

**INSTITUT FÜR UMWELTSCHUTZ
UND ENERGIETECHNIK**



DAP-P-02.544-04-95-01

Bericht über die Ergänzungsprüfung des Staub-
meßgerätes PFM 97 W der Firma Dr. Födisch
Umweltmeßtechnik GmbH, Kulkwitz

TÜV-Bericht: 936/808005/C

Köln, den 10.04.2000

Das Institut im Internet



www.umwelt-tuv.de

Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes bedarf der schriftlichen Genehmigung.

**TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH,
Abteilung Immissionsschutz / Luftreinhaltung**

D - 51105 Köln, Am Grauen Stein 1, Tel.-Nr.: 0221/806-2756, Fax-Nr.: 0221/806-1349

KURZFASSUNG

Im Auftrag der Firma Dr. Födisch Umweltmeßtechnik GmbH führte die TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH eine Ergänzungsprüfung der Emissionsmeßeinrichtung PFM 97 W für die Meßkomponenten Staub und Volumenstrom entsprechend den Richtlinien für kontinuierliche Emissionsmessungen [1] durch. Zur Messung des Staubgehaltes im Abgas wird der triboelektrische Effekt genutzt. Zur Volumenstrombestimmung wird eine Staudrucksonde eingesetzt.

Es handelt sich hier um die Ergänzungsprüfung der bereits bekanntgegebenen Meßeinrichtung PFM 97 (TÜV Rheinland-Bericht 936/808005/B vom 14.08.1998). Die Untersuchungen erfolgten im Windkanal sowie im Rahmen eines mehr als fünfmonatigen Dauerstandsversuchs im Abgas einer industriellen Reststoffverbrennungsanlage. Die Ergänzungsprüfung war notwendig geworden wegen verschiedener Optimierungsmaßnahmen in Bezug auf einen kleineren Meßbereich für Staub sowie Änderungen an der Staudrucksonde.

Zur Festlegung des Meßbereiches des PFM 97 W für Staub müssen bestimmte Koeffizienten durch die anlagenspezifische Kalibrierung ermittelt werden. Im vorliegenden Fall betragen die geprüften Meßbereiche:

0 bis 15 mg/m³ Staub und 0 bis 25 m/s Abgasgeschwindigkeit.

Bei der Ergänzungsprüfung wurden die Bedingungen der Mindestanforderungen erfüllt. Seitens der TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH wird daher eine Veröffentlichung als eignungsgeprüfte Meßeinrichtung zur laufenden Aufzeichnung der Emissionen von Staub (Massenkonzentration) vorgeschlagen.

Die TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, Meßstelle für Luftreinhaltung,

ist für die Arbeitsgebiete:

- Untersuchung der Emissionen und Immissionen von Luftverunreinigungen und Geruchsstoffen;
- Überprüfung des ordnungsgemäßen Einbaus und der Funktion sowie Kalibrierung kontinuierlich arbeitender Emissionsmeßgeräte einschließlich Systemen zur Datenauswertung und Emissionsfernüberwachung;
- Eignungsprüfung von Meßeinrichtungen zur kontinuierlichen Überwachung der Emissionen und Immissionen sowie von elektronischen Systemen zur Datenauswertung und Emissionsfernüberwachung

nach DIN EN 45.001 und DIN EN ISO 9002 akkreditiert.

Die Akkreditierung ist gültig bis 13-12-2000.

DAR-Registriernummer: DAP-P-02.544-04-95-01.

INHALTSVERZEICHNIS

I Aufgabenstellung	1
II Beschreibung der Meßeinrichtung	1
II.1 Meßprinzip	1
II.2 Aufbau der Meßeinrichtung	1
III Prüfprogramm	5
III.1 Laborprüfung	5
III.2 Feldtest	6
III.3 Referenzmeßverfahren	7
III.3.1 [Vol] Meßverfahren für die Vergleichsmessungen	7
III.3.2 [Staub] Meßverfahren für die Vergleichsmessungen	8
IV Prüfergebnisse	8
IV.1 Mindestanforderungen an kontinuierliche Emissionsmeßeinrichtungen bei der Eignungsprüfung	8
IV.1.1 Allgemeines	8
IV.1.2 Staubförmige Emissionen	8
IV.1.3 Gasförmige Emissionen	8
IV.1.4 Messung von Bezugsgrößen	8
V Empfehlungen zum Praxiseinsatz	8
V.1 Arbeiten im Wartungsintervall	8
V.2 Funktionsprüfung und Kalibrierung	8
VI Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse	8
VII Bekanntgabevorschlag	8
VIII Literaturverzeichnis	8
IX Anlagen	8

I Aufgabenstellung

Im Auftrag der Firma Dr. Födisch Umweltmeßtechnik GmbH, wurde von der TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH die Ergänzungsprüfung entsprechend den Richtlinien für kontinuierliche Emissionsmessungen für die Meßeinrichtung PFM 97 W vorgenommen.

Die Meßeinrichtung ist ein triboelektrischer Staubsensor mit einer integrierten Volumenstrommeßeinrichtung. Der Einsatzbereich des Meßsystems umfaßt die Staubgehaltsbestimmung in überhitzten Gasen hinter filternden und mechanischen Abscheidern. Es wurden die Meßbereiche 0 bis 15 mg/m³ (Staub) und 0 bis 25 m/s (Abgasgeschwindigkeit) geprüft.

Die Ergänzungsprüfung erfolgte aufgrund von Optimierungsmaßnahmen (z.B.: verbesserte Nullpunktkontrolle) an der Meßeinrichtung zur Erfüllung der Anforderungen für den kleineren Meßbereich für die Meßkomponente Staub, zur Einführung einer modifizierten Bauform der Staudrucksonde sowie der Meßfühler und zur Einführung eines zusätzlichen Drucktransmitters.

Darüber hinaus sollte ein verbesserter Auswertalgorithmus geprüft und in die eignungsgeprüfte Version übernommen werden.

Für einzelne Prüfpunkte wurde auf Prüfergebnisse der Vorprüfungen /2; 3/ zurückgegriffen. Tabellen, die aus diesen Berichten übernommen wurden sind grau unterlegt. Übernommene Abbildungen sind in der Bildunterschrift entsprechend gekennzeichnet.

II Beschreibung der Meßeinrichtung

II.1 Meßprinzip

Das Prinzip des Meßgerätes PFM 97 W beruht auf dem triboelektrischen Meßverfahren. Auf die Sonde auftreffende Staubpartikel geben durch Kollision oder dichtes Passieren sehr kleine elektrische Ladungen an die Sonde ab, die in Form eines Stromes abgeleitet und gemessen werden können. Die Stromstärken liegen bei Staubkonzentrationen zwischen 1 .. 100 mg/m³ im Bereich weniger pA. Die Größe des Stromsignals ist von einer Reihe von Einflußfaktoren wie Gasgeschwindigkeit, Partikeleigenschaften, wirksamer Sondenfläche und mittlerer Teilchendurchmesser abhängig. Unter bestimmten Randbedingungen besteht zwischen dem Staubgehalt und dem Ausgangssignal ein linearer Zusammenhang.

Um die prinzipbedingte Geschwindigkeitsabhängigkeit des Meßsignals kompensieren zu können, ist das Meßsystem mit einer Staudrucksonde zur Geschwindigkeitsmessung ausgerüstet. Die formelmäßigen Zusammenhänge finden sich in Abschnitt V.2. Darüber hinaus gehört auch eine Abgastemperaturmessung zur geprüften Ausstattung des Meßsystems.

II.2 Aufbau der Meßeinrichtung

Die Abbildung 1 zeigt eine Darstellung der Staubmeßsonde mit den beiden triboelektrischen Sensoren b einschließlich der dazwischen angebrachten Staudrucksonde a. Abbildung 2 zeigt das Bedienteil des Meßinstruments.

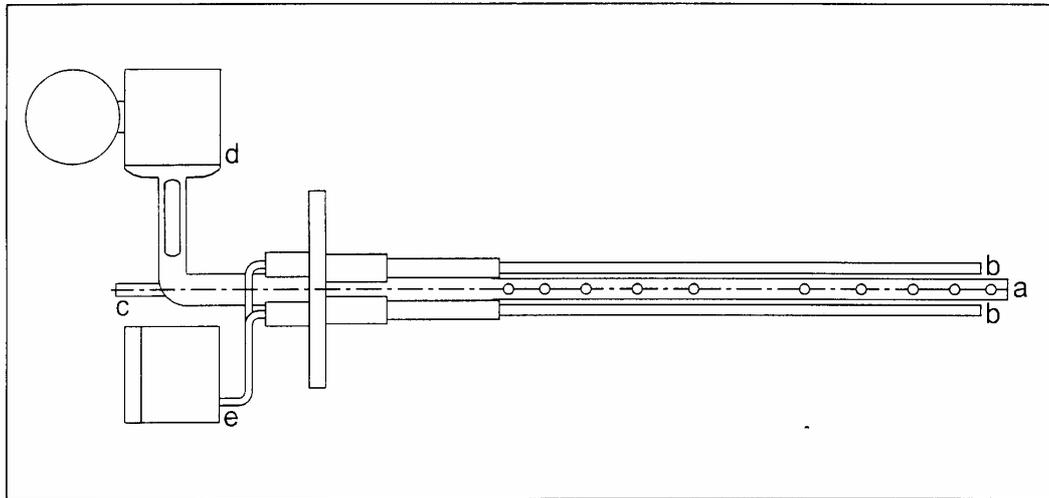


Abbildung 1: Seitenansicht der Meßeinrichtung PFM 97 W

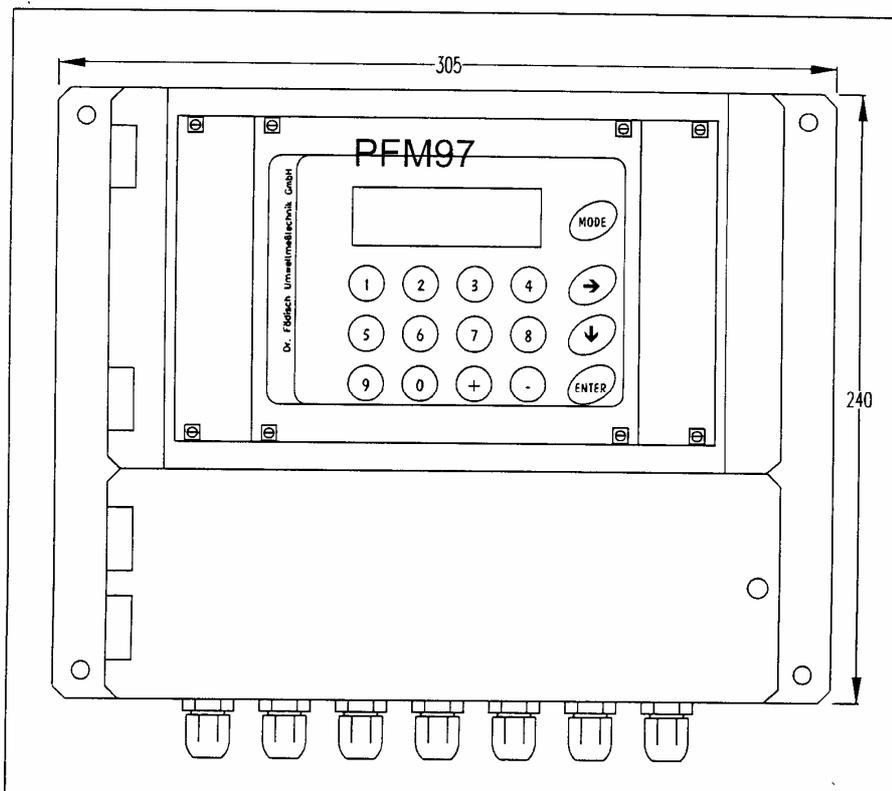


Abbildung 2: Bedienteil der Meßeinrichtung PFM 97 W

Beschreibung der automatischen Nullpunkt- und Referenzpunktkontrolle

Das Gerät PFM 97 W durchläuft alle 4 Stunden einen Nullpunkt- und Referenzpunktzyklus. Parallel dazu wird jede Minute der Nullpunkt elektronisch geprüft und gegebenenfalls nachgeführt. Wird der Regelbereich von 4 bzw. 6 % bezogen auf den Anzeigebereich verglichen mit der letzten Nullrohrjuz-

- Differenzdruckaufnehmer

Die Meßeinrichtung PFM 97 / PFM 97 W wurde mit den Drucktransmittern

- Smar LD 301 und
- Siemens Sitrans P 7MF44201 BA 20 - 1BA1 - Z

geprüft. Einzelheiten zu den entsprechenden Prüfungen sind im Berichtsteil über die Volu-
menstrommeßeinrichtung dargestellt.

III Prüfprogramm

Das Prüfprogramm für die vorliegende Ergänzungsprüfung wurde auf die an dem Gerät durchgeführ-
ten Veränderungen zur eignungsgeprüften Version abgestimmt. Die wichtigsten Änderungen, die
diese Ergänzungsprüfung erforderlich machten waren:

- Einführung einer neuen, in der äußeren Form leicht modifizierten Staudrucksonde,
- Einführung eines weiteren einsetzbaren Drucktransmitters für die Volumenstrommeßeinrichtung
(bereits in einer anderen Sonde eignungsgeprüft /3/),
- Einführung einer leicht modifizierten Sondenform für die Staubmeßsensoren,
- Optimierungsmaßnahmen an einzelnen elektronischen Bauteilen,
- Einführung eines optimierten Auswertalgorithmus für die Kalibrierung der Staubmeßeinrichtung,
- Einführung einer optimierten automatischen Nullpunktkontrolle.

Ziel der Untersuchungen war die Verkleinerung des Meßbereiches für Staub sowie die Verlängerung
des Wartungsintervalls der Meßeinrichtung.

III.1 Laborprüfung

Für die Laborprüfung wurde im wesentlichen auf die Ergebnisse der Eignungsprüfung der Meßeinrich-
tung /2/ zurückgegriffen. Im Rahmen der Ergänzungsprüfung wurden Untersuchungen an einem
Windkanal durchgeführt. Diese dienten insbesondere zur Prüfung der Eignung der veränderten Volu-
menstrommeßsonde. Die alte Staudrucksonde war ein Produkt der Fa. Systec, während die neue
Sonde eine Eigenentwicklung der Fa. Dr. Födisch Umweltmeßtechnik ist. Darüber hinaus wurde die
Eignung der neuen Sondenbauform der triboelektrischen Sensoren am Windkanal untersucht. Bei den
Windkanaluntersuchungen kamen die Geräte mit den Typennummern:

Gerät 1: Nr.: 99 0 18 und
Gerät 2: Nr.: 99 0 19

zum Einsatz. Diese Geräte vom Typ PFM 97 W waren mit Staubmeßsonden vom Typ „Flügel“ und der
Volumenstrommeßsonde FMD 99 (incl. Drucktransmitter LD 301) ausgestattet. Dabei waren die
Geräte wie folgt eingestellt:

Staub, Rohsignal: Meßbereich 1: 0 bis 5 V ≙ 4 bis 20 mA,
Volumenstrom: Meßbereich 1: 0 bis 25 m/s ≙ 4 bis 20 mA.

Parallel zu diesen Meßeinrichtungen waren am Staubkanal zwei weitere Meßgeräte der bereits eig-
nungsbekanntgegebenen Bauart PFM 97 eingebaut. Diese waren auf die gleichen Meßbereiche
eingestellt und ausgerüstet mit Staubmeßsonden von Typ Trapez, einer Staudrucksonde vom Typ
Deltaflow und einem Drucktransmitter LD 301 (Standardkonfiguration der Meßeinrichtung PFM 97
entsprechend deren Eignungsprüfung) und hatten die folgenden Typennummern:

Gerät 3: Nr.: 98 0 01 und

Gerät 4: Nr.: 98 0 02

Diese Untersuchungen dienen zur Bestätigung der Gleichwertigkeit der unterschiedlichen Gerätekomponenten. Da jedoch nur das Grundgerät PFM 97 W über den neuen Algorithmus zur Kompensation des Geschwindigkeitseinflusses auf das Meßsignal und die verbesserte Nullpunktjustierung verfügt, wird auch nur diese Meßeinrichtung zur Überwachung von Meßaufgaben gemäß den strengen Anforderungen der 17. BImSchV vorgeschlagen.

III.2 Feldtest

Der Feldtest wurde im Abgas einer industriellen Reststoffverbrennung (Gewebefilter) mit zwei baugleichen Meßeinrichtungen vom Typ PFM 97 W durchgeführt:

Gerät 1: Nr.: 99 0 18 und
Gerät 2: Nr.: 99 0 19.

Die eingestellten Meßbereiche betragen hier:

Staub: Meßbereich 1: 0 bis 15 mg/m³ $\hat{=}$ 4 bis 20 mA,
Volumenstrom: Meßbereich 1: 0 bis 25 m/s $\hat{=}$ 4 bis 20 mA.

Es handelte sich hier um die gleichen Geräte in gleicher Konfiguration, die auch im Labortest an dem Windkanal eingesetzt wurden.

Der Dauertest wurde vom 17.09.1999 bis zum 18.02.2000 an der Reststoffverbrennungsanlage durchgeführt. Vom 18.01.2000 bis zum 18.02.2000 wurde der zusätzliche Drucktransmitter im Feldversuch überprüft. Bei diesem Test ist zu berücksichtigen, daß der genannte Drucktransmitter vom Typ Siemens Sitrans P 7MF44201 BA 20 - 1BA1 - Z bereits in der Eignungsprüfung der Volumenstrommeßsonde Systemc Deltaflow /3/ zugelassen wurde.

Im Feldtest wurden folgende Gerätekenndaten über den Prüfzeitraum ermittelt:

- Kalibrierfähigkeit,
- Reproduzierbarkeit,
- Konstanz der Geräte Kennlinie,
- Wartungsintervall,
- Verfügbarkeit,
- Funktionsprüfung und Kalibrierung.

III.3 Referenzmeßverfahren

III.3.1 [Vol] Meßverfahren für die Vergleichsmessungen

III.3.1.1 Ermittlung der Abgasrandbedingungen:

III.3.1.1.1 Strömungsgeschwindigkeit:

Prandtl'sches Staurohr in Verbindung mit: elektronischem Mikromanometer

Hersteller / Typ: Müller Meßinstrumente / MP6KSR

Letzte Überprüfung / Kalibrierung: vor den Messungen

III.3.1.1.1.1 Statischer Druck im Abgaskamin:

Manometer nach III.3.2.1.1 unter Berücksichtigung der entsprechenden Anschlüsse

III.3.1.1.1.2 Luftdruck in Höhe der Probenahmestelle:

Barometer, Hersteller / Typ: Lufft / Dosenbarometer

Letzte Überprüfung / Kalibrierung: vor den Messungen

III.3.1.1.1.3 Abgastemperatur:

NiCr-Ni-Thermoelement, Hersteller / Typ: MTB / NiCr-Ni
am repräsentativen Meßpunkt, Ablesen der Anzeige während der Volumenstrommessung

III.3.1.1.1.4 Wasserdampfanteil im Abgas (Abgasfeuchte):

Adsorption an Silikagel und nachfolgende gravimetrische Bestimmung

III.3.1.1.1.5 Abgasdichte:

berechnet unter Berücksichtigung der Abgasbestandteile an Sauerstoff (O₂), Kohlendioxid (CO₂), Stickstoff (mit 0,933 % Argon), Abgasfeuchte (Wasserdampfanteil im Abgas), sowie der Abgastemperatur und Druckverhältnisse im Kanal

III.3.2 [Staub] Meßverfahren für die Vergleichsmessungen

III.3.2.1 Diskontinuierliche Meßverfahren für partikelförmige Meßobjekte

III.3.2.1.1 **Meßverfahren:** Richtlinie VDI 2066, Blatt 7, August 1993

Grundlage des Verfahrens: gravimetrische Bestimmung

III.3.2.1.2 **Geräte für die Probenahme:** Planfilterkopfgerät

Entnahmesonde: **Edelstahl**

Abscheidemedium (Planfilter): **Quarzfaser: Munktell MK 360**

Durchmesser / Lieferant: **50 mm / Cryo Technik**

Transport und Lagerung: in Rundbehältern aus Polystyrol

III.3.2.1.3 Aufarbeitung und Auswertung des Abscheidemediums

Trocknungstemperatur / -zeit 300 °C / mind. 1 h
vor / nach der Beaufschlagung 300 °C / mind. 1 h

Konditionierung im Wägeraum (vor / nach): 24 h / 24 h (klimatisierter Wägeraum)

Waage / Hersteller: **für 50 mm Filter: AT 201 / Mettler**

III.3.2.1.4 Verfahrenskenngrößen / Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Maßnahmen zur Qualitätssicherung: jährliche Wartung (Hersteller), vor jeder Wägeserie Überprüfung mit Eichgewichten

Nachweisgrenze Glasfaser / Quarzfaser: 0,1 mg / 0,3 mg

Meßunsicherheit (U)	Mittelwert mg/m ³	U (95 %) mg/m ³	Probengasvolumen m ³
Glasfaser	0,83	0,11	1
Quarzfaser	1,45 7,36	0,23 0,74	1 1

IV Prüfergebnisse

IV.1

Mindestanforderungen an kontinuierliche Emissionsmeßeinrichtungen bei der Eignungsprüfung

IV.1.1

Allgemeines

Vor der Feldprüfung wurden Untersuchungen hinsichtlich der Gleichwertigkeit der neu eingeführten Gerätebauteile durchgeführt. Im Rahmen von Windkanaluntersuchungen wurde die Austauschbarkeit bzw. Gleichwertigkeit der neuen Sondenbauteile überprüft. Durch Vergleich der Rohwerte zeigte sich, daß die Sondenbauformen „Flügel“ und „Trapez“ gleichwertig sind (siehe Anhang Tabelle 10). Bei den Volumenstrommeßsonden konnte kein Unterschied festgestellt werden.

IV.1.1.1

Normative Bedingungen

Die Eignungsprüfung soll unter Beachtung der Begriffsbestimmungen der Richtlinie VDI 2449 Blatt 1 vom Febr. 1995, der Norm DIN ISO 6879 (Ausgabe Januar 1984) unter der Norm DIN IEC 359 (Ausgabe September 1993) durchgeführt werden.

Die Eignungsprüfung erfolgte unter Beachtung der genannten Richtlinien.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.2

Dauertest

Die Einhaltung der Mindestanforderungen soll bei der Eignungsprüfung während eines wenigstens dreimonatigen Dauertestes nachgewiesen werden. Der Dauertest soll nach Möglichkeit an einem einzigen Prüfort während eines zusammenhängenden Zeitraumes durchgeführt werden. Nur in Ausnahmefällen können kürzere Prüfzeiträume aus Einsätzen an unterschiedlichen Prüforten auf den Dauertest angerechnet werden.

Der Dauertest erfolgte vom 17.09.1999 bis 18.02.2000 an einer industriellen Reststoffverbrennungsanlage.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.3

Analysenfunktion

Bei der Eignungsprüfung soll der Zusammenhang zwischen der Geräteanzeige und dem mit einem Konventionsverfahren zum Beispiel als Massenkonzentration, Volumenkonzentration oder Volumenstrom ermittelten Wert des Meßobjektes im Abgas durch Regressionsrechnung ermittelt werden (Analysenfunktion). Jedem Meßgerät ist eine vom Hersteller ermittelte Gerätekennlinie mitzuliefern. Die Gerätekennlinie ist gemäß Richtlinie VDI 3950 Blatt 1 (Ausgabe Juli 1994) zu überprüfen.

Zu Beginn und am Ende des Feldtests wurden an der industriellen Reststoffverbrennungsanlage Vergleichsmessungen mit dem manuellen Vergleichsmeßverfahren durchgeführt. Die Auswertung der Meßergebnisse erfolgte gemäß der unter Pkt. V.2 dargestellten Vorgehensweise.

Bei dieser Anlage konnte während der Kalibrierung eine Variation der Abgasgeschwindigkeit realisiert werden. Es wurde eine geschwindigkeitsabhängige Funktion für den Exponenten zur Geschwindigkeitskompensation ermittelt und in die Bewertung des Meßgerätes einbezogen.

Aufgrund der vergleichsweise geringen Variation des Staubgehaltes im Abgas der Anlage konnte nur ein geringer Konzentrationsbereich abgedeckt werden. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse der beiden Kalibriermeßkampagnen in einer Graphik dargestellt.

Es konnte ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen Geräteanzeige und den Ergebnis der Vergleichsmessungen nachgewiesen werden.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

Tabelle 1: *Ergebnisse der Regressionsrechnung zwischen der Meßeinrichtung PFM 97 W und dem Bezugsverfahren, Meßobjekt: Gesamtstaub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³ $\hat{=}$ 4 - 20 mA*

	Gerät 1	Gerät 2
Umfang der Stichproben	33	33
Exponent der Geschwindigkeitsabhängigkeit des Meßsignals	-0,0308 V ² +1,0175 V-9,5109	-0,0233 V ² +0,8791 V-9,4151
Arithmetischer Mittelwert der Meßwerte der Meßeinrichtung in mA	5,41	5,41
Arithmetischer Mittelwert der Meßwerte des Bezugsverfahrens in mg/m ³	1,66	1,66
Steigung der Regressionsgeraden in mg/m ³ / mA	1,19	1,19
Ordinatenabschnitt der Regressionsgeraden in mg/m ³	-4,81	-4,79
Standardabweichung der Regressionsgeraden in mg/m ³	0,7	0,6

Bei der Betrachtung der Werte in Tabelle 1 ist zu berücksichtigen, daß die Geräte durch die Einführung der Geschwindigkeitskompensation gewissermaßen einer Vorkalibrierung unterzogen werden.

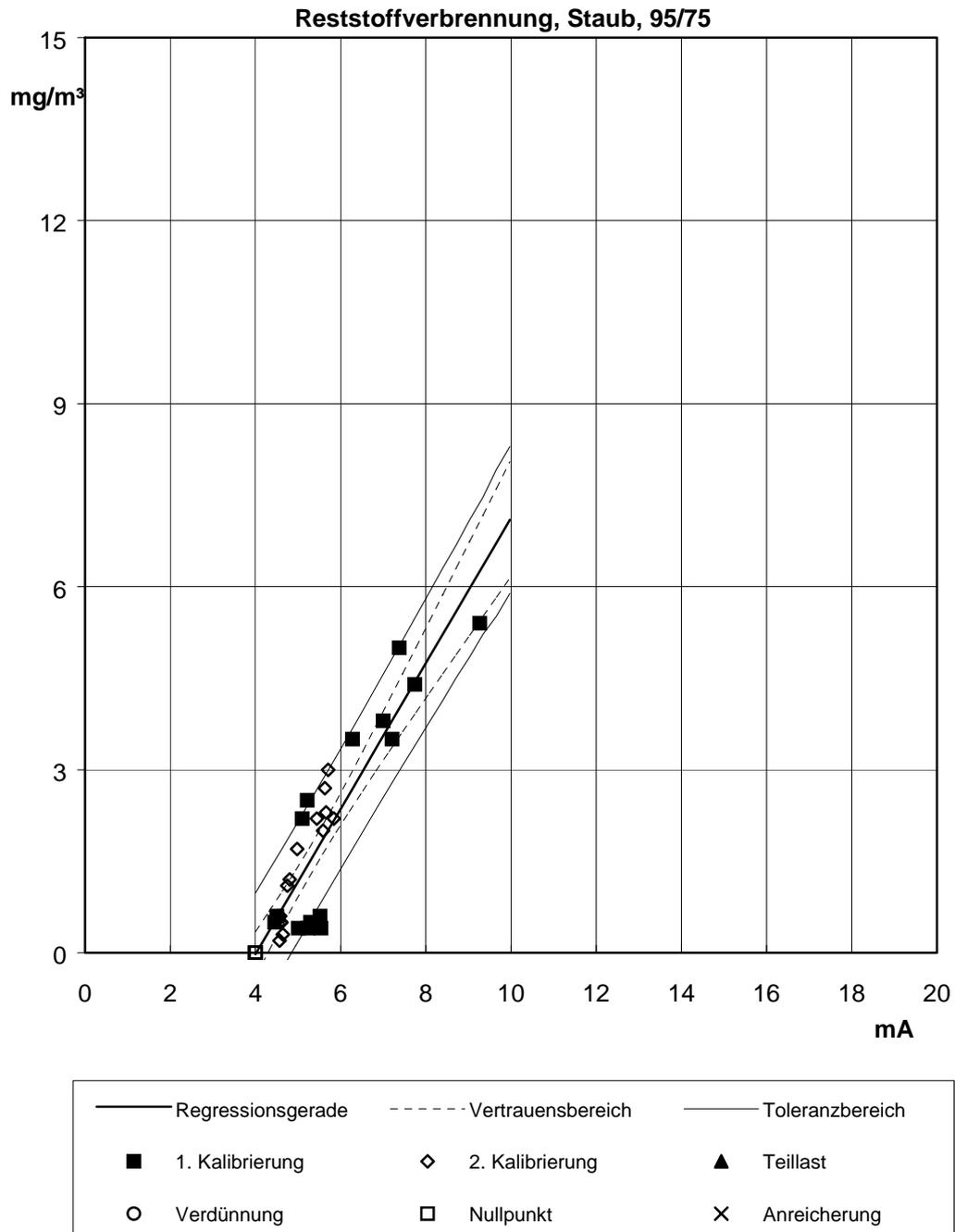


Abbildung 6: Kalibrierkurve (Analysefunktion) für Gerät 1,
 Staubgehalt, Meßbereich: 0 - 15 mg/m³ ≅ 4 - 20 mA

IV.1.1.4 Justierung der Einstellungen

Die Justierung der Meß- und Auswerteeinrichtungen soll im Betrieb gegen unbefugtes oder unbeabsichtigtes Verstellen gesichert werden können.

Die Justierung des Gerätes erfolgt im Service Menü. Dieses Menü ist nur über einen verdeckt angebrachten Taster erreichbar, der unter einer Gehäuseabdeckung sitzt.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.5 Lebender Nullpunkt; Nullpunktlage

Die Lage des Nullpunktes (lebender Nullpunkt) der Geräteanzeige soll bei etwa 10 % oder 20 %, die Lage des Referenzpunktes bei etwa 70 % des Vollausschlages liegen.

Die Lage des Nullpunktes ist auf 4 mA eingestellt. Der Referenzpunkt liegt bei etwa 70 % des Vollausschlages.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.6 Anzeigebereich

Die Meßeinrichtungen sollen so beschaffen sein, daß der Anzeigebereich auf die jeweilige Meßaufgabe abgestimmt werden kann. In der Regel soll der Anzeigebereich für Anlagen im Sinn der TA Luft und 13. BImSchV das 2,5-3-fache, für Anlagen der 17. BImSchV das 1,5-fache des geltenden Emissionsgrenzwertes nach § 5 Abs. 1 Nr. 2 - Nr. 4 17. BImSchV betragen.

Die Festlegung des kleinsten geprüften Meßbereiches orientierte sich an der Leistungsfähigkeit des Meßgerätes. Der Meßbereich 0 bis 15 mg/m³ entspricht dem 1,5-fachen des Tagesmittelwertes der 17. BImSchV. Es sind andere Meßbereiche einstellbar.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.7 Meßwertausgang

Die Meßeinrichtungen müssen einen Meßwertausgang besitzen, an den ein zusätzliches Anzeige- oder Registriergerät angeschlossen werden kann.

Der Anschluß von zusätzlichen Meß- und Peripheriegeräten ist über entsprechende Anschlüsse an den Geräten ist möglich.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.8 Statussignale

Die Meßeinrichtungen müssen in der Lage sein, einem nachgeschalteten Auswertesystem ihren jeweiligen Betriebszustand (Betriebsbereitschaft, Wartung, Störung) über Statussignal mitzuteilen.

Die Geräte sind in der Lage, einem nachgeschalteten Auswertesystem ihren Betriebszustand als Statussignal mitzuteilen.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.9 Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit der Meßeinrichtungen muß im Dauereinsatz mindestens 90 % und in der Eignungsprüfung 95 % erreichen. (Die Verfügbarkeit beschreibt den Zeitanteil, während dessen verwertbare Meßergebnisse zur Beurteilung des Emissionsverhaltens einer Anlage anfallen.)

Tabelle 2 zeigt die im Verlauf des Dauerstandsversuchs ermittelten Verfügbarkeiten.

Tabelle 2: Verfügbarkeiten des Meßsystems PFM 97 W während des Dauerstandsversuchs

	Gerät 1	Gerät 2
Gesamtbetriebszeit	3696	3696
Gerätestörung und Reparaturen	-	26
Wartung, Justierung	20	20
Verfügbarkeit	99,5	98,8

Feuchteprobleme aufgrund eines unzureichenden Witterungsschutzes an Gerät 2 führten zu den Gerätestörungen. Diese Probleme treten inzwischen mit einem optimierten Schutzgehäuse nicht mehr auf.

Die Geräte zeigten eine Verfügbarkeit von 99,5 % und 98,8 %.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.10 Wartungsintervall

Das Wartungsintervall der Meßeinrichtungen ist zu ermitteln und anzugeben. Das Wartungsintervall muß mindestens 8 Tage betragen.

Das Wartungsintervall wurde durch die Auswertung der Null- und Referenzpunktkontrollen der Geräte ermittelt. Darüber hinaus wurde das Betriebsverhalten der Geräte berücksichtigt. Es ergab sich ein Wartungsintervall von 8 Wochen für die Meßeinrichtung PFM 97 W.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.11 Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit R_D ist aus Doppelbestimmungen zu ermitteln. Sie ist zu bestimmen nach:

$$R_D = \frac{\text{Meßbereichsendwert}}{s_D \cdot t_{f,0,95}}$$

s_D : Standardabweichung aus Doppelbestimmungen,

$t_{f,0,95}$: Studentfaktor; statistische Sicherheit 95 %.

Die Doppelbestimmungen sind mit zwei baugleichen vollständigen Meßeinrichtungen am gleichen Meßort zeitgleich durchzuführen. Die Reproduzierbarkeit ist im kleinsten Meßbereich unter Berücksichtigung von Nr. 1.1.6 zu bestimmen.

Die Reproduzierbarkeit wurde während des Feldtests bestimmt.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.12

Vollständige Meßeinrichtung

Die Eignungsprüfung umfaßt die vollständige Meßeinrichtung einschließlich Probenahme, Probenaufbereitung und Datenausgabe. Die Bedienungsanleitung des Herstellers, die in deutscher Sprache vorliegen muß, ist in die Eignungsprüfung einzubeziehen.

Die eignungsgeprüfte Ausführung umfaßt die vollständige Meßeinrichtung einschließlich der Bedienungsanleitung in deutscher Sprache.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.13

Nenngebrauchsbedingungen

Die Mindestanforderungen müssen unter den nachstehend aufgeführten Nenngebrauchsbedingungen gemäß DIN IEC 539, Nenngebrauchsbereich II, eingehalten werden:

- a) Netzspannung,
- b) Relative Luftfeuchtigkeit,
- c) Gehalt der Luft an Flüssigwasser,
- d) Schwingung.

Für die Betriebslage sind die Toleranzgrenzen vom Hersteller festzulegen.

Zu a)

Bei Netzspannungsschwankungen von 190 bis 250 V konnte kein Einfluß auf das Meßsignal festgestellt werden./2/

Zu b)

Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit wurde nicht gesondert untersucht. Aufgrund der Bauweise des Gerätes ist aber anzunehmen, daß es gegen Luftfeuchtigkeit unempfindlich ist, solange der Taupunkt nicht unterschritten wird.

Zu c)

Der Analysator ist spritzwassergeschützt, er sollte ungeschützt an Orten mit Flüssigwasser in der Luft nicht eingesetzt werden.

Zu d)

Die Geräte waren während des Dauerversuchs den am Meßort auftretenden Schwingungen und Erschütterungen ausgesetzt. Es konnten keine erkennbaren Einflüsse auf die Gerätefunktion festgestellt werden. Aus Vorsorgegründen sollte der Aufstellungs- oder Einbauort des Analysators möglichst erschütterungsfrei sein.

Die Betriebslage des Meßgerätes ist durch die Bauweise vorgegeben. Die Einbauanweisungen des Herstellers sind zu beachten.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.14 Automatische Nachjustierung

Bei Meßeinrichtungen mit automatischer Funktionsprüfung und Nachjustierung sind diese Funktionen in die Eignungsprüfung einzubeziehen. Der maximal zulässige Korrekturbereich, in dem eine Nachjustierung möglich ist, ist zu ermitteln. Wird dieser überschritten, muß ein Statussignal gegeben werden.

Bei den automatischen Gerätezyklen wird der Nullpunkt der Meßeinrichtung überprüft und nachgeführt. Ist die Differenz zwischen nachgeführtem Nullpunkt und ursprünglich mittels Nullrohr eingestelltem Nullpunkt > 4 % vom Meßbereich wird das Statussignal Wartungsbedarf gegeben, bei einer Differenz > 6 % Störung.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.15 Umgebungstemperaturbereich

Der Einsatz der Meß- und Auswerteinrichtungen muß in den nachstehenden Bereichen der Umgebungstemperatur möglich sein:

- für Baugruppen mit Installation im Freien (ungeschützte Umgebungsbedingungen) -20°C bis 50 °C,
- für Baugruppen mit Installation an temperaturkontrollierten Orten + 5 °C bis + 40 °C.

Die kompletten Meßgeräte wurden im zulässigen Temperaturbereich von -20 °C bis 50 °C überprüft. Die Umgebungstemperaturen wurden in einer Klimakammer in Stufen von 10 °C bzw. 20 °C variiert. Die relative Feuchte der Umgebungsluft wurde auf ca. 60 % (relativ) konstant gehalten. Die Justierung erfolgte bei einer Ausgangstemperatur von 20 °C. Die Beharrungszeit für jede Temperaturstufe betrug 4 Stunden. Aufgrund der Funktionsweise des Meßgerätes konnten die Untersuchungen nur am Nullpunkt durchgeführt werden.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen der Eignungsprüfung der Meßeinrichtung PFM 97 durchgeführt. Die folgende Tabelle 3 enthält die Ergebnisse der damals durchgeführten Untersuchungen.

Tabelle 3: Aus /2/ Eignungsprüfung der Meßeinrichtung PFM 97
Einfluß der Umgebungstemperatur auf das Meßsignal;
Meßbereich (Anzeigebereich): 0 bis 20 mg/m³
Abweichung von 20 °C in % bezogen auf den Anzeigebereich

Temp.-bereich	Gerät 1		Gerät 2	
	Anzeige ¹⁾ in mA	Abw. in % MBE	Anzeige ¹⁾ in mA	Abw. in % MBE
20 °C	4,03	-	4,02	-
20 bis 0 °C	4,07	0,3	4,21	1,2
0 bis -20 °C	4,42	2,4	4,04	0,1
20 bis 40 °C	4,05	0,1	4,31	1,8
40 bis 50 °C	4,03	0,1	4,37	2,2

¹⁾ Wert mit der größten Abweichung gegenüber 20 °C im genannten Temperaturbereich

Bezogen auf den **Meßbereich 0 bis 15 mg/m³** ergeben sich aus diesen Werten im geprüften Temperaturbereich maximale Abweichungen des Meßsignals von 3,3 % bei Gerät 1 und von 2,9 % bei Gerät 2.

Es wurden zwei Geräte des Typs PFM 97 W in einer Klimakammer Temperaturschwankungen zwischen -20 °C und + 50 °C ausgesetzt. Bezogen auf den Meßbereich 0 bis 15 mg/m³ ergaben sich Abweichungen des Meßsignals von max. 3,3 % bzw. 2,9 % vom Anzeigebereich.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.1.16

Einfluß Probengasdurchfluß

Bei teilstromentnehmenden Meßsystemen ist der Einfluß von Änderungen des Probegasdurchflusses auf das Meßsignal anzugeben und soll ± 1 %, bezogen auf den Meßbereich, nicht überschreiten. Bei Über-/Unterschreiten des zulässigen Wertes ist ein Statussignal vorzusehen.

Das Meßsystem PFM 97 W arbeitet direkt im Kanal.

Bewertung: Mindestanforderung nicht zutreffend.

IV.1.1.17

Mehrkomponenten Meßeinrichtungen

Mehrkomponenten-Meßeinrichtungen müssen die Anforderung für jede Einzelkomponente, auch bei Simultanbetrieb aller Meßkanäle, erfüllen.

Die Anforderungen für die Meßkomponenten Volumenstrom und Staubgehalt wurden getrennt betrachtet. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß das Volumenstromsignal direkt in die Berechnung des Staubgehalts einfließt.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.2

Staubförmige Emissionen

IV.1.2.1

Bestimmung der Massenkonzentration

IV.1.2.1.1

Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit R_D nach IV 1.1.11 hat den Wert 50 für den Meßbereich ≥ 20 mg/m³ und den Wert 30 für den Meßbereich ≤ 20 mg/m³ nicht zu unterschreiten.

In Tabelle 4 sind die Reproduzierbarkeiten der zwei Geräte dargestellt. Die Einzeldaten sind in der Anlage zusammengestellt. Es wurden die 100 größten Meßwertepaare in die Auswertung einbezogen. Darüber hinaus wurden weitere 50 Wertepaare statistisch aus den übrigbleibenden Wertepool ausgewählt und bei der Berechnung der Reproduzierbarkeit berücksichtigt. Da von allen Werten nur 7 in die Klasse 2 fallen, wurden aus den verbliebenen 143 Werten 50 statistisch ausgewählt und in Klasse 1 gesetzt. Zusätzlich wurde eine Auswertung bezüglich der Reproduzierbarkeit mit den entsprechenden Rohwerten in mA durchgeführt. Hierzu wurde der Meßbereich 0 bis 5 V entsprechend 0 bis 16 mA eingesetzt (4 bis 20 mA abzüglich lebender Nullpunkt). Bei der Bewertung dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß in die Berechnung des Staubgehalts auch das Ergebnis der Geschwindigkeitsbestimmung eingeht, da das Signal des triboelektrischen Sensors geschwindigkeitsabhängig ist. Da der Abgaskanal an dem die Prüfung stattfand waagrecht verläuft und rechteckig ist, und die beiden Meßeinrichtungen übereinander angeordnet waren, ist nicht auszuschließen, daß auch die örtliche Verteilung des Meßgutes hier nicht optimal war. Zur weiteren Information sind auch die Ergebnisse der Reproduzierbarkeitsermittlung aus der Eignungsprüfung der Meßeinrichtung PFM 97 dargestellt. Beim Vergleich der Prüfergebnisse zwischen PFM 97 und PFM 97 W ist zu beachten, daß zwar beide Prüfungen an der gleichen Reststoffverbrennung erfolgten, jedoch aus betrieblichen

Gründen unterschiedliche Einbaustellen gewählt werden mußten. Die Bestimmung der Reproduzierbarkeit ergab für PFM 97 W einen Wert von 32 und ist damit höher als der geforderte Wert von 30.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

Tabelle 4: Reproduzierbarkeiten aus Doppelbestimmungen, PFM 97 W, Meßbereich: 0 bis 15 mg/m³

Auswahlkriterium	Anzahl Wertepaare	R'	R
Klasse I: 0 - 5 mg/m ³	50	11	33
Klasse II: 5 - 10 mg/m ³	7	17	25
Klasse III: 10 - 15 mg/m ³	-	-	-
Klasse I bis III	57		32

R' = Reproduzierbarkeit der Klasse
 R = Gesamtreproduzierbarkeit

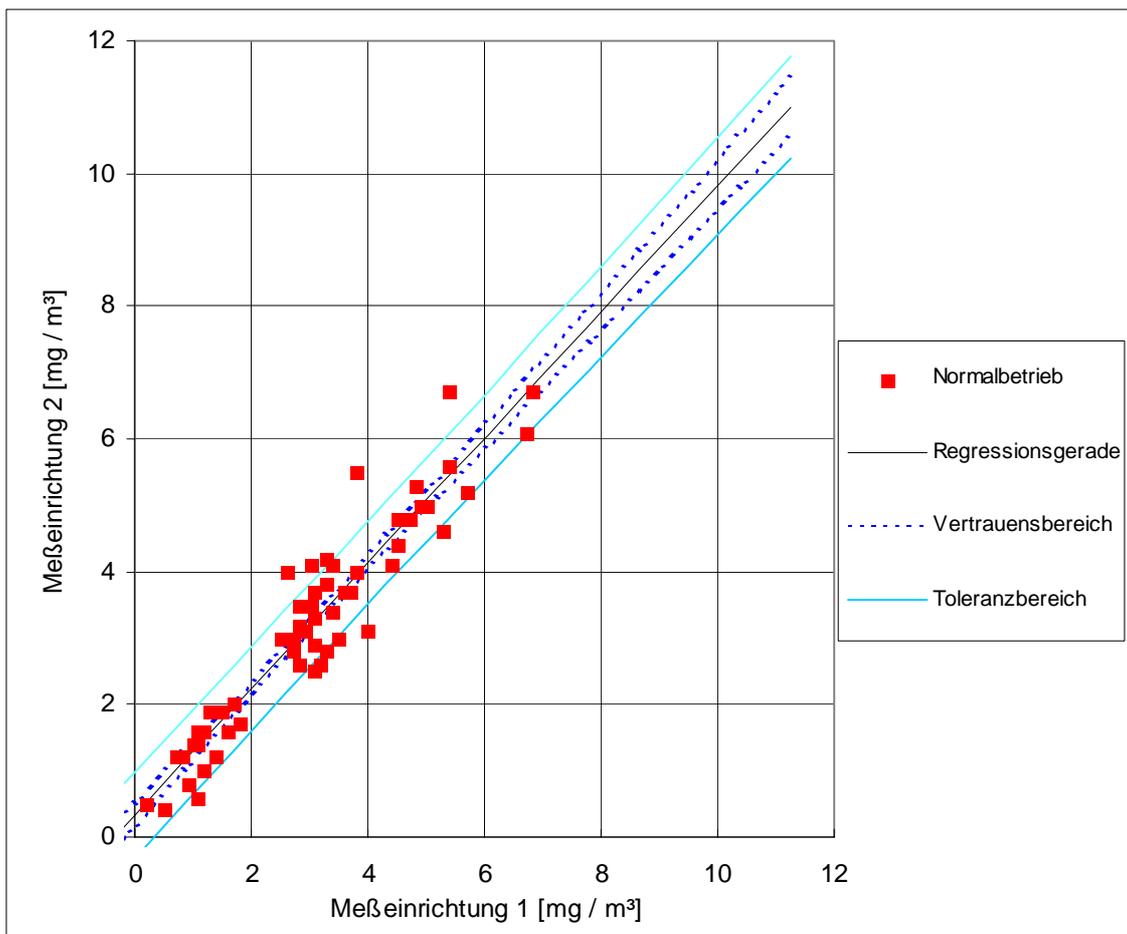


Abbildung 8: Graphische Darstellung der Werte für die Reproduzierbarkeit, PFM 97 W, Meßobjekt: Staubgehalt, Meßbereich 0 bis 15 mg/m³

Tabelle 5: Reproduzierbarkeiten für PFM 97 W aus Doppelbestimmungen
 (Rohwerte in mA für den Anzeigebereich von 0 bis 16 mA)

Auswahlkriterium	Anzahl Wertepaare	R'	R
Klasse I: 0 - 5,33 mA	150	18	55
Klasse II: 5,34 - 10,66 mA			
Klasse III: 10,67 - 16 mA			
Klasse I bis III	150	-	55

R' = Reproduzierbarkeit der Klasse
 R = Gesamtreproduzierbarkeit

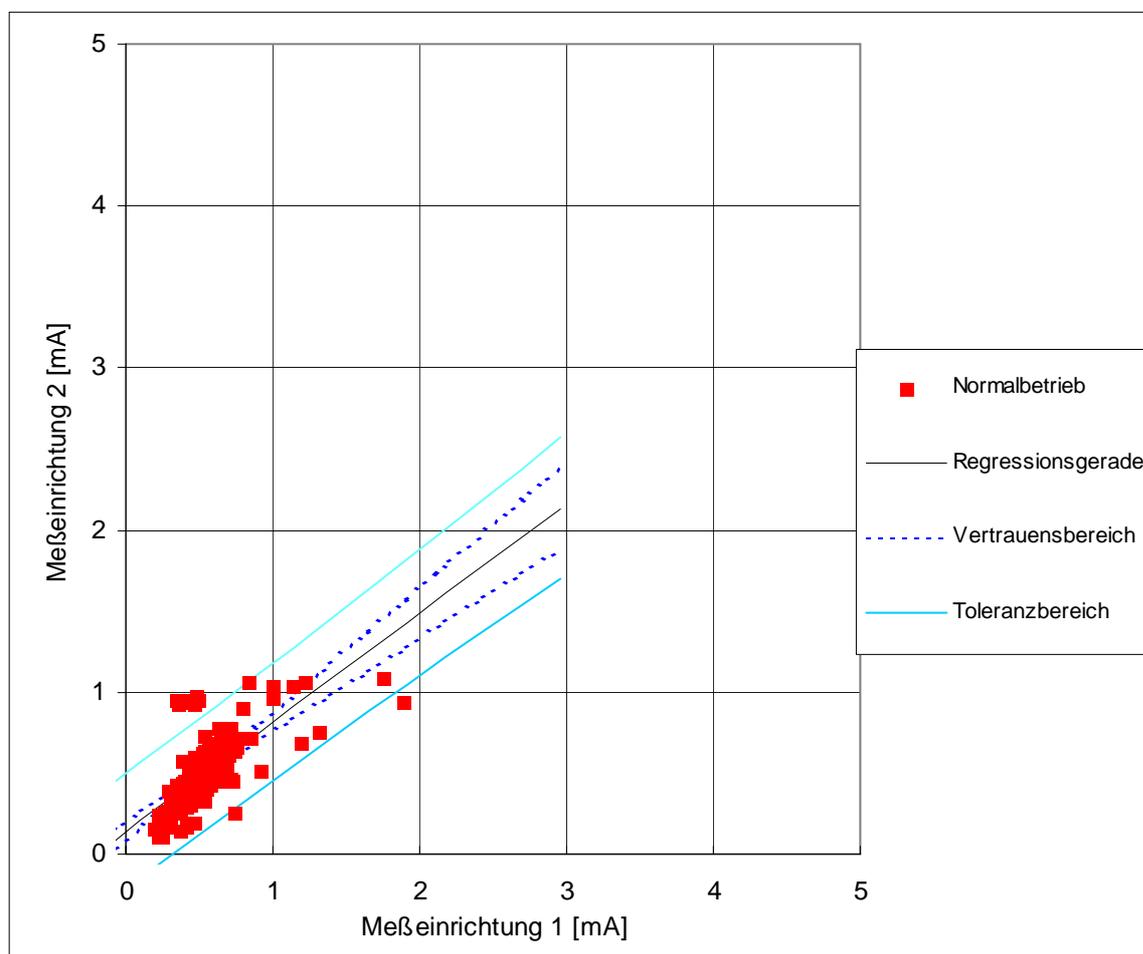


Abbildung 9: Reproduzierbarkeiten für PFM 97 W aus Doppelbestimmungen
 (Rohwerte in mA für den Anzeigebereich von 0 bis 16 mA)

Tabelle 6: Aus /2/ Eignungsprüfung der Meßeinrichtung PFM 97
 Meßbereich 0 bis 20 mg/m³
 Reproduzierbarkeiten aus Doppelbestimmungen

Auswahlkriterium	Anzahl Wertepaare	R'	R	Anzahl Wertepaare	R'	R
Anlage						
Energieversorgung						
Reststoffverbrennung						
Klasse I: 0 - 6,7 mg/m ³	150	13	38	150	30	90
Klasse II: 6,7 - 13,3 mg/m ³	-	-	-	-	-	-
Klasse III: 13,3 - 20 mg/m ³	-	-	-	-	-	-
Klasse I bis III	150		38	150	-	90

R' = Reproduzierbarkeit der Klasse
 R = Gesamtreproduzierbarkeit

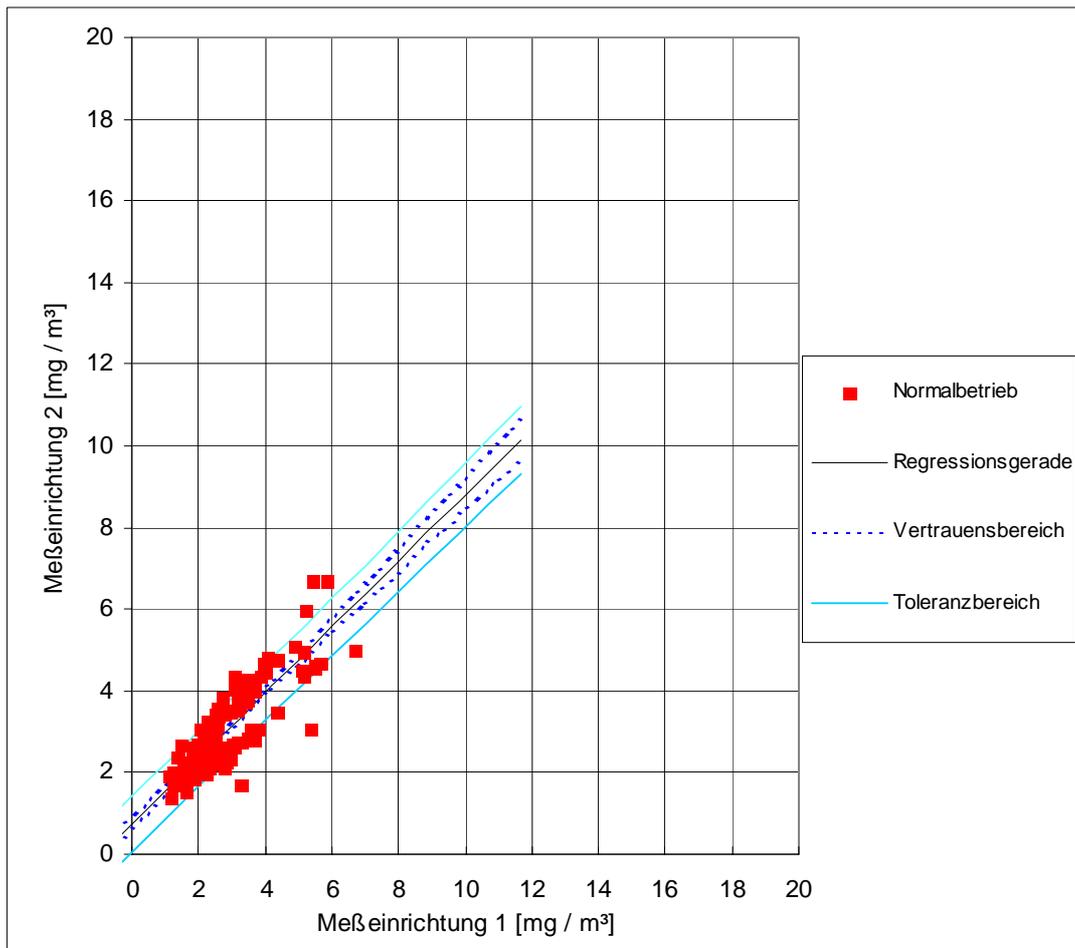


Abbildung 10: Aus /2/ Eignungsprüfung der Meßeinrichtung PFM 97
 Meßbereich 0 bis 20 mg/m³
 Graphische Darstellung der Werte für die Reproduzierbarkeit,
 Meßobjekt: Staubgehalt, Feldteststandort 1, Energieversorgung

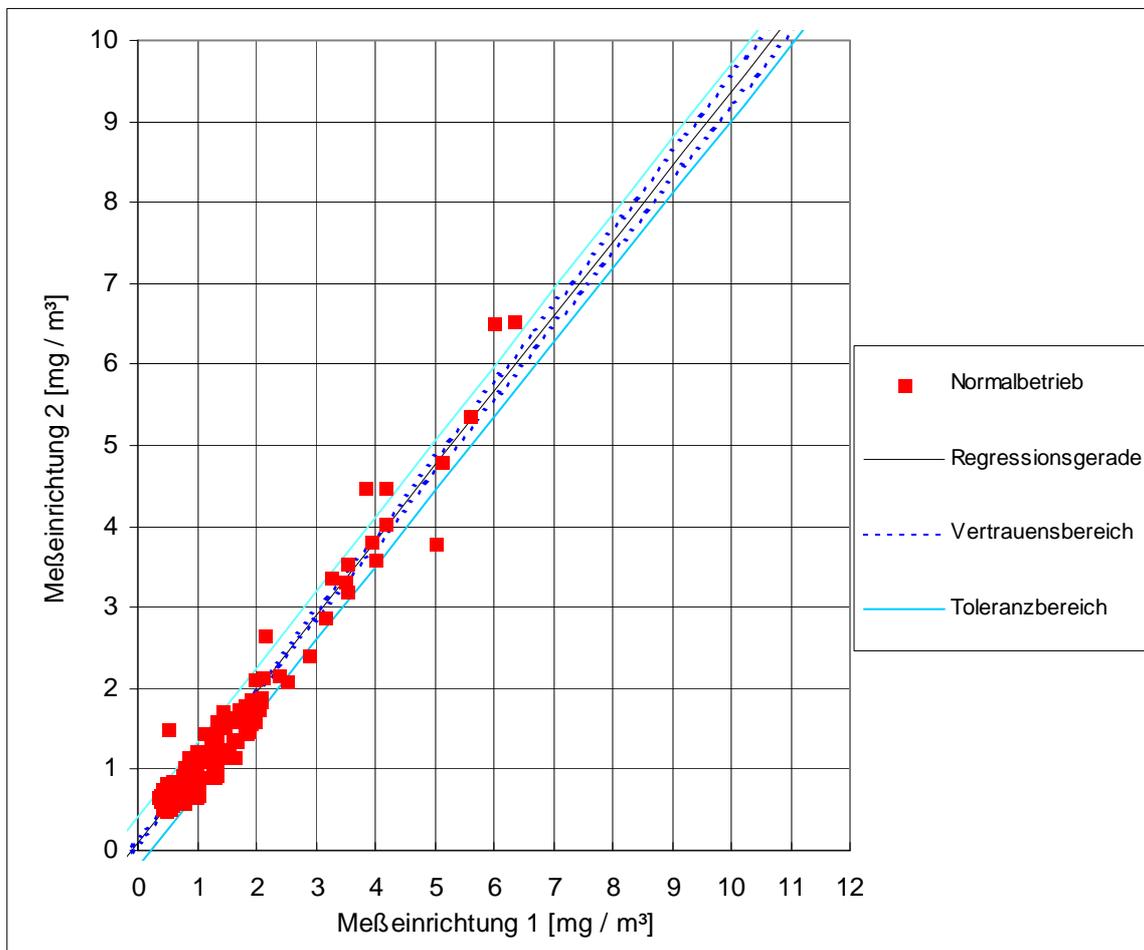


Abbildung 11: Aus /2/ Eignungsprüfung der Meßeinrichtung PFM 97
Meßbereich 0 bis 20 mg/m³
Graphische Darstellung der Werte für die Reproduzierbarkeit,
Meßobjekt: Staubgehalt, Feldteststandort 2, Reststoffverbrennung

IV.1.2.1.2

Drift im Wartungsintervall

Die zeitliche Änderung der Nullpunktanzeige hat im Wartungsintervall
 $\pm 2\%$ (Meßbereich ≥ 20 mg/m³) bzw.
 $\pm 3\%$ (Meßbereich ≤ 20 mg/m³)
des Anzeigebereiches nicht zu überschreiten.

Die zeitliche Änderung der Referenzpunktanzeige hat im Wartungsintervall
 $\pm 2\%$ (Meßbereich ≥ 20 mg/m³) bzw.
 $\pm 3\%$ (Meßbereich ≤ 20 mg/m³)
des Sollwertes nicht zu überschreiten.

Die Auswertung der automatischen Kontrollen des Meßgerätes ergab eine Änderung der Nullpunkt-
anzeige von $< 3\%$ des Anzeigebereiches und eine Änderung der Referenzpunktanzeige von $< 3\%$
vom Sollwert im Wartungsintervall von 8 Wochen.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.2.1.3 Linearität

Die Abweichung der Istwerte von den Sollwerten der Gerätekenlinie gemäß Ziffer IV 1.1.3 hat nicht mehr als $\pm 2\%$ des Anzeigebereiches zu betragen.

Die Linearität des Meßsystems PFM 97 W kann aufgrund des Meßprinzips nicht durch Prüfstandards ermittelt werden. Eine Bewertung der Linearität konnte nur mit gravimetrischen Vergleichsmessungen durchgeführt werden. Bei Betrachtung der Ergebnisse der Kalibriermessungen sowie der Ergebnisse der Eignungsprüfung des Meßgerätes (Staubkanaluntersuchungen) /2/ zeigt sich, daß die Linearität des Meßsignals in entsprechender Qualität gewährleistet ist.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.2.1.4 Verschmutzungskontrolle

Beruhet das Meßprinzip auf optischen Verfahren, müssen die Meßeinrichtungen eine Vorrichtung besitzen, die eine Kontrolle der Verschmutzung während des Betriebes ermöglicht. Gegebenenfalls sind optische Grenzflächen durch staubfreie Spülluft gegen Verschmutzung zu schützen.

Das Meßgerät arbeitet nicht nach einem optischen Prinzip. Die im Gerät durchgeführte Referenzpunktkontrolle kann jedoch aufgrund ihrer Funktionsweise als Verschmutzungskontrolle interpretiert werden, da unterschiedliche Signale der beiden Sonden insbesondere durch eine unterschiedliche Verschmutzung der Sonden hervorgerufen werden können.

Bewertung: Mindestanforderung nicht zutreffend.

IV.1.2.1.5 Auswanderung des Meßstrahles

Beruhet das Meßprinzip auf optischen Verfahren, ist der Störeinfluß bei Auswanderung des Meßstrahles anzugeben. Er soll nicht mehr als 2% des Anzeigebereiches in einem Winkelbereich von $\pm 0,3^\circ$ betragen.

Das Meßgerät arbeitet nicht nach einem optischen Prinzip.

Bewertung: Mindestanforderung nicht zutreffend.

IV.1.2.1.6 Automatische Korrektur von Null- und Referenzpunkt

Die Meßeinrichtungen sollen eine Vorrichtung besitzen, die eine automatische Aufzeichnung von Null- und Referenzpunkt in regelmäßigen Abständen ermöglicht. Bei Meßeinrichtungen mit automatischer Nullpunktkorrektur soll der Korrekturbetrag als Maß der Verschmutzung aufgezeichnet werden

Null- und Referenzpunktkontrollen werden von dem Gerät in vierstündigem Rhythmus automatisch durchgeführt. Wird der Toleranzbereich überschritten wird ein Statussignal gegeben. Eine automatische Korrektur findet nur beim Nullpunkt statt. Zur Verschmutzungskontrolle wird bei diesem Gerät die Referenzpunktkontrolle herangezogen.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.2.1.7 Abgasvolumen

Bei extraktiv arbeitenden Meßeinrichtungen soll das abgesaugte Probenahmenvolumen eine Genauigkeit von $\pm 5\%$ vom Sollwert haben.

Das Gerät PFM 97 W arbeitet direkt im Kanal.

Bewertung: Mindestanforderung nicht zutreffend.

IV.1.3 Gasförmige Emissionen

nicht zutreffend

IV.1.4 Messung von Bezugsgrößen

IV.1.4.1 Sauerstoffgehalt

nicht zutreffend

IV.1.4.2 Abgasvolumenstrom

Im Rahmen der Eignungsprüfung der Meßeinrichtung /2/ wurde die Staudrucksonde der eignungsgeprüften Volumenstrommeßeinrichtung Delta Flow der Fa. Systec in das Meßsystem integriert. Als Differenzdruckaufnehmer wurde ein Drucktransmitter vom Typ Smar LD 301 eingesetzt. Die Verrechnung der Werte erfolgte im geräteinternen Rechner des PFM 97. Anstelle der Staudrucksonde der Fa. Systec wurde im Rahmen dieser Ergänzungsprüfung eine Staudrucksonde der Fa. Dr. Födisch Umweltmeßtechnik eingesetzt. Als Drucktransmitter wurde wieder der SMAR LD 301 verwendet. In einer Nachprüfung kam auch der Drucktransmitter Siemens Sitrans P 7MF44201 BA 20 - 1BA1 - Z zum Einsatz. Dieses Gerät wurde bereits im Rahmen der Eignungsprüfung der Volumenstrommeßeinrichtung Systec Deltaflow /3/ geprüft. Deshalb wurde für die Nachprüfung dieses zweiten Drucktransmitters nur eine einmonatige Feldüberprüfung in der Zeit vom 18.01.2000 bis zum 18.02.2000 durchgeführt. In dieser Zeit war Gerät 1 mit diesem Drucktransmitter ausgerüstet.

IV.1.4.2.1 Anzeigebereich

Der Anzeigebereich soll so gewählt werden können, daß dem höchsten an der jeweiligen Einbaustelle zu erwartenden Volumenstrom 80 % des Vollausschlages zugeordnet werden können.

Der Meßbereich der Sonde beträgt 0 bis 25 m/s. Abweichende Meßbereiche sind ab Werk einstellbar.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.4.2.2 Nachweisgrenze

Die Nachweisgrenze der Meßeinrichtung soll 20 % des Anzeigebereichs nicht überschreiten.

Die Nachweisgrenze kann bei Abgasvolumenmeßeinrichtungen nicht wie sonst üblich über Nullpunktkontrollen ermittelt werden. Aufgrund der Spezifikationen der eingesetzten Drucktransmitter und den Ergebnissen der Staubkanaluntersuchungen kann davon ausgegangen werden, daß die Nachweisgrenze kleiner ist als 5 m/s. Bei Unterschreitung wird ein Statussignal gegeben.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.4.2.3 Temperaturdrift

1.3.1.2 gilt sinngemäß für $\pm 5\%$ des Anzeigebereiches.

Die Änderungen der Nullpunkt- und der Referenzpunktanzeige sind über den in 1.1.15 genannten Temperaturbereich zu ermitteln; diese Änderungen sollen über den gesamten Temperaturbereich, ausgehend von 20°C, $\pm 5\%$ vom Anzeigebereich nicht überschreiten. Eine Beeinflussung des Null- bzw. Referenzpunktes durch Änderungen der Temperatur des Meßgutes ist durch geeignete Maßnahmen zu kompensieren.

Für die Klimakammeruntersuchungen wird auf die Eignungsprüfung der Meßeinrichtung /2/ hingewiesen, bei der der Drucktransmitter SMAR LD 301 in Verbindung mit der Staudrucksonde Systemec Delta Flow eingesetzt war. Für die Bewertung der Temperaturstabilität des Drucktransmitters Siemens Sitrans P 7MF44201 BA 20 - 1BA1 - Z wird auf die Eignungsprüfung der Volumenstrommeßeinrichtung Systemec Delta Flow /3/ hingewiesen.

Bei der Betrachtung der Klimakammerergebnisse ist zu berücksichtigen, daß es bei der Meßeinrichtung bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt ohne Zusatzheizung zu einer Eisbildung in den Druckleitungen kommen kann.

Tabelle 7: Aus /2/ Ergebnisse der Klimakammeruntersuchungen bei der Eignungsprüfung der Meßeinrichtung PFM 97
 Einfluß der Umgebungstemperatur auf das Meßsignal;
 Meßbereich: 0 bis 25 m/s
 Abweichung von 20 °C in % bezogen auf den Anzeigebereich

Temp.-bereich	Gerät 1		Gerät 2	
	Anzeige ¹⁾ in mA	Abw. in % MBE	Anzeige ¹⁾ in mA	Abw. in % MBE
20 °C	4,01	-	4,00	-
20 bis 0 °C	4,01	< 0,1	4,00	< 0,1
0 bis -20 °C	4,00	< 0,1	3,98	0,1
20 bis 40 °C	4,01	< 0,1	4,01	< 0,1
40 bis 50 °C	4,01	< 0,1	4,01	< 0,1

¹⁾ Wert mit der größten Abweichung gegenüber 20 °C im genannten Temperaturbereich

Tabelle 8: Aus /3/ Ergebnisse der Klimakammeruntersuchungen bei der Eignungsprüfung der Meßeinrichtung Systec Deltaflow, Meßbereich 0 bis 15 m/s Ausgerüstet mit Differenzdruckaufnehmer Systec SYS 4420-1 BA 20 - 1 1BA1 - Z (Baugleich mit Siemens Sitrans P 7MF44201 BA 20 - 1BA1 - Z)

Temperatur °C	Ausgang		Differenzen bez. auf 10 K		Proz. Differenzen	
	Rechner mA	Transmitter mA	Rechner mA / 10 K	Transmitter mA / 10 K	Rechner % / 10 K	Transmitter % / 10 K
21,8	4,02	4,03	-	-	-	-
8,2	4,01	4,02	-0,01	-0,01	0,0	0,0
-2,8	4,01	3,97	0,00	-0,05	0,0	-0,3
7,8	4,01	3,96	0,00	-0,01	0,0	-0,1
19,3	4,01	3,96	0,00	0,00	0,0	0,0
50,4	4,01	4,03	0,00	0,02	0,0	0,1
38,9	4,01	4,08	0,00	0,04	0,0	0,3
28,5	4,01	4,08	0,00	0,00	0,0	0,0
18,8	4,01	4,05	0,00	-0,03	0,0	-0,2

Die Meßeinrichtung wurde im Umgebungstemperaturbereich von -20°C bis +50°C /2/ bzw. 0°C bis +50°C /3/ in einer Klimakammer überprüft. Es traten Abweichungen von 0,1 % /2/ bzw 0,4 % /3/ vom jeweiligen Anzeigebereich auf. Aufgrund der Bauweise der Sonde ist je nach Einbausituation eine Wetterschutzhaube erforderlich.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.4.2.4 Driftverhalten

Die zeitliche Änderung der Null- bzw. Referenzpunktanzeige im Wartungsintervall soll 2 % des Anzeigebereiches nicht übersteigen.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Kalibriermessungen kann davon ausgegangen werden, daß die Veränderung des Null- und Referenzpunktes im Wartungsintervall von 8 Wochen kleiner als 2 % des Anzeigebereichs ist. Darüber hinaus wird auf die Ergebnisse der Prüfung der Meßeinrichtung bzw von Einzelkomponenten in /2/ und in /3/ hingewiesen, wo ebenfalls keine größeren Driften als ± 2 % vom Anzeigebereich ermittelt wurden.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.4.2.5 Kalibrierung

Das Gerät ist mit einem Konventionsverfahren (z. B. Prandtl'sches Rohr) zu kalibrieren.

Im Rahmen der Felduntersuchungen wurden Vergleichsmessungen mit einem Prandtl'schem Staurohr durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den folgenden Tabellen und Diagrammen dargestellt. Darüber hinaus wurden mit dem Gerät Untersuchungen an einem Windkanal bei unterschiedlichen Gasgeschwindigkeiten durchgeführt. Die entsprechenden Regressionsrechnungen sind hier auch dargestellt.

Bei der Nachprüfung des Drucktransmitters der Fa. Siemens wurde eine Musterkalibrierung durchgeführt, deren Ergebnisse hier ebenfalls dargestellt sind.

Durch Vergleichsmessungen mit einem Konventionsverfahren jeweils am Anfang und am Ende des Feldtests und durch umfangreiche Untersuchungen an einem Windkanal konnte ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen den aufgenommenen Meßwerten und dem Konventionsverfahren nachgewiesen werden.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

Tabelle 9: Ergebnisse der Regressionsrechnung zwischen der Meßeinrichtung PFM 97 W und dem Bezugsverfahren, Meßobjekt: Abgasgeschwindigkeit, Reststoffverbrennungsanlage, Meßbereich 0 - 25 m/s $\hat{=}$ 4 - 20 mA)

	Gerät 1	Gerät 2
	Beginn und Ende des Dauertestes	Beginn und Ende des Dauertestes
Meßbereich	0 - 25 m/s	0 - 25 m/s
Umfang der Stichproben	18	18
Arithmetischer Mittelwert der Meß- werte der Meßeinrichtung in mA	13,26	13,61
Arithmetischer Mittelwert der Meß- werte des Bezugsverfahrens in m/s	13,46	13,46
Steigung der Regressionsgeraden in m/s / mA	1,43	1,42
Ordinatenabschnitt der Regressions- geraden in m/s	-5,53	-5,82
Standardabweichung der Regres- sionsgeraden in m/s	0,5	0,6

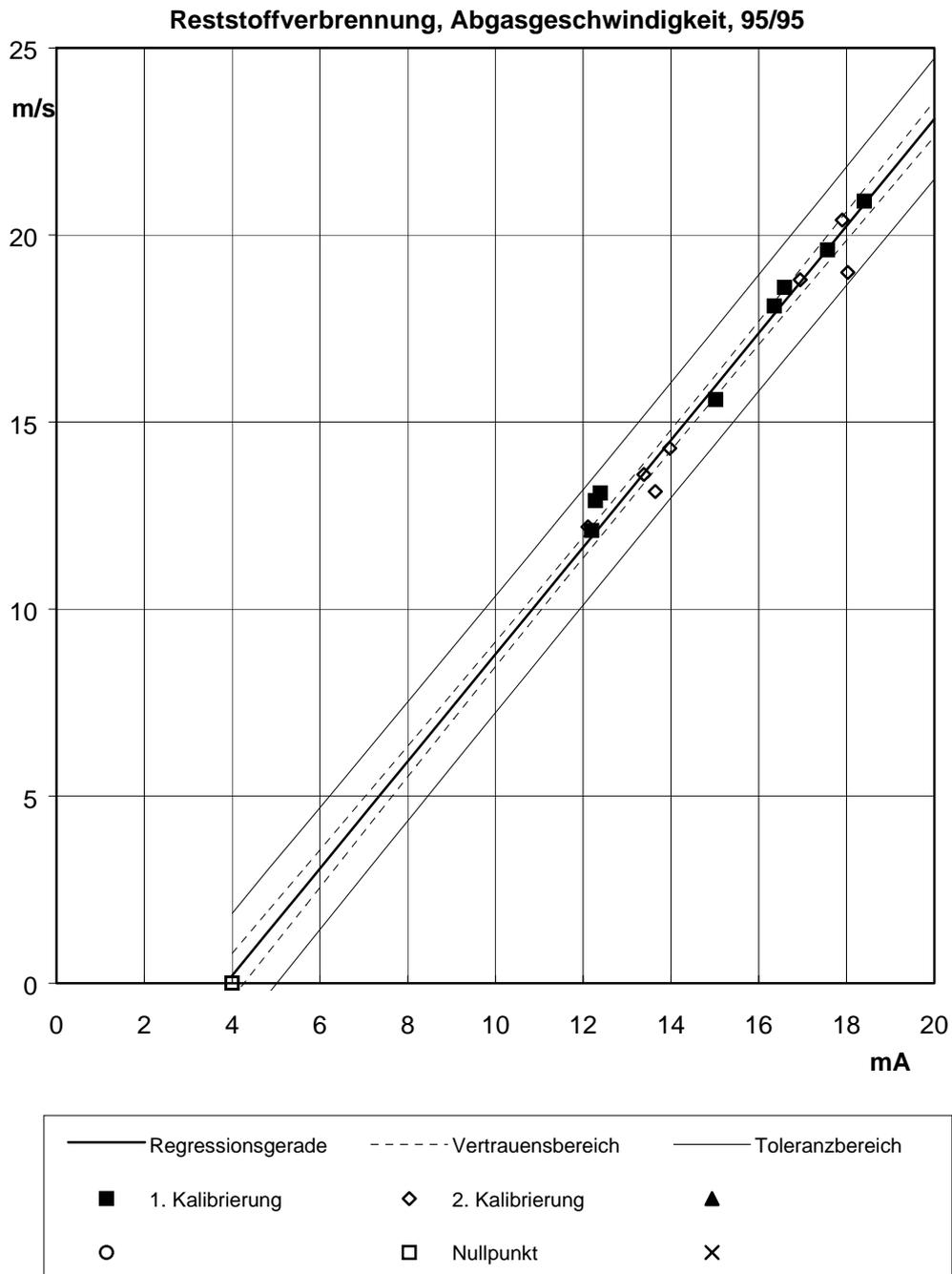


Abbildung 12: Kalibrierkurve (Analysefunktion) für Gerät 1 während des Dauerstandsversuchs, Reststoffverbrennung, Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich: 0 - 25 m/s $\hat{=}$ 4 - 20 mA

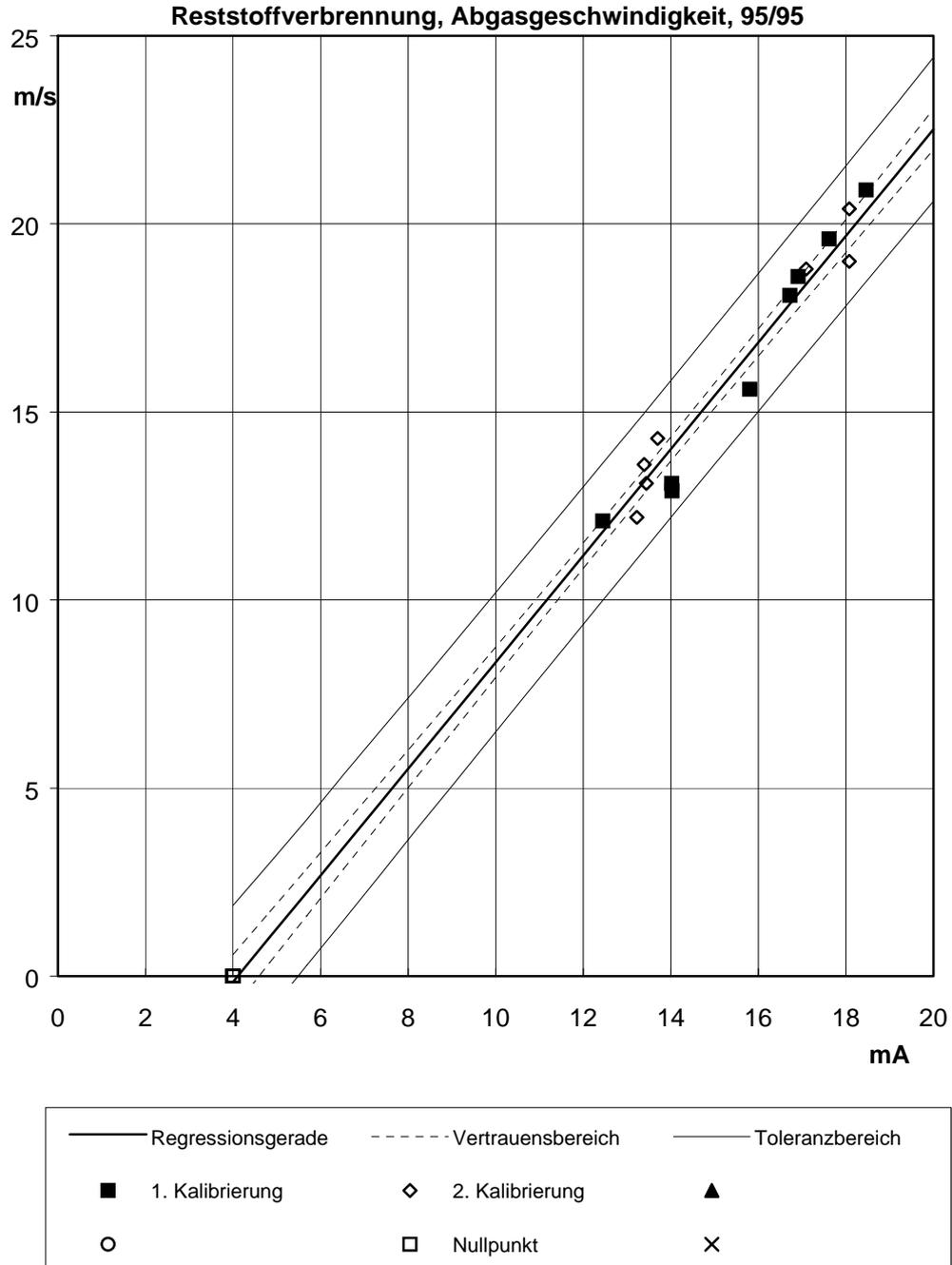


Abbildung 13: Kalibrierkurve (Analysefunktion) für Gerät 2 während des Dauerstandsversuchs, Reststoffverbrennung, Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich: 0 - 25 m/s $\hat{=}$ 4 - 20 mA

Tabelle 10: Ergebnisse der Regressionsrechnung zwischen der Meßeinrichtung PFM 97 W und dem Bezugsverfahren, Meßobjekt: Abgasgeschwindigkeit, Windkanal, Meßbereich: 0 - 25 m/s $\hat{=}$ 4 - 20 mA

	Gerät 1	Gerät 2
Umfang der Stichproben	18	18
Arithmetischer Mittelwert der Meßwerte der Meßeinrichtung in mA	10,99	10,96
Arithmetischer Mittelwert der Meßwerte des Bezugsverfahrens in m/s	10,91	10,91
Steigung der Regressionsgeraden in m/s / mA	1,58	1,59
Ordinatenabschnitt der Regressionsgeraden in m/s	-6,46	-6,48
Standardabweichung der Regressionsgeraden in m/s	0,1	0,3

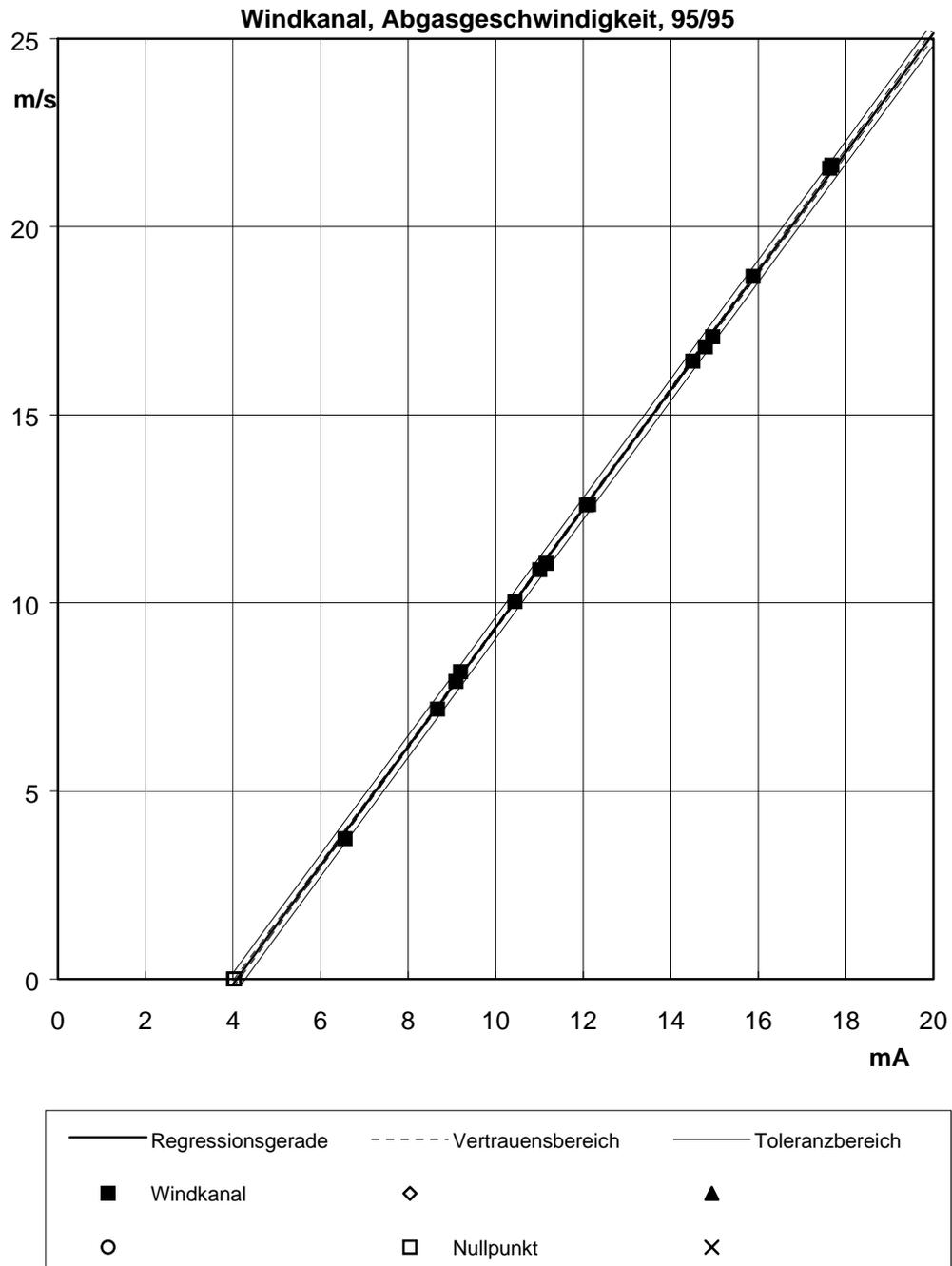


Abbildung 14: Kalibrierkurve (Analysefunktion) für Gerät 1,
 Staubtestkanal, Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich: 0 - 25 m/s $\hat{=}$ 4 - 20 mA

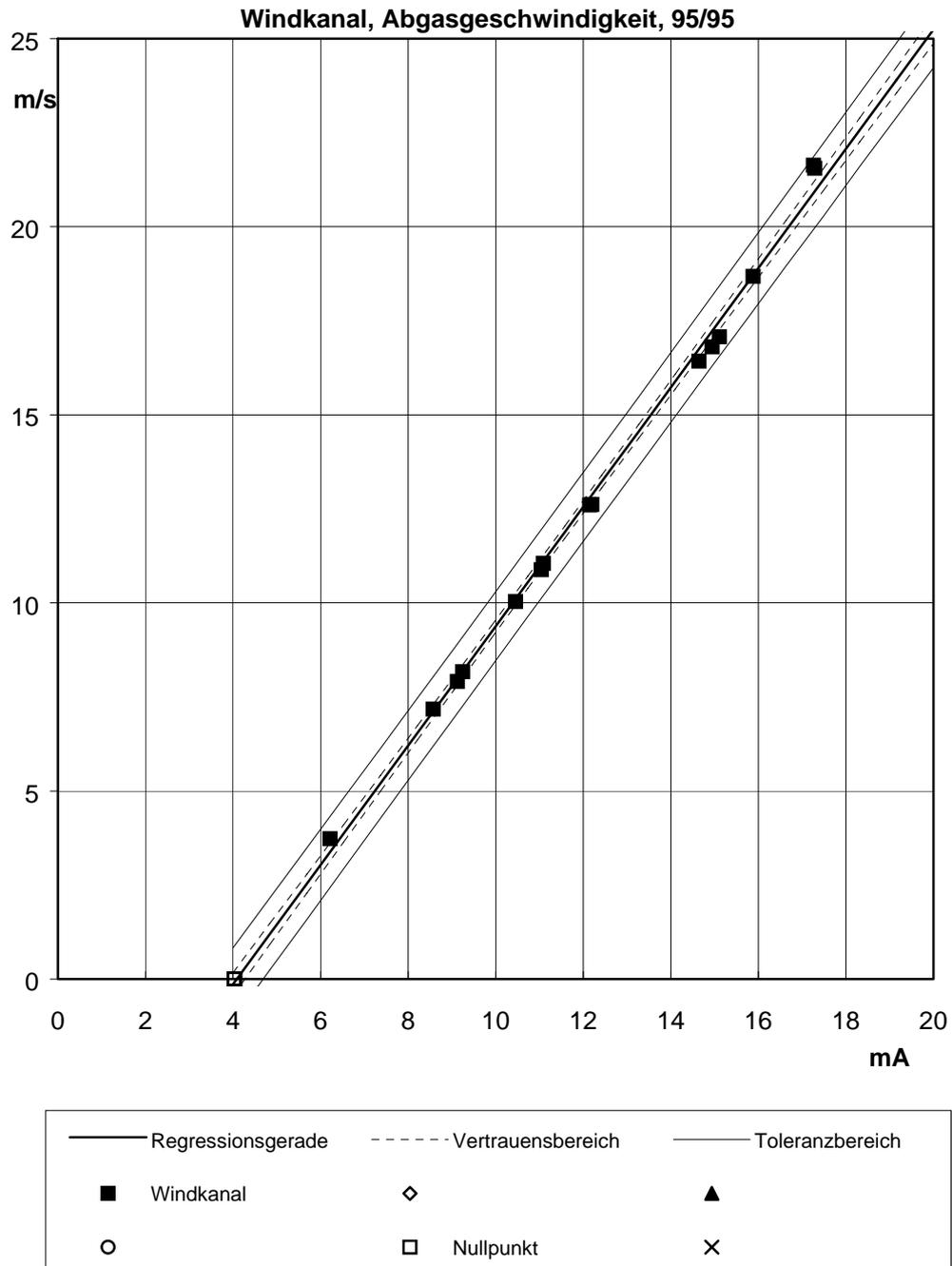


Abbildung 15: Kalibrierkurve (Analysefunktion) für Gerät 2,
 Staubtestkanal, Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich: 0 - 25 m/s $\hat{=}$ 4 - 20 mA

Tabelle 11: *Ergebnisse der Regressionsrechnung zwischen der Meßeinrichtung PFM 97 W und dem Bezugsverfahren, Meßobjekt: Abgasgeschwindigkeit, Reststoffverbrennungsanlage, Drucktransmitter Siemens, Meßbereich: 0 - 25 m/s $\hat{=}$ 4 - 20 mA*

	Gerät 1
Umfang der Stichproben	18
Arithmetischer Mittelwert der Meßwerte der Meßeinrichtung in mA	13,51
Arithmetischer Mittelwert der Meßwerte des Bezugsverfahrens in m/s	15,62
Steigung der Regressionsgeraden in m/s / mA	1,63
Ordinatenabschnitt der Regressionsgeraden in m/s	-6,35
Standardabweichung der Regressionsgeraden in m/s	0,2

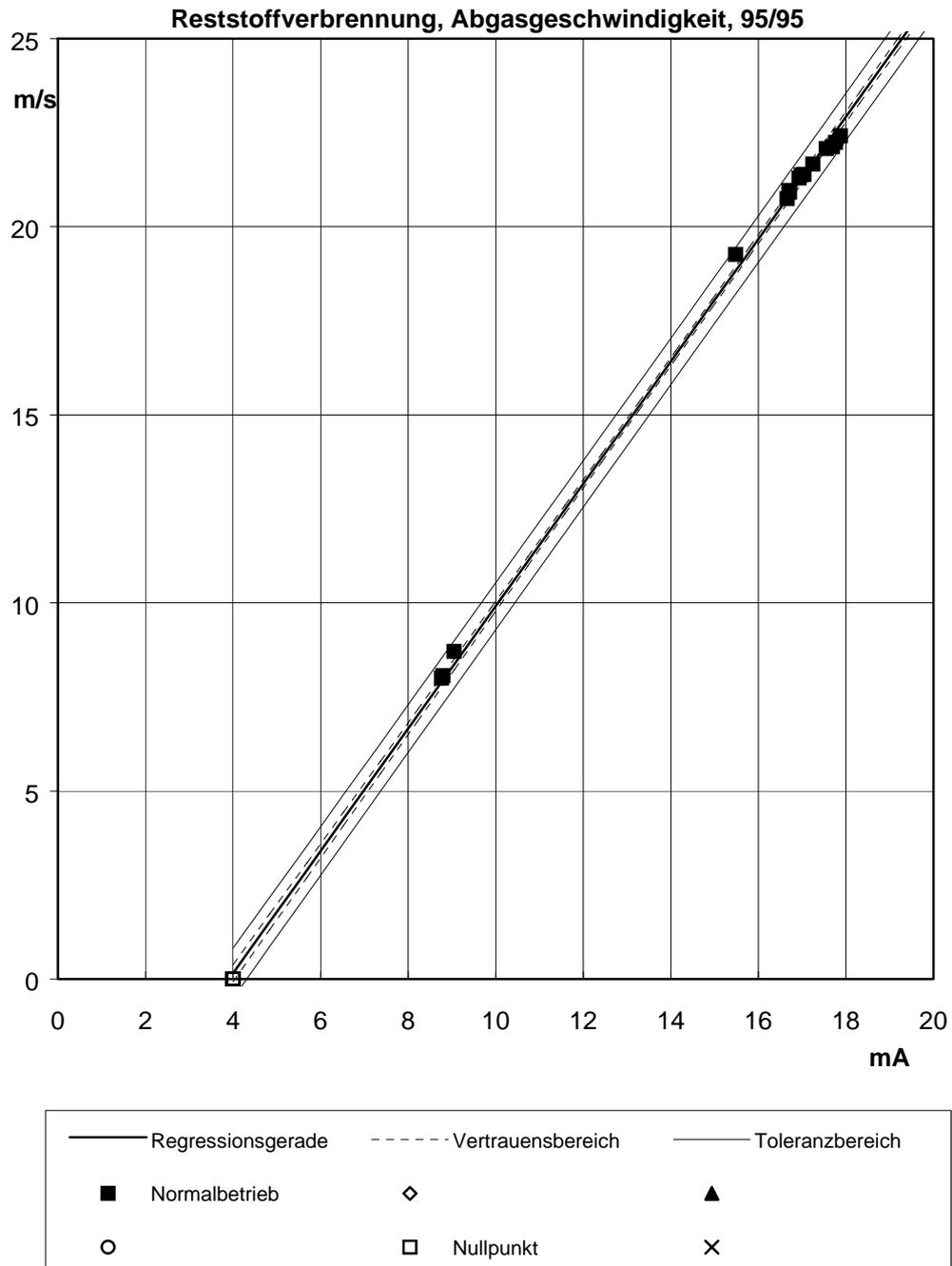


Abbildung 16: Kalibrierkurve (Analysefunktion) für Gerät 1 mit Drucktransmitter Siemens, Reststoff-
 verbrennungsanlage, Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich: 0 - 25 m/s $\hat{=}$ 4 - 20 mA

IV.1.4.2.6 Einstellzeit

Die Einstellzeit der Meßeinrichtung ist zu ermitteln und anzugeben.

Die Meßeinrichtung arbeitet im Kanal. Der Drucktransmitter ist direkt mit der Sonde verbunden. Die mechanische Dämpfungszeitkonstante der Meßzelle beträgt 0,2 s. Es ist eine elektronische Dämpfung von 0 bis 32 s am Transmitter einstellbar. Die Weiterverrechnung erfolgt praktisch verzögerungsfrei. Aufgrund der Bauweise des Gerätes kann von einer Einstellzeit von weniger als 2 s ausgegangen werden.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.4.2.7 Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit nach 1.1.11 soll den Wert 30 nicht unterschreiten.

In der Tabelle 12 sind die Reproduzierbarkeiten der zwei Geräte dargestellt. Die Einzeldaten sind im Anhang zusammengestellt. Die Abbildung 17 zeigt die graphische Darstellung. Die Werte sind als mA - Werte im Meßbereich 0 bis 16 mA (4 bis 20 mA abzüglich lebender Nullpunkt) dargestellt

Tabelle 12: Reproduzierbarkeiten R für aus Doppelbestimmungen, PFM 97 W, Meßbereich: 0 bis 16 mA entspr. 0 bis 25 m/s

Auswahlkriterium	Anzahl Wertepaare	R'	R
Klasse I 0 bis 5,33 mA	50	17	51
Klasse II 5,34 bis 10,66 mA	50	16	24
Klasse III 10,67 bis 16 mA	50	-	43
Klasse I bis III	150	-	34

R' = Reproduzierbarkeit, bezogen auf den Klassenendwert

R = Reproduzierbarkeit, bezogen auf den Meßbereichsendwert

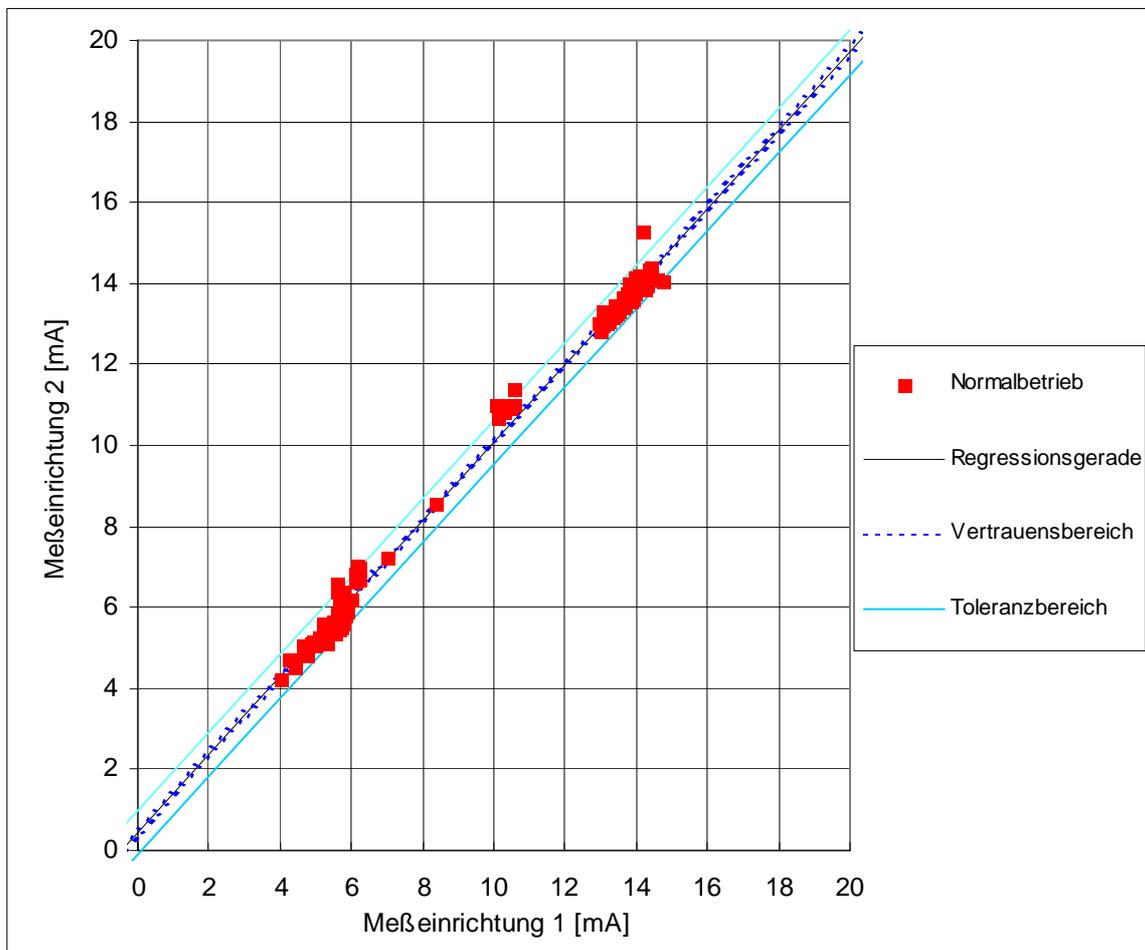


Abbildung 17: Graphische Darstellung der Werte für die Reproduzierbarkeit, PFM 97 W,
Meßgröße: Abgasgeschwindigkeit

Die Reproduzierbarkeit beträgt 34 und ist damit größer als 30.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.4.2.8

Gerätekenlinie

Die Abweichung der Istwerte von den Sollwerten der Gerätekenlinie gemäß Ziffer 1.1.3 hat nicht mehr als $\pm 5\%$ des Anzeigebereiches zu betragen.

Die Gerätekenlinie wurde im Rahmen der Windkanaluntersuchungen überprüft. Dabei wurden die vorgegebenen Volumenströme mittels eines Flügelradanemometers überwacht. Die folgende Tabelle stellt die Sollwerte den Geräteanzeigen der Meßgeräte gegenüber.

Tabelle 13: Einzelwerte der Linearitätsprüfung Geschwindigkeit, PFM 97 W,
(Meßbereich 0 bis 25 m/s = 4 bis 20 mA)

Vorgabewert		Gerät 1 mA	Abweichung %	Gerät 2 mA	Abweichung %
m/s	mA				
0,00	4,00	4,04	0,2	4,04	0,2
3,74	6,39	6,56	1,1	6,23	-1,0
5,87	7,76	7,85	0,6	7,71	-0,3
7,74	8,96	9,03	0,4	8,94	-0,1
10,33	10,61	10,64	0,2	10,67	0,4
12,60	12,06	12,08	0,1	12,16	0,6
14,87	13,52	13,56	0,3	13,64	0,8
17,11	14,96	14,93	-0,2	15,09	0,8
19,65	16,58	16,44	-0,8	16,36	-1,4
21,48	17,75	17,60	-1,0	17,48	-1,7

Bei der Linearitätsprüfung der Volumenstrommeßeinrichtung ergaben sich Abweichungen der Istwerte von den Sollwerten der Gerätekenlinie von max. 1,1 % bzw. -1,7 % bezogen auf den Anzeigebe-
reich.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.4.3

Feuchtegehalt

nicht zutreffend

IV.1.4.4

Besondere Anforderungen an Meßeinrichtungen für Aufgaben gemäß 17. BImSchV

IV.1.4.4.1

Emissionen

Die Mindestanforderungen für Schadstoffe sind im Bereich des Grenzwertes für Tagesmittel-
werte nachzuweisen. Es soll der Meßbereich bis zum 1,5-fachen des Grenzwertes für Halb-
stundenmittelwerte, bei CO bis zum 2fachen des Grenzwertes für Kurzzeitwerte abgedeckt
werden. Die Kalibrierung von CO-Meßgeräten ist auf Basis von Zehnminutenwerten vorzuneh-
men.

Im Rahmen dieser Ergänzungsprüfung wurde für die Meßkomponente Staub der Meßbereich 0 bis 15
mg/m³ entsprechend den Anforderungen für die Überwachung des Tagesmittelwerts der 17. BImSchV
geprüft. Dabei wurden die entsprechenden Mindestanforderungen eingehalten. Andere Meßbereiche
sind an den Geräten einstellbar.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.4.4.2

Meßbereiche für Volumenstrom- und Feuchtemeßeinrichtungen

Meßgeräte zur Messung des Abgasvolumenstromes und der Feuchte sind so auszulegen, daß
die Meßwerte bei normalen Betriebsbedingungen bei 80 % des Meßbereichs liegen.

Der Meßbereich kann an die jeweiligen Anlagenbedingungen angepaßt werden.

Bewertung: Mindestanforderung erfüllt.

IV.1.4.4.3

Kontinuierliche Bestimmung der Mindesttemperatur

(§ 11 Abs. 1 Nr. 3 i. V. m. § 4 Abs. 2 und 3)

Es sind an geeigneter Stelle im Nachbrennraum (u. B. Kesseldecke) mindestens zwei Meßeinrichtungen gemäß Richtlinienreihe VDI/VDE 3511 zu installieren; der Mittelwert ist nach § 11 Abs. 1 zu registrieren und auszuwerten.

Die zuständige Behörde soll dafür sorgen, daß bei Ausfall einer Meßeinrichtung diese unverzüglich durch eine vorzuhaltende baugleiche Reservemeßeinrichtung zu ersetzen ist.

Die Überprüfung der Verbrennungsbedingungen und weiterer Parameter ist gemäß Bundeseinheitlicher Praxis bei der Überwachung der Verbrennungsbedingungen an Abfallverbrennungsanlagen nach 17. BImSchV, RdSchr. d. BMU v. 1.9.1994 - IG I 3- 51 134/3 (GMBI, 1994, S. 1231), durchzuführen.

Die Temperaturmeßeinrichtung des Meßsystems ist zur Bestimmung der Mindesttemperatur nicht vorgesehen.

Bewertung: Mindestanforderung nicht zutreffend.

IV.1.4.4.4

Mindestvolumengehalt an Sauerstoff

(§ 11 Abs. 1 Nr. 3 i.V.m. § 4 Abs. 2, 3)

Es sollte an geeigneter Stelle im Abgasweg (z. B: nach Kessel) eine eigungsgeprüfte Sauerstoff-Meßeinrichtung (empfohlener Meßbereich: 0 - 12 Vol.-% bzw.: 0 - 6 Vol.-%), die gegebenenfalls mit Zusatzeinrichtungen (z. B. zum Rückspülen) ausgerüstet ist, installiert werden.

Sauerstoff ist keine Meßkomponente des Meßsystems PFM 97 W.

Bewertung: Mindestanforderung nicht zutreffend.

V Empfehlungen zum Praxiseinsatz

V.1 Arbeiten im Wartungsintervall

Die Arbeiten im Wartungsintervall beschränken sich auf eine Plausibilitätskontrolle sowie auf die Reinigung der Sonde. Es sind die Werte der automatischen Null- und Referenzpunktkontrollen zu überprüfen. Ein automatischer Zyklus ist einzuleiten und die Werte sind zu protokollieren.

Die Wartung der Geschwindigkeitssonde beschränkt sich auf die Überprüfung von Null- und Referenzpunkt.

Das Intervall der notwendigen Reinigung der Meßsonden ist in Abhängigkeit von den Partikeleigenschaften (insbesondere Feuchtegehalt) und den Abgasrandbedingungen (Staubgehalt) anlagenspezifisch zu ermitteln.

V.2 Funktionsprüfung und Kalibrierung

Da das Gerät, wie bereits dargelegt, keinerlei Möglichkeiten zur Justierung hat, beschränkt sich die Funktionsprüfung auf die im Folgenden dargestellten Tätigkeiten:

- Sichtprüfung des Gerätes,
- Plausibilitätskontrolle der Meßwerte,
- Durchführung von manuellen Vergleichsmessungen gemäß Richtlinie VDI 2066,
- Überprüfen der Datenübertragung (Analog- und Statussignale) zum Auswertungssystem.

Da die Meßmethode prinzipbedingt geschwindigkeitsabhängig ist, wird das eigentliche Meßsignal geräteintern geschwindigkeitskompensiert. Dieser Umstand erfordert einen besonderen Aufwand bei der Kalibrierung der Geräte. Die Korrektur des triboelektrischen Rohsignals geschieht nach der halbempirischen Formel:

$$c_{iB} = A \cdot 500 \cdot U_M \cdot V^{(B \cdot V^2 + C \cdot V + E)} + D = A \cdot c_{iB}' + D$$

wobei A, B, C, D und E Konstanten sind, die bei Kalibrierung des Meßgerätes ermittelt werden, U_M ist die mittlere SONDENSPIGELSTÄRKE der beiden Staubmeßsensoren, V ist die Abgasgeschwindigkeit und c_{iB} ist die Staubkonzentration im Abgas unter Betriebsbedingungen. Während die Konstanten A und D auf dem üblichen Wege im Rahmen der Kalibrierung bestimmt werden ist ein besonderer Aufwand zur Bestimmung der Konstanten B, C und E erforderlich. Dies geschieht nach der folgenden Gleichung:

$$B \cdot V^2 + C \cdot V + E = \frac{\ln\left(\frac{c_{iB, \text{gravimetrisch}}}{500 \cdot U_M}\right)}{\ln(V)} \hat{=} \text{Exponent}$$

Der Wert $c_{iB, \text{gravimetrisch}}$ ist das Ergebnis der Vergleichsmessung für den Staubgehalt unter Betriebsbedingungen. Der Wert des Exponenten wird für jede einzelne Vergleichsmessung berechnet. Durch eine quadratische Regressionsrechnung der berechneten Exponenten als Funktion der Abgasgeschwindigkeit erhält man die Konstanten B, C und E. Die Regressionsrechnung muß für B einen negativen Wert ergeben. Die Parabel darf sich nie nach oben öffnen. Sollte B positiv werden ist ein linearer Ansatz zu wählen /2/.

Die Geräteanzeige als Staubmeßsignal c_{iB}' , welches in die eigentliche Kalibrierkurve einfließt, berechnet sich nun nach:

$$c_{iB}' = 500 \cdot U_M \cdot V^{(B \cdot V^2 + C \cdot V + E)}$$

Die bei der Kalibrierung gewonnenen Koeffizienten A, B, C, D und E sowie die zur Umrechnung auf Normbedingungen erforderlichen Daten können sowohl über eine Emissionswerterechner als auch

direkt im Gerät eingegeben werden. Das Gerät gibt parallel ein unverrechnetes triboelektrisches Rohsignal, den Staubgehalt unter Kanalbedingungen und den Staubgehalt unter Normbedingungen nach Abzug des Wasserdampfgehaltes aus. Zur Umrechnung sind die Dichte des Abgases und der Wasserdampfgehalt einzugeben.

Läßt sich im Rahmen der Kalibriermessungen weder für den quadratischen noch für den linearen Ansatz eine statistisch abgesicherte Korrelation zwischen dem Geschwindigkeitsexponenten und der Geschwindigkeit ermitteln (Bei keiner oder nur geringer Variation der Abgasgeschwindigkeit im Betrieb der Anlage während der Kalibriermessungen), ist in die Grundformel ein konstanter Geschwindigkeitsexponent (arithmetischer Mittelwert der Exponenten aus den einzelnen Messungen) einzusetzen.

Filtereingriffe sind im Rahmen der Kalibrierung möglichst zu vermeiden, da sich hierdurch die triboelektrischen Eigenschaften des Staubs verändern können.

Bei der Kalibrierung der Meßeinrichtung sind unbedingt das triboelektrische Rohsignal (C_{cal}) und die Volumenstromanzeige der Meßeinrichtung aufzuzeichnen.

Weitere Einzelheiten zur Funktionsprüfung und Kalibrierung sind der Richtlinie VDI 3950, Blatt 1 (Juli 1994) zu entnehmen; außerdem sind die Hinweise des Herstellers zu beachten.

VI Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse

Seite	Kurztitel	Prüfergebnis	Urteil
8	IV.1 Mindestanforderungen an kontinuierliche Emissions- meßeinrichtungen bei der Eignungsprüfung		
8	IV.1.1 Allgemeines		
8	IV.1.1.1 Normative Bedingungen	Die Eignungsprüfung erfolgte unter Beachtung der genannten Richtlinien.	erfüllt
8	IV.1.1.2 Dauertest	Der Dauertest erfolgte vom 17.09.1999 bis 18.02.2000 an einer industriellen Reststoffverbrennungsanlage.	erfüllt
8	IV.1.1.3 Analysefunktion	Es konnte ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen Geräteanzeige und den Ergebnis der Vergleichsmessungen nachgewiesen werden.	erfüllt
8	IV.1.1.4 Justierung der Einstellun- gen	Die Justierung des Gerätes erfolgt im Service Menü. Dieses Menü ist nur über einen verdeckt angebrachten Taster erreichbar, der unter einer Gehäuseabdeckung sitzt.	erfüllt
8	IV.1.1.5 Lebender Nullpunkt; Null- punktlage	Die Lage des Nullpunktes ist auf 4 mA eingestellt. Der Referenzpunkt liegt bei etwa 70 % des Vollausschlags.	erfüllt
8	IV.1.1.6 Anzeigebereich	Die Festlegung des kleinsten geprüften Meßbereiches orientierte sich an der Leistungsfähigkeit des Meßgerätes. Der Meßbereich 0 bis 15 mg/m ³ entspricht dem 1,5-fachen des Tagesmittelwertes der 17. BImSchV. Es sind andere Meßbereiche einstellbar.	erfüllt
8	IV.1.1.7 Meßwertausgang	Der Anschluß von zusätzlichen Meß- und Peripheriegeräten ist über entsprechende Anschlüsse an den Geräten ist möglich.	erfüllt
8	IV.1.1.8 Statussignale	Die Geräte sind in der Lage, einem nachgeschalteten Auswertesystem ihren Betriebszustand als Statussignal mitzuteilen.	erfüllt
8	IV.1.1.9 Verfügbarkeit	Die Geräte zeigten eine Verfügbarkeit von 99,5 % und 98,8 %.	erfüllt
8	IV.1.1.10 Wartungsintervall	Das Wartungsintervall wurde durch die Auswertung der Null- und Referenzpunktkontrollen der Geräte ermittelt. Darüber hinaus wurde das Betriebsverhalten der Geräte berücksichtigt. Es ergab sich ein Wartungsintervall von 8 Wochen für die Meßeinrichtung PFM 97 W.	erfüllt
8	IV.1.1.11 Reproduzierbarkeit	Die Reproduzierbarkeit wurde während des Feldtests bestimmt.	erfüllt
8	IV.1.1.12 Vollständige Meßeinrich- tung	Die eignungsgeprüfte Ausführung umfaßt die vollständige Meßeinrichtung einschließlich der Bedienungsanleitung in deutscher Sprache.	erfüllt

Seite	Kurztitel	Prüfergebnis	Urteil
8	IV.1.1.13 Nenngebrauchsbeding- ungen	<p>Zu a) Bei Netzspannungsschwankungen von 190 bis 250 V konnte kein Einfluß auf das Meßsignal festgestellt werden./2/</p> <p>Zu b) Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit wurde nicht gesondert untersucht. Aufgrund der Bauweise des Gerätes ist aber anzunehmen, daß es gegen Luftfeuchtigkeit unempfindlich ist, solange der Taupunkt nicht unterschritten wird.</p> <p>Zu c) Der Analysator ist spritzwassergeschützt, er sollte ungeschützt an Orten mit Flüssigwasser in der Luft nicht eingesetzt werden.</p> <p>Zu d) Die Geräte waren während des Dauerversuchs den am Meßort auftretenden Schwingungen und Erschütterungen ausgesetzt. Es konnten keine erkennbaren Einflüsse auf die Gerätefunktion festgestellt werden. Aus Vorsorgegründen sollte der Aufstellungs- oder Einbauort des Analysators möglichst erschütterungsfrei sein.</p>	erfüllt erfüllt erfüllt erfüllt
8	IV.1.1.14 Automatische Nachjustie- rung	Bei den automatischen Gerätezyklen wird der Nullpunkt der Meßeinrichtung überprüft und nachgeführt. Ist die Differenz zwischen nachgeführtem Nullpunkt und ursprünglich mittels Nullrohr eingestelltem Nullpunkt > 4 % vom Meßbereich wird das Statussignal Wartungsbedarf gegeben, bei einer Differenz > 6 % Störung.	erfüllt
8	IV.1.1.15 Umgebungstemperaturbe- reich	Es wurden zwei Geräte des Typs PFM 97 W in einer Klimakammer Temperaturschwankungen zwischen -20 °C und + 50 °C ausgesetzt. Bezogen auf den Meßbereich 0 bis 15 mg/m ³ ergaben sich Abweichungen des Meßsignals von max. 3,3 % bzw. 2,9 % vom Anzeigebereich.	erfüllt
8	IV.1.1.16 Einfluß Probengasdurchfluß	Das Meßsystem PFM 97 W arbeitet direkt im Kanal.	erfüllt
8	IV.1.1.17 Mehrkomponenten Meßein- richtungen	Die Anforderungen für die Meßkomponenten Volumenstrom und Staubgehalt wurden getrennt betrachtet. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß das Volumenstromsignal direkt in die Berechnung des Staubgehalts einfließt.	erfüllt
8	IV.1.2 Staubförmige Emissionen		
8	IV.1.2.1 Bestimmung der Massen- konzentration		
8	IV.1.2.1.1 Reproduzierbarkeit	Die Bestimmung der Reproduzierbarkeit ergab für PFM 97 W einen Wert von 32 und ist damit höher als der geforderte Wert von 30.	erfüllt
8	IV.1.2.1.2 Drift im Wartungsintervall	Die Auswertung der automatischen Kontrollen des Meßgerätes ergab eine Änderung der Nullpunktanzeige von < 3 % des Anzeigebereichs und eine Änderung der Referenzpunktanzeige von < 3 % vom Sollwert im Wartungsintervall von 8 Wochen.	erfüllt

Seite	Kurztitel	Prüfergebnis	Urteil
8	IV.1.2.1.3 Linearität	Die Linearität des Meßsystems PFM 97 W kann aufgrund des Meßprinzips nicht durch Prüfstandards ermittelt werden. Eine Bewertung der Linearität konnte nur mit gravimetrischen Vergleichsmessungen durchgeführt werden. Bei Betrachtung der Ergebnisse der Kalibriermessungen sowie der Ergebnisse der Eignungsprüfung des Meßgerätes (Staubkanaluntersuchungen) /2/ zeigt sich, daß die Linearität des Meßsignals in entsprechender Qualität gewährleistet ist.	erfüllt
8	IV.1.2.1.4 Verschmutzungskontrolle	Das Meßgerät arbeitet nicht nach einem optischen Prinzip.	nicht zutreffend
8	IV.1.2.1.5 Auswanderung des Meßstrahles	Das Meßgerät arbeitet nicht nach einem optischen Prinzip.	nicht zutreffend
8	IV.1.2.1.6 Automatische Korrektur von Null- und Referenzpunkt	Null- und Referenzpunktkontrollen werden von dem Gerät in vierstündigem Rhythmus automatisch durchgeführt. Wird der Toleranzbereich überschritten wird ein Statussignal gegeben. Eine automatische Korrektur findet nur beim Nullpunkt statt. Zur Verschmutzungskontrolle wird bei diesem Gerät die Referenzpunktkontrolle herangezogen.	erfüllt
8	IV.1.2.1.7 Abgasvolumen	Das Gerät PFM 97 W arbeitet direkt im Kanal.	nicht zutreffend
8	IV.1.3 Gasförmige Emissionen		
8	IV.1.4 Messung von Bezugsgrößen		
8	IV.1.4.1 Sauerstoffgehalt		
8	IV.1.4.2 Abgasvolumenstrom		
8	IV.1.4.2.1 Anzeigebereich	Der Meßbereich der Sonde beträgt 0 bis 25 m/s. Abweichende Meßbereiche sind ab Werk einstellbar.	erfüllt
8	IV.1.4.2.2 Nachweisgrenze	Aufgrund der Spezifikationen der eingesetzten Drucktransmitter und den Ergebnissen der Staubkanaluntersuchungen kann davon ausgegangen werden, daß die Nachweisgrenze kleiner ist als 5 m/s. Bei Unterschreitung wird ein Statussignal gegeben.	erfüllt
8	IV.1.4.2.3 Temperaturdrift	Die Meßeinrichtung wurde im Umgebungstemperaturbereich von -20°C bis +50°C /2/ bzw. 0°C bis +50°C /3/ in einer Klimakammer überprüft. Es traten Abweichungen von 0,1 % /2/ bzw. 0,4 % /3/ vom jeweiligen Anzeigebereich auf. Aufgrund der Bauweise der Sonde ist je nach Einbausituation eine Wetterschutzhaube erforderlich.	erfüllt
8	IV.1.4.2.4 Driftverhalten	Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Kalibriermessungen kann davon ausgegangen werden, daß die Veränderung des Null- und Referenzpunktes im Wartungsintervall von 8 Wochen kleiner als 2 % des Anzeigebereichs ist.	erfüllt
8	IV.1.4.2.5 Kalibrierung	Durch Vergleichsmessungen mit einem Konventionsverfahren jeweils am Anfang und am Ende des Feldtests und durch umfangreiche Untersuchungen an einem Windkanal konnte ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen den aufgenommenen Meßwerten und dem Konventionsverfahren nachgewiesen werden.	erfüllt

Seite	Kurztitel	Prüfergebnis	Urteil
8	IV.1.4.2.6 Einstellzeit	Aufgrund der Bauweise des Gerätes kann von einer Einstellzeit von weniger als 2 s ausgegangen werden.	erfüllt
8	IV.1.4.2.7 Reproduzierbarkeit	Die Reproduzierbarkeit beträgt 34 und ist damit größer als 30.	erfüllt
8	IV.1.4.2.8 GeräteKennlinie	Bei der Linearitätsprüfung der Volumenstrommeßeinrichtung ergaben sich Abweichungen der Istwerte von den Sollwerten der GeräteKennlinie von max. 1,1 % bzw. -1,7 % bezogen auf den Anzeigebereich.	erfüllt
8	IV.1.4.3 Feuchtegehalt		
8	IV.1.4.4 Besondere Anforderungen an Meßeinrichtungen für Aufgaben gemäß 17. BImSchV		
8	IV.1.4.4.1 Emissionen	Im Rahmen dieser Ergänzungsprüfung wurde für die Meßkomponente Staub der Meßbereich 0 bis 15 mg/m ³ entsprechend den Anforderungen für die Überwachung des Tagesmittelwerts der 17. BImSchV geprüft. Dabei wurden die entsprechenden Mindestanforderungen eingehalten. Andere Meßbereiche sind an den Geräten einstellbar.	erfüllt
8	IV.1.4.4.2 Meßbereiche für Volumenstrom- und Feuchtemeßeinrichtungen	Der Meßbereich kann an die jeweiligen Anlagenbedingungen angepaßt werden.	erfüllt
8	IV.1.4.4.3 Kontinuierliche Bestimmung der Mindesttemperatur (§ 11 Abs. 1 Nr. 3 i. V. m. § 4 Abs. 2 und 3)	Die Temperaturmeßeinrichtung des Meßsystems ist zur Bestimmung der Mindesttemperatur nicht vorgesehen.	nicht zutreffend
8	IV.1.4.4.4 Mindestvolumengehalt an Sauerstoff	Sauerstoff ist keine Meßkomponente des Meßsystems PFM 97 W.	nicht zutreffend

VII Bekanntgabevorschlag

Tabelle 14 gibt ein Übersicht über die geprüften Geräteversionen der Meßeinrichtung.

Tabelle 14: Übersicht über die geprüften Geräteversionen

Gerätetyp	Staub Sondentyp	Volumenstrom Sondentyp	Differenzdruck- aufnehmer	TÜV-Prüfbericht
PFM 97	Trapez	Systemec Deltaflow	Smar LD 301	936/808005/B vom 14.08.1998
PFM 97 W	Fluegel	Födisch FMD 99	Smar LD 301	aktueller Bericht

Aufgrund der erzielten positiven Ergebnisse wird folgende Empfehlung für die Bekanntgabe als eig-
 nungsgeprüfte Meßeinrichtung ausgesprochen:

**Staubförmige Emissionen, Abgasvolumenstrom
PFM 97 W**

- Hersteller** : Dr. Födisch Umweltmeßtechnik GmbH, Kulkwitz
- Eignung** : für Anlagen nach 13., 17. und 27. BImSchV sowie TA Luft mit mechani-
schen und filternden Abscheidern
- Meßbereiche bei der
Eignungsprüfung** : Staub: 0 bis 15 mg/m³
Abgasgeschwindigkeit: 0 bis 25 m/s
- Einschränkung** :
 - Die Meßeinrichtung kann nur eingesetzt werden, wenn eine Unter-
schreitung des Taupunktes ausgeschlossen werden kann.
 - Die Meßeinrichtung besitzt anstelle der Referenzpunktkontrolle eine
Verschmutzungskontrolle.
- Hinweis** :
 - Nach einer Filterstörung mit hoher Staubbelastung ist die Sonde zu
reinigen.
 - Das Wartungsintervall der Meßeinrichtung wird auf 2 Monate verlän-
gert.
 - Die Eignung des Gerätes für Staubkonzentrationen über 50 mg/m³ ist
im Einzelfall durch eine Musterkalibrierung mit entsprechend hohen
Staubgehalten zu belegen.
 - Die geprüfte Version setzt sich zusammen aus:
Gerätetyp: PFM 97 W
Staub-Sondentyp: Fluegel
Volumenstrom-Sondentyp: Födisch FMD 99
Differenzdruckaufnehmer: Smar LD 301

Abteilung Immissionsschutz / Luftreinhaltung

Dipl.-Ing. Carsten Röllig

Dr. Peter Wilbring

Köln, den 10.04.2000
936-rö-ri

VIII Literaturverzeichnis

- [1] Bundeseinheitliche Praxis bei der Überwachung der Emissionen; Richtlinien über:
- die Eignung, den Einbau, die Kalibrierung, die Wartung von Meßeinrichtungen für kontinuierliche Emissionsmessungen und die kontinuierliche Erfassung von Bezugs- bzw. Betriebsgrößen zur fortlaufenden Überwachung der Emissionen besonderer Stoffe,
 - die Auswertung von kontinuierlichen Emissionsmessungen,
 - die Bewertung der Rußzahlmessungen bei Heizöl-EL-Feuerungen.
- Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und die für den Immissionschutz zuständigen obersten Landesbehörden haben im Länderausschuß für Immissionschutz Übereinstimmung über die nachstehenden Richtlinien erzielt.
- RdSchr. d. BMU v. 01.09.1997 - IGI 3 - 51 134 / 3
- [2] Bericht über die Eignungsprüfung des Staubmeßgerätes PFM 97 der Fa. Dr. Födisch Umweltmeßtechnik GmbH, Kulkwitz, TÜV-Bericht: 936/808005/B vom 14.08.1998
TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, Köln:
- [3] Bericht über die Eignungsprüfung eines Volumenstommeßgerätes Typ Deltaflw DF 25 und DF 50, Fa. Systec Controls Meß und Regeltechnik GmbH, Puchheim vom 01.03.1996,
TÜV Umwelttechnik GmbH, Unternehmensgruppe TÜV Bayern, München

IX Anlagen

Tabelle 1: Einzelwerte der Kalibriermessungen, PFM 97 W, Meßobjekt Staub
 zu Beginn des Feldtests
 Meßbereich 4 - 20 mA $\hat{=}$ 0 - 15 mg/m³

lfd. Nr.	Meßwertanzeige		Ergebnis Ver- gleichsmessung mg/m ³ Staub
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA	
1	5,52	5,19	0,6
2	5,29	5,10	0,5
3	5,23	5,22	0,4
4	4,45	4,46	0,5
5	4,50	4,50	0,6
6	5,01	4,95	0,4
7	5,10	5,06	2,2
8	5,22	5,24	2,5
9	7,00	7,31	3,8
10	7,21	7,82	3,5
11	7,38	7,35	5,0
12	9,26	8,85	5,4
13	7,74	7,53	4,4
14	6,28	6,38	3,5
15	5,54	5,16	0,4
16	4,00	4,00	0,0
17	4,00	4,00	0,0
18	4,00	4,00	0,0

Tabelle 2: Einzelwerte der Kalibriermessungen, PFM 97 W, Meßobjekt Staub,
zum Ende des Feldtests,
Meßbereich 4 - 20 mA $\hat{=}$ 0 - 15 mg/m³

lfd. Nr.	Meßwertanzeige		Ergebnis Ver- gleichsmessung mg/m ³ Staub
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA	
1	4,61	4,68	0,5
2	4,59	4,68	0,5
3	4,58	4,73	0,6
4	4,75	4,71	1,1
5	4,81	4,76	1,2
6	5,84	5,38	2,2
7	5,66	5,75	2,3
8	5,71	6,60	3,0
9	5,59	5,88	2,0
10	5,63	5,62	2,7
11	4,57	4,62	0,2
12	4,64	4,68	0,3
13	4,53	4,60	0,6
14	4,98	4,98	1,7
15	5,44	4,92	2,2

Tabelle 3: Einzelwerte der Kalibriermessungen, PFM 97 W, Meßobjekt Abgasgeschwindigkeit, Feldkalibrierung, Reststoffverbrennung, Meßbereich 4 - 20 mA $\hat{=}$ 0 - 25 m/s

lfd. Nr.	Meßwertanzeige		Ergebnis Ver- gleichsmessung m/s
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA	
1	12,20	12,45	12,1
2	12,39	14,02	13,1
3	12,28	14,03	12,9
4	17,56	17,61	19,6
5	15,02	15,80	15,6
6	18,40	18,46	20,9
7	16,36	16,72	18,1
8	16,59	16,91	18,6
9	18,02	18,07	19,0
10	17,90	18,08	20,4
11	16,95	17,09	18,8
12	13,38	13,39	13,6
13	13,97	13,70	14,3
14	12,11	13,22	12,2
15	13,64	13,44	13,1
16	4,00	4,00	0,0
17	4,00	4,00	0,0
18	4,00	4,00	0,0

Die Messungen 1 bis 8 erfolgten im Rahmen der ersten Feldkalibrierung, die Messungen 9 bis 15 bei der zweiten.

Tabelle 4: Einzelwerte der Kalibriermessungen, PFM 97 W, Meßobjekt Abgasgeschwindigkeit,
Windkanaluntersuchungen,
Meßbereich 4 - 20 mA $\hat{=}$ 0 - 25 m/s

lfd. Nr.	Meßwertanzeige		Ergebnis Ver- gleichsmessung m/s
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA	
1	12,12	12,20	12,6
2	9,20	9,24	8,2
3	15,88	15,88	18,7
4	8,67	8,57	7,2
5	17,63	17,28	21,6
6	14,79	14,94	16,8
7	9,09	9,12	7,9
8	10,44	10,46	10,0
9	11,15	11,09	11,1
10	11,01	11,04	10,9
11	14,50	14,64	16,4
12	6,56	6,22	3,7
13	17,68	17,26	21,6
14	12,08	12,15	12,6
15	14,96	15,11	17,1
16	4,04	4,04	0,0
17	4,02	4,04	0,0
18	4,02	4,04	0,0

Tabelle 5: Einzelwerte der Kalibriermessungen, PFM 97 W, Meßobjekt Abgasgeschwindigkeit, Musterkalibrierung Drucktransmitter Siemens, Meßbereich 4 - 20 mA $\hat{=}$ 0 - 25 m/s

lfd. Nr.	Meßwertanzeige Gerät 1 mA	Ergebnis Ver- gleichsmessung m/s
1	8,79	8,1
2	8,77	8,0
3	9,05	8,7
4	15,48	19,3
5	16,71	20,9
6	16,93	21,3
7	16,70	21,0
8	16,98	21,4
9	17,55	22,1
10	17,76	22,2
11	17,69	22,1
12	17,04	21,4
13	16,66	20,7
14	17,24	21,7
15	17,88	22,4
16	4,00	0,0
17	4,00	0,0
18	4,00	0,0

Tabelle 6: *Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Staub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³,
Klasse 1 (0 - 5 mg/m³), Reststoffverbrennung*

Ifd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mg/m ³ Staub	Gerät 2 mg/m ³ Staub
1	0,0	0,0
2	0,2	0,5
3	0,3	0,5
4	0,4	0,8
5	0,5	0,4
6	0,7	0,9
7	0,7	1,2
8	0,7	1,2
9	0,7	1,2
10	0,8	1,2
11	0,8	1,2
12	0,8	0,7
13	0,9	1,1
14	0,9	0,8
15	1,0	1,1
16	1,0	1,0
17	1,0	1,4
18	1,0	1,3
19	1,0	1,3
20	1,1	1,4
21	1,1	1,1
22	1,1	1,2
23	1,1	1,6
24	1,1	1,1
25	1,1	1,1

Tabelle 6: **Fortsetzung**
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
 Meßobjekt: Staub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³,
 Klasse 1 (0 - 5 mg/m³), Reststoffverbrennung*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mg/m ³ Staub	Gerät 2 mg/m ³ Staub
26	1,1	0,6
27	1,2	1,5
28	1,2	1,1
29	1,2	1,0
30	1,2	1,3
31	1,2	1,0
32	1,2	1,6
33	1,3	0,9
34	1,3	1,4
35	1,3	1,9
36	1,3	1,4
37	1,4	0,7
38	1,4	1,2
39	1,5	1,5
40	1,5	2,0
41	1,5	1,9
42	1,5	1,9
43	1,5	1,8
44	1,6	1,6
45	1,6	1,4
46	1,7	1,9
47	1,7	2,0
48	1,8	1,3
49	1,8	1,5
50	1,8	1,7

Tabelle 6: *Fortsetzung*
Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Staub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³,
Klasse 1 (0 - 5 mg/m³), Reststoffverbrennung

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mg/m ³ Staub	Gerät 2 mg/m ³ Staub
51	2,5	2,9
52	2,5	2,9
53	2,5	3,0
54	2,5	3,3
55	2,6	4,2
56	2,6	4,0
57	2,6	2,8
58	2,6	3,4
59	2,6	3,0
60	2,6	3,5
61	2,6	3,6
62	2,7	2,8
63	2,7	3,1
64	2,7	4,1
65	2,7	3,0
66	2,8	3,8
67	2,8	2,8
68	2,8	3,5
69	2,8	2,8
70	2,8	2,9
71	2,8	2,6
72	2,8	2,7
73	2,8	3,0
74	2,8	3,2
75	2,8	2,9

Tabelle 6: **Fortsetzung**
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Staub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³,
Klasse 1 (0 - 5 mg/m³), Reststoffverbrennung*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mg/m ³ Staub	Gerät 2 mg/m ³ Staub
76	2,9	2,7
77	2,9	3,1
78	2,9	2,9
79	3,0	3,3
80	3,0	4,1
81	3,0	4,1
82	3,0	2,5
83	3,0	3,5
84	3,0	4,3
85	3,1	3,2
86	3,1	2,5
87	3,1	2,9
88	3,1	3,9
89	3,1	2,9
90	3,1	2,8
91	3,1	3,5
92	3,1	3,7
93	3,1	3,2
94	3,1	3,2
95	3,1	3,3
96	3,1	2,6
97	3,1	3,2
98	3,2	2,6
99	3,2	3,3
100	3,2	4,1

Tabelle 6: *Fortsetzung*
Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Staub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³,
Klasse 1 (0 - 5 mg/m³), Reststoffverbrennung

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mg/m ³ Staub	Gerät 2 mg/m ³ Staub
101	3,3	4,2
102	3,3	3,3
103	3,3	3,1
104	3,3	3,8
105	3,3	3,4
106	3,3	3,7
107	3,3	2,8
108	3,3	3,0
109	3,4	3,7
110	3,4	3,4
111	3,4	3,1
112	3,4	2,6
113	3,4	4,1
114	3,5	3,8
115	3,5	5,0
116	3,5	3,0
117	3,5	3,0
118	3,5	3,3
119	3,6	3,7
120	3,6	4,1
121	3,7	3,5
122	3,7	3,7
123	3,8	4,0
124	3,8	4,5
125	3,8	4,0

Tabelle 6: *Fortsetzung*
Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Staub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³,
Klasse 1 (0 - 5 mg/m³), Reststoffverbrennung

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mg/m ³ Staub	Gerät 2 mg/m ³ Staub
126	3,8	5,1
127	3,8	2,9
128	3,8	5,5
129	3,8	3,9
130	3,9	3,1
131	4,0	3,1
132	4,1	3,1
133	4,1	2,9
134	4,4	4,1
135	4,4	3,4
136	4,5	4,7
137	4,5	4,4
138	4,5	4,8
139	4,7	3,7
140	4,7	4,8
141	4,8	5,3
142	4,8	4,3
143	4,9	5,0

Tabelle 7: *Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,*
Meßobjekt: Staub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³,
Klasse 2 (5 - 10 mg/m³), Reststoffverbrennung

144	5,0	5,0
145	5,3	4,6
146	5,4	6,7
147	5,4	5,6
148	5,7	5,2
149	6,7	6,1
150	6,8	6,7

Tabelle 7: *Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich 0 - 25 m/s,
Klasse 1 (0 - 5,33 mA)*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
1	4,01	4,24
2	4,26	4,72
3	4,42	4,51
4	4,63	5,08
5	4,66	4,90
6	4,73	4,83
7	4,80	5,07
8	4,82	5,07
9	4,83	5,07
10	4,84	5,08
11	4,85	5,08
12	4,86	5,08
13	4,86	5,09
14	4,87	5,12
15	4,88	5,12
16	4,88	5,13
17	4,89	5,13
18	4,90	5,13
19	4,90	5,15
20	4,90	5,14
21	4,91	5,11
22	4,92	5,14
23	4,92	5,13
24	4,92	5,12
25	4,92	5,15

Tabelle 7: **Fortsetzung**
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
 Meßobjekt: Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich 0 - 25 m/s,
 Klasse 1 (0 - 5,33 mA)*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
26	4,93	5,17
27	4,93	5,17
28	4,93	5,16
29	4,94	5,14
30	4,94	5,12
31	4,95	5,16
32	4,95	5,16
33	4,95	5,12
34	4,96	5,14
35	4,97	5,13
36	4,98	5,09
37	4,99	5,12
38	5,00	5,16
39	5,00	5,18
40	5,00	5,17
41	5,02	5,16
42	5,03	5,17
43	5,05	5,14
44	5,09	5,25
45	5,20	5,59
46	5,24	5,23
47	5,31	5,45
48	5,32	5,14
49	5,32	5,15
50	5,33	5,26

Tabelle 8: *Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich 0 - 25 m/s,
Klasse 2 (5,34 - 10,66 mA)*

Ifd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
1	5,42	5,59
2	5,49	5,68
3	5,54	5,39
4	5,57	5,82
5	5,58	5,82
6	5,58	6,60
7	5,59	5,83
8	5,59	5,46
9	5,61	5,85
10	5,61	5,63
11	5,61	5,65
12	5,62	6,39
13	5,62	5,86
14	5,63	5,46
15	5,63	5,87
16	5,65	6,09
17	5,66	5,72
18	5,67	5,88
19	5,71	5,52
20	5,74	5,64
21	5,74	5,77
22	5,76	5,68
23	5,77	6,39
24	5,79	5,92
25	5,79	5,96

Tabelle 8: **Fortsetzung**
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
 Meßobjekt: Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich 0 - 25 m/s,
 Klasse 2 (5,34 - 10,66 mA)*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
26	5,84	5,81
27	5,86	5,93
28	5,98	6,20
29	6,07	6,84
30	6,10	6,76
31	6,12	6,66
32	6,12	6,72
33	6,13	6,78
34	6,14	6,68
35	6,14	6,76
36	6,15	6,71
37	6,15	6,74
38	6,16	7,07
39	6,16	6,82
40	6,21	6,68
41	6,23	6,98
42	7,01	7,23
43	8,35	8,58
44	10,08	10,98
45	10,11	10,71
46	10,26	10,82
47	10,30	10,96
48	10,43	10,94
49	10,55	11,36
50	10,57	10,97

Tabelle 9: *Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich 0 - 25 m/s,
Klasse 3 (10,67 - 16 mA)*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
1	12,95	13,00
2	13,00	12,83
3	13,04	13,31
4	13,08	12,94
5	13,11	13,04
6	13,15	13,04
7	13,17	13,02
8	13,21	13,04
9	13,24	13,10
10	13,27	13,14
11	13,31	13,14
12	13,32	13,15
13	13,34	13,27
14	13,38	13,20
15	13,40	13,45
16	13,43	13,26
17	13,46	13,31
18	13,48	13,35
19	13,50	13,32
20	13,52	13,38
21	13,55	13,41
22	13,57	13,41
23	13,59	13,41
24	13,62	13,63
25	13,64	13,64

Tabelle 9: **Fortsetzung**
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
 Meßobjekt: Abgasgeschwindigkeit, Meßbereich 0 - 25 m/s,
 Klasse 3 (10,67 - 16 mA)*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
26	13,67	13,45
27	13,70	13,52
28	13,72	13,56
29	13,75	13,77
30	13,76	13,99
31	13,79	13,63
32	13,82	13,57
33	13,84	13,62
34	13,86	13,63
35	13,89	13,62
36	13,92	13,75
37	13,95	13,75
38	13,98	14,14
39	14,02	13,90
40	14,06	14,20
41	14,10	14,18
42	14,13	13,88
43	14,18	15,26
44	14,23	13,82
45	14,29	13,93
46	14,34	14,34
47	14,41	14,40
48	14,50	14,09
49	14,59	14,08
50	14,73	14,05

Tabelle 10: *Vergleich der Sondenbauformen, PFM 97 / PFM 97 W,
Windkanaluntersuchungen,
V=16,2 m/s, Staub Microcalzilin,
Rohsignal, Anzeigebereich 0 bis 5 V entsprechen 4 bis 20 mA*

Staubgehalt	Meßwertanzeige	
	Gerät 2 Flügelsonde	Gerät 3 Trapezsonde
mg/m ³	mA	mA
0,00	4,01	4,07
2,67	4,45	4,55
3,85	4,80	4,93
5,65	5,47	5,70
7,52	5,95	6,15
10,32	6,38	6,63
13,60	7,30	7,53
15,58	7,74	7,95
17,06	8,16	8,48
18,75	8,72	8,88

Tabelle 11: *Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
 Meßobjekt: Staub, Rohwerte
 Meßbereich 0 - 16 mA,
 Klasse 1 (0 - 5,33 mA), Reststoffverbrennung*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
1	1,32	0,76
2	0,53	0,73
3	0,40	0,38
4	0,42	0,40
5	0,53	0,64
6	0,40	0,94
7	0,47	0,92
8	0,41	0,95
9	0,41	0,94
10	0,44	0,94
11	0,35	0,95
12	0,37	0,93
13	0,35	0,92
14	0,47	0,98
15	0,28	0,40
16	0,48	0,42
17	0,53	0,43
18	0,57	0,43
19	0,62	0,48
20	0,50	0,46
21	0,47	0,43
22	0,92	0,52
23	0,71	0,46
24	0,60	0,48
25	0,52	0,46

Tabelle 11: Fortsetzung
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Staub, Rohwerte
Meßbereich 0 - 16 mA,
Klasse 1 (0 - 5,33 mA), Reststoffverbrennung*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
26	0,50	0,50
27	1,89	0,93
28	0,57	0,69
29	0,47	0,53
30	0,62	0,66
31	0,68	0,63
32	0,61	0,57
33	1,13	1,03
34	1,22	1,06
35	0,40	0,46
36	0,46	0,60
37	0,63	0,77
38	0,38	0,58
39	0,43	0,48
40	0,45	0,49
41	0,49	0,53
42	0,57	0,53
43	0,38	0,36
44	0,58	0,52
45	0,71	0,78
46	0,99	0,97
47	0,71	0,70
48	0,47	0,51
49	0,55	0,41
50	1,75	1,09

Tabelle 11: Fortsetzung
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
 Meßobjekt: Staub, Rohwerte
 Meßbereich 0 - 16 mA,
 Klasse 1 (0 - 5,33 mA), Reststoffverbrennung*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
51	0,43	0,41
52	0,50	0,44
53	0,62	0,54
54	0,84	1,06
55	0,60	0,57
56	0,55	0,52
57	0,64	0,70
58	0,81	0,72
59	0,75	0,67
60	0,34	0,43
61	0,42	0,54
62	0,36	0,44
63	0,47	0,54
64	0,79	0,91
65	0,62	0,68
66	0,66	0,71
67	0,69	0,53
68	0,34	0,43
69	0,34	0,35
70	0,38	0,44
71	0,44	0,52
72	0,35	0,41
73	0,99	1,03
74	0,54	0,59
75	0,59	0,51

Tabelle 11: Fortsetzung
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Staub, Rohwerte
Meßbereich 0 - 16 mA,
Klasse 1 (0 - 5,33 mA), Reststoffverbrennung*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
76	0,85	0,72
77	1,19	0,68
78	0,61	0,48
79	0,82	0,71
80	0,73	0,64
81	0,62	0,54
82	0,60	0,52
83	0,63	0,59
84	0,50	0,40
85	0,48	0,38
86	0,38	0,38
87	0,70	0,61
88	0,41	0,40
89	0,52	0,46
90	0,68	0,55
91	0,65	0,64
92	0,74	0,64
93	0,64	0,46
94	0,63	0,53
95	0,56	0,46
96	0,64	0,50
97	0,75	0,66
98	0,71	0,75
99	0,52	0,62
100	0,45	0,43

Tabelle 11: Fortsetzung
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
 Meßobjekt: Staub, Rohwerte
 Meßbereich 0 - 16 mA,
 Klasse 1 (0 - 5,33 mA), Reststoffverbrennung*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
101	0,40	0,34
102	0,30	0,17
103	0,24	0,11
104	0,47	0,19
105	0,22	0,17
106	0,23	0,24
107	0,25	0,16
108	0,27	0,21
109	0,41	0,17
110	0,37	0,15
111	0,75	0,25
112	0,24	0,21
113	0,27	0,26
114	0,30	0,34
115	0,27	0,21
116	0,47	0,33
117	0,27	0,22
118	0,26	0,22
119	0,42	0,34
120	0,46	0,38
121	0,28	0,27
122	0,33	0,30
123	0,40	0,34
124	0,28	0,20
125	0,52	0,43

Tabelle 11: **Fortsetzung**
*Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
Meßobjekt: Staub, Rohwerte
Meßbereich 0 - 16 mA,
Klasse 1 (0 - 5,33 mA), Reststoffverbrennung*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mA	Gerät 2 mA
126	0,41	0,30
127	0,37	0,26
128	0,37	0,27
129	0,32	0,30
130	0,27	0,22
131	0,27	0,25
132	0,23	0,19
133	0,48	0,40
134	0,27	0,22
135	0,44	0,31
136	0,51	0,51
137	0,33	0,26
138	0,50	0,33
139	0,40	0,35
140	0,33	0,28
141	0,27	0,21
142	0,26	0,20
143	0,53	0,33
144	0,22	0,11
145	0,47	0,38
146	0,73	0,46
147	0,23	0,25
148	0,20	0,16
149	0,50	0,95
150	0,22	0,17

Tabelle 12: *Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
 ausgewählte Werte,
 Meßobjekt: Staub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³,
 Klasse 1 (0 - 5 mg/m³), Reststoffverbrennung*

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mg/m ³ Staub	Gerät 2 mg/m ³ Staub
1	0,2	0,5
2	0,5	0,4
3	0,7	1,2
4	0,8	1,2
5	0,9	0,8
6	1,0	1,4
7	1,1	1,4
8	1,1	1,6
9	1,1	0,6
10	1,2	1,0
11	1,2	1,6
12	1,3	1,9
13	1,4	1,2
14	1,5	1,9
15	1,6	1,6
16	1,7	2,0
17	1,8	1,7
18	2,5	3,0
19	2,6	4,0
20	2,6	3,0
21	2,7	2,8
22	2,7	3,0
23	2,8	3,5
24	2,8	2,6
25	2,8	3,2

Tabelle 12: *Fortsetzung*
Reproduzierbarkeit der Meßwertanzeigen, PFM 97 W,
ausgewählte Werte,
Meßobjekt: Staub, Meßbereich 0 - 15 mg/m³,
Klasse 1 (0 - 5 mg/m³), Reststoffverbrennung

lfd. Nr.	Meßwertanzeige	
	Gerät 1 mg/m ³ Staub	Gerät 2 mg/m ³ Staub
26	2,9	3,1
27	3,0	4,1
28	3,0	3,5
29	3,1	2,5
30	3,1	2,9
31	3,1	3,7
32	3,1	3,3
33	3,2	2,6
34	3,3	4,2
35	3,3	3,8
36	3,3	2,8
37	3,4	3,4
38	3,4	4,1
39	3,5	3,0
40	3,6	3,7
41	3,7	3,7
42	3,8	4,0
43	3,8	5,5
44	4,0	3,1
45	4,4	4,1
46	4,5	4,4
47	4,7	4,8
48	4,9	5,0
49	4,5	4,8
50	4,8	5,3

Handbücher
