



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

# **BEURTEILUNG VON AUTOMATISCHEN HOLZFEUERUNGEN MITTELS LANGZEIT- MESSUNGEN IM PRAXISBETRIEB**

VALIDIERUNG VON MESSMETHODEN, AUSWERTEVERFAHREN  
UND BEURTEILUNG DER MESSRESULTATE

Schlussbericht

Adrian Lauber

Jürgen Good

Thomas Nussbaumer

Verenum, 8006 Zürich

Zürich, 5. September 2016

# **Beurteilung von automatischen Holzfeuerungen mittels Langzeitmessungen im Praxisbetrieb – Validierung von Messmethoden, Auswerteverfahren und Beurteilung der Messresultate**

## **Auftraggeber**

Bundesamt für Energie  
Kanton Graubünden, Amt für Natur- und Umwelt (ANU)  
Kanton Luzern, Umwelt und Energie (UWE)  
Kanton St. Gallen, Amt für Umwelt und Energie (AFU)  
Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL)

## **Auftragnehmer**

Verenum, 8006 Zürich

## **Autoren**

Adrian Lauber  
Dr. Jürgen Good  
Prof. Dr. Thomas Nussbaumer

## **Begleitgruppe**

Kanton Aargau, Abteilung für Umwelt (AFU)  
Andres Jenni, Ardens GmbH, Liestal  
Willi Vock, Ingenieurbüro Willi Vock, Biel

## **Bundesamt für Energie**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen, Postadresse: CH 3003 Bern  
Telefon +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00, [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)  
BFE-Projektleiter: Daniel Binggeli

<p>Dieser Bericht entstand im Auftrag des Bundesamts für Energie sowie des ANU Kanton Graubünden, des UWE Kanton Luzern, des AFU Kanton St. Gallen und des AWEL Kanton Zürich. Für den Inhalt sind ausschliesslich die Autoren verantwortlich</p>
---

# Inhalt

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>4</b>
<b>1</b> <b>Ausgangslage</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b> <b>Zielsetzung</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b> <b>Bestehende Beurteilungsmethoden</b> .....	<b>6</b>
3.1    Beurteilungsmethode QS 2015 .....	6
3.2    Beurteilungsmethode AWEL 2015.....	7
3.3    Beurteilung nach LRV Artikel 15 Ziffer 4.....	9
3.4    Beurteilung nach Empfehlungen QM Holzheizwerke .....	9
<b>4</b> <b>Entwurf Beurteilungsmethode QS 2016</b> .....	<b>10</b>
4.1    Hintergrund .....	10
4.2    Weiterentwicklung zu QS 2016 .....	11
4.3    Vergleich zwischen Kriterien für CO und für VOC .....	12
4.4    Methodenbeschreibung.....	14
4.5    Tabellarische und grafische Darstellung der Resultate .....	18
4.6    Beispiel.....	20
<b>5</b> <b>Messtechnik für Langzeitmessungen</b> .....	<b>22</b>
5.1    Hochwertige Messtechnik .....	22
5.2    Vereinfachte Messtechnik .....	24
<b>6</b> <b>Varianten und Anwendungen</b> .....	<b>25</b>
<b>7</b> <b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>29</b>
<b>8</b> <b>Literatur</b> .....	<b>30</b>
<b>9</b> <b>Anhang</b> .....	<b>31</b>
9.1    QS 2015 Standardbeurteilungsbogen.....	31
9.2    Anlagenbeispiele für den Vergleich der Beurteilungsmethoden .....	32

# Zusammenfassung

Im Rahmen des kantonalen Vollzugs der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) werden bei automatischen Holzfeuerungen Abnahme- und Kontrollmessungen durchgeführt. Damit wird geprüft, ob eine Feuerung bei kurzzeitig optimalen Betriebsbedingungen technisch in der Lage ist, die Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Um zu prüfen, ob eine Holzfeuerung die Grenzwerte auch unter realen Betriebsbedingungen über eine längere Zeit einhalten kann, wünschen verschiedene Kantone zusätzliche Langzeitmessungen.

Die LRV enthält jedoch keine Kriterien zur Beurteilung solcher Langzeitmessungen. QS-Support Holzfeuerungen hat deshalb über mehrere Jahre ein Verfahren zur Durchführung, Auswertung und Beurteilung von mehrtägigen Emissionsmessungen entwickelt (24h-Praxismessungen).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Bedürfnisse bei Langzeitmessungen im Zusammenhang mit dem Vollzug der LRV, bei Klagefällen und zur Optimierung des emissionsarmen Praxisbetriebs erhoben und gebündelt. Dazu wurden bestehende Emissionsmessmethoden, Auswerteverfahren und Beurteilungsmethoden untersucht und miteinander verglichen. Auf dieser Basis wurde im Auftrag des Bundesamts für Energie sowie der Kantone Graubünden, Luzern, St. Gallen und Zürich die in dieser Arbeit beschriebene Methode QS 2016 abgeleitet und den Bedürfnissen der Kantone angepasst. Die Methode soll eine zuverlässige und kostengünstige lufthygienische Beurteilung automatischer Holzfeuerungen erlauben, damit sie von den Kantonen anerkannt und zum Vollzug der LRV einheitlich angewendet wird.

Die Methode QS 2016 beurteilt die Anlage anhand von drei Kriterien für die CO-Emissionen im Feuerungsbetrieb, beim Anfahren und beim Abfahren. Das Kriterium für den Feuerungsbetrieb unterscheidet dabei zwischen Anlagen mit und ohne Feinstaubabscheider. Für Anlagen mit Abscheider wird als zusätzliches Kriterium dessen Verfügbarkeit beurteilt. Die Beurteilung nach den fünf Kriterien der Methode QS 2016 kann tabellarisch und grafisch dargestellt werden. Das Betriebsverhalten einer Anlage kann damit auf einer Seite im Überblick erfasst werden. Dadurch lassen sich Betriebssituationen, die zu erhöhten Emissionen führen können, rasch identifizieren.

Die Methode basiert auf einer Messung von CO und O<sub>2</sub> im Abgas mit gleichzeitiger Erfassung des Betriebszustands der Feuerung und sofern vorhanden des Feinstaubabscheiders. Die Methode kann sowohl für Messungen mit hochwertiger als auch mit vereinfachter Messtechnik angewendet und die Auswertung nach den fünf Kriterien mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Excel) ausgeführt werden.

Im Bericht werden drei mögliche Varianten zur Anwendung der Methode QS 2016 beschrieben:

1. Klagefälle, Emissionskontrollen und Anlagenoptimierungen insbesondere für VOC.
2. Anlagenoptimierungen bezüglich CO-Emissionen sowie kostengünstige Erstbeurteilungen bei Klagefällen und im kantonalen LRV-Vollzug.
3. Kostengünstige Erstbeurteilungen bei Klagefällen und im kantonalen LRV-Vollzug.

Es ist vorgesehen, dass die Methode QS 2016 von den auftraggebenden Kantonen in der Praxis eingesetzt und aufgrund der Erfahrungen aus einer breiten Anwendung weiter entwickelt wird.

# 1 Ausgangslage

Im Rahmen des kantonalen Vollzugs der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) werden bei automatischen Holzfeuerungen Abnahme- und Kontrollmessungen durchgeführt. Damit wird geprüft, ob eine Holzfeuerung bei kurzzeitig optimalen Betriebsbedingungen technisch in der Lage ist, die Emissionsgrenzwerte (EGW) der LRV einzuhalten. Um zu prüfen, ob eine Holzfeuerung auch unter realen Betriebsbedingungen über eine längere Zeit in der Lage ist die EGW einzuhalten, wünschen verschiedene Kantone zusätzliche Langzeitmessungen.

QS-Support Holzfeuerungen (QS) hat dazu über mehrere Jahre ein Verfahren für die Durchführung, Auswertung und Beurteilung von mehrtägigen Emissionsmessungen an automatischen Holzfeuerungen mit einer geeigneten Messtechnik entwickelt und angewendet (24h-Praxismessungen). Diese Langzeitmessungen wurden inzwischen auf verschiedenen Anlagen eingesetzt [1 – 4]. Während einige kantonale LRV-Vollzugsorgane das Verfahren von QS angewendet haben, sind andere Kantone daran, eigene, kostengünstigere Verfahren für die Kontrolle von automatischen Holzfeuerungen im Praxisbetrieb zu entwickeln [5].

## 2 Zielsetzung

Mit der vorliegenden Arbeit sollen die unterschiedlichen Bedürfnisse verschiedener Akteure im Zusammenhang mit dem Vollzug der LRV, bei Klagefällen und zur Optimierung des emissionsarmen Praxisbetriebs nach anerkannten und kostengünstigen Methoden zur Langzeitmessung, Auswertung und Beurteilung von automatischen Holzfeuerungen im Praxisbetrieb erhoben und gebündelt werden.

Dazu sollen bestehende Emissionsmessmethoden, Auswerteverfahren und Beurteilungsmethoden für Langzeitmessungen untersucht und miteinander verglichen werden. Auf dieser Basis sollen für künftige Langzeitmessungen standardisierte Methoden abgeleitet werden, welche den Bedürfnissen der kantonalen Vollzugs-Behörden angepasst sind. Diese sollen eine zuverlässige und kostengünstige lufthygienische Beurteilung der untersuchten Anlagen nach LRV Artikel 15 erlauben, damit sie von den Kantonen anerkannt und im Vollzug der LRV einheitlich angewendet werden. In einem ersten Schritt sollen diese Methoden als Vollzugsempfehlung der Arbeitsgruppe Emissionsüberwachung des Cercl'Air angewendet werden.

## 3 Bestehende Beurteilungsmethoden

### 3.1 Beurteilungsmethode QS 2015

Die Methode von QS Support Holzfeuerungen, nachfolgend QS 2015 genannt, wurde über mehrere Jahre in Zusammenarbeit mit Feuerungsherstellern entwickelt, um einen Massstab für die Emissionen neuer automatischer Holzfeuerungen und deren Regelungstechnik zu setzen [6]. Die Kriterien basieren auf Emissionsmesswerten von optimal einregulierten automatischen Holzfeuerungen mit aktueller Verbrennungstechnik. Die Methode QS 2015 beschreibt somit, was neue Anlagen erreichen können und was im Klagefall von einer Anlage bezüglich Emissionen verlangt werden kann.

Die Methode QS 2015 erlaubt eine detaillierte Beurteilung der einzelnen Betriebsphasen einer Holzfeuerung anhand der CO-Emissionen (Tabelle 1). Die Definitionen zur Unterscheidung der einzelnen Betriebsphasen sind in [6] beschrieben. Bei der Messung von gasförmigen organischen Stoffen (VOC-Messungen) gelten noch zusätzliche Kriterien (Tabelle 2). Die Kriterien von QS 2015 wurden so festgelegt, dass optimal einregulierte Anlagen mit aktueller Verbrennungstechnik diese Kriterien erfüllen können und gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit von VOC- und Russemissionen im Betrieb gering ist.

Zur abschliessenden Beurteilung werden alle Kriterien einzeln beurteilt (Kapitel 9.1). Sofern ein Kriterium einmal überschritten wird, wird der Anlagenbetrieb als „nicht erfüllt“ bewertet. So darf zum Beispiel während des Heizbetriebs der EGW nicht überschritten werden. Da bereits ein einzelner 5-Minuten Mittelwert über dem EGW zur Beurteilung „nicht erfüllt“ führt, ist diese Methode restriktiver als die Anforderung nach LRV Artikel 15 Ziffer 4 (Kapitel 3.3). Da die Methode den Massstab für optimal einregulierte Anlagen setzen will, ist dies beabsichtigt. Zusätzliche verschärfte Kriterien für die Beurteilung „hohe Qualität“ werden in Abhängigkeit vom Lastbereich der Feuerung angewendet.

Bei den An- und Abfahrphasen werden die Zeitspannen mit CO- und VOC-Konzentration über definierten Schwellenwerten beurteilt. Um diese Zeitspannen einzuhalten, müssen der Aufbau und die Reduktion des Brennstoffbetts kontrolliert ausgeführt werden. Andernfalls kann ein Schwelbetrieb auftreten, bei welchem die Emissionen über einen zu langen Zeitraum hoch bleiben.

Als Richtgrösse wird angenommen, dass bei CO-Konzentrationen von weniger als  $2500 \text{ mg/m}^3$  (nicht auf die  $\text{O}_2$ -Bezugsgrösse normiert) in der Regel keine Gerüche wahrgenommen werden. Deshalb wird die Zeit, während der diese Schwelle jeweils überschritten wird, für die Betriebsphasen „Anfahren“ und „Abfahren / Standby“ bewertet. Die tiefere Schwelle von  $1000 \text{ mg/m}^3$  (nicht auf die  $\text{O}_2$ -Bezugsgrösse normiert) ist ein zusätzlich verschärftes Qualitätskriterium. Für VOC-Messungen wurde die Geruchsschwelle mittels olfaktometrischen Untersuchungen von QS auf  $100 \text{ mg/m}^3$  festgelegt [3].

Ebenfalls ausgewiesen aber nicht beurteilt wird die Anzahl Anfahrvorgänge pro Tag. Bei diesem Kriterium wird der Glutbettunterhalt (Phasen während denen neuer Brennstoff in die Brennkammer eingeschoben wird) nicht als Anfahren gewertet.

Tabelle 1 Beurteilungsschema von QS 2015 für CO-Emissionen und die Anzahl Anfahrvorgänge. Die Beurteilung basiert auf 5-Minuten-Mittelwerten. Für den Heizbetrieb kommen drei Schwellenwerte für tiefe, mittlere und hohe Feuerungs-Wärmeleistung  $Q^*$  zur Anwendung.

Kriterien nach QS 2015	CO-Werte	Einheit	Anforderung	
			erfüllt	hohe Qualität
Grösster CO-Wert während Heizbetrieb mit $Q^* < 50\%$	bei $O_2$ Bezug	mg/m <sup>3</sup>	≤ EGW	≤ 200
Grösster CO-Wert während Heizbetrieb $Q^*: 50\% - 80\%$	bei $O_2$ Bezug	mg/m <sup>3</sup>	≤ EGW	≤ 100
Grösster CO-Wert während Heizbetrieb mit $Q^* > 80\%$	bei $O_2$ Bezug	mg/m <sup>3</sup>	≤ EGW	≤ 50
Längste Anfahrzeit mit CO > 1000 mg/m <sup>3</sup>	ohne $O_2$ Bezug	Min.	≤ 30	≤ 15
Längste Anfahrzeit mit CO > 2500 mg/m <sup>3</sup>	ohne $O_2$ Bezug	Min.	≤ 15	≤ 5
Längste Abfahr- und Standbyzeit mit CO > 1000 mg/m <sup>3</sup>	ohne $O_2$ Bezug	Min.	≤ 120	≤ 45
Längste Abfahr- und Standbyzeit mit CO > 2500 mg/m <sup>3</sup>	ohne $O_2$ Bezug	Min.	≤ 60	≤ 30
Anzahl Anfahrvorgänge pro Tag		–	≤ 5	≤ 3

Tabelle 2 Beurteilungsschema von QS 2015 für VOC-Emissionen. Die Beurteilung basiert auf 5-Minuten-Mittelwerten. Für den Heizbetrieb kommen drei Schwellenwerte für tiefe, mittlere und hohe Feuerungs-Wärmeleistung  $Q^*$  zur Anwendung.

Kriterien nach QS 2015	VOC-Werte	Einheit	Anforderung	
			erfüllt	hohe Qualität
Grösster VOC-Wert während Heizbetrieb mit $Q^* < 50\%$	bei $O_2$ Bezug	mg/m <sup>3</sup>	≤ 200	≤ 100
Grösster VOC-Wert während Heizbetrieb $Q^*: 50\% - 80\%$	bei $O_2$ Bezug	mg/m <sup>3</sup>	≤ 100	≤ 50
Grösster VOC-Wert während Heizbetrieb mit $Q^* > 80\%$	bei $O_2$ Bezug	mg/m <sup>3</sup>	≤ 50	≤ 20
Längste Anfahrzeit mit VOC > 100 mg/m <sup>3</sup>	ohne $O_2$ Bezug	Min.	≤ 15	≤ 5
Längste Abfahr- und Standbyzeit mit VOC > 100 mg/m <sup>3</sup>	ohne $O_2$ Bezug	Min.	≤ 30	≤ 15

### 3.2 Beurteilungsmethode AWEL 2015

Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich führt bei Klagefällen und im Verdachtsfall eigene Langzeitmessungen mit einem portablen Abgas-Messkoffer durch. Für die Beurteilung dieser Messungen hat das AWEL eine eigene Methode entwickelt (Tabelle 3).

Während die Methode QS 2015 jedes einzelne Ereignis beurteilt, wird mit der Methode AWEL 2015 die Messung tageweise beurteilt. Nur ein gewisser Anteil aller Messwerte, respektive der Messwerte während des Feuerungsbetriebs, darf pro 24 h über einer bestimmten Schwelle liegen. Die einzuhaltenen Anteile wurden als Prozentsätze mit Annahme einer Feuerungsbetriebszeit von 12 h pro Tag und einem Anfahren pro Tag aus den Kenngrössen der Methode QS 2015 abgeleitet (Bild 1). Der CO-Tagesmittelwert während des Feuerungsbetriebs wird als zusätzliches Kriterium verwendet.

Tabelle 3 Entwurf des Beurteilungsschemas AWEL 2015 für die Beurteilung von Langzeitmessungen bei Klagefällen. Für die Beurteilung werden 5-Minuten-Mittelwerten verwendet [7].

Kriterien nach AWEL	CO-Werte	Anforderung	
		erfüllt	hohe Qualität
Feuerungsbetriebszeit mit CO > EGW	bei O <sub>2</sub> Bezug	≤ 20 %	≤ 20 %
Zeit pro Tag mit CO > 1000 mg/m <sup>3</sup>	ohne O <sub>2</sub> Bezug	≤ 10 %	≤ 4 %
Zeit pro Tag mit CO > 2500 mg/m <sup>3</sup>	ohne O <sub>2</sub> Bezug	≤ 5 %	≤ 2 %
Zeit pro Tag mit CO > 4000 mg/m <sup>3</sup>	ohne O <sub>2</sub> Bezug	0 %	0 %
CO-Tagesmittelwert während des Feuerungsbetriebs	bei O <sub>2</sub> Bezug	≤ EGW	≤ EGW

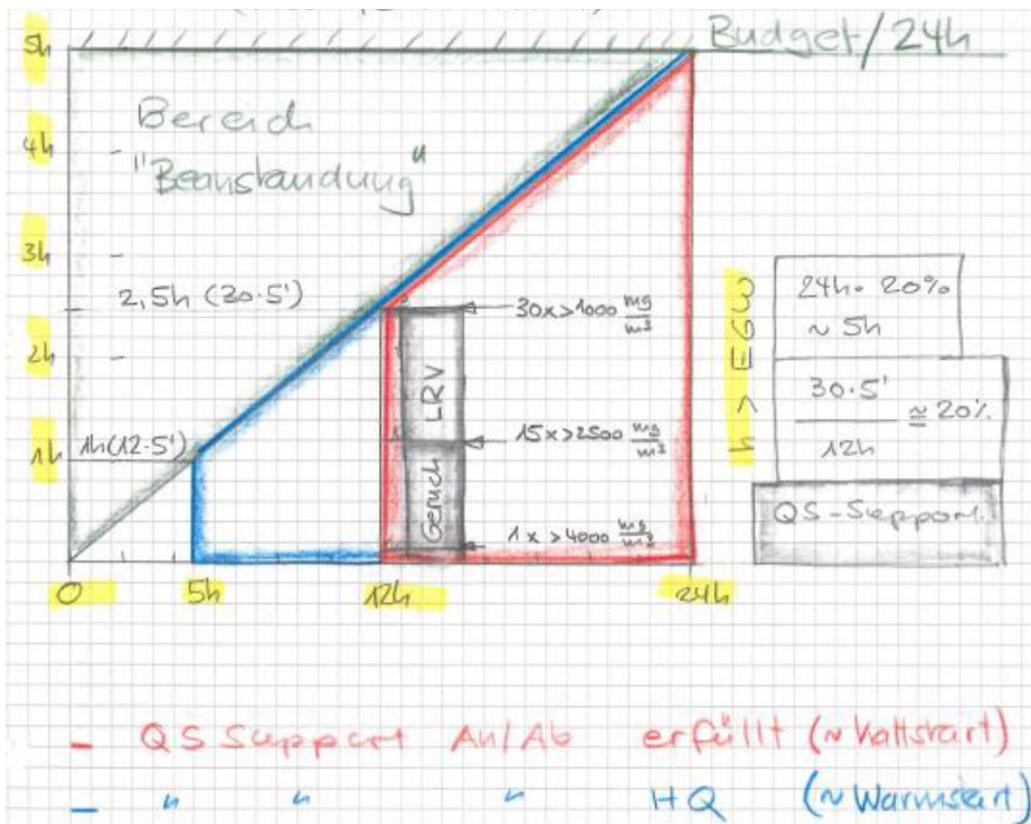


Bild 1 Entwurf für die schematische Darstellung der Resultate nach der Beurteilungsmethode AWEL 2015 [8]. Auf der x-Achse ist die Feuerungsbetriebszeit und auf der y-Achse die Dauer der EGW-Überschreitung dargestellt. Die Herleitung anhand der Kriterien von QS 2015 ist ersichtlich. Im Diagramm sind gleichzeitig auf den O<sub>2</sub>-Bezugswert normierte und nicht normierte Messwerte dargestellt.

### 3.3 Beurteilung nach LRV Artikel 15 Ziffer 4

Die Beurteilung von Holzfeuerungen anhand von mehrtägigen Langzeitmessungen ist gemäss LRV nicht vorgesehen. Bei Anlagen mit erheblichen Emissionen ist jedoch gemäss LRV Artikel 13 Ziffer 4 eine kontinuierliche Überwachung anzuordnen. In Anlehnung an LRV Artikel 15 Ziffer 4 kann bei solchen Anlagen der Heizbetrieb ohne An- und Abfahren der Feuerung beurteilt werden (Tabelle 4). Zwei von drei dieser Kriterien müssen immer erfüllt sein und können somit auch während einer Langzeitmessung beurteilt werden. Eine Ausnahme ergibt sich nur, sofern während der Messung eine Störung auftritt. Entsprechende Messphasen sind gemäss LRV von der Beurteilung ausgenommen. Das erste Kriterium von 97 % der Stundenmittelwerte, welche das 1.2-fache des EGW nicht überschreiten dürfen, bezieht sich auf ein Betriebsjahr und kann deshalb mit einer Langzeitmessung über einen Tag oder über wenige Tage nicht beurteilt werden. Auch wenn während der Langzeitmessung alle Stundenmittelwerte über dem 1.2-fachen EGW liegen, kann diese Zeit in einem Betriebsjahr weniger als 3 % betragen.

Tabelle 4 Beurteilung des Heizbetriebs in Anlehnung an LRV Artikel 15 Ziffer 4 (ohne An- und Abfahren). Die 97 % des ersten Kriteriums beziehen sich auf ein Betriebsjahr und können deshalb während einer Langzeitmessung über wenige Tage nicht beurteilt werden. Die Kriterien zwei und drei können während einer Langzeitmessung beurteilt werden.

Kriterien in Anlehnung an LRV	CO-Werte	Bewertungsbasis	Anforderung
Heizbetriebszeit mit CO < 1.2-facher EGW	bei O <sub>2</sub> Bezug	Stundenmittelwerte	≥ 97 %
Heizbetriebszeit mit CO < 2-facher EGW	bei O <sub>2</sub> Bezug	Stundenmittelwerte	100 %
Heizbetriebszeit mit CO < 1-facher EGW	bei O <sub>2</sub> Bezug	Tagesmittelwerte	100 %

### 3.4 Beurteilung nach Empfehlungen QM Holzheizwerke

QM Holzheizwerke (QMH) empfiehlt für den Schwachlastbetrieb eine minimale mittlere Tagesheizlast gemäss Q-Leitfaden Tabelle 20 und einen Wärmespeicher mit einer Kapazität von einer Betriebsstunde bei Nennlast [9]. Diese Empfehlungen bezwecken unter anderem die Sicherstellung eines emissionsarmen Anlagebetriebs.

Mit einem Wärmezähler kann die Tagesheizlast einfach überprüft werden. Bei Anlagen ohne Wärmezähler muss sie aus der Feuerungsbetriebszeit und der gemessenen Feuerungswärmeleistung abgeschätzt werden. Dies ist aufwändig und mit einer erheblichen Unsicherheit verbunden. Die Einhaltung dieser Empfehlungen ist deshalb nicht immer überprüfbar. Die Empfehlungen von QMH sind wichtige Orientierungsgrössen bei der Beurteilung des Feuerungsbetriebs, sie dienen aber in erster Linie als Richtlinien zur Auslegung der Anlagen und sind nicht als eigenständige Kriterien zur Beurteilung der Emissionen geeignet.

Tabelle 5 Empfehlungen von QMH für den Schwachlastbetrieb. Die minimale Tagesheizlast ist abhängig von Feuerungstyp, Wärmespeicher und Wassergehalt des Brennstoffs.

Empfehlung von QMH	Quelle	Anforderung
Tagesheizlast	QMH Q-Leitfaden, Tabelle 20	≥ 10 % bis ≥ 40 %
Wärmespeicher	QMH FAQ 21	≥ 1 h Speicherkapazität bei Nennleistung

## 4 Entwurf Beurteilungsmethode QS 2016

### 4.1 Hintergrund

Auslöser von Nachbarschaftsklagen sind meistens erhöhte Emissionen an VOC sowie an Russ und organischem Staub. Organische Verbindungen und Russ weisen zwar unterschiedliche Bildungswege auf, können aber ebenso wie CO durch eine vollständige Verbrennung vermieden werden [10, 11]. Aus diesem Grund bestehen bei bestimmten Verbrennungsbedingungen ausgeprägte Korrelationen zwischen VOC und CO und oft auch zwischen Russ und CO. Dies gilt insbesondere bei Betriebsbedingungen mit Luftmangel. Diese können zum Beispiel beim Anfahren während und nach dem Brennstoffeinschub oder durch ungeeignete Lufteinstellungen oder beim Abfahren durch zu frühe Reduktion der Verbrennungsluftzufuhr auftreten. Auch ungünstige Bedingungen im Brennstoffbett zum Beispiel als Folge einer ungleichmässigen Durchströmung mit Kanalbildung oder als Folge von unbedeckten Rostflächen können zum Beispiel zu erhöhten Russ- bei ebenfalls erhöhten CO-Emissionen führen. Kritische Verbrennungsphasen können deshalb oft durch CO-Messungen erfasst werden.

Die beschriebenen Korrelationen zwischen VOC, Russ und CO sind aber nicht allgemeingültig. So sind auch Betriebszustände mit hoher CO-Konzentration und niedrigen VOC- und Russemissionen möglich. Dies gilt zum Beispiel für die Umwandlung von Holzkohle, die in der Ausbrandphase verstärkt in Erscheinung tritt. Für solche Betriebsbedingungen sind somit auch Phasen mit einer CO-Überschreitung möglich, die nicht zwingend kritisch in Bezug auf VOC und Russ sind. Umgekehrt sind auch Betriebszustände mit tiefer CO-Konzentration aber hohen VOC- und/oder Russemissionen möglich. So kann zum Beispiel ein ausgeprägtes Mitreissen von Brennstoff- und Glutpartikeln aus dem Brennstoffbett etwa bei erhöhtem Feinanteil im Brennstoff zu Bedingungen mit hohen Russemissionen bei tiefen CO-Emissionen führen.

QS 2015 beurteilt die Qualität der An- und Abfahrvorgänge anhand von zwei Schwellenwerten für die CO-Konzentration (Bild 2, links). Beurteilt wird jeweils die Dauer, während der die nicht auf den O<sub>2</sub>-Bezugswert normierten CO-Messwerte über diesen Schwellenwerten liegen. Die maximal zulässige Zeitspanne ist für beide Schwellenwerte individuell begrenzt (Tabelle 1). Die Kriterien wurden dabei so gesetzt, dass optimal einregulierte Anlagen mit aktueller Verbrennungstechnik diese Kriterien erfüllen können und gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit für VOC- und Russ-Emissionen im Betrieb gering ist.

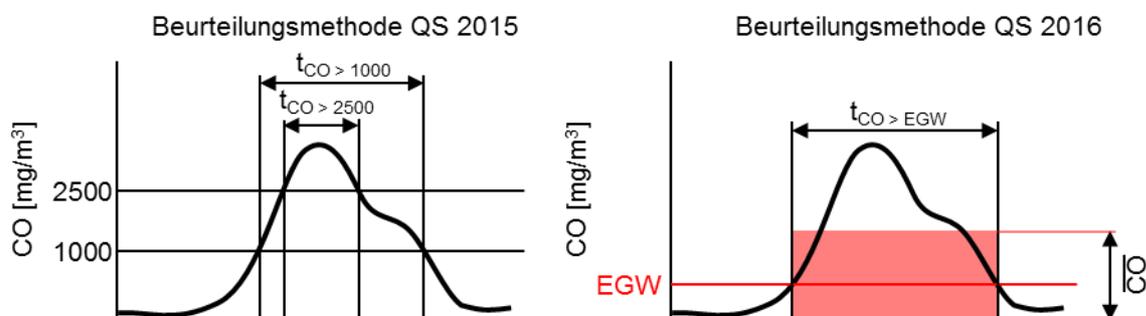


Bild 2 Schematische Darstellung der CO-Emissionen eines An- oder Abfahrvorgangs. Im linken Diagramm sind die beiden Schwellenwerte der Methode QS 2015 bei 1000 mg/m<sup>3</sup> und 2500 mg/m<sup>3</sup> und die zugehörigen Phasendauern  $t_{CO > 1000}$  und  $t_{CO > 2500}$  eingezeichnet. Im rechten Diagramm ist das CO-Kriterium der Methode QS 2016 mit der Phasendauer bei  $CO > EGW$  und der mittleren CO-Konzentration während dieser Phase eingezeichnet.

## 4.2 Weiterentwicklung zu QS 2016

Bei einer optimal einregulierten Feuerung weist der Verlauf der CO-Konzentration von An- und Abfahrvorgängen in der Regel einen Scheitelwert wie in Bild 2 dargestellt auf. Diesen Verlauf kann die Methode QS 2015 gut abbilden. Bei nicht optimal einregulierten Feuerungen kann der Verlauf jedoch mehrere Scheitelwerte haben und die Schwellenwerte phasenweise unterschreiten, was die Beurteilung erschwert (Bild 3). Auch längere Phasen mit CO-Konzentrationen knapp unter einem Schwellenwert können nicht optimal abgebildet werden.

Solche An- und Abfahrvorgänge können anhand der Dauer von Phasen mit CO-Konzentrationen über dem EGW in Bezug zur mittleren CO-Konzentration während dieser Phasen besser abgebildet werden (Bild 2, rechts). Als Beurteilungsgrösse dient deshalb bei der Methode QS 2016 das Produkt aus Phasendauer und mittlerer CO-Konzentration. Dieses Produkt ist als Zahlenwert schwer fassbar, kann aber grafisch gut verständlich dargestellt werden (Bild 4).

Bei der Berechnung der Beurteilungsgrösse der Methode QS 2016 sind alle CO-Messwerte zu berücksichtigen, die im beurteilten Zeitraum auf den O<sub>2</sub>-Bezugswert normiert über dem EGW liegen (Bild 3). Aus diesen Werten wird ein nicht auf den O<sub>2</sub>-Bezugswert normierter CO-Mittelwert gebildet und mit der aufsummierten Dauer der EGW-Überschreitung multipliziert. Der beurteilte Zeitraum ist während des Anfahrens auf 1 Stunde und während des Abfahrens auf 4 Stunden begrenzt.

Bild 4 zeigt den Vergleich zwischen dieser Beurteilungsgrösse von QS 2016 und den Schwellenwerten von QS 2015. Die Kriterien von QS 2016 sind QS 2015 nachempfunden und übernehmen deshalb weitgehend die beiden Schwellenwerte mit der zulässigen Dauer der entsprechenden Betriebsphasen. Als Referenzpunkte werden der Schwellenwert aus QS 2015 von 1000 mg/m<sup>3</sup> und die zugehörigen zulässigen Zeitspannen von 0.5 h und 2 h aus Tabelle 1 verwendet. Das Produkt aus Schwellenwert in mg/m<sup>3</sup> und zulässiger Zeitspanne in Stunden bildet den maximal zulässigen Wert der Beurteilungsgrösse in [(mg/m<sup>3</sup>)·h]. Die Kriterien „erfüllt“ entsprechen damit für QS 2016 den Produkten von 500 (mg/m<sup>3</sup>)·h beim Anfahren und von 2000 (mg/m<sup>3</sup>)·h beim Abfahren.

Beim zweiten Schwellenwert von 2500 mg/m<sup>3</sup> ergeben sich mit der Methode QS 2016 maximal zulässige Phasendauern von 12 Minuten beim Anfahren und 48 Minuten beim Abfahren. Gegenüber der Methode QS 2015 wird damit die maximal zulässige Phasendauer bei diesem Schwellenwert um 3 Minuten respektive um 12 Minuten verkürzt. Die Beurteilung nach der Methode QS 2016 ist somit beim zweiten bisherigen Schwellenwert etwas restriktiver als die Methode QS 2015.

Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass durch die Abgrenzung des beurteilten Zeitbereichs anhand des EGW die beurteilte Phasendauer mit der Methode QS 2016 gegenüber der Methode QS 2015 länger und die mittlere CO-Konzentration entsprechend tiefer ist. Dadurch verschieben sich die Punkte der Beurteilungsgrösse in Bild 4 gegenüber der Methode QS 2015 nach rechts unten.

Die Resultate der Beurteilung durch die beiden Methoden wurde anhand von Messwerten von 22 Anlagen verglichen (Kapitel 9.2). Bei 12 Anlagen gibt es eine übereinstimmende Beurteilung, bei 4 weiteren Anlagen ist die Abweichung zwischen den zwei Methoden minimal. Deutliche Abweichungen ergeben sich bei 6 Anlagen insbesondere durch lange An- und Abfahrphasen mit CO-Konzentrationen knapp unterhalb der Schwellenwerte. Diese werden mit der Methode QS 2016 beanstandet.

Die grafische Darstellbarkeit der Methode QS 2016 ist ein Vorteil gegenüber der Methode QS 2015. Aus Bild 4 kann direkt abgelesen werden, ob ein An- oder Abfahrvorgang eher kurz mit hohen Emis-

sionen oder eher lang mit tieferen Emissionen erfolgt. Zudem sind sämtliche An- und Abfahrvorgänge von einer Langzeitmessung übersichtlich darstellbar.

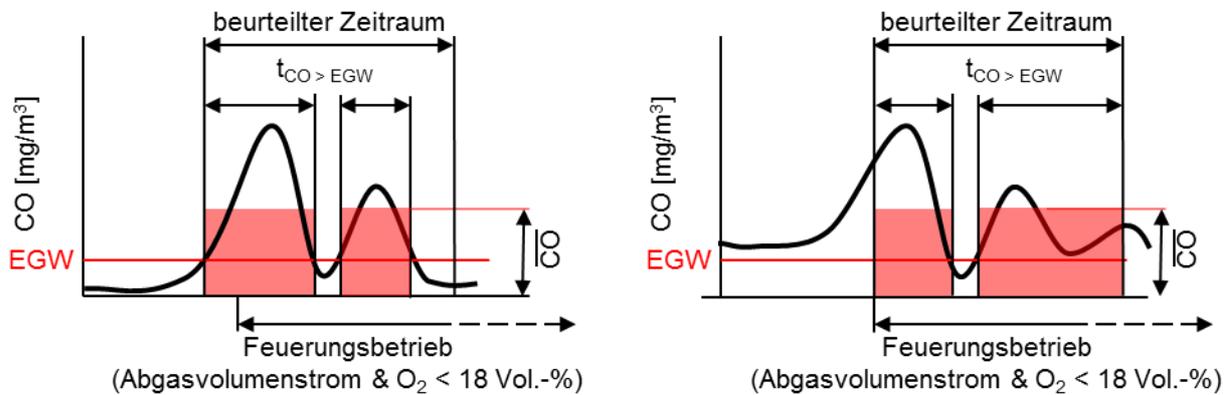


Bild 3 Schematische Darstellung der CO-Emissionen von zwei nicht optimal einregulierten Anfahrvorgängen. Links eine Anlage, die zwei Scheitelwerte aufweist, bevor die CO-Konzentration dauerhaft unter den EGW sinkt. Rechts eine Anlage, die bereits vor dem Anfahren hohe CO-Konzentrationen aufweist und bei der die CO-Konzentration innerhalb des beurteilten Zeitraums nicht unter den EGW sinkt.

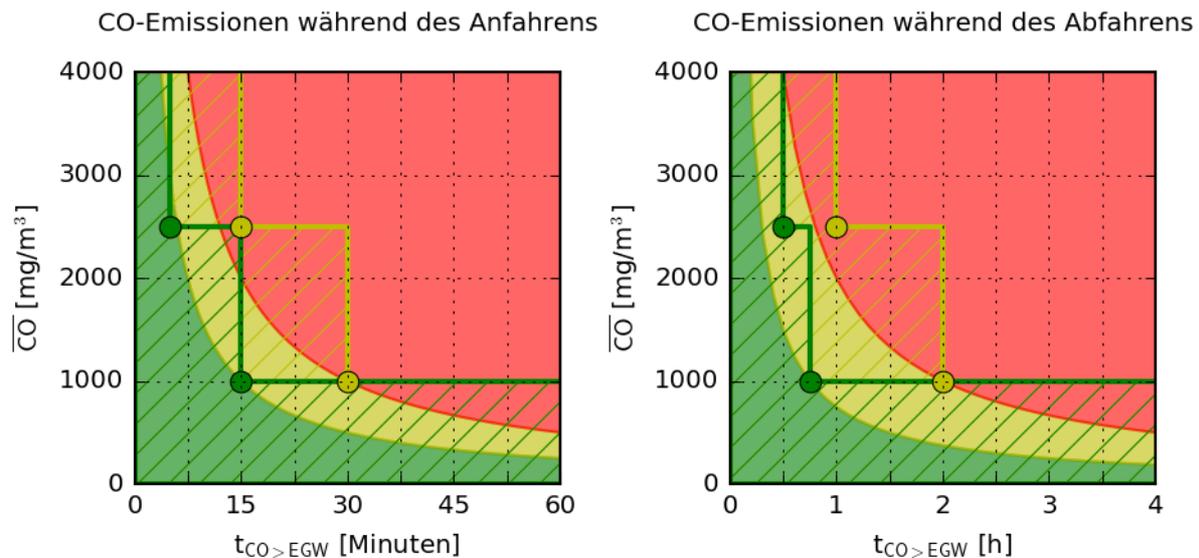


Bild 4 Vergleich zwischen den Schwellenwerten aus der Methode QS 2015 und der Beurteilungsgröße der Methode QS 2016. Die Schwellenwerte von QS 2015 aus Tabelle 1 sind als Punkte eingezeichnet. Daraus ergeben sich die zulässigen Bereiche welche schraffiert eingezeichnet sind (grün: hohe Qualität, gelb: erfüllt). Die zulässigen Bereiche der Methode QS 2016 sind als volle Flächen eingezeichnet und basieren auf den Schwellenwerten von QS 2015 bei  $1000 \text{ mg/m}^3$ . Entlang den Begrenzungslinien der eingezeichneten Flächen ist das Produkt aus CO-Mittelwert und Dauer der EGW-Überschreitung konstant.

### 4.3 Vergleich zwischen Kriterien für CO und für VOC

Wie in Kapitel 4.1 erläutert, beschreiben die CO-Kriterien was neue Anlagen bezüglich Emissionen erreichen können und was im Klagefall von einer Anlage verlangt werden kann. Diese Kriterien sollen aber auch als Indikator für das Potenzial erhöhter VOC- und Russemissionen dienen, ohne dass entsprechende aufwändige Messungen vorgenommen werden.

Die Zulässigkeit dieser zweiten Aussage wird durch einen Vergleich zwischen CO- und VOC-Emissionen validiert. Bild 5 zeigt diesen Vergleich mit Messwerten von bisherigen Langzeitmessungen. Die Beurteilungsgrösse der Methode QS 2016 gemäss Kapitel 4.2 kann dazu nicht wie in Bild 4 anschaulich dargestellt werden und ist deshalb als Produkt auf der x-Achse dargestellt. Auf der y-Achse ist die Dauer während der Phasen mit VOC-Konzentrationen über der Geruchsschwelle von  $100 \text{ mg/m}^3$  gemäss der Methode QS 2015 dargestellt.

Der Vergleich zeigt, dass die CO-Emissionen auf der x-Achse und die VOC-Emissionen auf der y-Achse zwar oft nicht übereinstimmend mit „hohe Qualität“, „erfüllt“ und „nicht erfüllt“ beurteilt werden. Bei längeren Phasen mit VOC-Konzentrationen über der Geruchsschwelle ist jedoch auch der Wert der Beurteilungsgrösse der Methode QS 2016 hoch. Wie in Kapitel 4.1 erläutert, ist der Umkehrschluss nicht zulässig. Bei einem hohen Wert der Beurteilungsgrösse, also hohen CO-Konzentrationen während einer längeren Zeit, wird nicht immer eine lange Phase mit hohen VOC-Konzentrationen gemessen. In diesem Sinne kann die Beurteilungsgrösse von QS 2016 als Indikator für das Potenzial zu erhöhten VOC-Emissionen benutzt werden und die Grössenordnung der vorgeschlagenen Kriterien stimmt.

Mangels entsprechender Messdaten ist kein Vergleich zwischen CO- und Russmissionen möglich. Basierend auf den theoretischen Überlegungen in Kapitel 4.1 kann allerdings ein vergleichbarer Zusammenhang erwartet werden. Deshalb wird angenommen, dass das Russ-Potenzial ähnlich abgeschätzt werden kann und auch hier die Kriterien von QS 2016 in der Grössenordnung stimmen.

Im Zweifelsfall und bei Klagefällen sind VOC- und Staubmessungen jedoch unumgänglich.

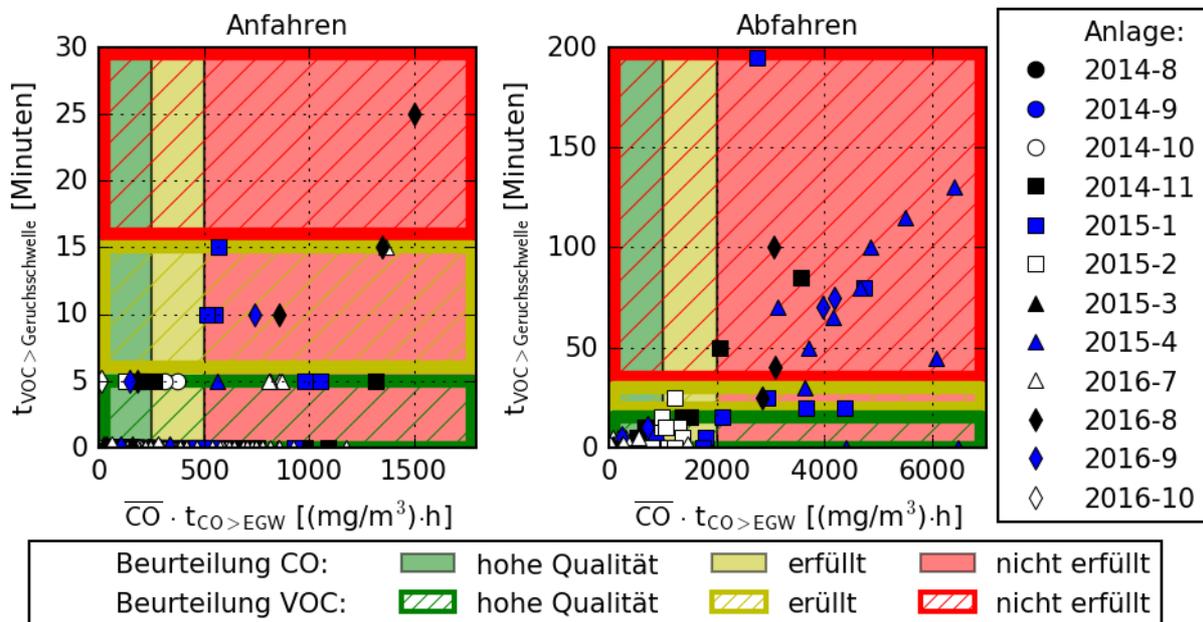


Bild 5 Vergleich zwischen der Beurteilungsgrösse der Methode QS 2016 auf der x-Achse und den Kriterien der Methode QS 2015 zur Beurteilung der VOC-Emissionen auf der y-Achse. Ausgewertet sind 12 Langzeitmessungen von QS, bei welchen ein FID zur Messung von VOC eingesetzt wurde. Die Messwerte wurden auf 5-Minuten Intervalle gemittelt. Die Beurteilungskriterien für VOC sind in Tabelle 2 definiert.

## 4.4 Methodenbeschreibung

Die Methode QS 2016 setzt einen Massstab zur Beurteilung der Emissionen von automatischen Holzfeuerungen. Damit soll auch aufgezeigt werden, was Anlagen in der Praxis erreichen können und was im Klagefall von einer Anlage bezüglich Emissionen verlangt werden kann.

Für die Anlagenbeurteilung müssen die Betriebszustände von Feuerung und Feinstaubabscheider bekannt sein. Die dafür notwendigen Zustände sind in Tabelle 6 definiert. Damit werden für die Methode QS 2016 insgesamt fünf Kriterien nach Tabelle 7 definiert, wobei für Anlagen ohne und mit Feinstaubabscheider folgende Unterscheidung gilt:

- für Anlagen ohne Feinstaubabscheider kommt Kriterium 1 zur Anwendung,
- für Anlagen mit Feinstaubabscheider kommen die Kriterien 2 und 3 zur Anwendung.

Die Kriterien 4 und 5 kommen für alle Anlagen zur Anwendung.

### **Kriterium 1 (für Anlagen ohne Feinstaubabscheider):**

#### **CO EGW-Überschreitung pro 24h während des Feuerungsbetriebs**

Während des Feuerungsbetriebs mit relevantem Abgasvolumenstrom soll der EGW für CO grundsätzlich eingehalten werden. Die über einen Zeitraum von 24 Stunden kumulierte Dauer der EGW-Überschreitung darf deshalb 20 % der Feuerungsbetriebszeit nicht überschreiten. Zur Abgrenzung des Bereichs „hohe Qualität“ wird die zulässige Dauer der Überschreitung auf 10 % begrenzt.

Dieses Kriterium ist abhängig von der Qualität der An- und Abfahrvorgänge, der Anzahl Betriebszyklen, der Dauer des Feuerungsbetriebs und den CO-Emissionswerten während des Heizbetriebs (Feuerungsbetrieb ohne An- und Abfahren). Kriterium 1 ist für folgende Beispiele eingehalten:

- a) bei 8 h Feuerungsbetrieb in 24 h mit weniger als 1.6 h EGW-Überschreitung oder
- b) bei 16 h Feuerungsbetrieb in 24 h mit weniger als 3.2 h EGW-Überschreitung.

### **Kriterium 2 (für Anlagen mit Feinstaubabscheider):**

#### **CO-Mittelwert pro 24h während des Feuerungsbetriebs**

Während des Feuerungsbetriebs mit relevantem Abgasvolumenstrom soll der EGW für CO grundsätzlich eingehalten werden. Bei Kriterium 2 muss entweder das Kriterium 1 eingehalten werden oder die durchschnittliche auf den O<sub>2</sub>-Bezugswert normierte CO-Konzentration während des Feuerungsbetriebs liegt unter dem EGW. Über einen Zeitraum von 24 Stunden darf der CO-Mittelwert den EGW nur dann überschreiten, wenn der EGW während weniger als 20 % der Feuerungsbetriebszeit (was Kriterium 1 entspricht) überschritten wird. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn die CO-Konzentration während des Heizbetriebs im Bereich des EGW liegt. In diesem Fall kann der CO-Mittelwert über dem EGW liegen, auch wenn die Dauer der EGW-Überschreitung nur kurz ist. Kriterium 2 ist daher toleranter als Kriterium 1, es ist aber von den gleichen Faktoren abhängig. Zur Abgrenzung des Bereichs „hohe Qualität“ wird der CO-EGW halbiert. Kriterium 2 ist für folgende Beispiele eingehalten:

- a) CO-Mittelwert von 1000 mg/m<sup>3</sup> und weniger als 20 % EGW-Überschreitung während 24 Stunden oder
- b) CO-Mittelwert von weniger als 500 mg/m<sup>3</sup> und mehr als 20 % EGW-Überschreitung während 24 Stunden (bei einem EGW von 500 mg/m<sup>3</sup>).

### **Kriterium 3 (für Anlagen mit Feinstaubabscheider):**

#### **Verfügbarkeit Feinstaubabscheider pro 24h**

Während des Feuerungsbetriebs mit relevantem Abgasvolumenstrom soll der EGW für Staub grundsätzlich eingehalten werden. Dies wird indirekt über die Verfügbarkeit des Feinstaubabscheiders beurteilt. Als Indikator für den Betrieb des Feinstaubabscheiders wird bei Elektroabscheidern die elektrische Leistung des Hochspannungsnetzgeräts und bei Gewebefiltern der Druckabfall über das Filter verwendet.

Der Feinstaubabscheider darf phasenweise inaktiv sein. Zulässig ist eine Ausfallzeit von maximal 1 Stunde pro 24 Stunden. Dies entspricht einer Verfügbarkeit von rund 96 % bei einer Feuerung im Dauerbetrieb. Bei kürzeren Feuerungsbetriebszeiten sinkt die geforderte Mindestverfügbarkeit, bei einer Feuerungsbetriebszeit von 12 Stunden in 24 Stunden zum Beispiel auf 92 %. Zur Abgrenzung des Bereichs „hohe Qualität“ wird die zulässige Ausfallzeit auf 30 Minuten halbiert.

Die Einhaltung von Kriterium 3 ist hauptsächlich abhängig von der Einschaltverzögerung des Feinstaubabscheiders, der Anzahl Anfahrvorgänge sowie der Abgas- und Gerätetemperatur. Kriterium 3 ist für folgende Beispiele eingehalten:

- a) mindestens 92 % Verfügbarkeit des Feinstaubabscheiders bei 12 Stunden Feuerungsbetrieb in 24 Stunden oder
- b) mindestens 80 % Verfügbarkeit des Feinstaubabscheiders bei 5 Stunden Feuerungsbetrieb in 24 Stunden.

### **Kriterium 4 (für alle Anlagen): CO-Emissionen während des Anfahrens**

Das Anfahren der Feuerung soll möglichst kurz und emissionsarm erfolgen. Beurteilt werden deshalb die Höhe der CO-Konzentration und die Dauer der Phasen mit Überschreitung des EGW. Das Produkt aus dem CO-Gehalt und der Dauer eines Anfahrvorgangs darf  $500 \text{ (mg/m}^3\text{)} \cdot \text{h}$  nicht überschreiten. Der beurteilte Zeitraum ist auf maximal 1 Stunde begrenzt. Wird dies eingehalten, wird die Wahrscheinlichkeit für übermässige VOC- und Russ-Emissionen als gering eingeschätzt. Kriterium 4 ist für folgende Beispiele von Anfahrvorgängen eingehalten:

- a) durchschnittliche CO-Emissionen von  $1000 \text{ mg/m}^3$  während maximal 30 Minuten oder
- b) durchschnittliche CO-Emissionen von  $2000 \text{ mg/m}^3$  während maximal 15 Minuten.

### **Kriterium 5 (für alle Anlagen): CO-Emissionen während des Abfahrens**

Die Beurteilung des Abfahrens erfolgt analog zum Anfahren. Da beim Abfahren typischerweise jedoch die CO-Emissionen im Vergleich zu VOC verstärkt auftreten, wird der Grenzwert für das Produkt aus CO-Gehalt und der Dauer des Abfahrvorgangs auf  $2000 \text{ (mg/m}^3\text{)} \cdot \text{h}$  festgelegt und der beurteilte Zeitraum auf maximal 4 Stunden begrenzt. Kriterium 5 ist für folgende Beispiele von Abfahrvorgängen eingehalten:

- a) durchschnittliche CO-Emissionen von  $1000 \text{ mg/m}^3$  während maximal 2 Stunden oder
- b) durchschnittliche CO-Emissionen von  $2000 \text{ mg/m}^3$  während maximal 1 Stunde.

Tabelle 6 Definition der Betriebszustände zur Beurteilung von Anlagen nach der Methode von QS 2016. Der Betriebszustand der Feuerung wird anhand der Sauerstoffkonzentration  $O_2$  und dem Abgasvolumenstrom  $\dot{V}$  bestimmt. Je nach Feinstaubabscheider wird entweder die elektrische Leistung des Hochspannungsnetzgeräts des Elektroabscheiders  $P_{EA}$  oder der Druckabfall über dem Gewebefilter  $\Delta p_{GF}$  als Indikator für den Abscheiderbetrieb verwendet. Ausser für die  $O_2$ -Konzentration müssen die Schwellenwerte auf jeder Anlage individuell angepasst werden.  
AGV = Abgasventilator

Zustand	Beginnt wenn	Endet wenn
Feuerungsbetrieb	$O_2 \leq 18 \text{ Vol.-%}$ UND $\dot{V} > \dot{V}_{\min}$ (z.B. AGV Ein)	$O_2 > 19 \text{ Vol.-%}$ ODER $\dot{V} < \dot{V}_{\min}$ (z.B. AGV Aus)
Betrieb Elektroabscheider  ODER  Betrieb Gewebefilter	$P_{EA} > P_{EA, \min}$ (z.B. 20% von $P_{EA, \text{nenn}}$ )  $\Delta p_{GF} > \Delta p_{GF, \min}$ (z.B. 10% von $\Delta p_{GF, \max}$ )	$P_{EA} < P_{EA, \min}$  $\Delta p_{GF} < \Delta p_{GF, \min}$
Anfahren	Phase mit $CO > EGW$ während dessen der Feuerungsbetrieb beginnt  ODER  ab Beginn des Feuerungsbetriebs wenn $CO > EGW$ ohne Unterbruch seit Beginn des Abfahrens	Bis $CO < EGW$  ODER  Spätestens wenn das Abfahren startet
Abfahren	Phase mit $CO > EGW$ während dessen der Feuerungsbetrieb beginnt  ODER  ab Ende des Feuerungsbetriebs wenn $CO > EGW$ ohne Unterbruch seit Beginn des Anfahrens	Bis $CO < EGW$  ODER  Spätestens wenn das Anfahren startet

Tabelle 7 Beurteilungsschema der Methode QS 2016.  
 \* Zuerst werden die Tagesmittelwerte gebildet, die Normierung auf den O<sub>2</sub>-Bezugswert erfolgt aus den Tagesmittelwerten.  
 \*\* Ausgeführt gemäss QMH FAQ 38 Variante B.  
 \*\*\* Nicht normierter CO-Mittelwert aus den Werten, welche bei der Normierung auf den O<sub>2</sub>-Bezugswert über dem EGW liegen.

Kriterium	1) EGW-Überschreitung	2) CO-Mittelwert	3) Feinstaubabscheider	4) Anfahren	5) Abfahren
Anwendung	Anlagen ohne Feinstaubabscheider	Anlagen mit Feinstaubabscheider		alle Anlagen	
Beurteilung	24h-Mittelwerte während des Feuerungsbetriebs			EGW-Überschreitung während An- bzw. Abfahrphasen	
Beurteilter Zeitraum	Feuerungsbetriebszeit (t <sub>F</sub> )			1 Stunde ab Beginn des Anfahrens	4 Stunden ab Beginn des Abfahrens
Beurteilte Werte	CO-Mittelwert ( $\overline{CO}$ ) während Feuerungsbetrieb UND Dauer der EGW-Überschreitungen (t <sub>CO&gt;EGW</sub> )		Ausfallzeit des Feinstaubabscheiders t <sub>A(Aus)</sub> ** (100 % - Verfügbarkeit)	CO-Mittelwert ( $\overline{CO}$ ) während EGW-Überschreitung*** UND Dauer der EGW-Überschreitung (t <sub>CO&gt;EGW</sub> )	
Normierung	bei O <sub>2</sub> -Bezug*		–	ohne O <sub>2</sub> -Bezug	
Anforderung für „erfüllt“	$\frac{t_{CO>EGW}}{t_F} \leq 20 \%$	$\left(\frac{t_{CO>EGW}}{t_F} \leq 20 \%\right)$ ODER $(\overline{CO} \leq EGW)$	t <sub>A(Aus)</sub> = t <sub>F</sub> - t <sub>A</sub> ≤ 60 Minuten	$\overline{CO} \cdot t_{CO>EGW} \leq 500 \frac{mg}{m^3} \cdot h$	$\overline{CO} \cdot t_{CO>EGW} \leq 2000 \frac{mg}{m^3} \cdot h$
Anforderung für „hohe Qualität“	$\frac{t_{CO>EGW}}{t_F} \leq 10 \%$	$\left(\frac{t_{CO>EGW}}{t_F} \leq 10 \%\right)$ ODER $\left(\overline{CO} \leq \frac{1}{2} \cdot EGW\right)$	t <sub>A(Aus)</sub> = t <sub>F</sub> - t <sub>A</sub> ≤ 30 Minuten	$\overline{CO} \cdot t_{CO>EGW} \leq 250 \frac{mg}{m^3} \cdot h$	$\overline{CO} \cdot t_{CO>EGW} \leq 750 \frac{mg}{m^3} \cdot h$
Anforderung	jeder 24h-Mittelwert			$\frac{2}{3}$ der Ereignisse pro 24h UND $\frac{2}{3}$ der Ereignisse total	

## 4.5 Tabellarische und grafische Darstellung der Resultate

Die Beurteilung einer Anlage nach den fünf Kriterien der vorgeschlagenen Methode QS 2016 kann tabellarisch und grafisch dargestellt werden (Tabelle 8 und Bild 6). Dadurch lassen sich Betriebs-situationen die zu erhöhten Emissionen führen können, rasch identifizieren. Die Auswertung erfolgt in der Regel für eine Anlage mit Nachweis des Betriebs an drei aufeinanderfolgenden Messperioden von je 24 Stunden, die nachfolgend vereinfachend als Tag 1, 2 und 3 bezeichnet werden.

Tabelle 8 Beispiel für die tabellarische Beurteilung der CO-Emissionen einer Feuerung und der Verfügbarkeit des Feinstaubabscheiders nach der Methode QS 2016. In dieser Tabelle sind beispielhaft die Beurteilungen von drei Tagen eingetragen. Die entsprechenden Verläufe der CO-Konzentration sind in Bild 7 dargestellt. FA = Feinstaubabscheider, k.A. = keine Anforderung. Beurteilung: ++ = hohe Qualität, + = erfüllt, = nicht erfüllt.

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

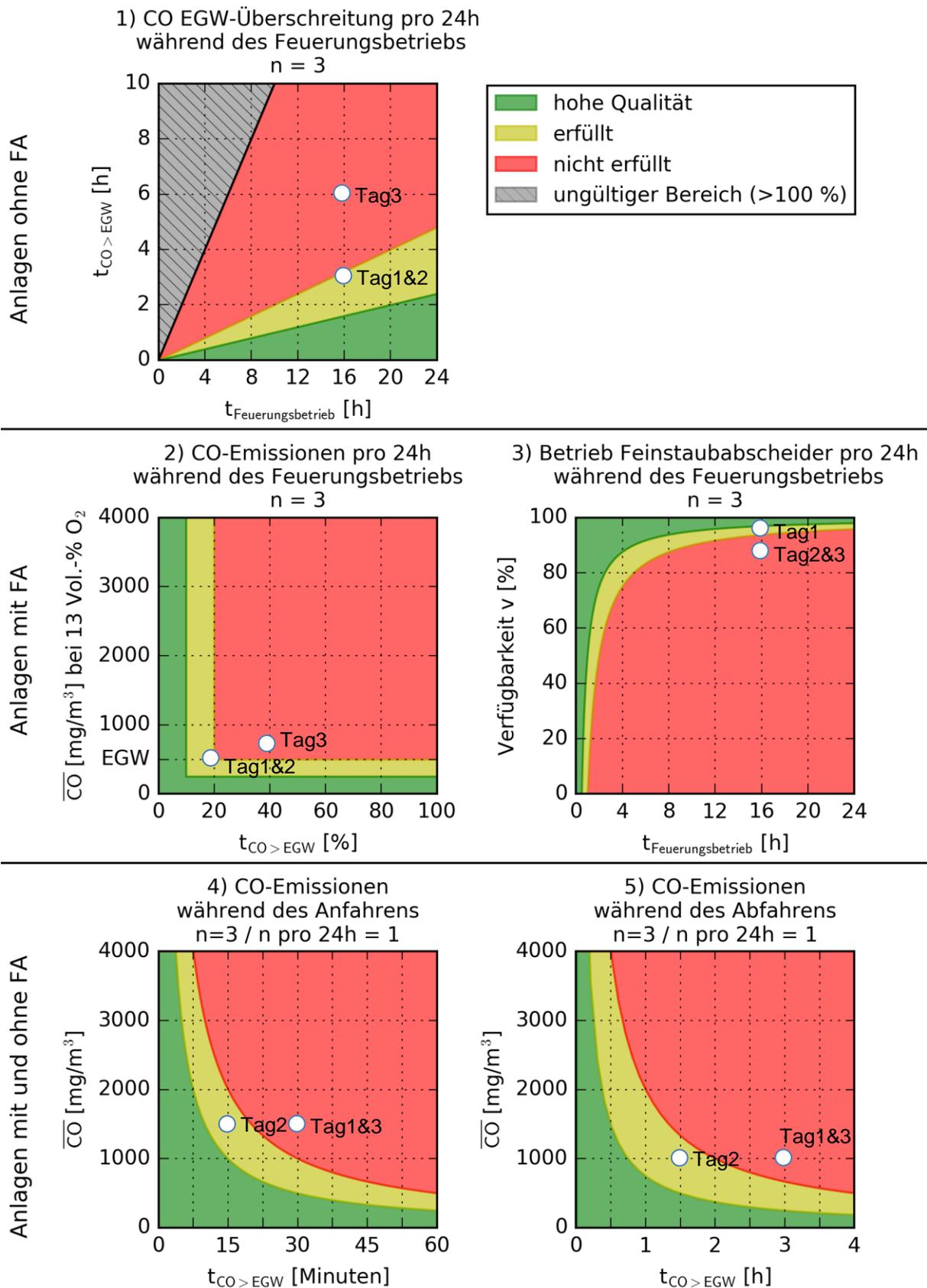


Bild 6 Beispiel für die grafische Beurteilung der CO-Emissionen einer Feuerung und der Verfügbarkeit des Feinstaubabscheiders nach der Methode QS 2016. In dieser Grafik sind beispielhaft die Beurteilungen von drei Tagen eingezeichnet. Die entsprechenden Verläufe der CO-Konzentration sind in Bild 7 dargestellt. FA = Feinstaubabscheider.

## 4.6 Beispiel

In Bild 7 sind die schematischen Verläufe der CO-Konzentration von den drei in Tabelle 8 und Bild 6 beurteilten Tagen dargestellt.

Tag 1 hat einen einzelnen Betriebszyklus mit 16 Stunden Feuerungsbetrieb. Beim Anfahren wird der EGW während 30 Minuten überschritten. Während des 13-stündigen Heizbetriebs mit tiefen CO-Konzentrationen wird der EGW während 30 Minuten überschritten. Diese EGW-Überschreitung kann zum Beispiel bei einer periodischen Selbstreinigung auftreten. Beim Abfahren wird der EGW während 3 Stunden überschritten. Davon zählen jedoch nur 2 Stunden zum Feuerungsbetrieb. Danach steigt die O<sub>2</sub>-Konzentration auf über 19 Vol.-%. Durch die hohe O<sub>2</sub>-Konzentration während des Abfahrens und im Standby-Betrieb sind die auf den O<sub>2</sub>-Bezugswert normierten CO-Konzentrationen deutlich höher als die nicht normierten Werte. Daher weisen die letzten 60 Minuten des Abfahrens zwar bereits tiefe CO-Konzentrationen auf, sie werden aber mitbeurteilt, da die normierten CO-Konzentrationen über dem EGW liegen. Bei Anlagen mit langen Abfahrphasen und automatischer Zündung wird dadurch ein tieferer Wert mit längerer Dauer ausgewiesen.

Bei Tag 2 ist die Dauer aller Betriebsphasen halb so lange wie bei Tag 1, Tag 2 weist somit zwei Betriebszyklen mit je 8 Stunden Feuerungsbetrieb auf, während die CO-Fracht identisch mit derjenigen von Tag 1 bleibt.

Bei Tag 3 sind die Zeiträume mit EGW-Überschreitung gleich lang wie bei Tag 1. Tag 3 weist jedoch wie Tag 2 zwei Betriebszyklen auf, so dass die Zeiträume mit tiefen CO-Konzentrationen verkürzt sind. Die CO-Fracht ist somit rund doppelt so hoch wie bei Tag 1 und Tag 2.

Alle drei Tage haben eine Feuerungsbetriebszeit von 16 Stunden. Bei Tag 1 und Tag 2 ergibt dies während des Feuerungsbetriebs einen CO-Tagesmittelwert von rund 500 mg/m<sup>3</sup> bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>. Der EGW wird jeweils während 3 Stunden überschritten, was 19 % der Feuerungsbetriebszeit entspricht. Dies führt mit Kriterium 1 und Kriterium 2 zur Beurteilung „erfüllt“. Bei Tag 3 ergibt sich ein CO-Tagesmittelwert von rund 750 mg/m<sup>3</sup> bei 13 Vol.-% O<sub>2</sub>. Der EGW wird während 6 Stunden überschritten, was 38 % der Feuerungsbetriebszeit entspricht. Dies führt für Kriterium 1 und Kriterium 2 somit zur Beurteilung „nicht erfüllt“.

Beim Feinstaubabscheider wird jeweils eine Einschaltverzögerung von 45 Minuten angenommen. Dies ergibt bei Tag 1 mit einem Anfahrvorgang eine Verfügbarkeit von 95 % und bei Tag 2 und Tag 3 mit zwei Anfahrvorgängen eine Verfügbarkeit von 91 %. Mit dem Kriterium 3 „erfüllt“ Tag 1, Tag 2 und Tag 3 werden mit „nicht erfüllt“ beurteilt.

Der CO-Mittelwert beträgt während des Anfahrens jeweils rund 1500 mg/m<sup>3</sup>. Bei Tag 1 und Tag 3 wird der EGW während einer Dauer von 30 Minuten pro Betriebszyklus überschritten. Das Anfahren wird damit mit dem Kriterium 4 als „nicht erfüllt“ beurteilt. Bei Tag 2 wird der EGW während einer Dauer von 15 Minuten überschritten. Dieses Anfahren wird damit als „erfüllt“ beurteilt.

Der CO-Mittelwert beträgt während des Abfahrens jeweils rund 1000 mg/m<sup>3</sup>. Bei Tag 1 und Tag 3 wird der EGW während einer Dauer von 3 Stunden pro Betriebszyklus überschritten. Das Abfahren wird mit dem Kriterium 5 damit als „nicht erfüllt“ beurteilt. Bei Tag 2 wird der EGW während einer Dauer von 1.5 Stunden überschritten. Dieses Abfahren wird damit als „erfüllt“ beurteilt.

Die Gesamtbeurteilung einer Anlage richtet sich nach der niedrigsten Beurteilung der drei bzw. vier zu beurteilenden Kriterien. Beim An- und Abfahren müssen jedoch nicht alle Betriebszyklen erfüllen,

sondern nur zwei Drittel der Werte. Bei diesen Beispielen würde Tag 1 und Tag 3 nicht erfüllen. An diesen Tagen wird die Wahrscheinlichkeit von erhöhten VOC- und Russ-Emissionen als hoch bewertet.

Reale Beispiele sind im Anhang Kapitel 9.2 beschrieben.

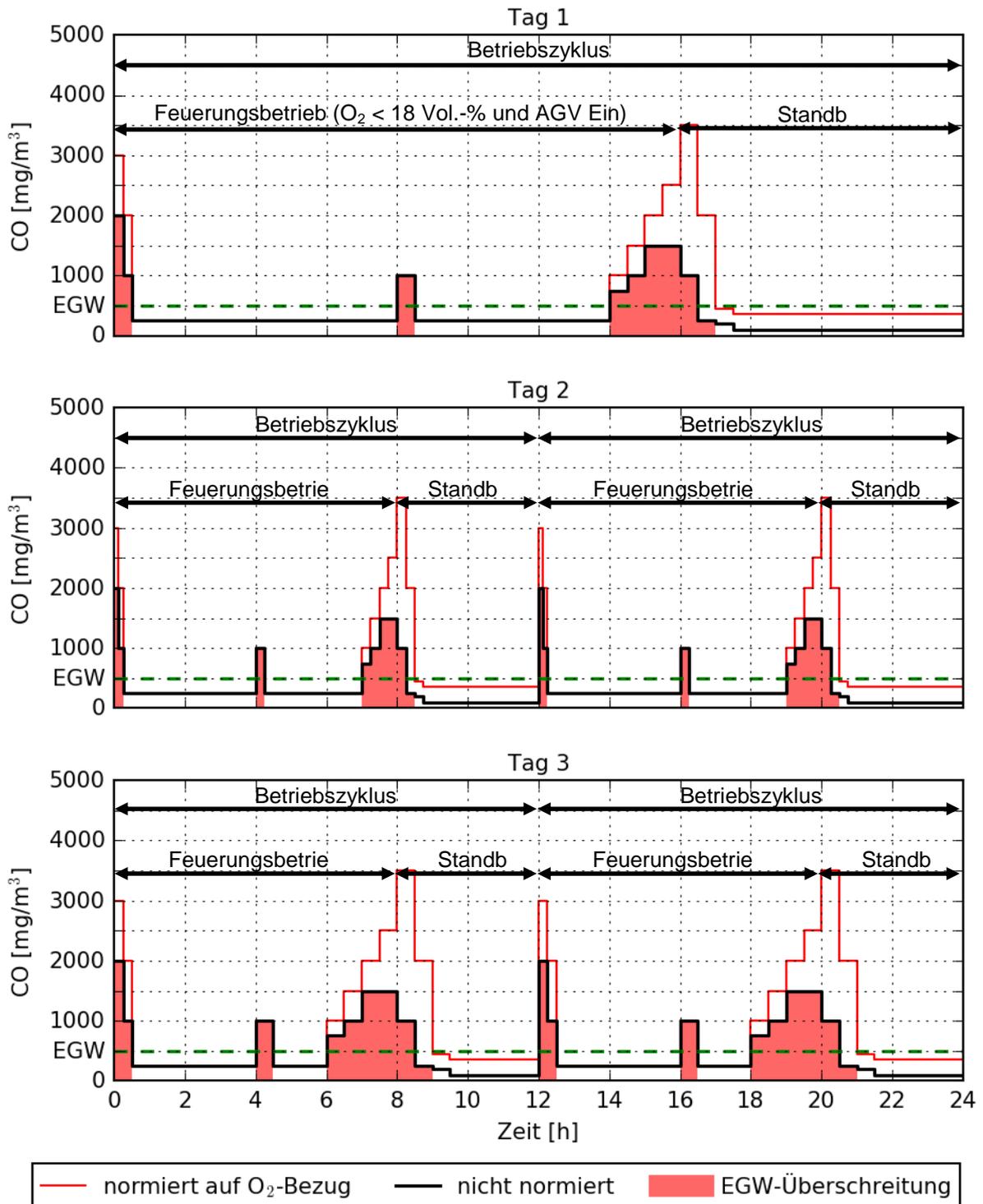


Bild 7 Schematisches Beispiel für die CO-Konzentration von drei Tagen als Lesehilfe für die grafische Auswertung der Methode QS 2016 in Tabelle 8 und Bild 6.

# 5 Messtechnik für Langzeitmessungen

## 5.1 Hochwertige Messtechnik

Die hochwertige Gasanalyse für Langzeitmessungen orientiert sich an den Messempfehlungen des BAFU [12]. Die eingesetzten Messgeräte sind für VDI-Messungen zugelassen. Zusätzlich zur O<sub>2</sub>- und CO-Messung kann im Bedarfsfall ein FID zur Messung von VOC eingesetzt werden. VOC-Messungen werden zur Beurteilung von Geruchsemissionen benötigt [6].

Anhand von O<sub>2</sub>- und CO-Konzentration sowie der Abgastemperatur kann der Betriebszustand einer Feuerung im Ein/Aus-Betrieb nicht immer eindeutig bestimmt werden. Statussignale von der Anlage können hier die notwendigen Zusatzinformationen liefern und die Messwerte ergänzen. Das direkte Auslesen des Betriebszustands aus der Anlagensteuerung ist heute aber erst vereinzelt auf Anlagen der neusten Generation möglich und erfordert vertiefte Kenntnisse der Steuerung. Deshalb wird diese Möglichkeit zurzeit nicht in Betracht gezogen.

Der Betriebszustand der Feuerung kann mithilfe der Statussignale von Primärluft- und Abgasventilator gut abgeschätzt werden (Tabelle 9). Für die Zustandsüberwachung können Stromzangen verwendet werden. Stromzangen können Signale berührungslos aufzeichnen, ein Eingriff in die Anlagesteuerung ist deshalb nicht notwendig. Grundkenntnisse im Lesen von Elektroschemas und zum Aufbau von Schaltschränken werden allerdings vorausgesetzt. Mit Stromzangen kann die Drehzahl des Abgasventilators abgeschätzt werden. Dies ermöglicht das grobe Abschätzen der momentanen Feuerungsleistung [6]. Diese beiden Zusatzsignale erlauben zudem eine Beurteilung der Vor- und Nachlaufzeiten von Primärluft- und Abgasventilatoren.

Um die Kesselleistung abzuschätzen, werden bei der Methode QS 2015 zusätzlich noch die Wassertemperaturen am Ein- und Austritt des Kessels erfasst. Die Feuerungswärmeleistung kann aus der gemessenen Abgasgeschwindigkeit (Differenzdruckmessung mit Prandtl-Rohr) berechnet werden. Beide Messverfahren erlauben im Prinzip eine präzise Bestimmung der gewünschten Messgrößen. Bei Messungen auf Praxisanlagen ist die erreichbare Messgenauigkeit aber vergleichsweise niedrig. Bereits das Platzieren der Temperatursensoren führt zu einer hohen Messunsicherheit bei der Bestimmung der Kesselleistung. Auch bei der Differenzdruckmessung mit einem Prandtl-Rohr ist das Geschwindigkeitsprofil im Kamin vom Betriebszustand abhängig und ändert sich insbesondere in Abhängigkeit des Lastzustandes. Zusätzlich kann ein Prandtl-Rohr während einer Langzeitmessung verstopfen. Dadurch wird eine präzise Messung verunmöglicht.

Der Abgasvolumenstrom bei ausgeschaltetem Abgasventilator ist jedoch nur mit einer effektiven Geschwindigkeitsmessung im Abgas bestimmbar, eine Stromzange am Frequenzumformer des Abgasventilators kann diese Information nicht liefern. Für eine Abschätzung der Feuerungsleistung ist die Messung mit Stromzangen jedoch einfacher bei ähnlicher Genauigkeit [6]. Für die Methode QS 2016 kann auf die Messung der Wassertemperaturen am Kessel verzichtet werden. Die effektive Abgasgeschwindigkeit ist für eine detaillierte Anlagebeurteilung jedoch nützlich und sollte deshalb zusammen mit dem Signal der Stromzangen verwendet werden.

Die Einhaltung des Staubgrenzwerts kann bei automatischen Feuerungen ab einer gewissen Leistung heute in der Regel nur mit einem Feinstaubabscheider garantiert werden. Deshalb verfügen heute die meisten Anlagen über einen Elektroabscheider oder einen Gewebefilter. Zusätzlich gibt es viele Anlagen die mit einem Feinstaubfilter nachgerüstet werden müssen.

Bei Anlagen mit Elektroabscheider erlaubt die Messung des Stromverbrauchs des Hochspannungs-Netzgeräts mittels einer weiteren Stromzange eine qualitative Aussage zu den Staubemissionen der Anlage [13]. Bei Anlagen mit Gewebefilter können diese Informationen mit einer Differenzdruckmessung zwischen Ein- und Austritt des Filters überprüft werden. Dies kann keine Staubmessung ersetzen, gibt aber nützliche Hinweise zur Funktionstüchtigkeit der Feinstaubabscheider.

Die Überwachung von Feinstaubabscheidern während einer Langzeitmessung erlaubt auch die punktuelle Überprüfung der ausgewiesenen Verfügbarkeit des Feinstaubabscheiders sowie der korrekten Integration von Betriebsstundenzählern an Holzfeuerung und Abscheider. Weiter kann auch die Einschaltverzögerung des Feinstaubabscheiders beim Anfahren der Feuerung beurteilt werden.

Diese Zusatzsignale erlauben eine präzisere Beurteilung des Anlagenbetriebs und werden deshalb für die Methode QS 2016 empfohlen. Die zusätzlichen einmaligen Kosten für die Stromzangen und die Datenerfassung zur Aufzeichnung der notwendigen Zusatzsignale belaufen sich dabei auf rund 1'000 Franken.

Tabelle 9 Messgrößen beim Einsatz hochwertiger Messtechnik mit Messgeräten gemäss Messempfehlung BAFU [12]. (\* Gemessen durch die Frequenz des Frequenzumformers oder den Strom bei Ventilatoren ohne Frequenzumformer.)

Zu beurteilende Grösse	Messgrösse
Abgas	O <sub>2</sub> , CO Temperatur Geschwindigkeit optional VOC (z.B. bei Klagefällen)
Leistungsbereich der Feuerung	Drehzahl des Abgasventilators*
Heizbetrieb der Feuerung	Drehzahl des Primärluftventilators*
Elektroabscheider	Stromverbrauch des Hochspannungs-Netzgeräts
Gewebefilter	Druckabfall über dem Filter

## 5.2 Vereinfachte Messtechnik

Für eine kostengünstige Schnellbeurteilung von Holzfeuerungen setzen einige Kantone bereits heute einfache tragbare Abgas-Messkoffer ein. Diese Geräte sind gemässe der Verordnung des EJPD über Abgasmessmittel für Feuerungsanlagen jedoch nur für Emissionsmessungen an Holzfeuerungen mit einer Feuerungswärmeleistung bis 70 kW zugelassen (VAMF, SR 941.210.3). Die Messunsicherheit dieser Geräte ist deutlich höher als die Messunsicherheit von Geräten welche für VDI-Messungen zugelassen sind.

Wie bei hochwertigen Abgasanalysegeräten müssen auch diese Geräte vor und nach der Messung mit Kalibriergas geprüft werden. Damit wird jedoch nicht die Messunsicherheit reduziert, sondern nur die Reproduzierbarkeit der Messwerte gewährleistet. Die generelle Einsatztauglichkeit der einfachen tragbaren Abgas-Messkoffer für Langzeitmessungen an automatischen Feuerungen muss in der Praxis geprüft werden. Diese Aufgabe ist jedoch nicht Teil des vorliegenden Berichts.

Mit einfachen tragbaren Abgas-Messkoffern kann die Abgasgeschwindigkeit in der Standardausführung nicht gemessen werden. Die eingebauten Differenzdrucksensoren sind nicht für den Einsatz an Holzfeuerungen ausgelegt. Einige tragbare Abgas-Messkoffer können aber optional mit einem oder zwei Eingängen für ein analoges Signal ausgestattet werden. Dies ermöglicht die Aufzeichnung von Signalen zur Bestimmung von Betriebszuständen, wie es bereits in Kapitel 5.1 beschrieben wurde. An diese Eingänge können sowohl Stromzangen als auch Strömungssensoren (z.B. Differenzdruckmessung) angeschlossen werden. Die Kosten für einen solchen optionalen Analogeingang betragen gemäss bisherigen Abklärungen für die Geräte Anapol EU-5000 (2 analoge Eingänge), RBR ecom-J2KNpro (2 analoge Eingänge) und Testo 350 (1 analoger Eingang) rund 400 Franken. Dazu kommen noch die Kosten für Stromzangen oder Strömungssensoren.

Mit zwei analogen Eingängen können die Betriebszustände von Feuerung und Feinstaubabscheider in vereinfachter Form erfasst werden (Tabelle 10). Eine Anlagenbeurteilung nach der Methode QS 2016 ist daher auch mit vereinfachter Messtechnik möglich.

Tabelle 10 Messgrössen beim Einsatz vereinfachter Messtechnik mit tragbaren Abgas-Messkoffern.

Zu beurteilende Grösse	Messgrösse
Abgas	O <sub>2</sub> , CO Temperatur
Abgasvolumenstrom	Strom Abgasventilator ODER Unterdruck im Kamin
Elektroabscheider	Stromverbrauch des Hochspannungs-Netzgeräts
Gewebefilter	Druckabfall über dem Filter

## 6 Varianten und Anwendungen

Im Bericht werden mehrere Beurteilungsmethoden für Langzeitmessungen beschrieben. Tabelle 11 stellt diese einer Liste von möglichen Anforderungen gegenüber, um Unterschiede aufzuzeigen. Die Gewichtung dieser Anforderungen ist abhängig von der jeweiligen Anwendung. Keine der beschriebenen Beurteilungsmethoden kann alle Anforderungen erfüllen.

Tabelle 11 Zusammenstellung der beschriebenen Beurteilungsmethoden mit der Bewertung anhand von möglichen Anforderungen an die Methoden.  
Beurteilung: + = „erfüllt“, (+) = „erfüllbar“ und - = „nicht erfüllt“.

		QS 2015	AWEL 2015	LRV Art. 15 Ziff. 4	QS 2016
<b>Auswertung</b>	Kriterien, die bei allen Feuerungen gleichbleibend funktionieren	-	+	+	+
	Automatisierbar mit Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Excel)	-	+	-	+
	Gewichtung der Höhe der EGW-Überschreitungen	+/-	+/-	+	+
	Gewichtung der Anzahl Phasen mit EGW-Überschreitungen	-	+	+	+
	Gewichtung der Länge jeder einzelnen Phase mit EGW-Überschreitungen	+	-	+	+
	Beurteilung Betrieb Feinstaubabscheider	(+)	(+)	-	+
<b>Messbericht</b>	Eindeutige Beurteilung für den Vollzug mit „erfüllt“ oder „nicht erfüllt“	-	+	+	+
	Für ungeübte Leser verständliche und überschaubare Kennzahlen	-	+/-	+	+
	Individuelle Beurteilung von Heizbetrieb, An- und Abfahren	+	-	-	+
	Kriterien sind auf der Anlage ohne Auswertung direkt überprüfbar	+	-	-	-
<b>Anwendung</b>	Vollzug der LRV	-	+	+/-	+
	Klagefälle	+	+	+/-	+
	Schnellbeurteilung	-	+	-	+
	Optimierung des Anlagebetriebs	+	-	-	+
<b>Aufwand</b>	Auswertung [h]	9	1	1	1
	Detaillierte Beurteilung [h]	3	0	0	3
	Messbericht [h]	1	1	1	1
	Total [h]	13	2	2	5

Für die Anwendung einer Methode sind die effektiven Beurteilungen von Anlagen und die Aussagekraft der Methoden entscheidend. Um die Unterschiede bei der Beurteilung aufzuzeigen, vergleicht Tabelle 12 die Beurteilungsmethoden anhand von fiktiven Anlagenbeispielen. Diese Betriebsarten können bei realen Anlagen gefunden werden. Zu jedem Beispiel wird zum Vergleich die erwartete Beurteilung angegeben (Referenz). Diese Referenz ist nicht immer eindeutig. Die Autoren beurteilen z.B. Anlagebeispiel 5 mit erfüllt, da bei dieser Betriebsweise weder hohe VOC- noch Russ-Emissionen zu erwarten sind. Kantonale Vollzugsbehörden beurteilen dieses Beispiel dagegen mit nicht erfüllt, weil sie den Standby-Betrieb mit 12 Stunden als zu lange beurteilen. Keine Beurteilungsmethode stimmt mit der Referenz in allen Beispielen überein.

Tabelle 12 Fiktive Beispiele für die Emissionen von 7 Anlagen und deren Beurteilung durch die beschriebenen Methoden im Vergleich zur erwarteten Beurteilung (Referenz). Beispiel 5 wird von den kantonalen Vollzugsbehörden mit „nicht erfüllt“ beurteilt, von den Autoren jedoch als „erfüllt“. Charakterisiert werden die Beispiele durch die Feuerungsbetriebszeit  $t_F$ , die Dauer der EGW-Überschreitung  $t_{CO>EGW}$  und der Höhe der Grenzwertüberschreitung  $CO_{Peak}$ . Beurteilung: + = „erfüllt“ und - = „nicht erfüllt“.

	$t_F$ [h]	$t_{CO>EGW}$ [h]	$CO_{Peak}$ [mg/m <sup>3</sup> ]	QS 2015	AWEL 2015	LRV Art. 15 Ziff. 4	QS 2016	Referenz
1) Dauerbetrieb mit periodischen EGW-Überschreitungen im Bereich des EGW. <sup>1</sup>	24	5	600	-	-	+	+	+
2) Dauerbetrieb mit einer einzelnen langen EGW-Überschreitung pro Tag. <sup>2</sup>	24	2	3000	-	+	-	+	-
3) 1 Anfahren mit erheblichen VOC-Emissionen. <sup>3</sup>	16	2	3000	-	+	+	-	-
4) 3 Anfahren mit erheblichen VOC- oder Russ-Emissionen. <sup>4</sup>	12	6	3000	-	-	+	-	-
5) 3 Anfahren mit je 4h Standby-Betrieb und optimal eingestelltem Glutbettunterhalt. <sup>5</sup>	12	1	1000	+	-	+	+	+/-
6) Schwachlastbetrieb mit ungenügender Brennkammertemperatur. <sup>6</sup>	4	2	3000	-	-	-	-	-
7) Pelletfeuerung mit kurzen Laufzeiten und optimalen Einstellungen. <sup>7</sup>	4	0.5	1000	+	-	+	+	+

<sup>1</sup> z.B. Anlage 2015-7 in Kapitel 9.2 ist ein solcher Grenzfall, der aber nicht gleich wie im Beispiel bewertet wurde.

<sup>2</sup> z.B. Anlage 2016-4 in Kapitel 9.2.

<sup>3</sup> z.B. Anlage 2012-3 in Kapitel 9.2 ist ein solcher Grenzfall, der aber nicht gleich wie im Beispiel bewertet wurde.

<sup>4</sup> z.B. Anlage 2015-4 in Kapitel 9.2.

<sup>5</sup> z.B. Anlage 2014-10 in Kapitel 9.2

<sup>6</sup> z.B. Anlage 2015-9 in Kapitel 9.2.

<sup>7</sup> z.B. Anlage 2014-8 in Kapitel 9.2 ist ein solcher Grenzfall, der aber nicht gleich wie im Beispiel bewertet wurde.

Neben den Beurteilungsmethoden werden im Bericht zwei Varianten für die eingesetzte Messtechnik beschrieben. Aufwand, Umfang und Präzision unterscheidet sich bei den beiden Varianten deutlich. Die Anwendung und eine Kosten-Nutzen-Abwägung bestimmen deshalb fallweise die einzusetzende Messtechnik (Tabelle 13). Vereinfachte Messtechnik kann da eingesetzt werden, wo eine qualitative Beurteilung ausreicht und die Kosten entscheidend sind.

Für präzise Beurteilungen des Anlagenbetriebs ist hochwertige Messtechnik unerlässlich. Im Vollzug und bei Klagefällen kann der Einsatz von vereinfachter Messtechnik für eine Erstbeurteilung jedoch ausreichen. Diese Entscheidung liegt jeweils im Ermessen der Vollzugsbehörde und kann aus Kostengründen auch im Interesse des Anlagebetreibers sein.

Abhängig von der Zielsetzung kann auch für die Optimierung des Anlagebetriebs eine Messung mit vereinfachter Messtechnik ausreichen. Für eine gezielte Optimierung des An- und Abfahrverhaltens bezüglich VOC-Emissionen ist dagegen hochwertige Messtechnik unerlässlich.

Tabelle 13 Zusammenstellung der beschriebenen Messtechnik mit der Bewertung anhand von möglichen Anforderungen an die Messtechnik.  
Beurteilung: + = „geeignet“, (+) = „teilweise geeignet“ und - = „nicht geeignet“.

		Hochwertige Messtechnik	Vereinfachte Messtechnik
Abgas	O <sub>2</sub> , CO, NO	+	+
	VOC (FID)	+	-
	Abgastemperatur	+	+
	Abgasgeschwindigkeit mit Prandtl-Rohr	+	-
Zustand	Feuerung	+	+
	Feinstaubabscheider	+	+
Anwendung	Vollzug der LRV	+	(+)
	Klagefälle	+	(+)
	Schnellbeurteilung	-	+
	Optimierung des Anlagebetriebs	+/-	+/-
Aufwand	Fahrzeiten / Transport [h]	2	2
	Messtechnik Vor- und Nachbereitung [h]	5	2
	Messung auf der Anlage [h]	9	2

Tabelle 14 zeigt eine grobe Schätzung des Personalaufwands für fünf Varianten mit Beurteilungsmethoden aus Tabelle 11 und Messtechnik aus Tabelle 13. Auf eine Kostenschätzung wird verzichtet, da die Kosten der Messgeräte nur ungenau abgeschätzt werden können. Der Vergleich zeigt trotzdem deutlich, dass der grösste Aufwand bei Langzeitmessungen durch die Messtechnik verursacht wird, gefolgt von der Auswertung und der individuellen Beurteilung durch eine Fachperson.

Durch die hochwertige Messtechnik und eine Auswertung, die viel Handarbeit erfordert, ist die Methode QS 2015 am aufwändigsten. Die Methode QS 2016 lässt sich bedarfsgerecht der Anwendung anpassen. Sie kann mit hochwertiger Messtechnik die Emissionen einer Anlage umfassend beurteilen oder sowohl bei der Messtechnik als auch bei der Beurteilung vereinfacht werden. Die Verlässlichkeit der Messergebnisse und der Informationsgehalt der Messberichte nehmen dabei mit den Kosten ab. Den geringsten Aufwand verursachen die Methoden AWEL 2015 und QS 2016 jeweils ohne eine detaillierte Beurteilung des Anlagenbetriebs durch eine Fachperson. Durch die vier Beurteilungskriterien ist bei der Methode QS 2016 gegenüber der Methode AWEL 2015 jedoch auch ohne die detaillierte Beurteilung durch eine Fachperson eine Aussage zu jeder Betriebsphase der Feuerung möglich (An- und Abfahren sowie Heizbetrieb).

Tabelle 14 Zeitlicher Personalaufwand von fünf Varianten für unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten der beschriebenen Beurteilungsmethoden und Messtechnik. Der Aufwand bezieht sich auf eine Messung an einer Anlage.

Methode	bestehend		Entwurf QS 2016		
			Variante 1	Variante 2	Variante 3
	QS 2015	AWEL 2015	hochwertige Messtechnik	vereinfachte Messtechnik	vereinfachte Messtechnik und ohne individuelle Beurteilung
Messtechnik	hochwertige	vereinfacht	hochwertig	vereinfacht	
Auswertung	Hand	automatisiert			
Beurteilung	detailliert	„erfüllt“ / „nicht erfüllt“	detailliert		„erfüllt“ / „nicht erfüllt“
Detailgehalt	hoch	tief	hoch		mittel
Personalaufwand [h]	29	8	21	11	8

## 7 Schlussfolgerungen

Die Beurteilung einer Anlage nach den fünf Kriterien der vorgeschlagenen Methode QS 2016 kann tabellarisch und grafisch dargestellt werden. Das Betriebsverhalten einer Anlage kann damit auf einer Seite im Überblick erfasst werden. Dadurch lassen sich Betriebssituationen, die zu erhöhten Emissionen führen können, rasch identifizieren.

Die Methode basiert auf einer Messung von CO und O<sub>2</sub> im Abgas zusammen mit der Erfassung des Betriebszustands der Feuerung und sofern vorhanden des Feinstaubabscheiders. Dadurch lässt sich die Methode QS 2016 sowohl bei Messungen mit hochwertiger als auch bei Messungen mit vereinfachter Messtechnik verwenden. Die Auswertung von Messresultaten nach den fünf Kriterien der Methode QS 2016 kann mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Excel) ausgeführt werden.

Mögliche Varianten für die Benutzung der Methode QS 2016 sind:

1. Klagefälle, Emissionskontrollen und Anlagenoptimierungen insbesondere für VOC

Dazu wird die hochwertige Messtechnik inklusive VOC-Messung mit individueller Beurteilung durch eine Fachperson verwendet. Diese Variante liefert umfangreiche Detailinformationen, verursacht aber die höchsten Kosten.

2. Anlagenoptimierung bezüglich CO-Emissionen sowie für kostengünstige Erstbeurteilungen bei Klagefällen und im kantonalen LRV-Vollzug

Dazu kann vereinfachte Messtechnik ohne VOC-Messung aber mit individueller Beurteilung durch eine Fachperson verwendet werden. Diese Variante liefert ebenfalls noch ausführliche Detailinformationen zum Betriebsverhalten, jedoch ohne VOC und mit erhöhter Messunsicherheit, dafür bei tieferen Kosten.

3. Erstbeurteilungen bei Klagefällen und im kantonalen LRV-Vollzug

Dazu kann vereinfachte Messtechnik verwendet werden und ohne individuelle Beurteilung durch eine Fachperson eingesetzt werden. Diese Variante liefert eine automatisierte Beurteilung der Anlage. Da der Feuerungsbetrieb, das An- und Abfahren sowie der Feinstaubabscheider einzeln beurteilt werden, erlaubt diese Variante eine kostengünstige Identifikation von Schwachstellen.

Es ist vorgesehen, dass die Methode QS 2016 von den auftraggebenden Kantonen in der Praxis eingesetzt und aufgrund der Erfahrungen aus einer breiten Anwendung weiter entwickelt wird.

## 8 Literatur

- [1] Vock, W.; Jenni, A.: QS-Support Holzfeuerungen – Schlussbericht 2011, Bundesamt für Energie, Bern 2011
- [2] Vock, W.; Jenni, A.: QS-Support Holzfeuerungen – Schlussbericht 2013, Bundesamt für Energie, Bern 2013
- [3] Vock, W.; Jenni, A.: QS-Support Holzfeuerungen – Schlussbericht 2014, Bundesamt für Energie, Bern 2014
- [4] Vock, W.: QS-Support Holzfeuerungen – vertraulicher Schlussbericht 2014/15 (Stand März 2015), Bundesamt für Energie, Bern 2015
- [5] Methodenbeispiel Kanton Zürich (Messcomputer mit Excellösung)
- [6] Lauber, A.; Good, J.: Begleitung der Langzeitmessung von QS-Support Holzfeuerungen – Schlussbericht, Bundesamt für Energie, Bern 2015
- [7] AWEL: Betriebszustände.xlsx, Zürich 25.11.2015
- [8] AWEL: Stellungnahme Konzept und Auswertbeispiele vom 4. Mai 2016, Zürich 10.5.2016
- [9] Bühler, R.; Gabathuler, H.R.; Jenni, A.: Q-Leitfaden. C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing, 3. Auflage 2011, ISBN 978-937441-91-7
- [10] Nussbaumer, T.: Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction, *Energy & Fuels*, Vol. 17, No 6, 2003, 1510–1521
- [11] Lauber, A.; Nussbaumer, T.: Charakterisierung der Partikelarten aus der Holzverbrennung und Eigenschaften in Elektroabscheidern, 11. *Holzenergie-Symposium*, 17. September 2010, ETH Zürich, 2010, ISBN 3-908705-21-5, 113–130
- [12] BAFU: Emissionsmessung bei stationären Anlagen. Emissions-Messempfehlungen. Bundesamt für Umwelt, Bern 2013. Umwelt-Vollzug Nr. 1320: 155 S.
- [13] Lauber, A.; Nussbaumer, T.: Praxiseinsatz und Überwachung von automatischen Holzfeuerungen mit Elektroabscheider, Verenum, Zürich und Bundesamt für Energie, Bern, 18.11.2014, 79 Seiten, ISBN 3-908705-29-0

# 9 Anhang

## 9.1 QS 2015 Standardbeurteilungsbogen

### Anhang 1: 3x24h Messung: Anlagedaten, Standardbeurteilung (provisorisch)

<b>Anlage Nr</b>			
<b>Feuerung</b>	Nennwärmeleistung/Feuerungswärmeleistung in kW		
	Feuerungssystem		
	Baujahr		
	Speichervolumen (Anzahl Fühler)		
	Filter		
	Brennstoff		
	Automatische Zündung		
	Messtellen (Durchmesser Abgaskanal)		
	Bemerkungen		
<b>Beurteilung der gemessenen Höchstwerte</b>		Hohe Qualität	
		Erfüllt	
		Nicht erfüllt	
		keine Beurteilung	
	Anzahl Starts pro Tag		
	Laufzeit in h pro Tag (v>3.0m/s)		
	Mittlere Tages-Heizlast in % (approximativ)		
	Emissionen im stationären Betrieb (normiert 13% O <sub>2</sub> )	Leistung 30-40%	
		Leistung 50-70%	
		Leistung 80-100%	
	O <sub>2</sub> in % (Sekundenpeak, direkt nach Kessel)		
	CO in mg/Nm <sup>3</sup> (5Min-Mittel)		
	VOC in mg/Nm <sup>3</sup> (5Min-Mittel)		
	Staub im Rohgas vor Filter in mg/Nm <sup>3</sup>		
	Staub im Reingas nach Filter in mg/Nm <sup>3</sup>		
	Emissionen im instationären Betrieb (nicht normiert)	Start	Glutbettunterhalt
		Ausbrand	
	SMin-Mittel CO in mg/m <sup>3</sup> (Max pro Start/Ausbrand/Glutbettu.)		
	SMin-Mittel VOC in mg/m <sup>3</sup> (Max pro Start/Ausbrand/Glutbettu.)		
	Max Anzahl Smin-Mittel CO>2'500mg/m <sup>3</sup>		
	Max Anzahl Smin-Mittel CO>1'000mg/m <sup>3</sup>		
	Max Anzahl Smin-Mittel VOC>100mg/m <sup>3</sup>		
	Legende: Angabe in (Min oder h) in Klammer entspricht der Zeitdauer=Anzahl 5Min-Mittelx5Min		
<b>Kriterien</b>	<b>Anzahl Starts pro Tag</b>	0-3	
<b>Hohe Qualität</b>	<b>Emissionen im stationären Betrieb (normiert 13% O<sub>2</sub>)</b>	Leistung 30-40%	
		Leistung 50-70%	
		Leistung 80-100%	
	O <sub>2</sub> in % (Sekundenpeak)	6-10	6-10
	CO in mg/Nm <sup>3</sup> (5Min-Mittel)	<200	<100
	VOC in mg/Nm <sup>3</sup> (5Min-Mittel)	<100	<50
	Staub im Rohgas (VDI) in mg/Nm <sup>3</sup> (15Min-Mittel)	<50	<50
	Staub im Reingas (VDI) in mg/Nm <sup>3</sup> (15Min-Mittel)	<10	<10
	Emissionen im instationären Betrieb (nicht normiert)	Start	Glutbettunterhalt
		Ausbrand	
	Anzahl Smin-Mittel CO>2'500mg/m <sup>3</sup>	≤1 (≤5Min)	≤6 (≤30Min)
	Anzahl Smin-Mittel CO>1'000mg/m <sup>3</sup>	≤3 (≤15Min)	≤9 (≤45Min)
	Anzahl Smin-Mittel VOC>100mg/m <sup>3</sup>	≤1 (≤5Min)	≤3 (≤15Min)
<b>Erfüllt (LRV stationär)</b>	<b>Anzahl Starts pro Tag</b>	4-5	
	<b>Emissionen im stationären Betrieb (normiert 13% O<sub>2</sub>)</b>	Leistung 30-40%	
		Leistung 50-70%	
		Leistung 80-100%	
	O <sub>2</sub> in % (Sekundenpeak)	5-11	5-11
	CO in mg/Nm <sup>3</sup> (5Min-Mittel)	<500	<500
	VOC in mg/Nm <sup>3</sup> (5Min-Mittel)	<200	<100
	Staub im Rohgas (VDI) in mg/Nm <sup>3</sup> (15Min-Mittel)	<150	<150
	Staub im Reingas (VDI) in mg/Nm <sup>3</sup> (15Min-Mittel)	<20	<20
	Emissionen im instationären Betrieb (nicht normiert)	Start	Glutbettunterhalt
		Ausbrand	
	Anzahl Smin-Mittel CO>2'500mg/m <sup>3</sup>	≤3 (≤15Min)	≤12 (≤60Min)
	Anzahl Smin-Mittel CO>1'000mg/m <sup>3</sup>	≤6 (≤30Min)	≤24 (≤120Min)
	Anzahl Smin-Mittel VOC>100mg/m <sup>3</sup>	≤3 (≤15Min)	≤6 (≤30Min)
<b>Nicht erfüllt (LRV stationär)</b>	<b>Anzahl Starts pro Tag</b>	>5	
	<b>Emissionen im stationären Betrieb (normiert 13% O<sub>2</sub>)</b>	Leistung 30-40%	
		Leistung 50-70%	
		Leistung 80-100%	
	O <sub>2</sub> in % (Sekundenpeak)	<5 - >11	<5 - >11
	CO in mg/Nm <sup>3</sup> (5Min-Mittel)	>500	>500
	VOC in mg/Nm <sup>3</sup> (5Min-Mittel)	>200	>100
	Staub im Rohgas (VDI) in mg/Nm <sup>3</sup> (15Min-Mittel)	>150	>150
	Staub im Reingas (VDI) in mg/Nm <sup>3</sup> (15Min-Mittel)	>20	>20
	Emissionen im instationären Betrieb (nicht normiert)	Start	Glutbettunterhalt
		Ausbrand	
	Anzahl Smin-Mittel CO>2'500mg/m <sup>3</sup>	>3 (>15Min)	>12 (>60Min)
	Anzahl Smin-Mittel CO>1'000mg/m <sup>3</sup>	>6 (>30Min)	>24 (>120Min)
	Anzahl Smin-Mittel VOC>100mg/m <sup>3</sup>	>3 (>15Min)	>6 (>30Min)

WW, 01.11.2013

Bild 8 Standardbeurteilungsbogen von QS 2015 für die Auswertung von Langzeitmessungen.

## 9.2 Anlagenbeispiele für den Vergleich der Beurteilungsmethoden

Nachfolgend sind 26 Anlagen als Beispiele für die Beurteilung von Langzeitmessungen aufgeführt. Auf jeder Seite ist eine Anlage dargestellt. Auf der linken Blatthälfte ist jeweils ein repräsentativer Ausschnitt aus den Signalverläufen dargestellt. Als Referenz ist auf der oberen rechten Blatthälfte eine Tabelle mit den Resultaten nach der Beurteilungsmethode von QS 2015, QS 2016, LRV Art. 15, Methode AWEL und QMH dargestellt. Auf der unteren rechten Blatthälfte ist die grafische Auswertung der Methode QS 2016 mit fünf Diagrammen dargestellt.

Die dargestellten Resultate wurden mit automatisierten Routinen berechnet. Diese Routinen wurden nicht vollständig ausgearbeitet, um alle Spezialfälle optimal abzudecken. Die Resultate können deshalb Fehler enthalten. Die Grössenordnung der Resultate ist jedoch korrekt.

Drei dieser Anlagen wurden von QS für das AWEL Zürich, die restlichen Anlagen wurden für das UWE Luzern gemessen. Bis auf eine Anlage wurden Messungen von Anlagen verwendet, welche die Autoren in den Jahren 2014 bis 2016 begleiteten oder selber durchführten. Für die Messungen 2012-3 bis 2015-4 und 2016-7 bis 2016-10 wurden Anlagen der neusten Generation untersucht, welche vom Hersteller vor der Messung optimal eingestellt wurden. Die Anlagen 2015-6 bis 2016-6 wurden zufällig ausgewählt, so wurde z.B. auch eine fast 40-jährige Anlage gemessen. Als einziges vorhandenes Beispiel für eine Anlage, welche ausschliesslich während des Anfahrens erhöhte Emissionen aufweist, wurden ältere Daten von der Anlage 2012-3 verwendet.

Eine Übersicht zu den Resultaten der verglichenen Beurteilungsmethoden ist in Tabelle 15 in zusammengefasster Form und in Tabelle 16 in detaillierter Form dargestellt.

Der Anteil untersuchten Anlagen welche die jeweiligen Kriterien der Methode QS 2016 erfüllen ist in Bild 9 dargestellt.

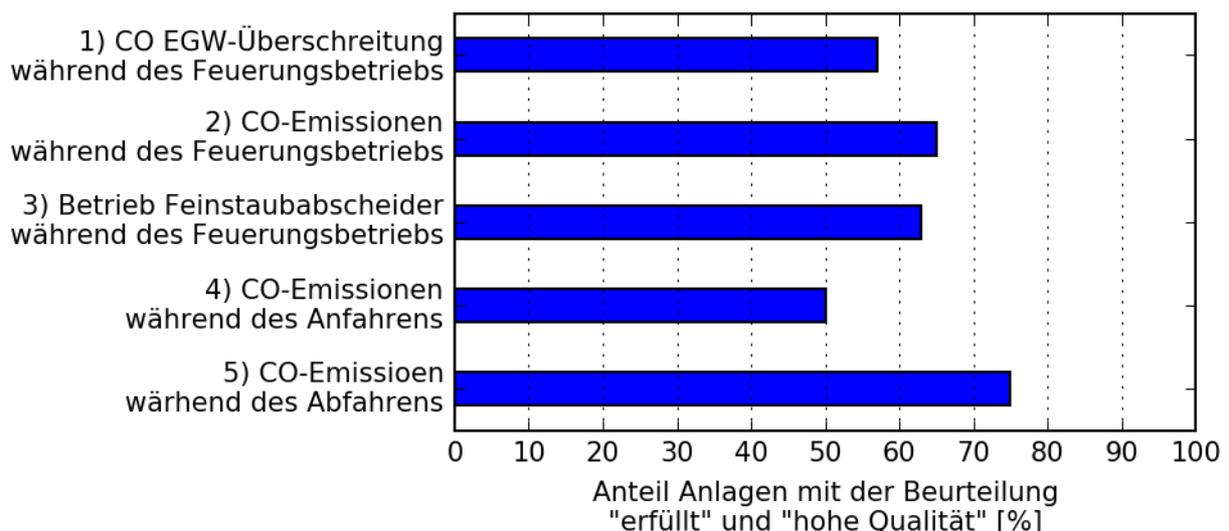


Bild 9 Anteil untersuchter Anlagen, welche die fünf Kriterien der Beurteilungsmethode QS2016 erfüllen. Für die Auswertung wurden nur die Anlagen verwendet, welche eine minimale Tagesheizlast gemäss QMH aufwiesen. Die Grafik basiert je nach Kriterium auf der Beurteilung von 16 bis 23 Anlagen.

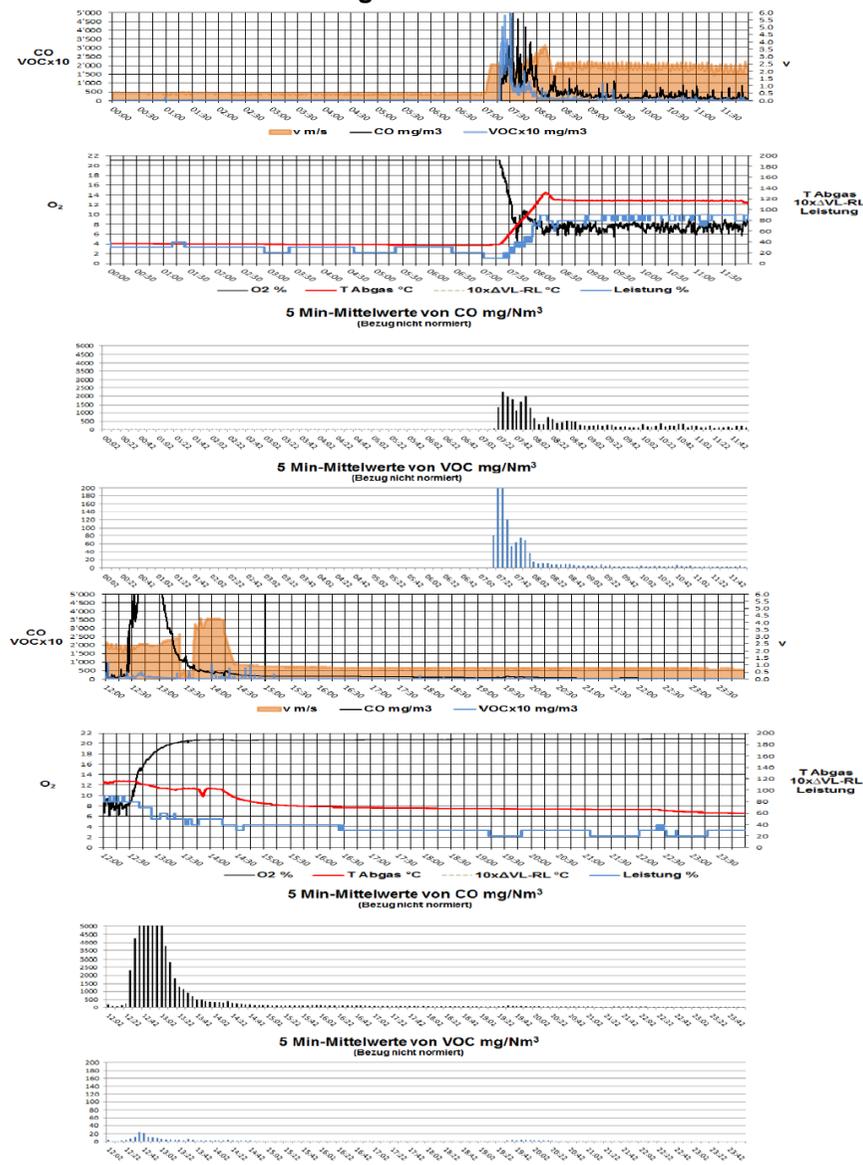
Tabelle 15 Zusammengefasster Vergleich der Beurteilungsmethoden anhand von Resultaten aus Langzeitmessungen.

Kriterium	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH	Kommentar
2012-3	-	-	+	-		EGW-Überschreitungen nur während Anfahren
2014-8	+	+	+	+	+	Pellet mir kurzen Laufzeiten
2014-9	-	-	+	-	+	Lange Phasen mit Glutbettunterhalt
2014-10	++	+	+	-	+	Lange Phasen mit Glutbettunterhalt
2014-11	+	-	+	-		VOC während An- und Abfahren
2014-12	-	-	-	-		VOC in allen Phasen
2015-1	-	-	+	-	-	Pelletfeuerung mit VOC
2015-2	+	+	+	+		Pelletfeuerung mit geringen VOC Emissionen
2015-4	-	-	+	-	+	Hohe Emissionen während Abfahren mit VOC
2015-6	-	-	+	+	+	EGW-Überschreitungen während Abfahren
2015-7	-	+	-	+	+	Im Bereich EGW mit periodischen Emissionsspitzen
2015-8	-	-	-	-	+	40 jährige Feuerung mit Relaysteuerung
2015-9	-	-	-	-	-	EGW-Überschreitungen in allen Phasen
2015-10	-	-	+	-	+	Kurze Feuerungsbetriebszeit & lange Anfahrphasen
2015-11	-	+	+	+	+	Starke Russbildung, aus Messwerten nicht ersichtlich
2016-1-1	-	-	-	-	+	Viele Anfahrphasen, kein stabiler Heizbetrieb
2016-1-2	-	+	-	+	+	Regelmässige EGW-Überschreitungen
2016-2	-	-	-	-	+	EGW-Überschreitungen in allen Phasen
2016-3	-	-	-	-	+	EGW-Überschreitungen im Teillastbetrieb
2016-4	-	+	-	-	+	EGW-Überschreitungen im Teillastbetrieb
2016-5	-	+	+	+	+	Emissionen im Bereich des EGW
2016-6	+	++	+	+	+	Dauerbetrieb mit tiefen Emissionen
2016-7	-	-	-	-	+	Viele Anfahrphasen, kein stabiler Heizbetrieb
2016-8	-	-	+	-	+	Regelmässige EGW-Überschreitungen
2016-9	-	-	+	-	-	VOC während An- und Abfahren
2016-10	-	-	-	-	+	EGW-Überschreitungen während Schwachlastbetrieb
Total -	21	17	11	18	3	
Total + (inkl. ++)	5	9	15	8	19	
Total ++	1	1				
QS & AWEL +	3	7				(von beiden Methoden positiv beurteilt)
QS & AWEL -	16	16				(von beiden Methoden negativ beurteilt)
keine Übereinst.	7	3				(keine übereinstimmende Beurteilung)

Tabelle 16 Detaillierter Vergleich der Beurteilungsmethoden anhand von Resultaten aus Langzeitmessungen.

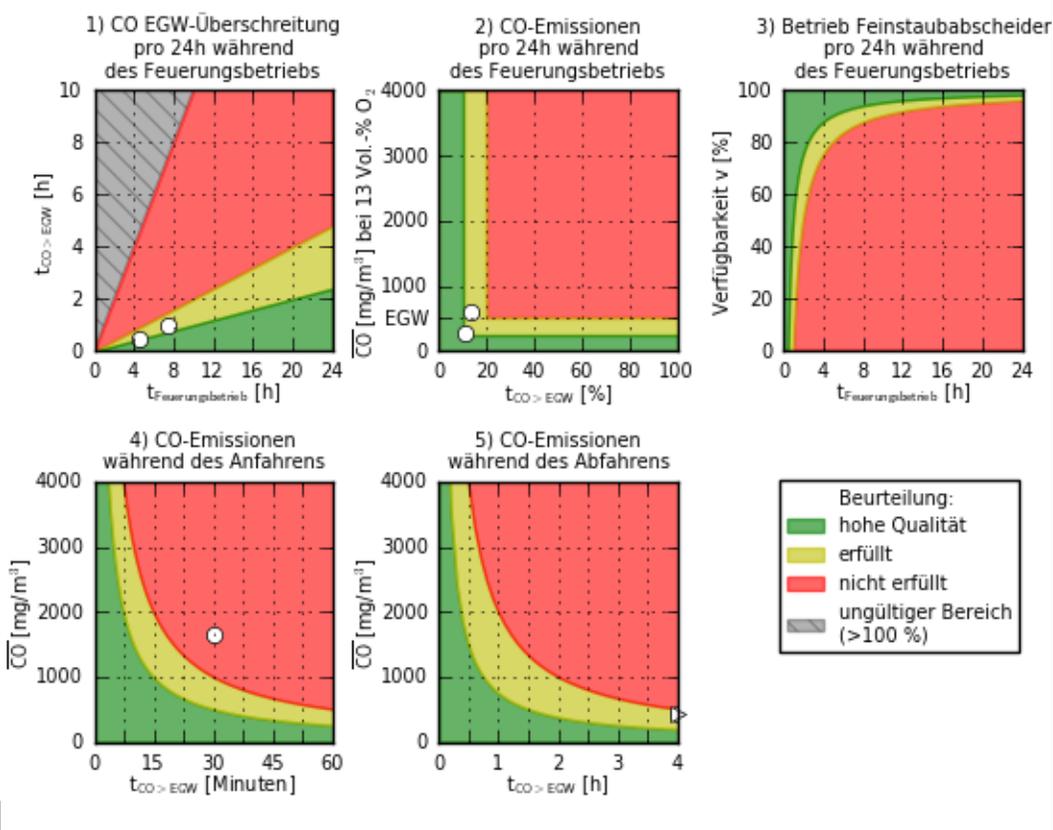
Methode	QS 2015			QS 2016				LRV Art. 15		AWEL				QMH	
Kriterium	Heizbetrieb	Anfahren	Abfahren	1/2: Feuerungsbetrieb	3: Feinstaubascheider	4: Anfahren	5: Abfahren	CO <sub>h</sub> < 2 x EGW	CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO</sub> > EGW	t <sub>CO</sub> > 1000 mg/m <sup>3</sup>	t <sub>CO</sub> > 2500 mg/m <sup>3</sup>	t <sub>CO</sub> > 4000 mg/m <sup>3</sup>	Tagesheizlast	Baujahr
Anforderung								%	%	%	%	%	%	(>15)	
2012-3	+	-	+	+		-	+	100	100	17	5	2	1.9		2007
2014-8	+	++	++	++		++	+	100	100	14	3	0	0.1	36	2012
2014-9	-	+	++	-		+	++	100	100	47	23	3	1.1	24	2011
2014-10	++	++	++	+		+	++	100	100	28	2	0	0.1	24	2013
2014-11	+	+	+(-)	+		-	+	100	100	21	14	2	0.4		2013
2014-12	-	-	-	-		-	-	33	0	45	43	20	6.9		2011
2015-1	-	+	-	-	+	-	-	100	100	55	37	1	0.2	8	2009
2015-2	+	++	+	++		++	+	100	100	13	8	0	0		2011
2015-4	+	+	-	++	-	+	-	100	100	7	29	5	1	19	2013
2015-6	++	++	-	++	++	++	-	100	100	1	10	0	0	51	2012
2015-7	-			+	++			94	100	20	1	0	0.1	33	1995
2015-8	-			-	++			0	0	100	97	44	0.2	40	1981
2015-9	-	+	-	-	-	-	-	0	0	97	46	11	1.9	18	2008
2015-10	-	++	++	-	-	+	++	100	100	28	2	0	0.1	25	2010
2015-11	-	++	++	+	++	++	++	100	100	14	7	1	0.1	15	2014
2016-1-1	-	+	++	-	++	-	++	100	67	52	14	1	0.2	81	2008
2016-1-2	-	++	++	+	++	+	++	93	100	18	1	0	0	97	2008
2016-2	-	-	+	-	-	-	+	0	0	100	69	11	0.7	30	2015
2016-3	-	++	++	-	++	-	++	100	0	66	2	0	0	48	2012
2016-4	-			+	++			92	100	29	0	0	0	60	2008
2016-5	-	++	++	+	+	++	++	100	100	12	0	0	0	99	2014
2016-6	+			++	-			100	100	0	0	0	0	82	2012
2016-7	-	-	++	-	++	-	++	36	0	75	16	1	0.1	29	2015
2016-8	-	-	-	+	-	-	-	100	100	11	15	2	1.4	49	2014
2016-9	-	-	-	++	-	-	-	100	100	10	17	2	1.3	18	2013
2016-10	-	++	++	-	-	-	+	90	80	18	3	0	0.1	42	2013

### Waldhackschnitzel-Feuerung 175 kW / M35

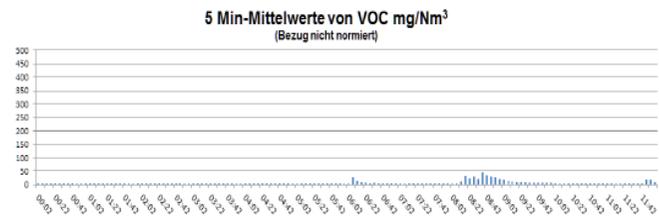
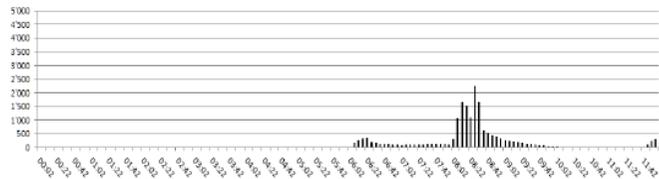
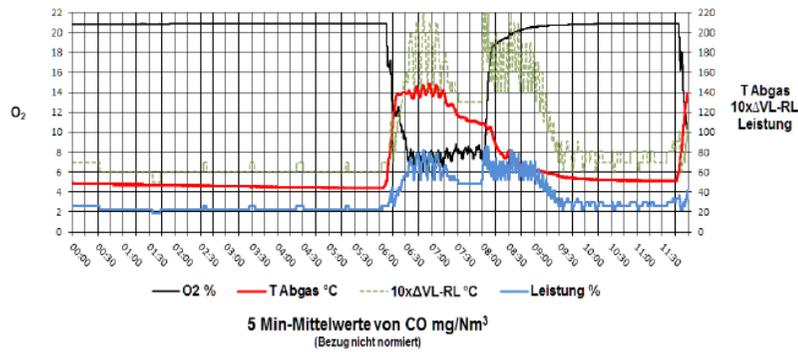
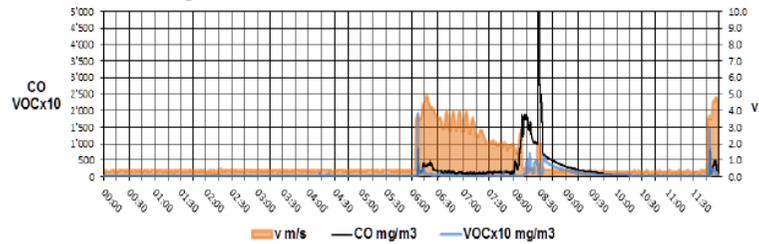


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH					
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider anfahren Abfahren	CO <sub>h</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m³</sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m³</sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m³</sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr				
Soll			%	%	%	%	%	(>15)		
2012-3	+ - +	+ / - +	100	100	<20	10	5	0.5	-	2007

Anlage 2012-3: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

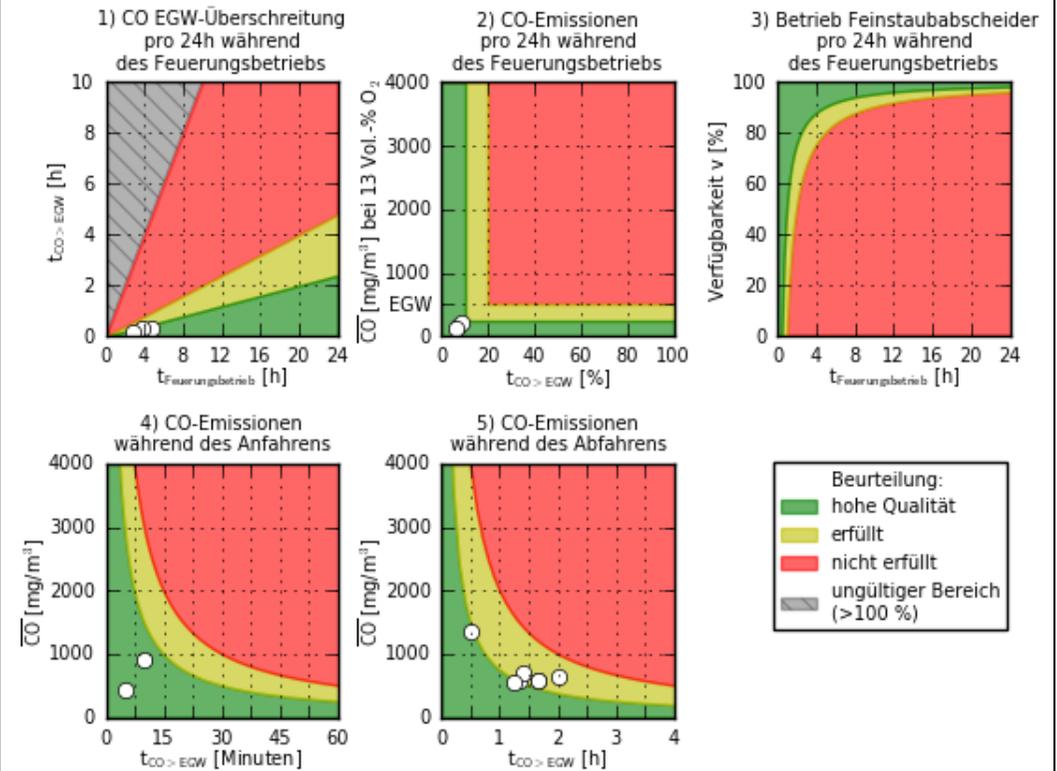


### Pellet-Feuerung 95 kW

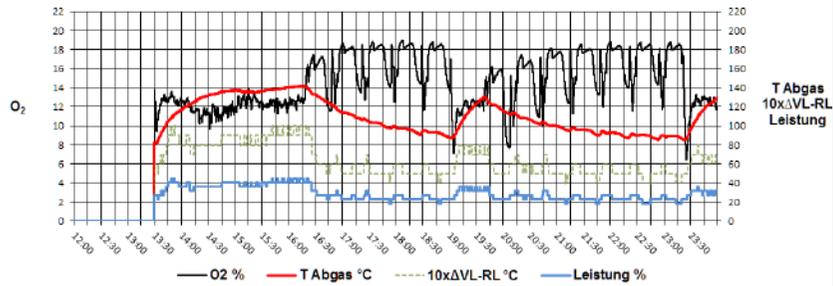
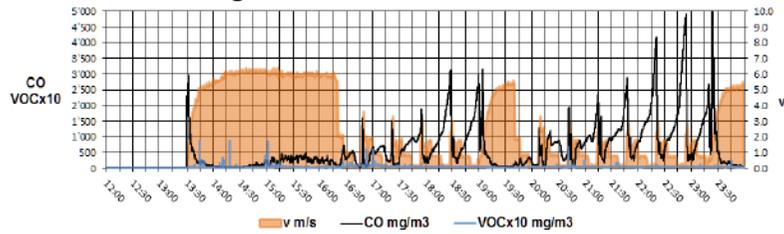


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH	
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>24h</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll			% %	% % % %	%	
2014-8	+ ++ ++	++ ++ +	100 100	14 3 0 0.1 +	36	2012

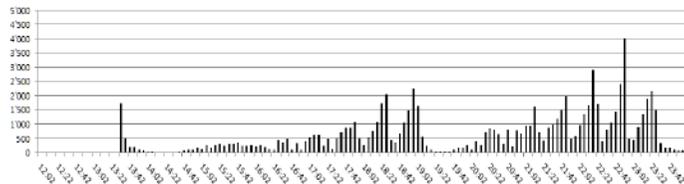
Anlage 2014-8: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



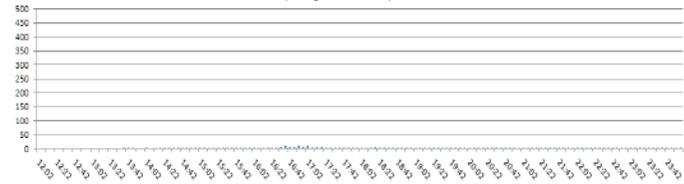
### Restholz-Feuerung 700 kW



5 Min-Mittelwerte von CO mg/Nm<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)

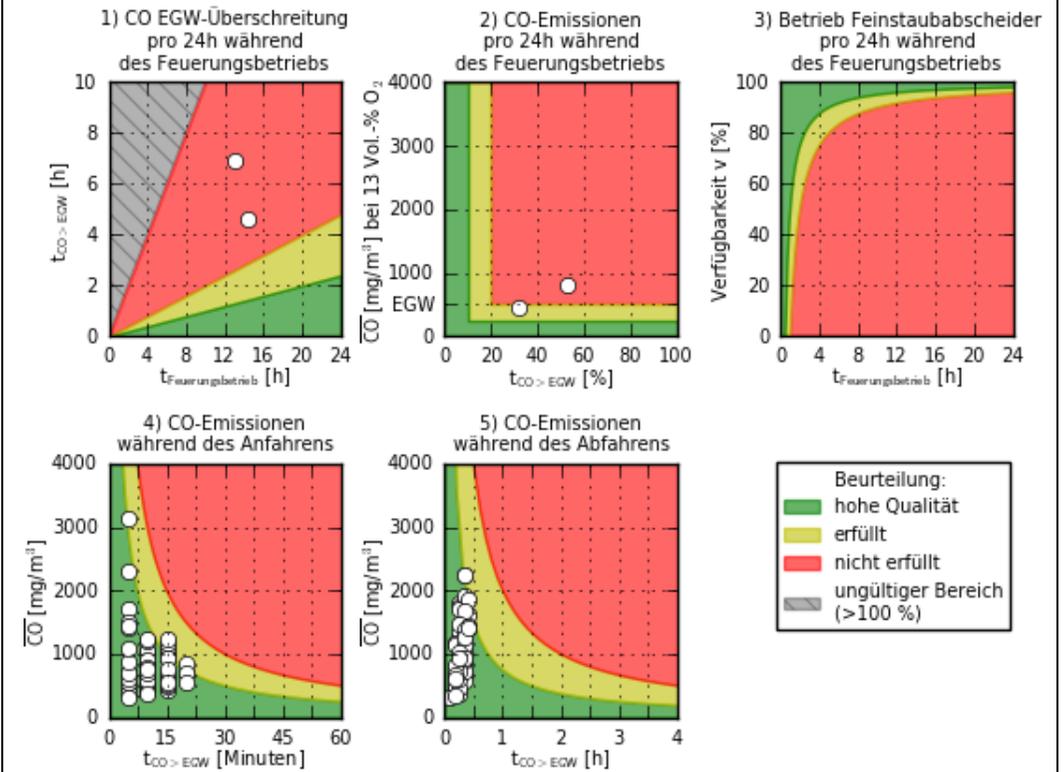


5 Min-Mittelwerte von VOC mg/Nm<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)

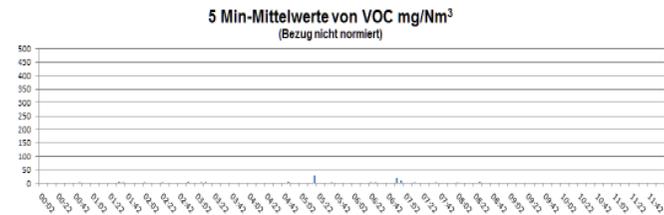
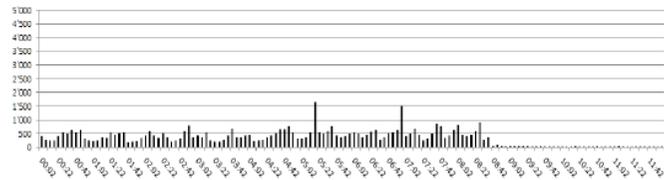
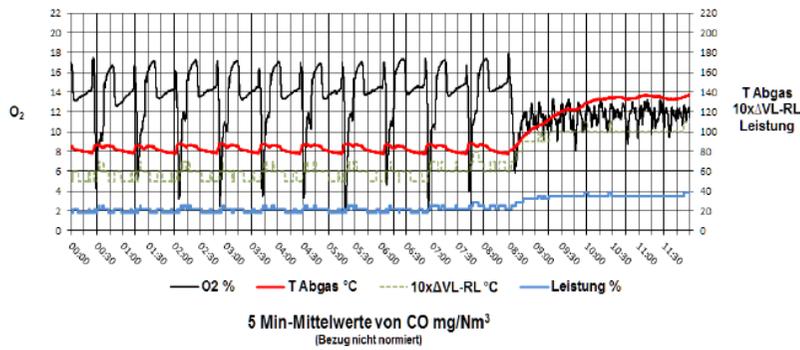
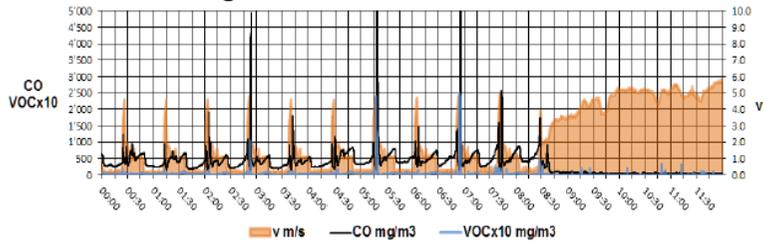


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH	
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>24h</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll			% %	% % % %	%	
2014-9	- + ++	- + ++	100 100	47 23 3 1.1 -	24	2011

Anlage 2014-9: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

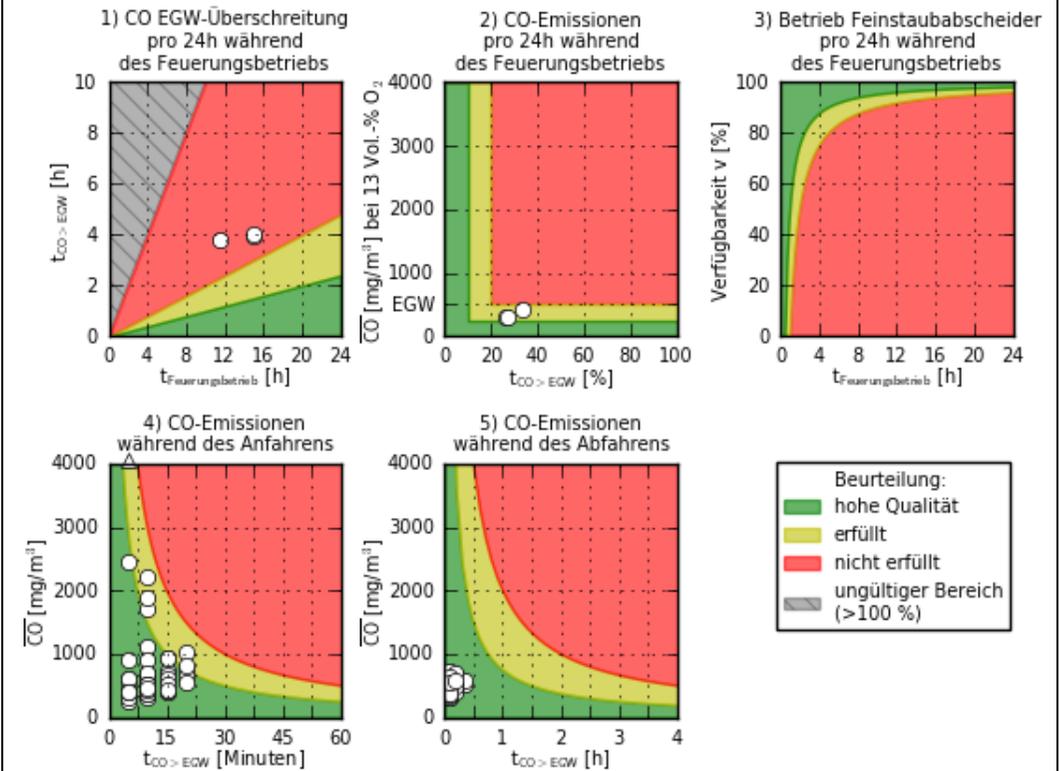


### Restholz-Feuerung 300 kW

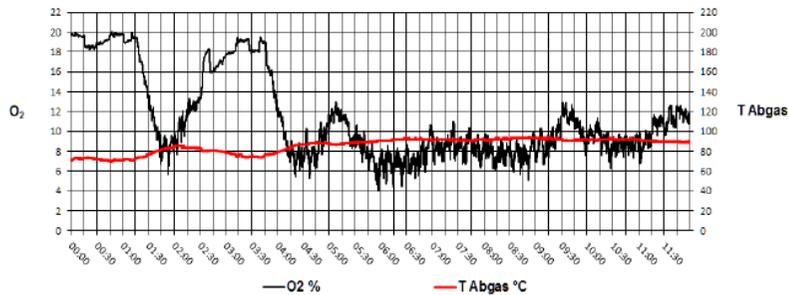
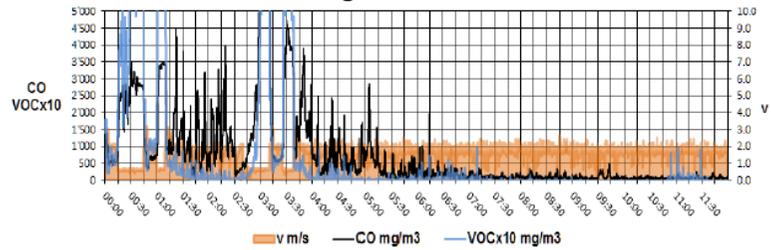


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH								
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>n</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m<sup>3</sup></sub>	t <sub>CO &gt; 2500 mg/m<sup>3</sup></sub>	t <sub>CO &gt; 4000 mg/m<sup>3</sup></sub>	CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr				
Soll			%	%	%	%	%	%					
2014-10	++ ++ ++	+	+	++	100	100	28	2	0	0.1	+	24	2013

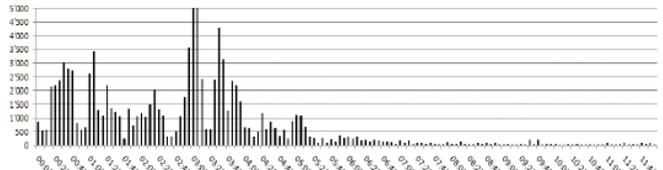
Anlage 2014-10: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



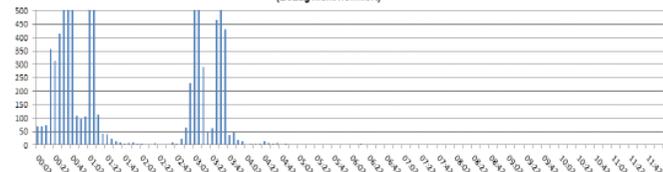
### Waldhackschnitzel-Feuerung 550 kW / M34



5 Min-Mittelwerte von CO mg/Nm<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)

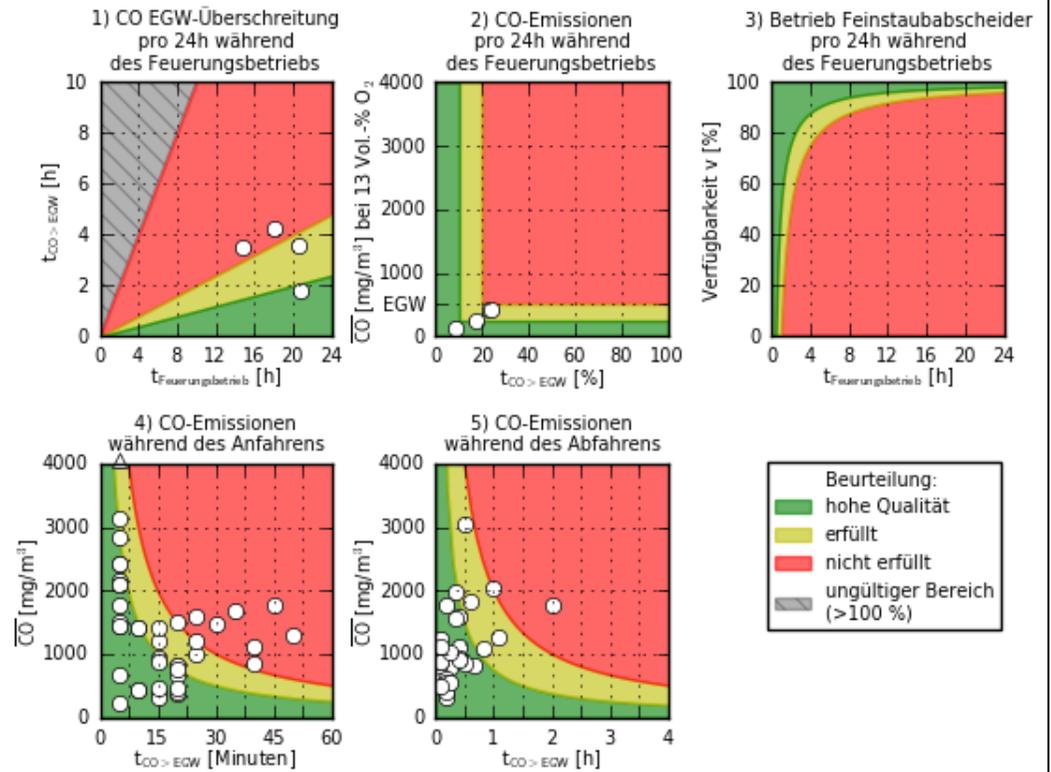


5 Min-Mittelwerte von VOC mg/Nm<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)

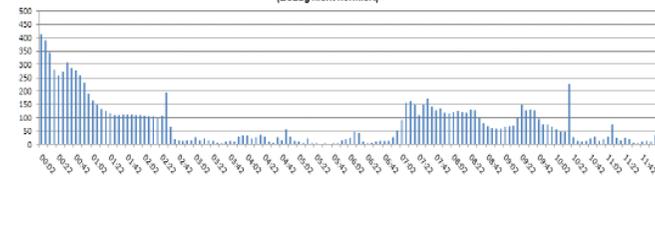
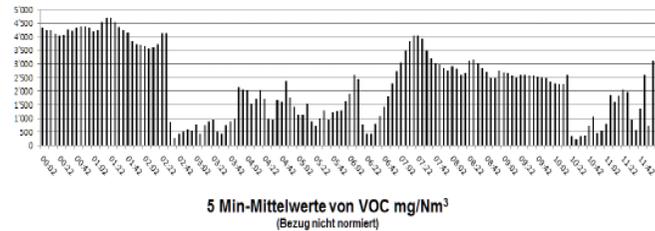
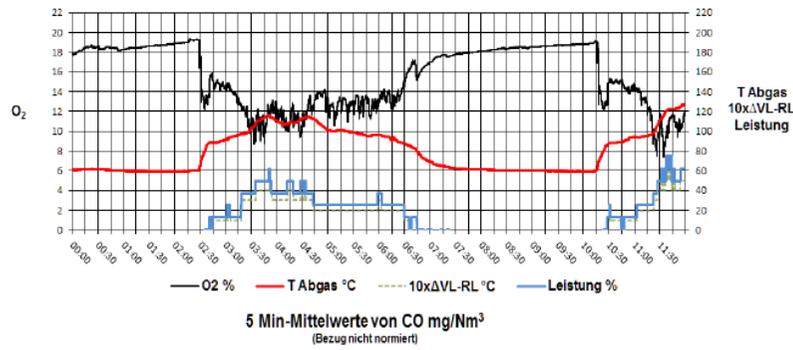
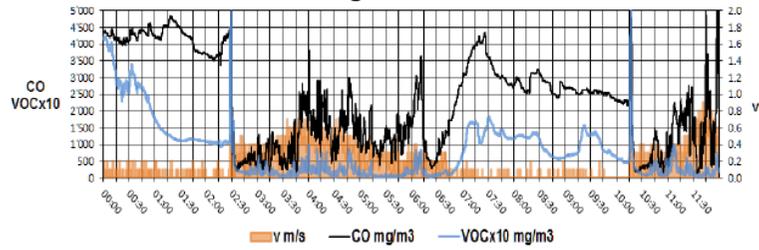


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH	
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>h</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	tCO > EGW tCO > 1000 mg/m <sup>3</sup> tCO > 2500 mg/m <sup>3</sup> tCO > 4000 mg/m <sup>3</sup> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll			% 100	% 100	% <20 10 5 0.5	% (>15)
2014-11	+ + +(-)	+ + - +	100 100	21 14 2 0.4 +		2013

### Anlage 2014-11: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

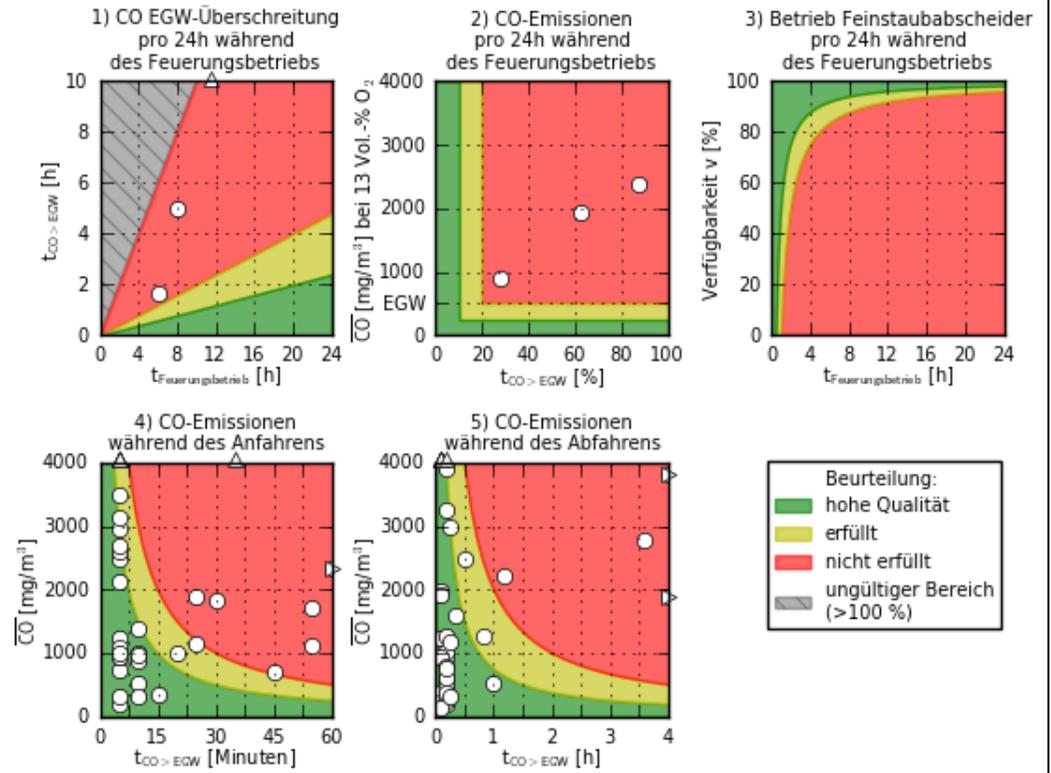


### Waldhackschnitzel-Feuerung 150 kW / M24

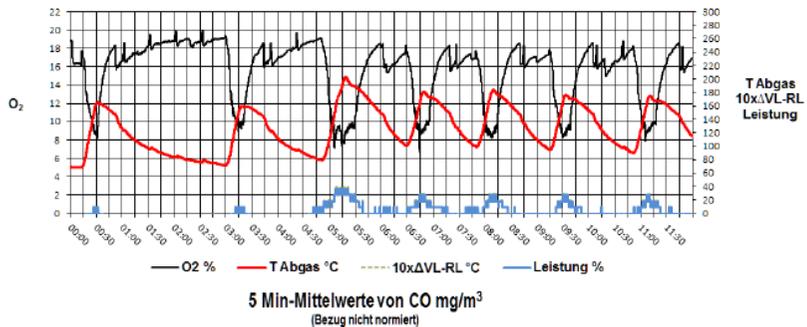
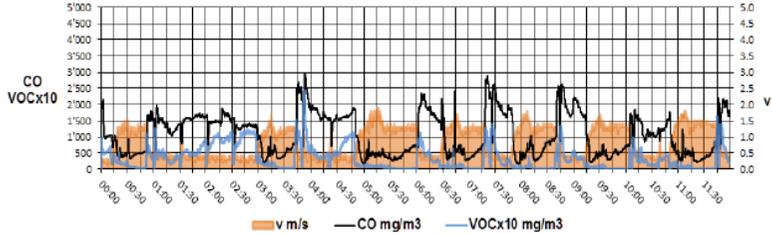


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH										
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren		CO <sub>n</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m<sup>3</sup></sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m<sup>3</sup></sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m<sup>3</sup></sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr									
Soll			%	%	%	%	%	%	%						
2014-12	-	-	-	-	-	-	33	0	45	43	20	6.9	-	-	2011

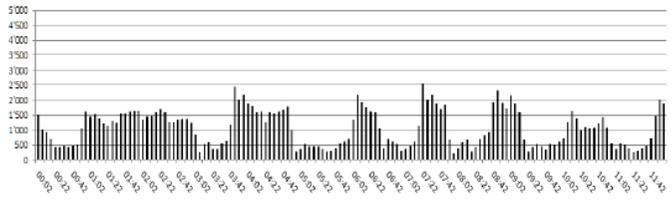
### Anlage 2014-12: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



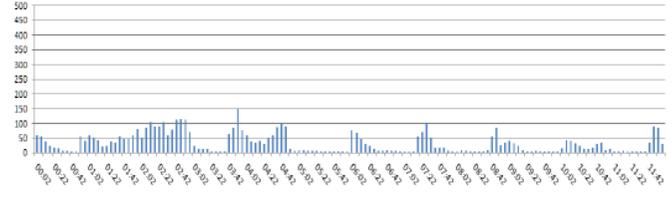
### Pellet-Feuerung 155 kW



5 Min-Mittelwerte von CO mg/m<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)

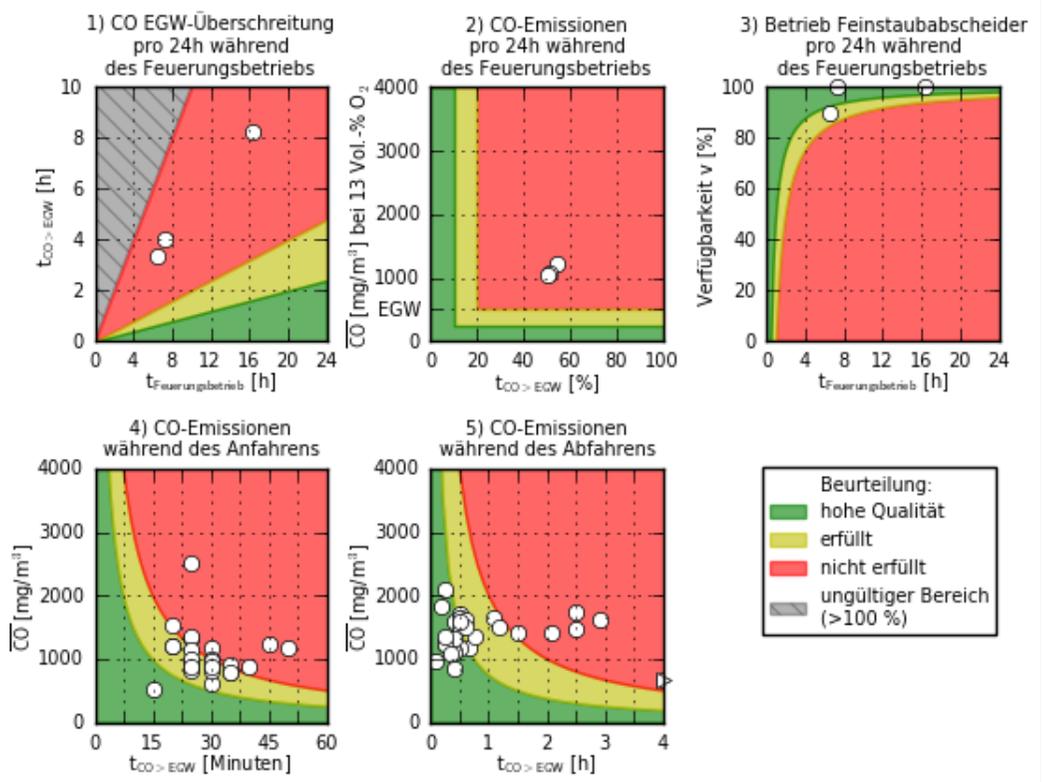


5 Min-Mittelwerte von VOC mg/m<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)

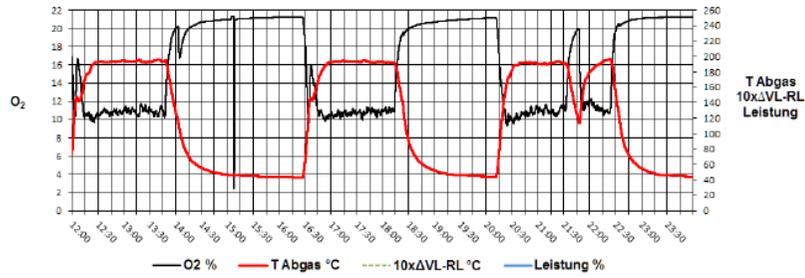
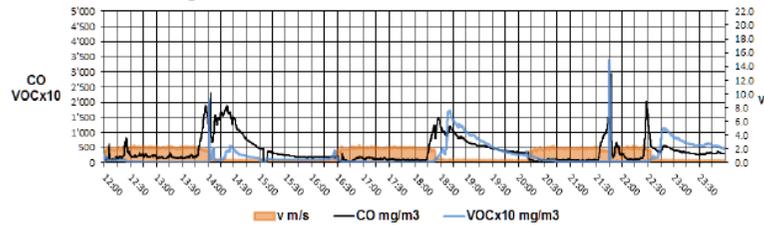


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH	
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>t</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m<sup>3</sup></sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m<sup>3</sup></sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m<sup>3</sup></sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll			% %	% % % %	%	
2015-1	- + -	- + - -	100 100	55 37 1 0.2 -	8	2009

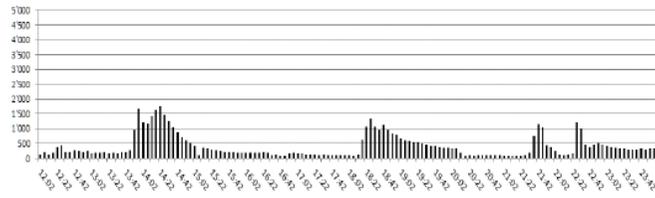
### Anlage 2015-1: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



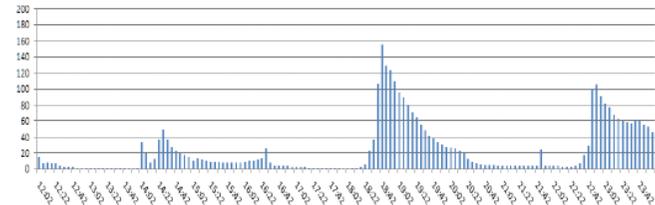
### Pellet-Feuerung 100 kW



5 Min-Mittelwerte von CO mg/m<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)

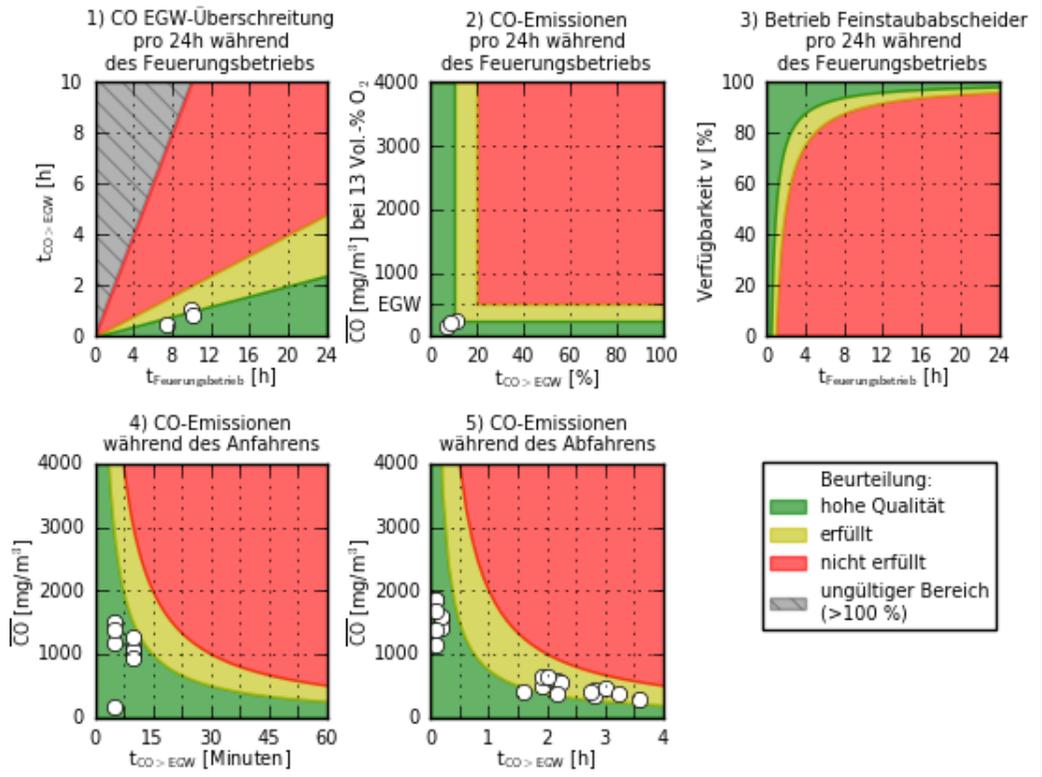


5 Min-Mittelwerte von VOC mg/m<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)

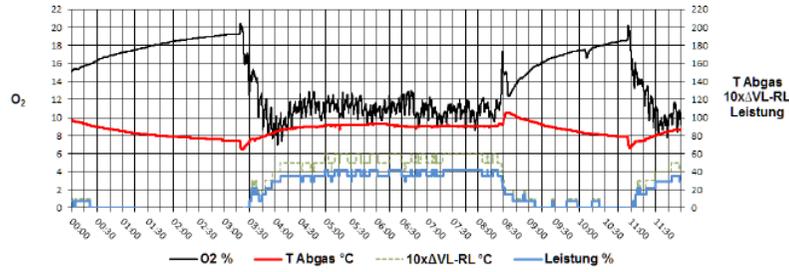
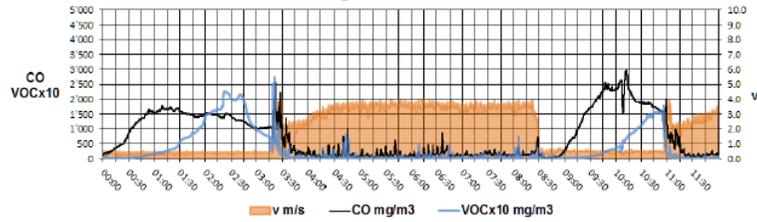


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH				
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren		CO <sub>t</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m<sup>3</sup></sub>	t <sub>CO &gt; 2500 mg/m<sup>3</sup></sub>	t <sub>CO &gt; 4000 mg/m<sup>3</sup></sub>	CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll			%	%	%	%	%	%	
2015-2	+	++	+	++	+	++	+		2011

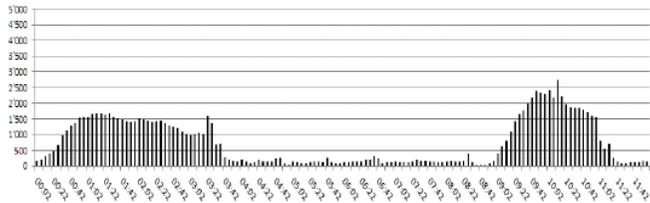
### Anlage 2015-2: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



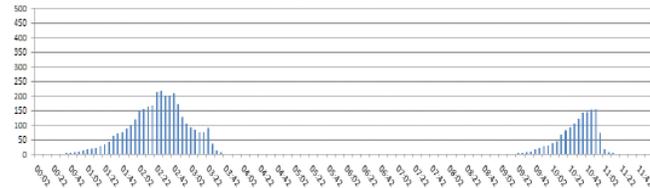
### Waldhackschnitzel-Feuerung 550 kW / M33



5 Min-Mittelwerte von CO mg/Nm<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)

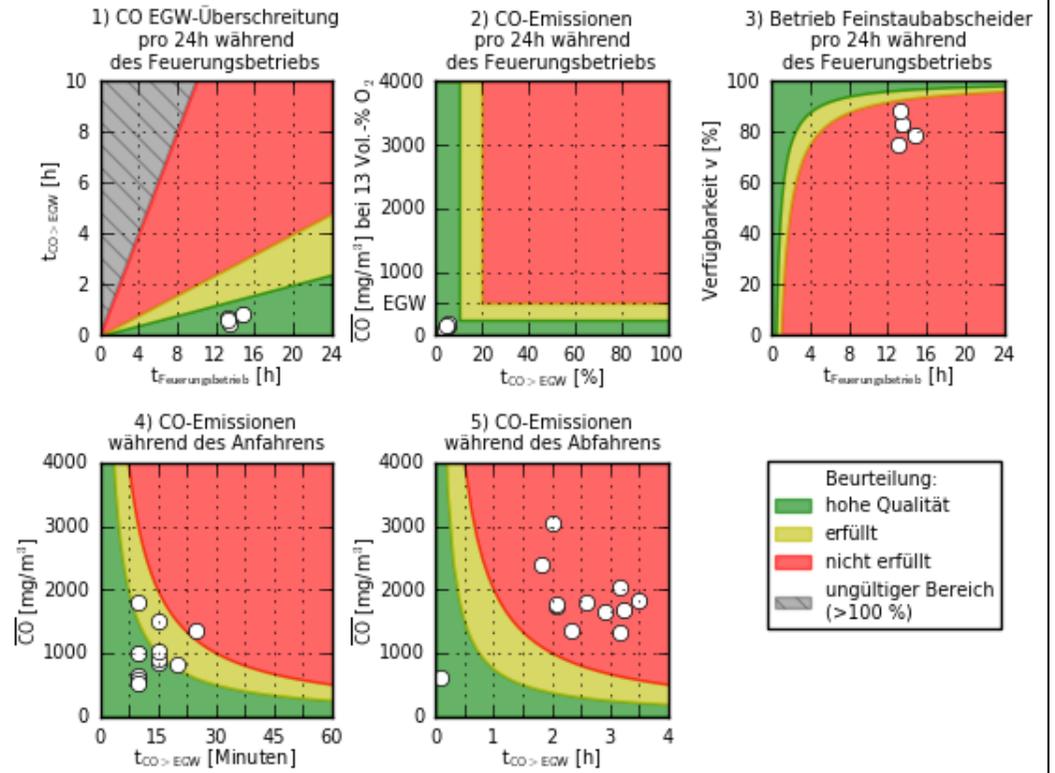


5 Min-Mittelwerte von VOC mg/Nm<sup>3</sup>  
(Bezug nicht normiert)



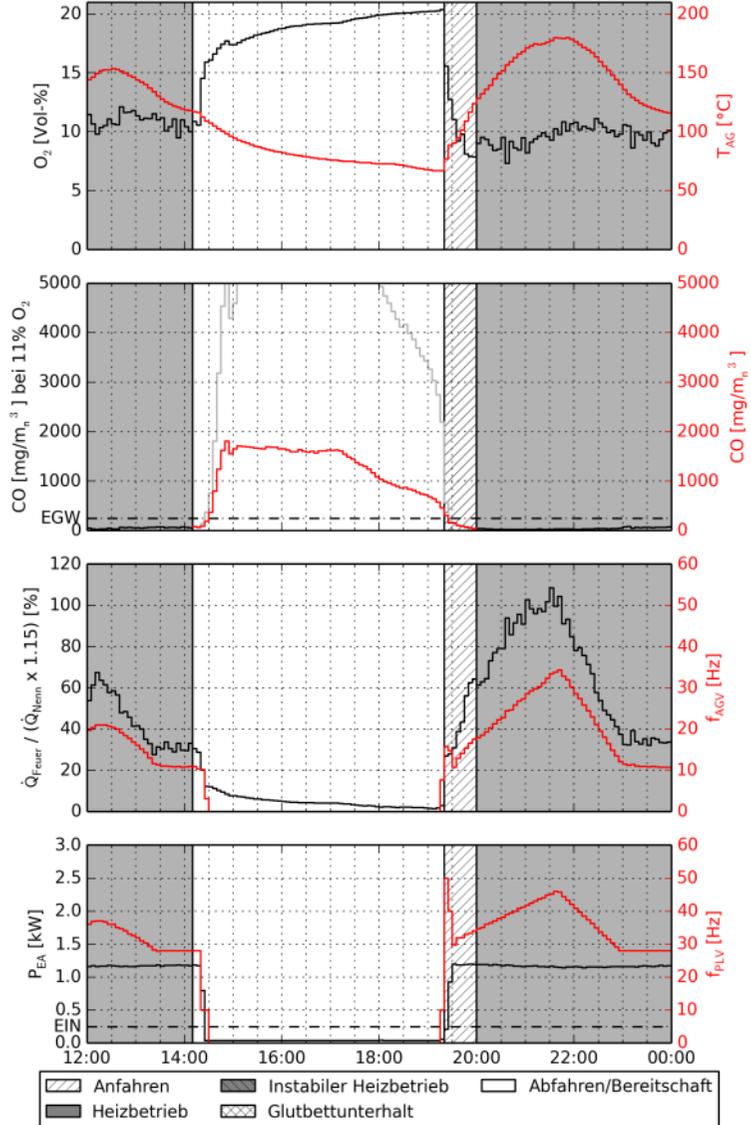
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH												
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>t</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m<sup>3</sup></sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m<sup>3</sup></sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m<sup>3</sup></sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr											
Soll			%	%	%	%	%	%	%	%							
2015-4	+	+	-	++	-	+	-	100	100	<20	10	5	0.5	CO <sub>24h</sub> < EGW	(>15)	19	2013

### Anlage 2015-4: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



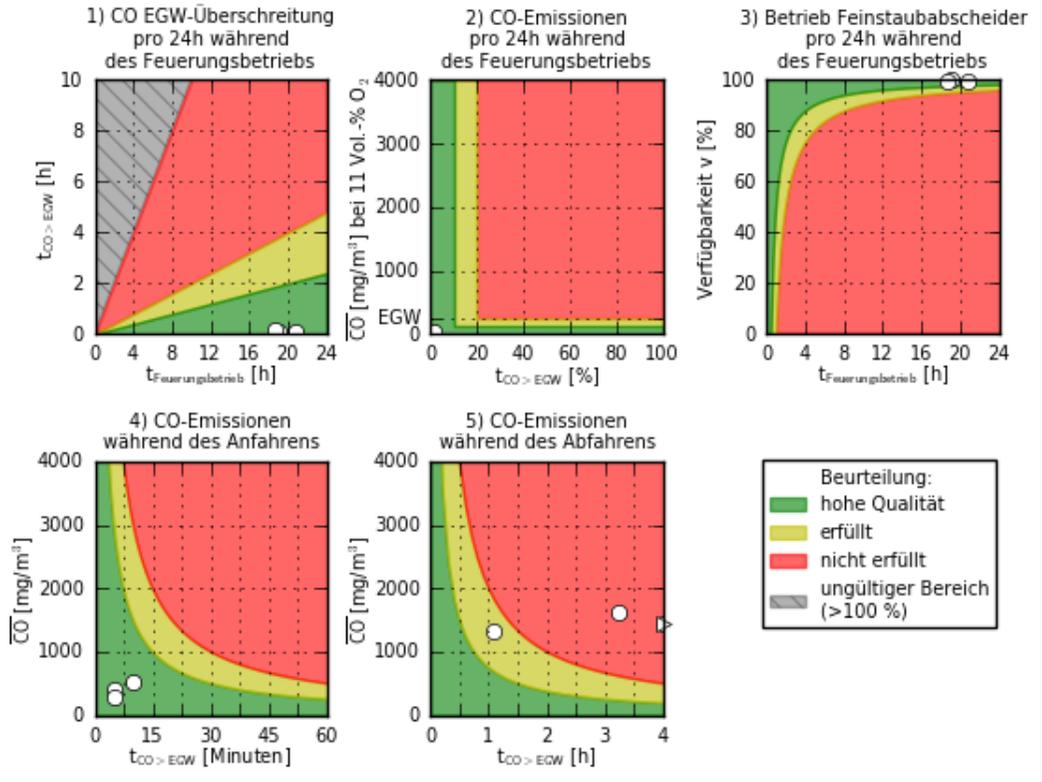
### Altholz-Feuerung 360 kW / M11

03.10.2015 Anlage 2015-6



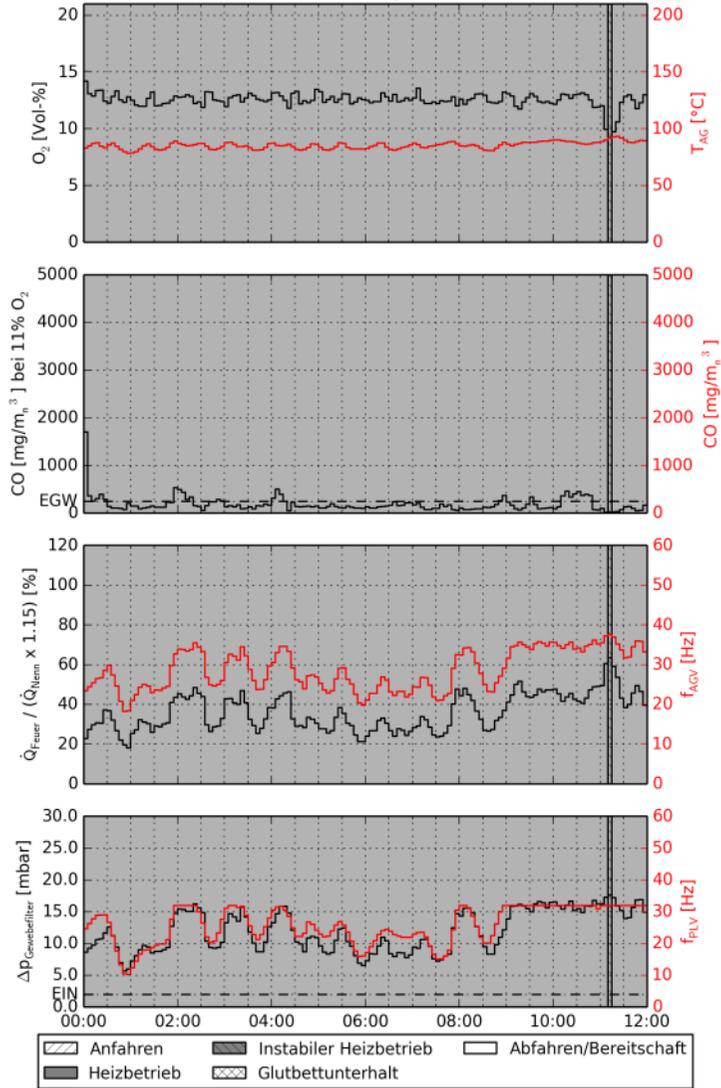
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH											
Kriterium	Heizbetrieb	Anfahren	Abfahren	Feuerungs- betrieb	Feinstaub- abscheider	Anfahren	Abfahren	CO <sub>t</sub> < 2xEGW	CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub>	t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub>	CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
								%	%	%	%	%	%	%	%	
Soll								100	100	<20	10	5	0.5		(>15)	
2015-6	++	++	-	++	++	++	-	100	100	1	10	0	0	+	51	2012

Anlage 2015-6: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



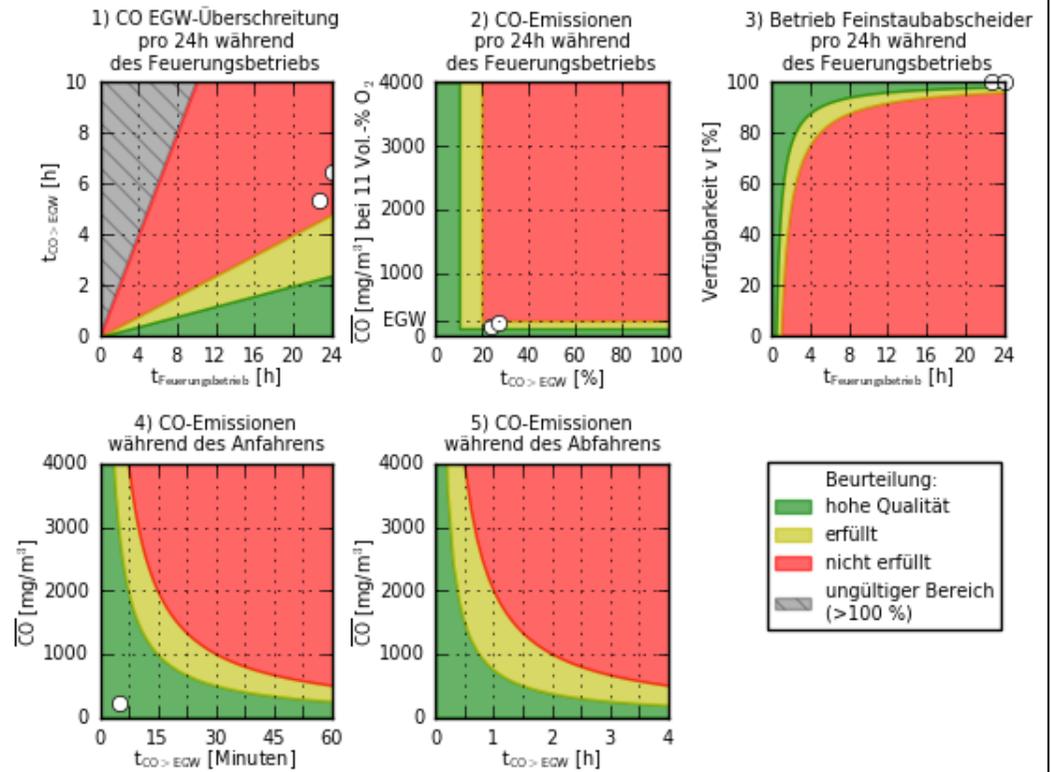
### Restholz-Feuerung 1000 kW / M35

07.10.2015 Anlage 2015-7



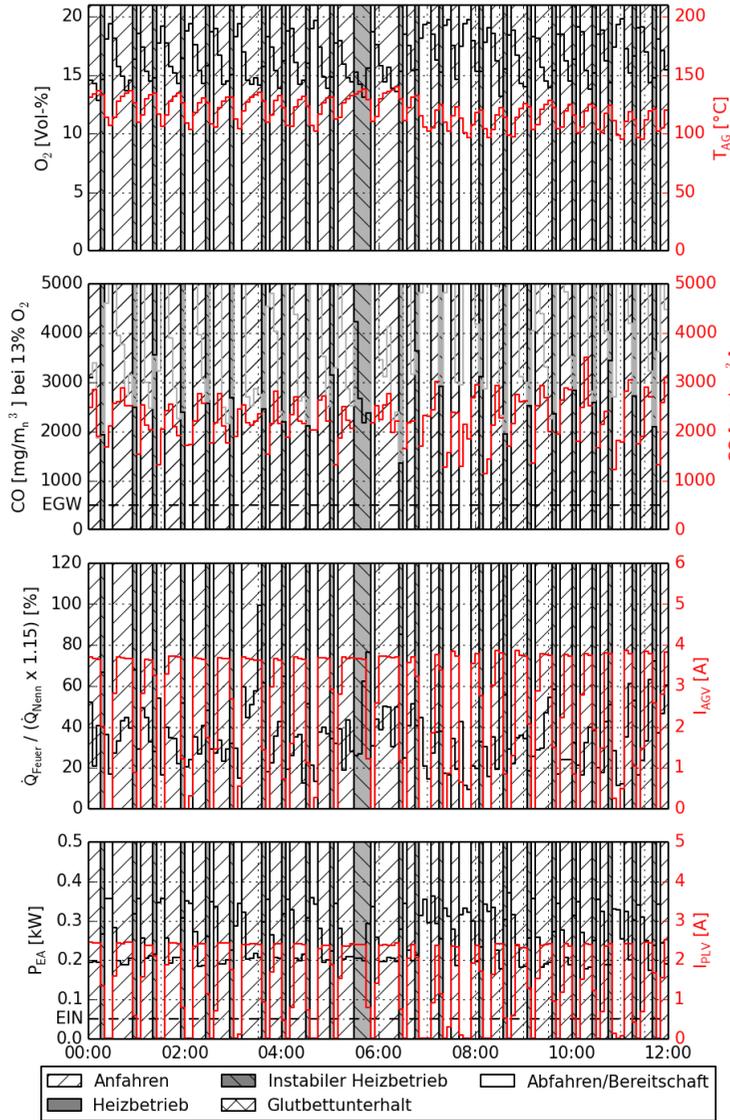
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH	
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>n</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll			% %	% % % %	%	
2015-7	-	+ ++	94 100	20 1 0 0.1 +	33	1995

Anlage 2015-7: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



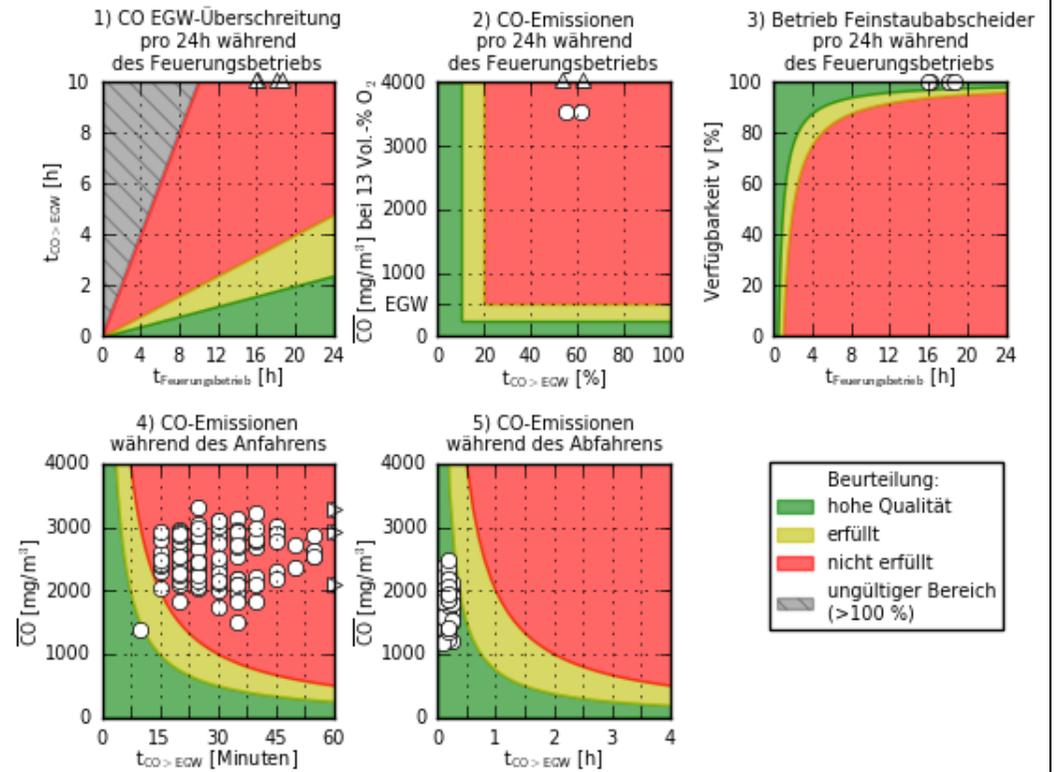
### Restholz-Feuerung 488 kW / M29

09.10.2015 Anlage 2015-8



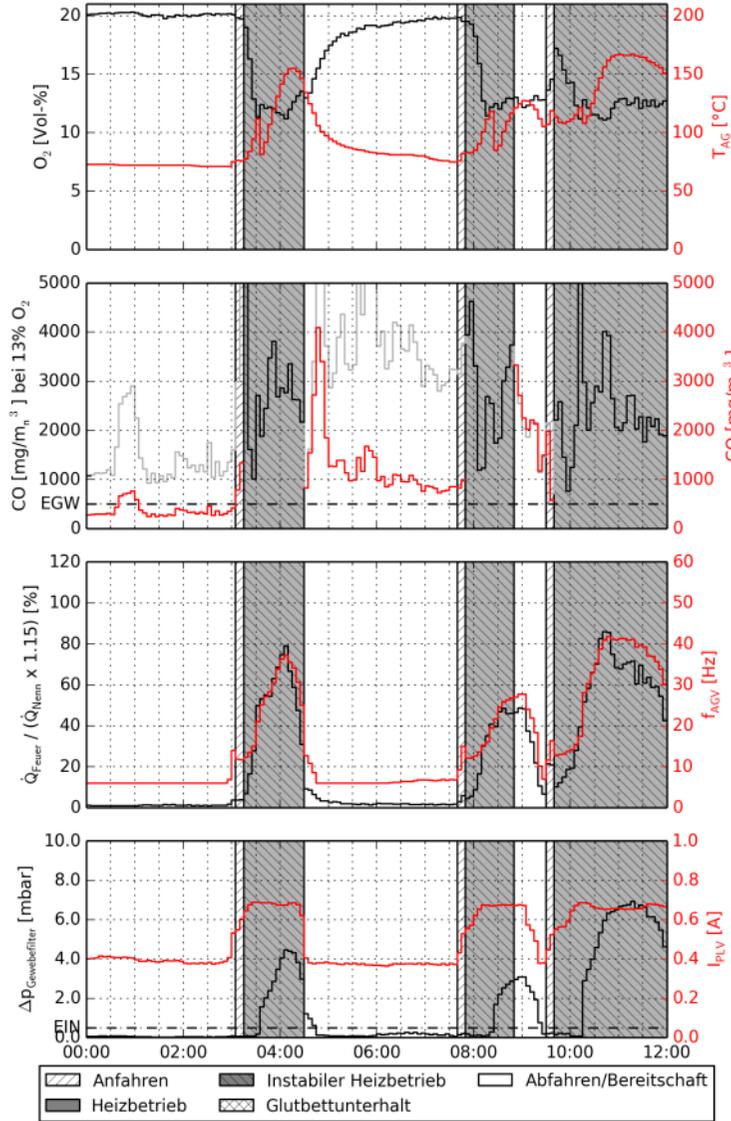
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH						
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>n</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr					
Soll			%	%	%	%	%	%			
2015-8	-	- ++	0	0	100	97	44	0.2	-	40	1981

Anlage 2015-8: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



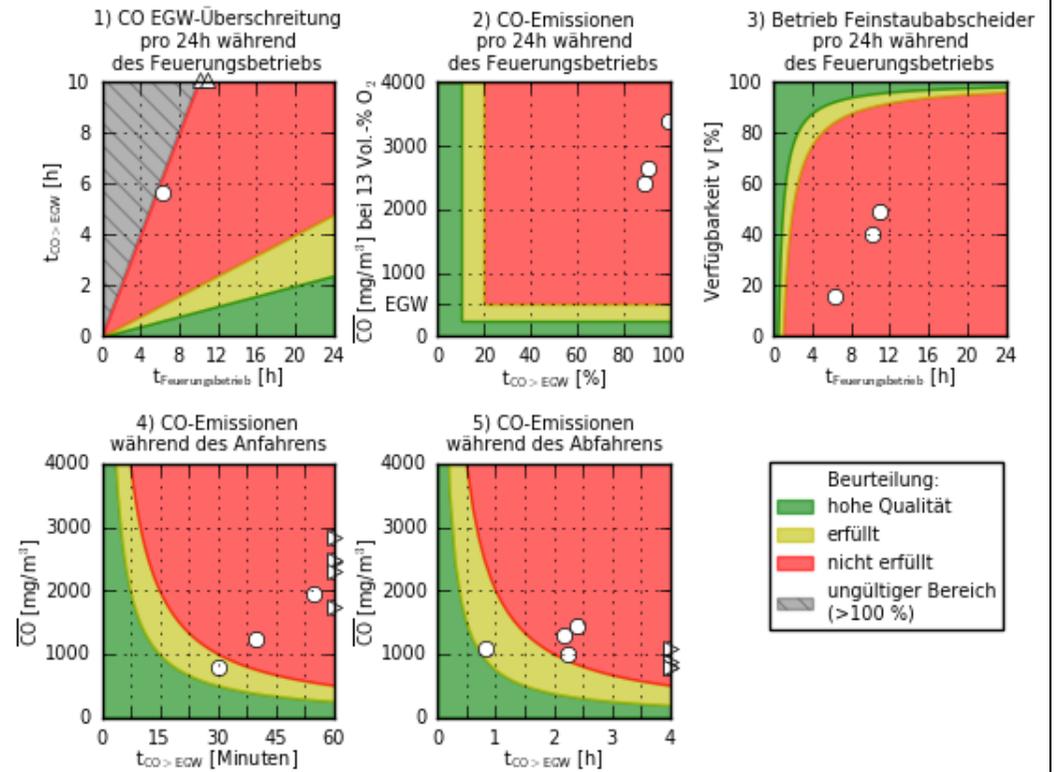
### Waldhackschnitzel-Feuerung 420 kW / M34

24.10.2015 Anlage 2015-9

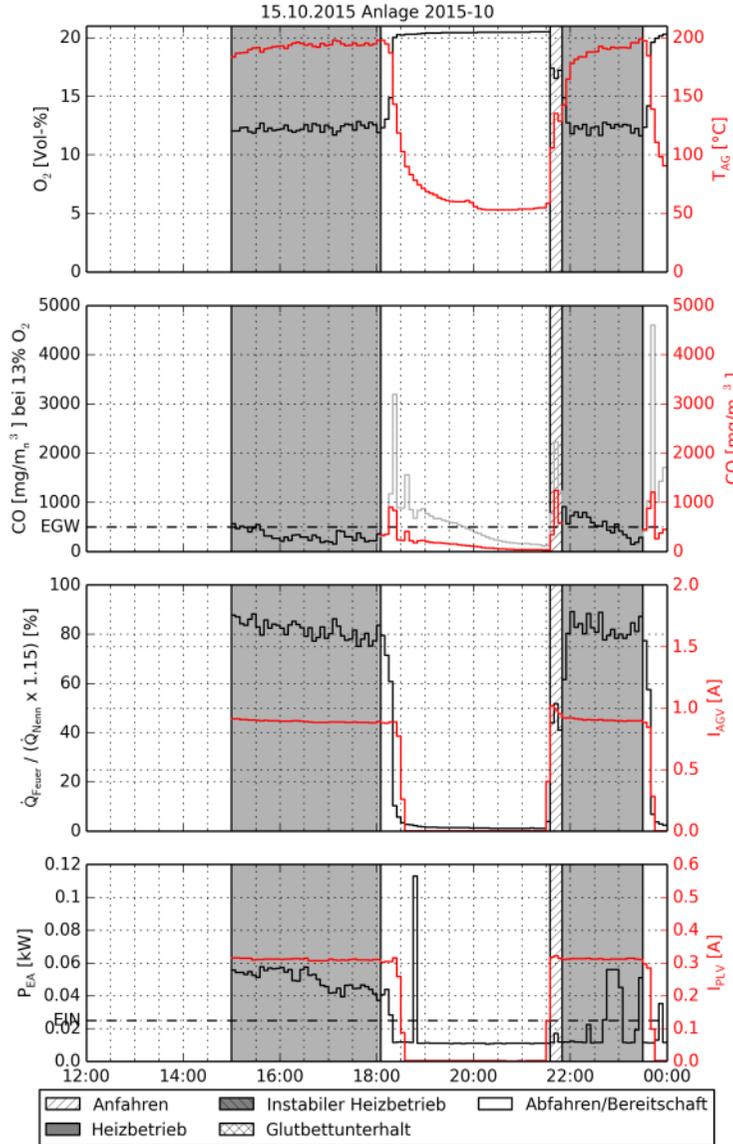


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH											
Kriterium	Heizbetrieb	Anfahren	Abfahren	Feuerungs- betrieb	Feinstaub- abscheider	Anfahren	Abfahren	CO <sub>n</sub> < 2xEGW	CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub>	t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub>	CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll								%	%	%	%	%	%	%	%	
2015-9	-	+	-	-	-	-	-	0	0	97	46	11	1.9	-	18	2008

Anlage 2015-9: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

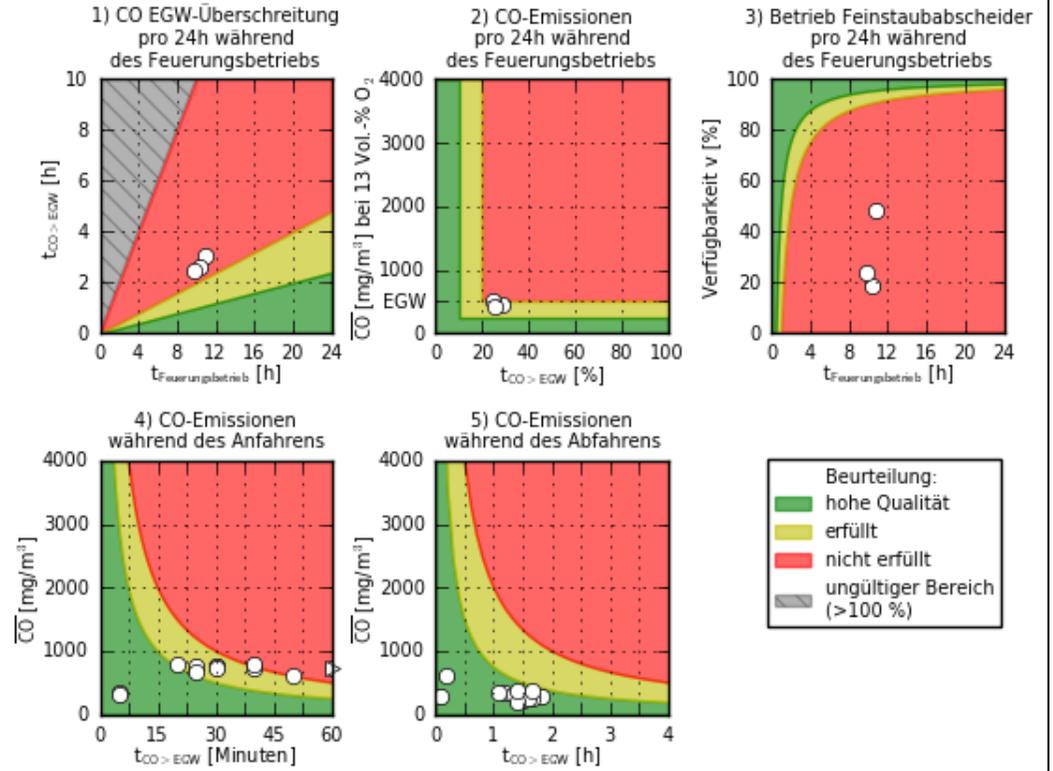


### Waldhackschnitzel-Feuerung 150 kW / M19



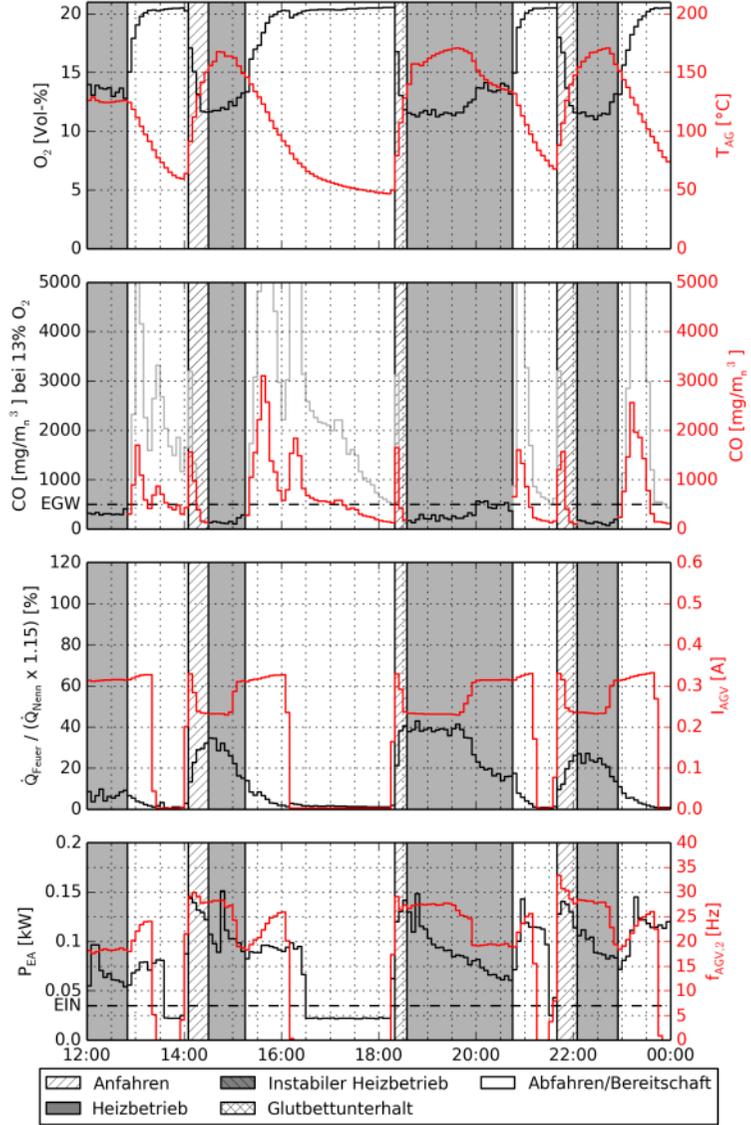
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH						
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	$CO_h < 2 \times EGW$ $CO_{24h} < EGW$	$t_{CO > EGW}$ $t_{CO > 1000 \text{ mg/m}^3}$ $t_{CO > 2500 \text{ mg/m}^3}$ $t_{CO > 4000 \text{ mg/m}^3}$ $CO_{24h} < EGW$	Tages- heizlast	Baujahr					
Soll			%	%	%	%	%	%			
2015-10	-   ++   ++	-   -   +   ++	100	100	28	2	0	0.1	-	25	2010

Anlage 2015-10: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



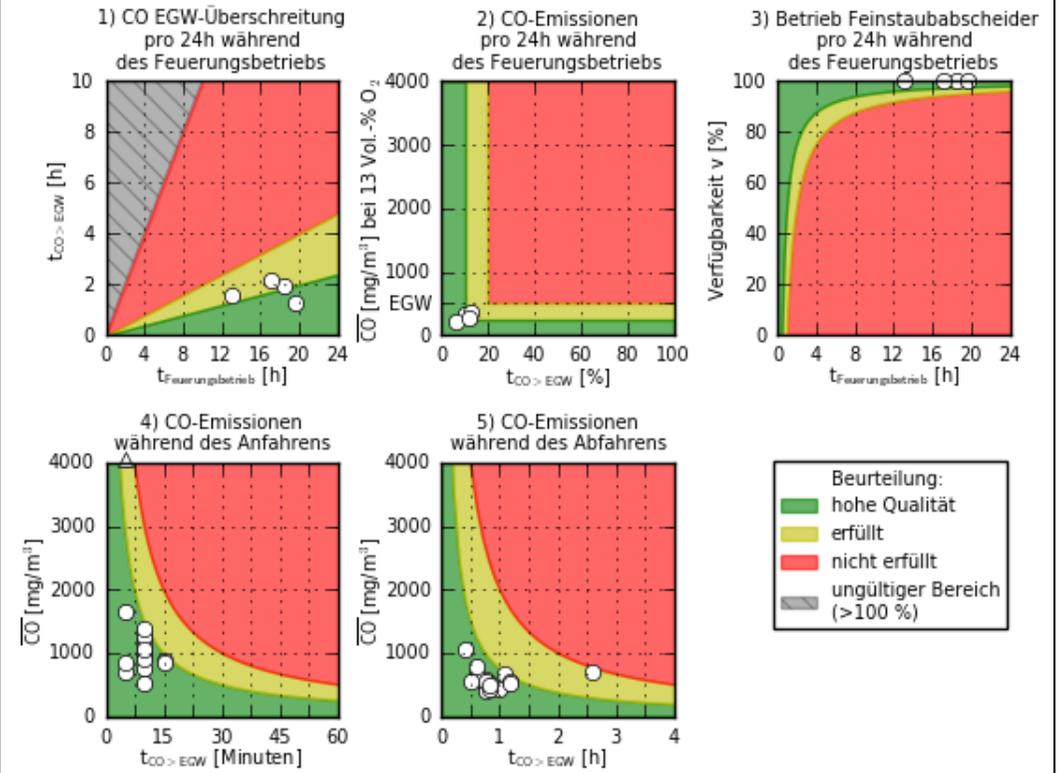
### Restholz-Feuerung 150 kW / M8

20.10.2015 Anlage 2015-11

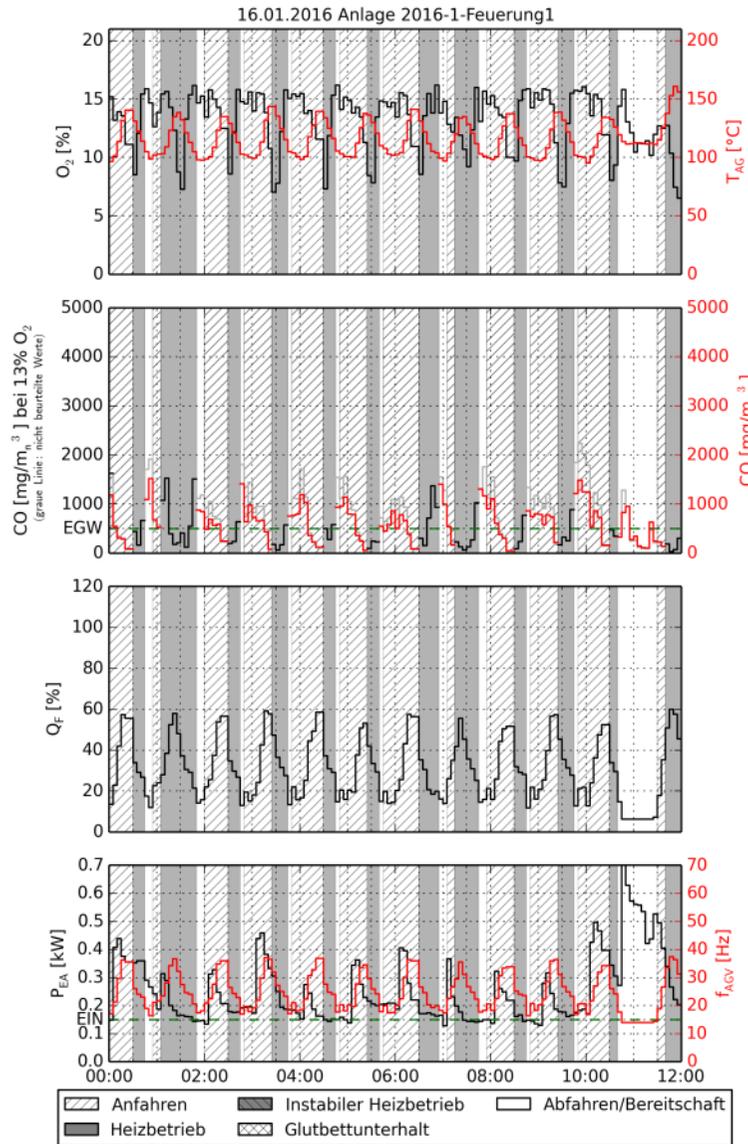


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH										
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren		CO <sub>n</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr									
Soll			%	%	%	%	%	%	%	%					
2015-11	-	++ ++	+	++ ++ ++	+	+	100	100	<20	10	5	0.5	(>15)	15	2014

Anlage 2015-11: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

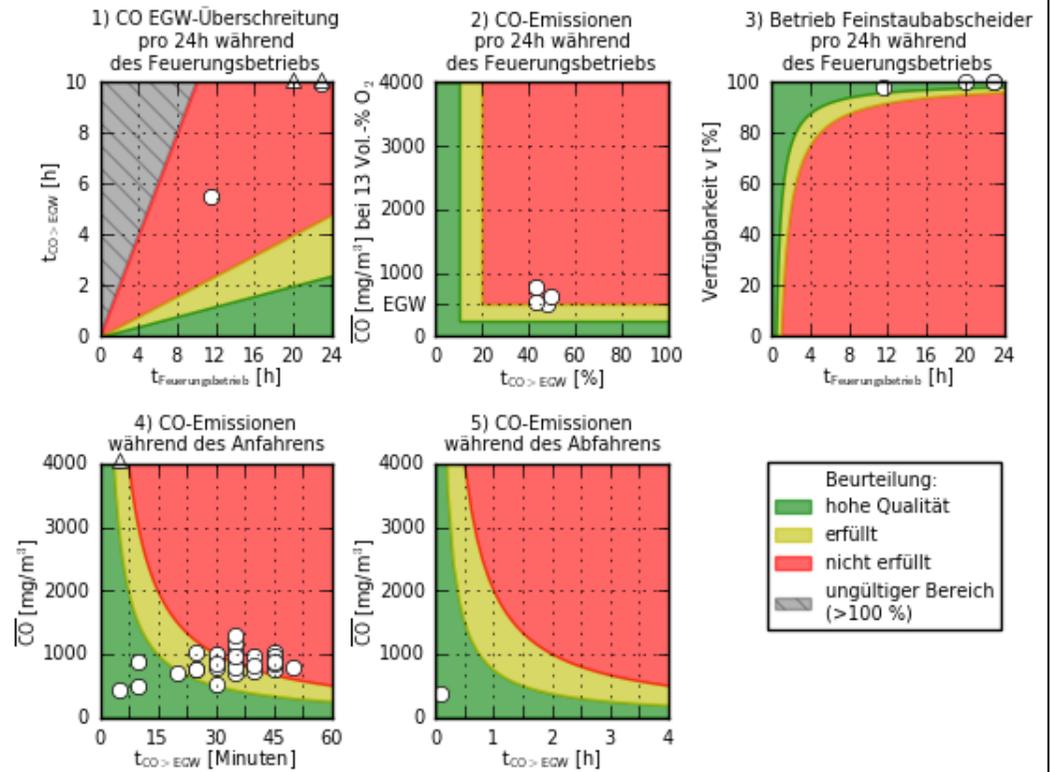


### Waldhackschnitzel-Feuerung 530 kW / M37

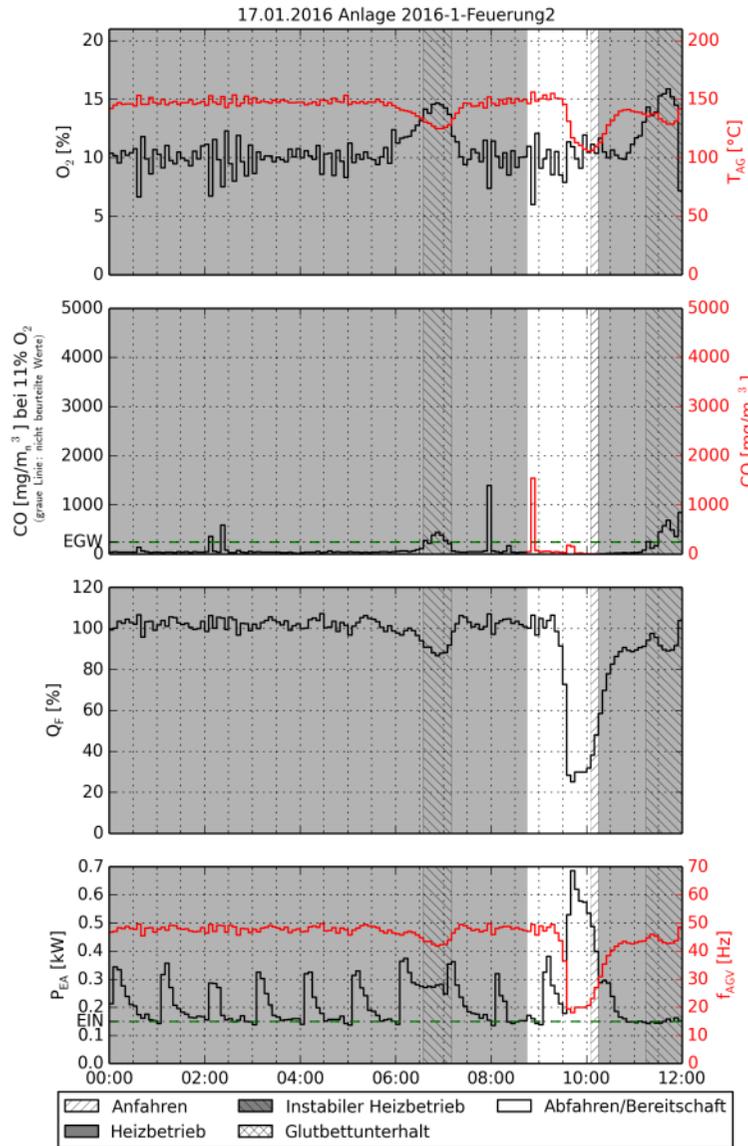


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH	
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	$CO_h < 2 \times EGW$ $CO_{24h} < EGW$	$t_{CO > EGW}$ $t_{CO > 1000 \text{ mg/m}^3}$ $t_{CO > 2500 \text{ mg/m}^3}$ $t_{CO > 4000 \text{ mg/m}^3}$ $CO_{24h} < EGW$	Tages- heizlast	Baujahr
Soll			%    %	%    %    %    %	%	
2016-1-1	-    +    ++	-    ++    -    ++	100    67	52    14    1    0.2    -	81	2008

#### Anlage 2016-1-1: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

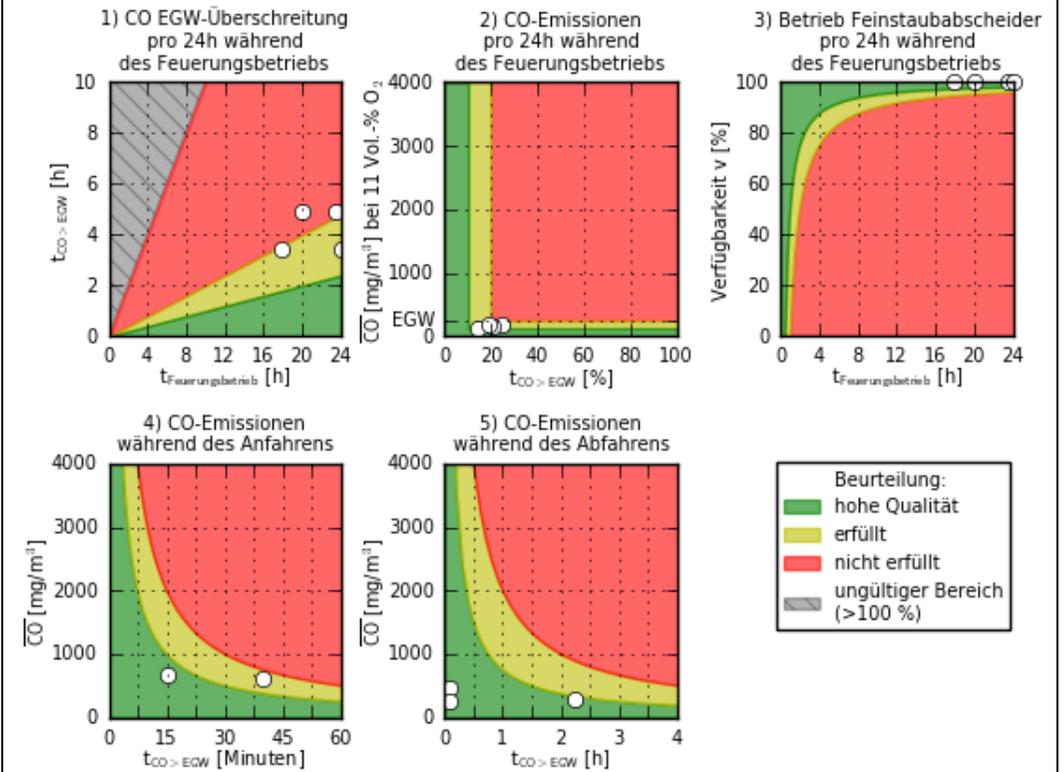


### Waldhackschnitzel-Feuerung 1250 kW / M37

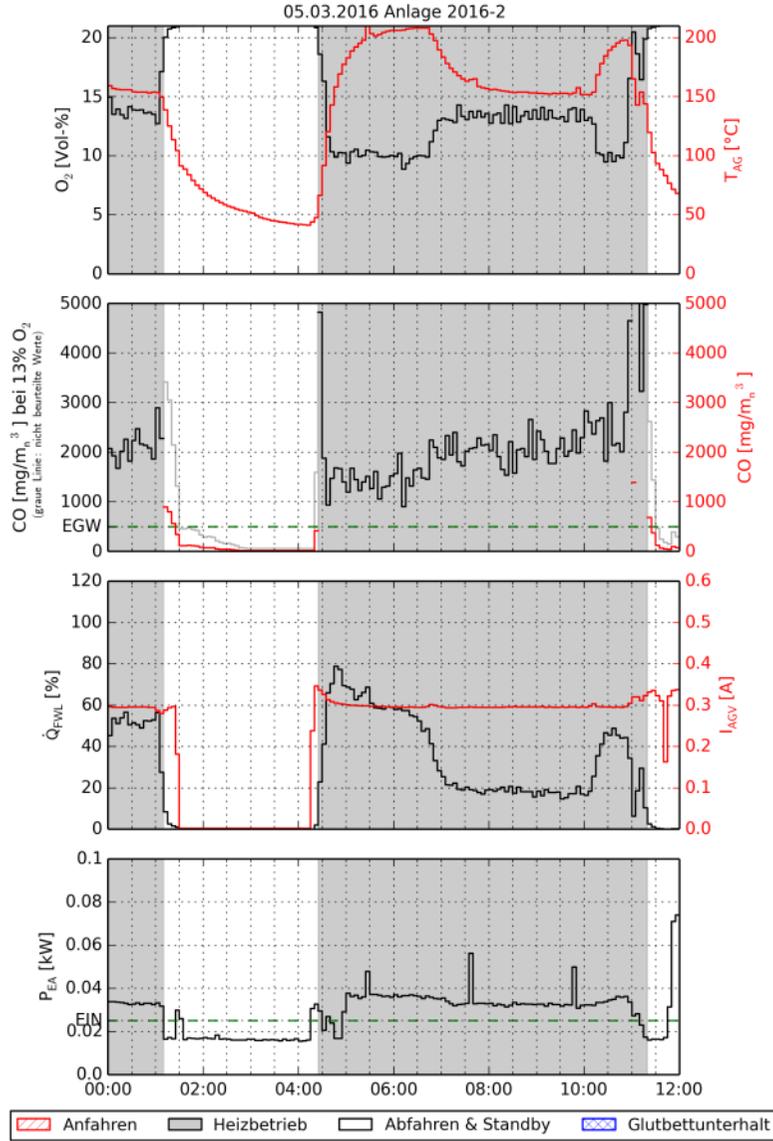


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH											
Kriterium	Heizbetrieb	Anfahren	Abfahren	Feuerungs- betrieb	Feinstaub- abscheider	Anfahren	Abfahren	$CO_n < 2 \times EGW$	$CO_{24h} < EGW$	$t_{CO > EGW}$	$t_{CO > 1000 \text{ mg/m}^3}$	$t_{CO > 2500 \text{ mg/m}^3}$	$t_{CO > 4000 \text{ mg/m}^3}$	$CO_{24h} < EGW$	Tages- heizlast	Baujahr
Soll								%	%	%	%	%	%	%	(>15)	
2016-1-2	-	++	++	+	++	+	++	93	100	18	1	0	0	+	97	2008

#### Anlage 2016-1-2: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

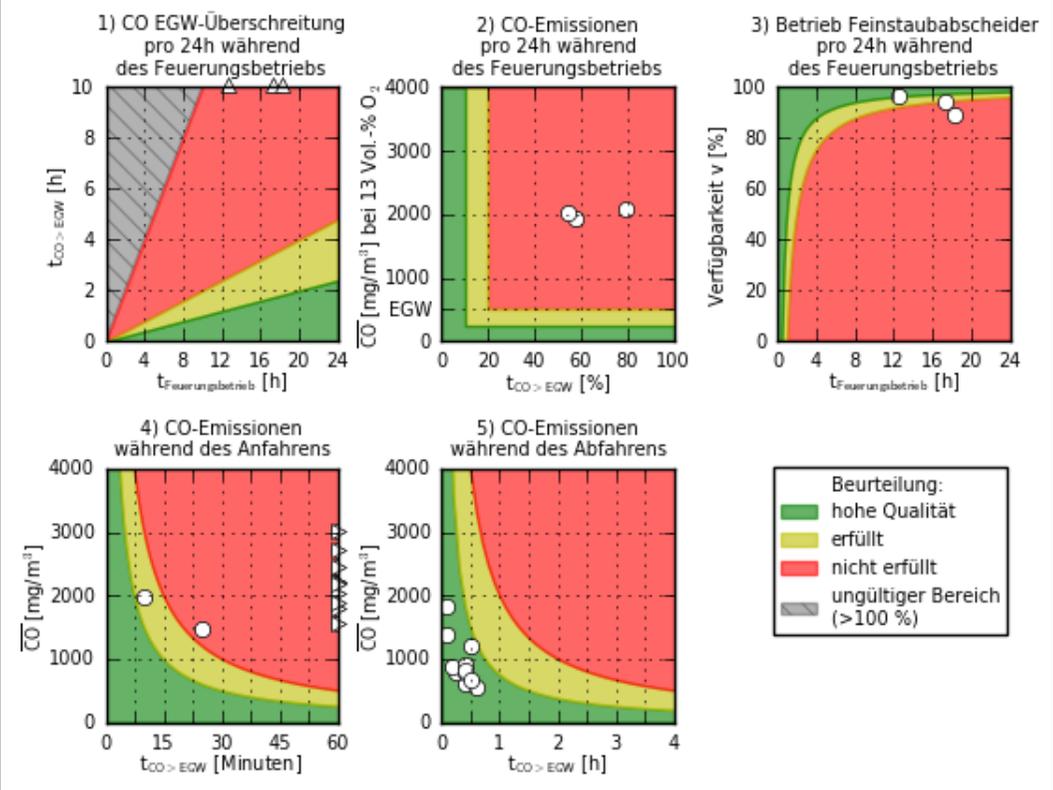


### Waldhackschnitzel-Feuerung 110 kW / M32



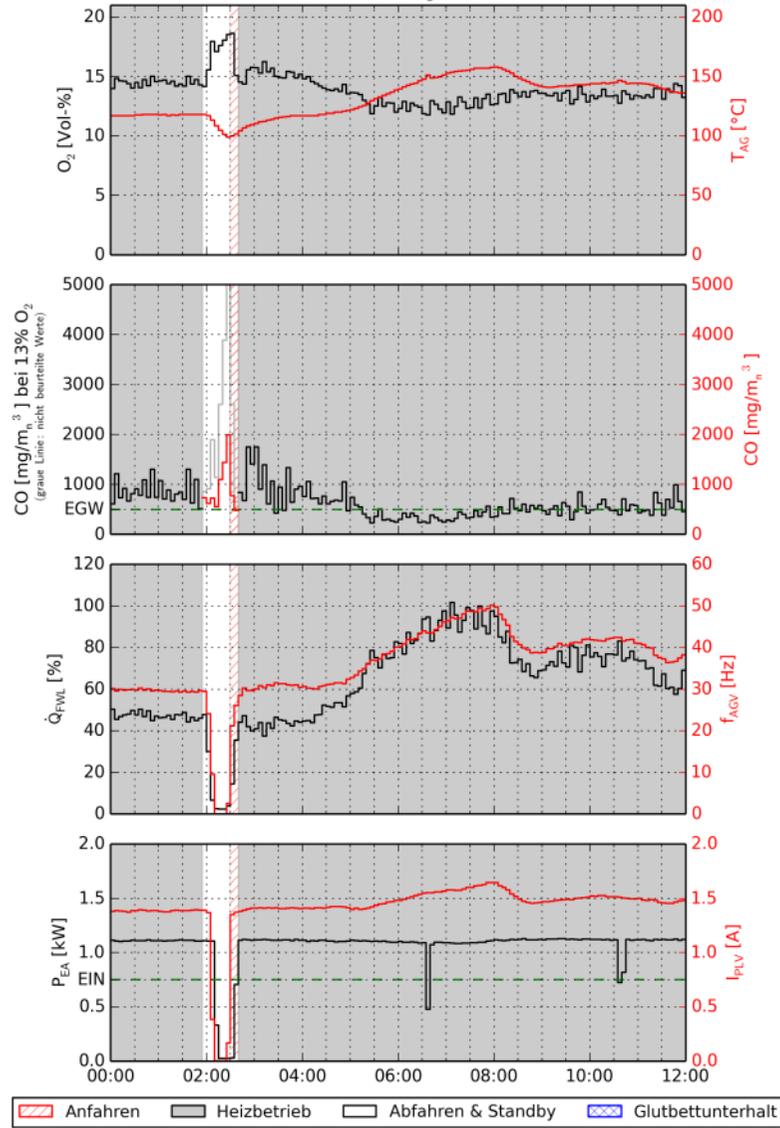
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH	
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	$CO_H < 2 \times EGW$ $CO_{24h} < EGW$	$t_{CO > EGW}$ $t_{CO > 1000 \text{ mg/m}^3}$ $t_{CO > 2500 \text{ mg/m}^3}$ $t_{CO > 4000 \text{ mg/m}^3}$ $CO_{24h} < EGW$	Tages- heizlast	Baujahr
Soll			% %	% % % %	%	
2016-2	- - +	- - - +	0 0	100 69 11 0.7 -	30	2015

Anlage 2016-2: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



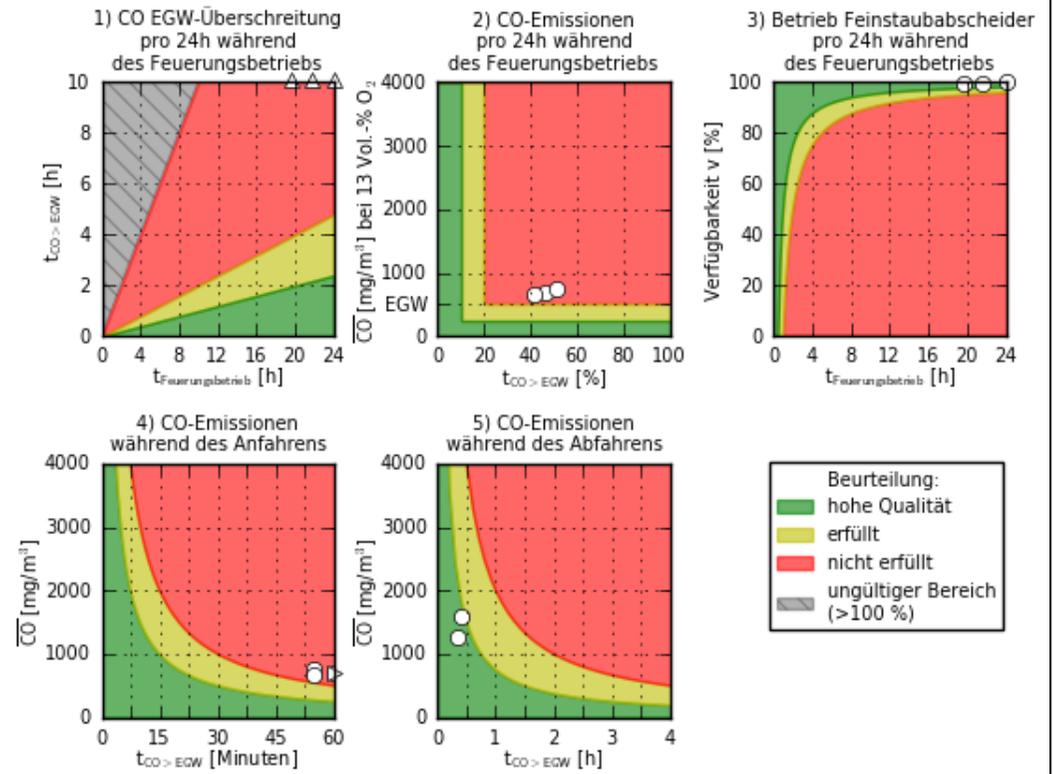
### Waldhackschnitzel-Feuerung 550 kW / M31

08.03.2016 Anlage 2016-3



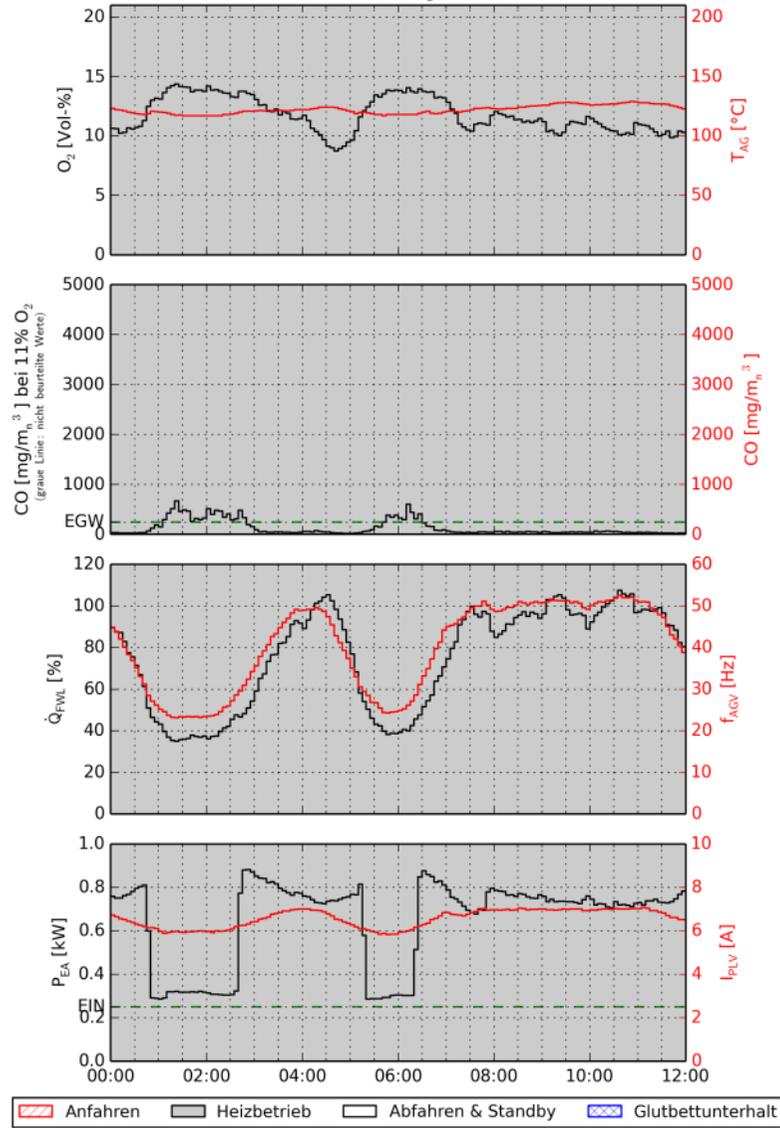
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH										
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	$CO_h < 2 \times EGW$ $CO_{24h} < EGW$	$t_{CO > EGW}$ $t_{CO > 1000 \text{ mg/m}^3}$ $t_{CO > 2500 \text{ mg/m}^3}$ $t_{CO > 4000 \text{ mg/m}^3}$ $CO_{24h} < EGW$	Tages- heizlast	Baujahr									
Soll			%	%	%	%	%	%							
2016-3	-	++ ++	-	++	-	++	100	0	66	2	0	0	-	48	2012

Anlage 2016-3: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



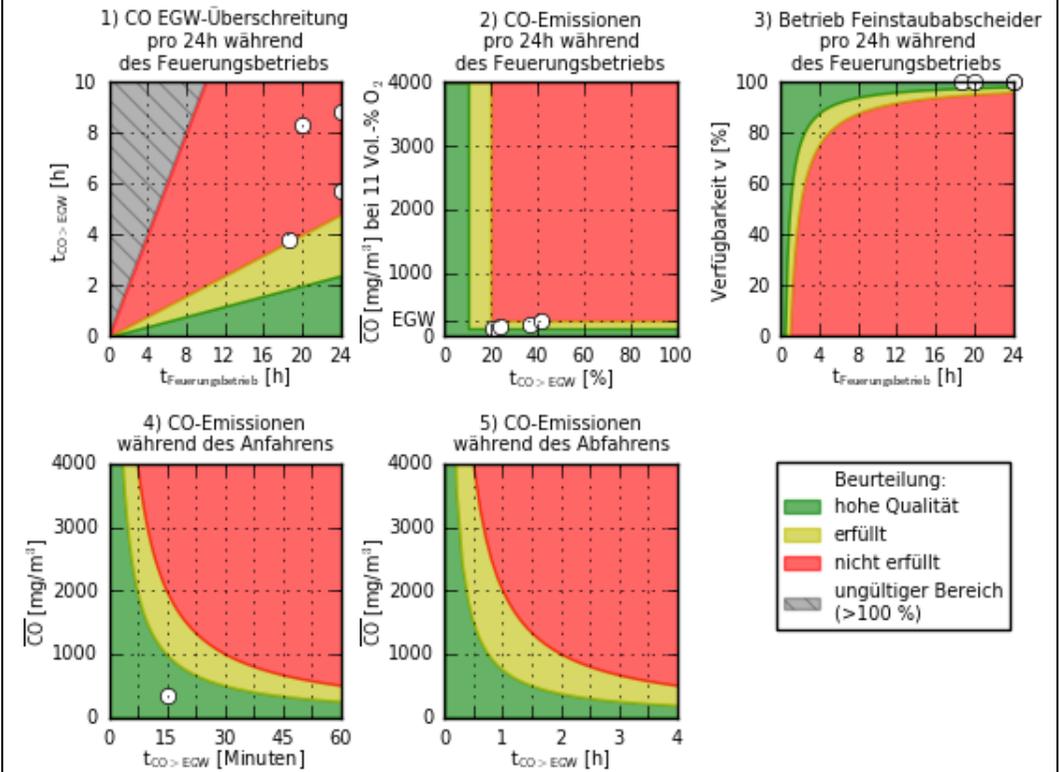
### Waldhackschnitzel-Feuerung 1200 kW / M39

11.03.2016 Anlage 2016-4

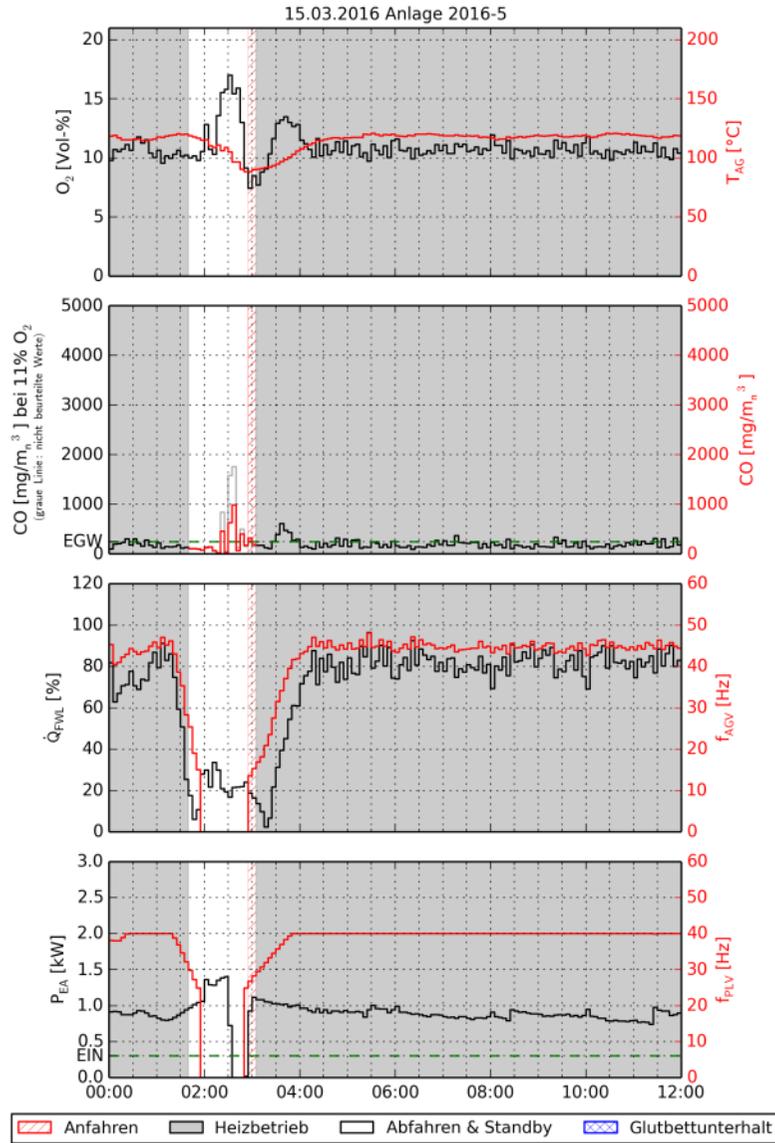


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH											
Kriterium	Heizbetrieb	Anfahren	Abfahren	Feuerungs- betrieb	Feinstaub- abscheider	Anfahren	Abfahren	CO <sub>n</sub> < 2xEGW	CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub>	t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub>	CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll								%	%	%	%	%	%	%	(>15)	
2016-4	-							92	100	29	0	0	0	+	60	2008

Anlage 2016-4: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

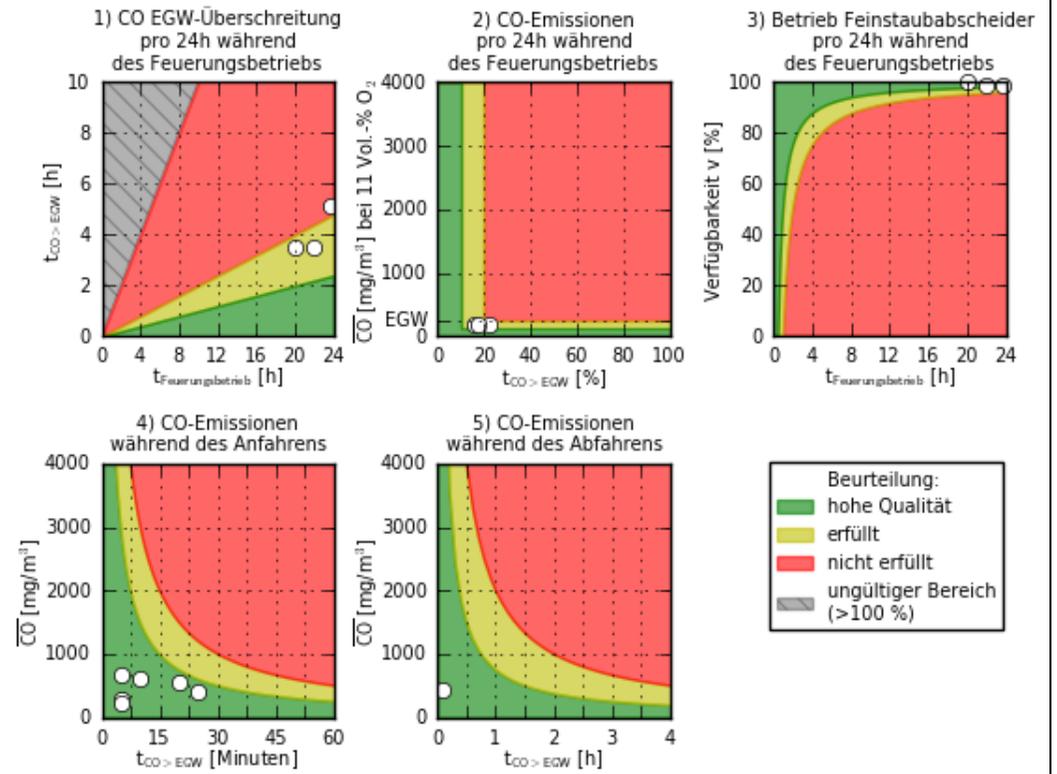


### Waldhackschnitzel-Feuerung 1200 kW / M39



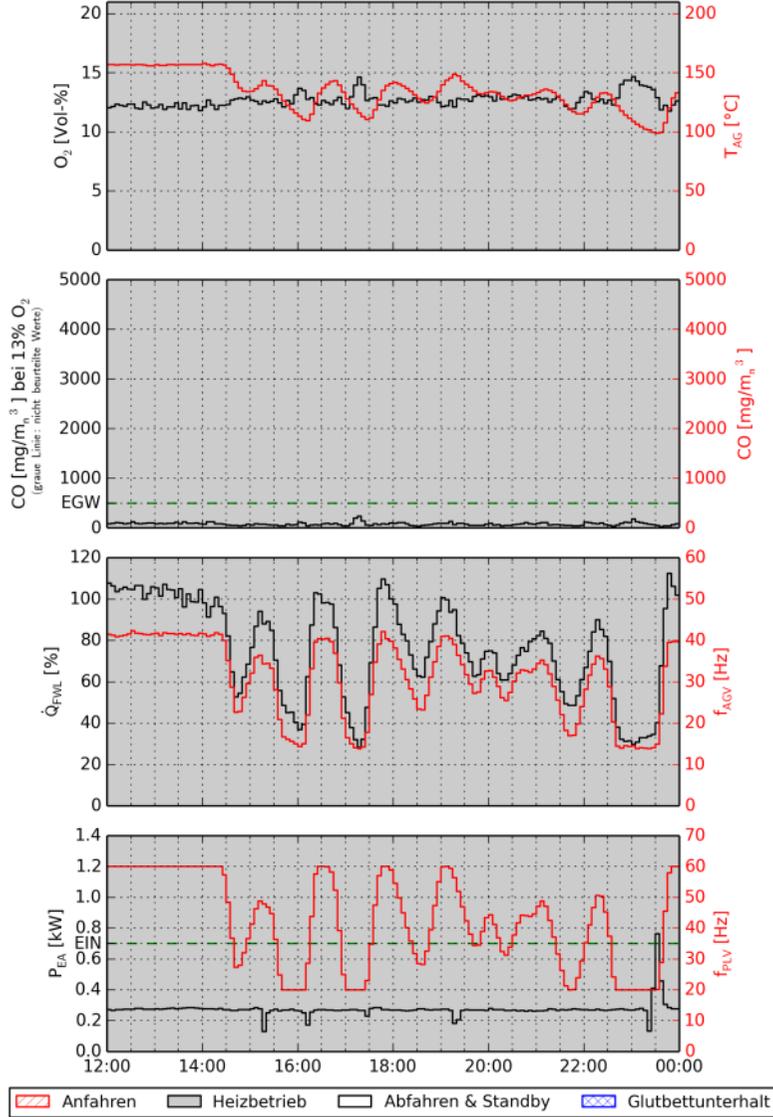
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH											
Kriterium	Heizbetrieb	Anfahren	Abfahren	Feuerungs- betrieb	Feinstaub- abscheider	Anfahren	Abfahren	$CO_h < 2 \times EGW$	$CO_{24h} < EGW$	$t_{CO > EGW}$	$t_{CO > 1000 \text{ mg/m}^3}$	$t_{CO > 2500 \text{ mg/m}^3}$	$t_{CO > 4000 \text{ mg/m}^3}$	$CO_{24h} < EGW$	Tages- heizlast	Baujahr
Soll								%	%	%	%	%	%	(>15)		
2016-5	-	++	++	+	+	++	++	100	100	12	0	0	0	+	99	2014

Anlage 2016-5: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



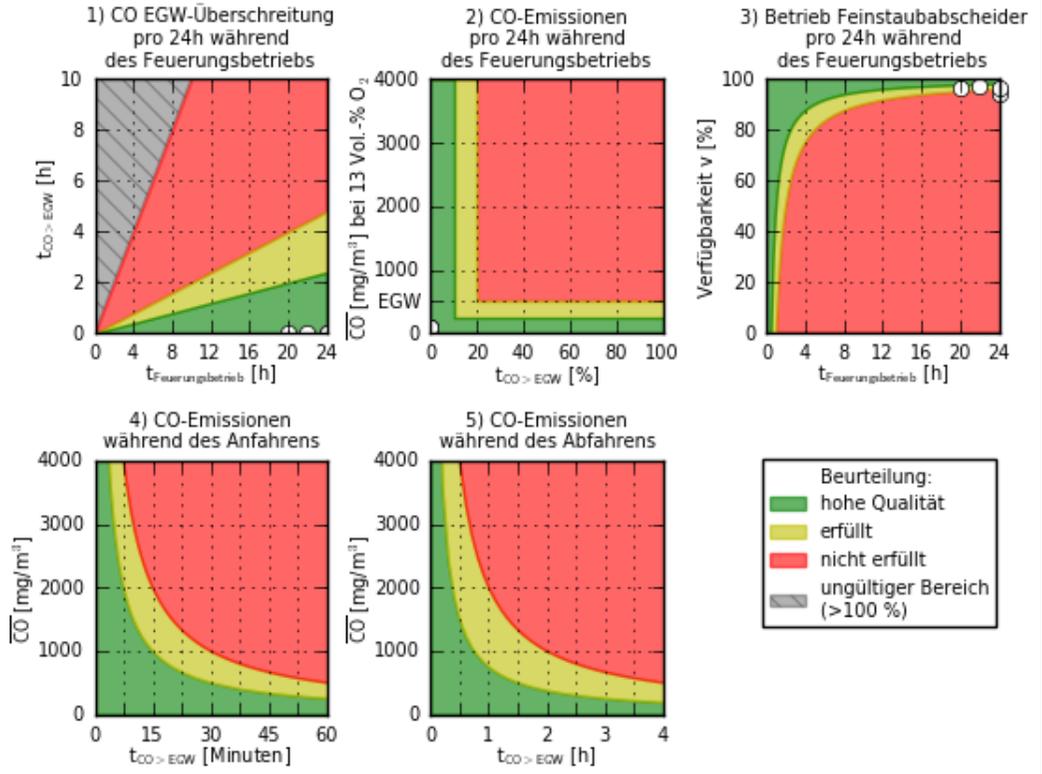
### Waldhackschnitzel-Feuerung 550 kW / M27

19.03.2016 Anlage 2016-6



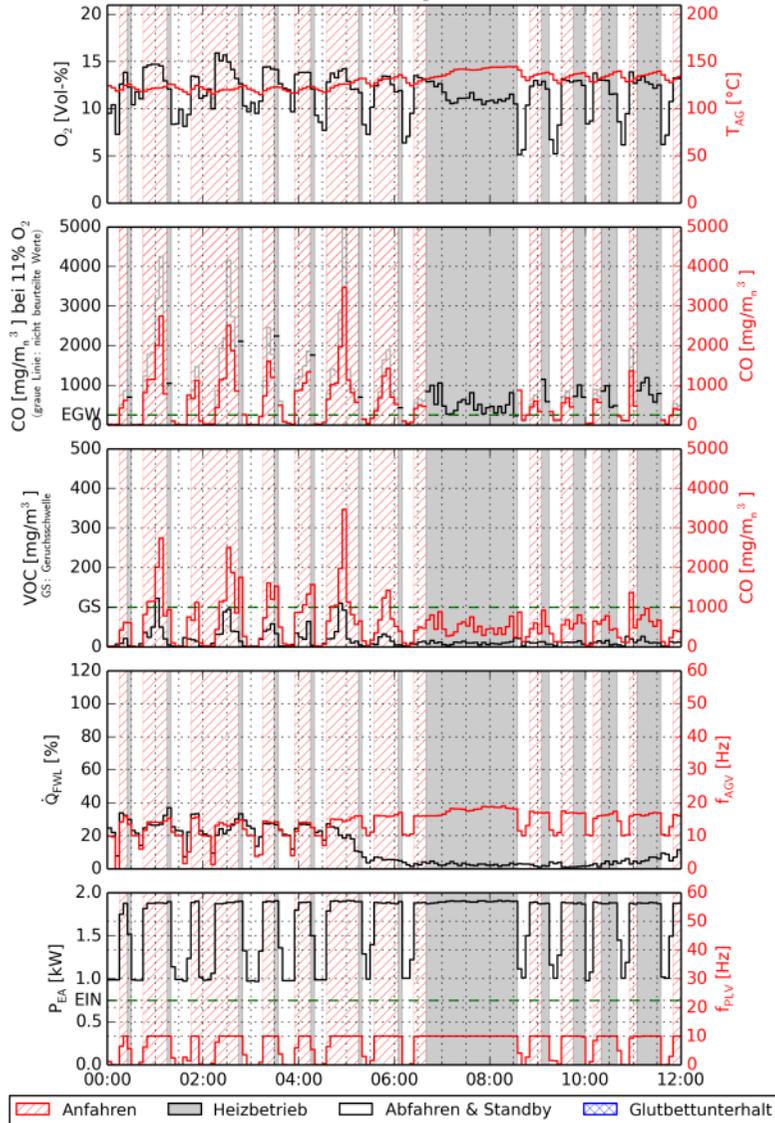
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH						
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>h</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr					
Soll			%	%	%	%	%	%			
2016-6	+	++	100	100	<20	10	5	0.5	(>15)	82	2012

Anlage 2016-6: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



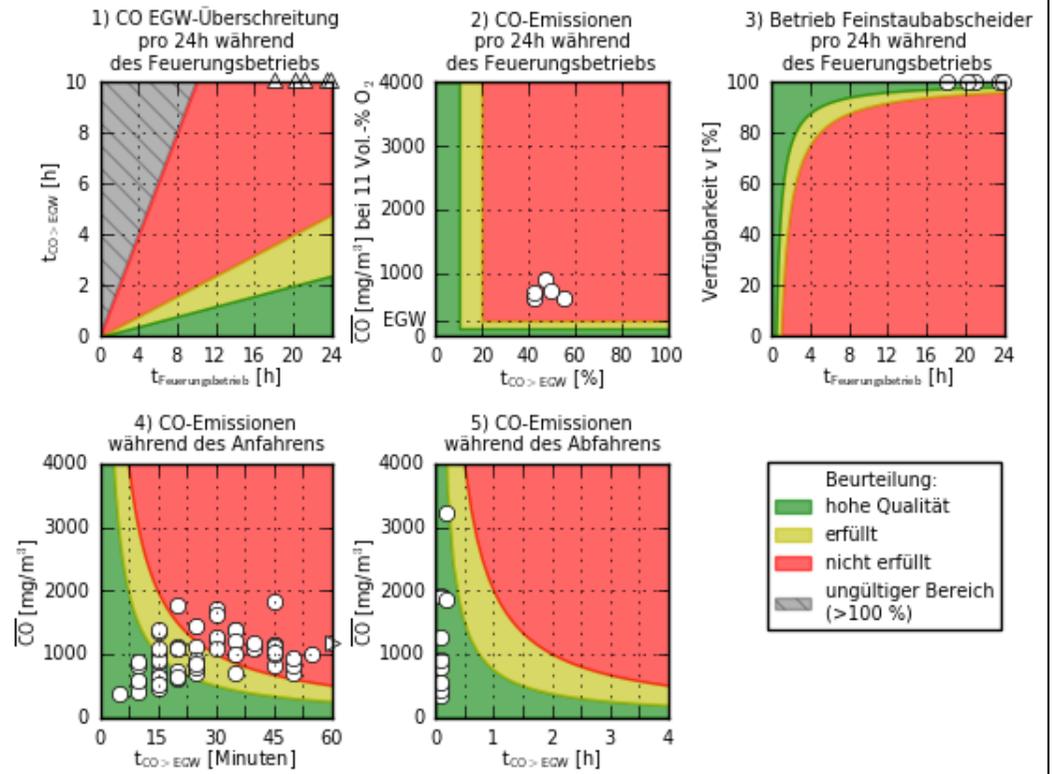
### Waldhackschnitzel-Feuerungung 2000 kW / M42

26.03.2016 Anlage 2016-7

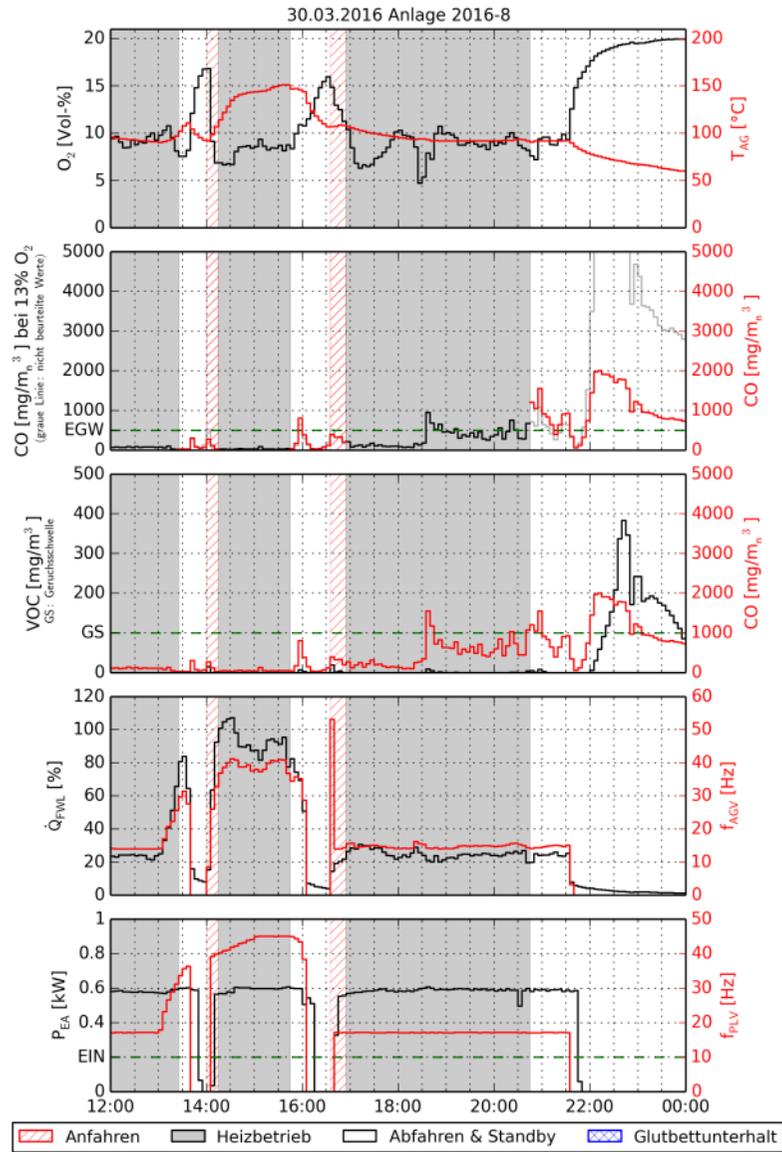


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH											
Kriterium	Heizbetrieb	Anfahren	Abfahren	Feuerungs- betrieb	Feinstaub- abscheider	Anfahren	Abfahren	CO <sub>n</sub> < 2xEGW	CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub>	t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub>	CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll								%	%	%	%	%	%	%	(>15)	
2016-7	-	-	++	-	++	-	++	36	0	75	16	1	0.1	-	29	2015

Anlage 2016-7: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

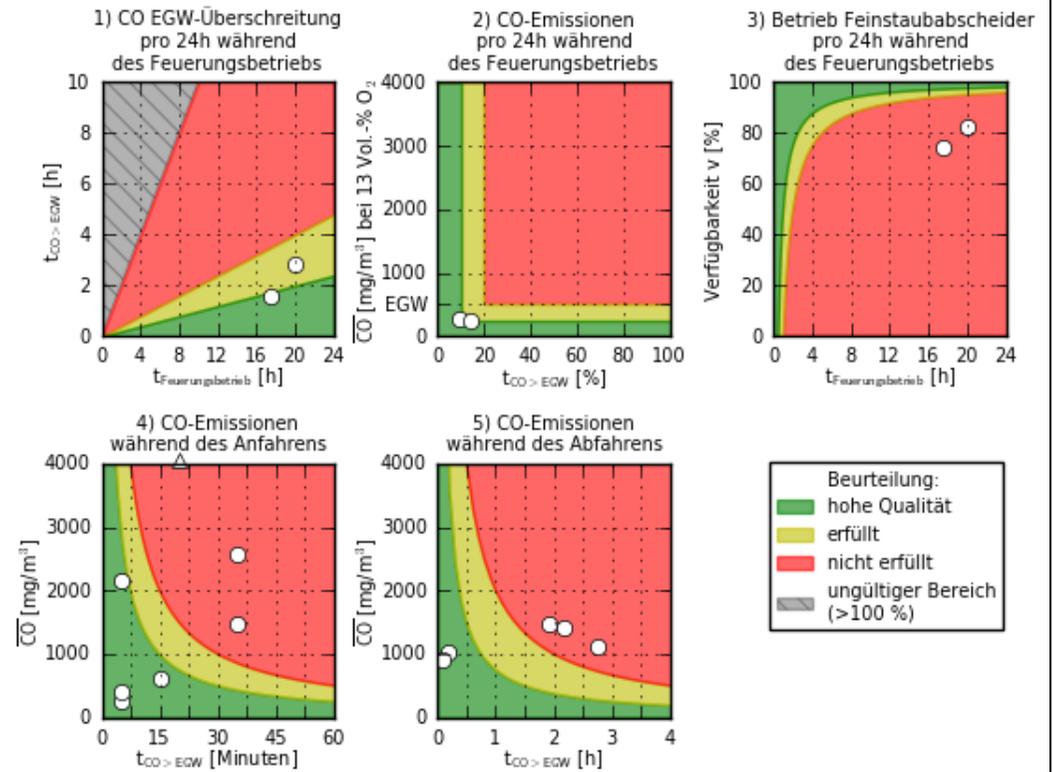


### Waldhackschnitzel-Feuerung 360 kW / M44

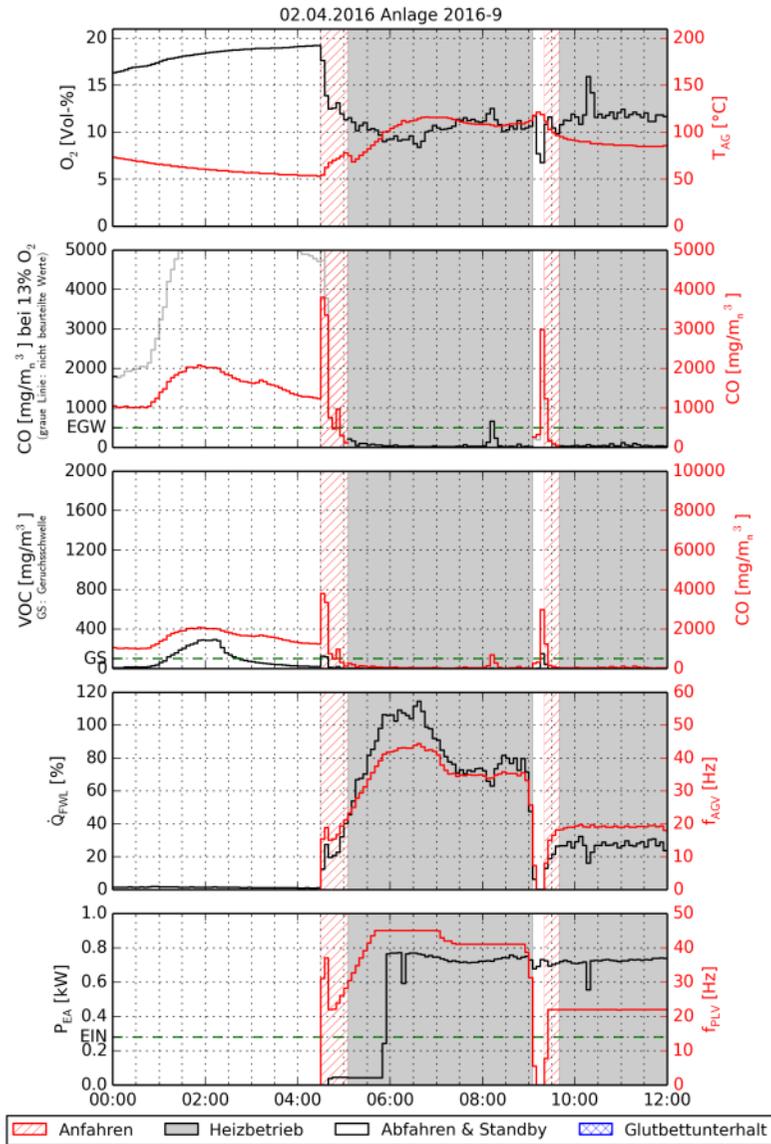


Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH											
Kriterium	Heizbetrieb	Anfahren	Abfahren	Feuerungs- betrieb	Feinstaub- abscheider	Anfahren	Abfahren	CO <sub>n</sub> < 2xEGW	CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub>	t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub>	CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll								%	%	%	%	%	%	%	(>15)	
2016-8	-	-	-	+	-	-	-	100	100	11	15	2	1.4	+	49	2014

Anlage 2016-8: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

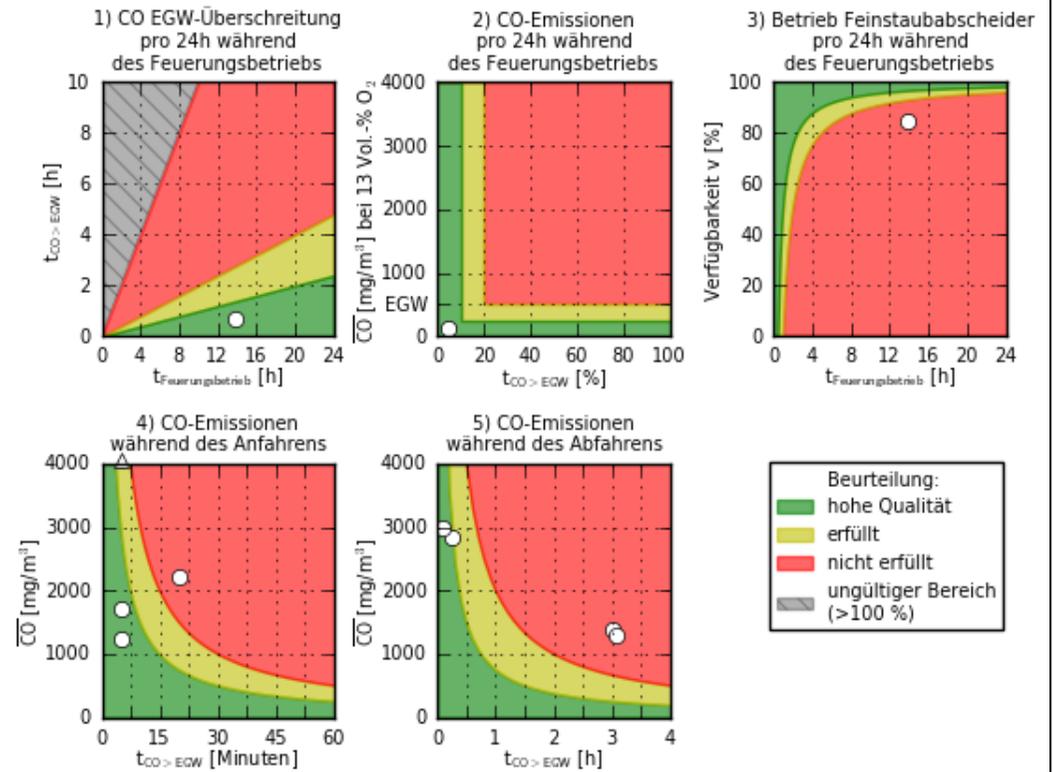


### Waldhackschnitzel-Feuerung 550 kW / M42



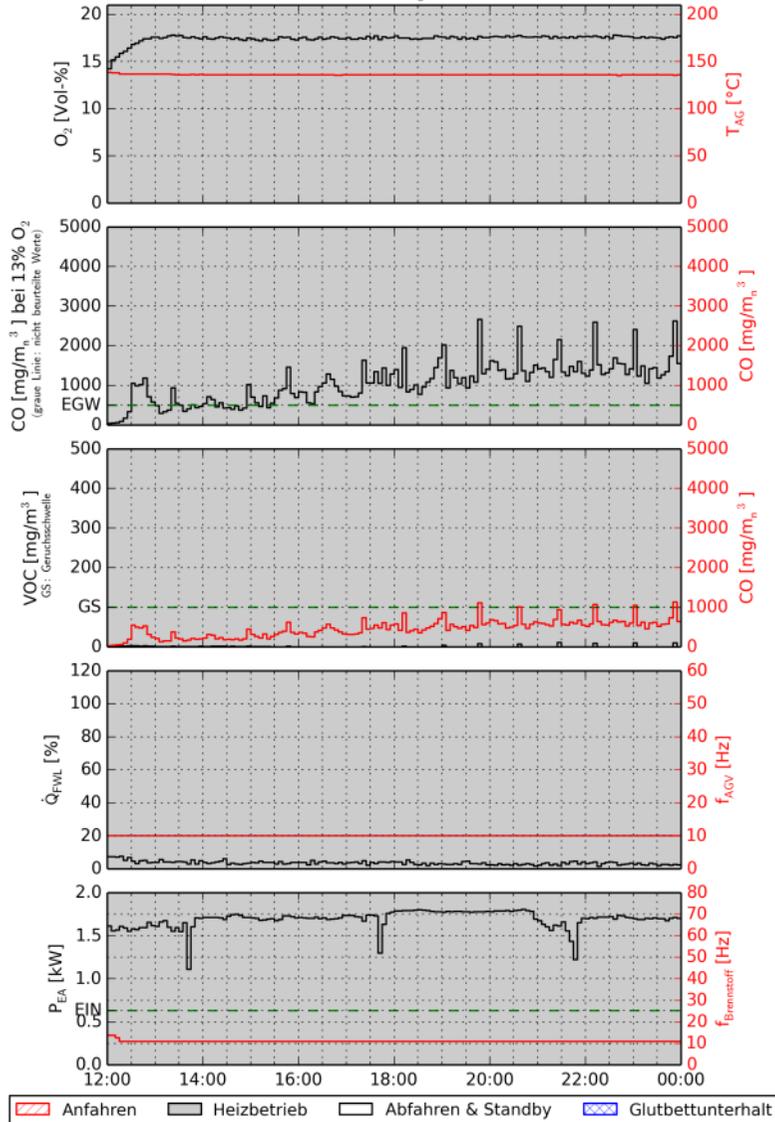
Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH											
Kriterium	Heizbetrieb	Anfahren	Abfahren	Feuerungs- betrieb	Feinstaub- abscheider	Anfahren	Abfahren	CO <sub>n</sub> < 2xEGW	CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub>	t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub>	t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub>	CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll								%	%	%	%	%	%	%	(>15)	
2016-9	-	-	-	++	-	-	-	100	100	10	17	2	1.3	+	18	2013

Anlage 2016-9: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016



### Waldhackschnitzel-Feuerung 850 kW / M32 – M38

12.04.2016 Anlage 2016-10



Methode	QS 2015	QS 2016	LRV Art. 15	AWEL	QMH	
Kriterium	Heizbetrieb Anfahren Abfahren	Feuerungs- betrieb Feinstaub- abscheider Anfahren Abfahren	CO <sub>n</sub> < 2xEGW CO <sub>24h</sub> < EGW	t <sub>CO &gt; EGW</sub> t <sub>CO &gt; 1000 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 2500 mg/m3</sub> t <sub>CO &gt; 4000 mg/m3</sub> CO <sub>24h</sub> < EGW	Tages- heizlast	Baujahr
Soll			% %	% % % %	%	
2016-10	- ++ ++	- - - +	90 80	18 3 0 0.1 -	42	2013

Anlage 2016-10: Beurteilung nach QS-Support Holzfeuerungen 2016

