

	FAQ 38: Wie wird die Verfügbarkeit von Elektroabscheidern bestimmt?		FAQ 38	
	Erste Veröffentlichung: 10. Februar 2016	Letzte Bearbeitung: 28. Juni 2016		
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.			

Wie ist die Verfügbarkeit von Elektroabscheidern (Elektrofiltern) definiert und wie wird sie bestimmt?

Einleitung

Ein Elektroabscheider soll in Phasen mit relevanten Staubemissionen der Feuerung grundsätzlich aktiv sein. 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. FAQ 38 Abbildung 1 zeigt einen typischen Zyklus von Anfahren, Heizbetrieb und Abfahren einer Feuerung mit einem Elektroabscheider. In diesen drei Betriebsphasen der Feuerung entstehen relevante Staubemissionen, weshalb sie als Betrieb Feuerung zusammengefasst werden (schwarz) und somit der Feuerungsbetriebszeit entsprechen.

Die Abscheiderbetriebszeit darf nur gezählt werden, wenn der Elektroabscheider gleichzeitig mit der Feuerung in Betrieb ist (grün). Wenn der Elektroabscheider eine Einschaltverzögerung aufweist oder eine Störung hat, dann entsteht eine Ausfallzeit (rot). Wird der Elektroabscheider länger als die Feuerung betrieben, dann ist das eine Nachlaufzeit welche vom Betriebsstundenzähler nicht gezählt werden darf. Denn während dem Stillstand / Standby der Feuerung sind die Staubemissionen signifikant tiefer als während dem Betrieb der Feuerung. Mit der Nachlaufzeit des Elektroabscheiders können die Staubemissionen trotzdem weiter reduziert werden.



FAQ 38 Abbildung 1: Typischer Betriebszyklus einer Feuerung und eines Elektroabscheiders.

Die Verfügbarkeit eines Elektroabscheiders wird in der Regel über ein Jahr bestimmt und ist definiert als das Verhältnis der aufsummierten Abscheiderbetriebszeit (grün) zur aufsummierten Feuerungsbetriebszeit (schwarz).

$$\text{Verfügbarkeit } V = \frac{\text{Abscheiderbetriebszeit}}{\text{Feuerungsbetriebszeit}} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

Die zu erreichende Mindestverfügbarkeit wird durch die zuständige Behörde festgelegt. Damit die Verfügbarkeit eine aussagekräftige und vergleichbare Kontrollgrösse für die Überwachung von Elektroabscheidern darstellt, muss sie bei allen Anlagen einheitlich bestimmt werden. Dies soll mit der FAQ 38 sichergestellt werden. Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf einer umfassenden Untersuchung zum Betriebsverhalten von Elektroabscheidern an automatischen Holzfeuerungen¹. Tiefergehende Erläuterungen können diesem Bericht entnommen werden.

Die nachfolgenden Ausführungen und Definitionen können im Grundsatz auch auf andere Feinstaubabscheider angewendet werden. Bei Schlauch- und Metallgewebefiltern kann der Betrieb des Filters zum Beispiel mithilfe eines minimalen Schwellenwerts für den über dem Filter gemessenen Differenzdruck überwacht werden.

¹ Lauber, A.; Nussbaumer, T.: Praxiseinsatz und Überwachung von automatischen Holzfeuerungen mit Elektroabscheider, Bundesamt für Energie, Bern 2014, ISBN 3-908705-29-0

Vorgehen

Aufgrund von unterschiedlichen Feuerungskonzepten müssen grundsätzlich zwei Varianten zur Ausführung der Anlageüberwachung unterschieden und fallweise angewendet werden. Die Wahl der Variante hängt von der Nachlaufzeit des Abgasventilators nach einem Ausschalten des Primärluftventilators ab. Bei Feuerungen ohne Primärluftventilator wird das Signal der Primärluftklappe verknüpft mit dem Signal des Abgasventilators als Indikator für die Primärluft verwendet, was nachfolgend als Zustand des „Primärluftventilators“ bezeichnet wird. Gewählt wird:

- Variante A ab Seite 4 bei einer Nachlaufzeit von maximal 15 Minuten.
- Variante B ab Seite 6 bei einer Nachlaufzeit von mehr als 15 Minuten.

Die für beide Varianten notwendigen Zustandsdefinitionen für Betrieb Elektroabscheider und Betrieb Feuerung sind auf Seite 3 zu finden.

Die Vorgehensweise bei Spezialfällen ist auf Seite 9 beschrieben.

Ausführung und Verantwortlichkeit

Die Aufzeichnung der Feuerungs- und Abscheiderbetriebszeit mit Betriebsstundenzählern muss im gleichen Gerät erfolgen. Ob die Betriebsstundenzähler in der Steuerung der Feuerung, in der Steuerung des Elektroabscheiders oder im Leitsystem integriert werden ist frei wählbar. Die Verantwortlichkeit für die korrekte Bereitstellung und die Dokumentation der entsprechenden Signale liegt beim Hersteller des jeweiligen Geräts bzw. beim Anbieter des Gesamtsystems. Die entsprechenden Zähler dürfen NICHT rücksetzbar sein und dürfen weder durch Stromausfall noch durch Austausch oder Softwareupdate der Steuerung beeinträchtigt werden.

Dokumentation zur Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

Die Umsetzung der Aufzeichnung der Verfügbarkeit des Elektroabscheiders muss umfassend dokumentiert sein und beinhaltet mindestens:

- Angabe ob Variante A / Variante B / Spezialfall
- Ausführung inkl. Signalflussschema und Wahrheitstabelle
- Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten für die Signale und die Betriebsstundenzähler
- Referenzwerte des Elektroabscheiders für Spannung U_{ref} und Strom I_{ref} bei Nennleistung der Feuerung (belegt durch den Messbericht der Abnahmemessung).
- Eingestellte Schwellenwerte des Elektroabscheiders für Spannung und Strom U_{min} und I_{min} und Kontrollmöglichkeit für die Behörde.
- Abweichungen von FAQ 38
- Der Anlagebetreiber dokumentiert mindestens jährlich die Zählerstände der Betriebsstundenzähler und die Verfügbarkeit des Elektroabscheiders.

Nachweis gegenüber der Behörde

Das Intervall für den Nachweis der Verfügbarkeit des Elektroabscheiders wird durch die Behörde festgelegt. Die Verfügbarkeit muss mindestens jeweils bei einer behördlich verlangten Emissionsmessung zum Beispiel mit FAQ 38 Formular 1 oder 2 gegenüber der Behörde ausgewiesen werden.

Zustandsdefinition für Betrieb Elektroabscheider und Betrieb Feuerung

Betrieb Elektroabscheider

Die Definition für Betrieb Elektroabscheider (EA1 = 1) basiert auf der Spannung U1 und dem Strom I1 des Hochspannungsaggregats im Elektroabscheider sowie auf der Position der Bypassklappe K1 im oder vor dem Elektroabscheider (FAQ 38 Tabelle 1). Der Elektroabscheider gilt dann als in Betrieb, wenn die Spannung U1 und der Strom I1 einen minimalen Schwellenwert im Vergleich zu einem Referenzwert überschreiten und wenn die Bypassklappe geschlossen ist.

Die Referenzwerte für Spannung U_{ref} und Strom I_{ref} werden bei der Abnahmemessung der Feuerung unter Nennlast erhoben. Die für die Abnahmemessung beauftragte Messfirma muss dazu in ihrem Messbericht zusätzlich zu den üblichen Emissionswerten auch die Referenzwerte für Spannung U_{Ref} und für Strom I_{Ref} des Hochspannungsaggregats während der Nennlast-Messung an der Steuerung des Elektroabscheiders ablesen und festhalten. Die Spannungs- und Stromwerte dürfen vor der Abnahmemessung nicht verändert werden sondern müssen dem Normalbetrieb der Anlage entsprechen. Die Referenzwerte sollen auch bei den periodischen Kontrollmessungen protokolliert werden. Die Schwellenwerte U_{min} und I_{min} muss der Hersteller in der Steuerung des Elektroabscheiders einstellen und sie dürfen die Mindestanforderungen in FAQ 38 Tabelle 1 nicht unterschreiten. Hersteller können auch höhere Standardwerte für ihre Geräte festlegen.

Zustands-signal	Einschaltbedingung für Betrieb Elektroabscheider: EA1 = 1	Ausschaltbedingung für Betrieb Elektroabscheider: EA1 = 0	Hilfs-signale
EA1	<ul style="list-style-type: none"> • Spannung $U1 \geq U_{min} = 60\% \text{ von } U_{Ref}$ UND • Strom $I1 \geq I_{min} = 30\% \text{ von } I_{Ref}$ UND • Bypassklappe geschlossen 	<ul style="list-style-type: none"> • Spannung $U1 \leq 50\% \text{ von } U_{Ref}$ ODER • Strom $I1 \leq 20\% \text{ von } I_{Ref}$ ODER • Bypassklappe offen / bewegt 	<p style="text-align: center;">U1</p> <p style="text-align: center;">I1</p> <p style="text-align: center;">K1</p>

FAQ 38 Tabelle 1: Zustandsdefinitionen für das Signal Betrieb Elektroabscheider EA1. Dieses Zustandssignal liegt in der Regel in der Verantwortung des Elektroabscheider-Herstellers. Die angegebenen Schwellenwerte für die Spannung U_{min} und Strom I_{min} sind Mindestanforderungen. Für alle Signale ist eine maximale Dämpfung von 10 Sekunden zulässig. Bei Signalausfall (U1 oder I1 oder K1) gilt der der Elektroabscheider als Ausgeschaltet.

Betrieb Feuerung

Die Definition für Betrieb Feuerung (F1 = 1) kann für die Variante A sehr einfach an Hand des Betriebs des Primärluftventilators bestimmt werden (FAQ 38 Tabelle 2). Bei Feuerungen ohne Primärluftventilator wird das Signal der Primärluftklappe mit dem Signal des Abgasventilators verknüpft. Bei der Variante B muss die Verfügbarkeit des Elektroabscheiders aufwendiger bestimmt werden. Dies ist notwendig, weil während der langen Nachlaufzeit des Abgasventilators trotz ausgeschaltetem Primärluftventilator weiterhin eine erhebliche Partikelfracht auftreten kann. Mit dem Signal F2 werden diese Emissionen mit dem Betriebszustand des Abgasventilators und dem Signal der Lambdasonde (O_2 in Vol.-%) zusätzlich erfasst. Dazu muss eine Breitband-Lambdasonde eingesetzt werden, welche auch bei hohem Sauerstoffgehalt korrekte Messwerte liefert. Ausserdem muss die korrekte Betriebsweise der Lambdasonde sichergestellt werden und bei der Wartung der Holzfeuerung kontrolliert werden.

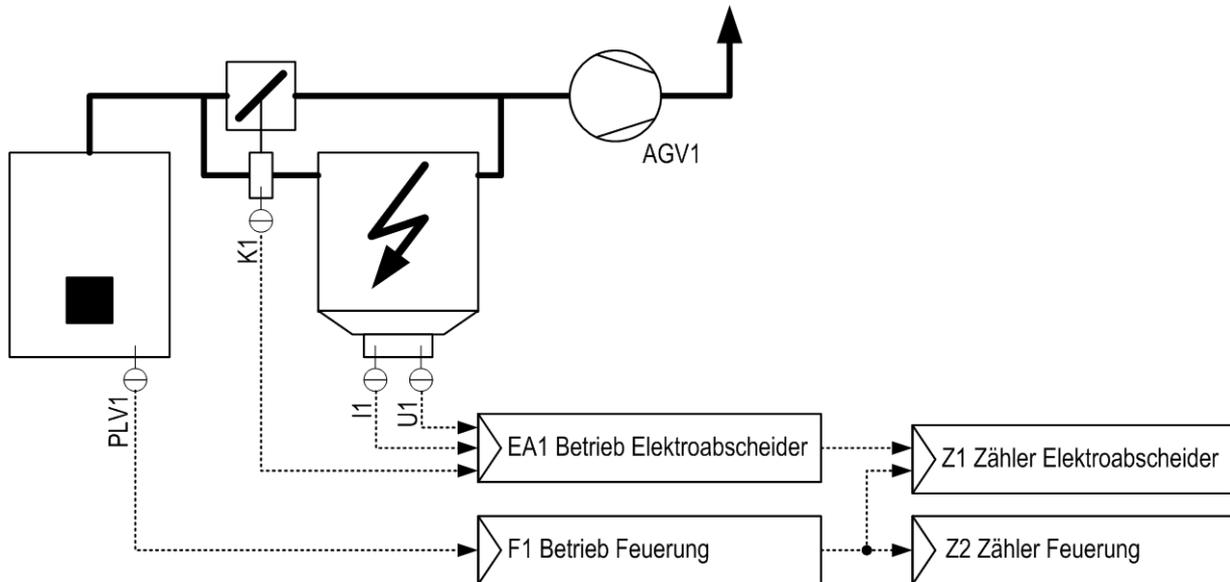
Zustands-signal	Einschaltbedingung für Betrieb Feuerung: F1 = 1 ODER F2 = 1	Ausschaltbedingung für Betrieb Feuerung: F1 = 0 ODER F2 = 0	Hilfs-signal
F1	<ul style="list-style-type: none"> • Primärluftventilator Ein 	<ul style="list-style-type: none"> • Primärluftventilator Aus 	PLV1
F2	<ul style="list-style-type: none"> • Abgasventilator Ein UND • $O_2 \leq 18 \text{ Vol.-%}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Abgasventilator Aus ODER • $O_2 \geq 19 \text{ Vol.-%}$ 	<p style="text-align: center;">AGV1</p> <p style="text-align: center;">O21</p>

FAQ 38 Tabelle 2: Zustandsdefinition für die Signale Betrieb Feuerung F1 & F2. Diese Signale liegen in der Regel in der Verantwortung des Feuerungsherstellers. Das Signal F2 wird für die Variante A nicht benötigt. Für alle Signale ist eine maximale Dämpfung von 10 Sekunden zulässig. Bei Signalausfall gilt die Feuerung als Eingeschaltet.

Variante A: Kurze Nachlaufzeit des Abgasventilators

Zähler des Elektroabscheiders und der Feuerung

Die Betriebsstundenzähler des Elektroabscheiders (Z1) und der Feuerung (Z2) dürfen nicht unabhängig voneinander zählen, sie müssen mit dem Betriebszustand des Elektroabscheiders (EA1) und der Feuerung (F1) verknüpft werden. FAQ 38 Abbildung 2 zeigt das Signalflussschema der notwendigen Signale und Verknüpfungen. FAQ 38 Tabelle 3 zeigt die notwendigen logischen Verknüpfungen in einer Wahrheitstabelle.



FAQ 38 Abbildung 2: Signalflusschema für die Überwachung der Verfügbarkeit eines Elektroabscheiders an einer Feuerung für die Variante A.

		Verknüpfung	Zustand
EA1	Betrieb Elektroabscheider		0 1 0 1 x
F1	Betrieb Feuerung		0 0 1 1 x
Z1	Zähler Elektroabscheider	EA1 UND F1	0 0 0 1 0
Z2	Zähler Feuerung	F1	0 0 1 1 1

FAQ 38 Tabelle 3: Wahrheitstabelle für das Aufsummieren der Betriebszeit von Abscheider und Feuerung mit den Betriebsstundenzählern Z1 und Z2 für die Variante A. Die Zähler dürfen nur dann weiter aufsummieren, wenn ihr logischer Zustand gleich 1 ist. Bei Signalausfall (x) darf der Zähler Elektroabscheider nicht zählen und der Zähler Feuerung muss zählen.

Berechnung der Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

Die Verfügbarkeit des Elektroabscheiders wird in der Regel über ein Jahr bestimmt. Die Betriebsstundenzähler des Elektroabscheiders (Z1) und der Feuerung (Z2) müssen deshalb mindestens einmal pro Jahr abgelesen werden, so dass die Zählerstände zu Beginn und am Ende des Beobachtungszeitraums bekannt sind. Die Differenz der Zählerstände ergibt die Betriebszeit des Elektroabscheiders (Δt_{EA} (Z1)) und der Feuerung (Δt_F (Z2)) im Beobachtungszeitraum. Daraus kann die Verfügbarkeit V berechnet und mit der behördlich verlangten Mindestverfügbarkeit verglichen werden. Die Verfügbarkeit ergibt sich aus:

$$\text{Verfügbarkeit } V = \frac{\Delta t_{EA} (Z1)}{\Delta t_F (Z2)} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Gegenüber der Behörde kann die berechnete Verfügbarkeit des Elektroabscheiders mit FAQ 38 Formular 1 ausgewiesen werden.

FAQ 38 Formular 1 Verfügbarkeit des Elektroabscheiders nach Variante A

Nachlaufzeit des Abgasventilators gegenüber dem Primärluftventilator ≤ 15 Minuten

Eingestellte Schwellenwerte Elektroabscheider und Abnahmemessung bei Nennlast als Referenz

	Symbol	Einheit	Referenzwert	Schwellenwert	
Festlegungsdatum					
Spannung	U	[kV]			
Spannung	$U_{Schwelle} / U_{Ref}$	[%]	(= 100 %)	¹⁾	¹⁾ min. 60 %
Strom	I	[mA]			
Strom	$I_{Schwelle} / I_{Ref}$	[%]	(= 100 %)	²⁾	²⁾ min. 30 %

Betriebsstundenzähler

⁴⁾ (Aktuell–letzte Ablesung)

	Symbol	Einheit	letzte Ablesung	Aktuell	Betriebszeit $\Delta t^{4)}$
Ableседatum					
Elektroabscheider	$t_{EA} (Z1)$	[Stunden]			
Feuerung	$t_F (Z2)$	[Stunden]			

Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

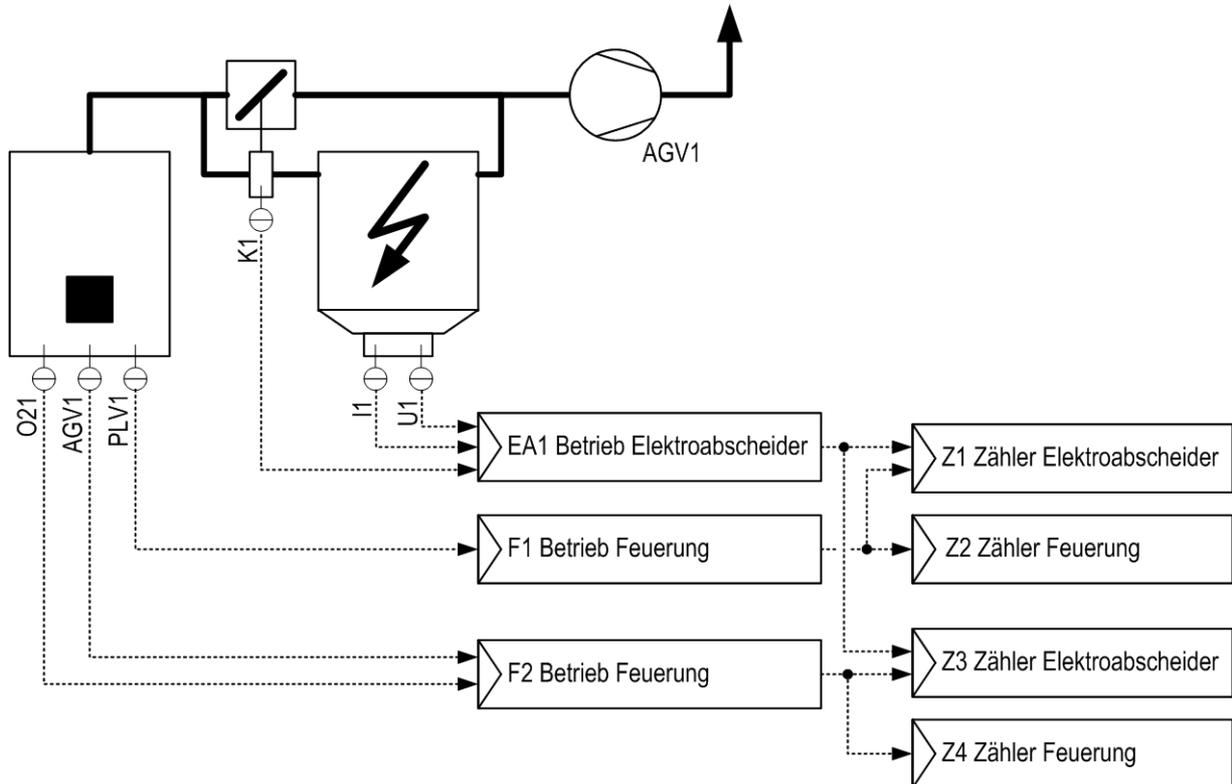
Verfügbarkeit	$V = \frac{\Delta t_{EA} (Z1)}{\Delta t_F (Z2)} \cdot 100$	[%]	
---------------	--	-----	--

Ort und Datum:	Vorname, Name:
	Funktion, Firma:
Unterschrift:	

Variante B: Lange Nachlaufzeit des Abgasventilators

Zähler des Elektroabscheiders und der Feuerung

Weil es bei Variante B zwei Definitionen für den Betrieb der Feuerung braucht, müssen auch je zwei Zähler verwendet werden. Die Betriebsstundenzähler des Elektroabscheiders (Z1 und Z3) und der Feuerung (Z2 und Z4) dürfen nicht unabhängig voneinander zählen, sie müssen mit dem Betriebszustand des Elektroabscheiders (EA1) und der Feuerung (F1) verknüpft werden. FAQ 38 Abbildung 3 zeigt das Signalflussschema der notwendigen Signale und Verknüpfungen. FAQ 38 Tabelle 4 zeigt die notwendigen logischen Verknüpfungen in einer Wahrheitstabelle.



FAQ 38 Abbildung 3: Signalflussschema für die Überwachung der Verfügbarkeit eines Elektroabscheiders an einer Feuerung für die Variante B.

		Verknüpfung	Zustand
EA1	Betrieb Elektroabscheider		0 1 0 1 0 1 0 1 x
F1	Betrieb Feuerung		0 0 0 0 1 1 1 1 x
F2	Betrieb Feuerung		0 0 1 1 0 0 1 1 x
Z1	Zähler Elektroabscheider	F1 & EA1	0 0 0 0 0 1 0 1 0
Z2	Zähler Feuerung	F1	0 0 0 0 1 1 1 1 1
Z3	Zähler Elektroabscheider	F2 & EA1	0 0 0 1 0 0 0 1 0
Z4	Zähler Feuerung	F2	0 0 1 1 0 0 1 1 1

FAQ 38 Tabelle 4: Wahrheitstabelle für das Aufsummieren der Betriebszeit von Abscheider und Feuerung mit den Betriebsstundenzählern Z1 bis Z4 für die Variante B. Bei Signalausfall (x) dürfen die Zähler Elektroabscheider nicht zählen und die Zähler Feuerung müssen zählen.

Berechnung der Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

Die Verfügbarkeit des Elektroabscheiders wird in der Regel über ein Jahr bestimmt. Die Betriebsstundenzähler des Elektroabscheiders (Z1, Z3) und der Feuerung (Z2, Z4) müssen deshalb mindestens einmal pro Jahr abgelesen werden, so dass die Zählerstände zu Beginn und am Ende des Beobachtungszeitraums bekannt sind. Die Differenz der Zählerstände ergibt die Betriebszeit der Feuerung und des Elektroabscheiders im Beobachtungszeitraum. Daraus kann die Verfügbarkeiten V1 und V2 berechnet und mit der behördlich verlangten Mindestverfügbarkeit verglichen werden. Da bei der Variante B zwei Verfügbarkeiten bestimmt werden müssen, müssen beide Verfügbarkeiten die verlangte Mindestverfügbarkeit erfüllen. Die beiden Verfügbarkeiten ergeben sich aus:

$$\text{Verfügbarkeit V1} = \frac{\Delta t_{EA}(Z1)}{\Delta t_F(Z2)} \cdot 100 [\%] \quad \text{UND} \quad \text{Verfügbarkeit V2} = \frac{\Delta t_{EA}(Z3)}{\Delta t_F(Z4)} \cdot 100 [\%]$$

Gegenüber der Behörde kann die Verfügbarkeit zum Beispiel mit FAQ 38 Formular 2 ausgewiesen werden.

FAQ 38 Formular 2 Verfügbarkeit des Elektroabscheiders nach Variante B

Nachlaufzeit des Abgasventilators gegenüber dem Primärluftventilator > 15 Minuten

Eingestellte Schwellenwerte Elektroabscheider und Abnahmemessung bei Nennlast als Referenz

	Symbol	Einheit	Referenzwert	Schwellenwert
Festlegungsdatum				
Spannung	U	[kV]		
Spannung	$U_{Schwelle} / U_{Ref}$	[%]	(= 100 %)	¹⁾ min. 60 %
Strom	I	[mA]		
Strom	$I_{Schwelle} / I_{Ref}$	[%]	(= 100 %)	²⁾ min. 30 %

Kontrolle Lambdasonde Kessel (Sauerstoffmessung)

	Symbol	Einheit	Referenzwert ³⁾	Lambdasonde
Ablesedatum				
O ₂ in Luft	O ₂	[Vol.-%]		
O ₂ in Abgas	O ₂	[Vol.-%]		

³⁾ Abgasanalyse

Betriebsstundenzähler

⁴⁾ (Aktuell–letzte Ablesung)

	Symbol	Einheit	letzte Ablesung	Aktuell	Betriebszeit
Ablesedatum					$\Delta t^{4)}$
Elektroabscheider	$t_{EA} (Z1)$	[Stunden]			
Feuerung	$t_F (Z2)$	[Stunden]			
Elektroabscheider	$t_{EA} (Z3)$	[Stunden]			
Feuerung	$t_F (Z4)$	[Stunden]			

Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

Verfügbarkeit 1	$V1 = \frac{\Delta t_{EA} (Z1)}{\Delta t_F (Z2)} \cdot 10$	[%]	
Verfügbarkeit 2	$V2 = \frac{\Delta t_{EA} (Z3)}{\Delta t_F (Z4)} \cdot 10$	[%]	

Ort und Datum:	Vorname, Name:
	Funktion, Firma:
Unterschrift:	

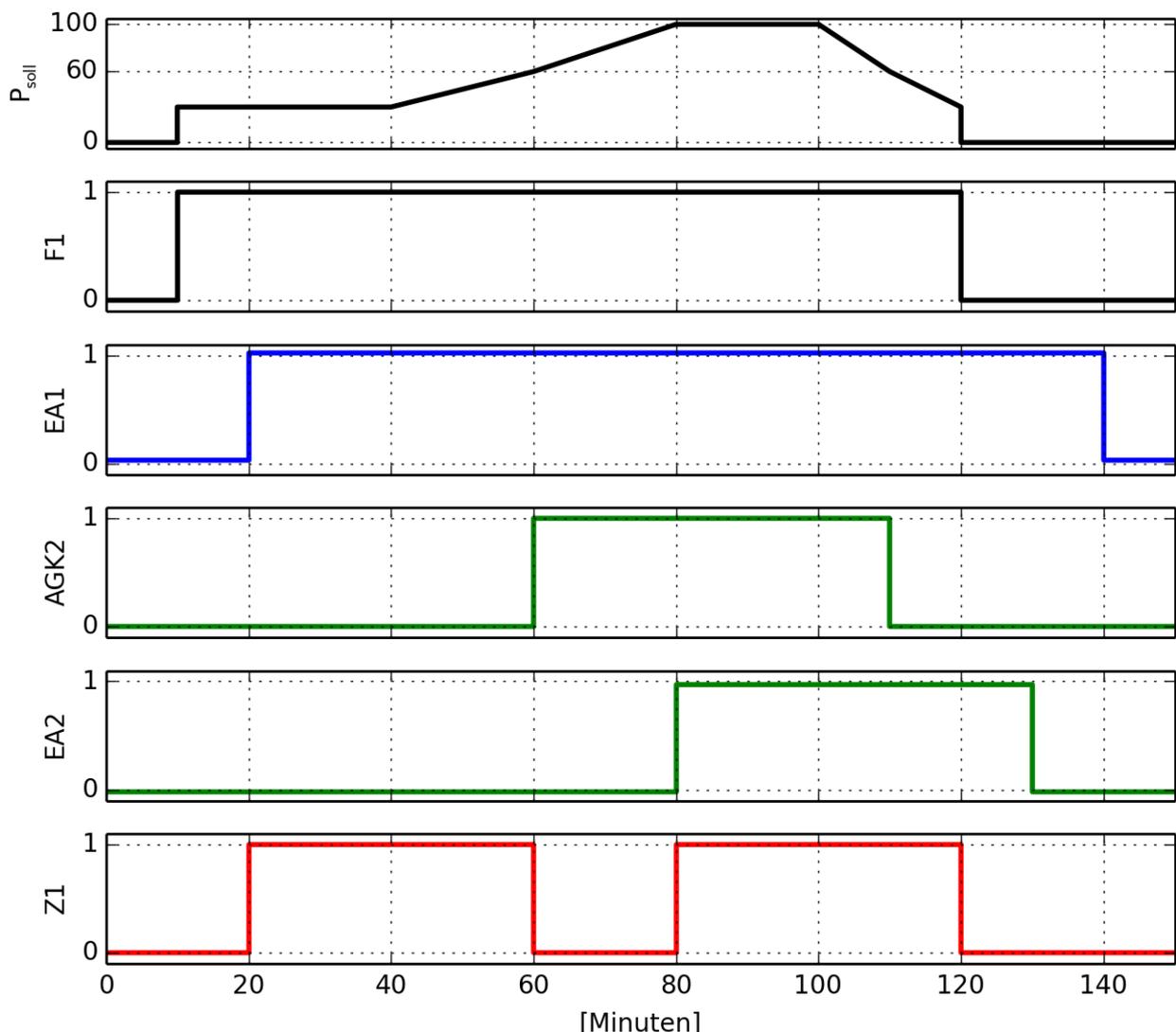
Spezialfälle

In der Praxis können folgende Spezialfälle in der Konfiguration der Anlage auftreten:

- Mehrere Feuerungen an einem Elektroabscheider.
- Mehrere Elektroabscheider an einer Feuerung mit zusätzlichen Klappen für die Verteilung des Abgases auf die verschiedenen Elektroabscheider.

Für die Anlageüberwachung müssen immer alle vorhandenen Komponenten einbezogen werden. Die Logik für den Zähler der Abscheiderbetriebszeit in FAQ 38 Tabelle 3 oder FAQ 38 Tabelle 4 muss dazu mit den zusätzlichen Komponenten erweitert werden. Ein mögliches Beispiel für eine Feuerung mit zwei Elektroabscheidern zeigt FAQ 38 Abbildung 4. Zusätzlich ist der Emissionsnachweis zu erbringen, dass der Staubgrenzwert in allen Betriebssituationen, insbesondere bei Voll- und Teillast, eingehalten werden kann.

Bei Anlagen mit mehreren Hochspannungsaggregaten werden die Werte von Spannung und Strom zusammengefasst. Bei der Spannung wird ein Mittelwert und beim Strom die Summe aus den Werten der einzelnen Aggregate gebildet. Dabei werden alle Aggregate von Elektroabscheider-Feldern einbezogen, welche mit Gas durchströmt sind. Dazu muss eine Verknüpfung mit den vorhandenen Abgasklappen bestehen.



FAQ 38 Abbildung 4: Beispiel für das Aufsummieren der Abscheiderbetriebszeit Z1 bei einer Anlage mit zwei Elektroabscheidern EA1 und EA2 an einer Feuerung F1. Der zweite Elektroabscheider EA2 wird bei Sollleistungen der Feuerung P_{soll} von über 60 % mit einer Abgasverteilkappe AGK2 zugeschaltet. Beide Elektroabscheider haben eine Einschaltverzögerung und eine Nachlaufzeit. Ab einer Sollleistung von 60 % wird während der Einschaltverzögerung des EA2 ein Teil des Abgases durch den inaktiven EA2 geleitet. Während dieser Zeit kann der Staubgrenzwert nicht eingehalten werden. In dieser Phase darf die Abscheiderbetriebszeit Z1 deshalb nicht aufsummiert werden.