

# TÜV RHEINLAND IMMISSIONSSCHUTZ UND ENERGIESYSTEME GMBH

Akkreditiertes Prüfinstitut



DAP-PL-3856.99

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissions-  
messeinrichtung OPSIS SM 200 mit PM2,5 Vorab-  
scheider der Firma OPSIS AB für die Komponente  
Schwebstaub PM2,5

**TÜV-Bericht: 936/21205849/A**  
Köln, 26.03.2009

[www.umwelt-tuv.de](http://www.umwelt-tuv.de)



[luft@de.tuv.com](mailto:luft@de.tuv.com)

**Die TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH ist mit der Abteilung Immissionsschutz  
für die Arbeitsgebiete:**

- Bestimmung 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 ISO/IEC 17025 akkreditiert.**

Die Akkreditierung ist gültig bis 31-01-2013. DAR-Registriernummer: DAP-PL-3856.99.

Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes bedarf der schriftlichen Genehmigung.

**TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH**  
**D - 51105 Köln, Am Grauen Stein, Tel: 0221 806-2756, Fax: 0221 806-1349**





Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma OPSIS AB für die  
Komponente Schwebstaub PM2,5

**Geprüftes Gerät:** OPSIS SM 200 mit PM2,5 Vorabscheider

**Hersteller:** OPSIS AB  
Box 244  
SE-244 02 Furulund  
Schweden

**Prüfzeitraum:** Oktober 2006 bis März 2009

**Berichtsdatum:** 26.03.2009

**Berichtsnummer:** 936/21205849/A

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. (FH) Karsten Pletscher  
Tel.: ++49 221 806-2592  
karsten.pletscher@de.tuv.com

**Berichtsumfang:**

Bericht:	140	Seiten	
Anhang	ab Seite	141	
Handbuch	ab Seite	169	
Handbuch	mit	98	Seiten
Gesamt	267	Seiten	



## **Inhaltsverzeichnis**

1	KURZFASSUNG UND BEKANNTGABEVORSCHLAG.....	9
1.1	Kurzfassung .....	9
1.2	Bekanntgabevorschlag.....	13
1.3	Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse .....	14
2	AUFGABENSTELLUNG .....	20
2.1	Art der Prüfung .....	20
2.2	Zielsetzung .....	20
3	BESCHREIBUNG DER GEPRÜFTEN MESSEINRICHTUNG .....	21
3.1	Messprinzip .....	21
3.2	Funktionsweise der Messeinrichtung .....	22
3.3	Umfang und Aufbau der Messeinrichtung .....	25
4	PRÜFFPROGRAMM.....	33
4.1	Allgemeines.....	33
4.2	Laborprüfung .....	34
4.3	Feldtest.....	35
5	REFERENZMESSVERFAHREN .....	46
6	PRÜFERGEBNISSE .....	47
6.1	4.1.1 Messwertanzeige.....	47
6.1	4.1.2 Wartungsfreundlichkeit .....	48
6.1	4.1.3 Funktionskontrolle .....	50
6.1	4.1.4 Rüst- und Einlaufzeiten .....	53
6.1	4.1.5 Bauart .....	55
6.1	4.1.6 Unbefugtes Verstellen .....	56
6.1	4.1.7 Messsignalausgang.....	57



6.1	4.2 Anforderungen an Messeinrichtungen für den mobilen Einsatz .....	59
6.1	5.1 Allgemeines .....	60
6.1	5.2.1 Messbereich .....	61
6.1	5.2.2 Negative Messsignale .....	62
6.1	5.2.3 Analysenfunktion .....	63
6.1	5.2.4 Linearität.....	65
6.1	5.2.5 Nachweisgrenze .....	66
6.1	5.2.6 Einstellzeit .....	68
6.1	5.2.7 Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur .....	69
6.1	5.2.8 Abhängigkeit des Messwertes von der Umgebungstemperatur .....	71
6.1	5.2.9 Nullpunktsdrift.....	73
6.1	5.2.10 Drift des Messwertes .....	76
6.1	5.2.11 Querempfindlichkeit.....	80
6.1	5.2.12 Reproduzierbarkeit .....	81
6.1	5.2.13 Stundenwerte .....	83
6.1	5.2.14 Netzspannung und Netzfrequenz .....	84
6.1	5.2.15 Stromausfall.....	86
6.1	5.2.16 Gerätefunktionen .....	87
6.1	5.2.17 Umschaltung.....	88
6.1	5.2.18 Verfügbarkeit .....	89
6.1	5.2.19 Konverterwirkungsgrad.....	91
6.1	5.2.20 Wartungsintervall.....	92
6.1	5.2.21 Gesamtunsicherheit.....	93
6.1	5.3.1 Gleichwertigkeit des Probenahmesystems.....	96
6.1	5.3.2 Vergleichbarkeit der Probenahmesysteme.....	97
6.1	5.3.3 Kalibrierung .....	98
6.1	5.3.4 Querempfindlichkeit.....	99

6.1	5.3.5 Tagesmittelwerte .....	102
6.1	5.3.6 Konstanz des Probenahmestroms .....	103
6.1	5.3.7 Dichtheit des Probenahmesystems .....	107
6.1	5.4 Anforderungen an Mehrkomponentenmesseinrichtungen.....	109
7	WEITERE PRÜFKRITERIEN NACH LEITFADEN „DEMONSTRATION OF EQUIVALENCE OF AMBIENT AIR MONITORING METHODS“ .....	110
7.1	Ermittlung der Unsicherheit zwischen den Prüflingen $u_{bs}$ [9.5.2.1] .....	110
7.1	Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge [9.5.2.2-9.5.6].....	118
7.1	Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen [9.7].....	132
8	EMPFEHLUNGEN ZUM PRAXISEINSATZ .....	137
	Arbeiten im Wartungsintervall .....	137
	Weitergehende Wartungsarbeiten.....	138
9	LITERATURVERZEICHNIS .....	139
10	ANLAGEN .....	140



## 1 Kurzfassung und Bekanntgabevorschlag

### 1.1 Kurzfassung

Gemäß der Richtlinie 2008/50/EG vom 21. Mai 2008 (ersetzt die Luftqualitätsrahmenrichtlinie 96/62/EG vom 27. September 1996 inkl. der zugehörigen Tochterrichtlinien 1999/30/EG, 2000/69/EG, 2002/3/EG sowie die Entscheidung des Rates 97/101/EG) „über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ sind als Referenzmethoden zur Messung der PM2,5-Konzentration die in der EN 14907 „Luftbeschaffenheit – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM2,5-Massenfraktion des Schwebstaubs“ beschriebenen Methoden zu verwenden. Die Mitgliedsstaaten können bei Partikeln jedoch auch eine andere Methode verwenden, wenn nachgewiesen werden kann, „dass diese einen konstanten Bezug zur Referenzmethode aufweist. In diesem Fall müssen die mit dieser Methode erzielten Ergebnisse korrigiert werden, damit diese den Ergebnissen gleichwertig sind, die bei der Anwendung der Referenzmethode erzielt worden wären.“ (2008/50/EG, Anhang VI, B).

Der Leitfaden „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ der Ad-hoc-EG-Arbeitsgruppe vom November 2005 (Quelle:

[http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/equivalence\\_report3.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/equivalence_report3.pdf)) beschreibt ein Verfahren für die Prüfung auf Äquivalenz von Nicht-Standardmessverfahren. Obwohl der genannte Leitfaden nicht normativ ist, wird die Anwendung von dem so genannten CAFE-Komitee vorläufig empfohlen.

Im Rahmen der vorliegenden Prüfung wurden folgende Grenzwerte angesetzt:

	PM2,5
Jahresgrenzwert JGW (1 a)	25 µg/m <sup>3*</sup>
Jahresgrenzwert JGW (1 a)	20µg/m <sup>3**</sup>

\* Stufe 1 ab 01. Januar 2015

\*\* Stufe 2 ab 01. Januar 2020

Die Richtlinie VDI 4202, Blatt 1 von Juni 2002 beschreibt die „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung“. Die allgemeinen Rahmenbedingungen für die zugehörigen Prüfungen sind in der Richtlinie VDI 4203, Blatt 1 „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen – Grundlagen“ vom Oktober 2001 beschrieben. VDI 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen – Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“ vom August 2004 präzisiert diese Rahmenbedingungen.

Da die gemäß dieser Richtlinien anzuwendenden Bezugswerte explizit auf die Messkomponente PM<sub>10</sub> abgestimmt sind, wird für die Messkomponente PM<sub>2,5</sub> die Anwendung der folgenden Bezugswerte vorgeschlagen:

	PM <sub>2,5</sub>
B <sub>0</sub>	2 µg/m <sup>3</sup>
B <sub>1</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>
B <sub>2</sub>	200 µg/m <sup>3</sup>

Es wird lediglich eine Anpassung des B<sub>1</sub> auf dem Niveau des Grenzwertes für das Jahresmittel vorgenommen.

Im Auftrag der OPSIS AB führte die TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH die Eignungsprüfung der Messeinrichtung OPSIS SM 200 für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> durch.

Die Messeinrichtung OPSIS SM 200 mit PM<sub>10</sub> Vorabscheider ist als Version mit 1 m<sup>3</sup>/h Durchsatz schon eignungsgeprüft und im Bundesanzeiger bekannt gegeben.

Erstbekanntgabe: BAnz. 15.05.2003, Nr. 90, Seite 10742ff, auf Basis  
TÜV-Bericht Nr. 936/801013A vom 29.01.2003

Ergänzungsprüfung zur

Bekanntgabe: BAnz. 23.10.2005, Nr. 206, Seite 15702, auf Basis  
TÜV-Bericht Nr. 936/21201592A vom 05.07.2005

Im Rahmen der vorliegenden Prüfung für die Messkomponente PM<sub>2,5</sub> wird die Messeinrichtung OPSIS SM 200 als Version mit 2,3 m<sup>3</sup>/h Durchsatz geprüft. Die Unterschiede zwischen der im Rahmen der letzten Ergänzungsprüfung geprüften 1 m<sup>3</sup>/h-Variante und der aktuell geprüften 2,3 m<sup>3</sup>/h-Variante beschränken sich hierbei ausschließlich auf Anpassungen und Modifikationen im pneumatischen Bauteil der Messeinrichtung.

Die Eignungsprüfung erfolgte unter Beachtung der folgenden Richtlinien und Anforderungen:

- VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“, Juni 2002
- VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, August 2004
- Europäische Norm EN 14907, „Luftbeschaffenheit – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>2,5</sub>-Massenfraktion des Schwebstaubs“, Deutsche Fassung EN 14907: 2005,

sowie gemäß Anhang A1 der Richtlinie EN 14907

- Leitfaden “Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods”, Englische Fassung von November 2005

Die Messeinrichtung OPSIS SM 200 saugt mit Hilfe einer Pumpe Umgebungsluft über einen PM2.5 Probenahmekopf auf einen Filter. Die Bestimmung der abgeschiedenen Staubmasse auf dem Filter erfolgt nach der Probenahme durch das radiometrische Messprinzip der Beta-Absorption. Weiterhin besteht die Möglichkeit den Filter gravimetrisch auszuwiegen. Auch steht der Filter für weitere analytische Verfahren wie z. B. eine Schwermetallanalyse zur Verfügung.

Die Untersuchungen erfolgten im Labor und während eines mehrmonatigen Feldtests.

Der mehrmonatige Feldtest erfolgte an den Standorten gemäß Tabelle 1:

*Tabelle 1: Beschreibung der Messstellen*

	Köln, Frankfurter Straße	Köln, Parkplatzgelände	Furulund (Schweden) Sommer	Furulund (Schweden) Winter
Zeitraum	11/2006 – 02/2007	04/2007 – 06/2007	07/2007 – 09/2007	12/2008 – 03/2009
Anzahl der Messwertpaare: Prüflinge	90	69	56	76
Charakterisierung	Verkehrsbeeinflusst	Städtischer Hinter- grund	Ländliche Struktur	Ländliche Struktur
Einstufung der Im- missionsbelastung	durchschnittlich bis hoch	durchschnittlich bis hoch	niedrig	niedrig bis durch- schnittlich

Bei der Eignungsprüfung wurden die Bedingungen der Mindestanforderungen erfüllt.

Seitens der TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH wird daher eine Veröffentlichung als eignungsgeprüfte Messeinrichtung zur laufenden Aufzeichnung der Immissionen von Schwebstaub PM2,5 vorgeschlagen.

## 1.2 Bekanntgabevorschlag

Aufgrund der erzielten positiven Ergebnisse wird folgende Empfehlung für die Bekanntgabe als eignungsgeprüfte Messeinrichtung ausgesprochen:

- 1.2.1 Messaufgabe** : Laufende Aufzeichnung der Immissionen von Schwebstaub PM2,5
- 1.2.2 Gerätename** : OPSIS SM 200 mit PM2,5 Vorabscheider
- 1.2.3 Messkomponenten** : Schwebstaub PM2,5
- 1.2.4 Hersteller** : OPSIS AB  
Box 244, SE-244 02 Furulund, Schweden
- 1.2.5 Eignung** : Zur kontinuierlichen Immissionsmessung der PM2,5-Fraktion im Schwebstaub im stationären Einsatz.
- 1.2.6 Messbereiche bei der Eignungsprüfung** : 0 bis 200 µg/m<sup>3</sup>
- 1.2.7 Softwareversion** : Version 1.04.10
- 1.2.8 Einschränkungen** : Keine
- 1.2.9 Hinweise** :  
1. Die Anforderungen gemäß des Leitfadens "Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods" werden für die Messkomponente PM2,5 eingehalten.  
2. Die Messeinrichtung wird auch von der Firma Aeris AB, Box 244, 244 02 Furulund, Schweden vertrieben.  
3. Die Linearitätsprüfung der radiometrischen Messung erfordert verschiedene Referenzfolien des Geräteherstellers.  
4. Das Ansaugrohr muss bis zum Analysator mit Außenluft gespült werden.  
5. Die Messeinrichtung ist mit dem gravimetrischen PM2,5-Referenzverfahren nach DIN EN 14907 regelmäßig am Standort zu kalibrieren.
- 1.2.10 Prüfinstitut** : TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH, Köln  
TÜV Rheinland Group  
Verantwortlicher Prüfer: Dipl.-Ing. Karsten Pletscher
- 1.2.11 Prüfbericht** : 936/21205849/A vom 26.03.2009



### 1.3 Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	ein- gehal- ten	Seite	
4	Bauartanforderungen				
4.1	Allgemeine Anforderungen				
4.1.1	Messwertanzei- ge	Muss vorhanden sein.	Die Messeinrichtung besitzt eine Messwertanzeige.	ja	47
4.1.2	Wartungsfreund- lichkeit	Wartungsarbeiten sollten ohne größeren Aufwand möglichst von außen durchführbar sein.	Wartungsarbeiten sind mit üblichen Werkzeugen und vertretbarem Auf- wand von außen durchführbar.	ja	48
4.1.3	Funktionskontrol- le	Spezielle Einrichtungen hierzu sind als zum Gerät gehörig zu betrachten, bei den entspre- chenden Teilprüfungen einzu- setzen und zu bewerten.	Alle im Bedienungshandbuch be- schriebenen Gerätefunktionen sind vorhanden, aktivierbar und funktionie- ren. Der aktuelle Gerätestatus wird kontinuierlich überwacht und über ei- ne Reihe von verschiedenen Status- meldungen (Betriebs-, Warn- und Fehlerstatus) angezeigt.	ja	51
4.1.4	Rüst- und Ein- laufzeiten	Die Betriebsanleitung muss hierzu Angaben enthalten.	Die Rüst- und Einlaufzeiten wurden ermittelt.	ja	54
4.1.5	Bauart	Die Betriebsanleitung muss Angaben hierzu enthalten	Die in der Betriebsanleitung aufge- führten Angaben zur Bauart sind voll- ständig und korrekt.	ja	55
4.1.6	Unbefugtes Ver- stellen	Muss Sicherung dagegen ent- halten.	Die Messeinrichtung ist in einem Messcontainer zu verschließen.	ja	56
4.1.7	Messsignalaus- gang	Muss digital und/oder analog angeboten werden.	Die Messsignale werden analog (0-10 V oder 0 -20 mA) und digital (über RS 232) angeboten.	ja	57
4.2	Anforderungen an Messeinrich- tungen für den mobilen Einsatz	Ständige Betriebsbereitschaft muss gesichert sein; Anforde- rungen des stationären Einsat- zes müssen analog im mobilen Einsatz erfüllt sein.	Die Messeinrichtung wurde im Rah- men des Feldtestes an mehreren ver- schiedenen Standorten betrieben; kann aber nicht in fahrenden Fahr- zeugen eingesetzt werden.	nein	59

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	ein- gehal- ten	Seite
5. Leistungsanforderungen				
5.1 Allgemeines	Herstellerangaben der Betriebsanleitung dürfen den Ergebnissen der Eignungsprüfung nicht widersprechen.	Differenzen zwischen Geräteausstattung und Handbüchern wurden nicht beobachtet.	ja	60
5.2 Allgemeine Anforderungen				
5.2.1 Messbereich	Messbereichsendwert größer $B_2$ .	Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 0 - 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ eingestellt.	ja	61
5.2.2 Negative Messsignale	Dürfen nicht unterdrückt werden (lebender Nullpunkt).	Negative Messsignale werden von der Messeinrichtung nicht unterdrückt.	ja	62
5.2.3 Analysenfunktion	Zusammenhang zwischen Ausgangssignal und Messgröße muss mittels Analysenfunktion darstellbar sein und durch Regressionsrechnung ermittelt werden.	Ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen dem Referenzmessverfahren und der Geräteanzeige konnte nachgewiesen werden.	ja	63
5.2.4 Linearität	Abweichung der Gruppenmittelwerte der Messwerte von der Kalibrierfunktion im Bereich von Null bis $B_1$ maximal 5 % von $B_1$ und im Bereich Null bis $B_2$ maximal 1 % von $B_2$ .	Für Staubmesseinrichtungen ist diese Prüfung nach der Mindestanforderung 5.3.1 „Gleichwertigkeit der Probenahmesysteme“ durchzuführen.	ja	65
5.2.5 Nachweisgrenze	Maximal $B_0$ .	Die Nachweisgrenze ermittelte sich aus den Untersuchungen zu 0,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Gerät 1 (SN 1236) und zu 0,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Gerät 2 (SN 1237).	ja	65
5.2.6 Einstellzeit	Maximal 5 % der Mittelungszeit (gleich 180 Sekunden).	Nicht zutreffend.	-	68
5.2.7 Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur	Nullpunktmesswert darf bei $\Delta T_u$ um 15 K zwischen +5 °C und +20 °C bzw. um 20 K zwischen +20 °C und +40 °C $B_0$ nicht überschreiten.	Bei Betrachtung der, aus denen von Geräten ausgehenden Zählraten der Leermessungen, errechneten Werte konnte ein maximaler Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Nullpunkt von -0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt werden.	ja	69

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	ein- gehal- ten	Seite
5.2.8 Abhängigkeit des Messwertes von der Umgebungstemperatur	Der Messwert im Bereich von B1 darf nicht mehr als $\pm 5\%$ bei $\Delta T_U$ um 15 K zwischen $+5^\circ\text{C}$ und $+20^\circ\text{C}$ bzw. um 20 K zwischen $+20^\circ\text{C}$ und $+40^\circ\text{C}$ betragen.	Es konnten für Gerät 1 (SN 1236) keine Abweichungen $> -0,9\%$ und für Gerät 2 (SN 1237) keine Abweichungen $> -0,9\%$ zum Ausgangswert bei $20^\circ\text{C}$ ermittelt werden.	ja	71
5.2.9 Nullpunktsdrift	In 24 Stunden und im Wartungsintervall maximal $B_0$ .	Die gefundenen Messwerte liegen im Wartungsintervall alle innerhalb der erlaubten Grenzen von $B_0 = 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .	ja	73
5.2.10 Drift des Messwertes	In 24 Stunden und im Wartungsintervall maximal $5\%$ von $B_1$ .	Die Drift des Messwertes betrug im Wartungsintervall maximal $1,1\%$ (SN 1236) bzw. $-1,34\%$ (SN 1237). Auch über einen Gesamtzeitraum von ca. 2 Jahren konnte keine größeren Abweichungen festgestellt werden.	ja	76
5.2.11 Querempfindlichkeit	Im Bereich des Nullpunktes maximal $B_0$ und im Bereich $B_2$ maximal $3\%$ von $B_2$ .	Nicht zutreffend.	-	80
5.2.12 Reproduzierbarkeit	$R_D \geq 10$ bezogen auf $B_1$ .	Die Reproduzierbarkeit betrug im Feldtest minimal 13.	ja	81
5.2.13 Stundenwerte	Bildung muss möglich sein.	Die Bildung von Stundenwerten für die Komponente Feinstaub PM2.5 wird zur Überwachung der angestrebten Grenzwerte nicht erforderlich sein.	nicht zutreffend	83
5.2.14 Netzspannung und Netzfrequenz	Messwertänderung bei $B_1$ maximal $B_0$ im Spannungsintervall $(230 +15/-20)$ V und Messwertänderung im mobilen Einsatz maximal $B_0$ im Frequenzintervall $(50 \pm 2)$ Hz.	Durch Netzspannungsänderungen konnten keine Abweichungen $> -0,2\%$ bei Gerät 1 (SN 1236) bzw. $> -0,3\%$ bei Gerät 2 (SN 1237), bezogen auf den Startwert von 230 V, festgestellt werden.	ja	84
5.2.15 Stromausfall	Unkontrolliertes Ausströmen von Betriebs- und Kalibriergas muss unterbunden sein; Geräteparameter müssen gegen Verlust durch Pufferung geschützt sein; messbereiter Zustand bei Spannungswiederkehr muss gesichert sein und Messung muss fortgesetzt werden.	Alle Geräteparameter sind gegen Verlust durch Pufferung geschützt. Die Messeinrichtung befindet sich bei Spannungswiederkehr in störungsfreier Betriebsbereitschaft.	ja	86

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	ein- gehal- ten	Seite
5.2.16 Gerätefunktionen	Müssen durch telemetrisch übermittelbare Statussignale überwachbar sein.	Die Messeinrichtungen können über ein Modem von einem externen Rechner so gesteuert und überwacht werden, als wenn der Nutzer direkt am Gerät steht.	ja	87
5.2.17 Umschaltung	Messen/Funktionskontrolle und/oder Kalibrierung muss telemetrisch und manuell auslösbar sein.	Grundsätzlich können alle Arbeiten zur Funktionskontrolle und Kalibrierung direkt am Gerät oder aber per telemetrischer Fernbedienung durchgeführt werden.	ja	88
5.2.18 Verfügbarkeit	Mindestens 90 %.	Die Verfügbarkeit betrug für SN 1236 98,4 % und für SN 1237 99,1 % ohne prüfungsbedingte Ausfälle bzw. 94 % für SN 1236 sowie 94,6 % für SN 1237 inkl. prüfungsbedingter Ausfälle.	ja	90
5.2.19 Konverterwirkungsgrad	Mindestens 95 %.	Nicht zutreffend.	entfällt	91
5.2.20 Wartungsintervall	Möglichst 28 Tage, mindestens 14 Tage.	Das Wartungsintervall wird durch die notwendigen Wartungsarbeiten bestimmt und beträgt 1 Monat.	ja	92
5.2.21 Gesamtunsicherheit	Einhaltung der Anforderungen an die Datenqualität [G10 bis G12].	Die Gesamtunsicherheiten ergaben sich zu 11,03 % bzw. 11,81 % für $U(c)$ und 8,71 % bzw. 9,15 % für $U(\bar{C})$ .	ja	93
<b>5.3 Anforderungen an Messeinrichtungen für partikelförmige Luftverunreinigungen</b>				
5.3.1 Gleichwertigkeit des Probenahmesystems	Zum Referenzverfahren nach DIN EN 12 341 [T2] ist nachzuweisen.	Für PM2,5-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.	-	96

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	ein- gehal- ten	Seite
5.3.2 Vergleichbarkeit der Probenahmesysteme	Ist im Feldtest nach DIN EN 12341 [T2] für zwei baugleiche Probenahmesysteme nachzuweisen.	Für PM2,5-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.	-	97
5.3.3 Kalibrierung	Durch Vergleichsmessung im Feldtest mit Referenzverfahren nach DIN EN 14907; Zusammenhang zwischen Messsignal und gravimetrischer Referenzkonzentration als stetige Funktion ermitteln.	Siehe Modul 5.2.3.	-	98
5.3.4 Querempfindlichkeit	Maximal 10 % von B <sub>1</sub> .	Es konnte kein Störeinfluss > 1,1 µg/m <sup>3</sup> Abweichung vom Sollwert durch die im Messgut enthaltene Luftfeuchte auf das Messsignal festgestellt werden. Während des Feldtestes konnte bei wechselnden relativen Luftfeuchten kein negativer Einfluss auf die Messwerte beobachtet werden.	ja	100
5.3.5 Tagesmittelwerte	24 h-Mittelwerte müssen möglich sein; Zeit für den Filterwechsel maximal 1 % der Mittelungszeit.	Die Bildung von Tagesmittelwerten ist möglich. Die maximale Zeit für den Filterwechsel beträgt bei 24-stündiger Probenahme und täglichem „Pneumatic Test“ ca. 0,28 % der Mittelungszeit.	ja	102
5.3.6 Konstanz des Probenahmeverlustrates	± 3 % vom Sollwert während der Probenahmedauer; Momentanwerte ± 5 % vom Sollwert während der Probenahmedauer.	Alle ermittelten Tagesmittelwerte weichen weniger als ± 3 %, alle Momentanwerte weniger als ± 5 % vom Sollwert ab.	ja	104
5.3.7 Dichtheit des Probenahmesystems	Undichtigkeit maximal 1 % vom Probenahmeverlustrate.	Die maximal ermittelten Undichtigkeiten ergaben sich zu max. 0,37 % für Gerät 1 (SN 1236) sowie zu max. 0,30 % für Gerät 2 (SN 1237).	ja	108
5.4 Anforderungen an Mehrkomponentenmeseinrichtungen	Müssen für jede Einzelkomponente im Simultanbetrieb aller Messkanäle erfüllt sein; im Sequenzbetrieb muss die Bildung von Stundenmittelwerten gesichert sein.	Nicht zutreffend.	-	109

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	ein- gehal- ten	Seite
Weitere Prüfkriterien nach Leitfaden „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“				
Ermittlung der Unsi- cherheit zwischen den Prüflingen abs [9.5.2.1]	Ist im Feldtest gemäß Punkt 9.5.2.1 des Leitfadens „De- monstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Me- thods“ für zwei baugleiche Sys- teme zu ermitteln.	Die Unsicherheit zwischen den Prüf- lingen abs liegt mit maximal 1,11 µg/m <sup>3</sup> unterhalb des geforderten Wertes von 3 µg/m <sup>3</sup> .	ja	110
Berechnung der erwei- terten Unsicherheit der Prüflinge [9.5.2.2-9.5.6]	Ermittlung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge ge- mäß den Punkten 9.5.2.2ff des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“.	Die ermittelten Unsicherheiten WCM liegen ohne Anwendung von Korrek- turfaktoren für alle betrachteten Da- tensätze unter der festgelegten erwei- terten relativen Unsicherheit Wd <sub>qo</sub> von 25 % für Feinstaub.	ja	118
Anwendung von Korrek- turfaktoren/-termen [9.7]	Ist die höchste errechnete er- weiterte Unsicherheit der Prüf- linge größer als die in den An- forderungen an die Datenquali- tät von Immissionsmessungen nach EU-Richtlinie [7] festge- legte erweiterte relative Unsi- cherheit, ist eine Anwendung von Korrekturfaktoren zulässig. Die korrigierten Werte müssen die Anforderungen gemäß den Punkten 9.5.2.2ff. des Leitfa- dens „Demonstration of Equi- valence of Ambient Air Monito- ring Methods“ erfüllen.	Die Prüflinge erfüllen während der Prüfung die Anforderungen an die Da- tenqualität von Immissionsmessun- gen ohne eine Anwendung von Kor- rekturfaktoren..	ja	132



## 2 Aufgabenstellung

### 2.1 Art der Prüfung

Im Auftrag der OPSIS AB wurde von der TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH eine Eignungsprüfung für die Messeinrichtung OPSIS SM 200 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider vorgenommen. Die Prüfung erfolgte als vollständige Eignungsprüfung.

### 2.2 Zielsetzung

Die Messeinrichtung soll den Gehalt an PM<sub>2,5</sub> Feinstaub in der Umgebungsluft im Konzentrationsbereich 0 bis 200 µg/m<sup>3</sup> bestimmen.

Die Messeinrichtung OPSIS SM 200 mit PM<sub>10</sub> Vorabscheider ist als Version mit 1 m<sup>3</sup>/h Durchsatz schon eignungsgeprüft und im Bundesanzeiger bekannt gegeben.

Erstbekanntgabe: BAnz. 15.05.2003, Nr. 90, Seite 10742ff, auf Basis  
TÜV-Bericht Nr. 936/801013A vom 29.01.2003

Ergänzungsprüfung zur

Bekanntgabe: BAnz. 23.10.2005, Nr. 206, Seite 15702, auf Basis  
TÜV-Bericht Nr. 936/21201592A vom 05.07.2005

Im Rahmen der vorliegenden Prüfung für die Messkomponente PM<sub>2,5</sub> wird die Messeinrichtung OPSIS SM 200 als Version mit 2,3 m<sup>3</sup>/h Durchsatz geprüft. Die Unterschiede zwischen der im Rahmen der letzten Ergänzungsprüfung geprüften 1 m<sup>3</sup>/h-Variante (Bekanntgabe für Schwebstaub PM<sub>10</sub> im BAnz. vom 29.10.2005, Nr. 206, Seite 15700 – 15702) und der aktuell geprüften 2,3 m<sup>3</sup>/h-Variante beschränken sich hierbei ausschließlich auf Anpassungen und Modifikationen im pneumatischen Bauteil der Messeinrichtung.

Die Eignungsprüfung war anhand der aktuellen Richtlinien zur Eignungsprüfung unter Berücksichtigung der neuesten Entwicklungen durchzuführen.

Die Prüfung erfolgte unter Beachtung der folgenden Richtlinien:

- VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“, Juni 2002, [1]
- VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, August 2004, [2]
- Europäische Norm EN 14907, „Luftbeschaffenheit – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>2,5</sub>-Massenfraktion des Schwebstaubs“, Deutsche Fassung EN 14907: 2005, [3]

sowie gemäß Anhang A1 der Richtlinie EN 14907

- Leitfaden „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“, Englische Fassung von November 2005, [4]

### 3 Beschreibung der geprüften Messeinrichtung

#### 3.1 Messprinzip

Das Prinzip der Massenbestimmung basiert auf dem physikalischen Gesetz der Abschwächung von Betastrahlen beim Durchgang durch eine dünne Schicht an Material.

Definiert man  $x_f$  als den Wert der Massendichte für den Filter und  $x_p$  als den Wert der Massendichte der gesammelten Partikel, dann gilt die folgende Beziehung

$$F_{\text{collect}} = F_{\text{blank}} * e^{-\frac{x_p}{K(x_f)}} \quad \text{bzw.} \quad x_p = K(x_f) \ln \frac{F_{\text{blank}}}{F_{\text{collect}}}$$

mit  $K(x_f)$  = Massenabsorptionskoeffizient und  $F_{\text{blank}}$  und  $F_{\text{collect}}$  als Betastrahlenfluss vor und nach der Probenahme der Partikel.

Mit dem Wert für die beaufschlagte Oberfläche  $S$  ( $=11,99 \text{ cm}^2$ ,  $\varnothing = 3,9 \text{ cm}$ ), kann die Masse der Staubpartikel  $m_p$ , die auf dem Filter abgeschieden wurden, wie folgt berechnet werden:

$$m_p = S * x_p$$

Die Funktion  $K(x_f)$  wurde vom Gerätehersteller ermittelt und in das Gerät einprogrammiert. Nach jedem Neustart des Gerätes (oder auch manuell auslösbar sowie regelmäßig als Auto-test) erfolgt mittels zweier Referenzblenden mit verschiedenen Durchmessern, die in den Strahlengang zwischen Betaquelle und Geigerzähler eingebracht werden, eine Überprüfung der Stabilität der Anfangskalibrierung – das jeweilige Ergebnis des letzten „Beta-Tests“ kann zu jeder Zeit aufgerufen werden.

### **3.2 Funktionsweise der Messeinrichtung**

Folgende Beschreibung der internen Vorgänge im Messgerät OPSIS SM 200 (Modell: standard dust monitor) kann in ausführlichster Form auch dem in der Anlage beigefügten Bedienungshandbuch entnommen werden. Die Abbildung 1 zeigt das Schema eines Filterwechsels und aller dazu gehörigen Abläufe. Im Anschluss an die Abbildung werden die Inhalte der einzelnen Arbeitsschritte erläutert.

Um die korrekte Funktion der Messeinrichtung zu überprüfen und sicherzustellen, besitzt die Messeinrichtung verschiedene interne Tests zur Qualitätskontrolle:

- Überprüfung der Kalibrierung der Massenbestimmung durch Beta-Absorption,
- Überprüfung der Kalibrierung der Durchflussmessung,
- Überprüfung der Dichtigkeit des pneumatischen Geräteteils,
- Überprüfung der Konstanz der Durchflussrate,
- Überprüfung des Geigerzählers und der Druckumformer,
- Einsatz von optischen Sensoren zur Überprüfung der korrekten mechanischen Funktionsweise,
- Alarmmeldungen im Falle von auftretenden Problemen/Abweichungen beim Betrieb der Messeinrichtung.

Eine genaue Beschreibung der verschiedenen Testprozeduren und die Interpretation der Testergebnisse enthält das Kapitel 3 des Bedienungshandbuchs zur Messeinrichtung.

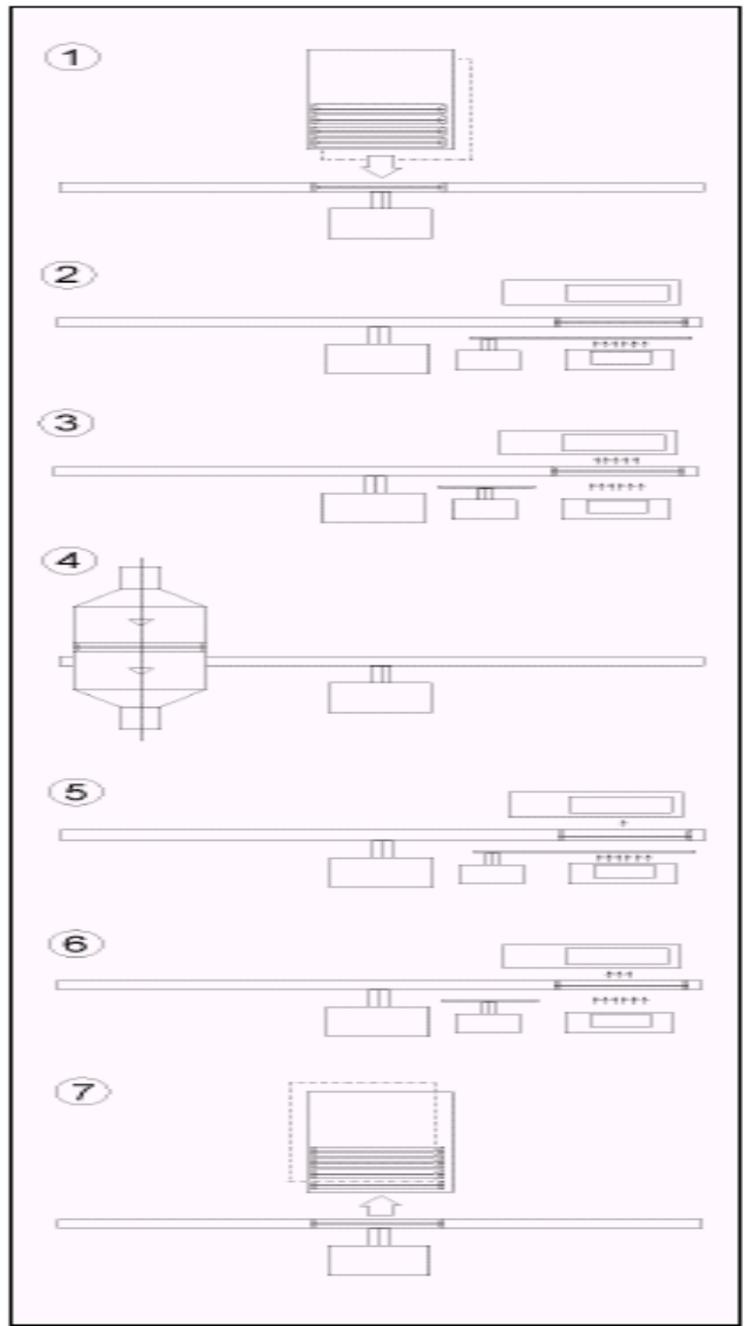


Abbildung 1: Beschreibung der Funktionsweise der Messeinrichtung anhand einer Darstellung des Weges eines Filters durch die Messeinrichtung

#### Beschreibung der Vorgänge aus Abbildung 1:

- Das neue Filter wird dem Filtercontainer für unbeaufschlagte Filter entnommen und auf das Karussell abgelegt.  
Das Karussell, eine rotierende Scheibe, transportiert die neuen Filter vom Container 1 auf die Probenahmeposition, anschließend zur Messposition und schließlich zur Entladestelle in den Container 2 mit den beaufschlagten Filtern. Im Betrieb sind 2 Filter gleichzeitig auf dem Karussell – einer in der Probenahmeposition und einer in der Messposition. Wird ein neuer Filter auf das Karussell geladen, erfolgt zeitgleich das Entladen des alten Filters.
- Die Hintergrundstrahlung des neuen Filters wird mit einem Geigerzähler gemessen, hierbei ist die Betastrahlenquelle durch einen Schirm abgedeckt (dark measurement).
- Der Schirm wird zur Seite gefahren, und der Betastrahler erreicht den Geigerzähler – es erfolgt die Ausmessung des neuen Filters vor der Probenahme (blank measurement).
- Das Karussell befördert den Filter zur Probenahmeposition, die Probenahmekammer umschließt das Filter. Der Filter über die Probenahmezeit in dieser Position.
- Das staubbeladene Filter wird zum Geigerzähler zurücktransportiert. Der Betastrahler wird durch den Schirm abgedeckt und die natürliche Strahlung des Staubes wird gemessen (natural measurement).
- Der Schirm wird zur Seite gefahren und die Betastrahlen dringen wieder durch den Filter. Der Geigerzähler registriert die Betastrahlen, die nicht vom Filter und dem Staub absorbiert werden (collect measurement).
- Nach Beendigung der Geigerzählermessung wird der beaufschlagte Filter zur Entladung gebracht und in den Filtercontainer für beaufschlagte Filter abgelegt.
- Die vier Messungen mit dem Geigerzähler (Punkt 2,3,5,6) ermöglichen die Berechnung der Masse der Staubschicht auf dem Filter. Mit dem durchgesaugten Volumen errechnet sich die Staubkonzentration.

Die Partikelprobe passiert mit einer Durchflussrate von 2.3 m<sup>3</sup>/h den PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf und gelangt über das Probenahmerohr zum eigentlichen Messgerät OPSIS SM 200.

### 3.3 Umfang und Aufbau der Messeinrichtung

Das Schwebstaubimmissionsmessgerät OPSIS SM 200 ermöglicht die Probenahme von Schwebstaub auf Membranfiltern, mit der Option weitergehende qualitative und quantitative Untersuchungen der gesammelten Probe nachträglich durchzuführen. Darüber hinaus wird die während der Probenahme auf dem Membranfilter abgeschiedene Partikelmasse durch Beta-Absorption im Gerät bestimmt und mit dem durchgesetzten Volumen die Schwebstaubkonzentration in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  berechnet.

Die Messeinrichtung besteht aus dem Probenahmekopf und dem Ansaugrohr, der Spülluftvorrichtung (Temperaturstabilisator TS 200), der Pumpeneinheit, der Probenahme- und Messeinheit sowie den Filtercontainern zur Bevorratung der unbeaufschlagten und der beaufschlagten Filter. Die Filtercontainer bieten Platz für 40 Filter.

Als Probenahmekopf wird ein PM<sub>2.5</sub> Probeneinlass, der als Vorabscheider für den aus der Außenluft angesaugten Schwebstaub fungiert, eingesetzt. Dabei werden die Geräte mit einem konstanten, geregelten Volumenstrom von  $38,33 \text{ l}/\text{min} = 2,3 \text{ m}^3/\text{h}$  betrieben. Alternativ ist auch ein Einsatz von TSP, PM<sub>10</sub> sowie PM<sub>1</sub> Probeneinlässen möglich.

Die Unterschiede zwischen der im Rahmen der letzten Ergänzungsprüfung geprüften  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ -Variante (Bekanntgabe für Schwebstaub PM<sub>10</sub> im BAnz. vom 29.10.2005, Nr. 206, Seite 15700 – 15702) und der aktuell geprüften  $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ -Variante beschränken sich hierbei ausschließlich auf Anpassungen und Modifikationen im pneumatischen Bauteil der Messeinrichtung (geänderte Schlauch und Ventildimensionen, vergrößerter Innendurchmesser des Ansaugrohres).



Abbildung 2: PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf für OPSIS SM 200 ( $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ )





*Abbildung 4: Temperaturstabilisator TS 200 für Probenahmerohr (Installation über Dach)*



*Abbildung 5: Temperaturstabilisator TS 200 für Probenahmerohr (Installation im Messcontainer)*

Die Pumpeneinheit, siehe auch Abbildung 6, ist über zwei Schläuche (Ein- und Ausgang) mit der Probenahme- und Messeinheit (Abbildung 7) verbunden. Die Probenahme- und Messeinheit steuert die Pumpe und beinhaltet auch das mechanische System zur Bewegung der Filter im Gerät, große Teile des pneumatischen Systems, die Messeinrichtung und alle not-

wendigen elektronischen Einrichtungen und Mikroprozessoren zur Steuerung und Kontrolle des Messeinrichtung.

Die Bedienung des Messgerätes erfolgt über eine Folientastatur an der Frontseite des Gerätes (Abbildung 8). Dort werden alle erforderlichen Parameter, z. B. Probenahmezeit, durchgesetztes Volumen u. a., eingestellt. Es können zudem Funktionen zur Qualitätskontrolle aktiviert werden.



*Abbildung 6: Pumpeneinheit*



*Abbildung 7: Probenahme- und Messeinheit*



*Abbildung 8: Ansicht Frontseite OPSIS SM 200*

Die aktuellen Daten einer laufenden Probenahme und die gespeicherten Daten der abgeschlossenen Probenahmen und Messungen sowie zahlreiche weitere Parameter zur Qualitätssicherung können jederzeit über das Display abgerufen werden. Die Probenahme wird dadurch nicht beeinflusst. Der interne Speicher kann mittels der RS232-Schnittstelle am Gerät von einem externen Rechner ausgelesen werden oder über ein Modem fern abgefragt werden. Eine Fernsteuerung des Gerätes ist über diesen Weg ebenfalls möglich.

Zur Kontrolle des Luftvolumenstromes befinden sich Druck- und Temperatursensoren im Innern und an der Außenseite des Gerätes. Dabei wird die Durchflussrate aus dem Druckverlust an einer eingebauten Blende, dem Absolutdruck und der Messkammertemperatur ermittelt. Der aktuelle Durchfluss wird ständig mit dem vorgegebenen Sollwert verglichen und durch ein Regelventil werden Abweichungen, bedingt durch schwankende Außentemperaturen und Luftdruck und durch die Filterbeladung, entsprechend korrigiert. Während der Prüfung war der ausgegebene Wert für das angesaugte Luftvolumen über die Probenahmezeit auf Umgebungsbedingungen bezogen. Andere Einstellungen sind möglich.

Eine detaillierte Beschreibung der geräteinternen Vorgänge erfolgt in Kapitel 3.1 Messprinzip.

Der Filterwechsel erfolgt vollautomatisch. Zur Bevorratung der unbeaufschlagten sowie der beaufschlagten Filter, ist die Probenahme- und Messeinheit mit zwei Filtercontainern ausgestattet. Die Filtercontainer bieten Platz für bis zu 40 Filter, wobei die einzelnen Filter in speziellen Filterhaltern befestigt sind. Bei der üblichen Probenahmezeit von 24 h können die Geräte somit 40 Tage laufen, ohne dass ein manueller Filterwechsel vorgenommen werden muss. Eingesetzt werden Teflonfilter mit einem Durchmesser von 47 mm (RZPJ047 bzw. R2PJ047, Pall Gelman Laboratories).

Die Abbildung 9 zeigt eine Gesamtübersicht über den Aufbau der Messeinrichtung.

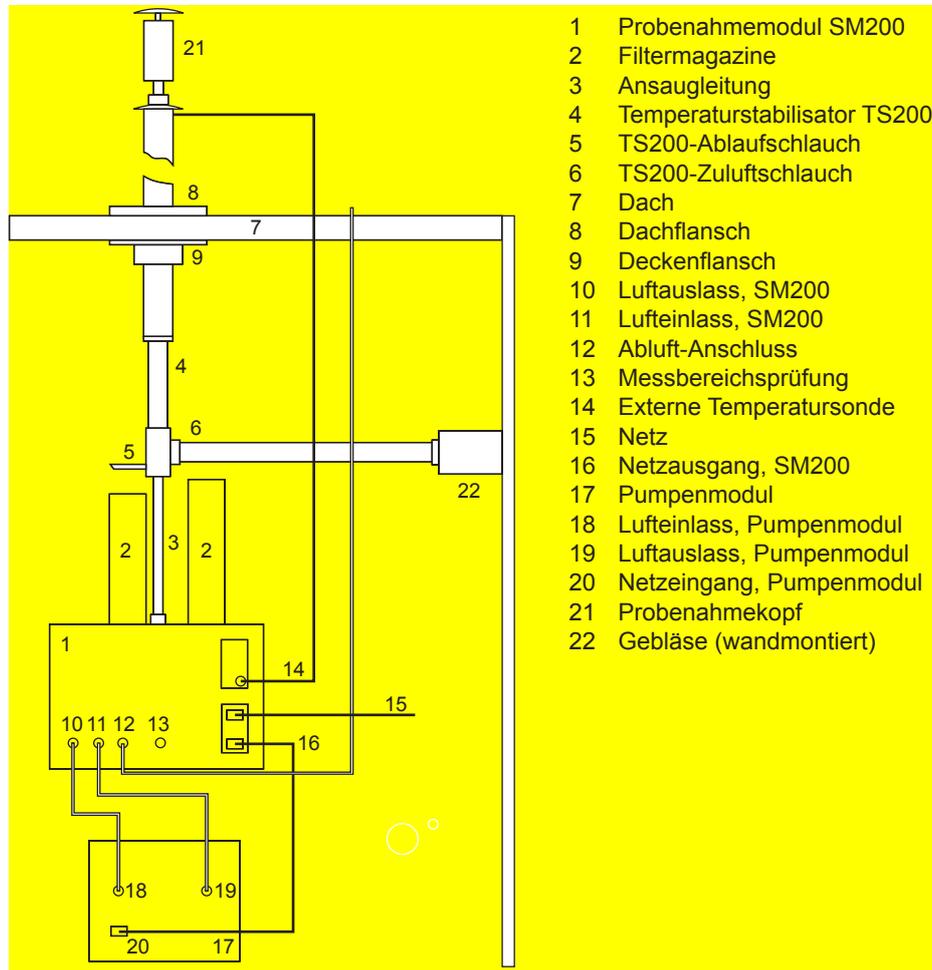


Abbildung 9: Aufbau OPSIS SM 200

Zur Nullpunktsüberprüfung der Messeinrichtung wird eine geräteinterne Prüfprozedur herangezogen. Hierzu wird der Messbetrieb unterbrochen und im verborgenen Servicemenü die Funktion „Make Blank Test“ mit einem unbeaufschlagtem Filter durchgeführt. Die Messeinrichtung führt in diesem Modus alle 2 h (= üblicher Zeitbedarf für 1 radiometrische Messung) eine Leermessung auf dem Filter durch. Gemäß den Beziehungen aus Kapitel 3.1 kann aus dem Betastrahlenfluss am Anfang (= erste Messung mit Leerfilter) und am Ende (= Wert der folgenden Messung(en)), im Speicher abgelegt als „Blank Counts“ [cpm], bei bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekanntem  $K(x)$  (Herstellerangabe) die abgeschiedene Masse auf dem Filter errechnet werden, die im Idealfall bei 0 mg liegen soll.

Zur Überprüfung der Empfindlichkeit und ggf. Kalibrierung der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller einen Referenzfoliensatz zur Verfügung. Die Software zur Überprüfung der Empfindlichkeit ist dabei in einem verborgenen Servicemenü direkt implementiert. Die Durchführung des Referenzfolientests erfordert ebenfalls eine Unterbrechung des laufenden Messbetriebs. Diese Prozedur wird vom Gerätehersteller zur Überprüfung der Linearität der radiometrischen Messung eingesetzt.

Der Foliensatz besteht aus 2 Leerhaltern sowie 4 unterschiedlichen Messbereichsfolien. Die im Rahmen der Überprüfung erzielten Messergebnisse (Zählraten) für die unterschiedlichen Folien lassen sich bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekannten Parametern aus der im Gerät abgelegten Werkskalibrierung in Massenwerte umrechnen, die im Idealfall über die Zeit konstant bleiben.



*Abbildung 10: Referenzfoliensatz ck033 für OPSIS SM 200*

Tabelle 2 enthält eine Auflistung wichtiger gerätetechnischer Kenndaten des Schwebstaubimmissionsmessgerätes OPSIS SM 200.

Tabelle 2: *Gerätetechnische Daten OPSIS SM 200 (Herstellerangaben)*

<b>Abmessungen / Gewicht</b>	<b>OP SIS SM 200</b>
Probenahme- und Messeinheit	440 x 630 x 300 mm / 42 kg
Pumpeneinheit	310 x 280 x 250 mm / 20 kg
Ansaugrohr	2,5 m
Probenahmekopf	je nach Hersteller
<b>Energieversorgung</b>	230 V (+6 %, - 10 %), 50/60 Hz
<b>Leistungsaufnahme</b>	max. 800 W
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Temperatur	+5 - +40 °C
Feuchte	max. 80 % relative Feuchte
<b>Probenflussrate</b>	8 – 40 l/min, nominal 38,33 l/min = 2.3 m³/h
<b>Strahler</b>	
Typ	<sup>14</sup> C Polymethyl Methacrylat
Zerfallsart	Betastrahlung
Aktivität spezifische Aktivität:	9,9 MBq, 267 µ Ci 55,5 MBq/g
<b>Massenbestimmung</b>	
Messbereich (lt. Bedienungshand- buch)	0 – 60 mg
Probenahmezeit (Zykluszeit)	6 h – 100 Tage
Zeitbedarf β-Messung	120 min
<b>Speicherkapazität Daten</b>	> 100 Datensätze
<b>Gespeicherte Daten pro Mes- sung</b>	45 verschiedene Parameter (aufgeführt im Bedienungshandbuch Seite A1)
<b>Analogausgang</b>	0 – 10 V oder 0 – 20 mA (Konzentrations- bereich frei einstellbar)
<b>Digitalausgang</b>	3 x RS 232 – Schnittstellen zur Daten- übertragung und Fernsteuerung
<b>Statussignale</b>	Informationen im Messmodus (siehe Be- dienungshandbuch Seite A1) oder im Servicemenü/Analogsensoren verfügbar

## 4 Prüfprogramm

### 4.1 Allgemeines

Die Eignungsprüfung erfolgte an zwei identischen Geräten mit den Seriennummern SN 1236 und SN 1237.

Zu Beginn der Prüfung war die Softwareversion 1.03 auf den Prüflingen installiert.

Im Laufe des Feldtests (Standort Köln, Frankfurter Str.) zeigte sich jedoch, dass bei Überschreiten des maximal zulässigen Druckverlustes über das Filter von 70 kPa die Messungen zwar korrekt abgebrochen wurden, allerdings die Probenahme nach Filterwechsel in manchen Fällen erneut nach kurzer Zeit abgebrochen wurde. Gleichzeitig erschien eine Durchflussfehlermeldung. Die Ursache lag darin, dass das Durchflussregelventil, das in der Regel im Abbruchfall an der oberen Endposition der Regelung angekommen war, bei Neustart nicht vor dem Start der Pumpe in seine Ausgangsposition zurückgeregelt wurde. Die Pumpe startete, während gleichzeitig das Ventil zurückgeregelt wurde. Daher sprang unter Umständen die Überwachung der Durchflussrate an und brach die Probenahme mit einer Fehlermeldung (Durchfluss außerhalb der Spezifikation) wieder ab, bevor sich das Ventil wieder korrekt einregeln konnte. Dieser Fehler wurde mit dem ein Update der Software auf die Version 1.04.10 behoben. Es wird nun sichergestellt, dass die Pumpe nach dem Filterwechsel erst wieder gestartet wird, wenn das Durchflussregelventil wieder in die Ausgangsposition zurückgefahren ist.

Darüber hinaus wird mit der Version 1.04.10 der zusätzliche Anschluss eines Partikelzählers zum SM 200 ermöglicht – die hierzu notwendige Anpassung der Software betrifft **nicht** die eignungsgeprüfte Version der Messeinrichtung.

Die Software 1.04.10 wurde vor Start des (zweiten) Standortes „Köln, Parkplatzgelände“ installiert.

Die Prüfung umfasste einen Labortest zur Feststellung der Verfahrenskenngrößen sowie einen mehrmonatigen Feldtest an verschiedenen Feldteststandorten.

Alle ermittelten Konzentrationen werden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Betriebsbedingungen) angegeben.

Im Zeitraum der Prüfungen wurden keine baulichen Veränderungen an den Testgeräten vorgenommen.

Im folgenden Bericht wird in der Überschrift zu jedem Prüfpunkt die Mindestanforderung gemäß den berücksichtigten Richtlinien [1,2,3,4] mit Nummer und Wortlaut angeführt.

## 4.2 Laborprüfung

Die Laborprüfung wurde mit zwei identischen Geräten des Typs OPSIS SM 200 mit den Seriennummern SN 1236 und SN 1237 durchgeführt. Nach den Richtlinien [1,2,3] ergab sich folgendes Versuchsprogramm im Labor:

- Beschreibung der Gerätefunktionen
- Ermittlung der Nachweisgrenze
- Ermittlung der Abhängigkeit des Nullpunktes / der Empfindlichkeit von der Umgebungstemperatur
- Ermittlung der Abhängigkeit des Nullpunktes / der Empfindlichkeit von der Netzspannung

Folgende Geräte kamen für den Labortest zur Ermittlung der Verfahrenskenngrößen zum Einsatz:

- Klimakammer (Temperaturbereich von  $-20\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$ , Genauigkeit besser als  $1\text{ °C}$ )
- Trennstelltrafo
- Leerfilter zur Nullpunktsüberprüfung
- Referenzfoliensatz ck033 (Hersteller: Opsis)

Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte im geräteinternen Speicher, die Daten wurden mittels der Software „SM200ExtractProj“ (Hersteller: Opsis) via RS232-Schnittstelle ausgelesen.

Die Ergebnisse der Laborprüfungen sind unter Punkt 6 zusammengestellt.

### 4.3 Feldtest

Der Feldtest wurde mit 2 baugleichen Messeinrichtungen durchgeführt. Dies waren:

Gerät 1: Nr. SN 1236

Gerät 2: Nr. SN 1237

Es ergab sich folgendes Prüfprogramm im Feldtest:

- Untersuchung der Vergleichbarkeit der Testgeräte gemäß Leitfaden "Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods"
- Untersuchung der Vergleichbarkeit des Testgerätes mit dem Referenzverfahren gemäß Leitfaden "Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods"
- Untersuchung der Konstanz des Probenahmestroms
- Ermittlung der Kalibrierfähigkeit, Aufstellung der Analysenfunktion
- Bestimmung der Reproduzierbarkeit
- Ermittlung der zeitlichen Änderung des Nullpunktes und der Empfindlichkeit
- Untersuchung der Dichtheit des Probenahmesystems
- Betrachtung der Abhängigkeit der Messwerte von der im Messgut enthaltenen Luftfeuchte
- Ermittlung des Wartungsintervalls
- Bestimmung der Verfügbarkeit
- Ermittlung der Gesamtunsicherheit der Testgeräte.

Für den Feldtest wurden folgende Geräte eingesetzt:

- Messcontainer der TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH, klimatisiert auf ca. 20 °C
- Wetterstation (WS 500 der Fa. ELV Elektronik AG) zur Erfassung meteorologischer Kenngrößen wie Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Windrichtung sowie der Regenmenge
- 2 Referenzmessgeräte gemäß Punkt 5
- Ganzmetall-Klein-Durchflussmesser DK 37 E (Hersteller: Fa. Krohne)
- Balgengaszähler mit Impulsgeber (Hersteller: Fa. Elster-Instromet)
- Messgerät zur Erfassung der Leistungsaufnahme Metraster 5 (Hersteller: Fa. Gosson Metrawatt)
- Leerfilter zur Nullpunktsüberprüfung
- Referenzfoliensatz ck033 (Hersteller: Opolis)

Im Feldtest liefen jeweils für 24h zeitgleich zwei OPSIS SM 200 – Systeme und zwei Referenzgeräte. Das Referenzgerät arbeitet diskontinuierlich, d. h. nach erfolgten Probenahmen muss das Filter manuell gewechselt werden.

Folgende Parameter wurden bei den Geräten eingestellt:

*Tabelle 3: Eingestellte Probenahmeparameter für die verwendeten Messeinrichtungen*

Messgerät	Parameter	eingestellter Wert
OP SIS SM 200	Probenahmezeit	24 h
	Durchfluss	38,3 l/min = 2,3 m <sup>3</sup> /h
	Minimaler akzeptierter Druckverlust über Filter <sup>*)</sup>	0 kPa
	Minimaler akzeptierter Durchfluss	36,3 l/min (2 l/min < Sollwert)
	Test des pneum. Systems (QS) <sup>**)</sup>	Alle 2 Tage
	Test des radiometrischen Systems (QS) <sup>***)</sup>	Alle 30 Tage
Low Volume Sampler LVS3	Probenahmezeit	24h
	Durchfluss	2,3 m <sup>3</sup> /h

<sup>\*)</sup> Grenzwert des Druckabfalls am Filter, bei dessen Unterschreitung eine Alarmmeldung erfolgt. Ein spürbarer Druckabfall am Filter ist auf Grund des Strömungswiderstandes des Filters normal. Das Verschwinden dieses Druckabfalls deutet auf eine Störung, z.B. einen Filterriss hin. In der Praxis empfiehlt es sich, den Alarmgrenzwert auf ca. 5 kPa unter den normalen Druckabfall beim verwendeten Filtermaterial zu setzen. Im Rahmen der Felduntersuchungen war diese Funktion jedoch deaktiviert (Einstellung 0 kPa), da durch die häufigen Besuche an den Feldteststandorten eine Kontrolle gewährleistet war.

<sup>\*\*)</sup> Der Test des pneumatischen Systems ist Bestandteil der geräteinternen Qualitätssicherung. Der Durchfluss wird über den Druckverlust an einer Blende überwacht und über ein Nadelventil reguliert. Der Druckverlust hängt über einen bestimmten Faktor mit dem Durchfluss zusammen. Dieser Faktor wurde bei der Herstellung im Gerät gespeichert. Der Vergleich des aktuellen Faktors mit dem gespeicherten ergibt eine Abweichung, die in Prozent angegeben wird und möglichst Null sein sollte. Zudem erfolgt eine interne Überprüfung der Dichtigkeit des Systems.

<sup>\*\*\*)</sup> Der Test des radiometrischen Systems ist Bestandteil der geräteinternen Qualitätssicherung. Es werden dabei kurzzeitig zwei Referenzblenden mit unterschiedlichem Öffnungsdurchmesser zwischen die Betastrahlungsquelle und den Geigerzähler eingefügt. Vom Hersteller wurde bei der Geräteherstellung das Ansprechverhalten des Geigerzählers unter Einfügung der beiden Referenzblenden protokolliert. Dieses Protokoll liefert die Referenzwerte, mit denen die entsprechenden Ergebnisse aus dem internen „Beta-Span-Test“ verglichen werden. Ergebnis ist eine prozentuale Differenz, die möglichst Null sein sollte.

Die Impaktionsplatten der PM2,5 Probenahmeköpfe wurden in der Prüfung ca. alle 2 Wochen gereinigt und mit Silikonfett eingefettet, um eine sichere Trennung und Abscheidung der Partikel zu gewährleisten. Der Probenahmekopf muss prinzipiell nach den Anweisungen des Herstellers gesäubert werden, wobei die örtlichen Schwebstaubkonzentrationen in Betracht zu ziehen sind. Die Messeinrichtung besitzt einen Filtervorrat von 40 Filtern – d. h. theoretisch ist der autonome Betrieb für das System für einen Zeitraum 40 Tagen möglich.

Bei den Prüflingen sowie bei den Referenzgeräten wurde der Durchfluss vor und nach dem Feldtest, sowie vor und nach jedem Standortwechsel, mit einem Balgengaszähler, der über eine Schlauchleitung an der Lufteintrittsöffnung des Gerätes angeschlossen ist, überprüft.

### Messstandorte und Messgerätestandorte

Die Messgeräte wurden im Feldtest so installiert, dass nur die Probenahmeköpfe außerhalb des Messcontainers über dessen Dach eingerichtet sind. Die Zentraleinheiten der beiden Testgeräte waren im Innern des klimatisierten Messcontainers untergebracht. Die Verbindung der Zentraleinheiten mit den Probenahmeköpfen geschah bei den OPSIS SM 200-Systemen über das Probenahmerohr. Die Referenzsysteme (LVS3) wurden komplett im Freien auf dem Dach installiert.

Der Feldtest wurde an folgenden Messstandorten durchgeführt:

Tabelle 4: Feldteststandorte

Nr.	Messstandort	Zeitraum	Charakterisierung
1	Köln, Frankfurter Str.	11/2006 – 02/2007	Verkehrsbeeinflusst
2	Köln, Parkplatzgelände	04/2007 – 06/2007	Städtischer Hintergrund
3	Furulund (Schweden), Sommer	07/2007 – 09/2007	Ländliche Struktur
4	Furulund (Schweden), Winter	12/2008 – 03/2009	Ländliche Struktur

Ursprünglich war es im Rahmen der Prüfung geplant, als vierten Standort ab Winter 2007/2008 einen Standort in Italien heranzuziehen. Hierzu wurde eine Messstation in Norditalien errichtet und es wurde auf Grund der großen Entfernungen lokales Personal zur Durchführung der praktischen Tätigkeiten vor Ort intensiv trainiert und ausgebildet. Leider konnte über einen Zeitraum von ca. 1 Jahr auch nach mehrmaliger Wiederholung der Unterweisung vor Ort keine zufrieden stellende Betreuung und Unterstützung der Messstelle sichergestellt werden. Die Betreuung der Messung litt an der sporadischen Betreuung (→ lange Ausfälle durch Abwesenheit des Verantwortlichen oder durch späte Reaktion auf Ausfälle der Messeinrichtungen auf Grund von Wassereintrüben) des Messaufbaus und der geringen Sensitivität beim Umgang mit den anfallenden Messdaten (→ Datenverlust, Filter Referenzmessungen beschädigt). Deshalb war es auch über den langen Untersuchungszeitraum nicht möglich einen zusammenhängenden Datensatz zu erzeugen, der den Anforderungen unseres Qualitätsmanagementsystems genügte. Nach etlichen Diskussionen und einem langen Komplettstillstand der Kampagne, wurde schlussendlich der Standort in Italien ohne für die Prüfung verwertbare Ergebnisse aufgegeben und die Prüfung an einem alternativen Standort fortgesetzt.

Abbildung 11 bis Abbildung 14 zeigen den Verlauf der PM – Konzentrationen an den Feldteststandorten, die mit den Referenzmesseinrichtungen aufgenommen wurden.

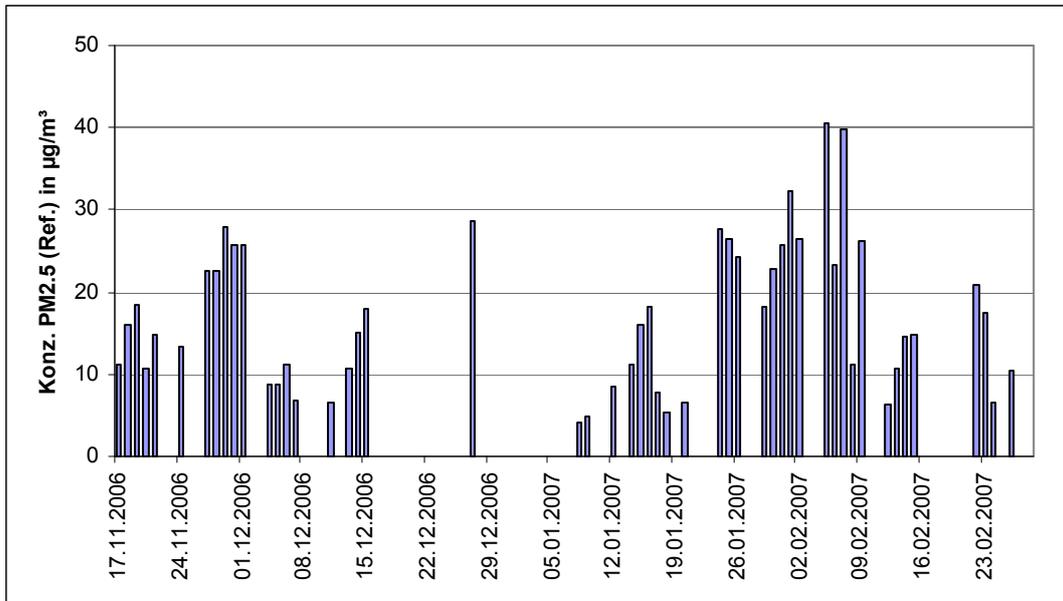


Abbildung 11: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Frankfurter Straße“

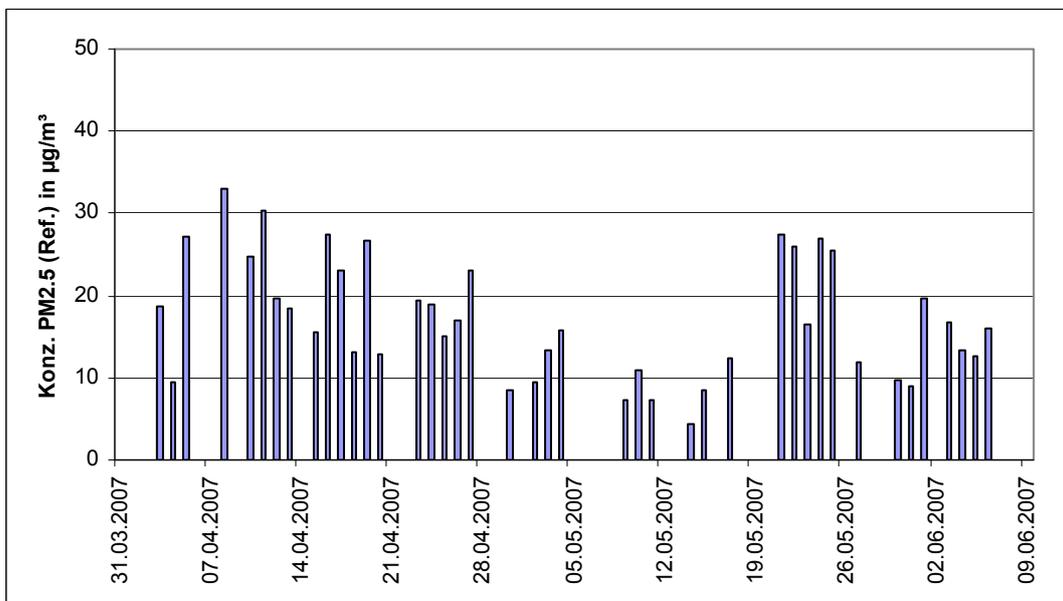


Abbildung 12: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände“

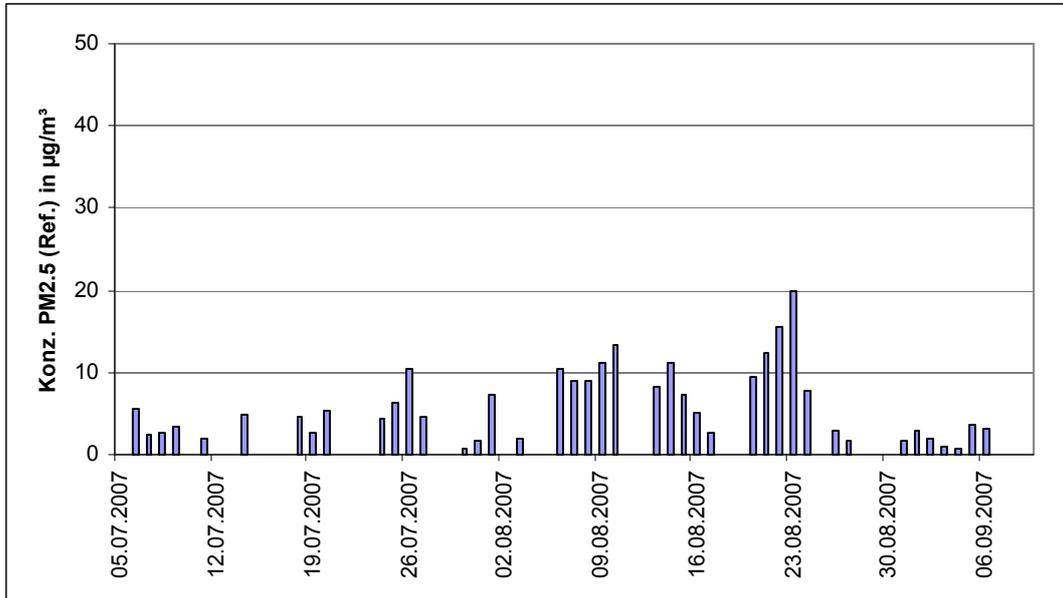


Abbildung 13: Verlauf der PM2,5-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Furulund, Sommer“

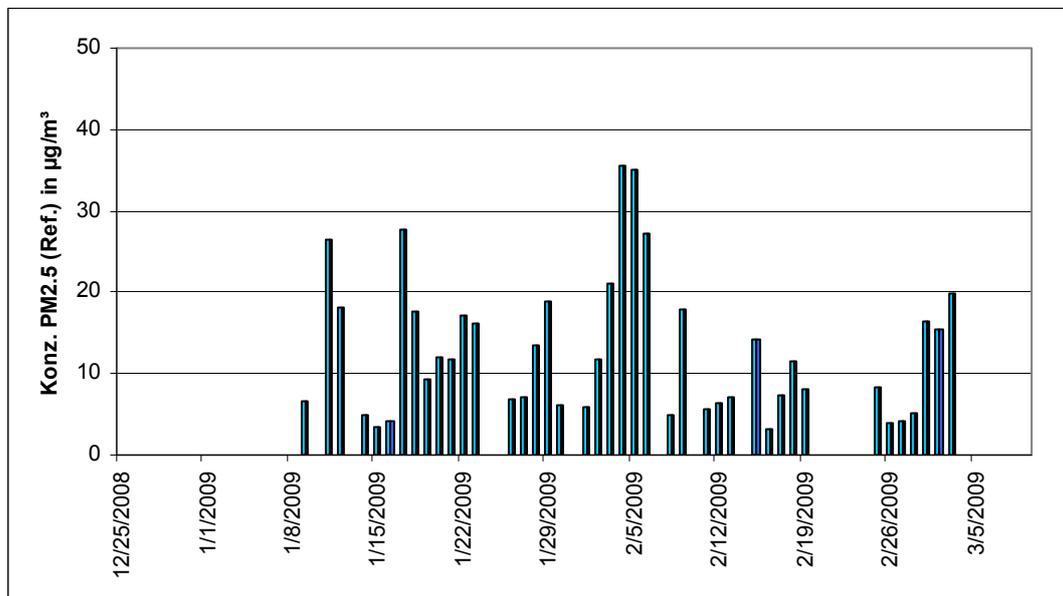


Abbildung 14: Verlauf der PM2,5-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Furulund, Winter“

Die folgenden Abbildungen zeigen den Messcontainer an den Feldteststandorten Köln (Frankfurter Str.) und Köln (Parkplatzgelände) sowie den Aufbau am Standort Furulund.



*Abbildung 15: Feldteststandort Köln, Frankfurter Str.*



*Abbildung 16: Feldteststandort Köln, Parkplatzgelände*



*Abbildung 17: Feldteststandort Furulund*

Neben den Messgeräten zur Bestimmung der Schwebstaubimmissionen war eine Erfassungsanlage für meteorologische Kenndaten am Container/Messort angebracht. Es erfolgte eine kontinuierliche Erfassung von Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Windrichtung sowie Niederschlagsmenge. Es wurden 30-min-Mittelwerte gespeichert.



Der Aufbau des Containers selbst (nur Standorte in Köln), sowie die Anordnung der Probenahmesonden, wurde durch die folgenden Abmessungen charakterisiert:

- Höhe Containerdach: 2,7 m
- Höhe der Probenahme für Test-/ 1,4 / 1,3 m über Containerdach
- Referenzgerät 4,1 / 4,0 m über Grund
- Höhe der Windfahne: 4,5 m über Grund

Die Höhe der Probenahme der beiden Testgeräte war baulich durch die Länge des Ansaugrohres festgelegt – die Höhen der Referenzgeräte wurden soweit möglich entsprechend angepasst.

- Entfernung zwischen den Testgeräten: 1,4 m
- Entfernung Testgerät 1 – Referenzgerät 1 1,1 m
- Entfernung Testgerät 1 – Referenzgerät 2 1,8 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 1 1,8 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 2 1,1 m

Der Aufbau am Standort Furulund selbst, sowie die Anordnung der Probenahmesonden, wurden durch die folgenden Abmessungen charakterisiert:

- Höhe Dach: 2,8 m
- Höhe der Probenahme für Test-/ 1,2 / 1,2 m über Dach
- Referenzgerät 4,0 / 4,0 m über Grund
- Höhe der Windfahne: 4,2 m über Grund

Die Höhe der Probenahme der beiden Testgeräte war baulich durch die Länge des Ansaugrohres festgelegt – die Höhen der Referenzgeräte wurden soweit möglich entsprechend angepasst.

- Entfernung zwischen den Testgeräten: 1,2 m
- Entfernung Testgerät 1 – Referenzgerät 1 1,8 m
- Entfernung Testgerät 1 – Referenzgerät 2 0,8 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 1 0,8 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 2 1,8 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 1 0,9 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 2 1,4 m

Im Rahmen der Eignungsprüfung erfolgte an den ersten drei Standorten zur Beschreibung der Schwebstaubverhältnisse eine parallele Erfassung der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen. Diese Messungen wurde an den Standorten Köln (Frankfurter Str.) und Köln (Parkplatzgelände) mit einem Filterwechsler SEQ47/50 gemäß DIN EN 12341 sowie am Standort Furulund (Sommer) mit einem parallel eingesetzten, eignungsgeprüften SM 200 (SN 1313, 1m<sup>3</sup>/h) durchgeführt.

Die nachfolgende Tabelle 5 enthält daher neben einem Überblick über die wichtigsten meteorologischen Kenngrößen, die während der Messungen an den 4 Feldteststandorten ermittelt wurden, auch einen Überblick über die Schwebstaubverhältnisse während des Prüfzeitraumes. Gelegentlich auftretende Anteile von Schwebstäuben >100 % wurden als unplausibel verworfen. Alle Einzelwerte sind in den Anhängen 5 und 6 zu finden.

*Tabelle 5: Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten, als Tagesmittelwerte*

	Köln, Frankfurter Str.	Köln, Parkplatzgelände	Furulund, Sommer	Furulund, Winter
Anzahl Wertepaare Referenz	50	41	40	41
<b>Anteil PM2,5 an PM10 [%]</b>				
Bereich	45,0 – 93,0	35,1 – 97,3	8,0 – 96,7	nicht ermittelt
Mittelwert	68,7	65,0	49,9	
<b>Lufttemperatur [°C]</b>				
Bereich	-4,0 – 15,3	6,9 – 24,4	9,1 – 22,2	-3,6 – 7,3
Mittelwert	7,2	16,2	16,5	2,2
<b>Luftdruck [hPa]</b>				
Bereich	988 – 1035	991 – 1020	996 – 1020	977 – 1029
Mittelwert	1010	1009	1008	1011
<b>Rel. Luftfeuchte [%]</b>				
Bereich	57,5 – 88,5	34,9 – 80,5	56,4 – 89,5	79,4 – 100
Mittelwert	73,2	59,1	75,2	93,4
<b>Windgeschwindigkeit [m/s]</b>				
Bereich	0,0 – 6,5	0,1 – 4,4	0,0 – 6,5	0,3 – 3,9
Mittelwert	2,2	1,3	2,4	1,3
<b>Niederschlagsmenge [mm]</b>				
Bereich	0,0 – 19,2	0,0 – 17,4	0,0 – 57,2	nicht ermittelt
Mittelwert	2,7	1,6	4,0	

### Dauer der Probenahmen

DIN EN 14907 legt die Probenahmedauer auf 24 h ±1 h fest.

Während im Feldtest immer eine Probenahmezeit von 24 h für alle Geräte eingestellt wurde (von 8:00 – 8:00 (Köln), 14:00 – 14:00 (Furulund)), wurde die Probenahmezeit bei einigen Untersuchungen im Labor reduziert, um eine größere Anzahl an Messwerten zu erhalten.

## Handhabung der Daten

Die ermittelten Messwertpaare der Prüflinge (sowie der Referenzwerte) aus den Felduntersuchungen wurden vor den jeweiligen Auswertungen für jeden Standort einem statistischen Ausreißertest nach Grubbs (99 %) unterzogen, um Auswirkungen von offensichtlich unplausiblen Daten auf das Messergebnis vorzubeugen. Als signifikante Ausreißer erkannte Messwertpaare dürfen dabei solange aus dem Wertepool entfernt, bis der kritische Wert der Prüfgröße unterschritten wurde. Es dürfen jedoch insgesamt für jeden Standort maximal 5 % der Messwertpaare verworfen.

Tabelle 6 zeigt eine Übersicht über die für jeden Einzelstandort als signifikante Ausreißer erkannten Messwertpaare (Prüflinge und Referenz). Diese Messwertpaare wurden für die weiteren Auswertungen verworfen.

*Tabelle 6: Übersicht über Ausreißer – Prüflinge und Referenz*

Standort	SM200				Referenz PM2.5			
	n	Datum	1236	1237	n	Datum	G1	G2
Köln, Frankfurter Str.	94	1/10/2007	1,6	7,4	50	keine Ausreisser		
		1/11/2007	0,7	8,6				
		2/17/2007	16,6	22,3				
		2/19/2007	36,6	42				
Köln, Parkplatzgelände	69	keine Ausreisser			42	5/15/2007	7,3	9,6
Furulund (Sommer)	58	7/10/2007	0,7	6,9	42	8/2/2007	7,1	beschädigt
		7/21/2007	13,9	7,4		8/10/2007	15,2	11,6
Furulund (Winter)	76	keine Ausreisser			42	1/13/2009	beschädigt	9,4

## Filterhandling - Massenbestimmung

Folgende Filter wurden in der Eignungsprüfung verwendet:

*Tabelle 7: Eingesetzte Filtermaterialien*

<b>Messgerät</b>	<b>Filtermaterial, Typ</b>	<b>Hersteller</b>
OP SIS SM 200	Teflon, Ø 47mm	Pall Gelman
Referenzgerät LVS3	Quarzfaser, Ø 50mm	Whatman

Die unbeaufschlagten Filter für die Referenzgeräte wurden staubgeschützt in einer Plexiglaskammer im Wägezimmer mindestens 48 h bei einer Temperatur von  $20 \pm 1$  °C und einer konstanten relativen Luftfeuchte konditioniert. Die anschließende Verwiegung erfolgte auf einer Waage der Firma Sartorius, Typ MC 210P, mit einer Auflösung von 10 µg absolut. Die Filter für das Referenzgerät wurden in Plexiglasdosen von und zur Messstelle transportiert und erst unmittelbar vor der jeweiligen Probenahme in die Filterhalter eingelegt. Nach beendeter Probenahme wurden die beaufschlagten Filter in Plexiglasdosen gelegt und bis zum Rücktransport ins Labor zur Wägung (alle 1-2 Wochen) in einer Kühlbox aufbewahrt.

Mit den beaufschlagten Filtern wurde im Wägezimmer äquivalent verfahren.

Die Behandlung der Filter entsprach somit den Anforderungen der DIN EN 14907.

Für den Feldteststandort Furulund wurden die unbeaufschlagten wie auch die beaufschlagten Filter zwischen dem Feldteststandort in Schweden und dem Labor in Deutschland in einer isolierten Box per Kurier verschickt.

## 5 Referenzmessverfahren

Im Rahmen des Feldtestes wurden gemäß der DIN EN 14907 folgende Geräte eingesetzt:

1. als Referenzgerät: KleinfILTERgerät Low Volume Sampler LVS3  
Hersteller: Ingenieurbüro Sven Leckel, Leberstraße 63, Berlin,  
Deutschland  
Herstelldatum: 2000  
PM2,5-Probenahmekopf

Während der Prüfung wurden parallel zwei Referenzgeräte mit einem geregelten Durchsatz von 2,3 m<sup>3</sup>/h betrieben. Die Volumenstromregelgenauigkeit beträgt unter realen Einsatzbedingungen < 1 % des Nennvolumenstroms.

Die Probenahmeluft beim KleinfILTERgerät LVS3 wird von der Drehschieber-Vakuumpumpe über den Probenahmekopf gesaugt, der Probeluft-Volumenstrom wird hierbei zwischen Filter und Vakuumpumpe mit einer Messblende gemessen. Die angesaugte Luft strömt von der Pumpe aus über einen Abscheider für den Abrieb der Drehschieber zum Luftauslass.

Nach beendeter Probenahme zeigt die Messelektronik das angesaugte Probeluftvolumen in Norm- oder Betriebs-m<sup>3</sup> an.

Die PM2,5 Konzentration wurde ermittelt, in dem die im Labor gravimetrisch bestimmte Schwebstaubmenge auf dem jeweiligen Filter durch das zugehörige durchgesetzte Probeluftvolumen in Betriebs-m<sup>3</sup> dividiert wurde.

## 6 Prüfergebnisse

### 6.1 4.1.1 Messwertanzeige

*Die Messeinrichtung muss eine Messwertanzeige besitzen.*

### 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Zusätzliche Geräte werden nicht benötigt.

### 6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde überprüft, ob die Messeinrichtung eine Messwertanzeige besitzt.

### 6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung besitzt eine Messwertanzeige. Der Messwert als Mittelwert über die Probenahmezeit kann zu jeder Zeit dem Speicher entnommen und angezeigt werden.

### 6.5 Bewertung

Die Messeinrichtung besitzt eine Messwertanzeige.

Mindestanforderung erfüllt? ja

### 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Abbildung 18 zeigt eine Frontalaufnahme der Bedieneinheit der Messeinrichtung. Messwerte aus dem Speicher können auf dem Display angezeigt werden.



Abbildung 18: Frontalaufnahme der Bedieneinheit der Messeinrichtung mit Messwertanzeige

## **6.1 4.1.2 Wartungsfreundlichkeit**

*Die notwendigen Wartungsarbeiten an der Messeinrichtung sollten ohne größeren Aufwand möglichst von außen durchführbar sein.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Zusätzliche Geräte werden nicht benötigt.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die notwendigen regelmäßigen Wartungsarbeiten wurden nach den Anweisungen der Betriebsanleitung ausgeführt.

## **6.4 Auswertung**

Folgende Wartungsarbeiten sind vom Benutzer durchzuführen:

1. Überprüfung des Gerätestatus  
Der Gerätestatus kann durch Kontrolle der Messeinrichtung selbst oder auch on line überwacht und kontrolliert werden.
2. Monatliche Reinigung des Gerätes. In jedem Fall ist die Messeinrichtung nach jedem Messeinsatz zu reinigen.
3. Der Probenahmekopf muss nach den Anweisungen des Herstellers gesäubert werden, wobei die örtlichen Schwebstaubkonzentrationen in Betracht zu ziehen sind.
4. Die pneumatischen, elektrischen und mechanischen Bauteile können durch interne Testprozeduren kontrolliert werden. Dies muss monatlich, in jedem Falle aber nach jedem Messeinsatz, geschehen.
5. Alle Verbindungsleitungen, O-Ringe und Sicherungen sind alle 3 Monate zu kontrollieren.
6. Der Filter der Wasserfalle im Pumpenmodul ist alle 3 Monate zu tauschen.
7. Die Pumpendichtung ist alle 6 Monate zu tauschen.
8. Die Pumpenmembran ist alle 12 Monate zu tauschen.
9. Im Rahmen einer jährlichen Grundwartung ist auch auf die Reinigung des Ansaugrohres zu achten.

Zur Durchführung der Wartungsarbeiten sind die Anweisungen im Handbuch zu beachten. Alle Arbeiten lassen sich mit üblichen Werkzeugen durchführen.

## **6.5 Bewertung**

Wartungsarbeiten sind mit üblichen Werkzeugen und vertretbarem Aufwand von außen durchführbar. Die Arbeiten zu Punkt 4 bis 7 sind bei einem Stillstand des Gerätes durchzuführen. Diese Arbeiten fallen nur monatlich, vierteljährlich, halbjährlich bzw. jährlich an. In der restlichen Zeit kann sich die Wartung auf die Kontrolle von Verschmutzungen, etwaigen Fehlermeldungen und Abweichungen in den Test zur Qualitätskontrolle beschränken.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Die Arbeiten an den Geräten wurden während der Prüfung auf Basis der in den Handbüchern beschriebenen Arbeiten und Arbeitsabläufe durchgeführt. Bei Einhaltung der dort beschriebenen Vorgehensweise konnten keine Schwierigkeiten beobachtet werden. Alle Wartungsarbeiten ließen sich bisher problemlos mit herkömmlichen Werkzeugen durchführen.

## **6.1 4.1.3 Funktionskontrolle**

*Soweit zum Betrieb oder zur Funktionskontrolle der Messeinrichtung spezielle Einrichtungen erforderlich sind, sind diese als zum Gerät gehörig zu betrachten und bei den entsprechenden Teilprüfungen einzusetzen und mit in die Bewertung aufzunehmen.*

*Zur Messeinrichtung gehörende Prüfgaserzeugungssysteme müssen der Messeinrichtung ihre Betriebsbereitschaft über ein Statussignal anzeigen und über die Messeinrichtung direkt sowie auch telemetrisch angesteuert werden können.*

*Die Unsicherheit der zur Messeinrichtung gehörenden Prüfgaserzeugungseinrichtung darf in drei Monaten 1 % vom Bezugswert  $B_2$  nicht überschreiten.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bedienungshandbuch, Leerfilter zur Nullpunktsüberprüfung, Referenzfolien.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Hier wurde überprüft, ob alle im Bedienungshandbuch aufgeführten Gerätefunktionen vorhanden, aktivierbar und funktionstüchtig sind. Zur Überprüfung der Stabilität der Beta-Messung führt das Gerät folgenden internen Test nach jedem Neustart (sowie auf Wunsch auch regelmäßig als AutoTest) durch: Es werden kurzzeitig zwei Referenzblenden mit unterschiedlicher Dicke zwischen die Betastrahlungsquelle und den Geigerzähler eingefügt. Vom Hersteller wurde bei der Geräteherstellung das Ansprechverhalten des Geigerzählers unter Einfügung der beiden Referenzblenden protokolliert. Dieses Protokoll liefert die Referenzwerte, mit denen die entsprechenden Ergebnisse aus dem internen „Beta-Span-Test“ verglichen werden. Ergebnis ist eine prozentuale Differenz.

Der Zyklus für die interne Überprüfung der radiometrischen Messung wurde im Rahmen der Prüfung auf 30 d gesetzt.

Zur Nullpunktsüberprüfung der Messeinrichtung wird eine geräteinterne Prüfprozedur herangezogen. Hierzu wird der Messbetrieb unterbrochen und im verborgenen Servicemenü die Funktion „Make Blank Test“ mit einem unbeaufschlagtem Filter durchgeführt. Die Messeinrichtung führt in diesem Modus alle 2 h (= üblicher Zeitbedarf für 1 radiometrische Messung) eine Leermessung auf dem Filter durch. Gemäß den Beziehungen aus Kapitel 3.1 kann aus dem Betastrahlenfluss am Anfang (= erste Messung mit Leerfilter) und am Ende (= Wert der folgenden Messung(en)), im Speicher abgelegt als „Blank Counts“ [cpm], bei bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekanntem  $K(x)$  (Herstellerangabe) die abgeschiedene Masse auf dem Filter errechnet werden, die im Idealfall bei 0 mg liegen soll.

Zur externen Überprüfung der Empfindlichkeit und ggf. Kalibrierung der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller einen Referenzfoliensatz zur Verfügung. Die Software zur Überprüfung der Empfindlichkeit ist dabei in einem verborgenen Servicemenü direkt implementiert. Die Durchführung des Referenzfolientests erfordert ebenfalls eine Unterbrechung des laufenden Messbetriebs. Diese Prozedur wird vom Gerätehersteller auch zur Überprüfung der Linearität der radiometrischen Messung eingesetzt.

Der Foliensatz besteht aus 2 Leerhaltern sowie 4 unterschiedlichen Messbereichsfolien. Die im Rahmen der Überprüfung erzielten Messergebnisse (Zählraten) für die unterschiedlichen Folien lassen sich bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekannten Parametern aus der im Gerät abgelegten Werkskalibrierung in Massenwerte umrechnen, die im Idealfall über die Zeit konstant bleiben.

Mit Hilfe des Foliensatzes können nur Massen bestimmt werden.

#### **6.4 Auswertung**

Alle im Bedienungshandbuch aufgeführten Gerätefunktionen sind vorhanden oder aktivierbar.

In Tabelle 8 sind Ergebnisse des internen „Beta-Tests“ aufgeführt. Die Beta-Tests wurden im Rahmen der Prüfungen nach jedem Neustart des Gerätes sowie alle 30 Tage automatisch durchgeführt und erfolgten in einem Zeitraum von ca. einem Jahr. Sie zeigen über die Zeit sehr konstante Signale des Geigerzählers im Rahmen des Tests. Ausgewertet wurde die prozentuale Veränderung des Verhältnisses der beiden Messwerte Count A und Count B für die eingebauten Referenzblenden zueinander zum jeweiligen Vorgängerwert. Count A und Count B werden als Geigerzählersignale in „counts per minute“ bzw. „cpm“ angegeben. Das Verhältnis der beiden Werte muss gemäß dem Bedienungshandbuch (Punkt 5.7.3) konstant sein.

Eine externe Überprüfung des Gerätenullpunktes (via Funktion „Make Blank Test“) und der radiometrischen Massenkali­brierung (via Referenzfoliensatz) ist jederzeit bei Unterbrechung des Messprogramms durchführbar. Es ist zu beachten, dass durch Einsatz des Prüfstandards „Referenzfoliensatz“ nur Massen bestimmt werden können. Ein direkter Vergleich mit den Bezugswerten ist daher nicht möglich. Zu Auswertezwecken wurden die prozentualen Änderungen der bestimmten Massen errechnet.

#### **6.5 Bewertung**

Alle im Bedienungshandbuch beschriebenen Gerätefunktionen sind vorhanden, aktivierbar und funktionieren. Der aktuelle Gerätestatus wird kontinuierlich überwacht und über eine Reihe von verschiedenen Statusmeldungen (Betriebs-, Warn- und Fehlerstatus) angezeigt.

Die Messeinrichtung führt nach jedem Neustart (sowie auf Wunsch auch regelmäßig als Autotest) eine Funktionskontrolle der radiometrischen Messung durch. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der während der Prüfung ausgeführten und aufgezeichneten Beta-Tests über den Zeitraum von größer als 2 Jahren. Die Ergebnisse sind sehr konstant, es konnten keine Abweichungen >0,33 % zum im Werk protokollierten Wert festgestellt werden. Abweichungen über 3 % führen zu einem Statussignal mit Wartungsaufforderung.

Die Ergebnisse der externen Überprüfungen des Gerätenullpunktes und der radiometrischen Messung über die Dauer der Felduntersuchungen sind im Kapitel 6.1 5.2.9 Nullpunktsdrift sind im Kapitel 6.1 5.2.10 Drift des Messwertes in diesem Bericht dargestellt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Folgende Tabelle 8 zeigt für die beiden Prüflinge die Ergebnisse des internen Beta-Tests.

Tabelle 8. Ergebnisse „Beta-Test“

SN 1236				
Datum	A [cpm]	B [cpm]	A/B	Abweichung in % vom Vor- gängerwert
16.11.2006	2119636	1588293	1,335	-
17.12.2006	2115690	1583856	1,336	0,09
16.01.2007	2119871	1587653	1,335	-0,04
21.03.2007	2107577	1577570	1,336	0,06
21.04.2007	2110336	1576168	1,339	0,22
21.05.2007	2108275	1576223	1,338	-0,10
29.08.2007	2097061	1569716	1,336	-0,12
24.12.2008	2082341	1553589	1,340	0,33

SN 1237				
Datum	A [cpm]	B [cpm]	A/B	Abweichung in % vom Vor- gängerwert
16.11.2006	1952908	1450504	1,346	-
17.12.2006	1949493	1448983	1,345	-0,07
16.01.2007	1947242	1445261	1,347	0,14
30.03.2007	1944352	1443884	1,347	-0,05
30.04.2007	1938409	1441232	1,345	-0,12
31.05.2007	1938710	1438251	1,348	0,22
30.08.2007	1932017	1435325	1,346	-0,14
24.12.2008	1926578	1427896	1,349	0,24

Ergebnisse der externen Überprüfungen siehe unter den Punkten

- 6.1 5.2.9 Nullpunktsdrift und
- 6.1 5.2.10 Drift des Messwertes

## **6.1 4.1.4 Rüst- und Einlaufzeiten**

*Die Rüst- und Einlaufzeiten der Messeinrichtung sind in der Betriebsanleitung anzugeben.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Für die Prüfung dieser Mindestanforderung wurde zusätzlich eine Uhr bereitgestellt.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Messinstrumente wurden nach den Beschreibungen des Geräteherstellers in Betrieb genommen. Die erforderlichen Zeiten für Rüst- und Einlaufzeit wurden getrennt erfasst.

Erforderliche bauliche Maßnahmen im Vorfeld der Installation, wie z. B. die Einrichtung eines Durchbruchs im Containerdach wurden hier nicht bewertet.

## **6.4 Auswertung**

Die Rüstzeit umfasst den Zeitbedarf für den Aufbau der Messeinrichtung bis zur Inbetriebnahme.

Das OPSIS-System muss witterungsunabhängig installiert werden, z. B. in einem klimatisierten Messcontainer. Zudem erfordert die Durchführung des Ansaugrohres durch das Dach sowie dessen Belüftung umfangreichere bauliche Maßnahmen am Messort. Ein ortsveränderlicher Einsatz wird daher nur zusammen mit der zugehörigen Peripherie angenommen.

Folgende Schritte zum Aufbau der Messeinrichtung sind grundsätzlich erforderlich:

- Entpacken und Aufstellung der Messeinrichtung (in Rack oder auf Tisch)
- Anschluss der Stromversorgung
- Anschluss Ansaugrohr, Temperaturstabilisator TS200 + PM2,5-Probenahmekopf
- Anschluss der Pumpe
- Externe Temperaturfühler verlegen (in die Nähe des Probenahmekopfes)
- Bestückung des Gerätes mit Filtern
- Überprüfung der Dichtigkeit

Die Durchführung dieser Arbeiten und damit die Rüstzeit beträgt 1 Stunde.

Die Einlaufzeit umfasst den Zeitbedarf von der Inbetriebnahme der Messeinrichtung bis zur Messbereitschaft.

Nach dem Einschalten des System erfolgt zunächst eine Aufwärmphase, in der die Messkammer auf die Betriebstemperatur erwärmt wird. Die Dauer der Aufwärmphase ist abhängig vom Temperaturzustand des Gerätes und seiner Umgebung und kann bis zu einer Stunde andauern. Die Aufwärmphase lässt sich mit „ESC“ jedoch auch überspringen, dies sollte jedoch nur durchgeführt werden, wenn keine direkt anschließende Messung gewünscht wird. Das Aufheizen auf den Betriebszustand läuft auch nach dem Betätigen der „ESC“-Taste im Hintergrund weiter.

Nach der Aufwärmphase erscheint das Hauptmenü – hier lassen sich die Probenahmeparameter (Durchflussrate, Probenahmezeit, Häufigkeit der Durchführung einer geräteinternen Überprüfung des pneumatischen und/oder radiometrischen Systems...) ablegen. Hierzu benötigt mit den Geräten vertrautes Personal wenige Minuten.



Auf Grund der Messzeit der Betastrahlenabsorption von etwa 2 Stunden, muss die gewünschte Startzeit beim Normalstart auf Grund der Testprozeduren je nach Zeitpunkt der letzten Betaüberprüfung ca. 2,5 bis 3,5 Stunden vor die aktuelle Zeit gesetzt werden. Erst danach kann die Probenahme beginnen. Wenn die gewählte Zeit zu dicht an der aktuellen Zeit liegt, erscheint eine Fehlermeldung und die Startprozedur muss wiederholt werden. In der Regel wird die Startzeit so eingestellt, dass das Gerät um 24 Uhr den Messbetrieb aufnimmt.

## **6.5 Bewertung**

Die Rüst- und Einlaufzeiten wurden ermittelt.

Die Messeinrichtung kann, bei überschaubarem Aufwand, an unterschiedlichen Messstellen betrieben werden. Die Rüstzeit beträgt 1 Stunde und die Einlaufzeit minimal ca. 2,5 Stunden und im Normalbetrieb ca. 3,5 Stunden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Hier nicht erforderlich.

## **6.1 4.1.5 Bauart**

*Die Betriebsanleitung muss Angaben des Herstellers zur Bauart der Messeinrichtung enthalten. Im Wesentlichen sind dies:*

*Bauform (z. B. Tischgerät, Einbaugerät, freie Aufstellung)*

*Einbaulage (z. B. horizontaler oder vertikaler Einbau)*

*Sicherheitsanforderungen*

*Abmessungen*

*Gewicht*

*Energiebedarf.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Für die Prüfung wird eine Messeinrichtung zur Erfassung des Energieverbrauchs und eine Waage eingesetzt.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Der Aufbau der übergebenen Geräte wurde mit der Beschreibung in den Handbüchern verglichen. Der angegebene Energieverbrauch wird über 24 h im Normalbetrieb an 3 Tagen während des Feldtests bestimmt.

## **6.4 Auswertung**

Die Messeinrichtung muss in horizontaler Einbaulage witterungsunabhängig installiert werden. Hierbei sollte die Einrichtung auf einer ebenen Fläche (z. B. Tisch) aufgestellt werden. Der Einbau in ein 19" Rack ist ebenfalls gut möglich.

Die Abmessungen und Gewichte der Messeinrichtung stimmen mit den Angaben aus dem Bedienungshandbuch überein.

Der Energiebedarf der Messeinrichtung wird vom Hersteller mit maximal 800 W angegeben. In 3 jeweils 24stündigen Tests wurde diese Angabe überprüft. Zu keinem Zeitpunkt wurde bei diesen Untersuchungen der angegebene Wert überschritten. Der durchschnittliche Energieverbrauch über 24 h lag bei ca. 400-500 W.

## **6.5 Bewertung**

Die in der Betriebsanleitung aufgeführten Angaben zur Bauart sind vollständig und korrekt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

#### **6.1 4.1.6 Unbefugtes Verstellen**

*Die Justierung der Messeinrichtung muss gegen unbeabsichtigtes und unbefugtes Verstellen gesichert werden können.*

#### **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Zur Prüfung dieser Mindestanforderung sind keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

#### **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Bedienung des Messgerätes erfolgt über die frontseitige Bedientastatur oder über die RS232-Schnittstellen und Modem von einem externen Rechner aus. Um Probenahmeparameter des Gerätes zu verändern sind immer mehrere Tastenfolgen notwendig.

Da eine Aufstellung des Messgerätes im Freien nicht möglich ist, erfolgt ein zusätzlicher Schutz durch die Aufstellung an Orten, zu denen Unbefugte keinen Zutritt haben (z. B. verschlossener Messcontainer).

#### **6.4 Auswertung**

Unbefugtes oder unbeabsichtigtes Verstellen von Geräteparametern wird durch eine Bedienung über mehrere Tastenfolgen verhindert. Weiterhin ergibt sich ein zusätzlicher Schutz vor unbefugtem Eingriff durch die Installation in einem verschlossenen Messcontainer.

#### **6.5 Bewertung**

Die Messeinrichtung ist in einem Messcontainer zu verschließen.

Mindestanforderung erfüllt? ja

#### **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.1 4.1.7 Messsignalausgang**

*Die Messsignale müssen digital (z. B. RS 232) und/oder analog (z. B. 4 mA bis 20 mA) angeboten werden.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

PC mit Software „SM200ExtractProj“, Datenlogger Yokogawa (für Analogsignal)

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Prüfung erfolgte unter Verwendung einer elektronischen Datenerfassungsanlage vom Typ Yokogawa (Analogausgang, nur Test im Labor) und einem PC mit der OPSIS-Software „SM200ExtractProj“ (Digitalausgang, serielle Schnittstelle RS 232).

Die Datenerfassungsanlagen wurden an Analog- sowie Digitalausgang angeschlossen. Die Prüfung erfolgte durch Vergleich der Messwerte aus Gerätespeicher (über Display), Analog- und Digitalausgang im Labor.

## **6.4 Auswertung**

Die Messsignale werden auf der Geräterückseite folgendermaßen angeboten:

Analog: 0-10 V bzw. 0-20 mA Konzentrationsbereich wählbar

Digital: über RS 232-Schnittstelle - über die direkte oder mit einem Modem hergestellte Verbindung zu einem Rechner, lässt sich das Gerät so bedienen, als stände man direkt davor – so lässt sich z. B. der Speicher mit allen Daten zu vergangenen Messungen auslesen.

Die ermittelten Messwerte wurden sowohl analog, wie auch digital in Übereinstimmung zum angezeigten Wert im Gerätespeicher ausgegeben.

## **6.5 Bewertung**

Die Messsignale werden analog (0-10 V oder 0 -20 mA) und digital (über RS 232) angeboten.

Der Anschluss von zusätzlichen Mess- und Peripheriegeräten ist über entsprechende Anschlüsse an den Geräten möglich.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Abbildung 19 zeigt eine Ansicht der Geräterückseite mit den jeweiligen Messwertausgängen.



Abbildung 19: Ansicht Geräterückseite OPSIS SM 200

## **6.1 4.2 Anforderungen an Messeinrichtungen für den mobilen Einsatz**

*Messeinrichtungen für den mobilen Einsatz müssen die Anforderungen an Messeinrichtungen für den stationären Einsatz auch im mobilen Einsatz erfüllen. Beim mobilen Einsatz von Messeinrichtungen, beispielsweise Messungen im fließenden Verkehr, zeitlich begrenzte Messungen an verschiedenen Orten oder Flugzeugmessungen, muss die ständige Betriebsbereitschaft sichergestellt sein.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Messeinrichtung wurde im Rahmen des Feldtestes an mehreren Feldteststandorten getestet.

## **6.4 Auswertung**

Die Messeinrichtungen wurden für einen festen Einbau in einer Messstation / einem Messcontainer konzipiert. Ein ortsveränderlicher Einsatz ist nur in Verbindung mit einem Messcontainer möglich.

Die ständige Betriebsbereitschaft für zeitlich begrenzte Messungen an verschiedenen Orten ist bei Beachtung der Aufstellungsbedingungen (Auswahl Messstelle, Infrastruktur) sichergestellt.

Für einen mobilen Einsatz sind neben den Aufstellungsbedingungen auch die Rüst- und Einlaufzeiten zu beachten.

## **6.5 Bewertung**

Die Messeinrichtung wurde im Rahmen des Feldtestes an mehreren verschiedenen Standorten betrieben; kann aber nicht in fahrenden Fahrzeugen eingesetzt werden.

Mindestanforderung erfüllt? nein

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.1 5.1 Allgemeines**

*Herstellerangaben der Betriebsanleitung dürfen den Ergebnissen der Eignungsprüfung nicht widersprechen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Ergebnisse der Prüfungen werden mit den Angaben im Handbuch verglichen.

## **6.4 Auswertung**

Die gefundenen Abweichungen zwischen dem ersten Handbuchsentwurf und der tatsächlichen Geräteausführung wurden behoben.

## **6.5 Bewertung**

Differenzen zwischen Geräteausstattung und Handbüchern wurden nicht beobachtet.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Siehe Punkt 6.4 zu diesem Modul.

## 6.1 5.2.1 Messbereich

*Der Messbereichsendwert der Messeinrichtung muss größer oder gleich dem Bezugswert  $B_2$  sein.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Zur Prüfung dieser Mindestanforderung sind keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde geprüft, ob der Messbereichsendwert der Messeinrichtung größer oder gleich dem Bezugswert  $B_2$  ist.

## 6.4 Auswertung

Der Messbereichsendwert der Massenbestimmung durch Betastrahlenabsorption beträgt theoretisch ca. 60 mg (Kalibrierung der Betamessung beim Hersteller). Dies würde bei einer 24-stündigen Probenahme einer Staubkonzentration von ca. 1.100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  entsprechen. Da die PM2.5-Konzentrationen in Umgebungsluft im Untersuchungsraum niedriger als 1.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen, wurde für das analoge Ausgangssignal der Testgeräte der Messbereich 0 bis 1.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  eingestellt. Andere Einstellungen sind möglich.

Messbereich: 0 – 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und 0 – 1.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Bezugswert:  $B_2 = 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 6.5 Bewertung

Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0-200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw. 0 - 1.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  eingestellt.

Der Messbereichsendwert der Messeinrichtung ist größer als der Bezugswert  $B_2$

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.1 5.2.2 Negative Messsignale**

*Negative Messsignale bzw. Messwerte dürfen nicht unterdrückt werden (lebender Nullpunkt).*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Zur Prüfung dieser Mindestanforderung sind keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Es wurde im Labor- wie auch Feldtest geprüft, ob die Messeinrichtung auch negative Messwerte ausgeben kann.

Gemäß den Beziehungen aus Kapitel 3.1 kann aus dem Betastrahlenfluss vor und nach der Probenahme ( $F_{\text{blank}}$ ,  $F_{\text{collect}}$ , im Speicher abgelegt als Blank [cpm] und Collect [cpm]) bei bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekanntem  $K(x)$  (Herstellerangabe) die abgeschiedene Masse auf dem Filter errechnet werden.

## **6.4 Auswertung**

Wenn der Messwert für  $F_{\text{collect}}$  größer ist als  $F_{\text{blank}}$ , ergibt sich ein negativer Wert für die Masse – das Messgerät gibt für die Konzentration  $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aus. Auf Basis der abgespeicherten Daten kann aber bei Bedarf ein negativer Messwert berechnet werden, soweit dies zur Qualitätssicherung erforderlich ist.

## **6.5 Bewertung**

Negative Messsignale werden von der Messeinrichtung nicht unterdrückt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.1 5.2.3 Analysenfunktion**

*Der Zusammenhang zwischen dem Ausgangssignal und dem Wert des Luftbeschaffenheitsmerkmals muss mit Hilfe der Analysenfunktion darstellbar sein und durch Regressionsrechnung ermittelt werden.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

siehe Punkt 7.1 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge [9.5.2.2-9.5.6]

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Für PM2,5-Staubmesseinrichtungen ist diese Prüfung nach Punkt 7.1 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge [9.5.2.2-9.5.6] durchzuführen.

## **6.4 Auswertung**

Die Vergleichbarkeit der Messeinrichtungen gemäß Punkt 7.1 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge [9.5.2.2-9.5.6] wurde im Rahmen der Prüfung nachgewiesen.

Zur Bestimmung der Kalibrier- bzw. Analysenfunktion wird auf den gesamten Datensatz (172 valide Wertepaare) zurückgegriffen.

Die Kennwerte der Kalibrierfunktion

$$y = m * x + b$$

wurden durch orthogonale Regression ermittelt. Die Analysenfunktion ist die Umkehrung der Kalibrierfunktion. Sie lautet:

$$x = 1/m * y - b/m$$

Die Steigung m der Regressionsgeraden charakterisiert die Empfindlichkeit des Messgerätes, der Ordinatenabschnitt b den Nullpunkt.

Es ergeben sich die in Tabelle 9 aufgeführten Kennwerte.

*Tabelle 9: Ergebnisse der Kalibrier- und Analysenfunktion*

Geräte-Nr.	Kalibrierfunktion		Analysefunktion	
	Y = m * x + b		x = 1/m * y - b/m	
	m	b	1/m	b/m
	µg/m³ / µg/m³	µg/m³	µg/m³ / µg/m³	µg/m³
SN 1236 & SN 1237	1,00	1,41	1,00	-1,41

## 6.5 Bewertung

Ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen dem Referenzmessverfahren und der Geräteanzeige konnte nachgewiesen werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

siehe Punkt 7.1 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge [9.5.2.2-9.5.6]

## **6.1 5.2.4 Linearität**

*Die Linearität gilt als gesichert, wenn die Abweichung der Gruppenmittelwerte der Messwerte von der Kalibrierfunktion (nach Abschnitt 5.2.1) im Bereich von Null bis  $B_1$  nicht mehr als 5 % von  $B_1$  und im Bereich von Null bis  $B_2$  nicht mehr als 1 % von  $B_2$  beträgt.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

siehe Modul 5.3.1.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Für Staubmesseinrichtungen ist diese Prüfung nach der Mindestanforderung 5.3.1 „Gleichwertigkeit des Probenahmesystems“ durchzuführen.

## **6.4 Auswertung**

Siehe Modul 5.3.1.

## **6.5 Bewertung**

Für Staubmesseinrichtungen ist diese Prüfung nach der Mindestanforderung 5.3.1 „Gleichwertigkeit der Probenahmesysteme“ durchzuführen.

Siehe Modul 5.3.1.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Siehe Modul 5.3.1.

## 6.1 5.2.5 Nachweisgrenze

*Die Nachweisgrenze der Messeinrichtung darf den Bezugswert  $B_0$  nicht überschreiten.  
Die Nachweisgrenze ist im Feldtest zu ermitteln.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Leerfilter zur Nullpunktsüberprüfung

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Bestimmung der Nachweisgrenze erfolgte bei den Testgeräten SN 1236 und SN 1237 durch Auswertung der geräteinternen Prüfprozedur zur Nullpunktsüberprüfung der Messeinrichtung über einen Zeitraum von 15 Tagen. Hierzu wurden auf einem unbeaufschlagten Filter im jeweiligen Abstand von ca. 2 h wiederholt radiometrische Messungen durchgeführt. Gemäß den Beziehungen aus Kapitel 3.1 kann aus dem Betastrahlenfluss am Anfang (hier: Messung 1 mit Leerfilter) und am Ende (hier Mittelwert Messungen 2-12, 12 Messungen entspricht ca. 24 h), im Speicher jeweils abgelegt unter der Position „Blank Counts“ [cpm], bei bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekanntem  $K(x)$  (Herstellerangabe) die abgelesene Masse auf dem Filter errechnet werden, die im Idealfall bei 0 mg liegen soll. Die Ermittlung der Nachweisgrenze erfolgte im Labor, da unter Feldbedingungen eine Bereitstellung von schwebstaubfreier Luft nicht ohne weiteres möglich war. Ausgewertet wurden die im Speicher unter der Position „Blank Counts“ abgelegten Zählraten.

## 6.4 Auswertung

Die Nachweisgrenze  $X$  wird aus der Standardabweichung  $s_{x_0}$  der Messwerte bei Ansaugung von schwebstaubfreier Probenluft durch beide Testgeräte ermittelt. Sie entspricht dem mittleren Wert der Nullmessungen addiert mit der mit Studentfaktor multiplizierten Standardabweichung des Mittelwertes  $\bar{x}_0$  der Messwerte  $x_{0i}$  für das jeweilige Testgerät.

$$X = \bar{x}_0 + t_{n-1;0,95} \cdot s_{x_0} \quad \text{mit} \cdot s_{x_0} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1,n} (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}$$

Bezugswert:  $B_0 = 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## 6.5 Bewertung

Die Nachweisgrenze ermittelte sich aus den Untersuchungen zu  $0,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Gerät 1 (SN 1236) und zu  $0,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Gerät 2 (SN 1237).

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

*Tabelle 10: Nachweisgrenze*

		Gerät SN 1236	Gerät SN 1237
Anzahl der Werte n		15	15
Mittelwert der Leerwerte $\bar{x}_0$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-0,19	-0,18
Standardabweichung der Werte $s_{x0}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,32	0,27
Student-Faktor $t_{n-1;0,95}$		2,14	2,14
Nachweisgrenze X	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,49	0,39

Die Einzelmesswerte zur Bestimmung der Nachweisgrenze können der Anlage 1 im Anhang entnommen werden.

#### **6.1 5.2.6 Einstellzeit**

*Die Einstellzeit (90%-Zeit) der Messeinrichtung darf nicht mehr als 5 % der Mittelungszeit (180 s) betragen.*

Gemäß VDI 4203 Blatt 3 unter Punkt 5.3 ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen mit Vorabscheidung mit physikalischer Messmethode nicht relevant.

#### **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Nicht zutreffend.

#### **6.3 Durchführung der Prüfung**

Nicht zutreffend.

#### **6.4 Auswertung**

Nicht zutreffend.

#### **6.5 Bewertung**

Nicht zutreffend.

Mindestanforderung erfüllt? -

#### **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Nicht zutreffend.

## 6.1 5.2.7 Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur

*Die Temperaturabhängigkeit des Nullpunkt-Messwertes darf bei einer Änderung der Umgebungstemperatur um 15 K im Bereich zwischen +5 °C und +20 °C bzw. 20 K im Bereich zwischen +20 °C und +40 °C den Bezugswert  $B_0$  nicht überschreiten.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Klimakammer für den Temperaturbereich +5 bis +40 °C, Leerfilter zur Nullpunktsüberprüfung.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Bestimmung der Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur erfolgte bei den Testgeräten SN 1236 und SN 1237 durch Auswertung der geräteinternen Prüfprozedur zur Nullpunktsüberprüfung der Messeinrichtung bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen in der Klimakammer. Hierzu wurden bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen auf einem unbeaufschlagten Filter im jeweiligen Abstand von ca. 2 h wiederholt radiometrische Messungen durchgeführt. Gemäß den Beziehungen aus Kapitel 3.1 kann aus dem Betastrahlenfluss am Anfang (hier pro Temperaturschritt: Messung 1,4 und 7 mit Leerfilter) und am Ende (hier: Messung 3 zu Messung 1 mit Leerfilter, 6 zu 4 und 9 zu 7), im Speicher jeweils abgelegt unter der Position „Blank Counts“ [cpm], bei bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekanntem  $K(x)$  (Herstellerangabe) die abgeschiedene Masse auf dem Filter errechnet werden, die im Idealfall bei 0 mg liegen soll.

Die Umgebungstemperaturen in der Klimakammer wurden in der Reihenfolge 20 °C – 5 °C – 20 °C – 40 °C – 20 °C in dreifacher Wiederholung variiert. Nach einer jeweiligen Äquilibrierzeit von ca. 6 h pro Temperaturstufe erfolgte die Aufnahme der Leermessungen über einen Zeitraum von ca. 18 h. Die relative Feuchte wurde konstant gehalten.

## 6.4 Auswertung

Es wurden die Messwerte für die Konzentration aus den ermittelten Zählraten der Leermessungen errechnet. Betrachtet wird die absolute Abweichung in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro Temperaturschritt bezogen auf den Ausgangspunkt von 20 °C.

Bezugswert:  $B_0 = 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 6.5 Bewertung

Bei Betrachtung der, aus denen von Geräten ausgehenden Zählraten der Leermessungen, errechneten Werte konnte ein maximaler Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Nullpunkt von  $-0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgestellt werden.

Für die Unsicherheitsberechnung gemäß Punkt 6.1 5.2.21 Gesamtunsicherheit wurden  $-0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für SN 1236 und  $-0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für SN 1237 eingesetzt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

*Tabelle 11: Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur, Abweichung in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Mittelwert aus drei Messungen*

Temperatur		Abweichung	
Anfangstemperatur	Endtemperatur	Gerät 1 (SN 1236)	Gerät 2 (SN 1237)
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
20	5	-0,5	-0,6
5	20	0,1	-0,4
20	40	-0,4	-0,7
40	20	-0,2	-0,3

Die Ergebnisse der 3 Einzelmessungen können der Anlage 2 im Anhang entnommen werden.

## 6.1 5.2.8 Abhängigkeit des Messwertes von der Umgebungstemperatur

*Die Temperaturabhängigkeit des Messwertes im Bereich des Bezugswertes  $B_1$  darf nicht mehr als  $\pm 5\%$  des Messwertes bei einer Änderung der Umgebungstemperatur um 15 K im Bereich zwischen  $+5\text{ °C}$  und  $+20\text{ °C}$  bzw. 20 K im Bereich zwischen  $+20\text{ °C}$  und  $+40\text{ °C}$  betragen.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Klimakammer für den Temperaturbereich  $+5 - +40\text{ °C}$ , Referenzfoliensatz

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Messwerte von der Umgebungstemperatur wurden die Messeinrichtungen in der Klimakammer betrieben. Zur externen Überprüfung der Empfindlichkeit der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller einen Referenzfoliensatz zur Verfügung. Die Software zur Überprüfung der Empfindlichkeit ist dabei in einem verborgenen Servicemenü direkt implementiert. Diese Prozedur wird vom Gerätehersteller zur Überprüfung der Linearität der radiometrischen Messung eingesetzt.

Die Umgebungstemperaturen in der Klimakammer wurden in der Reihenfolge  $20\text{ °C} - 5\text{ °C} - 20\text{ °C} - 40\text{ °C} - 20\text{ °C}$  in dreifacher Wiederholung variiert. Nach einer jeweiligen Äquilibrierzeit von ca. 6 h pro Temperaturstufe erfolgte die Aufnahme der Messwerte. Die relative Feuchte wurde konstant gehalten.

## 6.4 Auswertung

Betrachtet wird die prozentuale Änderung des ermittelten Massenwertes (Radiometrie) für jeden Temperaturschritt bezogen auf den Ausgangspunkt bei  $20\text{ °C}$ .

Als Anmerkung sei erwähnt, dass mit Hilfe des Referenzfoliensatzes nur Massenwerte, und keine Konzentrationswerte simuliert werden konnten, eine Betrachtung im Bereich des  $B_1$  ( $= 25\text{ µg/m}^3$ ) war aus diesem Grunde nicht möglich.

## 6.5 Bewertung

Es konnten für Gerät 1 (SN 1236) keine Abweichungen  $> -0,9\%$  und für Gerät 2 (SN 1237) keine Abweichungen  $> -0,9\%$  zum Ausgangswert bei  $20\text{ °C}$  ermittelt werden.

Für die Unsicherheitsberechnung gemäß Punkt 6.1 5.2.21 Gesamtunsicherheit wurden  $-0,23\text{ µg/m}^3$  für SN 1236 ( $=-0,9\%$  von  $25\text{ µg/m}^3$ ) und  $-0,23\text{ µg/m}^3$  für SN 1237 ( $=-0,9\%$  von  $25\text{ µg/m}^3$ ) eingesetzt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

*Tabelle 12: Abhängigkeit der Empfindlichkeit (Radiometrie) von der Umgebungstemperatur SN 1236, Abweichung in %, Mittelwert aus drei Messungen*

Temperatur		Abweichungen Radiometrie			
		Gerät 1 (SN 1236)			
Anfangstemperatur °C	Endtemperatur °C	Folie 1 %	Folie 2 %	Folie 3 %	Folie 4 %
20	5	0,1	0,0	-0,1	0,0
5	20	0,1	0,0	-0,1	0,0
20	40	-0,9	-0,8	-0,7	-0,5
40	20	0,0	-0,1	-0,2	0,0

*Tabelle 13: Abhängigkeit der Empfindlichkeit (Radiometrie) von der Umgebungstemperatur SN 1237, Abweichung in %, Mittelwert aus drei Messungen*

Temperatur		Abweichungen Radiometrie			
		Gerät 2 (SN 1237)			
Anfangstemperatur °C	Endtemperatur °C	Folie 1 %	Folie 2 %	Folie 3 %	Folie 4 %
20	5	0,0	0,1	0,0	0,0
5	20	0,0	0,0	0,0	0,0
20	40	-0,9	-0,7	-0,5	-0,4
40	20	-0,1	0,0	-0,1	0,0

Die Einzelergebnisse können der Anlage 3 im Anhang entnommen werden.

## 6.1 5.2.9 Nullpunktsdrift

*Die zeitliche Änderung des Nullpunkt-Messwertes darf in 24 h und im Wartungsintervall den Bezugswert  $B_0$  nicht überschreiten.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Leerfilter zur Nullpunktsüberprüfung.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung erfolgte im Rahmen des Feldtestes über einen Zeitraum von insgesamt mehr als 24 Monaten. Die Messeinrichtungen wurden innerhalb des Zeitraumes an insgesamt 318 Messtagen betrieben (siehe auch Anlage 5). Hierbei ist zu beachten, dass der Zeitraum Oktober 2007 bis Dezember 2008 für die Feldtestbetrachtung verworfen werden musste (siehe hierzu auch Punkt 4.3 Feldtest auf Seite 37) und hier aus diesem Grund auch keine expliziten Driftkontrollen durchgeführt wurden. Es war jedoch über den gesamten Zeitraum keine Re-Kalibrierung der Betamessung notwendig (siehe hierzu auch Punkt 6.1 4.1.3

Funktionskontrolle). Die im Prüfkatalog geforderte tägliche Nullpunktskontrolle ist bei dieser Staubmessenrichtung auf Grund der Ausfallzeiten nicht möglich.

Die Bestimmung der Drift am Nullpunkt erfolgte bei den Testgeräten SN 1236 und SN 1237 durch Auswertung der geräteinternen Prüfprozedur zur Nullpunktsüberprüfung der Messeinrichtung. Hierzu wurden ca. einmal im Monat der Messbetrieb unterbrochen und auf einem unbeaufschlagten Filter im jeweiligen Abstand von ca. 2 h wiederholt radiometrische Messungen durchgeführt. Gemäß den Beziehungen aus Kapitel 3.1 kann aus dem Betastrahlungsfluss am Anfang (hier: Messung 1 mit Leerfilter) und am Ende (hier Mittelwert der folgenden Leermessungen), im Speicher jeweils abgelegt unter der Position „Blank Counts“ [cpm], bei bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekanntem  $K(x)$  (Herstellerangabe) die abgelesene Masse auf dem Filter errechnet werden, die im Idealfall bei 0 mg liegen soll.

## 6.4 Auswertung

Die Auswertung erfolgt auf Basis der Messergebnisse der Leermessungen durch Vergleich der jeweiligen Werte mit den jeweiligen „Messwerten“ des vorherigen Tests und mit dem „Messwert“ des ersten Tests.

## 6.5 Bewertung

Die gefundenen Messwerte liegen im Wartungsintervall alle innerhalb der erlaubten Grenzen von  $B_0 = 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Mindestanforderung erfüllt? ja

Für die Unsicherheitsberechnung gemäß Punkt 6.1 5.2.21 Gesamtunsicherheit wurden  $1,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für SN 1236 und  $-1,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für SN 1237 eingesetzt.



## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 14 und Tabelle 15 enthalten die ermittelten Messwerte für den Nullpunkt und die errechneten Abweichungen bezogen auf den Vorgängerwert und bezogen auf den Startwert in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen eine grafische Darstellung der Nullpunktsdrift über den Untersuchungszeitraum.

*Tabelle 14: Nullpunktdrift SN 1236*

Datum	Messwert	Abweichung zum Vorgängerwert	Abweichung zum Startwert
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
22.11.2006	0,01	-	-
18.12.2006	0,31	0,30	0,30
22.01.2007	0,56	0,25	0,55
29.03.2007	-0,08	-0,64	-0,09
08.05.2007	1,17	1,25	1,16
12.06.2007	0,04	-1,13	0,03
17.07.2007	-0,33	-0,37	-0,34
30.08.2007	-0,29	0,04	-0,30
22.12.2008	-0,22	0,07	-0,23
12.03.2009	-1,08	-0,86	-1,09

*Tabelle 15: Nullpunktdrift SN 1237*

Datum	Messwert	Abweichung zum Vorgängerwert	Abweichung zum Startwert
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
23.11.2006	0,19	-	-
19.12.2006	0,51	0,32	0,32
22.01.2007	-0,22	-0,73	-0,41
29.03.2007	0,50	0,72	0,31
07.05.2007	-0,15	-0,65	-0,34
18.06.2007	-0,09	0,06	-0,28
16.07.2007	-0,54	-0,45	-0,73
29.08.2007	-0,55	-0,01	-0,74
22.12.2008	-0,86	-0,31	-1,05
12.03.2009	-1,52	-0,66	-1,71

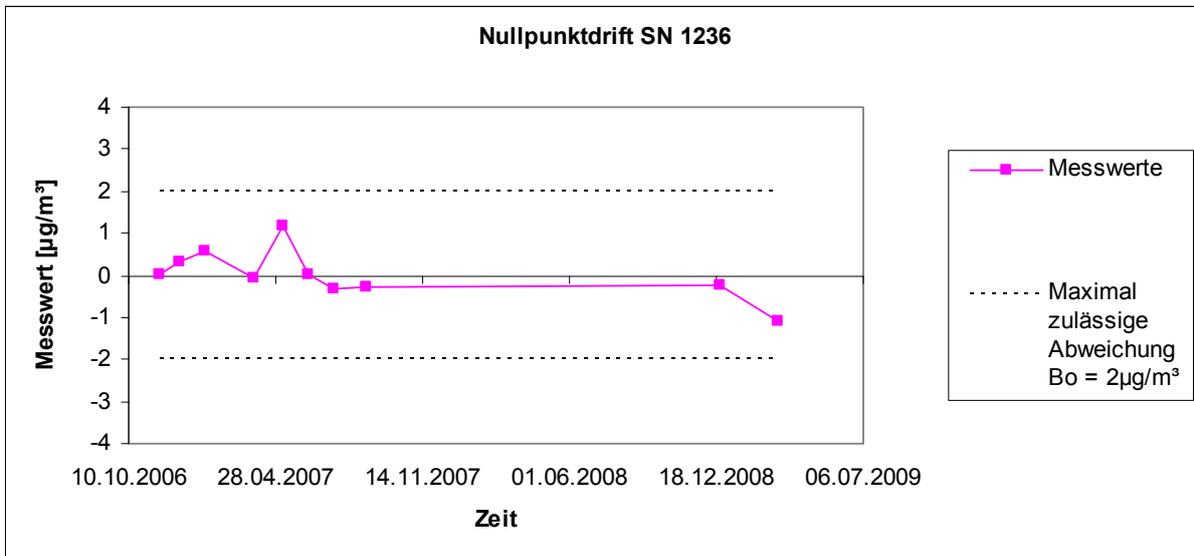


Abbildung 20: Nullpunkt drift SN 1236

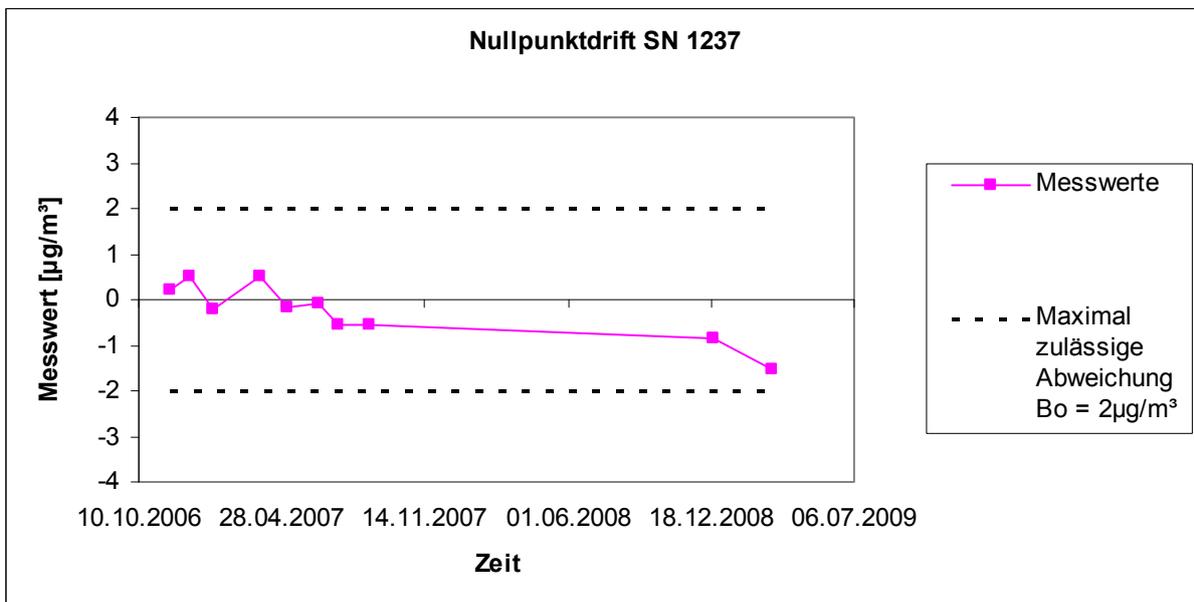


Abbildung 21: Nullpunkt drift SN 1237



## **6.1 5.2.10 Drift des Messwertes**

*Die zeitliche Änderung des Messwertes im Bereich des Bezugswertes  $B_1$  darf in 24 Stunden und im Wartungsintervall  $\pm 5\%$  von  $B_1$  nicht überschreiten.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Referenzfoliensatz.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Prüfung erfolgte in etwa monatlich im Rahmen des Feldtestes über einen Zeitraum von insgesamt mehr als 24 Monaten. Die Messeinrichtungen wurden innerhalb des Zeitraumes an insgesamt 318 Messtagen betrieben (siehe auch Anlage 5). Hierbei ist zu beachten, dass der Zeitraum Oktober 2007 bis Dezember 2008 für die Feldtestbetrachtung verworfen werden musste (siehe hierzu auch Punkt 4.3 Feldtest auf Seite 37) und hier aus diesem Grund auch keine expliziten Driftkontrollen durchgeführt wurden. Es war jedoch über den gesamten Zeitraum keine Re-Kalibrierung der Betamessung notwendig (siehe hierzu auch Punkt 6.1 4.1.3 Funktionskontrolle).

Zur externen Überprüfung der Empfindlichkeit der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller einen Referenzfoliensatz zur Verfügung. Die Software zur Überprüfung der Empfindlichkeit ist dabei in einem verborgenen Servicemenü direkt implementiert. Diese Prozedur wird vom Gerätehersteller zur Überprüfung der Linearität der radiometrischen Messung eingesetzt.

## **6.4 Auswertung**

Eine Beurteilung der Drift des Messwertes in 24 h ist gerätebedingt nicht möglich.

Betrachtet wird die prozentuale Änderung des ermittelten Massenwertes im Wartungsintervall von 1 Monat.

Als Anmerkung sei erwähnt, dass mit Hilfe des Referenzfoliensatz nur Massenwerte, und keine Konzentrationswerte simuliert werden konnten, eine Betrachtung im Bereich des  $B_1$  (= 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) war aus diesem Grunde nicht möglich.

## **6.5 Bewertung**

Die Drift des Messwertes betrug im Wartungsintervall maximal 1,1 % (SN 1236) bzw. -1,34 % (SN 1237). Auch über einen Gesamtzeitraum von ca. 2 Jahren konnte keine größeren Abweichungen festgestellt werden.

Für die Unsicherheitsberechnung gemäß Punkt 6.1 5.2.21 Gesamtunsicherheit wurden 0,28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für SN 1236 (=1,1 % von 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und -0,34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für SN 1237 (= -1,34 % von 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) eingesetzt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

In der Tabelle 16 und Tabelle 17 sind die Abweichungen der Messwerte in % vom jeweiligen Vorgängerwert aufgeführt. Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen eine grafische Darstellung der Drift der Messwerte (bezogen auf den Vorgängerwert) für die 4 Referenzfolien.

*Tabelle 16: Drift des Messwertes SN 1236*

Datum	Abweichung SN 1236							
	Folie 1		Folie 2		Folie 3		Folie 4	
	Messwert mg	Ab- weichung %	Messwert mg	Ab- weichung %	Messwert mg	Ab- weichung %	Messwert mg	Ab- weichung %
23.11.06	35,95	-	46,99	-	71,25	-	92,98	-
19.12.06	35,65	-0,84	46,93	-0,13	71,25	0,00	92,97	-0,01
22.01.07	35,57	-0,23	46,87	-0,12	71,18	-0,10	92,95	-0,02
30.03.07	35,58	0,04	46,95	0,17	71,28	0,14	93,03	0,09
07.05.07	35,64	0,16	47,00	0,09	71,33	0,07	93,06	0,03
18.06.07	35,62	-0,05	47,16	0,35	71,50	0,23	93,23	0,18
16.07.07	35,33	-0,81	46,95	-0,45	71,26	-0,34	92,98	-0,26
29.08.07	35,65	0,90	47,15	0,43	71,50	0,35	93,21	0,25
23.12.08	35,97	0,88	47,53	0,80	71,68	0,25	93,49	0,30
17.03.09	36,04	1,10	47,62	1,00	71,88	0,52	93,59	0,41

*Tabelle 17: Drift des Messwertes SN 1237*

Datum	Abweichung SN 1236							
	Folie 1		Folie 2		Folie 3		Folie 4	
	Messwert mg	Ab- weichung %	Messwert mg	Ab- weichung %	Messwert mg	Ab- weichung %	Messwert mg	Ab- weichung %
22.11.06	36,13	-	47,03	-	71,18	-	92,83	-
18.12.06	35,76	-1,01	47,00	-0,06	71,10	-0,11	92,78	-0,05
22.01.07	35,85	0,26	47,08	0,18	71,32	0,31	92,85	0,07
29.03.07	35,77	-0,24	47,11	0,05	71,40	0,11	92,86	0,01
08.05.07	35,82	0,16	47,13	0,05	71,46	0,09	92,97	0,12
12.06.07	35,84	0,03	47,28	0,32	71,53	0,10	93,00	0,03
17.07.07	35,51	-0,90	47,22	-0,13	71,43	-0,14	92,98	-0,02
30.08.07	35,59	0,21	47,23	0,03	71,46	0,05	92,98	0,00
23.12.08	35,20	-1,08	47,10	-0,27	71,42	-0,05	92,94	-0,04
17.03.09	35,11	-1,34	47,09	-0,29	71,36	-0,14	92,97	-0,01

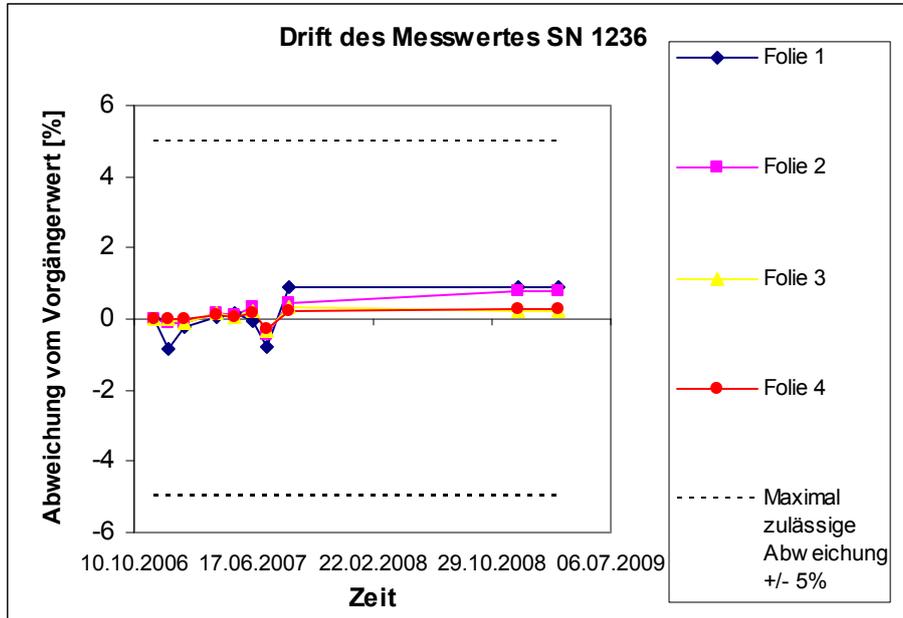


Abbildung 22: Drift des Messwertes SN 1236

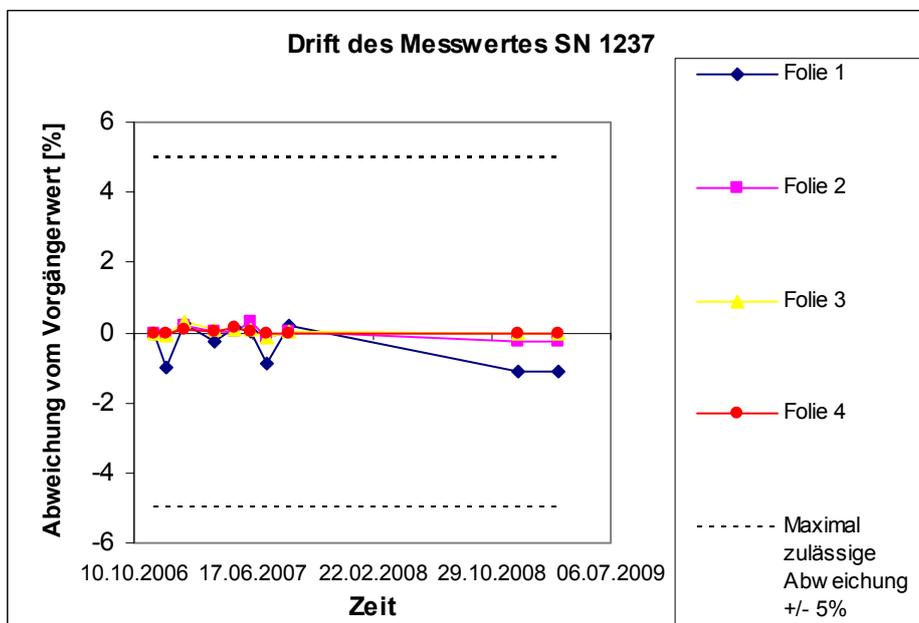


Abbildung 23: Drift des Messwertes SN 1237

## **6.1 5.2.11 Querempfindlichkeit**

*Die Absolutwerte der Summen der positiven bzw. negativen Abweichungen aufgrund von Störeinflüssen durch die Querempfindlichkeit gegenüber im Messgut enthaltenen Begleitstoffen dürfen im Bereich des Nullpunktes nicht mehr als  $B_0$  und im Bereich von  $B_2$  nicht mehr als 3 % von  $B_2$  betragen. Die Konzentration des Begleitstoffes wird im Bereich des jeweiligen  $B_2$ -Wertes des Begleitstoffes eingesetzt. Sind keine entsprechenden Bezugswerte bekannt, so ist ein geeigneter Bezugswert durch das Prüfinstitut im Einvernehmen mit den anderen Prüfinstituten festzulegen und anzugeben.*

Für Staubmesseinrichtungen ist dieser Punkt nicht relevant. Es gilt die Mindestanforderung 5.3.4. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen finden sich deshalb im Modul 5.3.4.

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Nicht zutreffend.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Nicht zutreffend.

## **6.4 Auswertung**

Nicht zutreffend.

## **6.5 Bewertung**

Nicht zutreffend.

Mindestanforderung erfüllt? -

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Nicht zutreffend.

## 6.1 5.2.12 Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit  $R_D$  der Messeinrichtung ist aus Doppelbestimmungen mit zwei baugleichen Messeinrichtungen zu ermitteln und darf den Wert 10 nicht unterschreiten. Als Bezugswert ist  $B_1$  zu verwenden.

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei der Ermittlung der Reproduzierbarkeit kamen zusätzlich die in Kapitel 5 genannten Messeinrichtungen zum Einsatz.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Reproduzierbarkeit ist definiert als der Betrag, um den sich zwei zufällig ausgewählte Einzelwerte, die unter Vergleichsbedingungen gewonnen wurden, höchstens unterscheiden. Die Reproduzierbarkeit wurde mit zwei identischen und parallel betriebenen Geräten im Feldtest bestimmt. Dazu wurden Messdaten aus der gesamten Felduntersuchung herangezogen.

## 6.4 Auswertung

Die Reproduzierbarkeit berechnet sich wie folgt:

$$R = \frac{B_1}{U} \geq 10 \quad \text{mit} \quad U = \pm s_D \cdot t_{(n,0,95)} \quad \text{und} \quad s_D = \sqrt{\frac{1}{2n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2}$$

- $R$  = Reproduzierbarkeit bei  $B_1$
- $U$  = Unsicherheit
- $B_1$  =  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $s_D$  = Standardabweichung aus Doppelbestimmungen
- $n$  = Anzahl der Doppelbestimmungen
- $t_{(n,0,95)}$  = Studentfaktor für 95%ige Sicherheit
- $x_{1i}$  = Messsignal des Gerätes 1 (z.B. SN 1236) bei der i-ten Konzentration
- $x_{2i}$  = Messsignal des Gerätes 2 (z.B. SN 1237) bei der i-ten Konzentration

## 6.5 Bewertung

Die Reproduzierbarkeit betrug im Feldtest minimal 13.

Mindestanforderung erfüllt? ja

Für die Unsicherheitsberechnung gemäß Punkt 6.1 5.2.21 Gesamtunsicherheit wurde ein Wert für die Reproduzierbarkeit von 14 (alle Standorte) eingesetzt.

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der Tabelle 18 zusammenfassend dargestellt. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 26 bis Abbildung 30.

Anmerkung: Die ermittelten Unsicherheiten werden auf den Bezugswert  $B_1$  für jeden Standort bezogen:

*Tabelle 18: Konzentrationsmittelwerte, Standardabweichung, Unsicherheitsbereich und Reproduzierbarkeit im Feld*

Standort	Anzahl	$\bar{c}$ (SN 1236)	$\bar{c}$ (SN 1237)	$\bar{c}_{ges}$	$s_D$	t	U	R
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Köln, Frankfurter Str.	90	16,8	17,2	17,0	0,838	1,987	1,665	15
Köln, Parkplatzgelände	69	18,4	19,2	18,8	0,955	1,995	1,906	13
Furulund (Sommer)	56	8,2	8,0	8,1	0,973	2,003	1,949	13
Furulund (Winter)	76	14,1	13,3	13,7	0,768	1,992	1,529	16
Alle Standorte	291	14,8	14,9	14,9	0,908	1,968	1,787	14

- $\bar{c}$  (SN 1236): Mittelwert der Konzentrationen Gerät SN 1236
- $\bar{c}$  (SN 1237): Mittelwert der Konzentrationen Gerät SN 1237
- $\bar{c}_{ges}$ : Mittelwert der Konzentrationen der Geräte SN 1236 & SN 1237

Einzelwerte können der Anlage 5 des Anhangs entnommen werden.

## **6.1 5.2.13 Stundenwerte**

*Das Messverfahren muss die Bildung von Stundenmittelwerten ermöglichen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Es wurde geprüft, ob die Messeinrichtung die Bildung von Stundenmittelwerten ermöglicht.

## **6.4 Auswertung**

Die noch genau zu definierenden Grenzwerte für Feinstaub PM2.5 werden voraussichtlich auf einen minimalen Mittelungszeitraum von 24 Stunden bezogen. Eine Bildung von Stundenmittelwerten ist deshalb für Messeinrichtungen zur Überwachung dieses Grenzwertes nicht erforderlich. Im üblichen Betrieb liefern die Messeinrichtungen deshalb einen Messwert pro 24 h. Minimal sind aber Mittelungszeiten von 8 Stunden möglich.

## **6.5 Bewertung**

Die Bildung von Stundenwerten für die Komponente Feinstaub PM2.5 wird zur Überwachung der angestrebten Grenzwerte nicht erforderlich sein.

Mindestanforderung erfüllt? nicht zutreffend

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Hier nicht erforderlich.

## **6.1 5.2.14 Netzspannung und Netzfrequenz**

*Die Änderung des Messwertes beim Bezugswert  $B_1$  durch die im elektrischen Netz üblicherweise auftretende Änderung der Spannung im Intervall (230 +15/-20) V darf nicht mehr als  $B_0$  betragen. Weiterhin darf im mobilen Einsatz die Änderung des Messwertes durch Änderung der Netzfrequenz im Intervall (50 ± 2) Hz nicht mehr als  $B_0$  betragen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Trennstelltrafo, Referenzfolien.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Zur Untersuchung der Abhängigkeit des Messsignals von der Netzspannung, wurde die Netzspannung ausgehend von 230 V auf 210 V reduziert und anschließend über die Zwischenstufe 230 V auf 245 V erhöht.

Zur externen Überprüfung der Empfindlichkeit der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller einen Referenzfoliensatz zur Verfügung. Die Software zur Überprüfung der Empfindlichkeit ist dabei in einem verborgenen Servicemenü direkt implementiert. Diese Prozedur wird vom Gerätehersteller zur Überprüfung der Linearität der radiometrischen Messung eingesetzt.

Da der mobile Einsatz der Messeinrichtung nicht vorgesehen ist, wurde auf die gesonderte Untersuchung der Abhängigkeit des Messsignals von der Netzfrequenz verzichtet.

## **6.4 Auswertung**

Am Referenzpunkt wird die prozentuale Änderung des ermittelten Massenwertes (Radiometrie) für jeden Prüfschritt bezogen auf den Ausgangspunkt bei 230 V betrachtet.

Als Anmerkung sei erwähnt, dass mit Hilfe des Foliensatzes nur Massenwerte, und keine Konzentrationswerte simuliert werden konnten, eine Betrachtung im Bereich des  $B_1$  (= 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) war aus diesem Grunde nicht möglich.

## **6.5 Bewertung**

Die Bewertung der Mindestanforderungen erfolgte auf Basis der oben genannten Angaben.

Durch Netzspannungsänderungen konnten keine Abweichungen > -0,2 % bei Gerät 1 (SN 1236) bzw. > -0,3 % bei Gerät 2 (SN 1237), bezogen auf den Startwert von 230 V, festgestellt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

Für die Unsicherheitsberechnung gemäß Punkt 6.1 5.2.21 Gesamtunsicherheit wurden -0,05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für SN 1236 (= -0,2 % von 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und -0,08  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für SN 1237 (= -0,3 % von 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) eingesetzt.

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 19 bis Tabelle 20 zeigen eine zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse.

*Tabelle 19: Abhängigkeit des Messwertes von der Netzspannung, Gerät 1 (SN 1236), Abweichung in %*

Netzspannung		Abweichungen			
		Gerät 1 (SN 1236)			
Anfangsspannung	Endspannung	Folie 1	Folie 2	Folie 3	Folie 4
V	V	%	%	%	%
230	210	-0,1	0,0	-0,1	0,1
210	230	0,1	0,0	-0,1	0,0
230	245	-0,2	-0,1	-0,1	0,0
245	230	0,0	-0,1	-0,2	0,0

*Tabelle 20: Abhängigkeit des Messwertes von der Netzspannung, Gerät2 (SN 1237), Abweichung in %*

Netzspannung		Abweichungen			
		Gerät 2 (SN 1237)			
Anfangsspannung	Endspannung	Folie 1	Folie 2	Folie 3	Folie 4
V	V	%	%	%	%
230	210	-0,3	0,0	0,0	0,0
210	230	0,0	0,0	0,0	0,0
230	245	-0,3	0,1	-0,1	0,0
245	230	-0,1	0,0	-0,1	0,0

Die Einzelergebnisse können der Anlage 4 im Anhang entnommen werden.

## **6.1 5.2.15 Stromausfall**

*Bei Gerätestörungen und bei Stromausfall muss ein unkontrolliertes Ausströmen von Betriebs- und Kalibriergas unterbunden sein. Die Geräteparameter sind durch eine Pufferung gegen Verlust durch Netzausfall zu schützen. Bei Spannungswiederkehr muss das Gerät automatisch wieder den messbereiten Zustand erreichen und gemäß der Betriebsvorgabe die Messung beginnen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Es wurde ein Stromausfall simuliert und geprüft, ob das Gerät unbeschädigt bleibt und nach Wiedereinschalten der Stromversorgung wieder messbereit ist.

## **6.4 Auswertung**

Da die Messgeräte zum Betrieb weder Betriebs-, noch Kalibriergase benötigen, ist ein unkontrolliertes Ausströmen von Gasen nicht möglich.

Für den Fall eines Netzausfalles werden zwei verschiedene Möglichkeiten unterschieden:

- 1) Bei einem Stromausfall, startet das Messgerät wieder automatisch und führt die Probenahme mit dem gleichen Filter fort. Die Ausfallzeit wird bei der Auswertung des Filters berücksichtigt und im Speicher bei den Daten zur jeweiligen Messung abgelegt.
- 2) Ein Filterwechsel nach einem Stromausfall erfolgt nur dann, wenn ein turnusmäßiger Filterwechsel (Cycletime !) innerhalb der Ausfallzeit liegt. Anhand der gespeicherten Daten ist der Filterwechsel sicher zu erkennen.

## **6.5 Bewertung**

Alle Geräteparameter sind gegen Verlust durch Pufferung geschützt. Die Messeinrichtung befindet sich bei Spannungswiederkehr in störungsfreier Betriebsbereitschaft.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Hier nicht erforderlich.

## **6.1 5.2.16 Gerätefunktionen**

*Die wesentlichen Gerätefunktionen müssen durch telemetrisch übermittelbare Statussignale zu überwachen sein.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Modem, ComVisioner Software inkl. SM 200 Protokoll.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

An die Messeinrichtung wurde ein Modem angeschlossen. Benötigt wird zusätzlich die Software OPSIS ComVisioner inklusive dem SM 200 Protokoll. Mittels Datenfernübertragung wurden u. a. die Statussignale des Gerätes erfasst.

## **6.4 Auswertung**

Die Messeinrichtung ermöglicht die vollständige telemetrische Kontrolle und Steuerung der Messeinrichtung.

## **6.5 Bewertung**

Die Messeinrichtungen können über ein Modem von einem externen Rechner so gesteuert und überwacht werden, als wenn der Nutzer direkt am Gerät steht.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Hier nicht erforderlich.

## **6.1 5.2.17 Umschaltung**

*Die Umschaltung zwischen Messung und Funktionskontrolle und/oder Kalibrierung muss telemetrisch durch rechnerseitige Steuerung und manuell auslösbar sein.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Messeinrichtung kann durch den Bediener am Gerät oder aber durch die telemetrische Fernbedienung in gleicher Art gesteuert werden.

## **6.4 Auswertung**

Alle Bedienprozeduren können sowohl vom Bedienpersonal am Gerät, als auch durch telemetrische Fernbedienung ausgelöst werden.

Soweit allerdings bei den Prüfungen dem Gerät Referenzfolien angeboten werden müssen, setzt dieses die Anwesenheit des Bedienpersonals vor Ort voraus.

## **6.5 Bewertung**

Grundsätzlich können alle Arbeiten zur Funktionskontrolle und Kalibrierung direkt am Gerät oder aber per telemetrischer Fernbedienung durchgeführt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Hier nicht erforderlich.

## **6.1 5.2.18 Verfügbarkeit**

*Die Verfügbarkeit der Messeinrichtung muss mindestens 90 % betragen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Start- und Endzeitpunkt der Verfügbarkeitsuntersuchungen werden durch den Start- bzw. Endzeitpunkt an jedem der vier Feldteststandorte bestimmt. Dazu werden alle Unterbrechungen der Prüfung, z. B. durch Störungen oder Wartungsarbeiten erfasst.

## **6.4 Auswertung**

Tabelle 21 und Tabelle 22 zeigen eine Aufstellung der Betriebs-, Wartungs- und Störungszeiten. Die Messeinrichtungen wurden im Feldtest über einen Zeitraum von insgesamt 318 Messtagen betrieben (siehe auch Anlage 5).

Ausfälle durch externe Einflüsse, die nicht dem Gerät angelastet werden können, wurden am 12.12.2006 und am 12.07.2006 (48 h wegen Stromausfall). Dadurch reduziert sich die Gesamtbetriebszeit auf 316 Messtage.

Es wurde eine Betrachtung ohne, sowie mit den prüfungsbedingten Ausfällen vorgenommen. Bei Betrachtung der prüfungsbedingten Ausfälle erklärt sich die hohe Anzahl an Stunden zur Wartung durch die monatliche Überprüfung von Nullpunktdrift und Empfindlichkeitsdrift, die jeweils pro Gerät einen längeren Ausfall bedeuten (48 h bis 72 h). Insgesamt führten die regelmäßigen Driftkontrollen in der Prüfung zu Ausfällen im Betrieb von insgesamt 336 h.

Diese Ausfälle sind allerdings nicht dem Gerät anzulasten, sondern sind durch die Prüfung selbst begründet. Da die Messeinrichtung nach jedem Neustart (sowie auf Wunsch auch regelmäßig als Autotest) eine geeignete Funktionskontrolle der radiometrischen Messung durchführt (siehe Punkt 6.1 4.1.3 Funktionskontrolle), kann im störungsfreien Normalbetrieb auf die aufwendige externe Überprüfung der Betamessung verzichtet werden.

Am 20. und 21.12.2006 kam es auf Grund eines Wassereintrags und damit verbundener Überladung der Filter zum Ausfall der Messungen. Am 23.01.2007 starteten beide Systeme nicht zur gewünschten Zeit – vermutlich bedingt durch eine fehlerhafte Parametrierung. Am 22. und 23.7.2007 mussten die Messungen für Gerät SN 1236 wegen einer Warnmeldung des Betasystems verworfen werden.

Ansonsten wurden keine weiteren Gerätestörungen beobachtet.



## 6.5 Bewertung

Die Verfügbarkeit betrug für SN 1236 98,4 % und für SN 1237 99,1 % ohne prüfungsbedingte Ausfälle bzw. 94 % für SN 1236 sowie 94,6 % für SN 1237 inkl. prüfungsbedingter Ausfälle.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

*Tabelle 21: Ermittlung der Verfügbarkeit (ohne prüfungsbedingte Ausfälle)*

		Gerät 1 (SN 1236)	Gerät 2 (SN 1237)
Einsatzzeit	h	7584	7584
Ausfallzeit	h	120	72
Wartungszeit	h	-	-
Tatsächliche Betriebszeit	h	7464	7512
Verfügbarkeit	%	98,4	99,1

*Tabelle 22: Ermittlung der Verfügbarkeit (inkl. prüfungsbedingte Ausfälle)*

		Gerät 1 (SN 1236)	Gerät 2 (SN 1237)
Einsatzzeit	h	7584	7584
Ausfallzeit (Störung)	h	96	48
Ausfallzeit (Bedienfehler)	h	24	24
Wartungszeit	h	336	336
Tatsächliche Betriebszeit	h	7128	7176
Verfügbarkeit	%	94	94,6

## **6.1 5.2.19 Konverterwirkungsgrad**

*Bei Messeinrichtungen mit einem Konverter muss dessen Wirkungsgrad mindestens 95 % betragen.*

Gemäß der Richtlinie VDI 4203 Blatt 3 Punkt 5.3 ist dieser Prüfpunkt für Staubmeseinrichtungen mit Vorabscheidung mit physikalischer Messmethode zur Massenbestimmung nicht relevant.

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Nicht zutreffend.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Nicht zutreffend.

## **6.4 Auswertung**

Nicht zutreffend.

## **6.5 Bewertung**

Nicht zutreffend.

Mindestanforderung erfüllt? entfällt

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Nicht zutreffend.



## **6.1 5.2.20 Wartungsintervall**

*Das Wartungsintervall der Messeinrichtung ist zu ermitteln und anzugeben. Das Wartungsintervall sollte möglichst 28 Tage, muss jedoch mindestens 14 Tage betragen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Bei dieser Mindestanforderung wurde untersucht, welche Wartungsarbeiten in welchen Zeitabständen für eine einwandfreie Funktionsfähigkeit der Messeinrichtung erforderlich sind. Weiterhin wurden die Ergebnisse der Driftbestimmung für Null- und Referenzpunkt gemäß Module 5.2.9 bzw. Modul 5.2.10 zur Ermittlung des Wartungsintervalls berücksichtigt.

## **6.4 Auswertung**

Es konnten für die Messeinrichtungen in einem Zeitraum von > 2 Jahren keine unzulässigen Driften festgestellt werden. Das Wartungsintervall wird daher durch die anfallenden Wartungsarbeiten bestimmt. Die Messeinrichtung besitzt einen Filtervorrat von 40 Filtern – d. h. theoretisch ist für das System ein Wartungsintervall von 40 Tagen möglich. Um eine einwandfreie Funktionsfähigkeit der Messeinrichtung zu garantieren, sollten spätestens 1x pro Monat alle Gerätefunktionen überprüft werden (siehe auch Modul 4.1.2).

Innerhalb der Betriebszeit kann die Wartung auf die Kontrolle auf Verschmutzungen, etwaige Fehlermeldungen und Abweichungen in den Test zur Qualitätskontrolle beschränkt werden.

Werden Abweichungen in den geräteinternen Tests festgestellt und kann das Problem durch Maßnahmen gemäß Kapitel 7 des Bedienungshandbuches nicht gelöst werden, muss Kontakt zu einem Mitarbeiter der Herstellerfirma aufgenommen werden. Auch eine Neukalibrierung der Massenbestimmung und des Durchflusses sollte ebenfalls nur durch einen Mitarbeiter der Herstellerfirma erfolgen.

## **6.5 Bewertung**

Das Wartungsintervall wird durch die notwendigen Wartungsarbeiten bestimmt und beträgt 1 Monat.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Die notwendigen Wartungsarbeiten können dem Modul 4.1.2 dieses Berichtes und dem Kapitel 6 des Bedienungshandbuchs entnommen werden.

## **6.1 5.2.21 Gesamtunsicherheit**

*Die erweiterte Messunsicherheit der Messeinrichtung ist zu ermitteln. Dieser ermittelte Wert darf die Vorgaben der EU-Tochterrichtlinien zur Luftqualität [G11 bis G13] nicht überschreiten.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die erweiterte Gesamtunsicherheit der Messeinrichtung wurde für Einzelwerte im Bereich der Konzentration des Kurzzeitimmissionsgrenzwertes und für Mittelwerte im Bereich der Konzentrationen des Langzeitimmissionsgrenzwertes ermittelt. Die in der Eignungsprüfung ermittelten Verfahrensgrößen der Messeinrichtungen wurde zusammengestellt.

Es werden die folgenden Bezugswerte angesetzt:

Kurzzeitimmissionsgrenzwert:

PM<sub>2,5</sub> 35 µg/m<sup>3</sup> (Quelle: EN 14907, Punkt 9.4 in Verbindung mit Tabelle 2)

Langzeitimmissionsgrenzwert:

PM<sub>2,5</sub> 25 µg/m<sup>3</sup>

## **6.4 Auswertung**

Die erweiterte Gesamtunsicherheit der Messeinrichtung wurde gemäß VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, Anhang C [1] ermittelt.

### **Bewertung**

Zur Berechnung der erweiterten Messunsicherheiten wurden die Einzelergebnisse zu den jeweiligen Prüfpunkten zusammenfassend bewertet. Soweit aus den einzelnen Untersuchungen mehrere unabhängige Ergebnisse zur Verfügung standen, wurde der jeweils ungünstigste Wert eingesetzt.

Die Gesamtunsicherheiten ergaben sich zu 11,03 % bzw. 11,81 % für U(c) und 8,71 % bzw. 9,15 % für U( $\bar{c}$ ).

Einzelwerte können Tabelle 23 bis Tabelle 26 entnommen werden. Die erreichten Werte liegen alle unterhalb der geforderten Gesamtunsicherheiten von 25 %.

Mindestanforderung erfüllt? ja



## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

*Tabelle 23: Erweiterte Messunsicherheit U(c) für die Messeinrichtung SN 1236  
Bezugswert: 35 µg/m³*

Verfahrenskenngröße für Gerät SN 1236	Anforderung	Ergebnis		Unsicherheit	Quadrat der
				u	Unsicherheit u <sup>2</sup>
				µg/m³	(µg/m³)²
Reproduzierbarkeit	≥ 10	14		1,43	2,04
Unsicherheit zw. Prüflingen u <sub>BS</sub> nach Leitfaden	≤ 3 µg/m³	0,94	µg/m³	0,55	0,30
Temperaturabhängigkeit am Nullpunkt	≤ 2 µg/m³	-0,50	µg/m³	-0,29	0,08
Temperaturabhängigkeit des Messwertes (Beta)	≤ 5 % von B1	-0,23	µg/m³	-0,13	0,02
Drift am Nullpunkt	≤ 2 µg/m³	1,25	µg/m³	0,72	0,52
Drift des Messwertes	≤ 5 % von B1	0,28	µg/m³	0,16	0,03
Netzspannung (Messwert Beta)	≤ 2 µg/m³	-0,05	µg/m³	-0,03	0,00
Querempfindlichkeiten	≤ 2,5 µg/m³	1,10	µg/m³	0,64	0,40
Unsicherheit des Prüfstandards	≤ 1 µg/m³	1,00	µg/m³	0,58	0,33
				Σu <sup>2</sup>	3,72
				U(c) = 2u(c)	3,86
				U(c) / Bezug	11,03

*Tabelle 24: Erweiterte Messunsicherheit U(c) für die Messeinrichtung SN 1237  
Bezugswert: 35 µg/m³*

Verfahrenskenngröße für Gerät SN 1237	Anforderung	Ergebnis		Unsicherheit	Quadrat der
				u	Unsicherheit u <sup>2</sup>
				µg/m³	(µg/m³)²
Reproduzierbarkeit	≥ 10	14		1,43	2,04
Unsicherheit zw. Prüflingen u <sub>BS</sub> nach Leitfaden	≤ 3 µg/m³	0,94	µg/m³	0,55	0,30
Temperaturabhängigkeit am Nullpunkt	≤ 2 µg/m³	-0,70	µg/m³	-0,40	0,16
Temperaturabhängigkeit des Messwertes (Beta)	≤ 5 % von B1	-0,23	µg/m³	-0,13	0,02
Drift am Nullpunkt	≤ 2 µg/m³	-1,71	µg/m³	-0,99	0,97
Drift des Messwertes	≤ 5 % von B1	-0,34	µg/m³	-0,20	0,04
Netzspannung (Messwert Beta)	≤ 2 µg/m³	-0,08	µg/m³	-0,05	0,00
Querempfindlichkeiten	≤ 2,5 µg/m³	1,10	µg/m³	0,64	0,40
Unsicherheit des Prüfstandards	≤ 1 µg/m³	1,00	µg/m³	0,58	0,33
				Σu <sup>2</sup>	4,27
				U(c) = 2u(c)	4,13
				U(c) / Bezug	11,81

**Tabelle 25:** *Erweiterte Messunsicherheit  $U(\bar{c})$  für die Messeinrichtung SN 1236  
Bezugswert:  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$*

Verfahrenskenngröße für Gerät SN 1236	Unsicherheit (Einzelwert)	Zeitbasis	Anzahl nk	Quadrat der Unsicherheit (Mittelwert) $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^2$	
Reproduzierbarkeit	1,43	24 Stunden	365	0,006	
Unsicherheit zw. Prüflingen $u_{Bs}$ nach Leitfaden	0,55	1 Jahr	1	0,297	
Temperaturabhängigkeit am Nullpunkt	-0,29	1 Jahr	1	0,083	
Temperaturabhängigkeit des Messwertes (Beta)	-0,13	1 Jahr	1	0,018	
Drift am Nullpunkt	0,72	1 Monat	12	0,043	
Drift des Messwertes	0,16	1 Monat	12	0,002	
Netzspannung (Messwert Beta)	-0,03	1 Jahr	1	0,001	
Querempfindlichkeiten	0,64	1 Jahr	1	0,403	
Unsicherheit des Prüfstandards	0,58	1 Jahr	1	0,333	
				$\Sigma u_m^2(c_k)$	1,187
				$U(\bar{c}) = 2u(\bar{c})$	2,18
				$\frac{U(\bar{c})}{\text{Bezug}}$	8,71

**Tabelle 26:** *Erweiterte Messunsicherheit  $U(\bar{c})$  für die Messeinrichtung SN 1237  
Bezugswert:  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$*

Verfahrenskenngröße für Gerät SN 1237	Unsicherheit (Einzelwert)	Zeitbasis	Anzahl nk	Quadrat der Unsicherheit (Mittelwert) $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^2$	
Reproduzierbarkeit	1,43	24 Stunden	365	0,006	
Unsicherheit zw. Prüflingen $u_{Bs}$ nach Leitfaden	0,55	1 Jahr	1	0,297	
Temperaturabhängigkeit am Nullpunkt	-0,40	1 Jahr	1	0,163	
Temperaturabhängigkeit des Messwertes (Beta)	-0,13	1 Jahr	1	0,018	
Drift am Nullpunkt	-0,99	1 Monat	12	0,081	
Drift des Messwertes	-0,20	1 Monat	12	0,003	
Netzspannung (Messwert Beta)	-0,05	1 Jahr	1	0,002	
Querempfindlichkeiten	0,64	1 Jahr	1	0,403	
Unsicherheit des Prüfstandards	0,58	1 Jahr	1	0,333	
				$\Sigma u_m^2(c_k)$	1,307
				$U(\bar{c}) = 2u(\bar{c})$	2,29
				$\frac{U(\bar{c})}{\text{Bezug}}$	9,15



### **6.1 5.3.1 Gleichwertigkeit des Probenahmesystems**

*Für das PM<sub>10</sub>-Probenahmesystem ist die Gleichwertigkeit zum Referenzverfahren nach DIN EN 12 341 [T5] nachzuweisen.*

### **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

### **6.3 Durchführung der Prüfung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

### **6.4 Auswertung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

### **6.5 Bewertung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

Mindestanforderung erfüllt? -

### **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.1 5.3.2 Vergleichbarkeit der Probenahmesysteme**

*Die PM<sub>10</sub>-Probenahmesysteme zweier baugleicher Prüflinge müssen untereinander nach DIN EN 12 341 [T5] vergleichbar sein. Dies ist während des Feldtestes nachzuweisen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.4 Auswertung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.5 Bewertung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

Mindestanforderung erfüllt? -

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Punkt 7 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.1 5.3.3 Kalibrierung**

*Die PM<sub>10</sub>-Prüflinge sind im Feldtest mit einem Referenzverfahren nach DIN EN 12341 [T5] durch Vergleichsmessungen zu kalibrieren. Hierbei ist der Zusammenhang zwischen dem Messsignal und der gravimetrisch bestimmten Referenzkonzentration als stetige Funktion zu ermitteln.*

Die PM<sub>2,5</sub>-Prüflinge wurden im Feldtest mit einem Referenzverfahren nach DIN EN 14907 durch Vergleichsmessungen kalibriert. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können dem Modul 5.2.3 entnommen werden.

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Siehe Modul 5.2.3.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Siehe Modul 5.2.3.

## **6.4 Auswertung**

Siehe Modul 5.2.3.

## **6.5 Bewertung**

Siehe Modul 5.2.3.

Mindestanforderung erfüllt? -

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Siehe Modul 5.2.3.

## 6.1 5.3.4 Querempfindlichkeit

*Der Störeinfluss durch die im Messgut enthaltene Feuchte darf im Bereich von  $B_1$  nicht mehr als 10 % von  $B_1$  betragen. Ist das Probenahmerohr beheizt, muss die Vergleichbarkeit zum gravimetrischen Referenzverfahren bei der angegebenen Temperatur nachgewiesen werden.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht notwendig.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Auf eine Ermittlung des Störeinflusses durch die im Messgut enthaltene Luftfeuchte unter Laborbedingungen wurde verzichtet, da eine Prüfung am Nullpunkt zu keiner belastbaren Aussage führte und am Referenzpunkt (im Bereich von  $B_1$ ) nicht gesichert durchführbar ist.

Alternativ wurden aus den Felduntersuchungen für Tage mit einer relativen Feuchte > 70 % die Differenzen zwischen dem ermittelten Referenzwert (=Sollwert) und dem Messwert des jeweiligen Prüfling errechnet und die mittlere Differenz als konservative Abschätzung für den Störeinfluss durch die im Messgut enthaltene Feuchte angesetzt.

Zusätzlich wurden aus den Felduntersuchungen für Tage mit einer relativen Feuchte > 70 % die Referenz-Äquivalenzfunktionen für beide Testgeräte bestimmt.

## 6.4 Auswertung

Es wurde aus den Felduntersuchungen für Tage mit einer relativen Feuchte > 70 % die mittlere Differenz zwischen dem ermittelten Referenzwert (=Sollwert) und dem Messwert des jeweiligen Prüfling errechnet und die relative Abweichung zur mittleren Konzentration ermittelt.

Bezugswert:  $B_1 = 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  10 % von  $B_1 = 2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Es wurde weiterhin untersucht, ob die Vergleichbarkeit der Prüflinge mit dem Referenzverfahren gemäß Leitfaden „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ [4] auch für den Fall, dass die Messwerte an Tagen mit einer relativen Feuchte > 70 % gewonnen wurden, gegeben ist.

## 6.5 Bewertung

Es konnte kein Störeinfluss > 1,1 µg/m<sup>3</sup> Abweichung vom Sollwert durch die im Messgut enthaltene Luftfeuchte auf das Messsignal festgestellt werden. Während des Feldtestes konnte bei wechselnden relativen Luftfeuchten kein negativer Einfluss auf die Messwerte beobachtet werden. Die Vergleichbarkeit der Prüflinge mit dem Referenzverfahren gemäß Leitfaden „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ [4] ist auch für Tage mit einer relativen Luftfeuchte > 70 % gegeben.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 27 zeigt eine zusammenfassende Darstellung.

*Tabelle 27: Abweichung zwischen Referenzmessung und Prüfling an Tagen mit einer relativen Luftfeuchte > 70 %*

Feldtest, Tage mit relativer Feuchte >70 %				
		Referenz	SN 1236	SN 1237
Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	13,2	14,3	14,3
Abweichung zu Mittelwert Referenz in µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	-	1,1	1,1
Abweichung in % von Mittelwert Referenz	%	-	8,3	8,3
Abweichung in % von B1	%	-	4,4	4,4

Einzelwerte können den Anlagen 5 und 6 im Anhang entnommen werden.

Die Darstellung und Bewertung der Messunsicherheiten  $W_{CM}$  an Tagen mit einer relativen Luftfeuchte > 70 % erfolgt in Tabelle 28. Einzelwerte können den Anlagen 5 und 6 im Anhang entnommen werden.

*Tabelle 28: Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, rel. Luftfeuchte > 70 %, alle Standorte*

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfling	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Alle Standorte, rF>70%	Grenzwert	20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>0,99</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,02</b>			
Achsabschnitt a	<b>1,35</b>	<b>signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,27</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>1,07</b>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Unsicherheit $u_{c,s}$ am Grenzwert	<b>1,92</b>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Kombinierte Messunsicherheit $w_{CM}$	<b>9,59</b>	%		
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	<b>19,17</b>	%		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			



## **6.1 5.3.5 Tagesmittelwerte**

*Die Messeinrichtung muss die Bildung von 24 h-Mittelwerten ermöglichen. Bei Filterwechseln darf die hierfür insgesamt benötigte Zeit nicht mehr als 1 % der Mittelungszeit betragen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Für die Prüfung wurde zusätzlich eine Uhr bereitgestellt.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Es wurde geprüft, ob die Messeinrichtung die Bildung eines Tagesmittelwertes ermöglicht. Der Zeitbedarf für den Filterwechsel wurde ermittelt.

## **6.4 Auswertung**

Die Messeinrichtung ermöglicht die Bildung von Mittelwerten für Probenahmezeiten von 8 h bis zu 100 Tagen. Für den Filterwechsel / Filterbewegungen im Gerät wird ca. 1 Minute benötigt; dies entspricht bei einer 24-stündigen Probenahmezeit einer Totzeit von ca. 0,07 %.

Wird ein „Pneumatic Test“ gemäß Bedienungshandbuch Nummer 5.6.7 aktiviert, dann erhöht sich die Totzeit für die Messungen, bei denen der Test durchgeführt wird, auf ca. 3-4 Minuten; dies entspricht bei einer 24-stündigen Probenahmezeit einer Totzeit von ca. 0,28 %.

Wird ein „Beta Test“ gemäß Bedienungshandbuch Nummer 5.6.7 aktiviert, dann erhöht sich die Totzeit für die Messungen, bei denen der Test durchgeführt wird, auf ca. 40 Minuten; dies entspricht bei einer 24-stündigen Probenahmezeit einer Totzeit von ca. 2,8 %.

Es wird empfohlen, den „Beta Test“ einmal im Monat als Autotest durchzuführen. Die verfügbare Probenahmezeit liegt am Tag der Überprüfung bei > 97 % der Gesamtzeit. Im Rahmen der Prüfung konnte kein negativer Einfluss auf die Qualität der Messwerte an Tagen mit ausgeführtem „Beta Test“ festgestellt werden. Die Bildung von Tagesmittelwerten ist daher auch an Tagen mit ausgeführtem „Beta Test“ gesichert möglich.

## **6.5 Bewertung**

Die Bildung von Tagesmittelwerten ist möglich. Die maximale Zeit für den Filterwechsel beträgt bei 24-stündiger Probenahme und täglichem „Pneumatic Test“ ca. 0,28 % der Mittelungszeit. Die ermittelte Filterwechselzeit ist damit mit maximal 0,28 % deutlich kleiner als die zulässigen 1 % der Probenahmedauer.

Auch an Tagen, an denen der „Beta-Test“ ausgeführt wird (empfohlen 1 x im Monat), ist die Bildung von validen Tagesmittelwerten gesichert möglich.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Hier nicht erforderlich.

## 6.1 5.3.6 Konstanz des Probenahmevervolumenstroms

*Der über der Probenahmedauer gemittelte Probenahmevervolumenstrom muss auf  $\pm 3\%$  vom Sollwert konstant sein. Alle Momentanwerte des Probenahmevervolumenstroms müssen während der Probenahmedauer innerhalb der Schwankungsbreite von  $\pm 5\%$  des Sollwertes liegen.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Für die Prüfung wurden zusätzlich ein Durchflussmesser gemäß Punkt 4 bereitgestellt.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Der Probenahmevervolumenstrom wurde vor Beginn der Prüfung werkseitig kalibriert und dann vor jedem Feldteststandort mit Hilfe eines Balgengaszählers auf Korrektheit überprüft. Um die Konstanz des Probenahmevervolumenstroms zu ermitteln, wurde ein Durchflussmesser an die Messeinrichtungen angeschlossen und über einen Zeitraum von jeweils 5 Tagen 1-Minuten-Werte für den Durchfluss aufgezeichnet und ausgewertet.

## 6.4 Auswertung

Aus den ermittelten Messwerten für den Durchfluss wurden Mittelwert, Standardabweichung sowie Maximal- und Minimalwert bestimmt. Kurzzeitige Stillstandszeiten der Pumpe (Filterwechsel) wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

## 6.5 Bewertung

Die Ergebnisse der vor jedem Feldteststandort durchgeführten Überprüfung der Durchflussrate sind in Tabelle 29 dargestellt.

*Tabelle 29: Ergebnisse Kontrolle Durchflussrate*

Durchflussüberprüfung vor	SN 1236		SN 1237	
	[l/min]	Abw. vom Soll [%]	[l/min]	Abw. vom Soll [%]
Köln, Frankfurter Str.	38,5	0,4	38,7	1,0
Köln, Parkplatzgelände	39,0	1,7	38,1	-0,6
Furulund (Sommer)	36,5	-4,8*	36,5	-4,8*
Furulund (Winter)	38,7	1,0	38,8	1,2

\* Nachkalibrierung notwendig

Die graphische Darstellung des Durchflusses an den 5 Messtagen zeigen beispielhaft, dass alle während der Probenahme ermittelten Messwerte weniger als  $\pm 5\%$  vom Sollwert von 38,33 l/min abweichen. Die Abweichung der Tagesmittelwerte ist ebenfalls kleiner als die geforderten  $\pm 3\%$  vom Sollwert.

Alle ermittelten Tagesmittelwerte weichen weniger als  $\pm 3\%$ , alle Momentanwerte weniger als  $\pm 5\%$  vom Sollwert ab.

Bei einem Druckabfall am Filter von  $> 70$  kPa wird die Pumpe automatisch abgeschaltet und die laufende Probenahme unterbrochen. Es werden entsprechende Statusmeldungen generiert und das Filter des abgebrochenen Zyklus wird nicht vermessen. Das Gerät nimmt den nächsten Filter und startet sobald möglich automatisch eine neue Probenahme. Der Start der neuen Probenahme ist abhängig davon, ob der neue Filter schon fertig konditioniert und vermessen (Blankmessung) vorliegt oder ob der Abbruch schon während der Filtervorbereitungsphase erfolgt. Im ersten Fall kann die Probenahme sofort auf dem neuen Filter weitergeführt werden, im zweiten Fall wird die Probenahme erst nach Abschluss aller notwendigen Messungen wieder aufgenommen. Die reale Probenahmezeit kann dem Gerätespeicher entnommen werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

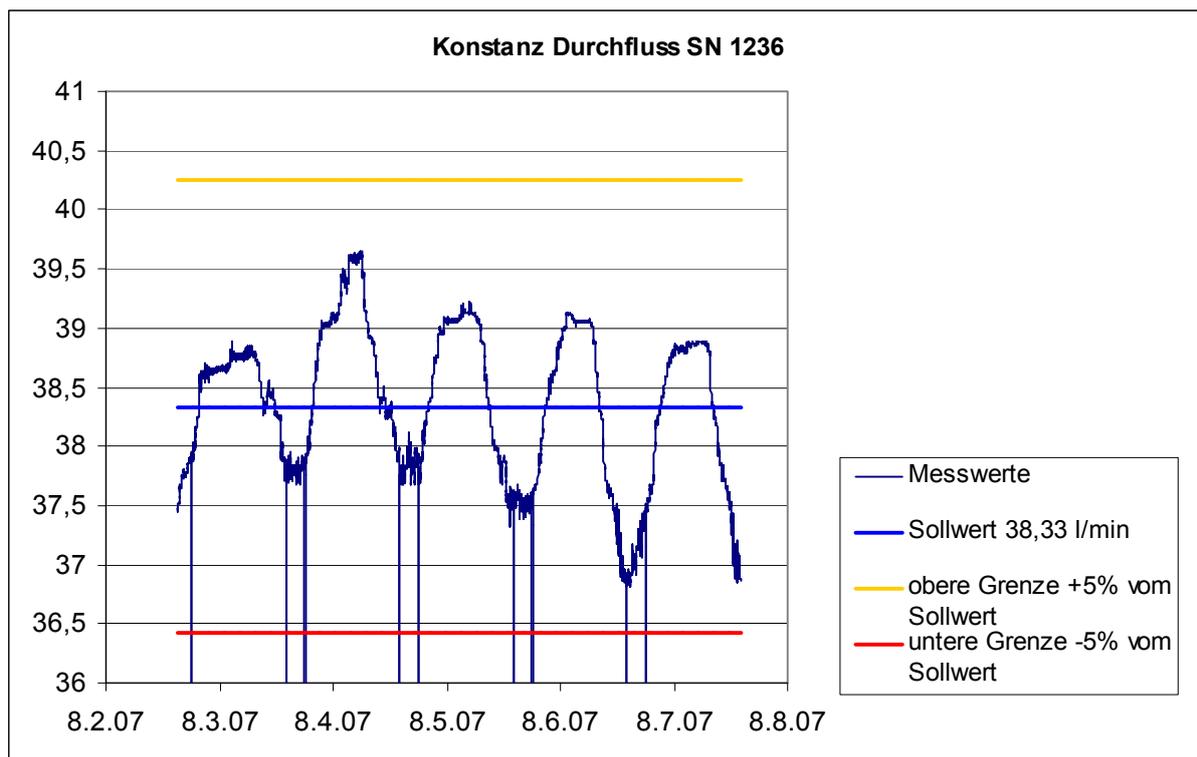
In Tabelle 30 und Tabelle 31 sind die ermittelten Kenngrößen für den Durchfluss aufgeführt. Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen eine grafische Darstellung der Durchflussmessungen an den beiden Testgeräten SN 1236 und SN 1237.

*Tabelle 30: Kenngrößen für die Durchflussmessung, SN 1236*

Kenngröße	Einheit	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5
Mittelwert	l/min	38,43	38,67	38,44	38,20	38,11
Abweichung MW	% vom Sollwert	0,24	0,89	0,29	-0,36	-0,58
Standardabweichung	l/min	0,37	0,63	0,58	0,72	0,70
Maximum	l/min	38,88	39,65	39,22	39,12	38,88
Minimum	l/min	36,70	37,67	37,33	36,81	36,81

*Tabelle 31: Kenngrößen für die Durchflussmessung, SN 1237*

Kenngröße	Einheit	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5
Mittelwert	l/min	37,98	38,16	38,12	38,24	38,69
Abweichung MW	% vom Sollwert	-0,92	-0,46	-0,56	-0,24	0,93
Standardabweichung	l/min	0,19	0,25	0,17	0,18	0,40
Maximum	l/min	38,28	38,57	38,40	38,57	39,61
Minimum	l/min	37,55	37,63	37,77	37,73	37,98



*Abbildung 24: Durchfluss am Testgerät SN 1236 zwischen 03.08.2007 und 08.08.2007*

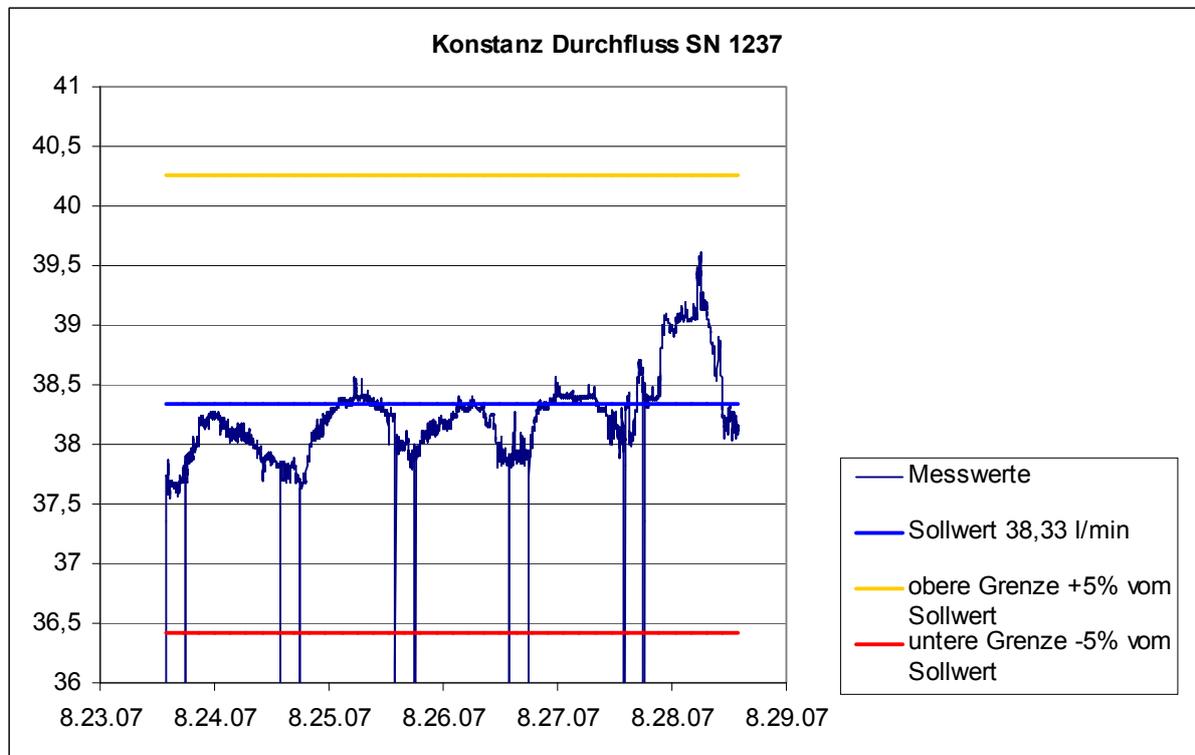


Abbildung 25: Durchfluss am Testgerät SN 1237 zwischen 23.08.2007 und 28.08.2007

Um die notwendigen Filterbewegungen im Gerät zu ermöglichen, wird die Pumpe 2 mal pro Zyklus kurzzeitig ausgeschaltet.

## 6.1 5.3.7 Dichtheit des Probenahmesystems

*Das gesamte Probenahmesystem ist auf Dichtheit zu prüfen. Die Undichtigkeit darf nicht mehr als 1 % vom durchgesaugten Probenahmenvolumen betragen.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Uhr

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Bei der Überprüfung der Dichtheit des Probenahmesystems besteht die Gefahr einer dauerhaften Beschädigung der Messeinrichtung durch zu hohe Unterdrücke. Um die Leckrate zu bestimmen, wurde auf eine spezielle Testprozedur nach Anweisung des Geräteherstellers zurückgegriffen.

Bei den Prüflingen kann eine Überprüfung der Dichtigkeit durch manuelle Anwahl des Leak-Test-Ventils bei laufender Pumpe erfolgen – der Druckverlust nach Ausschalten der Pumpe kann anhand des Analogensors ermittelt werden. Das geschätzte Gesamtvolumen des Systems beträgt in diesem Fall 0,4 l, da die Ansaugstange nicht berücksichtigt wird. Diese Prozedur wurde im Rahmen der Eignungsprüfung auf Funktionsfähigkeit kontrolliert.

Die Prozedur wurde dreimal wiederholt.

## 6.4 Auswertung

Die Berechnung der Leckrate  $\dot{V}_L$  ist nach folgender Gleichung vorzunehmen:

$$\dot{V}_L = \frac{\Delta p}{p_0} \frac{V_{\text{ges}}}{\Delta t}$$

Dabei ist

$\Delta p$  die in der Zeitdifferenz  $\Delta t$  beobachtete Druckdifferenz

$p_0$  der Druck zum Zeitpunkt  $t_0$

$V_{\text{ges}}$  das geschätzte Gesamtvolumen des Systems (Totvolumen), hier 0,4 l

$\Delta t$  die Zeitdifferenz für den Abfall des Drucks um die Differenz  $\Delta p$

Der Maximalwert der drei ermittelten Leckraten wurde bestimmt.

## 6.5 Bewertung

Die maximal ermittelten Undichtigkeiten ergaben sich zu max. 0.37 % für Gerät 1 (SN 1236) sowie zu max. 0.30 % für Gerät 2 (SN 1237). Die ermittelten Werte liegen somit deutlich unter der Mindestanforderung von 1 %.

Abweichend zur VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3 erfolgten die Untersuchungen lediglich über einen Zeitraum von 1 min anstelle der vorgeschriebenen 5 min. Da die vorhandenen fertigungsbedingten Ursachen der Leckage bei den jeweiligen Prüflingen unabhängig von der Zeitdauer über den Versuch konstant bleiben, kann als worst-case-Ansatz ein linearer Zusammenhang zwischen der in der Zeitdifferenz  $\Delta t$  beobachteten Druckdifferenz  $\Delta p$  und der Zeitdifferenz  $\Delta t$  angenommen werden. Somit können die in der Prüfung ermittelten Werte für die Leckrate, unabhängig von der betrachteten Zeitdifferenz, als worst-case-Fall angesetzt werden. In der Praxis wird sich der Anstieg des Druckes im evakuierten Systems mit der Zeit verlangsamen, da die durch die Differenz zwischen Umgebungsdruck und erzeugtem Unterdruck entstehende „treibende“ Kraft mit der Zeit kleiner werden wird.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 32 enthält die ermittelten Werte aus der Dichtigkeitsprüfung.

*Tabelle 32: Ermittlung der Leckrate*

SN 1236							
Nr.	Datum	$p_0$ [KPa]	$\Delta p$ [KPa]	$\Delta t$ [min]	$V_{ges}$ [m <sup>3</sup> ]	Leckrate [l/min]	% vom Soll
1	04.07.07	89,72	28,72	1	0,0004	0,13	0,33
2	04.07.07	89,69	31,55	1	0,0004	0,14	0,37
3	04.07.07	89,7	30,2	1	0,0004	0,13	0,35
SN 1237							
Nr.	Datum	$p_0$ [KPa]	$\Delta p$ [KPa]	$\Delta t$ [min]	$V_{ges}$ [m <sup>3</sup> ]	Leckrate [l/min]	% vom Soll
1	04.07.07	90,36	25,36	1	0,0004	0,11	0,29
2	04.07.07	90,37	25,87	1	0,0004	0,11	0,30
3	04.07.07	90,38	25,55	1	0,0004	0,11	0,29

#### **6.1 5.4 Anforderungen an Mehrkomponentenmesseinrichtungen**

*Mehrkomponentenmesseinrichtungen müssen die Anforderungen für jede Einzelkomponente erfüllen, auch bei Simultanbetrieb aller Messkanäle.  
Bei sequentielltem Betrieb muss die Bildung von Stundenmittelwerten gesichert sein.*

#### **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Nicht zutreffend.

#### **6.3 Durchführung der Prüfung**

Nicht zutreffend.

#### **6.4 Auswertung**

Nicht zutreffend.

#### **6.5 Bewertung**

Nicht zutreffend.

Mindestanforderung erfüllt? -

#### **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Nicht zutreffend.



## **7 Weitere Prüfkriterien nach Leitfaden „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“**

### **7.1 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den Prüflingen $u_{bs}$ [9.5.2.1]**

*Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  muss gemäß dem Punkt 9.5.2.1 des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ ermittelt werden.*

### **7.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

### **7.3 Durchführung der Prüfung**

Die Prüfung wurde im Feldtest an vier verschiedenen Standorten durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Jahreszeiten unterschiedlich hohe PM<sub>2,5</sub> Konzentrationen berücksichtigt.

Es wurden an jedem Standort mindestens 40 valide Wertepaare ermittelt. Vom gesamten Datensatz (4 Standorte, 172 valide Messwertpaare für PM<sub>2,5</sub>) liegen insgesamt 45,9 % bzw. 57,6 % der Messwerte über 50 % der Grenzwerte für das Jahresmittel von 25 µg/m<sup>3</sup> bzw. 20 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub>. Die gemessenen Konzentrationen wurden auf Umgebungsbedingungen bezogen.

### **7.4 Auswertung**

Gemäß **Punkt 9.5.2.1** des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ gilt:

Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  muss  $\leq 3$  µg/m<sup>3</sup> liegen. Eine Unsicherheit über 3 µg/m<sup>3</sup> zwischen den beiden Prüflingen ist ein Hinweis, dass die Leistung eines oder beider Systeme unzureichend ist und die Gleichwertigkeit nicht erklärt werden kann.

Die Unsicherheit wird dabei ermittelt für:

- Jeden Standort einzeln
- Alle Standorte gemeinsam
- 1 Datensatz mit Messwerten  $\geq 50$  % des Grenzwertes für den Jahresmittelwert von 25 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub> (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)
- 1 Datensatz mit Messwerten  $\geq 50$  % des Grenzwertes für den Jahresmittelwert von 20 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub> (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)
- 1 Datensatz mit Messwerten  $< 50$  % des Grenzwertes für den Jahresmittelwert von 25 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub> (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)
- 1 Datensatz mit Messwerten  $< 50$  % des Grenzwertes für den Jahresmittelwert von 20 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub> (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)

Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  wird aus den Differenzen aller Tagesmittelwerte (24 h-Werte) der Prüflinge, die parallel betrieben werden nach folgender Gleichung berechnet:

$$u_{bs}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{i,1} - y_{i,2})^2}{2n}$$

mit  $y_{i,1}$  und  $y_{i,2}$  = Ergebnisse der parallelen Messungen einzelner 24h-Werte i  
n = Anzahl der 24h-Werte

### 7.5 Bewertung

Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  liegt mit maximal  $1,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unterhalb des geforderten Wertes von  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Mindestanforderung erfüllt? ja

Für die Unsicherheitsberechnung gemäß Punkt 6.1 5.2.21 Gesamtunsicherheit wird der Wert für den Gesamtdatensatz von  $0,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eingesetzt.

## 7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 33 führt die berechneten Werte für die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  auf. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 26 bis Abbildung 34.

*Tabelle 33: Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  für die Testgeräte SN 1236 und SN 1237*

Testgeräte	Standort	Anzahl Werte	Unsicherheit $u_{bs}$
SN			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
1236 / 1237	Köln, Frankfurter Str.	90	1,019
1236 / 1237	Köln, Parkplatzgelände	69	0,965
1236 / 1237	Furulund (Sommer)	56	1,007
1236 / 1237	Furulund (Winter)	76	0,768
1236 / 1237	Alle Standorte	291	0,944
Klassierung über Referenzwerte			
1236 / 1237	Werte $\geq 50\%$ JGW 1 ( $\geq 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	79	1,114
1236 / 1237	Werte $\geq 50\%$ JGW 2 ( $\geq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	99	1,061
1236 / 1237	Werte $< 50\%$ JGW 1 ( $< 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	93	0,834
1236 / 1237	Werte $< 50\%$ JGW 2 ( $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	73	0,837

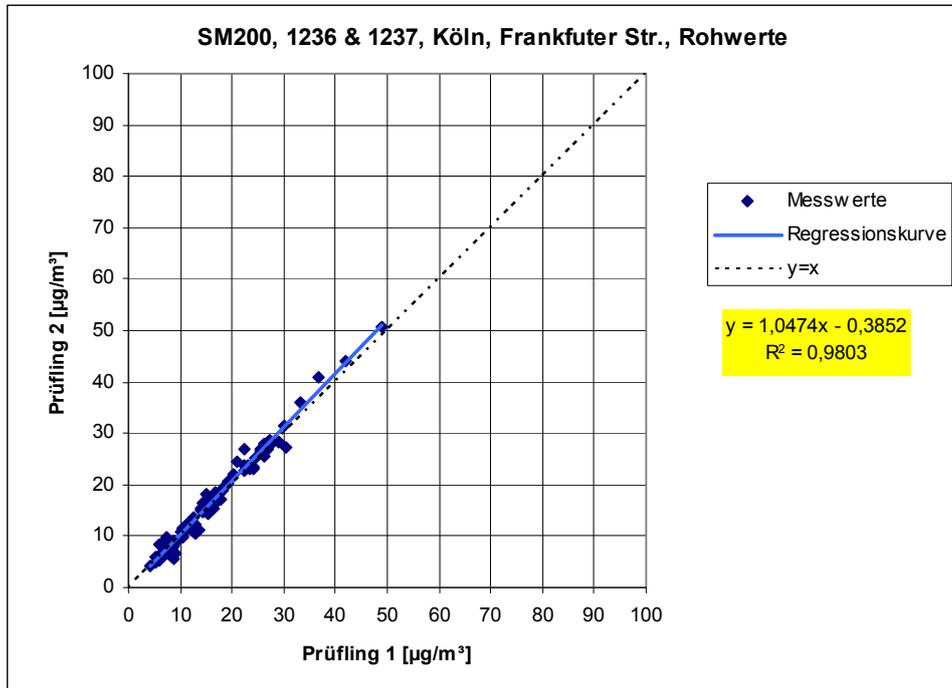


Abbildung 26: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Standort Köln, Frankfurter Str.

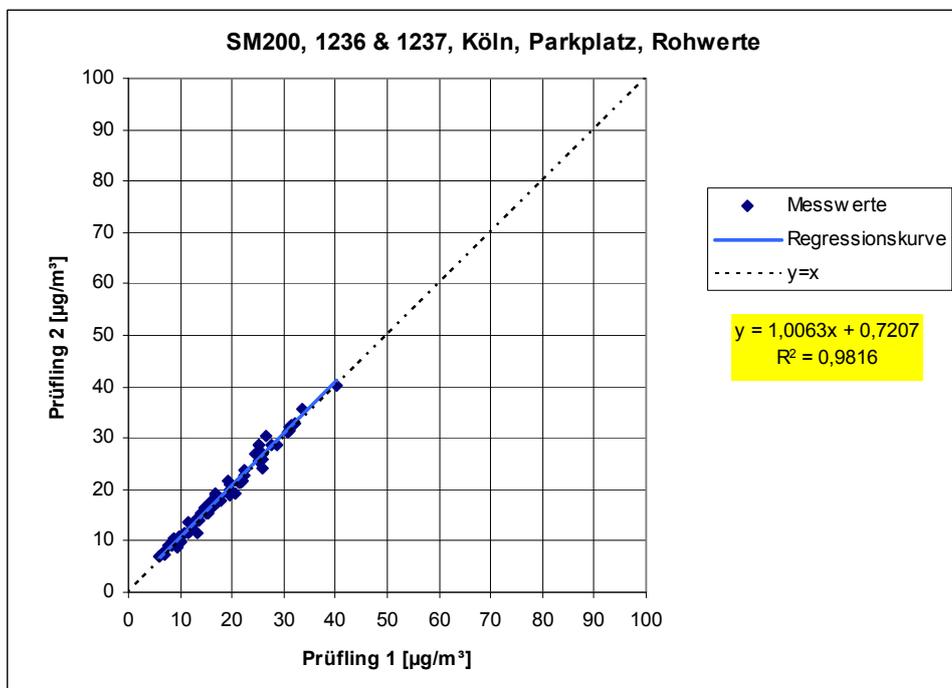


Abbildung 27: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Standort Köln, Parkplatzgelände

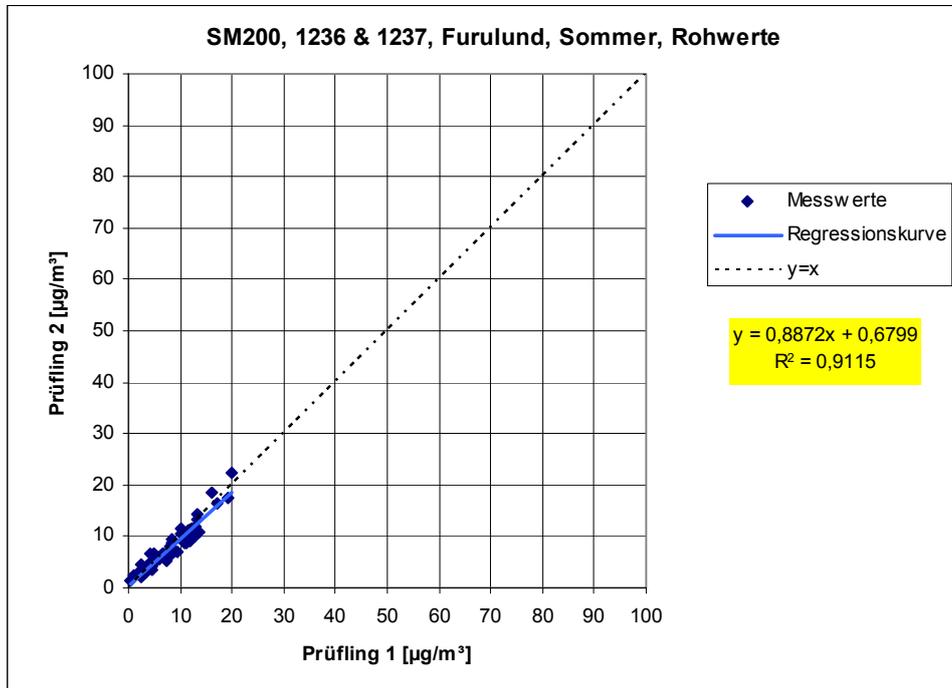


Abbildung 28: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Standort Furulund (Sommer)

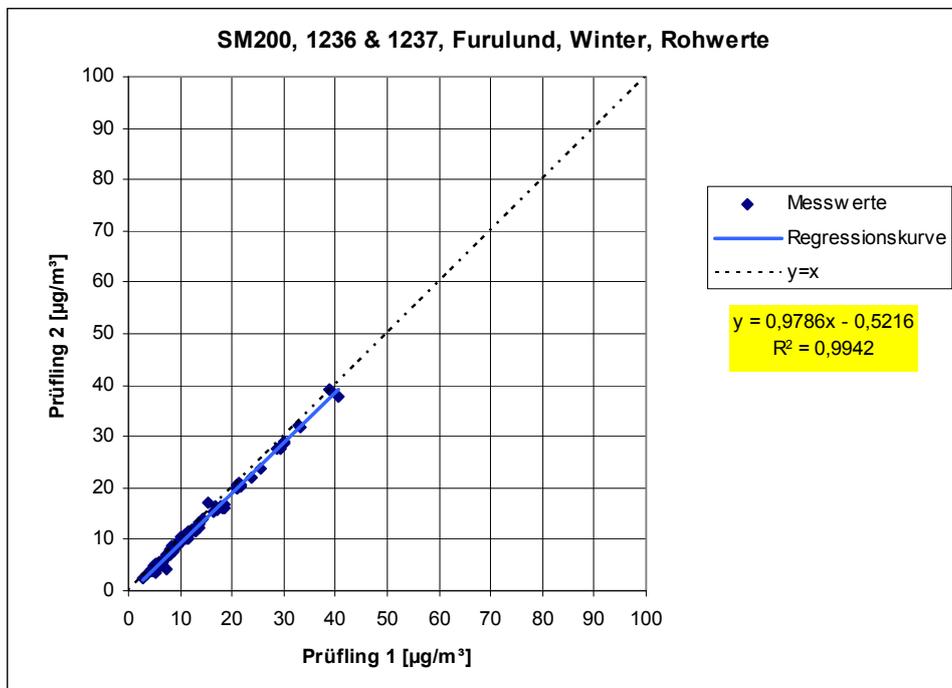


Abbildung 29: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Standort Furulund (Winter)

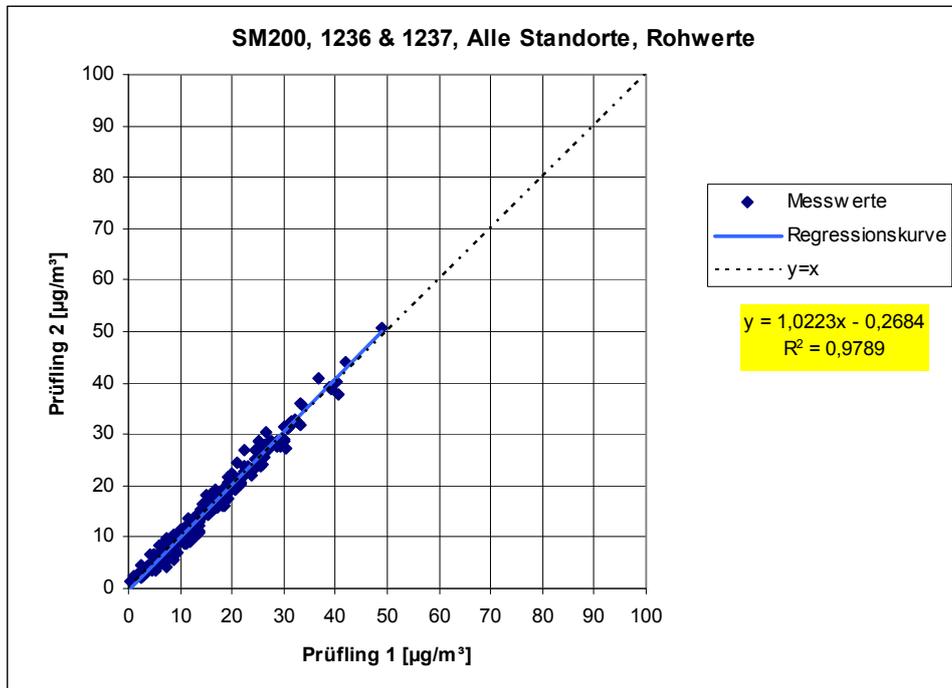


Abbildung 30: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, alle Standorte

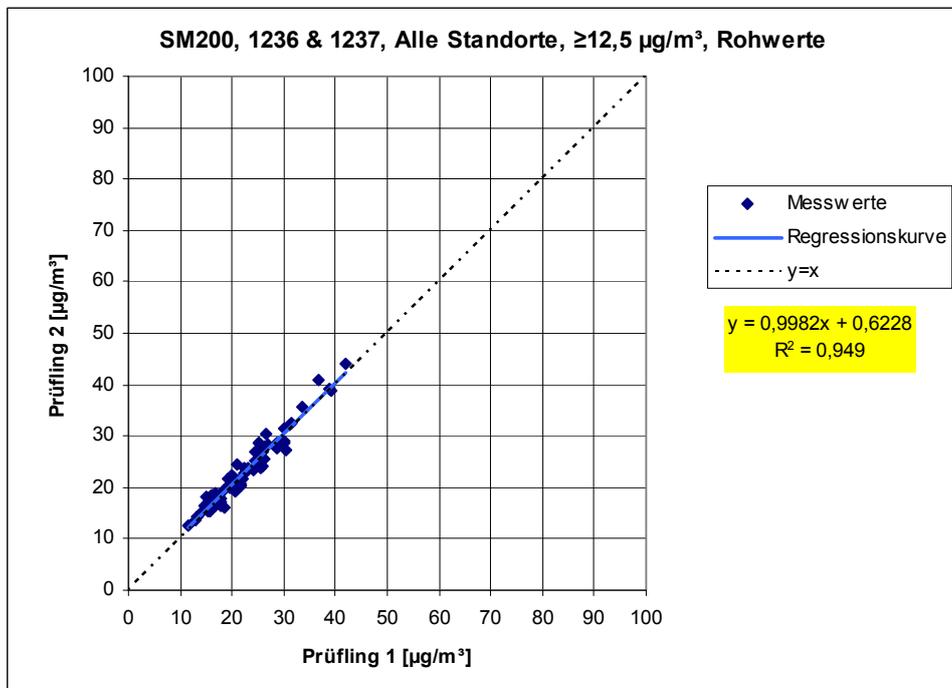


Abbildung 31: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, alle Standorte, Werte  $\geq 50$  % JGW ( $\geq 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

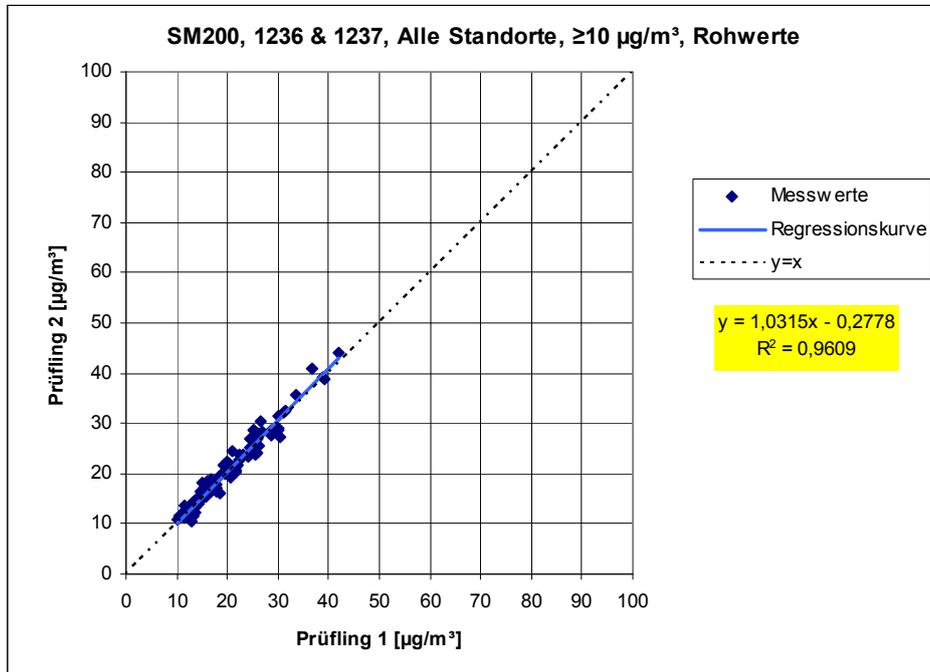


Abbildung 32: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, alle Standorte, Werte  $\geq 50\%$  JGW, Stufe 2 ( $\geq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

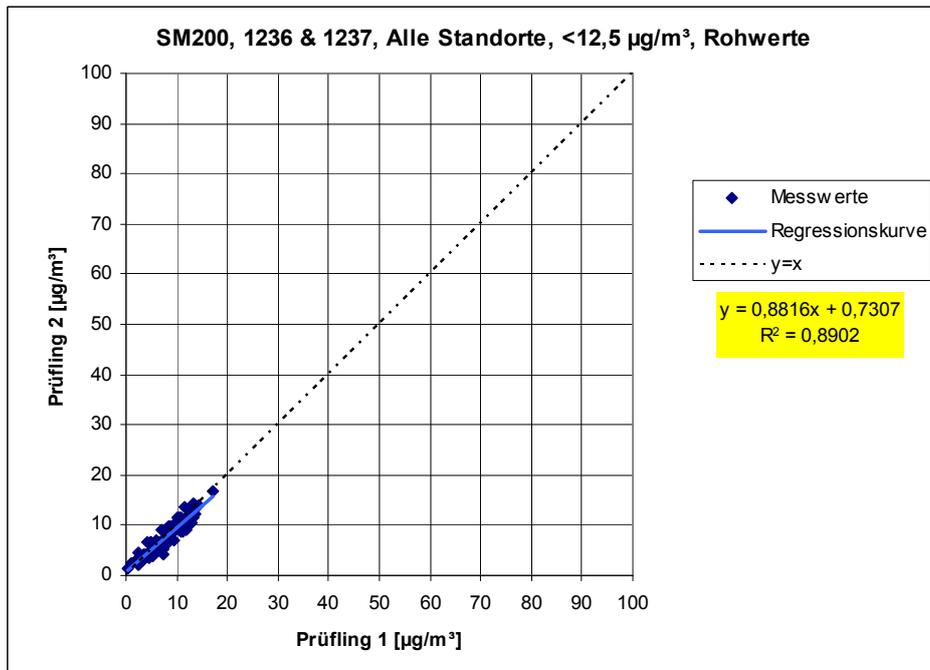


Abbildung 33: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, alle Standorte, Werte  $< 50\%$  JGW ( $< 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

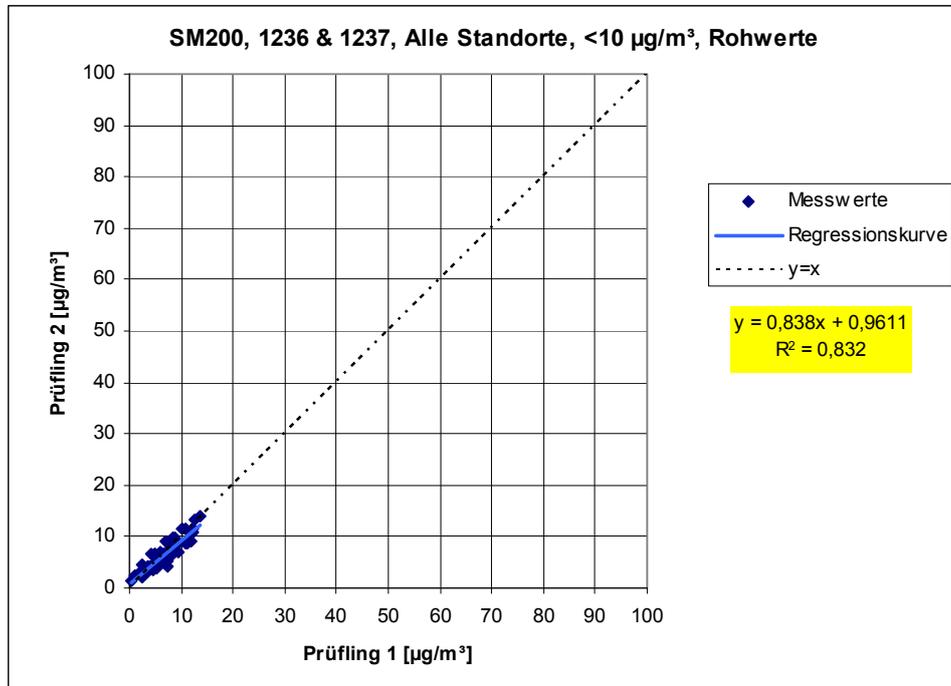


Abbildung 34: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, alle Standorte, Werte < 50 % JGW, Stufe 2 (< 10 µg/m³)



## 7.1 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge [9.5.2.2-9.5.6]

*Für die Prüflinge ist die Gleichwertigkeit zum Referenzverfahren gemäß den Punkten 9.5.2.2 bis 9.5.4 des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ nachzuweisen. Die höchste errechnete erweiterte Unsicherheit der Prüflinge ist mit den Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen nach EU-Richtlinie [7] zu vergleichen.*

## 7.2 Gerätetechnische Ausstattung

Für diesen Prüfpunkt kamen zusätzlich die Geräte entsprechend Punkt 5 des vorliegenden Berichts zum Einsatz.

## 7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde im Feldtest an vier verschiedenen Standorten durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Jahreszeiten unterschiedlich hohe PM2,5 Konzentrationen berücksichtigt.

Es wurden an jedem Standort mindestens 40 valide Wertepaare ermittelt. Vom gesamten Datensatz (4 Standorte, 172 valide Messwertpaare für PM2,5) liegen insgesamt 45,9 % bzw. 57,6 % der Messwerte über 50 % der Grenzwerte für das Jahresmittel von 25 µg/m<sup>3</sup> bzw. 20 µg/m<sup>3</sup> für PM2,5. Die gemessenen Konzentrationen wurden auf Umgebungsbedingungen bezogen.

## 7.4 Auswertung

[Punkt 9.5.2.2] Der Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge wird die Überprüfung der Unsicherheit zwischen den parallel betriebenen Referenzgeräten  $u_{ref}$  vorangestellt. Die Unsicherheit zwischen den parallel betriebenen Referenzgeräten  $u_{ref}$  wird analog der Unsicherheit zwischen den Prüflingen bestimmt und muss  $\leq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sein. Die Ergebnisse der Auswertung sind unter Punkt 7.6 zu diesem Prüfpunkt dargestellt.

Um die Vergleichbarkeit der Prüflinge  $y$  mit dem Referenzverfahren  $x$  zu beurteilen, wird ein linearer Zusammenhang  $y_i = a + bx_i$  zwischen den Messergebnissen beider Methoden angenommen. Der Zusammenhang zwischen den Mittelwerten der Referenzgeräte und der Prüflinge wird mittels orthogonaler Regression [4] hergestellt.

Die Regression wird berechnet für:

- Jeden Standort einzeln
- Alle Standorte gemeinsam
- 1 Datensatz mit Messwerten  $\geq 50 \%$  des Grenzwertes für den Jahresmittelwert, Stufe 1 von 25 µg/m<sup>3</sup> für PM2,5 (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)
- 1 Datensatz mit Messwerten  $\geq 50 \%$  des Grenzwertes für den Jahresmittelwert, Stufe 2 von 20 µg/m<sup>3</sup> für PM2,5 (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)

Zur weiteren Auswertung wird die Ergebnisunsicherheit  $u_{c,s}$  der Prüflinge aus dem Vergleich mit dem Referenzverfahren gemäß der folgenden Gleichung beschrieben, welche  $u_{c,s}$  als eine Funktion der Feinstaubkonzentration  $x_i$  beschreibt.

$$u_{c-s}^2(y_i) = \frac{RSS}{(n-2)} - u^2(x_i) + [a + (b-1)x_i]^2$$

Mit RSS = Summe der (relativen) Residuen aus der orthogonalen Regression

$u(x_i)$  = zufällige Unsicherheit des Referenzverfahrens, sofern der Wert von  $u_{bs}$ , der für den Einsatz der Prüflinge berechnet wird, in diesem Test verwendet werden kann

(siehe Punkt 7.1 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$ )

Algorithmen zur Berechnung des Achsabschnitts  $a$  sowie der Steigung  $b$  und ihrer Varianzen mittels orthogonaler Regression sind im Anhang B von [4] ausführlich beschrieben.

Die Summe der (relativen) Residuen RSS wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

Die Unsicherheit  $u_{c-s}$  wird berechnet für:

- Jeden Standort einzeln
- Alle Standorte gemeinsam
- 1 Datensatz mit Messwerten  $\geq 50$  % des Grenzwertes für den Jahresmittelwert, Stufe 1 von  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für PM2,5 (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)
- 1 Datensatz mit Messwerten  $\geq 50$  % des Grenzwertes für den Jahresmittelwert, Stufe 2 von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für PM2,5 (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)

[Punkt 9.5.3] Für alle Datensätze wird die kombinierte Unsicherheit der Prüflinge  $w_{c,CM}$  durch Kombination der Beiträge aus 9.5.2.1 und 9.5.2.2 gemäß der folgenden Gleichung berechnet:

$$w_{c,CM}^2(y_i) = \frac{u_{c-s}^2(y_i)}{y_i^2}$$

Für jeden Datensatz wird die Unsicherheit  $w_{c,CM}$  am 24 h-Grenzwert berechnet, wobei  $y_i$  als Konzentration am Grenzwert eingesetzt wird.



[Punkt 9.5.4] Für jeden Datensatz wird die erweiterte relative Unsicherheit der Ergebnisse der Prüflinge durch Multiplizieren von  $w_{c,CM}$  mit einem Erweiterungsfaktor  $k$  nach folgender Gleichung berechnet:

$$W_{CM} = k \cdot w_{CM}$$

In der Praxis wird bei großen  $n$  für  $k=2$  eingesetzt.

[Punkt 9.6] Die größte resultierende Unsicherheit  $W_{CM}$  wird mit den Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen nach EU-Richtlinie [7] verglichen und bewertet. Es sind zwei Fälle möglich:

1.  $W_{CM} \leq W_{d,qo}$  → Prüfling wird als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.
2.  $W_{CM} > W_{d,qo}$  → Prüfling wird nicht als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.

Die festgelegte erweiterte relative Unsicherheit  $W_{d,qo}$  beträgt für Feinstaub 25 % [7].

## 7.5 Bewertung

Die ermittelten Unsicherheiten  $W_{CM}$  liegen ohne Anwendung von Korrekturfaktoren für alle betrachteten Datensätze unter der festgelegten erweiterten relativen Unsicherheit  $W_{d,qo}$  von 25 % für Feinstaub.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 34 zeigt einen Überblick über die Unsicherheiten zwischen den Referenzgeräten  $u_{ref}$  aus den Felduntersuchungen. In Tabelle 35 erfolgt eine zusammenfassende Darstellung und Bewertung der erweiterten Messunsicherheiten  $W_{CM}$  aus den Feldtestuntersuchungen. Tabelle 36 bis Tabelle 47 zeigen die Ergebnisse der Auswertungen der einzelnen Datensätze.

Tabelle 34: Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten  $u_{ref}$

Referenz- geräte	Standort	Anzahl Werte	Unsicherheit $u_{bs}$
Nr.			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
1 / 2	Köln, Frankfurter Str.	50	0,386
1 / 2	Köln, Parkplatzgelände	41	0,504
1 / 2	Furulund (Sommer)	40	0,614
1 / 2	Furulund (Winter)	41	0,555
1 / 2	Alle Standorte	172	0,515

Die Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten  $u_{ref}$  ist an allen Standorten  $< 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabelle 35:** Zusammenstellung und Bewertung der erweiterten Messunsicherheiten  $W_{CM}$   
aus den Felduntersuchungen, Rohdaten

PM2,5 Standort	Grenzwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Steigung b $(\mu\text{g}/\text{m}^3)/(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	Achs- abschnitt a $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$u_{c,s}$ am Grenzwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$w_{CM}$ %	$W_{CM}$ %	$W_{CM} \leq W_{dqo}$ $(W_{dqo} = 25 \%)$
Köln, Frankfurter Str.	25	0,99	0,47	1,62	6,46	12,92	ja
	20	0,99	0,47	1,62	8,11	16,23	ja
Köln, Parkplatz	25	1,01	1,49	2,38	9,52	19,04	ja
	20	1,01	1,49	2,34	11,72	23,45	ja
Furulund (Sommer)	25	1,00	2,06	2,50	9,98	19,97	ja
	20	1,00	2,06	2,49	12,47	24,94	ja
Furulund (Winter)	25	1,09	0,46	2,93	11,74	23,48	ja
	20	1,09	0,46	2,49	12,44	24,88	ja
Alle Standorte	25	1,00	1,41	2,06	8,23	16,45	ja
	20	1,00	1,41	2,07	10,35	20,70	ja
Werte $\geq 50 \%$ JGW 1 ( $\geq 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	25	0,99	1,54	2,16	8,65	17,29	ja
Werte $\geq 50 \%$ JGW 2 ( $\geq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	20	1,00	1,25	2,09	10,47	20,95	ja



**Tabelle 36:** Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, Standort Köln, Frankfurter Str., Grenzwert 25 µg/m<sup>3</sup>

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfung	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Köln, Frankfurter Str.	Grenzwert	25	µg/m <sup>3</sup>
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>0,99</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,03</b>			
Achsabschnitt a	<b>0,47</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,50</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>0,21</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	<b>1,62</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	<b>6,46</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	<b>12,92</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

**Tabelle 37:** Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, Standort Köln, Frankfurter Str., Grenzwert 20 µg/m<sup>3</sup>

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfung	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Köln, Frankfurter Str.	Grenzwert	20	µg/m <sup>3</sup>
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>0,99</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,03</b>			
Achsabschnitt a	<b>0,47</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,50</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>0,26</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	<b>1,62</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	<b>8,11</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	<b>16,23</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

**Tabelle 38:** Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, Standort Köln, Parkplatz, Grenzwert 25 µg/m<sup>3</sup>

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfling	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Köln, Parkplatz	Grenzwert	25	µg/m <sup>3</sup>
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	1,01	nicht signifikant		
Unsicherheit von b	0,04			
Achsabschnitt a	1,49	signifikant		
Unsicherheit von a	0,70			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	1,74	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	2,38	µg/m <sup>3</sup>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	9,52	%		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	19,04	%		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

**Tabelle 39:** Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, Standort Köln, Parkplatz, Grenzwert 20 µg/m<sup>3</sup>

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfling	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Köln, Parkplatz	Grenzwert	20	µg/m <sup>3</sup>
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	1,01	nicht signifikant		
Unsicherheit von b	0,04			
Achsabschnitt a	1,49	signifikant		
Unsicherheit von a	0,70			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	1,69	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	2,34	µg/m <sup>3</sup>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	11,72	%		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	23,45	%		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			



**Tabelle 40: Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, Standort Furulund (Sommer), Grenzwert 25 µg/m³**

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfung	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Furulund, Sommer	Grenzwert	25	µg/m³
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>1,00</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,06</b>			
Achsabschnitt a	<b>2,06</b>	<b>signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,39</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>2,07</b>	<b>µg/m³</b>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	<b>2,50</b>	<b>µg/m³</b>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	<b>9,98</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	<b>19,97</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

**Tabelle 41: Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, Standort Furulund (Sommer), Grenzwert 20 µg/m³**

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfung	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Furulund, Sommer	Grenzwert	20	µg/m³
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>1,00</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,06</b>			
Achsabschnitt a	<b>2,06</b>	<b>signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,39</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>2,07</b>	<b>µg/m³</b>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	<b>2,49</b>	<b>µg/m³</b>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	<b>12,47</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	<b>24,94</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

**Tabelle 42:** Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, Standort Furulund (Winter), Grenzwert 25 µg/m<sup>3</sup>

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfling	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Furulund, Winter	Grenzwert	25	µg/m <sup>3</sup>
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	1,09	signifikant		
Unsicherheit von b	0,02			
Achsabschnitt a	0,46	nicht signifikant		
Unsicherheit von a	0,29			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	2,81	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	2,93	µg/m <sup>3</sup>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	11,74	%		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	23,48	%		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	bestanden			

**Tabelle 43:** Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, Standort Furulund (Winter), Grenzwert 20 µg/m<sup>3</sup>

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfling	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Furulund, Winter	Grenzwert	20	µg/m <sup>3</sup>
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	1,09	signifikant		
Unsicherheit von b	0,02			
Achsabschnitt a	0,46	nicht signifikant		
Unsicherheit von a	0,29			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	2,34	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	2,49	µg/m <sup>3</sup>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	12,44	%		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	24,88	%		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	bestanden			



*Tabelle 44: Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, alle Standorte, Grenzwert 25 µg/m³*

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfling	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Alle Standorte	Grenzwert	25	µg/m³
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>1,00</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,01</b>			
Achsabschnitt a	<b>1,41</b>	<b>signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,23</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>1,31</b>	<b>µg/m³</b>		
Unsicherheit $u_{c,s}$ am Grenzwert	<b>2,06</b>	<b>µg/m³</b>		
Kombinierte Messunsicherheit $w_{CM}$	<b>8,23</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	<b>16,45</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

*Tabelle 45: Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, alle Standorte, Grenzwert 20 µg/m³*

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfling	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Alle Standorte	Grenzwert	20	µg/m³
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>1,00</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,01</b>			
Achsabschnitt a	<b>1,41</b>	<b>signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,23</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>1,33</b>	<b>µg/m³</b>		
Unsicherheit $u_{c,s}$ am Grenzwert	<b>2,07</b>	<b>µg/m³</b>		
Kombinierte Messunsicherheit $w_{CM}$	<b>10,35</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	<b>20,70</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

**Tabelle 46:** Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, alle Standorte, Werte  $\geq 50$  % JGW  
( $\geq 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfling	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Alle Standorte, $\geq 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Grenzwert	25	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>0,99</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,03</b>			
Achsabschnitt a	<b>1,54</b>	<b>signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,70</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>1,28</b>	<b><math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>		
Unsicherheit $u_{c,s}$ am Grenzwert	<b>2,16</b>	<b><math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>		
Kombinierte Messunsicherheit $w_{CM}$	<b>8,65</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	<b>17,29</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

**Tabelle 47:** Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, alle Standorte, Werte  $\geq 50$  % JGW  
Stufe 2 ( $\geq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfling	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Alle Standorte, $\geq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Grenzwert	20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>1,00</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,02</b>			
Achsabschnitt a	<b>1,25</b>	<b>signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,51</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>1,28</b>	<b><math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>		
Unsicherheit $u_{c,s}$ am Grenzwert	<b>2,09</b>	<b><math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>		
Kombinierte Messunsicherheit $w_{CM}$	<b>10,47</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	<b>20,95</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

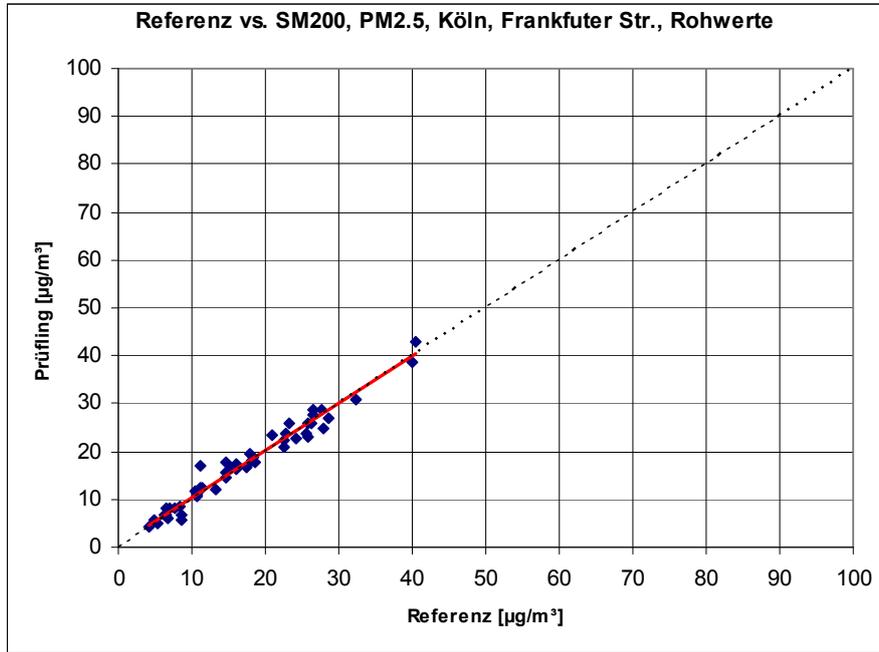


Abbildung 35: Referenz vs. Testgerät, Standort Köln, Frankfurter Str.

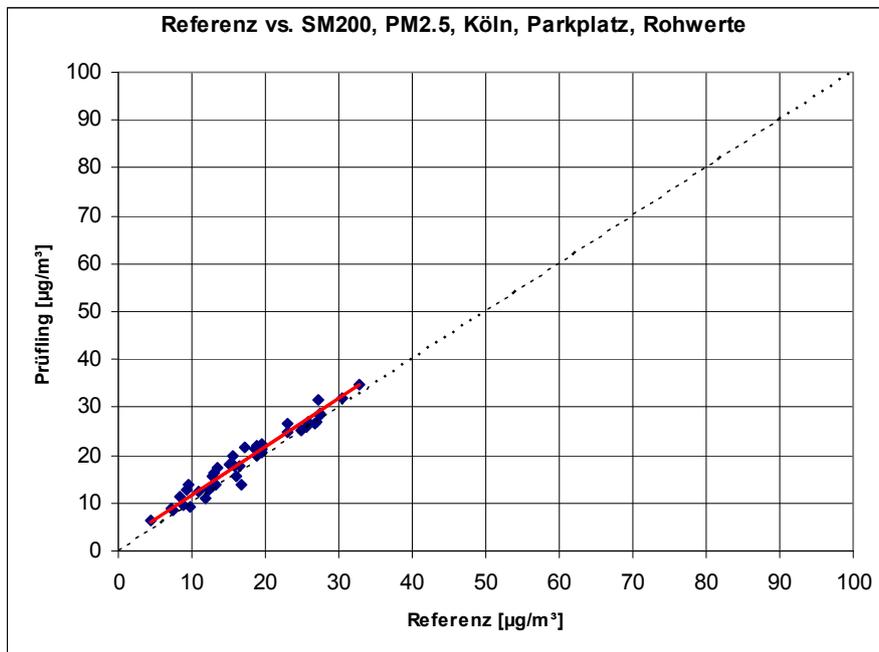


Abbildung 36: Referenz vs. Testgerät, Standort Köln, Parkplatzgelände

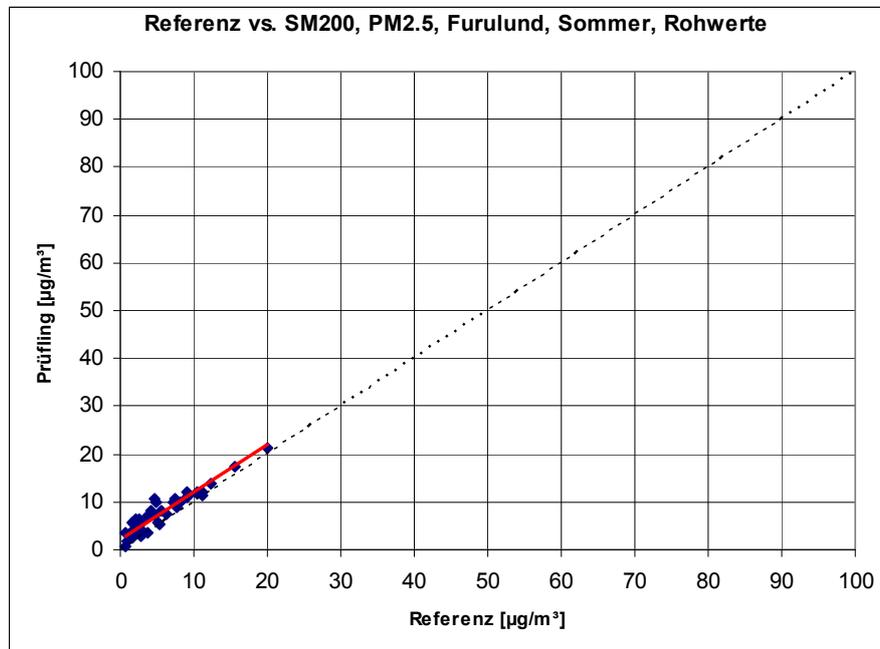


Abbildung 37: Referenz vs. Testgerät, Standort Furulund (Sommer)

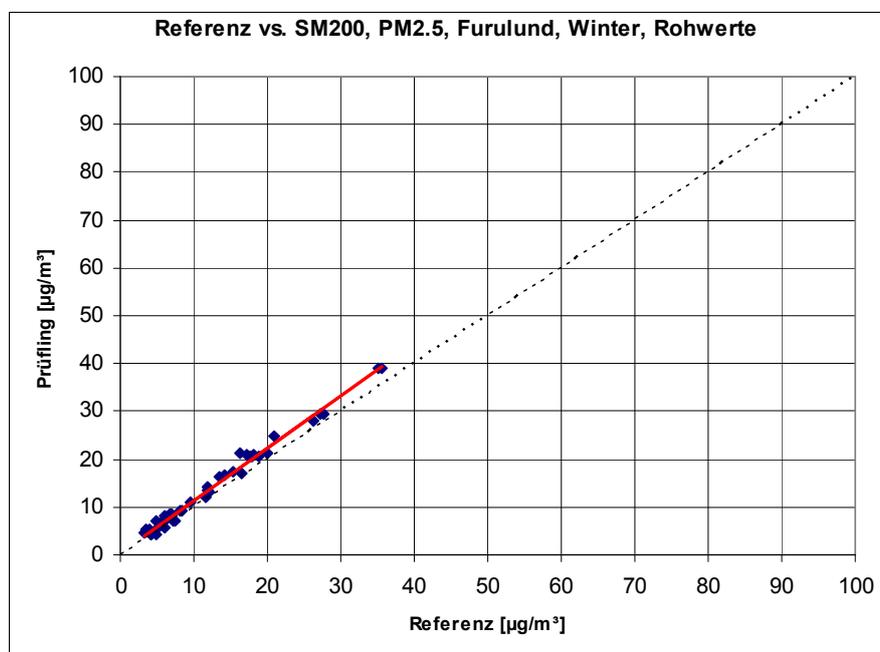


Abbildung 38: Referenz vs. Testgerät, Standort Furulund (Winter)

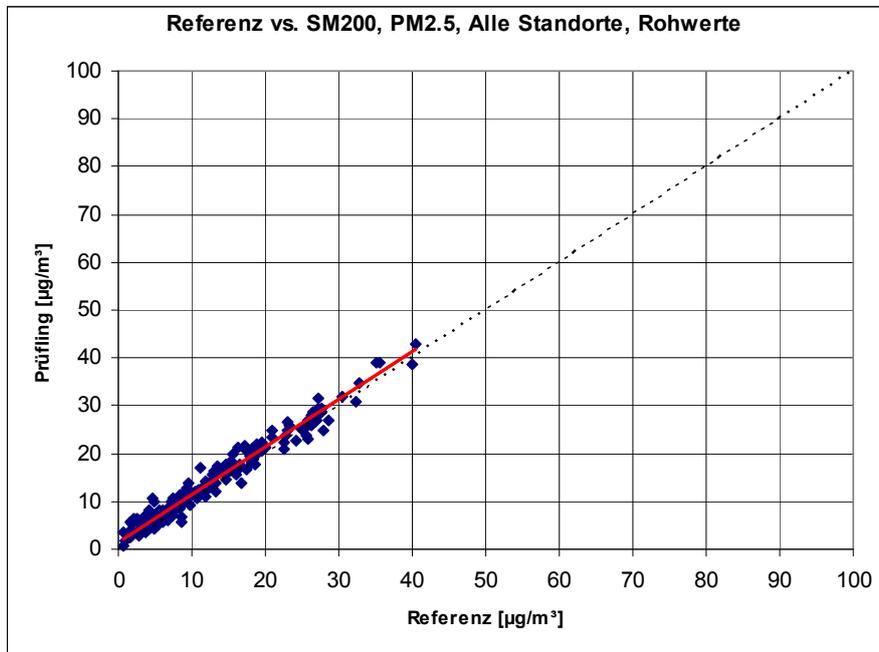


Abbildung 39: Referenz vs. Testgerät, alle Standorte

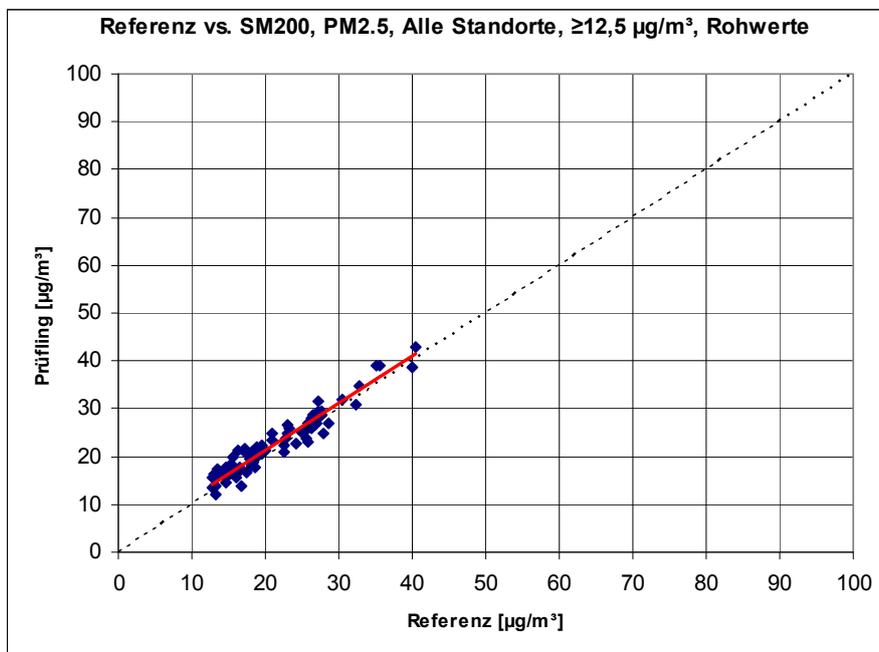


Abbildung 40: Referenz vs. Testgerät, alle Standorte, Werte  $\geq 50\%$  JGW ( $\geq 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

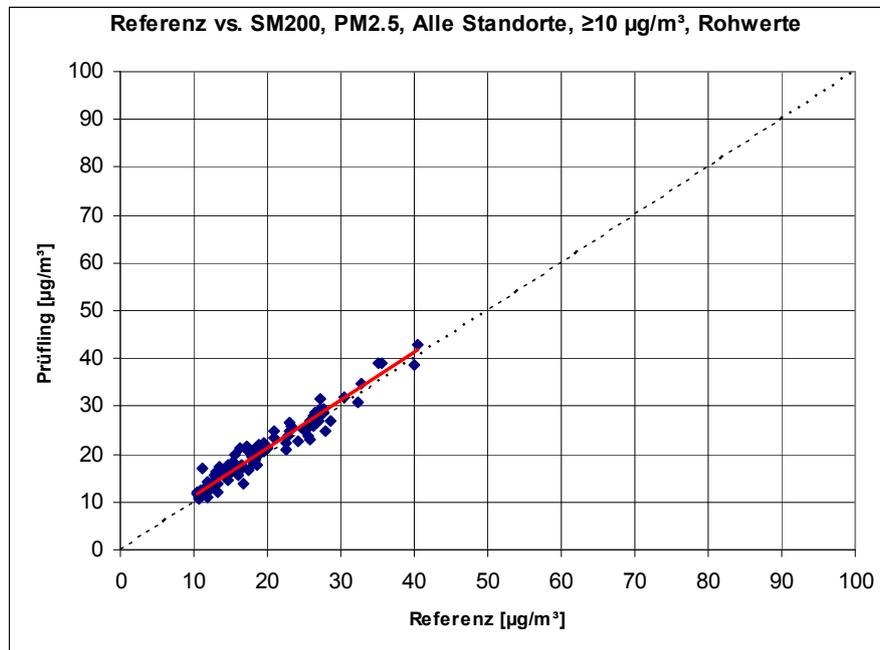


Abbildung 41: Referenz vs. Testgerät, alle Standorte, Werte  $\geq 50\%$  JGW, Stufe 2 ( $\geq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## 7.1 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen [9.7]

*Ist die höchste errechnete erweiterte Unsicherheit der Prüflinge größer als die in den Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen nach EU-Richtlinie [7] festgelegte erweiterte relative Unsicherheit, ist eine Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen zulässig. Die korrigierten Werte müssen die Anforderungen gemäß den Punkten 9.5.2.2ff. des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ erfüllen.*

## 7.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 7.3 Durchführung der Prüfung

Siehe Modul 9.5.2.2 – 9.5.6.

## 7.4 Auswertung

Tritt bei der Auswertung der Rohwerte gemäß Modul 9.5.2.2 – 9.5.6 der Fall  $W_{CM} > W_{dqo}$  auf, d.h. Prüfling wird nicht als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet, dann ist es zulässig, einen Korrekturfaktor oder -term anzuwenden, der aus der Regressionsgleichung für den gesamten Datensatz resultiert. Die korrigierten Werte müssen die Anforderungen für alle Datensätze oder Teildatensätze erfüllen (siehe Modul 9.5.2.2 – 9.5.6). Darüber hinaus kann eine Korrektur auch für den Fall, dass  $W_{CM} \leq W_{dqo}$  ist, genutzt werden, um die Genauigkeit der Prüflinge zu verbessern.

Es können drei verschiedene Fälle auftreten:

- a) Steigung b nicht signifikant von 1 verschieden:  $|b - 1| \leq 2u(b)$ ,  
Achsenabschnitt a signifikant von 0 verschieden:  $|a| > 2u(a)$
- b) Steigung b signifikant von 1 verschieden:  $|b - 1| > 2u(b)$ ,  
Achsenabschnitt a nicht signifikant von 0 verschieden:  $|a| \leq 2u(a)$
- c) Steigung b signifikant von 1 verschieden:  $|b - 1| > 2u(b)$   
Achsenabschnitt a signifikant von 0 verschieden:  $|a| > 2u(a)$

zu a)

Der Wert des Achsenabschnittes a kann als Korrekturterm verwendet werden, um alle Eingangswerte  $y_i$  gemäß folgender Gleichung zu korrigieren.

$$y_{i,corr} = y_i - a$$

Die resultierenden Werte von  $y_{i,corr}$  können dazu dienen, mit einer linearen Regression die folgenden neuen Terme zu berechnen:

$$y_{i,corr} = c + dx_i$$

und

$$u_{c-s}^2(y_{i,corr}) = \frac{RSS}{(n-2)} - u^2(x_i) + [c + (d-1)x_i]^2 + u^2(a)$$

mit  $u(a)$  = Unsicherheit des Originalachsenabschnittes  $a$ , deren Wert benutzt wurde, um  $y_{i,corr}$  zu ermitteln.

Algorithmen zur Berechnung von Achsabschnitten sowie Steigungen und ihrer Varianzen mittels orthogonaler Regression sind im Anhang B von [4] ausführlich beschrieben. RSS wird analog zur Berechnung in Modul 9.5.2.2 – 9.5.6 ermittelt.

zu b)

Der Wert der Steigung  $b$  kann als Korrekturterm verwendet werden, um alle Eingangswerte  $y_i$  gemäß folgender Gleichung zu korrigieren.

$$y_{i,corr} = \frac{y_i}{b}$$

Die resultierenden Werte von  $y_{i,corr}$  können dazu dienen, mit einer neuen linearen Regression die folgenden neuen Terme zu berechnen:

$$y_{i,corr} = c + dx_i$$

und

$$u_{c-s}^2(y_{i,corr}) = \frac{RSS}{(n-2)} - u^2(x_i) + [c + (d-1)x_i]^2 + x_i^2 u^2(b)$$

mit  $u(b)$  = Unsicherheit der Originalsteigung  $b$ , deren Wert benutzt wurde, um  $y_{i,corr}$  zu ermitteln.

Algorithmen zur Berechnung von Achsabschnitten sowie Steigungen und ihrer Varianzen mittels orthogonaler Regression sind im Anhang B von [4] ausführlich beschrieben. RSS wird analog zur Berechnung in Modul 9.5.2.2 – 9.5.6 ermittelt.

zu c)

Die Werte der Steigung  $b$  und des Achsenabschnittes  $a$  können als Korrekturterme verwendet werden, um alle Eingangswerte  $y_i$  gemäß folgender Gleichung zu korrigieren.

$$y_{i,corr} = \frac{y_i - a}{b}$$

Die resultierenden Werte von  $y_{i,corr}$  können dazu dienen, mit einer neuen linearen Regression die folgenden neuen Terme zu berechnen:

$$y_{i,corr} = c + dx_i$$



und

$$u_{c\_s}^2(y_{i,corr}) = \frac{RSS}{(n-2)} - u^2(x_i) + [c + (d-1)x_i]^2 + x_i^2 u^2(b) + u^2(a)$$

mit  $u(b)$  = Unsicherheit der Originalsteigung  $b$ , deren Wert benutzt wurde, um  $y_{i,corr}$  zu ermitteln und mit  $u(a)$  = Unsicherheit des Originalachsenabschnittes  $a$ , deren Wert benutzt wurde, um  $y_{i,corr}$  zu ermitteln.

Algorithmen zur Berechnung von Achsabschnitten sowie Steigungen und ihrer Varianzen mittels orthogonaler Regression sind im Anhang B von [4] ausführlich beschrieben. RSS wird analog zur Berechnung in Modul 9.5.2.2 – 9.5.6 ermittelt

Die Werte für  $u_{c\_s,corr}$  werden dann zur Berechnung der kombinierten relativen Unsicherheit der Prüflinge nach der Korrektur gemäß der folgenden Gleichung herangezogen:

$$w_{c,CM,corr}^2(y_i) = \frac{u_{c\_s,corr}^2(y_i)}{y_i^2}$$

Für den korrigierten Datensatz wird die Unsicherheit  $w_{c,CM,corr}$  am 24 h-Grenzwert berechnet, wobei  $y_i$  als Konzentration am Grenzwert eingesetzt wird.

Die erweiterte relative Unsicherheit  $W_{CM,corr}$  wird entsprechend der folgenden Gleichung berechnet:

$$W_{CM,corr} = k \cdot w_{CM,corr}$$

In der Praxis wird bei großen  $n$  für  $k=2$  eingesetzt.

Die größte resultierende Unsicherheit  $W_{CM,corr}$  wird mit den Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen nach EU-Richtlinie [7] verglichen und bewertet. Es sind zwei Fälle möglich:

1.  $W_{CM,corr} \leq W_{d,qo}$  → Prüfling wird als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.
2.  $W_{CM,corr} > W_{d,qo}$  → Prüfling wird nicht als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.

Die festgelegte erweiterte relative Unsicherheit  $W_{d,qo}$  beträgt für Feinstaub 25 % [7].

## 7.5 Bewertung

Die Prüflinge erfüllen während der Prüfung die Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen ohne eine Anwendung von Korrekturfaktoren.. Eine Korrektur des gesamten Datensatzes kann zusätzlich durchgeführt werden, um mögliche Verbesserungspotentiale in der Genauigkeit der Prüflinge aufzuzeigen. Es wurde gezeigt, dass durch Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen die Genauigkeit der Prüflinge für den gesamten Datensatz von 20,70 % (Rohwerte) auf 16,08 % (Korrektur Achsabschnitt), 21,56 % (Korrektur Steigung) und 16,38 % (Korrektur Achsabschnitt und Steigung) geändert werden kann. Durch Korrektur des Achsabschnitts ist also eine weitere Verbesserung möglich, während eine Korrektur der Steigung keine Verbesserungen der jeweiligen Messunsicherheiten mit sich bringt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 48 bis Tabelle 51 zeigen die Ergebnisse der Auswertungen des gesamten Datensatzes nach Anwendung der möglichen Korrekturfaktoren/-terme.

*Tabelle 48: Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, alle Standorte, Grenzwert 20 µg/m<sup>3</sup>, Rohwerte*

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfung	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Alle Standorte	Grenzwert	20	µg/m <sup>3</sup>
Status Messwerte	Rohwerte	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	1,00	nicht signifikant		
Unsicherheit von b	0,01			
Achsabschnitt a	1,41	signifikant		
Unsicherheit von a	0,23			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	1,33	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	2,07	µg/m <sup>3</sup>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	10,35	%		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	20,70	%		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

*Tabelle 49: Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, alle Standorte, Grenzwert 20 µg/m<sup>3</sup>, Korrektur Achsabschnitt*

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfung	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Alle Standorte	Grenzwert	20	µg/m <sup>3</sup>
Status Messwerte	Korrektur Offset	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	1,00	nicht signifikant		
Unsicherheit von b	0,01			
Achsabschnitt a	0,00	nicht signifikant		
Unsicherheit von a	0,23			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	-0,09	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	1,61	µg/m <sup>3</sup>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	8,04	%		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	16,08	%		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			



**Tabelle 50: Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, alle Standorte, Grenzwert 20 µg/m³, Korrektur Steigung**

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfung	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Alle Standorte	Grenzwert	20	µg/m³
Status Messwerte	Korrektur Steigung	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>1,00</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,01</b>			
Achsabschnitt a	<b>1,42</b>	<b>signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,23</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>1,42</b>	<b>µg/m³</b>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	<b>2,16</b>	<b>µg/m³</b>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	<b>10,78</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	<b>21,56</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

**Tabelle 51: Vergleich Testgerät mit Referenzgerät, alle Standorte, Grenzwert 20 µg/m³, Korrektur Achsabschnitt und Steigung**

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Bericht "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods"				
Prüfung	SM200	SN	1236 & 1237	
Standort	Alle Standorte	Grenzwert	20	µg/m³
Status Messwerte	Korrektur Offset und Steigung	erlaubte Unsicherheit	25	%
Ergebnisse der Regressionsrechnung				
Steigung b	<b>1,00</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,01</b>			
Achsabschnitt a	<b>0,00</b>	<b>nicht signifikant</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,23</b>			
Ergebnisse der Vergleichbarkeitsprüfung				
Abweichung am Grenzwert	<b>0,00</b>	<b>µg/m³</b>		
Unsicherheit u <sub>c,s</sub> am Grenzwert	<b>1,64</b>	<b>µg/m³</b>		
Kombinierte Messunsicherheit w <sub>CM</sub>	<b>8,19</b>	<b>%</b>		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	<b>16,38</b>	<b>%</b>		
Status Vergleichbarkeitsprüfung	<b>bestanden</b>			

## **8 Empfehlungen zum Praxiseinsatz**

### **Arbeiten im Wartungsintervall**

Folgende regelmäßige Arbeiten sind an der geprüften Messeinrichtung erforderlich:

- Regelmäßige Sichtkontrolle / Telemetrische Überwachung
- - Gerätestatus in Ordnung
- - Keine Fehlermeldungen
- - Geräteinterne Tests zur Qualitätskontrolle in Ordnung
- - Keine Verschmutzungen
- Überprüfung der Gerätefunktionen nach Anweisung des Herstellers
- Kontrolle des Filtervorrates
- Wartung des Probenahmekopfes gemäß Herstellerangaben  
Um durch die Wartung des Probenahmekopfes (Einfetten der Impaktionsplatte) den Probenahmebetrieb nicht übermäßig zu beeinflussen, wird empfohlen den benutzten Probenahmekopf gegen einen neuen, im Labor vorbereiteten, Probenahmekopf direkt vor Ort zu tauschen.
- Die pneumatischen, elektrischen und mechanischen Bauteile können durch interne Testprozeduren kontrolliert werden. Dies muss monatlich, in jedem Falle aber nach jedem Messeinsatz, geschehen.
- Monatliches Durchführen des geräteinternen BETA SPAN TESTs (Betrieb wird hierzu nicht unterbrochen)

Eine externe Überprüfung / Kalibrierung der Massenmessung ist nur notwendig im Falle von unzulässig hohen Abweichungen beim BETA SPAN TEST oder bei Gerätestörungen.

Im Übrigen sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten.

### Weitergehende Wartungsarbeiten

Über die regelmäßigen Wartungsarbeiten im Wartungsintervall hinausgehend sind folgende Tätigkeiten durchzuführen:

- Alle Verbindungsleitungen, O-Ringe und Sicherungen sind vierteljährlich zu kontrollieren.
- Der Filter der Wasserfalle im Pumpenmodul ist alle drei Monate zu tauschen. Nach erfolgter Wartung ist die Dichtigkeit der Messeinrichtung zu prüfen.
- Die Pumpendichtung ist alle 6 Monate zu tauschen. Nach erfolgter Wartung ist die Durchflussrate sowie die Dichtigkeit Messeinrichtung zu prüfen.
- Die Pumpenmembran ist alle 12 Monate zu tauschen. Nach erfolgter Wartung ist die Durchflussrate sowie die Dichtigkeit Messeinrichtung zu prüfen.
- Im Rahmen einer jährlichen Grundwartung ist auch auf die Reinigung des Ansaugrohres zu achten.

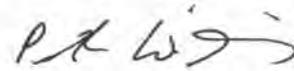
Weitere Einzelheiten können der Bedienungsanleitung entnommen werden.

Immissionsschutz/Luftreinhaltung



---

Karsten Pletscher



---

Dr. Peter Wilbring

Köln, 26.03.2009  
936/21205849/A

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmeseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“, Juni 2002
- [2] VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, August 2004
- [3] Europäische Norm EN 14907, „Luftbeschaffenheit – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM2,5-Massenfraktion des Schwebstaubs“, Deutsche Fassung EN 14907: 2005
- [4] Leitfaden „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“, Englische Fassung vom November 2005
- [5] Bedienungshandbuch OPSIS SM 200, Stand Juni 2005
- [6] Bedienungshandbuch LVS3, Stand 2000
- [7] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa

## 10 Anlagen

### **Anhang 1      Mess- und Rechenwerte**

- Anlage 1: Nachweisgrenze
- Anlage 2: Temperaturabhängigkeit des Nullpunktes
- Anlage 3: Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit
- Anlage 4: Netzspannungsabhängigkeit
- Anlage 5: Messwerte aus den Feldteststandorten
- Anlage 6: Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten
- Anlage 7: Software-Version OPSIS SM 200

### **Anhang 2      Handbücher**

**Anlage 1**

**Nachweisgrenze**

**Blatt 1 von 1**

Hersteller OPSIS AB			
Messbereich	0 bis 200	µg/m <sup>3</sup>	Temperatur Klimakammer 20 °C
Gerätetyp	SM 200		rel. Luftfeuchte Klimakammer 60%
Serien-Nr.	SN 1236 & SN 1237		Nullgas Leermessung auf Filter

Nr.	Datum	Messwerte [µg/m <sup>3</sup> ]	
		SN 1236	SN 1237
1	08.10.2006	0,29	-0,28
2	09.10.2006	-0,08	0,00
3	10.10.2006	-0,71	-0,28
4	11.10.2006	0,10	0,37
5	12.10.2006	-0,43	-0,34
6	13.10.2006	-0,79	-0,80
7	15.10.2006	-0,31	-0,26
8	16.10.2006	-0,21	-0,06
9	17.10.2006	-0,42	-0,05
10	18.10.2006	-0,29	-0,03
11	19.10.2006	0,35	-0,26
12	20.10.2006	-0,06	-0,39
13	21.10.2006	-0,10	-0,29
14	22.10.2006	-0,09	-0,12
15	23.10.2006	-0,10	0,12
	Anzahl Werte	15	15
	Mittelwert	-0,19	-0,18
	Standardabweichung s <sub>x0</sub>	0,32	0,27
	Nachweisgrenze X	<b>0,49</b>	<b>0,39</b>

$$s_{x_0} = \sqrt{\left(\frac{1}{n-1}\right) \cdot \sum_{i=1,n} (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}$$

**Anlage 2**

**Umgebungstemperaturabhängigkeit am Nullpunkt**

**Blatt 1 von 1**

Hersteller		OP SIS AB		Standards				Leermessung auf Filter	
Messbereich		0 bis 200 µg/m <sup>3</sup>							
Gerätetyp		SM 200							
Serien-Nr.		SN 1236 & SN 1237							
		Durchgang 1		Durchgang 2		Durchgang 3		Mittelwert	
SN 1236 Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Abw. [µg/m <sup>3</sup> ]						
1	20	0,0	-	0,0	-	0,3	-	0,11	-
2	5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,6	-0,36	-0,5
3	20	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1	0,22	0,1
4	40	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,8	-0,25	-0,4
5	20	0,0	0,0	-0,2	-0,2	-0,1	-0,4	-0,09	-0,2
SN 1237 Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Abw. [µg/m <sup>3</sup> ]						
1	20	0,1	-	0,3	-	0,4	-	0,27	-
2	5	-0,3	-0,4	-0,1	-0,4	-0,6	-1,0	-0,33	-0,6
3	20	0,1	0,0	0,1	-0,2	-0,7	-1,1	-0,17	-0,4
4	40	-0,2	-0,3	-0,5	-0,8	-0,6	-1,0	-0,43	-0,7
5	20	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4	0,0	-0,4	-0,07	-0,3

**Anlage 3 Umgebungstemperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit**

**Blatt 1 von 2**

Hersteller		OPSIS AB		Standards		Referenzfoliensatz ck033			
Messbereich		0 bis 200 µg/m <sup>3</sup>							
Gerätetyp		SM 200							
Serien-Nr.		SN 1236							
		Durchgang 1		Durchgang 2		Durchgang 3		Mittelwert	
Folie Nr.	Temperatur [°C]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]
1	20	35,62	-	35,54	-	35,62	-	35,59	-
2	5	35,71	0,3	35,60	0,2	35,58	-0,1	35,63	0,1
3	20	35,73	0,3	35,61	0,2	35,57	-0,1	35,64	0,1
4	40	35,15	-1,3	35,48	-0,2	35,22	-1,1	35,28	-0,9
5	20	35,72	0,3	35,47	-0,2	35,64	0,1	35,61	0,0
Folie Nr.	Temperatur [°C]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]
1	20	47,16	-	47,11	-	47,12	-	47,13	-
2	5	47,16	0,0	47,11	0,0	47,06	-0,1	47,11	0,0
3	20	47,20	0,1	47,11	0,0	47,06	-0,1	47,12	0,0
4	40	46,72	-0,9	46,78	-0,7	46,72	-0,8	46,74	-0,8
5	20	47,08	-0,2	47,11	0,0	47,11	0,0	47,10	-0,1
Folie Nr.	Temperatur [°C]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]
1	20	71,50	-	71,46	-	71,45	-	71,47	-
2	5	71,29	-0,3	71,46	0,0	71,43	0,0	71,39	-0,1
3	20	71,44	-0,1	71,41	-0,1	71,37	-0,1	71,41	-0,1
4	40	70,96	-0,8	70,97	-0,7	70,99	-0,6	70,97	-0,7
5	20	71,32	-0,3	71,35	-0,2	71,39	-0,1	71,35	-0,2
Folie Nr.	Temperatur [°C]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]
1	20	93,23	-	93,20	-	93,24	-	93,22	-
2	5	93,20	0,0	93,24	0,0	93,25	0,0	93,23	0,0
3	20	93,21	0,0	93,13	-0,1	93,22	0,0	93,19	0,0
4	40	92,72	-0,5	92,80	-0,4	92,78	-0,5	92,77	-0,5
5	20	93,19	0,0	93,23	0,0	93,17	-0,1	93,20	0,0

**Anlage 3 Umgebungstemperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit**

**Blatt 2 von 2**

Hersteller		OPSIS AB		Standards		Referenzfoliensatz ck033			
Messbereich		0 bis 200 µg/m³							
Gerätetyp		SM 200							
Serien-Nr.		SN 1237							
		Durchgang 1		Durchgang 2		Durchgang 3		Mittelwert	
Folie Nr.	Temperatur [°C]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]
1	20	35,84	-	35,84	-	35,87	-	35,85	-
2	5	35,83	0,0	35,87	0,1	35,85	-0,1	35,85	0,0
3	20	35,84	0,0	35,84	0,0	35,82	-0,1	35,83	0,0
4	40	35,50	-0,9	35,55	-0,8	35,51	-1,0	35,52	-0,9
5	20	35,80	-0,1	35,86	0,1	35,73	-0,4	35,80	-0,1
Folie Nr.	Temperatur [°C]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]
1	20	47,28	-	47,28	-	47,27	-	47,28	-
2	5	47,29	0,0	47,29	0,0	47,33	0,1	47,30	0,1
3	20	47,26	0,0	47,29	0,0	47,31	0,1	47,29	0,0
4	40	46,96	-0,7	46,99	-0,6	46,92	-0,7	46,96	-0,7
5	20	47,28	0,0	47,28	0,0	47,29	0,0	47,28	0,0
Folie Nr.	Temperatur [°C]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]
1	20	71,53	-	71,51	-	71,58	-	71,54	-
2	5	71,51	0,0	71,55	0,1	71,51	-0,1	71,52	0,0
3	20	71,58	0,1	71,55	0,1	71,57	0,0	71,57	0,0
4	40	71,27	-0,4	71,11	-0,6	71,17	-0,6	71,18	-0,5
5	20	71,48	-0,1	71,50	0,0	71,50	-0,1	71,49	-0,1
Folie Nr.	Temperatur [°C]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]
1	20	93,00	-	93,03	-	93,02	-	93,02	-
2	5	93,03	0,0	93,08	0,1	93,03	0,0	93,05	0,0
3	20	93,10	0,1	92,97	-0,1	92,99	0,0	93,02	0,0
4	40	92,66	-0,4	92,64	-0,4	92,72	-0,3	92,67	-0,4
5	20	93,06	0,1	93,03	0,0	93,04	0,0	93,04	0,0

**Anlage 4**

**Netzspannungsabhängigkeit der Empfindlichkeit**

**Seite 1 von 2**

Hersteller		OP SIS AB		Standards		Referenzfoliensatz			
Messbereich		0 bis 200 µg/m³							
Gerätetyp		SM 200							
Serien-Nr.		SN 1236							
Folie 1 Nr.	Netzspannung [V]	Durchgang 1		Durchgang 2		Durchgang 3		Mittelwert	
		Messwert Folie [mg]	Abw. [%]						
1	230	35,62	-	35,54	-	35,62	-	35,59	-
2	210	35,52	-0,3	35,57	0,1	35,55	-0,2	35,55	-0,1
3	230	35,73	0,3	35,61	0,2	35,57	-0,1	35,64	0,1
4	245	35,48	-0,4	35,50	-0,1	35,54	-0,2	35,51	-0,2
5	230	35,72	0,3	35,47	-0,2	35,64	0,1	35,61	0,0
Folie 2 Nr.	Netzspannung [V]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]						
1	230	47,16	-	47,11	-	47,12	-	47,13	-
2	210	47,11	-0,1	47,14	0,1	47,14	0,0	47,13	0,0
3	230	47,20	0,1	47,11	0,0	47,06	-0,1	47,12	0,0
4	245	47,09	-0,1	47,07	-0,1	47,11	0,0	47,09	-0,1
5	230	47,08	-0,2	47,11	0,0	47,11	0,0	47,10	-0,1
Folie 3 Nr.	Netzspannung [V]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]						
1	230	71,50	-	71,46	-	71,45	-	71,47	-
2	210	71,38	-0,2	71,37	-0,1	71,44	0,0	71,40	-0,1
3	230	71,44	-0,1	71,41	-0,1	71,37	-0,1	71,41	-0,1
4	245	71,37	-0,2	71,40	-0,1	71,39	-0,1	71,39	-0,1
5	230	71,32	-0,3	71,35	-0,2	71,39	-0,1	71,35	-0,2
Folie 4 Nr.	Netzspannung [V]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]						
1	230	93,23	-	93,20	-	93,24	-	93,22	-
2	210	93,22	0,0	93,45	0,3	93,16	-0,1	93,28	0,1
3	230	93,21	0,0	93,13	-0,1	93,22	0,0	93,19	0,0
4	245	93,22	0,0	93,22	0,0	93,21	0,0	93,22	0,0
5	230	93,19	0,0	93,23	0,0	93,17	-0,1	93,20	0,0

**Anlage 4**
**Netzspannungsabhängigkeit der Empfindlichkeit**
**Seite 2 von 2**

Hersteller		OP SIS AB		Standards				Referenzfoliensatz	
Messbereich		0 bis 200 µg/m³							
Gerätetyp		SM 200							
Serien-Nr.		SN 1237							
		Durchgang 1		Durchgang 2		Durchgang 3		Mittelwert	
Folie Nr.	Netzspannung [V]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]						
1	230	35,83	-	35,84	-	35,87	-	35,85	-
2	210	35,69	-0,4	35,79	-0,1	35,79	-0,2	35,76	-0,3
3	230	35,84	0,0	35,84	0,0	35,82	-0,1	35,83	0,0
4	245	35,70	-0,4	35,72	-0,3	35,75	-0,3	35,72	-0,3
5	230	35,80	-0,1	35,86	0,1	35,73	-0,4	35,80	-0,1
Folie 2 Nr.	Netzspannung [V]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]						
1	230	47,28	-	47,28	-	47,27	-	47,28	-
2	210	47,30	0,0	47,28	0,0	47,27	0,0	47,28	0,0
3	230	47,26	0,0	47,29	0,0	47,31	0,1	47,29	0,0
4	245	47,36	0,2	47,29	0,0	47,31	0,1	47,32	0,1
5	230	47,28	0,0	47,28	0,0	47,29	0,0	47,28	0,0
Folie 3 Nr.	Netzspannung [V]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]						
1	230	71,53	-	71,50	-	71,58	-	71,54	-
2	210	71,51	0,0	71,50	0,0	71,52	-0,1	71,51	0,0
3	230	71,58	0,1	71,55	0,1	71,57	0,0	71,57	0,0
4	245	71,47	-0,1	71,50	0,0	71,43	-0,2	71,47	-0,1
5	230	71,48	-0,1	71,50	0,0	71,50	-0,1	71,49	-0,1
Folie 4 Nr.	Netzspannung [V]	Messwert Folie [mg]	Abw. [%]						
1	230	93,00	-	93,03	-	93,02	-	93,02	-
2	210	93,06	0,1	93,00	0,0	93,07	0,1	93,04	0,0
3	230	93,10	0,1	92,97	-0,1	92,99	0,0	93,02	0,0
4	245	93,03	0,0	92,91	-0,1	93,04	0,0	92,99	0,0
5	230	93,06	0,1	93,03	0,0	93,04	0,0	93,04	0,0

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 1 von 11**

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich		0 bis 200		µg/m³				
Gerätetyp		SM200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN1236 PM2,5 [µg/m³]	SN1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
1	17.11.2006	15,2	11,1	11,2	17,1	16,8	NP/RP Test NP/RP Test	Köln, Frankfurter Str.
2	18.11.2006	21,7	15,9	16,1	17,8	17,1		
3	19.11.2006	19,9	18,8	18,2	16,6	18,7		
4	20.11.2006	13,7	11,0	10,3	12,8	10,6		
5	21.11.2006	19,5	14,7	14,7	14,0	14,9		
6	22.11.2006							
7	23.11.2006							
8	24.11.2006	19,9	13,4	13,2	11,6	12,4		
9	25.11.2006	13,2			8,7	8,2		
10	26.11.2006	20,9			14,5	14,8		
11	27.11.2006	33,4	22,4	22,7	20,2	21,9		
12	28.11.2006	33,7	22,4	22,7	22,2	22,7		
13	29.11.2006	41,7	27,4	28,5	24,6	25,2		
14	30.11.2006	31,0	26,0	25,3	24,2	23,5		
15	01.12.2006	30,8	25,9	25,6	22,5	23,7		
16	02.12.2006	31,9			23,3	23,2		
17	03.12.2006	12,8			8,0	7,7		
18	04.12.2006	10,6	8,4	8,9	6,0	5,4		
19	05.12.2006	11,5	7,9	9,4	6,7	6,7		
20	06.12.2006	20,1	10,9	11,5	12,3	11,6		
21	07.12.2006	9,0	6,9	6,9	7,1	9,0		
22	08.12.2006	8,6			6,6	6,2		
23	09.12.2006	29,2			18,6	19,7		
24	10.12.2006	20,6			14,3	16,5		
25	11.12.2006	10,3	6,5	6,8	6,0	6,3		
26	12.12.2006	21,7					Stromausfall	
27	13.12.2006	17,9	10,7	10,5	10,5	11,4		
28	14.12.2006	26,6	15,6	14,6	16,1	16,7		
29	15.12.2006	26,6	17,8	18,1	19,1	20,2		
30	16.12.2006	25,5			18,0	18,7		

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 2 von 11**

Hersteller		OPSIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich		0 bis 200 µg/m³						
Gerätetyp		SM200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
31	17.12.2006	27,5			18,8	19,9		Köln, Frankfurter Str.
32	18.12.2006	57,3					NP/RP Test	
33	19.12.2006	43,3					NP/RP Test	
34	20.12.2006	67,4					Wassereintrich; Filter überladen	
35	21.12.2006						Abbruch / Neustart	
36	22.12.2006	33,5			27,0	27,1		
37	23.12.2006	24,8			19,4	20,7		
38	24.12.2006	28,8			25,9	26,3		
39	25.12.2006	14,5			12,3	13,0		
40	26.12.2006	33,0			27,5	28,0		
41	27.12.2006	31,2	28,6	28,8	26,1	27,8		
42	28.12.2006	33,9			29,0	28,2		
43	29.12.2006	28,8			25,5	27,0		
44	30.12.2006	14,6			13,5	11,2		
45	31.12.2006	20,1			16,3	15,3		
46	01.01.2007	11,2			8,7	7,9		
47	02.01.2007	19,9			10,5	11,4		
48	03.01.2007	15,2			10,5	9,8		
49	04.01.2007	15,4			8,6	9,2		
50	05.01.2007				8,9	8,7		
51	06.01.2007				10,7	10,8		
52	07.01.2007				9,2	6,7		
53	08.01.2007	6,9	4,1	4,3	4,3	4,3		
54	09.01.2007	9,3	5,0	4,8	5,4	5,8		
55	10.01.2007	11,7					Ausreisser SM200	
56	11.01.2007	14,5					Ausreisser SM200	
57	12.01.2007	18,7	8,5	8,3	8,1	8,8		
58	13.01.2007	7,5			8,6	5,7		
59	14.01.2007	20,2	11,1	11,5	12,8	12,2		
60	15.01.2007	23,5	15,8	16,1	16,5	16,5		

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 3 von 11

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft	
Messbereich		0 bis 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Messwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i.B.	
Gerätetyp		SM200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 1 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 2 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1236 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1237 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkung	Standort
61	16.01.2007	23,8	17,7	18,8	18,1	19,3	NP/RP Test NP/RP Test Gerät nicht gestartet?	Köln, Frankf. Str.
62	17.01.2007	10,8	7,6	7,8	8,3	7,6		
63	18.01.2007	8,4	5,6	4,9	5,2	5,1		
64	19.01.2007	13,5			7,2	8,0		
65	20.01.2007	12,2	6,5	6,3	7,0	6,2		
66	21.01.2007	12,4						
67	22.01.2007	18,9						
68	23.01.2007	17,8						
69	24.01.2007	33,3	28,2	27,1	28,9	28,4		
70	25.01.2007	31,6	26,6	26,4	26,9	28,3		
71	26.01.2007	33,5	23,9	24,5	20,9	24,5		
72	27.01.2007	23,5			15,4	14,4		
73	28.01.2007	18,4			14,1	15,3		
74	29.01.2007	27,3	18,0	18,2	17,5	18,3		
75	30.01.2007	35,3	22,8	22,8	24,2	23,6		
76	31.01.2007	34,2	25,6	25,9	25,6	26,3		
77	01.02.2007	50,9	32,2	32,4	29,9	31,6		
78	02.02.2007	37,3	26,5	26,6	30,3	27,3		
79	03.02.2007	45,1			27,1	28,7		
80	04.02.2007	30,4			24,2	23,1		
81	05.02.2007	51,4	40,2	40,8	41,8	44,0		
82	06.02.2007	34,0	23,8	22,8	26,3	25,5		
83	07.02.2007	50,8	39,9	39,9	36,8	40,8		
84	08.02.2007	16,9	11,3	10,9	12,7	12,1		
85	09.02.2007	33,3	26,5	26,1	25,4	26,6		
86	10.02.2007	21,3			15,4	16,0		
87	11.02.2007	13,7			7,1	7,7		
88	12.02.2007	11,1	6,7	5,7	7,0	6,6		
89	13.02.2007	21,3	10,6	10,8	10,2	10,8		
90	14.02.2007	20,1	14,6	14,6	15,8	15,4		

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 4 von 11**

Hersteller		OPSIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich		0 bis 200		µg/m³				
Gerätetyp		SM200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
91	15.02.2007	27,5	14,9	14,5	17,3	17,9	Ausreisser SM200	Köln, Frankf. Str.
92	16.02.2007	16,4			12,7	13,6		
93	17.02.2007	24,6						
94	18.02.2007	57,8			49,1	50,7		
95	19.02.2007	46,6						
96	20.02.2007	41,1			33,3	36,0		
97	21.02.2007	32,6			22,5	27,0		
98	22.02.2007	33,1	21,4	20,5	23,2	23,9		
99	23.02.2007	26,1	17,5	17,5	14,9	18,3		
100	24.02.2007	10,3	6,7	6,5	8,1	8,0		
101	25.02.2007	11,4			6,1	8,3		
102	26.02.2007	17,9	10,2	10,5	12,5	10,9		
103	27.02.2007	17,3			7,3	10,0		
104	28.02.2007				7,9	6,2		
105	31.03.2007	32,1			32,0	32,9		Köln, Parkplatz
106	01.04.2007	29,7			25,3	26,7		
107	02.04.2007	50,1			40,3	40,3		
108	03.04.2007	24,8	18,4	19,2	22,0	21,7		
109	04.04.2007	15,1	9,3	9,6	13,5	14,0		
110	05.04.2007	43,0	27,2	27,0	31,2	32,2		
111	06.04.2007	53,3			30,8	31,3		
112	07.04.2007	34,5			31,1	31,4		
113	08.04.2007	39,7	33,0	32,8	33,6	35,6		
114	09.04.2007	34,7			25,9	26,0		
115	10.04.2007	38,5	25,1	24,5	25,2	25,4		
116	11.04.2007	44,9	30,8	30,0	31,5	32,6		
117	12.04.2007	32,7	19,0	20,1	22,3	22,8		
118	13.04.2007	31,6	17,9	19,2	21,5	21,2		
119	14.04.2007	23,8			19,6	18,9		
120	15.04.2007	22,9	15,9	15,3	20,8	19,2		

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 5 von 11

Hersteller		OPSIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich		0 bis 200		µg/m³				
Gerätetyp		SM200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
121	16.04.2007	39,1	27,2	27,5	28,8	28,6		Köln, Parkplatz
122	17.04.2007	37,4	22,9	23,1	25,8	24,0		
123	18.04.2007	24,2	13,5	12,7	16,1	16,6		
124	19.04.2007	41,4	27,1	26,3	25,9	26,9		
125	20.04.2007	23,0	12,9	12,7	15,5	15,4		
126	21.04.2007	20,4			14,9	15,3		
127	22.04.2007	25,2			16,8	19,4		
128	23.04.2007	32,4	19,3	19,7	21,4	21,5		
129	24.04.2007	30,2	19,2	18,6	19,5	19,9		
130	25.04.2007	21,5	15,1	14,9	17,6	18,6		
131	26.04.2007	26,0	17,3	16,9	21,7	21,6		
132	27.04.2007	35,7	23,2	22,8	25,8	27,0		
133	28.04.2007	33,1			27,5	28,6		
134	29.04.2007	16,5			15,2	15,6		
135	30.04.2007	15,9	8,0	8,9	10,8	11,6		
136	01.05.2007	12,3			10,1	9,8		
137	02.05.2007	19,6	9,2	9,6	12,4	13,3		
138	03.05.2007	24,3	13,1	13,7	17,0	17,7		
139	04.05.2007	25,9	15,6	16,1	17,8	17,9		
140	05.05.2007	26,8			17,1	17,6		
141	06.05.2007	29,0			15,7	17,5		
142	07.05.2007	10,7					NP/RP-Test NP/RP-Test	
143	08.05.2007	18,1						
144	09.05.2007	16,5	7,6	7,2	7,8	9,2		
145	10.05.2007	18,3	11,4	10,4	13,2	11,5		
146	11.05.2007	15,6	6,7	7,8	9,3	8,7		
147	12.05.2007	16,1			6,6	7,7		
148	13.05.2007	15,2			8,9	10,3		
149	14.05.2007	12,7	4,3	4,6	6,1	7,0		
150	15.05.2007	14,2			8,3	9,2	Ausreisser Referenz	

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 6 von 11**

Hersteller		OPSIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.	
Messbereich		0 bis 200		µg/m <sup>3</sup>				
Gerätetyp		SM200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1236 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1237 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort
151	16.05.2007	13,2			7,1	7,2		Köln. Parkplatz
152	17.05.2007	16,2	12,5	12,1	11,7	13,6		
153	18.05.2007	14,0			9,6	11,0		
154	19.05.2007	18,0			11,5	11,4		
155	20.05.2007	20,7			13,8	15,3		
156	21.05.2007	42,6	26,7	28,3	26,5	30,4		
157	22.05.2007	42,6	26,2	25,6	25,0	28,8		
158	23.05.2007	23,8	15,8	17,2	16,7	18,9		
159	24.05.2007	37,4	26,8	27,3	25,1	28,8		
160	25.05.2007	36,1	25,4	25,6	24,6	27,0		
161	26.05.2007	24,1			16,8	18,2		
162	27.05.2007	15,2	11,8	12,1	10,4	11,3		
163	28.05.2007	11,1			5,9	7,1		
164	29.05.2007	14,3			12,0	12,0		
165	30.05.2007	12,3	9,7	9,9	8,5	9,8		
166	31.05.2007	12,9	8,7	9,2	8,9	10,0		
167	01.06.2007	26,5	19,0	20,1	19,2	21,6		
168	02.06.2007	18,3			13,0	14,0		
169	03.06.2007	17,2	16,5	17,0	13,3	14,5		
170	04.06.2007	27,9	13,1	13,5	13,3	14,3		
171	05.06.2007	15,6	13,0	12,4	13,1	13,6		
172	06.06.2007	18,0	15,4	16,7	14,7	16,4		
173	07.06.2007	28,6			22,5	23,8		
174	08.06.2007	38,6			25,1	25,6		
175	09.06.2007	33,1			19,4	20,9		
176	05.07.2007	9,7			10,2	10,4	Furulund, Sommer	
177	06.07.2007	9,5	5,6	5,6	8,0	8,2		
178	07.07.2007	7,9	2,2	2,1	5,0	6,7		
179	08.07.2007	8,7	2,4	3,2	4,8	6,6		
180	09.07.2007	8,0	3,0	3,9	6,6	6,6		

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 7 von 11

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich		0 bis 200		µg/m³				
Gerätetyp		SM200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
181	10.07.2007	9,7					Ausreisser SM200	Furulund, Sommer
182	11.07.2007	7,2	2,0	1,7	5,2	5,2		
183	12.07.2007	8,8					Stromausfall	
184	13.07.2007	13,2			8,4	8,8		
185	14.07.2007	12,7	4,9	4,7	11,2	8,8		
186	15.07.2007	8,5					NP/RP-Check	
187	16.07.2007	14,5					NP/RP-Check	
188	17.07.2007	14,3					NP/RP-Check	
189	18.07.2007	12,0	4,8	4,6	12,0	9,2		
190	19.07.2007	8,3	1,9	3,2	7,2	5,4		
191	20.07.2007	9,7	5,0	5,8	4,1	6,5		
192	21.07.2007	12,2					Ausreisser SM200	
193	22.07.2007	6,6					Beta Status 128 Ausfall 1236	
194	23.07.2007	8,7					Beta Status 128 Ausfall 1236	
195	24.07.2007	10,3	5,3	3,3	9,6	7,0		
196	25.07.2007	11,5	6,1	6,5	7,7	7,0		
197	26.07.2007	14,0	10,4	10,6	12,7	10,8		
198	27.07.2007	12,2	4,7	4,4	8,2	6,2		
199	28.07.2007	9,3			4,5	4,3		
200	29.07.2007	7,4			3,2	3,6		
201	30.07.2007	8,0	0,7	0,9	2,4	4,4		
202	31.07.2007	9,5	1,7	1,5	3,9	4,2		
203	01.08.2007	12,3	7,6	7,0	10,7	8,9		
204	02.08.2007	15,1			12,8	10,0		
205	03.08.2007	8,7	3,3	0,7	7,5	5,6	Ausreisser Referenz	
206	04.08.2007	16,7			17,1	16,4		
207	05.08.2007	15,4			12,8	11,9		
208	06.08.2007	15,3	9,6	11,3	12,7	11,4		
209	07.08.2007	16,2	9,5	8,5	12,3	11,7		
210	08.08.2007	14,6	8,9	9,2	11,8	10,5		

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 8 von 11**

Hersteller		OPSIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.		
Messbereich		0 bis 200		µg/m³					
Gerätetyp		SM200							
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237							
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort	
211	09.08.2007	17,1	10,2	12,2	12,6	11,5	Ausreisser Ref	Furulund, Sommer	
212	10.08.2007	26,5			19,2	17,4			
213	11.08.2007	17,2			13,2	13,2			
214	12.08.2007	13,4			13,8	11,0			
215	13.08.2007	8,6	7,8	8,6	11,1	9,0			
216	14.08.2007	15,9	10,9	11,3	11,5	11,1			
217	15.08.2007	11,5	7,4	7,4	10,1	11,4			
218	16.08.2007	8,4	4,6	5,4	5,8	5,5			
219	17.08.2007	6,4	2,5	2,9	3,7	3,8			
220	18.08.2007	10,4			6,7	6,5			
221	19.08.2007	13,1			10,8	9,2			
222	20.08.2007	13,4	9,0	9,8	12,2	10,8			
223	21.08.2007	15,9	12,0	12,6	13,2	14,2			
224	22.08.2007	18,4	15,3	15,7	16,1	18,7			
225	23.08.2007	21,8	19,8	20,1	20,1	22,4			
226	24.08.2007	10,9	7,4	8,0	8,3	9,4			
227	25.08.2007	7,4			4,0	4,6			
228	26.08.2007	8,4	2,6	3,3	3,6	3,1			
229	27.08.2007	4,5	1,3	2,0	2,5	2,2			
230	28.08.2007	1,7							NP/RP-Check NP/RP-Check NP/RP-Check
231	29.08.2007	7,3							
232	30.08.2007	6,4							
233	31.08.2007	9,1	2,1	1,4	5,2	5,9			
234	01.09.2007	5,5	3,0	2,8	2,3	3,4			
235	02.09.2007	2,0	2,2	1,7	4,4	3,6			
236	03.09.2007	7,5	0,6	1,3	0,9	2,5			
237	04.09.2007	9,2	0,7	0,7	0,2	1,4			
238	05.09.2007	7,4	4,1	3,3	3,5	3,7			
239	06.09.2007	8,3	2,7	3,4	3,5	4,2			
240	07.09.2007	5,5			3,0	3,6			

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 9 von 11

Hersteller		OP SIS AB				Schwebstaub PM2,5, Außenluft			
Messbereich		0 bis 200		µg/m <sup>3</sup>		Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.			
Gerätetyp		SM200							
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237							
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1236 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1237 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort	
241	08.09.2007	4,4			3,9	3,9		Furulund, Sommer	
242	09.09.2007	8,1			2,8	3,4			
243	24.12.2008	nicht erfasst			5,1	3,5		Furulund, Winter	
244	25.12.2008				4,8	3,8			
245	26.12.2008				9,6	8,6			
246	27.12.2008				8,2	7,7			
247	28.12.2008				6,5	5,5			
248	29.12.2008				11,9	11,2			
249	30.12.2008				33,3	31,8			
250	31.12.2008				32,7	32,0			
251	01.01.2009				12,9	11,4			
252	02.01.2009				4,9	4,8			
253	03.01.2009				2,8	2,4			
254	04.01.2009				3,6	3,0			
255	05.01.2009				11,5	11,7			
256	06.01.2009				4,6	4,2			
257	07.01.2009				6,1	5,5			
258	08.01.2009				10,0	9,4			
259	09.01.2009		7,1	6,3	8,5	8,6			
260	10.01.2009				23,7	22,0			
261	11.01.2009		26,2	26,5	28,5	27,7			
262	12.01.2009		18,3	18,2	21,7	20,4			
263	13.01.2009			9,4	13,0	11,9	Referenz 1 verworfen		
264	14.01.2009		4,9	4,9	7,5	6,8			
265	15.01.2009		3,0	4,0	5,5	5,3			
266	16.01.2009		5,1	3,3	4,3	4,0			
267	17.01.2009		28,3	27,0	30,1	28,7			
268	18.01.2009		18,0	17,2	21,1	20,1			
269	19.01.2009		9,5	9,4	11,5	10,8			
270	20.01.2009		12,7	11,6	13,6	12,3			

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 10 von 11**

Hersteller		OPSIS AB				Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.		
Messbereich		0 bis 200		µg/m <sup>3</sup>				
Gerätetyp		SM200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1236 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1237 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort
271	21.01.2009	nicht erfasst	12,1	11,5	14,5	14,1		Furulund, Winter
272	22.01.2009		17,3	17,1	21,1	20,7		
273	23.01.2009		16,1	16,3	21,3	20,9		
274	24.01.2009				11,3	10,2		
275	25.01.2009				8,2	6,9		
276	26.01.2009		6,7	7,1	8,6	8,4		
277	27.01.2009		7,5	7,0	7,2	6,8		
278	28.01.2009		14,5	12,5	15,3	17,0		
279	29.01.2009		19,2	18,3	20,9	20,4		
280	30.01.2009		6,0	6,2	7,4	4,2		
281	31.01.2009				6,3	5,7		
282	01.02.2009		5,6	6,3	8,6	7,8		
283	02.02.2009		12,0	11,6	13,7	13,2		
284	03.02.2009		20,9	21,1	25,4	23,9		
285	04.02.2009		35,0	36,2	38,9	39,0		
286	05.02.2009		35,0	35,2	39,2	38,8		
287	06.02.2009		27,7	26,5	30,2	29,0		
288	07.02.2009				17,2	15,7		
289	08.02.2009		4,0	5,7	4,6	4,1		
290	09.02.2009		17,7	18,2	20,9	19,9		
291	10.02.2009				13,1	12,3		
292	11.02.2009		5,5	5,9	6,9	6,4		
293	12.02.2009		6,4	6,4	7,7	7,1		
294	13.02.2009		6,9	7,3	8,1	8,0		
295	14.02.2009				10,1	10,4		
296	15.02.2009		13,8	14,7	16,7	16,4		
297	16.02.2009		3,5	2,9	5,2	3,8		
298	17.02.2009		7,5	7,5	7,5	7,0		
299	18.02.2009		11,0	12,1	12,3	11,8		
300	19.02.2009		8,3	8,0	9,6	8,6		

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 11 von 11**

Hersteller OPSIS AB							Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich 0 bis 200		µg/m³						
Gerätetyp SM200								
Serien-Nr. SN1236 & SN1237								
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
301	20.02.2009	nicht erfasst			11,6	10,3		Furulund, Winter
302	21.02.2009				13,8	13,0		
303	22.02.2009				7,4	6,9		
304	23.02.2009				16,6	15,5		
305	24.02.2009				12,8	12,0		
306	25.02.2009		8,2	8,3	9,1	9,0		
307	26.02.2009		3,5	4,4	5,4	5,4		
308	27.02.2009		4,4	4,2	4,7	4,0		
309	28.02.2009		5,4	4,9	6,5	5,0		
310	01.03.2009		16,2	16,6	17,7	16,5		
311	02.03.2009		15,5	15,4	18,4	16,2		
312	03.03.2009		19,8	20,1	21,8	20,5		
313	04.03.2009				40,4	37,6		
314	05.03.2009				29,4	27,6		
315	06.03.2009				18,3	16,2		
316	07.03.2009				18,5	16,7		
317	08.03.2009				11,6	11,1		
318	09.03.2009				11,0	10,9		

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 1 von 10**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
1	17.11.2006	Köln, Frankfurter Str.	11,2	1003	74,4	1,9	182	0,3
2	18.11.2006		8,3	1012	77,1	0,3	194	1,2
3	19.11.2006		6,0	1011	82,7	1,4	199	10,0
4	20.11.2006		9,9	1000	80,1	0,1	282	13,6
5	21.11.2006		7,1	992	76,4	0,4	218	2,4
6	22.11.2006		7,5	992	72,9	2,6	208	6,5
7	23.11.2006		10,2	989	80,7	1,6	203	11,2
8	24.11.2006		13,3	994	70,3	4,5	183	0,0
9	25.11.2006		15,3	1002	63,7	2,4	202	0,3
10	26.11.2006		12,1	1013	71,6	1,0	169	0,3
11	27.11.2006		12,2	1014	72,9	3,0	182	0,0
12	28.11.2006		10,1	1014	76,7	2,3	180	1,5
13	29.11.2006		6,9	1027	79,9	0,4	204	0,3
14	30.11.2006		7,3	1024	76,6	3,4	175	0,0
15	01.12.2006		8,9	1016	71,3	3,7	187	0,0
16	02.12.2006		10,1	1008	72,2	2,9	195	0,0
17	03.12.2006		11,0	997	66,9	3,0	215	4,7
18	04.12.2006		11,9	997	73,2	1,5	237	5,1
19	05.12.2006		13,9	994	66,1	2,6	230	1,8
20	06.12.2006		9,6	1002	65,4	1,3	212	0,0
21	07.12.2006		10,2	992	66,8	4,4	199	1,8
22	08.12.2006		10,0	989	70,6	3,2	233	4,7
23	09.12.2006		6,5	1010	76,0	1,0	275	0,3
24	10.12.2006		5,7	1021	70,1	1,4	198	0,0
25	11.12.2006		6,5	1012	78,8	2,9	235	19,2
26	12.12.2006		8,0	1017	71,0	1,2	264	5,0
27	13.12.2006		9,3	1020	73,3	0,7	228	0,0
28	14.12.2006		7,5	1021	72,7	0,6	189	0,0
29	15.12.2006		7,3	1017	63,1	1,7	188	0,0
30	16.12.2006		6,4	1016	78,2	1,2	259	4,8

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 2 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
31	17.12.2006	Köln, Frankfurter Str.	5,6	1020	76,8	0,8	251	0,3
32	18.12.2006		4,5	1025	80,5	0,0	245	0,3
33	19.12.2006		4,4	1030	71,9	0,0	119	0,0
34	20.12.2006		3,3	1032	84,6	0,0	168	0,0
35	21.12.2006		4,3	1035	82,1	0,0	99	0,3
36	22.12.2006		5,0	1035	72,8	0,5	137	0,0
37	23.12.2006		1,8	1034	81,1	0,1	112	0,0
38	24.12.2006		0,1	1031	86,2	0,0	160	0,0
39	25.12.2006		2,1	1030	78,8	1,6	183	0,0
40	26.12.2006		-0,2	1028	80,2	1,3	148	0,0
41	27.12.2006		0,5	1024	76,2	0,3	223	0,0
42	28.12.2006		3,4	1020	84,3	0,9	176	7,4
43	29.12.2006		5,0	1017	68,2	3,9	180	0,0
44	30.12.2006		9,4	1013	67,6	4,4	238	4,4
45	31.12.2006		10,5	1013	67,2	1,0	233	8,8
46	01.01.2007		6,2	1008	72,2	3,1	231	7,1
47	02.01.2007		6,2	1017	76,3	2,5	310	1,2
48	03.01.2007		8,0	1014	71,9	1,4	218	1,5
49	04.01.2007		8,8	1006	73,9	3,7	303	7,1
50	05.01.2007		10,0	1013	75,4	0,9	261	1,5
51	06.01.2007		10,0	1009	79,5	1,6	222	9,2
52	07.01.2007		8,5	1007	70,6	3,0	194	0,0
53	08.01.2007		11,6	999	72,2	2,3	220	1,2
54	09.01.2007		13,7	1008	64,7	2,3	257	0,0
55	10.01.2007		10,2	1010	65,3	3,2	258	3,0
56	11.01.2007		8,1	1007	63,7	3,8	272	15,9
57	12.01.2007		11,1	1016	69,9	3,6	289	0,0
58	13.01.2007		11,3	1015	69,7	2,6	259	0,6
59	14.01.2007		5,3	1024	70,1	1,2	237	0,0
60	15.01.2007		5,1	1018	68,7	1,5	186	0,0

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 3 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
61	16.01.2007	Köln, Frankf. Str.	7,7	1013	73,0	2,4	194	0,3
62	17.01.2007		Ausfall	1002	Ausfall	Ausfall	Ausfall	0,0
63	18.01.2007		Ausfall	992	Ausfall	Ausfall	Ausfall	3,8
64	19.01.2007		12,0	1010	67,7	2,5	253	0,0
65	20.01.2007		11,5	1005	65,9	3,6	289	3,2
66	21.01.2007		6,4	1007	66,0	4,4	256	7,4
67	22.01.2007		0,9	1013	66,3	1,0	141	0,9
68	23.01.2007		-1,7	1004	58,0	2,7	216	0,0
69	24.01.2007		-1,1	1008	64,7	2,0	191	0,0
70	25.01.2007		-4,0	1018	72,0	0,5	192	0,0
71	26.01.2007		1,8	1014	72,8	3,2	269	1,8
72	27.01.2007		4,9	1022	74,5	3,5	296	0,6
73	28.01.2007		6,3	1016	77,1	5,3	317	4,2
74	29.01.2007		7,9	1018	76,5	2,3	256	0,0
75	30.01.2007		8,3	1018	72,6	0,4	296	0,0
76	31.01.2007		7,6	1016	74,5	3,1	284	3,3
77	01.02.2007		8,3	1023	88,5	0,8	304	0,9
78	02.02.2007		7,8	1027	77,3	2,7	252	0,0
79	03.02.2007		5,6	1029	78,7	0,4	187	0,0
80	04.02.2007		4,3	1019	76,4	0,6	155	0,0
81	05.02.2007	3,1	1005	81,0	1,5	245	1,8	
82	06.02.2007	2,4	997	78,3	1,0	187	3,3	
83	07.02.2007	0,6	994	78,2	1,6	217	0,3	
84	08.02.2007	4,6	988	74,6	2,7	227	6,8	
85	09.02.2007	4,1	999	73,3	2,1	196	0,6	
86	10.02.2007	7,1	997	77,4	3,0	178	1,5	
87	11.02.2007	8,6	991	74,9	2,7	234	13,3	
88	12.02.2007	8,9	988	72,3	3,9	247	6,2	
89	13.02.2007	7,6	1002	72,0	3,4	234	1,5	
90	14.02.2007	6,4	1002	80,0	4,1	242	9,2	

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 4 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
91	15.02.2007	Köln, Frankf. Str.	6,4	1017	68,9	2,4	195	0,0
92	16.02.2007		8,3	1011	57,5	6,5	202	0,0
93	17.02.2007		6,7	1008	63,5	2,9	192	0,0
94	18.02.2007		5,3	1010	77,4	1,5	101	0,0
95	19.02.2007		5,2	1006	74,8	2,1	210	0,0
96	20.02.2007		8,0	1005	69,7	2,1	206	0,0
97	21.02.2007		7,9	1005	74,3	1,2	234	2,4
98	22.02.2007		9,2	1004	67,8	1,9	215	0,0
99	23.02.2007		11,1	999	67,9	3,7	210	0,3
100	24.02.2007		10,0	992	71,7	3,3	225	3,6
101	25.02.2007		7,9	993	74,7	3,6	231	10,1
102	26.02.2007		6,9	1006	74,2	4,6	171	0,9
103	27.02.2007		8,6	999	74,8	3,0	236	13,3
104	28.02.2007		10,1	989	69,1	4,0	214	10,3
105	31.03.2007	Köln, Parkplatz	13,1	1012	50,9	2,5	110	0,0
106	01.04.2007		13,2	1020	41,8	2,4	74	0,0
107	02.04.2007		14,2	1016	42,4	2,0	170	0,0
108	03.04.2007		6,9	1011	65,3	4,4	257	0,6
109	04.04.2007		7,0	1014	53,9	3,1	143	0,0
110	05.04.2007		9,0	1015	66,0	1,2	228	0,0
111	06.04.2007		12,8	1015	60,5	1,0	243	0,0
112	07.04.2007		7,5	1019	65,7	1,5	231	0,0
113	08.04.2007		10,0	1016	61,0	0,3	156	0,0
114	09.04.2007		12,3	1012	57,6	1,6	212	0,0
115	10.04.2007		12,7	1016	64,9	1,0	248	0,0
116	11.04.2007		13,2	1017	61,6	0,9	179	0,0
117	12.04.2007		17,5	1014	54,5	1,0	103	0,0
118	13.04.2007		19,5	1012	50,9	1,0	114	0,0
119	14.04.2007		21,7	1014	43,3	1,3	86	0,0
120	15.04.2007		20,1	1015	43,6	1,6	132	0,0

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 5 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
121	16.04.2007	Köln, Parkplatz	21,1	1013	44,2	1,0	208	0,0
122	17.04.2007		13,3	1015	64,5	1,3	262	0,0
123	18.04.2007		9,1	1017	60,0	0,8	179	0,0
124	19.04.2007		13,2	1012	54,0	1,0	269	0,0
125	20.04.2007		9,1	1016	52,4	1,4	134	0,0
126	21.04.2007		11,8	1015	46,6	0,9	151	0,0
127	22.04.2007		16,0	1014	49,1	0,9	143	0,0
128	23.04.2007		19,6	1013	48,5	0,6	221	0,0
129	24.04.2007		20,4	1011	51,5	0,4	119	0,0
130	25.04.2007		21,1	1009	50,4	1,6	102	0,0
131	26.04.2007		19,7	1011	46,8	1,5	113	0,0
132	27.04.2007		20,5	1013	49,4	0,3	130	0,0
133	28.04.2007		21,7	1012	44,3	0,2	199	0,0
134	29.04.2007		18,6	1010	41,8	1,5	71	0,0
135	30.04.2007		15,4	1009	38,5	2,3	92	0,0
136	01.05.2007		15,9	1008	34,9	3,2	72	0,0
137	02.05.2007		15,2	1007	39,0	2,2	67	0,0
138	03.05.2007		16,9	1005	41,6	0,9	99	0,0
139	04.05.2007		19,2	1002	38,8	1,7	181	0,0
140	05.05.2007		17,7	1007	46,1	1,7	284	0,0
141	06.05.2007		16,8	1009	54,2	1,1	253	0,0
142	07.05.2007		14,2	1003	75,4	2,2	244	11,5
143	08.05.2007		13,8	1005	65,1	2,6	247	0,3
144	09.05.2007		12,7	1007	80,5	0,1	205	10,4
145	10.05.2007		17,3	999	62,2	0,7	210	0,3
146	11.05.2007		13,6	999	64,5	2,4	185	3,6
147	12.05.2007		15,5	1003	63,2	1,5	192	0,3
148	13.05.2007		17,4	999	65,8	3,1	130	2,4
149	14.05.2007		15,1	1001	65,0	1,4	206	17,4
150	15.05.2007		12,9	1008	63,6	1,2	199	3,3

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 6 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
151	16.05.2007	Köln. Parkplatz	11,4	1003	74,0	1,7	202	13,0
152	17.05.2007		10,7	1008	73,5	0,5	187	0,3
153	18.05.2007		17,7	1007	67,8	2,8	136	4,4
154	19.05.2007		16,5	1008	67,5	0,2	255	0,0
155	20.05.2007		20,8	1006	65,4	0,2	124	0,3
156	21.05.2007		20,5	1009	71,4	0,3	245	0,0
157	22.05.2007		19,7	1013	72,3	0,8	251	4,1
158	23.05.2007		19,2	1013	64,4	0,5	191	0,0
159	24.05.2007		23,0	1005	64,6	0,2	173	0,0
160	25.05.2007		21,2	999	70,0	0,6	213	11,2
161	26.05.2007		17,7	994	75,8	1,3	201	10,9
162	27.05.2007		15,0	991	73,3	0,5	157	4,4
163	28.05.2007		11,6	994	79,7	0,5	262	10,1
164	29.05.2007		10,0	1002	70,5	2,4	224	0,9
165	30.05.2007		15,9	1005	55,8	2,2	122	3,0
166	31.05.2007		14,0	1005	77,2	1,0	79	3,6
167	01.06.2007		16,9	1011	68,6	0,4	234	0,0
168	02.06.2007	20,1	1015	60,3	0,8	175	0,0	
169	03.06.2007	18,6	1014	70,7	0,6	201	0,0	
170	04.06.2007	20,0	1013	65,1	0,8	147	0,0	
171	05.06.2007	20,4	1011	63,5	1,0	199	0,0	
172	06.06.2007	22,3	1008	61,7	1,3	170	0,0	
173	07.06.2007	24,4	1007	62,8	0,8	169	0,0	
174	08.06.2007	24,4	1009	62,2	1,8	185	0,0	
175	09.06.2007	19,6	1010	74,1	0,9	260	0,9	
176	05.07.2007	Furulund, Sommer	14,7	996	89,5	1,6	209	57,2
177	06.07.2007		15,2	997	83,1	1,5	242	5,9
178	07.07.2007		15,7	1004	73,7	5,0	265	0,0
179	08.07.2007		15,6	1007	68,7	3,5	237	0,0
180	09.07.2007		15,7	1005	67,9	1,2	217	0,0

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 7 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
181	10.07.2007	Furulund, Sommer	14,2	1004	74,7	2,3	206	5,3
182	11.07.2007		14,1	1001	83,2	2,7	226	8,6
183	12.07.2007		15,2	1006	74,2	2,4	235	0,0
184	13.07.2007		17,0	1010	76,8	0,6	183	0,6
185	14.07.2007		19,6	1011	70,7	3,6	236	0,3
186	15.07.2007		19,7	1013	69,3	1,4	114	13,0
187	16.07.2007		22,2	1009	65,4	2,8	59	0,0
188	17.07.2007		19,2	1013	70,7	4,1	227	0,0
189	18.07.2007		18,6	1013	66,9	4,5	225	0,0
190	19.07.2007		18,8	1016	61,0	Ausfall	229	0,0
191	20.07.2007		16,5	1014	78,0	Ausfall	83	4,1
192	21.07.2007		16,5	1011	78,4	1,5	83	0,3
193	22.07.2007		14,1	1001	83,7	2,4	194	44,3
194	23.07.2007		14,8	999	78,8	1,4	115	1,8
195	24.07.2007		15,9	996	82,6	2,3	139	9,2
196	25.07.2007		17,3	1006	72,1	3,8	230	0,0
197	26.07.2007		17,4	1003	80,3	2,8	186	21,0
198	27.07.2007		16,2	1004	75,3	5,0	226	10,6
199	28.07.2007		15,2	1003	75,3	4,1	227	8,9
200	29.07.2007		13,4	1000	77,0	2,4	215	6,2
201	30.07.2007		16,4	1001	71,2	4,6	260	1,8
202	31.07.2007		Ausfall	1009	Ausfall	Ausfall	Ausfall	0,0
203	01.08.2007		16,7	1011	70,9	1,4	163	0,0
204	02.08.2007		16,4	1008	76,3	1,1	125	5,1
205	03.08.2007		15,4	1017	70,2	1,1	207	0,0
206	04.08.2007		17,8	1019	71,3	1,3	186	0,0
207	05.08.2007		21,8	1016	61,3	1,6	141	0,0
208	06.08.2007		20,6	1013	65,6	0,6	97	0,0
209	07.08.2007		19,1	1011	71,6	0,3	32	0,0
210	08.08.2007		21,0	1011	76,4	1,4	80	0,0

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 8 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
211	09.08.2007	Furulund, Sommer	21,9	1010	76,0	0,1	86	0,9
212	10.08.2007		21,5	1007	76,7	0,0	97	0,0
213	11.08.2007		19,3	1005	83,4	0,1	137	0,0
214	12.08.2007		17,2	1005	77,6	0,7	137	0,0
215	13.08.2007		19,4	1009	65,9	1,4	217	0,0
216	14.08.2007		18,6	1004	77,7	3,1	143	4,7
217	15.08.2007		18,7	998	82,3	2,8	181	5,0
218	16.08.2007		16,5	1005	75,2	5,5	202	3,9
219	17.08.2007		18,8	1011	65,0	6,5	225	0,0
220	18.08.2007		15,0	1014	78,7	1,6	111	0,0
221	19.08.2007		17,6	1009	77,1	2,2	42	0,0
222	20.08.2007		18,8	1007	80,4	3,5	70	2,1
223	21.08.2007		19,9	1008	79,9	3,2	65	0,6
224	22.08.2007		20,5	1011	78,2	1,3	58	0,9
225	23.08.2007		19,0	1014	84,1	1,1	208	0,0
226	24.08.2007		18,0	1018	76,9	2,8	217	0,0
227	25.08.2007		17,6	1016	78,3	3,4	219	1,5
228	26.08.2007		15,2	1014	67,2	4,7	218	5,6
229	27.08.2007		12,8	1010	70,9	2,5	227	3,8
230	28.08.2007		15,5	1012	56,4	2,8	241	0,0
231	29.08.2007		12,3	1010	75,5	2,6	208	1,5
232	30.08.2007		10,9	1007	82,5	2,1	176	1,8
233	31.08.2007		13,4	1006	82,5	2,2	205	3,3
234	01.09.2007		15,6	1009	77,0	5,7	203	0,0
235	02.09.2007		14,1	1001	81,9	3,6	206	8,0
236	03.09.2007		11,3	1005	68,6	1,8	228	2,1
237	04.09.2007		9,2	1018	73,6	0,8	187	0,0
238	05.09.2007		13,3	1020	84,4	0,1	200	0,3
239	06.09.2007		9,1	1018	86,0	0,0	40	1,2
240	07.09.2007		14,2	1014	82,8	1,6	207	0,0

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 9 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]	
241	08.09.2007	Furulund, Sommer	13,6	1007	71,6	2,3	179	0,3	
242	09.09.2007	Furulund, Sommer	13,4	1004	77,3	2,7	206	16,2	
243	24.12.2008	Furulund, Winter	keine Wettermessung					nicht erfasst	
244	25.12.2008	Furulund, Winter							
245	26.12.2008	Furulund, Winter							
246	27.12.2008	Furulund, Winter							
247	28.12.2008	Furulund, Winter							
248	29.12.2008	Furulund, Winter							
249	30.12.2008	Furulund, Winter							
250	31.12.2008	Furulund, Winter							
251	01.01.2009		1,2	1027	92,2	0,4	206		
252	02.01.2009		2,0	1012	90,2	0,5	287		
253	03.01.2009		-3,6	1014	95,0	0,9	188		
254	04.01.2009		-2,8	1025	87,0	1,1	56		
255	05.01.2009		0,2	1019	88,4	0,5	169		
256	06.01.2009		1,5	1010	90,1	1,0	266		
257	07.01.2009		0,5	1023	87,1	0,7	222		
258	08.01.2009		4,5	1021	96,5	0,7	248		
259	09.01.2009		3,8	1028	100,0	0,3	262		
260	10.01.2009		0,7	1022	96,3	1,8	194		
261	11.01.2009		3,6	1013	79,4	3,3	194		
262	12.01.2009		3,4	1007	88,5	3,0	194		
263	13.01.2009		3,7	1010	100,0	1,3	194		
264	14.01.2009		2,7	1020	100,0	0,4	197		
265	15.01.2009		-0,7	1029	95,8	0,6	147		
266	16.01.2009		0,3	1021	86,3	2,1	137		
267	17.01.2009		1,7	1003	92,8	3,1	148		
268	18.01.2009		2,6	997	100,3	2,5	176		
269	19.01.2009		4,5	993	99,4	3,4	165		
270	20.01.2009		2,2	1008	99,1	1,6	171		

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 10 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
271	21.01.2009	Furulund, Winter	1,7	1004	99,5	0,8	151	nicht erfasst
272	22.01.2009		0,4	986	99,7	3,9	158	
273	23.01.2009		2,3	978	99,0	2,9	139	
274	24.01.2009		3,2	999	99,8	0,8	191	
275	25.01.2009		3,2	1009	95,2	0,4	155	
276	26.01.2009		2,6	1016	91,7	0,4	210	
277	27.01.2009		2,9	1021	85,8	0,5	157	
278	28.01.2009		1,0	1027	88,3	0,3	177	
279	29.01.2009		1,9	1030	91,8	0,3	234	
280	30.01.2009		2,0	1029	91,7	0,7	118	
281	31.01.2009		-1,4	1027	81,1	1,4	72	
282	01.02.2009		1,6	1021	88,9	1,6	81	
283	02.02.2009		1,5	1009	88,7	2,6	111	
284	03.02.2009		-0,1	999	95,0	2,3	133	
285	04.02.2009		1,5	998	99,9	1,5	154	
286	05.02.2009		3,3	993	100,0	1,6	160	
287	06.02.2009		3,3	990	100,0	1,2	137	
288	07.02.2009		3,5	992	100,0	0,4	188	
289	08.02.2009		1,7	1004	94,2	0,6	208	
290	09.02.2009		2,6	993	94,2	1,9	157	
291	10.02.2009		0,9	1002	95,2	2,1	159	
292	11.02.2009		0,0	1009	97,0	1,5	329	
293	12.02.2009		1,0	1015	89,6	0,9	224	
294	13.02.2009		1,8	1022	89,6	0,9	209	
295	14.02.2009		3,1	1020	90,6	0,6	222	
296	15.02.2009		1,1	1018	91,8	0,5	121	
297	16.02.2009		0,1	1024	90,5	0,9	70	
298	17.02.2009		-1,5	1027	81,6	0,8	132	
299	18.02.2009		-2,8	1021	92,1	0,6	132	
300	19.02.2009		0,5	1023	94,3	0,6	105	

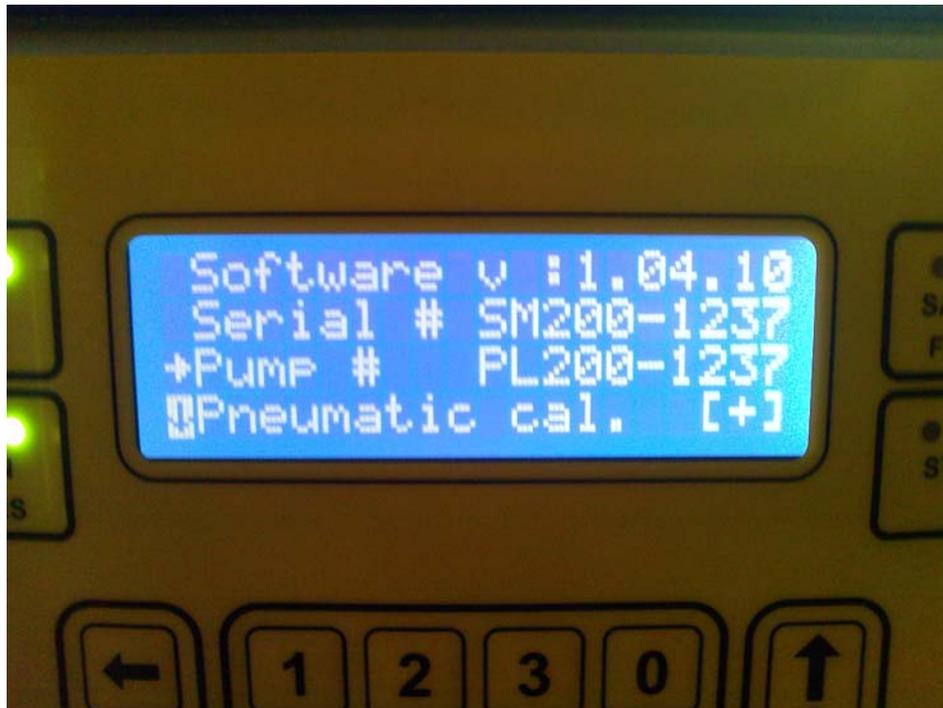
**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 11 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
301	20.02.2009	Furulund, Winter	1,7	1027	94,4	0,7	151	nicht erfasst
302	21.02.2009		5,0	1018	95,7	2,0	189	
303	22.02.2009		2,4	1003	98,7	0,9	310	
304	23.02.2009		4,0	1016	82,8	1,2	151	
305	24.02.2009		7,3	1020	90,9	0,9	221	
306	25.02.2009		4,5	1010	99,1	0,8	218	
307	26.02.2009		4,6	1002	98,4	0,8	285	
308	27.02.2009		3,2	1011	90,9	0,5	262	
309	28.02.2009		3,6	1015	86,6	1,4	135	
310	01.03.2009		2,6	1012	87,3	2,4	138	
311	02.03.2009		5,1	1010	98,1	0,9	213	
312	03.03.2009		6,2	1007	90,2	2,8	166	
313	04.03.2009		4,8	997	94,7	2,5	116	
314	05.03.2009		3,7	996	94,0	2,3	90	
315	06.03.2009		4,5	1002	94,9	1,2	85	
316	07.03.2009		3,1	1005	94,0	1,3	174	
317	08.03.2009		3,9	997	100,0	1,4	178	
318	09.03.2009		6,5	1001	97,2	1,1	185	

**Anlage 7:        Softwareversion**



## **Anhang 2**

### **Handbuch**



## **SM200-Serie**

**Schwebstaub-Immissionsmessgerät  
Staubprobenehmer  
Stabilitätsüberwachungssystem**

## **Bedienerhandbuch**

**gültig für Geräte ab Seriennummer #1000**



---

## C Urheberrechtshinweis

© Opsis AB. Alle Rechte vorbehalten. Dieses Handbuch und die darin beschriebene Software sind insgesamt urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere des Nachdrucks, der Funksendung, Weitergabe bzw. Übersetzung sowie der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben - auch bei nur auszugsweiser Verwendung - vorbehalten. Opsis AB gestattet dem Käufer die Herstellung einer einzigen Softwarekopie zum Zwecke der Datensicherung. Änderungen der in diesem Dokument enthaltenen Informationen bleiben vorbehalten.

## Warenzeichen

OP SIS ist ein Warenzeichen der Fa. Opsis AB, Schweden. Sonstige Marken und Produkt-bezeichnungen stellen Handelsmarken bzw. eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Unternehmen dar. Die in den Beispielen verwendeten Firmen, Namen und Daten sind - sofern nicht ausdrücklich anders vermerkt - fiktiv.

## Beschränkte Software-Garantie

Die Gewährleistungsbedingungen für diese Software sind in dem Kaufvertrag zwischen Käufer und Verkäufer geregelt. Voraussetzung jeder Gewährleistung ist jedoch, dass die Installation, Bedienung und Wartung der Software entsprechend den Vorgaben und Anweisungen der Opsis AB (wie u.a. in diesem Handbuch enthalten) erfolgt. Die Gewährleistung beschränkt sich auf den Ersatz defekter Disketten bzw. Dokumentation aus dem Lieferumfang der Opsis AB. Opsis AB und deren Zulieferer haften in keinem Fall für Gewinneinbußen oder sonstige kaufmännische Nachteile wie z.B. direkte oder indirekte Schäden bzw. Sonder-, Neben- oder Eventualschäden, die sich aus Software- oder Dokumentationsmängeln ergeben - auch nicht für Schäden infolge Datenverlust, Anlagenausfall, Fasonwerteinbuße bzw. Beschädigung oder Ersatz von Geräten oder Sachen.



## Kontakt Daten

Anschrift	Opsis AB Box 244 SE-244 02 Furulund, Schweden
Fernruf	+46 46 72 25 00
Telefax	+46 46 72 25 01
Website	<a href="http://www.opsis.se">http://www.opsis.se</a>
E-Mail	<a href="mailto:info@opsis.se">info@opsis.se</a>

---

May 19, 2004



### **Declaration of Conformity**

Opsis AB declares that the product SM200 conform to the following EEC Directives:

- 73/23/EEC regarding low voltage electrical material
- 89/336/EEC regarding Electromagnetic Compatibility
- 93/68/EEC regarding the CE marking

and that the below harmonised standard specifications have been applied:

### **Safety**

EN 61010-1:2001, Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use

### **Electromagnetic Compatibility**

Emission: EN 55011:1998

Immunity: EN 50082-1:1997

Svante Wallin, President

Opsis AB  
Box 244  
SE-244 02 Furulund, Sweden  
Telephone +46 46 72 25 00  
Fax +46 46 72 25 01  
Web-site <http://www.opsis.se>  
E-mail [info@opsis.se](mailto:info@opsis.se)

---



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	1
1.1	Hauptfunktionen .....	1
1.2	Ausführungen .....	2
1.3	Probenahmeköpfe .....	2
1.4	Filter .....	3
1.5	Technische Daten .....	3
1.6	Allgemeine Sicherheitshinweise .....	6
<b>2</b>	<b>Hardware-Beschreibung</b> .....	7
2.1	Probennahme- und Messmodul .....	7
2.1.1	Mechanik .....	8
2.1.2	Pneumatik .....	9
2.1.3	Messsystem .....	10
2.1.4	Elektronik und Mikroprozessoren .....	11
2.2	Probenahmeköpfe und Ansaugleitungen .....	11
2.3	Temperaturstabilisator .....	12
2.4	Filterträger und Filtermagazine .....	14
2.5	Pumpenmodul .....	15
2.6	Funktionsprinzip .....	15
2.6.1	Staubsammler und normales Schwebstaubmessgerät .....	16
2.6.2	Stabilitätsüberwachung .....	19
2.6.3	Kombigerät .....	20
2.6.4	Zykluszeit .....	20
2.7	Analogausgang .....	21
2.8	Serielle Kommunikation .....	21
<b>3</b>	<b>Qualitätssicherung und Qualitätslenkung</b> .....	23
3.1	Übersicht über die QS/QL-Funktionen .....	23
3.2	Probenahmesystem .....	24
3.2.1	Detaillierter Aufbau des Probenahme-systems .....	25
3.2.2	Lufttemperatur .....	26
3.2.3	Filter-Differenzdruck .....	26
3.2.4	Relative Standardabweichung des Durchflusses .....	27
3.2.5	Überprüfung der Durchflusskalibrie-rung .....	27
3.2.6	Dichtheitsprüfung .....	28
3.3	Betastrahlungs-Absorptionsmesskreis .....	28
3.3.1	Detaillierter Aufbau des Absorp-tions-messsystems .....	29
3.3.2	Messbereichsprüfung des Absorp-tions-messsystems .....	31
3.3.3	Hochspannungsversorgung des Geiger-Müller-Zählrohrs .....	31
3.3.4	Stabilität des Geiger-Müller-Zählrohrs .....	31
3.3.5	Dunkelzählwert .....	32
3.3.6	Kompensation der natürlichen Strahlung .....	32
3.3.7	Luftdichtekorrektur .....	32
3.4	Kontrolle des Geräteansprechver-haltens .....	33

---

---

<b>4</b>	<b>Montage</b> .....	35
4.1	Checkliste zum Lieferumfang .....	35
4.2	Vorbereitung des Montageorts .....	36
4.3	Entnahme aus der Verpackung .....	37
4.4	Probenahme- und Pumpenmodule .....	38
4.5	Montage der Betastrahlungsquelle .....	39
4.6	Probenahmekopf und Ansaugleitung .....	43
4.6.1	Montage mit Temperaturstabilisator TS200 .....	43
4.6.2	Montage ohne Temperaturstabilisator TS200 .....	44
4.7	Filterträger und Filtermagazine .....	44
4.8	Inbetriebnahme .....	47
<b>5</b>	<b>Betrieb</b> .....	49
5.1	Bedieneroberfläche .....	49
5.2	Status-Signale .....	50
5.3	Inbetriebnahme .....	50
5.4	Übersicht über das Menüsystem .....	52
5.5	Das Menü "Messen" (Measure) .....	52
5.5.1	Messbetriebsart (Meas mode) .....	53
5.5.2	Pneumatik-Informationen (Pneu) .....	53
5.5.3	Geigerzähler-Informationen (Geiger) .....	53
5.5.4	Start einer neuen Messung .....	53
5.5.5	Abbruch einer Messung .....	54
5.5.6	Anhalten einer Messung .....	54
5.5.7	Fortsetzung der Messung .....	54
5.5.8	Die Menüs "Pneumatikdaten" und "Geigerzählerdaten" .....	54
5.6	Das Menü "Definitionen" .....	55
5.6.1	Änderung von Uhrzeit und Datum (Date, Time) .....	56
5.6.2	Betriebsart (Mode) .....	56
5.6.3	Zeitsynchronisation (Sync [hh:mm]) .....	56
5.6.4	NTP-Korrektur (NTP correction) .....	57
5.6.5	Probenahme (Sampling) .....	57
5.6.6	Zeitsteuerung (Timing) .....	58
5.6.7	Eigenprüfung (Auto tests) .....	58
5.6.8	Einrichten des Differenzdruck-Kalbrierfaktors (Pressure drop setup) .....	59
5.6.9	Kommunikation (Communication) .....	59
5.6.10	Das Menü "Analog-Ausgang" (Analog output) .....	60
5.7	Das Menü "Wartung" (Service) .....	60
5.7.1	Filter auswerfen (Eject filters) .....	61
5.7.2	Pneumatiktest (Pneumatic test) .....	61
5.7.2.1	Messbereichsprüfung (Span test) .....	62
5.7.2.2	Dichtheitsprüfung (Leak test) .....	62
5.7.2.3	Start eines neuen Pneumatiktests .....	63
5.7.3	Absorptionsmesskreis-Test (Beta test) .....	63
5.7.3.1	Start eines neuen Absorptionsmesskreis-Tests .....	64
5.7.4	Handsteuerung (Manual control) .....	64
5.7.4.1	Pumpensteuerung (Pump control) .....	65
5.7.4.2	Ventilfunktion (Valve mode) .....	65
5.7.4.3	Durchflussregler (Flow reg.) .....	65
5.7.4.4	Aktive Durchflussregelung (Active flow reg.) .....	65

---

---

5.7.4.5	Karussellsperre (Carousel lock) .....	65
5.7.4.6	Karussellstellung (Carousel pos) .....	65
5.7.4.7	Filter auswerfen (Eject filter) .....	65
5.7.4.8	Magazin entleeren (Unload container) .....	65
5.7.4.9	Filter einlegen (Load filter) .....	66
5.7.4.10	Lufteinlass (Air inlet) .....	66
5.7.4.11	Abschirmung der Strahlungsquelle (Beta shield) .....	66
5.7.5	Analogensensoren (Analog sensors) .....	66
5.7.6	Digitalsensoren (Digital sensors) .....	67
5.7.7	Platinenstatus (Card status) .....	67
5.8	Das Menü "Daten" (Data) .....	68
5.8.1	Menüs "Pneumatikdaten" und "Geigerzähler-daten" (Pneumatic data, Geiger data)	69
5.8.2	Das Menü "Filter-Differenzdruck" (Filter P.drop) .....	70
5.9	Kurzleitfaden zur Inbetriebnahme .....	70
<b>6</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b> .....	<b>73</b>
6.1	Übersicht .....	73
6.2	Überwachung des Gerätezustands .....	74
6.3	Filterwechsel .....	75
6.4	Absorptionsmesskreis- und Pneumatiktest .....	75
6.5	Prüfung und Reinigung .....	76
6.6	Gerätetest .....	76
6.6.1	Pneumatik .....	76
6.6.2	Betastrahlen-Absorptionsmesskreis .....	77
6.6.3	Sensor-Messwerte .....	77
6.6.4	Einzug und Ablage der Filter .....	77
6.7	Wechsel des Filters am Feuchtigkeitsabscheider der Pumpe .....	77
6.8	Wechsel der Pumpenmembranen .....	78
6.9	Verbrauchsmaterial .....	81
<b>7</b>	<b>Störungsbehebung</b> .....	<b>83</b>
7.1	Beschränkungen und Warnhinweise .....	83
7.2	Störungsbeistand .....	85
7.3	Inanspruchnahme des Kundendienstes .....	86
<b>A</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>87</b>
A.1	Pufferspeicher-Inhalt .....	87
A.2	Pufferspeicher-Statuscodes .....	89

---

---

---

Im vorliegenden Kapitel werden die Funktionsgrundlagen des Staubmess-, Staubsammel- und Stabilitätsüberwachungssystems SM200 im Überblick erläutert. Detaillierte Beschreibungen finden sich in den folgenden Kapiteln.

Sämtliche Messgeräte der Baureihe SM200 basieren auf denselben Überwachungsgrundlagen und Hauptkomponenten. Umgebungsluft wird von einer Pumpe in einen Probenahmekopf gesaugt und auf einem Filter abgeschieden. Bei den Ausführungen zur Staubmassen- und Luftstabilitätsüberwachung wird der Filterinhalt mit Hilfe einer Betastrahlungsquelle und eines Geiger-Müller-Zählrohrs ausgewertet. Die analysierten Filter werden archiviert und bleiben so für spätere Zusatzauswertungen verfügbar.

Die Messwerte werden im Gerät gespeichert und können an einen externen Rechner übertragen oder einfach auf dem Display abgerufen werden.

## 1.1 Hauptfunktionen

Jedes Gerät der Baureihe SM200 stellt ein modernes und leistungsfähiges System zur Erfassung und Messung von Schwebstaubkonzentrationen dar. Die Abscheidung der gesammelten Partikel erfolgt auf Standard-Membranfiltern (47 mm). Eine anschließende Untersuchung der Proben mittels weitergehender quantitativer bzw. qualitativer Analyseverfahren ist somit problemlos möglich. Neben Ausführungen zur reinen Probenahme bzw. Stabilitätsüberwachung sind auch Geräte zur selbsttätigen Staubmassenbestimmung mittels integriertem Betastrahlungs-Analysesystem lieferbar.

Umfassende Qualitätssicherungsfunktionen – automatisiert bzw. bedieneraktiviert – gewährleisten die Bereitstellung geprüfter, zuverlässiger Daten.

Zu erwähnen sind insbesondere folgende Leistungs- und Ausstattungsmerkmale:

- Automatisches System zur sequentiellen Erfassung und Massenbestimmung von Schwebstaub-Immissionen
- Verwendung von Standardfiltern (47 mm), abgelegt in herausnehmbaren externen Filtermagazinen bei Raumtemperatur. Die Beschickung mit neuen Filtern sowie die Entnahme benutzter Filter ist ohne Unterbrechung des Gerätebetriebs möglich.
- Beprobung bei Raumtemperatur.
- Sofortige Verfügbarkeit der Proben zur chemischen Analyse und manuellen gravimetrischen Massenbestimmung.

- Kompletter Satz Qualitätssicherungsparameter für alle Schritte des Probenahme- und Massenbestimmungsprozesses.

## 1.2 Ausführungen

Analysegeräte der Baureihe SM200 sind in folgenden Versionen lieferbar:

- **Staubsammler-Ausführung (reines Probenahme-Gerät)**  
Der erfasste Schwebstaub wird auf Membranfiltern abgeschieden. Die Filter werden in speziellen Filtermagazinen aufbewahrt, die am Gerät befestigt sind. Eine Pumpe gewährleistet einen definierten Durchfluss durch das System. Da die Staubsammler-Version selbst keine Messungen vornimmt, sind diese Geräte auch nicht mit einer Beta-Strahlungsquelle ausgestattet.
- **Schwebstaub-Immissionsmessgerät**  
Dieses Gerät entspricht baulich der Staubsammler-Ausführung, ist jedoch zusätzlich mit einer integrierten Betastrahlungs-Quelle sowie einem Geiger-Müller-Zählrohr zur Messung der Schwebstaub-Massenkonzentration ausgestattet. Auch bei diesem Gerät werden die gebrauchten Filter für etwaige spätere Auswertungen in einem Magazin abgelegt.
- **Luftstabilität-Überwachungssystem**  
Dieses System ähnelt in seiner Funktion ebenfalls dem Staubsammler, misst jedoch zusätzlich die vom Filter ausgehende Emission natürlicher Strahlung mittels eines Geiger-Müller-Zählrohrs. Die so ermittelten Parameter liefern wichtige Informationen über die atmosphärische Stabilität. Zu diesem Thema liegt eine Reihe wissenschaftlicher Referate und Ausarbeitungen vor; nähere Informationen sind auf Wunsch von Opsi erhältlich. Das Stabilitätsüberwachungs-Modell verfügt nicht über eine eigene Betastrahlungsquelle.
- **Staubmess- und Stabilitätsüberwachungsmodell (“Kombigerät“)**  
Dieses Modell kombiniert die Schwebstaubimmissions- und Stabilitätsüberwachung, ist jedoch nur für mindestens 8-stündigen Probenahmezyklus lieferbar.

Das vorliegende Handbuch bezieht sich primär auf das reine Schwebstaub-Immissionsmessgerät, da dieses in der Praxis am häufigsten eingesetzt wird. Auf erwähnenswerte Besonderheiten der übrigen Modelle wird jedoch ebenfalls eingegangen.

## 1.3 Probenahmeköpfe

Unabhängig von der verwendeten SM200-Ausführung steht eine Reihe unterschiedlicher Probenahmeköpfe zur Verfügung. Diese sind in der Regel standardisiert, d.h. es ist je nach betrachtetem Schwebstaubkriterium der entsprechende Probenahmekopf zu verwenden. Das Opsi-Programm umfasst Probenahmeköpfe für folgende Analysezwecke:

- GESAMT-SCHWEBSTAUB (TSP)
- PM10

- PM2.5

Die Mechanik des Probenahmekopfes variiert je nach der zu erfassenden Schwebstaubfraktion. Auch unterschiedliche Ausführungen für denselben Standard sind lieferbar.

Nähere Informationen sind der Dokumentation zum jeweiligen Probenahmekopf zu entnehmen.

## 1.4 Filter

Das System SM200 ist für 47-mm-Rundfilter ausgelegt, wobei beliebiges Filtermaterial (Teflon, Zellulosenitrat, Zelluloseacetat, Kunststoff usw.) mit einer Filterfeinheit von 2 µm (Standard) verwendbar ist. Die Filter sind in Filterträgern fixiert. Der Filterbehälter kann bis zu 40 Filterträger aufnehmen und übernimmt die automatische Ablage der gebrauchten Filter sowie die Beschickung des Geräts mit frischem Filtermaterial.

## 1.5 Technische Daten

<b>Maße und Gewichte</b>	
Probenahmemodul	440 × 630 × 300 mm / 42 kg
Pumpenmodul	310 × 280 × 250 mm / 20 kg
Probenahmekopf	siehe separate technische Daten

<b>Spannungsversorgung</b>	
Netzspannung	230 VAC (+6 %, - 10 %), 50/60 Hz
Strom	3.5 A max.
Leistungsaufnahme	800 W

<b>Betriebsbedingungen</b>	
Temperatur	recommended: +5 to +35 °C (+41 to +95 °F) maximum rating: +5 to + 40 °C (+41 to +104 °F)
Feuchte	max. 80% relative Feuchte

<b>Durchfluss</b>	
Durchflussbereich	8-25 l/min Option: 8-40 l/min
Betriebsdurchfluss	16,67 l/min (je nach Probenahmekopf) Option: 38.3 l/min
Durchflusspräzision	1 % vom Anzeigewert
Durchflussgenauigkeit	2 % vom Anzeigewert
Durchfluss-Konstanz	0,5 % vom Anzeigewert

**Durchfluss**

Druckabfall max.	60.0 kPa bei 16.67 l/min
------------------	--------------------------

**Strahlungsquelle (Staubüberwachungs- und Kombinationsmodell)**

Material	<sup>14</sup> C-Polymethylmethacrylat
Strahlungstyp	β-Strahlung
Abmessungen	39 × 39 × 1 mm
Gesamtaktivität	9.9 MBq, 267 μCi Option: 99 μCi
Spezifische Aktivität	55.5 MBq/g, 1.5 mCi/g
<sup>14</sup> C-Halbwertszeit	5730 Jahre
Abstrahlungsenergie	0.156 MeV max. / 0.049 MeV max.

*Hinweis: Im normalen Betrieb ist ein Durchfluss von 16,67 l/min (1 m<sup>3</sup>/h) ausreichend, wenn die Aktivität der Strahlungsquelle 267 μCi beträgt. Bei einer Strahlung von 99 μCi sollte der Durchfluss in der Praxis 38,3 l/min (2,3 m<sup>3</sup>/h) betragen, um dieselbe Leistung zu erzielen.*

**Massenermittlungsdaten (Staubüberwachungs- und Kombinationsmodell)**

Massenmessbereich	0 to 60 mg
Präzision der Massenmessung	14 μg
Genauigkeit der Massenmessung (gravimetrisch bestimmt)	±1 % (Referenzmembran)
Präzision der Konzentrationsmessung	< 1 μg/m <sup>3</sup> (24-Std.-Erfassung)
Untere Nachweisgrenze	2.5 μg/m <sup>3</sup> (24-Std.-Erfassung)
Konzentrationsmengen-Nachweisgrenze	10 μg/m <sup>3</sup> (24-Std.-Erfassung)
Zykluszeit (pro Filter)	8 Std. - 100 Tage (Staubmess-/Kombigerät) 4 Std. - 100 Tage (Luftstabilitäts-Überwachungssystem)
Beta-Messzeit	120 min (Staubmessgerät, Kombigerät) 30 min (Luftstabilitäts-Überwachungssystem)

**Stabilitätsdaten (Stabilitätsüberwachungs- und Kombimodell)**

β*	β-Aktivität bedingt durch kurzlebige Zerfallsprodukte des Radons. Funktion der atmosphärischen Stabilität.
β1	Rest-β-Aktivität, Hintergrund- und langlebige Zerfallsprodukte des Radons. Dient der Qualitätssicherung.

### Stabilitätsdaten (Stabilitätsüberwachungs- und Kombimodell)

R	Regressionskoeffizient, Maß des Vertrauens in den ermittelten $\beta^*$ -Wert.
---	--

### Weitere Merkmale

Anzeige	LCD-Display, 4 × 20 ZeichenLCD-Display
Tastatur	Folientastatur, 16 keys
Datenspeicherung	> 100 Datensätze
Uhrzeit / Kalender	Kennzeichnung jedes Datensatzes
Serielle Schnittstelle	3 × RS232
Kommunikation	Datenübermittlung, Fernsteuerung
Analog-Ausgang	0-10 V oder 0-20 mA (user selectable, e.g. 0-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 0-4095 Zerfälle)
Status-Ausgang	Relais (geschlossen = Zustand "OK")

### Sicherungen – zugänglich für Bediener (am Spannungseingang)

Probenahmemodul	2 × 6,3 A / 250 V träge
Pumpenmodul	1 × 4 A / 250 V träge

### Interne Sicherungen – unzugänglich für Bediener

Hochspannungsmodul	1 × 3.15 A / 250 V träge
	1 × 1.6 A / 250 V träge
	1 × 500 mA / 250 V träge
	1 × 50 mA / 250 V träge

### Temperaturstabilisator, TS200

Aluminiumrohr	75 mm $\varnothing$ , Länge 1350 mm
Plastikrohr	50 mm $\varnothing$ , Länge 1500 mm
Belüftungsschlauch	50 mm $\varnothing$ , Länge 5 m
Ablaufschlauch	12 mm $\varnothing$ , Länge 2 m

## 1.6 Allgemeine Sicherheitshinweise

---



**Achtung:** Im Inneren des Geräts liegt Hochspannung an, wenn der Netzstecker eingesteckt ist. Vor Entfernung des Geräte- bzw. Pumpendeckels unbedingt Netzschalter auf AUS stellen und das Netzkabel abziehen.

**Achtung:** Um Schäden am Gerät zu vermeiden, darf dieses nur an der vorgeschriebenen Netzspannung betrieben werden.



**Achtung:** Das Gerät weist innen und außen bewegliche Teile auf. Die Filterträger während des Filterbeschickungs- bzw. -entnahmeprozesses nicht berühren!



**Achtung:** Geräte, die dieses Symbol tragen, enthalten eine radioaktive  $\beta$ -Strahlungsquelle. Das Gehäuse, das diese Strahlungsquelle umgibt, darf in keinem Fall demon- tiert werden!

---

Dieses Gerät wurde zur Sammlung von Luftproben, Messung der Schwebstaubkonzentra- tion und/oder Stabilitätsmessung entwickelt. Jede Verwendung zu anderen Zwecken ist bestimmungswidrig.

Im Interesse einer zuverlässigen und gefahrlosen Funktion sind die technischen Daten aus section 1.5 bei Betrieb und Wartung des Geräts unbedingt zu beachten. Der Betrieb des Geräts in explosionsgefährdeten Umgebungen (Ex) ist unzulässig. Die Wartungszeitpläne und/oder Hinweise des Gerätlieferanten sind einzuhalten.

# Hardware-Beschreibung 2

Das System SM200 besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- Probenahmemodul, siehe [Kapitel 2.1](#).
- Probenahmekopf mit Ansaugleitung, siehe [Kapitel 2.2](#).
- Temperaturstabilisator für Ansaugrohr, siehe [Kapitel 2.3](#).
- Filterträger und Filtermagazine, siehe [Kapitel 2.4](#).
- Pumpenmodul, siehe [Kapitel 2.5](#).

Das Probenahmemodul setzt sich wiederum aus folgenden Grundelementen zusammen:

Hardware	Staubsammler	Staubmess- und Stabilitätsüberwachungsgerät Kombinationsgerät	Luftstabilitäts-Überwachungsgerät
Mechanik	Ja, siehe <a href="#">Kapitel 2.1.1</a>		
Pneumatik	Ja, siehe <a href="#">Kapitel 2.1.2</a>		
Beta-Strahlungsquelle	Nein	Ja, siehe <a href="#">Kapitel 2.1.3</a>	Nein
Geiger-Müller-Zählrohr	Nein	Ja, siehe <a href="#">Kapitel 2.1.3</a>	
Elektronik	Ja, siehe <a href="#">Kapitel 2.1.4</a>		
Gebläseheizung	Nein	Ja	
Analogausgang	Nein	Ja, siehe <a href="#">Kapitel 2.7</a>	
Serielle Kommunikation	Ja, siehe <a href="#">Kapitel 2.8</a>		

Im folgenden Kapitel werden die vorstehenden Systeme – sowie eine Reihe nachgeordneter Funktionen – beschrieben. Zudem werden die Funktionsprinzipien der verschiedenen SM200-Ausführungen erläutert.

Hinweise zu Installation und Montage des Geräts sind [Kapitel 4, Montage](#) zu entnehmen.

## 2.1 Probennahme- und Messmodul

Das Probennahme- und Messmodul ([Abb. 2.1](#)) ist das Herz des SM200-Systems. Die Abbildung zeigt das Modul mit zwei Filtermagazinen (siehe [Kapitel 2.4](#)), jedoch ohne Probenahmekopf ([Kapitel 2.2](#)).



Abb. 2.1. Probennahme- und Messmodul.

Auf der Frontplatte des Probennahmemoduls befindet sich die Anwenderschnittstelle mit Display sowie die Bedienungstasten des Geräts. Eine detaillierte Beschreibung der Anwenderschnittstelle und des Menüsystems enthält [Kapitel 5, Betrieb](#).

Auf der Rückseite des Geräts finden sich folgende Anschlüsse:

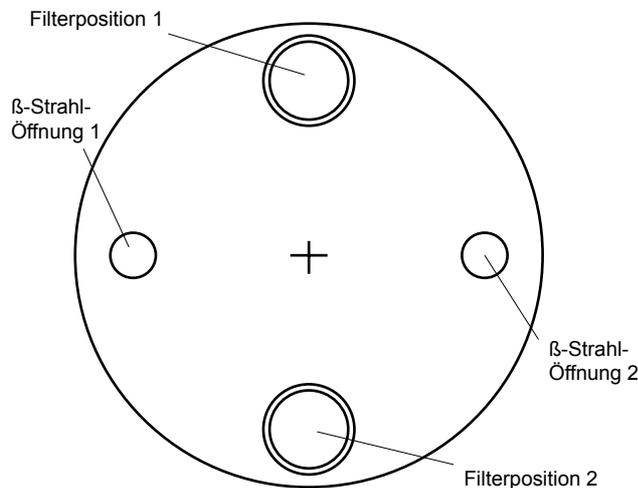
- Netzanschluss (mit unmittelbar danebenliegenden Gerätesicherungen)
- Spannungsversorgung für das Pumpenmodul ([Kapitel 2.5](#)).
- Zu- und Rückleitungen zum Pumpenmodul
- Anschluss für externen Temperatursensor
- Analog/digital Ausgang
- Serielle Kommunikationsschnittstelle (RS232)

Im Inneren des Probennahme- und Messmoduls sind die Mechanik für den Filtertransport, ein wesentlicher Teil des pneumatischen Systems, das eigentliche Messsystem (zur Ermittlung der Massenkonzentration und/oder atmosphärischen Stabilität) sowie die Elektronik und Mikroprozessoren für die Gerätesteuerung untergebracht. Diese Komponenten werden in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

### 2.1.1 Mechanik

Die innenliegende Mechanik des Probennahme- und Messmoduls basiert auf einem Drehteller, der auch als "Karussell" bezeichnet wird. Dieses Karussell ist für den Filtertransport

vom Reinformfilter-Magazin ([Kapitel 2.4](#)) zu den messtechnisch erforderlichen Probenahme- und Messpositionen sowie schließlich zur Ablage in das Gebrauchfilter-Magazin zuständig. Der Aufbau des Karussells ist in [Abb. 2.2](#) verdeutlicht.



*Abb. 2.2. Das Filterkarussell.*

Das Karussell weist vier verschiedene Positionen auf, je nachdem, ob ein Filter:

- auf das Karussell gelegt
- in Probenahme-Stellung gebracht
- in die Messposition bewegt oder
- aus dem Karussell entnommen werden soll.

Das Karussell kann jeweils zwei Filter zugleich aufnehmen. Während auf einem Filter die Staubprobe gesammelt wird, befindet sich der andere in Messposition. Beim Einlegen eines neuen Filters wird zugleich einer der beiden gebrauchten Filter extern abgelegt.

Das Karussell weist zudem zwei Öffnungen zur Kalibrierung der Betastrahlen-Quelle und des Geiger-Müller-Zählrohrs auf (siehe [Kapitel 2.1.3](#)).

Der Antrieb des Karussells erfolgt über einen hochpräzisen Schrittmotor. Ein Sperrmechanismus sorgt für die zuverlässige Fixierung des Karussells während des Probenahme- und Messvorgangs. Die aktuelle Position des Karussells wird durch optische Sensoren überwacht.

## 2.1.2 Pneumatik

Das pneumatische System ist in [Abb. 2.3](#) skizziert. Es umfasst folgende Hauptkomponenten:

- Probenahmekopf
- Filterkammer

- Pumpe
- Durchfluss-Messkammer

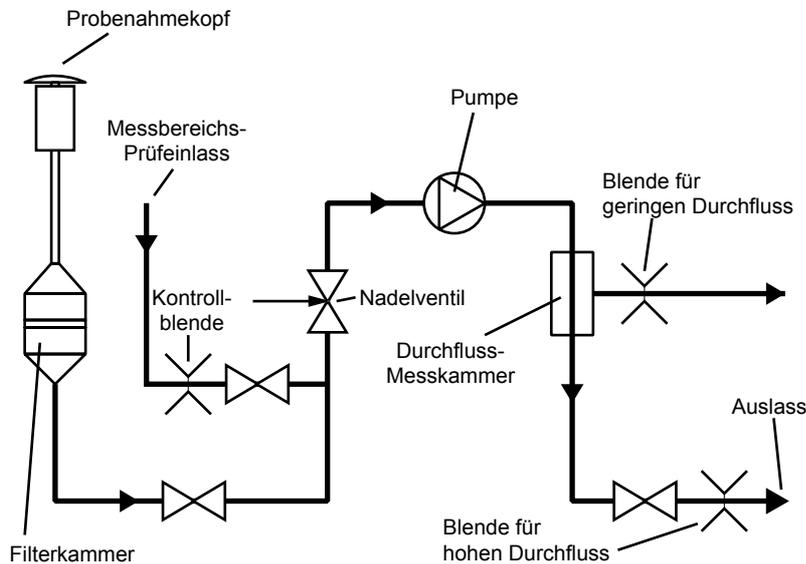


Abb. 2.3. Das pneumatische System.

Im normalen Betrieb tritt Luft am Probenahmekopf ein und durchströmt das in der Filterkammer befindliche Filter. Von hier aus gelangt die Luft zu dem Nadelventil, das der Regulierung des Luftdurchflusses dient, und schließlich zu der Pumpe (siehe [Kapitel 2.5](#)). Die Luft wird durch die Durchfluss-Messkammer gesaugt, passiert die Blende für hohen Durchfluss und tritt danach am Auslass aus.

Das Nadelventil zur Regulierung des Luftdurchflusses wird anhand des Druckabfalls an der Blende für hohen Durchfluss verstellt.

Die übrigen Ventile und Kalibrierblenden dienen zur Qualitätssicherungs-Kontrolle des Systems. Nähere Informationen zu diesem Thema enthält [Kapitel 3, Qualitätssicherung und Qualitätslenkung](#).

Die Filterkammer ist in zwei Hälften geteilt. Dies erlaubt das Einlegen je eines Filters in die Kammer durch das Karussell ([Kapitel 2.1.1](#)). Sobald das Filter in Position ist, wird die Kammer über einen Schrittmotor luftdicht geschlossen.

### 2.1.3 Messsystem

Das Messsystem wird in allen SM200-Modellen – mit Ausnahme des reinen Staubsammlers – in identischer Form verwendet. Der Aufbau dieses Systems ist in [Abb. 2.4](#) dargestellt. Ein Geiger-Müller-Zählrohr überwacht die Betastrahlung und meldet pro erfasstem Beta-Zerfall einen "Zähler". Die Betastrahlung wird von der  $\beta$ -Strahlungsquelle oder von der Probe selbst abgegeben. Zur Messung der Hintergrundstrahlung kann das Geiger-Müller-Zählrohr durch eine bewegliche Blende gegen die Strahlungsquelle abgeschirmt werden. Durch Drehung des Karussells lassen sich neue Filter zwischen Strahl-

ungsquelle und Detektor positionieren. Das Karussell weist zudem Kalibrierungsöffnungen zur Qualitätssicherung von Strahlungsquelle und Detektor auf (siehe Kapitel 2.1.1).

Hinweise über das Zusammenwirken von Karussell, Pneumatik und Messsystem bei den verschiedenen SM200-Modellen enthält Kapitel 2.6. Eine detaillierte Darstellung der Qualitätssicherungsfunktionen für das Messsystem ist Kapitel 3, *Qualitätssicherung und Qualitätslenkung* zu entnehmen.

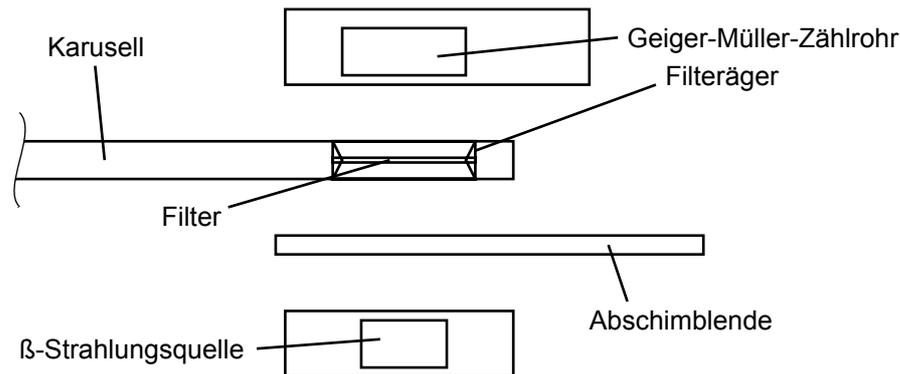


Abb. 2.4. Das Messsystem.

Die reine Staubsammler-Ausführung des SM200 verfügt nicht über eine Betastrahlungsquelle.

## 2.1.4 Elektronik und Mikroprozessoren

Zur Steuerung sämtlicher Gerätefunktionen dient ein zentraler Mikroprozessor. Dieser ist sowohl für die Bedienerschnittstelle als auch für die Mechanik, Pneumatik und Datenerfassung sowie die Kommunikation über die RS232-Anschlüsse zuständig. Alle Sensoren werden kontinuierlich auf einwandfreie Funktion überwacht (siehe Kapitel 3, *Qualitätssicherung und Qualitätslenkung*).

## 2.2 Probenahmeköpfe und Ansaugleitungen

Die Entnahme der Staubprobe erfolgt in der Regel über einen Probenahmekopf, der unmittelbar über dem SM200-Probenahmemodul in der Umgebungsluft montiert ist. Je nach zu erfassender Staubfraktion sind unterschiedliche Probenahmeköpfe verwendbar.



Abb. 2.5. Typischer PM10 -Probenahmekopf.

Ein typischer Probenahmekopf ist in [Abb. 2.5](#) dargestellt. Die Bauweise kann je nach Hersteller variieren. In der Regel sind Probenahmeköpfe zumindest für folgende Partikelfractionen lieferbar:

- TSP (Gesamt-Schwebstaub)
- PM10 (Partikelgröße  $\leq 10 \mu\text{m}$ )
- PM2.5 (Partikelgröße  $\leq 2,5 \mu\text{m}$ )

Die Probenahmeköpfe sind wind- und regensicher ausgeführt und durch geeignete konstruktive Maßnahmen gegen Kondenswasser-Einflüsse geschützt.

In besonderen Fällen können sog. "Impaktoren" zu dem Probenahmekopf in Reihe geschaltet werden, um noch kleinere Staubfraktionen zu erfassen.

Die Probenahmeköpfe bedürfen normalerweise regelmäßiger Wartung und Reinigung. Nähere Hinweise sind der Dokumentation zum jeweiligen Probenahmekopf zu entnehmen.

Die Verbindung zwischen Probenahmekopf und Probenahmemodul wird über einen Ansaugleitung hergestellt. Diese sollte unbedingt geradlinig verlegt werden, um Verfälschungen der Fraktionszusammensetzung zu verhindern. Das Leitungsinnere sollte anodisch poliert bzw. glanzeloxiert sein.

## 2.3 Temperaturstabilisator

In der Regel ist es erforderlich, interne Kondensatbildung aus der Probenluft in der Ansaugleitung zu verhindern. Problematisch ist dies besonders an Standorten mit hoher Luftfeuchtigkeit und Außenlufttemperaturen, die deutlich über der Umgebungstemperatur am

Einbauort des Probenahmemoduls liegen. Auch dem Entweichen flüchtiger chemischer Verbindungen ist durch möglichst stabile Temperaturverhältnisse vorzubeugen. Hierzu bieten sich der Einsatz eines Temperaturstabilisators TS200 an (siehe [Abb. 2.6](#)).

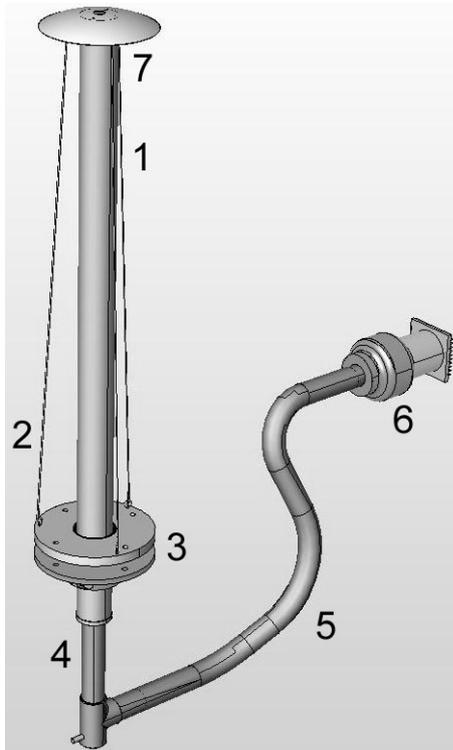


Abb. 2.6. Temperaturstabilisator TS200.

#### Temperaturstabilisator TS200

1	Aluminiumrohr
2	Abspannseile
3	Dachflansch
4	Kunststoffrohr
5	Zuluftschlauch
6	Gebläse (wandmontiert)
7	Halterung für Außentemperatursensor

Zur Verhinderung von Kondensatbildung und Minimierung des Verlusts an leicht flüchtigen Schwebstaubanteilen dient ein koaxiales Mantelrohr, das die Ansaugleitung umgibt. Über eine zusätzlich erforderliche bauseitige Pumpe wird dieses Mantelrohr mit Umgebungsluft gespült, so dass die Temperatur der Probenluft im Inneren der Ansaugleitung bis zum Filter unverändert bleibt. Montagehinweisungen siehe [Kapitel 4, Montage](#).

## 2.4 Filterträger und Filtermagazine



Abb. 2.7. Filterträger.



Abb. 2.8. Filterbehälter.

Das Gerät kann praktisch mit jedem 47-mm-Standardfilter betrieben werden, solange dieser bei der Probenahme keinen übermäßigen Druckabfall verursacht.

Diese Filter bestehen in der Regel aus Teflon, es kommen jedoch auch andere Werkstoffe wie z.B. Zellosenitrat, Zellosesezetat, Kunststoff usw. in Frage. Die Filterfeinheit beträgt typischerweise 2 µm (Standard).

Im Gerät wird jeder Filter durch den in [Abb. 2.7](#) dargestellten Filterträger gehalten. Dieser steht nach Verwendung des Filters für einen neuen Filter zur Verfügung.

Bei Betrieb des SM200 im 1-Std.-Probennahme-modus muss eine spezielle Metallblende unmittelbar vor den Filter in den Filterträger eingesetzt werden. Diese Blenden sind – wie auch der Filterträger selbst – immer wieder verwendbar.

Die Filter in ihren Filterträgern werden in einem Filtermagazin abgelegt. Dieses kann bis zu 40 Filterträger aufnehmen. Das System verfügt über ein Filtermagazin für saubere, frische Filter sowie ein zweites Filtermagazin für bereits verwendete Filter. Jedes dieser Filtermagazine kann bei laufendem Gerät ohne Funktionsbeeinträchtigung abgenommen werden.

Das Filtermagazin ist durch ein Plexiglasgehäuse geschützt, das sich zum Transport mit einem Deckel verschließen lässt.

Nähere Hinweise zur Verwendung der Filter-träger, Magazine und Blenden sind [Kapitel 4, Montage](#) zu entnehmen.

---

## 2.5 Pumpenmodul

Das Pumpenmodul enthält eine zweiköpfige Membran-Vakuumpumpe, die für den Luftdurchfluss durch das Gerät zuständig ist. Das Pumpenmodul ist über zwei Luftleitungen (Vor- und Rücklauf) mit dem Probenahme- und Messmodul verbunden. Die Spannungsversorgung der Pumpe erfolgt über das Probenahmemodul, das somit den Pumpenbetrieb steuern kann.



Abb. 2.9. Das Pumpenmodul.

Der Luftdurchfluss durch das System wird durch das Probenahmemodul gesteuert. Dieses führt auch Qualitätssicherungskontrollen – einschließlich Kontrollen des Pumpenverhaltens – durch. Im Betrieb wird die Pumpe je nach den Erfordernissen des Probenahme- und Messablaufs vom Probenahmemodul ein- und ausgeschaltet.

Die Pumpe verfügt über eigene Sicherungen, die an der Betriebsspannungs-Einspeisung angeordnet sind.

---

*Hinweis: Das Pumpenmodul muss regelmäßig gewartet werden. Nähere Informationen sind Kapitel 6 zu entnehmen.*

---

## 2.6 Funktionsprinzip

Die verschiedenen Ausführungen des SM200 sind in ihren Hauptmerkmalen wie Mechanik, Pneumatik, Geiger-Müller-Zählrohr und Elektronik identisch. Hinsichtlich der Funktion bestehen jedoch z.T. erhebliche Unterschiede. Die verschiedenen Betriebsweisen sind nachstehend erklärt.

## **2.6.1 Staubsammler und normales Schwebstaubmessgerät**

An dieser Stelle soll zunächst das normale Schwebstaub-Immissionsmessgerät betrachtet werden, da es das gängigste Modell in der SM200-Baureihe darstellt. Zur Verdeutlichung seiner Funktion sei der Weg eines Filters auf dem Weg durch das Gerät beschrieben. Die einzelnen Schritte entsprechen der Nummerierung in [Abb. 2.10](#).

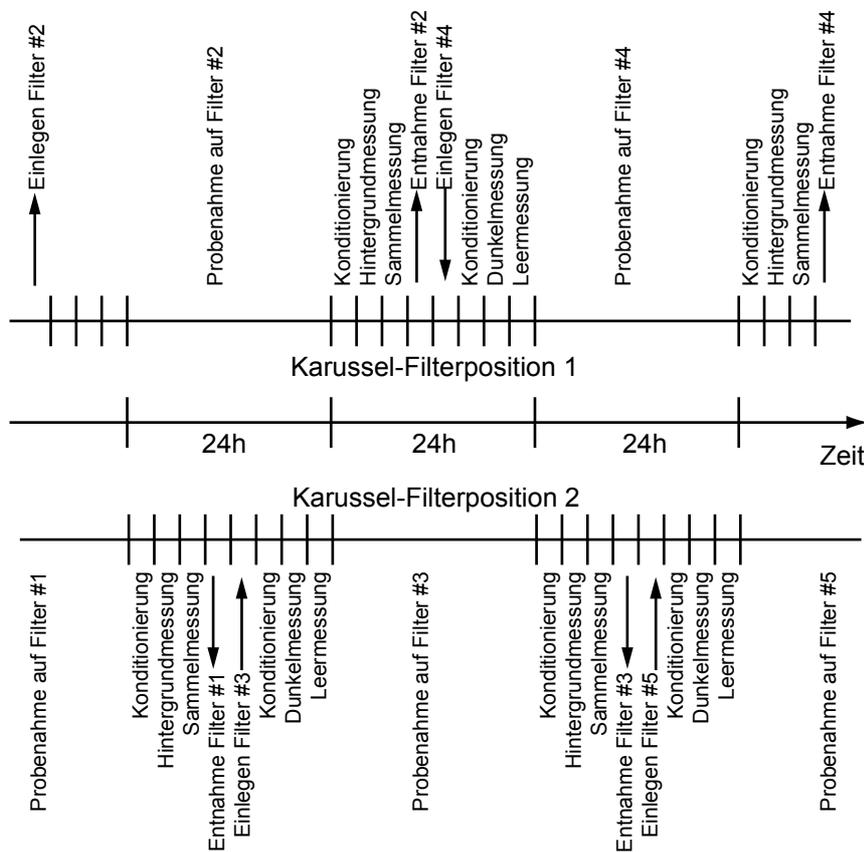
- 
1. Ein neuer Filter wird dem Reinformagazin entnommen und auf das Karussell gelegt. Ein Filter-konditionierungs-Intervall sorgt dafür, dass sich die Filtertemperatur der Innentemperatur des Geräts anpassen und etwaige Restfeuchtigkeit aus dem Filter verdampfen kann, damit die Messung nicht verfälscht wird.
  2. Die vom Filter ausgehende Hintergrundstrahlung wird mit Hilfe des Geiger-Müller-Zählrohrs ermittelt. Dazu wird die Betastrahlungs-Quelle mit einer Blende abgeschirmt. Dieser Vorgang wird auch als "Dunkelzählung" bezeichnet.
  3. Die Blende wird zur Seite geschwenkt, so dass die Strahlung der Betastrahlungs-Quelle durch das Filter in das Geiger-Müller-Zählrohr einfällt. Das Gerät führt nun die "Leermessung" durch, d.h. der Strahlungsdurchgang durch das Filter – vor Beginn der Probenahme – wird geprüft.
  4. Durch Drehung des Karussells wird das Filter in Probenahme-Stellung gebracht. Die Probenahme-Kammer schließt sich um das Filter. Das Filter bleibt über den gesamten Probenahme-Zyklus in dieser Stellung.
  5. Das staubbelastete Filter wird vor das Geiger-Müller-Zählrohr transportiert. Es folgt ein erneutes Filter-Konditionierungsintervall, d.h. dem Filter wird Gelegenheit gegeben, sich der Gerätetemperatur anzupassen. Die Ermittlung der "natürlichen" Strahlung, die von dem gesammelten Schwebstaub ausgeht, erfolgt somit bei trockenem Filter, wobei die Betastrahlungs-Quelle erneut durch die Blende abgeschirmt wird.
  6. Die Blende wird weggeschwenkt, so dass erneut  $\beta$ -Strahlung durch das Filter fällt. Die vom Filter und den darauf gesammelten Teilchen nicht absorbierte Strahlung wird von dem Geiger-Müller-Zählrohr ermittelt (Sammelmessung).
  7. Nach Beendigung der Geigerzählung wird der benutzte Filter mit dem Karussell in die Entnahmestellung gedreht und im Magazin abgelegt.
  8. Anhand der Dunkel-, Leer-, Hintergrund- und Kumulationsmesswerte kann die Dicke des Staubbelaags auf dem Filter berechnet werden. Aus der Kenntnis des Gesamtvolumens der Probe wird die Staubkonzentration ermittelbar.

Abb. 2.10. Ablauf der Schwebstaubmessung.

Bei Messbetrieb befinden sich stets zwei Filter im Gerät. Während auf einem Filter die Probe gesammelt wird, befindet sich das andere in der Messposition, in der die Filterkonditionierung sowie die Dunkel-, Leer-, Hintergrund- und Sammelmessung erfolgen.

Wichtigster Parameter beim Betrieb des SM200 als Staubsammler und Schwebstaub-Immissionsmessgerät ist die charakteristische *Zykluszeit*, d.h. die Länge des Zeit, während der das Filter in Probenahmestellung bleibt. Diesem Zeitraum sind jedoch die Filterkonditionierung sowie die Dunkel- und Leermessung vorgeschaltet. An die Probenahme schließt sich eine erneute Filterkonditionierung sowie die Hintergrund- und Sammelmessung an. Das Filter bleibt daher deutlich länger im Gerät, als die Zykluszeit angibt. Die einzelnen Phasen des Filterprozesses auf dem Karussell sind in *Abb. 2.11* verdeutlicht.

Die Filterkonditionierung sowie die verschiedenen Messungen nehmen insgesamt mehrere Stunden in Anspruch. Allein für die Hintergrund- und Sammelmessung sind jeweils zwei Stunden zu veranschlagen. Hierdurch geht jedoch keine Probenahmezeit verloren, da sich der nächste Filter ja bereits in Probenahmestellung befindet, während der letzte Filter noch in der Messstellung ausgewertet wird. Auch dies ist aus *Abb. 2.11* erkennbar.



*Abb. 2.11. Konditionierungs-, Mess- und Probenahme-Phasen an den beiden Filterpositionen des Karussells. Die Zykluszeit beträgt 24 h. Die erste Probenahme läuft bereits, als das zweite Filter eingelegt wird (links).*

Die Zykluszeit muss mindestens acht Stunden betragen, kann jedoch auch länger sein. In der Regel wird ein eintägiger Zyklus (24 Std.) gewählt. Hinweise zur Auswahl der geeigneten Zykluszeit finden sich in [Kapitel 2.6.4](#).

Der Unterschied zwischen dem Schwebstaub-Immissionsmessgerät und dem reinen Staubsammler-Modell besteht lediglich darin, dass letzteres keine Betastrahlungs-Quelle enthält. Beide Modelle sind jedoch mit genau derselben Software ausgestattet, woraus sich

u.a. ergibt, dass auch bei dem Staubsammler bestimmte Zeitintervalle für die "Messung" aufgewendet werden. Diese haben natürlich keine Funktion, da der Staubsammler ja nicht über eine Strahlungsquelle verfügt. Nach Ablauf dieses "überflüssigen" Intervalls werden die Proben jedoch wie gewohnt in das Filtermagazin transportiert.

## 2.6.2 Stabilitätsüberwachung

Beim reinen Stabilitätsüberwachungs-Gerät misst das Geiger-Müller-Zählrohr ausschließlich die natürliche Strahlung des gesammelten Staubs. Eine Betastrahlungs-Quelle wird nicht benötigt. Der Funktionsablauf ist daher gegenüber dem Schwebstaub-Messgerät deutlich vereinfacht. Abb. 2.12 verdeutlicht den Messvorgang des Stabilitätsüberwachungsgeräts. Dieser umfasst folgende Schritte:

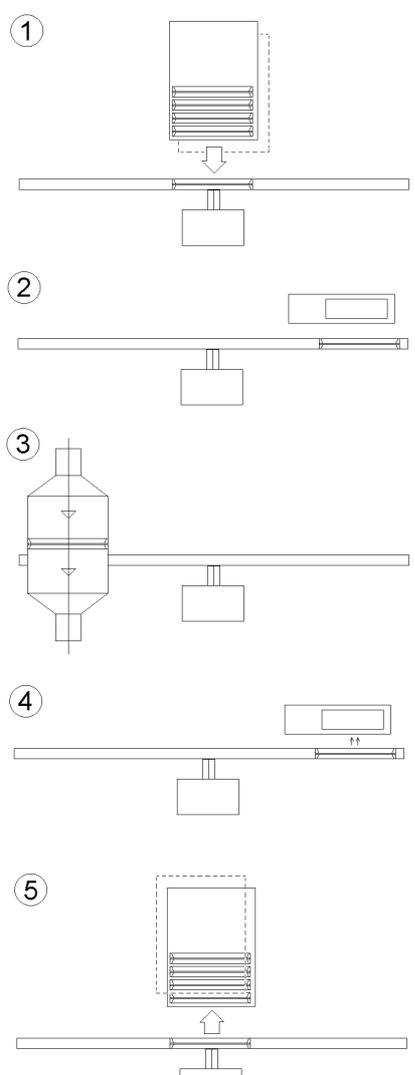
- 
1. Ein neues Filter wird dem Reifilter-Magazin entnommen und auf das Karussell gelegt.
  2. Nach Ablauf des Konditionierungsintervalls wird die Hintergrundstrahlung des Filters mit Hilfe des Geiger-Müller-Zählrohrs ermittelt ("Dunkelmessung").
  3. Das Filter wird vom Karussell in die Probenahme-Position transportiert, wo er solange verbleibt, wie am Gerät eingestellt wurde.
  4. Nach erfolgter Probenahme wird das Filter wieder vor das Geiger-Müller-Zählrohr bewegt. Nach Ablauf eines erneuten Konditionierungsintervalls wird die "natürliche" Strahlung des auf dem Filter gesammelten Staubes gemessen.
  5. Das benutzte Filter wird vor das Ablage-Magazin transportiert und in diesem abgelegt.
  6. Aus der Dunkel- und Hintergrundmessung wird die durch kurz- und langlebige Radon-Töchter bedingte Strahlungsaktivität errechnet. Hieraus ergibt sich eine Messung der atmosphärischen Stabilität.

Abb. 2.12. Stabilitäts-Überwachungsgerät.

Auch bei diesem System befinden sich immer zwei Filter im Gerät. Während ein Filter in der Probenahme-Position (Schritt 3) ist, wird der andere auf natürliche Strahlung analysiert.

ert (Schritt 4). Wie bei dem Schwebstaub-Messgerät mit stündlichem Messintervall wird jedes Filterpaar in der Regel für mehrere Probenahme- und Messvorgänge verwendet, bevor es abgelegt und ein neues Filterpaar eingelegt wird.

Wie bei den anderen Modellen ist auch für das Stabilitätsmessgerät eine Zykluszeit maßgeblich. Diese bezeichnet die Gesamtdauer, während der sich ein Filterpaar in Gebrauch befindet. Die Zykluszeit ist in mehrere Messungen unterteilt (Gesamtzahl der Sammelmessungen, die mit den beiden Filtern durchgeführt werden, bevor sie abgelegt und durch ein neues Filter aus dem Reinform-Magazin ersetzt werden).

Die Filterkonditionierung und Hintergrundmessung des beprobten Filters wird im jede Fall abgeschlossen, bevor mit der Probenahme auf einem neuen Filter beginnen wird. Der Konditionierungs- und Messvorgang nach Beendigung der Probennahme werden als Konditionierung und Dunkelmessung für die nächste Messung auf demselben Filter herangezogen.

Die Probenahmezeit pro Filter beträgt in der Regel zwei Stunden – dies ist zugleich die Mindestzeit. Um diese Funktion zu erhalten, sollte die Anzahl der Messungen auf die Hälfte der Zykluszeit in Stunden eingestellt werden – z.B. 12 Messungen bei Verwendung einer 12-stündigen Zykluszeit. Einzelheiten zum Thema "Zykluszeit" finden sich in [Kapitel 2.6.4](#).

## 2.6.3 Kombigerät

Bei der Kombi-Ausführung des SM200 handelt es sich im Grunde um das normale Schwebstaub-Immissionsmessgerät, jedoch mit zusätzlichen Rechenfunktionen zur Ermittlung der Zerfälle kurz- und langlebiger Radon-Töchter. Die Funktionsweise entspricht der Darstellung in [Abb. 2.10](#).

## 2.6.4 Zykluszeit

Bei der Auswahl der Zykluszeit sind folgende Überlegungen zu berücksichtigen:

- Die Probenahmezeit kann *gesetzlich vorgeschrieben* sein. In diesem Fall entfällt die individuelle Einstellung.
- Die Zykluszeit sollte *lang* gewählt werden, wenn ein möglichst langfristiger Betrieb des Geräts ohne Entnahme verbrauchter Filter und Nachfüllen neuer Filterelemente gewünscht wird.
- Die Zykluszeit sollte *kurz* sein, wenn es auf hohe Zeitauflösung ankommt.
- Eine hohe Staublast in der Luft kann die Zykluszeit *begrenzen*. Auf dem Filter lagert sich dann so viel Staub ab, dass der Differenzdruck zu groß wird und die Pumpe den erforderlichen Durchsatz nicht mehr gewährleisten kann. Abhilfe kann hier durch Verwendung eines anderen Filtertyps oder Verkürzung der Zykluszeit geschaffen werden. Wenn im Laufe der Probenahme keine wesentliche Druckerhöhung feststellbar ist, kann die Zykluszeit ohne Weiteres verlängert werden.

Aus den vorstehenden Erwägungen wird deutlich, dass die optimale Zykluszeit stets einen Kompromiss aus gesetzlichen Anforderungen, selbständiger Betriebsdauer des Geräts, Zeitauflösung und Probenahme-Bedingungen darstellt.

## 2.7 Analogausgang

Das SM200-Gerät verfügt über einen Analogausgangs-Anschluss in der Geräterückwand. An diesem Ausgang wird ein Signal von 0 – 10 V d.c. bzw. 0 - 20 mA ausgegeben. Mittels der Einrichtfunktionen für den Analogausgang lässt sich die entsprechende Staubkonzentration für die Schwebstaub-Modelle (z.B. 0 - 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) bzw. die entsprechende Anzahl Zähler für die Stabilitätsüberwachungs-Modelle (z.B. 0 - 4095 Zähler) festlegen. Zudem liefert dieser Ausgang eine Relais-Statusmeldung entsprechend der Statusanzeige in der Frontplatte. Bei geschlossenem Kontakt ist der Gerätestatus "OK".

Technisch ist der Analogausgang als 6-polige Klemmleiste ausgeführt (siehe [Abb. 2.13](#) und [Abb. 2.14](#)).

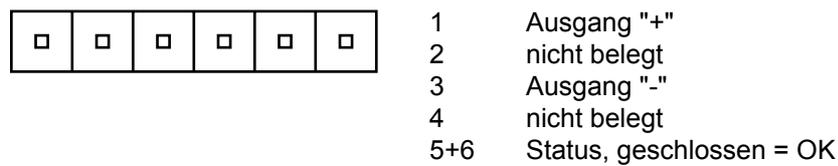


Abb. 2.13. Analogausgang 0 - 10 V d.c.

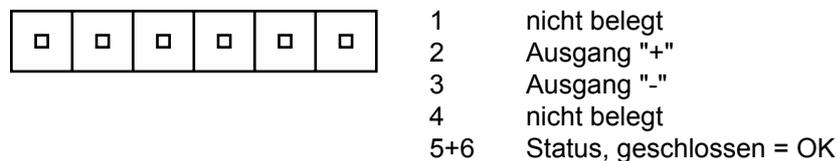


Abb. 2.14. Analogausgang 0 - 20 mA.

## 2.8 Serielle Kommunikation

Die seriellen Anschlüsse in der Rückwand des SM200 sind als 9-polige Standard-RS232-Stiftsteckverbinder in DCE-Konfiguration (Data Communications Equipment) ausgeführt. Diese Ports dienen in der Regel zur Erfassung von Daten (einschließlich zahlreicher Status-Parameter) sowie zur Fernsteuerung des SM200.

Die seriellen Schnittstellen sind auf folgende Weise verwendbar:

- Direkter Anschluss an einen Computer bzw. ein Datenprotokolliergerät zwecks lokaler Kommunikation.
- Anschluss eines Kabel-, Funk- oder GSM-Modems zum Fernzugriff über einen Computer mit entsprechender Datenerfassungs- bzw. Fernsteuerungssoftware.

- Einer dieser Ports ist der (optionellen) Kommunikation mit anderen Sensoren vorbehalten.

Detaillierte Hinweise zur Konfiguration der seriellen Schnittstelle enthält Kapitel 5, Betrieb. Abb. 2.15 zeigt die Stiftbelegung.

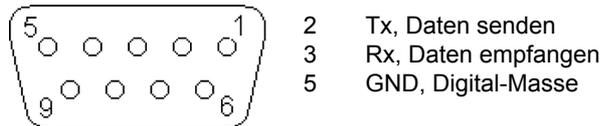


Abb. 2.15. Serielle Schnittstelle.

Um das SM200 direkt mit dem RS232-Standardport eines PCs oder Datenprotokolliergeräts zu verbinden, muss ein Nullmodem-Kabel verwendet werden (siehe Abb. 2.16, links). Das SM200 unterstützt kein Hardware-Handshaking.

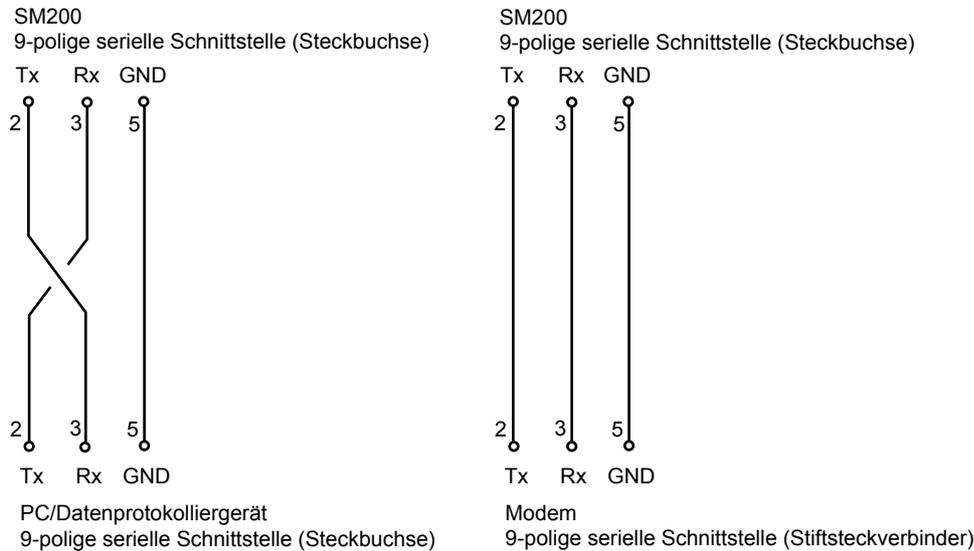


Abb. 2.16. Kabel zur Verbindung des SM200 mit einem PC/Datenprotokolliergerät (links) oder mit einem modem (rechts).

Zum direkten Anschluss eines Modems muss dagegen ein reguläres seriell Kabel verwendet werden, da das SM200 selbst als DCE-System konfiguriert ist (siehe Abb. 2.16, rechts).

Das SM200-Kommunikationsprotokoll ist auf Wunsch von Opsis erhältlich.

## Qualitätssicherung und Qualitätslenkung 3

Ein wichtiges Leistungsmerkmal des SM200-Systems sind die umfassenden Qualitätssicherungs- und Qualitätslenkungen, die das Gerät automatisch bzw. auf Anforderung des Bedieners durchführen kann. Diese Prüfungen dienen der Funktionskontrolle des Geräts und gewährleisten so die Richtigkeit der Messergebnisse.

Bei richtiger Nutzung der Qualitätssicherungsparameter können die Ergebnisse dieser Kontrollen auch als "Frühwarnsignal" dienen, d.h. auf Wartungsbedarf hinweisen. Im Falle einer Störung am Gerät sind sie zudem zur Ermittlung der Ursache verwendbar.

Im vorliegenden Kapitel werden die Qualitätssicherungs- und Qualitätslenkungen (QS/QL-Funktionen) des SM200-Systems detailliert beschrieben. Diese Beschreibung bezieht sich ausschließlich auf das Schwebstaub-Immissionsgerät. Die Unterschiede in den QS/QL-Funktionen zu den übrigen SM200-Modellen sind minimal.

Die Darstellung in diesem Kapitel entspricht im Wesentlichen den Gutachten "PM10-Feldprüfungen" des CNR-IIA (Rom) sowie des deutschen Umweltbundesamts (Berlin) und der JRC ERLAP (ISPRA, Italien).

### 3.1 Übersicht über die QS/QL-Funktionen

Abb. 3.1 verdeutlicht die QS/QL-Funktionen des SM200-Systems in Form eines Blockdiagramms.

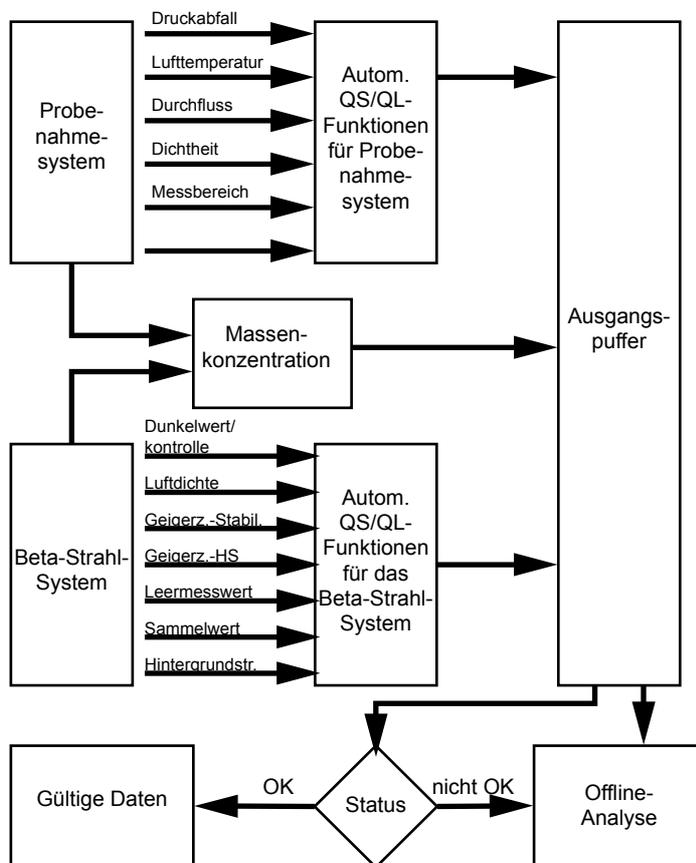


Abb. 3.1. Logik-Blockdiagramm der QS/QL-Funktionen des SM200.

Die QS/QL-Funktionen müssen höchst genaue und präzise Daten liefern. Erreicht wird dies durch den Einsatz umfassender QS/QL-Abläufe, die sich sowohl auf die Probenahme als auch auf das Betastrahlen-Messsystem beziehen.

## 3.2 Probenahmesystem

Abb. 3.2 zeigt ein Prinzipdiagramm des Probenahmesystems. Dieses wird durch folgende Funktionen überwacht:

- Kontrolle der Lufttemperatur am Sammelpunkt
- Dynamische Online-Dichtheitsprüfung (Druckabfall an Membran)
- Online-Durchflussstabilitätsprüfung
- Periodische Durchfluss-Genauigkeitsprüfungen
- Periodische statische Dichtheitsprüfungen

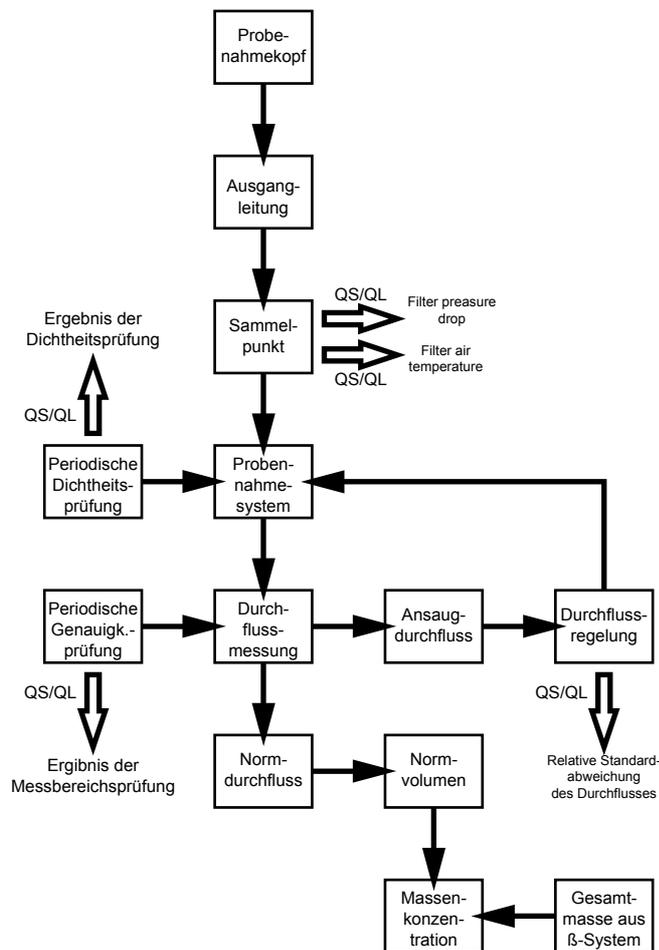


Abb. 3.2. Blockdiagramm des Probenahmesystems – vgl. Abb. 3.1 .

### 3.2.1 Detaillierter Aufbau des Probenahmesystems

Kern des SM200-Probenahmesystems ist eine luftdicht abgeschlossene Membranpumpe. Für die Echtzeit-Durchflussregelung sorgt ein Schrittmotor, der das Regulations-Nadelventil verstellt. Die Umschaltung des Pneumatikkreises zwischen normalem Probenahmebetrieb, Messbereichsprüfung (Durchflusskontrolle) und Dichtheitsprüfung wird über drei Schaltventile (EIN/AUS) vorgenommen.

Die Ermittlung des Durchflusses erfolgt anhand des Druckabfalls an einer der Pumpe nachgeschalteten Messblende. An dieser Stelle ist eine besonders stabile Druckabfallmessung gewährleistet. Aus dem Druckabfall sowie dem Absolutdruck und der Temperatur in der Messkammer ergibt sich der Massenstrom.

Die Kontrolle des Durchflusses ist durch Freigabe des integrierten Referenzkreises (Kontrollblende) möglich.

Abb. 3.3 zeigt den Aufbau des Probenahmesystems mit seinen Messpunkten.

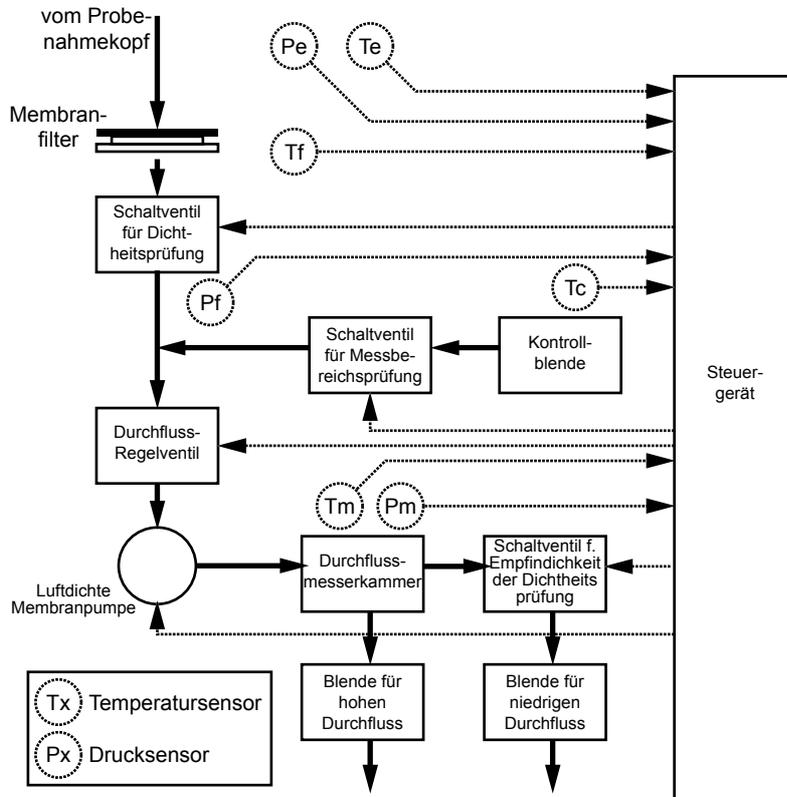


Abb. 3.3. Probenahmesystem.

### 3.2.2 Lufttemperatur

Temperaturunterschiede zwischen der Lufttemperatur am Probenahmekopf und derjenigen am Filter können einen Verlust flüchtiger chemischer Verbindungen zur Folge haben. Die Leitung, über die die Probe zum Filter gelangt, sollte daher auf Umgebungstemperatur gehalten werden, um die Temperaturdifferenz zwischen Filter und Umgebungsluft möglichst gering zu halten. Abb. 2.6 in Kapitel 2, Hardware-Beschreibung zeigt einige Beispiele für Ansaugleitungs-Konstruktionen, die diesen Temperaturunterschied minimieren.

Um den Verlust an flüchtigen Verbindungen kalkulierbar zu machen, werden sowohl die Außentemperatur ( $T_e$ ) als auch die Filtertemperatur im Gerät gespeichert und sind von dort abrufbar, u.a. auch zur Offline-Analyse.

### 3.2.3 Filter-Differenzdruck

Der Druckabfall am Filter liefert Informationen über die Probenahmebedingungen, so z.B.

- Filterschäden
- Nicht optimale Filteranordnung in der Ansaugleitung

- Nachweis identischer Massenströme an Einlass, Filter und Messpunkt.

Das Gerät misst den Druckabfall am Filter ( $P_e - P_f$ ) sowohl vor als auch nach der Probenahme. Ein etwaiger Unterschied liefert Hinweise auf die Eignung des verwendeten Filtertyps für die herrschende Schwebstaublast und Feuchte.

Ausgangs- und Enddruckdifferenz am Filter werden zur späteren Analyse im Gerät gespeichert. Es ist auch ein Grenzwert für den maximalen Differenzdruck einstellbar; das Gerät liefert in diesem Fall einen Echtzeit-Statusalarm bei Überschreitung dieses Grenzwerts.

Der Druckabfall am Filter sollte relativ konstant bleiben – bei Verwendung desselben Filtertyps und Probenahmeverfahrens sowie ungefähr gleichbleibender Staubkonzentrationen dürften die Veränderung nur wenige kPa betragen. Abweichungen, die nicht durch die o.g. Faktoren erklärbar sind, weisen auf eine Störung in der Ansaugleitung hin.

### **3.2.4 Relative Standardabweichung des Durchflusses**

Der Durchfluss ist eine Funktion des Druckabfalls an der Blende für hohen Durchfluss ( $P_m - P_e$ ) sowie der Temperatur in der Messkammer ( $T_m$ ). Veränderungen der Außentemperatur und des Drucks ( $T_e$ ,  $P_e$ ) sowie der Filterlast machen einen ständigen Vergleich von Soll- und Istwert des Volumenstroms sowie entsprechende Anpassungen über das Regelventil erforderlich.

Die Abweichung des Durchfluss-Istwerts vom Sollwert während der Probenahme wird als eine relative Standardabweichung ausgedrückt. Diese wird zusammen mit weiteren Daten zur späteren Auswertung und Analyse im Gerät gespeichert.

Der Wert der relativen Standardabweichung sollte im Normalfall höchstens einige wenige Prozent betragen. Ein höherer Wert weist auf eine Störung im Pneumatiksystem hin, die schnellstmöglich behoben werden sollte.

### **3.2.5 Überprüfung der Durchflusskalibrierung**

Die Durchfluss-Kalibrierung wird kontrolliert, indem der normale Lufteinlass kurzfristig geschlossen und stattdessen Luft von dem Kalibrierungseinlass in das System gepumpt wird. Dieser Kalibrierungs-Volumenstrom ist aufgrund einer Kontrollblende, die vor dem Messbereichs-Prüfventil angeordnet ist, genau bekannt. Die Bedingungen an dieser Blende werden kritisch, wenn der Systemdruck  $P_f$  weit genug absinkt, was bei

$$P_f < 0.45 P_e$$

der Fall ist. Bei diesem Druck wird der Durchfluss konstant, d.h. er beträgt stabil 15 l/min. Der exakte Durchflusswert hängt von der Temperatur  $T_c$  ab. Der bei der Prüfung gemessene Durchfluss wird mit dem werksseitigen Kalibrierungswert verglichen. Aus diesem

Vergleich ergibt sich eine prozentuale Abweichung vom Durchfluss-Kalibrierungswert, der im Regelfall deutlich unter einigen wenigen Prozenten liegen sollte. Überschreitet die Differenz einen Wert von  $\pm 3\%$ , gibt das Gerät einen Statusalarm aus.

Die Überprüfung der Durchflusskalibrierung lässt sich – zusammen mit der Dichtheitsprüfung – manuell oder in periodischen Abständen (zwischen den Messzyklen) automatisch durchführen.

### **3.2.6 Dichtheitsprüfung**

Die Dichtheitsprüfung ist mit der Messbereichsprüfung verknüpft. Sie besteht darin, dass sämtliche Einlassventile geschlossen und das pneumatische System mit Hilfe der Pumpe bis an deren Leistungsgrenze evakuiert wird.

Als Ergebnis der Prüfung erhält man einen inneren Restdruck  $P_f$  sowie einen Leckstrom ( $P_m - P_e$ ) im unteren Durchflussbereich. Beide Werte sollten zwischen den einzelnen Prüfungen relativ konstant bleiben. Der Restdruck beträgt in der Regel 10 – 15 kPa; der Grenzwert, bei dem ein Status-Alarm ausgegeben wird, beträgt 25 kPa.

Das Ansteigen eines der beiden Ergebnisparameter weist auf nachlassende Pumpenleistung (evtl. Wartung erforderlich) oder auf eine Undichtigkeit im internen Pneumatik-Kreis des Geräts hin.

## **3.3 Betastrahlungs-Absorptionsmesskreis**

Das Betastrahlungs-Absorptionsmesssystem umfasst die Betastrahlungs-Quelle, das Geiger-Müller-Zählrohr sowie die dazugehörigen Nebenkomponten. Ein Blockdiagramm des Funktionsprinzips unter Bezugnahme auf die entsprechenden QS/QL-Funktionen zeigt [Abb. 3.4](#).

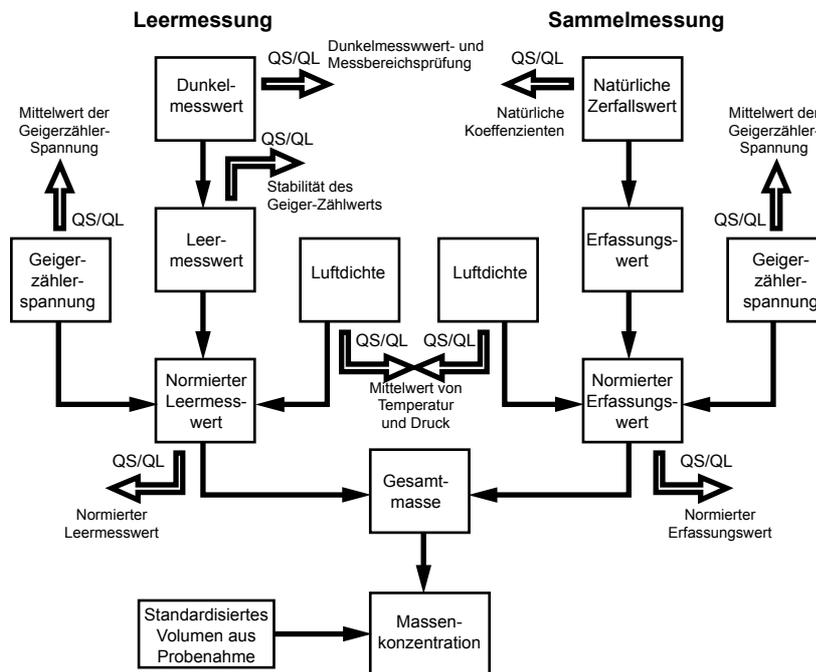


Abb. 3.4. Blockdiagramm des Betastrahlungs-Systems – vgl. Abb. 3.1.

Das Betastrahlungs-Messsystem zeichnet sich durch folgende QS/QL-Funktionen aus:

- Automatische Prüfung der Ansprechgenauigkeit des Absorptionsmesskreises
- Online-Prüfung der Stabilität der Geigerzähler-Hochspannung
- Online-Prüfung der Stabilität des Geigerzähler-Signals
- Online-Prüfung des Dunkelzählwerts
- Korrektur um den Einfluss natürlicher Radioaktivität
- Online-Luftdichtekorrektur

### 3.3.1 Detaillierter Aufbau des Absorptionsmesssystems

Die Staubmassen-Messung des SM200 basiert auf den physikalischen Gesetzen der Abschwächung von Beta-Strahlen beim Durchgang durch Materie. Je dicker die Materieschicht, desto stärker wird die Strahlung abgeschwächt. Kennt man den Absorptionskoeffizienten der Materie sowie deren Fläche, lässt sich auch ihre Gesamtmasse berechnen.

Die Präzision der Massenermittlung wird durch die Statistik des Beta-Zerfalls bestimmt, d.h. es besteht eine eindeutige Abhängigkeit von der Messdauer. Daneben sind für diese Präzision aber auch noch folgende Faktoren bestimmend:

- Schwankungen der Luftdichte zwischen Betastrahlungsquelle und Detektor
- Natürliche Radioaktivität der erfassten Partikel

- Wirkungsgrad und Stabilität des zur Erfassung der Betastrahlen verwendeten Geiger-zählers

Abb. 3.5 zeigt den Aufbau des Betastrahlungs-Absorptionsmesssystems im Detail.

- Intern gekapselte, schwache  $^{14}\text{C}$ -Betastrahlungsquelle
- Blende zur Abdeckung der Strahlungsquelle.
- Filter-Positionierungsmechanik (Karussell)
- Geiger-Müller-Betastrahlungs-Zählrohr ("Geigerzähler") mit stabilisierter Hochspannungsversorgung. Der Geigerzähler liefert Zählwerte, die der erfassten Betastrahlung entsprechen.
- Lokale Temperatur- und Absolutdruck-Sensoren

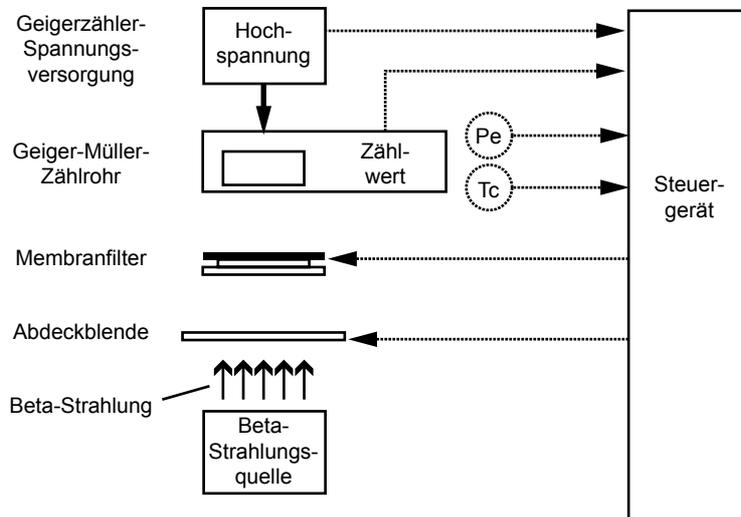


Abb. 3.5. Aufbau des Betastrahlungs-Systems.

Die Leistung des Absorptionsmesssystems bei der Ermittlung der auf dem Filter abgedehnten Masse wurde durch folgende Maßnahmen optimiert:

- Optimierung der Messgeometrie zwecks weitestmöglicher Verringerung der eingesaugten Luft-Gesamtmasse
- Verwendung einer Präzisionsmechanik mit optischen Sensoren zur Steuerung und Überwachung der Karussell-Position, dadurch Minimierung von Zählwert-Schwankungen durch ungenaue Positionierung des Filters innerhalb der Geometrie des Absorptionsmesskreises
- Berücksichtigung der Dichte des zwischen Strahlenquelle und Detektor vorhandenen (geringen) Luftvolumens durch Aufzeichnung des lokalen Temperatur- und Druckwerts
- Kontinuierliche Überwachung der Versorgungsspannung, die das Ansprechverhalten des Geiger-Müller-Zählrohrs entscheidend beeinflusst.

Insgesamt lassen sich so normierte Beta-Zählwerte gewinnen, wodurch sich die Genauigkeit der Massenermittlung erhöht.

### 3.3.2 Messbereichsprüfung des Absorptionsmesssystems

Um das Massen-Ansprechverhalten des Betastrahlungskreises zu prüfen, werden kurzzeitig zwei Referenzblenden von unterschiedlichen Durchmesser zwischen die Betastrahlungsquelle und den Detektor eingefügt. Werksseitig wird das Ansprechverhalten des Detektors unter Einfügung beider Blenden protokolliert. Dieses Protokoll liefert die Referenzwerte, mit denen die entsprechenden Ergebnisse aus der Messbereichsprüfung des Betastrahlungssystems verglichen werden. Ergebnis ist eine prozentuale Differenz, die möglichst klein sein sollte.

In der Regel ergibt die Messbereichsprüfung des Betastrahlungssystems eine Abweichung von höchstens etwa 1%. Eine Status-Alarmmeldung wird hier bei  $\pm 3\%$  ausgegeben. Eine Zunahme der Abweichung vom Sollwert weist auf eine Störung in der Betastrahlungsquelle, der Karussellmechanik oder des Geigerzählers hin.

### 3.3.3 Hochspannungsversorgung des Geiger-Müller-Zählrohrs

Wirkungsgrad und Stabilität des Geigerzählers sind in hohem Maße von dessen Speisepannung abhängig. Diese beträgt in der Regel etwa  $600\text{ V}_{\text{DC}}$ . Im normalen Betrieb wird die Spannung des Geigerzählers in Echtzeit überwacht und genau geregelt. Bei Ende der Messung wird der Mittelwert der Spannung ermittelt, um die Stabilität des Systems zu kontrollieren und die Zählwerte des Betastrahlungssystems bezüglich eines Hochspannungswerts zu normieren. Die verbleibende relative Abweichung der Zählwerte wird so auf einen Wert im Bereich bis  $10^{-4}$  minimiert.

Die protokollierte Geigerzähler-Spannung sollte extrem stabil bleiben, d.h. um weniger als 1 V schwanken. Höhere Schwankungen der Geigerzähler-Spannung weist auf eine Störung im Hochspannungsnetzteil und/oder dem Regelkreis hin.

### 3.3.4 Stabilität des Geiger-Müller-Zählrohrs

Die vom Geigerzähler bei den Leermessungen gelieferten Zählwerte werden zur statistischen Beurteilung der Geigerzähler-Stabilität protokolliert. Unter Normalbedingungen sollten die Zählwerte dem Poisson'schen Verteilungsgesetz folgen. Abweichungen von diesem Verhalten werden aufgezeichnet und lösen einen Systemstatus-Alarm aus.

Der Absolutwert der Leerzählung richtet sich nach der Massendicke des sauberen Filters. Bei Verwendung von Filtern aus einer anderen Charge ist eine Sprungänderung des Leerzählwerts möglich.

### 3.3.5 Dunkelzählwert

Bei der Protokollierung der Geigerzähler-Hintergrundstrahlung wird die Abdeckblende zwischen Strahlungsquelle und Zählrohr positioniert. Alle Filter werden aus der Sichtlinie entfernt. Der in diesem Zustand gewonnene Messwert ist allein durch das Zählrohr bedingt und liefert die Nullwert-Verschiebung für alle übrigen Beta-Messungen.

Die Zählwerte der einzelnen Dunkelmessungen werden gespeichert und mit dem zulässigen Grenzwert verglichen. Der Wert sollte zwischen 10 und 100 Zählern pro Minute liegen. Im Falle einer Störung wird das Statusalarm-Signal gesetzt.

Der Dunkelzählwert muss über lange Zeit unverändert bleiben (Schwankungen sollten im Bereich von  $\pm 10$  Zählern liegen). Ursache einer allmählichen Abweichung ist zumeist der Anfang einer Störung des Geigerzählers; das Zählrohr muss in diesem Fall erneuert werden.

Der Absolutwert des Dunkelmesswerts hängt vom jeweiligen Zählrohr ab und kann zwischen den einzelnen Geigerzählern (auch erheblich!) variieren. In jedem Fall sollte der Wert jedoch zwischen 10 und 100 Zählern pro Minute liegen.

### 3.3.6 Kompensation der natürlichen Strahlung

Kurzlebige Radon-Töchter in der Probe bewirken bei der Absorptionsmessung ein positives Artefakt (das allerdings beim reinen Staubsammelgerät die Messgröße darstellt). Vor der eigentlichen Absorptionsmessung wird die natürliche Strahlung des Staubs mit abgedeckter Betastrahlungs-Quelle gemessen. Anschließend wird eine quantitative Korrektur der Beta- Intensität durchgeführt, um die tatsächliche Absorption zu ermitteln.

Die relative Restschwankung der Beta-Intensität liegt nach dieser Korrektur nur noch in der Größenordnung von  $10^{-4}$ .

### 3.3.7 Luftdichtekorrektur

Auch die Luft, die sich zwischen Strahlungsquelle und Detektor befindet, absorbiert Beta-Strahlung. Der Grade dieser Abschwächung hängt von der Luftdichte ab. Die Veränderung ist zwar in der Regel klein, aber dennoch nachweisbar. Um sie zu kompensieren, werden Temperatur und Druck am Beta-System erfasst und die Strahlungsintensität auf eine Luftdichte bei 40 °C und 101.3 kPa normiert. Die verbleibende relative Intensitätsschwankung liegt wiederum in der Größenordnung von  $10^{-4}$ .

## **3.4 Kontrolle des Geräteansprechverhaltens**

Trotz der zahlreichen Maßnahmen, die unternommen wurden, um ein verlässliches Messergebnis zu erzielen, sind Schwächen in der Nachweiskette doch nie völlig ausschließbar. Es sollte daher von der Möglichkeit Gebrauch gemacht werden, manuelle gravimetrische Bestimmungen des erfassten Staubs vorzunehmen.

Der Luftdurchfluss durch das Gerät kann vom Anwender durch ein extern angeordnetes Präzisions-Durchflussreferenzsystem kontrolliert werden.



Erster Schritt zu einem einwandfrei funktionierendem System ist eine sachgemäße Montage. Montagefehler erhöhen die Gefahr minderwertiger Messergebnisse und machen häufigere Wartungseingriffe erforderlich. In diesem Kapitel werden Hinweise zur Montage gegeben. Beschrieben werden die Vorbereitung des Montageorts, der Zusammenbau des Systems, die Handhabung der Filter sowie die Erstinbetriebnahme.

## 4.1 Checkliste zum Lieferumfang

Zum Lieferumfang des SM200-Systems gehören folgende Positionen:

- Vollständiges Probenahme- und Messmodul
- Pumpenmodul
- Netzanschlusskabel für das Probenahmemodul
- Externer Temperatursensor mit 5 m Kabel
- Luftschläuche (2 Stck.) zum Anschluss der Pumpe an das Probenahmemodul
- Netzkabel zur Verbindung von Probenahme- und Pumpenmodul
- Filtermagazine (2 Stck.)
- Filterträger (40 Stck.)
- Ansaugleitung, Länge 1,5 m (bzw. gemäß Sonderbestellung)
- Prüfprotokoll
- Vorliegendes Handbuch.

Zudem wird in der Regel folgendes Zubehör mitgeliefert:

- Probenahmekopf TSP, PM10, PM2.5 oder gemäß Bestellung
- Dokumentation zum Probenahmekopf
- Probenahmefilter (Anzahl, Feinheit und Material).

Zusätzliche Filter, Filterträger usw. sind als Ersatzteile von Ihrer OPSIS-Vertretung zu beziehen. Auch Wartungssätze für das Pumpenmodul sind dort erhältlich (siehe [Kapitel 6, Wartung und Instandhaltung](#)).

Bei der SM200-Ausführung als Schwebstaub-Immissionsmeßgerät kann es aufgrund gesetzlicher Vorschriften erforderlich werden, die Betastrahlungs-Quelle separat zu liefern. Nähere Hinweise hierzu enthält [Kapitel 4.5](#).

---

*Hinweis: Die Probenahme-Filter sind in jedem Fall separat zu bestellen, da die benötigte Filterfeinheit sowie Anzahl und Material anwendungsbedingt verschieden sind.*

---

## 4.2 Vorbereitung des Montageorts

Die Aufstellung der Probenahme- und Pumpenmodule des SM200-Systems muss in einem geschlossenen Raum erfolgen – der Probenahmekopf ist dagegen im Freien anzuordnen. Da die Ansaugleitung senkrecht zu verlaufen hat, muss das Probenahmemodul unmittelbar unter dem Probenahmekopf installiert werden.

Im Einzelnen sind am Montageort folgende Vorbereitungsmaßnahmen erforderlich:

- Die zur Unterbringung des Probenahme- und Pumpenmoduls vorgesehene Räumlichkeit (Kabine, Container) muss eine Temperatur von 5 - 40 °C bei einer relativen Feuchte von max. 80 % aufweisen. Es empfiehlt sich, mittels Heizung bzw. Klimatisierung für normale Innenraumbedingungen (ca. 20 °C) zu sorgen.
- Die Umgebung des Geräts muss sauber und aufgeräumt sein. Die Module selbst dürfen nicht in einer stark staubbelasteten Umgebung betrieben werden. Im Extremfall muss der Container mit leichtem Überdruck beaufschlagt werden, um dem Eindringen von Schwebstaub vorzubeugen.
- Probenahme- und Pumpenmodul müssen horizontal aufgestellt werden. Jeder Versuch, eine andere Einbaulage zu verwenden, muss unterbleiben.
- Zur Aufstellung des Probenahmemoduls ist ein ebener Tisch zu verwenden. Um eine Überhitzung des Geräts und angrenzender Einrichtungen zu verhindern, sind rund um das Probenahme- und Pumpenmodul allseits 20 cm freizulassen.
- Die Netzversorgung für die Module muss 230 V<sub>AC</sub> (±10 %) / 6A bei 50/60 Hz liefern. Die Nennleistungsaufnahme beider Module beträgt 800 W. Für die Konditionierung der Ansaugluft kann je nach gewählter Lösung (siehe [Kapitel 2.2](#) zusätzliche Leistung erforderlich werden
- Das Pumpenmodul hat ein deutliches Betriebsgeräusch. In der Regel sollte dieses Modul daher nicht in einem Raum untergebracht werden, in dem sich Personen über längere Zeiträume aufhalten.
- Es muss eine Dachöffnung exakt über dem Standort des Probenahmemoduls zur Durchführung der Ansaugleitung vorhanden sein. Der Durchmesser der Ansaugleitung beträgt normalerweise 18 mm. Die Durchführung ist in jedem Fall wasserdicht auszuführen, wobei mittels geeigneter Vorrichtungen (z.B. Faltenbalg o. dgl.) dafür zu sorgen ist, dass die Leitung beweglich bleibt. Um Problemen durch Kondenswasserbildung vorzubeugen, ist darauf zu achten, dass eine etwa vorhandene Dachisolation nicht beschädigt wird.

- 
- Wenn das System mit einem Temperaturstabilisator TS200 ausgestattet werden soll, muss die Dachöffnung einen Durchmesser von 80-90 mm aufweisen. Zur Montage des Dach- und Deckenflansches sind M10-Schrauben entsprechender Länge zu verwenden (nicht im Lieferumfang enthalten). Die Schrauben sind mit Silikon abzudichten. Siehe hierzu auch die Montageskizze, die zum TS200 mitgeliefert wird.
  - In unmittelbarer Nähe des Probenahmekopfs ist ein Außentemperatursensor zu montieren. Die Durchführung des Sensor-Anschlusskabels ins Freie ist vorzusehen. Der Temperaturstabilisator TS200 ist mit einem Befestigungselement für einen Temperatursensor ausgestattet.

---

***Hinweis:** Der Temperatursensor muss an einem gut be- bzw. entlüfteten, schattigen Ort montiert werden. Die Temperatur an diesem Sensor-Montageort muss jedoch der Temperatur der angesaugten Luft entsprechen. Zweck des Sensors ist die Regelung des Luftzustroms entsprechend den technischen Daten des Probenahmekopfes.*

---

- Sofern der Wunsch besteht, die Abluft des Probenahmemoduls ins Freie abzuführen, ist hierfür entsprechend Vorsorge zu treffen. Der Luftauslass ist dabei jedoch in möglichst großer Entfernung zum Probenahmekopf anzuordnen.

## 4.3 Entnahme aus der Verpackung

Nach sorgfältiger Öffnung der Transportverpackung ist das Verpackungsmaterial zu entfernen. Sodann sollte eine Kontrolle des Lieferumfangs anhand der Checkliste in Kapitel 4.1 durchgeführt werden. Dabei ist auch zu kontrollieren, dass im Inneren der einzelnen Module und Komponenten kein Verpackungsmaterial mehr vorhanden ist.

---

***Hinweis:** Bewahren Sie die Originalverpackung sowie das Verpackungsmaterial zur späteren Wiederverwendung auf!*

---

Das Pumpenmodul ist mit einer Transportschutzschraube zur Verhütung von Transportschäden gesichert. Es handelt sich um eine Schraube M10x40 im Boden des Moduls. Diese muss vor der Installation und Inbetriebnahme des Moduls entfernt werden.

---

***Achtung:** Vergewissern Sie sich unbedingt vor Inbetriebnahme der Pumpe, dass die Schraube entfernt wurde, da das Gerät sonst Schaden nehmen könnte.*

***Hinweis:** Bewahren Sie die Schraube zur späteren Wiederverwendung auf. Vor jedem Transport der Pumpe muss diese Transportsicherung wieder montiert werden.*

---

Prägen Sie sich ein, wie die einzelnen Teile des Lieferumfangs verpackt waren, damit sie die Geräte sachgemäß wieder verpacken können, wenn diese später erneut transportiert werden müssen.

Zum Transport des Probenahmemoduls an seinen Aufstellort sind die seitlichen Griffe zu verwenden, siehe Abb. 4.1.

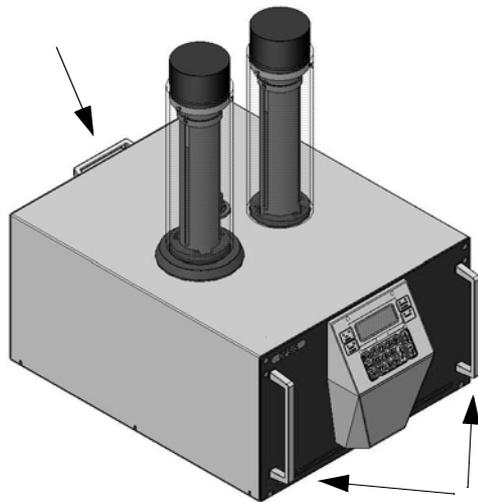


Abb. 4.1. Traggriffe

---

**Achtung:** Vermeiden Sie unbedingt, dass Fremdkörper durch die Gehäuseöffnungen an der Oberseite des Pumpenmoduls eindringen (siehe Abb. 4.1). Verschließen Sie diese Öffnungen auf jeden Fall bis zum Anschluss des Ansaugrohrs und des Filtermagazins.

---

## 4.4 Probenahme- und Pumpenmodule

Abb. 4.2 verdeutlicht den Anschluss der Luftleitungen, Netzkabel und Sensoren am Probenahme- und Pumpenmodul. Das Schema zeigt auch die Einbauweise von Ansaugrohr und Filtermagazinen – auf diese wird jedoch in Kapitel 4.6 und Kapitel 4.7 näher eingegangen.

Zum Anschluss der Module ist wie folgt vorzugehen:

- Verbinden Sie den Luftauslass (Air OUT) des Probenahmemoduls mit dem Lufteinlass (Air IN) des Pumpenmoduls.
- Verbinden Sie den Luftauslass (Air OUT) des Pumpenmoduls mit dem Lufteinlass (Air IN) des Probenahmemoduls.

Die beiden Schläuche weisen unterschiedliche Abmessungen auf.

- Schließen Sie, falls gewünscht, eine Abluftleitung am Anschluss Exhaust des Probenahmemoduls an und führen Sie diese zu einem geeigneten Punkt im Freien.
- Verbinden Sie den Betriebsspannungsausgang (AC out) des Probenahmemoduls mit dem Betriebsspannungseingang (AC in) des Pumpenmoduls.
- Verlegen Sie den externen Temperatursensor zu einem Punkt im Freien (möglichst nah am Probenahmekopf). Erforderlichenfalls muss der Sensor im Schatten oder mit einem Sonnenschutz montiert werden.

- Schließen Sie das Probenahmemodul ans Netz an.

**Hinweis:** Kontrollieren Sie abschließend noch einmal den festen Sitz aller Anschlüsse. Hierzu sollte ein Werkzeug verwendet werden, da manuelle Kraft in der Regel nicht ausreicht.

**Hinweis:** Schalten Sie System jetzt noch nicht ein. Dies darf erst nach komplettem Abschluss der Installation erfolgen.

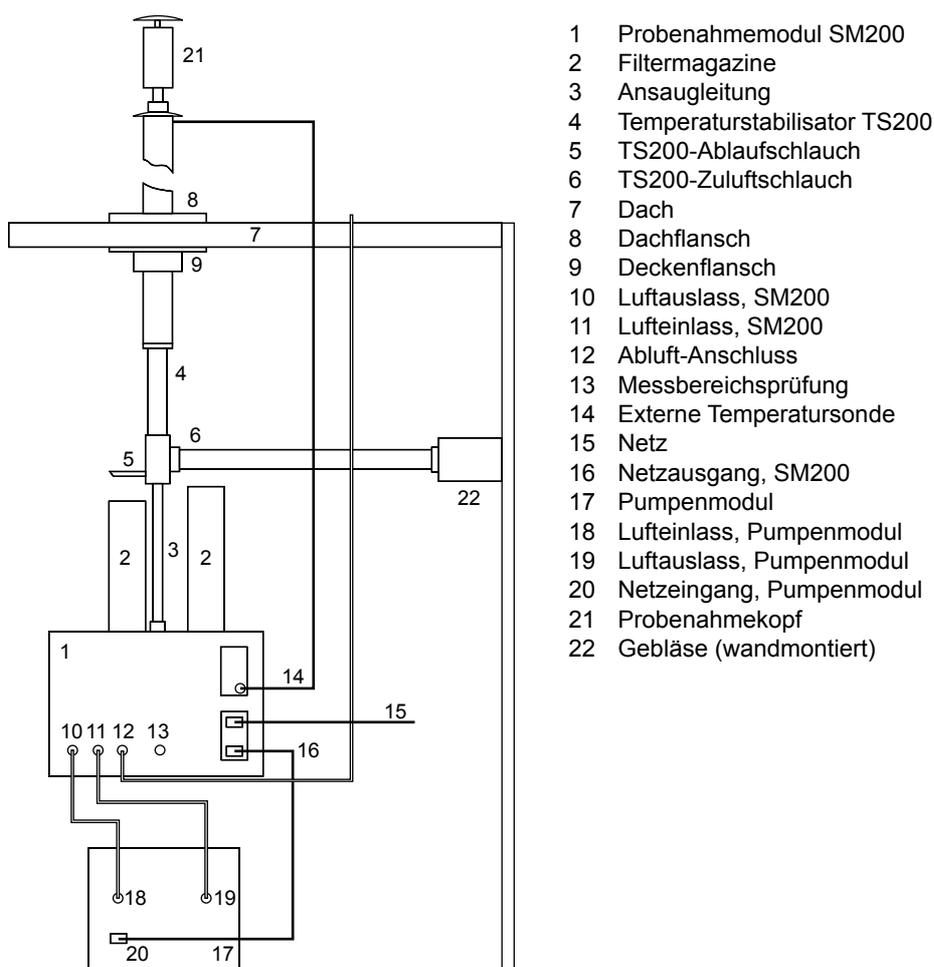


Abb. 4.2. Aufbau des SM200-Systems.

## 4.5 Montage der Betastrahlungsquelle

Die Betastrahlungsquelle wird evtl. separat vom restlichen Lieferumfang transportiert und geliefert. Hierfür können gesetzliche, aber auch andere Gründe maßgeblich sein. In jedem

Fall muss die Betastrahlungsquelle im Probenahmemodul montiert werden, bevor das Gerät verwendet werden kann.

---



**Achtung:** Die nachstehenden Hinweise sind sorgfältig zu beachten, um jeden Austritt von Betastrahlung aus dem Transportbehälter bzw. dem Probenahmemodul zu verhindern. Setzen Sie sich in keinem Fall selbst der Betastrahlung aus.

---

Die nachfolgenden Hinweise beziehen sich auf den Zustand des Systems nach erfolgter Montage der Betastrahlungsquelle im Probenahmemodul.

Außerhalb des Geräts wird die Betastrahlungsquelle in einem speziellen Transportbehälter (siehe Abb. 4.3) aufbewahrt. Solange sie sich in diesem Behälter befindet, ist ein Entweichen von Betastrahlung unmöglich.



Abb. 4.3. Transportbehälter der Betastrahlungsquelle.

Zum Einbau der Betastrahlungsquelle in das Probenahmemodul ist wie folgt vorzugehen:

1. Vergewissern Sie sich, dass das Modul nicht spannungsführend ist und sein Netzkabel nicht angeschlossen ist.
2. Setzen Sie den Transportbehälter vor der noch leeren Einbauöffnung in der Frontseite des Geräts ab (siehe Abb. 4.4).

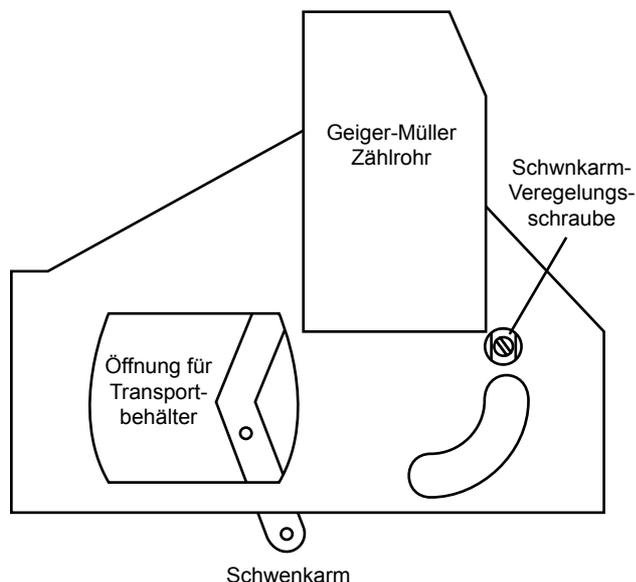


Abb. 4.4. Schwenkvorrichtung in gesperrtem Zustand (Transportbehälter nicht eingelegt).

3. Die Betastrahlungsquelle wird mittels einer Schwenkvorrichtung aus dem Transportbehälter in ihre normale Betriebsposition unterhalb des Geigerzählrohrs bewegt. Zur Fixierung dieser Schwenkvorrichtung dient eine Verriegelungsschraube, die sich (von vorn betrachtet) rechts im Gerät befindet. Drehen Sie diese Verriegelungsschraube komplett heraus und bewegen Sie den Schwenkarm entgegen dem Uhrzeigersinn, wie in Abb. 4.5 dargestellt.
4. Die Öffnung in dem Schwenkmechanismus für die Betastrahlungsquelle wird nun sichtbar. Führen Sie den Transportbehälter bis zum Anschlag am Geräterahmen ein, siehe Abb. 4.5.

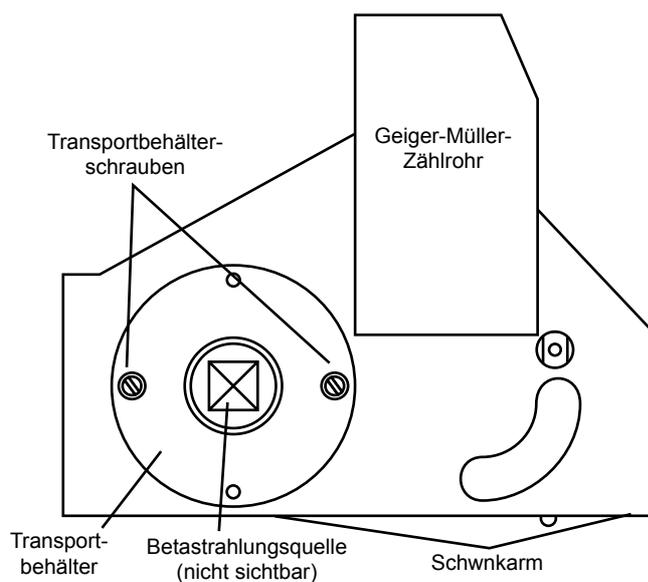


Abb. 4.5. Schwenkvorrichtung in der Stellung zum Einsetzen des Transportbehälters.

- Schrauben Sie die beiden Transportbehälterschrauben heraus, die in der Draufsicht erkennbar sind. Damit wird der Strahlungsquellenträger aus dem Oberteil des Transportbehälters gelöst.

---

**Achtung:** Nach dem Lösen der Schrauben darf das Oberteil des Transportbehälters NICHT mehr angehoben werden, da sonst die Strahlungsquelle freiliegen würde.

---

- Schieben Sie den Schwenkarm zurück in seine normale Betriebsstellung. Die Betastrahlungsquelle wird damit aus der Transportbehälter-Position in ihre normale Lage unter dem Geiger-Müller-Zählrohr bewegt.
- Fixieren Sie den Schwenkmechanismus durch Anziehen der Verriegelungsschraube.
- Fixieren Sie das Oberteil des Transportbehältes mit zwei Sicherungsschrauben am Geräterahmen. Setzen Sie die beiden Schrauben gegenüberliegend (um 90° versetzt zu den bereits vorhandenen Schrauben) ein und ziehen Sie sie fest. Das Oberteil des Transportbehälters muss stets in dieser Stellung bleiben, selbst wenn sich die Strahlungsquelle selbst bereits gefahrlos unterhalb des Zählrohrs befindet. Abb. 4.6 zeigt den endgültigen Montagezustand.

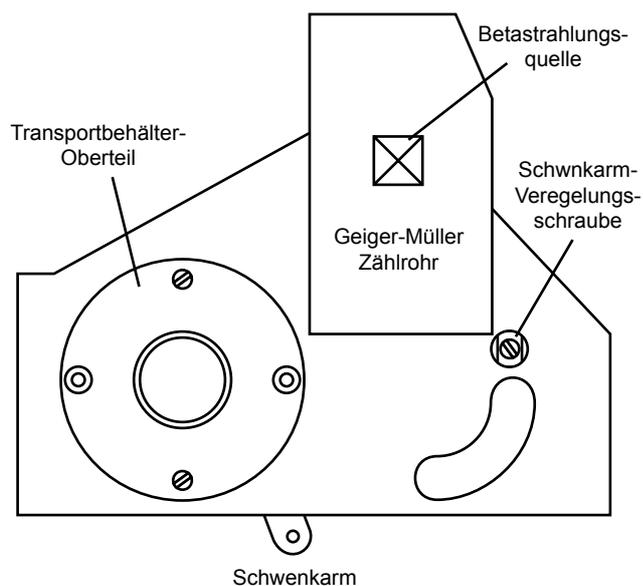


Abb. 4.6. Schwenkvorrichtung wieder in gesicherter Stellung, Transportbehälter fixiert und Strahlungsquelle unter dem Geiger-Zählrohr.

---

**Achtung:** Achten Sie unbedingt auf festen Sitz der Schwernkarm-Verriegelungsschraube und der Sicherungsschrauben für das Transportbehälter-Oberteil.

**Achtung:** Es dürften nur die in dieser Anleitung beschriebenen Schrauben gelöst bzw. entfernt werden!

**Achtung:** Bei Nichtbefolgen dieser Anweisungen besteht die Gefahr, mit der Betastahlung in Berührung zu kommen!

---

---

Um die Betastrahlungsquelle aus ihrer Betriebsstellung zu entfernen und wieder in den Transportbehälter einzusetzen, ist der obige Ablauf umzukehren.

## 4.6 Probenahmekopf und Ansaugleitung

Achten Sie darauf, dass sich der Probenluft-Einlass des SM200 direkt unter der Dachöffnung befindet (siehe Kapitel 4.2).

---

*Achtung: Achten Sie darauf, dass bei der Montage keine Fremdkörper ins Innere des SM200-Systems gelangen. Das Gerät könnte sonst dauerhaft beschädigt werden.*

---

### 4.6.1 Montage mit Temperaturstabilisator TS200

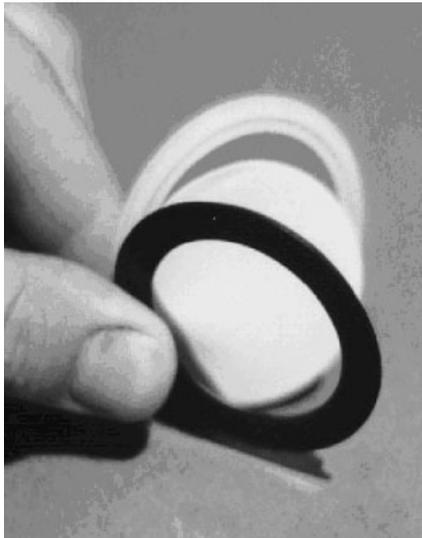
1. Führen Sie das TS200-Aluminiumrohr des zur Montage durch den Flansch. Ziehen Sie die Schrauben des Deckenflansches fest, sobald sich das Rohr in der korrekten Stellung befindet. Der Probenahmekopf sollte in einem Abstand von 1000 mm über Dach montiert werden. Setzen Sie den oberen Flansch über das Aluminiumrohr.
2. Montieren Sie das Kunststoffrohr des TS200. Dieses kann oben nach Bedarf abgelängt werden.
3. Montieren Sie die Abspannseile (zunächst Seilenden am Dachflansch befestigen).
4. Nehmen Sie die Montage des Wandventilators gemäß den Einbauanweisungen vor, die zum Lieferumfang des Ventilators gehören.
5. Führen Sie die Ansaugleitung durch die TS200-Mantelrohre. Ziehen Sie die Ansaugleitung, sobald sie am Einlass des SM200 anliegt, um 1-2 mm nach oben. Fixieren Sie sie in dieser Position durch Anziehen des Zugentlastungsringes.
6. Verbinden Sie den Zuluftschlauch mit dem Ventilator und dem Anschlussfitting der TS200-Ansaugleitung.
7. Verbinden Sie den Ablaufschlauch mit dem Fitting an der TS200-Ansaugleitung.
8. Montieren Sie den Probenahmekopf. Beachten Sie dabei sorgfältig die zum Probenahmekopf gehörigen Montageanweisungen.
9. Befestigen Sie den Außentemperatursensor in dem Fitting nahe dem oberen Lufteinlass. Führen Sie das Anschlusskabel des Sensors durch die TS200-Rohre zum Gerät.

## 4.6.2 Montage ohne Temperaturstabilisator TS200

1. Führen Sie die Ansaugleitung durch die Dachöffnung. Ziehen Sie die Ansaugleitung, sobald sie am Einlass des SM200 anliegt, um 1-2 mm nach oben. Fixieren Sie sie in dieser Position. Zur Vermeidung kondensatbedingter Probleme sollte die Ansaugleitung isoliert werden. Ziehen Sie im Zweifelsfall einen Opsis-Vertreter hinzu.
2. Der Probenahmekopf kann nun am Ende der Ansaugleitung montiert werden. Zum Lieferumfang des Probenahmekopfes sollte die entsprechende Dokumentation gehören. Beachten Sie diese Anweisungen gewissenhaft.

## 4.7 Filterträger und Filtermagazine

Filter dürfen im Rahmen des SM200-Systems nur mit Filterträger verwendet werden. [Abb. 4.7](#) zeigt das Einlegen des Filters zwischen den beiden Hälften des Filterträgers. Achten Sie darauf, dass der Filter mittig sitzt und die beiden Hälften einwandfrei zusammengefügt sind.



*Abb. 4.7. Montage des Filters im Filterträger.*

Die Probe durchströmt den Filter von der schwarzen Seite zur weißen Seite. Achten Sie darauf, wenn für die verwendeten Filter eine Durchflussrichtung vorgeschrieben ist. Die Form der Ringe kann unterschiedlich sein – maßgeblich ist allein ihre Farbe.

### **Wichtiger Hinweis zum SM200-Modell mit 1-Stunden-Messintervall:**

Zur Messung stündlicher Mittelwerte muss in jedem Filterträger zusammen mit dem Filter eine Durchfluss-Reduzierblende eingefügt werden. Die Montage dieser Blenden ist in

Abb. 4.8 verdeutlicht. Achten Sie darauf, dass die Reduzierblende stets auf der weißen Seite des Filterträgers eingesetzt wird.

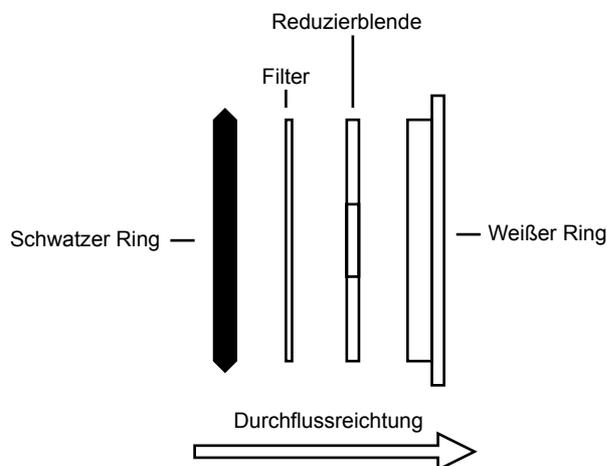


Abb. 4.8. Filterträger mit Durchfluss-Reduzierblende. Diese Blenden sind ausschließlich beim Schwebstaub-Immissionsgerät mit einstündigem Messintervall zu verwenden. Beim Zusammenbau des Filterträgers ist unbedingt darauf zu achten, dass die Farbringe (schwarz/weiß) in der obigen Reihenfolge – bezogen auf die Durchflussrichtung – montiert werden..

**Hinweis:** Die Durchfluss-Reduzierblenden dürfen nur bei dem Schwebstaub-Immissions-messgerät mit einstündigem Messintervall verwendet werden!

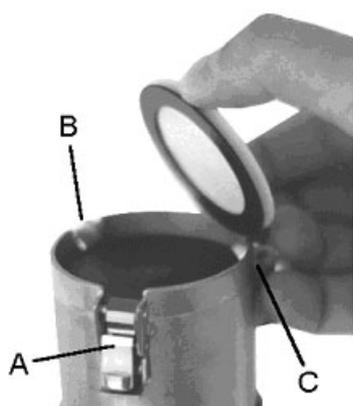


Abb. 4.9. Einlegen der Filter in das Filtermagazin. In dieser Stellung des Magazins muss der weiße Ring des Filterträgers nach oben weisen.

Das Gerät verfügt über zwei röhrenförmige Filtermagazine. Bei Messbeginn muss ein Magazin mit Filtern (in entsprechenden Filterträgern) befüllt, das andere dagegen leer sein. Das volle Magazin enthält die unbenutzten Filter, die im Laufe des Betriebs nach und nach entnommen werden. In dem anderen Magazin (Ablage-Magazin) werden die beprobten Filter gesammelt. Wenn das Ablage-Magazin voll wird, muss es entleert und das ReinfILTER-Magazin mit neuen Filtern beschickt werden.

Abb. 4.9 zeigt das Einlegen neuer Filter in das Reinform-Magazin. Das Magazin wird hierzu auf den Kopf gestellt (durchgehendes Ende nach oben weisend). Die Filtercharge wird durch drei Riegel (A – C in Abb. 4.9) gesichert. Schieben Sie die Filter sorgfältig an den Riegeln vorbei, wobei die weiße Seite des Filterträgers nach oben weisen muss. Das Magazin kann bis zu 40 Filter aufnehmen.

Nach erfolgreichem Beschicken des Reinform-Magazins kann dieses zusammen mit dem noch leeren Ablagemagazin am Gerät montiert werden. Abb. 4.10 zeigt die Einbauorte der beiden Magazine.

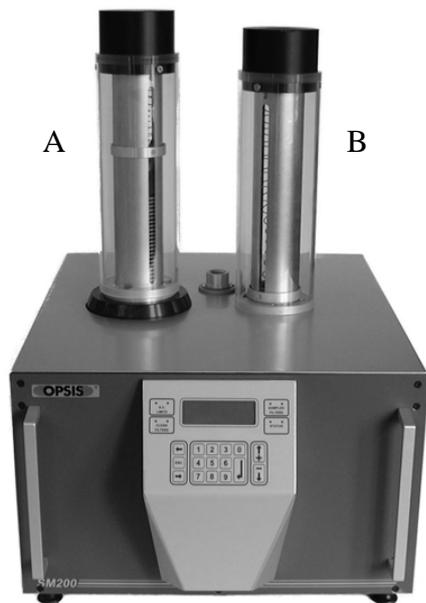


Abb. 4.10. Probenahmegerät mit Filtermagazinen. A = Reinform-Magazin, B = Ablagemagazin.

Setzen Sie jedes Magazin sorgfältig so in das Probenahme-Modul ein, dass die drei Riegel mit den entsprechenden Nuten der Öffnung fluchten. Drehen Sie das Magazin dann nach links, bis es hörbar einrastet und sich nicht weiter drehen lässt. Das Magazin befindet sich nun in Betriebsstellung – das Gerät ist damit einsatzbereit.

Beim Einführen des Reinform-Behälters fallen die ersten Filter in das Gerät. Dies ist ein normaler Vorgang.

Zur Entnahme eines Magazins aus dem Gerät muss der Zylinder fest umgriffen und nach rechts gedreht werden, bis die drei Riegel in den entsprechenden Nuten sichtbar werden. Das Magazin kann nun senkrecht aus dem Gerät gezogen werden.

Zur Entnahme von Filtern aus dem Magazin müssen die drei Nasen unten an den Riegeln (siehe Abb. 4.9) gleichzeitig niedergedrückt und der Außenring des Magazins nach oben geschoben werden. (Der Ring ist in Abb. 4.9 ebenfalls – unterhalb des Riegels – erkennbar, und zwar dort in seiner obersten Stellung).

Es können sich – selbst bei bereits leerem Reinform-Magazin – immer noch Filter im Gerät befinden, sei es im Karussell (bei Probenahme- und Messbetrieb) oder unterhalb des

---

Magazins (vor dem Einlegen in das Karussell). Um erforderlichenfalls alle noch im Gerät vorhandenen Filter zu entnehmen, kann ein spezielles Softwareprogramm verwendet werden. Nähere Hinweise hierzu enthält [Kapitel 5, Betrieb](#).

---

***Achtung:** Versuchen Sie nie, Filter von Hand aus dem Gerät zu nehmen – weder mit noch ohne Werkzeug. Das Gerät kann bei einem solchen Versuch leicht beschädigt werden. Verwenden Sie stattdessen die Entleerungsfunktion (siehe [Kapitel 5, Betrieb](#)).*

***Achtung:** Vermeiden Sie sorgfältig, dass beim Ausbau der Magazine Fremdkörper in das Probenahmemodul gelangen. Decken Sie die Öffnungen ggf. entsprechend ab.*

---

## 4.8 Inbetriebnahme

Nach Durchführung sämtlicher Vorbereitungsmaßnahmen, die in den vorstehenden Abschnitten beschrieben wurden, ist das Gerät bereit zur Inbetriebnahme. Führen Sie eine abschließende Kontrolle durch und schalten Sie das Gerät an der Rückseite des Probenahmemoduls ein.

Nach dem Einschalten führt das Gerät eine interne Kontrolle der einzelnen Untersysteme durch. Hieran schließt sich eine Aufwärmphase an, da das Gerät beim Probenahme- und Messbetrieb eine Innentemperatur von ca. 40 °C aufweisen muss. Nach Ablauf dieser Aufwärmphase ist das Gerät einsatzbereit.

Hinweise zur Konfigurierung und Verwendung des Systems sind [Kapitel 5, Betrieb](#) zu entnehmen.

---

***Hinweis:** Wenn das Gerät aus einer kälteren Umgebung an den Einsatzort verbracht wurde, muss es vor der Inbetriebnahme erst die neue Umgebungstemperatur annehmen, um Probleme durch Kondensatbildung zu vermeiden.*

---



In diesem Kapitel wird die Bedieneroberfläche des SM200-Systems beschrieben. Display und Bedienungstasten sind in der Frontplatte angeordnet. Auch auf die Software-Menüs und deren Verwendung wird nachstehend detailliert eingegangen.

Zur schnellen Inbetriebnahme des Geräts findet sich am Ende dieses Kapitels eine schrittweise Kurzanleitung.

## 5.1 Bedieneroberfläche

Abb. 5.1 zeigt die Frontplatte des SM200 mit Display, Tastenfeld und Meldeleuchten für die Status-Anzeige. Das Display ist vierzeilig.

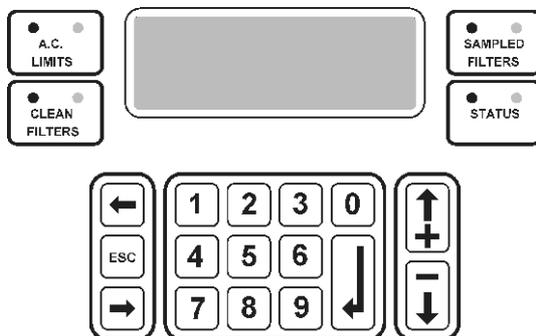


Abb. 5.1. Frontplatte des SM200-Geräts.

Die Tasten dienen zum Navigieren innerhalb der Menüs. Mit den Pfeiltasten [Aufwärts] und [Abwärts] wird innerhalb der Menüstruktur herauf- bzw. heruntergeschaltet. Die Taste [Enter] aktiviert die jeweils aufgerufene Funktion, mit [Esc] kehren Sie in das vorausgegangene Menü zurück. Zur Dateneingabe in den Menüs werden die Pfeiltasten [Aufwärts] und [Abwärts] sowie die Zifferntasten verwendet. Drücken Sie [Enter], um einen neuen Wert zu übernehmen, oder [Esc], um die betreffende Funktion ohne Speichern der neuen Einstellung zu verlassen.

## 5.2 Status-Signale

Die Meldeleuchten im der Frontplatte ([Abb. 5.1](#)) haben folgende Bedeutung:

*Tabelle 5.1: Status-Signale.*

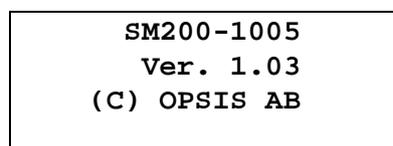
Meldeleuchte	Grün	Rot
A.C. LIMITS	Netzspannung liegt innerhalb des Sollbereichs.	Netzspannung liegt außerhalb der Sollbereichs. Betrieb des Geräts nicht möglich. Gleichzeitiges Aufleuchten der roten <u>und</u> grünen Meldeleuchte weist auf grenzwertige (gerade noch akzeptable) Netzspannungsverhältnisse hin.
STATUS	System läuft.	Gerät ist gestört. Siehe Systemstatus- Menüs und Störungsbeistand in diesem Handbuch.

*Tabelle 5.2: Filter-/Magazinstatus.*

Grün	Rot	Bedeutung
Ein	Aus	Magazin mit Filtern eingesetzt.
Aus	Ein	Magazin fehlt.
Aus	Blinkt	Magazin vorhanden, Filter konnte jedoch nicht geladen werden.
Blinkt	Blinkt	Höchstens noch 5 Filter im Magazin.
Ein	Ein	Filter bereits eingelegt.

## 5.3 Inbetriebnahme

Beim Einschalten zeigt das Gerät zunächst die Startmeldung (siehe [Abb. 5.2](#)) mit der Serien-Nr. des Geräts und der verwendeten Software-Version.



*Abb. 5.2. SM200-Startmeldung.*

Nach einigen Sekunden wird das SM200-Hauptmenü aufgebaut (siehe [Abb. 5.3](#)). In der Info-Zeile erscheint beim erstmaligen Einschalten eine Aufwärmmeldung, die solange angezeigt bleibt, bis sich das Innere des Geräts auf die Betriebstemperatur von ca. 40 °C erwärmt hat.

---

Nach Erreichen der Betriebstemperatur kann auf sämtliche Funktionen des Geräts zugegriffen werden.

Die Aufwärmphase lässt sich durch Drücken der [ESC]-Taste überspringen. Im Interesse eines einwandfreien Messbetriebs sollte dem Gerät jedoch stets die Möglichkeit gegeben werden, erst die normale Betriebstemperatur herzustellen, d.h. die Aufwärmphase sollte grundsätzlich nur übersprungen werden, wenn ein sofortiger Beginn der Messung nicht beabsichtigt ist. Der Aufwärmfunktion wird auch nach Drücken der [ESC]-Taste fortgesetzt.

2003-09-23 11:43:07
[1]-Measure [2]-Def.
[3]-Service [4]-Data
Info:

Abb. 5.3. SM200-Hauptmenü.

Wird das Gerät aus dem laufenden Messbetrieb neu gestartet und hat daher die Temperatur von ca. 40 °C bereits annähernd erreicht, erscheint in der Info-Zeile die Meldung **Resuming meas soon** ("Messung wird gleich fortgesetzt"). Drückt der Bediener daraufhin die [Esc]-Taste, fährt das Gerät nicht mit der Messung fort, sondern zeigt die Meldung **Meas halted** ("Messung angehalten"). Andernfalls nimmt es sofort bei Erreichen der Betriebstemperatur den Messbetrieb auf. Hinweise zur Fortsetzung des Messbetriebs nach einer Unterbrechung enthält [Kapitel 5.5.7](#).

## 5.4 Übersicht über das Menüsystem

Das Menüsystem setzt sich aus mehreren Einzelmenüs zusammen. Die Struktur dieser Menüs ist in Abb. 5.4 dargestellt.

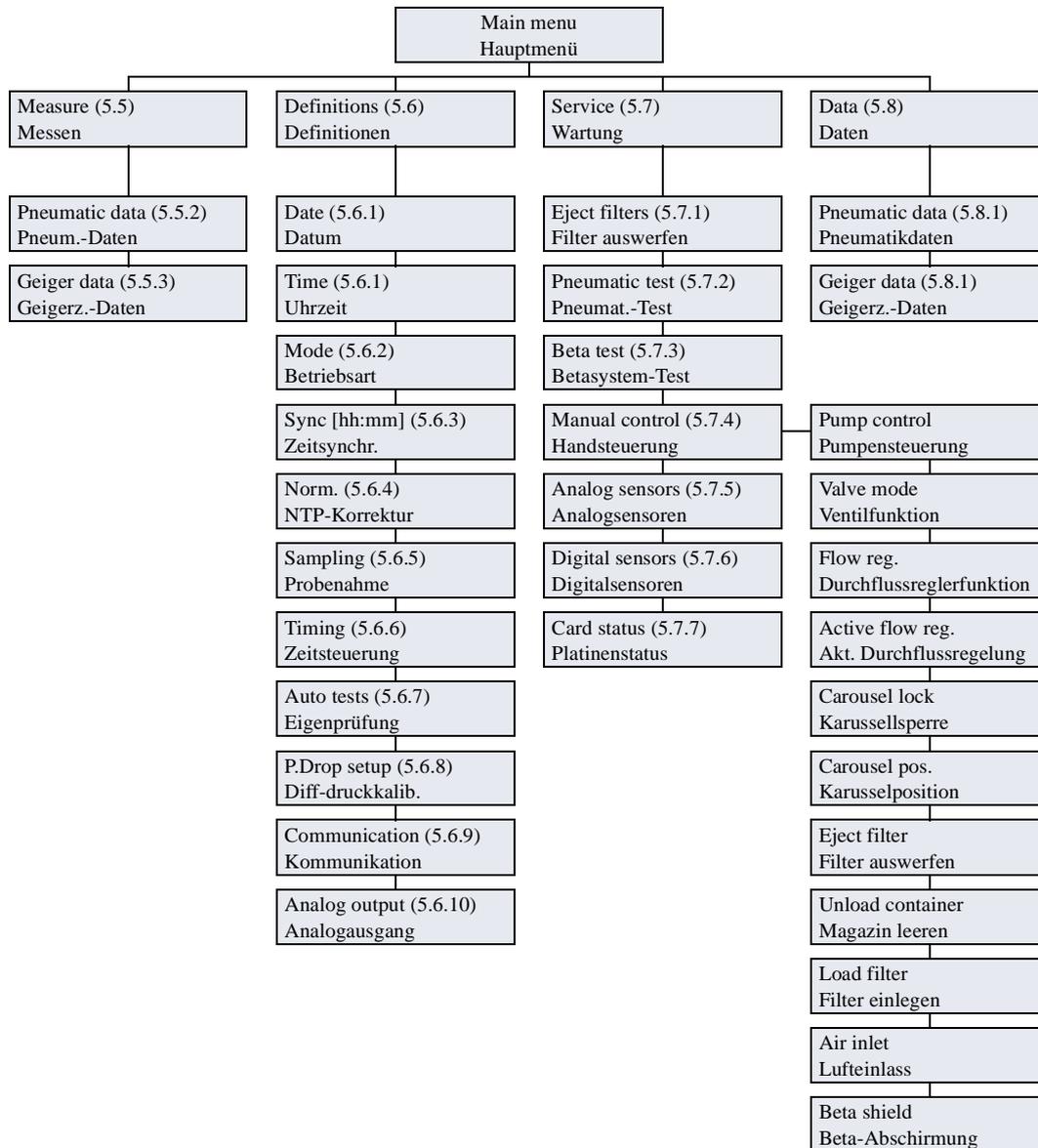


Abb. 5.4. Menüstruktur mit Angabe der Kapitel, in denen das jeweilige Menü beschrieben wird.

## 5.5 Das Menü "Messen" (Measure)

Aus diesem Menü lassen sich Messungen starten, anhalten und abrechnen. In den Menüs "Pneumatikdaten" (Pneumatic data) und "Geigerzähler-Daten" (Geiger data) kann auf die im Gerät anliegenden Sensordaten sowie die zur Berechnung der Massekonzentrationen verwendeten Parameter zugegriffen werden.

---

```
Meas mode: Measure
Pneu:      01:30:13
Geiger:    Blank 30
2003-10-12 16:29:57
Pneumatic data [+]
Geiger data  [+]
```

Abb. 5.5. Das Menü "Messen".

### 5.5.1 Messbetriebsart (Meas mode)

In der ersten Zeile des Messmenüs wird die Messbetriebsart angezeigt. Es gibt drei verschiedene Betriebsarten: Messen (Measure), Leerlauf (Idle) und Angehalten (Halted).

In der Betriebsart "Messen" (Measure) führt das Gerät Messungen gemäß den im Definitionsmenü vorgenommenen Einstellungen durch. Eine detaillierte Beschreibung des Messablaufs enthält [Kapitel 2, Hardware-Beschreibung](#).

### 5.5.2 Pneumatik-Informationen (Pneu)

In der Zeile Pneu erscheinen Informationen zur laufenden Messung. Angezeigt wird die verbleibende Probenahmezeit (1 Std., 30 min, 30 sek. in [Abb. 5.5](#)).

Nach Beendigung der Probenahmezeit erscheint in der Zeile Pneu die Gesamtprobenahmezeit, und zwar wie folgt:

```
Pneu: 07:58 [hh:mm]
```

### 5.5.3 Geigerzähler-Informationen (Geiger)

In der Zeile Geiger werden Informationen über die Art der durchgeführten Strahlungsmessung angezeigt. Es kann sich jeweils um eine Dunkelfeld-, Leer- oder Sammelmessung (Dark, Blank oder Collect) handeln. Zudem wird die bereits verstrichene Zeit der aktuellen Messung (in Minuten) angegeben.

### 5.5.4 Start einer neuen Messung

Setzen Sie den Cursor in die Zeile für die Messbetriebsart (Meas mode) und drücken Sie die Taste [Enter]. Wählen Sie mit Hilfe der Pfeiltasten die Funktion "Neustart" (New start) und bestätigen Sie mit [Enter]. Das Gerät beginnt mit einer neuen Messung. Im Feld für die Messbetriebsart (Meas mode) erscheint der Eintrag "Messung" (Measure).

Bei laufender Messung wird in der Info-Zeile des Hauptmenüs die Meldung "Messung läuft" (Meas. active) angezeigt.

### **5.5.5 Abbruch einer Messung**

Wenn sich das Gerät in der Betriebsart "Messen" (Measure) oder "Angehalten" (Halted) befindet, kann die laufende Messung jederzeit abgebrochen werden.

Setzen Sie hierzu den Cursor in die Zeile für die Messbetriebsart (Meas mode) und drücken Sie die Taste [Enter]. Wählen Sie mit Hilfe der Pfeiltasten die Funktion "Abbrechen" (Abort) und bestätigen Sie mit [Enter]. Die Messung wird daraufhin abgebrochen. Im Feld für die Messbetriebsart (Meas mode) erscheint daraufhin die Anzeige "Leerlauf" (Idle).

### **5.5.6 Anhalten einer Messung**

Eine laufende Messung kann - z.B. zur Wartung des Geräts - vom Bediener angehalten werden.

Setzen Sie dazu den Cursor in die Zeile für die Messbetriebsart (Meas mode) und drücken Sie [Enter]. Wählen Sie mit Hilfe der Pfeiltasten die Funktion "Anhalten" (Halt) und drücken Sie erneut [Enter]. Die Messung wird daraufhin unterbrochen. Im Feld für die Messbetriebsart (Meas mode) erscheint die Anzeige "Angehalten" (Halted). Zur Fortsetzung der Messung siehe [Kapitel 5.5.7](#).

### **5.5.7 Fortsetzung der Messung**

Eine angehaltene (= unterbrochene) Messung kann später wieder aufgenommen werden. Setzen Sie hierzu den Cursor in die Zeile für die Messbetriebsart (Meas mode) und drücken Sie die Taste [Enter]. Wählen Sie mit Hilfe der Pfeiltasten die Funktion "Fortsetzen" (Continue) und bestätigen Sie mit [Enter]. Die Messung wird daraufhin fortgesetzt.. Im Feld für die Messbetriebsart (Meas mode) erscheint der Eintrag "Messung" (Measure).

### **5.5.8 Die Menüs "Pneumatikdaten" und "Geigerzählerdaten"**

Das Menü "Pneumatikdaten" (Pneumatic data) enthält Angaben über die Pneumatik-Parameter zur laufenden Messung. Analog dazu lassen sich im Menü "Geigerzählerdaten" (Geiger data) Informationen zu den Geigerzähler-Parametern aufrufen. Die Werte dieser Parameter werden einmal pro Minute aktualisiert (siehe [Abb. 5.6](#)).

Eine Erläuterung dieser Parameter findet sich im [Kapitel A.1, Pufferspeicher-Inhalt](#). Dieselben Menüs mit Daten bereits abgeschlossener Messungen sind über das Menü "Daten" (Data) aufrufbar (siehe [Kapitel 5.8](#)).

Start 2003-10-01 15	Start 2003-10-01 15
Sample time: 6:25	Dark : 27 [CPM]
Vol S: 5.790 [Nm3]	Blank: 104974 [CPM]
Vol I: 6.418 [m3]	Blank time : 30
PDrop I: 9.840[kPa]	Coll.: 0 [CPM]
PDrop F:10.117[kPa]	Coll. time : 0
Flow RSD: 1.1 [%]	Natural [1] : 0
Flow T : 37.84 [°C]	Natural [2] : 0
Ext. T : 25.05 [°C]	Natural [3] : 0
Atm P : 99.764[kPa]	Natural [4] : 0
Filter hum:28.75[%]	Natural [5] : 0
Filter T: 20.34[°C]	Natural periods : 0
Valve pos F : 17116	Blank T : 40.02[°C]
Pneu status : 0000	BlankP: 99.619[kPa]
	Blank hum :24.01[%]
	Blank HV:603.942[V]
	Coll. T: 0.00[°C]
	Coll.P: 0.000[kPa]
	Coll. hum : 0.00[%]
	Coll. HV: 0.000[V]
	G.stab: 0.0[rel]
	Geiger Status: 0000

Abb. 5.6. Die Menüs "Pneumatikdaten" und "Geigerzählerdaten".

## 5.6 Das Menü "Definitionen"

Das Menü "Definitionen" (Definitions) bietet folgende Möglichkeiten:

- Einstellung von Betriebsparametern des Geräts.
- Änderung von Uhrzeit und Datum.
- Festlegung der Zeitintervalle zwischen den Eigenprüfungen.
- Konfiguration des seriellen Datenaustauschs.
- Konfiguration des Analogausgangs.

---

Date	2003-09-23
Time	11:43:07
Mode	Dust
Sync [hh:mm]	00:00
Norm.	NTP 0 °C
Sampling	[+]
Timing	[+]
Auto tests	[+]
P.Drop setup	[+]
Communication	[+]
Analog output	[+]

Abb. 5.7. Das Menü "Definitionen".

### 5.6.1 Änderung von Uhrzeit und Datum (Date, Time)

Setzen Sie dazu den Cursor in die Zeile "Datum" (Date) bzw. Uhrzeit (Time) und drücken Sie die [Enter]-Taste. Geben Sie über die Zifferntastatur ein neues Datum bzw. eine andere Uhrzeit ein. Drücken Sie erneut [Enter], um die Eingabe zu übernehmen.

### 5.6.2 Betriebsart (Mode)

Die Einstellung in der Zeile "Betriebsart" (Mode) muss der jeweiligen Geräteausführung entsprechen. Es besteht die Auswahl zwischen folgenden vier Typen:

- Schwebstaub-Immissionsmessgerät (Dust)
- Stabilitätsüberwachungssystem (Stability)
- Kombinationsgerät (Combined)
- Staubprobenehmer (Sampler)

### 5.6.3 Zeitsynchronisation (Sync [hh:mm])

Mit dieser Einstellung wird die Startzeit für den Probenahmezyklus festgelegt. Wenn ein 24-stündiger Probenahmezyklus verwendet wird, bedeutet der Wert "00:00" in der Sync-Zeile, dass das Gerät von Mitternacht dieses Tages bis Mitternacht des nächsten Tages misst.

---

Die Vorbereitung ("Konditionierung") eines Filters zur Probenahme nimmt in der Regel 2,5 Stunden in Anspruch.

---

***Beispiel:** Das Gerät startet um 18.00 Uhr. Es benötigt zunächst 2½ Std. für die Vorbereitung des ersten Filters. Um 20.30 Uhr beginnt die eigentliche Probenahme. Daraufhin wird der nächste Filter vorbereitet und steht zur Probenahme um Mitternacht zur Verfügung.*

---

## 5.6.4 NTP-Korrektur (NTP correction)

Die gemessenen Konzentrationen lassen sich auf eine Bezugstemperatur normieren. Hierzu stehen folgende Temperaturen zur Verfügung:

- NTP 0 °C
- NTP 20 °C
- NTP 25 °C
- Keine Korrektur (No corr). Bei Wahl dieser Einstellung wird keine NTP-Korrektur vorgenommen.

## 5.6.5 Probenahme (Sampling)

Das Menü zur Einstellung der Probenahme-Parameter ist in [Abb. 5.8](#) dargestellt.

<code>FlowRate[m3/h]</code>	<code>1.00</code>
<code>Min drop [kPa]</code>	<code>0.0</code>
<code>Min flow[m3/h]</code>	<code>0.00</code>

*Abb. 5.8. Das Menü "Probenahme".*

- **Flow rate** bezeichnet den Nenndurchfluss der Probenluft durch das Gerät. Der Durchflusswert hängt davon ab, welcher Probenahmekopf verwendet wird. Die korrekte Einstellung ist den technischen Daten des Probenahmekopfs zu entnehmen. Zur Festlegung muss der Wert über das Zifferntastenfeld eingegeben werden; die Eingabe ist abschließend mit [Enter] zu bestätigen. Der Durchfluss (am Probenahmekopf) wird in m<sup>3</sup>/h definiert.
- **Min drop** bezeichnet den Grenzwert des Differenzdrucks am Filter, bei dessen Unterschreitung ein Alarm gesetzt wird. Ein spürbarer Druckabfall am Filter ist aufgrund seines Strömungswiderstands normal. Das Verschwinden dieses Druckabfalls weist auf eine Störung – in der Regel einen Filterriss – hin.

Geben Sie einen Wert für den geringsten zulässigen Differenzdruck ein und bestätigen Sie mit [Enter]. Die Angabe des Differenzdrucks erfolgt in kPa. Durch Eingabe des Werts "0" lässt sich die Alarmfunktion deaktivieren.

Der normale Differenzdruck hängt von der Art des verwendeten Filters ab. Es empfiehlt sich, das Gerät zunächst mit deaktiviertem Differenzdruck-Alarm zu betreiben

und die dabei auftretenden Normalwerte des Differenzdruckss im Pufferspeicher zu beobachten. Anschließend kann der Alarmgrenzwert dann auf etwa 5 kPa unter dem normalen Differenzdruck-Niveau eingestellt werden.

---

*Hinweis: Bei Verwendung eines anderen Filtertyps oder Veränderung des Durchflusses muss der Alarmgrenzwert des Filter-Differenzdrucks neu ermittelt und eingestellt werden.*

---

- **Min flow** bezeichnet den zulässigen Mindestdurchfluss durch das Gerät. Bei Unterschreiten dieses Durchflusswerts wird ein Alarm gesetzt und der Messbetrieb eingestellt. Der Durchfluss im Gerät kann aus verschiedenen Gründen von dem oben unter **Flow rate** eingestellten Nennwert abweichen, z.B. weil der Differenzdruck am Filter zunimmt oder die Pumpenleistung nachlässt. Geben Sie den neuen Mindestdurchfluss über die Zifferntasten ein und bestätigen Sie mit [Enter]. Die Eingabe erfolgt in m<sup>3</sup>/h. Von dem Durchfluss durch das Gerät kann u.a. die Leistung des Probenahmekopfes abhängen.

In der Regel reicht es aus, einen Mindestdurchfluss von 0.1–0.2 m<sup>3</sup>/h unter dem Nenndurchfluss zu wählen. Durch Einstellung eines Mindestdurchflusses von 0 m<sup>3</sup>/h kann diese Funktion deaktiviert werden.

## 5.6.6 Zeitsteuerung (Timing)

In diesem Menü werden die Probenahmezeit sowie die Anzahl Proben pro Filter eingestellt. Auch die Dauer der Filterkonditionierung kann hier verändert werden.

Sampling time[h]	24
Conditioning[10m]	6
Samples/filter	1
Filters (max)	40
Service [d:h]	40:00

Abb. 5.9. Das Menü "Zeitsteuerung"

In der Zeile **Service** wird angegeben, wie lange ein volles Filtermagazin reicht (= Wartungsintervall).

## 5.6.7 Eigenprüfung (Auto tests)

Das Gerät kann im Rahmen seiner Qualitätssicherungsfunktionen eine Prüfung des pneumatischen Systems sowie des Betastrahlen-Absorptionsmesskreises durchführen. Der zeitliche Abstand, in dem diese Prüfungen jeweils vorgenommen werden sollen, wird im Menü "Eigenprüfung" (Auto test) eingestellt.

---

Pneumatic cycle	1
Pneu.int[d:h]	1.00
Beta span cycle	30
Beta int[d:h]	30:00

Abb. 5.10. Das Menü "Eigenprüfung".

Die Prüfung des pneumatischen Systems umfasst eine Messbereichsprüfung sowie eine Dichtheitsprüfung der Probenahmeleitungen. Durch Einstellung des Wertes "0" in der Zeile Pneumatic cycle wird die Testfunktion während des Messbetriebs deaktiviert. Die Prüfung nimmt 2 - 3 Minuten in Anspruch. Es empfiehlt sich, sie einmal pro Messzyklus durchführen zu lassen. Die Ergebnisse des Pneumatiktests sind im Menü "Pneumatiktest" (Pneumatic test) abrufbar, siehe [Kapitel 5.7.2](#). Aus diesem Menü lässt sich auch eine manuelle Pneumatik-Prüfung durchführen.

Die Prüfung des Betastrahlungs-Systems dauert ca. 40 Minuten. Dieser Test sollte einmal monatlich durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind in dem Menü "Absorptionsmesskreis-Test" (Beta test) abrufbar, siehe [Kapitel 5.7.3](#). Aus diesem Menü lässt sich auch eine manuelle Prüfung des Betastrahlensystems durchführen.

## 5.6.8 Einrichten des Differenzdruck-Kalibrierfaktors (Pressure drop setup)

In diesem Menü kann der Masse/Differenzdruck-Kalibrierfaktor verändert werden.

Mass/PD:	1.0 ug/m3
----------	-----------

Abb. 5.11. Das Menü "Differenzdruck-Kalibrierfaktor einrichten".

## 5.6.9 Kommunikation (Communication)

Mit diesem Menü ist die Übertragungsgeschwindigkeit der Kommunikationsanschlüsse einstellbar. Es besteht die Auswahl zwischen 2400, 4800, 9600, 19200, 38400 und 57600 Bit/s. Wenn ein COM-Port nicht verwendet werden soll für diesen Anschluss die Einstellung Inactive gewählt werden.

---

*Hinweis: Der COM-Port A ist reserviert.*

---

---

```
Baud ComA: Inactive
Baud ComB:   19200
Baud ComC:   19200
```

Abb. 5.12. Das Menü "Kommunikation".

## 5.6.10 Das Menü "Analog-Ausgang" (Analog output)

An dem Analogausgangs-Steckverbinder in der Geräterückwand kann wahlweise ein Signal von 0-10 V d.c. oder 0-20 mA ausgegeben werden. Das Menü "Analog-Ausgang" (Analog output) bietet bei der Ausführung als Schwebstaub-Immissionsmessgerät die Möglichkeit, die entsprechende Staubkonzentration festzulegen. Wählen Sie zunächst in der ersten Zeile unter Analog type die Einstellung "Spannung" (Voltage) oder "Strom" (Current). Mit den Funktionen Test min und Test max lässt sich der Analog-Ausgang zu Prüfzwecken aktivieren.

```
Analog type:Voltage
Range[ug/m3]:1000.0
Zero level [%]:  0
Test min
Test max
```

Abb. 5.13. Das Menü "Analog-Ausgang".

## 5.7 Das Menü "Wartung" (Service)

Aus diesem Menü lassen sich Prüffunktionen und manuelle Steuerungen durchführen sowie die Werte der analogen und digitalen Sensoren des Geräts anzeigen.

```
Eject filters
Pneumatic test  [+]
Beta test       [+]
Manual control  [+]
Analog sensors  [+]
Digital sensors  [+]
Card status     [+]
```

Abb. 5.14. Das Menü "Wartung".

## 5.7.1 Filter auswerfen (Eject filters)

In dem Karussell des Geräts befinden sich in der Regel mehrere Filter. Diese bleiben bei bloßer Entnahme des Filtermagazins im Gerät zurück.

Es kann jedoch der Wunsch bestehen, alle Filter aus dem Gerät zu entfernen - z.B. nach Abschluss einer Messreihe. Hierzu ist wie folgt vorzugehen:

- Setzen Sie den Cursor im Wartungsmenü (**Service**) auf den Eintrag "Filter auswerfen" (**Eject filters**) und bestätigen Sie mit **[Enter]**. Daraufhin werden alle noch im Karussell befindlichen Filter in das Ablagemagazin transportiert.
- Entfernen Sie das Reinformagazin vom Gerät.
- Entfernen Sie das Ablagemagazin vom Gerät.
- Vergewissern Sie sich (mittels Sichtprüfung durch die Öffnungen in den Filtermagazinen), dass keine Filter im Gerät zurückgeblieben sind. Falls doch, setzen Sie das Ablagemagazin wieder auf und wiederholen Sie den Vorgang.

Das Auswerfen der Filter kann ca. 1 Minute dauern. Im Display erscheint während dieser Zeit eine Wartemeldung. Das Entleeren des Karussells kann nach Eingabe des Befehls "Filter auswerfen" nicht unterbrochen werden.

Beim Auswerfen der Filter wird zugleich eine Qualitätssicherungs-Prüfung der Mechanik des Geräts durchgeführt. Selbst wenn sich keine Filter mehr im Gerät befinden, kann es daher aufschlussreich sein, den Befehl "Filter auswerfen" ausführen zu lassen. Wenn eine Störung der Transportmechanik vorliegt, erscheint eine Störungsmeldung. Zur Interpretation der Fehlercodes siehe die Hinweise im Anhang.

## 5.7.2 Pneumatiktest (Pneumatic test)

Wählen Sie aus dem Hauptmenü **[3]-Service** und rufen Sie die Funktion **Pneumatic test** auf, um in das Pneumatiktest-Menü zu gelangen. Dort stehen Ihnen zwei verschiedene Testfunktionen zur Verfügung:

- eine Messbereichsprüfung, mit der der Durchfluss durch das Gerät kontrolliert wird
- eine Dichtheitsprüfung auf luftdichten Abschluss der Leitungen.

Im Display erscheinen die Werte des zuletzt durchgeführten Pneumatiktests (siehe [Abb. 5.15](#)). Diese Informationen sind zur Qualitätssicherung und Entstörung hilfreich.

<b>Span/leak test</b>		
<b>S:</b>	2.544	0.29 0.1
<b>L:</b>	9.3 kPa	0 Pa
<b>D:</b>	2003-09-26	08:29

Abb. 5.15. Das Menü "Pneumatiktest" mit Anzeige der Ergebnisse aus der zuletzt durchgeführten Prüfung.

### 5.7.2.1 Messbereichsprüfung (Span test)

Der Durchfluss durch das System wird über den Differenzdruck an einer Messblende ermittelt und mittels eines Nadelventils geregelt. Zwischen Durchfluss und Differenzdruck besteht ein Zusammenhang, der durch einen bestimmten Faktor wiedergegeben wird. Dieser Faktor wird im Werk dauerhaft im Gerät gespeichert. Aus der Messbereichsprüfung ergibt sich ein neuer Faktor, der mit dem gespeicherten verglichen wird – die Differenz wird als Prozentwert ausgewiesen. Diese Prozentangabe stellt das Ergebnis der Prüfung dar, sie sollte möglichst nahe Null liegen. Eine Differenz von einigen wenigen Prozenten kann toleriert werden, bei deutlich höherem Ergebnis kann jedoch eine Nachkalibrierung erforderlich werden.

Als Ergebnis der Messbereichsprüfung (S) gibt das Gerät drei Werte aus:

- Der erste Parameter ist der Kalibrierungswert für die Durchflussüberwachung. Beim Start der Prüfung erscheint hier der abgespeicherte Kalibrierungswert. Nach einiger Zeit wird er mit dem entsprechenden Wert aus der Messbereichsprüfung ersetzt. Beide Werte liegen in der Regel knapp über 2,0.
- Der mittlere Parameter gibt den Druck an, der bei der Prüfung in den Luftleitungen im Inneren des Geräts herrscht. Er wird als Innendruckanteil am Aussendruck angegeben. Der Wert beträgt bei Beginn der Prüfung 1,0, sinkt jedoch bei laufender Pumpe auf 0,45 und darunter (Betriebspunkt der Messblende für die Messbereichsprüfung). An diesem Punkt wird der Prüfungskalibrierwert berechnet (s.o.).
- Der dritte Parameter gibt die Abweichung des Prüfungskalibrierwerts von dem gespeicherten Kalibrierwert an. Diese Abweichung muss niedrig sein; sie sollte im Höchstfall einige wenige Prozent betragen.

Bei der Prüfung wird der gespeicherte Kalibrierungswert nicht verändert; ihm wird lediglich der Prüfkalibrierwert gegenübergestellt.

### 5.7.2.2 Dichtheitsprüfung (Leak test)

Bei der Dichtheitsprüfung (L) werden die internen Luftleitungen möglichst luftleer gepumpt, anschließend wird die Pumpe abgeschaltet. Als Ergebnis der Prüfung werden zwei Parameter ausgegeben:

- Der erste Prüfparameter gibt den Restdruck im System an. Zu Beginn des Tests herrscht im System noch atmosphärischer Druck, der dann jedoch zurückgeht, sobald die Pumpe Luft abzusaugen beginnt. Zu dem Zeitpunkt, da das Ventil schließt, sollte der Wert deutlich unter 30 kPa betragen, bei einem neuen Gerät liegt er in der Regel bei 15 kPa oder darunter. Dieser Parameter ist ein Maß für den Pumpenwirkungsgrad.
- Der zweite Prüfparameter gibt einen niedrigen Druckwert bei einer künstlich herbeigeführten Leckströmung an. Dieser Wert ist bei luftleer gepumptem System "Null", steigt jedoch mit Beginn des Tests an. Die Zunahme sollte sehr klein bleiben, jedoch in keinem Fall 0,08 kPa überschreiten, da sie ein Maß für das Eindringen von Fremdluft in das System darstellt.

Nähere Informationen über die Prüfergebnisse und ihre Bedeutung sind dem Kapitel über die Qualitätssicherungsfunktionen (Kapitel 3, *Qualitätssicherung und Qualitätslenkung*) zu entnehmen.

### 5.7.2.3 Start eines neuen Pneumatiktests

Drücken Sie zur Ausführung eines manuellen Pneumatiktests die [Enter]-Taste. *Abb. 5.16* zeigt das bei laufendem Pneumatiktest erscheinende Display.

Span/leak test	...
S: 2.545 1.00	0.0
L: 99.4 kPa	13 Pa
Testing	...

*Abb. 5.16. Anzeige im Display "Pneumatiktest" bei laufender Messbereichs- bzw. Dichttheitsprüfung.*

### 5.7.3 Absorptionsmesskreis-Test (Beta test)

Beim Aufrufen dieses Menüs erscheinen die Werte des zuletzt durchgeführten Absorptionsmesskreis-Tests (siehe *Abb. 5.17*). Diese Informationen sind zur Qualitätssicherung und Entstörung hilfreich.

<b>Beta test</b>	
Dk: 27	CE: 0.0%
A:1291924	B:1005210
D:2003-10-01	07:04

*Abb. 5.17. Das Menü "Absorptionsmesskreis-Test" mit Anzeige der Ergebnisse aus der zuletzt durchgeführten Prüfung.*

Als Ergebnisse der Prüfung werden vier Parameter ausgewiesen: die Zählabweichung des Geigerzählers sowie drei Zählwerte:

- Bei dem ersten Zählwert (Dk) handelt es sich um die Dunkelzählung. Dies ist das Signal, dass das Geiger-Müller-Zählrohr bei abgedeckter Strahlungsquelle liefert. Der Wert sollte daher möglichst niedrig sein (zwischen 10 und 100 Zählern). Seine absolute Höhe schwankt je nach Geigerzähler; wichtig ist vor allem, dass es keine größeren Unterschiede zwischen den Dunkelzählwerten aus mehreren Prüfungen gibt.
- Der zweite und dritte Zählwert (A und B) geben die Geigerzählersignale bei Platzierung zweier verschiedener Metallblenden zwischen Strahlungsquelle und Zählrohr wieder. Die Öffnungsdurchmesser der beiden Blenden sind exakt bekannt, das Verhältnis zwischen den beiden Zählwerten sollte daher unverändert bleiben, auch wenn die absoluten Zählwerte in ihrer Höhe eventuell schwanken.

- Das unter CE ausgewiesene Ergebnisparameter (siehe Abb. 5.17) stellt den prozentualen Unterschied zwischen dem (werksseitig definierten) Kalibrierungswert des Zählerverhältnisses und dem gemessenen (Ist-)Zählwertverhältnis dar. Dieser Fehler sollte möglichst nahe bei Null liegen. In der Regel sollte er über einige wenige Prozent nicht hinausgehen. Das Ergebnis der Prüfung hängt von der Intensität und Schwankung der natürlichen Hintergrundstrahlung ab.
- The beta test result (parameter CE in Abb. 5.17) is the percentage difference between the calibrated counter values relationship, set when the instrument was manufactured, and the measured counter values relationship. The error should be as close as possible to zero percent. Normally, it should not exceed a few percent. The test result will depend on the amount of and variation in the natural background radioactivity.

### 5.7.3.1 Start eines neuen Absorptionsmesskreis-Tests

Drücken Sie zur Ausführung eines manuellen Absorptionsmesskreis-Tests die [Enter]-Taste. Abb. 5.18 zeigt das bei laufender Prüfung des Absorptionsmesskreises eingeblendete Display.

```

Beta test      ...
Dark: 120
A:1291924  B:1005210
Testing       ...
    
```

Abb. 5.18. Anzeige im Display "Absorptionsmesskreis-Test" während der Prüfung.

### 5.7.4 Handsteuerung (Manual control)

Aus diesem Menü ist eine manuelle Steuerung des Geräts möglich.

```

Pump control : Off
Valve mode   : Sample
Flow reg.    : Closed
Active flow reg:Off
Carousel lock: On
Carousel pos :L1_U2
Eject filter
Unload container
Load filter
Air inlet   :Inactive
Beta shield  : On
    
```

Abb. 5.19. Das Menü "Handsteuerung".

---

### 5.7.4.1 Pumpensteuerung (Pump control)

Drücken Sie [Enter], um die Pumpe zu starten. Erneutes Drücken der [Enter]-Taste bewirkt, dass die Pumpe abgeschaltet wird.

### 5.7.4.2 Ventilfunktion (Valve mode)

Das Ventil kann wahlweise in eine der drei Betriebsarten "Probenahme" (Sample), "Messbereich" (Span) oder "Dichtheit" (Leak) geschaltet werden..

### 5.7.4.3 Durchflussregler (Flow reg.)

Mit dieser Funktion lässt sich der Durchflussregler wahlweise in eine der drei Betriebsarten "Regeln" (Regulate), "Höchstdurchfluss" (Max flow) oder "Geschlossen" (Closed) schalten.

### 5.7.4.4 Aktive Durchflussregelung (Active flow reg.)

Die aktive Durchflussregelung kann wahlweise ein- oder ausgeschaltet werden (On bzw. Off).

### 5.7.4.5 Karussellsperre (Carousel lock)

Hier lässt sich die Karussellsperre wahlweise ein- oder ausschalten (On bzw. Off).

### 5.7.4.6 Karussellstellung (Carousel pos)

Mit dieser Funktion lässt sich das Karussell manuell in eine von vier Stellungen schalten:

- L1\_U2 : Filter 1 einlegen, Filter 2 auswerfen
- S1\_G2 : Probenahme auf Filter 1, Absorptionsmesskreis-Test auf Filter 2
- L2\_U1 : Filter 2 einlegen, Filter 1 auswerfen
- S2\_G1 : Probenahme auf Filter 2, Absorptionsmesskreis-Test auf Filter 1.

### 5.7.4.7 Filter auswerfen (Eject filter)

Der in der aktuellen Stellung befindliche Filter wird ausgeworfen, d.h. in das Ablagemagazin transportiert. Wenn kein Magazin im Gerät eingesetzt ist oder die Karussellposition nicht stimmt, hat dieser Befehl keine Funktion.

### 5.7.4.8 Magazin entleeren (Unload container)

Alle noch im Reinformagazin befindlichen Filter werden in das Ablagemagazin befördert.

### 5.7.4.9 Filter einlegen (Load filter)

Dem Reinformagazin wird ein Filter entnommen und in das Gerät transportiert. Wenn am Gerät kein Magazin eingesetzt ist oder sich in der Filterposition bereits ein Filter befindet, hat dieser Befehl keine Funktion.

### 5.7.4.10 Lufteinlass (Air inlet)

Die Lufteinlassregelung kann wahlweise auf "Geschlossen" (Sealed) oder "Inaktiv" (Inactive) geschaltet werden.

### 5.7.4.11 Abschirmung der Strahlungsquelle (Beta shield)

Mit dieser Funktion lässt sich die Abschirmung zwischen der Betastrahlungsquelle und dem Geiger-Müller-Zählrohr wahlweise ein- oder ausschalten (On bzw. Off).

## 5.7.5 Analogsensoren (Analog sensors)

In diesem Menü sind die im Gerät abgelegten Messwerte der Analogsensoren zusammengestellt (siehe Abb. 5.20). Diese Messwerte sind hilfreich zur Qualitätssicherung und können auch zur Entstörung des Systems herangezogen werden.

Drücken Sie [Enter], um sich die Einheiten der in einer Zeile erscheinenden Parameter anzeigen zu lassen.

eT	24.2	eP	100.9
fiT	20.0	fiRH	32.9
fiD	11.04	fiD	3405
fiT	37.5	fiS	15.3
fiI	16.61	fiV	0.997
gT	40.0	gC	60
gHV			603.936
TC	6.97	Pos	17119

Abb. 5.20. Das Menü "Analogsensoren".

Es empfiehlt sich, die Messwerte der einzelnen Sensoren regelmäßig zu kontrollieren und dabei auf Änderungen der Werte zu achten. Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über sämtliche Sensoren sowie deren Funktion.

Tabelle 5.3: Analogsensoren

Sensor	Funktion	Format	Einheit
eT	Außentemperatur	xx.x	°C
eP	Außendruck	xxx.x	kPa
fiT	Filtertemperatur	xx.x	°C
fiRH	Relative Feuchte am Filter	xx.x	%
fiD	Differenzdruck am Filter	xx.xx	kPa

Tabelle 5.3: Analogsensoren

Sensor	Funktion	Format	Einheit
fID	Differenzdruck am Durchflussregler	xxxx	Pa
fIT	Durchflusstemperatur (im Regler)	xx.x	°C
fIS	Normaldurchfluss	xx.x	NI/min
fII	Einlass-Volumenstrom	xx.xx	l/min
fIV	Einlass-Volumenstrom	x.xxx	m <sup>3</sup> /h
gT	Geigerzähler-Temperatur	xx.x	°C
gC	Zähler laut Geiger-Müller-Zählrohr	xxxxxxx	cpm
gHV	Geigerzähler-Hochspannung	xxx.xxx	V
TC	Temperaturregelung	xx.xx	(0 .. 20)
Pos	Stellung des Durchflussreglers	xxxxx	cnt

## 5.7.6 Digitalsensoren (Digital sensors)

In diesem Menü sind die Messwerte der Digitalsensoren dargestellt (siehe Abb. 5.21). Es handelt sich hierbei um wichtige Qualitätssicherungsdaten, die auch zur Störungsbeseitigung hilfreich sind.

---

*Hinweis: Diese Funktion dient nur zu Wartungszwecken.*

---

Carousel	[+]
Carousel lock	[+]
Sampled filters	[+]
Loader	[+]
Clean filters	[+]
Beta shield	[+]
Flow regulator	[+]

Abb. 5.21. Das Menü "Digitalsensoren".

## 5.7.7 Platinenstatus (Card status)

In diesem Menü kann auf Informationen zum Hardware-Status des Analysegeräts zugegriffen werden.

---

*Hinweis: Diese Funktion dient nur zu Wartungszwecken.*

---

---

CPU Master	: 1.02
Flow regulate:	1.01
Power supply	: 1.05
Pusher	: 1.01
Shield	: 1.01
Carousel lock:	1.01
Ejector	: 1.01
Load damper	: 1.01
Loader	: 1.01
Carousel	: 1.01
LED card 1	: 1.01
LED card 2	: 1.01
PT2 card	: 1.04
HT1 sensor	: 1.01
PT1 card	: OK
External T	: OK
OM001	: 1.01

Abb. 5.22. Das Menü "Platinenstatus".

## 5.8 Das Menü "Daten" (Data)

In diesem Menü sind die Daten aus abgeschlossenen Messungen einsehbar. Die erste Textzeile des Datenmenüs erscheint jeweils unverändert in allen Fenstern. Die erste Zahl in dieser Zeile gibt den Speicherplatz an. Mit den Pfeiltasten [Links] und [Rechts] kann zwischen den Datensätzen im Speicher "geblättert" werden. Die Zahl hinter dem Datum bezeichnet die Stunde des Messbeginns.

00015	2003-10-21	15
Mass :	0.162	[mg]
MassErr:	0.013	[mg]
MassC:	22.2	[ug/m3]
Pneumatic data	[+]	
Geiger data	[+]	
Filter P.drop	[+]	
Filter samples:	1	
Filter pos:	0	

Abb. 5.23. Das Menü "Daten".

Im Datenmenü sind folgende Werte dargestellt:

- **Mass:** Gesamtgewicht des auf der Membran gesammelten Staubs.
- **MassErr:** Gesamtmassen-Fehler.
- **MassC:** Staubkonzentration.

In den Menüs "Pneumatikdaten" (Pneumatic data) und "Geigerzähler-Daten" (Geiger data) sind weitere Daten zum pneumatischen System und dem Geiger-Müller-Zählrohr abrufbar (siehe [Kapitel 5.8.1](#)).

## 5.8.1 Menüs "Pneumatikdaten" und "Geigerzähler-daten" (Pneumatic data, Geiger data)

Die in diesen Menüs enthaltenen Parameter sind in [Kapitel A.1, Pufferspeicher-Inhalt](#), beschrieben. Dieselbe Übersicht – jedoch mit Daten aus der laufenden Messung – ist aus dem Menü "Messen" (Measure) abrufbar, siehe [Kapitel 5.5.8](#).

Die erste Zeile des Menüfensters - mit Speicherposition, Datum und Uhrzeit (Stunde) des Messbeginns - bleibt stets unverändert, auch wenn in den Menüs aufwärts bzw. abwärts geblättert wird.

00015 2003-10-21 15	00015 2003-10-21 15
Vol S: 7.290 [Nm3]	Dark: 24 [CPM]
Vol I: 7.968 [m3]	Blank: 103686 [CPM]
Sample time: 7:58	Natural: 22 [CPM]
PDropI:10.669 [kPa]	Coll: 103726 [CPM]
PDropF:10.701 [kPa]	Short: 65 [CPM]
FlowRSD: 0.9 [%]	Long: 3 [CPM]
Flow T : 37.82 [°C]	Nat. Res: 1.0 [%]
Ext. T : 24.91 [°C]	Natural [1]: 176
Atm P :101.127[kPa]	Natural [2]: 346
Filter hum:30.76[%]	Natural [3]: 496
Filter T: 22.17[°C]	Natural [4]: 647
Valve pos F: 17147	Natural [5]: 794
Pneu Status: 0000	Blank T : 40.00[°C]
	BlankP:101.531[kPa]
	Blank hum : 5.58[%]
	Blank HV:603.941[V]
	Coll. T: 40.00[°C]
	Coll.P:101.332[kPa]
	Coll. hum : 3.64[%]
	Coll. HV:603.941[V]
	G. stab.: 0.0[rel]
	Geiger Status: 0000

Abb. 5.24. Die Menüs "Pneumatikdaten" und "Geigerzählerdaten".

## 5.8.2 Das Menü "Filter-Differenzdruck" (Filter P.drop)

In diesem Menü lassen sich Momentanwerte ausgewählter Messgrößen zum Ende jeder Stunde anzeigen. Dargestellt werden die Parameter "Differenzdruck", "Massenkonzentration", "Probenahmenvolumen", "atmosphärischer Druck", "Außentemperatur", "Filtertemperatur" und "Filterfeuchte".

```

00015 2004-05-21 11
Mass/PD: 0.0 ug/Pa
Show :      P.Drop
H:00-PDrop: 1788 Pa
H:01-PDrop: 1780 Pa
H:02
H:24

```

Abb. 5.25. Das Menü "Filter-Differenzdruck".

## 5.9 Kurzleitfaden zur Inbetriebnahme

Die folgenden Abschnitte enthalten eine Kurzbeschreibung der Einstell- und Kontrollschritte, die vor Durchführung einer Messung erforderlich sind.

Gehen Sie zum Start einer Messung wie folgt vor (Kapitelangaben in Klammern verweisen auf Abschnitte dieses Handbuchs, in dem zu dem jeweiligen Schritt detailliertere Hinweise zu finden sind).

1. Vergewissern Sie sich, dass das System korrekt installiert wurde. Legen Sie Filter in das Reinfiltermagazin ein. Schließen Sie die Pumpe an und installieren Sie die Betastrahlungsquelle, (Kapitel 4, Montage).
2. Schalten Sie das Gerät ein und warten Sie, bis die Betriebstemperatur erreicht ist (ohne Umgehung der Aufwärmphase). Dies kann einige Zeit dauern, ist jedoch zur korrekten Funktion des Messkreises unverzichtbar, (Kapitel 5.3).
3. Wählen Sie aus dem Hauptmenü die Funktion [2]-Definitions.
  - Geben Sie unter Date das und unter Time die Uhrzeit ein, (Kapitel 5.6.1).
  - Wählen Sie unter Mode (Betriebsart) die Einstellung Dust (Schwebstaub-Immissionsmessung), (Kapitel 5.6.2).
  - Geben Sie unter Sync (Startzeit für neuen Filter) die Einstellung "00:00" ein, (Kapitel 5.6.3).
  - Wählen Sie unter Norm die Einstellung "NTP 0 °C", (Kapitel 5.6.4).

Gehen Sie in das Menü "Probenahme" (Sampling), (Kapitel 5.6.5)

- Geben Sie unter Flow rate (Volumenstrom) den Wert "1.00 m<sup>3</sup>/h" ein.
- Geben Sie unter Min drop (Mindest-Differenzdruck) den Wert "0 kPa" ein.

- Geben Sie unter Min flow (Minstdurchfluss) den Wert "0 m<sup>3</sup>/h" ein.

Gehen Sie in das Menü "Zeitsteuerung" (Timing), (Kapitel 5.6.6)

- Geben Sie unter Sampling time (Probenahmezeit) den Wert "24 h" ein.
- Geben Sie unter Conditioning [10m] den Wert "6" ein.
- Geben Sie unter Samples/filter (Proben pro Filter) den Wert "1" ein.
- Geben Sie unter Filter max den Wert "40" ein (volles Magazin).

Gehen Sie in das Menü "Eigenprüfung" (Auto test), (Kapitel 5.6.7).

- Geben Sie unter Pneumatic cycle den Wert "01:00" ein (Durchführung des Pneumatiktests einmal pro Tag).
- Geben Sie unter Beta span cycle den Wert "30:00" ein (Test des Absorptionmesskreises einmal monatlich).

Gehen Sie in das Menü "Kommunikation" (Communication), (Kapitel 5.6.9).

- Geben Sie unter COMB den Wert "19200" ein (andere Datenübertragungsgeschwindigkeiten sind möglich, der Ausgang COMA ist jedoch nicht einstellbar).

Gehen Sie in das Menü "Analogausgang" (Analog output), (Kapitel 5.6.10).

- Geben Sie unter Range den Wert "1000 µg/m<sup>3</sup>" ein (falls Analogausgang gewünscht - in diesem Fall ist vorzugeben, ob ein Strom- oder Spannungssignal verwendet werden soll).

Gehen Sie durch Drücken von [Esc], [Esc] zurück ins Hauptmenü.

4. Wählen Sie im Hauptmenü die Funktion [4]-Data, (Kapitel 5.8).  
Mit Hilfe der Links- und Rechtspfeiltasten können Sie sich hier die Daten aus früheren Messzyklen anzeigen lassen. Bei erstmaliger Inbetriebnahme des Geräts sind hier noch keine Daten vorhanden. Alte Daten lassen sich auch bei laufender Messung (ohne Unterbrechung des aktuellen Messbetriebs) anzeigen.

Gehen Sie durch Drücken von [Esc], [Esc] zurück ins Hauptmenü.

5. Wählen Sie im Hauptmenü die Funktion [3]-Service, (Kapitel 5.7)  
Die Durchführung des Pneumatiktests dauert ca. 2 Minuten, (Kapitel 5.7.2).  
Die Prüfung des Absorptionmesskreises nimmt ca. 45 Minuten in Anspruch und setzt das Vorhandensein einer Betastrahlungsquelle voraus, (Kapitel 5.7.3)

Gehen Sie durch Drücken von [Esc], [Esc] zurück ins Hauptmenü.

6. Vergewissern Sie sich, dass die Meldeleuchten in der Frontplatte des Geräts grünes Dauerlicht zeigen.

7. Wählen Sie im Hauptmenü die Funktion [1]-Measure, (Kapitel 5.5)

- Geben Sie Measure mode ein, um einen neuen Messzyklus zu starten.

Das System bereitet sich nun auf den Beginn einer neuen Messung vor, indem es zunächst die Dunkel- und Leermessung durchführt und den Messzyklus mit der unter Sync eingestellten Startzeit abstimmt.

8. Das Gerät befindet sich nun in der Betriebsart "Messen" und informiert im Display über den aktuellen Ablauf. Gespeicherte Daten sind durch Wahl der Funktion [4]-

**Data** aus dem Hauptmenü aufrufbar. Echtzeit-Daten können mit Hilfe der Funktion **[1]-Measure** eingesehen werden.

# Wartung und Instandhaltung 6

Wie jedes andere Messgerät bedarf auch das SM200-System periodischer Kontrollen und Wartungsmaßnahmen. Nur so lässt sich langfristig eine einwandfreie Funktion des Geräts mit entsprechend hochwertigen Messergebnissen gewährleisten.

Das vorliegende Kapitel enthält einen Wartungszeitplan sowie eine detaillierte Beschreibung sämtlicher erforderlicher Instandhaltungs- und Pflegemaßnahmen.

Am Ende dieses Kapitels ist eine Liste des für einjährigen normalen Betrieb erforderlichen Verbrauchsmaterials zusammengestellt.

## 6.1 Übersicht

Tabelle 6.1. gibt eine Übersicht über die routinemäßigen Wartungsmaßnahmen. Jeder dieser Schritte wird in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

*Tabelle 6.1: Wartungs-Übersicht.*

<b>Maßnahme</b>	<b>Intervall</b>	<b>s. Kapitel</b>
Kontrolle des Gerätestatus	täglich	Kapitel 6.2
Wechsel der Probenahmefilter	je nach Zyklusdauer	Kapitel 6.3
Beta and pneumatic tests	monatlich	Kapitel 6.4
Prüfung und Reinigung des Geräts	vor Beginn jeder Messreihe, spätestens monatlich	Kapitel 6.5
Gerätetest	vor Beginn jeder Messreihe, spätestens monatlich	Kapitel 6.6
Wechsel des Feuchtigkeitsabscheiders an der Pumpe	alle 6 Monate	Kapitel 6.7
Pumpenmembran-Wechsel	alle 12 Monate	Kapitel 6.8
Wechsel der Pumpendichtung	alle 6 Monate	
Wartung des Probenahmekopfs	je nach Typ des Probenahmekopfs	-

Die vorstehenden Wartungsintervalle stellen lediglich Empfehlungen für den Betrieb des Geräts unter normalen Einsatzbedingungen dar. Je nach den Umgebungsbedingungen können auch kürzere Fristen erforderlich sein. Eventuell sind auch zusätzliche Wartungsmaßnahmen erforderlich, um das System in einwandfreiem Betriebszustand zu erhalten. Ergänzende Hinweise, die hierzu bei Lieferung des Systems oder zu einem späteren Zeitpunkt etwa gegeben werden, sind in jedem Fall zu beachten.

Nach längerem Nichtgebrauch des Systems sollten vor Inbetriebnahme sämtliche Wartungsschritte ausgeführt werden.

Wenden Sie sich bei Unsicherheiten bezüglich etwa erforderlicher Wartungsschritte an Ihren zuständigen Opsis-Vertreter.

**Achtung:** Das Gerät enthält Hochspannung führende Teile. Vor Durchführung praktischer Wartungsmaßnahmen ist das Gerät stets auszuschalten und vom Netz zu trennen!

## 6.2 Überwachung des Gerätezustands

Eines der Hauptmerkmale des SM200 sind die integrierten Qualitätssicherungsfunktionen, zu denen auch zahlreiche Sensoren zur Überwachung des Geräteverhaltens gehören. Die Sensorwerte und Prüfergebnisse sollten möglichst regelmäßig kontrolliert werden. Dies kann problemlos über eine Datenfernverbindung sowie ggf. auch automatisch erfolgen, sofern eine Verbindung (z.B. über Modem) zu einem externen Rechner besteht. Mittels geeigneter Software – z.B. Opsis EnviMan ComVisioner – lässt sich der Pufferspeicherinhalt des SM200 zur zentralen Analyse an den externen Computer übermitteln.

Folgende Informationen aus dem Pufferspeicher sollten kontrolliert werden:

Parameter	Kontrolle/Kommentar
Aktive Probenahmezeit	Sollte etwa gleich der Messzyklusdauer sein. Andernfalls ist evtl. eine Störung der Spannungsversorgung aufgetreten bzw. die Messung wurde manuell unterbrochen bzw. abgebrochen.
Ausgangs- und Endwert des Differenzdrucks am Filter	Sollte stabil sein, ohne erkennbare Unterschiede zwischen den einzelnen Filtern und ohne allmähliche Tendenz zu steigendem Druckabfall. Allerdings verändert sich der Wert bei Verwendung eines anderen Filtertyps.
Relative Standardabweichung des Durchflusses	Sollte niedrig und stabil sein, ohne allmählichen Trend zu wachsender Veränderlichkeit.
Status des Pneumatiksystems	Sollwert ist "Null", andernfalls liegt eine Störung im pneumatischen System vor (siehe <a href="#">Kapitel A, Anhang</a> ).
Dunkelzählung	Der Wert sollte zwischen 10 und 100 Zählern betragen – ohne erhebliche Veränderungen oder allmähliche Abweichungstrends
Geigerzähler-Temperatur	Sollwert > 308 K (bei Leer- und Sammelmessung)
Außendruck	Sollte atmosphärischem Druck entsprechen (bei Leer- und Sammelmessung)
Geigerzähler-Spannung	Muss hohe Stabilität aufweisen (bei Leer- und Sammelmessung)
Status des Betastrahlungssystems	Sollte Null betragen, andernfalls liegt eine Störung der Betastrahlungsquelle bzw. des Detektors (Geigerzählers) vor, siehe <a href="#">Kapitel A, Anhang</a> .

Eine vollständige Aufstellung der im Gerätepuffer abgelegten Informationen sowie weitere Hinweise zu deren Interpretation finden Sie im [Kapitel A, Anhang](#).

Bei Online-Fernsteuerung des Systems (über EnviMan ComVisioner oder eine sonstige Software) kann das Messgerät auch manuell aufgerufen werden, um Status-Informationen und Prüfergebnisse detailliert einzusehen, ohne den Probenahme bzw. Messbetrieb zu unterbrechen. Nähere Informationen zu verfügbaren Status-Signalen und deren Bedeutung sind [Kapitel 5, Betrieb](#) und dem [Kapitel A, Anhang](#) zu entnehmen.

Hinweise zur Störungsbehebung für den Fall problematischer Sensorsignale bzw. Prüfergebnisse enthält [Kapitel 7, Störungsbehebung](#).

## 6.3 Filterwechsel

Berücksichtigen Sie bei Berechnung der Gerätelaufzeit die Zahl der hierzu erforderlichen Reinformfilter und kalkulieren Sie einen rechtzeitigen Filterwechsel ein. Informationen zur Betriebsdauer finden Sie in [Kapitel 5, Betrieb](#).

Entleeren Sie beim Beschicken des Reinformfiltermagazins immer auch zugleich das Ablagemagazin.

Der letzte Filter, der in das Reinformfiltermagazin eingelegt wird, wird als erster benutzt. Bei der Entleerung des Ablagemagazins kommt der zuletzt beprobte Filter als erster aus dem Magazin. Achten Sie stets auf die Reihenfolge der Filter, evtl. durch Markierung der Filterträger, zumal wenn eine weitere Auswertung im Labor geplant ist.

Hinweise zum Einlegen neuer Filter in das Reinformfilter-Magazin sind [Kapitel 4.7](#) zu entnehmen. Zur Entnahme beprobter Filter aus dem Ablagemagazin ist umgekehrt vorzugehen.

Wenn sich der Filtervorrat im Reinformfilter-Magazin seinem Ende zuneigt, beginnen die roten und grünen Reinformfilter-Statusleuchten in der Frontplatte des Geräts zu blinken. In diesem Fall sollten unverzüglich neue Filter eingelegt werden. Bei leerem Reinformfilter-Magazin bzw. vollem Ablagemagazin leuchtet die entsprechende Meldeleuchte rot, und das Gerät stellt den Messbetrieb ein.

## 6.4 Absorptionsmesskreis- und Pneumatiktest

Wenn die automatischen Prüfungen des Absorptionsmesskreises und der Pneumatiksystems nicht aktiviert sind, müssen diese Tests manuell durchgeführt werden. Hierzu ist zunächst der Messbetrieb zu unterbrechen. Anschließend sind folgende Schritte auszuführen:

- Test des Absorptionsmesskreises (Qualitätssicherung), siehe [Kapitel 6.6](#).
- Pneumatiktest, siehe [Kapitel 6.6](#).

Befolgen Sie die Hinweise in [Kapitel 5, Betrieb](#), um die laufende Probenahme und Messung zu unterbrechen. Beim Abbruch des Messbetriebs sind ggf. die in [Kapitel 6.5](#) -

[Kapitel 6.8](#) beschriebenen Wartungsmaßnahmen durchzuführen. Nähere Hinweise hierzu enthalten die entsprechenden Einzelkapitel.

## 6.5 Prüfung und Reinigung

Es ist eine Sichtprüfung folgender Bereiche vorzunehmen:

- Netzanschlusskabel und sonstige Kabel. Vergewissern Sie sich, dass diese nicht gequetscht oder sonstwie schadhaft sind, und kontrollieren Sie alle Anschlüsse auf festen Sitz.
- Pneumatik-Leitungen: Alle sichtbaren Leitungen müssen in einwandfreiem Zustand sein. Achten Sie darauf, dass diese nicht geknickt oder so verlegt sind, dass der Luftdurchfluss behindert wird.

Das Gerät muss sich in sauberem, einwandfreiem Zustand befinden. Erforderlichenfalls sind noch folgende Schritte durchzuführen:

- Reinigen Sie das Probenahmemodul und das Gehäuse des Pumpenmoduls mit einem sauberen Lappen, eventuell mit wenig Wasser bzw. schwacher Seifenlauge. Niemals Alkohol oder starke Lösemittel verwenden.
- Hinweise zur Reinigung des Lufteinlasses sind der Dokumentation zum Probenahmekopf zu entnehmen.
- Der Standort des Geräts ist stets sauber zu halten.

## 6.6 Gerätetest

Ein Gerätetest umfasst folgende Vorgänge:

- Prüfung des pneumatischen Systems
- Kalibrierungsprüfung des Betastrahlungs-Systems
- Kontrolle der Systemsensor-Messwerte
- Kontrolle der Filtereinzugs- und Filterablage-Mechanik.

### 6.6.1 Pneumatik

Der Pneumatiktest kann sowohl manuell als automatisch zwischen zwei Messzyklen ausgeführt werden. Detaillierte Hinweise zur Durchführung des Pneumatiktests sowie zur Interpretation der Ergebnisse enthält [Kapitel 5.7.2](#).

## 6.6.2 Betastrahlen-Absorptionsmesskreis

Die Prüfung des Absorptionsmesskreises kann sowohl manuell als automatisch zwischen zwei Messzyklen erfolgen. Detaillierte Hinweise zur Durchführung des Pneumatiktests sowie zur Interpretation der Ergebnisse enthält [Kapitel 5.7.3](#).

Bei der Staubsammler-Ausführung des SM200 entfällt die Prüfung des Betastrahlungssystems, da dieses Modell (reines Probenahme-Gerät) nicht über eine Betastrahlungsquelle verfügt.

## 6.6.3 Sensor-Messwerte

Die Daten der zahlreichen Sensoren des Systems sind im Menü "Analog-Sensoren" (siehe [Kapitel 5.7.5](#)) zusammengestellt. Die Sensormesswerte können auch direkt bei laufendem Probenahme- und Messbetrieb eingesehen werden (Unterbrechung und Neustart der Messung sind hierzu nicht erforderlich).

Einige Sensordaten sind auch im Pufferspeicher verfügbar. Siehe hierzu die Beschreibung in [Kapitel 6.2](#).

## 6.6.4 Einzug und Ablage der Filter

Achten Sie bei Aufnahme des Probenahme- und Messbetriebs auf die Funktion des Filtertransports. Störungen der Mechanik äußern sich meist in ungewöhnlichen Geräuschen. Ziehen Sie Ihren Opsi-Vertreter hinzu, wenn Sie den Verdacht haben, dass die Mechanik nicht in Ordnung ist.

Bei schwerwiegenden Störungen des Filtertransports erscheint eine Störmeldung im Display und das Gerät stellt den Probenahme- und Messbetrieb ein. Eine Liste der Fehlercodes und ihrer Bedeutungen ist [Kapitel A, Anhang](#) zu entnehmen.

## 6.7 Wechsel des Filters am Feuchtigkeitsabscheider der Pumpe

Der Filter im Feuchtigkeitsabscheider der Pumpe sollte regelmäßig erneuert werden, um einen störungsfreien Betrieb des Systems zu gewährleisten. Hierzu muss zuvor der Messbetrieb unterbrochen und das Gerät abgeschaltet werden.

[Abb. 6.1](#) zeigt ein Foto des Feuchtigkeitsabscheiders.

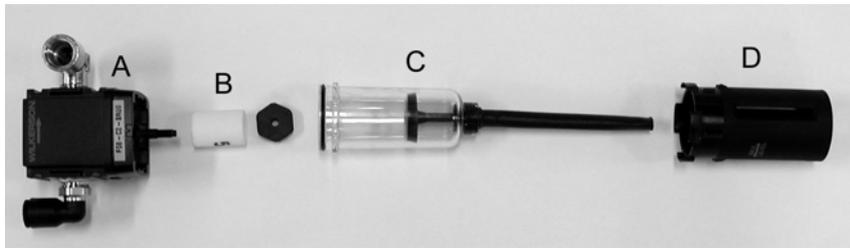


Abb. 6.1. Feuchtigkeitsabscheider: A) Gefäßhalterung, B) Filter, C) Sammelbehälter mit Ablaufschlauch, D) Kunststoffdeckel.

Um den Filterwechsel am Feuchtigkeitsabscheider durchzuführen, ist wie folgt vorzugehen:

- Stoppen Sie den Messbetrieb und schalten Sie das System aus. Ziehen Sie den Netzstecker aus der Steckdose.
- Nehmen Sie den Deckel des Pumpenmoduls ab und ermitteln Sie den Einbauort des Feuchtigkeitsabscheiders.
- Lösen Sie die Befestigungsschrauben des Feuchtigkeitsabscheiders und nehmen Sie diesen komplett von der Pumpe ab.
- Entfernen Sie den Kunststoffdeckel sowie den Sammelbehälter. Nehmen Sie ggf. eine Reinigung des Sammelbehälters vor.
- Entfernen Sie den alten Filter und setzen Sie stattdessen einen neuen Filter ein.
- Montieren Sie das Sammelgefäß sowie den Kunststoffdeckel. Kontrollieren Sie den festen Sitz des Sammelgefäßes an der Halterung.
- Setzen Sie den Feuchtigkeitsabscheider wieder im Pumpenmodul ein.
- Führen Sie den Ablaufschlauch durch die Öffnung im Bodenblech des Pumpenmoduls.
- Montieren Sie den Deckel des Pumpenmoduls und stecken Sie den Netzstecker wieder ein.

Die Pumpe ist damit wieder einsatzbereit. Führen Sie nun einen Pneumatiktest durch, um sich zu vergewissern, dass das System dicht ist, siehe [Kapitel 6.6](#).

## 6.8 Wechsel der Pumpenmembranen

Die Pumpenmembranen müssen periodisch gewechselt werden. Ein Anstieg des Restdrucks bei der Dichtheitsprüfung, die im Rahmen des Pneumatik-Tests durchgeführt wird, ist ein sicherer Hinweis auf Fälligkeit eines Membranwechsels. Auch ohne dieses Indiz sollten die Membranen jedoch rechtzeitig erneuert werden, da ihre Standzeit begrenzt ist. Da das Gerät zum Membranwechsel abgeschaltet werden muss, empfiehlt es sich, diese Maßnahme im Rahmen eines System-Neustarts vorzunehmen.

Zum Wechsel der Membranen an beiden Pumpenhälften ist wie folgt vorzugehen:

1. Lösen Sie die fünf Befestigungsschrauben des oberen Pumpendeckels (siehe Abb. 6.2, links).
2. Entfernen Sie die alte Kautschukmembran, wie in Abb. 6.2, rechts gezeigt. Merken Sie sich die Lage der Öffnungen, damit die neue Membran später wieder genauso eingebaut werden kann.

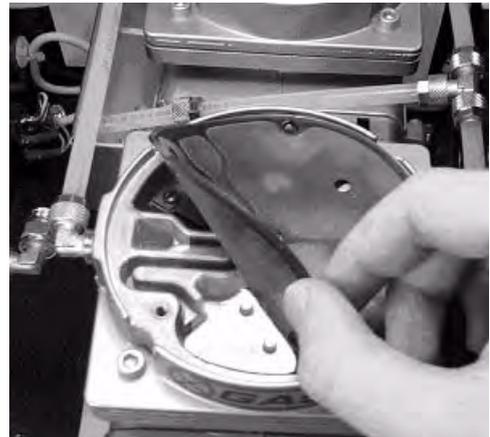
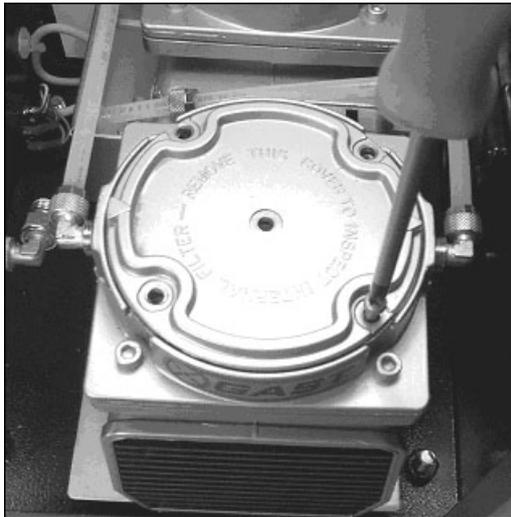


Figure 6.2. Wechsel der Pumpenmembranen, schritte 1 und 2.

3. Das obere Membranventil (links in der oberen Pumpenkammer, siehe Abb. 6.3) ist mit einem Bügel fixiert. Nehmen Sie den Bügel zusammen mit dem Membranventil ab.
4. Nun kann der Zylinderkopf demontiert werden, wie in Abb. 6.3 dargestellt. Zum Lösen der Schrauben ist ein 3/16"-Innensechskantschlüssel erforderlich. Um in das Unterteil des Kopfes zu gelangen, kann es erforderlich werden, den Luftenlass- und Luftauslass-anschluss zu lösen.

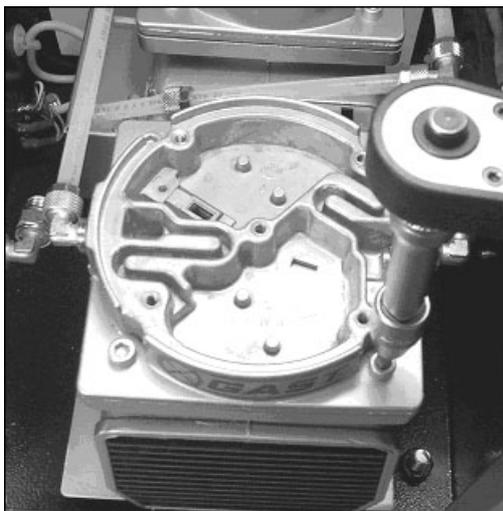
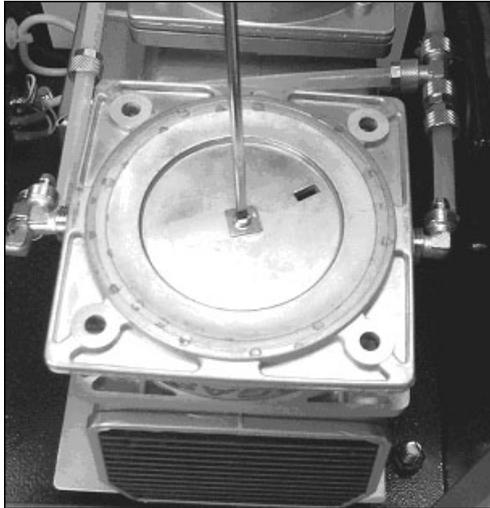


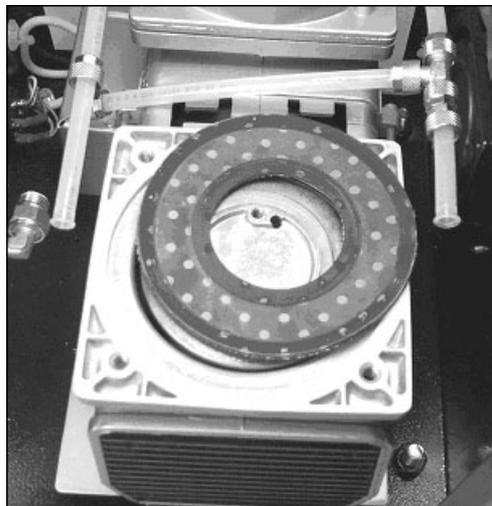
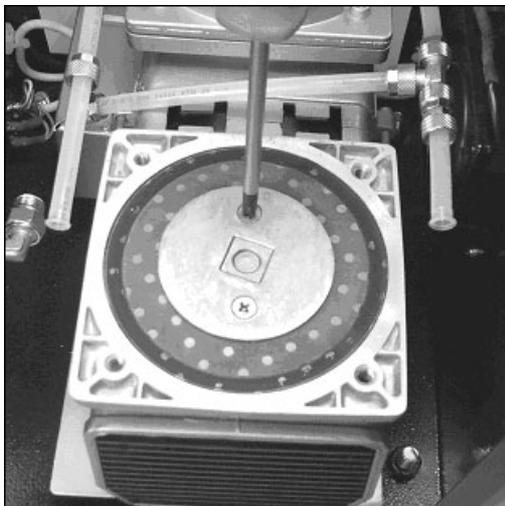
Abb. 6.3. Wechsel der Pumpenmembranen, schritte 3 und 4.

5. [Abb. 6.4](#) links zeigt den umgedrehten Zylinderkopf mit dem unteren Membranventil. Bauen Sie auch dieses Ventil aus. Achten Sie auf die vier Beilagscheiben unter dem Zylinderkopf – sie sind u.U. unterschiedlich dick und dürfen daher nicht vertauscht werden (siehe [Abb. 6.4](#) rechts).



*Abb. 6.4. Wechsel der Pumpenmembranen, schritte 5.*

6. Entfernen Sie den unteren Membranhalter, wie in [Abb. 6.5](#) gezeigt.



*Abb. 6.5. Wechsel der Pumpenmembranen, schritte 6 und 7.*

7. Die Pumpe kann nun in umgekehrter Reihenfolge wieder montiert werden, wobei die Neuteile aus dem Membran-Austauschsatz zu verwenden sind. Achten Sie darauf, dass alle Schrauben fest angezogen werden. Der Austauschsatz enthält die erforderlichen Teile für beide Pumpenhälften.

Die Pumpe ist nun wieder einsatzbereit. Führen Sie abschließend einen Pneumatiktest durch, um alle Verbindungen auf Dichtheit zu prüfen (siehe [Kapitel 6.6](#)).

## 6.9 Verbrauchsmaterial

In der folgenden Liste ist der Bedarf an Verbrauchsmaterial für einjährigen Betrieb des Geräts zusammengestellt.

Verbrauchsmaterial für 1-jährigen Betrieb, Prod.-Nr. M300500	Produkt-Nr.
Pumpenmembranen, 1 Satz (= 2 Stck.)	M000511
Kautschukdichtungen und Ventile für Pumpe, 2 Satz	A0973070
Filter zum Feuchtigkeitsabscheider, 2 Stck.	M300510

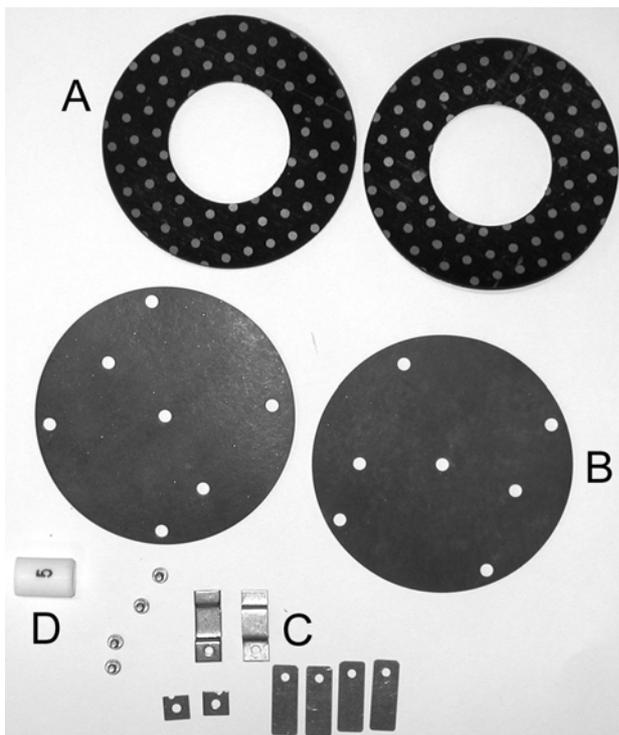


Abb. 6.6. Verbrauchsmaterial für 6-monatigen Betrieb: (A) Pumpenmembranen, (B) Kautschukdichtungen, (C) Ventile, (D) Filter für Feuchtigkeitsabscheider.

Der tatsächliche Membran- bzw. Filterverbrauch kann je nach Einsatzbedingungen variieren.



Das SM200-System wurde konstruktiv so ausgelegt, dass Störungen im Betrieb äußerst selten sind. Zudem wurde das Gerät im Werk gründlich auf einwandfreie Funktion unter echten Messbedingungen geprüft. Die in [Kapitel 3, Qualitätssicherung und Qualitätslenkung](#) beschriebenen Qualitätssicherungsfunktionen tragen zusätzlich zu hoher Prozesssicherheit bei. Dennoch lassen sich Störungen aufgrund interner oder externer Faktoren nie völlig ausschließen. Das folgende Kapitel enthält Hinweise zur Ermittlung von Störungsursachen sowie Störungsbehebung.

## 7.1 Beschränkungen und Warnhinweise

Jedes Gerät der Serie SM200 stellt ein komplexes technisches System dar. Versuchen Sie nicht, daran Reparaturen durchzuführen, die über den Rahmen der Beschreibung in diesem Handbuch hinausgehen. Dies ist Sache unserer qualifizierten, hierzu speziell ausgebildeten Kundendiensttechniker.



**Achtung:** Bei Anschluss des Geräts an eine Netzspannungsquelle liegt in seinem Inneren Hochspannung an. Vor jeder Abnahme des Geräte- oder Pumpendeckels ist das Gerät unbedingt abzuschalten und vom Netz zu trennen.

**Achtung:** Das Gerät darf nur an einer Netzspannung betrieben werden, die die vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt. Jede Nichtbeachtung dieser Vorschriften kann schwerwiegende Schäden am System zur Folge haben.



**Achtung:** Das Gerät weist innen und außen bewegliche Teile auf. Die Filterträger dürfen beim Einzug bzw. der Ablage von Filtern nicht berührt werden.



**Achtung:** Geräte, die dieses Zeichen tragen, enthalten eine radioaktive Betastrahlungsquelle. Versuchen Sie nie, das Gehäuse im Bereich dieser Strahlungsquelle zu demontieren.

---

## 7.2 Störungsbeistand

Störung	Ursache	Abhilfe
Gerät läuft beim Einschalten nicht an.	Netzausfall.	Netzanschluss des Geräts kontrollieren. Sicherungen prüfen, ggf. erneuern. Bei Anhalten des Problems Kundendienst hinzuziehen.
Pufferspeicher und/oder Programmeinstellungen werden beim Abschalten des Geräts zurückgesetzt.	Eingebauter Lithium-Akku erschöpft.	Kundendienst hinzuziehen.
Im Display erscheinen unvollständige Meldungen.	Störung bei der Initialisierung des Geräts.	Gerät aus- und wieder einschalten, um Neustart herbeizuführen. Bei Anhalten des Problems Kundendienst hinzuziehen.
Display zeigt die Meldung "Fatal error #n".	Störung in der Filtertransport-Mechanik.	Gerät abschalten. Filtermagazine und Deckel des Geräts abnehmen. Prüfen, ob das Karussell durch Filter oder Fremdkörper blockiert ist. Gerät neu starten. Bei Anhalten des Problems Kundendienst hinzuziehen.
Ergebnisse der Pneumatikprüfung nicht i.O.	Störung im pneumatischen System: Probenahmekopf, Lufteinlass, Leitungen, Pumpe und/oder interne Kreise.	Kontrollieren, ob die Pumpe das System luftleer pumpen kann (Kapitel 5, Betrieb). Falls nicht, alle Anschlüsse der Luftleitungen auf festen Sitz prüfen. Die Leitungen dürfen nirgendwo gequetscht oder geknickt sein (Gefahr der Durchflussverengung!). Kontrollieren, ob Wasser in den Leitungen steht – falls ja, System gründlich austrocknen lassen und Ursache ermitteln. Bei Anhalten des Problems Kundendienst hinzuziehen.
Ergebnisse der Prüfung des Betastrahlungssystems nicht i.O.	Störung im Betastrahlungssystem: Strahlungsquelle, Geiger-Zählrohr, mechanische Bewegung der Filter bzw. Abschirmblenden.	Kontrollieren, ob die Messkammer ihre Betriebstemperatur (>308 K) erreicht hat, siehe Kapitel 5, Betrieb. Falls nicht, Ende des Aufwärmzyklus abwarten. Wenn dies keine Abhilfe schafft, Kundendienst hinzuziehen.
Serielle Kommunikation gestört.	Defektes Kabel oder nicht übereinstimmende Datenübertragungsgeschwindigkeit.	Kontrollieren, dass die eingestellten Übertragungsgeschwindigkeiten übereinstimmen und die Ports korrekt konfiguriert sind. Kabelverbindung mittels Mithörrgerät auf einwandfreie Funktion prüfen.

Störung	Ursache	Abhilfe
Einzug/Ablage der Filter gestört	Störung der Transportmechanik.	Einzug/Ablage-Mechanismus aus dem Menü <b>Service</b> (siehe <a href="#">Kapitel 5.7</a> ) testen. Dazu die Funktionskontrollen "Filter auswerfen" oder "Magazin entleeren" verwenden.
Filltermagazin-Statusleuchte in der Frontplatte leuchtet rot.	Ablage-Magazin ist voll, bzw. Reinformagazin ist leer. Magazin nicht montiert bzw. nicht einwandfrei gesichert. Magazin wird vom optischen Sensor nicht erkannt.	Kontrollieren, dass das Reinformagazin noch Filter enthält und das Ablage-Magazin nicht voll ist. Magazin auf einwandfreien Sitz in seiner Halterung kontrollieren. Es muss ganz nach links gedreht und hörbar eingerastet sein. Kontrollieren, dass der optische Sensor nicht blockiert wird (bei abgenommenem Magazin sichtbar) und die Magazin-Verriegelungen blank sind (Sensor braucht Oberflächenreflexion).

## 7.3 Inanspruchnahme des Kundendienstes

Wenden Sie sich an Ihren zuständigen Opolis-Vertreter, wenn Sie Hilfe mit Ihrem SM200 brauchen. Um dem Kundendienst die Arbeit zu erleichtern, halten Sie bitte folgende Angaben bereit:

- Serien-Nr. des Geräts (erscheint auf einem Etikett auf der Geräterückwand).
- Software-Version
- Programmeinstellung (Zykluszeit, Alarmgrenzwerte usw.).  
Siehe [Kapitel 5, Betrieb](#).
- Aktuellste Systeminformation (siehe [Kapitel 5, Betrieb](#) und [Kapitel A, Anhang](#)).  
Achten Sie darauf, dass Sie den kompletten Systemstatus-Code richtig notiert haben.
- Ergebnisse der letzten Pneumatik- und Strahlungssystem-Prüfungen (siehe [Kapitel 5.7.2](#) und [Kapitel 5.7.3](#)).
- Letzter im Puffer erscheinender Datensatz. Durchblättern Sie sämtliche Seiten und notieren Sie die Werte (siehe [Kapitel 5, Betrieb](#)), oder laden Sie den Puffer-Inhalt mittels entsprechender Software in einen PC.
- Art des verwendeten Probenahme-Kopfes.
- Art des zur Probenahme verwendete Filters (Material, Feinheit).
- Umgebungsluftbedingungen (Temperatur, Feuchte, normaler Schwebstaubgehalt).
- Einsatzbedingungen (Standort, Systemanordnung, Temperatur und Druck im Messcontainer).

In diesem Anhang finden Sie detaillierte Informationen zu

- Pufferspeicher-Inhalt
- Status-Codes zum Pneumatik- und Betastrahlungs-System.

Diese Hinweise wurden in Form eines Anhangs zusammengestellt, da sie im normalen Betrieb des Geräts kaum jemals benötigt werden. Sie können jedoch in schwierigen Fällen zur Störungsbehebung von Nutzen sein.

## A.1 Pufferspeicher-Inhalt

Im Pufferspeicher des Geräts werden sämtliche Messdaten sowie die wichtigen Qualitätssicherungsparameter abgelegt. Der Pufferspeicher kann entweder über das Menüsystem (siehe [Kapitel 5, Betrieb](#)) oder über eine serielle Kommunikationsverbindung unter Verwendung geeigneter Software auf einem externen Rechner ausgelesen werden.

Angezeigt werden sowohl die Daten zum Pneumatiksystem und Absorptionsmesskreis als auch separate Menüs für detailliertere Informationen zu den Absorptionsmess- und Pneumatikfunktionen. Die Menüs **Measure** (für die aktuelle Messung) und **Data** (frühere Messungen) enthalten folgende Werte:

Name	Beschreibung	Format	Einheit	QS	M/D
Pneu	Verbleibende Zeit im Pneumatikzyklus	hh:mm:ss			
Geiger	Art der Strahlungsmessung (Dunkel-, Leer- oder Sammelmessung)				
Start	Datum und Uhrzeit des Zyklus- oder Teststarts	jjjj:mm:tt hh:mm			
Sample time	Dauer der Probenahme	hh:mm			
Volume Std.	Probenahme-Gesamtvolumen	x.xxxe+xx	Nm <sup>3</sup>		
Volume Inlet	Einlass-Gesamtvolumen	x.xxxe+xx	m <sup>3</sup>		
Initial P drop	Differenzdruck am Filter bei Probenahme-Start	xxx.xxx	kPa	x	
Final P drop	Differenzdruck am Filter bei Probenahme-Ende	xxx.xxx	kPa	x	
Flow rate RSD	Relative Standardabweichung des Durchflusses während der Probenahme	xx.x	%		
Flow temp	Temperatur im Durchflussregler	xx.xx	°C		

Name	Beschreibung	Format	Einheit	QS	M/D
Ext. temp	Temperatur am Einlass des Probenahme-Kopfes	xx.xx	°C	x	
Atm P	Atmosphärischer Druck	xxx.xxx	kPa	x	
Filter humidity	Relative Feuchte am Filter	xx.xx	% rel.	x	
Filter T	Temperatur am Filter	xx.xx	°C	x	
Valve pos	Stellung des Durchflussreglers	xxxxx			
Pneumatic status	Pneumatik-Status, siehe <a href="#">Kapitel A.2.</a>	xxxxx		x	
Dark	Beta-Zähler "Hintergrundstrahlung"	xxx	cpm		
Blank	Beta-Zähler "Reinfilter bei Probenahme-Start" (Leermessung)	xxxxxxx	cpm		
Blank time	Dauer der Leermessung	xxx	min.		M
Collect	Beta-Zähler von beprobtem Filter nach Ende der Probenahme	xxxxxx	cpm		
Collect time	Dauer der Sammelmessung	xxx	min.		M
Short	Anzahl Zähler, die durch kurzlebige $\beta$ -Strahlung in der Probe bedingt sind	xxxxx	cpm		D
Long	Anzahl Zähler, die durch langlebige $\beta$ -Strahlung in der Probe bedingt sind	xxxxx	cpm		D
Nat res.	Anzahl Zähler, die durch $\beta$ -Reststrahlung in der Probe bedingt sind	xxxxx	cpm		D
Natural [1]	Rohdaten zur Berechnung der kurz-/ langlebigen Betastrahlung	xxxxx	cpm		
Natural [2]	Rohdaten zur Berechnung der kurz-/ langlebigen Betastrahlung	xxxxx	cpm		
Natural [3]	Rohdaten zur Berechnung der kurz-/ langlebigen Betastrahlung	xxxxx	cpm		
Natural [4]	Rohdaten zur Berechnung der kurz-/ langlebigen Betastrahlung	xxxxx	cpm		
Natural [5]	Rohdaten zur Berechnung der kurz-/ langlebigen Betastrahlung	xxxxx	cpm		
Natural periods	Anzahl der Rohdaten-Erfassungsperioden	x			M
Blank T	Mittlere Temperatur in der Messkammer während der Leermessung	xxx.x	K	x	
Blank P	Mittlerer Druck in der Messkammer während der Leermessung	xxx.x	kPa	x	
Blank hum	Mittlere Feuchte bei Leermessung	xx.xx	% RF.		
Blank HV	Geiger-Spannung bei Leermessung	xxx.x	V	x	
Collect T	Mittlere Kammertemperatur über den Sammelzyklus	xxx.x	K	x	
Collect P	Mittlerer Kammerdruck über den Sammelzyklus	xxx.x	kPa	x	
Collect hum	Mittlere Kammerfeuchte über den Sammelzyklus	xx.xx	% RF		
Collect HV	Geiger-Spannung über den Sammelzyklus	xxx.x	V	x	

Name	Beschreibung	Format	Einheit	QS	M/D
Beta status	Status des Absorptionsmesskreises, siehe Kapitel A.2.	xxxxx		x	
Total mass	Gesamtgewicht des auf der Membran gesammelten Staubs	xx.xx	mg		D
Mass error	Fehler der Gesamtmasse	x.xxx	mg		D
Mass conc.	Staubkonzentration	xxxx.x	$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$		D
Filter samples	Anzahl Proben, die auf den Filter gesammelt wurden	x			D
Filter pos	Position, an der sich der Filter befindet (0 oder 1)	x			D

Die in der QS-Spalte mit einem "x" gekennzeichneten Parameter sind Teil der Qualitätskontrolle, die in den laufenden Messbetrieb integriert ist.

Einige Parameter sind nur aus dem Menü "Messen" (Measure) einsehbar. Diese sind in der Spalte M/D mit einem "M" gekennzeichnet. Mit einem "D" gekennzeichnete Parameter erscheinen nur in dem Menü "Daten" (Data).

## A.2 Pufferspeicher-Statuscodes

Im Pufferspeicher (siehe Kapitel A.1) werden Statuscodes für das Pneumatik- und Betastrahlungssystem abgelegt. Jeder dieser Statuscodes besteht aus einem 16-Bit-Dezimalwert. Wenn bei Probenahme und Messung des entsprechenden Filters normale Betriebsbedingungen herrschen, muss der Wert jeweils "Null" (0) sein. Die Statuscodes haben folgende Bedeutung:

**Status des Pneumatik-Systems:**

Statuscode		Bedeutung
0001	SpanUnderPressure	Rel. Druckdifferenz bei Messbereichstest ist > 0.45
0002	FlowSpanError	Ergebnis der Durchfluss-Messbereichsprüfung nicht innerhalb $\pm 3\%$
0004	FlowLeak	Druckabfall bei Dichtheitsprüfung > 100 Pa
0008	LeakUnderPressure	Rel. Druckdifferenz bei Dichtheitsprüfung > 30 kPa
0010	RegulatorMin	Durchflussregler am unteren Anschlag
0020	RegulatorMax	Durchflussregler am oberen Anschlag
0040	FlowMin	Durchfluss < ee.MinFlow
0080	FlowPressureDrop	Durchfluss-Differenzdruck < 100 Pa
0100	FilterPressureDropMin	Filter-Differenzdruck < ee.MinDrop
0200	FilterPressureDropMax	Filter-Differenzdruck > 70 kPa
0400	FlowPressureDropOffset	Durchfluss-Differenzdruck-Offset > 250 Pa
0800	ExtTemperature	Außentemperaturgeber nicht angeschlossen
1000	AtmPressure	Atmosphärendruckgeber nicht angeschlossen
2000	FlowTemperature	Durchflusstemperatur nicht innerhalb $\pm 10^\circ$ der GM-Temperatur

**Status des Betastrahlungs-Systems:**

Statuscode		Bedeutung
0001	GeigerDarkRange	Dunkelzählwert < 10 oder > 150
0002	GeigerTemperature	Temperatur < 308 K
0004	GeigerNoCount	Innentemperatur 1 = < 308 K
0008	GeigerStability	Geigerzähler-Stabilität > 4 x theoretischer Wert
0010	Aperture	Blendenverhältnis nicht innerhalb $\pm 5\%$
0020	GeigerHV	Spannung nicht innerhalb $604 \pm 1$ V
0040	Cards	Nicht alle Platinen "OK"
0080	BetaMeasurements	Absorptionsmessungen nicht abgeschlossen
0100	LoadError	Filter konnte nicht eingelegt werden.
0200	MeasAborted	Messung abgebrochen.
0400	CarouselPosError	Position konnte nicht gesetzt werden.
0800	CarouselLocking	Karussell konnte nicht gesperrt werden.
1000	CarouselUnlock	Karussell konnte nicht entsperrt werden.
2000	BetaShieldOpen	Strahlungsquellen-Abschirmung öffnet nicht
4000	BetaShieldClose	Strahlungsquellen-Abschirmung schließt nicht
8000	LoadUnload	Filter konnte nicht eingelegt/ausgeworfen werden.

Der aktuelle Status der meisten o.g. Parameter ist aus den Systeminformationen abrufbar.

## TÜV RHEINLAND ENERGY GMBH



Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung OPSIS SM 200 der Firma OPSIS AB für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21205849/A vom 26. März 2009

TÜV-Bericht: 936/21251664/A  
Köln, 10. September 2021

[www.umwelt-tuv.de](http://www.umwelt-tuv.de)



[tre-service@de.tuv.com](mailto:tre-service@de.tuv.com)

**Die TÜV Rheinland Energy GmbH ist mit der Abteilung Immissionsschutz  
für die Arbeitsgebiete:**

- Bestimmung der Emissionen und Immissionen von Luftverunreinigungen und Emissionen von Geruchsstoffen;
- Überprüfung des ordnungsgemäßen Einbaus und der Funktion sowie Kalibrierung kontinuierlich arbeitender Emissionsmessgeräte einschließlich Systemen zur Datenauswertung und Emissionsfernüberwachung;
- Feuerraummessungen;
- Eignungsprüfung von Messeinrichtungen zur kontinuierlichen Überwachung der Emissionen und Immissionen sowie von elektronischen Systemen zur Datenauswertung und Emissionsfernüberwachung
- Bestimmung der Schornsteinhöhen und Immissionsprognosen für Schadstoffe und Geruchsstoffe;
- Bestimmung der Emissionen und Immissionen von Geräuschen und Vibrationen, Bestimmung von Schallleistungspegeln und Durchführung von Schallmessungen an Windenergieanlagen

**nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert.**

Die Akkreditierung hat die DAkKS-Registriernummer: D-PL-11120-02-00  
und gilt für den in der Urkundenanlage festgelegten Umfang.

Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes bedarf der schriftlichen Genehmigung.

**TÜV Rheinland Energy GmbH  
D - 51105 Köln, Am Grauen Stein,  
Tel: 0221 806-5200, Fax: 0221 806-1349**

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OPSIS SM 200 der Firma OPSIS AB für die Komponente Schwebstaub  
PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

**Leerseite**

## Inhaltsverzeichnis

1.	KURZFASSUNG .....	7
1.1	Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse .....	10
2.	AUFGABENSTELLUNG .....	15
2.1	Art der Prüfung.....	15
2.2	Zielsetzung .....	15
3.	BESCHREIBUNG DER GEPRÜFTEN MESSEINRICHTUNG.....	17
3.1	Messprinzip.....	17
3.2	Funktionsweise der Messeinrichtung .....	18
3.3	Umfang und Aufbau der Messeinrichtung .....	21
4.	PRÜFPROGRAMM.....	30
4.1	Allgemeines .....	30
4.2	Laborprüfung .....	31
4.3	Feldtest.....	32
5.	REFERENZMESSVERFAHREN.....	43
6.	PRÜFERGEBNISSE .....	44
6.1	1 Messbereiche.....	44
6.1	2 Negative Signale.....	45
6.1	3 Nullniveau und Nachweisgrenze (7.4.3).....	46
6.1	4 Genauigkeit des Volumenstroms (7.4.4) .....	48
6.1	5 Konstanz des Probenvolumenstroms (7.4.5).....	50
6.1	6 Dichtheit des Probenahmesystems (7.4.6).....	55
6.1	7 Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur (7.4.7.) .....	57
6.1	8 Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Messgerätes (Span) von der Umgebungstemperatur (7.4.7) .....	59
6.1	9 Abhängigkeit der Messspanne von der Netzspannung (7.4.8) .....	61
6.1	10 Auswirkung des Ausfalls der Stromversorgung .....	63
6.1	11 Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration (7.4.9) .....	64
6.1	12 Nullpunktprüfungen (7.5.3).....	66
6.1	13 Aufzeichnung der Betriebsparameter (7.5.4).....	69
6.1	14 Tagesmittelwerte (7.5.5).....	71
6.1	15 Verfügbarkeit (7.5.6) .....	72
6.1	Methodik der Äquivalenzprüfung (7.5.8.4 & 7.5.8.8).....	74
6.1	16 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den AMS $u_{bs,AMS}$ (7.5.8.4) .....	75
6.1	17 Erweiterte Messunsicherheit der Ergebnisse der AMS (7.5.8.5 – 7.5.8.8) .....	81
6.1	17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen (7.5.8.5 – 7.5.8.8) .....	94
6.1	18 Wartungsintervall (7.5.7) .....	100
6.1	19 Automatische Überprüfung (7.5.4) .....	102
6.1	20 Prüfungen der Sensoren für Temperatur, Druck und/oder Luftfeuchte .....	103
7.	EMPFEHLUNGEN ZUM PRAXISEINSATZ.....	104
8.	LITERATURVERZEICHNIS .....	106
9.	ANLAGEN.....	108



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beschreibung der Messstellen .....	9
Tabelle 2:	Ergebnisse des Äquivalenztests (Rohdaten).....	9
Tabelle 3:	Gerätetechnische Daten OP SIS SM 200 (Herstellerangaben) .....	29
Tabelle 4:	Feldteststandorte .....	33
Tabelle 5:	Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten, als Tagesmittelwerte.....	39
Tabelle 6:	Ergebnisse Grubbs-Ausreißertest – Prüflinge & Referenz PM <sub>2,5</sub> gemäß [9]....	40
Tabelle 7:	Ergebnisse Grubbs-Ausreißertest – Referenz PM <sub>2,5</sub> .....	41
Tabelle 8:	Eingesetzte Filtermaterialien.....	42
Tabelle 9:	Nullniveau und Nachweisgrenze PM <sub>2,5</sub> .....	47
Tabelle 10:	Genauigkeit des Volumenstroms bei +5 °C und +40 °C .....	49
Tabelle 11:	Ergebnisse Kontrolle Durchflussrate .....	51
Tabelle 12:	Kenngrößen für die Gesamtdurchflussmessung (24h-Mittel), SN 1236 .....	52
Tabelle 13:	Kenngrößen für die Gesamtdurchflussmessung (24h-Mittel), SN 1237 .....	52
Tabelle 14:	Ergebnisse der Dichtigkeitsprüfungen im Labortest .....	56
Tabelle 15:	Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur, Abweichung in µg/m <sup>3</sup> , Mittelwert aus drei Messungen, SN 1236 & SN 1237 .....	58
Tabelle 16:	Abhängigkeit der Empfindlichkeit (Referenzfolie) von der Umgebungstemperatur, Abweichung in %, Mittelwert aus drei Messungen, SN 1236 & SN 1237.....	60
Tabelle 17:	Abhängigkeit des Messwertes von der Netzspannung, Abweichung in %, SN 1712 & SN 1724.....	62
Tabelle 18:	Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration, Abweichung in µg/m <sup>3</sup> , SN 1712 & SN 1724.....	65
Tabelle 19:	Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration, SN 1712 & SN 1724, Einzelwerte .....	65
Tabelle 20:	Nullpunktprüfungen SN 1236 & SN 1237, PM <sub>2,5</sub> , Leerfiltermessung.....	67
Tabelle 21:	Ermittlung der Verfügbarkeit (inkl. prüfungsbedingter Ausfälle).....	73
Tabelle 22:	Unsicherheit zwischen den Prüflingen $u_{bs,AMS}$ für die Testgeräte SN 1236 und SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	76
Tabelle 23:	Übersicht Äquivalenzprüfung OP SIS SM 200 für PM <sub>2,5</sub> .....	84
Tabelle 24:	Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten $u_{bs,RM}$ für PM <sub>2,5</sub> .....	87
Tabelle 25:	Zusammenstellung der Ergebnisse der Äquivalenzprüfung, SN 1236 & SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> nach Korrektur Achsabschnitt...	98

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beschreibung der Funktionsweise der Messeinrichtung anhand einer Darstellung des Weges eines Filters durch die Messeinrichtung .....	19
Abbildung 2:	PM <sub>2,5</sub> -Probenahmekopf für OP SIS SM 200 (2,3 m <sup>3</sup> /h) .....	21
Abbildung 3:	Aufbau Temperaturstabilisator TS 200 .....	22
Abbildung 4:	Temperaturstabilisator TS 200 für Probenahmerohr (Installation über Dach) .....	23
Abbildung 5:	Temperaturstabilisator TS 200 für Probenahmerohr (Installation im Messcontainer) .....	23
Abbildung 6:	Pumpeneinheit .....	24
Abbildung 7:	Probenahme- und Messeinheit .....	24
Abbildung 8:	Ansicht Frontseite OP SIS SM 200 .....	25
Abbildung 9:	Aufbau OP SIS SM 200 .....	26
Abbildung 10:	Absolutfilter zur Bereitstellung von schwebstaubfreier Luft .....	27
Abbildung 11:	Referenzfoliensatz ck033 für OP SIS SM 200 .....	28
Abbildung 12:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Frankfurter Str.“ .....	34
Abbildung 13:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände“ .....	34
Abbildung 14:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Furulund, Sommer“ .....	35
Abbildung 15:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Furulund, Winter“ .....	35
Abbildung 16:	Feldteststandort Köln, Frankfurter Str. ....	36
Abbildung 17:	Feldteststandort Köln, Parkplatzgelände .....	36
Abbildung 18:	Feldteststandort Furulund .....	37
Abbildung 19:	Durchfluss am Testgerät SN 1236 zwischen 03.08.2007 und 08.08.2007 ...	53
Abbildung 20:	Durchfluss am Testgerät SN 1237 zwischen 23.08.2007 und 28.08.2007 ...	54
Abbildung 21:	Adapter zur Bestimmung der Leckrate .....	55
Abbildung 22:	Nullpunktdrift SN 1236, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	68
Abbildung 23:	Nullpunktdrift SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	68
Abbildung 24:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte .....	77
Abbildung 25:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Köln, Frankf. Str. ....	77
Abbildung 26:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Köln, Parkplatzgelände .....	78
Abbildung 27:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Furulund, Sommer .....	78
Abbildung 28:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Furulund, Winter .....	79
Abbildung 29:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte, Werte ≥ 18 µg/m <sup>3</sup> .....	79
Abbildung 30:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte, Werte < 18 µg/m <sup>3</sup> .....	80
Abbildung 31:	Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte .....	88
Abbildung 32:	Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte .....	88



Abbildung 33:	Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Frankf. Str. ....	89
Abbildung 34:	Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Frankf. Str. ....	89
Abbildung 35:	Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Parkplatzgelände.....	90
Abbildung 36:	Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Parkplatzgelände.....	90
Abbildung 37:	Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Furulund, Sommer.....	91
Abbildung 38:	Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Furulund, Sommer.....	91
Abbildung 39:	Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Furulund, Winter.....	92
Abbildung 40:	Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Furulund, Winter.....	92
Abbildung 41:	Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Werte $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	93
Abbildung 42:	Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Werte $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	93
Abbildung 43:	Erstbekanntgabe BAnz. vom 25. August 2009, S. 2533, Kapitel II Nummer 1.1.....	107
Abbildung 44:	Bekanntgabe Mitteilung BAnz. vom 26. Januar 2011, S. 294, Kapitel IV 3. Mitteilung.....	107
Abbildung 45:	Bekanntgabe Mitteilung BAnz AT 01.04.2014 B12, Kapitel VI 31. Mitteilung.....	107

## 1. Kurzfassung

Im Auftrag der Firma OP SIS AB führte die TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH (heute TÜV Rheinland Energy GmbH) die Eignungsprüfung der Messeinrichtung OP SIS SM 200 für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> gemäß den folgenden Richtlinien durch.

- VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“, Juni 2002
- VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, August 2004
- Europäische Norm EN 14907, „Luftbeschaffenheit – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>2,5</sub>-Massenfraktion des Schwebstaubs“, Deutsche Fassung EN 14907: 2005
- Leitfaden “Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods”, Englische Fassung von November 2005

Auf Basis der aufgeführten Prüfgrundlagen wurde die Messeinrichtung OP SIS SM 200 für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> bereits eignungsgeprüft und wie folgt bekanntgegeben:

- OP SIS SM 200 für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> mit Bekanntmachung des Umweltbundesamtes vom 03. August 2009 (BANz. S. 2933, Kapitel II Nummer 1.1) – Erstbekanntgabe
- OP SIS SM 200 für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> mit Bekanntmachung des Umweltbundesamtes vom 10. Januar 2011 (BANz. S. 294, Kapitel IV 3. Mitteilung) – Mitteilung zu Erfüllung der Anforderungen der DIN EN 14907 sowie des Leitfadens “Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods”, Englische Fassung vom November 2005. Darüber hinaus erfüllt die Herstellung und das Qualitätsmanagement der Messeinrichtung die Anforderungen der DIN EN 15267 und der Prüfbericht ist im Internet unter [www.gal1.de](http://www.gal1.de) einsehbar.
- OP SIS SM 200 für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> mit Bekanntmachung des Umweltbundesamtes vom 27. Februar 2014 (BANz AT 01.04.2014 B12, Kapitel VI 31. Mitteilung 31) – Mitteilung zu Geräteänderung (alternative <sup>14</sup>C-Strahlenquelle) und neue Softwareversion

Seit Juli 2017 liegt nun die Europäische Richtlinie DIN EN 16450 „Außenluft - Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>)“ vor. Diese enthält erstmalig auf europäischer Ebene einheitliche Anforderungen an die Eignungsprüfung von automatischen Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>) und dient zukünftig als Basis für die Zulassung von automatischen Schwebstaubmesseinrichtungen.

Das vorliegende Addendum enthält nun eine Beurteilung der Messeinrichtungen vom Typ OPSIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub> im Hinblick auf die Einhaltung der Anforderungen gemäß der Richtlinie DIN EN 16450 (Juli 2017).

Da die in Kapitel 7 der Richtlinie DIN EN 16450 (Juli 2017) formulierten Leistungskenngrößen und Leistungskriterien zum überwiegenden Teil schon im Rahmen der bereits vorliegenden Eignungsprüfung überprüft bzw. ermittelt wurden, kann der Großteil der Ergebnisse komplett aus dem ursprünglichen Eignungsprüfbericht entnommen werden. Einige Prüfpunkte können anhand von Daten aus dem ursprünglichen Eignungsprüfbericht neu ausgewertet werden. Lediglich für die Prüfpunkte 7.4.4 „Genauigkeit des Volumenstroms“, 7.4.8 „Abhängigkeit der Messspanne von der Netzspannung“ und 7.4.9 „Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration“ wurden im Sommer 2021 komplett neue Prüfungen durchgeführt. Zusätzlich wurde der Prüfpunkt 7.4.3 „Nullniveau und Nachweisgrenze“ ebenfalls erneut durchgeführt, um diesen Prüfpunkt explizit mit 15 x 24 h Nullmessungen (Probenahme über Absolutfilter) anstelle mit Hilfe von radiometrischen Leermessungen wie in der Ursprungsprüfung durchzuführen. Weiterhin wurde der Prüfpunkt 7.4.6 „Dichtheit des Probenahmesystems“ neu durchgeführt, da im Rahmen der ursprünglichen Eignungsprüfung bei der Dichtigkeitsprüfung die Ansaugstange nicht berücksichtigt wurde.

Das Addendum ist nach seiner Veröffentlichung fester Bestandteil des TÜV Rheinland Prüfberichtes der Nummer 936/21205849/A vom 26. März 2009 und wird im Internet unter [www.qal1.de](http://www.qal1.de) einsehbar sein.

Die Messeinrichtung OP SIS SM 200 saugt mit Hilfe einer Pumpe Umgebungsluft über einen PM<sub>2,5</sub> Probenahmekopf auf einen Filter. Die Bestimmung der abgeschiedenen Staubmasse auf dem Filter erfolgt nach der Probenahme durch das radiometrische Messprinzip der Beta-Absorption. Weiterhin besteht die Möglichkeit den Filter gravimetrisch auszuwiegen. Auch steht der Filter für weitere analytische Verfahren wie z. B. eine Schwermetallanalyse zur Verfügung.

Die Untersuchungen erfolgten im Labor und während eines mehrmonatigen Feldtests.

Der mehrmonatige Feldtest erfolgte an den Standorten gemäß **Tabelle 1**.

**Tabelle 1:** Beschreibung der Messstellen

	Köln, Frankfurter Straße	Köln, Parkplatzgelände	Furulund (Schweden) Sommer	Furulund (Schweden) Winter
Zeitraum	11/2006 – 02/2007	04/2007 – 06/2007	07/2007 – 09/2007	12/2008 – 03/2009
Anzahl der Messwertpaare: Prüflinge	90	69	56	76
Charakterisierung	Verkehrsbeeinflusst	Städtischer Hinter- grund	Ländliche Struktur	Ländliche Struktur
Einstufung der Im- missionsbelastung	durchschnittlich bis hoch	durchschnittlich bis hoch	niedrig	niedrig bis durch- schnittlich

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Ergebnisse des durchgeführten Äquivalenztests:

**Tabelle 2:** Ergebnisse des Äquivalenztests (Rohdaten)

PM <sub>x</sub>	Steigung	Achsabschnitt	Alle Datensätze W <sub>CM</sub> <25 % Rohdaten	Kalibrierung ja/nein	Alle Datensätze W <sub>CM</sub> <25 % kal. Daten
PM <sub>2,5</sub>	0,998	1,322*	14,04	ja	11,37

\* Kalibrierung notwendig wegen Signifikanz von Steigung und/oder Achsabschnitt



## 1.1 Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse

### Ergebniszusammenstellung Prüfung gemäß Richtlinie DIN EN 16450 (Juli 2017)

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
1 Messbereiche	0 µg/m <sup>3</sup> bis 1000 µg/m <sup>3</sup> als ein 24-Stunden-Mittelwert 0 µg/m <sup>3</sup> bis 10000 µg/m <sup>3</sup> als ein 1-Stunden-Mittelwert, falls zutreffend	Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0 -200 µg/m <sup>3</sup> bzw. 0 – 1.000 µg/m <sup>3</sup> eingestellt.	ja	44
2 Negative Signale	Dürfen nicht unterdrückt werden.	Negative Messsignale werden von der Messeinrichtung direkt angezeigt und über die entsprechenden Messsignalausgänge korrekt ausgegeben.	ja	45
3 Nullniveau und Nachweisgrenze (7.4.3)	Nullniveau: ≤ 2,0 µg/m <sup>3</sup> Nachweisgrenze: ≤ 2,0 µg/m <sup>3</sup>	Das Nullniveau ermittelte sich aus den Untersuchungen für beide Geräte zu maximal 1,37 µg/m <sup>3</sup> und die Nachweisgrenze zu maximal 1,28 µg/m <sup>3</sup> .	ja	46
4 Genauigkeit des Volumenstroms (7.4.4)	≤ 2,0 %	Die ermittelte relative Differenz zwischen dem Mittelwert der Messergebnisse für den Volumenstrom bei +5°C und +40°C bei maximal 1,68 %.	ja	48
5 Konstanz des Probenvolumenstroms (7.4.5)	≤ 2,0 % des gemittelten Proben durchflusses ≤ 5 % des momentanen Proben durchflusses	Alle ermittelten Tagesmittelwerte weichen weniger als ± 2,0 %, alle Momentanwerte weniger als ± 5 % vom Sollwert ab.	ja	50
6 Dichtheit des Probenahmesystems (7.4.6)	≤ 2,0 % des gemittelten Proben volumensstroms	Die maximal ermittelte Leckrate von 0,022 m <sup>3</sup> /h ist kleiner als 2,0 % des Probenvolumenstroms von 2,3 m <sup>3</sup> /h.	ja	55

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
7 Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur (7.4.7.)	$\leq 2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Der geprüfte Umgebungstemperaturbereich am Aufstellungsort der Messeinrichtung beträgt +5 °C bis +40 °C. Bei Betrachtung der vom Gerät ausgegebenen Werte konnte ein maximaler Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Nullpunkt von $-0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt werden.	ja	57
8 Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Messgerätes (Span) von der Umgebungstemperatur (7.4.7)	$\leq 5 \%$ vom Wert bei der Nennprüftemperatur	Der geprüfte Umgebungstemperaturbereich am Aufstellungsort der Messeinrichtung beträgt +5°C bis +40°C. Am Referenzpunkt konnten keine Abweichungen $> -0,9 \%$ ermittelt werden.	ja	59
9 Abhängigkeit der Messspanne von der Netzspannung (7.4.8)	$\leq 5 \%$ vom Wert bei der Nennprüfspannung	Durch Netzspannungsänderungen konnten keine Abweichungen $> -0,1 \%$ , bezogen auf den Startwert von 230 V, festgestellt werden.	ja	61
10 Auswirkung des Ausfalls der Stromversorgung	Geräteparameter müssen gegen Verlust gesichert sein. Bei Rückkehr der Netzspannung muss das Gerät automatisch die Funktion wieder aufnehmen.	Alle Geräteparameter sind gegen Verlust durch Pufferung geschützt. Die Messeinrichtung befindet sich bei Spannungswiederkehr in störungsfreier Betriebsbereitschaft und führt selbstständig den Messbetrieb fort.	ja	63

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
11 Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration (7.4.9)	$\leq 2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Nullluft	Die maximal ermittelte Differenz zwischen den Messwerten bei 40 % und bei 90 % relativer Feuchte liegt bei $-1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .	ja	64
12 Nullpunktprüfungen (7.5.3)	Absoluter Wert $\leq 3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Der maximal ermittelte absolute Messwert am Nullpunkt lag für PM2,5 bei $-1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .	ja	66
13 Aufzeichnung der Betriebsparameter (7.5.4)	Messeinrichtungen müssen in der Lage sein, Daten von Betriebszuständen zur telemetrischen Übermittlung – zumindest – der folgenden Parameter bereitzustellen: Volumenstrom Druckabfall über dem Probenahmefilter (falls zutreffend) Probenahmedauer Probenvolumen (falls zutreffend) Massenkonzentration der betroffenen Staubfraktion(en) Außenlufttemperatur Außenluftdruck Lufttemperatur in der Messeinheit Temperatur des Probeeinlasses, wenn ein beheizter Probeneinlass eingesetzt wird	Die Messeinrichtung ermöglicht eine umfassende telemetrische Kontrolle und Steuerung der Messeinrichtung über verschiedene Wege (z.B. RS232). Betriebszustände und relevante Parameter werden bereitgestellt.	ja	69
14 Tagesmittelwerte (7.5.5)	Die AMS muss die Bildung von Tagesmittelwerten oder tageswerten ermöglichen.	Die Bildung von validen Tagesmittelwerten ist möglich.	ja	71

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
15 Verfügbarkeit (7.5.6)	Mindestens 90 %	Die Verfügbarkeit betrug für SN 1236 98,4 % (inkl. prüfungsbedingter Ausfälle) und für SN 1237 99,1 % (inkl. prüfungsbedingter Ausfälle).	ja	72
16 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den AMS <sub>ubs</sub> ,AMS (7.5.8.4)	≤ 2,5 µg/m <sup>3</sup>	Die Unsicherheit zwischen den Prüfungen $u_{bs}$ liegt mit maximal 1,35 µg/m <sup>3</sup> für PM <sub>2,5</sub> unterhalb des geforderten Wertes von 2,5 µg/m <sup>3</sup> .	ja	75
17 Erweiterte Messunsicherheit der Ergebnisse der AMS (7.5.8.5 – 7.5.8.8)	≤ 25 % bei der Konzentration des betreffenden Grenzwertes bezogen auf die Ergebnisse für den 24-h-Mittelwert für die Rohdaten, sonst Kalibrierung erforderlich.	Die ermittelten Unsicherheiten WCM liegen ohne Anwendung von Korrekturfaktoren für alle betrachteten Datensätze unter der festgelegten erweiterten relativen Unsicherheit $W_{d90}$ von 25 % für Feinstaub. Auf Grund der Signifikanz des Achsabschnittes ist jedoch die Anwendung von Korrekturfaktoren ist gemäß Punkt 6.1 17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen (7.5.8.5 – 7.5.8.8) entsprechend vorzunehmen.	ja	81
17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen (7.5.8.5 – 7.5.8.8)	Nach der Kalibrierung: ≤ 25 % bei der Konzentration des betreffenden Grenzwertes bezogen auf die Ergebnisse für den 24-h-Mittelwert.	Die Prüflinge erfüllen während der Prüfung die Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen schon ohne eine Anwendung von Korrekturfaktoren. Eine Korrektur des Achsabschnittes führt dennoch zu einer Verbesserung der erweiterten Messunsicherheiten für den Gesamtdatensatz wie auch in den meisten Einzeldatensätzen.	ja	94

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
18 Wartungsintervall (7.5.7)	Mindestens 14 d	Das Wartungsintervall wird durch die notwendigen Wartungsarbeiten (Wechsel Filter / Reinigung Probenahmekopf) bestimmt und beträgt 15 Tage.	ja	100
19 Automatische Überprüfung (7.5.4)	Muss bei der AMS möglich sein	Alle im Bedienungshandbuch aufgeführten Gerätefunktionen sind vorhanden oder aktivierbar. Der aktuelle Gerätestatus wird kontinuierlich überwacht und Probleme über eine Reihe von verschiedenen Warnmeldungen angezeigt. Eine automatische Überprüfung des pneumatischen systems wie auch des radio-metrischen Systems sind möglich und werden aufgezeichnet.	ja	102
20 Prüfungen der Sensoren für Temperatur, Druck und/oder Luftfeuchte	Müssen bei der Prüfung der AMS innerhalb der folgenden Kriterien liegen ± 2 °C ± 1 kPa ± 5 % RH	Die Sensoren zur Erfassung der Außentemperatur, des Luftdrucks und der relativen Luftfeuchte (Bereich Filter) sind vor Ort überprüfbar und justierbar.	ja	103

## **2. Aufgabenstellung**

### **2.1 Art der Prüfung**

Im Auftrag der OP SIS AB wurde von der TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH (heute TÜV Rheinland Energy GmbH) eine Eignungsprüfung für die Messeinrichtung OP SIS SM 200 vorgenommen.

Die Messeinrichtung OP SIS SM 200 für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> ist bereits eignungsgeprüft und im Bundesanzeiger bekanntgegeben.

Das vorliegende Addendum enthält nun eine Beurteilung der Messeinrichtungen OP SIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub> im Hinblick auf die Einhaltung der Anforderungen an automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration gemäß der neuen Richtlinie DIN EN 16450 (Juli 2017).

### **2.2 Zielsetzung**

Die Messeinrichtungen sollen den Gehalt an PM<sub>2,5</sub> Feinstaub in der Umgebungsluft im Konzentrationsbereich 0 – 200 µg/m<sup>3</sup> bzw. 0 bis 1.000 µg/m<sup>3</sup> bestimmen.

Die bereits bestehende Eignungsprüfung war anhand der zum Zeitpunkt der Prüfung aktuellen Richtlinien unter Berücksichtigung der neuesten Entwicklungen durchgeführt wurden.

Die Prüfung erfolgte unter Beachtung der folgenden Richtlinien:

- VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“, Juni 2002 [1]
- VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, August 2004 [2]
- Europäische Norm EN 14907, „Luftbeschaffenheit – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>2,5</sub>-Massenfraktion des Schwebstaubs“, Deutsche Fassung EN 14907: 2005 [3]
- Leitfaden “Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods”, Englische Fassung von November 2005 [4]

Seit Juli 2017 liegt nun die europäische Richtlinie

- DIN EN 16450 „Außenluft - Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>)“, Deutsche Fassung EN 16450:2017 [8]

vor. Diese enthält erstmalig auf europäischer Ebene einheitliche Anforderungen an die Eignungsprüfung von automatischen Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>) und dient zukünftig als Basis für die Zulassung von automatischen Schwebstaubmesseinrichtungen.



Das vorliegende Addendum enthält nun eine Beurteilung der Messeinrichtung OPSIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub> im Hinblick auf die Einhaltung der Anforderungen gemäß der Richtlinie DIN EN 16450 (Juli 2017).

Da die in Kapitel 7 der Richtlinie DIN EN 16450 (Juli 2017) formulierten Leistungskenngrößen und Leistungskriterien zum überwiegenden Teil schon im Rahmen der bereits vorliegenden Eignungsprüfung überprüft bzw. ermittelt wurden, kann der Großteil der Ergebnisse komplett aus dem ursprünglichen Eignungsprüfbericht entnommen werden. Einige Prüfpunkte können anhand von Daten aus dem ursprünglichen Eignungsprüfbericht neu ausgewertet werden. Lediglich für die Prüfpunkte 7.4.4 „Genauigkeit des Volumenstroms“, 7.4.8 „Abhängigkeit der Messspanne von der Netzspannung“ und 7.4.9 „Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration“ wurden im Sommer 2021 komplett neue Prüfungen durchgeführt. Zusätzlich wurde der Prüfpunkt 7.4.3 „Nullniveau und Nachweisgrenze“ ebenfalls erneut durchgeführt, um diesen Prüfpunkt explizit mit 15 x 24 h Nullmessungen (Probenahme über Absolutfilter) anstelle mit Hilfe von radiometrischen Leermessungen wie in der Ursprungsprüfung durchzuführen. Weiterhin wurde der Prüfpunkt 7.4.6 „Dichtheit des Probenahmesystems“ neu durchgeführt, da im Rahmen der ursprünglichen Eignungsprüfung bei der Dichtigkeitsprüfung die Ansaugstange nicht berücksichtigt wurde.

Das Addendum ist nach seiner Veröffentlichung fester Bestandteil des TÜV Rheinland Prüfberichtes der Nummer 936/21205849/A vom 26. März 2009 und wird im Internet unter [www.qal1.de](http://www.qal1.de) einsehbar sein.

### 3. Beschreibung der geprüften Messeinrichtung

#### 3.1 Messprinzip

Die Immissionsmesseinrichtung OP SIS SM 200 basiert auf dem Messprinzip der Beta-Abschwächung.

Das Prinzip der radiometrischen Massenbestimmung basiert auf dem physikalischen Gesetz der Abschwächung von Betastrahlen beim Durchgang durch eine dünne Schicht an Material.

Definiert man  $x_f$  als den Wert der Massendichte für den Filter und  $x_p$  als den Wert der Massendichte der gesammelten Partikel, dann gilt die folgende Beziehung

$$F_{\text{collect}} = F_{\text{blank}} * e^{-\frac{x_p}{K(x_f)}} \quad \text{bzw.} \quad x_p = K(x_f) \ln \frac{F_{\text{blank}}}{F_{\text{collect}}}$$

mit  $K(x_f)$  = Massenabsorptionskoeffizient und  $F_{\text{blank}}$  und  $F_{\text{collect}}$  als Betastrahlenfluss vor und nach der Probenahme der Partikel.

Mit dem Wert für die beaufschlagte Oberfläche  $S$  ( $=11,99 \text{ cm}^2$ ,  $\varnothing = 3,9 \text{ cm}$ ), kann die Masse der Staubpartikel  $m_p$ , die auf dem Filter abgeschieden wurden, wie folgt berechnet werden:

$$m_p = S * x_p$$

Die Funktion  $K(x_f)$  wurde vom Gerätehersteller ermittelt und in das Gerät einprogrammiert. Nach jedem Neustart des Gerätes (oder auch manuell auslösbar sowie regelmäßig als Auto-test) erfolgt mittels zweier Referenzblenden mit verschiedenen Durchmessern, die in den Strahlengang zwischen Betaquelle und Geigerzähler eingebracht werden, eine Überprüfung der Stabilität der Anfangskalibrierung – das jeweilige Ergebnis des letzten „Beta-Tests“ kann zu jeder Zeit aufgerufen werden.

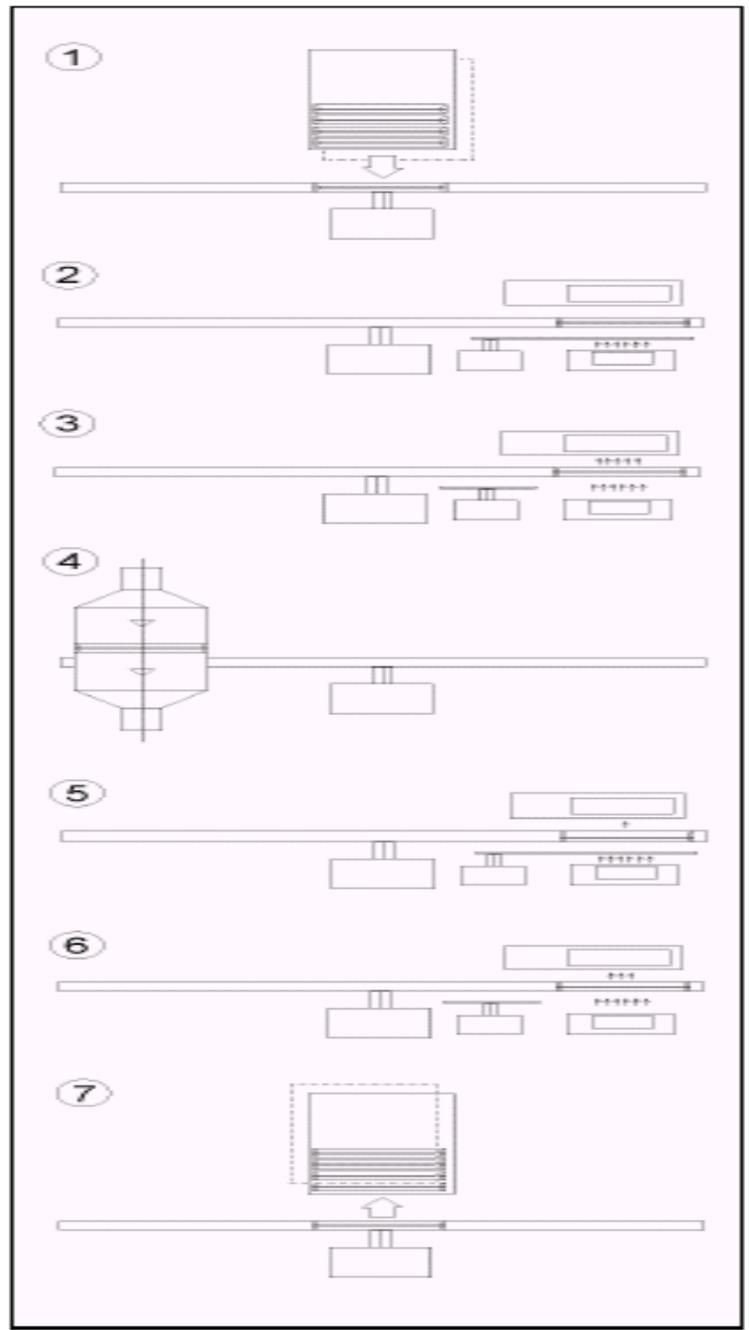
### 3.2 Funktionsweise der Messeinrichtung

Die Partikelprobe passiert mit einer Durchflussrate von 2,3 m<sup>3</sup>/h den PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf und gelangt über das Probenahmerohr zum eigentlichen Messgerät OPSIS SM 200 und wird dort auf einem Filter gesammelt.

Folgende Beschreibung der internen Vorgänge im Messgerät OPSIS SM 200 (Modell: standard dust monitor) kann in ausführlichster Form auch dem in der Anlage beigefügten Bedienungshandbuch entnommen werden. Die **Abbildung 1** zeigt das Schema eines Filterwechsels und aller dazu gehörigen Abläufe.

Beschreibung der Vorgänge aus **Abbildung 1**:

- Das neue Filter wird dem Filtercontainer für unbeaufschlagte Filter entnommen und auf das Karussell abgelegt.  
Das Karussell, eine rotierende Scheibe, transportiert die neuen Filter vom Container 1 auf die Probenahmeposition, anschließend zur Messposition und schließlich zur Entladestelle in den Container 2 mit den beaufschlagten Filtern. Im Betrieb sind 2 Filter gleichzeitig auf dem Karussell – einer in der Probenahmeposition und einer in der Messposition. Wird ein neuer Filter auf das Karussell geladen, erfolgt zeitgleich das Entladen des alten Filters.
- Die Hintergrundstrahlung des neuen Filters wird mit einem Geigerzähler gemessen, hierbei ist die Betastrahlenquelle durch einen Schirm abgedeckt (dark measurement).
- Der Schirm wird zur Seite gefahren, und der Betastrahler erreicht den Geigerzähler – es erfolgt die Ausmessung des neuen Filters vor der Probenahme (blank measurement).
- Das Karussell befördert den Filter zur Probenahmeposition, die Probenahmekammer umschließt das Filter. Der Filter über die Probenahmezeit in dieser Position.
- Das staubbeladene Filter wird zum Geigerzähler zurücktransportiert. Der Betastrahler wird durch den Schirm abgedeckt und die natürliche Strahlung des Staubes wird gemessen (natural measurement).
- Der Schirm wird zur Seite gefahren und die Betastrahlen dringen wieder durch den Filter. Der Geigerzähler registriert die Betastrahlen, die nicht vom Filter und dem Staub absorbiert werden (collect measurement).
- Nach Beendigung der Geigerzählermessung wird der beaufschlagte Filter zur Entladeposition gebracht und in den Filtercontainer für beaufschlagte Filter abgelegt.
- Die vier Messungen mit dem Geigerzähler (Punkt 2,3,5,6) ermöglichen die Berechnung der Masse der Staubschicht auf dem Filter. Mit dem durchgesaugten Volumen errechnet sich die Staubkonzentration.



**Abbildung 1:** Beschreibung der Funktionsweise der Messeinrichtung anhand einer Darstellung des Weges eines Filters durch die Messeinrichtung

Um die korrekte Funktion der Messeinrichtung zu überprüfen und sicherzustellen, besitzt die Messeinrichtung verschiedene interne Tests zur Qualitätskontrolle:

- Überprüfung der Kalibrierung der Massenbestimmung durch Beta-Absorption,
- Überprüfung der Kalibrierung der Durchflussmessung,
- Überprüfung der Dichtigkeit des pneumatischen Geräteteils,
- Überprüfung der Konstanz der Durchflussrate,
- Überprüfung des Geigerzählers und der Druckumformer,
- Einsatz von optischen Sensoren zur Überprüfung der korrekten mechanischen Funktionsweise,
- Alarmmeldungen im Falle von auftretenden Problemen/Abweichungen beim Betrieb der Messeinrichtung.

Eine genaue Beschreibung der verschiedenen Testprozeduren und die Interpretation der Testergebnisse enthält das Kapitel 3 des Bedienungshandbuchs zur Messeinrichtung.

### 3.3 Umfang und Aufbau der Messeinrichtung

Das Schwebstaubimmissionsmessgerät OP SIS SM 200 basiert auf dem Messprinzip der Beta-Abschwächung.

Es ermöglicht die Probenahme von Schwebstaub auf Membranfiltern, mit der Option weitergehende qualitative und quantitative Untersuchungen der gesammelten Probe nachträglich durchzuführen. Darüber hinaus wird die während der Probenahme auf dem Membranfilter abgeschiedene Partikelmasse durch Beta-Absorption im Gerät bestimmt und mit dem durchgesetzten Volumen die Schwebstaubkonzentration in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  berechnet.

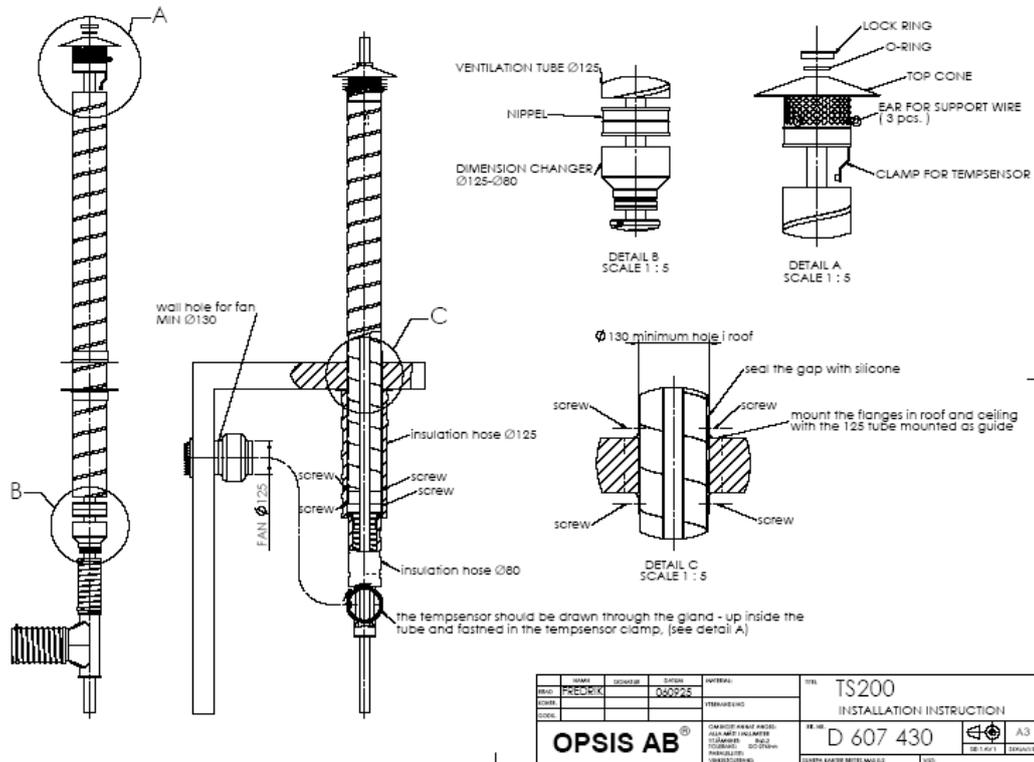
Die Messeinrichtung besteht aus dem Probenahmekopf und dem Ansaugrohr, der Spülluftvorrichtung (Temperaturstabilisator TS 200), der Pumpeneinheit, der Probenahme- und Messeinheit sowie den Filtercontainern zur Bevorratung der unbeaufschlagten und der beaufschlagten Filter. Die Filtercontainer bieten Platz für 40 Filter.

Als Probenahmekopf wird ein PM<sub>2,5</sub> Probeneinlass, der als Vorabscheider für den aus der Außenluft angesaugten Schwebstaub fungiert, eingesetzt. Dabei werden die Geräte mit einem konstanten, geregelten Volumenstrom von  $38,33 \text{ l}/\text{min} = 2,3 \text{ m}^3/\text{h}$  betrieben. Alternativ ist auch ein Einsatz von TSP, PM<sub>10</sub> sowie PM<sub>1</sub> Probeneinlässen möglich.



**Abbildung 2:** PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf für OP SIS SM 200 (2,3 m<sup>3</sup>/h)

Das Ansaugrohr bildet die Verbindung zwischen dem Probenahmekopf und der Probenahme- und Messeinheit. Um Kondensation im Innern des Rohres beim Durchgang des Ansaugrohres durch das Messcontainerdach zu vermeiden, sowie Verluste an flüchtigen Staubbestandteilen durch Temperaturschwankungen auf dem Weg zur Probenahme- und Messeinheit zu verhindern, wurde um das Ansaugrohr eine mit Außenluft gespülte Durchführung durch das Dach installiert (Temperaturstabilisator TS 200, Kapitel 2.3 im Handbuch). Damit wird sichergestellt, dass die angesaugte Luft im Ansaugrohr ihre ursprüngliche Temperatur bis zum Filter behält.



**Abbildung 3:** Aufbau Temperaturstabilisator TS 200



**Abbildung 4:** Temperaturstabilisator TS 200 für Probenahmerohr (Installation über Dach)



**Abbildung 5:** Temperaturstabilisator TS 200 für Probenahmerohr (Installation im Messcontainer)

Die Pumpeneinheit, siehe auch **Abbildung 6**, ist über zwei Schläuche (Ein- und Ausgang) mit der Probenahme- und Messeinheit (**Abbildung 7**) verbunden. Die Probenahme- und Messeinheit steuert die Pumpe und beinhaltet auch das mechanische System zur Bewegung der Filter im Gerät, große Teile des pneumatischen Systems, die Messeinrichtung und alle notwendigen elektronischen Einrichtungen und Mikroprozessoren zur Steuerung und Kontrolle des Messeinrichtung.

Die Bedienung des Messgerätes erfolgt über eine Folientastatur an der Frontseite des Gerätes (**Abbildung 8**). Dort werden alle erforderlichen Parameter, z. B. Probenahmezeit, durchgesetztes Volumen u. a., eingestellt. Es können zudem Funktionen zur Qualitätskontrolle aktiviert werden.



**Abbildung 6:** Pumpeneinheit



**Abbildung 7:** Probenahme- und Messeinheit



**Abbildung 8:** Ansicht Frontseite OPSIS SM 200

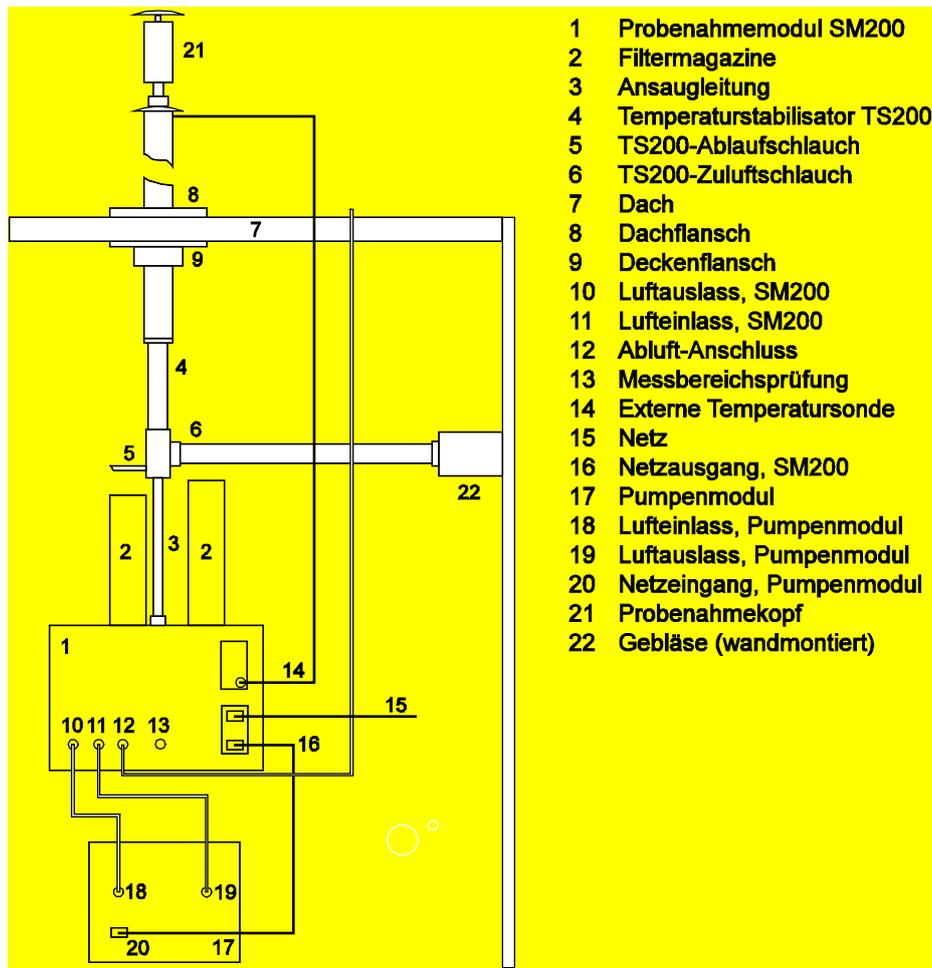
Die aktuellen Daten einer laufenden Probenahme und die gespeicherten Daten der abgeschlossenen Probenahmen und Messungen sowie zahlreiche weitere Parameter zur Qualitätssicherung können jederzeit über das Display abgerufen werden. Die Probenahme wird dadurch nicht beeinflusst. Der interne Speicher kann mittels der RS232-Schnittstelle am Gerät von einem externen Rechner ausgelesen werden oder über ein Modem fern abgefragt werden. Eine Fernsteuerung des Gerätes ist über diesen Weg ebenfalls möglich.

Zur Kontrolle des Luftvolumenstromes befinden sich Druck- und Temperatursensoren im Innern und an der Außenseite des Gerätes. Dabei wird die Durchflussrate aus dem Druckverlust an einer eingebauten Blende, dem Absolutdruck und der Messkammertemperatur ermittelt. Der aktuelle Durchfluss wird ständig mit dem vorgegebenen Sollwert verglichen und durch ein Regelventil werden Abweichungen, bedingt durch schwankende Außentemperaturen und Luftdruck und durch die Filterbeladung, entsprechend korrigiert. Während der Prüfung war der ausgegebene Wert für das angesaugte Luftvolumen über die Probenahmezeit auf Umgebungsbedingungen bezogen. Andere Einstellungen sind möglich.

Eine detaillierte Beschreibung der geräteinternen Vorgänge erfolgt in Kapitel 3.1 Messprinzip.

Der Filterwechsel erfolgt vollautomatisch. Zur Bevorratung der unbeaufschlagten sowie der beaufschlagten Filter, ist die Probenahme- und Messeinheit mit zwei Filtercontainern ausgestattet. Die Filtercontainer bieten Platz für bis zu 40 Filter, wobei die einzelnen Filter in speziellen Filterhaltern befestigt sind. Bei der üblichen Probenahmezeit von 24 h können die Geräte somit 40 Tage laufen, ohne dass ein manueller Filterwechsel vorgenommen werden muss. Eingesetzt werden Teflonfilter mit einem Durchmesser von 47 mm (RZPJ047 bzw. R2PJ047, Pall Gelman Laboratories).

Die **Abbildung 9** zeigt eine Gesamtübersicht über den Aufbau der Messeinrichtung.



**Abbildung 9:** Aufbau OPSIS SM 200

Zur Nullpunktsüberprüfung der Messeinrichtung wurde im Rahmen der Erstprüfung eine geräteinterne Prüfprozedur herangezogen. Hierzu wird der Messbetrieb unterbrochen und im verborgenen Servicemenü die Funktion „Make Blank Test“ mit einem unbeaufschlagtem Filter durchgeführt. Die Messeinrichtung führt in diesem Modus alle 2 h (= üblicher Zeitbedarf für 1 radiometrische Messung) eine Leermessung auf dem Filter durch. Gemäß den Beziehungen aus Kapitel 3.1 kann aus dem Betastrahlenfluss am Anfang (= erste Messung mit Leerfilter) und am Ende (= Wert der folgenden Messung(en)), im Speicher abgelegt als „Blank Counts“ [cpm], bei bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekanntem K(x) (Herstellerangabe) die abgeschiedene Masse auf dem Filter errechnet werden, die im Idealfall bei 0 mg liegen soll.

Eine Überprüfung des Nullpunkts im Betrieb ist selbstverständlich auch jederzeit möglich durch Austausch des Probenahmekopfes mit einem Absolutfilter zur Bereitstellung von schwebstaubfreier Luft.



**Abbildung 10:** Absolutfilter zur Bereitstellung von schwebstaubfreier Luft

Zur Überprüfung der Empfindlichkeit und ggf. Kalibrierung der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller einen Referenzfoliensatz zur Verfügung. Die Software zur Überprüfung der Empfindlichkeit ist dabei in einem verborgenen Servicemenü direkt implementiert. Die Durchführung des Referenzfolientests erfordert ebenfalls eine Unterbrechung des laufenden Messbetriebs. Diese Prozedur wird vom Gerätehersteller zur Überprüfung der Linearität der radiometrischen Messung eingesetzt.

Der Foliensatz besteht aus 2 Leerhaltern sowie 4 unterschiedlichen Messbereichsfolien. Die im Rahmen der Überprüfung erzielten Messergebnisse (Zählraten) für die unterschiedlichen Folien lassen sich bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekannten Parametern aus der im Gerät abgelegten Werkskalibrierung in Massenwerte umrechnen, die im Idealfall über die Zeit konstant bleiben.



**Abbildung 11:** Referenzfoliensatz ck033 für OPSIS SM 200

Des weiteren lässt sich die Stabilität der Empfindlichkeit im Rahmen des internen „Beta Span Test“ auch mittels der im Karussell festeingebauten beiden Referenzöffnungen mit unterschiedlichen Durchmessern jederzeit überprüfen. Dabei muss das Verhältnis der beiden mit den Referenzöffnungen ermittelten Zählraten im Idealfall über die Zeit konstant bleiben.

Nachfolgende **Tabelle 3** enthält eine Auflistung wichtiger gerätetechnischer Kenndaten des Schwebstaubimmissionsmessgerätes OPSIS SM 200.

**Tabelle 3:** Gerätetechnische Daten OP SIS SM 200 (Herstellerangaben)

<b>Abmessungen / Gewicht</b>	<b>OP SIS SM 200</b>
Probenahme- und Messeinheit	440 x 630 x 300 mm / 42 kg
Pumpeneinheit	310 x 280 x 250 mm / 20 kg
Ansaugrohr	2,5 m
Probenahmekopf	je nach Hersteller
<b>Energieversorgung</b>	230 V (+6 %, - 10 %), 50/60 Hz
<b>Leistungsaufnahme</b>	max. 800 W
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Temperatur	+5 - +40 °C
Feuchte	max. 80 % relative Feuchte
<b>Probenflussrate</b>	8 – 40 l/min, nominal 38,33 l/min = 2.3 m <sup>3</sup> /h
<b>Strahler</b>	
Typ	<sup>14</sup> C Polymethyl Methacrylat
Zerfallsart	Betastrahlung
Aktivität spezifische Aktivität:	9,9 MBq, 267 µCi 55,5 MBq/g
<b>Massenbestimmung</b>	
Messbereich (lt. Bedienungshand- buch)	0 – 60 mg
Probenahmezeit (Zykluszeit)	8 h – 100 Tage
Zeitbedarf β-Messung	120 min
<b>Speicherkapazität Daten</b>	> 100 Datensätze
<b>Gespeicherte Daten pro Mes- sung</b>	45 verschiedene Parameter (aufgeführt im Bedienungshandbuch Seite A.1)
<b>Analogausgang</b>	0 – 10 V oder 0 – 20 mA (Konzentrations- bereich frei einstellbar)
<b>Digitalausgang</b>	3 x RS 232 – Schnittstellen zur Daten- übertragung und Fernsteuerung
<b>Statussignale</b>	Informationen im Messmodus (siehe Be- dienungshandbuch Seite A.1) oder im Servicemenü/Analogsensoren verfügbar



## **4. Prüfprogramm**

### **4.1 Allgemeines**

Die ursprüngliche Eignungsprüfung [9] erfolgte an zwei identischen Geräten vom Typ OPSIS SM 200 mit den Seriennummern SN 1236 und SN 1237 gemäß den Mindestanforderungen aus [1; 2; 3; 4].

Die Prüfung wurde mit der Softwareversion 1.04.10 durchgeführt.

Die ursprüngliche Prüfung umfasste einen Labortest zur Feststellung der Verfahrenskenngrößen sowie einen mehrmonatigen Feldtest an verschiedenen Feldteststandorten in Deutschland und Schweden.

Die neuen Untersuchungen für die Prüfpunkte 6.1 4 Genauigkeit des Volumenstroms (7.4.4) 6.1 9 Abhängigkeit der Messspanne von der Netzspannung (7.4.8) und 6.1 11 Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration (7.4.9) sowie 6.1 3 Nullniveau und Nachweisgrenze (7.4.3) und 6.1 6 Dichtheit des Probenahmesystems (7.4.6) erfolgten mit zwei identischen Geräten der Version OPSIS SM 200 mit den Seriennummern SN 1712 und SN 1724.

Die zuletzt bekanntgegebene Softwareversion für die Messeinrichtung lautet 1.04.17. Während der Zusatzuntersuchungen war auf den Prüflingen die neue Softwareversion 1.04 Rev 20 installiert. Diese neue Softwareversion beinhaltet neben Erweiterung der Funktionalität (z.B. serielles Protokoll für komplettes Set-Up des Systems) sowie Erweiterungen (Kalibrier-routinen) und Anpassungen der bereitgestellten Betriebsparameter an die Anforderungen der DIN EN 16450 [8].

Die Änderungen wurden gemäß dem Prozedere der Richtlinie DIN EN 15267-2 korrekt dokumentiert und bewertet. Es kann kein Einfluss auf die Performance der zertifizierten Messeinrichtung festgestellt werden. Der Sachverhalt wird der zuständigen Stelle gesondert per Mitteilung übermittelt.

Alle ermittelten Konzentrationen werden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Betriebsbedingungen) angegeben.

Das vorliegende Addendum enthält nun eine Beurteilung der Messeinrichtung OPSIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub> im Hinblick auf die Anforderungen gemäß der Richtlinie DIN EN 16450 [8].

Im folgenden Bericht wird in der Überschrift zu jedem Prüfpunkt die Mindestanforderung gemäß [8] mit Nummer und Wortlaut angeführt.

## 4.2 Laborprüfung

Die Laborprüfung erfolgte größtenteils in der bereits vorliegenden Eignungsprüfung [9]. Die Prüfergebnisse konnten für den vorliegenden Bericht entweder direkt oder nach Neuauswertung übernommen werden.

Für folgende Prüfpunkte musste in 2021 zusätzlich eine neue Prüfung mit den Prüflingen SN 1712 und SN 1724 durchgeführt werden:

- Nullniveau und Nachweisgrenze
- Genauigkeit des Volumenstroms
- Dichtheit des Probenahmesystems
- Abhängigkeit der Messspanne von der Netzspannung
- Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration

Folgende Geräte kamen für die Laboruntersuchungen zur Ermittlung der Verfahrenskenngrößen zum Einsatz:

Erstprüfung:

- Klimakammer (Temperaturbereich von –20 °C bis +50 °C, Genauigkeit besser als 1 °C)
- Trennstelltrafo
- Leerfilter zur Nullpunktsüberprüfung
- Referenzfoliensatz ck033 (Hersteller: Opsis)

Prüfungen 2021:

- Klimakammer (Temperaturbereich von –20 °C bis +50 °C, Genauigkeit besser als 1 °C)
- Trennstelltrafo
- 1 Massendurchflussmesser Model 4043 (Hersteller: TSI)
- 1 Referenzdurchflussmesser vom Typ BIOS Met Lab 500 (Hersteller: Mesa Lab)
- Absolutfilter zur Bereitstellung von schwebstaubfreier Luft
- Interne Referenzöffnungen zur Überprüfung der Stabilität der Empfindlichkeit (Beta Span Test)
- Adapter für Probenahmekopf zur Dichtigkeitsprüfung

Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte geräteintern. Die gespeicherten Messwerte wurden via RS232-Schnittstelle ausgelesen.

Die Ergebnisse der Laborprüfungen sind unter Punkt 6 zusammengestellt.

### 4.3 Feldtest

Der Feldtest erfolgte im Rahmen der bereits vorliegenden Eignungsprüfung [9] und wurde mit 2 baugleichen Messeinrichtungen durchgeführt. Dies waren:

Gerät 1: SN 1236

Gerät 2: SN 1237

Die Prüfergebnisse konnten für den vorliegenden Bericht entweder direkt oder nach Neuauswertung übernommen werden. Es musste keine neuen Prüfungen durchgeführt werden.

Für den Feldtest wurden folgende Geräte eingesetzt:

- Messcontainer des TÜV Rheinland, klimatisiert auf ca. 20 °C
- Wetterstation (WS 500 der Fa. ELV Elektronik AG) zur Erfassung meteorologischer Kenngrößen wie Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Windrichtung sowie der Regenmenge
- 2 Referenzmessgeräte LVS3 für PM<sub>2,5</sub> gemäß Punkt 5
- Ganzmetall-Klein-Durchflussmesser DK 37 E (Hersteller: Fa. Krohne)
- Balgengaszähler mit Impulsgeber (Hersteller: Fa. Elster-Instromet)
- Messgerät zur Erfassung der Leistungsaufnahme Metratester 5 (Hersteller: Fa. Gosson Metrawatt)
- Leerfilter zur Nullpunktsüberprüfung
- Referenzfoliensatz ck033 (Hersteller: Opsis)

Im Feldtest liefen jeweils für 24 h zeitgleich zwei OP SIS SM 200 -Systeme und zwei Referenzgeräte für PM<sub>2,5</sub>. Das Referenzgerät arbeitet diskontinuierlich, d. h. nach erfolgter Probenahme muss der Filter manuell gewechselt werden.

Die Impaktionsplatten der PM<sub>2,5</sub> Probenahmeköpfe der Referenzgeräte sowie der Prüflinge wurden in der Prüfung ca. alle 2 Wochen gereinigt und mit Silikonfett eingefettet, um eine sichere Trennung und Abscheidung der Partikel zu gewährleisten. Der Probenahmekopf muss prinzipiell nach den Anweisungen des Herstellers gesäubert werden, wobei die örtlichen Schwebstaubkonzentrationen in Betracht zu ziehen sind. Die Messeinrichtung besitzt einen Filtervorrat von 40 Filtern – d. h. theoretisch ist der autonome Betrieb für das System für einen Zeitraum 40 Tagen möglich.

Bei den Prüflingen sowie bei den Referenzgeräten wurde der Durchfluss vor und nach dem Feldtest, sowie vor und nach jedem Standortwechsel, mit einem Balgengaszähler, der über eine Schlauchleitung an der Lufteintrittsöffnung des Gerätes angeschlossen ist, überprüft.

### Messstandorte und Messgerätstandorte

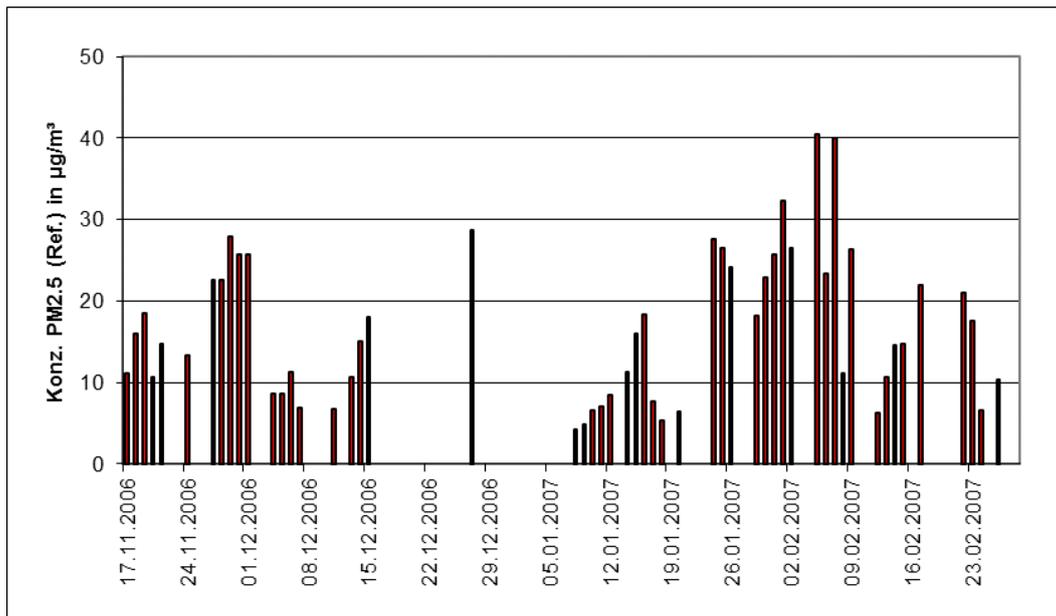
Die Messgeräte wurden im Feldtest so installiert, dass nur die Probenahmeköpfe außerhalb des Messcontainers über dessen Dach eingerichtet sind. Die Zentraleinheiten der beiden Testgeräte waren im Innern des klimatisierten Messcontainers untergebracht. Die Verbindung der Zentraleinheiten mit den Probenahmeköpfen geschah bei den OP SIS SM 200-Systemen über das Probenahmerohr. Die Referenzsysteme (LV S3) wurden komplett im Freien auf dem Dach installiert.

Der Feldtest wurde an folgenden Messstandorten durchgeführt:

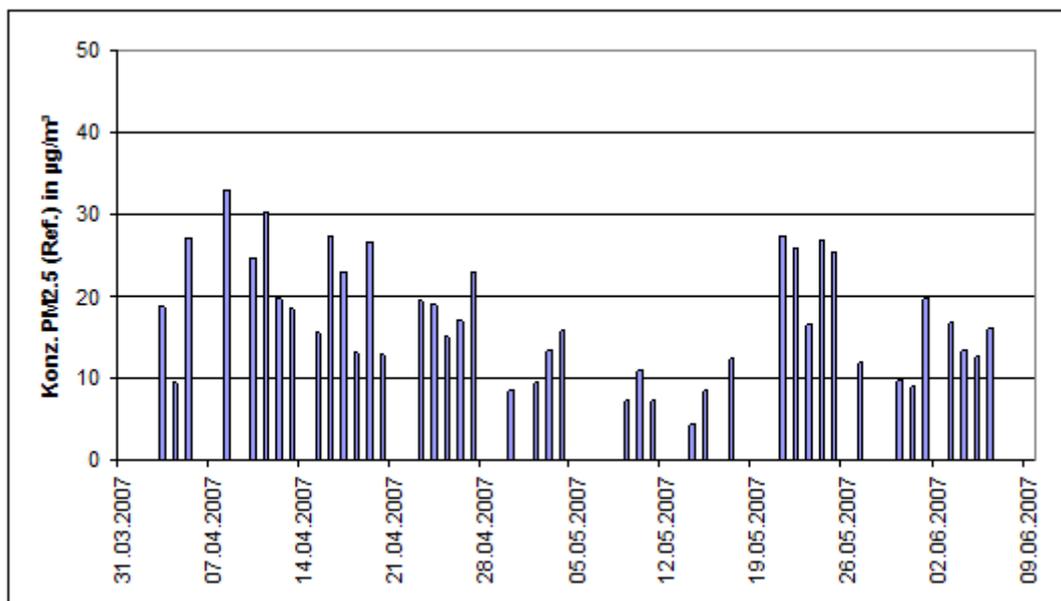
**Tabelle 4:** Feldteststandorte

Nr.	Messstandort	Zeitraum	Charakterisierung
1	Köln, Frankfurter Str.	11/2006 – 02/2007	Verkehrsbeeinflusst
2	Köln, Parkplatzgelände	04/2007 – 06/2007	Städtischer Hintergrund
3	Furulund (Schweden), Sommer	07/2007 – 09/2007	Ländliche Struktur
4	Furulund (Schweden), Winter	12/2008 – 03/2009	Ländliche Struktur

**Abbildung 12 bis Abbildung 15** zeigen den Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen an den Feldteststandorten, die mit den Referenzmesseinrichtungen aufgenommen wurden.



**Abbildung 12:** Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Frankfurter Str.“



**Abbildung 13:** Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände“

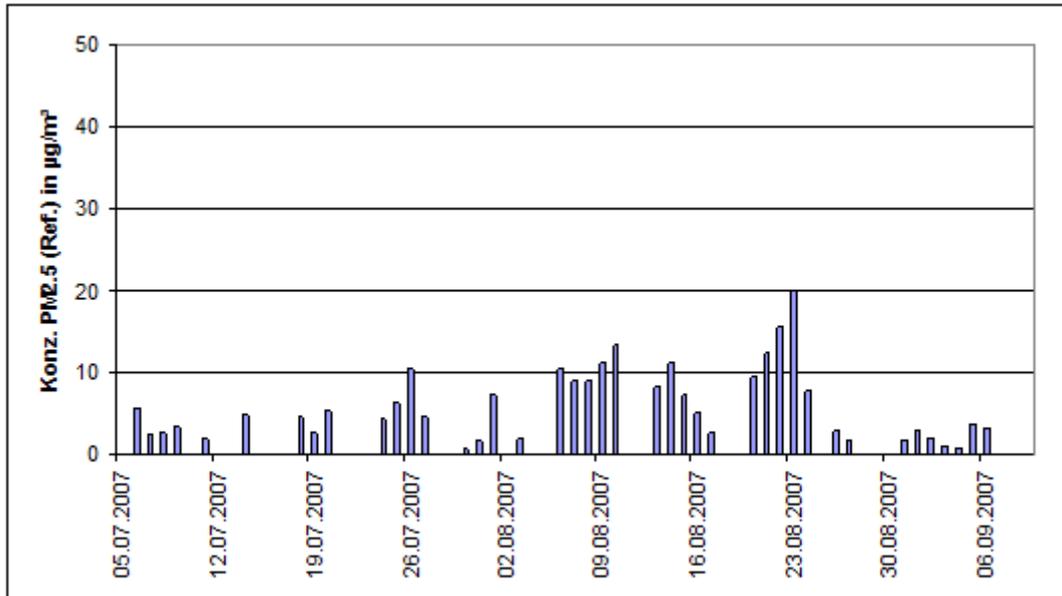


Abbildung 14: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Furulund, Sommer“

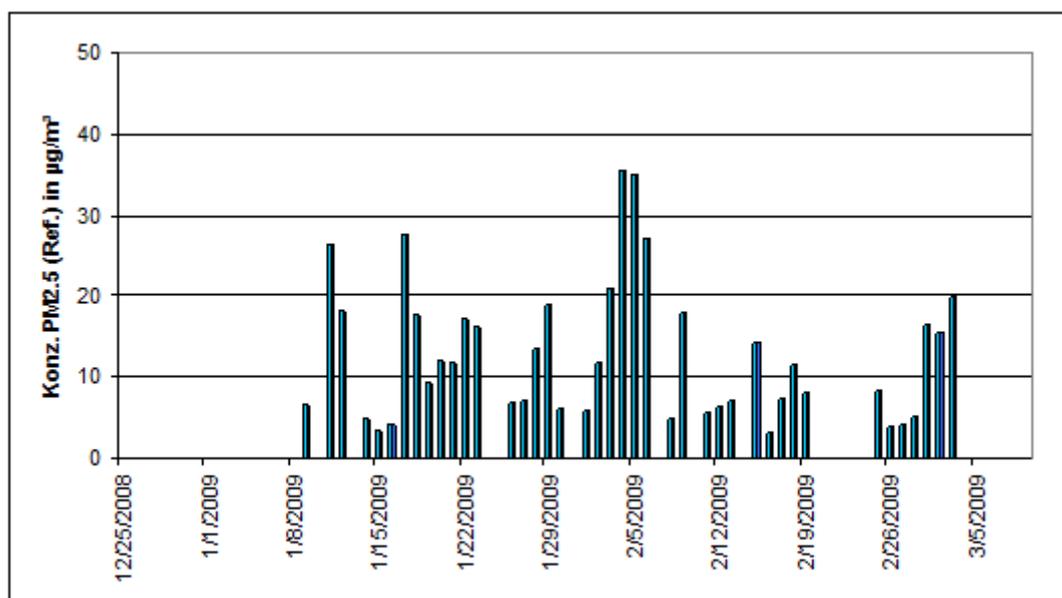


Abbildung 15: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Furulund, Winter“

Die folgenden Abbildungen zeigen den Messcontainer an den Feldteststandorten Köln (Frankfurter Str.) und Köln (Parkplatzgelände) sowie den Aufbau am Standort Furulund.



**Abbildung 16:** Feldteststandort Köln, Frankfurter Str.



**Abbildung 17:** Feldteststandort Köln, Parkplatzgelände



**Abbildung 18:** Feldteststandort Furulund

Neben den Messgeräten zur Bestimmung der Schwebstaubimmissionen war eine Erfassungsanlage für meteorologische Kenndaten am Container/Messort angebracht. Es erfolgte eine kontinuierliche Erfassung von Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Windrichtung sowie Niederschlagsmenge. Es wurden 30-min-Mittelwerte gespeichert.

Der Aufbau des Containers selbst (nur Standorte in Köln), sowie die Anordnung der Probenahmesonden, wurde durch die folgenden Abmessungen charakterisiert:

- Höhe Containerdach: 2,7 m
- Höhe der Probenahme für Test-/ 1,4 / 1,3 m über Containerdach
- Referenzgerät 4,1 / 4,0 m über Grund
- Höhe der Windfahne: 4,5 m über Grund

Die Höhe der Probenahme der beiden Testgeräte war baulich durch die Länge des Ansaugrohres festgelegt – die Höhen der Referenzgeräte wurden soweit möglich entsprechend angepasst.

- Entfernung zwischen den Testgeräten: 1,4 m
- Entfernung Testgerät 1 – Referenzgerät 1 1,1 m
- Entfernung Testgerät 1 – Referenzgerät 2 1,8 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 1 1,8 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 2 1,1 m

Der Aufbau am Standort Furulund selbst, sowie die Anordnung der Probenahmesonden, wurden durch die folgenden Abmessungen charakterisiert:

- Höhe Dach: 2,8 m
- Höhe der Probenahme für Test-/ Referenzgerät 1,2 / 1,2 m über Dach
- Referenzgerät 4,0 / 4,0 m über Grund
- Höhe der Windfahne: 4,2 m über Grund

Die Höhe der Probenahme der beiden Testgeräte war baulich durch die Länge des Ansaugrohres festgelegt – die Höhen der Referenzgeräte wurden soweit möglich entsprechend angepasst.

- Entfernung zwischen den Testgeräten: 1,2 m
- Entfernung Testgerät 1 – Referenzgerät 1 1,8 m
- Entfernung Testgerät 1 – Referenzgerät 2 0,8 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 1 0,9 m
- Entfernung Testgerät 2 – Referenzgerät 2 1,4 m

Die nachfolgende **Tabelle 5** enthält daher neben einem Überblick über die wichtigsten meteorologischen Kenngrößen, die während der Messungen an den 4 Feldteststandorten ermittelt wurden, auch einen Überblick über die Schwebstaubverhältnisse während des Prüfzeitraumes. Alle Einzelwerte sind in den Anhängen 5 und 6 zu finden.

**Tabelle 5:** Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten, als Tagesmittelwerte

	Köln, Frankfurter Str.	Köln, Parkplatzgelände	Furulund, Sommer	Furulund, Winter
Anzahl Wertepaare Referenz	53	41	40	41
<b>Anteil PM<sub>2,5</sub> an PM<sub>10</sub> [%]</b>				
Bereich	45,0 – 93,0	35,1 – 97,3	8,0 – 96,7	nicht ermittelt
Mittelwert	68,7	65,0	49,9	
<b>Lufttemperatur [°C]</b>				
Bereich	-4,0 – 15,3	6,9 – 24,4	9,1 – 22,2	-3,6 – 7,3
Mittelwert	7,2	16,2	16,5	2,2
<b>Luftdruck [hPa]</b>				
Bereich	988 – 1035	991 – 1020	996 – 1020	977 – 1029
Mittelwert	1010	1009	1008	1011
<b>Rel. Luftfeuchte [%]</b>				
Bereich	57,5 – 88,5	34,9 – 80,5	56,4 – 89,5	79,4 – 100
Mittelwert	73,2	59,1	75,2	93,4
<b>Windgeschwindigkeit [m/s]</b>				
Bereich	0,0 – 6,5	0,1 – 4,4	0,0 – 6,5	0,3 – 3,9
Mittelwert	2,2	1,3	2,4	1,3
<b>Niederschlagsmenge [mm/d]</b>				
Bereich	0,0 – 19,2	0,0 – 17,4	0,0 – 57,2	nicht ermittelt
Mittelwert	2,7	1,6	4,0	

### Dauer der Probenahmen

DIN EN 14907 [3] legte die Probenahmedauer auf 24 h ± 1 h fest.

Während im Feldtest immer eine Probenahmezeit von 24 h für alle Geräte eingestellt wurde (von 8:00 – 8:00 (Köln), 14:00 – 14:00 (Furulund)), wurde die Probenahmezeit bei einigen Untersuchungen im Labor reduziert, um eine größere Anzahl an Messwerten zu erhalten.

## Handhabung der Daten

Im Rahmen der Erstprüfung wurden die ermittelten Messwertpaare der Referenz sowie der Prüflinge aus den Felduntersuchungen wurden vor den jeweiligen Auswertungen für jeden Standort einem statistischen Ausreißertest nach Grubbs (99 %) unterzogen, um Auswirkungen von offensichtlich unplausiblen Daten auf das Messergebnis vorzubeugen. Als signifikante Ausreißer erkannte Messwertpaare dürfen dabei solange aus dem Wertepool entfernt, bis der kritische Wert der Prüfgröße unterschritten wurde. Es durften insgesamt für jeden Standort maximal 5 % der Messwertpaare verworfen.

**Tabelle 7** zeigt eine Übersicht über die im Rahmen der Erstprüfung für jeden Einzelstandort als signifikante Ausreißer erkannte und entfernte Anzahl an Messwertpaaren.

**Tabelle 6:** Ergebnisse Grubbs-Ausreißertest – Prüflinge & Referenz PM<sub>2,5</sub> gemäß [9]

Standort	n	SM200			n	Referenz PM <sub>2,5</sub>		
		Datum	1236	1237		Datum	G1	G2
Köln, Frankfurter Str.	94	10.01.2007	1,6	7,4	50	keine Ausreisser		
		11.01.2007	0,7	8,6				
		17.02.2007	16,6	22,3				
		19.02.2007	36,6	42				
Köln, Parkplatzgelände	69	keine Ausreisser			42	15.05.2007	7,3	9,6
Furulund (Sommer)	58	10.07.2007	0,7	6,9	42	02.08.2007	7,1	beschädigt
		21.07.2007	13,9	7,4		10.08.2007	15,2	11,6
Furulund (Winter)	76	keine Ausreisser			42	13.01.2009	beschädigt	9,4

Die Version des Leitfadens [4] vom Januar 2010 sowie die Richtlinie EN 16450 [8] verlangen nun, dass nur noch 2,5 % der Datenpaare als Ausreißer ermittelt und entfernt werden dürfen. Zudem werden für die Prüflinge prinzipiell keine Messwerte verworfen, es sei denn, es liegen begründbare technische Ursachen für unplausible Werte vor.

Aus diesem Grunde wurden die vormals aus Ausreißer eliminierten Datenpaare für die Prüflinge für die Neuauswertung nun doch berücksichtigt (insgesamt 6 zusätzliche Messwertpaare). Bei den Referenzmessungen gab es keinen Handlungsbedarf, da auch schon 2009 maximal 1 valides Referenzmesswertpaar pro Standort verworfen wurde und damit weniger als 2,5 % der Datenpaare als Ausreißer entfernt wurden..

**Tabelle 7** zeigt eine aktualisierte Übersicht über die für jeden Einzelstandort als signifikante Ausreißer erkannte und entfernte Anzahl an Messwertpaaren gemäß den Anforderungen des Leitfadens [4] vom Januar 2010 sowie die Richtlinie EN 16450 [8].

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Seite 41 von 136

**Tabelle 7:** Ergebnisse Grubbs-Ausreißertest – Referenz PM2,5

Standort	n	Referenz PM2,5		
		Datum	G1	G2
Köln, Frankfurter Str.	50	keine Ausreisser		
Köln, Parkplatzgelände	42	15.05.2007	7,3	9,6
Furulund (Sommer)	42	02.08.2007 10.08.2007	7,1 15,2	beschädigt 11,6
Furulund (Winter)	42	13.01.2009	beschädigt	9,4

### Filterhandling - Massenbestimmung

Folgende Filter wurden in der Eignungsprüfung verwendet:

**Tabelle 8:** Eingesetzte Filtermaterialien

Messgerät	Filtermaterial, Typ	Hersteller
OP SIS SM 200	Teflon, Ø 47mm	Pall Gelman
Referenzgerät LVS3	Quarzfaser, Ø 50mm	Whatman

Die unbeaufschlagten Filter für die Referenzgeräte wurden staubgeschützt in einer Plexiglaskammer im Wägezimmer mindestens 48 h bei einer Temperatur von  $20 \pm 1$  °C und einer konstanten relativen Luftfeuchte konditioniert. Die anschließende Verwiegung erfolgte auf einer Waage der Firma Sartorius, Typ MC 210P, mit einer Auflösung von 10 µg absolut. Die Filter für das Referenzgerät wurden in Plexiglasdosen von und zur Messstelle transportiert und erst unmittelbar vor der jeweiligen Probenahme in die Filterhalter eingelegt. Nach beendeter Probenahme wurden die beaufschlagten Filter in Plexiglasdosen gelegt und bis zum Rücktransport ins Labor zur Wägung (alle 1-2 Wochen) in einer Kühlbox aufbewahrt.

Mit den beaufschlagten Filtern wurde im Wägezimmer äquivalent verfahren.

Die Behandlung der Filter entsprach somit den Anforderungen der DIN EN 14907.

Für den Feldteststandort Furulund wurden die unbeaufschlagten wie auch die beaufschlagten Filter zwischen dem Feldteststandort in Schweden und dem Labor in Deutschland in einer isolierten Box per Kurier verschickt.

## 5. Referenzmessverfahren

Im Rahmen des Feldtestes wurden gemäß der DIN EN 14907 folgende Geräte eingesetzt:

als Referenzgerät PM<sub>2,5</sub>: Kleinfiltergerät Low Volume Sampler LVS3

Hersteller: Ingenieurbüro Sven Leckel, Leberstraße 63, Berlin,  
Deutschland

Herstelldatum: 2000

PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf

Während der Prüfung wurden parallel jeweils zwei Referenzgeräte für PM<sub>2,5</sub> mit einem geregelten Durchsatz von 2,3 m<sup>3</sup>/h betrieben. Die Volumenstromregelgenauigkeit beträgt unter realen Einsatzbedingungen < 1 % des Nennvolumenstroms.

Die Probenahmeluft beim Kleinfiltergerät LVS3 wird von der Drehschieber-Vakuumpumpe über den Probenahmekopf gesaugt, der Probeluft-Volumenstrom wird hierbei zwischen Filter und Vakuumpumpe mit einer Messblende gemessen. Die angesaugte Luft strömt von der Pumpe aus über einen Abscheider für den Abrieb der Drehschieber zum Luftauslass.

Nach beendeter Probenahme zeigt die Messelektronik das angesaugte Probeluftvolumen in Norm- oder Betriebs-m<sup>3</sup> an.

Die PM<sub>2,5</sub> Konzentration wurde ermittelt, in dem die im Labor gravimetrisch bestimmte Schwebstaubmenge auf dem jeweiligen Filter durch das zugehörige durchgesetzte Probeluftvolumen in Betriebs-m<sup>3</sup> dividiert wurde.



## **6. Prüfergebnisse**

### **6.1 1 Messbereiche**

*Die Messbereiche müssen die folgenden Anforderungen einhalten:*

*0 µg/m<sup>3</sup> bis 1000 µg/m<sup>3</sup> als 24-h-Mittelwert*

*0 µg/m<sup>3</sup> bis 10000 µg/m<sup>3</sup> als 1-h-Mittelwert, falls zutreffend*

### **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Zur Prüfung dieser Mindestanforderung sind keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

### **6.3 Durchführung der Prüfung**

Es wurde geprüft, ob der Messbereichsendwert der Messeinrichtung die entsprechenden Anforderungen einhält.

### **6.4 Auswertung**

Der Messbereichsendwert der Massenbestimmung durch Betastrahlenabsorption beträgt theoretisch ca. 60 mg (Kalibrierung der Betamessung beim Hersteller). Dies würde bei einer 24-stündigen Probenahme einer Staubkonzentration von ca. 1.100 µg/m<sup>3</sup> entsprechen. Da die PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen in Umgebungsluft im Untersuchungsraum deutlich niedriger als 1.000 µg/m<sup>3</sup> liegen, wurde für das analoge Ausgangssignal der Testgeräte der Messbereich 0 bis 200 µg/m<sup>3</sup> eingestellt. Andere Einstellungen sind möglich.

Messbereich: 0 – 200 µg/m<sup>3</sup> und 0 – 1.000 µg/m<sup>3</sup>

### **6.5 Bewertung**

Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0 -200 µg/m<sup>3</sup> bzw. 0 – 1.000 µg/m<sup>3</sup> eingestellt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

### **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.1 2 Negative Signale**

*Negative Signale dürfen nicht unterdrückt werden.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Zur Prüfung dieser Mindestanforderung sind keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Es wurde im Labor- wie auch Feldtest geprüft, ob die Messeinrichtung auch negative Messwerte ausgeben kann.

## **6.4 Auswertung**

Die Messeinrichtung kann sowohl über Display wie auch über die Datenausgänge negative Werte ausgeben.

## **6.5 Bewertung**

Negative Messsignale werden von der Messeinrichtung direkt angezeigt und über die entsprechenden Messsignalausgänge korrekt ausgegeben.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.



### 6.1 3 Nullniveau und Nachweisgrenze (7.4.3)

*Nullniveau:  $\leq 2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$*

*Nachweisgrenze:  $\leq 2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$*

### 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Absolutfilter zur Nullpunktsüberprüfung

### 6.3 Durchführung der Prüfung

*Die Nullkonzentration und die Nachweisgrenze der AMS sind aus 15 24-h-Mittelwerten zu bestimmen, die bei der Probenahme von Nullluft erhalten werden (gleitende oder überlappende Mittelwerte sind nicht erlaubt). Der Mittelwert dieser 15 24-h-Mittelwerte wird als das Nullniveau verwendet. Die Nachweisgrenze wird als das 3,3-fache der Standardabweichung der 15 24-h-Mittelwerte berechnet.*

Die Bestimmung des Nullniveaus und der Nachweisgrenze erfolgten bei den Testgeräten SN 1712 und SN 1724 durch den Betrieb der Messeinrichtung mit jeweils an beiden Messgeräteeinlässen installiertem Absolut-Filtern. Die Aufgabe von schwebstaubfreier Probenluft erfolgte über 15 Tage für die Dauer von jeweils 24 h.

### 6.4 Auswertung

Die Nachweisgrenze X wird aus der Standardabweichung  $s_{x_0}$  der Messwerte bei Ansaugung von schwebstaubfreier Probenluft durch beide Testgeräte ermittelt. Sie entspricht der mit Faktor 3,3 multiplizierten Standardabweichung des Mittelwertes  $\bar{x}_0$  der Messwerte  $x_{0i}$  für das jeweilige Testgerät:

$$X = 3,3 \cdot s_{x_0} \quad \text{mit} \cdot s_{x_0} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1,n} (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}$$

### 6.5 Bewertung

Das Nullniveau ermittelte sich aus den Untersuchungen für beide Geräte zu maximal  $1,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und die Nachweisgrenze zu maximal  $1,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 9: Nullniveau und Nachweisgrenze PM<sub>2,5</sub>

		Gerät SN 1712	Gerät SN 1724
Anzahl der Werte n		15	15
Mittelwert der Leerwerte (Nullniveau) $\bar{x}_0$	µg/m <sup>3</sup>	-0,12	1,37
Standardabweichung der Werte $s_{x_0}$	µg/m <sup>3</sup>	0,33	0,39
Nachweisgrenze x	µg/m <sup>3</sup>	<b>1,10</b>	<b>1,28</b>

Die Einzelmesswerte zur Bestimmung der Nachweisgrenze können der Anlage 1 im Anhang entnommen werden.



## **6.1 4 Genauigkeit des Volumenstroms (7.4.4)**

*Die relative Differenz zwischen dem Mittelwert der Messergebnisse für den Volumenstrom bei zwei Temperaturen der umgebenden Luft muss  $\leq 2,0\%$  betragen.*

*Die ermittelte relative Differenz zwischen dem Mittelwert der Messergebnisse für den Volumenstrom bei zwei Temperaturen der umgebenden Luft muss die folgenden Leistungskriterien erfüllen:*

*$\leq 2,0\%$*

- in der Regel für 5 °C und 40 °C bei Aufstellung in temperaturkontrollierter Umgebung*
- bei der durch den Hersteller festgelegten Mindest- und Höchsttemperatur, sofern diese von den in der Regel anzuwendenden Temperaturen abweichen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Klimakammer für den Temperaturbereich +5 bis +40 °C ein Referenzdurchflussmesser gemäß Punkt 4.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Messeinrichtungen vom Typ OP SIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub> arbeiten mit einer Durchflussrate von 38,33 l/min (2,3 m<sup>3</sup>/h).

Mit Hilfe eines Referenzdurchflussmessers wurde bei je +5°C und +40 °C für beide Messeinrichtungen der Volumenstrom durch 10 Messungen über 1 Stunde mit dem vom Hersteller festgelegten Betriebsvolumenstrom durchgeführt. Die Messungen waren gleichmäßig über den Messzeitraum verteilt.

## **6.4 Auswertung**

Aus den ermittelten 10 Messwerten pro Temperaturstufe wurden die Mittelwerte gebildet und die Abweichungen zum vom Hersteller festgelegten Betriebsvolumenstrom ermittelt.

## **6.5 Bewertung**

Die ermittelte relative Differenz zwischen dem Mittelwert der Messergebnisse für den Volumenstrom bei +5°C und +40°C bei maximal 1,68 %.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Ergebnisse der Durchflussmessungen bei den zulässigen Umgebungstemperaturen sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Genauigkeit des Volumenstroms bei +5 °C und +40 °C

		Gerät SN 1712	Gerät SN 1724
Sollwert Durchflussrate	l/min	38,333	38,333
Mittelwert bei 5°C	l/min	38,041	38,563
Abw. vom Sollwert	%	-0,76	0,60
Mittelwert bei 40°C	l/min	38,838	38,978
Abw. vom Sollwert	%	1,32	1,68

Die Einzelmesswerte zur Bestimmung der Genauigkeit des Volumenstroms können der Anlage 2 im Anhang entnommen werden.



## **6.1 5 Konstanz des Probenvolumenstroms (7.4.5)**

*Der Momentanwert des Volumenstroms und der über den Probenahmezeitraum gemittelte Volumenstrom sollten die folgenden Leistungsanforderungen erfüllen:*  
*≤ 2,0 % des Sollwertes des Volumenstroms (gemittelter Probendurchfluss)*  
*≤ 5 % des Sollwertes des Volumenstroms (Momentanwert des Probendurchflusses)*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Für die Prüfung wurden zusätzlich ein Durchflussmesser gemäß Punkt 4 bereitgestellt.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Der Probenahmestrom wurde vor Beginn der Prüfung werkseitig kalibriert und dann vor jedem Feldteststandort mit Hilfe eines Balgengaszählers auf Korrektheit überprüft. Um die Konstanz des Probenahmestroms zu ermitteln, wurde ein Durchflussmesser an die Messeinrichtungen angeschlossen und über einen Zeitraum von jeweils 5 Tagen 1-Minuten-Werte für den Durchfluss aufgezeichnet und ausgewertet.

## **6.4 Auswertung**

Aus den ermittelten Messwerten für den Durchfluss wurden Mittelwert, Standardabweichung sowie Maximal- und Minimalwert bestimmt. Kurzzeitige Stillstandszeiten der Pumpe (Filterwechsel) wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

## 6.5 Bewertung

Die Ergebnisse der vor jedem Feldteststandort durchgeführten Überprüfung der Durchflussrate sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Ergebnisse Kontrolle Durchflussrate

Durchflussüberprüfung vor	SN 1236		SN 1237	
	[l/min]	Abw. vom Soll [%]	[l/min]	Abw. vom Soll [%]
Köln, Frankfurter Str.	38,5	0,4	38,7	1,0
Köln, Parkplatzgelände	39,0	1,7	38,1	-0,6
Furulund (Sommer)	36,5	-4,8*	36,5	-4,8*
Furulund (Winter)	38,7	1,0	38,8	1,2

\* Nachkalibrierung notwendig

Die grafischen Darstellungen der Konstanz des Durchflusses an den 5 Messtagen zeigen, dass alle während der Probenahme ermittelten Messwerte weniger als  $\pm 5$  % vom jeweiligen Sollwert abweichen. Die Abweichung der 24h-Mittelwerte für den Gesamtdurchfluss von 38,33 l/min sind ebenfalls kleiner als die geforderten  $\pm 2,0$  % vom Sollwert.

Alle ermittelten Tagesmittelwerte weichen weniger als  $\pm 2,0$  %, alle Momentanwerte weniger als  $\pm 5$  % vom Sollwert ab.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

In Tabelle 12 und Tabelle 13 sind die ermittelten Kenngrößen für den Durchfluss aufgeführt. Abbildung 19 bis Abbildung 20 zeigen eine grafische Darstellung der Durchflussmessungen an den beiden Testgeräten SN 1236 und SN 1237.

Tabelle 12: Kenngrößen für die Gesamtdurchflussmessung (24h-Mittel), SN 1236

Kenngröße	Einheit	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5
Mittelwert	l/min	38,43	38,67	38,44	38,20	38,11
Abweichung MW	% vom Sollwert	0,24	0,89	0,29	-0,36	-0,58
Standardabweichung	l/min	0,37	0,63	0,58	0,72	0,70
Maximum	l/min	38,88	39,65	39,22	39,12	38,88
Minimum	l/min	36,70	37,67	37,33	36,81	36,81

Tabelle 13: Kenngrößen für die Gesamtdurchflussmessung (24h-Mittel), SN 1237

Kenngröße	Einheit	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5
Mittelwert	l/min	37,98	38,16	38,12	38,24	38,69
Abweichung MW	% vom Sollwert	-0,92	-0,46	-0,56	-0,24	0,93
Standardabweichung	l/min	0,19	0,25	0,17	0,18	0,40
Maximum	l/min	38,28	38,57	38,40	38,57	39,61
Minimum	l/min	37,55	37,63	37,77	37,73	37,98

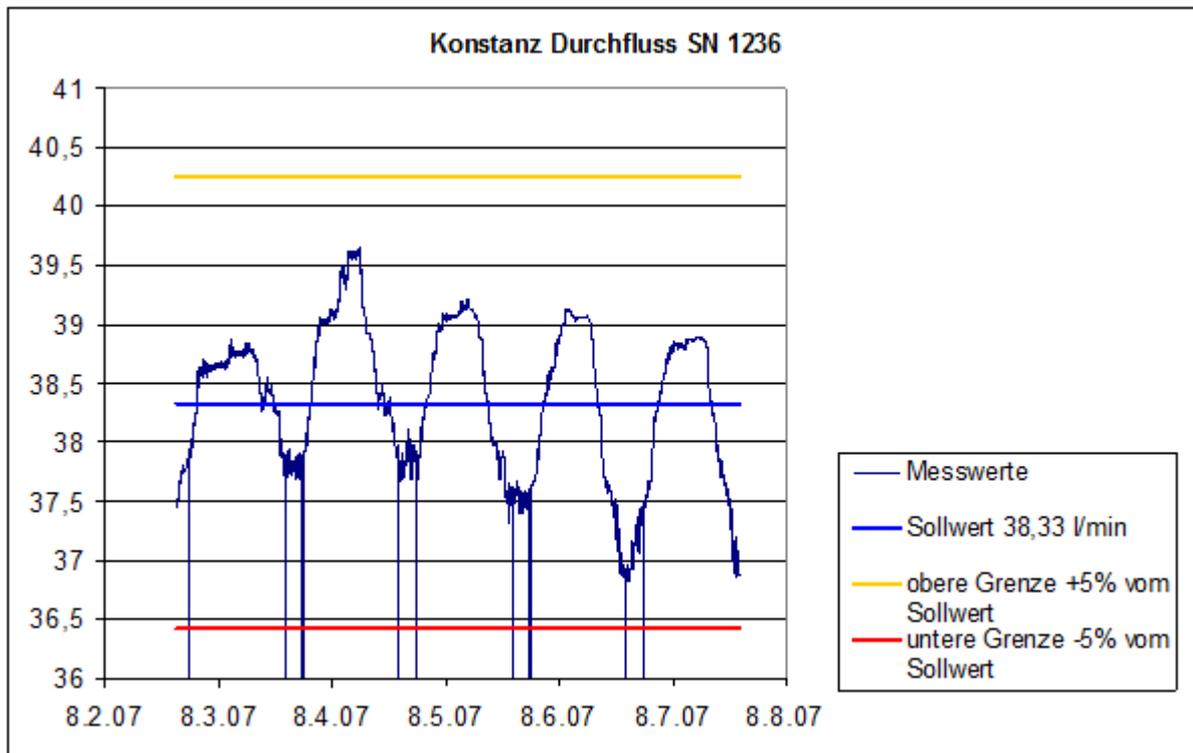


Abbildung 19: Durchfluss am Testgerät SN 1236 zwischen 03.08.2007 und 08.08.2007

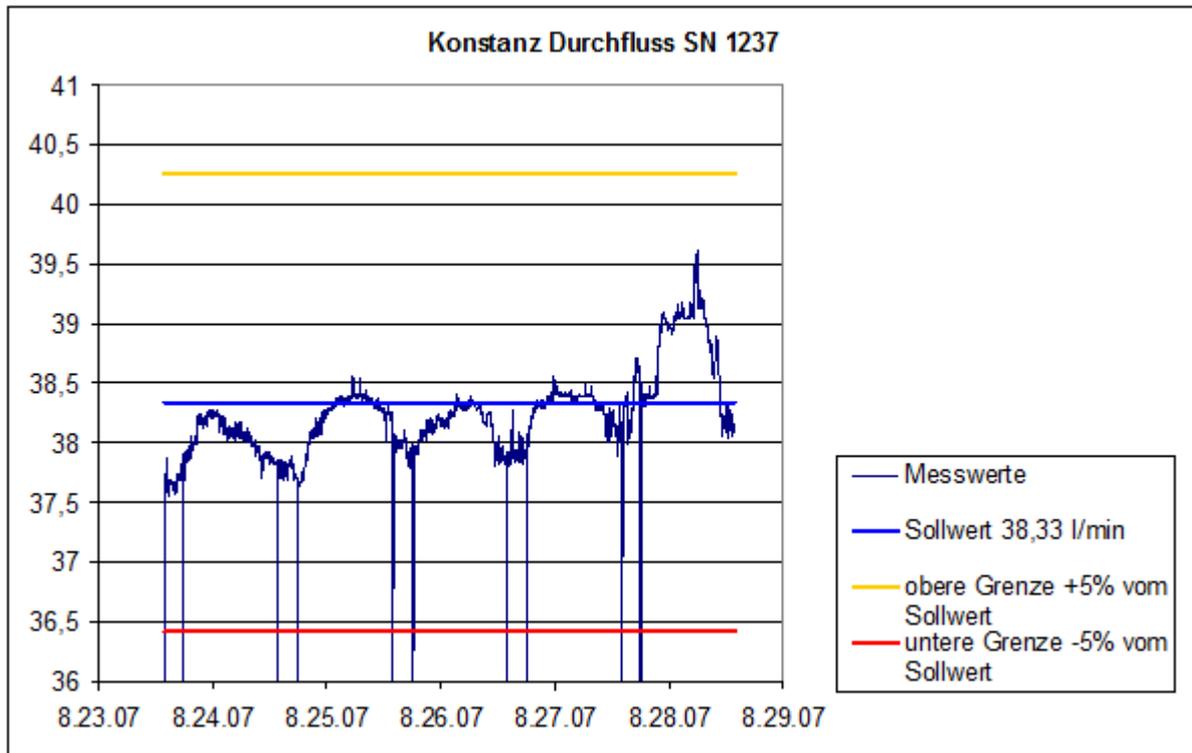


Abbildung 20: Durchfluss am Testgerät SN 1237 zwischen 23.08.2007 und 28.08.2007

**Hinweis:**

Um die notwendigen Filterbewegungen im Gerät zu ermöglichen, wird die Pumpe 2 mal pro Zyklus kurzzeitig ausgeschaltet.

## 6.1 6 Dichtigkeit des Probenahmesystems (7.4.6)

*Die Undichtigkeit muss  $\leq 2,0$  % des Probenvolumenstroms betragen oder die Spezifikationen des Herstellers der AMS unter Einhaltung der geforderten Datenqualitätsziele (DQO) erfüllen.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Adapter zur Bestimmung der Leckrate

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Im Rahmen der ursprünglichen Eignungsprüfung [9] wurde zur Bestimmung der Leckrate auf eine spezielle Testprozedur nach Anweisung des Geräteherstellers zurückgegriffen. Bei den Prüflingen wurde damals eine Überprüfung der Dichtigkeit durch manuelle Anwahl des LeakTest-Ventils bei laufender Pumpe erfolgen – der Druckverlust nach Ausschalten der Pumpe kann anhand des Anlogsensors ermittelt werden. Mit Hilfe des geschätzten Gesamtvolumens des Systems konnte dann eine Leckrate bestimmt werden. Da diese Prozedur allerdings – entgegen der Anforderung der Richtlinie DIN EN 16450 - nicht das Probenahmesystem (Ansaugstange) beinhaltet, musste die Prüfung mit einem modifizierten Verfahren erneut durchgeführt werden, welches eine Bestimmung der Dichtigkeit inkl. Probenahmesystem erlaubt.

Die aktuelle Durchflussrate (Parameter fIV, zu finden im Menüpunkt „Anlogsensoren“) wird zunächst im normalen Zustand ermittelt und liegt nominal bei 2,3 m<sup>3</sup>/h. Nach Vorgaben des Herstellers wird dann ein Adapter auf den oberen Teil eines Probenahmekopfes gesetzt und dann z.B. mit einem Finger oder einem Stopfen manuell verschlossen. Die vom Gerät gemessene Durchflussrate fIV muss dann auf einen Wert von  $\leq 2,0$  % des Probenvolumenstroms (hier:  $\leq 0,046$  m<sup>3</sup>/h) absinken.



Abbildung 21: Adapter zur Bestimmung der Leckrate

## 6.4 Auswertung

Die Überprüfung der Dichtheit des Probenahmesystems erfolgte im Rahmen der zusätzlichen Untersuchungen im Labor (3 Durchgänge) und führte zu folgenden Ergebnissen:

Tabelle 14: Ergebnisse der Dichtigkeitsprüfungen im Labortest

Datum	SN 1712	SN 1724	max. zulässige Leckrate in m <sup>3</sup> /h
	Leckrate in m <sup>3</sup> /h	Leckrate in m <sup>3</sup> /h	
09.09.2021	0,015	0,022	≤ 0,046
09.09.2021	0,016	0,020	≤ 0,046
09.09.2021	0,017	0,021	≤ 0,046

Die maximal ermittelte Leckrate von 0,022 m<sup>3</sup>/h ist kleiner als 2,0 % des Probenvolumenstroms von 2,3 m<sup>3</sup>/h.

## 6.5 Bewertung

Die maximal ermittelte Leckrate von 0,022 m<sup>3</sup>/h ist kleiner als 2,0 % des Probenvolumenstroms von 2,3 m<sup>3</sup>/h.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.1 7 Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur (7.4.7.)

Die ermittelten Differenzen müssen die folgenden Leistungskriterien erfüllen:

Nullpunkt:  $\leq 2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- in der Regel von 5 °C bis 40 °C bei Aufstellung in temperaturkontrollierter Umgebung
- bei der durch den Hersteller festgelegten Mindest- und Höchsttemperatur, sofern diese von den in der Regel anzuwendenden Temperaturen abweichen.

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Klimakammer für den Temperaturbereich +5 bis +40 °C, Leerfilter zur Nullpunktsüberprüfung.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Abhängigkeit des Anzeigewertes am Nullpunkt von der Umgebungstemperatur wurde bei den folgenden Temperaturen (innerhalb der Herstellerangaben) bestimmt:

- a) bei einer Nenntemperatur  $T_{S,n} = 20 \text{ °C}$ ;
- b) bei einer Mindesttemperatur  $T_{S,1} = 5 \text{ °C}$
- c) bei einer Höchsttemperatur  $T_{S,2} = 40 \text{ °C}$ .

Die Bestimmung der Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur erfolgte bei den Testgeräten SN 1236 und SN 1237 durch Auswertung der geräteinternen Prüfprozedur zur Nullpunktsüberprüfung der Messeinrichtung bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen in der Klimakammer. Hierzu wurden bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen auf einem unbeaufschlagten Filter im jeweiligen Abstand von ca. 2 h wiederholt radiometrische Messungen durchgeführt. Gemäß den Beziehungen aus Kapitel 3.1 kann aus dem Betastrahlenfluss am Anfang (hier pro Temperaturschritt: Messung 1,4 und 7 mit Leerfilter) und am Ende (hier: Messung 3 zu Messung 1 mit Leerfilter, 6 zu 4 und 9 zu 7), im Speicher jeweils abgelegt unter der Position „Blank Counts“ [cpm], bei bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekanntem  $K(x)$  (Herstellerangabe) die abgeschiedene Masse auf dem Filter errechnet werden, die im Idealfall bei 0 mg liegen soll.

Die Prüfungen wurden mit der Temperaturreihenfolge  $T_{S,n} - T_{S,1} - T_{S,n} - T_{S,2} - T_{S,n}$  durchgeführt.

Nach einer jeweiligen Äquilibrierzeit von ca. 6 h pro Temperaturstufe erfolgte die Aufnahme der Leermessungen über einen Zeitraum von ca. 18 h. Die relative Feuchte wurde konstant gehalten.

## 6.4 Auswertung

Es wurden die Messwerte für die Konzentration aus den ermittelten Zählraten der Leermessungen errechnet.

Um eine mögliche Drift durch andere Faktoren als die Temperatur auszuschließen, wurden die Messwerte bei  $T_{S,n}$  gemittelt.

Die Differenzen zwischen den Anzeigewerten bei den beiden Extremwerten der Temperatur und  $T_{S,n}$  wurden bestimmt.

## 6.5 Bewertung

Der geprüfte Umgebungstemperaturbereich am Aufstellungsort der Messeinrichtung beträgt +5 °C bis +40 °C. Bei Betrachtung der vom Gerät ausgegebenen Werte konnte ein maximaler Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Nullpunkt von -0,4 µg/m<sup>3</sup> festgestellt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 15: Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur, Abweichung in µg/m<sup>3</sup>, Mittelwert aus drei Messungen, SN 1236 & SN 1237

Temperatur °C	SN 1236		SN 1237	
	Messwert	Abweichung zu mittlerem Messwert bei 20°C	Messwert	Abweichung zu mittlerem Messwert bei 20°C
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
20	0,1	0,0	0,3	0,3
5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4
20	0,2	0,1	-0,2	-0,2
40	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4
20	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1
Mittelwert bei 20°C	0,1	-	0,0	-

Die jeweiligen Ergebnisse der Einzelmessungen können der Anlage 3 im Anhang entnommen werden.

## 6.1 8 Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Messgerätes (Span) von der Umgebungstemperatur (7.4.7)

*Die ermittelten Differenzen müssen die folgenden Leistungskriterien erfüllen:*

*Empfindlichkeit des Messgerätes (Span):*

*≤ 5 % vom Wert bei der Nennprüftemperatur*

- *in der Regel von 5 °C bis 40 °C bei Aufstellung in temperaturkontrollierter Umgebung*
- *bei der durch den Hersteller festgelegten Mindest- und Höchsttemperatur, sofern diese von den in der Regel anzuwendenden Temperaturen abweichen.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Klimakammer für den Temperaturbereich +5°C bis +40 °C, interne Referenzfolie zur Referenzpunktsüberprüfung.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Messgerätes (Span) von der Umgebungstemperatur wurde bei den folgenden Temperaturen (innerhalb der Herstellerangaben) bestimmt:

- a) bei einer Nenntemperatur  $T_{S,n} = 20 \text{ °C}$ ;
- b) bei einer Mindesttemperatur  $T_{S,1} = 5 \text{ °C}$ ;
- c) bei einer Höchsttemperatur  $T_{S,2} = 40 \text{ °C}$ .

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Messgerätes (Span) von der Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Messwerte von der Umgebungstemperatur wurden die Messeinrichtungen in der Klimakammer betrieben. Zur externen Überprüfung der Empfindlichkeit der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller einen Referenzfoliensatz zur Verfügung. Die Software zur Überprüfung der Empfindlichkeit ist dabei in einem verborgenen Servicemenü direkt implementiert. Diese Prozedur wird vom Gerätehersteller zur Überprüfung der Linearität der radiometrischen Messung eingesetzt.

Die Prüfungen wurden mit der Temperaturreihenfolge  $T_{S,n} - T_{S,1} - T_{S,n} - T_{S,2} - T_{S,n}$  durchgeführt.

Nach einer Äquilibrierzeit von mindestens 6 h pro Temperaturstufe erfolgte die Aufnahme der Messwerte (3 Messwerte pro Temperaturstufe).

## 6.4 Auswertung

Der Referenzfoliensatz besteht aus insgesamt 4 verschiedenen Folien mit nominalen Massen im Bereich von ca. 35 mg bis ca. 92 mg (siehe auch Erstprüfung [9]). Im Rahmen der vorliegenden Neuauswertung gemäß [8], erfolgt nur eine Betrachtung der kleinsten Massstufe (ca. 35 mg), da diese den im normalen Messbetrieb üblicherweise ermittelten Massen am nächsten kommt.

Es wurden die Messwerte für die interne Referenzfolie bei den verschiedenen Temperaturstufen ermittelt und ausgewertet.

Um eine mögliche Drift durch andere Faktoren als die Temperatur auszuschließen, wurden die Messwerte bei  $T_{S,n}$  gemittelt.

Die Differenzen zwischen den Anzeigewerten bei den beiden Extremwerten der Temperatur und  $T_{S,n}$  wurden bestimmt.

## 6.5 Bewertung

Der geprüfte Umgebungstemperaturbereich am Aufstellungsort der Messeinrichtung beträgt +5°C bis +40°C. Am Referenzpunkt konnten keine Abweichungen > -0,9 % ermittelt werden.  
Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 16: Abhängigkeit der Empfindlichkeit (Referenzfolie) von der Umgebungstemperatur, Abweichung in %, Mittelwert aus drei Messungen, SN 1236 & SN 1237

Temperatur	SN 1236		SN 1237	
	Messwert	Abweichung zu mittlerem Messwert bei 20°C	Messwert	Abweichung zu mittlerem Messwert bei 20°C
°C	[mg]	%	[mg]	%
20	35,59	-0,1	35,85	0,1
5	35,63	0,1	35,85	0,1
20	35,63	0,1	35,83	0,0
40	35,28	-0,9	35,52	-0,9
20	35,61	0,0	35,80	-0,1
Mittelwert bei 20°C	35,61	-	35,83	-

Die jeweiligen Ergebnisse der 3 Einzelmessungen können der Anlage 3 im Anhang entnommen werden.

## **6.1 9 Abhängigkeit der Messspanne von der Netzspannung (7.4.8)**

*Die ermittelten Differenzen müssen die folgenden Leistungskriterien erfüllen:  
Empfindlichkeit des Messgerätes (Span):  
≤ 5 % vom Wert bei der Nennprüfspannung*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Trennstelltrafo, Interne Referenzöffnungen zur Referenzpunktsüberprüfung.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Messspanne von der Netzspannung wurde die Netzspannung ausgehend von 230 V auf 195 V reduziert und anschließend über die Zwischenstufe 230 V auf 253 V erhöht.

Für die Referenzpunktsuntersuchungen wurde bei den Testgeräten SN 1712 und SN 1724 zur Überprüfung der Stabilität der Empfindlichkeit das Verhältnis der ermittelten Zählraten für die beiden internen Referenzöffnungen überprüft. Dieses Verhältnis muss im Idealfall über die Zeit konstant bleiben.

## **6.4 Auswertung**

Am Referenzpunkt wird die prozentuale Änderung des ermittelten Messwertes für jeden Prüfschritt bezogen auf den Ausgangspunkt bei 230 V betrachtet.

## **6.5 Bewertung**

Durch Netzspannungsänderungen konnten keine Abweichungen > -0,1 %, bezogen auf den Startwert von 230 V, festgestellt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 17 zeigt eine zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse.

Tabelle 17: Abhängigkeit des Messwertes von der Netzspannung, Abweichung in %, SN 1712 & SN 1724

Netzspannung	SN 1712		SN 1724	
	Messwert	Abweichung zu mittlerem Messwert bei 230 V	Messwert	Abweichung zu mittlerem Messwert bei 230 V
V	[-]	%	[-]	%
230	1,3434	-0,1	1,3591	0,0
195	1,3464	0,1	1,3589	0,0
230	1,3447	0,0	1,3579	-0,1
253	1,3438	-0,1	1,3598	0,1
230	1,3459	0,1	1,3592	0,0

Die Einzelergebnisse können der Anlage 4 im Anhang entnommen werden.

## 6.1 10 Auswirkung des Ausfalls der Stromversorgung

*Geräteparameter müssen gegen Verlust gesichert sein.  
Bei Rückkehr der Netzspannung muss das Gerät automatisch die Funktion wieder aufnehmen.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde ein Stromausfall simuliert und geprüft, ob das Gerät unbeschädigt bleibt und nach Wiedereinschalten der Stromversorgung wieder messbereit ist.

## 6.4 Auswertung

Für den Fall eines Netzausfalles werden zwei verschiedene Möglichkeiten unterschieden:

- 1) Bei einem Stromausfall, startet das Messgerät wieder automatisch und führt die Probenahme mit dem gleichen Filter fort. Die Ausfallzeit wird bei der Auswertung des Filters berücksichtigt und im Speicher bei den Daten zur jeweiligen Messung abgelegt.
- 2) Ein Filterwechsel nach einem Stromausfall erfolgt nur dann, wenn ein turnusmäßiger Filterwechsel (Cycletime !) innerhalb der Ausfallzeit liegt. Anhand der gespeicherten Daten ist der Filterwechsel sicher zu erkennen.

## 6.5 Bewertung

Alle Geräteparameter sind gegen Verlust durch Pufferung geschützt. Die Messeinrichtung befindet sich bei Spannungswiederkehr in störungsfreier Betriebsbereitschaft und führt selbstständig den Messbetrieb fort.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.



## **6.1 11 Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration (7.4.9)**

*Die größte Differenz zwischen den Messwerten im Bereich von 40 % bis 90 % relativer Feuchte muss das folgende Leistungskriterium erfüllen:  
≤ 2,0 µg/m<sup>3</sup> in Nullluft, bei einer stufenweisen Änderung der relativen Feuchte von 40 % bis 90 % in beide Richtungen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Klimakammer mit Feuchteregelung für den Bereich 40 % bis 90 % relative Feuchte, Nullfilter zur Nullpunktsüberprüfung

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration in der Probenluft wurde durch Zufuhr von befeuchteter Nullluft im Bereich von 40 % bis 90 % relativer Feuchte ermittelt. Hierzu wurde die Messeinrichtung in der Klimakammer betrieben und die relative Feuchte der gesamten umgebende Atmosphäre gezielt variiert. Den Prüflingen SN 1712 und SN 1724 wurde für die Nullpunktuntersuchungen durch Montage von Null-Filtern an jeweils beiden Geräteinlässen schwebstaubfreie Probenluft zugeführt.

Die Messeinrichtungen wurden mit einer Zykluszeit von 8 h betrieben und die Messwerte für die Massenwerte der jeweils 8-stündigen Einzelmessungen ausgelesen und zur Konvertierung in Konzentrationswerte auf den Sollvolumenstrom für eine 24-stündige Probenahme bezogen. Nach der Stabilisierung der relativen Feuchte wurden über einen Zeitraum von 24 h die entsprechende über 24 h gemittelten Konzentrationsmesswerte der AMS bei 40 % relativer Feuchte ermittelt aufgezeichnet. Um eine korrekte Synchronisation der Zykluszeiten der Messeinrichtung und der Einstellung der relativen Feuchte zu erreichen, wurde die relative Feuchte dann über einen Zeitraum von 24 h auf 90 % erhöht. Die Zeit bis zur Einstellung des Gleichgewichts (Rampe) und der Messwert über einen Mittelungszeitraum von 24 h bei 90 % relativer Feuchte wurden aufgezeichnet. Anschließend wurde die Feuchte über einen Zeitraum von 24 h zurück auf 40 % verringert. Erneut wurden die Zeit bis zur Einstellung des Gleichgewichts (Rampe) und der Messwert über einen Mittelungszeitraum von 24 h bei 40 % relative Feuchte aufgezeichnet.

## **6.4 Auswertung**

Es wurden die Messwerte für die Nullkonzentrationen der jeweils 8-stündigen Einzelmessungen bei stabilen Feuchten ausgelesen, über 24 h gemittelt und ausgewertet. Betrachtet wird die größte Differenz in µg/m<sup>3</sup> zwischen den Werten im Bereich von 40 % bis 90 % relative Feuchte.

## **6.5 Bewertung**

Die maximal ermittelte Differenz zwischen den Messwerten bei 40 % und bei 90 % relativer Feuchte liegt bei -1,1 µg/m<sup>3</sup>.

Mindestanforderung erfüllt? ja

Tabelle 18: Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration, Abweichung in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , SN 1712 & SN 1724

rel. Luftfeuchte	SN 1712		SN 1724	
	Messwert	Abweichung zu Vorgängerwert	Messwert	Abweichung zu Vorgängerwert
%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
40	-0,1	-	1,0	-
90	-1,0	-0,9	-0,2	-1,1
40	-0,5	0,5	-0,1	0,0
Maximale Abweichung	-0,9		-1,1	

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 19: Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration, SN 1712 & SN 1724, Einzelwerte

rel. Luftfeuchte	SN 1712				SN 1724			
	Messwert 1	Messwert 2	Messwert 3	Mittelwert	Messwert 1	Messwert 2	Messwert 3	Mittelwert
%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$							
40	-0,1	-0,4	0,2	-0,1	1,3	1,2	0,4	1,0
40 → 90*	0,1	0,2	-0,3	0,0	-0,9	-0,7	-0,7	-0,8
90	-0,4	-1,3	-1,4	-1,0	0,0	-0,4	0,0	-0,2
90 → 40*	-1,1	-1,2	0,4	-0,7	0,2	0,4	0,8	0,5
40	0,2	0,0	-1,8	-0,5	0,5	-0,3	-0,6	-0,1

\* nur informativ



## **6.1 12 Nullpunktprüfungen (7.5.3)**

*Während der Prüfungen darf der absolute Messwert der AMS am Nullpunkt das folgende Kriterium nicht überschreiten:  
Absoluter Wert  $\leq 3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Nullfilter zur Nullpunktsüberprüfung

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Die Prüfung erfolgte im Rahmen des Feldtestes über einen Zeitraum von insgesamt mehr als 24 Monaten. Die Messeinrichtungen wurden innerhalb des Zeitraumes an insgesamt 318 Messtagen betrieben (siehe auch Anlage 5). Hierbei ist zu beachten, dass der Zeitraum Oktober 2007 bis Dezember 2008 aus organisatorischen Gründen für die Feldtestbetrachtung verworfen werden musste (siehe auch [9]) und hier aus diesem Grund auch keine expliziten Driftkontrollen durchgeführt wurden. Es war jedoch über den gesamten Zeitraum keine Re-Kalibrierung der Betamessung notwendig.

Die Bestimmung der Drift am Nullpunkt erfolgte bei den Testgeräten SN 1236 und SN 1237 durch Auswertung der geräteinternen Prüfprozedur zur Nullpunktsüberprüfung der Messeinrichtung. Hierzu wurden ca. einmal im Monat der Messbetrieb unterbrochen und auf einem unbeaufschlagten Filter im jeweiligen Abstand von ca. 2 h wiederholt radiometrische Messungen durchgeführt. Gemäß den Beziehungen aus Kapitel 3.1 kann aus dem Betastrahlungsfluss am Anfang (hier: Messung 1 mit Leerfilter) und am Ende (hier Mittelwert der folgenden Leermessungen), im Speicher jeweils abgelegt unter der Position „Blank Counts“ [cpm], bei bekannter beaufschlagter Oberfläche und bekanntem  $K(x)$  (Herstellerangabe) die abgelesene Masse auf dem Filter errechnet werden, die im Idealfall bei 0 mg liegen soll.

## **6.4 Auswertung**

Während der Prüfungen darf der absolute Messwert der AMS am Nullpunkt  $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nicht überschreiten.

## **6.5 Bewertung**

Der maximal ermittelte absolute Messwert am Nullpunkt lag für PM<sub>2,5</sub> bei  $-1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Tabelle 20 enthält die ermittelten Messwerte für den Nullpunkt in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Abbildung 22 bis Abbildung 23 zeigen eine grafische Darstellung der Nullpunktsdrift über den Untersuchungszeitraum.

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Seite 67 von 136

Tabelle 20: Nullpunktprüfungen SN 1236 & SN 1237, PM<sub>2,5</sub>, Leerfiltermessung

Datum	SN 1236		Datum	SN 1237	
	Messwert	Messwert (absolut) > 3,0 µg/m <sup>3</sup>		Messwert	Messwert (absolut) > 3,0 µg/m <sup>3</sup>
	µg/m <sup>3</sup>			µg/m <sup>3</sup>	
22.11.2006	0,0	ok	23.11.2006	0,2	ok
18.12.2006	0,3	ok	19.12.2006	0,5	ok
22.01.2007	0,6	ok	22.01.2007	-0,2	ok
29.03.2007	-0,1	ok	29.03.2007	0,5	ok
08.05.2007	1,2	ok	07.05.2007	-0,2	ok
12.06.2007	0,0	ok	18.06.2007	-0,1	ok
17.07.2007	-0,3	ok	16.07.2007	-0,5	ok
30.08.2007	-0,3	ok	29.08.2007	-0,6	ok
22.12.2008	-0,2	ok	22.12.2008	-0,9	ok
12.03.2009	-1,1	ok	12.03.2009	-1,5	ok

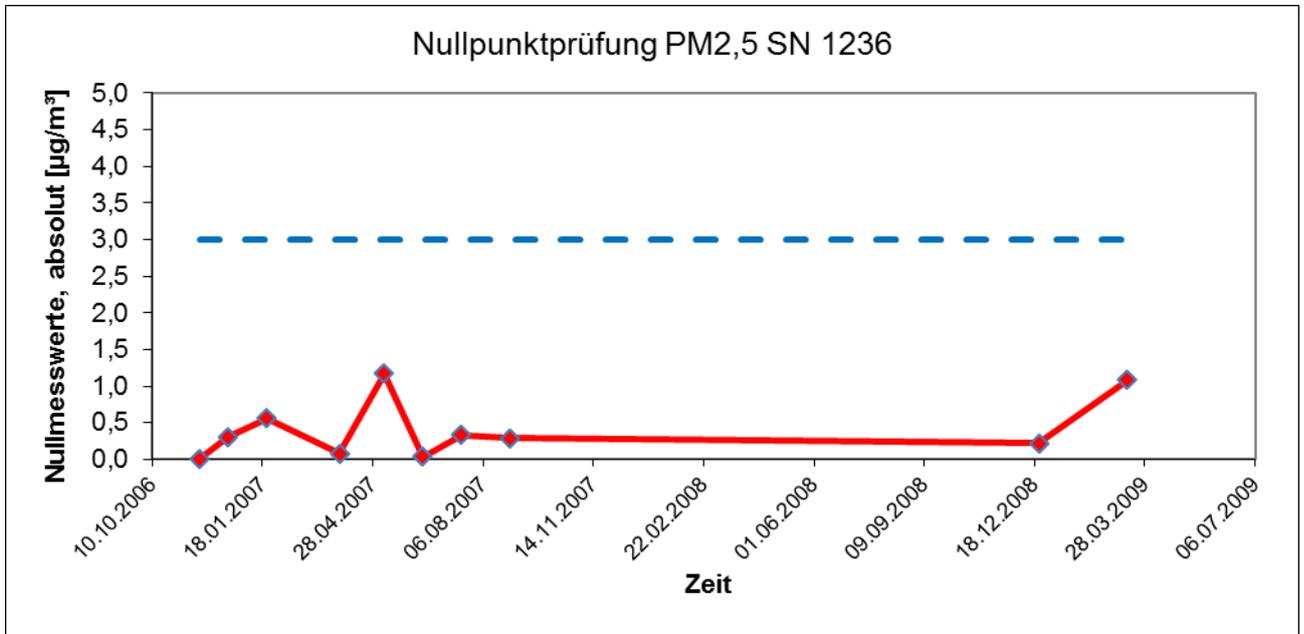


Abbildung 22: Nullpunkt drift SN 1236, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

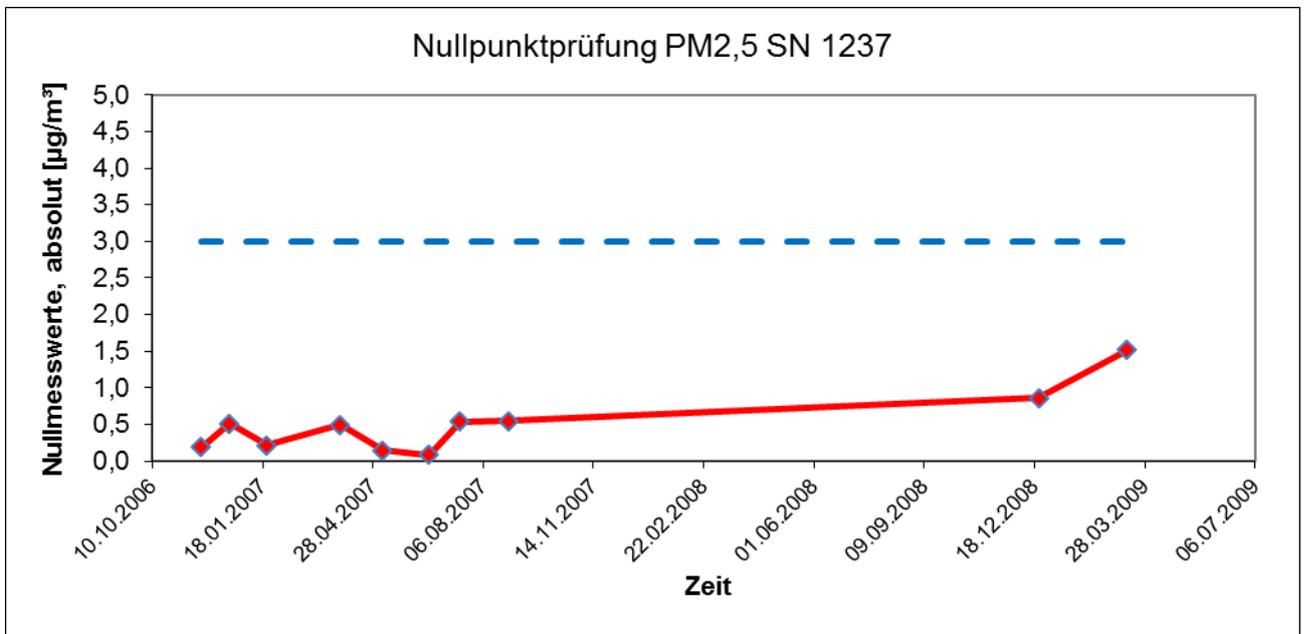


Abbildung 23: Nullpunkt drift SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

## 6.1 13 Aufzeichnung der Betriebsparameter (7.5.4)

*Messeinrichtungen müssen in der Lage sein, Daten von Betriebszuständen zur telemetrischen Übermittlung – zumindest- der folgenden Parameter bereitzustellen:*

- *Volumenstrom;*
- *Druckabfall über dem Probenahmefilter (falls zutreffend);*
- *Probenahmedauer;*
- *Probenvolumen (falls zutreffend);*
- *Massenkonzentration der betreffenden Staubfraktion(en);*
- *Außenlufttemperatur;*
- *Außenluftdruck;*
- *Lufttemperatur in der Messeinheit;*
- *Temperatur des Probeneinlasses, wenn ein beheizter Probeneinlass angewendet wird.*

*Die Ergebnisse von automatischen/funktionalen Überprüfungen müssen, sofern verfügbar, aufgezeichnet werden.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Modem, PC zur Datenerfassung (RS 232-Host-Gerät).

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Messeinrichtung ermöglicht eine umfassende telemetrische Kontrolle und Steuerung der Messeinrichtung u.a. über RS232-Schnittstelle und kann Messwerte bzw. Statusinformationen z.B. über OP SIS-Protokoll kommunizieren.

Die Übermittlung von Betriebszuständen sowie der relevanten Parameter wie z.B.

- Probenahmedauer,
- Gesammeltes Volumen,
- Druckabfall über Filter.
- Außenlufttemperatur und Luftdruck,
- Temperatur Durchflussmessung und Temperatur am Sammelpunkt (Filter)
- Massenkonzentration (nur für abgeschlossene Zyklen)
- Status pneumatisches System (Durchfluss) und radiometrisches System

sind möglich.

Des Weiteren werden Ergebnisse der internen Tests zur Qualitätssicherung / Funktionsüberwachung im System gespeichert.

Der Parameter der aktuellen Durchflussrate wird nicht aktiv im Rahmen der Messdaten bereitgestellt, kann allerdings via Fernüberwachung unter den Analogsensoren eingesehen werden.

Der Parameter „Temperatur des Probeneinlasses“ ist nicht relevant für die Messeinrichtung. Über entsprechende Router oder Modems ist eine Fernüberwachung- und -steuerung leicht möglich.

#### **6.4 Auswertung**

Die Messeinrichtung ermöglicht eine umfassende telemetrische Kontrolle und Steuerung der Messeinrichtung über verschiedene Wege (z.B. RS232). Betriebszustände und relevante Parameter werden bereitgestellt.

#### **6.5 Bewertung**

Die Messeinrichtung ermöglicht eine umfassende telemetrische Kontrolle und Steuerung der Messeinrichtung über verschiedene Wege (z.B. RS232). Betriebszustände und relevante Parameter werden bereitgestellt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

#### **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Hier nicht erforderlich.

## 6.1 14 Tagesmittelwerte (7.5.5)

*Die Messeinrichtung muss die Bildung von 24 h-Mittelwerten ermöglichen.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Für die Prüfung wurde zusätzlich eine Uhr bereitgestellt.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde geprüft, ob die Messeinrichtung die Bildung eines Tagesmittelwertes ermöglicht.

## 6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung ermöglicht die Bildung von Mittelwerten für Probenahmezeiten von 8 h bis zu 100 Tagen. Für den Filterwechsel / Filterbewegungen im Gerät wird ca. 1 Minute benötigt; dies entspricht bei einer 24-stündigen Probenahmezeit einer Totzeit von ca. 0,07 %.

Wird ein „Pneumatic Test“ gemäß Bedienungshandbuch Nummer 5.6.7 aktiviert, dann erhöht sich die Totzeit für die Messungen, bei denen der Test durchgeführt wird, auf ca. 3-4 Minuten; dies entspricht bei einer 24-stündigen Probenahmezeit einer Totzeit von ca. 0,28 %.

Wird ein „Beta Test“ gemäß Bedienungshandbuch Nummer 5.6.7 aktiviert, dann erhöht sich die Totzeit für die Messungen, bei denen der Test durchgeführt wird, auf ca. 40 Minuten; dies entspricht bei einer 24-stündigen Probenahmezeit einer Totzeit von ca. 2,8 %.

Es wird empfohlen, den „Beta Test“ einmal im Monat als Autotest durchzuführen. Die verfügbare Probenahmezeit liegt am Tag der Überprüfung bei > 97 % der Gesamtzeit. Im Rahmen der Prüfung konnte kein negativer Einfluss auf die Qualität der Messwerte an Tagen mit ausgeführtem „Beta Test“ festgestellt werden.

Die Bildung von Tagesmittelwerten ist daher auch an Tagen mit ausgeführtem „Beta Test“ gesichert möglich.

## 6.5 Bewertung

Die Bildung von validen Tagesmittelwerten ist möglich.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.



## 6.1 15 Verfügbarkeit (7.5.6)

*Die Verfügbarkeit der Messeinrichtung muss mindestens 90 % betragen.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Start- und Endzeitpunkt der Verfügbarkeitsuntersuchungen werden durch den Start- bzw. Endzeitpunkt an jedem der vier Feldteststandorte aus der Erstprüfung bestimmt. Der ordnungsgemäße Betrieb der Messgeräte wurde bei jedem Vor-Ort-Besuch (i.d.R. arbeitstäglich) geprüft. Diese Prüfung umfasste Plausibilitätsprüfungen der Messwerte, der Statussignale und anderer relevanter Parameter. Zeitpunkt, Dauer und Art von Betriebsstörungen sind aufzuzeichnen.

Zur Berechnung der Verfügbarkeit wird die gesamte Zeitspanne in der Feldprüfung verwendet, während der valide Messdaten für die Außenluftkonzentrationen gewonnen werden. Dabei sollte die für planmäßige Kalibrierungen und Wartungsarbeiten (Reinigung, Austausch von Verbrauchsmaterialien) aufgewendete Zeit nicht einbezogen werden.

Die Verfügbarkeit wird wie folgt berechnet:

$$A = \frac{t_{\text{valid}} + t_{\text{cal,maint}}}{t_{\text{field}}}$$

Dabei ist

$t_{\text{valid}}$	die Zeitspanne, in der valide Daten erfasst wurden;
$t_{\text{cal,maint}}$	die für planmäßige Kalibrierungen und Wartungsarbeiten aufgewendete Zeit;
$t_{\text{field}}$	die Gesamtdauer der Feldprüfung.

## 6.4 Auswertung

Tabelle 21 zeigt eine Aufstellung der Betriebs-, Wartungs- und Störungszeiten.

Die Messeinrichtungen wurden im Feldtest über einen Zeitraum von insgesamt 318 Messtagen betrieben (siehe auch Anlage 5).

Ausfälle durch externe Einflüsse, die nicht dem Gerät angelastet werden können, wurden am 12.12.2006 und am 12.07.2006 (48 h wegen Stromausfall). Dadurch reduziert sich die Gesamtbetriebszeit auf 316 Messtage.

Es wurde eine Betrachtung ohne, sowie mit den prüfungsbedingten Ausfällen vorgenommen. Bei Betrachtung der prüfungsbedingten Ausfälle erklärt sich die hohe Anzahl an Stunden zur Wartung durch die monatliche Überprüfung von Nullpunktdrift und Empfindlichkeitsdrift, die jeweils pro Gerät einen längeren Ausfall bedeuten (48 h bis 72 h). Insgesamt führten die regelmäßigen Driftkontrollen in der Prüfung zu Ausfällen im Betrieb von insgesamt 336 h.

Diese Ausfälle sind allerdings nicht dem Gerät anzulasten, sondern sind durch die Prüfung selbst begründet. Da die Messeinrichtung nach jedem Neustart (sowie auf Wunsch auch regelmäßig als Autotest) eine geeignete Funktionskontrolle der radiometrischen Messung durchführt, kann im störungsfreien Normalbetrieb auf die aufwendige externe Überprüfung der Betamessung verzichtet werden.

Am 20. und 21.12.2006 kam es auf Grund eines Wassereintruchs und damit verbundener Überladung der Filter zum Ausfall der Messungen. Am 23.01.2007 starteten beide Systeme

nicht zur gewünschten Zeit – vermutlich bedingt durch eine fehlerhafte Parametrierung. Am 22. und 23.7.2007 mussten die Messungen für Gerät SN 1236 wegen einer Warnmeldung des Betasystems verworfen werden.

Ansonsten wurden keine weiteren Gerätestörungen beobachtet.

## 6.5 Bewertung

Die Verfügbarkeit betrug für SN 1236 98,4 % (inkl. prüfungsbedingter Ausfälle) und für SN 1237 99,1 % (inkl. prüfungsbedingter Ausfälle).

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 21: Ermittlung der Verfügbarkeit (inkl. prüfungsbedingter Ausfälle)

		Gerät 1 (SN 1236)	Gerät 2 (SN 1237)
Einsatzzeit ( $t_{\text{field}}$ )	d	316	316
Ausfallzeit (Störung)	d	4	2
Ausfallzeit (Bedienfehler)	d	1	1
Wartungszeit ( $t_{\text{cal,maint}}$ )	d	14	14
Tatsächliche Betriebszeit ( $t_{\text{valid}}$ )	d	297	299
Verfügbarkeit	%	98,4	99,1



## 6.1 Methodik der Äquivalenzprüfung (7.5.8.4 & 7.5.8.8)

Gemäß der Version des Leitfadens vom Januar 2010 [4] müssen zum Nachweis der Äquivalenz die folgenden 5 Kriterien erfüllt werden:

1. Vom Gesamtdatensatz müssen mindestens 20 % der Konzentrationswerte (ermittelt mit Referenzmethode) größer sein als die in 2008/50/EG [7] festgelegte obere Beurteilungsschwelle für Jahresgrenzwerte, d.h. 28 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>10</sub> und 17 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub>. Wenn dies auf Grund niedriger Konzentrationslevel nicht gewährleistet werden kann, wird eine Mindestanzahl von 32 Wertepaaren als ausreichend erachtet.
2. Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen muss kleiner sein als 2,5 µg/m<sup>3</sup> für alle Daten sowie für einen Datensatz mit Daten größer/gleich 30 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>10</sub> und 18 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub>.
3. Die Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten muss kleiner sein als 2,0 µg/m<sup>3</sup>.
4. Die erweiterte Unsicherheit ( $W_{CM}$ ) wird berechnet bei 50 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>10</sub> und bei 30 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub> für jeden einzelnen Prüfling gegen den Mittelwert der Referenzmethode. Für jeden der folgenden Fälle muss die erweiterte Unsicherheit kleiner 25 % sein:
  - Gesamtdatensatz;
  - Datensatz mit PM-Konzentrationen größer/gleich 30 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>10</sub> oder größer/gleich 18 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub>, vorausgesetzt der Datensatz enthält 40 oder mehr gültige Datenpaare;
  - Datensätze für jeden einzelnen Standort.
5. Voraussetzung für die Akzeptanz des Komplettdatensatzes ist, dass die Steigung  $b$  insignifikant verschieden ist von 1:  $|b-1| \leq 2 \cdot u(b)$  und der Achsabschnitt  $a$  insignifikant verschieden ist von 0:  $|a| \leq 2 \cdot u(a)$ . Wenn diese Voraussetzungen nicht erfüllt werden, dann können die Prüflinge mit den Werten des Gesamtdatensatzes für die Steigung und/oder für den Achsabschnitt kalibriert werden.

In den nachfolgenden Kapiteln wird die Erfüllung der 5 Kriterien geprüft:

Unter Punkt 6.1 16 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den AMS  $u_{bs,AMS}$  (7.5.8.4) werden die Kriterien 1 und 2 geprüft.

Unter Punkt 6.1 17 Erweiterte Messunsicherheit der Ergebnisse der AMS (7.5.8.5 – 7.5.8.8) werden die Kriterien 3, 4 und 5 geprüft.

Unter Punkt 6.1 17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen (7.5.8.5 – 7.5.8.8) erfolgt eine Auswertung für den Fall, dass Kriterium 5 nicht ohne Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen erfüllt werden kann.

## 6.1 16 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den AMS $u_{bs,AMS}$ (7.5.8.4)

*Die Unsicherheit zwischen den AMS muss  $\leq 2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sein.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde im Feldtest in vier verschiedenen Vergleichskampagnen durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Jahreszeiten sowie unterschiedlich hohe PM<sub>2,5</sub> Konzentrationen berücksichtigt.

Vom gesamten Datensatz müssen mindestens 20 % der mit der Referenzmethode ermittelten Konzentrationswerte größer sein als die obere Beurteilungsschwelle gemäß 2008/50/EG [7]. Für PM<sub>2,5</sub> liegt die obere Beurteilungsschwelle bei  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Es wurden für jede Vergleichskampagne mindestens 40 valide Wertepaare ermittelt. Vom gesamten Datensatz (4 Vergleiche, 175 valide Messwertpaare für SN 1236 und SN 1237) liegen insgesamt 32 % der Messwerte über der oberen Beurteilungsschwelle von  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für PM<sub>2,5</sub>. Die gemessenen Konzentrationen wurden auf Umgebungsbedingungen bezogen.

## 6.4 Auswertung

Gemäß Punkt 7.5.8.4 der Richtlinie DIN EN 16450 gilt:

Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  muss  $\leq 2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen. Eine Unsicherheit über  $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zwischen den beiden Prüflingen ist ein Hinweis, dass die Leistung eines oder beider Systeme unzureichend ist und die Gleichwertigkeit nicht erklärt werden kann.

Die Unsicherheit wird dabei ermittelt für:

- Alle Standorte bzw. Vergleiche gemeinsam (Kompletter Datensatz)
- 1 Datensatz mit Messwerten  $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für PM<sub>2,5</sub> (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)

Darüber hinaus erfolgt in diesem Bericht auch eine Auswertung für die folgenden Datensätze:

- Jeden Standort bzw. Vergleich einzeln
- 1 Datensatz mit Messwerten  $< 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für PM<sub>2,5</sub> (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)



Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  wird aus den Differenzen aller Tagesmittelwerte (24 h-Werte) der Prüflinge, die parallel betrieben werden, nach folgender Gleichung berechnet:

$$u_{bs,AMS}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{i,1} - y_{i,2})^2}{2n}$$

mit  $y_{i,1}$  und  $y_{i,2}$  = Ergebnisse der parallelen Messungen einzelner 24h-Werte i  
 $n$  = Anzahl der 24h-Werte

### 6.5 Bewertung

Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  liegt mit maximal  $1,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für  $\text{PM}_{2,5}$  unterhalb des geforderten Wertes von  $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Mindestanforderung erfüllt? ja

### 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 22 führt die berechneten Werte für die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  auf. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 24 bis Abbildung 30.

Tabelle 22: Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs,AMS}$  für die Testgeräte SN 1236 und SN 1237, Messkomponente  $\text{PM}_{2,5}$

Testgeräte	Standort	Anzahl Werte	Unsicherheit $u_{bs}$
SN			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>1236 / 1237</b>	<b>Alle Standorte</b>	<b>297</b>	<b>1,13</b>
Einzelstandorte			
1236 / 1237	Köln, Frankf. Str.	94	1,35
1236 / 1237	Köln, Parkplatzge- lände	69	0,96
1236 / 1237	Furulund, Sommer	58	1,29
1236 / 1237	Furulund, Winter	76	0,76
Klassierung über Referenzwerte			
<b>1236 / 1237</b>	<b>Werte <math>\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>50</b>	<b>1,34</b>
1236 / 1237	Werte $< 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$	125	1,05

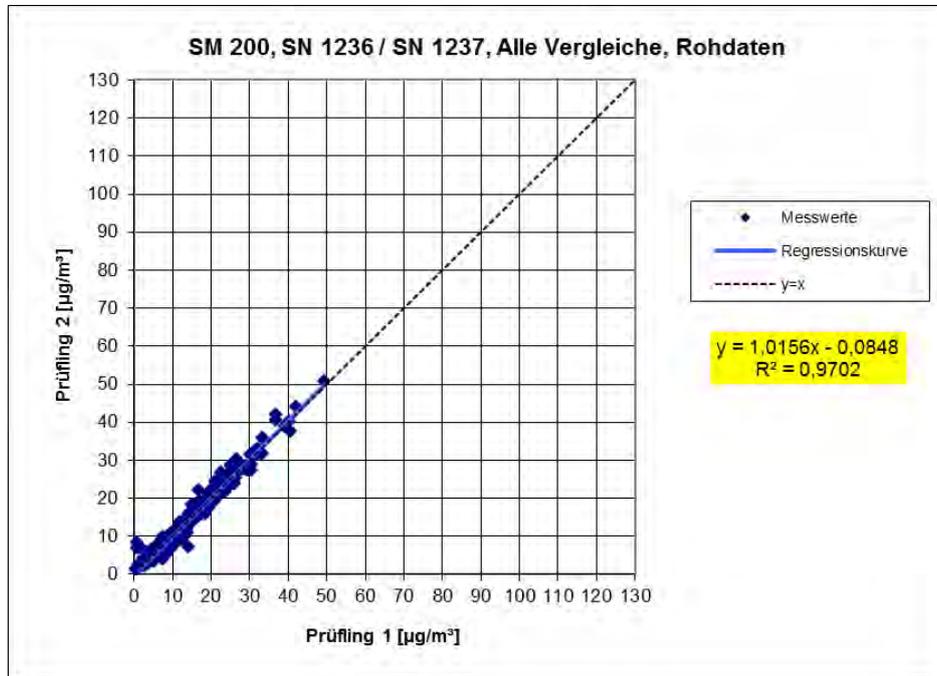


Abbildung 24: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte

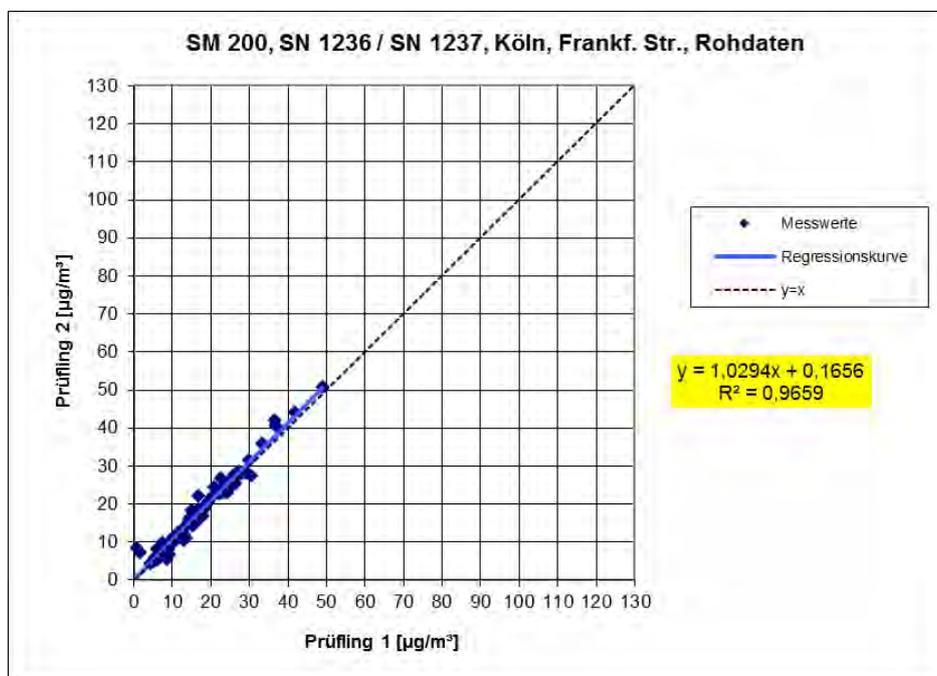


Abbildung 25: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Köln, Frankf. Str.

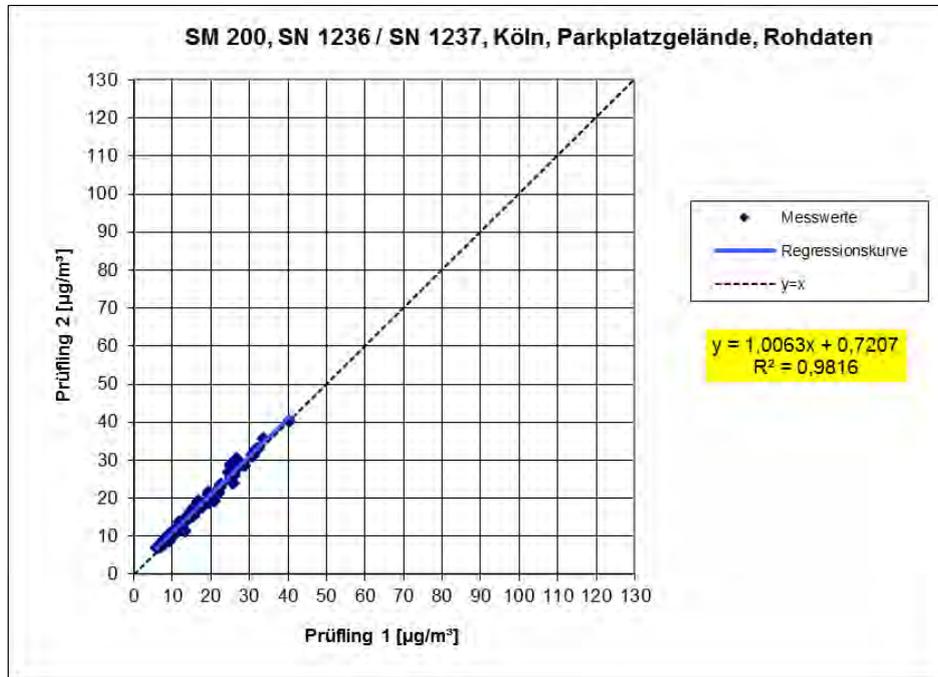


Abbildung 26: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Köln, Parkplatzgelände

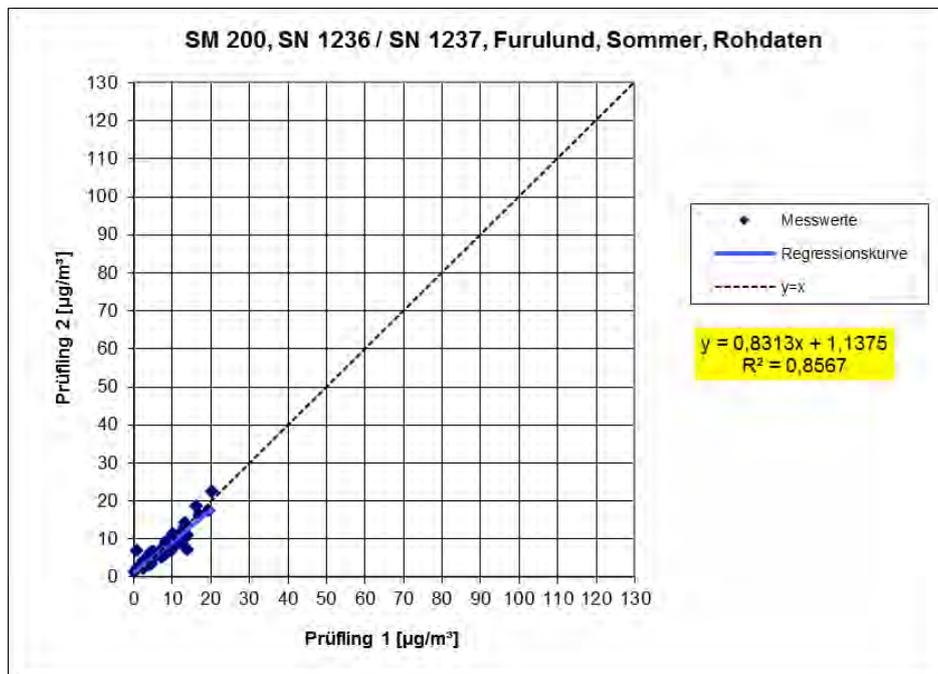


Abbildung 27: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Furulund, Sommer

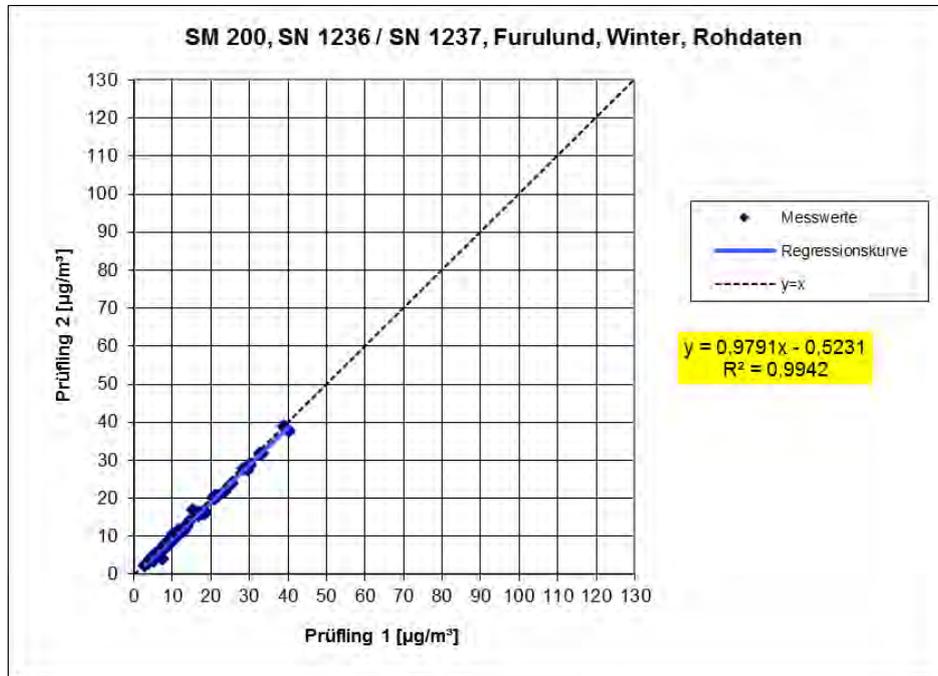


Abbildung 28: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Furulund, Winter

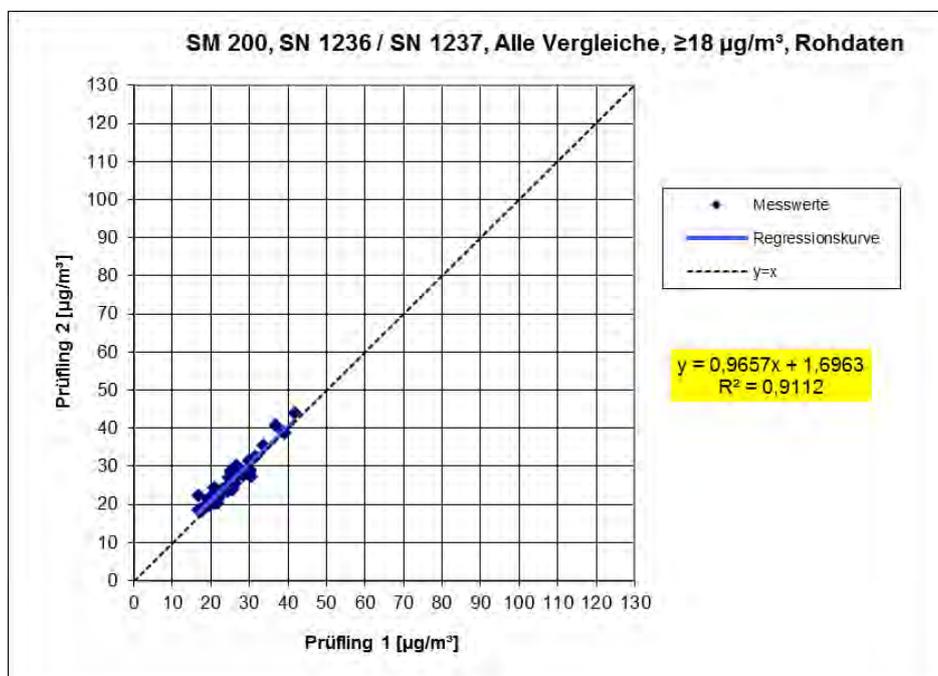


Abbildung 29: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte, Werte  $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$

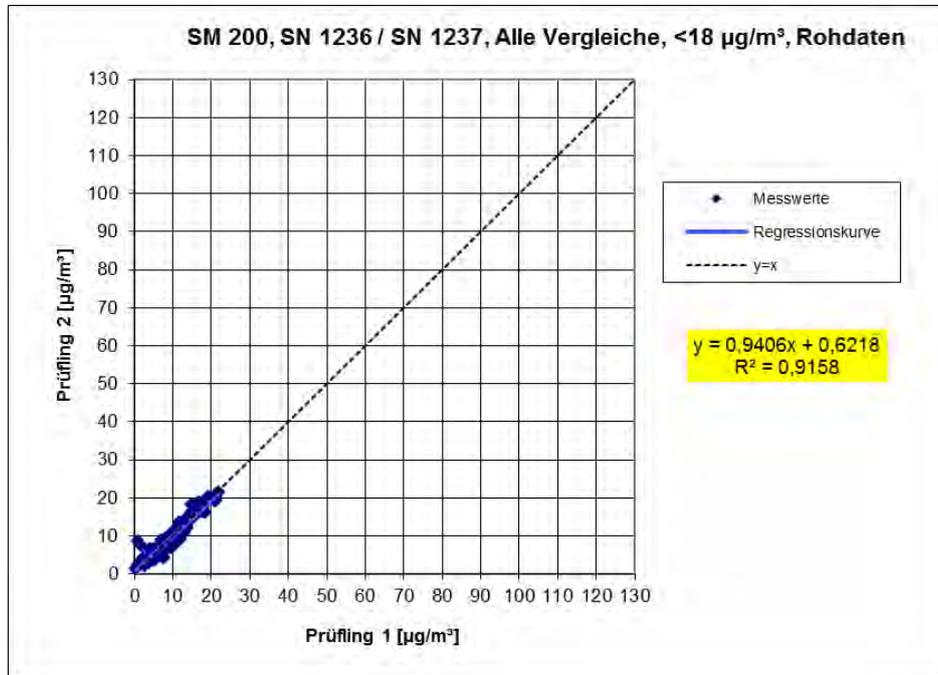


Abbildung 30: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1236 / SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte, Werte < 18 µg/m³

## 6.1 17 Erweiterte Messunsicherheit der Ergebnisse der AMS (7.5.8.5 – 7.5.8.8)

*Die erweiterte Messunsicherheit muss  $\leq 25\%$  bei der Konzentration des betreffenden Grenzwertes bezogen auf die Ergebnisse für den 24-h-Mittelwert sein – falls erforderlich – lich nach der Kalibrierung*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Für diesen Prüfpunkt kamen zusätzlich die Geräte entsprechend Punkt 5 des vorliegenden Berichts zum Einsatz.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde im Feldtest in vier verschiedenen Vergleichskampagnen durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Jahreszeiten sowie unterschiedlich hohe PM<sub>2,5</sub> Konzentrationen berücksichtigt.

Vom gesamten Datensatz müssen mindestens 20 % der mit der Referenzmethode ermittelten Konzentrationswerte größer sein als die obere Beurteilungsschwelle gemäß 2008/50/EG [7]. Für PM<sub>2,5</sub> liegt die obere Beurteilungsschwelle bei 17 µg/m<sup>3</sup>.

Es wurden für jede Vergleichskampagne mindestens 40 valide Wertepaare ermittelt. Vom gesamten Datensatz (4 Vergleiche, 175 valide Messwertpaare für SN 1236 und SN 1237) liegen insgesamt 32 % der Messwerte über der oberen Beurteilungsschwelle von 17 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub>. Die gemessenen Konzentrationen wurden auf Umgebungsbedingungen bezogen.

## 6.4 Auswertung

[DIN EN 16450 Punkt 7.5.8.3]

Der Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge wird die Überprüfung der Unsicherheit zwischen den parallel betriebenen Referenzgeräten  $u_{ref}$  vorangestellt.

Die Unsicherheit zwischen den parallel betriebenen Referenzgeräten  $u_{bs, RM}$  wird analog der Unsicherheit zwischen den Prüflingen bestimmt und muss  $\leq 2,0$  µg/m<sup>3</sup> sein.

Die Ergebnisse der Auswertung sind unter Punkt 6.6 zu diesem Prüfpunkt dargestellt.

[DIN EN 16450 Punkt 7.5.8.5 & 7.5.8.6]

Um die Vergleichbarkeit der Prüflinge  $y$  mit dem Referenzverfahren  $x$  zu beurteilen, wird ein linearer Zusammenhang  $y_i = a + bx_i$  zwischen den Messergebnissen beider Methoden angenommen. Der Zusammenhang zwischen den Mittelwerten der Referenzgeräte und den jeweils einzeln zu betrachtenden Prüflingen wird mittels orthogonaler Regression hergestellt.



Die Regression wird berechnet für:

- Alle Standorte bzw. Vergleiche gemeinsam
- Jeden Standort bzw. Vergleich einzeln
- 1 Datensatz mit Messwerten  $PM_{2,5} \geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)

Zur weiteren Auswertung wird die Ergebnisunsicherheit  $u_{c,s}$  der Prüflinge aus dem Vergleich mit dem Referenzverfahren gemäß der folgenden Gleichung beschrieben, welche  $u_{CR}$  als eine Funktion der Feinstaubkonzentration  $x_i$  beschreibt.

$$u_{yi}^2 = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{RM}^2 + [a + (b-1)L]^2$$

Mit  $RSS$  = Summe der (relativen) Residuen aus der orthogonalen Regression

$u_{RM}$  = zufällige Unsicherheit des Referenzverfahrens;  $u_{RM}$  wird berechnet als  $u_{bs,RM}/\sqrt{2}$ , wobei  $u_{bs,RM}$  die Unsicherheit zwischen den parallel betriebenen Referenzgeräten ist.

Algorithmen zur Berechnung des Achsabschnitts  $a$  sowie der Steigung  $b$  und ihrer Varianzen mittels orthogonaler Regression sind im Anhang B von [8] ausführlich beschrieben.

Die Summe der (relativen) Residuen  $RSS$  wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

Die Unsicherheit  $u_{CR}$  wird berechnet für:

- Alle Standorte bzw. Vergleiche gemeinsam
- Jeden Standort bzw. Vergleich einzeln
- 1 Datensatz mit Messwerten  $PM_{2,5} \geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Basis: Mittelwerte Referenzmessung)

Voraussetzung für die Akzeptanz des Gesamtdatensatzes ist gemäß Leitfaden:

- Die Steigung  $b$  ist insignifikant verschieden von 1:  $|b-1| \leq 2 \cdot u(b)$

Und

- Der Achsabschnitt  $a$  ist insignifikant verschieden von 0:  $|a| \leq 2 \cdot u(a)$

Wobei  $u(b)$  und  $u(a)$  die Standardunsicherheiten der Steigung und des Achsabschnitts beschreiben, berechnet als Wurzel der Varianz. Wenn diese Vorbedingungen nicht erfüllt sind, dann können die Prüflinge gemäß Punkt 9.7 des Leitfadens kalibriert werden (siehe auch 6.1 17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen ). Die Kalibrierung darf nur für den Gesamtdatensatz durchgeführt werden.

[DIN EN 16450 Punkt 7.5.8.7] Für alle Datensätze wird die kombinierte Unsicherheit der Prüflinge  $w_{c,CM}$  durch Kombination der Beiträge aus 9.5.3.1 und 9.5.3.2 gemäß der folgenden Gleichung berechnet:

$$w_{AMS}^2 = \frac{u_{yi=L}^2}{L^2}$$

Für jeden Datensatz wird die Unsicherheit  $w_{AMS}$  auf einem Level von  $L = 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für PM<sub>2,5</sub> berechnet.

[DIN EN 16450 Punkt 7.5.8.8] Für jeden Datensatz wird die erweiterte relative Unsicherheit der Ergebnisse der Prüflinge durch Multiplizieren von  $w_{AMS}$  mit einem Erweiterungsfaktor  $k$  nach folgender Gleichung berechnet:

$$W_{AMS} = k \cdot w_{AMS}$$

In der Praxis wird bei großen  $n$  für  $k=2$  eingesetzt.

[Punkt 9.6]

Die größte resultierende Unsicherheit  $W_{AMS}$  wird mit den Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen nach EU-Richtlinie [7] verglichen und bewertet. Es sind zwei Fälle möglich:

1.  $W_{AMS} \leq W_{dqo}$  → Prüfling wird als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.
2.  $W_{AMS} > W_{dqo}$  → Prüfling wird nicht als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.

Die festgelegte erweiterte relative Unsicherheit  $W_{dqo}$  beträgt für Feinstaub 25 % [7].

## 7.5 Bewertung

Die ermittelten Unsicherheiten  $W_{CM}$  liegen ohne Anwendung von Korrekturfaktoren für alle betrachteten Datensätze unter der festgelegten erweiterten relativen Unsicherheit  $W_{dqo}$  von 25 % für Feinstaub. Auf Grund der Signifikanz des Achsabschnittes ist jedoch die Anwendung von Korrekturfaktoren ist gemäß Punkt 6.1 17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen (7.5.8.5 – 7.5.8.8) entsprechend vorzunehmen.

Mindestanforderung erfüllt? ja

Auf Grund der Signifikanz des Achsabschnitts für den Gesamtdatensatz erfolgt eine Anwendung von Korrekturfaktoren gemäß Kapitel 6.1 17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen .

Nachfolgende Tabelle 23 zeigt einen Überblick über alle Ergebnisse der Äquivalenzprüfung für den Prüfling OP SIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub>. Für den Fall, dass ein Kriterium nicht erfüllt wird, ist die entsprechende Zelle mit roter Farbe hinterlegt.

Tabelle 23: Übersicht Äquivalenzprüfung OP SIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub>

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Richtlinie DIN EN 16450:2017				
Prüfling	SM 200	SN	SN 1236 / SN 1237	
Status Messwerte	Rohdaten	Grenzwert erlaubte Unsicherheit	30 25	µg/m <sup>3</sup> %
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,51			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,13			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1236 / SN 1237</b>				
Anzahl Wertepaare	175			
Steigung b	0,998			nicht signifikant
Unsicherheit von b	0,015			
Achsabschnitt a	1,322			signifikant
Unsicherheit von a	0,237			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	14,04			%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,50			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,34			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1236 / SN 1237</b>				
Anzahl Wertepaare	50			
Steigung b	1,044			
Unsicherheit von b	0,049			
Achsabschnitt a	-0,143			
Unsicherheit von a	1,243			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	14,57			%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,52			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,05			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1236 / SN 1237</b>				
Anzahl Wertepaare	125			
Steigung b	1,065			
Unsicherheit von b	0,032			
Achsabschnitt a	0,854			
Unsicherheit von a	0,320			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	21,67			%

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OPSIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Seite 85 von 136

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Richtlinie DIN EN 16450:2017				
Prüfung	SM 200	SN	SN 1236 / SN 1237	
Status Messwerte	Rohdaten	Grenzwert	30	µg/m³
		erlaubte Unsicherheit	25	%
<b>Köln, Frankf. Str.</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,39	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,35	µg/m³		
	SN 1236		SN 1237	
Anzahl Wertepaare	53		53	
Steigung b	0,998		1,015	
Unsicherheit von b	0,036		0,023	
Achsabschnitt a	-0,213		0,284	
Unsicherheit von a	0,676		0,443	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	15,60	%	11,14	%
<b>Köln, Parkplatzgelände</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,50	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,96	µg/m³		
	SN 1236		SN 1237	
Anzahl Wertepaare	41		41	
Steigung b	0,993		1,034	
Unsicherheit von b	0,044		0,034	
Achsabschnitt a	1,358		1,503	
Unsicherheit von a	0,829		0,645	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	15,32	%	19,70	%
<b>Furulund, Sommer</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,61	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,29	µg/m³		
	SN 1236		SN 1237	
Anzahl Wertepaare	40		40	
Steigung b	1,035		0,998	
Unsicherheit von b	0,071		0,051	
Achsabschnitt a	1,930		1,999	
Unsicherheit von a	0,509		0,364	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	23,76	%	15,74	%
<b>Furulund, Winter</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,55	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,76	µg/m³		
	SN 1236		SN 1237	
Anzahl Wertepaare	41		41	
Steigung b	1,095		1,094	
Unsicherheit von b	0,018		0,022	
Achsabschnitt a	0,788		0,105	
Unsicherheit von a	0,279		0,332	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	25,06	%	20,84	%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m³</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,50	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,34	µg/m³		
	SN 1236		SN 1237	
Anzahl Wertepaare	50		50	
Steigung b	1,053		1,063	
Unsicherheit von b	0,063		0,043	
Achsabschnitt a	-0,760		-0,191	
Unsicherheit von a	1,602		1,09	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	16,96	%	15,47	%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m³</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,52	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,05	µg/m³		
	SN 1236		SN 1237	
Anzahl Wertepaare	125		125	
Steigung b	1,089		1,067	
Unsicherheit von b	0,039		0,030	
Achsabschnitt a	0,629		0,843	
Unsicherheit von a	0,391		0,302	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	26,04	%	21,63	%
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,51	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,13	µg/m³		
	SN 1236		SN 1237	
Anzahl Wertepaare	175		175	
Steigung b	0,986	nicht signifikant	1,018	nicht signifikant
Unsicherheit von b	0,018		0,014	
Achsabschnitt a	1,358	signifikant	1,180	signifikant
Unsicherheit von a	0,296		0,219	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	15,52	%	15,37	%



Die Überprüfung der fünf Kriterien aus Punkt 6.1 Methodik der Äquivalenzprüfung ergab folgendes Bild:

- Kriterium 1: Mehr als 20 % der Daten sind größer als 17 µg/m<sup>3</sup>.
  - Kriterium 2: Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen ist kleiner als 2,5 µg/m<sup>3</sup>.
  - Kriterium 3: Die Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten ist kleiner als 2,0 µg/m<sup>3</sup>.
  - Kriterium 4: Alle erweiterten Unsicherheiten liegen unter 25%.
  - Kriterium 5: Der Achsabschnitt bei der Auswertung des Gesamtdatensatzes ist sowohl für SN 1236 wie auch für SN 1237 signifikant größer als erlaubt.
- Weitere: Die Auswertung des Gesamtdatensatzes für beide Prüflinge gemeinsam zeigt, dass die Messeinrichtung eine gute Korrelation mit der Referenzmethode aufweist mit einer Steigung von 0,998 und einem Achsabschnitt von 1,322 bei einer erweiterten Gesamtunsicherheit von 14,04 %.

Die Version vom Januar 2010 des Leitfadens ist nicht eindeutig darin, welche Steigung und welcher Achsabschnitt konkret zur Korrektur eines Prüflings verwendet werden sollen, falls dieser Prüfling die Äquivalenzprüfung nicht besteht. Nach Rücksprache mit dem Vorsitzenden der für die Erstellung des Leitfadens verantwortlichen EU-Arbeitsgruppe Arbeitsgruppe (Herr Theo Hafkenscheid) wurde entschieden, dass die Anforderung aus der Version vom November 2005 des Leitfadens weiterhin gültig ist und dass die Steigung und der Achsabschnitt aus der orthogonalen Regression für den Gesamtdatensatz herangezogen werden. Diese sind bei der Überprüfung der fünf Kriterien zusätzlich unter dem Punkt "Weitere" aufgeführt.

Gemäß der Tabelle 23 muss daher aufgrund der ermittelten Signifikanz eine Korrektur des Achsabschnitts für PM<sub>2,5</sub> erfolgen.

Die überarbeitete Fassung des Leitfadens von Januar 2010 sowie die DIN EN 16450 enthalten die Forderung, dass für eine richtlinienkonforme Überwachung fortlaufend stichprobenweise Überprüfungen bei einer gewissen Anzahl von Geräten in einem Messnetz durchgeführt werden müssen und dass die Anzahl der betroffenen Messorte abhängig ist von der erweiterten Messunsicherheit des Gerätes. Die entsprechende Umsetzung liegt in der Verantwortung des Messnetzbetreibers oder der zuständigen Behörde des Mitgliedstaates. Allerdings empfiehlt der TÜV Rheinland, dass die erweiterte Unsicherheit des Gesamtdatensatzes (hier: unkorrigierte Rohdaten) hierzu herangezogen wird, nämlich 14,04 % für PM<sub>2,5</sub>, was wiederum eine jährliche Überprüfung an 3 Messorten erfordern würde (Leitfaden [4], Kapitel 9.9.2, Tabelle 6 bzw. DIN EN 16450 [8], Kapitel 8.6.2, Tabelle 5). Auf Grund der notwendigen Anwendung der entsprechenden Kalibrierfaktoren, sollte diese Bewertung jedoch auf Basis der Auswertung der korrigierten Datensätze erfolgen (siehe Kapitel 6.1 17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen ).

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 24 zeigt einen Überblick über die Unsicherheiten zwischen den Referenzgeräten  $u_{bs, RM}$  aus den Felduntersuchungen.

Tabelle 24: Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten  $u_{bs, RM}$  für PM<sub>2,5</sub>

Referenz-Geräte	Standort	Anzahl Werte	Unsicherheit $u_{bs, RM}$
Nr.			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
1 / 2	Köln, Frankf. Str.	53	0,39
1 / 2	Köln, Parkplatz	41	0,50
1 / 2	Furulund, Sommer	40	0,61
1 / 2	Furulund, Winter	41	0,55
1 / 2	Alle Standorte	175	0,51

Die Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten  $u_{bs, RM}$  ist an allen Standorten  $< 2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

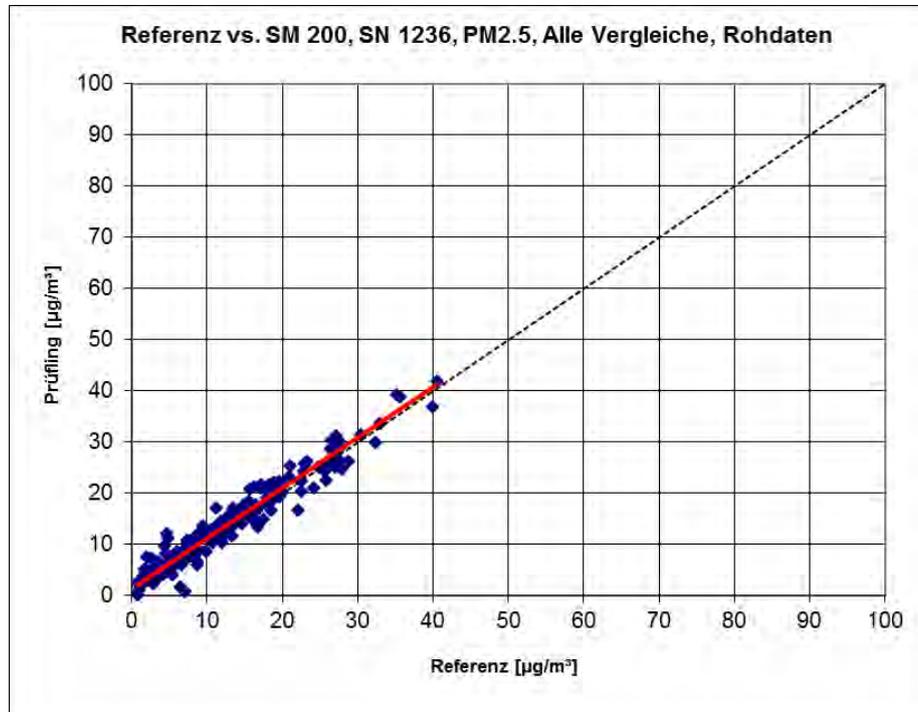


Abbildung 31: Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte

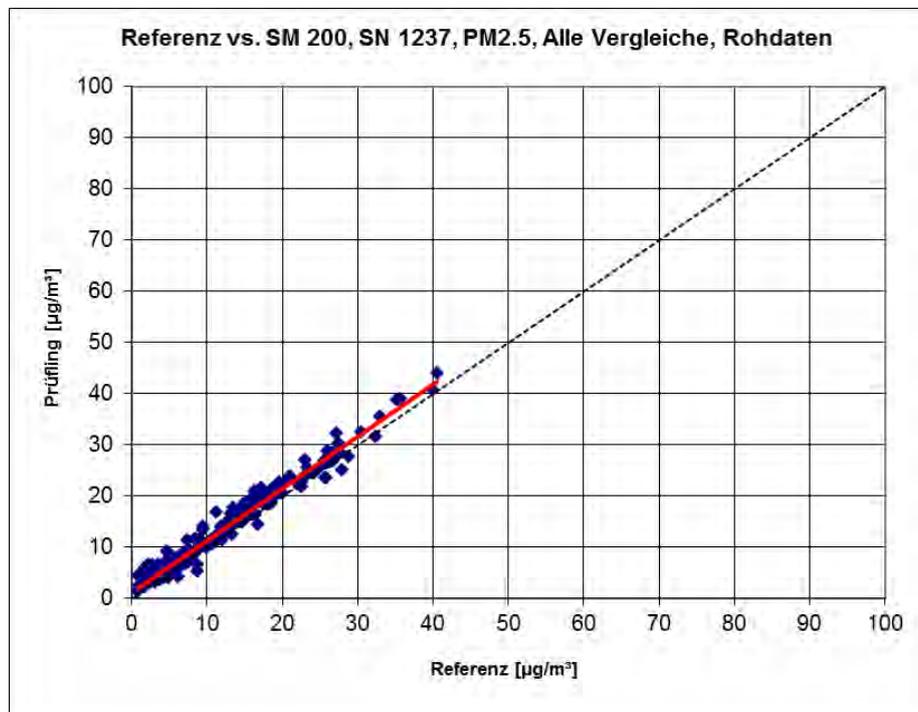


Abbildung 32: Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte

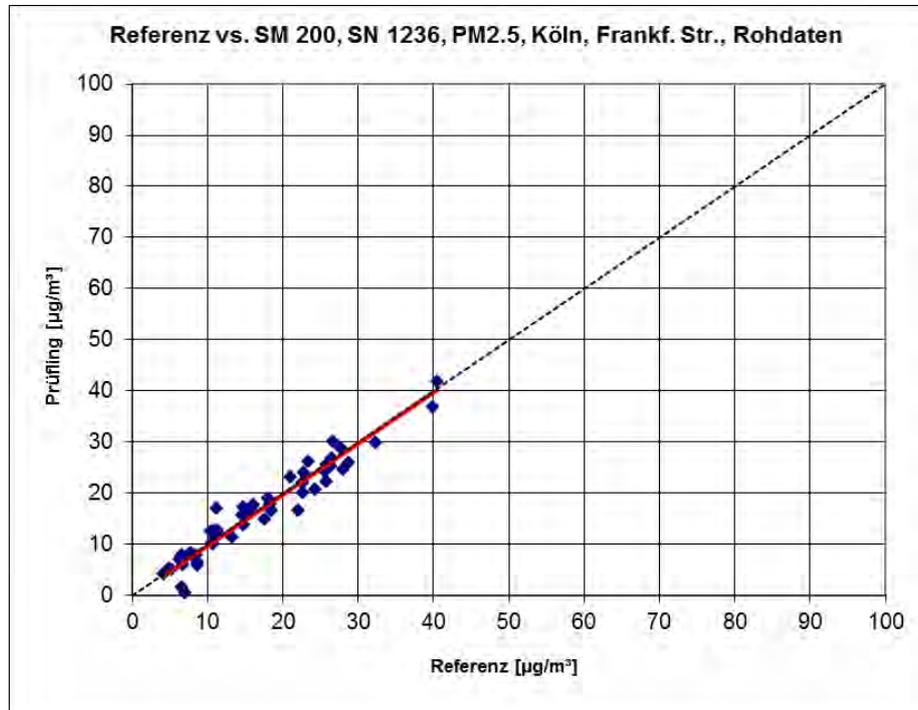


Abbildung 33: Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Frankf. Str.

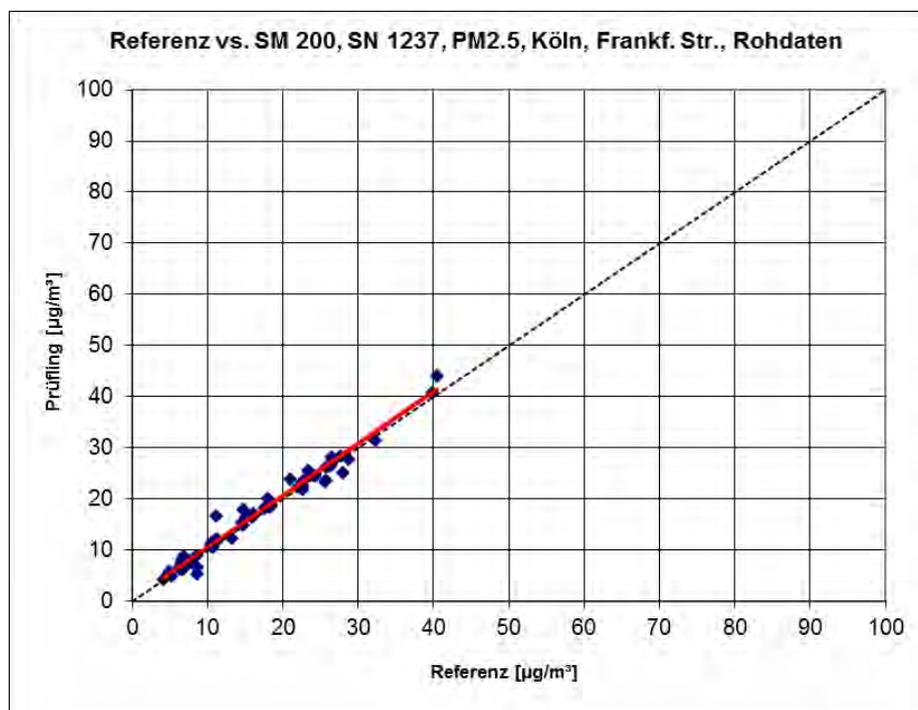


Abbildung 34: Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Frankf. Str.

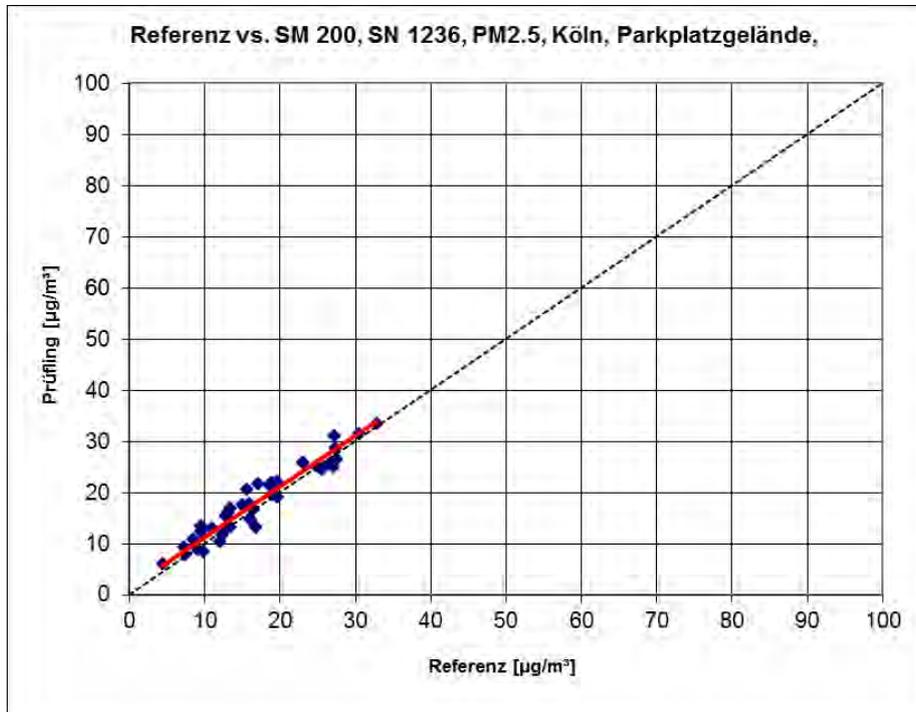


Abbildung 35: Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Parkplatzgelände

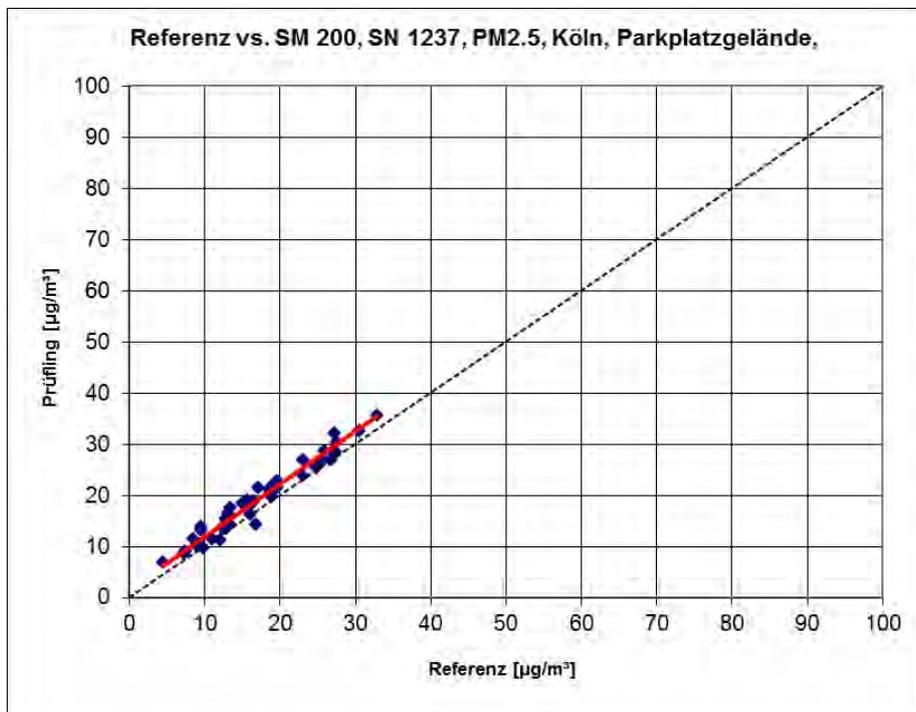


Abbildung 36: Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Parkplatzgelände

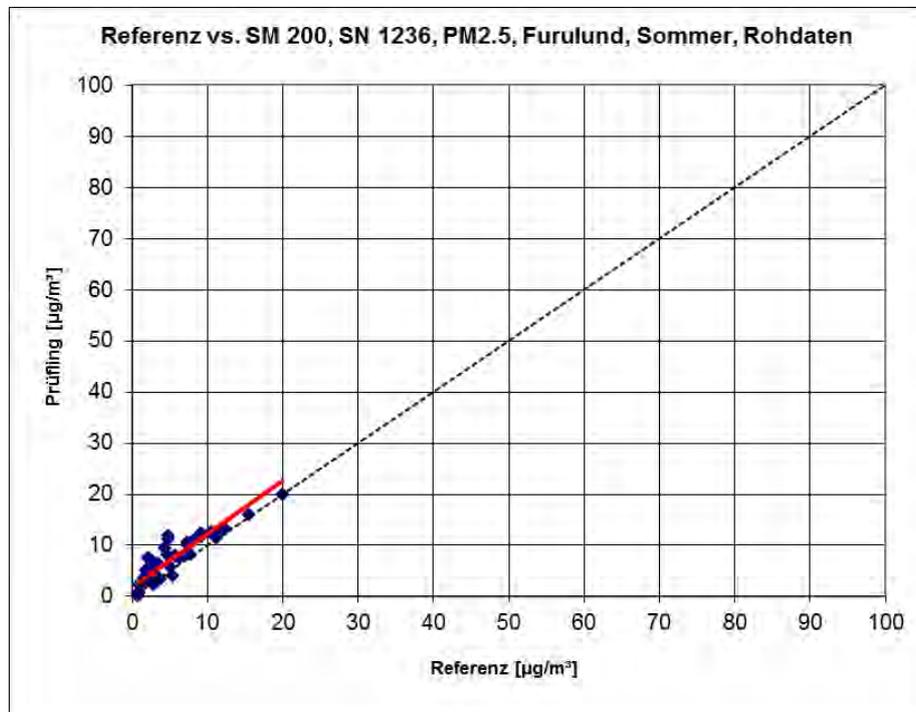


Abbildung 37: Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Furulund, Sommer

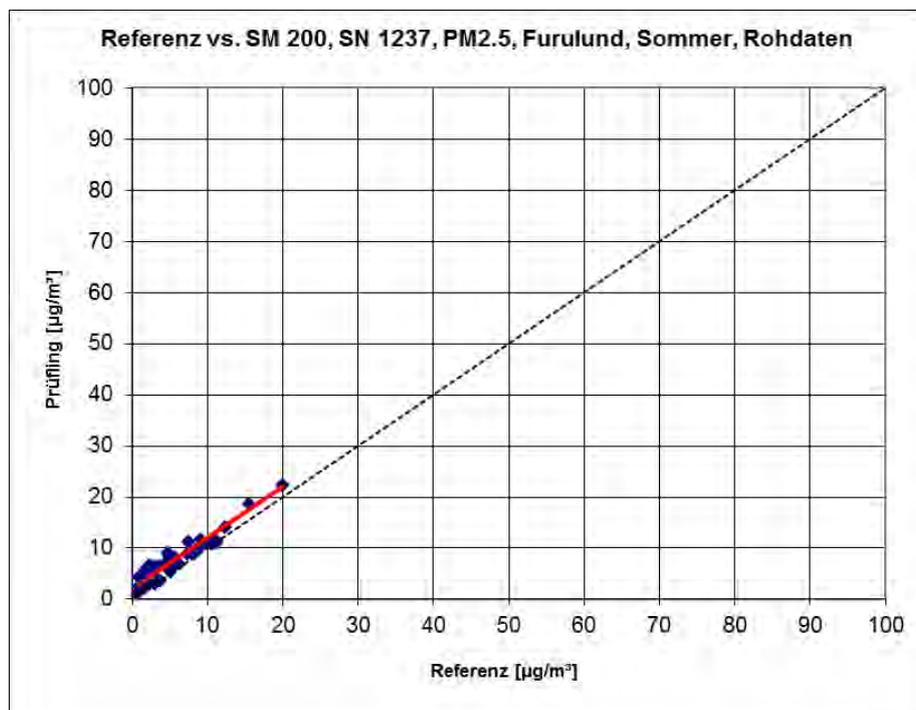


Abbildung 38: Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Furulund, Sommer

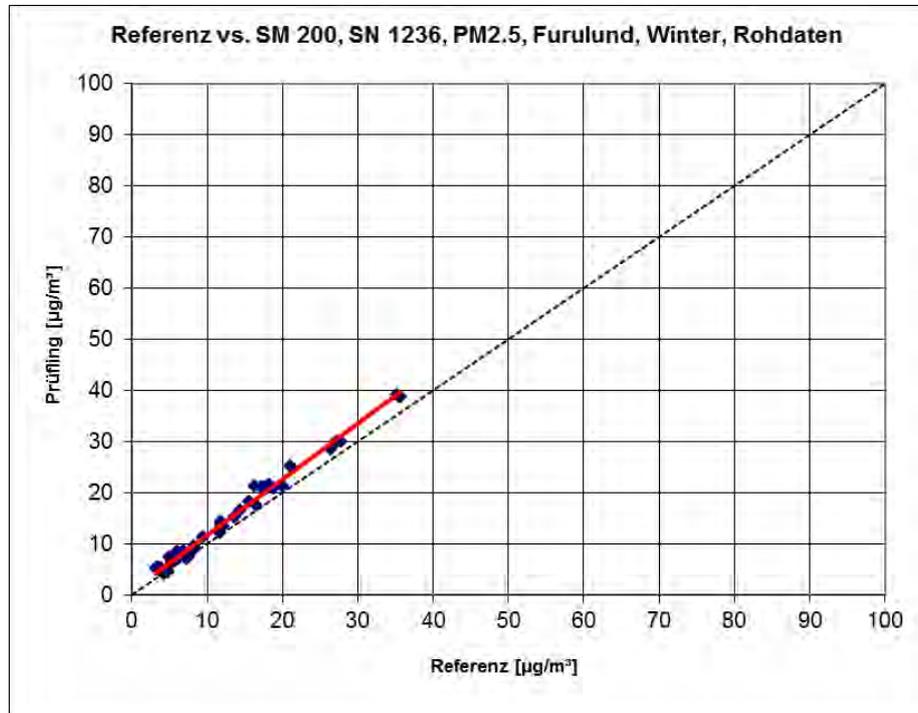


Abbildung 39: Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Furulund, Winter

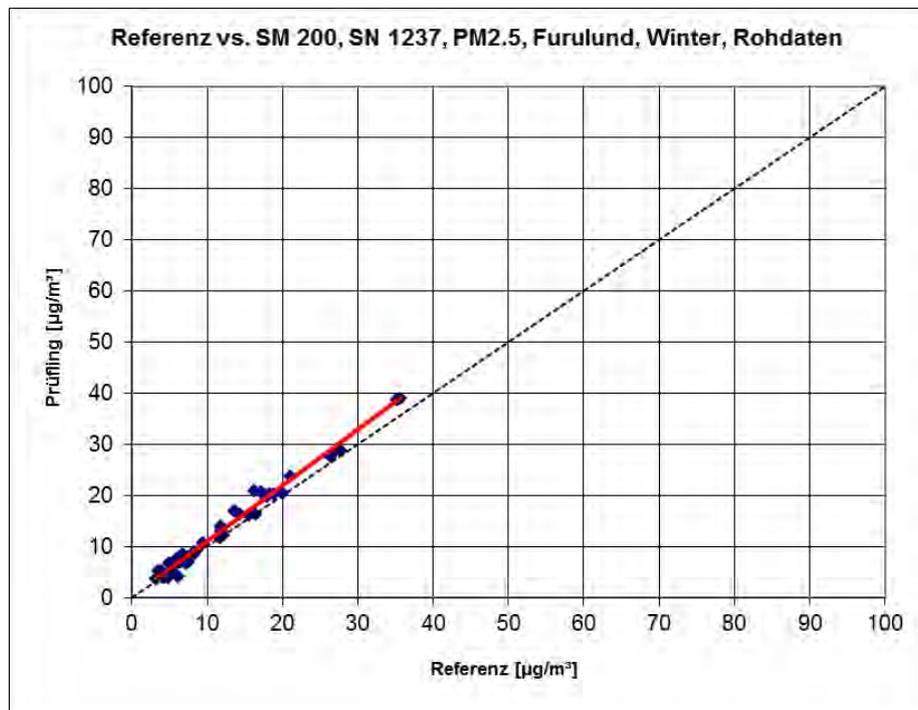


Abbildung 40: Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Furulund, Winter

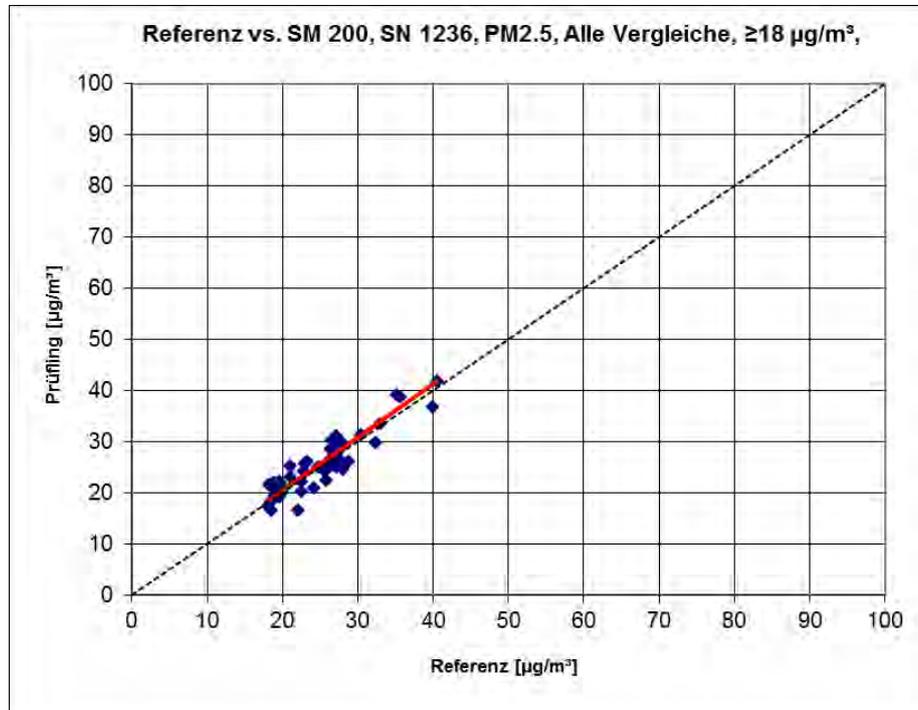


Abbildung 41: Referenz vs. Testgerät, SN 1236, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Werte  $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$

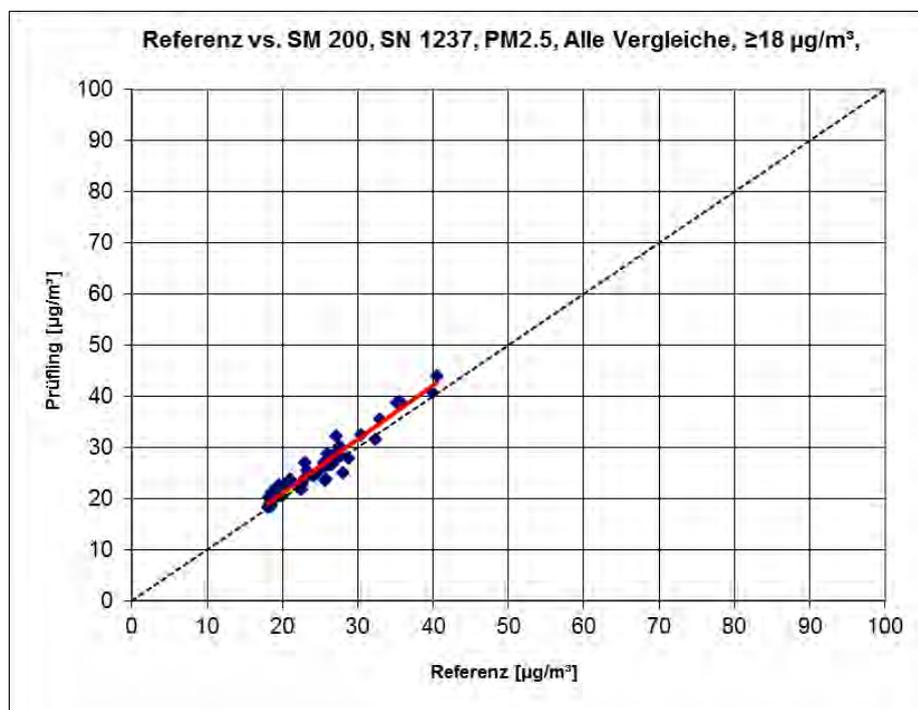


Abbildung 42: Referenz vs. Testgerät, SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Werte  $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$



## 6.1 17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen (7.5.8.5 – 7.5.8.8)

*Die Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen (=Kalibrierung) muss erfolgen, wenn die höchste errechnete erweiterte Unsicherheit der Prüflinge größer als die in den Anforderungen an die Datenqualität festgelegte erweiterte relative Unsicherheit ist bzw. sofern die Prüfung zeigt, dass die die Steigung signifikant von 1 und/oder der Achsen abschnitt signifikant von 0 abweicht.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Siehe Punkt 6.1 17 Erweiterte Messunsicherheit der Ergebnisse der AMS (7.5.8.5 – 7.5.8.8)

## 6.4 Auswertung

Tritt bei der Auswertung der Rohwerte gemäß 6.1 17 Erweiterte Messunsicherheit der Ergebnisse der AMS (7.5.8.5 – 7.5.8.8) der Fall  $W_{AMS} > W_{dqo}$  auf, d.h. Prüfling wird nicht als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet, dann ist es zulässig, einen Korrekturfaktor oder -term anzuwenden, der aus der Regressionsgleichung für den gesamten Datensatz resultiert. Die korrigierten Werte müssen die Anforderungen für alle Datensätze oder Teildatensätze erfüllen. Darüber hinaus kann eine Korrektur auch für den Fall, dass  $W_{AMS} \leq W_{dqo}$  ist, genutzt werden, um die Genauigkeit der Prüflinge zu verbessern.

Es können drei verschiedene Fälle auftreten:

- a) Steigung b nicht signifikant von 1 verschieden:  $|b - 1| \leq 2u(b)$ ,  
Achsenabschnitt a signifikant von 0 verschieden:  $|a| > 2u(a)$
- b) Steigung b signifikant von 1 verschieden:  $|b - 1| > 2u(b)$ ,  
Achsenabschnitt a nicht signifikant von 0 verschieden:  $|a| \leq 2u(a)$
- c) Steigung b signifikant von 1 verschieden:  $|b - 1| > 2u(b)$   
Achsenabschnitt a signifikant von 0 verschieden:  $|a| > 2u(a)$

zu a)

Der Wert des Achsenabschnittes a kann als Korrekturterm verwendet werden, um alle Eingangswerte  $y_i$  gemäß folgender Gleichung zu korrigieren:

$$y_{i,corr} = y_i - a$$

Die resultierenden Werte von  $y_{i,corr}$  können dazu dienen, mit einer linearen Regression die folgenden neuen Terme zu berechnen:

$$y_{i,corr} = c + dx_i$$

und

$$u_{y_{i,corr}}^2 = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{RM}^2 + [c + (d-1)L]^2 + u^2(a)$$

mit  $u(a)$  = Unsicherheit des Originalachsenabschnittes  $a$ , deren Wert benutzt wurde, um  $y_{i,corr}$  zu ermitteln.

Algorithmen zur Berechnung von Achsenabschnitten sowie Steigungen und ihrer Varianzen mittels orthogonaler Regression sind im Anhang B von [8] ausführlich beschrieben.

zu b)

Der Wert der Steigung  $b$  kann als Korrekturterm verwendet werden, um alle Eingangswerte  $y_i$  gemäß folgender Gleichung zu korrigieren.

$$y_{i,corr} = \frac{y_i}{b}$$

Die resultierenden Werte von  $y_{i,corr}$  können dazu dienen, mit einer neuen linearen Regression die folgenden neuen Terme zu berechnen:

$$y_{i,corr} = c + dx_i$$

und

$$u_{y_{i,corr}}^2 = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{RM}^2 + [c + (d-1)L]^2 + L^2 u^2(b)$$

mit  $u(b)$  = Unsicherheit der Originalsteigung  $b$ , deren Wert benutzt wurde, um  $y_{i,corr}$  zu ermitteln.

Algorithmen zur Berechnung von Achsenabschnitten sowie Steigungen und ihrer Varianzen mittels orthogonaler Regression sind im Anhang B von [8] ausführlich beschrieben.

zu c)

Die Werte der Steigung  $b$  und des Achsenabschnittes  $a$  können als Korrekturterme verwendet werden, um alle Eingangswerte  $y_i$  gemäß folgender Gleichung zu korrigieren.

$$y_{i,corr} = \frac{y_i - a}{b}$$

Die resultierenden Werte von  $y_{i,corr}$  können dazu dienen, mit einer neuen linearen Regression die folgenden neuen Terme zu berechnen:

$$y_{i,corr} = c + dx_i$$



und

$$u_{y_i,corr}^2 = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{RM}^2 + [c + (d-1)L]^2 + L^2 u^2(b) + u^2(a)$$

mit  $u(b)$  = Unsicherheit der Originalsteigung  $b$ , deren Wert benutzt wurde, um  $y_{i,corr}$  zu ermitteln und mit  $u(a)$  = Unsicherheit des Originalachsenabschnittes  $a$ , deren Wert benutzt wurde, um  $y_{i,corr}$  zu ermitteln.

Algorithmen zur Berechnung von Achsabschnitten sowie Steigungen und ihrer Varianzen mittels orthogonaler Regression sind im Anhang B von [8] ausführlich beschrieben.

Die Werte für  $u_{c,s,corr}$  werden dann zur Berechnung der kombinierten relativen Unsicherheit der Prüflinge nach der Korrektur gemäß der folgenden Gleichung herangezogen:

$$W_{AMS,corr}^2 = \frac{u_{corr,y_i=L}^2}{L^2}$$

Für den korrigierten Datensatz wird die Unsicherheit  $w_{AMS,corr}$  am 24 h-Grenzwert berechnet, wobei  $y_i$  als Konzentration am Grenzwert eingesetzt wird.

Die erweiterte relative Unsicherheit  $W_{AMS,corr}$  wird entsprechend der folgenden Gleichung berechnet:

$$W_{AMS',corr} = k \cdot w_{AMS,corr}$$

In der Praxis wird bei großen  $n$  für  $k = 2$  eingesetzt.

Die größte resultierende Unsicherheit  $W_{AMS,corr}$  wird mit den Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen nach EU-Richtlinie [7] verglichen und bewertet. Es sind zwei Fälle möglich:

1.  $W_{AMS,corr} \leq W_{d,qo}$  → Prüfling wird als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.
2.  $W_{AMS,corr} > W_{d,qo}$  → Prüfling wird nicht als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.

Die festgelegte erweiterte relative Unsicherheit  $W_{d,qo}$  beträgt für Feinstaub 25 % [7].

## 6.5 Bewertung

Die Prüflinge erfüllen während der Prüfung die Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen schon ohne eine Anwendung von Korrekturfaktoren. Eine Korrektur des Achsabschnitts führt dennoch zu einer Verbesserung der erweiterten Messunsicherheiten für den Gesamtdatensatz wie auch in den meisten Einzeldatensätzen.

Mindestanforderung erfüllt? ja

Die Auswertung des Gesamtdatensatzes für beide Prüflinge ergibt für die Messkomponente PM<sub>2,5</sub> einen signifikanten Achsabschnitt.

Die Steigung für den Gesamtdatensatz liegt bei 0,998. Der Achsabschnitt für den Gesamtdatensatz liegt bei 1,322 (siehe Tabelle 23).

Auf Grund der festgestellten Signifikanz, wurde für die Messkomponente PM<sub>2,5</sub> eine Achsabschnittskorrektur des gesamten Datensatzes durchgeführt und mit den korrigierten Werten alle Datensätze neu ausgewertet.

Alle Datensätze erfüllen nach der Korrektur die Anforderungen an die Datenqualität. Die Anwendung eines Korrekturfaktors für das OPSIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub> verbessert die erweiterten Messunsicherheiten nur leicht, bringt aber keinen entscheidenden Vorteil.

Die Version des Leitfadens vom Januar 2010 sowie die Richtlinie DIN EN 16450 verlangen für den Fall des Betriebs der Messeinrichtung in einem Messnetz, dass die Geräte jährlich an einer Anzahl von Messstellen, die wiederum abhängig ist von der höchsten erweiterten Unsicherheit in der Äquivalenzprüfung, überprüft werden. Das entsprechende Kriterium zur Festlegung der Anzahl der Messstellen ist in 5 % Schritte unterteilt (Leitfaden [4], Kapitel 9.9.2, Tabelle 6 bzw. DIN EN 16450 [8], Kapitel 8.6.2, Tabelle 5). Es bleibt festzustellen, dass die höchste ermittelte erweiterte Unsicherheit für PM<sub>2,5</sub> nach Korrektur im Bereich 15 % bis 20 % lag (Rohdaten: 20 % bis 25 %).

Die entsprechende Umsetzung der oben genannten Anforderung zur regelmäßigen Überprüfung in den Messnetzen liegt in der Verantwortung des Messnetzbetreibers oder der zuständigen Behörde des Mitgliedstaates. Allerdings empfiehlt der TÜV Rheinland, dass die erweiterte Unsicherheit des Gesamtdatensatzes des Datensatzes hierzu herangezogen wird, nämlich 14,04 % (PM<sub>2,5</sub>, unkorrigierter Datensatz) respektive 11,37 % (PM<sub>2,5</sub>, Datensatz nach Offset-Korrektur), was wiederum eine jährliche Überprüfung an 3 Messorten (unkorrigiert und korrigiert) erfordern würde.

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 25 zeigt die Ergebnisse der Auswertungen der Äquivalenzprüfung nach Anwendung der Korrekturfaktoren auf den Gesamtdatensatz.

Tabelle 25: Zusammenstellung der Ergebnisse der Äquivalenzprüfung, SN 1236 & SN 1237, Messkomponente PM<sub>2,5</sub> nach Korrektur Achsabschnitt

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Richtlinie DIN EN 16450:2017				
Prüfung	SM 200	SN	SN 1236 / SN 1237	
Status Messwerte	Offset, korrigiert	Grenzwert erlaubte Unsicherheit	30 25	µg/m <sup>3</sup> %
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,51			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,13			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1236 / SN 1237</b>				
Anzahl Wertepaare	175			
Steigung b	0,998			nicht signifikant
Unsicherheit von b	0,015			
Achsabschnitt a	0,000			nicht signifikant
Unsicherheit von a	0,237			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	11,37			%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,50			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,34			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1236 / SN 1237</b>				
Anzahl Wertepaare	50			
Steigung b	1,044			
Unsicherheit von b	0,049			
Achsabschnitt a	-1,464			
Unsicherheit von a	1,243			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	12,38			%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,52			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,05			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1236 / SN 1237</b>				
Anzahl Wertepaare	125			
Steigung b	1,065			
Unsicherheit von b	0,032			
Achsabschnitt a	-0,467			
Unsicherheit von a	0,320			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	14,89			%

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OPIS SM 200 der Firma OPIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Seite 99 von 136

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Richtlinie DIN EN 16450:2017				
Prüfung	SM 200	SN	SN 1236 / SN 1237	
Status Messwerte	Offset, korrigiert	Grenzwert erlaubte Unsicherheit	30 25	µg/m³ %
<b>Köln, Frankf. Str.</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,39	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,35	µg/m³		
	<b>SN 1236</b>		<b>SN 1237</b>	
Anzahl Wertepaare	53		53	
Steigung b	0,998		1,015	
Unsicherheit von b	0,036		0,023	
Achsabschnitt a	-1,534		-1,037	
Unsicherheit von a	0,676		0,443	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	18,86	%	10,86	%
<b>Köln, Parkplatzgelände</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,50	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,96	µg/m³		
	<b>SN 1236</b>		<b>SN 1237</b>	
Anzahl Wertepaare	41		41	
Steigung b	0,993		1,034	
Unsicherheit von b	0,044		0,034	
Achsabschnitt a	0,036		0,182	
Unsicherheit von a	0,829		0,645	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	13,44	%	13,08	%
<b>Furulund, Sommer</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,61	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,29	µg/m³		
	<b>SN 1236</b>		<b>SN 1237</b>	
Anzahl Wertepaare	40		40	
Steigung b	1,035		0,998	
Unsicherheit von b	0,071		0,051	
Achsabschnitt a	0,608		0,678	
Unsicherheit von a	0,509		0,364	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	17,12	%	9,94	%
<b>Furulund, Winter</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,55	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,76	µg/m³		
	<b>SN 1236</b>		<b>SN 1237</b>	
Anzahl Wertepaare	41		41	
Steigung b	1,095		1,094	
Unsicherheit von b	0,018		0,022	
Achsabschnitt a	-0,533		-1,217	
Unsicherheit von a	0,279		0,332	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	16,71	%	13,07	%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m³</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,50	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,34	µg/m³		
	<b>SN 1236</b>		<b>SN 1237</b>	
Anzahl Wertepaare	50		50	
Steigung b	1,053		1,063	
Unsicherheit von b	0,063		0,043	
Achsabschnitt a	-2,082		-1,513	
Unsicherheit von a	1,602		1,09	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	16,49	%	11,02	%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m³</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,52	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,05	µg/m³		
	<b>SN 1236</b>		<b>SN 1237</b>	
Anzahl Wertepaare	125		125	
Steigung b	1,089		1,067	
Unsicherheit von b	0,039		0,030	
Achsabschnitt a	-0,693		-0,478	
Unsicherheit von a	0,391		0,302	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	19,22	%	14,64	%
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,51	µg/m³		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	1,13	µg/m³		
	<b>SN 1236</b>		<b>SN 1237</b>	
Anzahl Wertepaare	175		175	
Steigung b	0,986	nicht signifikant	1,018	nicht signifikant
Unsicherheit von b	0,018		0,014	
Achsabschnitt a	0,036	nicht signifikant	-0,142	nicht signifikant
Unsicherheit von a	0,296		0,219	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	14,49	%	10,77	%



## **6.1 18 Wartungsintervall (7.5.7)**

*Das Wartungsintervall muss mindestens zwei Wochen betragen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Bei dieser Mindestanforderung wurde untersucht, welche Wartungsarbeiten in welchen Zeitabständen für eine einwandfreie Funktionsfähigkeit der Messeinrichtung erforderlich sind.

Weiterhin wurden die Ergebnisse der Driftbestimmung für den Nullpunkt gemäß 6.1 12 Nullpunktprüfungen (7.5.3) zur Ermittlung des Wartungsintervalls berücksichtigt.

## **6.4 Auswertung**

Es konnten für die Messeinrichtungen über den gesamten Feldtestzeitraum keine unzulässigen Driften festgestellt werden.

Das Wartungsintervall wird daher durch die anfallenden Wartungsarbeiten bestimmt:

1. Überprüfung des Gerätestatus  
Der Gerätestatus kann durch Kontrolle der Messeinrichtung selbst oder auch on-line überwacht und kontrolliert werden.
2. Der Probenahmekopf muss prinzipiell nach den Anweisungen des Herstellers gesäubert werden, wobei die örtlichen Schwebstaubkonzentrationen in Betracht zu ziehen sind (in der Eignungsprüfung ca. alle 2 Wochen).
3. Filterwechsel (Filtervorrat 40 Filter = maximale Autonomie 40 Tage)

Es empfiehlt sich – analog der Vorgabe für das Referenzverfahren aus Richtlinie EN 12341:2014, Punkt 7.3 - die Aufstockung des Filtervorrats zusammen mit einer Reinigung der Probenahmeköpfe nach 15 Tagen (für PM<sub>2,5</sub>) vorzunehmen.

4. Monatlich: Prüfung / Reinigung des Gerätes, Durchführung Beta- und pneumatische Tests Die Kalibrierung der Durchflussrate soll gemäß den Angaben des Herstellers alle 3 Monate erfolgen.
5. Alle 6 Monate Austausch der Pumpendichtungen und des Feuchtigkeitsabscheiderfilters der Pumpe
6. Alle 12 Monate: Austausch der Pumpenmembran
7. Spätestens im Rahmen einer jährlichen Grundwartung ist auch auf die Reinigung des Probenahmerohres zu achten.

Zur Durchführung der Wartungsarbeiten sind die Anweisungen im Handbuch (Kapitel 6) zu beachten. Alle Arbeiten lassen sich grundsätzlich mit üblichen Werkzeugen durchführen. Innerhalb der Betriebszeit kann die Wartung auf die Kontrolle von Verschmutzungen, Plausibilitätschecks und etwaigen Status-/Fehlermeldungen beschränkt werden.

## **6.5 Bewertung**

Das Wartungsintervall wird durch die notwendigen Wartungsarbeiten (Wechsel Filter / Reinigung Probenahmekopf) bestimmt und beträgt 15 Tage.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Die notwendigen Wartungsarbeiten können dem Kapitel 6 des Bedienhandbuchs entnommen werden.



## **6.1 19 Automatische Überprüfung (7.5.4)**

*Die Ergebnisse von automatischen/funktionalen Überprüfungen müssen, sofern verfügbar, aufgezeichnet werden.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Der Gerätestatus der Messeinrichtung wird kontinuierlich überwacht und Probleme über eine Reihe von verschiedenen Statusmeldungen angezeigt. Der aktuelle Status der überwachten Kenngrößen kann entweder am Gerät selbst eingesehen werden bzw. wird auch bei der Datenaufzeichnung mit erfasst.

Die Messeinrichtung ermöglicht automatische interne Überprüfungen des pneumatischen Systems (Durchflussüberprüfung und Dichtigkeitsprüfung) sowie des radiometrischen Systems (Dunkelmessrate, Stabilität der radiometrischen Messung). Die Überprüfungen erfolgen bei jedem Neustart der Messung und können auf Wunsch des Nutzers auch regelmäßig während des Betriebs durchgeführt werden. Dabei benötigt der Pneumatiktest in etwa 2 bis 3 Minuten und der Beta-Test ca. 40 min. Der Hersteller empfiehlt den Pneumatiktest in jedem Messzyklus durchzuführen und den Beta-test einmal im Monat.

Werden im Rahmen der internen Tests die zulässigen Grenzen überschritten, so erfolgt eine entsprechende Statusmeldung. Die Ergebnisse des jeweils letzten Tests können unter den jeweiligen Menüs eingesehen werden.

## **6.4 Auswertung**

Alle im Bedienungshandbuch aufgeführten Gerätefunktionen sind vorhanden oder aktivierbar. Der aktuelle Gerätestatus wird kontinuierlich überwacht und Probleme über eine Reihe von verschiedenen Warnmeldungen angezeigt. Eine automatische Überprüfung des pneumatischen systems wie auch des radiometrischen Systems sind möglich und werden aufgezeichnet.

## **6.5 Bewertung**

Alle im Bedienungshandbuch aufgeführten Gerätefunktionen sind vorhanden oder aktivierbar. Der aktuelle Gerätestatus wird kontinuierlich überwacht und Probleme über eine Reihe von verschiedenen Warnmeldungen angezeigt. Eine automatische Überprüfung des pneumatischen systems wie auch des radiometrischen Systems sind möglich und werden aufgezeichnet.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Die verfügbaren Statuswerte können dem Kapitel A.2 des Bedienhandbuchs entnommen werden.

## 6.1 20 Prüfungen der Sensoren für Temperatur, Druck und/oder Luftfeuchte

*Die Überprüfbarkeit der Sensoren der AMS für Temperatur, Druck und/oder Luftfeuchte muss geprüft werden und die ermittelten Abweichungen innerhalb der folgenden Kriterien liegen:*

$T \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

$p \pm 1 \text{ kPa}$

$rF \pm 5 \%$

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Bei dieser Mindestanforderung wird untersucht, ob für die korrekte Messgeräteperformance notwendige Sensoren der AMS für Temperatur, Druck und Luftfeuchte vor Ort im Feld zugänglich bzw. überprüfbar sind. Sind Überprüfungen vor Ort nicht möglich, muss dies dokumentiert werden.

## 6.4 Auswertung

Die Messeinrichtungen vom Typ OPSIS SM 200 verwenden u.a. zur Durchflussregelung meteorologische Sensoren zur Erfassung der Außentemperatur und des Luftdrucks. Des Weiteren wird die rel. Feuchte im Bereich des Filters gemessen.

Die Genauigkeit der Sensoren werden vom Hersteller mit  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{K}$  (Lufttemperatur),  $\pm 3 \%$  (rel. Luftfeuchte) und  $\pm 0,15 \text{ kPa}$  (Luftdruck) angegeben.

Es ist jederzeit möglich mittels Transferstandards vor Ort Vergleichsmessungen durchzuführen und die Sensoren entsprechend bei Abweichungen zu justieren.

## 6.5 Bewertung

Die Sensoren zur Erfassung der Außentemperatur, des Luftdrucks und der relativen Luftfeuchte (Bereich Filter) sind vor Ort überprüfbar und justierbar.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.



## **7. Empfehlungen zum Praxiseinsatz**

### **7.1 Arbeiten im Wartungsintervall (15 Tage)**

Folgende regelmäßige Arbeiten sind an der geprüften Messeinrichtung erforderlich:

- Regelmäßige Sichtkontrolle / Telemetrische Überwachung
- Gerätestatus in Ordnung
- Keine Fehlermeldungen
- Keine Verschmutzungen
- Überprüfung der Gerätefunktionen nach Anweisung des Herstellers
- Filterwechsel (Filtervorrat 40 Filter = maximale Autonomie 40 Tage)
- Die Probenahmeköpfe müssen nach den Anweisungen des Herstellers gesäubert werden, wobei die örtlichen Schwebstaubkonzentrationen in Betracht zu ziehen sind. Diese Arbeiten sollten parallel mit dem notwendigen Austausch der Filter durchgeführt werden.

Im Übrigen sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten.

Es wird empfohlen, dass die Messeinrichtung bei jedem Messzyklus (24 h) standardmäßig eine interne Überprüfung des pneumatischen Systems sowie einmal im Monat eine interne Überprüfung des radiometrischen Systems durchführt. Die Ergebnisse der letztgenannten Prüfung können zur kontinuierlichen Überprüfung der Stabilität der radiometrischen Messung verwendet werden.

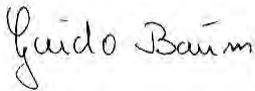
## 7.2 Weitergehende Wartungsarbeiten

Über die regelmäßigen Wartungsarbeiten im Wartungsintervall hinausgehend sind folgende Tätigkeiten durchzuführen:

- Monatlich: Prüfung / Reinigung des Gerätes, Durchführung Beta- und pneumatische Tests Die Kalibrierung der Durchflussrate soll gemäß den Angaben des Herstellers alle 3 Monate erfolgen.
- Alle 6 Monate Austausch der Pumpendichtungen und des Feuchtigkeitsabscheiderfilters der Pumpe
- Alle 12 Monate: Austausch der Pumpenmembran
- Spätestens im Rahmen einer jährlichen Grundwartung ist auch auf die Reinigung des Probenahmerohres zu achten.

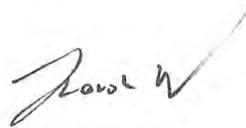
Weitere Einzelheiten können der Bedienungsanleitung entnommen werden.

Immissionsschutz / Luftreinhaltung



---

Dipl.-Ing. Guido Baum



---

Dipl.-Ing. Karsten Pletscher

Köln, 10. September 2021  
936/21251664/A

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmeseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“, Juni 2002
- [2] VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, August 2004
- [3] Europäische Norm EN 14907, „Luftbeschaffenheit – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>2,5</sub>-Massenfraktion des Schwebstaubs“, Deutsche Fassung EN 14907: 2005
- [4] Leitfaden „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“, Englische Fassung von November 2005 (Erstprüfung) bzw. vom Januar 2010 (Neubewertung)
- [5] Bedienungshandbuch SM 200, Stand 08/21, Ausgabe 6
- [6] Bedienungshandbuch LVS3, Stand 2000
- [7] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa
- [8] Europäische Norm EN 16450, „Außenluft – Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>); Deutsche Fassung EN 16450 vom Juli 2017
- [9] TÜV Rheinland Bericht Nr. 936/21205849/A vom 26. März 2009; Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmeseinrichtung OPSIS SM 200 mit PM<sub>2,5</sub>-Vorabscheider der Firma OPSIS AB für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>
- [10] Stellungnahme der TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH vom 6. Oktober 2010
- [11] Stellungnahme der TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH vom 30. September 2013

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Seite 107 von 136

## 1. Schwebstaub (PM<sub>2,5</sub>-Fraktion)

### 1.1 OP SIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub>

#### Hersteller:

OP SIS AB, Furulund, Schweden

#### Eignung:

Zur kontinuierlichen Immissionsmessung der PM<sub>2,5</sub>-Fraktion im Schwebstaub im stationären Einsatz

#### Messbereich bei der Eignungsprüfung:

PM<sub>2,5</sub>: 0 200 µg/m<sup>3</sup>

#### Softwareversion:

1.04.10

#### Hinweise:

1. Die Anforderungen gemäß des Leitfadens Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods werden für die Messkomponente PM<sub>2,5</sub> eingehalten.
2. Die Messeinrichtung wird auch von der Firma Aeris AB, Box 244, 244 02 Furulund, Schweden vertrieben.
3. Die Linearitätsprüfung der radiometrischen Messung erfordert verschiedene Referenzfolien des Geräteherstellers.
4. Das Ansaugrohr muss bis zum Analysator mit Außenluft gespült werden.
5. Die Messeinrichtung ist mit dem gravimetrischen PM<sub>2,5</sub>-Referenzverfahren nach DIN EN 14907 regelmäßig am Standort zu kalibrieren.

#### Prüfinstitut:

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH, Köln  
Bericht Nr.: 936/21205849/A vom 26. März 2009

Abbildung 43: Erstbekanntgabe BAnz. vom 25. August 2009, S. 2533, Kapitel II Nummer 1.1

### 3 Mitteilung zur Bekanntmachung des Umweltbundesamtes vom 3. August 2009 (BAnz. S. 2929, Kapitel II Nummer 2.1)

Die Messeinrichtung OP SIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub> der Fa. OP SIS AB erfüllt die Anforderungen der DIN EN 14907 sowie des -Leitfadens zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Immissionsmeseinrichtungen in der Version vom November 2005. Darüber hinaus erfüllt die Herstellung und das Qualitätsmanagement der Mess-einrichtung OP SIS SM 200 für PM<sub>2,5</sub> die Anforderungen der DIN EN 15267.

Der Prüfbericht über die Eignungsprüfung ist im Internet unter [www.qal1.de](http://www.qal1.de) einsehbar.  
Stellungnahme der TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH vom 6. Oktober 2010

Abbildung 44: Bekanntgabe Mitteilung BAnz. vom 26. Januar 2011, S. 294, Kapitel IV 3. Mitteilung

### 31 Mitteilung zu den Bekanntmachungen des Umweltbundesamtes vom 3. August 2009 (BAnz. S. 2929, Kapitel II Nummer 2.1) und vom 10. Januar 2011 (BAnz. S. 294, Kapitel IV 3. Mitteilung)

Die aktuelle Softwareversion für die Messeinrichtung SM 200 für PM<sub>2,5</sub> der Fa. Opsis AB lautet: 1.04.17

Die Messeinrichtung wird ab der Seriennummer SN 1513 mit einer alternativen <sup>14</sup>C-Strahlenquelle der Fa. Eckert & Ziegler, D ausgerüstet.

Stellungnahme der TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH vom 30. September 2013

Abbildung 45: Bekanntgabe Mitteilung BAnz AT 01.04.2014 B12, Kapitel VI 31. Mitteilung

## **9. Anlagen**

### **Anhang 1 Mess- und Rechenwerte**

- Anlage 1: Nullniveau und Nachweisgrenze
- Anlage 2: Genauigkeit des Volumenstroms
- Anlage 3: Temperaturabhängigkeit des Nullpunktes und der Empfindlichkeit
- Anlage 4: Netzspannungsabhängigkeit
- Anlage 5: Messwerte aus den Feldteststandorten
- Anlage 6: Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten

### **Anhang 2 Handbuch**

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Anlage 1

Nullniveau und Nachweisgrenze

Blatt 1 von 1

<p>Hersteller OPSIS</p> <p>Gerätetyp SM 200</p> <p>Serien-Nr. SN 1712 / SN 1724</p>					Standards	NP	Messwerte mit Nullfilter
Nr.	Datum	Messwerte [µg/m³] SN 1712	Datum	Messwerte [µg/m³] SN 1724			
1	11.05.2021	0,4	11.05.2021	1,7			
2	12.05.2021	-0,3	12.05.2021	1,8			
3	13.05.2021	0,2	13.05.2021	0,9			
4	14.05.2021	-0,2	14.05.2021	1,1			
5	15.05.2021	-0,6	15.05.2021	1,4			
6	16.05.2021	-0,1	16.05.2021	1,6			
7	17.05.2021	-0,4	17.05.2021	1,4			
8	18.05.2021	-0,3	18.05.2021	1,5			
9	19.05.2021	-0,3	19.05.2021	2,0			
10	20.05.2021	0,3	20.05.2021	1,7			
11	21.05.2021	-0,2	21.05.2021	1,3			
12	22.05.2021	-0,4	22.05.2021	1,5			
13	23.05.2021	0,3	23.05.2021	0,8			
14	24.05.2021	0,3	24.05.2021	1,3			
15	25.05.2021	-0,5	25.05.2021	0,6			
	Anzahl Werte	15	Anzahl Werte	15	$s_{x_0} = \sqrt{\left(\frac{1}{n-1}\right) \cdot \sum_{i=1,n} (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}$		
	Mittelwert (Nullniveau)	-0,12	Mittelwert (Nullniveau)	1,37			
	Standardabweichung $s_{x_0}$	0,33	Standardabweichung $s_{x_0}$	0,39			
	Nachweisgrenze X	<b>1,10</b>	Nachweisgrenze X	<b>1,28</b>			

**Anlage 2**

**Genauigkeit des Volumenstroms**

**Blatt 1 von 1**

<b>Hersteller</b>	OP SIS						<b>Solldurchflussrate [l/min]</b>	38,333	
<b>Gerätetyp</b>	SM200								
<b>Serien-Nr.</b>	SN 1712 / SN 1724								
Temperatur 1	5°C	SN 1712			SN 1724				
		Nr.	Datum/Uhrzeit	Messwert [l/min]	Nr.	Datum/Uhrzeit	Messwert [l/min]		
		1	05.08.2021 14:34	38,103	1	05.08.2021 14:37	38,015		
		2	05.08.2021 14:40	38,098	2	05.08.2021 14:43	38,634		
		3	05.08.2021 14:46	37,928	3	05.08.2021 14:49	38,635		
		4	05.08.2021 13:52	37,902	4	05.08.2021 13:55	38,542		
		5	05.08.2021 13:58	37,972	5	05.08.2021 14:01	38,745		
		6	05.08.2021 14:04	38,043	6	05.08.2021 14:07	38,702		
		7	05.08.2021 14:10	38,139	7	05.08.2021 14:13	38,638		
		8	05.08.2021 14:16	37,904	8	05.08.2021 14:19	38,392		
		9	05.08.2021 14:22	38,086	9	05.08.2021 14:25	38,553		
10	05.08.2021 14:28	38,236	10	05.08.2021 14:31	38,777				
		<b>Mittelwert</b>	<b>38,041</b>		<b>Mittelwert</b>	<b>38,563</b>			
Temperatur 2	40°C	SN 1712			SN 1724				
		Nr.	Datum/Uhrzeit	Messwert [l/min]	Nr.	Datum/Uhrzeit	Messwert [l/min]		
		1	05.08.2021 05:46	38,761	1	05.08.2021 05:49	38,968		
		2	05.08.2021 05:52	38,830	2	05.08.2021 05:55	38,973		
		3	05.08.2021 05:58	38,910	3	05.08.2021 06:01	38,917		
		4	05.08.2021 06:04	38,739	4	05.08.2021 06:07	39,077		
		5	05.08.2021 06:10	38,825	5	05.08.2021 06:13	38,991		
		6	05.08.2021 06:16	38,782	6	05.08.2021 06:19	39,002		
		7	05.08.2021 06:22	38,985	7	05.08.2021 06:25	38,959		
		8	05.08.2021 06:28	38,803	8	05.08.2021 06:31	38,927		
		9	05.08.2021 06:34	38,814	9	05.08.2021 06:37	38,949		
10	05.08.2021 06:40	38,932	10	05.08.2021 06:43	39,013				
		<b>Mittelwert</b>	<b>38,838</b>		<b>Mittelwert</b>	<b>38,978</b>			

**Anlage 3**

**Umgebungstemperaturabhängigkeit am Nullpunkt**

**Blatt 1 von 2**

<b>Hersteller</b>		OP SIS					
<b>Gerätetyp</b>		SM 200					
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1236 / SN 1237					
			Messung 1	Messung 2	Messung 3		
SN 1236	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Messwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Messwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert aus 3 Messungen [µg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert bei 20°C [µg/m <sup>3</sup> ]
NP	1	20	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1
	2	5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	
	3	20	0,1	0,1	0,4	0,2	
	4	40	-0,1	-0,2	-0,4	-0,3	
	5	20	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	
SN 1237	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Messwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Messwert [µg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert aus 3 Messungen [µg/m <sup>3</sup> ]	Mittelwert bei 20°C [µg/m <sup>3</sup> ]
NP	1	20	0,1	0,3	0,4	0,3	0,0
	2	5	-0,3	-0,1	-0,6	-0,3	
	3	20	0,1	0,1	-0,7	-0,2	
	4	40	-0,2	-0,5	-0,6	-0,4	
	5	20	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	

**Anlage 3**

**Umgebungstemperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit (Span)**

**Blatt 2 von 2**

<b>Hersteller</b>		OP SIS		<b>Verwendeter Prüfstandard</b> Referenzfolie			
<b>Gerätetyp</b>		SM 200					
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1236 / SN 1237					
			Messung 1	Messung 2	Messung 3		
SN 1236	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [mg]	Messwert [mg]	Messwert [mg]	Mittelwert aus 3 Messungen [mg]	Mittelwert bei 20°C [mg]
RP	1	20	35,62	35,54	35,62	35,59	35,61
	2	5	35,71	35,60	35,58		
	3	20	35,73	35,61	35,57		
	4	40	35,15	35,48	35,22		
	5	20	35,72	35,47	35,64		
SN 1237	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [mg]	Messwert [mg]	Messwert [mg]	Mittelwert aus 3 Messungen [mg]	Mittelwert bei 20°C [mg]
RP	1	20	35,83	35,84	35,87	35,85	35,83
	2	5	35,83	35,87	35,85		
	3	20	35,84	35,84	35,82		
	4	40	35,50	35,55	35,51		
	5	20	35,80	35,86	35,73		

**Anlage 4**

**Netzspannungsabhängigkeit der Empfindlichkeit (Span)**

**Blatt 1 von 1**

<b>Hersteller</b>		OP SIS		<b>Verwendeter Prüfstandard</b> Interne Referenzblenden			
<b>Gerätetyp</b>		SM 200					
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1712 / SN 1724					
			Messung 1	Messung 2	Messung 3		
SN 1712	Nr.	Netzspannung [V]	Messwert [-]	Messwert [-]	Messwert [-]	Mittelwert aus 3 Messungen [-]	
RP	1	230	1,3417	1,3456	1,3428	1,3434	
	2	195	1,3451	1,3471	1,3471	1,3464	
	3	230	1,3451	1,3427	1,3462	1,3447	
	4	253	1,3437	1,3427	1,3449	1,3438	
	5	230	1,3476	1,3435	1,3465	1,3459	
SN 1724	Nr.	Netzspannung [V]	Messwert [-]	Messwert [-]	Messwert [-]	Mittelwert aus 3 Messungen [-]	
RP	1	230	1,3594	1,3598	1,3582	1,3591	
	2	195	1,3597	1,3587	1,3584	1,3589	
	3	230	1,3562	1,3592	1,3582	1,3579	
	4	253	1,3600	1,3592	1,3604	1,3598	
	5	230	1,3601	1,3587	1,3589	1,3592	

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 1 von 11**

<p><b>Hersteller</b> OPSIS AB</p> <p><b>Messbereich</b> 0 bis 200 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></p> <p><b>Gerätetyp</b> SM 200</p> <p><b>Serien-Nr.</b> SN1236 &amp; SN1237</p> <p>Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> i.B.</p>								
Nr.	Datum	Ref. PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 1 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 2 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN1236 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN1237 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkung	Standort
1	17.11.2006	15,2	11,1	11,2	17,1	16,8		Köln, Frankfurter Str.
2	18.11.2006	21,7	15,9	16,1	17,8	17,1		
3	19.11.2006	19,9	18,8	18,2	16,6	18,7		
4	20.11.2006	13,7	11,0	10,3	12,8	10,6		
5	21.11.2006	19,5	14,7	14,7	14,0	14,9		
6	22.11.2006							
7	23.11.2006						NP/RP Test	
8	24.11.2006	19,9	13,4	13,2	11,6	12,4	NP/RP Test	
9	25.11.2006	13,2			8,7	8,2		
10	26.11.2006	20,9			14,5	14,8		
11	27.11.2006	33,4	22,4	22,7	20,2	21,9		
12	28.11.2006	33,7	22,4	22,7	22,2	22,7		
13	29.11.2006	41,7	27,4	28,5	24,6	25,2		
14	30.11.2006	31,0	26,0	25,3	24,2	23,5		
15	01.12.2006	30,8	25,9	25,6	22,5	23,7		
16	02.12.2006	31,9			23,3	23,2		
17	03.12.2006	12,8			8,0	7,7		
18	04.12.2006	10,6	8,4	8,9	6,0	5,4		
19	05.12.2006	11,5	7,9	9,4	6,7	6,7		
20	06.12.2006	20,1	10,9	11,5	12,3	11,6		
21	07.12.2006	9,0	6,9	6,9	7,1	9,0		
22	08.12.2006	8,6			6,6	6,2		
23	09.12.2006	29,2			18,6	19,7		
24	10.12.2006	20,6			14,3	16,5		
25	11.12.2006	10,3	6,5	6,8	6,0	6,3		
26	12.12.2006	21,7					Stromausfall	
27	13.12.2006	17,9	10,7	10,5	10,5	11,4		
28	14.12.2006	26,6	15,6	14,6	16,1	16,7		
29	15.12.2006	26,6	17,8	18,1	19,1	20,2		
30	16.12.2006	25,5			18,0	18,7		

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Seite 115 von 136

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 2 von 11

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft	
Messbereich		0 bis 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Messwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i.B.	
Gerätetyp		SM 200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 1 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 2 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1236 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1237 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkung	Standort
31	17.12.2006	27,5			18,8	19,9		Köln, Frankfurter Str.
32	18.12.2006	57,3					NP/RP Test	
33	19.12.2006	43,3					NP/RP Test	
34	20.12.2006	67,4					Wassereinbruch; Filter überladen	
35	21.12.2006						Abbruch / Neustart	
36	22.12.2006	33,5			27,0	27,1		
37	23.12.2006	24,8			19,4	20,7		
38	24.12.2006	28,8			25,9	26,3		
39	25.12.2006	14,5			12,3	13,0		
40	26.12.2006	33,0			27,5	28,0		
41	27.12.2006	31,2	28,6	28,8	26,1	27,8		
42	28.12.2006	33,9			29,0	28,2		
43	29.12.2006	28,8			25,5	27,0		
44	30.12.2006	14,6			13,5	11,2		
45	31.12.2006	20,1			16,3	15,3		
46	01.01.2007	11,2			8,7	7,9		
47	02.01.2007	19,9			10,5	11,4		
48	03.01.2007	15,2			10,5	9,8		
49	04.01.2007	15,4			8,6	9,2		
50	05.01.2007				8,9	8,7		
51	06.01.2007				10,7	10,8		
52	07.01.2007				9,2	6,7		
53	08.01.2007	6,9	4,1	4,3	4,3	4,3		
54	09.01.2007	9,3	5,0	4,8	5,4	5,8		
55	10.01.2007	11,7	6,6	6,4	1,6	7,4		
56	11.01.2007	14,5	7,0	7,0	0,7	8,6		
57	12.01.2007	18,7	8,5	8,3	8,1	8,8		
58	13.01.2007	7,5			8,6	5,7		
59	14.01.2007	20,2	11,1	11,5	12,8	12,2		
60	15.01.2007	23,5	15,8	16,1	16,5	16,5		

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 3 von 11**

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich		0 bis 200 µg/m³						
Gerätetyp		SM 200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
61	16.01.2007	23,8	17,7	18,8	18,1	19,3		Köln, Frankf. Str.
62	17.01.2007	10,8	7,6	7,8	8,3	7,6		
63	18.01.2007	8,4	5,6	4,9	5,2	5,1		
64	19.01.2007	13,5			7,2	8,0		
65	20.01.2007	12,2	6,5	6,3	7,0	6,2		
66	21.01.2007	12,4						
67	22.01.2007	18,9						
68	23.01.2007	17,8						
69	24.01.2007	33,3	28,2	27,1	28,9	28,4		
70	25.01.2007	31,6	26,6	26,4	26,9	28,3		
71	26.01.2007	33,5	23,9	24,5	20,9	24,5		
72	27.01.2007	23,5			15,4	14,4		
73	28.01.2007	18,4			14,1	15,3		
74	29.01.2007	27,3	18,0	18,2	17,5	18,3		
75	30.01.2007	35,3	22,8	22,8	24,2	23,6		
76	31.01.2007	34,2	25,6	25,9	25,6	26,3		
77	01.02.2007	50,9	32,2	32,4	29,9	31,6		
78	02.02.2007	37,3	26,5	26,6	30,3	27,3		
79	03.02.2007	45,1			27,1	28,7		
80	04.02.2007	30,4			24,2	23,1		
81	05.02.2007	51,4	40,2	40,8	41,8	44,0		
82	06.02.2007	34,0	23,8	22,8	26,3	25,5		
83	07.02.2007	50,8	39,9	39,9	36,8	40,8		
84	08.02.2007	16,9	11,3	10,9	12,7	12,1		
85	09.02.2007	33,3	26,5	26,1	25,4	26,6		
86	10.02.2007	21,3			15,4	16,0		
87	11.02.2007	13,7			7,1	7,7		
88	12.02.2007	11,1	6,7	5,7	7,0	6,6		
89	13.02.2007	21,3	10,6	10,8	10,2	10,8		
90	14.02.2007	20,1	14,6	14,6	15,8	15,4		

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OPSIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Seite 117 von 136

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 4 von 11

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft	
Messbereich		0 bis 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Messwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i.B.	
Gerätetyp		SM 200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 1 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 2 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1236 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1237 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkung	Standort
91	15.02.2007	27,5	14,9	14,5	17,3	17,9		Köln, Frankf. Str.
92	16.02.2007	16,4			12,7	13,6		
93	17.02.2007	24,6	22,5	21,5	16,6	22,3		
94	18.02.2007	57,8			49,1	50,7		
95	19.02.2007	46,6			36,6	42,0		
96	20.02.2007	41,1			33,3	36,0		
97	21.02.2007	32,6			22,5	27,0		
98	22.02.2007	33,1	21,4	20,5	23,2	23,9		
99	23.02.2007	26,1	17,5	17,5	14,9	18,3		
100	24.02.2007	10,3	6,7	6,5	8,1	8,0		
101	25.02.2007	11,4			6,1	8,3		
102	26.02.2007	17,9	10,2	10,5	12,5	10,9		
103	27.02.2007	17,3			7,3	10,0		
104	28.02.2007				7,9	6,2		
105	31.03.2007	32,1			32,0	32,9		Köln, Parkplatz
106	01.04.2007	29,7			25,3	26,7		
107	02.04.2007	50,1			40,3	40,3		
108	03.04.2007	24,8	18,4	19,2	22,0	21,7		
109	04.04.2007	15,1	9,3	9,6	13,5	14,0		
110	05.04.2007	43,0	27,2	27,0	31,2	32,2		
111	06.04.2007	53,3			30,8	31,3		
112	07.04.2007	34,5			31,1	31,4		
113	08.04.2007	39,7	33,0	32,8	33,6	35,6		
114	09.04.2007	34,7			25,9	26,0		
115	10.04.2007	38,5	25,1	24,5	25,2	25,4		
116	11.04.2007	44,9	30,8	30,0	31,5	32,6		
117	12.04.2007	32,7	19,0	20,1	22,3	22,8		
118	13.04.2007	31,6	17,9	19,2	21,5	21,2		
119	14.04.2007	23,8			19,6	18,9		
120	15.04.2007	22,9	15,9	15,3	20,8	19,2		

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 5 von 11**

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich		0 bis 200 µg/m³						
Gerätetyp		SM 200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
121	16.04.2007	39,1	27,2	27,5	28,8	28,6		Köln, Parkplatz
122	17.04.2007	37,4	22,9	23,1	25,8	24,0		
123	18.04.2007	24,2	13,5	12,7	16,1	16,6		
124	19.04.2007	41,4	27,1	26,3	25,9	26,9		
125	20.04.2007	23,0	12,9	12,7	15,5	15,4		
126	21.04.2007	20,4			14,9	15,3		
127	22.04.2007	25,2			16,8	19,4		
128	23.04.2007	32,4	19,3	19,7	21,4	21,5		
129	24.04.2007	30,2	19,2	18,6	19,5	19,9		
130	25.04.2007	21,5	15,1	14,9	17,6	18,6		
131	26.04.2007	26,0	17,3	16,9	21,7	21,6		
132	27.04.2007	35,7	23,2	22,8	25,8	27,0		
133	28.04.2007	33,1			27,5	28,6		
134	29.04.2007	16,5			15,2	15,6		
135	30.04.2007	15,9	8,0	8,9	10,8	11,6		
136	01.05.2007	12,3			10,1	9,8		
137	02.05.2007	19,6	9,2	9,6	12,4	13,3		
138	03.05.2007	24,3	13,1	13,7	17,0	17,7		
139	04.05.2007	25,9	15,6	16,1	17,8	17,9		
140	05.05.2007	26,8			17,1	17,6		
141	06.05.2007	29,0			15,7	17,5		
142	07.05.2007	10,7					NP/RP-Test NP/RP-Test	
143	08.05.2007	18,1						
144	09.05.2007	16,5	7,6	7,2	7,8	9,2		
145	10.05.2007	18,3	11,4	10,4	13,2	11,5		
146	11.05.2007	15,6	6,7	7,8	9,3	8,7		
147	12.05.2007	16,1			6,6	7,7		
148	13.05.2007	15,2			8,9	10,3		
149	14.05.2007	12,7	4,3	4,6	6,1	7,0		
150	15.05.2007	14,2			8,3	9,2	Ausreisser Referenz	

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OPSIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 6 von 11**

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft	
Messbereich		0 bis 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Messwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i.B.	
Gerätetyp		SM 200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 1 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 2 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1236 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1237 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkung	Standort
151	16.05.2007	13,2			7,1	7,2		Köln. Parkplatz
152	17.05.2007	16,2	12,5	12,1	11,7	13,6		
153	18.05.2007	14,0			9,6	11,0		
154	19.05.2007	18,0			11,5	11,4		
155	20.05.2007	20,7			13,8	15,3		
156	21.05.2007	42,6	26,7	28,3	26,5	30,4		
157	22.05.2007	42,6	26,2	25,6	25,0	28,8		
158	23.05.2007	23,8	15,8	17,2	16,7	18,9		
159	24.05.2007	37,4	26,8	27,3	25,1	28,8		
160	25.05.2007	36,1	25,4	25,6	24,6	27,0		
161	26.05.2007	24,1			16,8	18,2		
162	27.05.2007	15,2	11,8	12,1	10,4	11,3		
163	28.05.2007	11,1			5,9	7,1		
164	29.05.2007	14,3			12,0	12,0		
165	30.05.2007	12,3	9,7	9,9	8,5	9,8		
166	31.05.2007	12,9	8,7	9,2	8,9	10,0		
167	01.06.2007	26,5	19,0	20,1	19,2	21,6		
168	02.06.2007	18,3			13,0	14,0		
169	03.06.2007	17,2	16,5	17,0	13,3	14,5		
170	04.06.2007	27,9	13,1	13,5	13,3	14,3		
171	05.06.2007	15,6	13,0	12,4	13,1	13,6		
172	06.06.2007	18,0	15,4	16,7	14,7	16,4		
173	07.06.2007	28,6			22,5	23,8		
174	08.06.2007	38,6			25,1	25,6		
175	09.06.2007	33,1			19,4	20,9		
176	05.07.2007	9,7			10,2	10,4	Furulund, Sommer	
177	06.07.2007	9,5	5,6	5,6	8,0	8,2		
178	07.07.2007	7,9	2,2	2,1	5,0	6,7		
179	08.07.2007	8,7	2,4	3,2	4,8	6,6		
180	09.07.2007	8,0	3,0	3,9	6,6	6,6		

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 7 von 11**

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich		0 bis 200 µg/m³						
Gerätetyp		SM 200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
181	10.07.2007	9,7			0,7	6,9		Furulund, Sommer
182	11.07.2007	7,2	2,0	1,7	5,2	5,2	Stromausfall	
183	12.07.2007	8,8						
184	13.07.2007	13,2			8,4	8,8		
185	14.07.2007	12,7	4,9	4,7	11,2	8,8		
186	15.07.2007	8,5					NP/RP-Check	
187	16.07.2007	14,5					NP/RP-Check	
188	17.07.2007	14,3					NP/RP-Check	
189	18.07.2007	12,0	4,8	4,6	12,0	9,2		
190	19.07.2007	8,3	1,9	3,2	7,2	5,4		
191	20.07.2007	9,7	5,0	5,8	4,1	6,5		
192	21.07.2007	12,2			13,9	7,4		
193	22.07.2007	6,6					Beta Status 128 Ausfall 1236	
194	23.07.2007	8,7					Beta Status 128 Ausfall 1236	
195	24.07.2007	10,3	5,3	3,3	9,6	7,0		
196	25.07.2007	11,5	6,1	6,5	7,7	7,0		
197	26.07.2007	14,0	10,4	10,6	12,7	10,8		
198	27.07.2007	12,2	4,7	4,4	8,2	6,2		
199	28.07.2007	9,3			4,5	4,3		
200	29.07.2007	7,4			3,2	3,6		
201	30.07.2007	8,0	0,7	0,9	2,4	4,4		
202	31.07.2007	9,5	1,7	1,5	3,9	4,2		
203	01.08.2007	12,3	7,6	7,0	10,7	8,9		
204	02.08.2007	15,1			12,8	10,0	Ausreisser Referenz	
205	03.08.2007	8,7	3,3	0,7	7,5	5,6		
206	04.08.2007	16,7			17,1	16,4		
207	05.08.2007	15,4			12,8	11,9		
208	06.08.2007	15,3	9,6	11,3	12,7	11,4		
209	07.08.2007	16,2	9,5	8,5	12,3	11,7		
210	08.08.2007	14,6	8,9	9,2	11,8	10,5		

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OPSIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 8 von 11

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft	
Messbereich		0 bis 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Messwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i.B.	
Gerätetyp		SM 200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 1 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 2 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1236 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1237 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkung	Standort
211	09.08.2007	17,1	10,2	12,2	12,6	11,5	Ausreisser Ref	Furulund, Sommer
212	10.08.2007	26,5			19,2	17,4		
213	11.08.2007	17,2			13,2	13,2		
214	12.08.2007	13,4			13,8	11,0		
215	13.08.2007	8,6	7,8	8,6	11,1	9,0		
216	14.08.2007	15,9	10,9	11,3	11,5	11,1		
217	15.08.2007	11,5	7,4	7,4	10,1	11,4		
218	16.08.2007	8,4	4,6	5,4	5,8	5,5		
219	17.08.2007	6,4	2,5	2,9	3,7	3,8		
220	18.08.2007	10,4			6,7	6,5		
221	19.08.2007	13,1			10,8	9,2		
222	20.08.2007	13,4	9,0	9,8	12,2	10,8		
223	21.08.2007	15,9	12,0	12,6	13,2	14,2		
224	22.08.2007	18,4	15,3	15,7	16,1	18,7		
225	23.08.2007	21,8	19,8	20,1	20,1	22,4		
226	24.08.2007	10,9	7,4	8,0	8,3	9,4		
227	25.08.2007	7,4			4,0	4,6		
228	26.08.2007	8,4	2,6	3,3	3,6	3,1		
229	27.08.2007	4,5	1,3	2,0	2,5	2,2		
230	28.08.2007	1,7						
231	29.08.2007	7,3						
232	30.08.2007	6,4						
233	31.08.2007	9,1	2,1	1,4	5,2	5,9		
234	01.09.2007	5,5	3,0	2,8	2,3	3,4		
235	02.09.2007	2,0	2,2	1,7	4,4	3,6		
236	03.09.2007	7,5	0,6	1,3	0,9	2,5		
237	04.09.2007	9,2	0,7	0,7	0,2	1,4		
238	05.09.2007	7,4	4,1	3,3	3,5	3,7		
239	06.09.2007	8,3	2,7	3,4	3,5	4,2		
240	07.09.2007	5,5			3,0	3,6		

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 9 von 11**

<b>Hersteller</b>		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft	
<b>Messbereich</b>		0 bis 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Messwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i.B.	
<b>Gerätetyp</b>		SM 200						
<b>Serien-Nr.</b>		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 1 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 2 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1236 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1237 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkung	Standort
241	08.09.2007	4,4			3,9	3,9		Furulund, Sommer
242	09.09.2007	8,1			2,8	3,4		
243	24.12.2008	nicht erfasst			5,1	3,5		Furulund, Winter
244	25.12.2008				4,8	3,8		
245	26.12.2008				9,6	8,6		
246	27.12.2008				8,2	7,7		
247	28.12.2008				6,5	5,5		
248	29.12.2008				11,9	11,2		
249	30.12.2008				33,3	31,8		
250	31.12.2008				32,7	32,0		
251	01.01.2009				12,9	11,4		
252	02.01.2009				4,9	4,8		
253	03.01.2009				2,8	2,4		
254	04.01.2009				3,6	3,0		
255	05.01.2009				11,5	11,7		
256	06.01.2009				4,6	4,2		
257	07.01.2009				6,1	5,5		
258	08.01.2009				10,0	9,4		
259	09.01.2009		7,1	6,3	8,5	8,6		
260	10.01.2009				23,7	22,0		
261	11.01.2009		26,2	26,5	28,5	27,7		
262	12.01.2009		18,3	18,2	21,7	20,4		
263	13.01.2009				13,0	11,9		
264	14.01.2009		4,9	4,9	7,5	6,8		
265	15.01.2009		3,0	4,0	5,5	5,3		
266	16.01.2009		5,1	3,3	4,3	4,0		
267	17.01.2009		28,3	27,0	30,1	28,7		
268	18.01.2009		18,0	17,2	21,1	20,1		
269	19.01.2009		9,5	9,4	11,5	10,8		
270	20.01.2009		12,7	11,6	13,6	12,3	Ausreisser Referenz	

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OPSIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 10 von 11

Hersteller		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft Messwerte in µg/m³ i.B.	
Messbereich		0 bis 200 µg/m³						
Gerätetyp		SM 200						
Serien-Nr.		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [µg/m³]	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	SN 1236 PM2,5 [µg/m³]	SN 1237 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
271	21.01.2009	nicht erfasst	12,1	11,5	14,5	14,1		Furulund, Winter
272	22.01.2009		17,3	17,1	21,1	20,7		
273	23.01.2009		16,1	16,3	21,3	20,9		
274	24.01.2009				11,3	10,2		
275	25.01.2009				8,2	6,9		
276	26.01.2009		6,7	7,1	8,6	8,4		
277	27.01.2009		7,5	7,0	7,2	6,8		
278	28.01.2009		14,5	12,5	15,3	17,0		
279	29.01.2009		19,2	18,3	20,9	20,4		
280	30.01.2009		6,0	6,2	7,4	4,2		
281	31.01.2009				6,3	5,7		
282	01.02.2009		5,6	6,3	8,6	7,8		
283	02.02.2009		12,0	11,6	13,7	13,2		
284	03.02.2009		20,9	21,1	25,4	23,9		
285	04.02.2009		35,0	36,2	38,9	39,0		
286	05.02.2009		35,0	35,2	39,2	38,8		
287	06.02.2009		27,7	26,5	30,2	29,0		
288	07.02.2009				17,2	15,7		
289	08.02.2009		4,0	5,7	4,6	4,1		
290	09.02.2009		17,7	18,2	20,9	19,9		
291	10.02.2009				13,1	12,3		
292	11.02.2009		5,5	5,9	6,9	6,4		
293	12.02.2009		6,4	6,4	7,7	7,1		
294	13.02.2009		6,9	7,3	8,1	8,0		
295	14.02.2009				10,1	10,4		
296	15.02.2009		13,8	14,7	16,7	16,4		
297	16.02.2009		3,5	2,9	5,2	3,8		
298	17.02.2009		7,5	7,5	7,5	7,0		
299	18.02.2009		11,0	12,1	12,3	11,8		
300	19.02.2009		8,3	8,0	9,6	8,6		

**Anlage 5**

**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**

**Blatt 11 von 11**

<b>Hersteller</b>		OP SIS AB					Schwebstaub PM2,5, Außenluft	
<b>Messbereich</b>		0 bis 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Messwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i.B.	
<b>Gerätetyp</b>		SM 200						
<b>Serien-Nr.</b>		SN1236 & SN1237						
Nr.	Datum	Ref. PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 1 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ref. 2 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1236 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	SN 1237 PM2,5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkung	Standort
301	20.02.2009	nicht erfasst			11,6	10,3		Furulund, Winter
302	21.02.2009				13,8	13,0		
303	22.02.2009				7,4	6,9		
304	23.02.2009				16,6	15,5		
305	24.02.2009				12,8	12,0		
306	25.02.2009		8,2	8,3	9,1	9,0		
307	26.02.2009		3,5	4,4	5,4	5,4		
308	27.02.2009		4,4	4,2	4,7	4,0		
309	28.02.2009		5,4	4,9	6,5	5,0		
310	01.03.2009		16,2	16,6	17,7	16,5		
311	02.03.2009		15,5	15,4	18,4	16,2		
312	03.03.2009		19,8	20,1	21,4	20,5		
313	04.03.2009				40,4	37,6		
314	05.03.2009				29,4	27,6		
315	06.03.2009				18,3	16,2		
316	07.03.2009				18,5	16,7		
317	08.03.2009				11,6	11,1		
318	09.03.2009				11,0	10,9		

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 1 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
1	17.11.2006	Köln,	11,2	1003	74,4	1,9	182	0,3
2	18.11.2006	Frankfurter Str.	8,3	1012	77,1	0,3	194	1,2
3	19.11.2006		6,0	1011	82,7	1,4	199	10,0
4	20.11.2006		9,9	1000	80,1	0,1	282	13,6
5	21.11.2006		7,1	992	76,4	0,4	218	2,4
6	22.11.2006		7,5	992	72,9	2,6	208	6,5
7	23.11.2006		10,2	989	80,7	1,6	203	11,2
8	24.11.2006		13,3	994	70,3	4,5	183	0,0
9	25.11.2006		15,3	1002	63,7	2,4	202	0,3
10	26.11.2006		12,1	1013	71,6	1,0	169	0,3
11	27.11.2006		12,2	1014	72,9	3,0	182	0,0
12	28.11.2006		10,1	1014	76,7	2,3	180	1,5
13	29.11.2006		6,9	1027	79,9	0,4	204	0,3
14	30.11.2006		7,3	1024	76,6	3,4	175	0,0
15	01.12.2006		8,9	1016	71,3	3,7	187	0,0
16	02.12.2006		10,1	1008	72,2	2,9	195	0,0
17	03.12.2006		11,0	997	66,9	3,0	215	4,7
18	04.12.2006		11,9	997	73,2	1,5	237	5,1
19	05.12.2006		13,9	994	66,1	2,6	230	1,8
20	06.12.2006		9,6	1002	65,4	1,3	212	0,0
21	07.12.2006		10,2	992	66,8	4,4	199	1,8
22	08.12.2006		10,0	989	70,6	3,2	233	4,7
23	09.12.2006		6,5	1010	76,0	1,0	275	0,3
24	10.12.2006		5,7	1021	70,1	1,4	198	0,0
25	11.12.2006		6,5	1012	78,8	2,9	235	19,2
26	12.12.2006		8,0	1017	71,0	1,2	264	5,0
27	13.12.2006		9,3	1020	73,3	0,7	228	0,0
28	14.12.2006		7,5	1021	72,7	0,6	189	0,0
29	15.12.2006		7,3	1017	63,1	1,7	188	0,0
30	16.12.2006		6,4	1016	78,2	1,2	259	4,8

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 2 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
31	17.12.2006	Köln,	5,6	1020	76,8	0,8	251	0,3
32	18.12.2006	Frankfurter Str.	4,5	1025	80,5	0,0	245	0,3
33	19.12.2006		4,4	1030	71,9	0,0	119	0,0
34	20.12.2006		3,3	1032	84,6	0,0	168	0,0
35	21.12.2006		4,3	1035	82,1	0,0	99	0,3
36	22.12.2006		5,0	1035	72,8	0,5	137	0,0
37	23.12.2006		1,8	1034	81,1	0,1	112	0,0
38	24.12.2006		0,1	1031	86,2	0,0	160	0,0
39	25.12.2006		2,1	1030	78,8	1,6	183	0,0
40	26.12.2006		-0,2	1028	80,2	1,3	148	0,0
41	27.12.2006		0,5	1024	76,2	0,3	223	0,0
42	28.12.2006		3,4	1020	84,3	0,9	176	7,4
43	29.12.2006		5,0	1017	68,2	3,9	180	0,0
44	30.12.2006		9,4	1013	67,6	4,4	238	4,4
45	31.12.2006		10,5	1013	67,2	1,0	233	8,8
46	01.01.2007		6,2	1008	72,2	3,1	231	7,1
47	02.01.2007		6,2	1017	76,3	2,5	310	1,2
48	03.01.2007		8,0	1014	71,9	1,4	218	1,5
49	04.01.2007		8,8	1006	73,9	3,7	303	7,1
50	05.01.2007		10,0	1013	75,4	0,9	261	1,5
51	06.01.2007		10,0	1009	79,5	1,6	222	9,2
52	07.01.2007		8,5	1007	70,6	3,0	194	0,0
53	08.01.2007		11,6	999	72,2	2,3	220	1,2
54	09.01.2007		13,7	1008	64,7	2,3	257	0,0
55	10.01.2007		10,2	1010	65,3	3,2	258	3,0
56	11.01.2007		8,1	1007	63,7	3,8	272	15,9
57	12.01.2007		11,1	1016	69,9	3,6	289	0,0
58	13.01.2007		11,3	1015	69,7	2,6	259	0,6
59	14.01.2007		5,3	1024	70,1	1,2	237	0,0
60	15.01.2007		5,1	1018	68,7	1,5	186	0,0

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 3 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
61	16.01.2007	Köln,	7,7	1013	73,0	2,4	194	0,3
62	17.01.2007	Frankf. Str.	Ausfall	1002	Ausfall	Ausfall	Ausfall	0,0
63	18.01.2007		Ausfall	992	Ausfall	Ausfall	Ausfall	3,8
64	19.01.2007		12,0	1010	67,7	2,5	253	0,0
65	20.01.2007		11,5	1005	65,9	3,6	289	3,2
66	21.01.2007		6,4	1007	66,0	4,4	256	7,4
67	22.01.2007		0,9	1013	66,3	1,0	141	0,9
68	23.01.2007		-1,7	1004	58,0	2,7	216	0,0
69	24.01.2007		-1,1	1008	64,7	2,0	191	0,0
70	25.01.2007		-4,0	1018	72,0	0,5	192	0,0
71	26.01.2007		1,8	1014	72,8	3,2	269	1,8
72	27.01.2007		4,9	1022	74,5	3,5	296	0,6
73	28.01.2007		6,3	1016	77,1	5,3	317	4,2
74	29.01.2007		7,9	1018	76,5	2,3	256	0,0
75	30.01.2007		8,3	1018	72,6	0,4	296	0,0
76	31.01.2007		7,6	1016	74,5	3,1	284	3,3
77	01.02.2007		8,3	1023	88,5	0,8	304	0,9
78	02.02.2007		7,8	1027	77,3	2,7	252	0,0
79	03.02.2007		5,6	1029	78,7	0,4	187	0,0
80	04.02.2007		4,3	1019	76,4	0,6	155	0,0
81	05.02.2007		3,1	1005	81,0	1,5	245	1,8
82	06.02.2007		2,4	997	78,3	1,0	187	3,3
83	07.02.2007		0,6	994	78,2	1,6	217	0,3
84	08.02.2007		4,6	988	74,6	2,7	227	6,8
85	09.02.2007		4,1	999	73,3	2,1	196	0,6
86	10.02.2007		7,1	997	77,4	3,0	178	1,5
87	11.02.2007		8,6	991	74,9	2,7	234	13,3
88	12.02.2007		8,9	988	72,3	3,9	247	6,2
89	13.02.2007		7,6	1002	72,0	3,4	234	1,5
90	14.02.2007		6,4	1002	80,0	4,1	242	9,2

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 4 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
91	15.02.2007	Köln, Frankf. Str.	6,4	1017	68,9	2,4	195	0,0
92	16.02.2007		8,3	1011	57,5	6,5	202	0,0
93	17.02.2007		6,7	1008	63,5	2,9	192	0,0
94	18.02.2007		5,3	1010	77,4	1,5	101	0,0
95	19.02.2007		5,2	1006	74,8	2,1	210	0,0
96	20.02.2007		8,0	1005	69,7	2,1	206	0,0
97	21.02.2007		7,9	1005	74,3	1,2	234	2,4
98	22.02.2007		9,2	1004	67,8	1,9	215	0,0
99	23.02.2007		11,1	999	67,9	3,7	210	0,3
100	24.02.2007		10,0	992	71,7	3,3	225	3,6
101	25.02.2007		7,9	993	74,7	3,6	231	10,1
102	26.02.2007		6,9	1006	74,2	4,6	171	0,9
103	27.02.2007		8,6	999	74,8	3,0	236	13,3
104	28.02.2007		10,1	989	69,1	4,0	214	10,3
105	31.03.2007	Köln, Parkplatz	13,1	1012	50,9	2,5	110	0,0
106	01.04.2007		13,2	1020	41,8	2,4	74	0,0
107	02.04.2007		14,2	1016	42,4	2,0	170	0,0
108	03.04.2007		6,9	1011	65,3	4,4	257	0,6
109	04.04.2007		7,0	1014	53,9	3,1	143	0,0
110	05.04.2007		9,0	1015	66,0	1,2	228	0,0
111	06.04.2007		12,8	1015	60,5	1,0	243	0,0
112	07.04.2007		7,5	1019	65,7	1,5	231	0,0
113	08.04.2007		10,0	1016	61,0	0,3	156	0,0
114	09.04.2007		12,3	1012	57,6	1,6	212	0,0
115	10.04.2007		12,7	1016	64,9	1,0	248	0,0
116	11.04.2007		13,2	1017	61,6	0,9	179	0,0
117	12.04.2007		17,5	1014	54,5	1,0	103	0,0
118	13.04.2007		19,5	1012	50,9	1,0	114	0,0
119	14.04.2007		21,7	1014	43,3	1,3	86	0,0
120	15.04.2007		20,1	1015	43,6	1,6	132	0,0

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 5 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
121	16.04.2007	Köln, Parkplatz	21,1	1013	44,2	1,0	208	0,0
122	17.04.2007		13,3	1015	64,5	1,3	262	0,0
123	18.04.2007		9,1	1017	60,0	0,8	179	0,0
124	19.04.2007		13,2	1012	54,0	1,0	269	0,0
125	20.04.2007		9,1	1016	52,4	1,4	134	0,0
126	21.04.2007		11,8	1015	46,6	0,9	151	0,0
127	22.04.2007		16,0	1014	49,1	0,9	143	0,0
128	23.04.2007		19,6	1013	48,5	0,6	221	0,0
129	24.04.2007		20,4	1011	51,5	0,4	119	0,0
130	25.04.2007		21,1	1009	50,4	1,6	102	0,0
131	26.04.2007		19,7	1011	46,8	1,5	113	0,0
132	27.04.2007		20,5	1013	49,4	0,3	130	0,0
133	28.04.2007		21,7	1012	44,3	0,2	199	0,0
134	29.04.2007		18,6	1010	41,8	1,5	71	0,0
135	30.04.2007		15,4	1009	38,5	2,3	92	0,0
136	01.05.2007		15,9	1008	34,9	3,2	72	0,0
137	02.05.2007		15,2	1007	39,0	2,2	67	0,0
138	03.05.2007		16,9	1005	41,6	0,9	99	0,0
139	04.05.2007		19,2	1002	38,8	1,7	181	0,0
140	05.05.2007		17,7	1007	46,1	1,7	284	0,0
141	06.05.2007		16,8	1009	54,2	1,1	253	0,0
142	07.05.2007		14,2	1003	75,4	2,2	244	11,5
143	08.05.2007		13,8	1005	65,1	2,6	247	0,3
144	09.05.2007		12,7	1007	80,5	0,1	205	10,4
145	10.05.2007		17,3	999	62,2	0,7	210	0,3
146	11.05.2007		13,6	999	64,5	2,4	185	3,6
147	12.05.2007		15,5	1003	63,2	1,5	192	0,3
148	13.05.2007		17,4	999	65,8	3,1	130	2,4
149	14.05.2007		15,1	1001	65,0	1,4	206	17,4
150	15.05.2007		12,9	1008	63,6	1,2	199	3,3

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 6 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
151	16.05.2007	Köln. Parkplatz	11,4	1003	74,0	1,7	202	13,0
152	17.05.2007		10,7	1008	73,5	0,5	187	0,3
153	18.05.2007		17,7	1007	67,8	2,8	136	4,4
154	19.05.2007		16,5	1008	67,5	0,2	255	0,0
155	20.05.2007		20,8	1006	65,4	0,2	124	0,3
156	21.05.2007		20,5	1009	71,4	0,3	245	0,0
157	22.05.2007		19,7	1013	72,3	0,8	251	4,1
158	23.05.2007		19,2	1013	64,4	0,5	191	0,0
159	24.05.2007		23,0	1005	64,6	0,2	173	0,0
160	25.05.2007		21,2	999	70,0	0,6	213	11,2
161	26.05.2007		17,7	994	75,8	1,3	201	10,9
162	27.05.2007		15,0	991	73,3	0,5	157	4,4
163	28.05.2007		11,6	994	79,7	0,5	262	10,1
164	29.05.2007		10,0	1002	70,5	2,4	224	0,9
165	30.05.2007		15,9	1005	55,8	2,2	122	3,0
166	31.05.2007		14,0	1005	77,2	1,0	79	3,6
167	01.06.2007		16,9	1011	68,6	0,4	234	0,0
168	02.06.2007	20,1	1015	60,3	0,8	175	0,0	
169	03.06.2007	18,6	1014	70,7	0,6	201	0,0	
170	04.06.2007	20,0	1013	65,1	0,8	147	0,0	
171	05.06.2007	20,4	1011	63,5	1,0	199	0,0	
172	06.06.2007	22,3	1008	61,7	1,3	170	0,0	
173	07.06.2007	24,4	1007	62,8	0,8	169	0,0	
174	08.06.2007	24,4	1009	62,2	1,8	185	0,0	
175	09.06.2007	19,6	1010	74,1	0,9	260	0,9	
176	05.07.2007	Furulund, Sommer	14,7	996	89,5	1,6	209	57,2
177	06.07.2007		15,2	997	83,1	1,5	242	5,9
178	07.07.2007		15,7	1004	73,7	5,0	265	0,0
179	08.07.2007		15,6	1007	68,7	3,5	237	0,0
180	09.07.2007		15,7	1005	67,9	1,2	217	0,0

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 7 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
181	10.07.2007	Furulund, Sommer	14,2	1004	74,7	2,3	206	5,3
182	11.07.2007		14,1	1001	83,2	2,7	226	8,6
183	12.07.2007		15,2	1006	74,2	2,4	235	0,0
184	13.07.2007		17,0	1010	76,8	0,6	183	0,6
185	14.07.2007		19,6	1011	70,7	3,6	236	0,3
186	15.07.2007		19,7	1013	69,3	1,4	114	13,0
187	16.07.2007		22,2	1009	65,4	2,8	59	0,0
188	17.07.2007		19,2	1013	70,7	4,1	227	0,0
189	18.07.2007		18,6	1013	66,9	4,5	225	0,0
190	19.07.2007		18,8	1016	61,0	Ausfall	229	0,0
191	20.07.2007		16,5	1014	78,0	Ausfall	83	4,1
192	21.07.2007		16,5	1011	78,4	1,5	83	0,3
193	22.07.2007		14,1	1001	83,7	2,4	194	44,3
194	23.07.2007		14,8	999	78,8	1,4	115	1,8
195	24.07.2007		15,9	996	82,6	2,3	139	9,2
196	25.07.2007		17,3	1006	72,1	3,8	230	0,0
197	26.07.2007		17,4	1003	80,3	2,8	186	21,0
198	27.07.2007		16,2	1004	75,3	5,0	226	10,6
199	28.07.2007		15,2	1003	75,3	4,1	227	8,9
200	29.07.2007		13,4	1000	77,0	2,4	215	6,2
201	30.07.2007		16,4	1001	71,2	4,6	260	1,8
202	31.07.2007		Ausfall	1009	Ausfall	Ausfall	Ausfall	0,0
203	01.08.2007		16,7	1011	70,9	1,4	163	0,0
204	02.08.2007		16,4	1008	76,3	1,1	125	5,1
205	03.08.2007		15,4	1017	70,2	1,1	207	0,0
206	04.08.2007		17,8	1019	71,3	1,3	186	0,0
207	05.08.2007		21,8	1016	61,3	1,6	141	0,0
208	06.08.2007		20,6	1013	65,6	0,6	97	0,0
209	07.08.2007		19,1	1011	71,6	0,3	32	0,0
210	08.08.2007		21,0	1011	76,4	1,4	80	0,0

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 8 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
211	09.08.2007	Furulund, Sommer	21,9	1010	76,0	0,1	86	0,9
212	10.08.2007		21,5	1007	76,7	0,0	97	0,0
213	11.08.2007		19,3	1005	83,4	0,1	137	0,0
214	12.08.2007		17,2	1005	77,6	0,7	137	0,0
215	13.08.2007		19,4	1009	65,9	1,4	217	0,0
216	14.08.2007		18,6	1004	77,7	3,1	143	4,7
217	15.08.2007		18,7	998	82,3	2,8	181	5,0
218	16.08.2007		16,5	1005	75,2	5,5	202	3,9
219	17.08.2007		18,8	1011	65,0	6,5	225	0,0
220	18.08.2007		15,0	1014	78,7	1,6	111	0,0
221	19.08.2007		17,6	1009	77,1	2,2	42	0,0
222	20.08.2007		18,8	1007	80,4	3,5	70	2,1
223	21.08.2007		19,9	1008	79,9	3,2	65	0,6
224	22.08.2007		20,5	1011	78,2	1,3	58	0,9
225	23.08.2007		19,0	1014	84,1	1,1	208	0,0
226	24.08.2007		18,0	1018	76,9	2,8	217	0,0
227	25.08.2007		17,6	1016	78,3	3,4	219	1,5
228	26.08.2007		15,2	1014	67,2	4,7	218	5,6
229	27.08.2007		12,8	1010	70,9	2,5	227	3,8
230	28.08.2007		15,5	1012	56,4	2,8	241	0,0
231	29.08.2007		12,3	1010	75,5	2,6	208	1,5
232	30.08.2007		10,9	1007	82,5	2,1	176	1,8
233	31.08.2007		13,4	1006	82,5	2,2	205	3,3
234	01.09.2007		15,6	1009	77,0	5,7	203	0,0
235	02.09.2007		14,1	1001	81,9	3,6	206	8,0
236	03.09.2007		11,3	1005	68,6	1,8	228	2,1
237	04.09.2007		9,2	1018	73,6	0,8	187	0,0
238	05.09.2007		13,3	1020	84,4	0,1	200	0,3
239	06.09.2007		9,1	1018	86,0	0,0	40	1,2
240	07.09.2007		14,2	1014	82,8	1,6	207	0,0

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 9 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]						
241	08.09.2007	Furulund, Sommer	13,6	1007	71,6	2,3	179	0,3						
242	09.09.2007	Furulund, Sommer	13,4	1004	77,3	2,7	206	16,2						
243	24.12.2008	Furulund, Winter	keine Wettermessung					nicht erfasst						
244	25.12.2008													
245	26.12.2008													
246	27.12.2008													
247	28.12.2008													
248	29.12.2008													
249	30.12.2008													
250	31.12.2008													
251	01.01.2009									1,2	1027	92,2	0,4	206
252	02.01.2009									2,0	1012	90,2	0,5	287
253	03.01.2009	-3,6	1014	95,0	0,9	188								
254	04.01.2009	-2,8	1025	87,0	1,1	56								
255	05.01.2009	0,2	1019	88,4	0,5	169								
256	06.01.2009	1,5	1010	90,1	1,0	266								
257	07.01.2009	0,5	1023	87,1	0,7	222								
258	08.01.2009	4,5	1021	96,5	0,7	248								
259	09.01.2009	3,8	1028	100,0	0,3	262								
260	10.01.2009	0,7	1022	96,3	1,8	194								
261	11.01.2009	3,6	1013	79,4	3,3	194								
262	12.01.2009	3,4	1007	88,5	3,0	194								
263	13.01.2009	3,7	1010	100,0	1,3	194								
264	14.01.2009	2,7	1020	100,0	0,4	197								
265	15.01.2009	-0,7	1029	95,8	0,6	147								
266	16.01.2009	0,3	1021	86,3	2,1	137								
267	17.01.2009	1,7	1003	92,8	3,1	148								
268	18.01.2009	2,6	997	100,3	2,5	176								
269	19.01.2009	4,5	993	99,4	3,4	165								
270	20.01.2009	2,2	1008	99,1	1,6	171								

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 10 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
271	21.01.2009	Furulund, Winter	1,7	1004	99,5	0,8	151	nicht erfasst
272	22.01.2009		0,4	986	99,7	3,9	158	
273	23.01.2009		2,3	978	99,0	2,9	139	
274	24.01.2009		3,2	999	99,8	0,8	191	
275	25.01.2009		3,2	1009	95,2	0,4	155	
276	26.01.2009		2,6	1016	91,7	0,4	210	
277	27.01.2009		2,9	1021	85,8	0,5	157	
278	28.01.2009		1,0	1027	88,3	0,3	177	
279	29.01.2009		1,9	1030	91,8	0,3	234	
280	30.01.2009		2,0	1029	91,7	0,7	118	
281	31.01.2009		-1,4	1027	81,1	1,4	72	
282	01.02.2009		1,6	1021	88,9	1,6	81	
283	02.02.2009		1,5	1009	88,7	2,6	111	
284	03.02.2009		-0,1	999	95,0	2,3	133	
285	04.02.2009		1,5	998	99,9	1,5	154	
286	05.02.2009		3,3	993	100,0	1,6	160	
287	06.02.2009		3,3	990	100,0	1,2	137	
288	07.02.2009		3,5	992	100,0	0,4	188	
289	08.02.2009		1,7	1004	94,2	0,6	208	
290	09.02.2009		2,6	993	94,2	1,9	157	
291	10.02.2009		0,9	1002	95,2	2,1	159	
292	11.02.2009		0,0	1009	97,0	1,5	329	
293	12.02.2009		1,0	1015	89,6	0,9	224	
294	13.02.2009		1,8	1022	89,6	0,9	209	
295	14.02.2009		3,1	1020	90,6	0,6	222	
296	15.02.2009		1,1	1018	91,8	0,5	121	
297	16.02.2009		0,1	1024	90,5	0,9	70	
298	17.02.2009		-1,5	1027	81,6	0,8	132	
299	18.02.2009		-2,8	1021	92,1	0,6	132	
300	19.02.2009		0,5	1023	94,3	0,6	105	

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OP SIS SM 200 der Firma OP SIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 11 von 11**

Nr.	Datum	Standort	Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
301	20.02.2009	Furulund, Winter	1,7	1027	94,4	0,7	151	nicht erfasst
302	21.02.2009		5,0	1018	95,7	2,0	189	
303	22.02.2009		2,4	1003	98,7	0,9	310	
304	23.02.2009		4,0	1016	82,8	1,2	151	
305	24.02.2009		7,3	1020	90,9	0,9	221	
306	25.02.2009		4,5	1010	99,1	0,8	218	
307	26.02.2009		4,6	1002	98,4	0,8	285	
308	27.02.2009		3,2	1011	90,9	0,5	262	
309	28.02.2009		3,6	1015	86,6	1,4	135	
310	01.03.2009		2,6	1012	87,3	2,4	138	
311	02.03.2009		5,1	1010	98,1	0,9	213	
312	03.03.2009		6,2	1007	90,2	2,8	166	
313	04.03.2009		4,8	997	94,7	2,5	116	
314	05.03.2009		3,7	996	94,0	2,3	90	
315	06.03.2009		4,5	1002	94,9	1,2	85	
316	07.03.2009		3,1	1005	94,0	1,3	174	
317	08.03.2009		3,9	997	100,0	1,4	178	
318	09.03.2009		6,5	1001	97,2	1,1	185	

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung  
OPSIS SM 200 der Firma OPSIS AB für die Komponente Schwebstaub PM2,5  
zum TÜV-Bericht 936/21205849/A  
vom 26. März 2009, Berichts-Nr.: 936/21251664/A

## **Anhang 3**

## **Handbuch**