

Emissionen aus stationären Quellen
**Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen
Staubkonzentrationen**
Teil 2: Automatische Messeinrichtungen
Deutsche Fassung prEN 13284-2:2002

DIN
EN 13284-2

Diese Norm ist Bestandteil des VDI-DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Bd. 5

ICS 13.040.40

Entwurf

Einsprüche bis 2003-03-31

Stationary source emissions —
Determination of low range mass concentration of dust —
Part 2: Automated measuring systems;
German version prEN 13284-2:2002

Emissions de source fixes —
Détermination de la faible concentration an masse de poussières —
Partie 2: Systèmes de mesurage automatique;
Version allemande prEN 13284-2:2002

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an krdl@vdi.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;
- oder in Papierform an Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN — Normenausschuss KRdL, Postfach 10 11 39, 40002 Düsseldorf.

Nationales Vorwort

Der europäische Norm-Entwurf prEN 13284-2 wurde im Europäischen Komitee für Normung (CEN) in der Arbeitsgruppe WG 5 „Gesamtstaub“ (Sekretariat und Obmannschaft: Frankreich) des Technischen Komitees CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ (Sekretariat: Deutschland) unter intensiver Mitwirkung deutscher Experten, die von der Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN — Normenausschuss — benannt worden sind, erarbeitet.

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen und Europäischen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

EN 13284-1	siehe DIN EN 13284-1
prEN 14181	siehe E DIN EN 14181
ENV 13005	siehe DIN V ENV 13005
EN ISO 14956	siehe DIN EN ISO 14956
ISO 9169	siehe DIN ISO 9169

Fortsetzung Seite 2
und 52 Seiten prEN

Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN — Normenausschuss

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 13284-1, *Emissionen aus stationären Quellen — Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen — Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren; Deutsche Fassung EN 13284-1:2001.*

E DIN EN 14181, *Emissionen aus stationären Quellen — Qualitätssicherung für automatische Messeinrichtungen; Deutsche Fassung prEN 14181:2001.*

DIN V ENV 13005, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen; Deutsche Fassung ENV 13005:1999.*

DIN EN ISO 14956, *Luftbeschaffenheit — Beurteilung der Eignung eines Messverfahrens durch Vergleich mit einer geforderten Messunsicherheit; Deutsche Fassung EN ISO 14956:2002.*

DIN ISO 9169, *Luftbeschaffenheit — Bestimmung von Verfahrenskenngrößen von Messverfahren; Deutsche Fassung ISO 9169:1994.*

Emissionen aus stationären Quellen — Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen — Teil 2: Automatische Messeinrichtungen

*Emissions de sources fixes — Détermination de la faible concentration en masse de poussières — Partie 2:
Systèmes automatiques de mesure*

*Stationary source emissions — Determination of low range mass concentration of dust — Part 2: Automated
measuring systems*

ICS:

Deskriptoren

Inhalt

Seite

Vorwort.....	4
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Grundlagen	7
5 Anforderungen an Verfahrenskenngrößen der AMS für die QAL 1	8
6 Einbauort der Staubmesseinrichtungen.....	9
7 QAL 2	10
7.1 Allgemeines	10
7.1.1 Kalibrierung unter Betriebsbedingungen	10
7.1.2 Kalibrierzeitraum	10
7.1.3 Wartung der AMS	10
7.2 Kalibrierung	11
7.2.1 Allgemeines	11
7.2.2 Automatische Aufzeichnung der Messsignale der Staubmesseinrichtung.....	11
7.3 Kalibrierfunktion der automatischen Staubmesseinrichtung	12
7.3.1 Allgemeines	12
7.3.2 Normale Kalibrierkurve und Bereich.....	12
7.3.3 Nullpunkt-Kalibrierkurve	13
7.3.4 Messungen außerhalb des Kalibrierbereiches	13
7.4 Kalibrierfunktion bei Auftreten halbflüchtiger partikelförmiger Stoffe	14
7.5 Berücksichtigung von Staubablagerungen im Entnahmesystem des SRM	14
7.6 Berechnung der Variabilität	15
7.7 Variabilitätsprüfung	15
7.8 Dokumentation der Ergebnisse der QAL 2.....	16
7.9 Nichtbestehen der Variabilitätsprüfung.....	17
8 Laufende Qualitätssicherung im Betrieb (QAL 3).....	17
9 Jährliche Funktionsprüfung (AST).....	17
9.1 Allgemeines	17
9.2 Vergleich mit SRM-Messungen.....	18
9.2.1 Kalibrierbereich	18
9.2.2 Messungen.....	18
9.2.3 Kalibrierung der AMS	19
9.2.4 Variabilitätsprüfung	19
9.2.5 Messinstitute zur Durchführung der Funktionsprüfung/Dokumentation.....	20
Anhang A (informativ) Grundlagen des Betriebs und häufig auftretende Probleme	21
A.1 Allgemeines	21
A.2 Optische Staubmesseinrichtungen.....	21
A.2.1 Allgemeines	21
A.2.2 Probleme bei optischen Staubmesseinrichtungen	21
A.3 Messung durch Betastrahlen-Absorption	26
A.3.1 Allgemeines	26
A.3.2 Nachweisgrenze	27
A.3.3 Grenzen des Verfahrens.....	27
A.4 Messung mit triboelektrischen Sensoren.....	28
A.4.1 Allgemeines	28
A.4.2 Kalibrierung	28

A.4.3	Verschmutzung	28
A.4.4	Probenahme	28
A.5	Messung mit Schwingelementen	28
A.6	Staubmessung in feuchten Abgasen.....	29
Anhang B (informativ) Beispiel für die Berechnung der Kalibrierfunktion und die Durchführung der Variabilitätsprüfung		30
B.1	Allgemeines	30
B.2	Prüfbedingungen	30
B.3	Kalibrierfunktion	32
B.4	Variabilitätsprüfung	34
Anhang C (informativ) Beispiel für die Berechnung der Kalibrierfunktion und die Durchführung der Variabilitätsprüfung mit den Ergebnissen von Messungen der WG 5 an Müllverbrennungsanlagen		35
Anhang D (informativ) Beispiel für den Einfluss halbflüchtiger Stoffe		40
Anhang E (informativ) Anzahl der Messpunkte für die Kalibrierung		47
E.1	Allgemeines	47
E.2	Statistischer Einfluss einer geringeren Anzahl von Messpunkten	47
E.3	Fehler in der Kalibrierung bei niedrigen Staubkonzentrationen.....	47
Anhang F (normativ) Laufende Qualitätssicherung im Betrieb (QAL 3)		48
F.1	Entwurf und Anwendung von CUSUM-Regelkarten für den Nachweis von Drift und für die Präzision	48
F.1.1	Allgemeines	48
F.1.2	Startwerte für die CUSUM-Regelkarten	48
F.1.3	Initialisierung des Berechnungsverfahrens.....	49
F.1.4	Berechnungsverfahren.....	50
F.1.5	Test für eine Abnahme der Präzision	51
F.1.6	Driftprüfung und notwendige Justierungen.....	51
F.2	Dokumentation der CUSUM-Regelkarten	51
Literaturhinweise		52

Vorwort

Dieses Dokument prEN 13284-2 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 264 „Luftbeschaffenheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, B, C oder D, der Bestandteil dieses Dokumentes ist.

Anhang F ist normativ. Anhänge A, B, C, D und E sind informativ.

Einleitung

Dieser Teil der EN 13284 beschreibt Verfahren für die Qualitätssicherung von automatischen Messeinrichtungen (AMS) zur Ermittlung von Staub in Abgasen. Sie dienen dem Nachweis der Einhaltung von festgelegten Anforderungen an die Unsicherheit von Messwerten. Entsprechende Festlegungen werden beispielsweise in EU-Richtlinien (2000/76/EC und 2001/80/EC) und in nationalen oder anderen Gesetzen getroffen.

Diese Norm steht in Übereinstimmung mit dem Grundlagendokument zur Qualitätssicherung automatischer Messeinrichtungen, die in prEN 14181 beschrieben wird. Diese Norm behandelt:

- Anforderungen an Verfahrenskenngrößen (QAL 1);
- Anforderungen an den Einbauort und die Kalibrierung automatischer Staubmesseinrichtungen;
- Anforderungen an die laufende Qualitätssicherung beim Betrieb (QAL 3) und an die jährliche Funktionsprüfung (AST);
- eine Beschreibung der wichtigsten Messprinzipie von Staubmesseinrichtungen sowie deren Vorteile, Nachteile und Verfahrenskenngrößen.

Die Kalibrierung und Validierung von automatischen Staubmesseinrichtungen erfolgt durch Vergleichsmessungen mit dem manuellen gravimetrischen Referenzmessverfahren nach EN 13284-1.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der EN 13284 legt Bedingungen und Kriterien für die Auswahl, Inbetriebnahme und Kalibrierung von automatischen Messeinrichtungen (AMS) fest, die zum Nachweis eingesetzt werden, dass die Emissionen einer Quelle Emissionsgrenzwerte unterhalb von 50 mg/m^3 (Normbedingungen) in geführten Abgasströmen einhalten.

Dieser Teil der EN 13284 ist anlagenspezifisch anwendbar durch direkten Vergleich mit dem manuellen Referenzmessverfahren nach EN 13284-1.

Dieser Teil der EN 13284 wurde insbesondere zur Ermittlung von Emissionen aus Müllverbrennungsanlagen entwickelt. Aus technischer Sicht kann er auch auf andere Prozesse angewandt werden. Diese Norm basiert auf dem allgemeinen Dokument zur Qualitätssicherung automatischer Messeinrichtungen (prEN 14181¹⁾) und muss zusammen mit diesem Dokument angewandt werden.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 13284-1, *Emissionen aus stationären Quellen — Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen – Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren*

prEN 14181, *Emissionen aus stationären Quellen — Qualitätssicherung für automatische Messeinrichtung*

EN 13005:1999, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

EN ISO 14956, *Luftbeschaffenheit — Beurteilung der Eignung eines Messverfahrens durch Vergleich mit einer geforderten Messunsicherheit*

ISO 9169, *Air quality — Definition and quantification of performance characteristics of measuring systems under predetermined and imposed test conditions*

ISO 5725:1994, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and result — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*

¹⁾ In Vorbereitung.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in EN 13284-1 und prEN 14181 festgelegten und die folgenden Begriffe.

3.1

Staub

Partikel jeder Form, Struktur oder Dichte, die bei den lokalen Probenahmebedingungen in der Gasphase dispergiert sind und unter festgelegten Bedingungen bei repräsentativer Probenahme des zu untersuchenden Gases durch die Filtration gesammelt werden und sich vor dem Filter ablagern und sich nach dem Trocknen unter festgelegten Bedingungen auf dem Filter befinden.

[EN 13284-1]

3.2

Bezugsbedingungen

Bezugswerte für den Druck und die Temperatur eines trockenen Abgases, wobei der Bezugsdruck 101,325 kPa beträgt und auf 101,3 kPa gerundet wird und die Bezugstemperatur 273,15 K beträgt und auf 273 K gerundet wird.

[EN 13284-1]

3.3

automatische Messeinrichtung (AMS)

Messeinrichtung, die ständig an der Anlage zwecks kontinuierlicher Überwachung installiert ist.

ANMERKUNG Eine AMS ist ein sekundäres Messverfahren, das auf ein Referenzverfahren rückführbar ist.

[prEN 14181]

3.4

Querempfindlichkeit

Reaktion der AMS auf Einflussgrößen, die nicht die Staubkonzentration sind.

BEISPIEL Querempfindlichkeiten können durch die Eigenschaften der Staubpartikel (einschließlich Größe, Material, elektrische Ladung, Form und Feuchtegehalt) oder Eigenschaften des Gases (einschließlich Geschwindigkeit und Gaszusammensetzung, Wasserdampf, Tröpfchen) hervorgerufen werden.

3.5

Referenzpunktanzeige

Geräteanzeige der AMS am Referenzpunkt bei Aufgabe eines entsprechenden Referenzmaterials.

[prEN 14181]

3.6

Nullpunktanzeige

Geräteanzeige der AMS am Nullpunkt bei Aufgabe eines entsprechenden Referenzmaterials.

[prEN 14181]

3.7

Referenzmaterial am Referenzpunkt

Simulation der Eingangsgröße, die von dem Gerät bei einer festen, erhöhten Staubkonzentration gemessen wird.

3.8

Referenzmaterial am Nullpunkt

Simulation der Eingangsgröße, die von dem Gerät bei der Staubkonzentration Null gemessen wird.

3.9

Linearität

Eigenschaft eines Messverfahrens, innerhalb bestimmter Grenzen ein Messsignal oder ein Ergebnis zu liefern, das proportional zu der zu bestimmenden Messgröße der Probe ist.

ANMERKUNG 1 Siehe prEN 14181, Anhang B.

ANMERKUNG 2 In Übereinstimmung mit ISO 9169 ist dies das Gegenteil von "lack of fit".

ANMERKUNG 3 Diese Proportionalität wird durch eine zuvor festgelegte mathematische Beziehung beschrieben.

ANMERKUNG 4 Die Grenzen der Linearität sind diejenigen Konzentrationsgrenzen im Experiment, zwischen denen das lineare Kalibriermodell für ein bekanntes Vertrauensniveau (im Allgemeinen 95 %) angewandt werden kann.

3.10

Nachweisgrenze

Wert der Messgröße, für den die Messeinrichtung mit festgelegter Wahrscheinlichkeit keinen Nullwert mehr anzeigt.

3.11

Reproduzierbarkeit

Maß für die Übereinstimmung zwischen zwei identischen Messeinrichtungen beim Vergleich im Feldtest. Quotient des Emissionsgrenzwertes und der aus Doppelbestimmungen ermittelten Messunsicherheit.

4 Grundlagen

Nach prEN 14181 werden drei verschiedene Stufen der Qualitätssicherung festgelegt, die im Folgenden als Qualitätssicherungsstufen (QAL) bezeichnet werden. Diese Stufen umfassen die Eignung einer AMS für die Messaufgabe (beispielsweise vor oder während der Beschaffung der AMS), die Validierung der AMS nach dem Einbau und die Kontrolle der AMS während des Betriebs an der industriellen Anlage. Weiterhin wird eine jährliche Funktionsprüfung (AST) festgelegt.

Die drei Qualitätssicherungsstufen und die jährliche Funktionsprüfung können wie folgt zusammengefasst werden:

— QAL 1: Ermittlung der Eignung der AMS und des Messverfahrens

In diesem Verfahren wird die Eignung der AMS und des Messverfahrens ermittelt, um die Übereinstimmung mit Anforderungen an die Unsicherheit der Messwerte zu überprüfen. Dies geschieht durch Ermittlung der Gesamtunsicherheit aus den Unsicherheitsbeiträgen, die durch die einzelnen Verfahrenskenngrößen hervorgerufen werden. Die Ermittlung der Eignung stellt für den Betreiber einer Anlage grundsätzlich sicher, dass eine AMS in der Lage ist, die Anforderungen einer festgelegten Unsicherheit zu erfüllen.

— QAL 2: Qualitätssicherung beim Einbau

Diese Stufe beschreibt die Verfahren zur Validierung und Kalibrierung einer AMS nach dem Einbau an einem industriellen Schornstein oder einer Abgasleitung. In der QAL 2 wird eine Anzahl von Vergleichsmessungen mit dem manuellen Standardreferenzmessverfahren (SRM) nach EN 13284-1 durchgeführt. Mit Hilfe der Ergebnisse dieser Vergleichsmessungen wird die Kalibrierfunktion der AMS aufgestellt und die Unsicherheit der mit der AMS ermittelten Messwerte durch Vergleich mit der festgelegten Unsicherheit bewertet.

— QAL 3: Laufende Qualitätssicherung beim Betrieb

Diese Stufe legt Verfahren fest, die den Nachweis ermöglichen, dass die AMS während des Betriebs im Regelbereich arbeitet und somit die festgelegte Unsicherheit einhält. Dies geschieht durch Auswertung der Ergebnisse von regelmäßigen Überprüfungen des Null- und Referenzpunktes der AMS. Abhängig vom Ergebnis dieser Ermittlungen kann eine Einstellung des Null- und Referenzpunktes oder eine Wartung der AMS notwendig sein.

— AST: Jährliche Funktionsprüfung

Während der jährlichen Funktionsprüfung wird die Gültigkeit der mit der AMS ermittelten Messwerte mit Hilfe einer Reihe von Funktionskontrollen sowie einer begrenzten Anzahl von Vergleichsmessungen mit einem geeigneten Standardreferenzmessverfahren (SRM) überprüft. In dieser Prüfung wird ermittelt, ob die Unsicherheit der mit der AMS ermittelten Messwerte – entsprechend der letzten Überprüfung in QAL2 – innerhalb der festgelegten Unsicherheit liegt. Weiterhin wird geprüft, ob die im Rahmen der zuletzt durchgeführten QAL2 ermittelte Kalibrierfunktion noch gültig ist.

5 Anforderungen an Verfahrenskenngrößen der AMS für die QAL 1

Der Lieferant muss zwei identische AMS bereitstellen, deren Eignung für die Messaufgabe unter Berücksichtigung des Messprinzips, der Zusammensetzung des Abgases und des Emissionsgrenzwertes (ELV) nachgewiesen wurde. Es ist nachzuweisen, dass die Gesamtmessunsicherheit der AMS die geforderte Messqualität einhält, die in Vorschriften festgelegt ist.

Um die in prEN 14181 festgelegten Anforderungen zu erfüllen, muss die Messeinrichtung mit einer Einrichtung zur Linearisierung der physikalischen Kalibrierfunktion ausgestattet sein, die ein zur Konzentration in Milligramm pro Kubikmeter proportionales Ausgangssignal liefert.

Die relevanten Verfahrenskenngrößen der AMS müssen in Eignungsprüfungen ermittelt werden, die nach ISO 9169 durchzuführen sind.

Diese Prüfungen werden gewöhnlich im Rahmen der Gerätezertifizierung oder Gerätezulassung durchgeführt. Die ausgelieferte AMS muss dieselben Kenngrößen besitzen wie das geprüfte Gerät. Die Prüfung umfasst getrennte Labor- und Windkanalprüfungen sowie einen dreimonatigen Feldtest mit einer typischen Anwendung des Geräts. Die Anforderungen an die Prüfergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 — Anforderungen an Verfahrenskenngrößen der AMS

LABOR- ODER WINDKANALPRÜFUNGEN	
Überprüfung des Null- und Referenzpunktes	muss vom Gerätehersteller dokumentiert und während QAL 1 bezüglich der Eignung für QAL 3 und AST bewertet werden
Automatische Kompensation der Null- und Referenzpunktdrift, falls vorhanden	muss vom Gerätehersteller dokumentiert und während QAL 1 bewertet werden; falls für QAL 3 geeignet, muss die Einhaltung der Anforderungen nach Abschnitt 8 nachgewiesen werden
Linearität	kleiner ± 4 % des Emissionsgrenzwertes; Überprüfung mit Prüfstandards (ebenfalls anzuwenden in QAL 3)
Nachweisgrenze	kleiner 2 % des Emissionsgrenzwertes ANMERKUNG Die Nachweisgrenze kann zur Quantifizierung von Emissionen weit unterhalb des Emissionsgrenzwertes notwendig sein
Physikalische Umgebungsbedingungen wie: — Temperatur — Stromversorgung — Beleuchtung — optische Ausrichtung — Vibrationen — Druck	der einzelne oder kombinierte Einfluss muss im Rahmen der vom Gerätehersteller festgelegten Variationen weniger als 2 % des Emissionsgrenzwertes betragen; muss vom Gerätehersteller dokumentiert und während QAL 1 überprüft werden

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Querempfindlichkeit (Anwendungsbedingungen) wie: — Umgebungslicht — Partikelzusammensetzung — Partikelgröße — Partikelform — Geschwindigkeit — elektrische Ladung — gasförmige Komponenten einschließlich Wasserdampf — Tröpfchen	muss vom Gerätehersteller dokumentiert und während QAL 1 überprüft werden
FELDTTEST (3 Monate)	
Reaktion auf Staub	muss die Variabilitätsprüfung in einem Bereich bestehen, der gleich dem zweifachen Emissionsgrenzwert ist
Reproduzierbarkeit für zwei parallel betriebene identische Geräte	größer 30; muss vom Gerätehersteller dokumentiert und während QAL 1 überprüft werden
Null- und Referenzpunktdrift	zu jeder Zeit kleiner 3 % des Emissionsgrenzwertes; ebenfalls in QAL 3 anzuwenden
Verfügbarkeit und Wartungsintervall	muss vom Gerätehersteller dokumentiert und während QAL 1 überprüft werden

ANMERKUNG Es kann interessant sein, die AMS aus rein informativen Gründen mit einer alternativen AMS während des Feldtests zu vergleichen.

Für den Fall, dass die AMS nicht die geforderte Messqualität erreicht, dürfen QAL 2 oder QAL 3 nicht durchgeführt werden.

6 Einbauort der Staubmesseinrichtungen

Staubmesseinrichtungen müssen so eingebaut werden, dass die gemessene Gasprobe repräsentativ für den Staubgehalt ist.

ANMERKUNG Der Einbauort sollte entsprechend den Empfehlungen des Herstellers gewählt werden. Er kann vom Messprinzip der AMS abhängen.

Die AMS muss so eingebaut werden, dass eine minimale Beeinflussung durch das SRM und umgekehrt gegeben ist.

Die Messbühne(n) müssen:

- einen einfachen und sicheren Zugang zur AMS erlauben, damit regelmäßige Kontrollen und die Durchführung der Qualitätssicherungsmaßnahmen möglich sind;
- den Anforderungen der EN 13284-1 Anhang A bezüglich des manuellen gravimetrischen Verfahrens entsprechen.

7 QAL 2

7.1 Allgemeines

7.1.1 Kalibrierung unter Betriebsbedingungen

Um sicherzustellen, dass die Kalibrierfunktion unter allen Bedingungen des Anlagenbetriebs gültig ist, muss die Konzentration bei der Kalibrierung innerhalb der normalen Betriebsbedingungen der Anlage so weit wie möglich variiert werden. Die Staubkonzentration darf während der Kalibrierung nicht durch Eingriffe in den Anlagenbetrieb, beispielsweise durch Reduzierung des Wirkungsgrades der Abgasreinigung, erhöht werden, es sei denn, während QAL 1 wurde nachgewiesen, dass die AMS unabhängig von der Partikelbeschaffenheit und den Betriebsbedingungen ist, die verändert würden.

ANMERKUNG 1 Falls die Partikelbeschaffenheit (Größe etc.) die Kalibrierung sehr stark beeinflusst, sollte die Konzentration des Staubes während der Kalibrierung nicht verändert werden, beispielsweise durch Zuschaltung (oder Weiterverwendung) eines defekten Filters oder durch Reduzierung des Stroms des elektrostatischen Filters oder durch Öffnung eines Bypass am Filter, falls diese Einrichtungen existieren. Da die mittlere Partikelgröße durch eine solche Vorgehensweise um einen Faktor Fünf bis Zehn vergrößert wird, sind auch die Werte der ermittelten Kalibrierfunktion fünf- bis zehnmals größer. Dies hat zur Folge, dass auch die mitgeteilten Emissionen der Anlage fünf- bis zehnmals höher sind als die wahren Werte (siehe Anhang C).

Falls eindeutige und unterschiedliche Betriebszustände zu den normalen Betriebsbedingungen der Anlage gehören, beispielsweise Änderungen des Brennstoffs, kann es notwendig sein, für jeden Betriebszustand eine Kalibrierung (und eine Aufstellung der Kalibrierfunktion) durchzuführen. In diesem Fall muss die Messeinrichtung eine Möglichkeit zur Änderung der Kalibrierfunktion besitzen, entweder im Gerät selbst, oder im nachgeschalteten Auswertesystem. Für jede Kalibrierfunktion (für jeden Betriebszustand) muss die Variabilitätsprüfung nach Anhang 7.3 durchgeführt werden.

ANMERKUNG 2 Es wird eine Vorprüfung empfohlen, mit der die Möglichkeit einer vollständigen Kalibrierung über den gesamten Konzentrationsbereich überprüft wird. Anderenfalls kann ein Experte auf der Basis seiner Erfahrung beurteilen, ob eine einzige Kalibrierung die normalen Änderungen in den Betriebsbedingungen abzudecken vermag.

Die mit dem SRM ermittelten Ergebnisse müssen für dieselben Bedingungen angegeben werden, wie die unkorrigierten Ergebnisse, die mit der AMS erzielt wurden.

Umrechnungen von Konzentrationswerten unter Betriebsbedingungen nach Bezugsbedingungen, einschließlich der Umrechnung auf Bezugssauerstoff, dürfen in der Messeinrichtung durchgeführt werden. Die Kalibrierung muss jedoch immer ohne Korrektur hinsichtlich der Betriebsbedingungen erfolgen.

Die Probenahme mit der SRM sollte für jede Probe während einer Zeitdauer erfolgen, in der die Betriebsbedingungen der Anlage so konstant wie möglich sind.

7.1.2 Kalibrierzeitraum

Für jede Staubmesseinrichtung muss ein vollständiger QAL 2 nach der bestehenden Gesetzeslage (z. B. 3 bis 5 Jahre) oder, falls früher, nach größeren Änderungen im Anlagenbetrieb oder größeren Änderungen an der Staubmesseinrichtung (z. B. Einbau an einem anderen Messpunkt oder Wechsel des Analysators) durchgeführt werden.

Dieser QAL 2 muss innerhalb von 6 Monaten nach den Änderungen durchgeführt und mitgeteilt werden.

7.1.3 Wartung der AMS

Die Staubmesseinrichtung muss direkt vor jeder Kalibrierung nach den Empfehlungen des Herstellers gewartet werden.

Es wird empfohlen, den Bericht über die Wartung dem Kalibrierbericht als Anhang beizufügen.

7.2 Kalibrierung

7.2.1 Allgemeines

Das verwendete Standardreferenzmessverfahren (SRM) muss den Anforderungen der EN 13284-1 genügen. Die Messungen zur Aufstellung der Kalibrierfunktion sollten durch Messinstitute bzw. Prüflaboratorien durchgeführt werden, die von einer nationalen Akkreditierungsstelle für Staubmessungen akkreditiert sind. Wenn weiterhin eine Spülung zur Ermittlung von Ablagerungen im Probenahmesystem vor dem Filter (siehe 8.5 und 10.5 der EN 13284-1) notwendig ist, muss die Spülung nach jeder Messung (SRM-Ergebnis und AMS-Geräteanzeige) erfolgen und nicht erst nach jeder Messreihe, wie in EN 13284-1 festgelegt.

Die Berechnung der Kalibrierfunktion muss auf mindestens 15 gültigen Messungen beruhen, die auf mindestens drei Tage und auf die Messtage, normalerweise 8 bis 10 h, in der Weise verteilt werden, dass die mindestens 15 gültigen Messungen den erzielten Kalibrierbereich gleichmäßig überdecken.

Falls alle Messungen kleiner als 30 % des Emissionsgrenzwertes sind, darf die Anzahl der Messungen reduziert werden. Sie darf jedoch nicht weniger als 5 Messungen betragen, die über 3 Tage verteilt sind, wobei die gesamte Probenahmedauer 7 h und 30 min betragen muss (dies entspricht 15mal 30 min; siehe Anhang E).

Gültige Kalibrierpunkte dürfen keine Geräteanzeige der AMS beinhalten, die größer oder gleich 100 % sind oder während interner Prüfzyklen oder aufgetretenen Gerätestörungen ermittelt wurden. Ein Messdatensatz (SRM-Ergebnisse und AMS-Geräteanzeigen) darf nur verwendet werden, wenn die Dauer der gültigen Kalibrierpunkte 90 % der Sammelzeit der SRM überschreitet.

Die Berechnungen der Kalibrierfunktion und der Variabilitätsprüfung müssen nach 7.6 durchgeführt werden.

7.2.2 Automatische Aufzeichnung der Messsignale der Staubmesseinrichtung

7.2.2.1 Allgemeines

Während der extraktiven Probenahme aus dem Abgasstrom muss das Signal der automatischen Staubmesseinrichtung automatisch aufgezeichnet werden. Diese Daten müssen über dieselbe Zeitdauer gemittelt werden, in der die extraktive Probenahme erfolgte.

Die zeitliche Abweichung zwischen dem Beginn und Ende der Aufzeichnung der Messsignale der automatischen Staubmesseinrichtung und dem Beginn und Ende der extraktiven Probenahme aus dem Gasstrom darf nicht mehr als 30 s betragen.

Die automatische Staubmesseinrichtung darf so aufgebaut sein, dass die Daten digital (z. B. mittels RS 232) mit zeitlicher Kennzeichnung in einen Computer übertragen werden, um später gemittelt und zur Berechnung der Kalibrierfunktion verwendet zu werden.

Die Dauer der Datenaufzeichnung und die Mittelungszeiten müssen im Messbericht explizit angegeben werden.

Die Aufzeichnung der Signale der automatischen Staubmesseinrichtung muss elektronisch erfolgen, um eine genaue Mittelung sicherzustellen.

Die automatische Staubmesseinrichtung muss ein ausreichend großes elektrisches Signal liefern, um die Signale mit ausreichender Genauigkeit aufzeichnen zu können. Falls Analogsignale verwendet werden, gilt diese Anforderung als erfüllt, wenn die Mehrzahl der Messsignale bei der Kalibrierung zwischen 30 % und 80 % des Vollausschlags liegen.

Die AMS sollte in einem geeigneten Messbereich betrieben werden, damit die Messwerte mindestens gleich der doppelten Nachweisgrenze sind oder die analogen Messsignale mindesten 5 % des Vollausschlags betragen.

Falls nachgewiesen wurde, dass sich die Kalibrierkurven bei Umschaltung der Messbereiche der AMS nicht ändern, darf in einem Messbereich kalibriert und das Ergebnis anschließend in einem anderen Bereich verwendet werden. Auf diese Überprüfung und auf das Ergebnis muss im Wartungsprotokoll deutlich hingewiesen werden. Das Wartungsprotokoll muss in diesem Fall Bestandteil des Kalibrierberichts sein.

Es sind Maßnahmen zu ergreifen, die eine geräteinterne Überprüfung der AMS während der extraktiven Staubprobenahme verhindern.

7.2.2.2 Kontinuierlich arbeitende AMS

Die geräteinterne Mittelungszeit der AMS darf bei der Kalibrierung 1 min nicht überschreiten. Falls die Daten durch die Probenahme aufgezeichnet werden, muss die geräteinterne Mittelungszeit der AMS mindestens das Doppelte der Zeitdauer zwischen den Probenahmen betragen.

7.2.2.3 Diskontinuierlich arbeitende AMS

Diskontinuierlich arbeitende AMS besitzen einen Gesamtmesszyklus t_{cycle} und eine Probenahmedauer t_{sample} . Das Verhältnis $t_{\text{sample}}/t_{\text{cycle}}$ sollte in Übereinstimmung mit dem Messdatensatz nach Abschnitt 7.2.1 größer 90 % sein.

Das Verhältnis $t_{\text{sample}}/t_{\text{cycle}}$ kann kleiner 90 % sein bei Anwendungen ohne erhebliche und schnelle Änderung der Werte der Staubkonzentration. Diese Gegebenheiten müssen beurteilt und von einem Experten gebilligt werden. Die Variabilitätsprüfung muss ebenfalls gebilligt werden, oder nicht, falls eine diskontinuierlich arbeitende AMS verwendet werden kann.

Die Vergleichsmessungen mit dem SRM müssen zu Beginn eines neuen Gesamtmesszyklus der AMS gestartet werden. Sie müssen die Anzahl der Messzyklen vollständig überdecken.

Es ist weiterhin wichtig, dass die AMS bei der Kalibrierung unter normalen Betriebsbedingungen eingesetzt wird. Die gesamte Dauer eines Messzyklus und die Probenahmedauer dürfen nicht verändert werden.

7.3 Kalibrierfunktion der automatischen Staubmesseinrichtung

7.3.1 Allgemeines

Der Anwender hat die Wahl zwischen der Verwendung einer normalen Kalibrierkurve (siehe Abschnitt 7.3.2) oder der Verwendung einer Nullpunkt-Kalibrierkurve (siehe Abschnitt 7.3.3), vorausgesetzt, die Bedingungen der Variabilitätsprüfung werden eingehalten.

7.3.2 Normale Kalibrierkurve und Bereich

Die Kalibrierfunktion wird im Allgemeinen durch lineare Regression der Messdaten ermittelt und nach Gleichung (1) dargestellt:

$$\hat{y} = \alpha + \beta \hat{x} \quad (1)$$

Dabei ist

$\hat{y}$ der kalibrierte Wert der automatischen Staubmesseinrichtung in Milligramm pro Kubikmeter, unter Verwendung des Messsignals der Staubmesseinrichtung

x das Ausgangssignal der AMS (analog oder digital)

α, β eine Konstante

Jedes Messergebnis der automatischen Staubmesseinrichtung muss mit Hilfe der obigen Kalibrierfunktion in einen kalibrierten Wert $\hat{y}$ umgerechnet werden.

ANMERKUNG $\hat{y}$ ist das kalibrierte Ergebnis der automatischen Staubmesseinrichtung. Nach EU-Richtlinien sollte die geforderte Unsicherheit vor dem Vergleich mit dem Emissionsgrenzwert von diesem Ergebnis abgezogen werden. Diese Vorgehensweise liegt außerhalb des Anwendungsbereiches dieser Norm. Das kalibrierte Ergebnis $\hat{y}$ der automatischen Staubmesseinrichtung wird ohne Subtraktion der geforderten Unsicherheit verwendet.

Die Kalibrierfunktion ist nur gültig, wenn die Anlage innerhalb eines Bereiches zwischen der kleinsten und größten mit dem SRM bei der Kalibrierung gemessenen Konzentration zuzüglich einer Erweiterung von 10 % dieses Bereiches oberhalb des höchsten und unterhalb des kleinsten Wertes betrieben wird.

Der Kalibrierbereich darf auf den Bereich zwischen dem niedrigsten und höchsten Konzentrationswert, der mit dem SRM während der AST gemessen wurde, zuzüglich einer Erweiterung von 10 % dieses Bereiches oberhalb des höchsten und unterhalb des kleinsten Wertes erweitert werden.

Wenn der Kalibrierbereich kleiner als die in den relevanten EU-Richtlinien erlaubte Messunsicherheit (z. B. 30 % des mittleren Emissionsgrenzwertes) ist, wird der Kalibrierbereich erweitert auf den Bereich zwischen Null und dem Wert dieser Unsicherheit.

7.3.3 Nullpunkt-Kalibrierkurve

Der Kalibrierbereich ist der Bereich zwischen Null und $\hat{y}_{\max}$ plus 10 % von $\hat{y}_{\max}$. Die Kalibrierfunktion darf als Gerade zwischen dem Nullpunkt dem Schwerpunkt der Messpunkte festgelegt werden.

Dieses Verfahren darf nur angewandt werden, wenn die letzte Wartung der automatischen Staubmesseinrichtung nicht mehr als drei Wochen zurück liegt und der Null- und Referenzpunkt sowie die Linearität überprüft und diese Überprüfung im Wartungsbericht dokumentiert wurden. In diesem Fall muss der Wartungsbericht Bestandteil des Kalibrierberichtes sein.

Wenn der Kalibrierbereich kleiner als die in den relevanten EU-Richtlinien erlaubte Messunsicherheit (z. B. 30 % des mittleren Emissionsgrenzwertes) ist, wird der Kalibrierbereich erweitert auf den Bereich zwischen Null und dem Wert dieser Unsicherheit.

7.3.4 Messungen außerhalb des Kalibrierbereiches

Bei Messungen außerhalb des Kalibrierbereiches muss die Kalibrierfunktion zur Dokumentation der Überschreitung des Kalibrierbereiches extrapoliert werden.

Wenn der Messwert der kalibrierten automatischen Staubmesseinrichtung außerhalb des festgelegten Kalibrierbereiches liegt, muss eine neue Kalibrierfunktion mit Hilfe von Vergleichsmessungen aufgestellt werden.

ANMERKUNG Bei der Berechnung der Kalibrierfunktion sollten keine Daten aus früheren Kalibrierungen verwendet werden.

Die Gültigkeit der mit der AMS ermittelten Messwerte ist durch den Anlagenbetreiber wöchentlich zu überprüfen (Montag bis Sonntag). Eine vollständig neue Kalibrierung (QAL 2) ist innerhalb von sechs Monaten durchzuführen, mitzuteilen und umzusetzen, wenn eines der folgenden Ereignisse eintritt:

- mehr als 5 % der Anzahl der Messwerte der AMS, die innerhalb dieser Woche berechnet werden (bezogen auf kalibrierte Werte und in den selben Einheiten der Kalibrierung), liegen zwischen zwei AST für mehr als fünf Wochen außerhalb des gültigen Kalibrierbereiches.
- mehr als 40 % der Anzahl der Messwerte der AMS, die innerhalb dieser Woche berechnet werden (bezogen auf kalibrierte Werte und in den selben Einheiten der Kalibrierung), liegen für eine oder mehr Wochen außerhalb des gültigen Kalibrierbereiches.

Falls ein Anlagenbetreiber die Anlage oberhalb des gültigen Kalibrierbereiches jedoch unterhalb von 50 % des ELV betreibt, kann die zuständige Behörde der Anlage eine AST anstelle einer QAL2 erlauben. Falls in der AST nachgewiesen wird, dass die bestehende Kalibrierfunktion jenseits des Kalibrierbereiches gültig ist, kann die zuständige Behörde der Anlage die Erweiterung des Kalibrierbereiches bis zu den während der AST gemessenen Konzentrationen erlauben (jedoch nur maximal bis zu 50 % des ELV).

Die vorherige Kalibrierfunktion darf bis zur Umsetzung der neuen Kalibrierfunktion verwendet werden.

7.4 Kalibrierfunktion bei Auftreten halbflüchtiger partikelförmiger Stoffe

In EN 13284-1 Abschnitt 9 wird darauf hingewiesen, dass gasförmige Emissionen bei manchen Prozessen halbflüchtige Komponenten (d. h. Stoffe, die bei niedrigen Temperaturen partikelförmig und bei höheren Temperaturen gasförmig vorliegen) beinhalten können. In solchen Fällen hängt die gemessene Staubkonzentration von der Temperatur ab. Es wurden Unterschiede bis zu einem Faktor 10 ermittelt. Dies kann einen störenden Einfluss auf die Kalibrierung haben, wenn die Probenahmetemperatur der AMS (d. h. die Abgastemperatur im Kanal bei In-situ-Messverfahren) von der für das SRM per Konvention festgelegten Temperatur, die gewöhnlich 160 °C beträgt, abweicht. Wenn die Kalibrierfunktion die Variabilitätsprüfung auf Grund dieses Einflusses nicht besteht, dürfen in Übereinstimmung mit EN 13284-1 andere Festlegungen für die Temperatur der SRM-Messung getroffen werden. Dies ist im Messbericht zu dokumentieren.

Wenn die Gastemperatur an der Probenahmestelle kleiner oder gleich 110 °C beträgt, besteht durch folgende Vorgehensweise eine effektive Möglichkeit zur Erkennung und Berücksichtigung des Einflusses halbflüchtiger Stoffe:

- die für das SRM per Konvention festgelegte Temperatur ist auf 120 °C einzustellen (d. h. die Filtrationstemperatur und die Trocknungstemperatur);
- der gesammelte Staub ist anschließend erneut bei 160 °C zu trocknen und erneut zu wiegen;
- die beiden Kalibrierfunktionen und die entsprechenden Variabilitätsprüfungen sind zu vergleichen.

Falls die für die Trocknungstemperatur von 160 °C ermittelte Kalibrierfunktion die Variabilitätsprüfung nicht besteht, darf die Kalibrierfunktion der niedrigeren Trocknungstemperatur verwendet werden. Dies ist im Messbericht zu dokumentieren.

Falls keine der beiden Kalibrierfunktionen die Variabilitätsprüfung besteht, hat die Kalibrierung die Qualitätsprüfung ebenfalls nicht bestanden. Die Kalibrierung ist in diesem Fall zu verwerfen.

Beispiele sind in Anhang D dargestellt.

7.5 Berücksichtigung von Staubablagerungen im Entnahmesystem des SRM

Im Rahmen von Validierungsmessungen bei der Erarbeitung dieser Norm wurde festgestellt, dass bis zu 50 % des insgesamt auf dem Rückhaltesystem gesammelten Staubes in der Entnahmesonde und den Rohren vor dem Filter verloren gehen können.

Wenn eine isokinetische manuelle gravimetrische Staubmessung nach EN 13284-1 zur Kalibrierung einer automatischen Staubmesseinrichtung durchgeführt wird, muss bei jedem Filterwechsel eine Spülung der Entnahmerohre nach EN 13284-1 durchgeführt werden. Der bei der Spülung gesammelte Staub muss getrocknet, gewogen und anschließend zu der Staubmasse addiert werden, die auf dem Filter gesammelt wurde.

Im Messbericht sind separat für jeden Filter sowohl die auf dem Filter gesammelte Staubmasse als auch die bei der Spülung des Entnahmesystems gesammelte Staubmasse anzugeben.

7.6 Berechnung der Variabilität

Abhängig vom Anlagenprozess können Vorschriften die Einhaltung einer maximalen Unsicherheit der AMS-Messung fordern. Bei Müllverbrennungsanlagen fordert die EU-Richtlinie, dass die Unsicherheit der Messwerte der automatischen Staubmesseinrichtung am Emissionsgrenzwert der Konzentration auf einem Vertrauensniveau von 95 % kleiner 30 % sein muss.

Die Umrechnung erfolgt mit Hilfe von Gleichung (2):

$$\sigma_0 = \frac{p E}{1,96} \quad (2)$$

Dabei ist

σ_0 die erlaubte maximale Standardabweichung der Kalibrierfunktion der AMS

E der Emissionsgrenzwert (ELV) bezogen auf ein Jahr

p gleich 0,30, die in der entsprechenden EU-Richtlinie festgelegte Unsicherheit

Alle Daten müssen zum Vergleich mit dem Emissionsgrenzwert auf Bezugsbedingungen umgerechnet werden. Die Variabilitätsprüfung muss bei diesen Bedingungen erfüllt werden.

Die Variabilitätsprüfung wird auf der Basis von Messwerten (kalibrierten Werten) der AMS durchgeführt. Daher ist für jede Vergleichsmessung der Messwert $\hat{y}_i$ der AMS unter Verwendung der Kalibrierfunktion zu berechnen (siehe Abschnitt 7.4).

Für jeden zu einer Kalibrierung gehörenden Datensatz von mindestens fünfzehn Wertepaaren sind die folgenden Größen zu berechnen:

$$D_i = y_i - \hat{y}_i \quad (3)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i \quad (4)$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2} \quad (5)$$

Da die Prüfung mit kalibrierten AMS-Werten durchgeführt wird, beträgt der Wert von $\bar{D}$ Null. Die Berechnung von σ_D vereinfacht sich dann zu:

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N D_i^2} \quad (6)$$

7.7 Variabilitätsprüfung

Die AMS besteht die Variabilitätsprüfung, wenn gilt:

$$\sigma_D \leq \sigma_0 k_v \quad (7)$$

Die für eine unterschiedliche Anzahl von Vergleichsmessungen zu verwendenden Werte für k_v sind in Tabelle 2 angegeben.