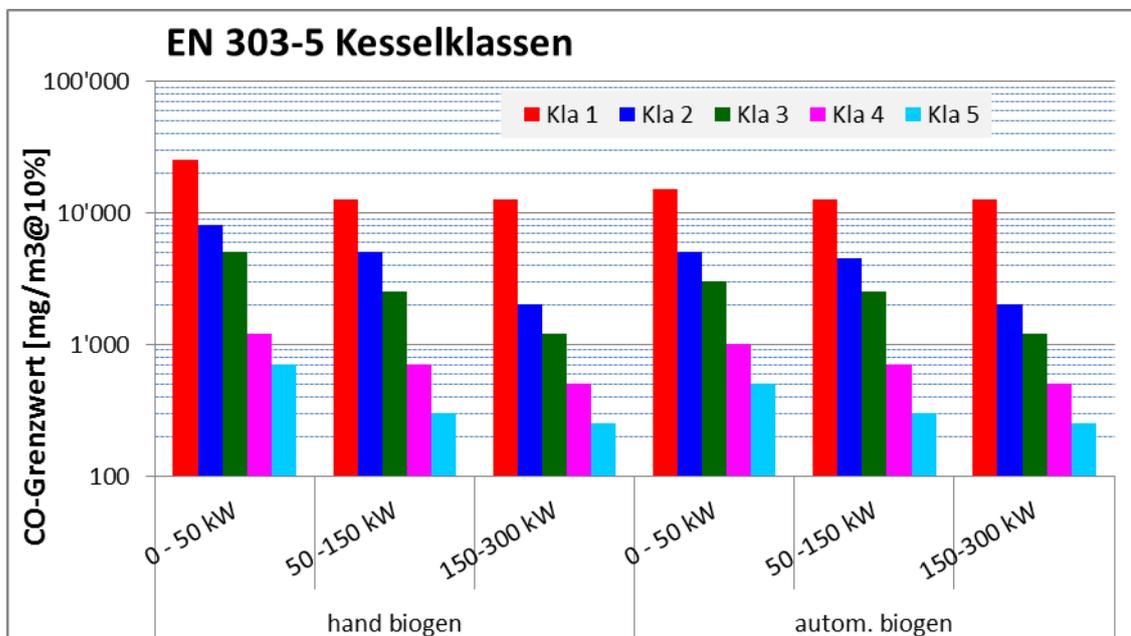


Abbildung 2: CO-Grenzwerte für die Kesselklassen nach EN 303-5 Ausgabe 1999 und 2012.

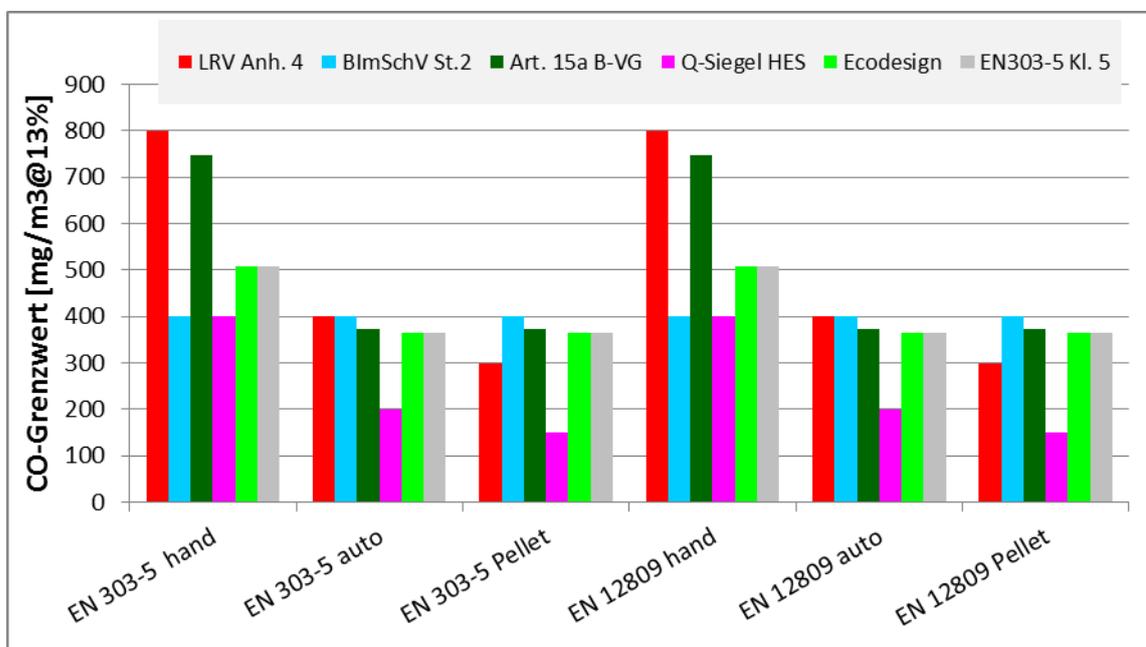
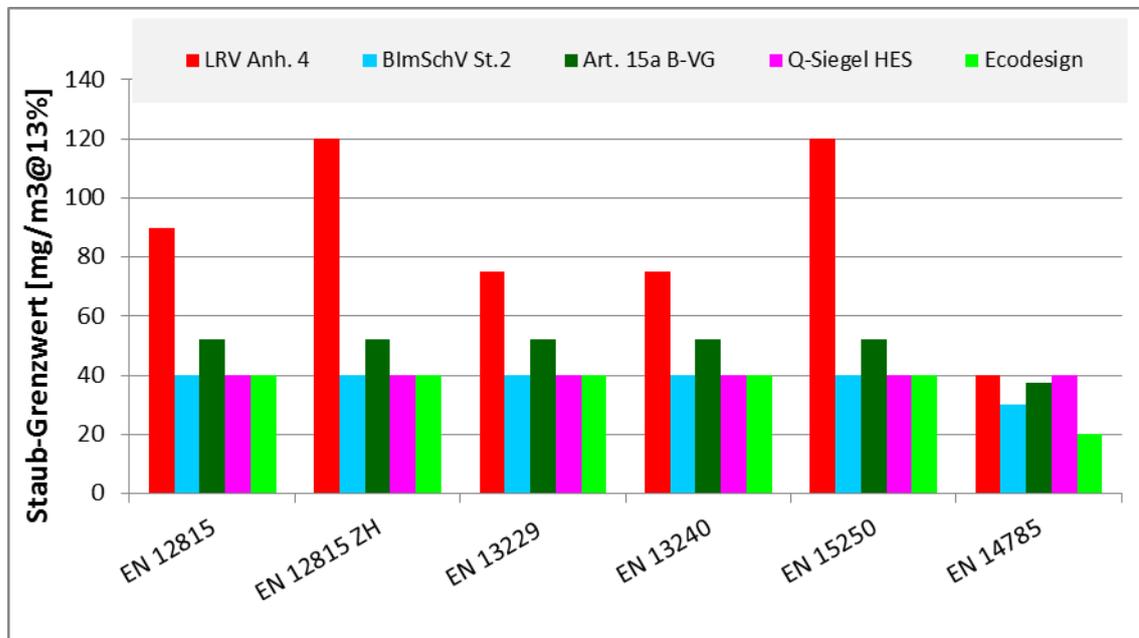


Abbildung 3: Aktuelle CO-Emissionsgrenzwerte für Heizkessel für feste Brennstoffe. Die Grenzwerte der Ecodesign-Verordnung sind von 10 Vol.-% auf 13 Vol.-% O<sub>2</sub> umgerechnet.

## 2.2.2 Staub

**Wohnraumfeuerungen:** Abbildung 4 zeigt die nationalen Grenzwerte für die Staubemissionen:



**Abbildung 4: Aktuelle Staub-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe.**

**Heizkessel:** Abbildung 5 zeigt die Grenzwerte für die Staubemissionen nach EN 303-5, Abbildung 6 zeigt die nationalen Grenzwerte, wobei für EN 303-5 die beste Kesselklasse 5 berücksichtigt ist. Für handbeschickte Heizkessel gelten diese in Deutschland erst ab dem 1.1.2017. Vorher gilt Stufe 1 ( $100 \text{ mg/m}^3$ ). Für die Grenzwerte in Österreich ist zu beachten, dass in einzelnen Bundesländern für Anlagen zwischen 50 kW bis 50 MW Grenzwerte zwischen 35 und  $150 \text{ mg/m}^3$  gelten, wobei zum Teil für höhere Leistungen sogar höhere (nicht tiefere) Grenzwerte gelten. Dies gilt in Deutschland für Anlagen, die unter die 14. BImSchV fallen.

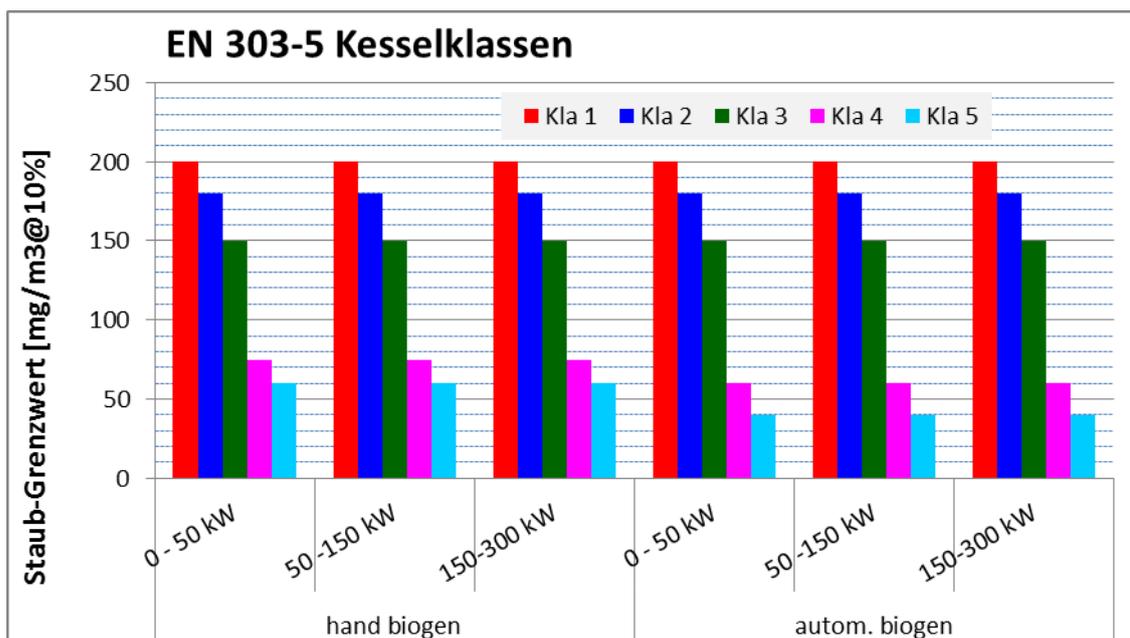


Abbildung 5: Staub-Grenzwerte für EN 303-5 Kesselklassen

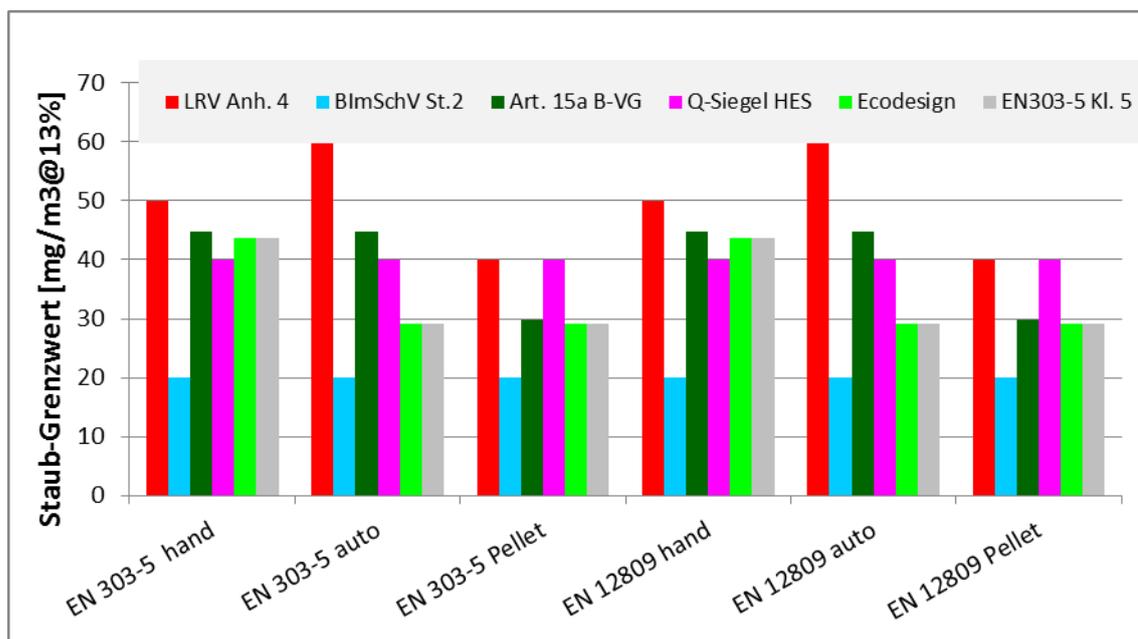


Abbildung 6: Aktuelle Staub-Emissionsgrenzwerte für Heizkessel für feste Brennstoffe.

### 2.2.3 Gasförmige organische Verbindungen (OGC)

**Wohnraumfeuerungen:** Emissionsgrenzwerte für gasförmige organische Verbindungen (Organic gaseous carbon, OGC, auch Volatile organic compounds, VOC) bei **WRF** kennen nur Österreich und die Ecodesign-Verordnung. Abbildung 7 zeigt die aktuellen OGC-Grenzwerte.

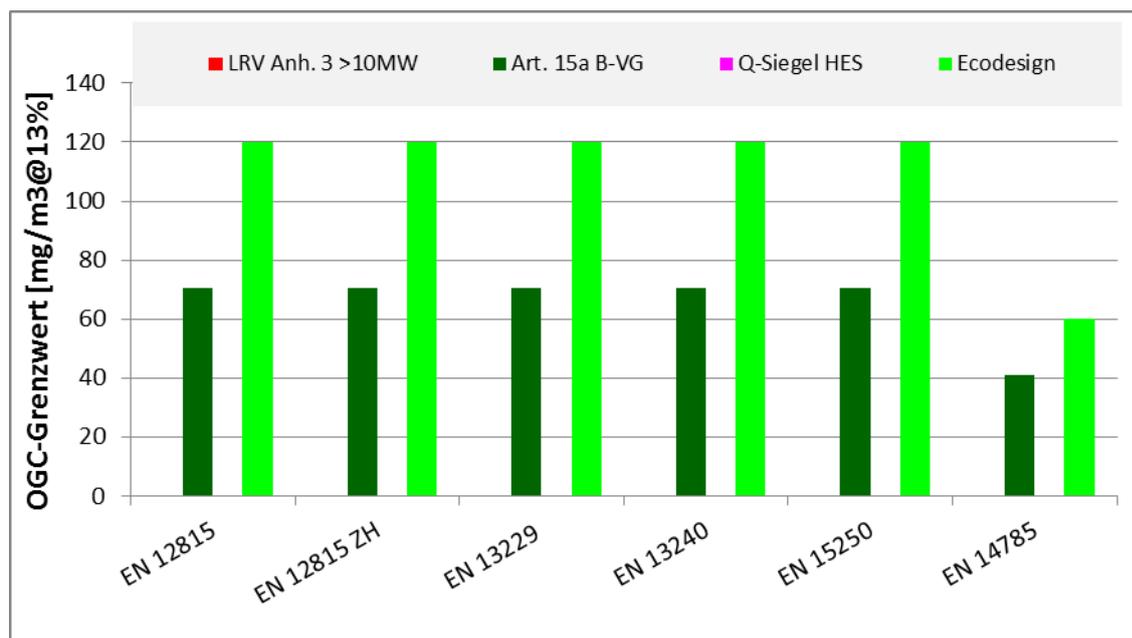


Abbildung 7: Aktuelle OGC-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe.

**Heizkessel:** Emissionsgrenzwerte für OGC bei **Heizkessel** kennen nur Österreich, das Q-Siegel von Holzenergie Schweiz und die Ecodesign-Verordnung. Im Vergleich ist der OGC-Grenzwert der LRV für Anlagen ab 10 MW in Betrieb aufgeführt.

Die OGC-Grenzwerte der Ecodesign-Verordnung für Heizkessel wurden 2014 gegenüber der Ausgaben von 2013 erhöht, weil sie scheinbar zu streng waren.

Abbildung 8 zeigt die OGC-Grenzwerte nach EN 303-5, Abbildung 9 zeigt die nationalen Grenzwerte, wobei für EN 303-5 die beste Kesselklasse 5 berücksichtigt ist.

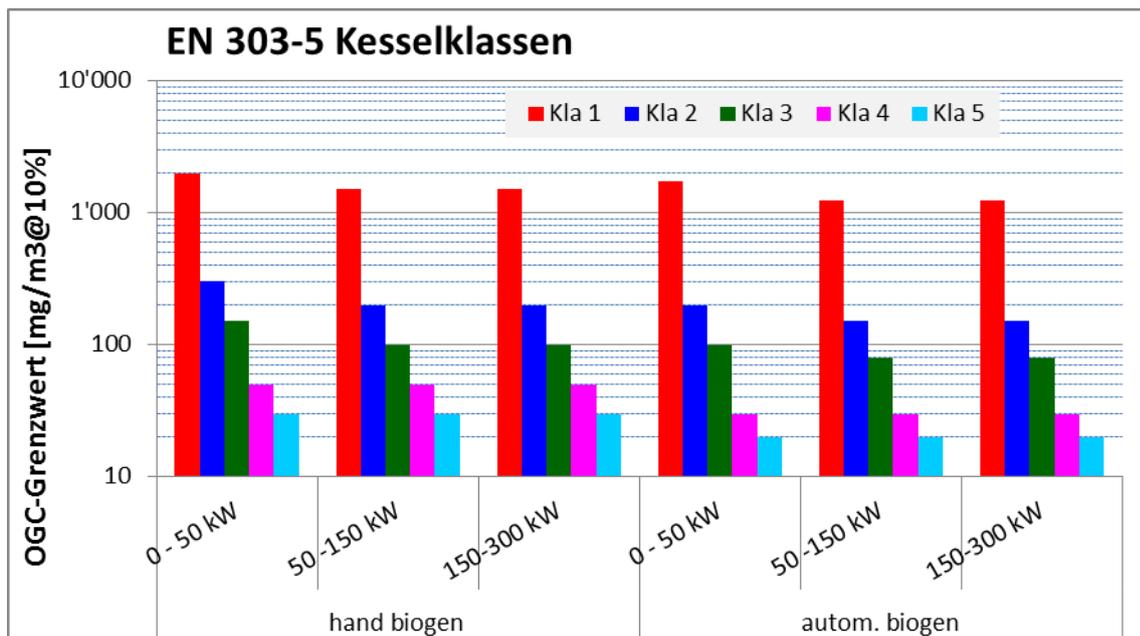


Abbildung 8: OGC-Grenzwerte für EN 303-5 Ausgabe 1999 und 2012 Kessel-Klassen

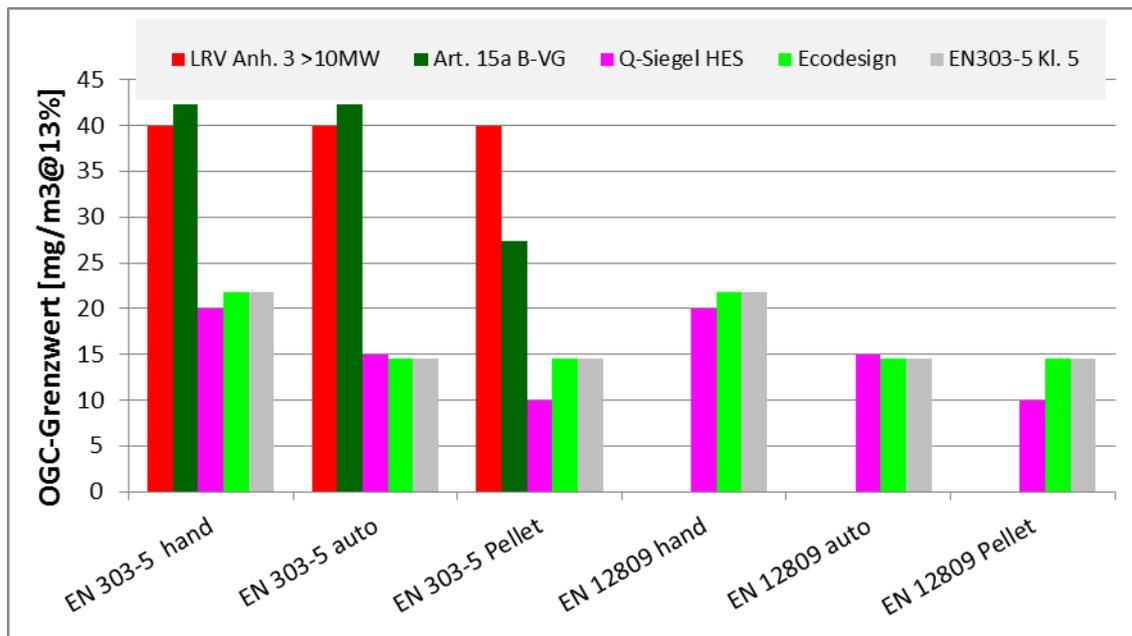


Abbildung 9: Aktuelle OGC-Emissionsgrenzwerte für Heizkessel für feste Brennstoffe.

## 2.2.4 Stickoxide (NO<sub>x</sub>)

Stickoxidgrenzwerte für Holzfeuerungen bis 500 kW kennen zurzeit Österreich und die Ecodesign-Verordnung.

Für die Stickoxidemissionen und zur Einführung von Grenzwerten gibt es für kleine Anlagen nur wenig Spielraum, da die Stickoxidemissionen hauptsächlich durch den im Brennstoff gebundenen Stickstoff bestimmt werden. Sofern Stickoxidemissionen in Prüfstandsmessungen für das Inverkehrbringen berücksichtigt werden sollen, ist dazu der Stickstoffgehalt des Prüfbrennstoffs zu berücksichtigen.

Die österreichischen Vorschriften gehen für Wohnraumfeuerungen mit Holzpellets von tieferen Stickoxidemissionen aus als für andere Feuerungen. Diese tieferen NO<sub>x</sub>-Emissionen können teilweise darauf zurückzuführen sein, dass bis anhin vorwiegend Sägemehl ohne Rinde, das einen niedrigeren Stickstoffgehalt aufweist als das gesamte Holzmaterial, als Rohstoff zur Pelletierung genutzt wird. Bei grösseren Anlagen können tiefere Grenzwerte zusätzlich Sekundärmassnahmen oder den Einsatz von Low-NO<sub>x</sub>-Techniken wie zum Beispiel der Wirbelschichtverbrennung erforderlich machen.

**Wohnraumfeuerungen:** Abbildung 10 zeigt aktuelle Stickoxidgrenzwerte in Österreich und nach Ecodesign-Verordnung.

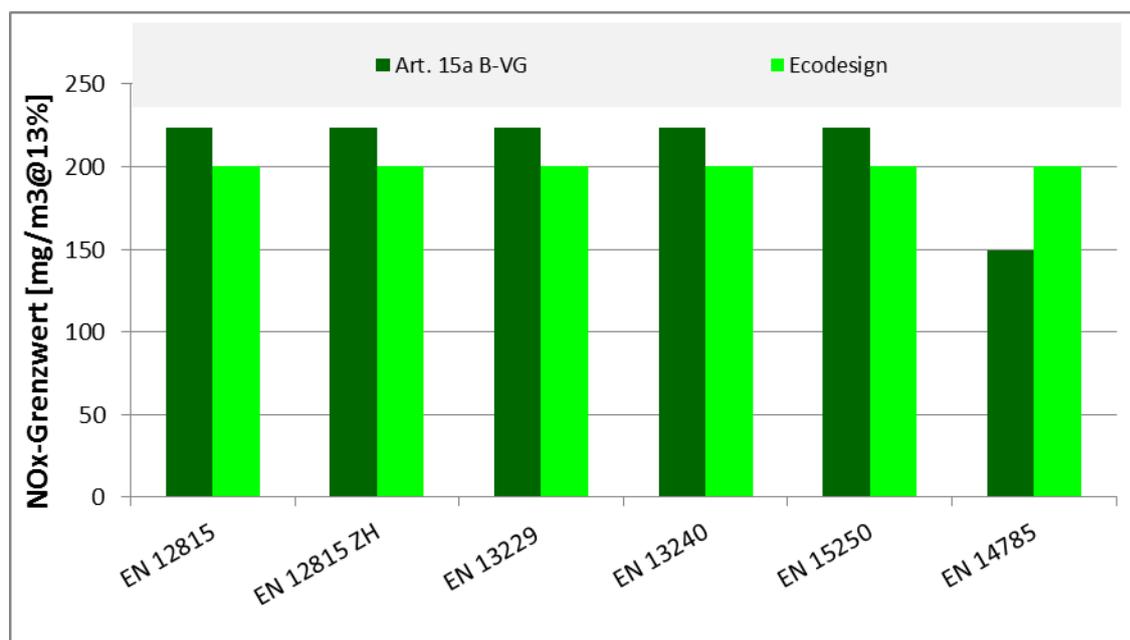


Abbildung 10: Aktuelle NO<sub>x</sub>-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe.

**Heizkessel:** Abbildung 11 zeigt aktuelle Stickoxidgrenzwerte. In der Schweiz gilt für den Betrieb ein NO<sub>x</sub>-Grenzwert von 250 mg/m<sup>3</sup> ab einem NO<sub>x</sub>-Massenstrom von 2500 g/h, der für Holzfeuerungen unter 500 kW faktisch nicht zum Tragen kommt, sowie generell ab 10 MW 150 mg/m<sup>3</sup> bei 11 Vol-% O<sub>2</sub>.

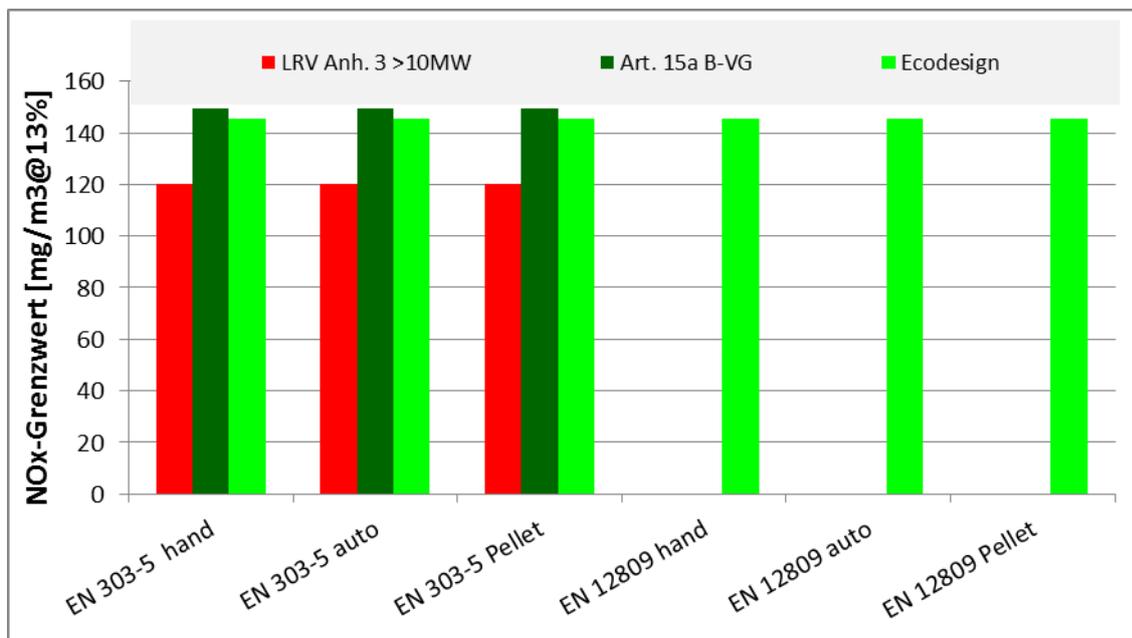


Abbildung 11: Aktuelle NO<sub>x</sub>-Emissionsgrenzwerte für Heizkessel für feste Brennstoffe.

## 2.3 Wirkungsgrade

### 2.3.1 Wohnraumfeuerungen: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

Die Gegenüberstellung der Wirkungsgrade ist aufwendig, da die Anforderungen nicht überall festgelegt sind. Ein sicherer Vergleich lässt sich nur bei den Wohnraumfeuerungen zwischen BImSchV, Art 15a-VG, Q-Siegel und Ecodesign-Verordnung erstellen. Diese Anforderungen beschreiben den feuerungstechnischen Wirkungsgrad bezogen auf den Heizwert.

In den Ecodesign-Verordnungen [6] [7] wird ein „Raumheizungs-Jahresnutzungsgrads“ definiert. Bei den WRF bezieht sich dieser auf den Heizwert und errechnet sich aus dem Wirkungsgrad bei NWL, dem Hilfsstromverbrauch (mit einem Faktor von 2.5 bewertet), sowie weiteren Korrekturfaktoren für Regelung und Pilotflamme.

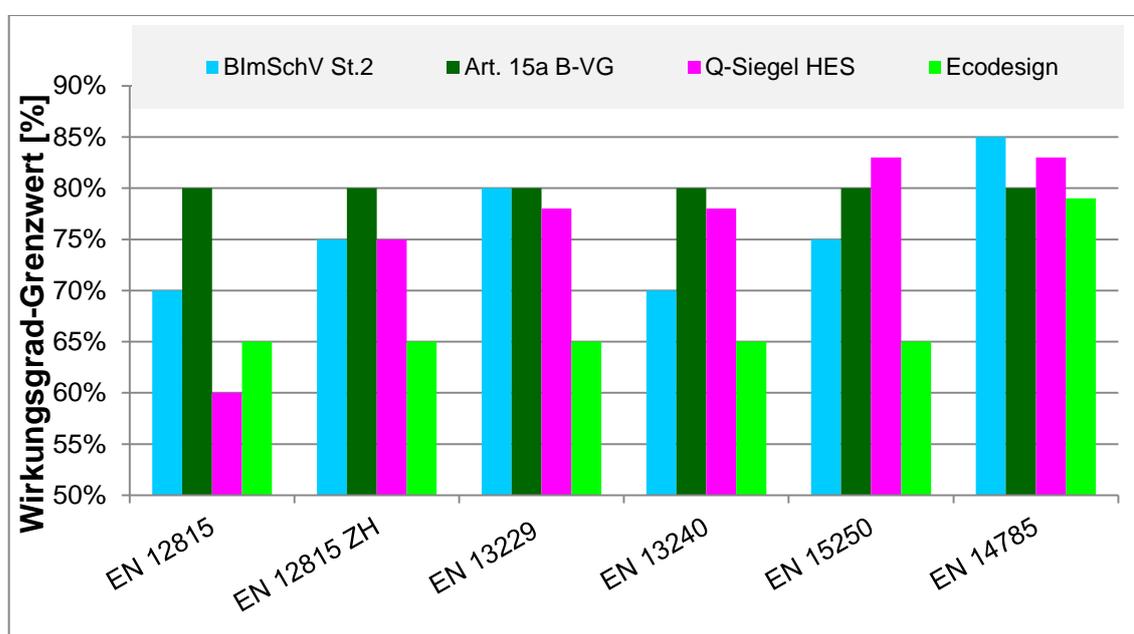


Abbildung 12: Aktuelle Anforderungen an feuerungstechnische Wirkungsgrade für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe und Ecodesign-Verordnung.

### 2.3.2 Heizkessel: Kesselwirkungsgrad

Die EN 303-5 schreibt Mindestwerte für den Kesselwirkungsgrad bezogen auf Heizwert vor. Diese sind leistungsabhängig und werden in einzelne Klassen eingeteilt (Kapitel 2.1). Zudem gelten die Grenzwerte teilweise für NWL und Teillast, teilweise nur für NWL. Abbildung 13 zeigt die Anforderungen nach EN 303-5 und widerspiegelt die Entwicklung der letzten Jahrzehnte. Die nationalen Grenzwerte orientieren sich dabei an den höchsten Kesselklassen.

Bei den Festbrennstoffkesseln bezieht sich der „Raumheizungs-Jahresnutzungsgrad“ aus der E-codesign-Verordnung anstelle des bisher verwendeten Heizwerts hier auf den Brennwert. Dieser Jahresnutzungsgrad setzt sich aus den Wirkungsgraden bei NWL und bei Teillast zusammen und berücksichtigt den Hilfsstromverbrauch (mit einem Faktor von 2.5 bewertet) sowie weitere Korrekturfaktoren für Regelung und Stromerzeugung in WKK (Wärme-Kraft-Kopplung) Anlagen.

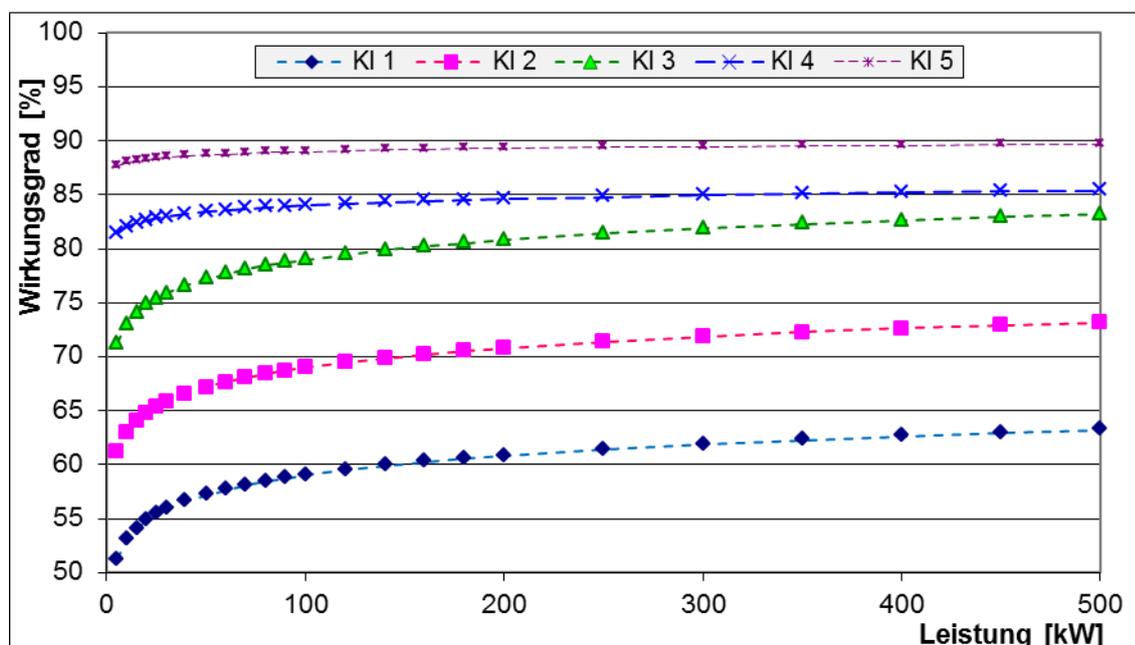


Abbildung 13: Anforderung an Kesselwirkungsgrade (bezogen auf Heizwert) für verschiedene Kesselklassen aus der EN 303-5 als Funktion der Leistung

### 3 Grenzwerte im Betrieb

#### 3.1 Übersicht

Da die Grenzwerte für das Inverkehrbringen und den Betrieb nicht einheitlich sind, müssen Letztere ebenfalls genauer betrachtet werden. Die Ecodesign-Verordnung gibt für den Betrieb keine Grenzwerte vor. In gewissen Ländern gelten die Grenzwerte für das Inverkehrbringen auch für den Betrieb, in anderen sind sie unterschiedlich. Zudem werden die Messunsicherheiten bei Typenprüfungen und Feldmessungen unterschiedlich berücksichtigt.

In Österreich gibt es keine Anforderung an installierte Wohnraumfeuerungen. Die Anforderungen an Heizkessel sind in Abschnitt IV der 1. Vereinbarung gemäss Art. 15a B-VG [3] definiert. Für Deutschland gelten für neu errichtete Anlagen die gleichen Grenzwerte wie für das Inverkehrbringen, mit dem Unterschied, dass die Messunsicherheit (bis zu 30%) abgezogen werden kann, wodurch die Grenzwerte im Vergleich zur Typenprüfung ca. 50% höher liegen. Für bestehende Anlagen gibt es bestimmte Übergangsfristen, während derer die Grenzwerte der Stufe 1 weiterhin gelten. In der Schweiz gibt es für Wohnraumfeuerungen und Heizkessel bis 70 kW nur einen Grenzwert für CO. Ansonsten sind die Grenzwerte leistungsabhängig.

#### 3.2 Emissionsgrenzwerte

##### 3.2.1 Kohlenmonoxid (CO)

**Wohnraumfeuerungen:** Ausser für Zentralheizungsherde gilt in der Schweiz für Wohnraumfeuerungen und für Heizkessel < 70 kW im Betrieb ein CO-Grenzwert von 4000 mg/m<sup>3</sup> bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>.

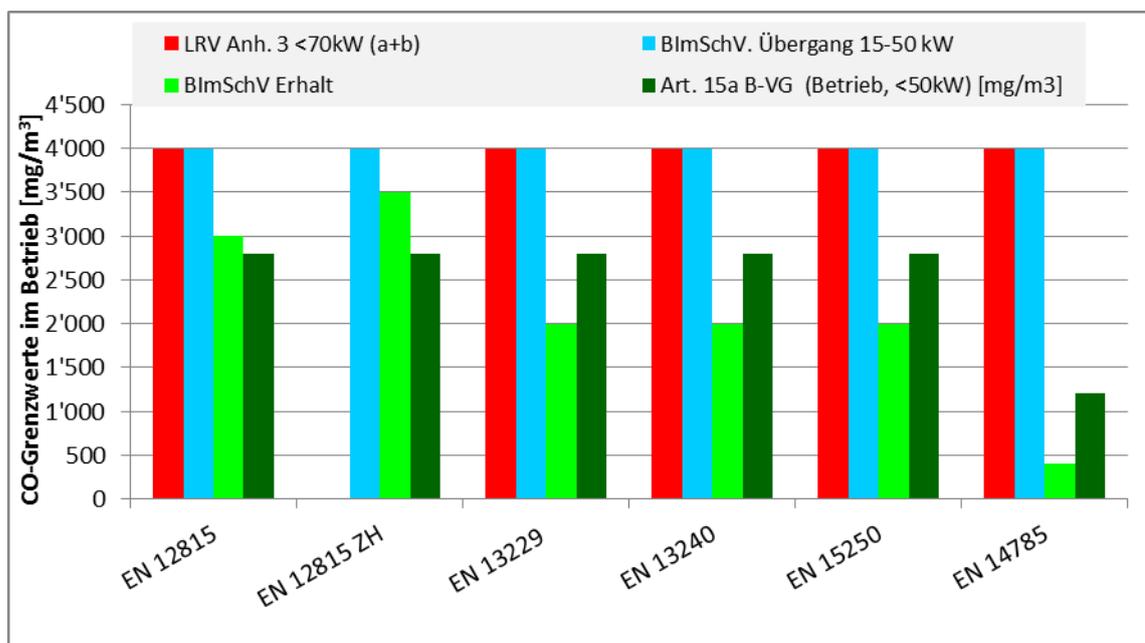


Abbildung 14: CO-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen im Betrieb bezogen auf 13 % O<sub>2</sub>.

Für Deutschland gilt für Anlagen eine Übergangsfrist, die vom Alter der Anlage abhängig ist. In dieser Frist müssen sie aber nachweislich die Werte „BlmSchV Übergang 15-50 kW“ einhalten. Zudem fallen Anlagen, welche vor dem 1.1.2015 in Betrieb genommen unter die „BlmSchV Erhalt“

und dürfen weiter betrieben werden, wenn die Grenzwerte der Stufe 1 eingehalten werden. Dies gilt unabhängig von den Übergangsfristen.

**Heizkessel:** Für kontrollpflichtige Anlagen > 70 kW gelten in der Schweiz tiefere Werte gemäss Abbildung 15. Abbildung 16 zeigt CO-Grenzwerte nach LRV, Art 15a B-VG und BImSchV. Die Bezeichnungen „Erhalt“ und „Übergang“ bei der BImSchV gelten analog zu den WRF.

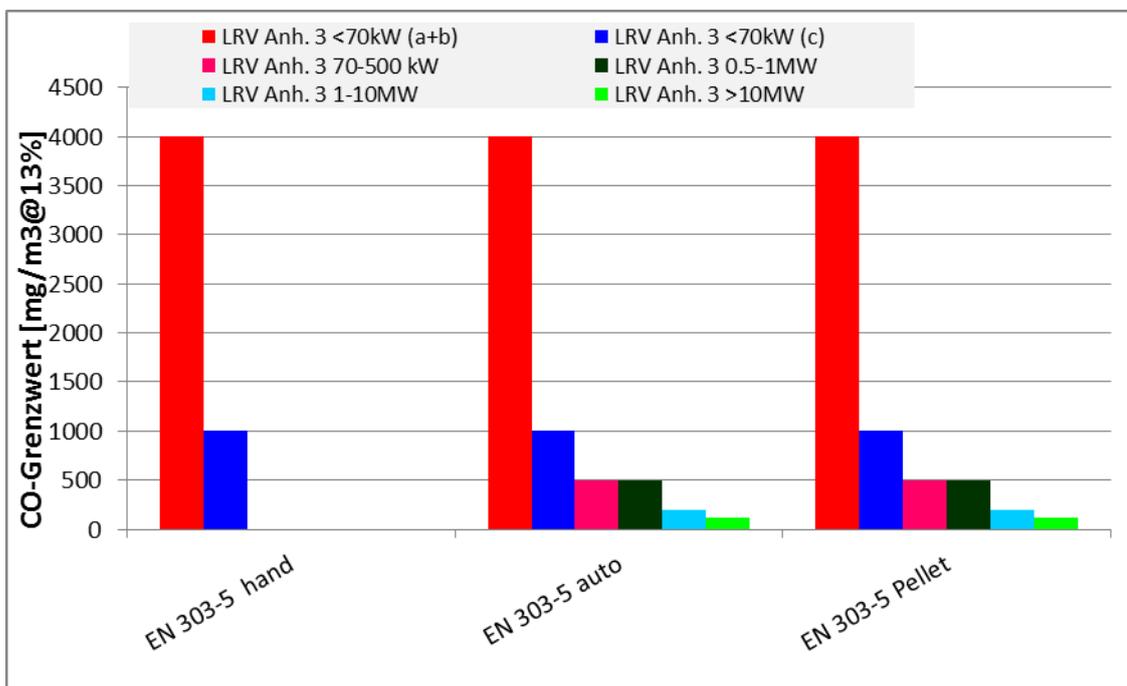


Abbildung 15: Aktuelle CO-Emissionsgrenzwerte der LRV für Heizkessel für feste Brennstoffe. Darstellung für verschiedene Leistungsklassen im Betrieb bezogen auf 13 % O<sub>2</sub>.

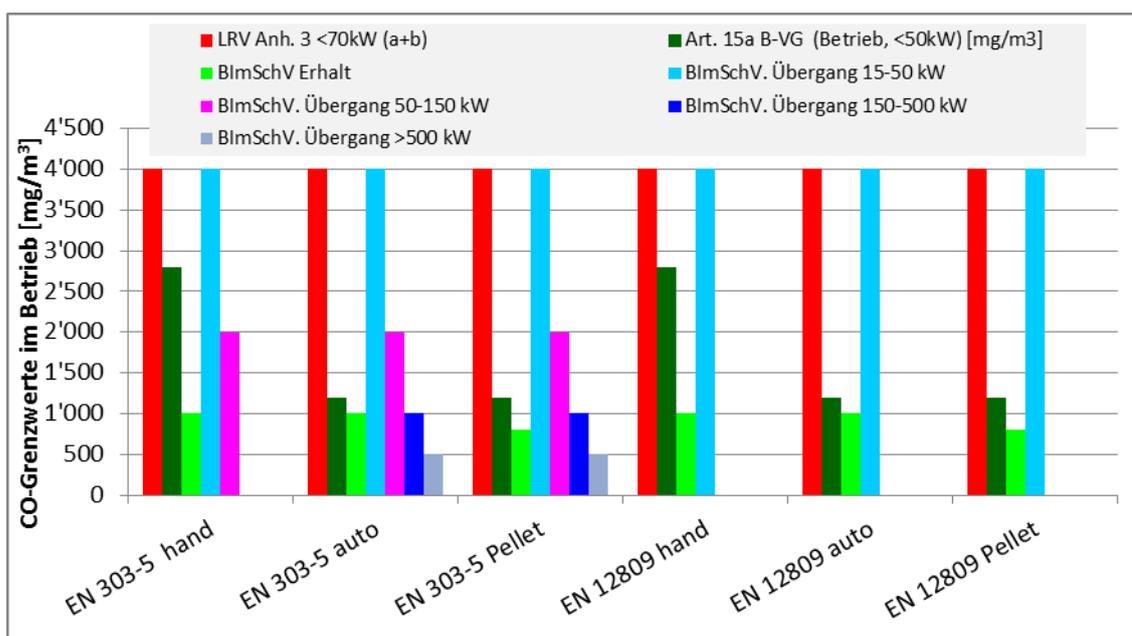


Abbildung 16: Aktuelle CO-Emissionsgrenzwerte von LRV, B-VG und der BImSchV für Heizkessel für feste Brennstoffe im Betrieb bezogen auf 13 % O<sub>2</sub>.

### 3.2.2 Staub

Für Wohnraumfeuerungen und Kessel gibt es in Österreich <50 kW und der Schweiz <70 kW FWL im Moment keine Grenzwerte. In Deutschland gelten ab 1.1.2015 die in Abbildung 17 und Abbildung 19 gezeigten Grenzwerte für bestehende Anlagen. Je nach dem, welchen Grenzwert sie einhalten, können sie nach dem 1.1.2015 ohne Übergangsfrist (Erhalt) weiter betrieben werden oder dürfen noch bis zu einer bestimmten Frist in Betrieb bleiben.

#### Wohnraumfeuerungen:

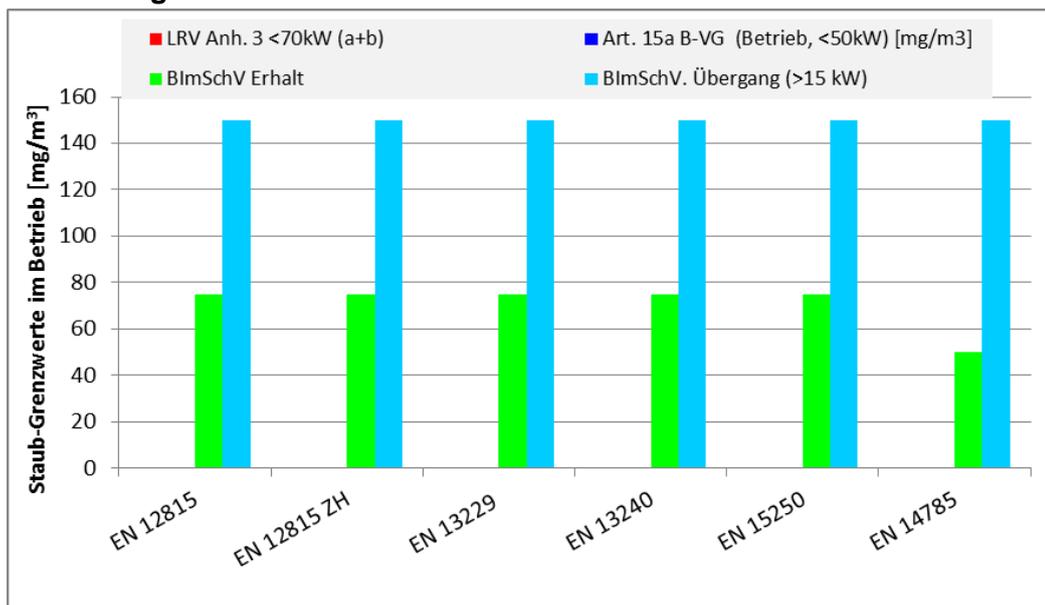


Abbildung 17: Staubgrenzwerte der BImSchV für WRF nach dem 1.1.2015 bezogen auf 13 % O<sub>2</sub>.

**Heizkessel:** Abbildung 18 zeigt die Staubgrenzwerte der Schweiz (in der LRV als Feststoff bezeichnet). Für handbeschickte Stückholzkessel für Holzbrennstoffe nach Anhang 3 Ziffer 522 LRV für Brennstoffe nach Anhang 5 Ziffer 3 Absatz 1 Buchstabe a von 70 bis 120 kW gilt ein Staubgrenzwert von 100 mg/m<sup>3</sup> bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>. Für grössere Leistungen gelten tiefere Grenzwerte.

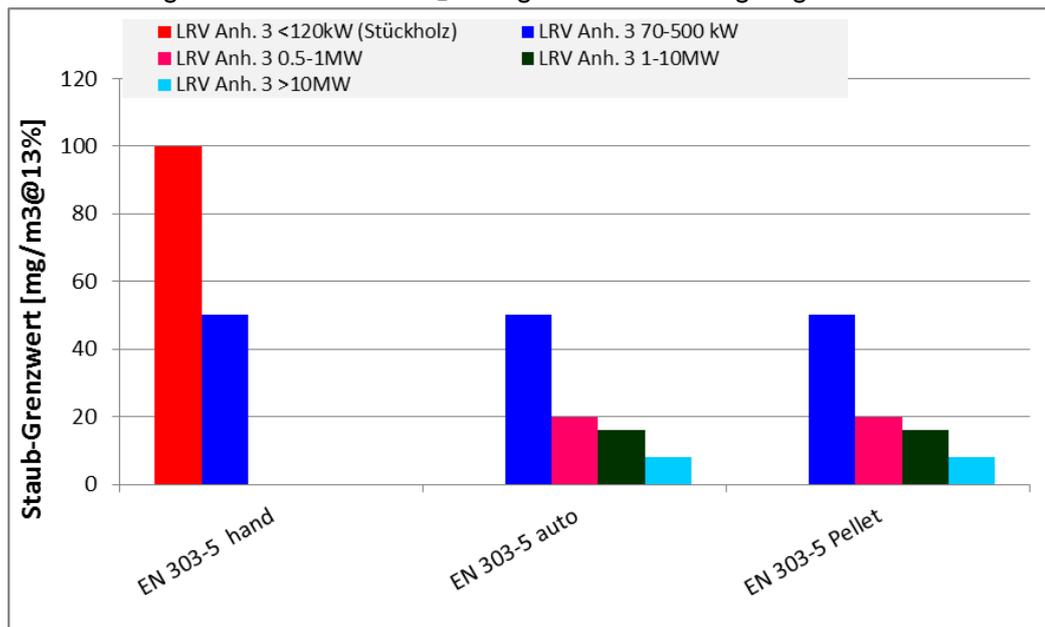


Abbildung 18: Aktuelle Staub-Emissionsgrenzwerte der LRV für Heizkessel für feste Brennstoffe. Darstellung für verschiedene Leistungsklassen im Betrieb bezogen auf 13 % O<sub>2</sub>.

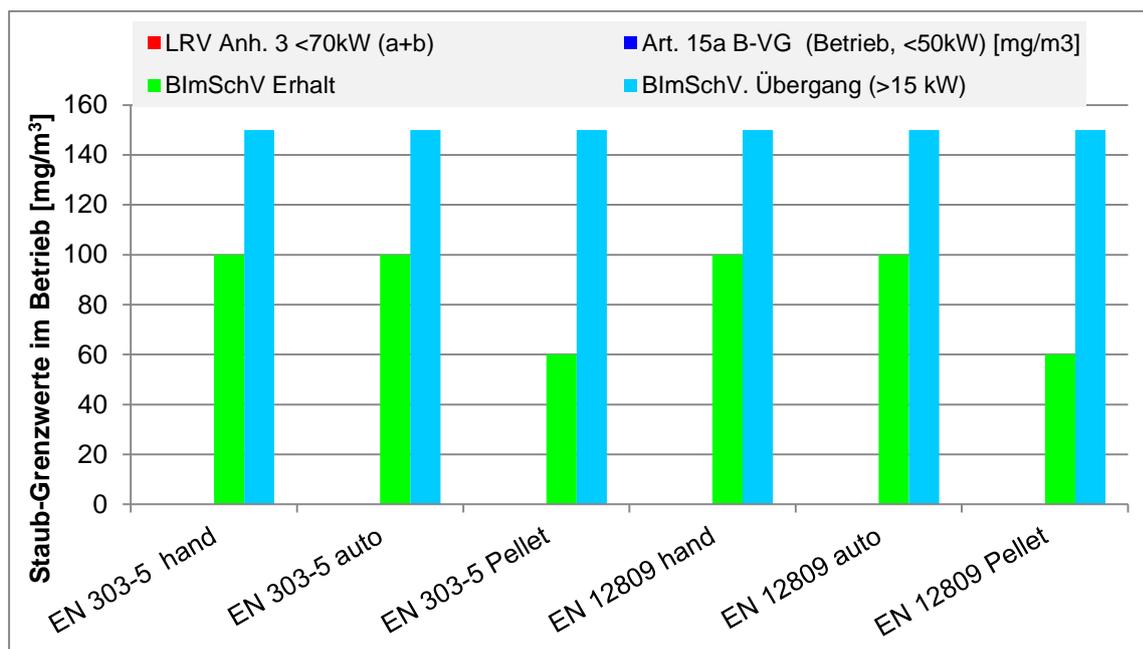


Abbildung 19: Aktuelle Staub-Emissionsgrenzwerte von LRV, B-VG und der BlmSchV für Heizkessel für feste Brennstoffe im Betrieb bezogen auf 13 % O<sub>2</sub>.

### 3.2.3 Organische Gasförmige Verbindungen (OGC)

Die LRV kennt im Moment nur für Anlagen > 10 MW Grenzwerte für die OGC-Emissionen von 50 mg/m<sup>3</sup> bei 11 Vol.-% O<sub>2</sub> (was 40 mg/m<sup>3</sup> bei 13% Vol.-% O<sub>2</sub> entspricht). Im betrachteten Bereich gibt es in D und A keine OGC-Grenzwerte.

### 3.2.4 Stickoxide (NO<sub>x</sub>)

Die LRV kennt im Moment für Anlagen > 10 MW einen NO<sub>x</sub>-Grenzwert von 150 mg/m<sup>3</sup> bei 11 Vol.-% O<sub>2</sub> (was 120 mg/m<sup>3</sup> bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub> entspricht). Zudem gilt nach Anhang 1 Ziffer 6 ein leistungsunabhängiger NO<sub>x</sub>-Grenzwert von 250 mg/m<sup>3</sup> bei Überschreitung eines NO<sub>x</sub>-Massenstroms von 2500 g/h. Im betrachteten Bereich gibt es in D und A keine NO<sub>x</sub>-Grenzwerte.

## 3.3 Wirkungsgrade

Für Anlagen im Betrieb gibt es in der Schweiz keine Anforderungen an den Wirkungsgrad.

In Österreich sind in Artikel 5 in Art15a BV-G für handbeschickte Wohnraumfeuerungen ein Mindestwirkungsgrad von 80% und für automatisch beschickte von 81% vorgeschrieben. Entsprechend sind für den Betrieb in Artikel 13 die Abgasverluste auf 20% und 19% begrenzt.

Für den Betrieb ist allerdings der feuerungstechnische Wirkungsgrad bei Wohnraumfeuerungen oder der Kesselwirkungsgrad bei Kesseln nicht allein ausschlaggebend für die Anlageneffizienz. Vielmehr kommen weitere Verluste dazu, welche dazu führen, dass im Falle von Kesseln der Jahresnutzungsgrad als für den Betrieb entscheidende Grösse deutlich niedriger sein kann als der Kesselwirkungsgrad bei Nennlast. Diese Verluste umfassen insbesondere Auskühlungsverluste sowie Speicherverluste und weitere Systemverluste. Bei Wohnraumfeuerungen umfassen die zusätzlichen Verluste auch die Verluste durch Unverbranntes in der Asche, welche im Kesselwirkungsgrad, nicht jedoch im feuerungstechnischen Wirkungsgrad berücksichtigt sind. Schliesslich ist bei Wohnraumfeuerungen keine geregelte Leistungsabgabe an den Wohnraum möglich, wes-

halb oft stark schwankende Temperaturen im Wohnraum auftreten. Die Wärmefreisetzung, die zu einem ungewollten Überhitzen des Raums führen kann, wird dabei im feuerungstechnischen Wirkungsgrad ebenfalls nicht als Verlust ausgewiesen.

Sowohl für Wohnraumfeuerungen als auch für Heizkessel ist zudem davon auszugehen, dass bereits die momentanen Wirkungsgrade im Praxisbetrieb teilweise deutlich niedriger sind als die bei Prüfstandsmessung ausgewiesenen. So sind bei Prüfstandsmessungen die Anlagen in gereinigtem Zustand, was eine maximale Wärmeübertragung sicherstellt. Im Praxisbetrieb weisen die Wärmeübertrager eine Schmutzschicht, welche die Wärmeübertragung reduziert und damit zu höheren Abgastemperaturen und entsprechend höheren Abgasverlusten führt. Bei Wohnraumfeuerungen sind hohe Abgastemperaturen im Praxisbetrieb teilweise sogar erwünscht als Massnahme zur Verhinderung von Kaminversottung. Daneben werden die Anlagen bei Prüfstandsmessungen in der Regel optimal betrieben und insbesondere der Luftüberschuss auf einen optimalen Wert eingestellt. In der Praxis ist davon auszugehen, dass der Luftüberschuss oftmals deutlich höher ist als bei Prüfstandbedingungen, was ebenfalls zu erhöhten Abgasverlusten führt. Bei Wohnraumfeuerungen ist ausserdem davon auszugehen, dass die Füllräume oftmals mit deutlich grösseren Brennstoffchargen beschickt werden als dies bei der Typenprüfung der Fall ist. Dies führt zu entsprechend höheren Leistungen mit erhöhtem Kaminzug und ebenfalls erhöhten Abgastemperaturen.

### **3.4 Leistungsklassen**

Die Leistungsklassen im Betrieb sind in Kapitel 2.1 aufgeführt.

## 4 Messverfahren und Messvorschriften

In diesem Kapitel werden Prüfstands- und Feldmessungen (Kontrollmessungen an stationären Anlagen im Feld) anhand der europäischen Normen, Messempfehlungen des BAFU und der 1. BImSchV beschrieben und Unterschiede bezüglich Startzeitpunkt, Messdauer etc. gegenüber gestellt. Soweit möglich werden die Auswirkungen der unterschiedlichen Messzeiten auf die ermittelten Emissionswerte abgeschätzt oder durch Messungen belegt.

### 4.1 Typenprüfung

Die Messungen auf dem Prüfstand sind für die verschiedenen Feuerstätten nicht einheitlich. Dies soll exemplarisch an der Aufzeichnung einer Feuerstätte, welche neben einem Abbrand nach Kaltstart auch mehrere Abbrände mit Nachlegen beinhaltet, aufgezeigt werden.

Für die Beurteilung der Grenzwerte wird bei der Typenprüfung die Messunsicherheit nicht berücksichtigt.

#### 4.1.1 Messungen bei Nennwärmeleistung (NWL)

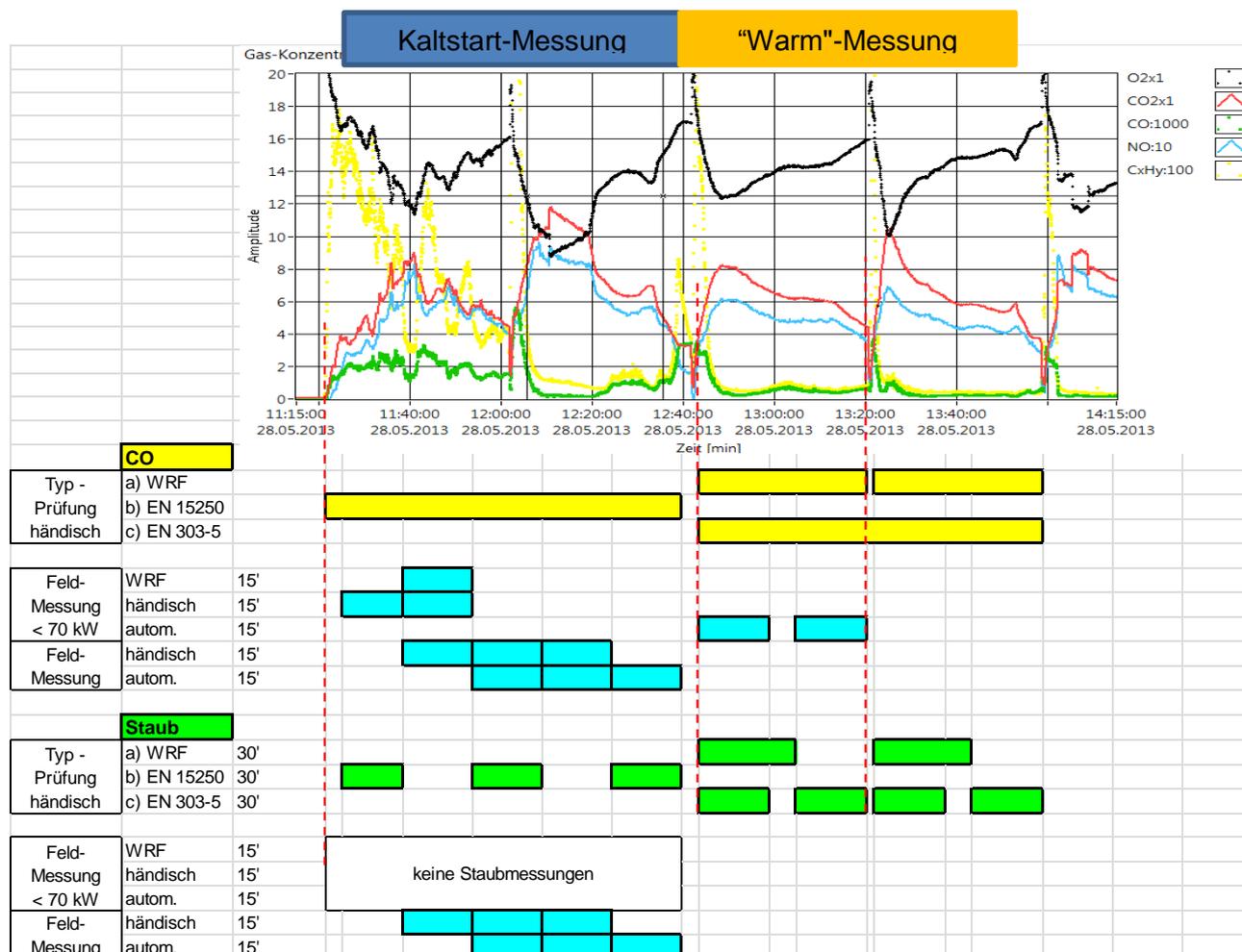


Abbildung 20: Messperioden bei Typenprüfung und Feldmessung für verschiedene Feuerstätten. Die Darstellung der Staubmessperioden ist symbolisch dargestellt.

Abbildung 20 zeigt den zeitlichen Verlauf der Emissionen einer Feuerstätte, deren Messung je nach Feuerungstyp für folgende drei Fälle unterschiedlich durchzuführen ist:

- a) im Falle einer Wohnraumfeuerung nach EN 13240, EN 13229 und EN 12815 mit zwei aufeinanderfolgenden Abbränden mit Nachlegen auf eine Grundglut,
- b) im Falle eines Speicherofens nach EN 15250, hier mit zwei Teilladungen befeuert,
- c) im Falle eines Heizkessels nach EN 303-5 (und EN 12809).

Nur für Speicheröfen erfolgt die Emissionsmessung ab dem Starten der Feuerung im Kaltzustand. Andere Wohnraumfeuerungen sowie Heizkessel werden dagegen im aufgeheizten und stabilen Zustand gemessen. Für die Typenprüfung nach EN 303-5 werden die Heizkessel auf Betriebstemperatur gebracht, und anschliessend wird die NWL über zwei aufeinanderfolgende Abbrände bei manueller Beschickung bestimmt oder bei automatischen Feuerungen über 6 Stunden gemessen. Die Messung des Kaltstarts liefert in vielen Fällen Emissionswerte an Staub und CO, die deutlich höher (oft mehr als doppelt so hoch) sind wie eine Messung im betriebswarmen Zustand. Bei einer Beurteilung lediglich des warmen Zustands bleibt aber unberücksichtigt, dass der Praxisbetrieb auch bei Wohnraumfeuerungen und handbeschickten Heizkesseln immer zuerst eine Kaltstartphase umfasst. Während bei Wohnraumfeuerungen der Anteil Phasen mit warmer Feuerung in der Praxis immerhin relevant sein kann, ist bei Heizkesseln als Regelfall eher davon auszugehen, dass sie aus dem kaltem Zustand gestartet werden, da handbeschickte Heizkessel in der Schweiz über Wärmespeicher verfügen und eine Leistung aufweisen, die meist deutlich höher ist als der Heizleistungsbedarf des Gebäudes. Lediglich bei automatischen Feuerungen und auch dann nur bei entsprechender Betriebsart und hydraulischer Einbindung der Anlage ist der Kaltstart eine nur selten auftretende Betriebsart. Da jedoch vermehrt über automatische Zündungen eingesetzt werden, wird der Kaltstart auch für automatische Feuerungen zunehmend wichtiger.

#### 4.1.2 CO-Messung

Das zeitliche Vorgehen zur CO-Messung für die Typenprüfung ist in Abbildung 20 anhand der gelben Balken dargestellt und wie folgt charakterisiert:

##### - Wohnraumfeuerungen

Start: 2x unmittelbar nach dem Schliessen der Fülltür (Warmstart) bis zum Beginn des nächsten Nachlegens (d.h. ohne Nachlegen). Mittelung: 12:43 – 13:21 sowie 13:21 – 13:58.

##### - Speicheröfen

Start: Unmittelbar nach dem Schliessen der Fülltür (Kaltstart) bis zum Ausbrand der gesamten Brennstoffaufgabemenge (inkl. Nachlegen allfälliger Teilladungen), durchgeführt an zwei Messtagen. Mittelung: 11:21 – 12:41.

##### - Heizkessel manuell beschickt

Start der Messung: Unmittelbar nach dem Schliessen der Fülltür nach dem ersten Nachlegen für den 1. Abbrand.

Ende der Messung: Ende des 2. Abbrandes (bzw. beim Nachlegezeitpunkt für das 3. Nachlegen). Die Mittelung erfolgt über die gesamte Zeit inklusive Schüren und Nachlegen.

##### - Heizkessel automatisch beschickt

Start: bei stabilen Verhältnissen (auf Betriebstemperatur).

Ende: Nach 6 Stunden.

Mittelung über die gesamte Prüfperiode.

#### 4.1.3 Staubmessung

Das zeitliche Vorgehen zu Staubmessung für die Typenprüfung ist in Abbildung 20 anhand der grünen Balken dargestellt.

##### - Wohnraumfeuerungen

Start: 3 Minuten nach dem Auflegen. Die Fülltür oder eine Verbrennungsluftklappe darf in dieser Zeit als Zündhilfe offen gelassen werden.

Dauer:  $\geq 30$  Minuten bei einer Mindestabbranddauer von 40 Minuten, wobei der Abbrand bei Erreichen der Grundglut oder 25% des CO<sub>2</sub>-Maximums als beendet gilt.

Mindestens 1 Messung pro Abbrand, Absauggeschwindigkeit 4 m/s gemäss CEN/TS 15883.

##### - Speicheröfen

Start: 3 Minuten nach Kaltstart.

Dauer  $\geq 30$  Minuten.

Anzahl: mindestens 2 Messungen gleichmässig über 1 Abbrand verteilt.

Absauggeschwindigkeit 4 m/s gemäss CEN/TC 15883.

##### - Heizkessel manuell beschickt

Start: Unmittelbar nach dem Schliessen der Fülltür nach dem Nachlegen.

Dauer: 30 Minuten, Anzahl pro Abbrand: mindestens 2 Messungen gleichmässig über den Abbrand verteilt. Absauggeschwindigkeit isokinetisch.

##### - Heizkessel automatisch beschickt

Start: bei stabilen Verhältnissen (auf Betriebstemperatur).

Dauer:  $\geq 30$  Min, Anzahl: mindestens 4 Messungen gleichmässig über die Prüfperiode verteilt. Absauggeschwindigkeit isokinetisch.

Der Grenzwert gilt als eingehalten, wenn der Mittelwert der beiden Abbrände den Grenzwert einhält (ein Wert darf dabei darüber liegen).

#### 4.1.4 Messungen bei Kleinlast (Schwachlast, Teillast)

##### 4.1.4.1 Kleinlast bei Wohnraumfeuerungen (WRF)

Bei Wohnraumfeuerungen werden die Schwachlast (für Dauerbrandherde) und der Gluterhalt (für Zeitbrandherde) bei der Typenprüfung an einem Abbrand gemessen. Ausgewiesen werden sie häufig nur, wenn die Grenzwerte eingehalten werden. Es gibt in den Ländern auch keine durchgängige Aussage bezüglich der Verpflichtung, die Grenzwerte bei Kleinlast einzuhalten. In Österreich kann bei Kleinlast der Grenzwert für CO um 50 % überschritten werden.

##### 4.1.4.2 Teillast bei Heizkessel

Für die Teillast wird **ein Abbrand** nach der NWL-Prüfung oder nach dem Aufheizen gemessen.

##### [EN 303-5, Kap. 5.7.4.1]

- *Versuchsdauer bei Nenn-Wärmeleistung: 2 aufeinanderfolgende Abbrandperioden;*
- *Versuchsdauer bei kleinster Wärmeleistung: 1 Abbrandperiode*

Ob bei der Kleinlast die Emissionen überhaupt gemessen werden müssen, ist bei handbeschickten Kesseln von der Höhe der Kleinlast und einem vorgeschriebenen Speicher abhängig.

### EN 303-5 Kap. 4.4.6 [9]

„Bei Heizkesseln mit Handbeschickung, die vom Hersteller für den Betrieb mit Pufferspeicher spezifiziert sind, darf die kleinste kontinuierliche Wärmeleistung auch höher als 30 % sein.“

Da heute praktisch kein handbeschickter Stückholzkessel eine so tiefe Kleinlastleistung ( $\leq 30\%$ ) aufweist, müssen alle mit einem Pufferspeicher ausgerüstet werden. Dies hat folgende Konsequenz:

„Heizkessel mit Handbeschickung müssen nicht in Teillast geprüft werden, wenn der Hersteller fordert, dass die Heizkessel immer an einen Pufferspeicher angeschlossen werden muss.“

Für Österreich gilt nach [3] C.2.3 für Emissionsgrenzwerte folgender Umkehrschluss:

- „Ausnahmen händisch beschickte Kleinf Feuerungen:  
Falls der Nachweis bei der kleinsten vom Hersteller angegeben Teillast nicht erbracht werden kann, ist auf dem Typschild als auch in der technischen Dokumentation der Einbau eines entsprechenden Pufferspeichers vorzuschreiben.
- Ausnahmen automatisch beschickte Kleinf Feuerungen  
Bei Teillastbetrieb mit 30 % der Nennwärmeleistung kann der Grenzwert (CO) um 50 % überschritten werden.“

## 4.2 Feldmessung

Das Prüfprozedere für Abnahme- und Kontrollmessungen an stationären Anlagen (Feldmessung) unterscheidet sich von der Typenprüfung.

### 4.2.1 Messablauf in der Schweiz

In der Schweiz dienen die Messempfehlungen des BAFU [8],[11] als Vorlage. Das darin vorgeschlagene Vorgehen zur Messung von CO und Staub ist in Abbildung 20 durch blaue Balken dargestellt. Das Vorgehen ist wie folgt durchzuführen:

#### a) Für WRF und Anlagen < 70 kW [11]

##### 5.1.1 Heizkessel handbeschickt

- 4 Die Messung beginnt 5 Minuten nach dem Kaltstart und dauert 2x15 Minuten (zwei aufeinander folgende Messungen).

##### 5.1.2 Heizkessel automatisch beschickt

- 1 Die Messung erfolgt im Automatikbetrieb an der betriebswarmen Anlage und dauert 2x15 Minuten (zwei aufeinander folgende Messungen).

##### 5.1.3 Raumheizer und Feuerstätten handbeschickt

- 2 Die Messung beginnt 15 Minuten nach dem Kaltstart und dauert 15 Minuten (eine Messung).

#### b) Für messpflichtige Anlagen > 70 kW [8]

- Automatische Feuerungen werden in der Regel im angetroffenen Zustand (d.h. warm) gemessen. Der Start der 1. Messung erfolgt bei stationärem Betrieb, spätestens aber 30 Minuten nach Einfeuern.
- Bei manuellen Feuerungen Start der 1. Messung 15 Minuten nach Kaltstart.
- Es werden 3 Messungen à 15 Minuten durchgeführt und daraus werden 2 Mittelwerte über 30 Minuten errechnet.

Der Grenzwert gilt als eingehalten, wenn keiner der beiden 30 Minuten-Mittelwerte den Grenzwert (unter Berücksichtigung der Messunsicherheit) überschreitet.

Die Kontrollen an Heizkesseln ab 70 kW Feuerungswärmeleistung finden in der Schweiz alle zwei Jahre statt. Erste Messung 3 Monate bis maximal 12 Monate nach Inbetriebsetzung (Abnahmemessung).

### 13.1.2 Betriebszustand

Vor der Messung müssen die für die Beurteilung massgebenden Betriebsparameter der Anlage festgehalten werden. Wichtig sind: Massgebende Betriebsparameter

- > die Beschickungsart (automatisch oder von Hand)
- > Brennstoffkategorie nach Anhang 5 Ziffer 31 LRV (a, b oder c)
- > maximale Feuerungswärmeleistung (FWL) gemäss Geräteschild<sup>1</sup>

Bei automatischen Anlagen muss die **Abnahmemessung** zuerst im untersten Lastbereich ( $\leq 40\%$ ) und anschliessend im obersten Lastbereich ( $\geq 70\%$ ) durchgeführt werden. Die periodischen Emissionsmessungen bei automatischen Anlagen von 70 kW bis 1 MW maximale Feuerungswärmeleistung werden **in der Regel im angetroffenen Zustand durchgeführt. Bei Anlagen über 1 MW werden bei der periodischen Emissionsmessung beide Lastbereiche gemessen.** Massgebende Betriebszustände  
(Laststufen)

Die Messung erfolgt an automatischen Anlagen, sobald der Betrieb im entsprechenden **Lastzustand stabil** ist, **spätestens jedoch nach 30 Minuten.** Beginn der Messung

**Bei handbeschickten Anlagen beginnt die Messung 15 Minuten nach dem Kaltstart,** wobei die grösste vom Hersteller in der Bedienungsanleitung genannte Brennstoffmenge eingefüllt wird. Bei Sauerstoffgehalten von  $> 18 \text{ Vol.}\%$  ist die Messung zu unterbrechen, und die Anlage neu zu beschicken.

## 4.2.2 Messablauf nach 1. BlmSchV

Im Vergleich dazu werden Heizkessel nach 1. BlmSchV wie folgt gemessen:

Anlage 2 (zu § 5 Absatz 1, §§ 7, 8, 10, 14 Absatz 4, § 15 Absatz 5, § 25 Absatz 2)

Anforderungen an die Durchführung der Messungen im Betrieb

Anlage 2, Kap. 2.1

Kesseltemperatur  $> 60 \text{ }^\circ\text{C}$ , 5 Minuten nach Auflegen, 1 x 15 Minuten Mittelwert

Der Emissionsgrenzwert ist eingehalten, wenn der gemessene Wert abzüglich Messunsicherheit diesen nicht überschreitet.

*2.4 Bei Messungen im Teillastbereich:*

*2.4.1 Bei Feuerungsanlagen ohne Verbrennungsluftgebläse ist in den ersten fünf Minuten bei geöffneter und in den restlichen zehn Minuten bei geschlossener Verbrennungsluftklappe zu messen.*

Sinngemäss wird dies so interpretiert, dass die Messung während der zweiten 10 Minuten bei Kleinlast erfolgt, wobei die Verbrennungsluftklappe bei geschlossener Position in der Regel nicht vollständig geschlossen ist.

...

*2.4.3 Bei Feuerungsanlagen mit geregelter Verbrennungsluftgebläse (Drehzahlregelung, Stufenregelung, Luftmengenregelung mittels Drosselscheibe, -blende oder -klappe u. Ä.) ist fünfzehn Minuten lang mit verminderter Verbrennungsluftzufuhr zu messen.*

Das bedeutet Messung bei Kleinlast. Es müsste eigentlich verminderte Gebläsedrehzahl heissen. Damit wird klar ausgedrückt, dass die Kleinlast ebenfalls gemessen wird. Dabei ist es nicht klar, ob die Grenzwerte auch bei Kleinlast eingehalten werden müssen, oder nur bei NWL. Die Stufe 2 der 1. BImSchV verlangt, dass das Messergebnis vor Ort bekannt gegeben wird. Aus diesem Grund kann eine bisher von den Kaminfeuern eingesetzte gravimetrische Filtermethode mit nachträglichem Auswägen (z.B. Wöhler SM 96) nicht mehr verwendet werden.

## 4.3 Vergleich von Typenprüfung und Feldmessung

### 4.3.1 Unterschiede und Gemeinsamkeiten

Wesentliche Unterschiede zwischen Typenprüfung und Feldmessung sind folgende Aspekte:

1. Kamindruck: Bei der Typenprüfung ist ein konstanter Druck von 12 Pa (oder nach Herstellerangabe) einzustellen, während bei der Feldmessung bei Kleinfeuerungen meist Naturzug wirkt. Ausser wenn die Messung mit warmem Kamin beginnt und ein Zugbegrenzer eingebaut ist, kann der Kaminzug bei Naturzug über den Abbrand stark schwanken von zu tief beim Kaltstart bis viel zu hoch bei heissem Kamin. Die Typenprüfung einer Feuerung ermöglicht grundsätzlich nur ein Qualitätsmerkmal der Feuerung und nicht des Heizsystems, das unter anderem auch den Kamin umfasst.
2. Brennstoff: Der Prüfbrennstoff ist bei der Typenprüfung für Feuerungen der gleichen Kategorie soweit möglich einheitlich (insbesondere in Bezug auf Holzart, Wassergehalt und anhaftende Rinde) Damit soll die Reproduzierbarkeit der Messungen gewährleistet und eine Beurteilung der Feuerung (nicht des Brennstoffs) ermöglicht werden. Bei einer Feldmessung kommt als Brennstoff in der Regel der aktuell vorhandene Brennstoff zum Einsatz, der in Bezug auf die Verbrennungseigenschaften oftmals nachteilig sein kann (z.B. zu feucht, zu klein, zu gross u.v.m.), im Vergleich zu regulärem Prüfbrennstoff aber auch vorteilhaft ausgewählt werden kann (z.B. Holz ohne Rinde).
3. Bedienung: Bei der Typenprüfung erfolgt die Bedienung durch sachverständige Personen nach Messvorschrift und unter Einhaltung der Bedienungsvorschrift, soweit diese nicht im Widerspruch zur Messvorschrift steht. Die korrekte Bedienung umfasst insbesondere die Beschickung mit einer geeigneten Aufgabemenge an Holz mit geeigneter Stückgrösse sowie im Falle eines Kaltstarts das Anfeuern und im Falle eines Warmstarts das Nachlegen. Bei der Feldmessung erfolgt die Bedienung in der Regel durch den Betreiber, sodass die Bedienung von der Messvorschrift und Herstellerangabe abweichen kann.
4. Reinigung: Feuerung inklusive Wärmeübertrager und das Kamin sind vor einer Typenprüfung gereinigt. Bei einer Feldmessung kann dies auch zutreffen (was bei Grossanlagen vermutlich oft der Fall ist), die Messung kann aber auch bei ungereinigter Feuerung oder ungereinigtem Kamin erfolgen. Dies kann zu erhöhten Emissionen insbesondere an Staub und unter Umständen auch an weiteren Schadstoffen führen. Mögliche Gründe dafür sind eine reduzierte Abscheidewirkung von Feuerung und Kamin, ein Wiedereintrag von agglomeriertem Staub (Re-entrainment), sowie eine Abdampfung kondensierter Verbindungen. Ausserdem kann auch die Neubildung von Schadstoffen verstärkt werden, was etwa für die De-novo Synthese von Dioxinen und Furanen (PCDD/F) entscheidend ist, obwohl dies hier nicht im Vordergrund steht.

5. Zustand: Die Feuerung ist bei der Typenprüfung im Neuzustand, bei Feldmessungen im gealterten Betriebszustand. Zum Einfluss der Alterung von Feuerungen sind keine Untersuchungen bekannt. Aufgrund von Erfahrungen mit Praxismessungen oder Untersuchungen an Feuerungen über längere Zeiträume im Labor ist aber davon auszugehen, dass zum Beispiel die Gasdichtheit der Feuerung durch Alterung der Dichtungselemente und Verzug der Bauteile stark abnehmen kann. Dies kann zur Folge haben, dass im Praxisbetrieb deutlich mehr unerwünschte Falschluf in die Feuerung gelangt. Dadurch kann entweder der Luftüberschuss steigen, was infolge tieferer Verbrennungstemperatur zu erhöhten Schadstoffen aus unvollständiger Verbrennung führen kann, oder es kann zu einer Luftzufuhr an ungeeigneter Stelle führen und damit auch bei konstantem Luftüberschuss (etwa bei Einsatz einer Lambda-Regelung) erhöhte Schadstoffemissionen verursachen.
6. Prüfintervalle: Die Messzeiten sind bei der Typenprüfung länger. Kurze Ausreisser können dadurch eher kompensiert werden.

Daneben sind folgende weitere Merkmale von Typenprüfung und Feldmessung zu beachten, die je nach Durchführung identisch oder unterschiedlich sein können:

1. Mit Ausnahme der Speicheröfen erfolgt die Messung für alle anderen Feuerungen bei Typenprüfungen nach dem Nachlegen von Holz in die betriebswarme Feuerung. Bei Feldmessungen in D und CH erfolgt die Messung für automatische Feuerungen „im angetroffenen Zustand“, sodass die Messung im Allgemeinen bei betriebswarmer Feuerung durchgeführt wird. Händisch beschickte Feuerungen werden in der Regel nach einem Kaltstart gemessen.
2. Die Messungen bei der Typenprüfung können wiederholt werden, bis die Anforderungen erreicht werden. Dokumentiert wird schliesslich nur die bestandene Typenprüfung, zuvor überschrittene Emissionswerte werden nicht weiter verwendet. Demgegenüber ist bei Feldmessungen eine direkt anschliessende Wiederholungsmessung nicht vorgesehen. Dagegen ist eine einmalige oder mehrmalige Wiederholungsmessung grundsätzlich möglich, wobei in der Regel davon ausgegangen wird, dass in der Zwischenzeit technische und/oder betriebliche Sanierungsmaßnahmen ausgeführt wurden. Im Gegensatz zur Typenprüfung wird die nicht erfüllte Abnahmemessung dokumentiert und bei mehrfach wiederholtem Nichterreichen kann die Behörde eine Sanierungs- oder Stilllegungsaufgabe verfügen. Obwohl eine Wiederholung sowohl bei der Typenprüfung als auch bei der Feldmessung mit zusätzlichen Kosten verbunden ist, sind die Konsequenzen für Feldmessungen direkter wirksam.

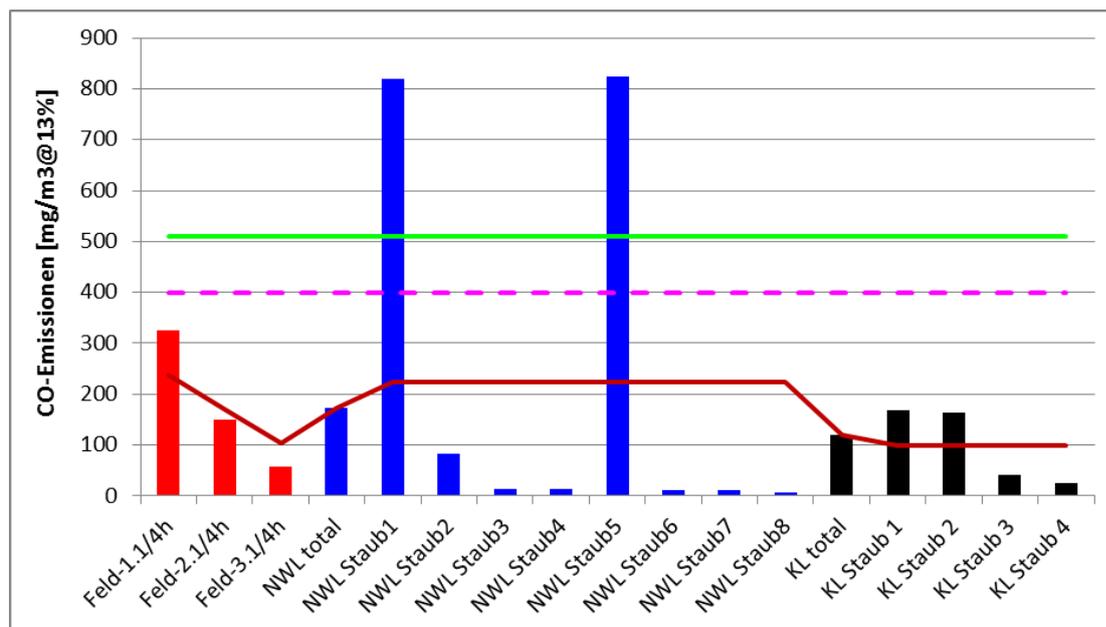
#### **4.3.2 Auswertung nach Typenprüfung und nach Emissions-Messempfehlungen BAFU**

In diesem Kapitel wird der Einfluss der Messung und Auswertung nach Typenprüfung im Vergleich zur Messmethode der LRV nach Messempfehlungen des BAFU (für Anlagen > 70 kW) versuchsweise an einem Stückholzkessel (30 kW) beschrieben, der auf dem Prüfstand gemessen wurde. Dies bedeutet, dass drei 15 Minuten-Messungen durchgeführt werden. Diese werden mit den Ergebnissen der NWL und der Teillast verglichen. (Anmerkung: für 30 kW müsste kein Staub gemessen werden)

Die Bezeichnung „Feld“ kennzeichnet die drei 15 Minuten-Messungen, wobei die erste 15 Minuten nach dem Zünden des Kessels bzw. nach dem erstmaligen Schliessen der Fülltür beginnt. Die

ermittelten Mittelwerte aus Messung 1 und 2 sowie Messung 2 und 3 liegen beide unterhalb des Grenzwertes und im Bereich des Wertes, welcher bei NWL ermittelt wurde. Die Bezeichnung NWL total kennzeichnet den Mittelwert, der über die gesamten zwei Abbrände ermittelt wird.

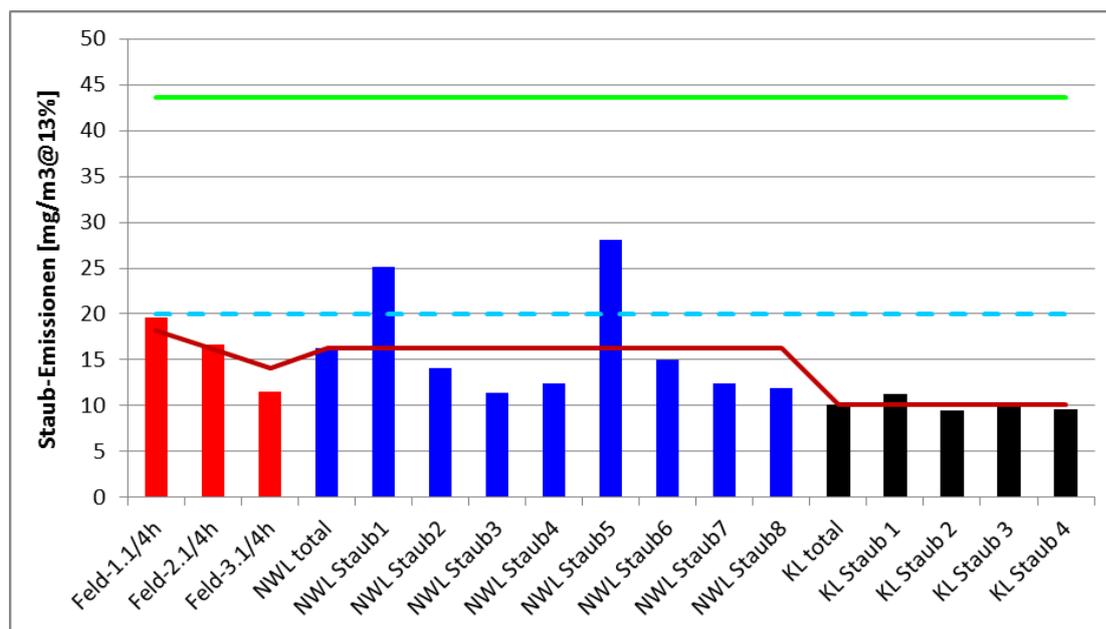
Die Abbildung 21 zeigt, dass bei der Messung bei NWL die CO-Konzentrationen jeweils bei der ersten Staubmessung, direkt nach Schliessen der Fülltür, um Grössenordnungen höher sind als danach. Wenn die Messung erst nach 3 Minuten gestartet würde, wäre der Unterschied kleiner.



**Abbildung 21:** Dargestellt sind die Halbstunden-Mittelwerte für CO während den Staubmessungen (Säulen), beim Kaltstart (rot), bei NWL (blau) und bei Kleinlast (schwarz), der Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün) und des Q-Sigels (rosa), sowie die Mittelwerte (braun). Weitere Erläuterungen im Text.

Die Abbildung 22 zeigt, dass bei der Messung bei NWL auch die Staub-Konzentrationen jeweils bei der ersten Messung direkt nach Schliessen der Fülltür höher ausfallen. Die drei Feldmessungen zu 15 Minuten beginnend 15 Minuten nach dem ersten Schliessen der Fülltür ergeben Mittelwerte, die beide unterhalb des Grenzwertes liegen.

Da es sich bei diesem Versuch um einen guten Kessel-Start handelt, halten beide 15 Minuten-Mittelwerte bei der Feldmessung den Grenzwert der 1. BImSchV Stufe 2 und der Ecodesign-Verordnung ein. Wenn die Prozess-Unsicherheit betrachtet und dazu noch Einflüsse des Brennstoffes und des Betreibers berücksichtigt werden, so ist ein Ergebnis über dem 1. BImSchV-Grenzwert nicht überraschend. Wird die erste Messung erst 30 Minuten nach dem Kaltstart gemacht oder der Mittelwert über alle drei Messungen (mittlerer Wert) ermittelt, ist eine erfolgreiche Prüfung im Feld wahrscheinlicher. Aus dieser Betrachtungsweise ist die eine 15 Minuten-Messung der 1. BImSchV, 5 Minuten nach dem Nachlegen, vermutlich dem Zufall unterworfen und stellt eine härtere Anforderung dar als diejenige der LRV gemäss Messempfehlung BAFU. In beiden Fällen wird die Messunsicherheit vom Messwert abgezogen.



**Abbildung 22:** Dargestellt sind die Halbstunden-Mittelwerte der Staubmessung (Säulen), beim Kaltstart (rot), bei NWL (blau) und bei Kleinlast (schwarz), der Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün) und der 1. BImSchV Stufe 2 (hellblau), sowie die Mittelwerte (braun). Erläuterungen im Text.

Die durchgeführten Messungen sollen auch noch bezüglich OGC und NO<sub>x</sub> auf die Kompatibilität mit der Ecodesign-Verordnung geprüft werden, obwohl diese für den Betrieb keine Grenzwerte vorgibt.

Dabei zeigt sich, dass die OGC Grenzwerte von Ecodesign und Q-Siegel im Mittel eingehalten sind. Bei der Kleinlast und den „Feldmessungen“ kann dieser Wert vereinzelt nicht eingehalten werden. Gerade die Feldmessungen beim Kaltstart weisen erhöhte OGC-Werte auf. Es müsste schon ein ausgezeichnetes Startverhalten der Feuerung vorliegen, damit der Ecodesign- oder Q-Siegel-Grenzwert immer eingehalten werden kann, denn Feuerraum und Kessel sind am Anfang kalt, was zwangsläufig zu erhöhten OGC-Emissionen führt.

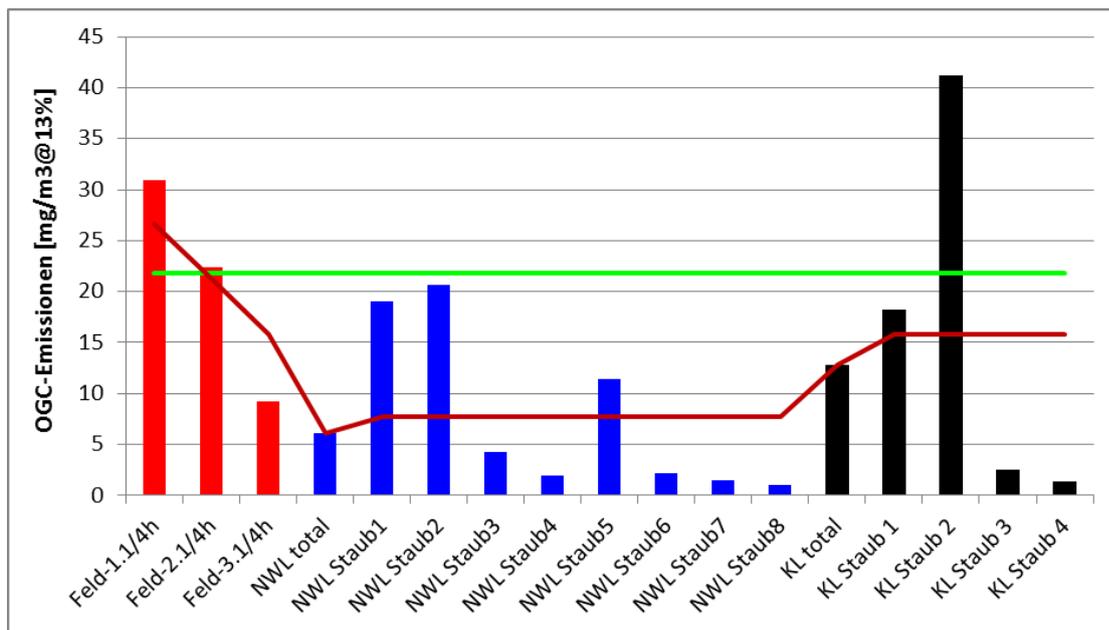


Abbildung 23: Dargestellt sind die Halbstunden-Mittelwerte der OGC-Messung (Säulen), beim Kaltstart (rot), bei NWL (blau) und bei Kleinlast (schwarz), der Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün), sowie die Mittelwerte (braun). Erläuterungen im Text.

Bezüglich NO<sub>x</sub>-Emissionen zeigt Abbildung 24, dass die Stickoxide eine leicht gegenläufige Tendenz zu CO aufweisen, da die Startphasen mit hohen CO-Emissionen tiefere NO<sub>x</sub>-Emissionen aufweisen. Der relative Einfluss der Betriebsphase oder Betriebsweise auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen ist aber deutlich schwächer ausgeprägt, da es sich bei den Stickoxidemissionen in handbeschickten Holzfeuerungen praktisch ausschliesslich um Brennstoff-Stickoxide handelt.

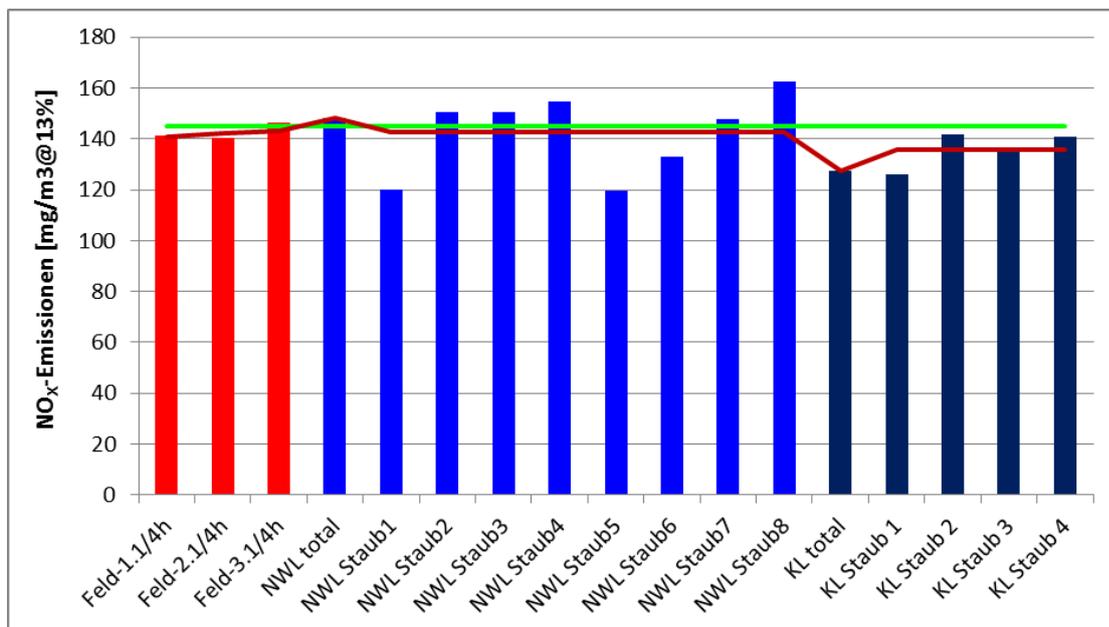


Abbildung 24: Dargestellt sind die Halbstunden-Mittelwerte der NO<sub>x</sub>-Messung (Säulen), beim Kaltstart (rot), bei NWL (blau) und bei Kleinlast (schwarz), der Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün), sowie die Mittelwerte (braun). Erläuterungen im Text.

## 4.4 Messverfahren

### 4.4.1 Standardverfahren: Feststoff im heissen und unverdünnten Abgas

Das Standard Messverfahren für Staubemissionen an den Prüfstellen Mitteleuropas ist die gravimetrische Bestimmung der auf einem Filter im heissen Abgas abgeschiedenen Feststoffe. Dazu wird während einer halben Stunde ein bestimmtes Abgasvolumen über einen auf 160 °C beheizten Filter abgesaugt und gleichzeitig der Sauerstoffgehalt gemessen. Durch Wägung des Filters wird die Staubmenge bestimmt, auf das abgesaugte Abgasvolumen bezogen und auf den Bezugs-Sauerstoffgehalt normiert. Die Filter werden vor und nach der Messung konditioniert. Durch die hohe Filtertemperatur werden praktisch ausschliesslich die Feststoffe erfasst. Flüchtige und kondensierbare Kohlenwasserstoffe sind dagegen weitgehend filtergängig und werden somit im gravimetrischen Feststoff nicht erfasst. Flüchtige organische Verbindungen werden deshalb meist separat mittels Flammen-Ionisations-Detektor (FID) im heissen Abgas gemessen. Daneben werden für die Messung von CO eignungsgeprüfte Messinstrumente verwendet. Wenn die Sensoren vor der Messung kalibriert werden, eignen sich dazu mehrere Verfahren. Das häufigste ist die Bestimmung der Konzentration durch Absorption der Infrarot-Strahlung (IR). Für niedrige Konzentrationen eignen sich auch elektrochemische Sensoren.

### 4.4.2 Ecodesign Messverfahren

Für Festbrennstoffkessel (Lot15) schreibt Ecodesign [7] die oben als Standardverfahren bezeichnete Bestimmung des gravimetrischen Gesamtstaubs vor, die in der Verordnung wie folgt beschrieben wird:

*„c) Die Staubemissionen sind mithilfe einer gravimetrischen Methode zu ermitteln, bei der keine Partikel berücksichtigt werden, die durch gasförmige organische Verbindungen gebildet werden, wenn sich Rauchgas mit Umgebungsluft vermischt.“*

Im Gegensatz dazu erlaubt die Verordnung für Wohnraumfeuerungen (Lot20) [6] drei verschiedene Messverfahren, die wie folgt beschrieben werden:

- „1) Staubmessung durch Entnahme einer Teil-Rauchgasprobe über einem erwärmten Filter. Die Staubmessung erfolgt, während das Produkt seine Nennleistung erzeugt, sowie gegebenenfalls bei Teillast;*
- 2) Staubmessung durch Entnahme einer Teil-Rauchgasprobe während des gesamten Verbrennungszyklus mit Hilfe des natürlichen Luftzugs aus einem verdünnten Rauchgas unter Verwendung eines Vollstrom-Verdünnungstunnels und eines Filters bei Umgebungstemperatur;*
- 3) Staubmessung durch Entnahme einer Teil-Rauchgasprobe während eines Zeitraums von 30 Minuten mit Hilfe eines festen Rauchabzugs bei 12 Pa aus einem verdünnten Rauchgas unter Verwendung eines Vollstrom-Verdünnungstunnels und eines Filters bei Umgebungstemperatur oder eines Elektrofilters.“*

Das Messverfahren 1) entspricht ebenfalls dem oben beschriebenen Standardverfahren zur Bestimmung des gravimetrischen Feststoffs. Demgegenüber basieren die Probenahme der Verfahren 2) und 3) auf einer Verdünnung der Abgase und einer Probenahme des auf Umgebungstemperatur abgekühlten Abgases. Da das Messresultat durch die Probenahme stark beeinflusst werden kann, können Messungen nach unterschiedlichen Verfahren zu erheblich abweichenden Messwerten führen. Die Zulassung von drei unterschiedlichen Messverfahren wird daher als problematisch beurteilt, was nachfolgend in Kapitel 4.4.3 weiter begründet wird.

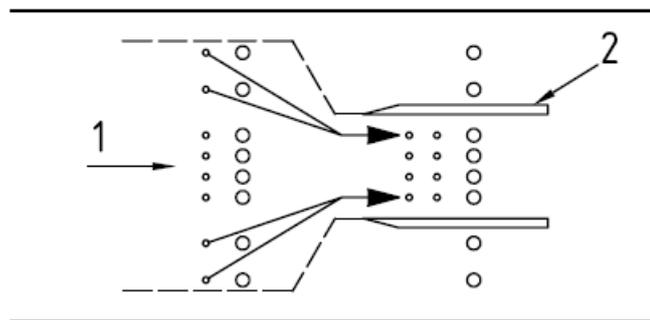
#### **4.4.3 Messung verdünnter Abgase im Verdünnungstunnel (Dilution tunnel)**

In einigen Ländern ist es üblich, den Abgasstrom in einem Verdünnungstunnel (Dilution tunnel, DT) mit kalter Umgebungsluft zu mischen und die Emissionen im verdünnten und abgekühlten Zustand zu bestimmen. Dies kommt auch bei den oben beschriebenen Ecodesign-Messungen 2) und 3) zur Anwendung. Das so erfasste Gas entspricht einem Zustand, wie er kurz nach Einmischung der Abgase in die Umgebung oberhalb des Kamins auftreten kann. Die Verdünnung und Abkühlung kann sich durch zahlreiche Effekte auf die Abgaszusammensetzung auswirken. Die bekannteste Wirkung betrifft die Umwandlung kondensierbarer Verbindungen von der Gasphase in die flüssige oder feste Phase infolge der Abkühlung. Bei Holzfeuerungen umfassen die kondensierbaren Verbindungen insbesondere organische Verbindungen (Teer oder Condensable Organic Compounds, COC). Bei einer Heissgas-Messung werden diese Verbindungen als OGC detektiert, treten aber auf einem heissen Filter nicht als Staub in Erscheinung. Bei einer Messung auf einem Filter im Verdünnungstunnel werden die Kondensate dagegen als Staub gemessen, weshalb eine Staubmessung im Verdünnungstunnel bei unvollständigen Verbrennungsbedingungen zu einem vielfach höheren Wert führen kann. Aus diesem Grund sieht die Ecodesign-Verordnung unterschiedliche Staubgrenzwerte für Heissgas-Messungen und Messungen in Verdünnungstunneln vor. Ein Versuch, die Messergebnisse von Heissgas-Messungen und Verdünnungstunnel-Messungen, unter Berücksichtigung der OGC-Emissionen, zu vergleichen, ist bisher in den Normengremien gescheitert. Gleichzeitig ist zu beachten, dass auch zur Vergleichbarkeit von Verdünnungstunnel-Messungen einheitliche Bedingungen vorliegen müssen. Die Vergleichbarkeit und die Reproduzierbarkeit werden dabei dadurch eingeschränkt, dass bei unterschiedlichen Abgasbedingungen (Temperatur oder Volumenstrom) nicht gleichzeitig die Temperatur und das Verdünnungsverhältnis konstant gehalten werden können, obwohl beide Grössen die Kondensation gasförmiger Verbindungen beeinflussen. Entsprechend wird zum Beispiel nach EPA Method 5G lediglich die Temperatur auf maximal 32°C vorgegeben. Daneben ist zu beachten, dass sich der Einsatz von Verdünnungstunneln aus praktischen Gründen auf Typenprüfungen im Messlabor beschränkt, weshalb ein Vergleich mit Feldmessungen nicht möglich ist.

#### **4.4.4 ISO 9096 [12]**

Die ISO 9096 ist eine Staubmessmethode, welche offenbar in England angewendet wird. Diese Internationale Norm ist der EN 13284-1 ähnlich mit einem zusätzlichen Schwerpunkt für die Probenahme von hohen Volumen. Eine repräsentative Probe aus Rauchgas und Partikeln wird extrahiert und durch einen Filter getrennt. Die vorgewogenen Filter werden anschliessend getrocknet und gewogen. Eine relative Erhöhung der Masse auf dem Filter wird auf die Partikelmasse zurückgeführt. Die Probedauer von 30 Min und die Filtertemperatur von 160 °C sind in beiden Normen identisch.

In der ISO 9096 wird explizit auf die Problematik der nicht isokinetischen Probenahme hingewiesen.



**b) 200 % isokinetic conditions**

**Abbildung 25: Ausschnitt aus der Figure D.1 der ISO 9096 welche die Verluste von grossen Partikeln bei überisokinetischen Probenahme beschreibt.**

#### **4.4.5 CEN/TS 15883**

Die technische Spezifikation CEN/TS 15883 wurde vom CEN am 28. März 2009 als eine künftige Norm zur vorläufigen Anwendung angenommen. Darin ist die österreichische und deutsche Partikel-Prüfmethode beschrieben, welche im Rahmen der Typenprüfung nach EN 13240:2001, A.4.7, EN 13229:2001, A.4.7, und EN 12815:2001, A.4.9 (Prüfung der Nennwärmeleistung), (parallel mit der CO-Messung) angewendet wird. Diese legt folgende Bedingungen neu fest:

1. Messbeginn: die Staubmessung wird 3 Minuten nach der Brennstoffaufgabe gestartet.
2. Absauggeschwindigkeit: die Absauggeschwindigkeit für die Staubmessung ist unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit im Kamin auf 4 m/s auszulegen
3. Absaugrichtung: die Absaugung erfolgt in Strömungsrichtung.

#### **4.4.6 Einfluss der Probenahme**

Die Probenahme beeinflusst die Messresultate zum Teil erheblich. Wichtige Parameter sind unter anderem der Messbeginn, die Absauggeschwindigkeit und die Absaugrichtung.

##### **1. Messbeginn:**

Die Festlegung des Messbeginns nach CEN/TS 15883 auf 3 Minuten nach der Brennstoffaufgabe ist eine Präzisierung, die im Vergleich zur bisherigen Formulierung einen einheitlichen Messbeginn sicherstellt.

Die bisherige Norm erlaubt demgegenüber unterschiedliche Anwendungen, da darin vorgeschrieben wird, dass die Messung nach dem Schliessen der Fülltür erfolgen soll. Da ausserdem zugelassen ist, dass in den ersten 3 Minuten die Fülltür und gegebenenfalls Luftklappen als Zündhilfe offen gelassen werden, ist der effektive Messbeginn somit meist auch 3 Minuten ab Brennstoffaufgabe, die bisherige Regelung schliesst allerdings auch einen vorzeitigen Messbeginn nicht aus. Der Messbeginn kann aber einen starken Einfluss auf das Ergebnis haben, weil in der Regel während der Startphase mit geöffneter Fülltür erhöhte Emissionen an CO, OGC und Russ auftreten, da bei geöffneter Fülltür die Verbrennungstemperatur tief ist und vermehrt Asche mitgerissen wird. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass bei Wohnraumfeuerungen oft um 50 – 100 % höhere Staubemissionen ausgewiesen würden, wenn direkt nach dem Nachlegen gemessen würde. Der

Effekt erhöhter Emissionen in der Startphase tritt aber auch bei der ersten Staubmessung bei Heizkesseln auf, die unmittelbar nach dem Schliessen der Fülltür gestartet wird (Abbildung 31).

## 2. Absauggeschwindigkeit und Absaugrichtung :

Die Absauggeschwindigkeit nach CEN/TS 15883 von 4 m/s entspricht den Bedingungen, die auch in Staubmessgeräten für vereinfachte Feldmessungen wie z.B. dem Wöhler SM96 zur Anwendung kommen. Eine Vereinheitlichung auf diese Bedingungen verbessert somit die Vergleichbarkeit zwischen vereinfachten Feldmessungen und Prüfstandsmessungen. Allerdings verändert eine Abweichung von der Isokinetik die Zusammensetzung des abgesaugten Aerosols (also des Gemisches von Abgas, Feststoffpartikel und Tröpfchen), da Partikel und Tröpfchen, die aufgrund der Grösse, der Dichte und der Partikelform eine relevante aerodynamische Trägheit aufweisen, bei einer Änderung der Strömungsrichtung nicht oder nur teilweise dem Gasstrom folgen. Wie Abbildung 25 zeigt, führt eine über-isokinetische Probenahme zu einem Verlust grossen Partikeln und Tröpfchen, eine unter-isokinetische Probenahme dagegen zu einer Anreicherung grosser Partikel. Die Effekte der Entmischung können in Abhängigkeit der Stokes-Zahl beschrieben werden. Die wichtigsten Einflussgrössen für Anwendungen der Staubprobenahme sind dabei

- der aerodynamische Partikeldurchmesser,
- die Partikeldichte,
- die Abgastemperatur (und in untergeordnetem Mass durch die Abgaszusammensetzung) welche die Viskosität des Gases bestimmen, sowie
- der Düsendurchmesser der Probenahmesonde.

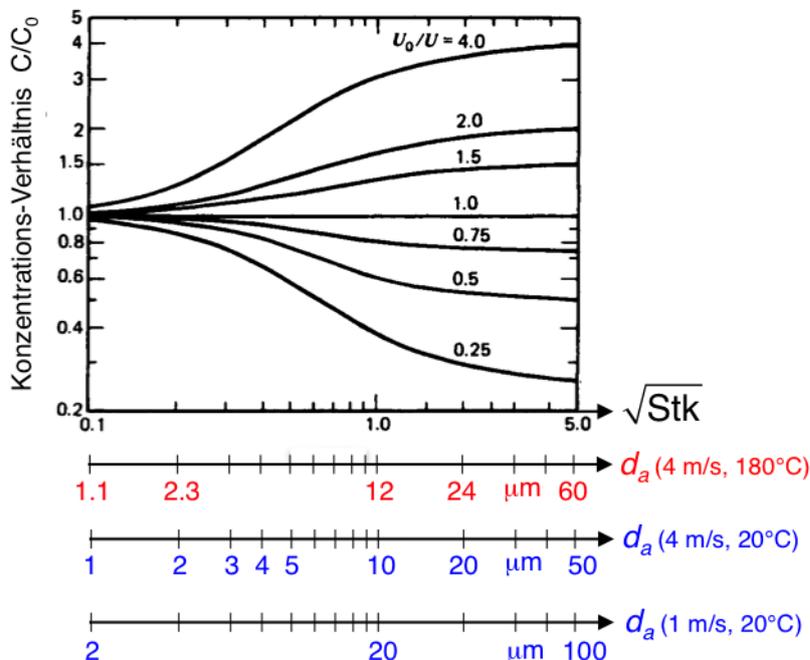
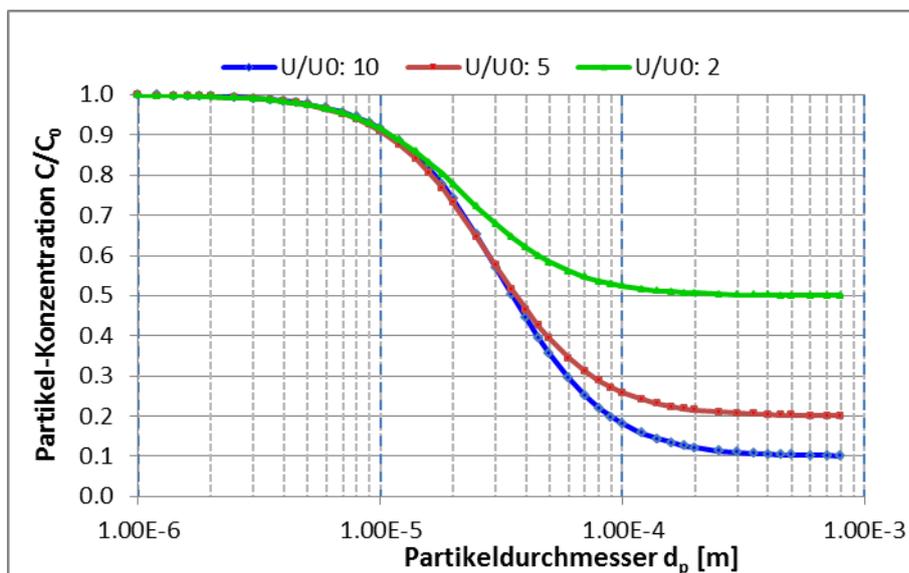


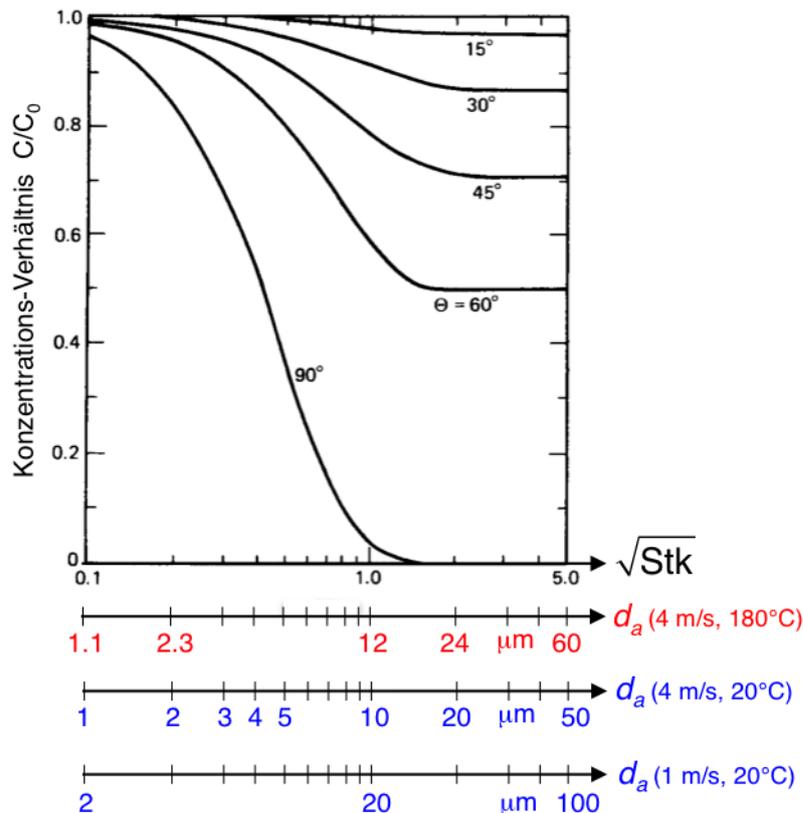
Abbildung 26: Konzentrations-Verhältnis bei nicht isokinetischer Probenahme in Abhängigkeit der Wurzel der Stokes-Zahl für verschiedene Geschwindigkeitsverhältnisse  $U_0/U$  mit  $U_0$  = Geschwindigkeit der Gasströmung und  $U$  = Geschwindigkeit der Absaugung nach [13]. Zur Beurteilung der Staub-Probenahme ist die x-Axe zusätzlich umgerechnet auf den aerodynamischen Partikeldurchmesser unter Annahme einer Partikeldichte von  $1 \text{ kg/m}^3$  sowie eines Sondendurchmessers von 25 mm und für Absauggeschwindigkeiten von 4 m/s und 1 m/s und für Abgastemperaturen von 180°C und 20°C.

Wenn diese Größen bekannt sind, kann der Einfluss auf die Probenahme abgeschätzt werden. Abbildung 26 und Abbildung 27 zeigen den berechneten Einfluss einer unter- und überisokinetischen Absaugung nach Hinds [13]. Zur Interpretation der Auswirkungen auf die Staubbemessung wurde eine x-Achse ergänzt, welche nach der in [13] beschriebenen Theorie auf die zugehörigen aerodynamischen Durchmesser von Partikeln umgerechnet wurde. Die Umrechnungen gelten für eine Absaugung in einer Düse mit 25 mm Durchmesser, eine Absauggeschwindigkeit von 4 m/s und eine Abgastemperatur 180°C. In zwei weiteren Achsen wird die Abgastemperatur auf 20°C und die Absauggeschwindigkeit auf 1 m/s variiert.

Eine noch markantere Entmischung zwischen Gasstrom und Probenahmestrom wird erreicht, wenn die Absaugrichtung deutlich von der Strömungsrichtung abweicht. Abbildung 28 zeigt dazu das Konzentrations-Verhältnis für verschiedene Absaugrichtungen in Funktion der Stokes-Zahl sowie des aerodynamischen Partikeldurchmessers in einer Düse mit 10 mm Durchmesser, einer Absauggeschwindigkeit von 4 m/s und eine Abgastemperatur von 180°C, wenn die Absaugung in Strömungsrichtung erfolgt. Für isokinetische Absaugung mit  $U/U_0 = 1$  gilt  $C/C_0 = 1$ .



**Abbildung 27: Konzentrations-Verhältnis für über-isokinetische Probenahme mit  $U/U_0 = 2, 5$  und  $10$  in Funktion des aerodynamischen Partikeldurchmessers unter Annahme einer Partikeldichte von  $1 \text{ kg/m}^3$  sowie eines Sonden­durchmessers von  $10 \text{ mm}$ , einer Absauggeschwindigkeit von  $4 \text{ m/s}$  einer Abgastemperatur von  $180^\circ\text{C}$  und mit Berechnungen nach [13].**



**Abbildung 28:** Konzentrations-Verhältnis bei nicht isokinetischer Probenahme in Abhängigkeit der Wurzel der Stokes-Zahl für im Winkel  $\theta$  von der Strömungsrichtung abweichenden Absaugung nach [13]. Zur Beurteilung der Staub-Probenahme ist die x-Achse zusätzlich umgerechnet auf den aerodynamischen Partikeldurchmesser unter Annahme einer Partikeldichte von  $1 \text{ kg/m}^3$  sowie eines Sondendurchmessers von 25 mm und für Absauggeschwindigkeiten von 4 m/s und 1 m/s und für Abgastemperaturen von  $180^\circ\text{C}$  und  $20^\circ\text{C}$ .

Daraus können folgende Konsequenzen für Staubmessungen für Partikel mit einer Dichte von  $1 \text{ kg/m}^3$  abgeleitet werden:

- Einfluss der Absauggeschwindigkeit: Unter- und Über-Isokinetik führt zu einer Konzentrierung bzw. Verdünnung der Partikel im Aerosol, wobei die Wirkung erst für Partikel ab rund 100 Mikrometern nahezu vollständig ist, also zum Beispiel eine vierfache Über-Isokinetik zu einer Verdünnung um einen Faktor vier führt. Partikel kleiner 10 Mikrometer werden mit 2- bis 10-facher Über-Isokinetik noch zu rund 80% erfasst und Partikel kleiner 3 Mikrometer zu über 95%.
- Einfluss der Absaugrichtung: Partikel bis zu einer Grösse mit einem aerodynamischen Durchmesser von 1 Mikrometer folgen der Strömung beinahe vollständig. So führt eine Absaugung um  $90^\circ$  statt in Strömungsrichtung zu einer Abweichung von weniger als  $-5\%$  (über 95% der Partikel (Anzahl) werden erfasst). Ebenso führt eine Abweichung von der Isokinetik bis zu einem Faktor vier zu Fehlern in der Grössenordnung von weniger als 5%. Unter-Isokinetik führt dabei zu einer Abweichung von weniger als  $+5\%$ , Über-Isokinetik zu weniger als  $-5\%$ . Winkelfehler und Unter-Isokinetik können sich kompensieren, Winkelfehler und Über-Isokinetik dagegen addieren. Für Partikel grösser 20 Mikrometer wird die Massenträgheit entscheidend, während ihre Bewegung durch Richtungsänderungen der Gasströmung praktisch unbeeinflusst bleibt. Eine um  $90^\circ$  geneigte Probenahme wirkt für 20 Mikrometer-Partikel mit einem Cut-off von über 99%, für 10 Mikrometer mit über 95% und für 5 Mikrometer mit rund 50% Wirkung.

Sofern die Masse von Partikeln grösser 1 Mikrometer vernachlässigbar ist, wirken sich somit Abweichungen des Winkels oder der Geschwindigkeit der Probenahme nicht auf die Bestimmung des Staubgehalts aus. Wenn dagegen Partikel grösser 1 bis 10 Mikrometer einen relevanten Beitrag am Gesamtstaub ausmachen, wirkt sich eine Abweichung der Absauggeschwindigkeit erheblich auf die erfasste Staubkonzentration aus. Eine noch stärkere Wirkung hat eine Winkelabweichung um 90°. Sofern senkrecht zur Strömungsrichtung abgesaugt wird, ist die Absauggeschwindigkeit nur noch von untergeordneter Bedeutung, da die Umlenkung als Cut-off für grobe Partikel wirkt.

Abbildung 30 zeigt Messresultate mit unterschiedlicher Absaugmenge aus dem Abgas bei Absaugung in Strömungsrichtung. Bei dem gezeigten Beispiel einer Wohnraumfeuerung mit geringer Leistung und damit einer isokinetischen Abgasgeschwindigkeit von lediglich 0.86 m/s führt eine 4.7-fach über-isokinetische Absaugung zu einem um annähernd den gleichen Faktor reduzierten Staubmesswert. Daraus geht hervor, dass bei der untersuchten Wohnraumfeuerung ein erheblicher Anteil Grobstaub im Abgas enthalten ist, der bei über-isokinetischer Absaugung verdünnt wird.

Bei Heizkesseln ist der Anteil an Partikeln grösser 10 Mikrometer in der Regel sehr gering, sodass eine nicht isokinetische Absaugung in der Regel nur einen unwesentlichen Einfluss auf den ermittelten Staubgehalt hat. Allerdings zeigt das Beispiel eines Planfilters einer mit Waldhackschnitzel betriebenen Rostfeuerung in Abbildung 29, dass auch grössere Feuerungen einen erheblichen Anteil an Grobstaub im Rohgas aufweisen können, weshalb auch für solche Fälle der Winkel oder die Absauggeschwindigkeit das Resultat erheblich beeinflussen können.



**Abbildung 29: Planfilter nach der Probenahme an einer automatischen Holzfeuerung beim Betrieb mit Waldhackschnitzeln und vor dem Multizyklon (Rostfeuerung 300 kW, Stand der Technik vor 2000) mit Staubemissionen zwischen 300 – 500 mg/m<sup>3</sup> (bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>) (Foto HSLU).**

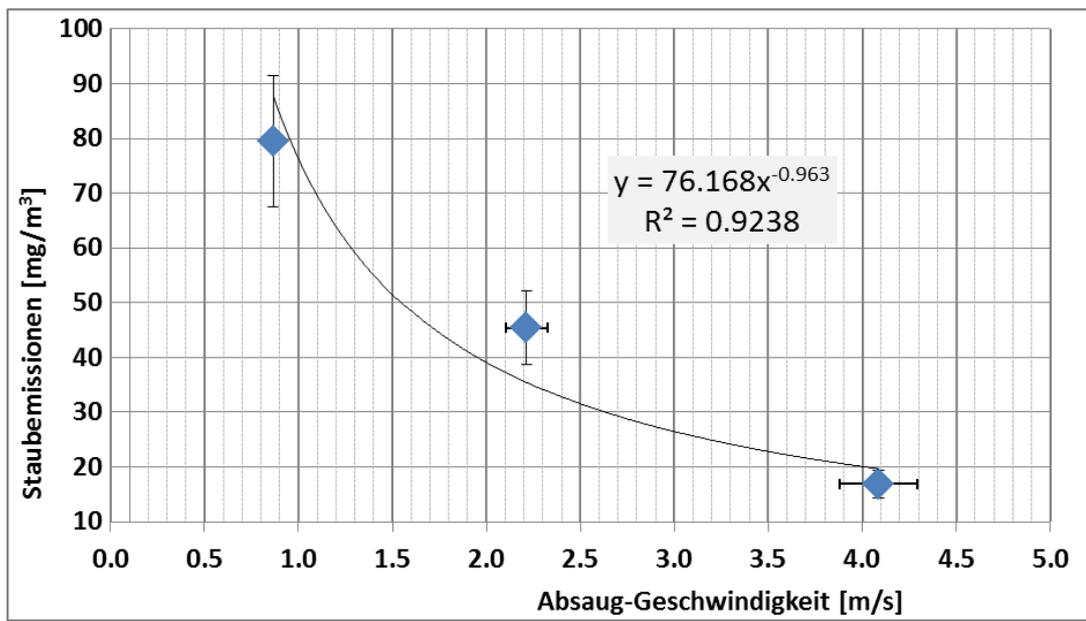


Abbildung 30: Staubemissionen einer Wohnraumfeuerung in Funktion der Absauggeschwindigkeit (Messungen FHNW). Die Messung mit 0.86 m/s entspricht einer isokinetischen Probenahme.

## 5 Erfahrungen

### 5.1 Prozess- und Messunsicherheit

Aus Sicht der Prüfstelle gibt ein Vergleich einzelner Abbrände an einer Wohnraumfeuerung und an einem Heizkessel, welche an verschiedenen Tagen mit unterschiedlichem Bedienpersonal durchgeführt wurden, Aufschluss über die Streuung des Prozesses handbeschickter Scheitholz-Feuerstätten und damit zur Reproduzierbarkeit von Messergebnissen (Prozessunsicherheit). Die Messwerte betreffen die Halbstunden-Mittelwerte während der Staubmessungen. Die nachfolgenden Messungen zeigen dazu jeweils einen Kaltstart und drei anschliessende Messungen an einem Versuchstag (Messungen 1 bis 4) sowie an einem späteren Versuchstag (Messungen 5 bis 8).

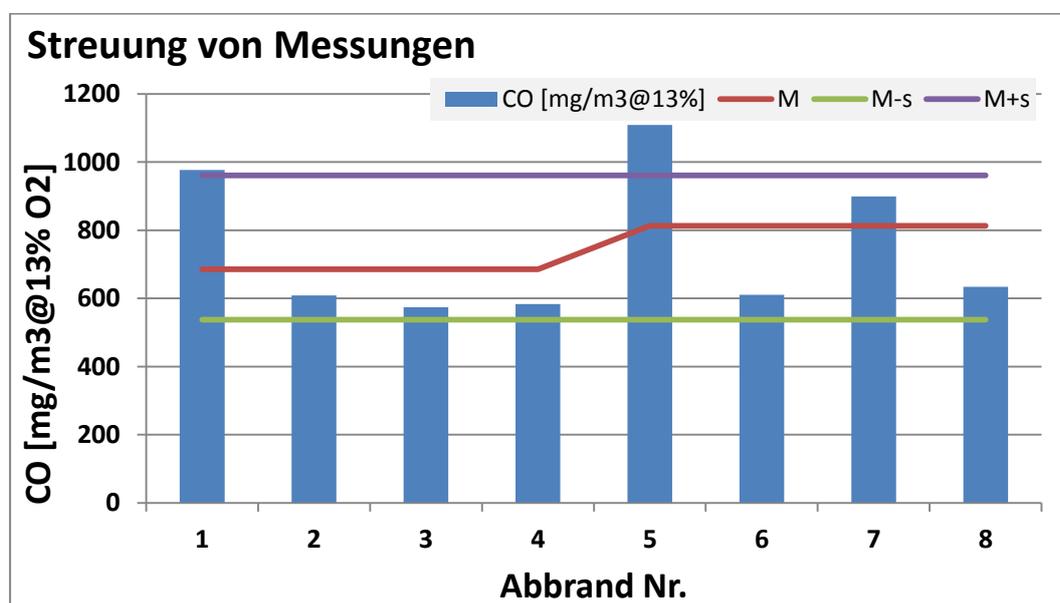


Abbildung 31: Halbstunden-Mittelwerte an CO während der Staubmessung. M bezeichnet den Mittelwert aus den Messungen 1 bis 4 am ersten Tag und den Messungen 5 bis 8 am zweiten Tag. M-s und M+s beschreiben die Standardabweichung des Mittelwerts über alle acht Messungen.

Bedingt durch die unterschiedlichen Abbrandphasen, beträgt die Prozessunsicherheit für die CO-Emissionen der 8 Messungen ca. 30 %, bei einer Messunsicherheit für die einzelne CO-Messung von < 4 %. Der O<sub>2</sub>-Wert selber schwankte über die 8 Messungen nur um 5 % ( $13.4 \pm 0.67$  %), was bei einer Messunsicherheit von < 3 % als sehr stabil zu betrachten ist.

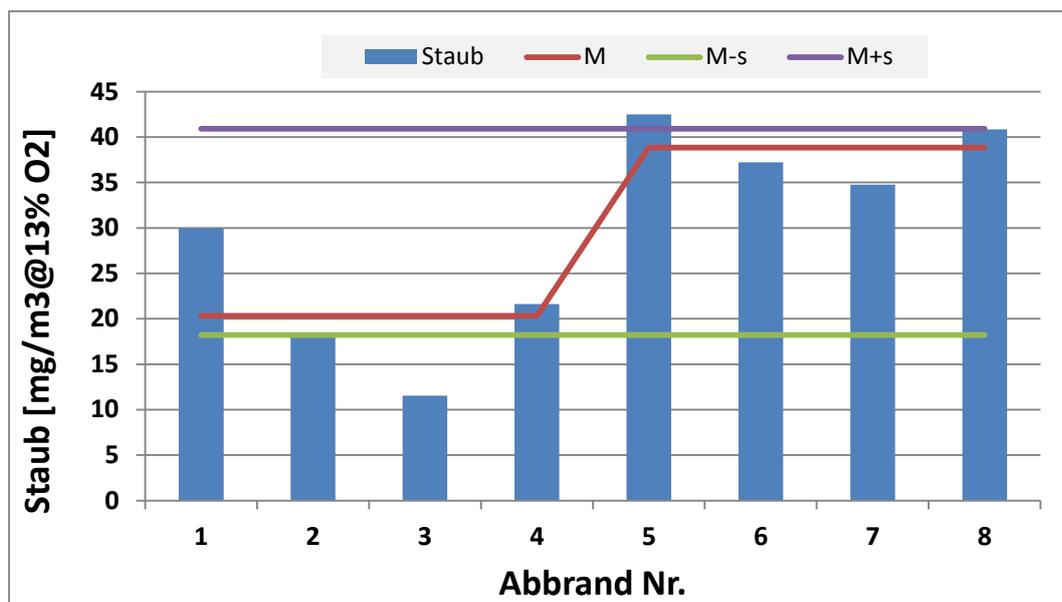


Abbildung 32: Halbstunden-Mittelwerte an Staub. Bezeichnungen wie oben.

Bei der Staubmessung beträgt die Prozessunsicherheit über alle 8 Messungen (Betrieb der Feuerung) 40% (nach obiger Abbildung). Die Messunsicherheit für die Staub-Messung liegt bei ca. 5%.

Grundsätzlich sind auf der Prüfstelle Messwerte erhältlich, die sich oft um einen Faktor 2 und mehr zwischen den besten und schlechtesten Messergebnissen unterscheiden. Da die Normen eine Wiederholung der Messungen nicht ausschliesst, werden in der Regel nur die besten Ergebnisse im Messbericht dokumentiert.

Darüber hinaus wird für Prüfstandsmessungen nur einwandfreies Brennholz ohne Astlöcher und mit geringem Rindenanteil verwendet, was sich positiv auf die Emissionen auswirkt, da ein erhöhter Aschegehalt insbesondere höhere Staubemissionen verursacht.

Aus diesen Erfahrungen wird abgeschätzt, dass bei handbeschickten Feuerungen im Feld Messwerte auftreten können, die 2- bis 3-mal über den Prüfstandsmessungen liegen, was durch Kaminfeger-Messungen in Deutschland bestätigt wurde [14]. Bei automatischen Feuerungen fallen die Streuungen der Messwerte auf der Prüfstelle geringer aus. Aus diesem Grund werden im Feld Messwerte erwartet, die maximal das Doppelte der Prüfstandsmessungen betragen. Dies wird aber durch die in [14] zitierten Kaminfeger-Messungen nicht gestützt, sondern es werden auch für automatische Feuerungen deutlich grössere Abweichungen gefunden.

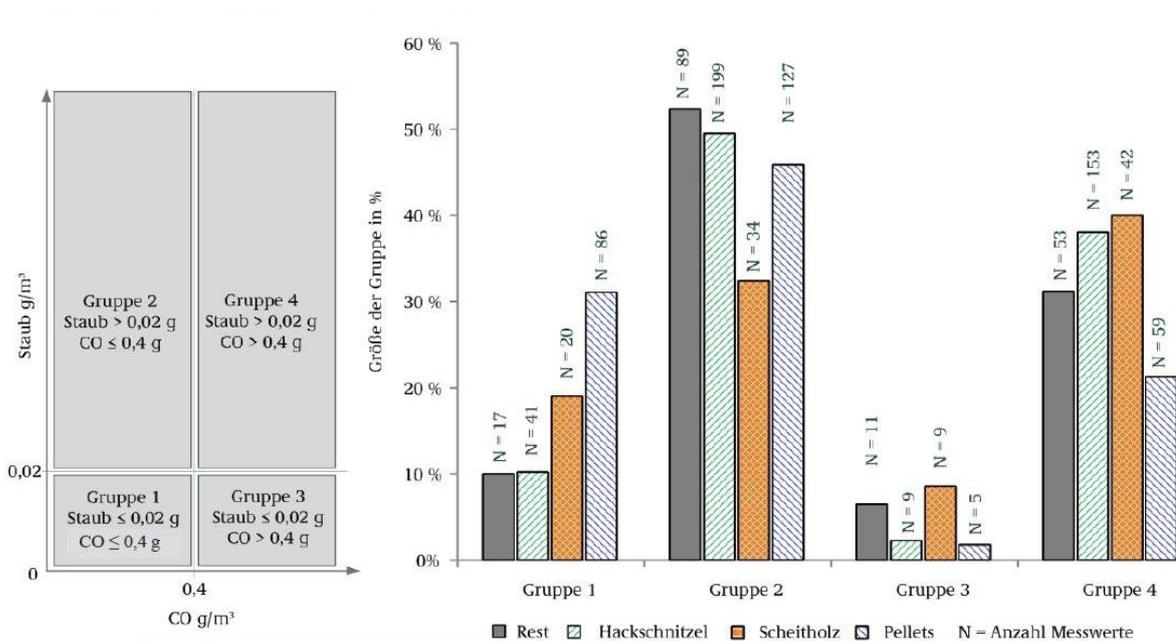
## 5.2 Vergleich der Ergebnisse aus dem Feld

Die Abbildung 33 zeigt Messresultate verschiedener Feuerungstypen im Feld. Die Anlagen sind dabei in vier Gruppen unterteilt, welche unterscheiden, ob der Grenzwert für CO oder der Grenzwert für Staub oder beide eingehalten werden. Die Summe aus den verschiedenen Gruppen ergibt für jeden Feuerungstyp 100%. N ist dabei die Anzahl Anlagen der jeweiligen Gruppe und sie beträgt für Pellet N=277 und für Holzhackschnitzel (HHS) N=402. Die Abbildung zeigt, dass bei Restholz und Holzhackschnitzel nur 10% und bei Pellets nur etwas mehr als 30% der Anlagen beide Grenzwerte (CO und Staub) einhalten. Die Erhebung zeigt auch, dass die Staub-Grenzwerte am häufigsten überschritten werden.

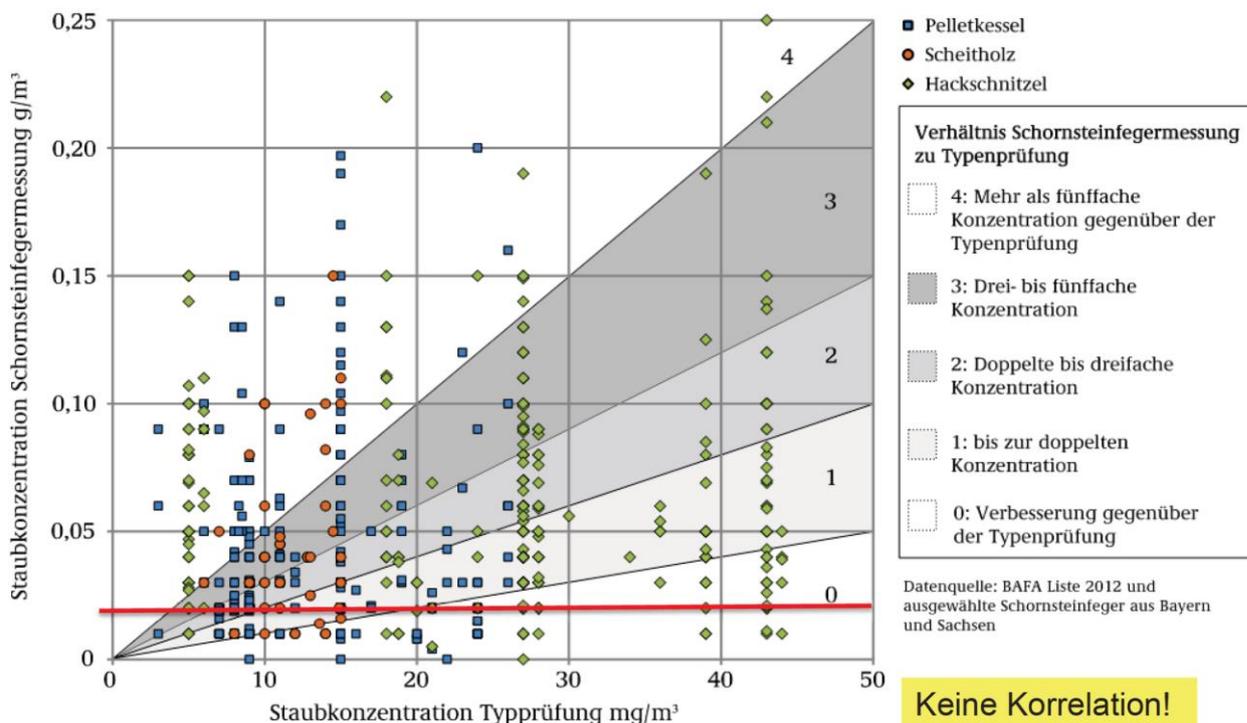
Abbildung 34 zeigt einen Vergleich zwischen den bei Kaminfe germessungen ermittelten Staubwerten und den bei der Typenprüfung ermittelten Werte. Daraus geht hervor, dass zwischen Kaminfe germessungen im Feld und Typenprüfungsmessungen durch ein Prüfinstitut keine relevante Korrelation festzustellen ist. In der Tendenz weisen die Kaminfe germessungen deutlich höhere Staube missionen auf. So zeigen über die Hälfte der Kaminfe germessungen Werte, die mehr als das Dreifache der Typenprüfung betragen. Demgegenüber werden aber vereinzelt auch tiefere Werte als auf dem Prüfstand ausgewiesen. Allerdings weisen vier Kaminfe germessungen gar einen Staubgehalt von null aus. Aufgrund dieser Daten ist allerdings keine Beurteilung möglich, was die Gründe für die fehlende Korrelation ist. Infrage kommen technische Unterschiede von Feuerung und Kamin, Einflüsse des Brennstoffs und der Betriebsweise, aber auch die Art der Messung. Bezüglich Messung ist insbesondere zu beachten, dass die Absaugung bei Kaminfe germessungen wie unter Kapitel 4.4.5 unter CEN/TS 15883 beschrieben zwar in Strömungsrichtung erfolgt, aber mit einer von der effektiven Strömungsgeschwindigkeit unabhängigen Absauggeschwindigkeit von 4 m/s ausgeführt wird. Für Wohnraumfeuerungen entspricht dies in der Regel einer deutlich über-isokinetischen Absaugung, was zu deutlich niedrigeren Messwerten im Vergleich zu einer isokinetischen Probenahme führen kann.

Ein ähnliches Bild liefert die Abbildung 35 von Carola Clean Air, einem Anbieter von Klein-Elektroabscheidern. Hier würden auch nur die wenigsten Anlagen die Anforderungen der Stufe 2 der 1. BImSchV einhalten. Bestehende Anlagen müssen aber für den weiteren Betrieb nur die Stufe 1 einhalten und damit fallen nur wenige unter die Sanierungspflicht.

Nebst den Staubwerten wäre auch interessant, die CO und OGC Emissionen im Feld zu kennen und ebenfalls mit Erstmessungen oder Typenprüfwerten zu vergleichen. Bezüglich CO könnten Kaminfe ger-Messungen Auskunft geben. Bei den OGC-Werten ist zu beachten, dass im Feld beim Kaltstart gemessen wird. Wie eine Untersuchung der HSLU zeigt [15], treten bei Heizkesseln grosse Unterschiede zwischen guten und schlechten Starts auf (Abbildung 36). Da der Anteil schlechter Starts für die Gesamtemissionen entscheidend sein kann, ist auch ein Vergleich der CO- und OGC-Emissionen von Typenprüfung und Feldmessungen von Interesse.



**Abbildung 33: Kaminfegermessungen unterteilt in vier Gruppen je nach Einhaltung der Grenzwerte der 2. Stufe der 1. BImSchV nach [14]. (Vermutlich ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit)**



**Abbildung 34: Gemessene Staubemissionen bei Kaminfegermessungen in Funktion der Staubmessungen bei der Typenprüfung nach [14].**

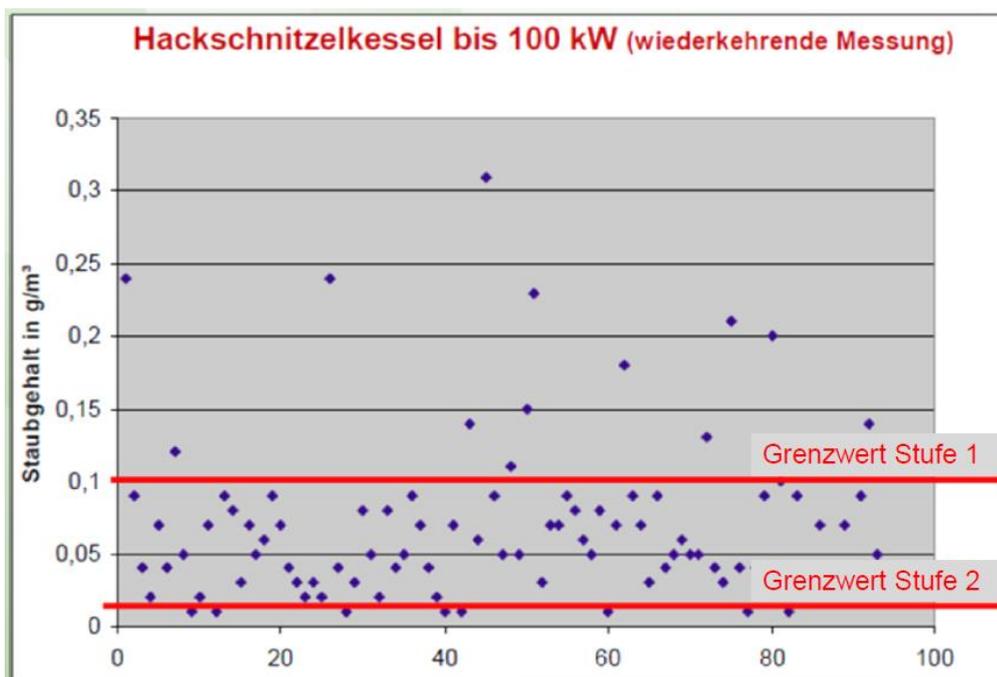


Abbildung 35: Auswertung von knapp 100 Schornsteifegermessungen (x-Achse = Nr. der Messung) [16].

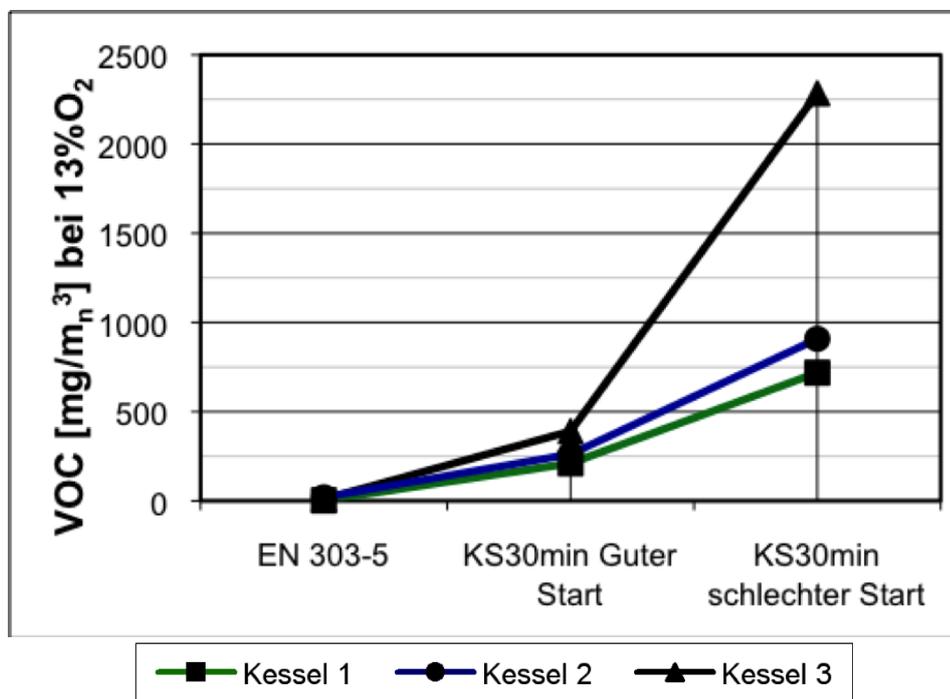
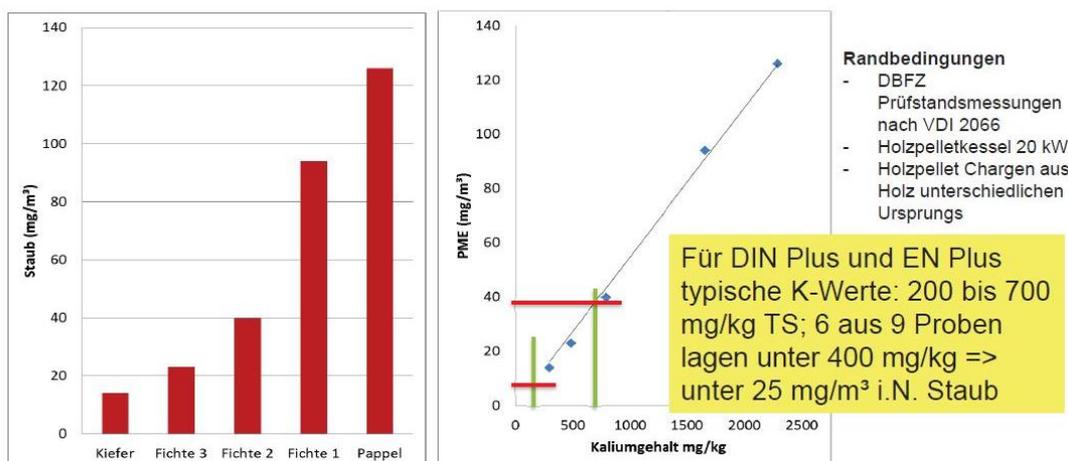


Abbildung 36: VOC-Emissionen von drei Heizkesseln bei Messungen nach EN 303-5 sowie mit Kaltstart bei gutem und bei schlechtem Start [15].

### 5.3 Brennstoff-Einfluss

Der Brennstoff hat einen wesentlichen Einfluss auf die Schadstoffemissionen. Direkte Auswirkungen haben die Gehalte an Mineralstoffen sowie an Stickstoff und Schwefel auf die Staubemissionen bzw. die Stickoxid- und Schwefelemissionen. So nehmen mit zunehmendem Gehalt an Kalium, Chlor und Schwefel die Staubemissionen zu, wie für Halmgut-Brennstoffe von [17] gezeigt wurde. Neuere Messungen mit Holzpellets bestätigen, dass der Staubgehalt mit zunehmendem Kaliumgehalt im Brennstoff ansteigt [14].



- Weitergehende Normung der Inhaltsstoffe von Holzpellets – z.B. Kalium, Silizium, Verhältniszahlen !? -> Änderung der Staubemissionen in der Praxis um bis zu 0,03 g/m³ i.N. bei 13% O<sub>2</sub>

**Abbildung 37: Einfluss der Inhaltsstoffe bei Holzpellets auf die Staub-Emissionen nach [14] Seite 9. (i. N. = im Normzustand)**

## 5.4 Korrelation zwischen CO und Staub

Abbildung 38 zeigt die Korrelation zwischen CO- und Staub-Emissionswerten für einen Stückholzkessel (32 kW), wobei nur Messwerte des Kaltstartes und der Betriebsphase bei NWL berücksichtigt sind, weil die Strömungsgeschwindigkeit einen grossen Einfluss auf die Staubemissionen hat. Die Korrelation zeigt, dass die erzielbaren Staubemissionen einen Grenzwert von etwa 12 mg/m<sup>3</sup> erreichen, wenn ein nahezu vollständiger Gasausbrand erreicht wird. Der dabei anfallende Staub ist grossteils mineralischer Natur und kann durch weitere Reduktion des CO-Gehalts nicht vermindert werden, während mit steigendem CO-Gehalt der Russ-Anteil der Staubemissionen zunimmt.

Das Beispiel zeigt auch, dass die von der Ecodesign-Verordnung vorgeschlagenen Grenzwerte von 300 mg/m<sup>3</sup> für CO und von 20 mg/m<sup>3</sup> für Staub mit diesem Heizkessel erreicht werden können.

Wenn aus Kostengründen eine einfache Messung erforderlich ist, kann CO somit eine Mindestanforderung darstellen, obwohl der CO-Gehalt allein keine sichere Beurteilung von Staub und OGC erlaubt.

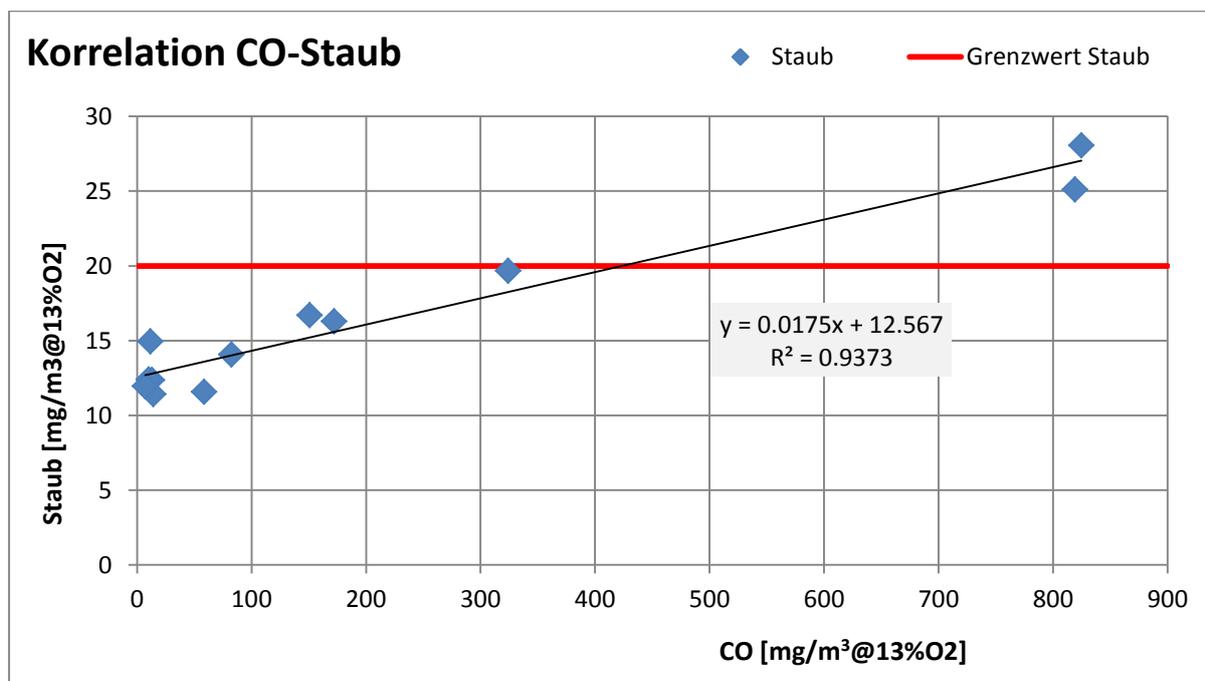


Abbildung 38: Korrelation zwischen CO und Staub aus Prüfstandsmessungen (Messungen FHNW an einem Stückholzkessel).

## 5.5 Anteil von CH<sub>4</sub> in OGC

Der Anteil Methan an OGC liegt nach einer Erhebung zu den Emissionsfaktoren [18] im Bereich zwischen 15% und 50%. Ohne weitere Informationen wird für Holzfeuerungen ein Wert von 40% angenommen.

Messungen der FHNW liegen im Bereich zwischen 25% und 40%. Parallelmessungen mit 2 JUM FID (einer davon im CH<sub>4</sub>-Mode) an der FHNW (Projekt EN-PME) haben an einem Pelletbrenner mit sehr niedrigen OGC Konzentrationen (am 7.10.2011) einen Wert von 36% ergeben, am 16.4.12 einen Anteil von 26%. Die Messungen an einem Cheminée (am 4.4.12) ergaben einen mittleren Anteil von ca. 40% CH<sub>4</sub> am gesamt Kohlenwasserstoff. Am 5.4.12 einen Anteil von 35%. Der Methan-Anteil weist allerdings einen charakteristischen Verlauf über den Abbrand auf mit niedrigen Werten während der stationären Phase mit heissem Brennraum und hohen Werten beim Start und im Ausbrand.

## 5.6 Neue Entwicklungen

### 5.6.1 Übersicht

In diesem Kapitel sollen einerseits die Entwicklungen gezeigt werden, die dazu geführt haben, dass die Feuerstätten die geforderten Grenzwerte einhalten, sowie eine Zusammenstellung aktueller Messwerte auf dem Prüfstand. Ein Bild der Entwicklung der Emissionen auf dem Prüfstand zeigt Abbildung 39. Dies zeigt die Entwicklung des Standes der Technik in den letzten Jahrzehnten.

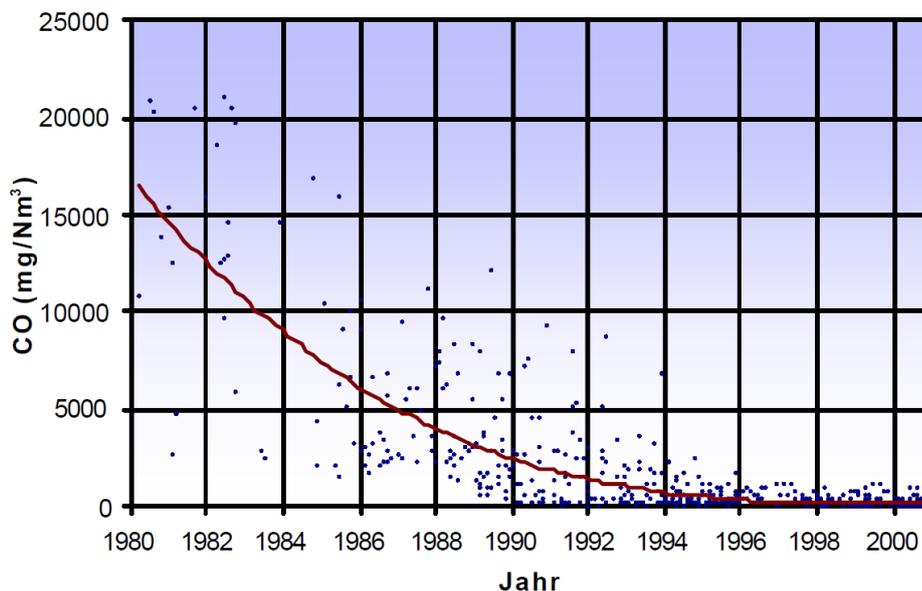


Abbildung 39: Entwicklung der CO-Emissionen von Pelletfeuerungen in den letzten 20 Jahren, [19].

Zu den etablierten Entwicklungen von Primärmaßnahmen gehören:

- Stückholzkessel mit unterem Abbrand und zweistufiger Verbrennung („Vergaser-Kessel“)
- Pellet- und Hackgut-Kessel mit gestufter Verbrennung
- Der Einsatz von Ventilatoren für die Luftzuführung und/oder die Abgasabführung
- Automatische Entaschungen bei Pelletfeuerungen
- Verbesserte Steuerungen und teilweise der Einsatz von Regelungen mit Sensoren
- Der Einsatz von Wärmespeichern mit Speicherregelung bei handbeschickten Heizkesseln und vermehrt auch bei Pelletkesseln und automatischen Heizkesseln.

Demgegenüber kommen für Holzöfen und Kochherde die Möglichkeiten der zweistufigen Verbrennung bis anhin erst bei einzelnen Geräten zum Einsatz, die am Markt bis anhin keinen relevanten Anteil ausmachen und deren Vorteile beim Einsatz im langjährigen Gebrauch noch nicht sicher bewertet werden können.

### **5.6.2 Stückholzkessel mit zweistufiger Verbrennung**

Die CO- und Staubemissionen von Stückholzkesseln konnten durch Einsatz einer zweistufigen Verbrennung (auch als „Holzvergaser-Kessel“ bezeichnet) und von Ventilatoren sowie von verbesserten Steuerungen und Regelungen deutlich reduziert werden. Die Technik mit unterem Abbrand (Sturzbrand oder unterer seitlicher Abbrand) wurde vor über 30 Jahren am Markt eingeführt und seither stetig weiter entwickelt. Nach diesem grossen Entwicklungsschritt ist davon auszugehen, dass das weitere Optimierungspotenzial dieser Technik in Bezug auf die Emissionswerte bei stationärem Betrieb und bei Nennlast nur noch begrenzt ist. Moderne Stückholzkessel dieser Bauart können die vorgesehenen CO-, Staub-, und OGC-Grenzwerte der Ecodesign-Verordnung grossteils einhalten, wie eine Gegenüberstellung der Messresultate von Prüfberichten von FHNW und der Prüfstelle in Wieselburg nach Abbildung 40, Abbildung 41 und Abbildung 42 zeigen. Eine Herausforderung wären die ursprünglich vorgeschlagenen Grenzwerte für Staub der Ecodesign-Verordnung (2013) gewesen, welche von weniger als der Hälfte aller Anlagen eingehalten worden wären. Kritisch ist die Einhaltung des vorgesehenen Stickoxidgrenzwerts. Für die Beurteilung der Staub- und Stickoxidgrenzwerte ist zu beachten, dass für die Prüfung der niedrigen Grenzwerte nach Ecodesign-Verordnung die Gehalte an Asche und Stickstoff im Brennstoff entscheidend sind. Eine Prüfung ohne Berücksichtigung der Asche- und Stickstoffgehalte ist deshalb nur beschränkt aussagekräftig, weshalb die Gehalte an Asche und Stickstoff geeignet berücksichtigt werden sollten.

Für den Praxiseinsatz von Stückholzkesseln existiert hauptsächlich noch ein Verbesserungspotenzial in Bezug auf das Startverhalten. Anzustreben ist das Erzielen einer kurzen Startphase und insbesondere einer hohen Reproduzierbarkeit guter Starts. Da auf dem Prüfstand eine Wiederholung der Messung zulässig ist, wird diese Anforderung auf dem Prüfstand nicht ausreichend berücksichtigt. Daneben besteht ein Bedarf zur Optimierung des Betriebs bei niedrigeren Leistungen, um die Kosten und Verluste für den zusätzlichen Wärmespeicher zu reduzieren. Betreffend das Potenzial für weitere Optimierungen wird davon ausgegangen, dass nebst der Verbrennungstechnik vor allem die Regelungstechnik und der Einsatz zusätzlicher und präziserer Sensoren (Lambda, Temperatur, Volumenstrom, evtl. Wassergehalt und weitere) zunehmend an Bedeutung gewinnen wird. Für das Startverhalten bestehen zudem Entwicklungen zur Automatisierung auch bei Stückholz.

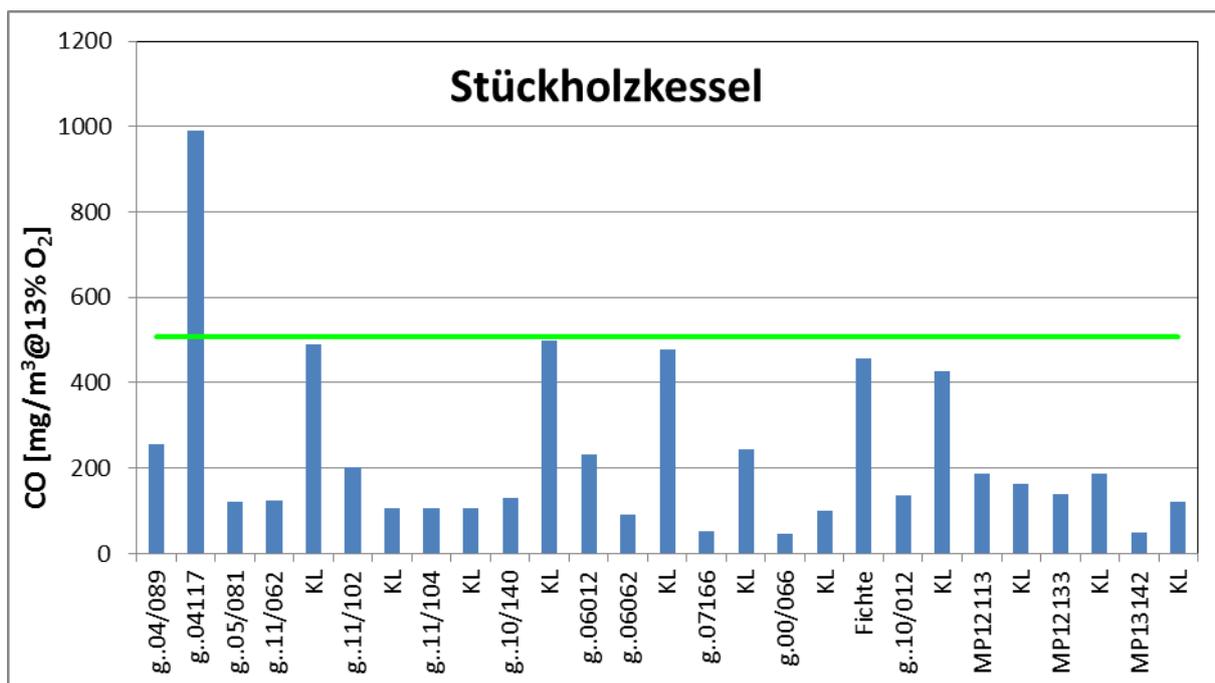


Abbildung 40: CO-Messwerte aus Prüfberichten von FHNW und der Prüfstelle Wieselburg (blau) und Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün). KL = Kleinlast.

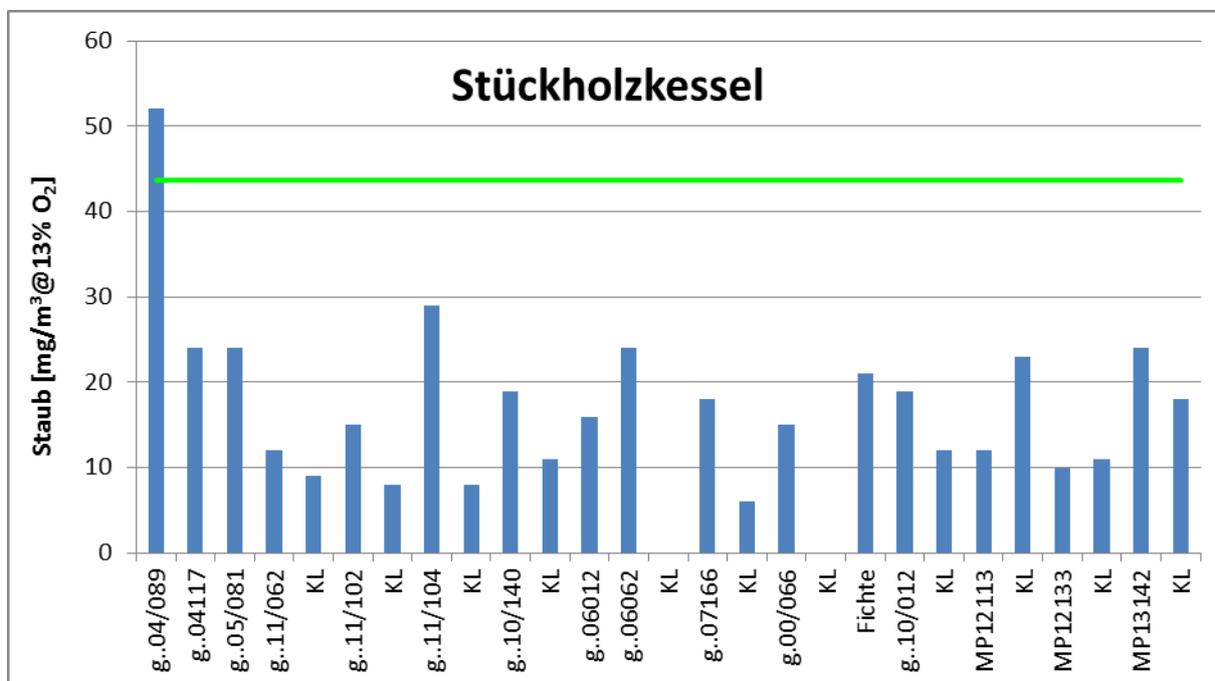


Abbildung 41: Staub-Messwerte aus Prüfberichten (blau) und Grenzwert der BImSchV Stufe 2, bzw. Ecodesign-Verordnung (grün).

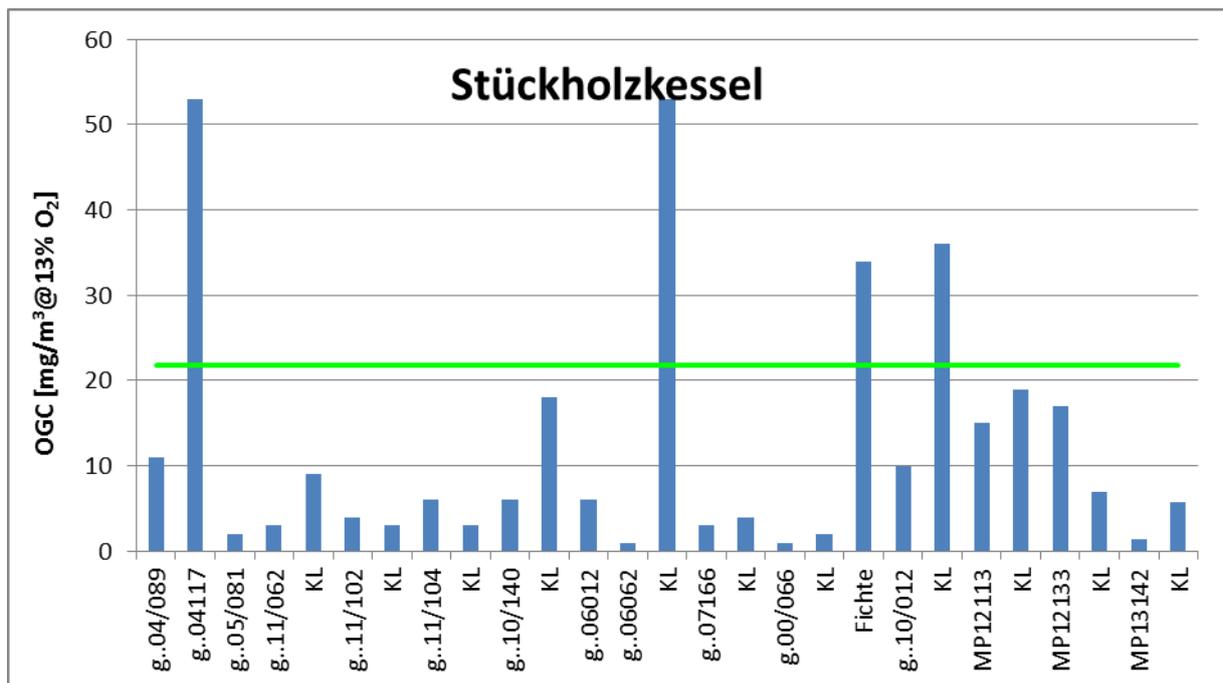


Abbildung 42: OGC-Messwerte aus Prüfberichten (blau) und Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün).

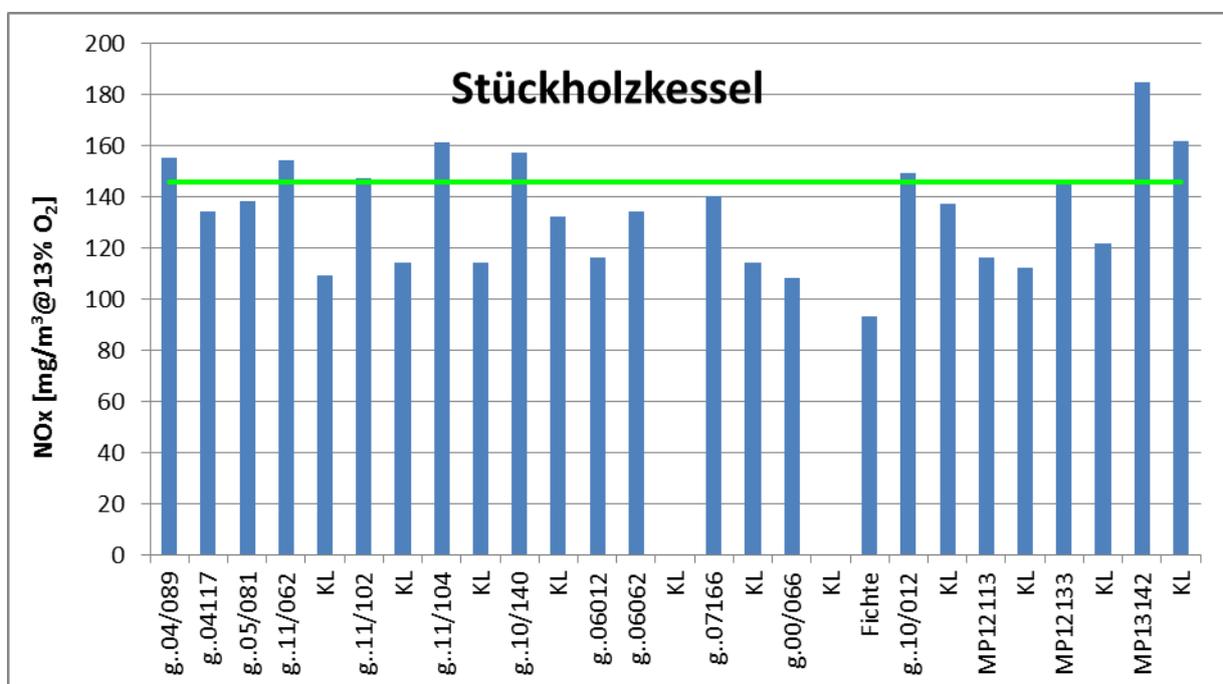


Abbildung 43: NOx-Messwerte aus Prüfberichten (blau) und Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün).

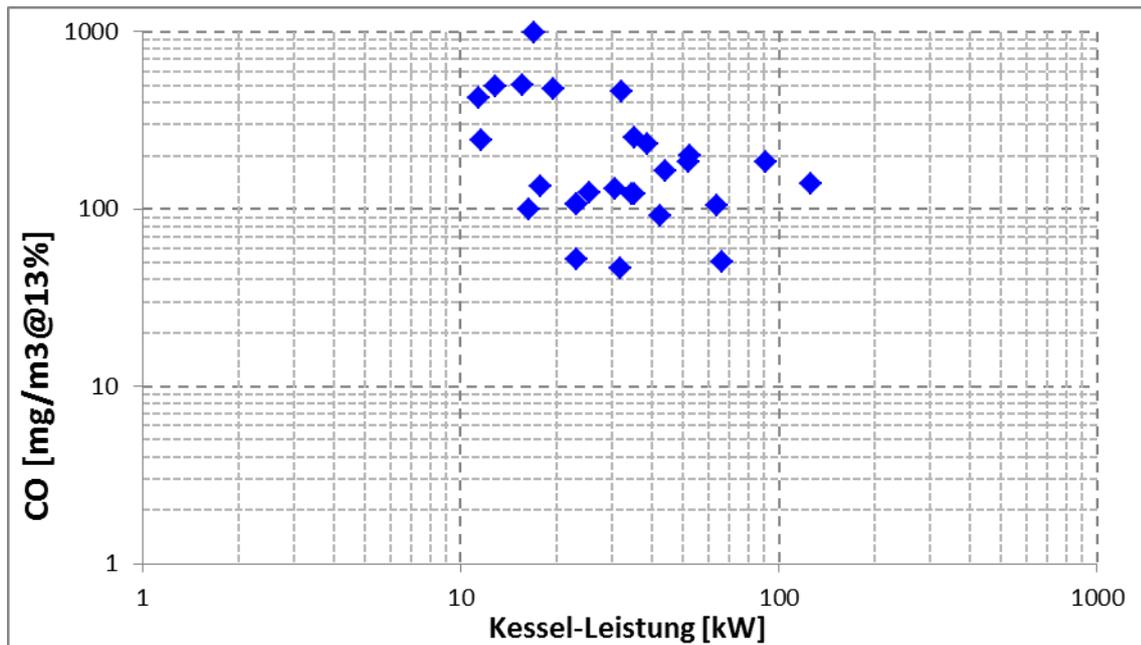


Abbildung 44: CO-Emissionen in Funktion der Kessel-Leistung von Stückholzkesseln mit unterem Abbrand.

Die Übersicht der CO-Emissionen bezogen auf die NWL der geprüften Feuerung ist im Folgenden auch für die anderen Feuerungsarten (Hackgut und Pellet) aufgeführt. Die Achsen sind der Übersichtlichkeit halber identisch gewählt.

### 5.6.3 Hackgut-Feuerungen

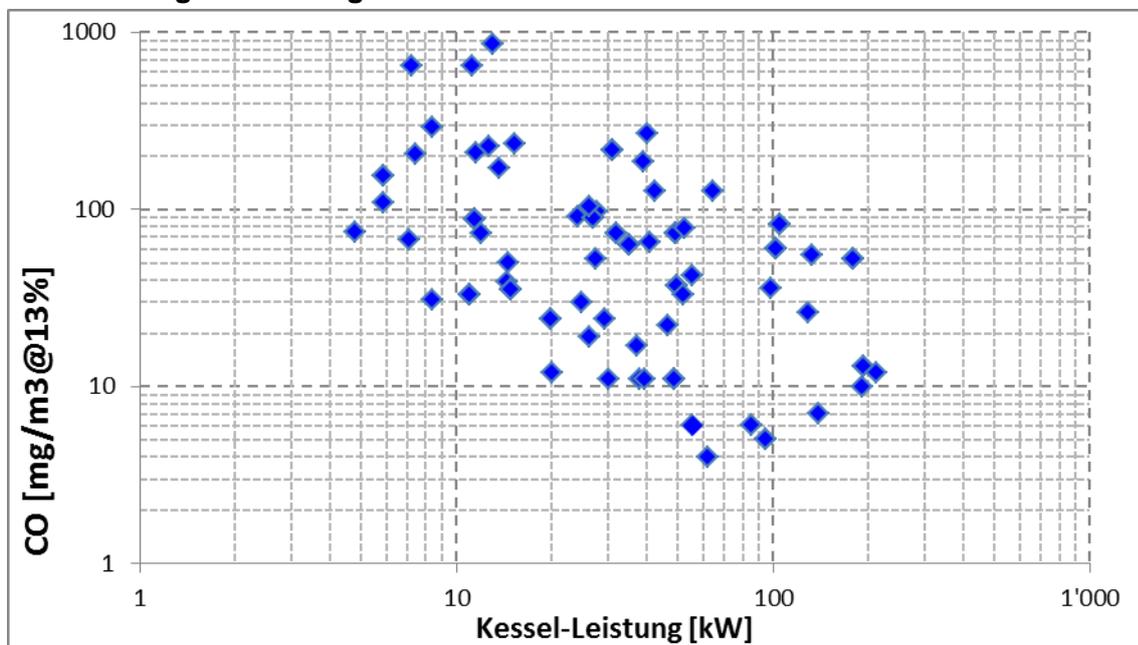


Abbildung 45: CO-Emissionen von Hackgut-Feuerungen in Funktion der Leistung.

### 5.6.4 Pellet-Feuerungen

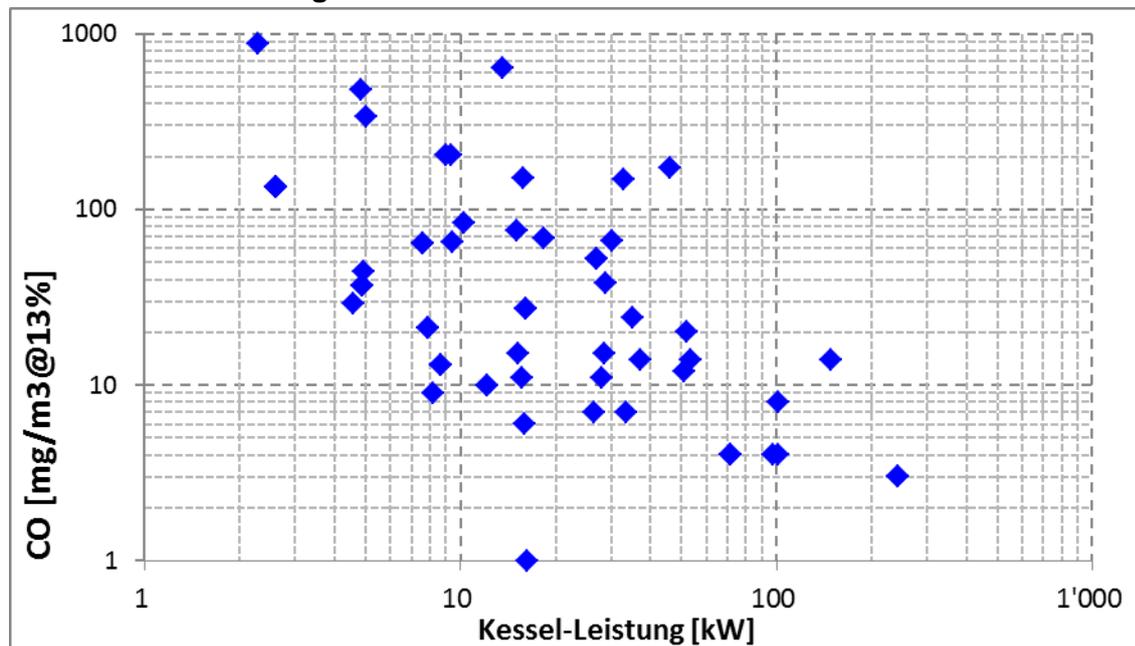


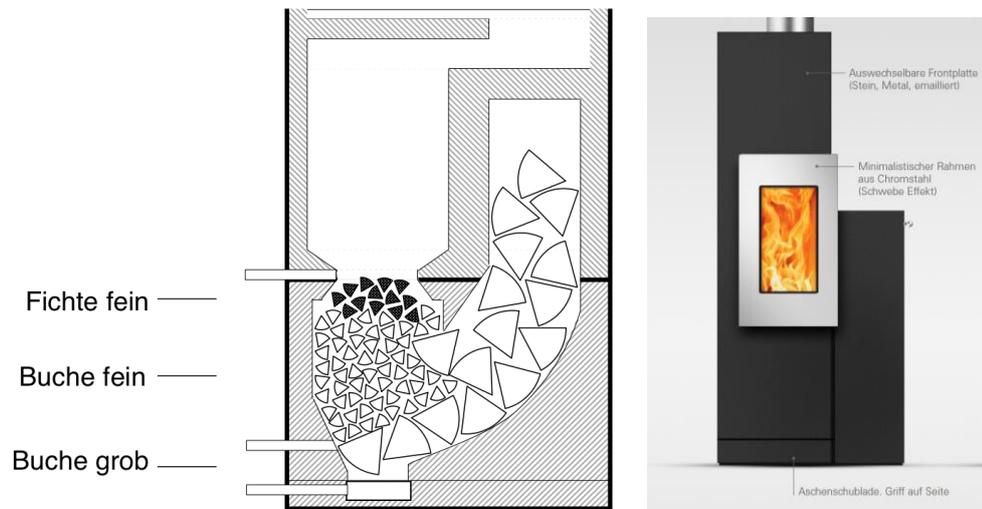
Abbildung 46: CO-Emissionen von Pellet-Feuerungen in Funktion der Leistung.

### 5.6.5 Wohnraumfeuerungen und Kochherde mit zweistufiger Verbrennung

In den letzten Jahren wurden verschiedene Entwicklungen für Wohnraumfeuerungen mit zweistufiger Verbrennung durchgeführt, welche tiefe CO- und Staubemissionen erreichen und die schärferen Grenzwerte der 1. BImSchV und der Ecodesign-Verordnung bei der Typenprüfung erreichen können.

Ein Konzept mit seitlichem Nachrutschen des Holzes in eine Retorte wurde durch die HSLU und die Firma Tiba AG entwickelt [20]. Daneben wurde das Prinzip des Sturzbrands von verschiedenen Firmen eingeführt, darunter Xeoos [21] und Attika Feuer AG [22] und das Produkt Walltherm [23]. Da der Sturzbrand allerdings nicht bei allen Verbrennungsbedingungen zum Einsatz kommt und insbesondere für das Anfeuern mit Naturzug nicht genutzt werden kann, wird der Sturzbrand bei Wohnraumfeuerungen in der Regel mit einem Bypass ausgeführt, welcher die Flamme beim Starten durch eine obere Brennkammer mit konventioneller Verbrennung leitet. Dadurch wird einerseits der Vorteil des Sturzbrands nicht während der ganzen Abbranddauer genutzt und es besteht zudem die Möglichkeit, dass der Bypass im Praxiseinsatz häufiger zum Einsatz kommt als bei der Prüfstandsmessung.

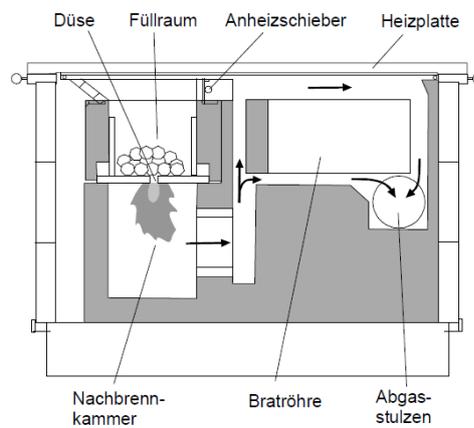
Das Prinzip des seitlichen unteren Abbrands und des Sturzbrands wurde auch für Kochherde eingeführt, zum Beispiel von Tiba AG (Schweiz) oder später von Gangl (Österreich). Bei Kochherden kann damit auch das Quenchen der Flamme an der kalten Herdplatte verhindert werden. Allerdings weisen auch diese Prinzipien in der Regel einen Bypass auf.



**Abbildung 47: Kaminofen Bionic Fire mit Sturzbrand [20].**



**Abbildung 48: Kaminofen Bionic Fire mit Sturzbrand [22].**



**Abbildung 49: Aufbau eines Kochherdes mit unterem Abbrand [24].**

Weitere Verbesserungen auf der Primärseite umfassen teilweise eine Kombination von mehreren Massnahmen. Als Beispiel dafür kann das System ECOplus von Hark betrachtet werden. Bei dieser Feuerung werden mit Hilfe von a) einer Gussmulde, b) einem mit Spezialkeramik ausgekleideten Feuerraum, c) gestufter Luftführung und d) einer offenporigen Schaumkeramik als Umlenplatte die Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und Staub signifikant reduziert.

### **5.6.6 Weitere Verbesserungsmassnahmen und Sekundärmassnahmen**

Für die Nachrüstung oder den Neubau von Cheminées stehen sogenannte Pellet-Boxen als neue Entwicklung zur Verfügung, die es ermöglichen sollte, ein Cheminée mit niedrigen Emissionen zu betreiben. Ob dies eine Möglichkeit ist, mit Cheminées die Anforderungen der Stufe 2 der 1. BImSchV zu erfüllen, ist noch offen.

Nebst Primärmassnahmen an den Feuerungssystemen, welche durch die Typenprüfung der Holzfeuerungen geprüft werden, kommen weitere Massnahmen zur Schadstoffminderung in der Praxis zum Einsatz. Dazu gehören:

- Elektroabscheider zur Staubabscheidung
- Nasswäscher zur Staubabscheidung
- Katalysatoren nach der Feuerung zur Oxidation von CO, Russ und OGC.

Diese Sekundärmassnahmen wurden in den letzten Jahren für den Leistungsbereich unter 100 kW für Neuanlagen und zum Nachrüsten entwickelt. Falls diese Geräte ein fester Bestandteil der Feuerung sind, werden sie im Rahmen der Typenprüfung als Teil des Systems bewertet. Bis anhin sind sie in der Regel jedoch als der Feuerung nachgeschaltete, unabhängige Geräte ausgeführt. In dem Fall sind sie nicht Teil der Typenprüfung von Holzfeuerungen, sie können dagegen im Feld eingesetzt werden, um die Emissionen im Praxiseinsatz zu reduzieren.

Der Stand der Technik für Sekundärmassnahmen zeigt auf dem Prüfstand die gewünschte Emissionsminderung. In Bezug auf die Langzeitwirkung (Zuverlässigkeit und Wirksamkeit) solcher Massnahmen im Betrieb ist ihr Einsatz noch unsicher. Ausserdem sind die Einbaumöglichkeiten aufgrund von Kosten, Kaminzug, Sicherheit, Lärm und Reinigung teilweise beschränkt. Sofern zudem die Grenzwerte im Betrieb nur mit Sekundärmassnahmen eingehalten werden, müssten Massnahmen im Sinne einer Überwachung oder Kontrolle eingeführt werden, welche den Betrieb der Geräte in der Praxis sicherstellen. So besteht etwa bei Elektroabscheidern die Möglichkeit, dass die Hochspannung beim Kaltstart ausgeschaltet wird, bzw. der Abscheider erst eingeschaltet wird, wenn die Abgastemperatur einen bestimmten Wert überschritten hat, was den Nutzen gerade in der bezüglich Emissionen kritischen Phase reduziert. Bei Katalysatoren besteht die Problematik, dass diese beim Starten der Feuerung in der Regel mit einem Bypass umgangen werden bzw. der Katalysator aus dem Abgasstrom herausgeklappt wird, da der Kaminzug zur Überwindung des Druckverlusts bei kaltem Kamin noch nicht verfügbar ist. Damit entfällt ebenfalls der Nutzen in der bezüglich Schadstoffen kritischen Phase. Ausserdem ist der Katalysator erst bei Überschreiten einer bestimmten Temperatur wirksam, sodass selbst bei aktivem Durchströmen des Katalysators die Wirkung nicht dauernd gewährleistet ist. Schliesslich ist der Einsatz von Katalysatoren und teilweise auch von Elektroabscheidern in einem Zielkonflikt zur Energieeffizienz, sofern zum Betrieb dieser Geräte höhere Abgastemperaturen eingestellt oder die Anlagen auf höhere Abgastemperaturen ausgelegt werden. In beiden Fällen führt die Abscheidung brennbarer Stäube oder die Kon-

densation von OGC zudem zu einer potenziellen Brandlast, was durch entsprechende Sicherheitsanforderungen berücksichtigt werden muss.

### 5.6.7 Schwachstellen

Heutige Konstruktionen weisen oft einen oder mehrere der folgenden Schwachpunkte auf, die dazu führen, dass die Grenzwerte nicht eingehalten werden können:

1. Nicht-Erfüllen der Anforderungen von Mischung, Temperatur und Verweilzeit (TTT: Turbulence, Temperature, Time) zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung, zum Beispiel wegen:
  - unzureichende Mischung von Gasen und Verbrennungsluft (z. B. Strähnenbildung), unzureichende aerodynamische Gestaltung,
  - zu hohe Wärmeabgabe im Feuerraum (mangelnde Wärmedämmung, Sichtfenster usw.),
  - zu grosser Luftüberschuss, der betrieblich nicht geeignet reduziert werden kann (z.B. wegen Undichtheit wie unter Punkt 2 ausgeführt),
  - zu kleiner Luftüberschuss, der betrieblich nicht ausreichend erhöht werden kann (zu kleine Luftzuführungen).Für Cheminées in Stahlkonstruktion und Wärmeentzug aus dem Feuerraum (z.B. Warmluftcheminée) ist davon auszugehen, dass niedrige Grenzwerte kaum sicher erfüllt werden können, da insbesondere die erforderliche Verbrennungstemperatur für einen vollständigen Ausbrand nicht erreicht wird.
2. Ungenügende Dichtheit der Feuerung gegenüber der Umgebung verursacht grosse Falschlufmengen. Dies verursacht entweder einen grundsätzlich sehr hohen Luftüberschuss (mit niedriger Feuerraumtemperatur) oder führt - bei Absenkung des Luftüberschusses - durch Luftzuführung an ungeeigneter Stelle und damit zu unzureichender Durchmischung. Unzureichende Dichtheit zwischen Füllraum und Brennkammer oder Kamin führt zu unkontrollierten Strähnen von Gasen, welche die heisse Brennkammer nicht durchströmen. Hierzu ist zu beachten, dass die Schamotte laut Norm keine Dichtungsfunktion übernehmen darf. Es kann aber vorkommen, dass die Schamotte im Neuzustand eine Dichtungsfunktion aufweist, die jedoch nach Transport und Installation oder nach längerer Betriebszeit nicht mehr gewährleistet ist.
3. Konstruktionen, die an ungeeigneten Orten Staubablagerungen ermöglichen, die in späteren Betriebsphasen zu Wiedereintrag von Staub in den Abgasstrom führen, etwa beim nächsten Start der Feuerung. Kohlenstoffhaltige Ablagerungen können zudem zu Neubildung von Schadstoffen führen. Dies betrifft bei hohen Temperaturen einerseits Kohlenmonoxid aus  $\text{CO}_2$ , andererseits bei mittleren Temperaturen zum Beispiel die de-novo Synthese von Dioxinen.
4. Ungeeignetes Regelverhalten oder ungeeignete Luftklappenkennlinien. Es ist eine anspruchsvolle Aufgabe, bei Holzvergaser-Brennern die Leistung und den Luftüberschuss möglichst unabhängig zu regeln. Vergaser sind teilweise empfindliche Konstruktionen, bei denen Flammenabriss zu plötzlichen hohen Emissionen führen, die es zu verhindern gilt.

## 6 Schlussfolgerungen/Empfehlungen

### 6.1 Wahl der Schadstoffe und Messverfahren für Grenzwerte

#### 6.1.1 These 1 und These 2 zur Umweltrelevanz

##### **These 1: Umweltrelevante Schadstoffe**

Als besonders umweltrelevant für die von mit naturbelassenem Holz betriebenen Kleinfeuerungen gelten organische Schadstoffe und lungengängiger Feinstaub. Von zweiter Priorität ist daneben der Beitrag von Holzfeuerungen zu den Stickoxiden. Demgegenüber ist der Gehalt an Kohlenmonoxid im Abgas von Holzfeuerungen zwar ein potenzielles Sicherheitsrisiko und ein Verlust an Heizwert, jedoch in Bezug auf die Luftreinhaltung heute nur von untergeordneter Bedeutung.

Bei Limitierung der Emissionskontrolle auf die zwei Schadstoffgruppen von organischen Verbindungen und Feststoff im heissen Abgas wird das Potenzial an gesundheitsschädlichem Feinstaub in der Umgebungsluft in geeigneter Art beschränkt. Nicht abgedeckt sind damit zwar Stickstoff- und Schwefelverbindungen (die auch zu sekundärem Feinstaub beitragen) sowie Schwermetalle. Die Stickstoffverbindungen sind jedoch durch den natürlichen Stickstoffgehalt auf einen abschätzbaren Wert begrenzt und teilweise durch NO<sub>x</sub>-Grenzwerte limitiert, die Schwefelemissionen von naturbelassenem Holz sind noch deutlich geringer und die Schwermetallemissionen sind nur in Ausnahmefällen relevant (etwa bei Holz von Obstplantagen oder Rebstöcken, die entsprechend behandelt wurden und als „naturbelassen“ deklariert werden). Aus diesem Grund wird für Anlagen im Leistungsbereich unter 500 kW vorgeschlagen, die Grenzwertfestlegung auf organische Verbindungen und Feststoffe einzuschränken.

##### **These 2: Zusammensetzung von Feinstaub in der Umgebungsluft**

Feinstaub in der Umgebungsluft wird in drei Anteile unterteilt, nämlich:

1. primärer, als Feststoff im heissen Abgas gemessenen Feinstaub,
2. kondensierbaren Verbindungen, die bei Abkühlung in der Atmosphäre flüssig oder fest anfallen
3. in der Atmosphäre gebildeten sekundären Verbindungen, insbesondere sekundäres organisches Aerosol (SOA), das aus OGC im Abgas und weiteren Verbindungen gebildet wird.

Aus These 1 und These 2 folgt, dass zwei Ansätze infrage kommen, um mit Emissionsgrenzwerten die daraus zu erwartende, umweltrelevante Belastung der Umgebungsluft zu beschränken:

### **Ansatz 1: Messung der umweltrelevanten Schadstoffe im heissen Abgas.**

Variante 1 (Basis): Als umweltrelevant bewertete Komponenten sind nach These 1 grundsätzlich Feststoff und OGC im heissen Abgas zu messen und als Hilfsgrösse eine Bezugsgrösse ( $O_2$  oder  $CO_2$ ) zu bestimmen. Da Kohlenmonoxid zur Beschreibung der Verbrennungssituation hilfreich sowie in Bezug auf Sicherheit und Wirkungsgrad relevant ist und gleichzeitig einfach zu messen ist, wird vorgeschlagen, CO als weitere Komponente grundsätzlich ebenfalls zu messen, sodass Ansatz 1 als Basis die Messung von CO, OGC und Feststoff umfasst. Als Bezugsgrösse dient bis anhin der Sauerstoffgehalt, der sich bewährt hat und beibehalten oder alternativ durch den  $CO_2$ -Gehalt berechnet werden kann.

Variante 2 (vereinfacht): Als mögliche Vereinfachung kommt nebst Staub eine Messung von CO anstelle von OGC infrage, da zwischen CO und OGC eine Korrelation vorausgesetzt werden kann. Die Aussagekraft wird dadurch allerdings eingeschränkt, da der OGC-Gehalt nicht nur vom CO-Gehalt abhängig ist, sondern durch weitere Parameter, darunter der Abbrandphase, beeinflusst wird.

Variante 3 (vereinfacht): Als weitere Vereinfachung kommt auch die alleinige Messung von CO und  $O_2$  infrage. Die Aussagekraft wird ohne Feststoffmessung allerdings erheblich eingeschränkt, da der CO-Gehalt lediglich ein Indiz für den unverbrannten Anteil im Feststoff ist und auch OGC und kondensierbare organische Verbindungen durch CO wie oben erwähnt nicht sicher bestimmt werden können.

### **Ansatz 2: Messung der Schadstoffe bei umgebungsähnlichen Bedingungen.**

Durch Bestimmung der Schadstoffkomponenten bei umgebungsähnlichen Bedingungen soll die in der Atmosphäre zur Wirkung kommende Belastung beurteilt werden. Ein einfacher Zwischenschritt zwischen primären Emissionen und finaler Belastung in der Umgebung ist eine Verdünnung zur Abkühlung der Abgase, die bewirkt, dass die primären kondensierbaren Verbindungen flüssig oder fest anfallen und als Feinstaub detektiert werden. Dazu kommen eine Verdünnung des gesamten Abgasstroms in einem Verdünnungstunnel mit Messung des Staubgehalts oder die Verdünnung eines Teilstroms in einer entsprechenden Probenahme infrage.

Die Ansätze 1 und 2 erfassen ganz oder teilweise das primäre Aerosol, das die primären Feststoffe und die kondensierbaren Verbindungen enthält. Daneben besteht auch die Möglichkeit, die Bildung von SOA rechnerisch aus dem Anteil Nicht-Methan OGC abzuschätzen oder SOA durch UV-Strahlung der Abgase zu erzeugen und zu messen. Entsprechende Methoden kommen in der Atmosphärenforschung zum Einsatz („Smog chamber“) und es bestehen auch Entwicklungen, diese Methodik als mobile Messtechnik einzusetzen („Micro smog chamber“).

**Empfehlung zur Wahl von Ansatz 1 (Messung im Abgas) oder Ansatz 2 (Messung bei umgebungsähnlichen Bedingungen):**

Für die Festlegung von Grenzwerten wird die Variante 1 (Basis) mit Messung der Schadstoffzusammensetzung im heissen Abgas empfohlen. Vorteile dieses Ansatzes sind:

- Die Vergleichbarkeit mit bisher in der Schweiz und in Deutschland verwendeten Normen bleibt sichergestellt.
- Auf dem Prüfstand und im Feld sind identische Messungen möglich und dies unabhängig von der Leistungsgrösse. Demgegenüber sind Messungen in einem Verdünnungstunnel auf Prüfstandsmessungen und für kleine Leistungen beschränkt, sodass weder Prüfstandsmessungen mit Feldmessungen noch Emissionsdaten von Kleinfeuerungen mit Grossanlagen vergleichbar sind.
- Separate Informationen zum Feststoff und zu OGC ergeben im Vergleich zu einer einzigen Information über im verdünnten Abgas anfallenden Staub aus Feststoff und kondensierenden Verbindungen eine zusätzliche Information. Wenn nur ein Summenwert festgelegt werden soll, so wäre dies theoretisch auch als Summe von Feststoff und OGC möglich. Umgekehrt ist aus einer kalten Staubbmessung ein Rückschluss auf den organischen Anteil nur mit sehr grossem Analyseaufwand möglich.
- Im Weiteren ist zu beachten, dass auch die im Verdünnungstunnel ermittelten Informationen noch keine abschliessende Beurteilung der Wirkung der Schadstoffe in der Umwelt ermöglichen, da die sekundäre Schadstoffbildung nicht erfasst wird. Die Messung von OGC im heissen Abgas erfasst dagegen die Vorläufer an SOA, was bei einer OGC-Messung im Verdünnungstunnel nicht zutrifft, da die kondensierbaren organischen Verbindungen bei der OGC-Messung nicht erfasst werden, sondern lediglich die Summe der Feststoffe erhöhen, ohne jedoch separat identifiziert zu werden.

### 6.1.2 These 3: Berücksichtigung des Brennstoffs und unterschiedlicher Feststoffanteile

Durch die Limitierung des Feststoffgehalts wird der Russgehalt im Abgas theoretisch auf diesen Maximalwert limitiert. Da bei der Verbrennung von Holz jedoch auch mineralische Bestandteile zu Feststoffen im Abgas etwa in Form von Kaliumchlorid führen, macht der Russ immer nur einen Teil des Gesamtstaubs aus. Die mineralischen Feststoffemissionen ihrerseits werden durch den Gehalt an Vorläufersubstanzen im Brennstoff beeinflusst. Entscheidend ist der Aschegehalt, der sich aus Verbindungen wie Kalium, Natrium, Calcium, Chlor und Schwefel und weiteren Elementen zusammensetzt. Da der Aschegehalt den Staubgehalt im Abgas beeinflusst, setzt eine neutrale Beurteilung von Feuerungen im Vergleich untereinander oder zu Grenzwerten bei der Typenprüfung voraus, dass der Aschegehalt des Brennstoffs bekannt ist und berücksichtigt wird. Gleichzeitig ist zu beachten, dass in heutigen Grenzwerten für Feststoffe nicht zwischen unterschiedlichen Arten der Feststoffe unterschieden wird. Um die Vergleichbarkeit verschiedener Feuerungen zu verbessern oder die Umweltrelevanz der Emissionen besser zu beurteilen, bestehen folgende Ansätze:

- Eine Berücksichtigung des Aschegehalts kann zum Beispiel so erfolgen, dass der Feststoffgrenzwert für einen bestimmten Aschegehalt gilt und mittels Korrekturfaktor die vermutliche Einhaltung des Grenzwerts mit Referenz-Brennstoff überprüft wird, wie dies zum Beispiel bei Heizöl für die Stickoxidemissionen erfolgt.
- Sofern auf eine entsprechende Berücksichtigung des Aschegehalts verzichtet wird, kann ein erhöhter Aschegehalt zur Folge haben, dass zur Einhaltung des Grenzwerts in der Praxis der Einsatz eines Feinstaubabscheiders oder von Technologien mit geringen Emissionen an mineralischen Stäuben erforderlich werden. Dies entspricht der heutigen Situation, da bisherige Grenzwerte nicht zwischen unterschiedlichen Feststoffarten unterscheiden.
- Alternativ zu den zwei oben erwähnten Situationen kommt infrage, dass die Anteile der Feststoffe ermittelt und separat geregelt werden. Dies kann entweder so erfolgen, dass für jeden erfassten Anteil ein separater Grenzwert gilt (zum Beispiel  $x \text{ mg/m}^3$  anorganische und  $y \text{ mg/m}^3$  organische Feststoffe) oder, indem ein Summengrenzwert für Feststoff und ein maximaler Anteil zum Beispiel an organischen Verbindungen festgelegt wird. Derzeit ist allerdings die Basis zur einfachen und sicheren Bestimmung entsprechender Anteile nicht gegeben. Als Alternative zu einer Bestimmung der Feststoffe und deren Anteile wären Verfahren zur direkten Bestimmung der einzelnen Komponenten von Interesse, wozu allerdings ebenfalls keine Basis vorhanden ist.

#### **Empfehlung zur Berücksichtigung unterschiedlicher Feststoffanteile:**

Da bis anhin eine praktikable Methode zur Berücksichtigung der Anteile im Feststoff fehlt, ist für Kleinanlagen kein praktikabler Ansatz zur Berücksichtigung der Feststoffart absehbar. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, dass einerseits der Grenzwert für Feldmessungen höher anzusetzen ist als für Typenprüfungen, um übliche Abweichungen des Aschegehalts zu ermöglichen. Im Weiteren ist in Kauf zu nehmen und auch erwünscht, dass deutlich erhöhte Aschegehalte in messpflichtigen Anlagen in der Praxis Massnahmen wie die Nachrüstung mit Feinstaubabscheider nach sich ziehen können, was zum Beispiel für grössere automatische Feuerungen verhältnismässig ist. Soweit auch künftig nicht-messpflichtige Anlagen vorgesehen sind, ist für diese jedoch die Einhaltung der Brennstoffqualität, zum Beispiel durch Beschränkung des Aschegehalts von Holzpellets und durch strikte Vorgaben für die Verwendung von Stückholz, sicherzustellen.

### 6.1.3 These 4: Einfluss und Wahl der Probenahme

Wenn für die Staubemissionen die Vergleichbarkeit mit bisherigen Grenzwerten beibehalten werden soll, ist die Bestimmung des Gesamtstaubs mit isokinetischer Absaugung vorzuschreiben. Als Alternative dazu kommen andere Probenahmeverfahren infrage. Zur Diskussion stehen insbesondere folgende Ansätze:

#### a) Strömungsgeschwindigkeit

Als Variante steht eine Absaugung bei konstanter Absauggeschwindigkeit von 4 m/s in Strömungsrichtung zur Diskussion. Diese Geschwindigkeit kann von der effektiven Strömungsgeschwindigkeit abweichen und insbesondere in Wohnraumfeuerungen zu einer mehrfach über-isokinetischen Absaugung führen. Dies bewirkt eine Abreicherung an Grobstaub, der aufgrund der Trägheit die Strömungsrichtung grossteils beibehält. Weil jedoch die Abweichung von der Isokinetik weder bekannt noch für verschiedene Feuerungen und Betriebszustände identisch ist, führt diese Art der Probenahme zu Messresultaten, die einen stark zufälligen und im Grundsatz unbekanntem Charakter haben.

#### a) Vorabtrennung und Strömungsrichtung

- Sofern eine Abtrennung des Grobstaubs zur alleinigen Erfassung des Feinstaubes eingesetzt werden soll, kommen dazu entsprechende Vorabscheider (Zyklon oder Impaktoren) in Verbindung mit einer isokinetischen Probenahme infrage. Diese erzielen einen definierten Cut-off zwischen Grobstaub und Feinstaub (etwa für  $PM_{2.5}$ ), ihr Einsatz erhöht aber den Probenahmeaufwand erheblich.
- Als Alternative kommt eine Probenahme senkrecht zur Strömungsrichtung infrage, die ebenfalls einen reproduzierbaren Cut-off ermöglicht. Die Geschwindigkeit der Absaugung kann dabei derjenigen im Gasstrom entsprechen, dies wird aber nicht zwingend vorausgesetzt. Da eine senkrechte Probenahme deutlich einfacher ist als der Einsatz eines Vorabscheiders, ist dies im Falle einer gewollten Abtrennung der Grobpartikel eine prüfenswerte Variante. Sie ist insbesondere deshalb interessant, weil der Cut-off für typische Partikel sicherstellt, dass Partikel unter 1 Mikrometer nahezu vollständig (d.h. um mehr als 95%) erfasst und Partikel über 20 Mikrometer nahezu vollständig (d.h. um mehr als 95%) abgetrennt werden.
- Sofern zusätzlich oder alternativ die Anzahlkonzentration an Partikeln bestimmt wird, wird eine um  $90^\circ$  abgewinkelte Probenahme als unkritisch beurteilt, da die Abreicherung an Grobpartikeln für die Anzahlkonzentration vernachlässigbar ist und die Probenahme in der Regel ohnehin Umlenkungen aufweist, die für Messungen von Partikeln mit aerodynamischen Durchmessern kleiner 1 Mikrometer als akzeptabel gelten.
- Als weitere Alternative wurde auch eine Absaugung entgegen der Strömungsrichtung vorgeschlagen. Aufgrund der bisher vorliegenden Untersuchungen ist kein abschliessender Vergleich zwischen senkrechter ( $90^\circ$ ) und entgegengesetzter Probenahme ( $0^\circ$ ) möglich. Es ist aber zu beachten, dass nur eine Probenahme rechtwinklig zu Strömungsgeschwindigkeit ( $90^\circ$ ) unabhängig von der Kaminanordnung immer mit horizontaler Entnahmesonde ausgeführt werden kann. Dies wird als Vorteil beurteilt wegen der Einheitlichkeit und der Vermeidung von Effekten durch die Gravitation und Strömung.
- Zu beachten ist, dass der Cut-off für alle Abtrennungsmethoden keine diskrete Trennung zwischen Grob- und Feinstaub ermöglicht und dass die Abtrennung den aerodynamischen Durch-

messer berücksichtigt. Nicht erfasst werden dagegen die Dichte und spezifische Oberfläche, welche um Faktoren variieren können. Da die spezifische Oberfläche für die Wirkung der Partikel auch als wichtig gilt, wird somit auch durch eine Fraktionierung keine sichere Beurteilungsbasis für die Wirkung der Partikel erzielt.

#### **Empfehlung zur Probenahme:**

- Eine von der Anlage unabhängige Absauggeschwindigkeit wird für vergleichende Messungen an verschiedenen Feuerungen als ungeeignet beurteilt und deshalb nicht empfohlen. Dies gilt sowohl für Prüfstands- als auch für Feldmessungen.
- Wenn zur Vereinfachung von der Isokinetik abgewichen oder zur stärkeren Gewichtung des Feinstaubes eine Abtrennung des Grobstaubs eingeführt werden soll, so wird eine um 90° abgewinkelte Probenahme als prüfenswerter Ansatz empfohlen. Die allfällige Festlegung von Grenzwerten muss dann aber der geänderten Probenahme, welche nur einen Teil der Partikel erfasst, Rechnung tragen. Zudem sind Zahlenwerte dieser Messmethode nur bedingt mit isokinetischen Messungen vergleichbar. Dabei gilt, dass der Staubwert mit abgewinkelter Probenahme kleiner oder gleich dem Staubwert mit isokinetischer Probenahme ist. Das Verhältnis der beiden Messwerte kann dabei von nahe 1 bis weit unter 1 variieren.

#### **6.1.4 These 5: Grenzwerte für Stickoxide, Schwefel und weitere Verbindungen**

Soweit Stickoxidgrenzwerte für die Typenprüfung vorgeschrieben werden, gilt auch für die Überprüfung der Stickoxidemissionen, dass der Stickstoffgehalt des Brennstoffs für die Beurteilung berücksichtigt werden muss.

Für Schwefel und weitere Schadstoffe wird empfohlen, dass die Begrenzung auf umweltverträgliche Emissionen für kleine und mittlere Anlagen wie bis anhin durch entsprechende Anforderungen an die Brennstoffqualität sichergestellt werden. Soweit neue Brennstoffkategorien vorgesehen werden, etwa zur Nutzung biogener Reststoffe oder die Definition neuer Pelletsortimente, sind gegebenenfalls zusätzliche Grenzwerte bei Definition neuer Brennstoffsortimente einzuführen.

## 6.2 Leistungsklassen

1. Für **Wohnraumfeuerungen** ist nach EN eine Beschränkung der Leistung von maximal 50 kW Nennwärmeleistung festgelegt. Diese Maximalleistung wird als sinnvolle obere Grenze bewertet, weshalb eine Übernahme für die Schweiz empfohlen wird. Dabei ist zu beachten, dass eine Nennwärmeleistung von 50 kW einer Feuerungswärmeleistung von 70 kW mit einem Feuerungswirkungsgrad von 71% entspricht. Die von der EN verwendete Grenze entspricht somit in der Grössenordnung ungefähr der heutigen Grenze von 70 kW FWL der LRV.  
Um eine Abgrenzung gegenüber Dekorfeuern sicherzustellen, wird die Anwendung einer unteren Leistungsgrenze empfohlen. Dazu kommen zwei Varianten infrage. Einerseits bietet sich eine Anlehnung an die 1. BImSchV in Deutschland mit einer Grenze für Heizkessel von 4 kW NWL an, andererseits eine Anpassung an die Maximalleistung von Dekorfeuern in der Schweiz von 2 kW NWL. Im Hinblick auf die stetig sinkenden Wärmeleistungen der Gebäude und der Verkleinerung der Feuerungsaggregate, wird eine untere Leistungsgrenze von 2 kW NWL empfohlen, was einem Holzdurchsatz von rund 0.5 kg/h entspricht.
2. Für **Heizkessel**, die typengeprüft werden können, werden zwei Klassen vorgeschlagen: < 50 kW und 50 bis 500 kW NWL.  
In der Klasse < 50 kW wären auch die heutigen Wohnraum-Geräte der EN 12809 berücksichtigt. Hier könnte die untere Leistungsgrenze bei 4 kW bleiben oder wie für die Wohnraumfeuerungen auf 2 kW NWL abgesenkt werden. Die Grenze von 50 kW NWL wäre gleichzeitig die neue Grenze für die periodische Kontrolle der Anlagen im Feld (bisher 70 kW Feuerungswärmeleistung). Für Anlagen ab 500 kW wird davon ausgegangen, dass die Einteilung der bisherigen LRV beibehalten wird.

## 6.3 Grenzwerte für Typenprüfungen

### 6.3.1 Wohnraumfeuerungen

In Analogie zu den Kesselklassen aus der EN 303-5 werden Feuerstätten-Klassen mit unterschiedlichen Grenzwerten vorgeschlagen. Dies bietet folgende Möglichkeiten:

- Bestimmte Feuerstätten können in eine tiefere Klasse eingestuft werden (etwa Herde).
- Die Grenzwerte können sukzessive verschärft werden, was die Planbarkeit verbessert.
- Für Förderbeiträge können höhere Klassen verlangt werden.
- Für Grenzwerte im Feld kann eine tiefere Klasse verlangt werden.

Am Beispiel CO-, Staub- und OGC-Grenzwerte kann das folgendermassen aussehen. Bei den Grenzwert-Vorschlägen für Staub ist zu beachten, dass sich diese Werte auf die bisherige Messmethode mit isokinetischer Probenahme bezieht und dass der Aschegehalt bisher verwendeten Brennstoffen entspricht. Die Bezugsgrösse ist 13 Vol.-% O<sub>2</sub>.

Wohnraum- feuerungen	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5	Klasse 6	Klasse 7	Klasse 8	Klasse 9
CO [mg/m <sup>3</sup> ]	3000	2000	1250	800	500	300	200	120
Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	150	80	60	50	40	30	25	20
OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	150	150	80	50	30	20	15	10
Anforderung LRV rev. Stufe I		EN 15250	EN 13240	EN 12809	EN 14785			
		EN 12815	EN 13229					
Anforderung LRV rev. Stufe II			EN 15250	EN 13240	EN 12809	EN 14785		
			EN 12815	EN 13229				

Die Messverfahren richten sich nach der Norm EN 16510, wobei sich die Grenzwerte für den Staub auf die Heissgasmessung beziehen. Die Bewertung der Messwerte wird ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit vorgenommen.

### 6.3.2 Heizkessel

Die Grenzwerte für die Klassen 3 bis 5 entsprechen den Kesselklassen der EN 303-5. Klassen 6 bis 10 sind ein Vorschlag zur Weiterführung der Klassifizierung. Für die verschiedenen Leistungsklassen lassen sich verschiedene Kesselklassen fordern. Zurzeit gilt mindestens Klasse 4 für die Typenprüfung. Die Bezugsgrösse ist 10 Vol.-% O<sub>2</sub>.

Abkürzungen: h = handbeschickt, a = automatisch, p = Pelletfeuerung.

Heizkessel	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5	Klasse 6	Klasse 7	Klasse 8	Klasse 9	Klasse 10
CO [mg/m <sup>3</sup> ]	3000	1200	700	500	300	200	120	80
Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	150	75	50	40	30	20	15	10
OGC [mg/m <sup>3</sup> ]	150	80	50	30	20	15	10	5
Anforderung LRV rev. Stufe I		h < 50 kW	h > 50 kW	a<50kW	a<500kW p<50kW	a>500kW p<500kW	p>500kW	
Anforderung LRV rev. Stufe II			h < 50 kW	h>50kW	a<50kW	a<500kW p<50kW	a>500kW p<500kW	p>500kW

Hier sind auch die Wohnraumkessel nach EN 12809 (h/a/p < 50 kW) klassifiziert. Die Klassen 3 bis 6 sind durch die EN 303-5 vorgegeben, die Klassen 7 bis 10 sind durch eine Verschärfung der Grenzwerte um den Faktor ca. 2/3 oder 1/√2 entstanden.

### 6.3.3 Stickoxide

Die Grenzwerte für die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind auf den Brennstoff abzustimmen. Die Ecodesign-Verordnung sieht einen Grenzwert von 200 mg/m<sup>3</sup> vor, bei WRF bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub> und bei Heizkesseln bei 10 Vol.-% O<sub>2</sub>. Für naturbelassenes Holz wird ein Massenanteil von 0.1 Gew.-% N (Stickstoff) im Holz als typischer Wert erwartet, was bei einer Konversionsrate von 100% (was in der Praxis bei weitem nicht erreicht wird) zu 270 mg/m<sup>3</sup> bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub> führt. Der Grenzwert der Ecodesign-Verordnung wird für naturbelassenes Holz in der Regel eingehalten, insbesondere in Heizkesseln kann der Wert bei etwas erhöhtem Stickstoffgehalt, zum Beispiel bei anhaftender Rinde in automatischen Feuerungen, erreicht oder überschritten werden. Für Typenprüfungen ist jedoch davon auszugehen, dass die Werte bei Verwendung entsprechender Prüfbrennstoffe eingehalten werden.

### 6.3.4 Teillast

Wenn Heizkessel mit einer Teillast angeboten oder in Teillast betrieben werden, so sollten die Emissionen bei Teillast gemessen und ausgewiesen werden, auch wenn die Heizkessel mit Speicher ausgeliefert werden, da Heizkessel zu 85% der Betriebszeit in Kleinlast betrieben werden [7].

### 6.3.5 Vergleiche mit den aktuellen Grenzwerten

#### 6.3.5.1 Wohnraumfeuerungen

CO-Grenzwerte

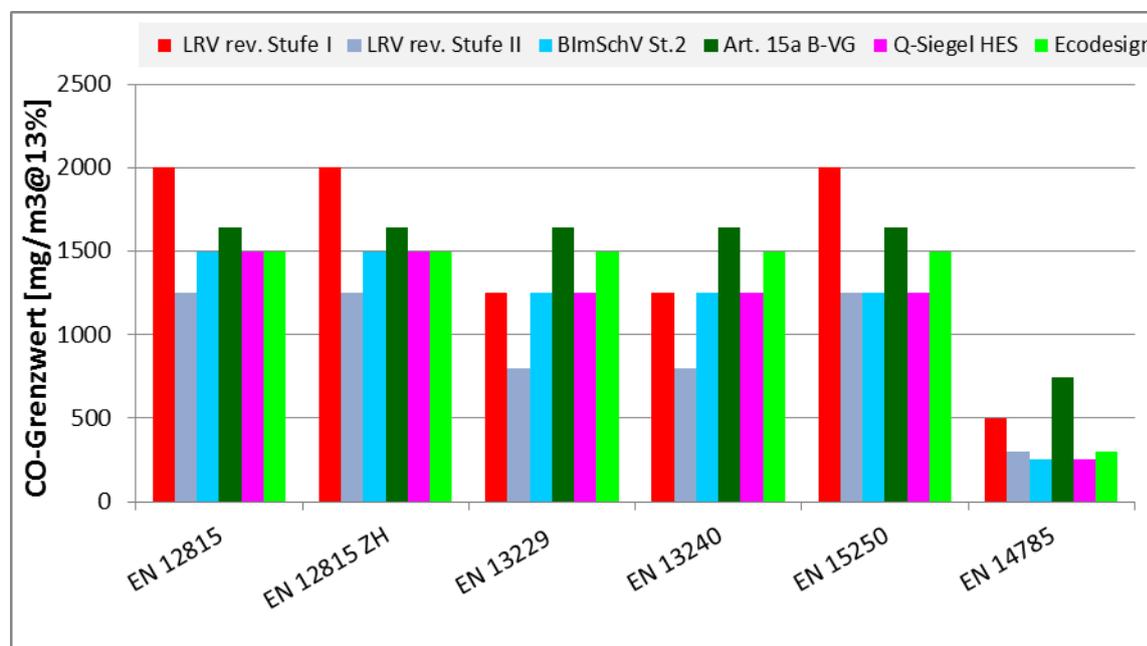


Abbildung 50: Vergleich CO-Grenzwerte für Wohnraumfeuerungen mit aktuellen Grenzwerten (bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>).

Die vorgeschlagenen CO-Grenzwerte für WRF liegen leicht über oder im Bereich der 1. BImSchV und teils über bzw. unter der Ecodesign-Verordnung. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Ecodesign-Verordnung für alle Kategorien mit Ausnahme der Pelletöfen die gleichen Grenzwerte hat, während für die LRV 2015 aufgrund der Erfahrungswerte eine Differenzierung mit zwei Niveaus vorgeschlagen wird.

## Staub-Grenzwerte

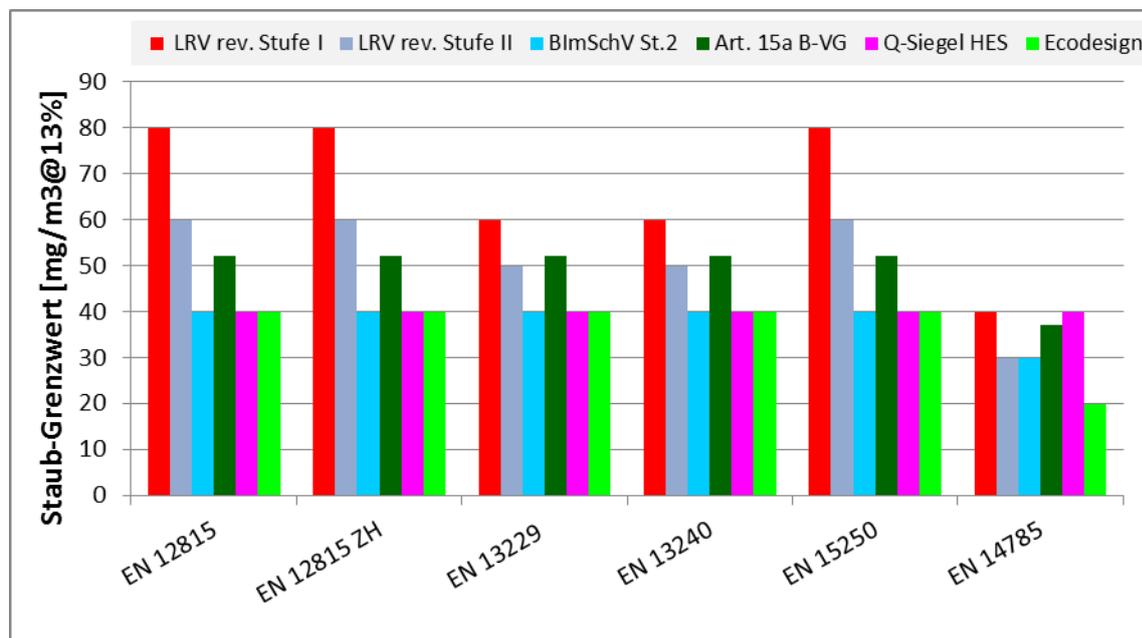


Abbildung 51: Vergleich Staub-Grenzwerte für Wohnraumfeuerungen mit aktuellen Grenzwerten (bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>).

Die vorgeschlagenen Staub-Grenzwerte für WRF liegen ausser bei den Pelletfeuerungen über denjenigen der 1. BImSchV und der Ecodesign-Verordnung. Sie sind aber für den aktuellen Stand der Technik realistischer und gleichzeitig in der Wirkung mit den tieferen Grenzwerten der 1. BImSchV vergleichbar, da bei der 1. BImSchV Stufe 2 bei der Beurteilung von Feldmessungen sehr hohe Messunsicherheiten von den Messwerten abgezogen werden können. Werden bei der LRV bei der Beurteilung von Feldanlagen die Messunsicherheiten nicht abgezogen, so sind die vorgeschlagenen Grenzwerte de facto strenger als diejenigen der 1. BImSchV Stufe 2. In der Verordnung zur Ecodesign-RL gibt es bezüglich Messunsicherheit keine Aussage, womit die Messunsicherheit zur Beurteilung der Einhaltung des Grenzwertes nicht herangezogen wird. Dies ist bei der Beurteilung von Typenprüfmessungen zum Inverkehrbringen generell nicht vorgesehen.

### 6.3.5.2 Heizkessel

#### CO-Grenzwerte

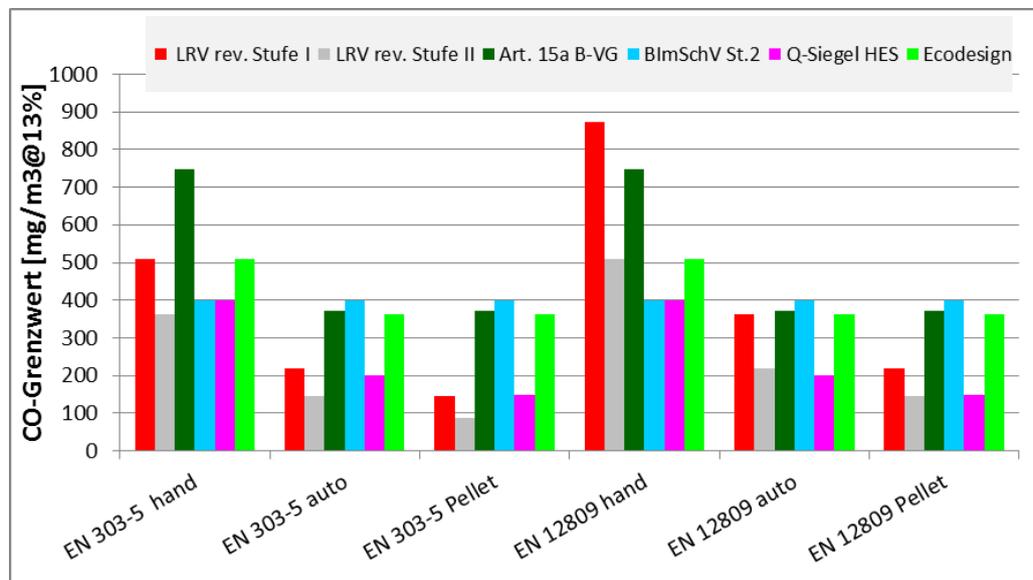


Abbildung 52: Vergleich CO-Grenzwerte für Heizkessel mit aktuellen Grenzwerten (bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>).

Die vorgeschlagenen CO-Grenzwerte für Heizkessel liegen teils unter, teils über oder im Bereich der 1. BImSchV und der Ecodesign-Verordnung. Die Heizkessel nach EN 303-5 haben je nach Leistung (< oder > 50 kW) unterschiedliche Grenzwerte. Kessel mit einer Leistung < 50 kW werden emissionsmässig gleich behandelt wie die Wohnraumfeuerungskessel nach EN 12809. Bei den Pellets-Kesseln liegen die vorgeschlagenen Grenzwerte wesentlich unter denjenigen der BImSchV und Ecodesign-Verordnung. Der Vorschlag liegt jedoch über dem Wert des heutigen Q-Siegels und wird aufgrund der Erfahrungen als erreichbar beurteilt.

#### Staub-Grenzwerte

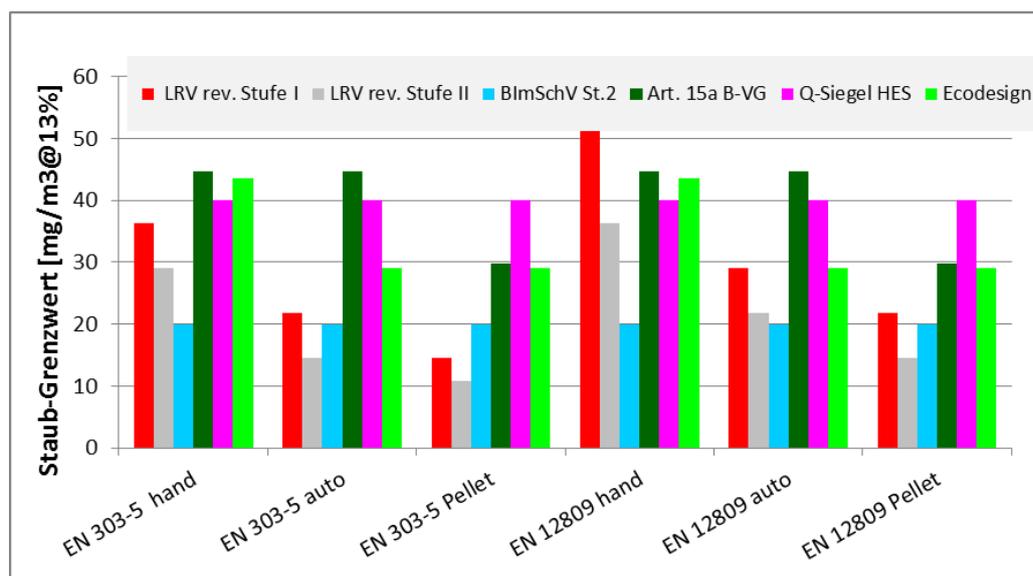


Abbildung 53: Vergleich Staub-Grenzwerte für Heizkessel mit aktuellen Grenzwerten (bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>).

Die vorgeschlagenen Staub-Grenzwerte für Heizkessel liegen im Bereich der 1. BImSchV oder darüber (vor allem bei handbeschickten Kesseln, mit Ausnahme der Pelletkessel, für die ein etwas tieferer Wert vorgeschlagen wird. Gegenüber der Ecodesign-Verordnung liegen die Grenzwerte im gleichen Bereich oder mit Ausnahme der kleinen handbeschickten Kessel darunter

## 6.4 Grenzwerte für den Betrieb

Um zu berücksichtigen, dass im Betrieb von der Typenprüfung abweichende Bedingungen herrschen können, bestehen folgende Möglichkeiten:

Variante 1: Wenn für Feldmessungen eine zusätzliche Berücksichtigung der Messunsicherheit erfolgt, werden die Grenzwerte dadurch faktisch erhöht. Diese Methode ist allerdings wenig transparent und sie bewirkt, dass kein Anreiz besteht, die Messgenauigkeit zu verbessern und dass ungenauere Messverfahren begünstigt werden. Aus diesem Grund wird diese Variante nicht empfohlen.

Variante 2: Die Anforderungen im Feld könnten mit einem Korrekturfaktor erhöht werden. Als einfacher Ansatz kann bei der Einführung dieses Prinzips ein Faktor 2 angesetzt werden. Alternativ sind auch individuelle Korrekturfaktoren für CO, Staub und OGC möglich, wobei ein Bereich zwischen 1.5 bis 2.5 als realistisch beurteilt wird.

Variante 3: Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die im Feld geforderte Kessel- oder Feuerstätten-Klasse tiefer anzusetzen als bei der Typenprüfung, wobei eine Reduktion um zwei Klassen vorgeschlagen wird. Dies ergibt eine Anpassung um einen Faktor in der Grössenordnung von 2 und somit zu einer ähnlichen Wirkung wie die Variante 2, jedoch mit dem Unterschied, dass die verschiedenen Schadstoffe im Feld unterschiedlich angepasst werden. Diese Variante erfordert die Einführung der Emissionsklassen.

**Empfehlung:** Für eine Umsetzung wird die Variante 2 mit einem Faktor 2 als einfachste Methode beurteilt.

## 6.5 Empfehlungen zu Wirkungsgraden

### 6.5.1 Wohnraumfeuerungen:

Für Wohnraumfeuerungen wird empfohlen, die Mindestwirkungsgrade an folgende Werte anzupassen:

Für handbeschickte Wohnraumfeuerungen entsprechen die Vorgaben der Verordnungen der Eco-design Richtlinie für Energielabel A mit Energie-Effizienz-Index  $EI \geq 88$  einem feuerungstechnischen Wirkungsgrad von mindestens 70 %. Dieser Wert wird als technisch machbar und sinnvoll bewertet.

Für Wohnraumfeuerungen mit Holzpellets wird ein höherer Wert als technisch machbar beurteilt. Das Energielabel A+ entspricht mit  $EI \geq 107$  einem feuerungstechnischen Wirkungsgrad von mindestens 82 %. Dies entspricht annähernd der Anforderung des Q-Siegels von 83 %. Aus diesem Grund wird eine Forderung entsprechend A+ oder Q-Siegel von 82 % oder 83 % empfohlen.

### 6.5.2 Heizkessel:

Für Heizkessel wird empfohlen, die Kesselklasse 5 nach EN 303-5 zu fordern. Damit werden Kessel-Wirkungsgrade zwischen 87 % und knapp 90 % verlangt. Dies wird als technisch erreichbar und sinnvoll bewertet.

Nicht empfohlen wird dagegen eine Übernahme der Effizienzklassen, da diese sowieso nur für Kessel  $< 70$  kW Nennwärmeleistung anwendbar sind. Das Verfahren zur Berechnung des Energie-Effizienz-Index und der Effizienzklasse wird als zu komplex und zu wenig transparent beurteilt. Die

Effizienzklasse A<sup>+</sup> mit der Forderung  $98 \leq \text{EEI} < 125$  verlangt einen Kesselwirkungsgrad von 77 - 97 % (Annahme Stromverbrauch von 0.5%). Diese Werte sind für die heutigen Heizkessel problemlos erreichbar. Diese Klassierung bietet keine geeignete Abstufung und damit keinen Anreiz für Wirkungsgrad-Optimierungen, da die Klasse A<sup>++</sup> nur mit Hilfe der Kondensationstechnologie erreichbar sein wird.

## 7 Literatur

- [1] Der Schweizerische Bundesrat , «Luftreinhalte-Verordnung (LRV), 814.318.142.1,» Bern, 16. Dezember 1985 (Stand am 15. Juli 2010).
- [2] Verordnung der Bundesregierung , «1. BImSchV - Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen),» Bundesregierung Deutschland, Berlin, 25.11.2009.
- [3] Umweltbundesamt Österreich, «Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinfeuerungen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen und Blockheizkraftwerken,» 2011.
- [4] Amtsblatt der Europäischen Union, «CPR - 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,» 04.04.2011.
- [5] Holzenergie Schweiz, «Schweizer Qualitätssiegel - Holzenergie Schweiz, Holzheizungen im Wohnbereich und Holzheizkessel,» Zürich, September 2011.
- [6] C. L. 20, «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,» Amtsblatt der Europäischen Union, Brüssel, 2015.
- [7] C. L. 15, «Verordnung (EU) 2015/1189 vom 28. 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 Festbrennstoffkesseln,» Amtsblatt der Europäischen Union, Brüssel, 2015.
- [8] Bundesamt für Umwelt BAFU, «Emissionsmessung bei stationären Anlagen,» Bern, 2013.
- [9] Europäisches Komitee für Normung (CEN), «EN 303-5: 2012,» Brüssel, 2012.
- [10] Schweizerische Normen-Vereinigung , «SN EN 303-5: 1999 de,» Zürich, 1999.
- [11] «Emissionsmessung bei Feuerungen für Öl, Gas und Holz,» Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2013.
- [12] ISO, «ISO 9096: Stationary source emissions — Manual determination of mass concentration of particulate matter,» ISO, 2003.
- [13] W. Hinds, « Aerosol Technology,» John Wiley, Canada, 1998.

- [14] V. L. e. al., «Aktuelle Entwicklungen der Rahmenbedingungen für Staubabscheider an Kleinfeuerungsanlagen in Deutschland, 5. Fachgespräch „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen,» Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig, 26. März 2014.
- [15] J. Good und T. Nussbaumer, «Prüfverfahren für die Startphase auf Basis von EN 303-5,» Hochschule Luzern – Technik & Architektur und Bundesamt für Energie, Horw und Bern, 2010.
- [16] P. H., «Carola® – Elektrostatischer Feinstpartikelabscheider für Biomassekessel, Firmenpräsentation,» [www.carola-clean-air.com](http://www.carola-clean-air.com).
- [17] N. T. Biollaz S, «Einsatz von Rostfeuerungen für Holz und Halmgüter, 4. Holzenergie-Symposium,» ETH, 9–42, Zürich, 18. Oktober 1996.
- [18] T. Nussbaumer und L. Hälg, «Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen – Aktualisierung und Ergänzung 2014,» Bundesamt für Umwelt, ISBN 3-908705-26-6, Bern, 15.12.2014.
- [19] L. Lasselsberger, «Typenprüfung von Holzfeuerungen,» Wieselburg, 2002.
- [20] P. Odermatt und T. Nussbaumer, «Holzofen mit Verbrennungsretorte und zweistufiger Verbrennung, 12. Holzenergie-Symposium,» ETH Zürich am 14.9.12, ISBN 3-908705-24-X, 31–52, Zürich, 2012.
- [21] «<http://www.xeoos.de>».
- [22] W. Wiest, «Sturzbrandfeuerungen für Kaminöfen, 13. Holzenergie-Symposium,» ETH Zürich am 12.9.14, ISBN 3-908705-25-8, 65–76, Zürich, 2012.
- [23] «<http://www.he-energy.de>».
- [24] H. H. H. H. Kaltschmitt M., «Energie aus Biomasse,» Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009.

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aktuelle CO-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe..	10
Abbildung 2: CO-Grenzwerte für die Kesselklassen nach EN 303-5 Ausgabe 1999 und 2012. ....	11
Abbildung 3: Aktuelle CO-Emissionsgrenzwerte für Heizkessel für feste Brennstoffe. Die Grenzwerte der Ecodesign-Verordnung sind von 10 Vol.-% auf 13 Vol.-% O <sub>2</sub> umgerechnet. ....	11
Abbildung 4: Aktuelle Staub-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe. ....	12
Abbildung 5: Staub-Grenzwerte für EN 303-5 Kesselklassen .....	13
Abbildung 6: Aktuelle Staub-Emissionsgrenzwerte für Heizkessel für feste Brennstoffe. ....	13
Abbildung 7: Aktuelle OGC-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe. ....	14
Abbildung 8: OGC-Grenzwerte für EN 303-5 Ausgabe 1999 und 2012 Kessel-Klassen .....	15
Abbildung 9: Aktuelle OGC-Emissionsgrenzwerte für Heizkessel für feste Brennstoffe. ....	15
Abbildung 10: Aktuelle NOx-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe. ....	16
Abbildung 11: Aktuelle NOx-Emissionsgrenzwerte für Heizkessel für feste Brennstoffe. ....	17
Abbildung 12: Aktuelle Anforderungen an feuerungstechnische Wirkungsgrade für Wohnraumfeuerungen für feste Brennstoffe und Ecodesign-Verordnung. ....	18
Abbildung 13: Anforderung an Kesselwirkungsgrade (bezogen auf Heizwert) für verschiedenen Kesselklassen aus der EN 303-5 als Funktion der Leistung .....	19
Abbildung 14: CO-Emissionsgrenzwerte für Wohnraumfeuerungen im Betrieb bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> . ....	20
Abbildung 15: Aktuelle CO-Emissionsgrenzwerte der LRV für Heizkessel für feste Brennstoffe. Darstellung für verschiedene Leistungsklassen im Betrieb bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> . ....	21
Abbildung 16: Aktuelle CO-Emissionsgrenzwerte von LRV, B-VG und der BlmSchV für Heizkessel für feste Brennstoffe im Betrieb bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> . ....	21
Abbildung 17: Staubgrenzwerte der BlmSchV für WRF nach dem 1.1.2015 bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> . ....	22
Abbildung 18: Aktuelle Staub-Emissionsgrenzwerte der LRV für Heizkessel für feste Brennstoffe. Darstellung für verschiedene Leistungsklassen im Betrieb bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> . ....	22
Abbildung 19: Aktuelle Staub-Emissionsgrenzwerte von LRV, B-VG und der BlmSchV für Heizkessel für feste Brennstoffe im Betrieb bezogen auf 13 % O <sub>2</sub> . ....	23
Abbildung 20: Messperioden bei Typenprüfung und Feldmessung für verschiedene Feuerstätten. Die Darstellung der Staubmessperioden ist symbolisch dargestellt. ....	25
Abbildung 21: Dargestellt sind die Halbstunden-Mittelwerte für CO während den Staubmessungen (Säulen), beim Kaltstart (rot), bei NWL (blau) und bei Kleinlast (schwarz), der Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün) und des Q-Sigels (rosa), sowie die Mittelwerte (braun). Weitere Erläuterungen im Text. ....	32
Abbildung 22: Dargestellt sind die Halbstunden-Mittelwerte der Staubmessung (Säulen), beim Kaltstart (rot), bei NWL (blau) und bei Kleinlast (schwarz), der Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün) und der 1. BlmSchV Stufe 2 (hellblau), sowie die Mittelwerte (braun). Erläuterungen im Text. ....	33
Abbildung 23: Dargestellt sind die Halbstunden-Mittelwerte der OGC-Messung (Säulen), beim Kaltstart (rot), bei NWL (blau) und bei Kleinlast (schwarz), der Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün), sowie die Mittelwerte (braun). Erläuterungen im Text. ....	34

Abbildung 24: Dargestellt sind die Halbstunden-Mittelwerte der NO<sub>x</sub>-Messung (Säulen), beim Kaltstart (rot), bei NWL (blau) und bei Kleinlast (schwarz), der Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün), sowie die Mittelwerte (braun). Erläuterungen im Text. ....34

Abbildung 25: Ausschnitt aus der Figure D.1 der ISO 9096 welche die Verluste von grossen Partikeln bei über-isokinetischen Probenahme beschreibt.....37

Abbildung 26: Konzentrations-Verhältnis bei nicht isokinetischer Probenahme in Abhängigkeit der Wurzel der Stokes-Zahl für verschiedene Geschwindigkeitsverhältnisse  $U_0/U$  mit  $U_0$  = Geschwindigkeit der Gasströmung und  $U$  = Geschwindigkeit der Absaugung nach [13]. Zur Beurteilung der Staub-Probenahme ist die x-Axe zusätzlich umgerechnet auf den aerodynamischen Partikeldurchmesser unter Annahme einer Partikeldichte von 1 kg/m<sup>3</sup> sowie eines Sondendurchmessers von 25 mm und für Absauggeschwindigkeiten von 4 m/s und 1 m/s und für Abgastemperaturen von 180°C und 20°C.....38

Abbildung 27: Konzentrations-Verhältnis für über-isokinetische Probenahme mit  $U/U_0 = 2, 5$  und 10 in Funktion des aerodynamischen Partikeldurchmessers unter Annahme einer Partikeldichte von 1 kg/m<sup>3</sup> sowie eines Sondendurchmessers von 10 mm, einer Absauggeschwindigkeit von 4 m/s einer Abgastemperatur von 180°C und mit Berechnungen nach [13].....39

Abbildung 28: Konzentrations-Verhältnis bei nicht isokinetischer Probenahme in Abhängigkeit der Wurzel der Stokes-Zahl für im Winkel  $\Theta$  von der Strömungsrichtung abweichenden Absaugung nach [13]. Zur Beurteilung der Staub-Probenahme ist die x-Achse zusätzlich umgerechnet auf den aerodynamischen Partikeldurchmesser unter Annahme einer Partikeldichte von 1 kg/m<sup>3</sup> sowie eines Sondendurchmessers von 25 mm und für Absauggeschwindigkeiten von 4 m/s und 1 m/s und für Abgastemperaturen von 180°C und 20°C.....40

Abbildung 29: Planfilter nach der Probenahme an einer automatischen Holzfeuerung beim Betrieb mit Waldhackschnitzeln und vor dem Multizyklon (Rostfeuerung 300 kW, Stand der Technik vor 2000) mit Staubemissionen zwischen 300 – 500 mg/m<sup>3</sup> (bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>) (Foto HSLU). ....41

Abbildung 30: Staubemissionen einer Wohnraumfeuerung in Funktion der Absauggeschwindigkeit (Messungen FHNW). Die Messung mit 0.86 m/s entspricht einer isokinetischen Probenahme.....42

Abbildung 31: Halbstunden-Mittelwerte an CO während der Staubmessung. M bezeichnet den Mittelwert aus den Messungen 1 bis 4 am ersten Tag und den Messungen 5 bis 8 am zweiten Tag. M-s und M+s beschreiben den die Standardabweichung des Mittelwerts über alle acht Messungen. ....43

Abbildung 32: Halbstunden-Mittelwerte an Staub. Bezeichnungen wie oben.....44

Abbildung 33: Kaminfegermessungen unterteilt in vier Gruppen je nach Einhaltung der Grenzwerte der 2. Stufe der 1. BImSchV nach [14]. (Vermutlich ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit) .....46

Abbildung 34: Gemessene Staubemissionen bei Kaminfegermessungen in Funktion der Staubmessungen bei der Typenprüfung nach [14]. ....46

Abbildung 35: Auswertung von knapp 100 Schornsteinfegermessungen (x-Achse = Nr. der Messung) [16]. ....47

Abbildung 36: VOC-Emissionen von drei Heizkesseln bei Messungen nach EN 303-5 sowie mit Kaltstart bei gutem und bei schlechtem Start [15].....47

Abbildung 37: Einfluss der Inhaltsstoffe bei Holzpellets auf die Staub-Emissionen nach [14] Seite 9. (i. N. = im Normzustand) .....48

Abbildung 38: Korrelation zwischen CO und Staub aus Prüfstandsmessungen (Messungen FHNW an einem Stückholzkessel).....49

Abbildung 39: Entwicklung der CO-Emissionen von Pelletfeuerungen in den letzten 20 Jahren, [19].	50
Abbildung 40: CO-Messwerte aus Prüfberichten von FHNW und der Prüfstelle Wieselburg (blau) und Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün). KL = Kleinlast.	52
Abbildung 41: Staub-Messwerte aus Prüfberichten (blau) und Grenzwert der BImSchV Stufe 2, bzw. Ecodesign-Verordnung (grün).	52
Abbildung 42: OGC-Messwerte aus Prüfberichten (blau) und Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün).	53
Abbildung 43: NO <sub>x</sub> -Messwerte aus Prüfberichten (blau) und Grenzwert der Ecodesign-Verordnung (grün).	53
Abbildung 44: CO-Emissionen in Funktion der Kessel-Leistung von Stückholzkesseln mit unterem Abbrand.	54
Abbildung 45: CO-Emissionen von Hackgut-Feuerungen in Funktion der Leistung.	54
Abbildung 46: CO-Emissionen von Pellet-Feuerungen in Funktion der Leistung.	55
Abbildung 47: Kaminofen Bionic Fire mit Sturzbrand [20].	56
Abbildung 48: Kaminofen Bionic Fire mit Sturzbrand [22].	56
Abbildung 49: Aufbau eines Kochherdes mit unterem Abbrand [24].	56
Abbildung 50: Vergleich CO-Grenzwerte für Wohnraumfeuerungen mit aktuellen Grenzwerten (bei 13 Vol.-% O <sub>2</sub> ).	67
Abbildung 51: Vergleich Staub-Grenzwerte für Wohnraumfeuerungen mit aktuellen Grenzwerten (bei 13 Vol.-% O <sub>2</sub> ).	68
Abbildung 52: Vergleich CO-Grenzwerte für Heizkessel mit aktuellen Grenzwerten (bei 13 Vol.-% O <sub>2</sub> ).	69
Abbildung 53: Vergleich Staub-Grenzwerte für Heizkessel mit aktuellen Grenzwerten (bei 13 Vol.-% O <sub>2</sub> ).	69

## Anhang A

Tabellarische Auflistung der Grenzwerte.

Anwendung	LRV Anh. 4	1. BlmSchV St.2 >4kW	Art. 15a B-VG (nach 1.1.15)	Q-Siegel HES	Ecodesign
EN 12815	3000	1500	1642	1500	1500
EN 12815 ZH	3000	1500	1642	1500	1500
EN 13229	1500	1250	1642	1250	1500
EN 13240	1500	1250	1642	1250	1500
EN 15250	3000	1250	1642	1250	1500
EN 14785	500	250	746	250	300

CO-Grenzwerte aus Abbildung 1 in mg/m<sup>3</sup> bei 13% O<sub>2</sub>. ZH = Zentralheizungsherd

Anwendung	LRV Anh. 4	1. BlmSchV St.2 >4kW	Art. 15a B-VG (nach 1.1.15)	Q-Siegel HES	Ecodesign
EN 303-5 hand	800	400	746	400	509
EN 303-5 auto	400	400	373	200	364
EN 303-5 Pellet	300	400	373	150	364
EN 12809 hand	800	400	746	400	509
EN 12809 auto	400	400	373	200	364
EN 12809 Pellet	300	400	373	150	364

CO-Grenzwerte aus Abbildung 3 in mg/m<sup>3</sup> bei 13% O<sub>2</sub>.

Anwendung	LRV Anh. 4	1. BlmSchV St.2 >4kW	Art. 15a B-VG (nach 1.1.15)	Q-Siegel HES	Ecodesign
EN 12815	90	40	52	40	40
EN 12815 ZH	120	40	52	40	40
EN 13229	75	40	52	40	40
EN 13240	75	40	52	40	40
EN 15250	120	40	52	40	40
EN 14785	40	30	37	40	20

Staub-Grenzwerte aus Abbildung 4 in mg/m<sup>3</sup> bei 13% O<sub>2</sub>. ZH = Zentralheizungsherd

Anwendung	LRV Anh. 4	1. BlmSchV St.2 >4kW	Art. 15a B-VG (nach 1.1.15)	Q-Siegel HES	Ecodesign
EN 303-5 hand	50	20	45	40	44
EN 303-5 auto	60	20	45	40	29
EN 303-5 Pellet	40	20	30	40	29
EN 12809 hand	50	20	45	40	44
EN 12809 auto	60	20	45	40	29
EN 12809 Pellet	40	20	30	40	29

Staub-Grenzwerte aus Abbildung 6 in mg/m<sup>3</sup> bei 13% O<sub>2</sub>.

Anwendung	LRV Anh. 4	1. BlmSchV St.2 >4kW	Art. 15a B-VG (nach 1.1.15)	Q-Siegel HES	Ecodesign
EN 12815			70		120
EN 12815 ZH			70		120
EN 13229			70		120
EN 13240			70		120
EN 15250			70		120
EN 14785			41		60

OGC-Grenzwerte aus Abbildung 7 in mg/m<sup>3</sup> bei 13% O<sub>2</sub>.

Anwendung	LRV Anh. 4	1. BlmSchV St.2 >4kW	Art. 15a B-VG (nach 1.1.15)	Q-Siegel HES	Ecodesign
EN 303-5 hand	40		42	20	21.8
EN 303-5 auto	40		42	15	14.5
EN 303-5 Pellet	40		27	10	14.5
EN 12809 hand				20	21.8
EN 12809 auto				15	14.5
EN 12809 Pellet				10	14.5

OGC-Grenzwerte aus Abbildung 9 in mg/m<sup>3</sup> bei 13% O<sub>2</sub>.

Anwendung	LRV Anh. 4	1. BlmSchV St.2 >4kW	Art. 15a B-VG (nach 1.1.15)	Q-Siegel HES	Ecodesign
EN 12815			224		200
EN 12815 ZH			224		200
EN 13229			224		200
EN 13240			224		200
EN 15250			224		200
EN 14785			149		200

NO<sub>x</sub>-Grenzwerte aus Abbildung 10 in mg/m<sup>3</sup> bei 13% O<sub>2</sub>.

Anwendung	LRV Anh. 4	1. BlmSchV St.2 >4kW	Art. 15a B-VG (nach 1.1.15)	Q-Siegel HES	Ecodesign
EN 303-5 hand	120		149		145.5
EN 303-5 auto	120		149		145.5
EN 303-5 Pellet	120		149		145.5
EN 12809 hand					145.5
EN 12809 auto					145.5
EN 12809 Pellet					145.5

NO<sub>x</sub>-Grenzwerte aus Abbildung 11 in mg/m<sup>3</sup> bei 13% O<sub>2</sub>.

Anwendung	LRV Anh. 4	1. BlmSchV St.2 >4kW	Art. 15a B-VG (nach 1.1.15)	Q-Siegel HES	Ecodesign
EN 12815		70%	80%	60%	65%
EN 12815 ZH		75%	80%	75%	65%
EN 13229		80%	80%	78%	40%
EN 13240		70%	80%	78%	40%
EN 15250		75%	80%	83%	70%
EN 14785		85%	80%	83%	79%

Wirkungsgrad-Grenzwerte aus Abbildung 12 in mg/m<sup>3</sup> bei 13% O<sub>2</sub>.

EN303-5		CO [mg/m <sup>3</sup> ] @ 10% O <sub>2</sub>				
		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
<b>hand biogen</b>	0 - 50 kW	25'000	8'000	5'000	1'200	700
	50 -150 kW	12'500	5'000	2'500	1'200	700
	150-300 kW	12'500	2'000	1'200	1'200	700
autom. biogen	0 - 50 kW	15'000	5'000	3'000	1'000	500
	50 -150 kW	12'500	4'500	2'500	1'000	500
	150-300 kW	12'500	2'000	1'200	1'000	500

CO-Grenzwerte für Kesselklassen aus Abbildung 2

EN303-5		OGC [mg/m <sup>3</sup> ] @ 10% O <sub>2</sub>				
		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
<b>hand biogen</b>	0 - 50 kW	2'000	300	150	50	30
	50 - 150 kW	1'500	200	100	50	30
	150-300 kW	1'500	200	100	50	30
<b>autom. biogen</b>	0 - 50 kW	1'750	200	100	30	20
	50 - 150 kW	1'250	150	80	30	20
	150-300 kW	1'250	150	80	30	20

OGC-Grenzwerte für Kesselklassen aus Abbildung 8

EN303-5		Staub [mg/m <sup>3</sup> ] @ 10% O <sub>2</sub>				
		Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
<b>hand biogen</b>	0 - 50 kW	200	180	150	75	60
	50 - 150 kW	200	180	150	75	60
	150-300 kW	200	180	150	75	60
<b>autom. biogen</b>	0 - 50 kW	200	180	150	60	40
	50 - 150 kW	200	180	150	60	40
	150-300 kW	200	180	150	60	40

Staub-Grenzwerte für Kesselklassen aus Abbildung 5