

Dieses Projekt wurde realisiert mit Unterstützung des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) im Rahmen des Aktionsplans Holz.

Bericht

HES-Filterverfügbarkeit

Projekt im Rahmen des Aktion Plan Holz des Bundesamt für Umwelt

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt (BAFU); Aktion Plan Holz Verfügungsnummer16.0017.PJ/1-18.08
Auftragnehmer	Holzenergie Schweiz, Andreas Keel, Neugasse 6, Zürich
Projektleitung/	Andreas Keel, Holzenergie Schweiz, Neugasse 6, Zürich Konrad Imbach, ki-management gmbh, Rötzmattweg 51, Olten
Verfasser	Konrad Imbach, ki-management Andreas Keel, Holzenergie Schweiz
Verteiler	Claire-Lise Suter, Bundesamt für Umwelt (BAFU) Aktion Plan Holz

Zürich/Olten, 31. Dezember 2018

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	3
1. Ausgangslage und Auftrag	4
2. Arbeitsweise	6
3. Definition für den Feuerungsbetrieb	6
3.1 Varianten von Messgrößen	6
3.1.1 Abgastemperatur	6
3.1.2 Abgasvolumenstrom	7
3.1.3 O ₂ -Messung (Lambda-Sonde)	7
3.2 Varianten von Kriterien	8
3.2.1 FAQ 38	8
3.2.2 Schwellenwert für die Abgastemperatur	9
3.2.3 Temperatursprung im Abgas	9
3.2.4 Schwellenwert für die O ₂ -Konzentration	9
4. Kategorien des Feuerungsbetriebs	9
5. Praxistauglichkeit der Kriterien	11
5.1 FAQ 38 Fall1 und Fall 2	12
5.2 Schwellenwert für Abgastemperatur	12
5.3 Temperatursprung im Abgas	13
5.4 Schwellenwert für die O ₂ -Konzentration	13
6. Schlussfolgerungen	13
6.1 Bericht Verenum (Lauber Nussbaumer)	13
6.1.1 Abgastemperatur	13
6.1.2 Abgasvolumenstrom	14
6.1.3 Lambda-Sonde	14
6.2 Schlussfolgerungen der Arbeitsgruppe Filterverfügbarkeit	14
6.2.1 Spezielle Situationen	14
6.2.2 „in der Regel“	15
6.2.3 Vorschläge zur Festlegung der Parameter/Signal „Feuerung ein/aus“ für die Bestimmung der Heizdauer des Kessels	15
6.2.3.1 Verfügbarkeit berechnen	15
6.2.3.2 Fall 1	15
6.2.3.3 Fall 2	15
6.2.3.4 Fall 3	15
6.2.3.5 Fall 4	15
6.2.3.6 Bestimmen der Filterlaufzeit	16
6.3 Zielsetzung und zu beantwortende Fragen aus der Aufgabenstellung	16
7. Weiteres Vorgehen	18
7.1 Offene Fragen	18

Zusammenfassung

Da einzelne Kantone bereits vor dieser LRV-Revision Mindestverfügbarkeiten für Staubabscheidesysteme (Partikelabscheider, «Elektrofilter») verlangten, veröffentlichte die Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke 2016 eine entsprechende FAQ 38 «Wie wird die Verfügbarkeit von Elektroabscheidern bestimmt?». Das Projekt beschreibt die relevanten Parameter zur Bestimmung der Filterverfügbarkeit. In der LRV ist die Filterverfügbarkeit wie folgt beschrieben: Bei Staubabscheidesystemen für Anlagen über 70 kW Feuerungswärmeleistung *muss die Verfügbarkeit in der Regel mindestens 90 Prozent betragen*. Die Bestimmung der Verfügbarkeit richtet sich nach der Laufzeit der Feuerungsanlage.

Zusammen mit der Kessel und Filterindustrie und Forschung wurden die verschiedenen Bestimmungsfaktoren für die Verfügbarkeit diskutiert. Dabei wurde das Ingenieurbüro Verenum beauftragt an Hand von zahlreichen Messungen eine Diskussionsgrundlage zu erarbeiten, die dann im Fachgremien diskutiert wurde und erste Entscheide gefällt werden konnte. Der Bericht Verenum ist in weiten Teilen in diesem Bericht integriert.

Stand Ende 2019 ist, dass

- die Kriterien für die Bestimmung Heizung ein und Heizung aus, nicht allgemein für alle Anlagen gleich definiert werden kann, da nicht bei allen Heizkesseln dieselben Messdaten zur Verfügung stehen. U.a. können Serienprodukte aus dem Ausland nicht einfach für den Schweizer Markt angepasst und erweitert werden.
- man sich auf vier Fälle geneigt hat, die weiter verfolgt werden sollen
- die Kriterien der FAQ 38 teilweise übernommen werden
- eine neue Empfehlung Vollzugshilfe erarbeitet werden muss, die Praxisfälle abbildet
- die den Begriff „in der Regel“ beschreibt und wo er angewendet werden soll
- die Vollzugshilfe mit allen im Prozess eingebundene Partner besprochen werden muss.

Dieses Projekt hat einen Beitrag geleistet, um im Thema Filterverfügbarkeit einen Schritt weitergekommen zu sein.

Die Arbeiten werden weitergeführt mit dem Ziel Mitte 2019 eine Vollzugspapier Filterverfügbarkeit in die Vernehmlassung zu geben.

1. Ausgangslage und Auftrag

Die revidierte und am 1. Juni 2018 in Kraft gesetzte Luftreinhalte-Verordnung LRV schreibt in Anhang 3 Ziffer 525 für Holzfeuerungen folgendes vor:

«Bei Staubabscheidesystemen für Anlagen über 70 kW Feuerungswärmeleistung muss die Verfügbarkeit in der Regel mindestens 90 Prozent betragen. Die Bestimmung der Verfügbarkeit richtet sich nach der Laufzeit der Feuerungsanlage».

Da einzelne Kantone bereits vor dieser LRV-Revision Mindestverfügbarkeiten für Staubabscheidesysteme (Partikelabscheider, «Elektrofilter») verlangten, veröffentlichte die Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke 2016 eine entsprechende FAQ 38 «Wie wird die Verfügbarkeit von Elektroabscheidern bestimmt?».

Die vorliegende Projekt beschreibt die Erarbeitung dem heutigen Stand der Technik angepassten Vollzugshilfe, welche aufzeigen soll, wie sich diese neue LRV- Forderung in der Praxis umsetzen lässt. Nebst der neuen LRV-Bestimmung sind folgende Gründe ausschlaggebend für die Notwendigkeit einer derartigen Vollzugshilfe:

Als Grundlage für die FAQ 38 und die Mindest-Verfügbarkeit von 90 Prozent wurden 7 Anlagen zwischen 450 kW und 3'500 kW untersucht (Praxiseinsatz und Überwachung von automatischen Holzfeuerungen mit Elektroabscheider. Lauber, A.,/Nussbaumer, T., 2014. Andere Untersuchungen in grösserem Rahmen haben gezeigt, dass nicht einmal 30 Prozent der untersuchten Anlagen eine Filterverfügbarkeit von 90 Prozent erreichen (Bsp. Auswertung UGZ Zürich, 22. April 2016).

Die FAQ 38 bezieht sich nur auf elektrostatische Abscheider, die von der LRV verlangte Mindestverfügbarkeit gilt jedoch für alle Systeme, also auch für filternde Abscheider und für Nasswäscher. Darin wird beschrieben, wie die Verfügbarkeit von Feinstaubabscheidern in der Praxis zuverlässig überwacht werden kann. Zu diesem Zeitpunkt hatten bereits mehrere Hersteller und Kantone unabhängig voneinander Absprachen zur Betriebsüberwachung von Feinstaubabscheidern getroffen. Der Kanton Zürich hatte daraus zum Beispiel konkrete Vorgaben zur Umsetzung in seinem Massnahmenplan Luftreinhaltung festgehalten. Mit der FAQ 38 sollten diese Bemühungen aufgegriffen und vereinheitlicht werden, auch um bestehende Absprachen zu ersetzen. Die Bestimmung der Verfügbarkeit richtet sich nach der Laufzeit der Feuerungsanlage.» Die Erfahrungen aus den letzten Jahren haben gezeigt, dass die in der FAQ 38 beschriebenen Signale zur Bestimmung der Verfügbarkeit und die Fallunterscheidung zur Definition des Feuerungsbetriebs zu Unklarheiten und Schnittstellenproblemen führen. Insbesondere bei Seriengeräten mit Nennleistungen unter 500 kW konnten die geforderten Signale oft nicht bereitgestellt werden. Dadurch wurden zum Teil Ersatzsignale benutzt, welche teilweise nicht plausibel hohe oder tiefe «Verfügbarkeiten» ergaben. In einigen Teilen ist die FAQ 38 bereits heute veraltet.

Für eine professionelle Umsetzung der neuen LRV-Vorschrift fehlt zurzeit eine Grundlage, welche nicht nur die Vielfalt der heutigen Anlagen- und Filtertechnik, sondern auch die unterschiedlichen Betriebszustände und Einflussfaktoren ausreichend abzubilden vermag.

Zielsetzung und zu beantwortende Fragen

1. Es liegt eine fundierte und breit abgestützte Vollzugshilfe vor, mit welcher die Anforderungen der LRV bezüglich Filterverfügbarkeit einfach vollzogen werden können.
2. Bedeutung und Berücksichtigung der Auskühlphasen mit laufendem Ventilator und abgestelltem Kessel
3. Unterschiedliche Merkmale der Filterverfügbarkeit beim Anlagenbau und bei Seriengeräten: Charakteristiken, Bedeutung und Handhabung?
4. Welche Signale und Parameter können die heute am Markt verfügbaren Filtersysteme überhaupt erfassen und auswerten und weiterleiten?
5. Wie sind in den Kessel integrierte Filter zu behandeln?
6. Welches sind die spezifischen Charakteristiken von nachzurüstenden Altanlagen?
7. Welche Bedeutung hat der Abscheidegrad?
8. Wie ist der Fall zu behandeln, wenn mehrere Kessel auf den gleichen Filter fahren?
9. Ist die Verfügbarkeit auch dann gefordert, wenn der Grenzwert auch ohne Filter eingehalten wird?
10. Welches sind die spezifischen Besonderheiten von filternden Systemen und Nassabscheidern?
11. Welche Bedeutung haben die unterschiedlichen Frachten?
12. Wie werden die Messfirmen sinnvoll einbezogen?

Im Lauf des Projektes mussten die Schwerpunkte des Projektes angepasst werden, da man sich zuerst über die scheinbaren einfachen Signale wie Heizung ein/aus und Filter ein/aus klar sein muss. Aus diesem Grund wurde die Firma Verenum beauftragt anhand von Daten aus umfangreichen Vorortmessungen Daten aufzubereiten und Entscheidungskriterien zu ein/aus zu definieren. Der Bericht Verenum ist in diesem Bericht integriert Lauber / Nussbaumer Dezember 2018. Aus Sicht der Kessel- und Filterindustrie kamen zusätzliche Fragestellungen oder Pflichten dazu.

1. Die Verfügbarkeit der Feinstaubabscheider (Elektroabscheider oder Gewebefilter) soll ohne Schnittstelle zur Feuerung ermittelt werden können.
2. Einfache, universelle Kriterien für den Abscheider- und Feuerungsbetrieb ohne Fallunterscheidung.
3. Anlagenspezifische Schwellenwerte sind zu vermeiden.
4. Keine elektrische Verdrahtung vor Ort notwendig.

In einem ersten Schritt soll ein neues Kriterium gefunden werden, mit dem es einfach und kostengünstig möglich ist, den Feuerungsbetrieb zu definieren. Dieses Kriterium muss bei jeder Feuerung alle Phasen des Feuerungsbetriebs mit hohen Staubemissionen identifizieren. Der vorliegende Bericht soll verschiedene Vorschläge zur Definition des Feuerungsbetriebs sammeln und deren Praxistauglichkeit anhand von vorhandenen Messresultaten dokumentieren.

2. *Arbeitsweise*

Der Einbezug und Zusammenarbeit der wichtigen Partner war von Beginn weg war eines der wichtigsten Punkte. In einem ersten Schritt Forschung und Kessel und Filterindustrie unter Beizug von Holzenergie Schweiz und SFIH Holzfeuerungen. In einem weiteren Schritt sollen das Bafu, Messfirmen und cercle Air in den Prozess eingebunden werden. letztlich ist das Ziel ein von allen geragnen praxistaugliches Vollzugspapier das die FAQ 38 ablösen soll. Dieses Projekt ist der erste Schritt dazu.

Arbeitsgruppe

Konrad Imbach, Projektleiter ki-managmenet

Andreas Keel, Geschäftsführer Holzenergie Schweiz

Adrian Lauber, Verenum, Forschung

Filterhersteller: APF Schweiz AG, IS SaveEnergy AG, Meisterfilter AG, OekoSolve AG

Kesselhersteller: Heitzmann AG, Liebi LNC, Schmid energy solutions AG, Viessmann AG

3. *Definition für den Feuerungsbetrieb*

3.1 *Varianten von Messgrössen*

3.1.1 *Abgastemperatur*

Als einfaches Kriterium zur Erkennung des Feuerungsbetriebs bietet sich die Abgastemperatur an. Eine entsprechende Messung ist einfach, robust, kostengünstig und wartungsarm und Feinstaubabscheider werden in der Regel anhand einer Temperaturmessung am Geräteausgang ein- und ausgeschaltet. Die Schaltschwelle liegt meist zwischen 80 °C und 140 °C. Dieser **Schwellenwert ist anlagenspezifisch und unter anderem abhängig von Brennstoff.**

Eine Temperaturmessung nach dem Feinstaubabscheider ist jedoch aus folgenden Gründen schlecht geeignet zur Erkennung des Feuerungsbetriebs:

- 1) Der Feinstaubabscheider verursacht in der Regel einen Temperaturabfall von 20 °C bis 40 °C und eine starke Dämpfung des Temperaturverlaufs (Bild 1).
- 2) Beim Anfahren der Feuerung ist die Steigung teilweise nicht ausgeprägt und stark verzögert.
- 3) Auch beim Abfahren ist eine starke Verzögerung des Temperaturverlaufs feststellbar, dies durch die Masse des Abscheiders, aber auch durch dessen Begleitheizungen.

Zur Erkennung des Feuerungsbetriebs ist die Abgastemperatur deshalb nur dann brauchbar, wenn diese vor dem Feinstaubabscheider gemessen wird.

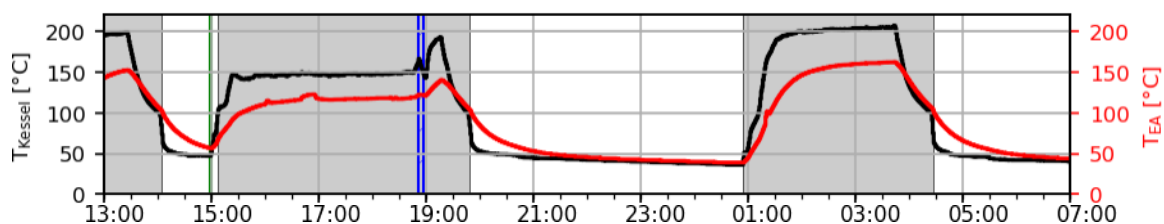


Bild 1 Beispiel für den Unterschied zwischen einer Abgastemperaturmessung nach der Feuerung (TKessel) und nach dem Elektroabscheider (TEA) bei einer 150 kW Festrost-Pelletfeuerug Baujahr 2015.

3.1.2 Abgasvolumenstrom

Eine weitere mögliche Kenngrösse zur Bestimmung des Feuerungsbetriebs wäre grundsätzlich der Abgasvolumenstrom. Kostengünstige Strömungswächter für eine robuste, zuverlässige, wartungsarme und kontinuierliche Messung des Abgasvolumenstroms im Abgas existieren jedoch nicht.

Demgegenüber wäre grundsätzlich denkbar, anhand einer Messung des Druckabfalls z.B. über einen Multizyklon auf den Abgasvolumenstrom zu schliessen. Diese Möglichkeit besteht aber weder für Elektroabscheider noch für Gewebefilter. Während der Druckabfall über einen Elektroabscheider zu gering und daher ungeeignet ist zur Erkennung des Feuerungsbetriebs, ist der Druckabfall bei einem Gewebefilter abhängig vom Abreinigungszustand und dient daneben zur Erkennung von allfälligen Schäden im Filter.

Die einzige Möglichkeit, ohne grossen Aufwand eine kontinuierliche Information zum Abgasvolumenstrom zu erhalten ist ein **Signal über den Betrieb des Primärluftventilators oder des Abgasventilators**. Das Signal eines Ventilators kann beispielsweise mit einer Stromzange berührungsfrei erfasst und daraus über den drehzahlabhängigen Stromverbrauch der Volumenstrom bestimmt werden.

3.1.3 O₂-Messung (Lambda-Sonde)

Der Sauerstoffgehalt im Abgas ist eine wichtige Grösse zur Beurteilung der Emissionen und wird heute bei vielen Feuerungen für die Verbrennungsregelung eingesetzt. Der Sauerstoffgehalt ist deshalb auch ein naheliegendes Kriterium zur Erkennung des Feuerungsbetriebs. In der Messempfehlung des BAFU gibt es einen Schwellenwert bei 18 Vol.-% O₂, bis zu welchem eine Normierung der Emissionen auf einen Bezugssauerstoffgehalt zulässig ist. Möglich wäre ein Kriterium in Anlehnung an diesen Schwellenwert. Für eine zuverlässige und kostengünstige O₂-Messung wird in der Regel eine Lambda-Sonde mit Steuerelektronik und grossem Messbereich eingesetzt. Die Lebensdauer von Lambda-Sonden wird von den Herstellern meist mit ein bis drei Jahren angegeben. Zu den Wartungsintervallen gibt es seitens der verschiedenen Hersteller oftmals keine klaren bzw. teilweise unterschiedliche Informationen. Deshalb müssen folgende Anforderungen an die eingesetzten Lambda-Sonden und Steuerungen erfüllt werden:

- 1) Verwendung von Lambda-Sonden mit integrierter Sensordiagnostik zur Störungserkennung.
- 2) Regelmässige Wartung und Kalibration z.B. während der jährlichen Wartung des Feinstaubabscheiders.
- 3) Automatische Kalibration der Lambda-Sonde bei längerem Stillstand der Feuerung (z.B. wenn die Abgastemperatur über eine längere Zeit unter 50 °C liegt).

Eine Alterung der Sonde kann zu einer Einengung des Messbereichs und damit zur Anzeige von tendenziell zu tiefen Werten führen. Dies tritt vor allem dann auf, wenn die Sonde stark verrusst ist. Zu tiefe O₂-Werte der Lambda-Sonde sind in Bezug auf die Verfügbarkeit der Feinstaubabscheider unkritisch, da deren Laufzeit dadurch verlängert wird. Sofern der angezeigte O₂-Wert nicht mehr über den Schwellenwert steigt, würde der Abscheider gar permanent betrieben, weshalb eine regelmässige Kontrolle und Wartung im Interesse des Betreibers wäre.

3.2 Varianten von Kriterien

Zur Erkennung des Feuerungsbetriebs durch den Feinstaubabscheider werden die beiden Definitionen aus FAQ 38 mit drei neuen, von SFIH-Mitgliedern vorgeschlagenen Varianten verglichen (Tabelle 1).

Die Verfügbarkeit hat sich gemäss LRV Anhang 3 Ziffer 525 auf die Laufzeit der Feuerung zu beziehen. Sofern die durch ein neues Kriterium definierte Feuerungsbetriebszeit stark von der effektiven Feuerungsbetriebszeit abweicht, muss die Bestimmung der Verfügbarkeit entsprechend angepasst werden, indem etwa die Betriebszeit des Feinstaubabscheiders als Differenz zwischen Betriebszeit der Feuerung und Ausfallzeit des Abscheiders bestimmt wird.

Tabelle 1 Fünf Kriterien zur Definition des Feuerungsbetriebs im Überblick. Abhängig vom Kriterium werden Signale von Primärluft-Ventilator (PLV), Abgas-Ventilator (AGV), einer Breitband-Lambda-Sonde (O2) oder einem Abgas-Temperaturfühler (TAG, vor dem Abscheider gemessen) benötigt. Bei allen Kriterien beziehen sich die gemessenen Signale auf einen Schwellenwert (SW).

Kriterium	FAQ 38 Fall 1	FAQ38 Fall 2	TAG-Schwelle	TAG-Sprung	O2-Schwelle
Definition des Feuerungsbetriebs	PLV = EIN	AGV = EIN & O2 < SW	TAG > SW	dTAG/dt > SW	O2 < SW
Beispiel für Schwellenwert (SW)		z.B. 18 %	z.B. 60 °C	z.B. 5 °C/Min.	z.B. 18 %
Notwendige Sensoren:					
• Stromzange	X	X			
• Abgastemperatur vor Abscheider			X	X	
• Lambda-Sonde		X			X
Wartung	nein	z.B. jährlich	nein	nein	z.B. jährlich

3.2.1 FAQ 38

In der FAQ 38 werden zwei Varianten für die Definition des Feuerungsbetriebs beschrieben. Die erste Variante basiert einzig auf dem Signal des Primärluftventilators. Die zweite Variante basiert auf dem Signal des Abgasventilators in Kombination mit dem Signal einer Breitband-Lambda-Sonde.

In der FAQ 38 war vorgesehen, dass diese Signale von der Regelung der Feuerung bereitgestellt werden. Es ist jedoch auch denkbar, dass diese Signale von einem Feinstaubabscheider autonom erfasst werden.

Mit beiden Varianten lässt sich der Feuerungsbetrieb mit einer vergleichsweise hohen Zuverlässigkeit bestimmen. **Nicht vollständig abgedeckt werden jedoch die Emissionen während des Abfahrens der Feuerung.** Zudem entspricht die notwendige elektrische Verdrahtung und der Anschluss einer Stromzange bei einem Ventilator der Feuerung nicht den Anforderungen der Hersteller, da sie zusätzliche elektrische Arbeiten auf den Anlagen erforderlich machen

3.2.2 Schwellenwert für die Abgastemperatur

Bei vielen Anlagen ist aus dem Verlauf der Abgastemperatur erkennbar, wann die Feuerung in Betrieb ist. Wenn die Abgastemperatur während des Abfahrens dagegen nicht schnell sinkt, führt dies im Vergleich mit der Definition über die Ventilatoren aus FAQ 38 zu einer längeren Phase «Feuerung EIN». Dies würde zu einer längeren Nachlaufzeit der Feinstaubabscheider führen, was jedoch aus Sicht der Emissionen positiv wäre. Wie lange Nachlaufzeiten bezüglich der Betriebssicherheit für die Feinstaubabscheider zu beurteilen sind, muss durch die Hersteller beurteilt werden.

3.2.3 Temperatursprung im Abgas

Der Beginn des Feuerungsbetriebs lässt sich bei vielen Anlagen auch anhand der steigenden Flanke aus der Abgastemperatur gut erkennen und ein allgemein gültiges Kriterium kann dazu definiert werden. Bei Anlagen mit modulierender Leistung kann eine abrupte Leistungssteigerung jedoch ebenfalls einen Temperatursprung bewirken, was für die Anlagenüberwachung jedoch kein Problem darstellen sollte. Beim Abfahren gibt es in der Regel keine Temperatursprünge. Daher lässt sich das Abfahren nicht zweifelsfrei von einer Leistungsreduktion unterscheiden. Weshalb ein solches Kriterium nur in Kombination mit einem zweiten Kriterium angewendet werden könnte.

3.2.4 Schwellenwert für die O₂-Konzentration

Ein Schwellenwert für die O₂-Konzentration ist ebenfalls ein naheliegendes Kriterium zur Erkennung des Feuerungsbetriebs. Im Vergleich zu FAQ 38 Fall 2 verzichtet dieses Kriterium auf das Signal des Abgasventilators. Dadurch wird teilweise eine längere Phase als Feuerungsbetrieb gezählt. Dies ist insbesondere bei Anlagen der Fall, welche kein definiertes Abfahren mit Anstieg der O₂-Konzentration bis nahe an Werte der Umgebungsluft aufweisen und die Ventilatoren frühzeitig ausschalten. Aus Sicht der Emissionen ist diese Vereinfachung deshalb positiv, da sie zu einem längeren Betrieb des Feinstaubabscheiders führen würde

4. Kategorien des Feuerungsbetriebs

Anhand von 43 vorhandenen Langzeitmessungen wurden fünf typische Betriebsverhalten von Feuerungen identifiziert (Tabelle 2). Diese Langzeitmessungen wurden von Verenum zwischen 2015 und 2018 im Auftrag verschiedener Kantone und von Betreibern durchgeführt. Enthalten sind Anlagen von 13 Herstellern mit Baujahr zwischen 1981 und 2017 im Leistungsbereich von 100 kW bis 7.8 MW.

Die Gruppierung dieser Anlagen erfolgte anhand der Abgastemperatur (TAG) und des O₂-Gehalts. Massgebend ist, ob Schwellenwerte zur Erkennung des Feuerungsbetriebs festgelegt werden können (Bild 2 und Bild 3). Bei der Gruppierung muss zusätzlich noch beachtet werden, an welcher Stelle die Abgastemperatur gemessen wurde. Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben hat dies einen erheblichen Einfluss auf die Temperaturverläufe (Bild 2).

Tabelle 2 Fünf Kategorien für das Betriebsverhalten der untersuchten Holzfeuerungen.

Kategorie	1A	1B	2	3	4
Abgrenzung Standby zu Feuerungsbetrieb	deutlich	deutlich	fließende Übergänge	nicht erkennbar	Dauerbetrieb
Verlauf TAG (Gradienten)	deutlich	flach	flach	undefiniert	–
Verlauf O ₂ (Gradienten)	deutlich	deutlich	flach	undefiniert	–
O ₂ während Standby	> 20 %	> 20 %	16 % – 20 %	undefiniert	–
Anzahl Anlagen	10	9	10	8	6

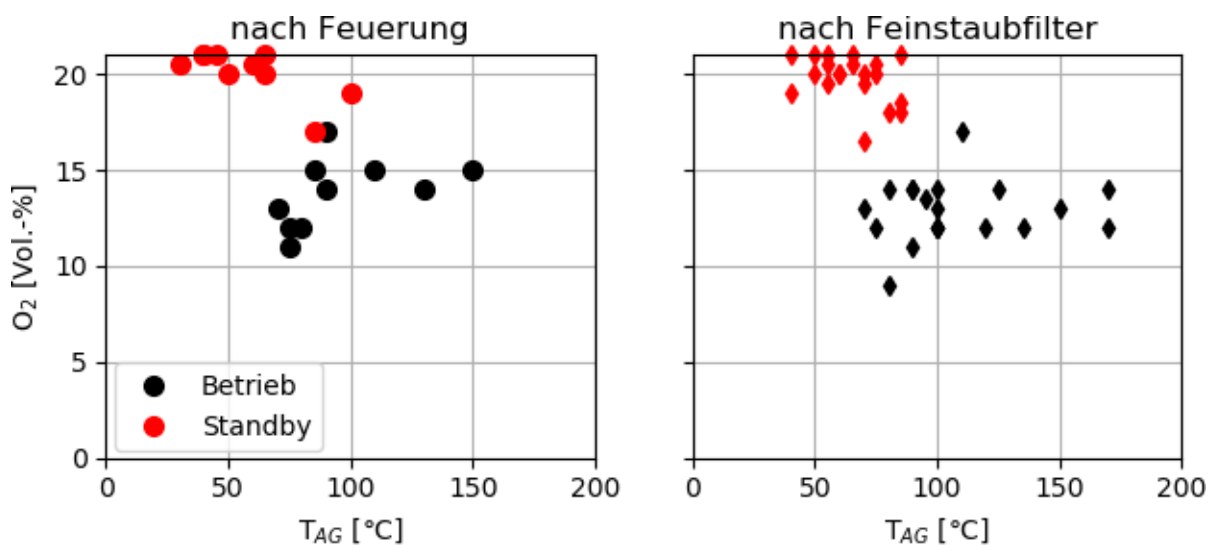


Bild 2 Charakterisierung der Kategorien 1A, 1B und 2. Links: Anlagen bei denen die Abgastemperatur direkt nach der Feuerung gemessen wurde. Rechts: Anlagen bei denen die Abgastemperatur nach dem Feinstaubabscheider oder nach dem Abgasventilator gemessen wurde.

Schwarz: maximale O₂-Konzentration und minimale Abgastemperatur während Feuerungsbetrieb. Rot: minimale Abgastemperatur und maximale O₂-Konzentration während Standby.

5. Praxistauglichkeit der Kriterien

In der FAQ 38 wurde definiert, dass ein Feinstaubabscheider in Phasen der Feuerung mit relevanten Staubemissionen grundsätzlich aktiv sein soll. Dies ist der Fall, wenn in der Feuerung Holz in Gas umgewandelt wird. Dabei ist die momentane Verbrennungsleistung signifikant grösser als null und ein relevanter Massenstrom an Schadstoffen wird über die Abgasanlage an die Umgebungsluft abgegeben.

Ein praxistaugliches Kriterium muss deshalb diese Betriebsphasen bei unterschiedlichen Anlage- Konzepten zuverlässig erkennen können. Tabelle 3 zeigt eine Gegenüberstellung der Kriterien und Kategorien. Eine abschliessende Beurteilung ist noch nicht möglich, da diese davon abhängt, welche Phasen schlussendlich zum Feuerungsbetrieb gezählt werden sollen.

Tabelle 3 Fünf Kriterien zur Definition des Feuerungsbetriebs sowie Beurteilung bezüglich der Zuverlässigkeit und Anwendbarkeit auf die relevanten Kategorien für den Feuerungsbetrieb der untersuchten Anlagen aus Tabelle 2. Legende: + erfüllt, +/- teilweise erfüllt, - nicht erfüllt.

Kriterium	FAQ 38 Fall 1	FAQ38 Fall 2	TAG-Schwelle	TAG-Sprung	O2-Schwelle
Erkennt den Feuerungsbetrieb von:					
Kategorie 1A	+	+	+	+	+
Kategorie 1B	+	+	-	+/-	+
Kategorie 2	+	+	-	+/-	+/-
Kategorie 3	+	+	-	-	-
Erkennt Anfahren	+	+	+/-	+/-	+/-
Erkennt Abfahren	+	+	+/-	-	+/-
Anforderungen Industrie:					
ohne Schnittstelle zur Feuerungsregelung	+	+	+	+	+
Allgemein gültige Definition möglich	-	+	(-)	+	+
Keine elektrische Verdrahtung vor Ort	-	-	+	+	+
Wartung Sensor	nein	z.B. jährlich	nein	nein	z.B. jährlich

5.1 FAQ 38 Fall 1 und Fall 2

Mit den beiden Kriterien der FAQ 38 werden Phasen mit relevantem Abgasvolumenstrom durch ein Signal von einem Ventilator zuverlässig erkannt. Die Kopplung an ein Signal von Primärluft- oder Abgasventilator ist jedoch auch der grösste Nachteil dieser Kriterien. Vor Ort ist eine Verdrahtung notwendig, was zusätzliche Kosten verursacht und fehleranfällig ist. Zusätzlich verfügen viele Seriengeräte mit einer Leistung bis 400 kW nicht über einen Primärluftventilator, so dass der Feuerungsbetrieb mit Fall 1 der FAQ 38 nicht allgemein gültig bestimmbar ist.

Zudem werden in beiden Fällen der FAQ 38 Phase während des Abfahrens mit potenziell hohen Schadstoff-Konzentrationen bei tiefer Fracht nicht berücksichtigt, so dass Feinstaubabscheider eher zu früh abgeschaltet werden. Dies betrifft vorwiegend die für diesen Bericht untersuchten Anlagen der Kategorien 2 und 3.

5.2 Schwellenwert für die Abgastemperatur

Das Heranziehen eines Schwellenwerts für die Abgastemperatur zur Definition des Feuerungsbetriebs funktioniert am besten bei Seriengeräten mit Festrost, welche bei Nennleistung im Ein/Aus-Betrieb betrieben werden. Die Unterschiede in der Abgastemperatur der verschiedenen Betriebsphasen können jedoch auch gering sein, dies auch wenn die Abgastemperatur direkt nach der Feuerung gemessen wird. Dies kann folgende Gründe haben:

- 1) Im Bereich der Abgasleitungen an der Decke von Heizräumen können Temperaturen bis 40 °C gemessen werden. Die Abgastemperatur sinkt deshalb bei vielen Anlagen nie unter 50 °C.
- 2) Bei Feuerungen mit einem trägen thermischen Verhalten, insbesondere bei Feuerungen mit Vorschubrost, bleibt die Abgastemperatur auch während des Standby teilweise während mehrerer Stunden über 100 °C.
- 3) Bei einigen Anlagen der Kategorie 1B, 2 und 3 weist die Abgastemperatur im Betrieb nur vergleichsweise geringe Schwankungen um den Ausgangswert bei stationärem Betrieb auf und sie kann zudem nach dem Ausschalten der Feuerung sogar ansteigen (Bild 10).
- 4) Es besteht ein Zielkonflikt zwischen der Betriebssicherheit des Feinstaubabscheiders und dem Wirkungsgrad der Anlage. Es ist ein Trend zu Abgastemperaturen deutlich unter 100 °C feststellbar. Eine der ausgewerteten Anlagen hatte während des Feuerungsbetriebs phasenweise eine Temperatur von nur 75 °C direkt nach der Feuerung gemessen. Abgastemperaturen um die 70 °C sind in Zukunft denkbar.

Wie die Auswertung der Anlagenbeispiele gezeigt hat, ist ein allgemein gültiger Schwellenwert der Abgastemperatur als Kriterium für den Feuerungsbetrieb deshalb schwer festzulegen. Aus Sicht der Emissionen sollte ein Schwellenwert nahe bei der Umgebungstemperatur sein (z.B. 50 °C).

Dagegen bevorzugen die Hersteller einen Schwellenwert, der eher in der Nähe der heute üblichen Einschaltsschwelle von Elektroabscheidern von zum Beispiel 85 °C liegt. Dies würde jedoch bei Anlagen mit hohem Wirkungsgrad und tiefen Abgastemperaturen zu einer nicht zulässigen Abscheiderverfügbarkeit führen. Bei einer untersuchten Anlage würde dies dagegen zu Nachlaufzeiten von bis zu 12 Stunden führen. Dieser Konflikt ist ohne Fallunterscheidung und individuelle anlagenspezifische Schwellenwerte schwer lösbar, weshalb die Ziele des SFIH mit diesem Kriterium kaum erfüllbar sind. Neue Anlagekonzepte, wie zum Beispiel Feuerungen mit integriertem Elektroabscheider, würden die allgemein gültige Umsetzung dieses Kriteriums noch zusätzlich erschweren.

5.3 *Temperatursprung im Abgas*

Gegenüber einem Schwellenwert für die Abgastemperatur kann ein Temperatursprung innerhalb einer gewissen Zeitspanne als Kriterium Vorteile bringen. Ein Temperatursprung lässt sich allgemein gültig definieren. Diese Definition kann das Anfahren der Feuerung bei der Kategorie 1A zuverlässig erkennen. Bei Anlagen der Kategorie 1B, 2 und 3 gelten aber auch hier dieselben Einschränkungen wie für den Schwellenwert für die Abgastemperatur. Zudem kann dieses Kriterium nur in Verbindung mit einem zweiten Kriterium benutzt werden, da das Abfahren der Feuerung nicht erkennbar ist.

5.4 *Schwellenwert für die O₂-Konzentration*

Die O₂-Konzentration als Kriterium erfasst alle Betriebsphasen mit hohen Schadstoffkonzentrationen. Damit würden auch Phasen mit geringem Abgasvolumenstrom während des Standby zum Feuerungs- betrieb zählen. Dies ist bei den untersuchten Feuerungen der Kategorien 2 und 3 der Fall, wo auch weite Teile des Standby zum Feuerungsbetrieb gezählt würden. Dies ist bezüglich der Emissionen positiv. Für die O₂-Konzentration liesse sich auch ein allgemein gültiger Schwellenwert mit Bezug auf die Messempfehlung des BAFU festlegen. Der grösste Nachteil dieses Kriteriums ist der dazu notwendige Sensor. Eine Breitband-Lambda-Sonde ist mit rund 100 Franken pro Sensor teurer als ein Temperatursensor. Zudem ist die Lebensdauer der Lambda-Sonden begrenzt. Sie müssen regelmässig (zum Beispiel jährlich) geprüft und gegebenenfalls ersetzt werden. Mit an die Abgastemperatur gekoppelten Prüfkriterien könnte diese Unsicherheit jedoch zum Teil reduziert werden.

6. *Schlussfolgerungen*

6.1 *Bericht Verenum (Lauber Nussbaumer)*

Anhand der vorliegenden Auswertungen nach deren Praxistauglichkeit basierend auf 43 ausgewerteten Langzeitmessungen, kann gefolgert werden, dass kein bisheriger Vorschlag alle Ziele vollständig erfüllen kann.

6.1.1 *Abgastemperatur*

Für ein auf der Abgastemperatur basierendes Kriterium ist ein für alle Parteien akzeptabler Kompromiss schwer zu finden. So besteht bei der Abgastemperatur ein Zielkonflikt zwischen dem Wirkungsgrad der Feuerung mit möglichst tiefer Abgastemperatur und der Betriebssicherheit des Feinstaubabscheiders.

Heute gibt es Feuerungen mit tiefen Abgastemperaturen, welche in Kombination mit den meisten Feinstaubabscheidern, selbst bei optimalem Betrieb, die von der LRV geforderte Verfügbarkeit nicht erreichen. Nur mit neuen Geräten und Anlagenkonzepten kann dieser Zielkonflikt entschärft werden. Ein neues Kriterium zur Definition des Feuerungsbetriebs sollte jedoch unabhängig von dieser Entwicklung sein.

Ein Kriterium basierend auf einem hohen Schwellenwert für die Abgastemperatur würde den Betrieb von Feuerungen mit einem hohen Wirkungsgrad nicht abdecken. Eine tiefe Temperaturschwelle würde dagegen bei vielen Anlagen den Dauerbetrieb des Feinstaubabscheiders zur Folge haben. Auch ein Temperatursprung kann nicht als allgemein gültiges Kriterium verwendet werden, da auf einigen Anlagen die Abgastemperatur auch während des Standby kaum sinkt und folglich ein Sprung nicht erkennbar ist.

6.1.2 Abgasvolumenstrom.

Eine weitere logische Kenngrösse, um den Feuerungsbetrieb zu bestimmen, wäre der Abgasvolumenstrom. Robuste und wartungsarme Strömungswächter für das Abgas existieren jedoch nicht, so dass eine entsprechende Definition für den Feuerungsbetrieb nicht infrage kommt.

6.1.3 Lambda-Sonde

Ohne Schnittstelle und elektrische Verbindung zur Feuerung scheint die O₂-Konzentration gemessen mit einer Breitband-Lambda-Sonde die einzige Variante zur Definition des Feuerungsbetriebs zu sein, welche universell anwendbar ist und die Ziele des SFIH weitgehend erfüllen kann. Sie ermöglicht:

- 1) Einen breiten Anwendungsbereich bei allen Feuerungstypen und Leistungsklassen.
- 2) Die Ermittlung der Abscheiderverfügbarkeit ohne Schnittstelle zur Feuerung.
- 3) Ein einfaches und universelles Kriterium ohne Fallunterscheidung.

Ein Nachteil von Breitband-Lambda-Sonden ist jedoch, dass das Signal aufgrund von Alterung und Verschmutzung beeinflusst werden kann. Deshalb müssen sie regelmässig überprüft und mit Umgebungsluft kalibriert werden. Zusätzlich wird eine automatische Sensor-Diagnose empfohlen, wozu zum Beispiel ein Signal zur Abgastemperatur genutzt werden kann.

Standardsonden u.a. bei Holzheizkesseln haben ihr Optimum bei 10% O₂, da sind sie „stark“. Es müsste eine neue Sonde mit grosser Verlässlichkeit bei hohem O₂-Gehalt geschaffen werden. Hier fehlt die Erfahrung zu Verlässlichkeit und Kosten. Gemäss Literatur haben sie auch kurze Lebensdauer. O₂-Sonden müssten noch geprüft und gemessen werden.

6.2 Schlussfolgerungen der Arbeitsgruppe Filterverfügbarkeit.

6.2.1 Spezielle Situationen

Bei den heutigen Interpretationen der Filterverfügbarkeit werden oft spezielle Situationen nicht berücksichtigt. So können oft gut laufende Anlagen wegen einer ausserordentlichen Situation, die fehlende Stunden über die Messperiode von einem Jahr nicht mehr einholen. Handbetrieb gleich Kessel nicht in Betrieb.

Störungen wie: Störungen bei Filter, Störungen beim Heizkessel, Laufzeiten bei der Inbetriebnahme, Laufzeiten bei der Abnahmemessung, etc. Diese Fälle müssen als Ausnahmen begründet und dokumentiert akzeptiert werden.

6.2.2 „in der Regel“

In der LRV wird der Begriff „in der Regel“ verwendet. Die Interpretation des Begriffes „in der Regel“, eine Hilfestellung für die Ämter, muss noch entworfen werden. Der Passus „in der Regel“ muss im Vollzugspapieren beschrieben werden. Heute werden z.B. Anlagen mit 88% Verfügbarkeit und 5mg Staub beanstandet, Bei Grenzwerten von 50mg/staub und 90% Verfügbarkeit.

6.2.3 Vorschläge zur Festlegung der Parameter/Signal „Feuerung ein/aus“ für die Bestimmung der Heizdauer des Kessels

Die Arbeitsgruppe Filterverfügbarkeit hat den Bericht Lauber / Nussbaumer diskutiert und mögliche Kriterien / Fälle festgelegt. Die Fälle müssen in einem weiteren schritt verifiziert werden und weitere Abklärungen gemacht werden

6.2.3.1 Verfügbarkeit berechnen

Der Feuerungshersteller muss definieren nach welchem Fall er die Parameter festlegt. Es muss bei jeder Anlage klar ersichtliche sein wer die Betriebszeiten erfasst und die Verfügbarkeit berechnet. Es kann der Heizkessel- sowie der Filterhersteller sein. Wichtig nicht beide! Der „Nicht“ Aufzeichnende muss ein klares, eindeutig aufbereitetes Signal zur Verfügung stellen.

6.2.3.2 Fall 1

Kessel und Filter stellen ein aufbereitetes definiertes Signal zur Verfügung,
Primärluftventilator ein -> Kessel ein:
Primärluftventilator aus plus 15 Minuten (ev. inkl. Nachlaufzeit ist ein positiver Effekt für die Umwelt, muss diskutiert werden!) → Kessel aus:

6.2.3.3 Fall 2

Kessel und Filter stellen ein aufbereitetes definiertes Signal zur Verfügung,
Abluftventilator ein und O2 Sonde <18% (18% muss noch diskutiert werden) → Kessel ein:
Abluftventilator aus oder O2 Sonde <16% (16% muss noch diskutiert werden) → Kessel aus:

6.2.3.4 Fall 3

Platinen-Steuerung und gewisse Kessel können das geforderte Signal nicht bringen oder im Sanierungsfall, bestehende Kessel mit einer Steuerung, die das Signal nicht bringen kann.

Filterhersteller liefert und installiert O₂-Sonde und Temperaturfühler
Temperaturschwellenwert vor dem Filter > 50°C und O2 Sonde <18% → Kessel ein:
Temperaturschwellenwert vor dem Filter > 50°C und O2 Sonde <18% → Kessel aus:

6.2.3.5 Fall 4

Anlagen die dauernd in Betrieb sind, zukünftige Modell

6.2.3.6 Bestimmen der Filterlaufzeit

Die Parameter resp. die Einflüsse auf die Filterlaufzeit (Spannung, Strom, Durchschläge) müssen in einem weiteren Schritt noch untersucht und diskutiert werden.

6.3 Zielsetzung und zu beantwortende Fragen aus der Aufgabenstellung

1. Es liegt eine fundierte und breit abgestützte Vollzugshilfe vor, mit welcher die Anforderungen der LRV bezüglich Filterverfügbarkeit einfach vollzogen werden können.

Ein erster Schritt ist erreicht; Grundlagen sind geschaffen, die Problematik ist eingegrenzt, alle involvierten Parteien sind im Prozess integriert

2. Bedeutung und Berücksichtigung der Auskühlphasen mit laufendem Ventilator und abgestelltem Kessel

Wird in einem zweiten Schritt definiert, nachdem die Ein und Ausschaltkriterien eindeutig definiert sind.

3. Unterschiedliche Merkmale der Filterverfügbarkeit beim Anlagenbau und bei Seriengeräten: Charakteristiken, Bedeutung und Handhabung?

Eine Differenzierung über Leistung oder Brennstoff (differenzieren der Kesseltypen (Kessel > 500kW, Kessel < 500kW, Serienkessel, Kessel mit integriertem Filter, ...) erscheint nicht als sinnvoll.

Unterschieden werden soll zwischen Individualsteuerung und Platinen-Steuerung

Platinen Steuerungen können nicht verpflichtet werden ein individuelles Signal zu liefern

4. Welche Signale und Parameter können die heute am Markt verfügbaren Filtersysteme überhaupt erfassen und auswerten und weiterleiten?

Die Filtersysteme benötigen ein eindeutiges aufbereitetes Signal. Aus welchem Parameter sich das Signal zusammensetzt wird noch diskutiert. Es werden aber unterschiedliche Parameter sein.

5. Wie sind in den Kessel integrierte Filter zu behandeln?

Wie Kessel mit einer Platinensteuerung.

6. Welches sind die spezifischen Charakteristiken von nachzurüstenden Altanlagen?

Die Fragenstellung ist noch nicht diskutiert.

7. Welche Bedeutung hat der Abscheidegrad?

Die LRV fragt bei Heizkesselanlagen nach der Verfügbarkeit. Der Abscheidegrad wird nicht aufgeführt, dass letztlich der maximale staubgehalt einer Feuerung nach dem Filter definiert ist Die LRV äussert sich nur zu Staubabscheidesystemen bei handwerklich hergestellten Feuerungen.

Mit einem Staubabscheidesystem müssen nur handwerklich hergestellte Feuerungen, die nicht nach einem anerkannten Berechnungsverfahren gebaut wurden, ausgerüstet sein.

LRV:

Handwerklich hergestellte Einzelraumfeuerungen nach Ziffer 22 Buchstabe f sind von einer Abnahmemessung ausgenommen, wenn:

b. sie mit einem Staubabscheidesystem ausgerüstet sind, welches dem Stand der Technik, namentlich den Anforderungen der technischen Regel VDI 36703 (Abgasreinigung - Nachgeschaltete Staubminderungseinrichtungen für Kleinfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe) entspricht

8. Wie ist der Fall zu behandeln, wenn mehrere Kessel auf den gleichen Filter fahren?

Die Fragenstellung ist noch nicht diskutiert. Wird in der zu erarbeitenden Empfehlung erwähnt werden

9. Ist die Verfügbarkeit auch dann gefordert, wenn der Grenzwert auch ohne Filter eingehalten wird?

Die Fragenstellung ist noch nicht diskutiert. Wird in der zu erarbeitenden Empfehlung erwähnt werden. Die Verfügbarkeit ist nicht gefordert, wenn die Abnahmemessung und die periodischen Kontrollmessungen ohne Filter gemacht werden und die geforderten Werte erreichen.

10. Welches sind die spezifischen Besonderheiten von filternden Systemen und Nassabscheidern?

Diese Frage wurde bereits im Artikel von Dr. Thomas Nussbaumer Technische Möglichkeiten der Staubabscheidung für automatische Holzfeuerungen; Wirkung und Kosten, Februar 2007, Umwelt Perspektiven, abgehandelt.

11. Welche Bedeutung haben die unterschiedlichen Frachten?

Die Fragenstellung ist noch nicht diskutiert.

12. Wie werden die Messfirmen sinnvoll einbezogen?

Die Messfirmen werden in einem zweiten Schritt ins Projekt einbezogen. Erste Kontakte sind mit den Firmen Mess-bar GmbH, Tobias Könninger, Langendorf und MEGEM, Heinz Thomann, Uttigen erfolgt.

7. Weiteres Vorgehen

Im Projekt sollen weitere Partner wie Messfirmen, Cercle Air, Bafu, ...) integriert werden
Sobald der bereinigte Vorschlag vorliegt wird das Gespräch mit Cercle Air und dem Bafu gesucht.

7.1 Offenen Fragen.

- Filternachlaufzeit muss noch definiert werden
- Lambda-Sonden müssen noch getestet und wie man die Lambdasonde über die Software kontrollieren, detektieren kann.
- Schwellenwert O₂ muss noch definiert werden.
- mögliche Kriterien Filterlaufzeit (Strom, Spannung, Durchschläge.
- Mehrere Kessel mit einem Filter