

**TÜV RHEINLAND  
ENERGIE UND UMWELT GMBH**



Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>

TÜV-Bericht: 936/21220478/A  
Köln, 17. März 2014

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



[teu-service@de.tuv.com](mailto:teu-service@de.tuv.com)

**Die TÜV Rheinland Energie und Umwelt 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;
- 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 ist gültig bis 22-01-2018. DAkkS-Registriernummer: D-PL-11120-02-00.

Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes bedarf der schriftlichen Genehmigung.

**TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH  
D - 51105 Köln, Am Grauen Stein, Tel: 0221 806-5200, Fax: 0221 806-1349**

**Leerseite**



**Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung  
F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die  
Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>**

<b>Geprüftes Gerät:</b>	F-701-20 mit PM <sub>2,5</sub> Vorabscheider		
<b>Hersteller:</b>	DURAG GmbH Kollastraße 105 22453 Hamburg Deutschland		
<b>Prüfzeitraum:</b>	Dezember 2012 bis März 2014		
<b>Berichtsdatum:</b>	17. März 2014		
<b>Berichtsnummer:</b>	936/21220478/A_Entwurf		
<b>Bearbeiter:</b>	Dipl.-Ing. Karsten Pletscher Tel.: +49 221 806-2592 <a href="mailto:karsten.pletscher@de.tuv.com">karsten.pletscher@de.tuv.com</a>		
<b>Berichtsumfang:</b>	Bericht:	158	Seiten
	Anhang ab Seite	159	
	Handbuch ab Seite	189	
	Handbuch mit	77	Seiten
	Gesamt	266	Seiten



**TÜVRheinland®**

Genau. Richtig.

Seite 4 von 266

**TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH**

Luftreinhaltung

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20  
mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente  
Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>, Berichts-Nr.: 936/21220478/A

**Leerseite**

## **Inhaltsverzeichnis**

1.	KURZFASSUNG UND BEKANNTGABEVORSCHLAG .....	11
1.1	Kurzfassung .....	11
1.2	Bekanntgabevorschlag .....	16
1.3	Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse .....	17
2.	AUFGABENSTELLUNG .....	25
2.1	Art der Prüfung .....	25
2.2	Zielsetzung .....	25
3.	BESCHREIBUNG DER GEPRÜFTEN MESSEINRICHTUNG .....	26
3.1	Messprinzip .....	26
3.2	Funktionsweise der Messeinrichtung .....	28
3.3	Umfang und Aufbau der Messeinrichtung .....	31
4.	PRÜFPROGRAMM .....	43
4.1	Allgemeines .....	43
4.2	Laborprüfung .....	45
4.3	Feldtest .....	46
5.	REFERENZMESSVERFAHREN .....	55
6.	PRÜFERGEBNISSE .....	56
6.1	4.1.1 Messwertanzeige .....	56
6.1	4.1.2 Wartungsfreundlichkeit .....	59
6.1	4.1.3 Funktionskontrolle .....	61
6.1	4.1.4 Rüst- und Einlaufzeiten .....	63
6.1	4.1.5 Bauart .....	65
6.1	4.1.6 Unbefugtes Verstellen .....	66
6.1	4.1.7 Messsignalausgang .....	67



6.1	5.1 Allgemeines .....	69
6.1	5.2.1 Zertifizierungsbereiche .....	70
6.1	5.2.2 Messbereich .....	71
6.1	5.2.3 Negative Messsignale .....	72
6.1	5.2.4 Stromausfall .....	73
6.1	5.2.5 Gerätefunktionen .....	74
6.1	5.2.6 Umschaltung .....	76
6.1	5.2.7 Wartungsintervall .....	77
6.1	5.2.8 Verfügbarkeit .....	78
6.1	5.2.9 Gerätesoftware .....	80
6.1	5.3.1 Allgemeines .....	82
6.1	5.3.2 Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt .....	84
6.1	5.3.3 Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt .....	86
6.1	5.3.4 Linearität (Lack-of-fit) .....	87
6.1	5.3.5 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks .....	88
6.1	5.3.6 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur .....	89
6.1	5.3.7 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur .....	90
6.1	5.3.8 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung .....	93
6.1	5.3.9 Querempfindlichkeit .....	95
6.1	5.3.10 Mittelungseinfluss .....	96
6.1	5.3.11 Standardabweichung aus Doppelbestimmungen .....	97
6.1	5.3.12 Langzeitdrift .....	99
6.1	5.3.13 Kurzzeitdrift .....	105
6.1	5.3.14 Einstellzeit .....	106
6.1	5.3.15 Differenz zwischen Proben- und Kalibriereingang .....	107
6.1	5.3.16 Konverterwirkungsgrad .....	108
6.1	5.3.17 Anstieg der NO <sub>2</sub> -Konzentration durch Verweilen im Messgerät .....	109

6.1	5.3.18 Gesamtunsicherheit .....	110
6.1	5.4.1 Allgemeines .....	111
6.1	5.4.2 Gleichwertigkeit des Probenahmesystems.....	112
6.1	5.4.3 Vergleichbarkeit der Probenahmesysteme.....	113
6.1	5.4.4 Kalibrierung.....	114
6.1	5.4.5 Querempfindlichkeit .....	116
6.1	5.4.6 Mittelungseinfluss .....	119
6.1	5.4.7 Konstanz des Probenahmestroms.....	121
6.1	5.4.8 Dichtheit des Probenahmesystems .....	124
6.1	Methodik der Äquivalenzprüfung (Module 5.4.9 – 5.4.11) .....	126
6.1	5.4.9 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den Prüflingen $u_{bs}$ .....	127
6.1	5.4.10 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge .....	134
6.1	5.4.11 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen.....	148
6.1	5.5 Anforderungen an Mehrkomponentenmesseinrichtungen .....	154
7.	EMPFEHLUNGEN ZUM PRAXISEINSATZ.....	155
8.	LITERATURVERZEICHNIS .....	157
9.	ANLAGEN.....	158



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beschreibung der Messstellen .....	15
Tabelle 2:	Gerätetechnische Daten F-701-20 (Herstellerangaben) .....	41
Tabelle 3:	Übersicht der Softwarestände während der Eignungsprüfung .....	43
Tabelle 4:	Feldteststandorte .....	47
Tabelle 5:	Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten, als Tagesmittelwerte ....	52
Tabelle 6:	Eingesetzte Filtermaterialien .....	54
Tabelle 7:	Ergebnisse der internen Überprüfungen von Null und Referenzpunkt .....	62
Tabelle 8:	Zertifizierungsbereiche .....	70
Tabelle 9:	Betriebsstati F-701-20 .....	74
Tabelle 10:	Fehlerstati F-701-20 .....	75
Tabelle 11:	Ermittlung der Verfügbarkeit (ohne prüfungsbedingte Ausfälle) .....	79
Tabelle 12:	Ermittlung der Verfügbarkeit (inkl. prüfungsbedingte Ausfälle) .....	79
Tabelle 13:	Nachweisgrenze PM <sub>2,5</sub> .....	85
Tabelle 14:	Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur, Abweichung in µg/m <sup>3</sup> , Mittelwert aus drei Messungen .....	92
Tabelle 15:	Abhängigkeit der Empfindlichkeit (Folienwert) von der Umgebungs- temperatur, Abweichung in %, Mittelwert aus drei Messungen .....	92
Tabelle 16:	Abhängigkeit des Messwertes von der Netzspannung, Abweichung in % .....	94
Tabelle 17:	Konzentrationsmittelwerte, Standardabweichung, Unsicherheitsbereich und Reproduzierbarkeit im Feld, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	98
Tabelle 18:	Nullpunktdrift SN 1512361 & SN 1512401, mit Nullfilter .....	101
Tabelle 19:	Empfindlichkeitsdrift SN 1512361 & SN 1512401 .....	103
Tabelle 20:	Ergebnisse der Kalibrier- und Analysenfunktion, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	114
Tabelle 21:	Abweichung zwischen Referenzmessung und Prüfling an Tagen mit einer relativen Luftfeuchte > 70 %, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	117
Tabelle 22:	Vergleich Testgerät SN 1512361 / SN 1512401 mit Referenzgerät, rel. Luftfeuchte > 70 %, alle Standorte, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	118
Tabelle 23:	Ergebnisse Kontrolle Durchflussrate .....	122
Tabelle 24:	Kenngößen für die Durchflussmessung (24h-Mittel), SN 1512361 & SN 1512401 .....	122
Tabelle 25:	Ergebnisse der Dichtigkeitsprüfungen .....	125
Tabelle 26:	Unsicherheit zwischen den Prüflingen u <sub>bs</sub> für die Testgeräte SN 1512361 und SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	129
Tabelle 27:	Übersicht Äquivalenzprüfung F-701-20 für PM <sub>2,5</sub> .....	137
Tabelle 28:	Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten u <sub>ref</sub> für PM <sub>2,5</sub> .....	141
Tabelle 29:	Zusammenstellung der Ergebnisse der Äquivalenzprüfung, SN 1512361 & SN 1512401, nach Korrektur Steigung und Achsabschnitt ....	152
Tabelle 30:	Stabilität Eichgewicht .....	186
Tabelle 31:	Stabilität der Kontrollfilter .....	188

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung – Aufbau der Messeinrichtung F-701-20, hier ohne aktiv belüftetes Probeneinlassrohr .....	30
Abbildung 2:	Darstellung F-701-20 .....	31
Abbildung 3:	Probenahmekopf PM <sub>2,5</sub> .....	32
Abbildung 4:	Aktive Belüftung Probenahmesystem im Feldtest .....	33
Abbildung 5:	F-701-20 in Feldtestinstallation .....	33
Abbildung 6:	Nullfilter zur Erzeugung schwebstaubfreier Luft, im Feldeinsatz .....	34
Abbildung 7:	Referenzfolie .....	35
Abbildung 8:	Hauptmenü F-701-20 .....	36
Abbildung 9:	Flussdiagramm – Menüstruktur der Parameter .....	38
Abbildung 10:	Übersicht Parameterausdruck F-701-20 .....	40
Abbildung 11:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Bonn, Straßenkreuzung, Winter“ .....	48
Abbildung 12:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Bornheim, Autobahnparkplatz, Sommer“ .....	48
Abbildung 13:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände, Herbst“ .....	49
Abbildung 14:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände, Winter“ .....	49
Abbildung 15:	Feldteststandort Bonn, Straßenkreuzung .....	50
Abbildung 16:	Feldteststandort Bornheim, Autobahnparkplatz .....	50
Abbildung 17:	Feldteststandort Köln, Parkplatzgelände .....	51
Abbildung 18:	Messanzeige Konzentrationsmesswerte .....	57
Abbildung 19:	Datenanzeige – Messwerte tabellarisch .....	57
Abbildung 20:	Datenanzeige – Messwerte als Balkendiagramm .....	58
Abbildung 21:	Ansicht Geräterückseite F-701-20 .....	68
Abbildung 22:	Anzeige der Softwareversion (hier 3.10) im Menü „Parameter/Service/SW“ .....	81
Abbildung 23:	Nullpunktdrift SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	102
Abbildung 24:	Nullpunktdrift SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	102
Abbildung 25:	Drift des Messwertes SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	103
Abbildung 26:	Drift des Messwertes SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	104
Abbildung 27:	Durchfluss am Testgerät SN 1512361 (Feld) .....	123
Abbildung 28:	Durchfluss am Testgerät SN 1512401 (Feld) .....	123
Abbildung 29:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte .....	130
Abbildung 30:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Bonn, Winter .....	130
Abbildung 31:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Bornheim, Sommer .....	131
Abbildung 32:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Köln, Herbst .....	131
Abbildung 33:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Köln, Winter .....	132



Abbildung 34:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte, Werte $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	132
Abbildung 35:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte, Werte $< 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	133
Abbildung 36:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte .....	142
Abbildung 37:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte .....	142
Abbildung 38:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Bonn, Winter .....	143
Abbildung 39:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Bonn, Winter .....	143
Abbildung 40:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Bornheim, Sommer .....	144
Abbildung 41:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Bornheim, Sommer .....	144
Abbildung 42:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Herbst .....	145
Abbildung 43:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Herbst .....	145
Abbildung 44:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Winter .....	146
Abbildung 45:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Winter .....	146
Abbildung 46:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Werte $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	147
Abbildung 47:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Werte $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	147
Abbildung 48:	Stabilität Eichgewicht .....	185
Abbildung 49:	Stabilität der Kontrollfilter .....	187

## 1. Kurzfassung und Bekanntgabevorschlag

### 1.1 Kurzfassung

Gemäß der Richtlinie 2008/50/EG vom 21. Mai 2008 [7] (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 PM<sub>10</sub>-Konzentration die in der EN 12341 „Luftbeschaffenheit - Ermittlung der PM<sub>10</sub>-Fraktion von Schwebstaub – Referenzmethode und Feldprüfverfahren zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Messverfahren und Referenzmessmethode“ sowie zur Messung der PM<sub>2,5</sub>-Konzentration die in der EN 14907 „Luftbeschaffenheit – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>2,5</sub>-Massenfraktion des Schwebstaubs“ [3] 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“ [4] der Ad-hoc-EG-Arbeitsgruppe vom Januar 2010

(Quelle: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/equivalence.pdf>)

beschreibt ein Verfahren für die Prüfung auf Äquivalenz von Nicht-Standardmessverfahren. Die Anforderungen des Leitfadens zur Äquivalenzprüfung wurden in der letzten Revision der VDI-Richtlinien VDI 4202, Blatt 1 [1] sowie VDI 4203, Blatt 3 [2] mit aufgenommen.

Im Rahmen der vorliegenden Prüfung wurden folgende Grenzwerte angesetzt:

	PM <sub>2,5</sub>
Tagesgrenzwert TGW (24 h)	nicht definiert
Jahresgrenzwert JGW (1 a)	25 µg/m <sup>3</sup> *

sowie für die Berechnungen gemäß des Leitfadens [4]

	PM <sub>2,5</sub>
Grenzwert	30 µg/m <sup>3</sup>



Die Richtlinie VDI 4202, Blatt 1 von 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“ von 2004 präzisiert diese Rahmenbedingungen.

Die Richtlinien VDI 4202, Blatt 1 und VDI 4203, Blatt 3 wurden nach umfangreicher Revision mit Stand September 2010 neu veröffentlicht. Leider bestehen nach dieser Revision in Hinblick zur Prüfung von Staub-Immissionsmesseinrichtungen einige Unklarheiten und Widersprüche bezüglich konkreter Mindestanforderungen auf der einen Seite und der generellen Relevanz von Prüfpunkten auf der anderen Seite. Es besteht konkret Klärungsbedarf bei den folgenden Prüfpunkten:

- |     |   |                                      |
|-----|---|--------------------------------------|
| 6.1 | 5.3.2 Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt              | → keine Mindestanforderung definiert |
| 6.1 | 5.3.3 Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt          | → nicht relevant für Staubgeräte     |
| 6.1 | 5.3.4 Linearität (Lack-of-fit)                              | → nicht relevant für Staubgeräte     |
| 6.1 | 5.3.7 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur   | → keine Mindestanforderung definiert |
| 6.1 | 5.3.8 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung | → keine Mindestanforderung definiert |
| 6.1 | 5.3.11 Standardabweichung aus Doppelbestimmungen            | → keine Mindestanforderung definiert |
| 6.1 | 5.3.12 Langzeitdrift  | → keine Mindestanforderung definiert |
| 6.1 | 5.3.13 Kurzzeitdrift  | → nicht relevant für Staubgeräte     |

6.1 5.3.18 Gesamtunsicherheit

→ nicht relevant für  
Staubgeräte, abge-  
deckt durch 5.4.10.

Aus diesem Grunde wurde eine offizielle Anfrage an die zuständige Stelle in Deutschland gestellt, um eine abgestimmte Vorgehensweise zum Umgang mit den Inkonsistenzen der Richtlinie festzulegen.

Es wurde folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

Die Prüfpunkte 5.3.2, 5.3.7, 5.3.8, 5.3.11 und 5.3.12 werden wie bisher auf Basis der Mindestanforderungen aus VDI 4202 Blatt 1 von 2002 bewertet (d.h. unter Verwendung der Bezugswerte B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub>).

Auf die Prüfung der Prüfpunkte 5.3.3, 5.3.4, 5.3.13 und 5.3.18 wird verzichtet, da diese Prüfpunkte für Staubmesseinrichtungen nicht relevant sind.

Die zuständige deutsche Stelle hat dieser vorgeschlagenen Vorgehensweise per Entscheidung vom 27.06.2011 bzw. 07.10.2011 zugestimmt.

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

	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub> (zum Vergleich)
B <sub>0</sub>	2 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup>
B <sub>1</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>
B <sub>2</sub>	200 µg/m <sup>3</sup>	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 Firma DURAG GmbH führte die TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH die Eignungsprüfung der Messeinrichtung F-701-20 für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> durch.

- VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“, September 2010 bzw. Juni 2002 [1]
- VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, September 2010 bzw. 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 Januar 2010 [4]

Die Messeinrichtung F-701-20 ermittelt die Staubkonzentrationen mittels eines Radiometer-Messprinzips. Mit Hilfe einer Pumpe wird Umgebungsluft über einen PM<sub>2,5</sub> Probenahmekopf angesaugt (Probenahmefluss 16,67 l/min). Die staubbeladene Probenahmeluft wird anschließend auf ein Filterband gesaugt. Die Bestimmung der abgeschiedenen Staubmasse auf dem Filterband erfolgt nach der jeweiligen Probenahme durch das radiometrische Messprinzip der Beta-Absorption.

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*

	Bonn, Straßenkreuzung Winter	Bornheim, Autobahnparkplatz, Sommer	Köln, Parkplatzgelände, Herbst	Köln, Parkplatzgelände, Winter
Zeitraum	02/2013 – 05/2013	05/2013 – 07/2013	09/2013 – 12/2013	01/2014 – 03/2014
Anzahl der Messwertpaare: Prüflinge	61	68	85	52
Charakterisierung	Verkehrsbeeinflusst	Ländliche Struktur + Autobahn	Städtischer Hinter- grund	Städtischer Hinter- grund
Einstufung der Im- missionsbelastung	durchschnittlich bis hoch	niedrig bis durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich

Bei der Eignungsprüfung wurden die Bedingungen der Mindestanforderungen erfüllt.

Seitens der TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH wird daher eine Veröffentlichung als eignungsgeprüfte Messeinrichtung zur laufenden Aufzeichnung der Immissionen von Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> vorgeschlagen.



## 1.2 Bekanntgabevorschlag

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

### Messeinrichtung:

F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>

### Hersteller:

DURAG GmbH, Hamburg

### Eignung:

Zur kontinuierlichen Immissionsmessung der PM<sub>2,5</sub>-Fraktion im Schwebstaub im stationären Einsatz

### Messbereiche in der Eignungsprüfung:

Komponente	Zertifizierungsbereich	Einheit
PM <sub>2,5</sub>	0 – 1000	µg/m <sup>3</sup>

### Softwareversion:

3.10

### Einschränkungen:

Keine

### 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. Während der Eignungsprüfung betrug die Zykluszeit 1 h und die Belegzahl betrug 24; d.h. jede Stunde wurde ein automatischer Filterwechsel durchgeführt, wobei jeder Filterfleck bis zu maximal 24mal beprobt wurde.
3. Die Messeinrichtung ist mit einem aktiv belüfteten Probenahmesystem ohne Rohrbegleitheizung zu betreiben.
4. Die Messeinrichtung ist in einem verschließbaren Messcontainer zu betreiben.
5. Die Messeinrichtung ist mit dem gravimetrischen PM<sub>2,5</sub>-Referenzverfahren nach DIN EN 14907 regelmäßig am Standort zu kalibrieren.
6. Der Prüfbericht über die Eignungsprüfung ist im Internet unter [www.gal1.de](http://www.gal1.de) einsehbar.

### Prüfbericht:

TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Köln  
Bericht-Nr.: 936/21220478/A vom 17. März 2014

### 1.3 Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
<b>4 Bauartanforderungen</b>				
<b>4.1 Allgemeine Anforderungen</b>				
4.1.1 Messwertanzeige	Muss vorhanden sein.	Die Messeinrichtung besitzt eine Messwertanzeige.	ja	56
4.1.2 Wartungsfreundlichkeit	Wartungsarbeiten sollten ohne größeren Aufwand möglichst von außen durchführbar sein.	Wartungsarbeiten sind mit üblichen Werkzeugen und vertretbarem Aufwand von außen durchführbar.	ja	59
4.1.3 Funktionskontrolle	Spezielle Einrichtungen hierzu sind als zum Gerät gehörig zu betrachten, bei den entsprechenden Teilprüfungen einzusetzen und zu bewerten.	Alle im Bedienungshandbuch beschriebenen Gerätefunktionen sind vorhanden, aktivierbar und funktionieren. Der aktuelle Gerätestatus wird kontinuierlich überwacht und Probleme über eine Reihe von verschiedenen Fehlermeldungen angezeigt. Die Messeinrichtung bietet zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit die Möglichkeit einer internen Überprüfung von Null- und Referenzpunkt. Diese können direkt am Gerät oder telemetrisch angesteuert werden.	ja	62
4.1.4 Rüst- und Einlaufzeiten	Die Betriebsanleitung muss hierzu Angaben enthalten.	Die Rüst- und Einlaufzeiten wurden ermittelt.	ja	64
4.1.5 Bauart	Die Betriebsanleitung muss Angaben hierzu enthalten	Die in der Betriebsanleitung aufgeführten Angaben zur Bauart sind vollständig und korrekt.	ja	65
4.1.6 Unbefugtes Verstellen	Muss Sicherung dagegen enthalten.	Die Messeinrichtung ist gegen unbeabsichtigtes und unbefugtes Verstellen von Geräteparametern gesichert. Die Messeinrichtung ist darüber hinaus in einem Messcontainer zu verschließen.	ja	66
4.1.7 Messsignalausgang	Muss digital und/oder analog angeboten werden.	Die Messsignale werden analog (in mA) und digital (über RS 232) angeboten.	ja	67

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
<b>5. Leistungsanforderungen</b>				
5.1 Allgemeines	Herstellerangaben der Betriebsanleitung dürfen den Ergebnissen der Eignungsprüfung nicht widersprechen.	Differenzen zwischen Geräteausstattung und Handbüchern wurden nicht beobachtet.	ja	69
<b>5.2 Allgemeine Anforderungen</b>				
5.2.1 Zertifizierungsbereiche	Müssen den Anforderungen aus Tabelle 1 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 entsprechen.	Die Beurteilung der Messeinrichtung im Bereich der relevanten Grenzwerte ist möglich.	ja	70
5.2.2 Messbereich	Messbereichsendwert größer oder gleich der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs.	Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0 – 1.000 µg/m <sup>3</sup> eingestellt. Andere Messbereiche sind möglich.  Der Messbereichsendwert der Messeinrichtung ist größer als die jeweilige obere Grenze des Zertifizierungsbereichs.	ja	71
5.2.3 Negative Messsignale	Dürfen nicht unterdrückt werden (lebender Nullpunkt).	Negative Messsignale werden von der Messeinrichtung direkt angezeigt und über die entsprechenden Messsignalausgänge korrekt ausgegeben.	ja	72
5.2.4 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 und führt selbstständig mit Erreichen des Startzeitpunkts für den nächsten Messzyklus (in der Eignungsprüfung nach Erreichen der nächsten vollen Stunde) den Messbetrieb fort.	ja	73
5.2.5 Gerätefunktionen	Müssen durch telemetrisch übermittelbare Statussignale überwachbar sein.	Die Messeinrichtungen können über ein Modem bzw. einen Router von einem externen Rechner aus überwacht werden.	ja	74
5.2.6 Umschaltung	Messen/Funktionskontrolle und/oder Kalibrierung muss telemetrisch und manuell auslösbar sein.	Die Umschaltung zwischen Messung und Funktionskontrolle (hier: interne Nullpunkt- und Referenzmessung) ist telemetrisch und manuell auslösbar.	ja	76
5.2.7 Wartungsintervall	Möglichst 3 Monate, mindestens 2 Wochen.	Das Wartungsintervall wird durch die notwendigen Wartungsarbeiten bestimmt und beträgt 4 Wochen.	ja	77

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
5.2.8 Verfügbarkeit	Mindestens 95 %.	Die Verfügbarkeit betrug für SN 1512361 100 % und für SN 1512401 99,7 % ohne prüfungsbedingte Ausfälle bzw. 92,0 % für SN 1512361 sowie 92,0 % für SN 1512401 inkl. prüfungsbedingter Ausfälle.	ja	78
5.2.9 Gerätesoftware	Muss beim Einschalten angezeigt werden. Funktionsbeeinflussende Änderungen sind dem Prüfinstitut mitzuteilen.	Die Version der Gerätesoftware wird im Display angezeigt. Änderungen der Gerätesoftware werden dem Prüfinstitut mitgeteilt.	ja	80
<b>5.3 Anforderungen an Messeinrichtungen für gasförmige Luftverunreinigungen</b>				
5.3.1 Allgemeines	Mindestanforderungen gemäß VDI 4202 Blatt 1.	Die Prüfung erfolgte auf Basis der Mindestanforderungen der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010). Die Prüfpunkte 5.3.2, 5.3.7, 5.3.8, 5.3.11 und 5.3.12 werden daher auf Basis der Mindestanforderungen aus VDI 4202 Blatt 1 von 2002 bewertet (d.h. unter Verwendung der Bezugswerte B <sub>0</sub> , B <sub>1</sub> und B <sub>2</sub> ). Auf die Prüfung der Prüfpunkte 5.3.3, 5.3.4, 5.3.13 und 5.3.18 wird verzichtet, da diese Prüfpunkte für Staubmesseinrichtungen nicht relevant sind.	ja	82
5.3.2 Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt	Die Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt darf im Zertifizierungsbereich nach Tabelle der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.  Für PM: Maximal B <sub>0</sub> .	Die Nachweisgrenze ermittelte sich aus den Untersuchungen zu 0,66 µg/m <sup>3</sup> für Gerät 1 (SN 1512361) und zu 0,75 µg/m <sup>3</sup> für Gerät 2 (SN 1512401).	ja	84
5.3.3 Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt	Die Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt darf im Zertifizierungsbereich nach Tabelle der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.	Nicht zutreffend.	-	86
5.3.4 Linearität (Lack-of-fit)	Der Zusammenhang zwischen dem Ausgangssignal und dem Wert des Luftbeschaffenheitsmerkmals muss mithilfe einer linearen Analysenfunktion darstellbar sein.	Für Staubmesseinrichtungen für PM <sub>2,5</sub> ist diese Prüfung nach der Mindestanforderung 5.4.10 „Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge“ durchzuführen.	-	87



Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
5.3.5 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks	Der Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks am Referenzpunkt darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.	Nicht zutreffend.	-	88
5.3.6 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur	Der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur am Referenzpunkt darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.	Nicht zutreffend.	-	89
5.3.7 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur	Der Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur am Nullpunkt und am Referenzpunkt darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.  Für PM: 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.  Der Messwert im Bereich von $B_1$ darf nicht mehr als $\pm 5 \%$ bei $\Delta T_u$ um 15 K zwischen +5 °C und +20 °C bzw. um 20 K zwischen +20 °C und +40 °C betragen.	Es konnte ein maximaler Einfluss der Umgebungstemperatur im Bereich 5 °C bis 40 °C auf den Nullpunkt von -1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt werden.  Am Referenzpunkt konnten keine Abweichungen >-3,0 % zum Ausgangswert bei 20 °C ermittelt werden.	ja	90
5.3.8 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung	Der Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.  Für PM: Messwertänderung bei $B_1$ maximal $B_0$ im Spannungsintervall (230 +15/-20) V.	Durch Netzspannungsänderungen konnten keine Abweichungen >- 1,4 % für PM <sub>2,5</sub> , bezogen auf den Startwert von 230 V, festgestellt werden.	ja	93
5.3.9 Querempfindlichkeit	Die Änderung des Messwerts aufgrund von Störeinflüssen durch die Querempfindlichkeit gegenüber im Messgut enthaltenen Begleitstoffen darf am Nullpunkt und am Referenzpunkt die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.	Nicht zutreffend.	-	95

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
5.3.10 Mittelungseinfluss	<p>Für gasförmige Messkomponenten muss die Messeinrichtung die Bildung von Stundenmittelwerten ermöglichen.</p> <p>Der Mittelungseinfluss darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.</p>	Nicht zutreffend.	-	96
5.3.11 Standardabweichung aus Doppelbestimmungen	<p>Die Standardabweichung aus Doppelbestimmungen ist mit zwei baugleichen Messeinrichtungen in der Feldprüfung zu ermitteln. Sie darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.</p> <p>Für PM:</p> <p><math>RD \geq 10</math> bezogen auf B<sub>1</sub>.</p>	Die Reproduzierbarkeit für PM <sub>2,5</sub> betrug im Feldtest für den Gesamtdatensatz 21.	ja	97
5.3.12 Langzeitdrift	<p>Die Langzeitdrift am Nullpunkt und am Referenzpunkt darf in der Feldprüfung die die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.</p> <p>Für PM:</p> <p>Nullpunkt: In 24 Stunden und im Wartungsintervall maximal B<sub>0</sub>.</p> <p>Referenzpunkt: In 24 Stunden und im Wartungsintervall maximal 5 % von B<sub>1</sub>.</p>	<p>Die maximal gefundene Abweichung am Nullpunkt lag bei 1,5 µg/m<sup>3</sup> bezogen auf den Vorgängerwert und bei 1,7 µg/m<sup>3</sup> bezogen auf den Startwert.</p> <p>Die im Rahmen der Untersuchung ermittelten Werte für die Drift der Empfindlichkeit betragen, bezogen auf den Vorgängerwert, maximal -2,7 % für PM<sub>2,5</sub>.</p>	ja	99
5.3.13 Kurzzeitdrift	<p>Die Kurzzeitdrift am Nullpunkt und am Referenzpunkt darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) in der Laborprüfung in 12 h (für Benzol in 24 h) und in der Feldprüfung in 24 h nicht überschreiten.</p>	Nicht zutreffend.	-	105



Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
5.3.14 Einstellzeit	Die Einstellzeit (Anstieg) der Messeinrichtung darf höchstens 180 s betragen.  Die Einstellzeit (Abfall) der Messeinrichtung darf höchstens 180 s betragen.  Die Differenz zwischen der Einstellzeit (Anstieg) und der Einstellzeit (Abfall) der Messeinrichtung darf maximal 10 % der Einstellzeit (Anstieg) oder 10 s betragen, je nachdem, welcher Wert größer ist.	Nicht zutreffend.	-	106
5.3.15 Differenz zwischen Proben- und Kalibriereingang	Die Differenz zwischen den Messwerten bei Aufgabe am Proben- und Kalibriereingang darf den Wert der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten	Nicht zutreffend.	-	107
5.3.16 Konverterwirkungsgrad	Bei Messeinrichtungen mit einem Konverter muss dessen Wirkungsgrad mindestens 98 % betragen.	Nicht zutreffend.	-	108
5.3.17 Anstieg der NO <sub>2</sub> -Konzentration durch Verweilen im Messgerät	Bei NO <sub>x</sub> -Messeinrichtungen darf der Anstieg der NO <sub>2</sub> -Konzentration durch Verweilen im Messgerät die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.	Nicht zutreffend.	-	109
5.3.18 Gesamtunsicherheit	Die erweiterte Messunsicherheit der Messeinrichtung ist zu ermitteln. Dieser ermittelte Wert darf die in Anhang A, Tabelle A1 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) aufgeführten Vorgaben der anzuwendenden EU-Richtlinien zur Luftqualität nicht überschreiten.	Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubbemessungen nicht relevant. Es wird auf das Modul 5.4.10 verwiesen.	-	110

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
<b>5.4 Anforderungen an Messeinrichtungen für partikelförmige Luftverunreinigungen</b>				
5.4.1 Allgemeines	Prüfung gemäß Mindestanforderungen der Tabelle 5 der Richtlinie VDI 4202, Blatt 1.  Partikelmassenkonzentration muss auf definiertes Volumen bezogen sein.	Die Prüfung erfolgte gemäß der Mindestanforderungen der Tabelle 5 der Richtlinie VDI 4202, Blatt 1 (September 2010).  Die ermittelte Partikelmasse wird auf ein definiertes und aktiv geregeltes Probenahmenvolumen bezogen und somit die Partikelmassenkonzentration bestimmt.	ja	111
5.4.2 Gleichwertigkeit des Probenahmesystems	Zum Referenzverfahren nach DIN EN 12 341 [T2] ist nachzuweisen.	Für PM <sub>2,5</sub> -Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.10 des vorliegenden Berichts verwiesen.	-	112
5.4.3 Vergleichbarkeit der Probenahmesysteme	Ist im Feldtest nach DIN EN 12 341 [T2] für zwei baugleiche Probenahmesysteme nachzuweisen.	Für PM <sub>2,5</sub> -Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.9 des vorliegenden Berichts verwiesen.	-	113
5.4.4 Kalibrierung	Durch Vergleichsmessung im Feldtest mit Referenzverfahren nach DIN EN 12341 und DIN EN 14907; Zusammenhang zwischen Messsignal und gravimetrischer Referenzkonzentration als stetige Funktion ermitteln.	Ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen dem Referenzmessverfahren und der Geräteanzeige konnte nachgewiesen werden.	ja	114
5.4.5 Querempfindlichkeit	Maximal 10 % vom Grenzwert.	Es konnte kein Störeinfluss >0,6 µg/m <sup>3</sup> Abweichung vom Sollwert für PM <sub>2,5</sub> 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.	ja	116
5.4.6 Mittelungseinfluss	Die Messeinrichtung muss die Bildung von 24 h-Mittelwerten ermöglichen.  Die Summe aller Filterwechsel darf innerhalb von 24 h nicht mehr als 1 % dieser Mittelungszeit betragen.	Mit der beschriebenen Gerätekonfiguration und einem Messzyklus von 1 h bei einer Belegzahl von 24 ist die Bildung von validen Tagesmittelwerten auf Basis der 24 Messzyklen möglich	ja	119



Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
5.4.7 Konstanz des Probenahmevolumenstroms	± 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	121
5.4.8 Dichtheit des Probenahmesystems	Undichtigkeit maximal 1 % vom Probenahmevolumen.	Das vom Gerätehersteller vorgegebene Kriterium zum Bestehen der Dichtigkeitsprüfung – Durchfluss maximal 10 l/h bei blockiertem Einlass – erwies sich in der Prüfung als geeignete Kenngröße zur Überwachung der Gerätedichtigkeit.  Die maximal ermittelte Leckrate von 1 l/h ist kleiner als 1 % von der nominalen Durchflussrate von 1000 l/h (16,67 l/min).	ja	124
5.4.9 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den Prüflingen u <sub>bs</sub>	Ist im Feldtest gemäß Punkt 9.5.2.1 des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ für zwei baugleiche Systeme zu ermitteln.	Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen u <sub>bs</sub> liegt mit maximal 0,84 µg/m <sup>3</sup> für PM <sub>2,5</sub> unterhalb des geforderten Wertes von 2,5 µg/m <sup>3</sup> .	ja	127
5.4.10 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge	Ermittlung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge gemäß den Punkten 9.5.2.2ff des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“.	Die ermittelten Unsicherheiten WCM liegen ohne Anwendung von Korrekturfaktoren für alle betrachteten Datensätze unter der festgelegten erweiterten relativen Unsicherheit Wd <sub>qo</sub> von 25 % für Feinstaub.	ja	134
5.4.11 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen	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 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.	Die Prüflinge erfüllen während der Prüfung die Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen schon ohne eine Anwendung von Korrekturfaktoren. Eine Korrektur der Steigung und des Achsabschnitts führt dennoch zu einer weiteren erheblichen Verbesserung der erweiterten Messunsicherheiten für den Gesamtdatensatz.	ja	148
5.5 Anforderungen an Mehrkomponentenmesseinrichtungen	Müssen für jede Einzelkomponente im Simultanbetrieb aller Messkanäle erfüllt sein.	Nicht zutreffend.	-	154

## 2. Aufgabenstellung

### 2.1 Art der Prüfung

Im Auftrag der DURAG GmbH wurde von der TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH eine Eignungsprüfung für die Messeinrichtung F-701-20 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 1000 µg/m<sup>3</sup> bestimmen.

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“, September 2010 bzw. Juni 2002 [1]
- VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, September 2010 bzw. 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 Januar 2010 [4]

### 3. Beschreibung der geprüften Messeinrichtung

#### 3.1 Messprinzip

Die Immissionsmesseinrichtung F-701-20 basiert auf dem Messprinzip der Beta-Abschwächung.

Das Luftvolumen wird durch ein Glasfaserfilterband hindurchgesaugt, wobei die Staubpartikel auf dem Filter abgeschieden werden. Der Volumenstrom wird von der Steuerung geregelt und aufgezeichnet. Nach der Absaugzeit wird die auf dem Filter gesammelte Masse radiometrisch ausgemessen. Dazu wird eine Messanordnung bestehend aus einem Beta-Strahler (C14) und einem Geiger-Müller-Zählrohr (GM) verwendet.

Das Messprinzip zur Staubmassenbestimmung basiert darauf, dass Beta-Strahlen beim Durchtritt durch Materie abgeschwächt werden. Die Intensität der Strahlung (Pulse pro Messzeit) wird zunächst nach dem Durchtritt durch das unbelegte saubere Filterpapier bewertet. Nach der Staubsammlung wird erneut die Intensität der Strahlung gemessen. Das Verhältnis der beiden Intensitäten ist ein Maß für die auf dem Filterfleck gesammelte Staubmenge (homogene Verteilung auf der Filterfläche vorausgesetzt) und damit bei konstanter Querschnittsfläche des belegten Filterflecks ein Maß für die absolute Staubmasse. Die absolute Staubmasse dividiert durch die abgesaugte Luftmenge ergibt dann die Staubkonzentration.

Das radiometrische Messverfahren ist universell anwendbar, da es in weiten Grenzen unabhängig von den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Staubes und des Trägergases die Masse des Staubes bestimmt.

Bei homogener Verteilung des Staubniederschlages mit der Masse  $m$  auf einer Filterfläche  $A_F$  gilt bis  $5 \text{ mg/cm}^2$  in guter Näherung die lineare Beziehung:

$$\ln(n_0/n) = (\mu/\rho) * d$$

mit:  $d = m/A_F$  in  $\mu\text{g/cm}^2$ , Staubflächendichte bei einem Staubniederschlag in  $\mu\text{g}$  auf der konstanten Niederschlagsfläche in  $\text{cm}^2$

$\mu/\rho$  in  $\text{cm}^2/\text{g}$  ist der Massenschwächungskoeffizient

$\mu$  in  $\text{cm}^{-1}$  ist der lineare Schwächungskoeffizient der verwendeten Beta-Strahlung

$\rho$  in  $\text{g/cm}^3$  ist die Dichte des Absorbermaterials

$n_0$  und  $n$  die vom Zähler ohne (=0-Rate) bzw. mit Staub (=M-Rate) pro Minute erfassten Beta-Teilchen, die elektronisch als Spannungsimpulse registriert werden. Die Impulsrate ist ein Maß für die Strahlungsintensität.

Der Massenschwächungskoeffizient  $\mu/\rho$  der verwendeten Beta-Strahlung ist abhängig von der Elektronendichte des Absorbers und damit proportional dem Verhältnis ( $Z/A$ )

mit:  $Z$  chemische Ordnungszahl

$A$  Massenzahl

Da jedoch für die meisten vorkommenden Stäube das Verhältnis  $(Z/A) = 0,45 \dots 0,5$  näherungsweise konstant ist, ist die Beta-Strahlenschwächung praktisch unabhängig von der chemischen Zusammensetzung und der Korngrößenverteilung des Staubes.

Bei konstant bleibender Filterfläche lässt sich, da  $(\mu/\rho) = \text{konstant}$  ist, die auf dem Filter A abgeschiedene Staubmasse aus der Strahlenschwächung nach der folgenden Gleichung bestimmen:

$$m = A_F \cdot (\rho/\mu) \cdot \ln(n_0/n)$$

mit:  $m$  absolute Staubmasse in g  
 $A_F$  Filterfleckfläche in cm<sup>2</sup>

Da der Massenschwächungskoeffizient  $(\mu/\rho)$  mit abnehmender Beta-Maximalenergie zunimmt, ist die Massenbestimmung durch die Beta-Absorptionsmessung umso empfindlicher, je energieweicher die verwendete Beta-Strahlung ist.

Die Staubkonzentration ergibt sich aus der absoluten Masse, dividiert durch das abgesaugte Luftvolumen.

$$c = m / Q$$

mit:  $c$  Staubkonzentration in g/m<sup>3</sup>  
 $Q$  abgesaugtes Luftvolumen in m<sup>3</sup>



### 3.2 Funktionsweise der Messeinrichtung

Die Immissionsmesseinrichtung F-701-20 basiert auf dem Prinzip der Beta-Abschwächung.

Die Partikelprobe passiert mit einer Durchflussrate von 1 m<sup>3</sup>/h (=16,67 l/min) den PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf und gelangt über das Probeneinlassrohr zum eigentlichen Messgerät F-701-20.

Im Rahmen der Eignungsprüfung wurde die Messeinrichtung mit einem aktiv belüfteten Probeneinlassrohr und ohne eine Rohrbegleitheizung geprüft. Bei Einsatz des aktiv belüfteten Probeneinlassrohres wird ständig Außenluft mittels einer Ventilatoreinheit durch das äußere Hüllrohr befördert, so dass das eigentliche Probenahmerohr im Innern bis zur Messstrecke im Gerät auf der Temperatur der Außenluft gehalten wird. Die Stromversorgung der Ventilatoreinheit erfolgt über das Gerät selbst. Eine zusätzliche passive Isolation des Außenrohrs kann bei extremen Unterschieden zwischen Umgebungstemperatur und Temperatur im Aufstellungsraum des Gerätes hilfreich sein.

Die Messeinrichtung selbst ist kompakt aufgebaut (siehe auch Abbildung 1). Bis auf die Probenahmesonde (Probeneinlassrohr, Probenahmekopf), den meteorologischen Sensor zur Messung von Luftdruck und Umgebungstemperatur und die Installation zur aktiven Belüftung des Probeneinlassrohres sind alle Komponenten in einem Gehäuse untergebracht.

Das Messgerät wird durch ein Mikrocontrollerboard gesteuert.

Der Filterbandtransport wird von der Vorratsrolle zur Aufwickelrolle durch einen Schrittmotor realisiert. Das Geiger-Müller-Zählrohr bestimmt über die Abschwächung der von der C14-Strahlungsquelle ausgehenden Strahlungsintensität die Massezunahme auf dem Filterband. Die Luft wird durch die Pumpe abgesaugt, wobei der Volumenstrom durch das Volumenstrom-Meter gemessen und mittels des Bypass-Ventils konstant auf 1000 l/h geregelt wird. Eine Elektronik steuert die Messvorgänge, ermöglicht eine benutzerfreundliche Bedienung über einen Touchscreen und speichert die Messwerte.

Optional kann das Gerät die gemessenen Staubproben mit einer Abdeckfolie gegen Verschmierung und Verlust schützen, um eine nachträgliche Laboruntersuchung auf Staubinhaltsstoffe, z.B. Schwermetalle, zu ermöglichen. Diese Option war nicht Bestandteil der Eignungsprüfung.

Bei regulärem Messablauf wird am Anfang der Messung ein unbelegter Filterfleck zwischen C14-Strahler und Zählrohr transportiert. Für 300 s wird dann die Strahlungsintensität gemessen, d.h. die vom Zählrohr erzeugten Impulse werden als Maß für die detektierte Beta-Strahlung gewertet.

Anschließend wird der Filterhalter geöffnet und das Filterband solange transportiert, bis sich diese bewertete Filterfläche in der Absaugposition befindet. Der Filterhalter wird anschließend wieder geschlossen und der Absaugvorgang beginnt. Nach Beenden der Probenahme wird der Filterhalter wieder geöffnet und das Filterpapier in die ursprüngliche Position unter das Zählrohr gelegt. Der Filterhalter schließt und die Strahlenintensität wird wieder für 300 s gemessen.

Aus den gemessenen Zählraten vor und nach Absaugung wird dann die Staubmesse gemäß Kapitel 3.1 ermittelt und die Staubkonzentration durch die Verrechnung mit der abgesaugten Luft berechnet.

Die Absaugdauer entspricht der jeweils programmierten Zykluszeit und der programmierten Belegzahl abzüglich der Messzeit bzw. Zeiten für Filterbandbewegungen. Über die Belegzahl kann eine Mehrfachbelegung eines Filterspots festgelegt werden. Sie kann zwischen 1 (=für jeden Zyklus einen neuen Filterspot) und 24 (=ein Filterspot wird 24fach belegt) parametrierbar werden.

Die Absaugdauer beträgt daher:

Für Zykluszeit 60 min und Belegzahl 1:

$$60 \text{ min} - (2 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 48 \text{ min}$$

Bei einer Belegzahl >1 dient dann die Messung nach einer Absaugung sowohl zur Kalkulation des Messwerts des abgeschlossenen Zyklus als auch als Startmessung für den nachfolgenden Zyklus, d.h. pro Zyklus ist nur eine radiometrische Messung von 300 s notwendig.

In der Eignungsprüfung war eine Zykluszeit von 60 min mit einer Belegzahl 24 parametrierbar. Die Absaugdauer beträgt dann:

$$\text{Zyklus 1: } 60 \text{ min} - (2 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 48 \text{ min}$$

$$\text{Zyklus 2-24: } 60 \text{ min} - (1 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 53 \text{ min}$$

Die ermittelten Messwerte werden im Display angezeigt und sind sowohl als 4-20 mA Analogsignal als auch über serielle RS232-Schnittstelle (z.B. mittels Bayern-Hessen-Protokoll, Gesytec) verfügbar. Alle Messwerte der letzten 9 Monate sind im Gerät gespeichert und stehen am Display und über die serielle Schnittstelle zur Verfügung. Ein Download der Messwerte, der Fehlermeldungen sowie der Geräteparameter ist über diesen Weg einfach über ein Terminalprogramm möglich. Optional kann zur Kennzeichnung der gesammelten Staubprobe auch das Filterpapier bedruckt werden. Die letztgenannte Option war nicht Bestandteil der Eignungsprüfung.

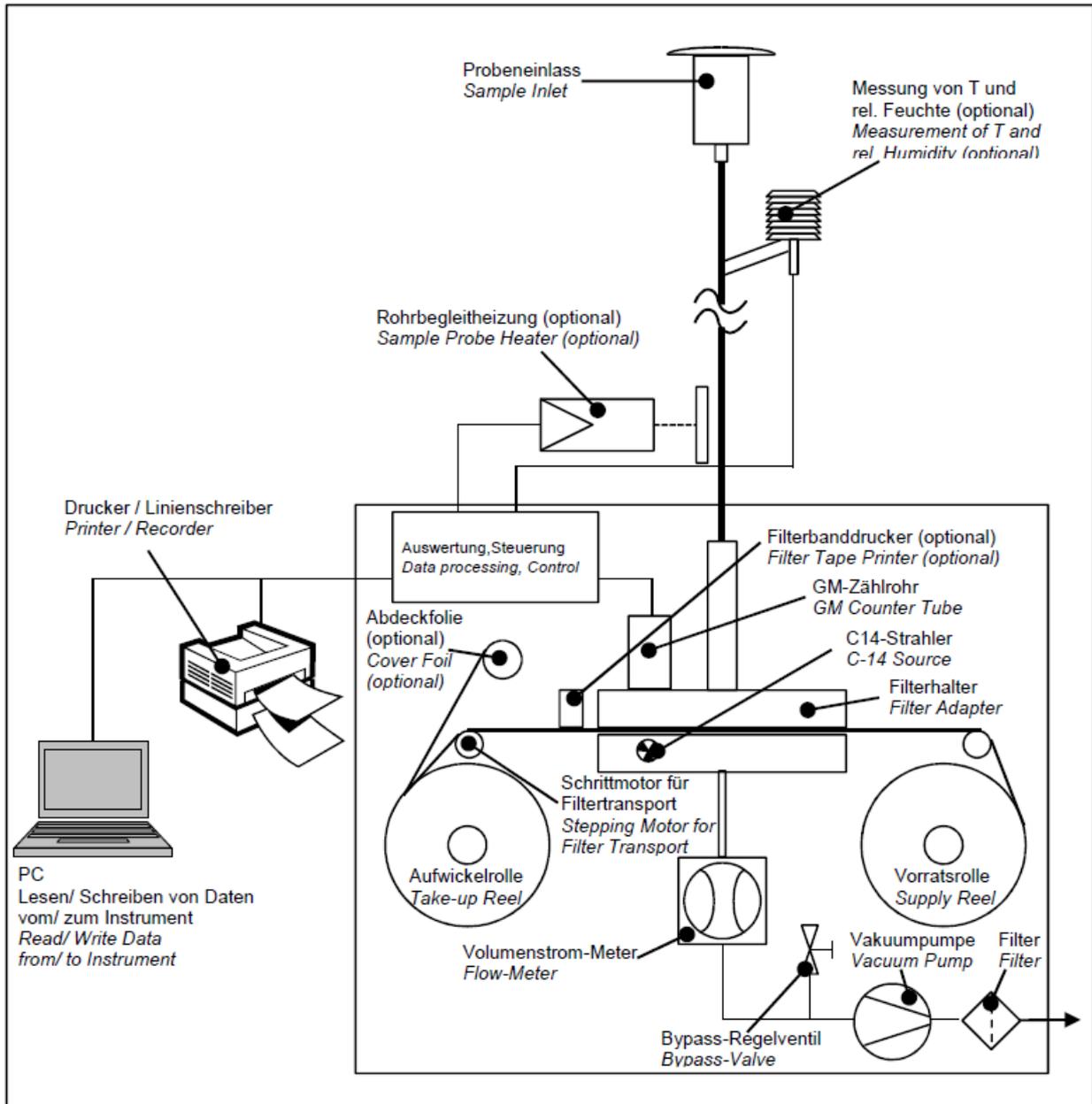


Abbildung 1: Schematische Darstellung – Aufbau der Messeinrichtung F-701-20, hier ohne aktiv belüftetes Probeneinlassrohr

### 3.3 Umfang und Aufbau der Messeinrichtung

Die Messeinrichtung besteht aus dem PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf, dem Meteorologiesensor, dem Probeneinlassrohr mit aktiver Belüftung, dem eigentlichen Messgerät F-701-2 inkl. Glasfaserfilterband, den jeweils zugehörigen Anschlussleitungen und -kabeln sowie Adaptern, der Dachdurchführung inkl. Flansch sowie dem Handbuch in deutscher Sprache.

Abbildung 2 zeigt einen Überblick über die Messeinrichtung F-701-20.

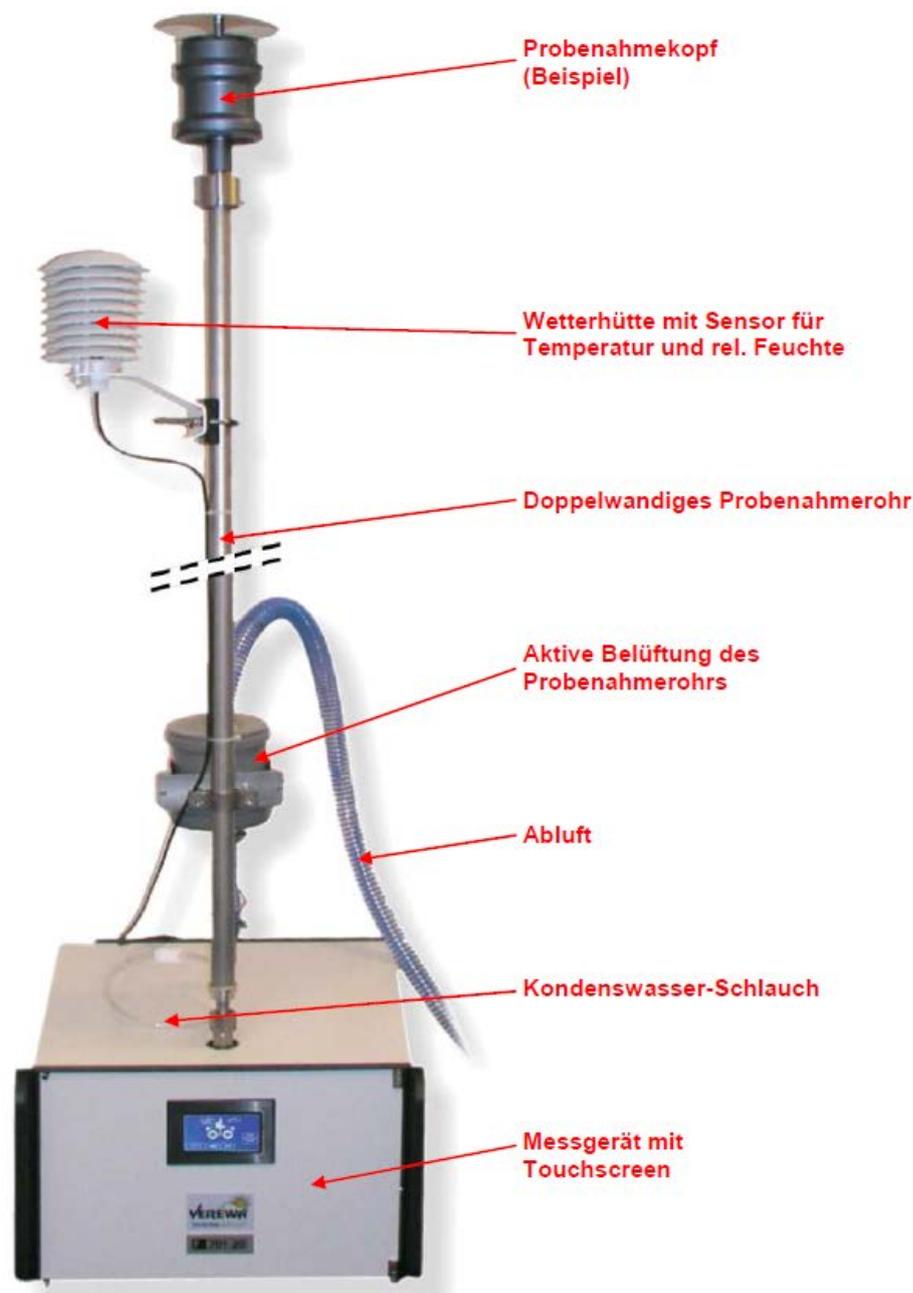


Abbildung 2: Darstellung F-701-20

Als Probenahmekopf wird ein PM<sub>2,5</sub> Probeneinlass (Hersteller: Fa. Comde-Derenda GmbH, Stahnsdorf) eingesetzt. Alternativ ist auch der Einsatz von TSP- oder PM<sub>10</sub>-Probeneinlässen möglich.



*Abbildung 3: Probenahmekopf PM<sub>2,5</sub>*

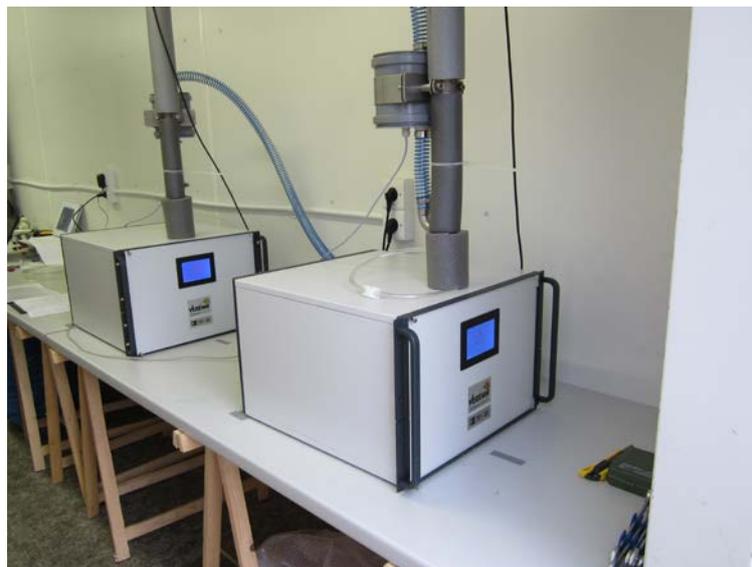
Die Verbindung zwischen Probenahmekopf und Messgerät erfolgt durch das aktiv belüftete Probeneinlassrohr. Bei Einsatz des aktiv belüfteten Probeneinlassrohres wird ständig Außenluft mittels einer Ventilatereinheit durch das äußere Hüllrohr befördert, so dass das eigentliche Probenahmerohr im Innern bis zur Messstrecke im Gerät auf der Temperatur der Außenluft gehalten wird. Die Länge des Probeneinlassrohres in der Eignungsprüfung betrug 2m, alternativ sind auch standardmäßig die Längen von 1 m und 3 m verfügbar.

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>, Berichts-Nr.: 936/21220478/A

Seite 33 von 266



*Abbildung 4: Aktive Belüftung Probenahmesystem im Feldtest*



*Abbildung 5: F-701-20 in Feldtestinstallation*

Zur externen Nullpunktüberprüfung der Messeinrichtung wird ein Nullfilter am Geräteinlass montiert. Der Einsatz dieses Filters ermöglicht die Bereitstellung von schwebstaubfreier Luft.



*Abbildung 6: Nullfilter zur Erzeugung schwebstaubfreier Luft, im Feldeinsatz*

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20  
mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente  
Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>, Berichts-Nr.: 936/21220478/A

Seite 35 von 266

Zur externen Überprüfung der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller eine Referenzfolie zur Verfügung.



Abbildung 7: Referenzfolie

Die Bedienung der Messeinrichtung erfolgt auf der Frontseite der Messeinrichtung über Touchscreen-Display. Der Benutzer kann Messdaten und Geräteinformationen abrufen, Parameter ändern sowie Tests zur Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Messeinrichtung durchführen.

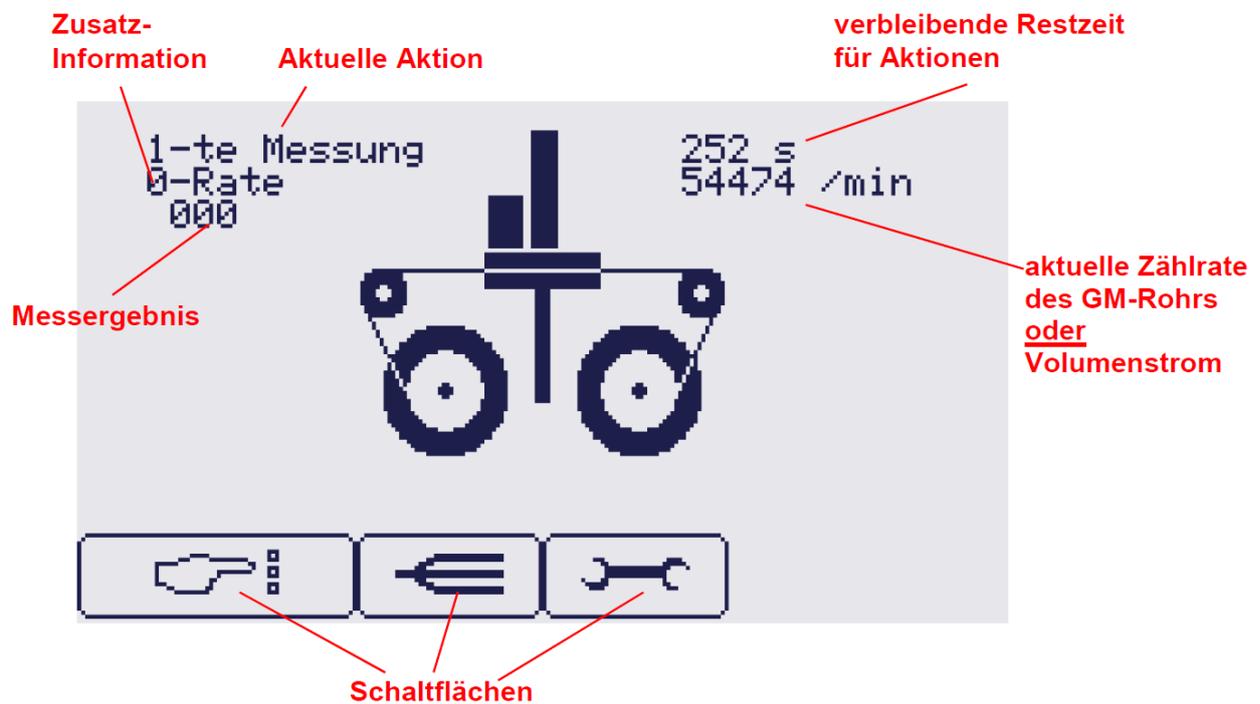
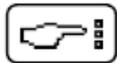


Abbildung 8: Hauptmenü F-701-20

Nach Gerätestart erscheint das Hauptmenü. Hier werden verschiedene Informationen angezeigt, wie

- Aktueller Gerätestatus (Messung; n-te Messung (Zyklusnummer bei Mehrfachbelegung); Standby)
- Zusatzinformationen z.B. Status im aktuellen Messzyklus (0-Rate...)

Über drei Schaltflächen stehen folgende Aktionen zur Verfügung:



**Zwischen Mess-, Datenanzeige- und Parametrier-Modus wechseln.**



**Gehe zu einem Untermenü / zeige zusätzliche Informationen an**



**Wartungsmenü aufrufen**

Über die Taste  kann im Normalbetrieb zwischen den folgenden Menüs gewechselt werden:

**Mess-Modus:** Staubmessung und Anzeige der Ergebnisse, Anzeige der aktuellen Aktivitäten, Durchführung von Serviceaktionen

**Datenanzeige-Modus:** Anzeige der gemessenen Werte in Grafik- oder Tabellenform sowie von Status- und Fehlermeldungen

**Parametrier-Modus:** Anzeige und Änderung der Geräteparameter

Im Parametrier-Modus können alle Parameter eingesehen werden und nach Passworteingabe geändert werden. Abbildung 9 gibt einen Gesamtüberblick über die Menüstruktur der Parameter. Die einzelnen Parameter sind im Gerätehandbuch in Kapitel 7.3.3 ausführlich beschrieben.

- Password            Passworteingabe
- Messwerte         Anzeige der gemessenen/ gespeicherten Werte
- Parameter         Anzeige und Eingabe der Hauptparameter
- Neben Parameter   Anzeige und Eingabe der Unterparameter
- Justage            Korrigieren der Eingangs- und Ausgangs-Signale
- Schnittstellen    Einstellen der Schnittstellenparameter
- Datum/ Uhr        Einstellen von Uhr und Datum
- Service            Grundlegende Betriebsfunktionen, Fehlersuche

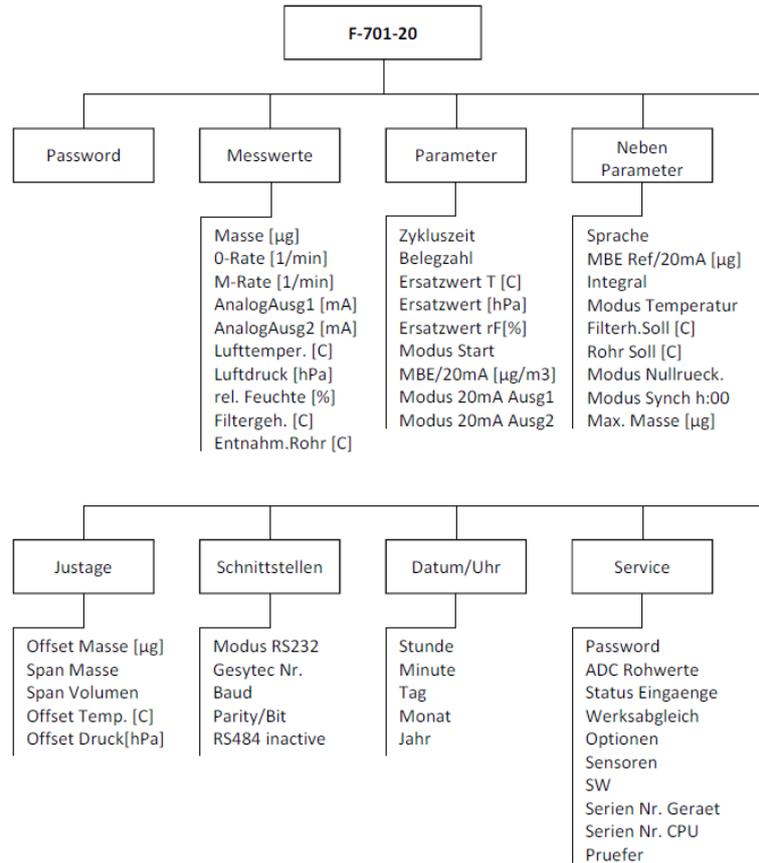


Abbildung 9: Flussdiagramm – Menüstruktur der Parameter

Durch Betätigen der Taste  können zusätzliche Informationen abgerufen werden, so stehen im Mess-Modus Zusatzinformationen z.B. zum normierten Volumenstrom, Außen-temperatur, rel. Luftfeuchte und Umgebungsdruck zur Verfügung.

Durch Betätigen der Taste  wird das Wartungsmenü nach Eingabe des entsprechenden Passwortes aktiviert. Es können folgende Aktionen durchgeführt werden:

-  Filterhalter öffnen
-  Filterhalter schließen
-  Filterband vorwärts
-  Filterband rückwärts
-  Referenzmessung starten
-  Null-Messung starten
-  Referenzfolien-Messung starten

Bei manuellem Betrieb erscheint zusätzlich:

-  Messung starten



Neben der direkten Kommunikation via Touchscreen-Display besteht weiterhin die Möglichkeit mit der Messeinrichtung via RS232 zu kommunizieren. Im Rahmen der Eignungsprüfung erfolgte der Zugriff auf die Messeinrichtungen insbesondere zum Download der intern gespeicherten Messdaten via RS232 und der Terminal-Software HyperTerminal.



Abbildung 10 gibt einen Gesamtüberblick über die Parameter der Prüflinge während der Eignungsprüfung (am Beispiel des Gerätes SN 1512361).

P\_1512361.TXT

Parameter Ausdruck 15.10.13 14:33		Stammdaten: -----	
Beta Staubmeter F 701-20		Serien Nr. CPU 1227716	
Serien Nr. Gerät 1512361		8A-70-00-00-00-0C-E9-68	
Silicon Serial Number		SW 3.10	
-----			
Zykluszeit 1 h		Parameter: -----	
Ersatzwert [hPa] 1013		Belegzahl 24 Ersatzwert T [C] 20	
MBE/20mA [ug/m3] 200		Ersatzwert rF[%] 50 Modus Start 60 Min	
Sprache Deutsch		Modus 20mA Ausg1 conc Modus 20mA Ausg2 mass	
Modus Temperatur humidity		MBE Ref/20mA[ug] 1000 Integral 1	
Modus Nullrueck. inactive		Filterh.Soll [C] 3 Rohr Soll [C] 3	
Offset Masse[ug] 0		Modus Synch h:00 10 Max. Masse [ug] 250	
Offset Temp. [C] 1		Span Masse 1 Span Volumen 0.982	
Modus RS232 terminal		Offset Druck hPa -8	
Parity/Bit no 8		Gesyttec Nr. 123 Baud 9600bd	
RS485 inactive		-----	
Fertigungseinstellungen: -----			
Offset sc1 [ug] 0		Offset sc2-n[ug] 0 Span Service 1	
Offs Fi-Ha[0.1C] 0		Filter adapt.100 4258 Filter adapt.120 9001	
Tube heater 100 4240		Tube heater 120 9019 Temperature 100 4271	
Temperature 120 9022		Volumensensor 1 V 3278 Volumensensor 5 V 15613	
Pressure 4 mA 4024		Pressure 20 mA 15679 Reserve 4 mA 4000	
Reserve 20 mA 15000		b 20 mA Out1 0.998 c 20 mA Out1 0.016	
b 20 mA Out2 1.001		c 20 mA Out2 0.021	
Meldung debounce 0		Beta Sensor GM tube Gerädetyp F701- 20	
Filter Motor micro		Abstand Qu./Rohr 1600 Abstand Flecken 1600	
Intell. Korr. Active 1		ICC Wert 0.39 Vol. GM Quelle 780	
Filter Drucker inactive		Sensor Luft T meteor. Sensor Luft p 4/20mA Druck b 31.25	
Sensor Luft T meteor. 675		Sensor Luft rF meteor.	

Abbildung 10: Übersicht Parameterausdruck F-701-20

Tabelle 2 enthält eine Auflistung wichtiger gerätetechnischer Kenndaten des Schwebstaubimmissionsmessgerätes F-701-20.

*Tabelle 2: Gerätetechnische Daten F-701-20 (Herstellerangaben)*

<b>Abmessungen / Gewicht</b>	<b>F-701-20</b>
Messgerät	482 x 530 x 320 mm / 31 kg
Probenahmerohr	Einfaches oder doppelwandiges Probenahmerohr, Länge 1, 2 m oder 3 m
Probenahmekopf	je nach Hersteller, in Eignungsprüfung Comde-Derenda GmbH, Probenahmekopf PM <sub>2,5</sub> 1,0m <sup>3</sup> /h für Rohranschluss 16 mm
<b>Energieversorgung</b>	Analysator: 230 V / 50 Hz oder 115 V / 60 Hz
<b>Leistungsaufnahme</b>	ca. 400 W
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Temperatur	+5 bis +40 °C (in Eignungsprüfung)
Feuchte	nicht kondensierend
<b>Probenflussrate (Inlet)</b>	16,67 l/min = 1 m <sup>3</sup> /h
<b>Radiometrie Strahler</b>	<sup>14</sup> C-Flächenstrahler, <450 kBq (< 12,5 µCi)
<b>Detektor</b>	Geiger-Müller-Endfensterzählrohr
<b>Parameter Filterwechsel</b>	
Filterband	Glasfaserfilter, 30 m oder 45 m
Messzyklus (Zykluszeit)	15 min - 24 h In Eignungsprüfung: 1 h (24 Wechsel pro Tag)
Belegzahl (Mehrfachbelegung)	1 – 24 In Eignungsprüfung: 24 (max. 24 Zyklen pro Filterfleck)
Max. Staubmasse pro Filterfleck	Abhängig von der Staubzusammensetzung, parametrierbar, in Eignungsprüfung 400 µg
<b>Parameter Probennahmenkonditionierung</b>	
Konditionierung Probeneinlassrohr	Aktive Belüftung
<b>Speicherkapazität Daten (intern)</b>	Abhängig von Größe der SD-Karte, Zugriff direkt am Gerät über Menü auf Daten für letzten 9 Monate

	<b>F-701-20</b>
<b>Geräteeingänge und -ausgänge</b>	Ausgänge: Analog 4-20 mA Digital RS232
<b>Protokolle</b>	Kommunikation mit PC via RS232 Bayern-Hessen, Gesytec
<b>Statussignale / Fehlermeldungen</b>	vorhanden, Übersicht siehe Kapitel 6 Tabelle 3 (Statussignale) bzw. Kapitel 11 Tabelle 7 (Fehlermeldungen) des Bedienungshandbuch

## 4. Prüfprogramm

### 4.1 Allgemeines

Die Eignungsprüfung erfolgte an zwei identischen Geräten mit den Seriennummern SN 1512361 und SN 1512401.

Die Prüfung wurde im Dezember 2012 mit der Softwareversion 3.07 begonnen. Im Rahmen der Softwarepflege wurde die Messeinrichtung zwischenzeitlich zur Version 3.10 weiterentwickelt und optimiert. Der Gerätehersteller DURAG GmbH unterzieht sich an seinem Produktionsstandort in Hamburg seit 2010 der regelmäßigen Überwachung gemäß Richtlinie DIN EN 15267-2. Seit 2013 befindet sich auch die Messeinrichtung F-701-20 im Auditumfang. Die durchgeführten Modifikationen der Software wurden gemäß den Vorgaben der Richtlinie DIN EN 15267-2 beschrieben, bewertet, der Änderungstyp klassifiziert und die Informationen dem Prüfinstitut zur Verfügung gestellt.

Es erfolgten im Detail folgende Modifikationen der Software zwischen Version 3.07 und 3.10:

*Tabelle 3: Übersicht der Softwarestände während der Eignungsprüfung*

Version	Beschreibung der Änderungen	Art der Änderung	Bewertung Prüfinstitut
3.07	Startversion	-	-
3.10	Ein softwaremäßiger Dongle wurde implementiert um ein Kopieren der Hardware zu erschweren.	Funktionserweiterung	Kein Einfluss
	Die im Display dargestellte Uhrzeit lässt sich auch mit Sekunden darstellen.	Funktionserweiterung	Kein Einfluss
	Beim Parameter „Zykluszeit“ wurde der Wert „1/2 h“ nicht dauerhaft gespeichert (die anderen Einstellungen funktionierten einwandfrei). Stattdessen war die Zykluszeit nach dem Einschalten eine Stunde. Der Fehler wurde korrigiert.	Fehlerbeseitigung	Kein Einfluss
	Benennung Parameter von „Modus Start h:00“ in „Modus Synch h:00“	Kosmetisch	Kein Einfluss
	Parameter „Abstand Qu./Rohr“ und „Abstand Flecken“ in der Menüstruktur von Menüpunkt „Neben Parameter“ nach „Service/Optionen“ verschoben.	Kosmetisch	Kein Einfluss



3.10	Der Parameter Q-Check wird bei Auslesen der Parameter via der seriellen Schnittstelle nicht mehr ausgegeben	Kosmetisch	Kein Einfluss
	Bei der Einschaltmeldung auf dem Display wird das Erstelldatum der Software nicht mehr angezeigt (führte zu Verwechslung mit dem aktuellen Datum)	Kosmetisch	Kein Einfluss

Die durchgeführten Änderungen dienen der Funktionserweiterung, der Fehlerbeseitigung sowie der kosmetischen Produktpflege. Sie haben keinen Einfluss auf die Performance der Messeinrichtung.

Mit Beginn der dritten von insgesamt vier Vergleichsmesskampagnen wurde die Softwareversion von 3.07 auf 3.10 upgedatet und dann über die Vergleichskampagnen Köln, Herbst und Köln, Winter auf den Geräten betrieben.

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 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 vom Typ dem F-701-20 mit den Seriennummern SN 1512361 und SN 1512401 durchgeführt. Nach den Richtlinien [1, 2] 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 der Empfindlichkeit von der Netzspannung

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

- Klimakammer (Temperaturbereich von –20 °C bis +50 °C, Genauigkeit besser als 1 °C)
- Trennstelltrafo
- 1 Massendurchflussmesser Model 4043 (Hersteller: TSI)
- Nullfilter zur externen Nullpunktüberprüfung
- Referenzfolien

Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte geräteintern. Die gespeicherten Messwerte wurden via RS232-Schnittstelle mittels Hyperterminal 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: SN 1512361

Gerät 2: SN 1512401

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"
- Ermittlung der Kalibrierfähigkeit, Aufstellung der Analysenfunktion
- Bestimmung der Reproduzierbarkeit
- Ermittlung der zeitlichen Änderung des Nullpunktes und der Empfindlichkeit
- Betrachtung der Abhängigkeit der Messwerte von der im Messgut enthaltenen Luftfeuchte
- Ermittlung des Wartungsintervalls
- Bestimmung der Verfügbarkeit
- Überprüfung der Konstanz des Probenahmevervolumenstroms
- Ermittlung der Gesamtunsicherheit der Testgeräte

Für den Feldtest wurden folgende Geräte eingesetzt:

- Messcontainer des TÜV Rheinland, klimatisiert auf ca. 20 °C
- Wetterstation (WS 500 der Fa. ELV Elektronik AG, in Deutschland) 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
- 1 Gasuhr, trockene Bauart
- 1 Massendurchflussmesser Model 4043 (Hersteller: TSI)
- Messgerät zur Erfassung der Leistungsaufnahme Metraterster 5 (Hersteller: Fa. Gosson Metrawatt)
- Nullfilter zur externen Nullpunktüberprüfung
- Referenzfolien

Im Feldtest liefen jeweils für 24 h zeitgleich zwei Prüflinge und zwei Referenzgeräte PM<sub>2,5</sub>. Das Referenzgerät arbeitet diskontinuierlich, d. h. nach erfolgten Probenahmen muss das Filter manuell gewechselt werden.

Die Impaktionsplatten der PM<sub>2,5</sub>-Probenahmeköpfe der Referenzgeräte wurden in der Prüfung ca. alle 2 Wochen gereinigt und mit Silikonfett eingefettet, um eine sichere Trennung und Abscheidung der Partikel zu gewährleisten. Die PM<sub>2,5</sub>-Probenahmeköpfe der Prüflinge wurden ca. alle 4 Wochen gereinigt. Der Probenahmekopf muss prinzipiell nach den Anweisungen des Herstellers gesäubert werden, wobei die örtlichen Schwebstaubkonzentrationen in Betracht zu ziehen sind.

Bei den Prüflingen sowie bei den Referenzgeräten wurde der Durchfluss vor und nach jedem Standortwechsel mit einer trockenen Gasuhr bzw. mit einem Massendurchflussmesser, 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 Referenzsysteme (LVS3) wurden komplett im Freien auf dem Dach installiert.

Der Feldtest wurde an folgenden Messstandorten durchgeführt:

*Tabelle 4: Feldteststandorte*

<b>Nr.</b>	<b>Messstandort</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Charakterisierung</b>
1	Bonn, Straßenkreuzung, Winter	02/2013 – 05/2013	Verkehrseinfluss
2	Bornheim, Autobahnparkplatz, Sommer	05/2013 – 07/2013	Ländliche Struktur + Verkehrseinfluss
3	Köln, Parkplatzgelände, Herbst	09/2013 – 12/2013	Städtischer Hintergrund
4	Köln, Parkplatzgelände, Winter	01/2014 – 03/2014	Städtischer Hintergrund

Abbildung 11 bis Abbildung 14 zeigen den Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen an den Feldteststandorten, die mit den Referenzmesseinrichtungen aufgenommen wurden.

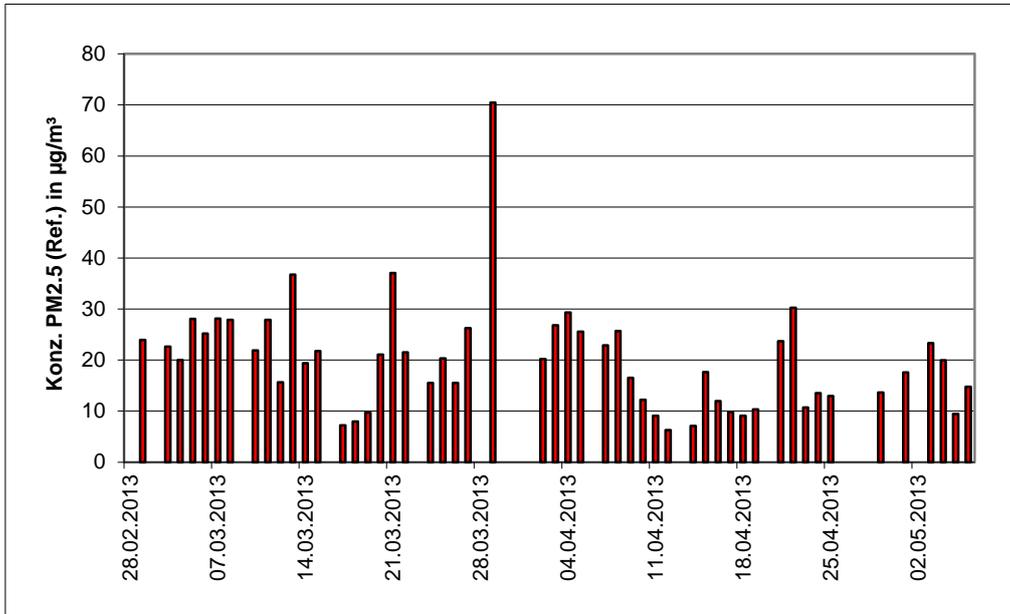


Abbildung 11: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Bonn, Straßenkreuzung, Winter“

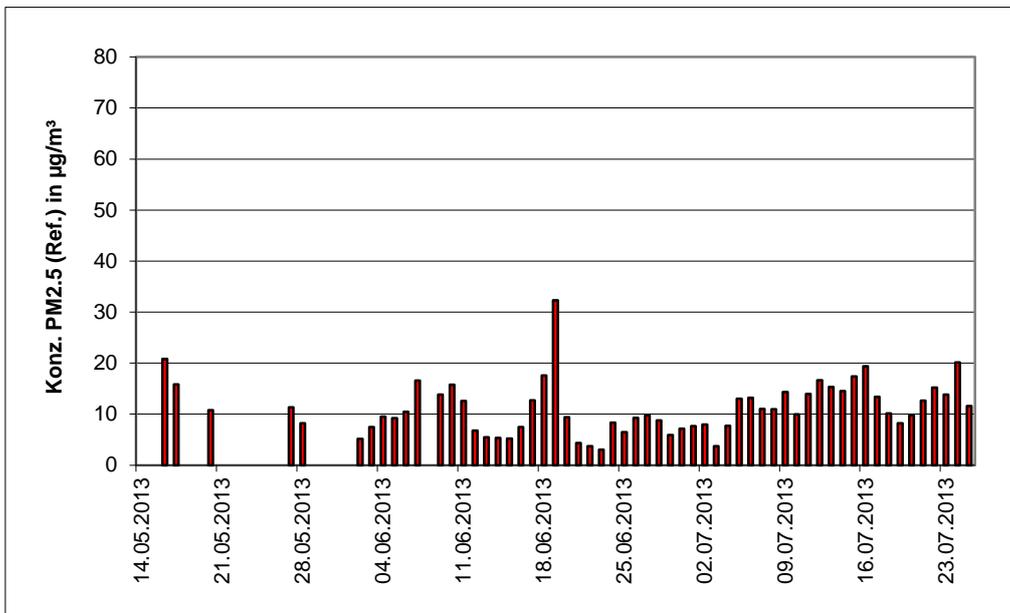


Abbildung 12: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Bornheim, Autobahnparkplatz, Sommer“

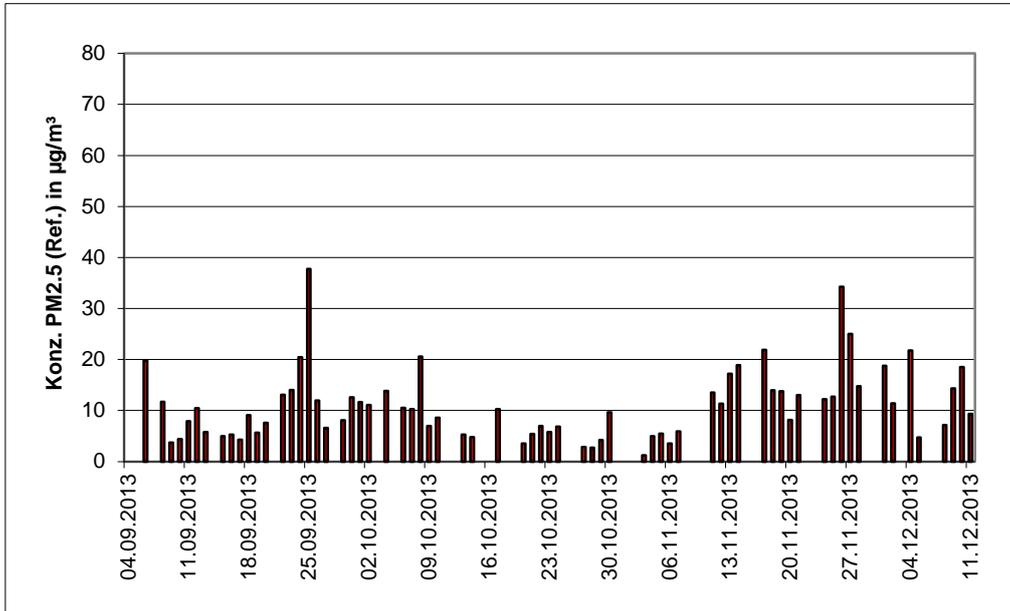


Abbildung 13: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände, Herbst“

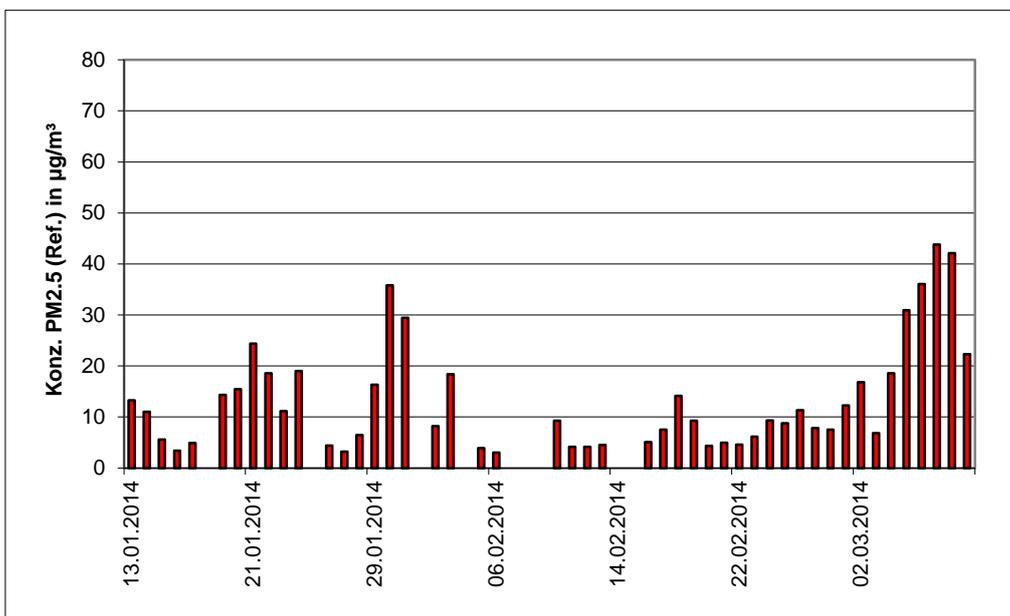


Abbildung 14: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände, Winter“

Die folgenden Abbildungen zeigen den Messcontainer an den Feldteststandorten, Bonn (Straßenkreuzung), Bornheim (Autobahnparkplatz) und Köln (Parkplatzgelände).



*Abbildung 15: Feldteststandort Bonn, Straßenkreuzung*



*Abbildung 16: Feldteststandort Bornheim, Autobahnparkplatz*



*Abbildung 17: Feldteststandort Köln, Parkplatzgelände*

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 sowie die Anordnung der Probenahmesonden wurden durch die folgenden Abmessungen charakterisiert:

- Höhe Containerdach: 2,50 m
- Höhe der Probenahme für Test-/ 0,50 m / 0,51 m über Containerdach
- Referenzgerät 3,00 / 3,01 m über Grund
- Höhe der Windfahne: 4,5 m über Grund

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 Anlagen 5 und 6 zu finden.

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

	Bonn, Straßenkreuzung Winter	Bornheim, Autobahnparkplatz, Sommer	Köln, Parkplatzgelände Herbst	Köln, Parkplatzgelände Winter
Anzahl Wertepaare Referenz	51	58	68	47
<b>Anteil PM<sub>2,5</sub> an PM<sub>10</sub> [%]</b>				
Bereich	42,2 – 96,5	39,1 – 84,6	28,6 – 90,7	32,0 – 90,9
Mittelwert	70,5	60,5	61,7	68,8
<b>Lufttemperatur [°C]</b>				
Bereich	-3,4 – 20,0	6,4 – 27,6	1,1 – 25,5	2,5 – 13,1
Mittelwert	8,0	17,7	10,9	6,5
<b>Luftdruck [hPa]</b>				
Bereich	985 – 1018	989 – 1020	986 – 1027	984 – 1022
Mittelwert	1004	1008	1008	1000
<b>Rel. Luftfeuchte [%]</b>				
Bereich	42,8 – 85,8	52,2 – 89,1	56,3 – 89,8	46,8 – 87,2
Mittelwert	63,0	69,2	79,5	74,4
<b>Windgeschwindigkeit [m/s]</b>				
Bereich	0,4 – 4,2	0,2 – 4,7	0,0 – 2,5	0,0 – 3,0
Mittelwert	1,6	1,4	0,4	0,7
<b>Niederschlagsmenge [mm/d]</b>				
Bereich	0,0 – 13,2	0,0 – 34,6	0,0 – 35,8	0,0 – 18,9
Mittelwert	0,9	3,3	3,4	1,7

## **Dauer der Probenahmen**

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

Im Feldtest wurde immer eine Probenahmezeit von 24 h für alle Geräte eingestellt (von 10:00 – 10:00 (Köln) und von 7:00 – 7:00 (Bonn und Bornheim)).

## **Handhabung der Daten**

Die ermittelten Messwertpaare 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 werden, bis der kritische Wert der Prüfgröße unterschritten wurde. Die Version des Leitfadens [4] vom Januar 2010 verlangt, dass nur 2,5 % der Datenpaare als Ausreißer ermittelt und entfernt werden dürfen.

Für die Prüflinge werden prinzipiell keine Messwerte verworfen, es sei denn, es liegen begründbare technische Ursachen für unplausible Werte vor. Es wurden in der gesamten Prüfung keine Messwerte der Prüflinge verworfen.

Die statistischen Ausreißertests nach Grubbs (99 %) ergaben für keinen Standort als signifikante Ausreißer erkannte Messwertpaare. Somit wurden auch für die Referenzmessung für PM<sub>2,5</sub> keine Messwertpaare verworfen.

### **Filterhandling - Massenbestimmung**

Folgende Filter wurden in der Eignungsprüfung verwendet:

*Tabelle 6: Eingesetzte Filtermaterialien*

<b>Messgerät</b>	<b>Filtermaterial, Typ</b>	<b>Hersteller</b>
Referenzgeräte LVS3	Emfab <sup>™</sup> , Ø 47 mm	Pall

Die Behandlung der Filter entspricht den Anforderungen der DIN EN 14907.

Die Verfahren zur Behandlung der Filter und zur Wägung sind im Detail im Anhang 2 zu diesem Bericht beschrieben.

## 5. Referenzmessverfahren

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

1. als Referenzgerät PM<sub>2,5</sub>: Kleinfiltergerät Low Volume Sampler LVS3  
Hersteller: Ingenieurbüro Sven Leckel, Leberstraße 63, Berlin,  
Deutschland  
Herstelldatum: 2007 und 2010  
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 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. Es wird der jeweilige Konzentrationsmesswert aus dem letzten Zyklus angezeigt. Es können zudem leicht im Datenanzeige-Modus die gespeicherten Messwerte in Tabellenform oder als Balkendiagramm angezeigt werden

### **6.5 Bewertung**

Die Messeinrichtung besitzt eine Messwertanzeige.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Abbildung 18 zeigt die Benutzeranzeige mit dem aktuellen Konzentrationsmesswert aus dem jeweilig letzten Zyklus. Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen die Darstellung der gespeicherten Messwerte in tabellarischer und in grafischer Form.



Abbildung 18: Messanzeige Konzentrationsmesswerte



Abbildung 19: Datenanzeige – Messwerte tabellarisch



*Abbildung 20: Datenanzeige - Messwerte als Balkendiagramm*

## **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 via RS232-Schnittstelle über Gesytec-Protokoll 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 alle 4 Wochen).
3. Kontrolle des Filterbandvorrates –  
Ein Filterband mit 45 m Länge reicht bei einer Zykluszeit von 1 h und einer Belegzahl von 24 (Einstellung in Eignungsprüfung) dabei theoretisch für 30.000 Messzyklen entsprechend 1250 Tagen aus. Da je nach Schwebstaubkonzentrationslevel in der Praxis auf Grund einer möglichen Überschreitung der maximal pro Filterfleck zulässigen Masse von 400 µg ein neuer Filterfleck früher als bis zum Erreichen einer 24fachen Belegung angefahren werden muss, reduziert sich die Zeit, in der die Filterbandrolle verbraucht wird entsprechend.  
Bei einer Zykluszeit von 1 h und einer minimalen Belegzeit von 1 (d.h. für jeden Zyklus wird ein neuer Filterfleck verwendet) ergeben sich 1.250 Messzyklen entsprechend 52 Tagen. Es empfiehlt sich daher, den Vorrat des Filterbandes bei jedem Besuch der Messeinrichtung zur regelmäßigen Wartung zu überprüfen (z.B. im Rahmen der Säuberung des Probenahmekopfes).
4. Gemäß Hersteller soll die Pumpe nach einem Jahr Laufzeit ca. alle 6 Wochen gewartet werden, d.h. es sind die Filter auszublasen und die Lamellenhöhe zu kontrollieren und ggf. die Lamellen zu wechseln
5. Eine Überprüfung der Sensoren für Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck sollte gemäß DIN CEN/TS 16450 [9] alle 3 Monate erfolgen.
6. Eine Überprüfung der Durchflussrate sollte gemäß DIN CEN/TS 16450 [9] alle 3 Monate erfolgen.
7. Eine Überprüfung der Dichtigkeit sollte im Rahmen der Überprüfung der Durchflussrate ebenfalls alle 3 Monate erfolgen.
8. Der Filterhalter, die Transportrolle und die Andruckrollen sind alle 6 Monate zu säubern.
9. Die Abluffilter und die Schlauchverbindungen sind alle 6 Monate zu prüfen und ggf. auszublasen.
10. Der Pumpenfilter und die Dichtung soll einmal jährlich getauscht werden.



11. Einmal im Jahr ist der Meteorologiesensor zur Rekalibrierung an den Gerätehersteller einzuschicken. Darüber hinaus wird eine Überprüfung der radiometrischen Messung mit Hilfe der Referenzfolie einmal im Jahr empfohlen.
12. Während einer jährlichen Grundwartung ist auch auf die Reinigung des Probenahme-rohres zu achten.

Zur Durchführung der Wartungsarbeiten sind die Anweisungen im Handbuch (Kapitel 5.3 und 10) zu beachten. Alle Arbeiten lassen sich grundsätzlich mit üblichen Werkzeugen durchfüh-ren.

## **6.5 Bewertung**

Wartungsarbeiten sind mit üblichen Werkzeugen und vertretbarem Aufwand von außen durchführbar. Der Tausch des Filterbandes, die Wartungsarbeiten an der Pumpe sowie die Arbeiten gemäß den Punkten 7ff sind nur bei einem Stillstand des Gerätes durchzuführen. Diese Arbeiten fallen alle 6 Wochen (Pumpe), alle 6 Monate (Reinigungsarbeiten) bzw. in Abhängigkeit von der eingestellten Zykluszeit und Belegzahl (Filterbandwechsel) an. In der restlichen Zeit kann sich die Wartung im Wesentlichen auf die Kontrolle von Verschmutzungen, Plausibilitätschecks und etwaigen Status-/Fehlermeldungen beschränken.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Die Arbeiten an den Geräten wurden während der Prüfung auf Basis der in den Handbü-chern beschriebenen Arbeiten und Arbeitsabläufe durchgeführt. Bei Einhaltung der dort be-schriebenen Vorgehensweise konnten keine Schwierigkeiten beobachtet werden. Alle War-tungsarbeiten 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.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bedienungshandbuch, Nullfilter, Referenzfolie

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Der Gerätestatus der Messeinrichtung wird kontinuierlich überwacht und Probleme über eine Reihe von verschiedenen Fehlermeldungen angezeigt. Für die korrekte Performance wichtige Kenngrößen (z.B. Durchfluss) können zudem entweder am Gerät selbst eingesehen werden und/oder bei der Datenaufzeichnung kontinuierlich mitgeloggt werden.

Die Messeinrichtung bietet zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit die Möglichkeit einer internen Überprüfung von Null- und Referenzpunkt. Auf beide Prüfungen kann über das Wartungsmenü direkt zugegriffen werden. Eine telemetrische Ansteuerung ist ebenfalls möglich.

Bei der internen Überprüfung des Nullpunktes („Nullmessung“) wird die Funktion der Quelle und des Geiger-Müller-Rohres überprüft. Es wird ohne Filtertransport eine 0- und eine M-Rate gemessen und die entsprechend ermittelte Masse ermittelt. Das Ergebnis soll als Absolutbetrag einen Messwert von  $\leq 10 \mu\text{g}$  nicht überschreiten.

Bei der internen Überprüfung des Referenzpunktes („Referenzmessung“) wird ebenfalls ohne Filtertransport eine 0-Rate und eine M-Rate gemessen. Dabei wird die M-Rate um ein Sechstel schwächer bewertet, was einer Masse von  $444 \mu\text{g}$  (wenn Offset-Parameter im Gerät = 0 und Span-Parameter = 1 gesetzt ist) entspricht. Dieser Messwert sollte mit einer Toleranz von  $\pm 20 \mu\text{g}$  erreicht werden. Weichen die Offset- und Span-Parameter von 0 bzw. 1 ab, so ist dies entsprechend zu berücksichtigen.

Es besteht weiterhin die Möglichkeit, den Nullpunkt der Messeinrichtung extern zu überprüfen. Hierzu wird ein Nullfilter am Geräteinlass montiert. Der Einsatz dieses Filters ermöglicht die Bereitstellung von schwebstaubfreier Luft.

Im Rahmen der Prüfung wurde ca. alle 4 Wochen eine Bestimmung des Nullpunktes mit Hilfe des Nullfilters durchgeführt.

Zur externen Überprüfung der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller eine Referenzfolie zur Verfügung. Mit Hilfe der Referenzfolie können nur Massen bestimmt werden.

Im Rahmen der Prüfung wurde während der gesamten Feldtestdauer regelmäßig eine externe Überprüfung der Stabilität mittels Referenzfolie durchgeführt.



## 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 Fehlermeldungen angezeigt.

Die Messeinrichtung bietet zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit die Möglichkeit einer internen Überprüfung von Null- und Referenzpunkt. Diese können direkt am Gerät oder telemetrisch angesteuert werden.

Die internen Überprüfungen von Null und Referenzpunkt wurden am 15.03.2014 nochmal explizit mit folgenden Ergebnissen geprüft:

*Tabelle 7: Ergebnisse der internen Überprüfungen von Null und Referenzpunkt*

15.03.2014	SN 1512361		SN 1512401	
	Soll	Ist	Soll	Ist
Nullmessung	≤ 10 µg	1 µg	≤ 10 µg	4 µg
Referenzmessung	444 µg ± 20 µg	446 µg	444 µg ± 20 µg	444 µg

Für beide Geräte lagen die ermittelten Abweichungen innerhalb der vom Gerätehersteller angegebenen zulässigen Grenzen.

Eine externe Überprüfung des Nullpunktes ist mit Hilfe des Nullfilters jederzeit möglich. Eine externe Überprüfung der radiometrischen Messung ist mit Hilfe der Referenzfolie ebenfalls jederzeit möglich.

## 6.5 Bewertung

Alle im Bedienungshandbuch beschriebenen Gerätefunktionen sind vorhanden, aktivierbar und funktionieren. Der aktuelle Gerätestatus wird kontinuierlich überwacht und Probleme über eine Reihe von verschiedenen Fehlermeldungen angezeigt. Die Messeinrichtung bietet zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit die Möglichkeit einer internen Überprüfung von Null- und Referenzpunkt. Diese können direkt am Gerät oder telemetrisch angesteuert werden.

Die Ergebnisse der externen Nullpunktüberprüfungen mit Nullfilter über die Dauer der Felduntersuchungen sowie der periodisch durchgeführten Überprüfungen der Stabilität der radiometrischen Messung sind im Kapitel 6.1 5.3.12 Langzeitdrift in diesem Bericht dargestellt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

### Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Siehe unter dem Punkt: 6.1 5.3.12 Langzeitdrift

## **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 Messsystem muss witterungsunabhängig installiert werden, z. B. in einem klimatisierten Messcontainer. Zudem erfordert die Durchführung des aktiv belüfteten Probenahmesystems durch das Dach 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)
- Installation des doppelwandigen, aktiv belüfteten Probenahmesystems und des PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf
- Montage des Meteorologiesensors (in die Nähe des Probenahmekopfes)
- Anschluss aller Verbindungs-, Steuerungsleitungen
- Anschluss der Energieversorgung
- optional Anschluss von peripheren Erfassungs- und Steuerungssystemen (Datalogger, PC) an die entsprechenden Schnittstellen
- Einschalten der Messeinrichtung
- Filterband einlegen

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



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

Nach dem Einschalten des Systems befindet sich die Messeinrichtung bis zum Erreichen der parametrisierten Startzeit für den nächsten Messzyklus grundsätzlich in Warteposition.

Es sind folgende Schritte zur erstmaligen Inbetriebnahme vorzunehmen:

- Überprüfung der Geräteeinstellung bzgl. Zykluszeit, Belegzahl, Modus Start, Modus Temperatur, Modus Synch h:00 sowie Datum und Zeit
- Überprüfung / ggfs. Justierung des Meteorologiesensors und der Messung für den Umgebungsluftdruck
- Durchführung einer Dichtigkeitsprüfung
- Überprüfung / ggfs. Justierung der Durchflussrate
- Ggfs. externe Überprüfung der radiometrischen Massenbestimmung mit Referenzfolie

Zeitbedarf: ca. 1 Stunde

Im Falle einer Wiederinbetriebnahme nach kürzerer Stillstandsphase z.B. nach Stromausfall, können die genannten Schritte bis auf die Überprüfung der Geräteparametrierung, die Plausibilitätsüberprüfung der Sensorwerte sowie die Überprüfung von etwaigen Status-/Fehlermeldungen unterbleiben.

Falls erforderlich, können etwaige Änderungen der Grundparametrierungen der Messeinrichtungen ebenfalls in wenigen Minuten durch mit den Geräten vertrautes Personal durchgeführt werden.

## **6.5 Bewertung**

Die Rüst- und Einlaufzeiten wurden ermittelt.

Die Messeinrichtung kann bei überschaubarem Aufwand an unterschiedlichen Messstellen betrieben werden. Die Rüstzeit beträgt ca. 1 Stunde. Die Einlaufzeit beträgt ca. 1 h bei erstmaliger Inbetriebnahme bzw. die Wartezeit bis zum Beginn des nächsten Messzyklus bei Wiederinbetriebnahme nach kurzzeitigen Stillstandsphasen.

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 während des Feldtests bestimmt.

## 6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung muss in horizontaler Einbaulage (z.B. auf einem Tisch oder in einem Rack) witterungsunabhängig installiert werden. Die Temperatur am Aufstellungsort muss im Bereich von 5 °C bis 40 °C liegen. Direkte Sonneneinstrahlung bzw. eine unmittelbare Exposition zu Heizung oder Klimaanlage sind zu vermeiden.

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

Der Energiebedarf der Messeinrichtung mit der eingesetzten Pumpe wird vom Hersteller mit maximal ca. 400 W angegeben. In einem 24stündigen Test wurde der Gesamtenergiebedarf der Messeinrichtung ermittelt. Zu keinem Zeitpunkt wurde bei dieser Untersuchung der angegebene Wert überschritten.

## 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 der Messeinrichtung erfolgt auf der Frontseite der Messeinrichtung über ein Touchscreen-Display.

Eine Veränderung von Parametern oder die Justierung von Sensoren ist nur über mehrere Tastenfolgen möglich.

Die Messeinrichtung verfügt zudem über einen Passwortschutz. Es stehen drei verschiedene Passwörter zur Verfügung:

Passwort1: für die Änderung von Parametern (→Parametriemodus)

Passwort2: für die Durchführung von Serviceaktionen

Passwort3: Systempasswort

Ohne Kenntnis des Passwort1 können Geräteparameter eingesehen werden, aber nicht verändert werden.

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**

Unbeabsichtigtes und unbefugtes Verstellen von Geräteparametern kann durch den Passwortschutz verhindert werden. Ferner ergibt sich ein zusätzlicher Schutz vor unbefugtem Eingriff durch die Installation in einem verschlossenen Messcontainer.

#### **6.5 Bewertung**

Die Messeinrichtung ist gegen unbeabsichtigtes und unbefugtes Verstellen von Geräteparametern gesichert. Die Messeinrichtung ist darüber hinaus in einem Messcontainer zu verschließen.

Mindestanforderung erfüllt? ja

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

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.



## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Abbildung 21 zeigt eine Ansicht der Geräterückseite mit den jeweiligen Messwertausgängen (Datenausgänge).

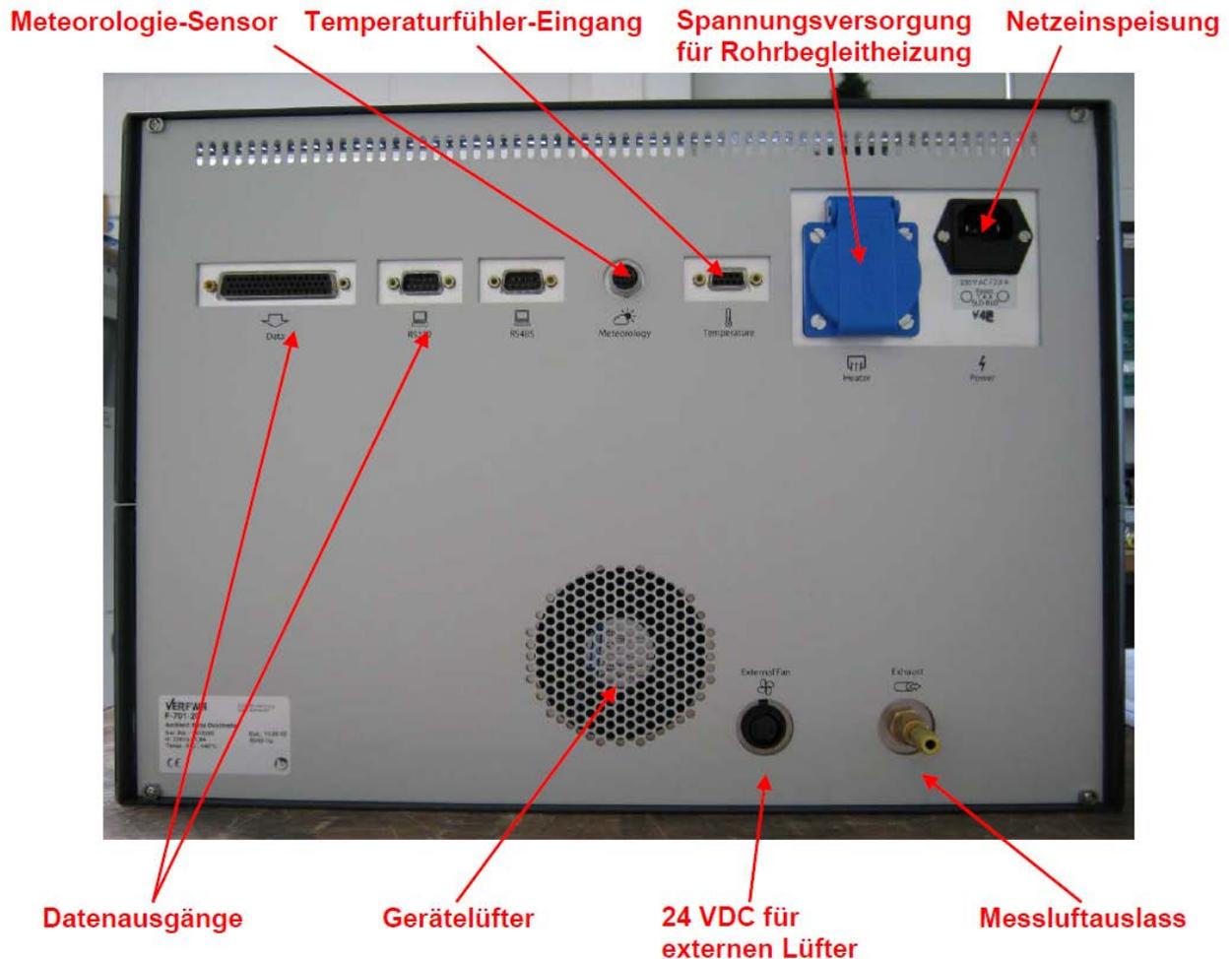


Abbildung 21: Ansicht Geräterückseite F-701-20

## **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 Zertifizierungsbereiche

Der für die Prüfung vorgesehene Zertifizierungsbereich ist zu ermitteln.

### 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Zur Prüfung dieser Mindestanforderung sind keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

### 6.3 Durchführung der Prüfung

Der für die Prüfung vorgesehene Zertifizierungsbereich ist zu ermitteln.

### 6.4 Auswertung

Die Richtlinie VDI 4202, Blatt 1 enthält folgende Mindestanforderungen für die Zertifizierungsbereiche von Schwebstaubimmissionsmesseinrichtungen:

Tabelle 8: Zertifizierungsbereiche

Messkomponente	Untere Grenze ZB	Obere Grenze ZB	Grenzwert	Beurteilungszeitraum
	in µg/m <sup>3</sup>	in µg/m <sup>3</sup>	in µg/m <sup>3</sup>	
PM <sub>2,5</sub>	0	50	25	Kalenderjahr

Die Zertifizierungsbereiche orientieren sich am Grenzwert für den kleinsten Beurteilungszeitraum und diesen zur Beurteilung der Messeinrichtung im Bereich dieses Grenzwerts. Diese Beurteilung der Messeinrichtung im Bereich des Grenzwertes erfolgt im Rahmen der Bestimmung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge gemäß Leitfaden [4]. Hierzu werden als Bezugswerte gemäß Leitfaden die folgenden Werte herangezogen:

PM<sub>2,5</sub>: 30 µg/m<sup>3</sup>

Es wird auf den Prüfpunkt 6.1 5.4.10 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge im Bericht verwiesen.

### 6.5 Bewertung

Die Beurteilung der Messeinrichtung im Bereich der relevanten Grenzwerte ist möglich.

Mindestanforderung erfüllt? ja

### 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Siehe unter dem Prüfpunkt 6.1 5.4.10 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge im Bericht.

## **6.1 5.2.2 Messbereich**

*Der Messbereichsendwert der Messeinrichtung muss größer oder gleich der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs 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 der oberen Grenze des Zertifizierungsbereiches ist.

## **6.4 Auswertung**

An der Messeinrichtung ist standardmäßig ein Messbereich von 0 – 1.000 µg/m<sup>3</sup> eingestellt.

Als zweckmäßige Standardeinstellung des Analogausgangs für europäische Verhältnisse wird ein Messbereich 0 – 200 oder 0 - 1.000 µg/m<sup>3</sup> empfohlen.

(empfohlener) Messbereich: 0 – 200 oder 0 - 1.000 µg/m<sup>3</sup>

Obere Grenze des Zertifizierungsbereichs: PM<sub>2,5</sub>: 50 µg/m<sup>3</sup>

## **6.5 Bewertung**

Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0 – 1.000 µg/m<sup>3</sup> eingestellt. Andere Messbereiche sind möglich.

Der Messbereichsendwert der Messeinrichtung ist größer als die jeweilige obere Grenze des Zertifizierungsbereichs.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.



## **6.1 5.2.3 Negative Messsignale**

*Negative Messsignale oder 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.

## **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 5.2.4 Stromausfall

*Bei Gerätestörungen und bei Stromausfall von bis zu 72 h 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.

Im Falle eines Netzausfalles startet die Messeinrichtung mit Erreichen des Startzeitpunkts für den nächsten Messzyklus (in der Eignungsprüfung nach Erreichen der nächsten vollen Stunde) selbstständig wieder den Messbetrieb.

## 6.5 Bewertung

Alle Geräteparameter sind gegen Verlust durch Pufferung geschützt. Die Messeinrichtung befindet sich bei Spannungswiederkehr in störungsfreier Betriebsbereitschaft und führt selbstständig mit Erreichen des Startzeitpunkts für den nächsten Messzyklus (in der Eignungsprüfung nach Erreichen der nächsten vollen Stunde) den Messbetrieb fort.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.



## 6.1 5.2.5 Gerätefunktionen

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

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

PC zur Datenerfassung.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

An die Messeinrichtung wurde lokal über RS232 ein PC angeschlossen und der Datentransfer inkl. Gerätestatus geprüft.

Über entsprechende Router oder Modems ist eine Fernüberwachung- und -steuerung leicht möglich.

## 6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung ermöglicht eine telemetrische Kontrolle der Messeinrichtung über RS232-Schnittstelle.

## 6.5 Bewertung

Die Messeinrichtungen können über ein Modem bzw. einen Router von einem externen Rechner aus überwacht werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

*Tabelle 9: Betriebsstati F-701-20*

Betriebsstatus (Feld-Nr. 6)	Bedeutung
Bit 0	1 - Standby, 0 - Messung, Nullpunkt-, Referenz- oder Folienmessung
Bit 1	Folienmessung
Bit 2	Nullpunkt
Bit 3	Referenzmessung (Referenzcheck)
Bit 4	
Bit 5	
Bit 6	
Bit 7	Messbetrieb

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20  
mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente  
Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>, Berichts-Nr.: 936/21220478/A

Seite 75 von 266

*Table 10: Fehlerstati F-701-20*

<b>Fehlerstatus (Feld-Nr. 7)</b>	Beschreibung
Bit 0	Volumenfehler
Bit 1	Vakuumabbruch
Bit 2	Volumen < 500 Liter bzw. 250 Liter, bei ½ Stunde Absaugzeit
Bit 3	
Bit 4	
Bit 5	Batterie austauschen
Bit 6	Filterriss
Bit 7	



## **6.1 5.2.6 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 überwacht sowie teilweise gesteuert werden.

Einige Funktionen wie z.B. die Durchführung eines externen Referenzfolientests zur Überprüfung der radiometrischen Messung können allerdings nur am Gerät direkt durchgeführt werden.

## **6.4 Auswertung**

Die Umschaltung zwischen Messung und Funktionskontrolle (hier: interne Nullpunkt- und Referenzmessung) ist telemetrisch und manuell auslösbar.

Einige Funktionen wie z.B. die Durchführung eines externen Referenzfolientests zur Überprüfung der radiometrischen Messung können allerdings nur am Gerät direkt durchgeführt werden.

## **6.5 Bewertung**

Die Umschaltung zwischen Messung und Funktionskontrolle (hier: interne Nullpunkt- und Referenzmessung) ist telemetrisch und manuell auslösbar.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Hier nicht erforderlich.

## **6.1 5.2.7 Wartungsintervall**

*Das Wartungsintervall der Messeinrichtung ist in der Feldprüfung zu ermitteln und anzugeben. Das Wartungsintervall sollte möglichst drei Monate, muss jedoch 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 Null- und Referenzpunkt gemäß 6.1 5.3.12 Langzeitdrift 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 (siehe hierzu auch Modul 4.1.2).

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 bestimmt und beträgt 4 Wochen.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Die notwendigen Wartungsarbeiten können dem Modul 4.1.2 dieses Berichtes und dem Kapitel 5.3 bzw. 10 des Bedienhandbuchs entnommen werden.



## 6.1 5.2.8 Verfügbarkeit

*Die Verfügbarkeit der Messeinrichtung ist in der Feldprüfung zu ermitteln und muss mindestens 95 % 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 11 und Tabelle 12 zeigen eine Aufstellung der Betriebs-, Wartungs- und Störungszeiten. Die Messeinrichtungen wurden im Feldtest über einen Zeitraum von insgesamt 296 Messtagen betrieben (siehe Anhang 5). Dieser Zeitraum beinhaltet insgesamt 22 Tage mit Nullfilterbetrieb, Audits sowie Tage, die durch den Wechsel auf Nullfilter verworfen werden mussten (siehe auch Anlage 5).

Bei Gerät SN 1512361 wurde auf Grund der Untersuchungen zur Feststellung der ungewöhnlichen Abweichungen zwischen beiden Prüflingen am 15.10.2013 auch der Messwert des (nicht betroffenen) Gerätes SN 1512361 durch langen Wartungsausfall verworfen.

Ausfälle durch externe Einflüsse, die nicht dem Gerät angelastet werden können, wurden zwischen dem 05.09.2013 und dem 12.09.2013 registriert. Die Messwerte beider Prüflinge mussten für den genannten Zeitraum verworfen werden, da die Durchflussrate vor der Inbetriebnahme durch eine Fehlparametrierung des Referenzdurchflussmessgerätes systematisch falsch justiert wurde. Die Durchflussraten wurden daraufhin am 12.09.2013 nochmals überprüft und korrekt justiert.

Dadurch reduziert sich die Gesamtbetriebszeit auf 288 (SN 1512361) bzw. 288 (SN 1512401) Messtage.

Es wurden folgende Gerätestörungen beobachtet:

SN 1512361:

Für dieses System wurden keine Gerätestörungen beobachtet.

SN 1512401:

Bei SN 1512401 wurde am Standort Köln, Herbst festgestellt, dass die Messwerte z.T. deutlich höher waren als bei SN 1512361 und auch höher als die ersten Referenzwerte vom Standort. Das Gerät wurde daraufhin vom Gerätehersteller am Messort am 15.10.2013 intensiv untersucht und es wurde festgestellt, dass die Abdeckfolie des Geiger-Müller-Zählrohres sehr wellig war und es dadurch zu Abweichungen kommen kann. Die Ursache für diese Störung konnte nicht ermittelt werden. Es wurde daraufhin entschieden, ein neues Geiger-Müller-Zählrohr in das Gerät einzubauen. Es wurden keine Messwerte aus der Vergangenheit verworfen, allerdings konnte am 15.10.2013 keine Messung erfolgen.

Ansonsten wurden keine weiteren Gerätestörungen beobachtet.

Die üblichen Wartungszeiten (ohne Nullfilterbetrieb) z.B. zur Pflege der Probenahmeköpfe oder zur Überprüfung der Durchflussrate / Dichtigkeit führen in der Regel zu Ausfällen von einem Messzyklus (d.h. 1 h pro Tag). Die betroffenen Tagesmittelwerte wurden daher nicht verworfen.

## 6.5 Bewertung

Die Verfügbarkeit betrug für SN 1512361 100 % und für SN 1512401 99,7 % ohne prüfungsbedingte Ausfälle bzw. 92,0 % für SN 1512361 sowie 92,0 % für SN 1512401 inkl. prüfungsbedingter Ausfälle.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

*Tabelle 11: Ermittlung der Verfügbarkeit (ohne prüfungsbedingte Ausfälle)*

		Gerät 1 (SN 1512361)	Gerät 2 (SN 1512401)
Einsatzzeit	d	288	288
Ausfallzeit (Störung)	d	0	1
Wartungszeit	d	0	0
Tatsächliche Betriebszeit	d	288	287
Verfügbarkeit	%	100	99,7

*Tabelle 12: Ermittlung der Verfügbarkeit (inkl. prüfungsbedingte Ausfälle)*

		Gerät 1 (SN 1512361)	Gerät 2 (SN 1512401)
Einsatzzeit	d	288	288
Ausfallzeit (Störung)	d	0	1
Wartungszeit inkl. Nullfilterbetrieb	d	23	22
Tatsächliche Betriebszeit	d	265	265
Verfügbarkeit	%	92,0	92,0



## **6.1 5.2.9 Gerätesoftware**

*Die Version der zu testenden Gerätesoftware muss beim Einschalten der Messeinrichtung angezeigt werden. Funktionsbeeinflussende Änderungen der Gerätesoftware sind dem Prüfinstitut mitzuteilen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Es wurde überprüft, ob die Gerätesoftware am Gerät angezeigt werden kann. Der Gerätehersteller wurde darauf hingewiesen, dass jegliche Änderungen der Gerätesoftware dem Prüfinstitut mitgeteilt werden müssen.

## **6.4 Auswertung**

Die aktuelle Software kann jederzeit im Menü „Menü „Parameter/Service“ unter dem Punkt „SW“ eingesehen werden.

Die Prüfung wurde im Dezember 2012 mit der Softwareversion 3.07 begonnen. Im Rahmen der Softwarepflege wurde die Messeinrichtung zwischenzeitlich zur Version 3.10 weiterentwickelt und optimiert. Der Gerätehersteller DURAG GmbH unterzieht sich an seinem Produktionsstandort in Hamburg seit 2010 der regelmäßigen Überwachung gemäß Richtlinie DIN EN 15267-2. Seit 2013 befindet sich auch die Messeinrichtung F-701-20 im Auditumfang. Die durchgeführten Modifikationen der Software wurden gemäß den Vorgaben der Richtlinie DIN EN 15267-2 beschrieben, bewertet, der Änderungstyp klassifiziert und die Informationen dem Prüfinstitut zur Verfügung gestellt.

Eine Übersicht der durchgeführten Änderungen ist unter Punkt 4.1 Allgemeines dargestellt.

Die durchgeführten Änderungen dienen der Funktionserweiterung, der Fehlerbeseitigung sowie der kosmetischen Produktpflege. Sie haben keinen Einfluss auf die Performance der Messeinrichtung.

Mit Beginn der dritten von insgesamt vier Vergleichsmesskampagnen wurde die Softwareversion von 3.07 auf 3.10 upgedatet und dann über die Vergleichskampagnen Köln, Herbst und Köln, Winter auf den Geräten betrieben.

## **6.5 Bewertung**

Die Version der Gerätesoftware wird im Display angezeigt. Änderungen der Gerätesoftware werden dem Prüfinstitut mitgeteilt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses



Abbildung 22: Anzeige der Softwareversion (hier 3.10) im Menü „Parameter/Service/SW“



## 6.1 5.3.1 Allgemeines

Die Prüfung erfolgen auf Basis der Mindestanforderungen der Richtlinie VDI 4202, Blatt 1 (September 2010).

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung erfolgt auf Basis der Mindestanforderungen der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010).

## 6.4 Auswertung

Die Richtlinien VDI 4202, Blatt 1 und VDI 4203, Blatt 3 wurden nach umfangreicher Revision mit Stand September 2010 neu veröffentlicht. Leider bestehen nach dieser Revision im Hinblick zur Prüfung von Staub-Immissionsmesseinrichtungen einige Unklarheiten und Widersprüche bezüglich konkreter Mindestanforderungen auf der einen Seite und der generellen Sinnhaftigkeit von Prüfpunkten auf der anderen Seite. Es besteht konkret Klärungsbedarf bei den folgenden Prüfpunkten:

6.1	5.3.2 Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt	→ keine Mindestanforderung definiert
6.1	5.3.3 Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt	→ nicht sinnvoll für Staubgeräte
6.1	5.3.4 Linearität (Lack-of-fit)	→ nicht sinnvoll für Staubgeräte
6.1	5.3.7 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur	→ keine Mindestanforderung definiert
6.1	5.3.8 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung	→ keine Mindestanforderung definiert
6.1	5.3.11 Standardabweichung aus Doppelbestimmungen	→ keine Mindestanforderung definiert
6.1	5.3.12 Langzeitdrift	→ keine Mindestanforderung definiert
6.1	5.3.13 Kurzzeitdrift	→ nicht sinnvoll für Staubgeräte
6.1	5.3.18 Gesamtunsicherheit	→ nicht sinnvoll für Staubgeräte

Aus diesem Grunde wurde eine offizielle Anfrage an die zuständige Stelle in Deutschland gestellt, um eine abgestimmte Vorgehensweise zum Umgang mit den Inkonsistenzen der Richtlinie festzulegen.

Es wurde folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

Die Prüfpunkte 5.3.2, 5.3.7, 5.3.8, 5.3.11 und 5.3.12 werden wie bisher auf Basis der Mindestanforderungen aus VDI 4202 Blatt 1 von 2002 bewertet (d.h. unter Verwendung der Bezugswerte B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub>).

Auf die Prüfung der Prüfpunkte 5.3.3, 5.3.4, 5.3.13 und 5.3.18 wird verzichtet, da diese Prüfpunkte für Staubmesseinrichtungen nicht relevant sind.

Die zuständige deutsche Stelle hat dieser vorgeschlagenen Vorgehensweise per Entscheidung vom 27.06.2011 bzw. 07.10.2011 zugestimmt.

## **6.5 Bewertung**

Die Prüfung erfolgte auf Basis der Mindestanforderungen der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010). Die Prüfpunkte 5.3.2, 5.3.7, 5.3.8, 5.3.11 und 5.3.12 werden daher auf Basis der Mindestanforderungen aus VDI 4202 Blatt 1 von 2002 bewertet (d.h. unter Verwendung der Bezugswerte B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub>). Auf die Prüfung der Prüfpunkte 5.3.3, 5.3.4, 5.3.13 und 5.3.18 wird verzichtet, da diese Prüfpunkte für Staubmesseinrichtungen nicht relevant sind.

Mindestanforderung erfüllt? ja

### **Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.1 5.3.2 Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt

*Die Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt darf im Zertifizierungsbereich nach Tabelle 1 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.*

*Bei abweichenden Zertifizierungsbereichen darf die Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt höchstens 2 % der oberen Grenze dieses Zertifizierungsbereichs betragen.*

### Hinweis:

Dieser Prüfpunkt ist für Staubmesseinrichtungen auf Basis der aktuell gültigen Richtlinienversionen der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) sowie VDI 4203 Blatt 3 (September 2010) aufgrund nicht definierter Mindestanforderungen nicht auswertbar. Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) wird daher alternativ auf die nachfolgenden Anforderungen der Vorgängerversion der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (Juni 2002) verwiesen:

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

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Nullfilter zur Nullpunktüberprüfung

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Bestimmung der Nachweisgrenze erfolgten bei den Testgeräten SN 1512361 und SN 1512401 durch den Betrieb der Messeinrichtung mit jeweils an beiden Messgeräteeinlässen installierten Null-Filtern. Die Aufgabe von schwebstaubfreier Probenluft erfolgte über 15 Tage für die Dauer von jeweils 24 h. Die Ermittlung der Nachweisgrenze erfolgte im Labor.

## 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 Studentfaktor multiplizierten Standardabweichung des Mittelwertes  $\bar{x}_0$  der Messwerte  $x_{0i}$  für das jeweilige Testgerät:

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

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

## 6.5 Bewertung

Die Nachweisgrenze ermittelte sich aus den Untersuchungen zu 0,66 µg/m<sup>3</sup> für Gerät 1 (SN 1512361) und zu 0,75 µg/m<sup>3</sup> für Gerät 2 (SN 1512401).

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 13: Nachweisgrenze PM<sub>2,5</sub>

		Gerät SN 1512401	Gerät SN 1512361
Anzahl der Werte n		15	15
Mittelwert der Leerwerte $\bar{x}_0$	µg/m <sup>3</sup>	0,28	0,34
Standardabweichung der Werte $s_{x_0}$	µg/m <sup>3</sup>	0,31	0,35
Student-Faktor $t_{n-1;0,95}$		2,14	2,14
Nachweisgrenze x	µg/m <sup>3</sup>	<b>0,66</b>	<b>0,75</b>

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



## **6.1 5.3.3 Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt**

*Die Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt darf im Zertifizierungsbereich nach Tabelle der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten. Als Referenzpunkt ist der Grenzwert bzw. die Alarmschwelle zu verwenden.*

*Bei abweichenden Zertifizierungsbereichen darf die Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt höchstens 2 % der oberen Grenze dieses Zertifizierungsbereichs betragen. Als Referenzpunkt ist in diesem Fall ein Wert  $c_t$  bei 70 % bis 80 % der oberen Grenze dieses Zertifizierungsbereichs zu verwenden.*

Hinweis:

Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen 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 5.3.4 Linearität (Lack-of-fit)**

*Der Zusammenhang zwischen dem Ausgangssignal und dem Wert des Luftbeschaffenheitsmerkmals muss mithilfe einer linearen Analysenfunktion darstellbar sein.*

*Die Linearität gilt als gesichert, wenn die Abweichung der Gruppenmittelwerte der Messwerte von der Kalibrierfunktion im Zertifizierungsbereich nach Tabelle der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) einhält.*

*Für die anderen Zertifizierungsbereiche darf die Abweichung der Gruppenmittelwerte der Messwerte von der Kalibrierfunktion nicht mehr als 5 % der oberen Grenze des entsprechenden Zertifizierungsbereichs betragen.*

Hinweis:

Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen nicht relevant. Für Staubmesseinrichtungen für PM<sub>2,5</sub> ist diese Prüfung nach der Mindestanforderung 5.4.10 „Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge“ durchzuführen.

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Siehe Modul 5.4.10 (PM<sub>2,5</sub>)

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Für Staubmesseinrichtungen für PM<sub>2,5</sub> ist diese Prüfung nach der Mindestanforderung 5.4.10 „Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge“ durchzuführen.

## **6.4 Auswertung**

Siehe Modul 5.4.10 (PM<sub>2,5</sub>)

## **6.5 Bewertung**

Für Staubmesseinrichtungen für PM<sub>2,5</sub> ist diese Prüfung nach der Mindestanforderung 5.4.10 „Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge“ durchzuführen.

Mindestanforderung erfüllt? -

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Siehe Modul 5.4.10 (PM<sub>2,5</sub>)

## **6.1 5.3.5 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks**

*Der Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks am Referenzpunkt darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten. Als Referenzpunkt ist ein Wert  $c_t$  bei 70 % bis 80 % der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs zu verwenden.*

Hinweis:

Für Staubmesseinrichtungen ist dieser Punkt 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 5.3.6 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur**

*Der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur am Referenzpunkt darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten. Als Referenzpunkt ist ein Wert  $c_t$  bei 70 % bis 80 % der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs zu verwenden.*

Hinweis:

Für Staubmesseinrichtungen ist dieser Punkt 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 5.3.7 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur**

*Der Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur am Nullpunkt und am Referenzpunkt darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten. Als Referenzpunkt ist ein Wert  $c_t$  bei 70 % bis 80 % der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs zu verwenden.*

Hinweis:

Dieser Prüfpunkt ist für Staubmesseinrichtungen auf Basis der aktuell gültigen Richtlinienversionen der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) sowie VDI 4203 Blatt 3 (September 2010) aufgrund nicht definierter Mindestanforderungen nicht auswertbar. Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1), wird daher alternativ auf die nachfolgende Anforderungen der Vorgängerversion der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (Juni 2002) verwiesen:

*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.*

*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 °C und +20 °C bzw. 20 K im Bereich zwischen +20 °C und +40 °C betragen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Klimakammer für den Temperaturbereich +5 bis +40 °C, Nullfilter zur Nullpunktüberprüfung, Referenzfolie zur Referenzpunktüberprüfung.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Zur Untersuchung der Abhängigkeit des Nullpunktes und der Messwerte von der Umgebungstemperatur wurden die vollständigen Messeinrichtungen in der Klimakammer betrieben.

Für die Nullpunktuntersuchungen wurde den beiden Testgeräten SN 1512361 und SN 1512401 durch Montage von Null-Filtern an jeweils beiden Geräteeinlässen schwebstaubfreie Probenluft zugeführt.

Für die Referenzpunktuntersuchungen wurde bei den Testgeräten SN 1512361 und SN 1512401 zur Überprüfung der Stabilität der Empfindlichkeit der Referenzfolienmesswert überprüft.

Die Umgebungstemperaturen in der Klimakammer wurden in der Reihenfolge 20 °C – 5 °C – 20 °C – 40 °C – 20 °C variiert. Nach einer Äquilibrierzeit von ca. 24 h pro Temperaturstufe erfolgte die Aufnahme der Messwerte am Nullpunkt (pro Temperaturstufe je 3 x 24 h) sowie der Messwerte am Referenzpunkt (pro Temperaturstufe je 3 x).

## 6.4 Auswertung

### Nullpunkt:

Es wurden die Messwerte für die Konzentration der jeweils 24-stündigen Einzelmessungen ausgelesen und ausgewertet. Betrachtet wird die absolute Abweichung in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro Temperaturschritt bezogen auf den Ausgangspunkt von 20 °C.

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

### Referenzpunkt:

Betrachtet wird die prozentuale Änderung des ermittelten Messwertes für die Referenzfolie für jeden Temperaturschritt bezogen auf den Ausgangspunkt bei 20 °C.

Als Anmerkung sei erwähnt, dass mit Hilfe der Überprüfung des Messwertes für die Referenzfolie keine Konzentrationswerte simuliert werden konnten, eine Betrachtung im Bereich des  $B_1$  war aus diesem Grunde nicht möglich.

## 6.5 Bewertung

Es konnte ein maximaler Einfluss der Umgebungstemperatur im Bereich 5 °C bis 40 °C auf den Nullpunkt von  $-1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgestellt werden.

Am Referenzpunkt konnten keine Abweichungen  $>-3,0 \%$  zum Ausgangswert bei 20 °C ermittelt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

*Tabelle 14: Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur, Abweichung in µg/m<sup>3</sup>, Mittelwert aus drei Messungen*

Temperatur		Abweichung	
Anfangstemperatur	Endtemperatur	SN 1512361	SN 1512401
°C	°C	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
20	5	0,1	-0,4
5	20	0,1	0,0
20	40	-1,0	-0,5
40	20	-0,3	0,0

*Tabelle 15: Abhängigkeit der Empfindlichkeit (Folienwert) von der Umgebungstemperatur, Abweichung in %, Mittelwert aus drei Messungen*

Temperatur		Abweichung	
Anfangstemperatur	Endtemperatur	SN 1512361	SN 1512401
°C	°C	[%]	[%]
20	5	-0,7	-1,6
5	20	1,0	-2,6
20	40	-2,3	-3,0
40	20	-2,3	-2,1

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

## 6.1 5.3.8 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung

*Der Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten. Als Referenzpunkt ist ein Wert  $c_i$  bei 70 % bis 80 % der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs zu verwenden.*

Hinweis:

Dieser Prüfpunkt ist für Staubmesseinrichtungen auf Basis der aktuell gültigen Richtlinienversionen der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) sowie VDI 4203 Blatt 3 (September 2010) aufgrund nicht definierter Mindestanforderungen nicht auswertbar. Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1), wird daher alternativ auf die nachfolgenden Anforderungen der Vorgängerversion der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (Juni 2002) verwiesen:

*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.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Trennstelltrafo, Referenzfolie zur Referenzpunktüberprüfung.

## 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.

Für die Referenzpunktuntersuchungen wurde bei den Testgeräten SN 1512361 und SN 1512401 zur Überprüfung der Stabilität der Empfindlichkeit der Referenzfolienmesswert überprüft.

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 Messwertes für die Referenzfolie für jeden Prüfschritt bezogen auf den Ausgangspunkt bei 230 V betrachtet.

Als Anmerkung sei erwähnt, dass mit Hilfe der Überprüfung des Messwertes für die Referenzfolie keine Konzentrationswerte simuliert werden konnten, eine Betrachtung im Bereich des  $B_1$  war aus diesem Grunde nicht möglich.

## 6.5 Bewertung

Durch Netzspannungsänderungen konnten keine Abweichungen >- 1,4 % für PM<sub>2,5</sub>, bezogen auf den Startwert von 230 V, festgestellt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 16 zeigt eine zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse.

*Tabelle 16: Abhängigkeit des Messwertes von der Netzspannung, Abweichung in %*

Netzspannung		Abweichung	
Anfangsspannung	Endspannung	SN 1512361	SN 1512401
V	V	[%]	[%]
230	210	-0,7	-0,2
210	230	-0,3	-0,4
230	245	-1,4	-0,4
245	230	-1,1	-0,7

Die Einzelergebnisse können der Anlage 4 im Anhang entnommen werden.

## **6.1 5.3.9 Querempfindlichkeit**

*Die Änderung des Messwerts aufgrund von Störeinflüssen durch die Querempfindlichkeit gegenüber im Messgut enthaltenen Begleitstoffen darf am Nullpunkt und am Referenzpunkt die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.*

Hinweis:

Für Staubmesseinrichtungen ist dieser Punkt nicht relevant. Es gilt die Mindestanforderung 5.4.5. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen finden sich deshalb im Modul 5.4.5.

## **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 5.3.10 Mittelungseinfluss**

*Für gasförmige Messkomponenten muss die Messeinrichtung die Bildung von Stundenmittelwerten ermöglichen.*

*Der Mittelungseinfluss darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.*

Hinweis:

Für Staubmesseinrichtungen ist dieser Punkt 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 5.3.11 Standardabweichung aus Doppelbestimmungen

*Die Standardabweichung aus Doppelbestimmungen ist mit zwei baugleichen Messeinrichtungen in der Feldprüfung zu ermitteln. Sie darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.*

Hinweis:

Dieser Prüfpunkt ist für Staubmesseinrichtungen auf Basis der aktuell gültigen Richtlinienversionen der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) sowie VDI 4203 Blatt 3 (September 2010) aufgrund nicht definierter Mindestanforderungen nicht auswertbar. Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) wird daher alternativ auf die nachfolgende Anforderung der Vorgängerversion der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (Juni 2002) verwiesen:

*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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für PM<sub>2,5</sub>
- $s_D$  = 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 1512361) bei der i-ten Konzentration
- $x_{2i}$  = Messsignal des Gerätes 2 (z.B. SN 1512401) bei der i-ten Konzentration



### 6.5 Bewertung

Die Reproduzierbarkeit für PM<sub>2,5</sub> betrug im Feldtest für den Gesamtdatensatz 21.

Mindestanforderung erfüllt? ja

### 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 17 zusammenfassend dargestellt. Die grafische Darstellung erfolgt für PM<sub>2,5</sub> in Abbildung 29 bis Abbildung 33.

Anmerkung: Die ermittelten Unsicherheiten werden auf den Bezugswert B<sub>1</sub> für jeden Standort bezogen.

*Tabelle 17: Konzentrationsmittelwerte, Standardabweichung, Unsicherheitsbereich und Reproduzierbarkeit im Feld, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>*

Standort	Anzahl	$\bar{c}$ (SN 1512361)	$\bar{c}$ (SN 1512401)	$\bar{c}_{ges}$	S <sub>D</sub>	t	U	R
		µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>		µg/m <sup>3</sup>	
Bonn (Winter)	61	19,3	19,2	19,2	0,598	2,000	1,20	21
Bornheim (Sommer)	67	10,8	10,9	10,9	0,436	1,996	0,87	29
Köln (Herbst)	85	10,6	11,1	10,9	0,735	1,988	1,46	17
Köln (Winter)	52	11,5	11,6	11,6	0,321	2,007	0,64	39
Alle Standorte	265	12,9	13,0	12,9	0,601	1,969	1,18	21

- $\bar{c}$  (SN 1512361): Mittelwert der Konzentrationen Gerät SN 1512361
- $\bar{c}$  (SN 1512401): Mittelwert der Konzentrationen Gerät SN 1512401
- $\bar{c}_{ges}$ : Mittelwert der Konzentrationen der Geräte SN 1512361 & SN 1512401

Einzelwerte können der Anlage 5 des Anhangs entnommen werden.

## 6.1 5.3.12 Langzeitdrift

*Die Langzeitdrift am Nullpunkt und am Referenzpunkt darf in der Feldprüfung die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten. Als Referenzpunkt ist ein Wert  $c_t$  bei 70 % bis 80 % der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs zu verwenden.*

Hinweis:

Dieser Prüfpunkt ist für Staubmesseinrichtungen auf Basis der aktuell gültigen Richtlinienversionen der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) sowie VDI 4203 Blatt 3 (September 2010) aufgrund nicht definierter Mindestanforderungen nicht auswertbar. Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) wird daher alternativ auf die nachfolgenden Anforderungen der Vorgängerversion der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (Juni 2002) verwiesen:

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

*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

Nullfilter zur Nullpunktüberprüfung, Referenzfoliensatz zur Referenzpunktüberprüfung

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung erfolgte im Rahmen des Feldtestes über einen Gesamtzeitraum von insgesamt ca. 12 Monaten.

Die Messeinrichtungen wurden im Rahmen eines regelmäßigen Checks ca. einmal pro Monat (inkl. zu Beginn und zum Ende jedes Standortes) mit Null-Filter an den Geräteeinlässen für einen Zeitraum jeweils mindestens 24 h betrieben und die gemessenen Nullwerte ausgewertet.

Darüber hinaus wurde über die gesamte Feldtestdauer regelmäßig zur Referenzpunktüberprüfung die Stabilität des Messwertes für die Referenzfolie überprüft und ausgewertet.



## 6.4 Auswertung

Eine Beurteilung der Drift des Nullpunktes und des Messwertes in 24 h ist gerätebedingt über die interne Prüfprozedur für Null- und Referenzpunkt möglich, ist aber für Staubmeseinrichtungen in der Praxis unüblich.

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

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

Als Anmerkung sei erwähnt, dass mit Hilfe der Überprüfung des Messwertes der Referenzfolie keine Konzentrationswerte simuliert werden konnten, eine Betrachtung im Bereich des B<sub>1</sub> war aus diesem Grunde nicht möglich.

## 6.5 Bewertung

Die maximal gefundene Abweichung am Nullpunkt lag bei 1,5 µg/m<sup>3</sup> bezogen auf den Vorgängerwert und bei 1,7 µg/m<sup>3</sup> bezogen auf den Startwert.

Die im Rahmen der Untersuchung ermittelten Werte für die Drift der Empfindlichkeit betragen, bezogen auf den Vorgängerwert, maximal -2,7 % für PM<sub>2,5</sub>.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 18 enthält die ermittelten Messwerte für den Nullpunkt und die errechneten Abweichungen bezogen auf den Vorgängerwert und bezogen auf den Startwert in µg/m<sup>3</sup>. Abbildung 23 bis Abbildung 24 zeigen eine grafische Darstellung der Nullpunktdrift über den Untersuchungszeitraum.

In Tabelle 19 sind die Abweichungen der Messwerte in % vom jeweiligen Vorgängerwert aufgeführt. Abbildung 25 und Abbildung 26 zeigen eine grafische Darstellung der Drift der Messwerte (bezogen auf den Vorgängerwert).

*Tabelle 18: Nullpunktdrift SN 1512361 & SN 1512401, mit Nullfilter*

Datum	SN 1512361			Datum	SN 1512401		
	Messwert	Abweichung zum Vorgängerwert	Abweichung zum Startwert		Messwert	Abweichung zum Vorgängerwert	Abweichung zum Startwert
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>		µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
28.02.2013	0,1	-	-	28.02.2013	1,0	-	-
30.03.2013	0,5	0,4	0,4	30.03.2013	0,7	-0,3	0,6
31.03.2013	1,0	0,4	0,9	31.03.2013	0,4	-0,2	0,4
01.04.2013	0,5	-0,4	0,4	01.04.2013	0,4	0,0	0,3
26.04.2013	0,8	0,3	0,7	26.04.2013	0,3	-0,1	0,2
27.04.2013	0,3	-0,5	0,2	27.04.2013	0,6	0,3	0,5
28.04.2013	1,8	1,5	1,7	28.04.2013	1,6	1,0	1,5
14.05.2013	0,9	-0,9	0,8	14.05.2013	0,6	-1,1	0,5
15.05.2013	0,8	-0,1	0,8	15.05.2013	0,6	0,1	0,5
22.06.2013	1,2	0,3	1,1	22.06.2013	0,8	0,2	0,7
23.06.2013	0,6	-0,5	0,6	23.06.2013	1,4	0,6	1,3
26.07.2013	1,8	1,1	1,7	26.07.2013	-0,1	-1,5	-0,2
04.09.2013	0,7	-1,1	0,6	04.09.2013	0,6	0,7	0,6
16.10.2013	0,1	-0,6	0,0	16.10.2013	0,7	0,1	0,6
08.11.2013	0,3	0,2	0,2	08.11.2013	0,4	-0,3	0,4
09.11.2013	0,1	-0,2	0,0	09.11.2013	0,2	-0,2	0,1
10.11.2013	0,3	0,2	0,2	10.11.2013	0,2	0,0	0,1
14.12.2013	0,1	-0,2	0,0	14.12.2013	0,6	0,4	0,5
15.12.2013	0,3	0,2	0,2	15.12.2013	0,3	-0,3	0,2
13.01.2014	0,3	0,0	0,2	13.01.2014	0,0	-0,3	-0,1
07.02.2014	0,4	0,2	0,4	07.02.2014	1,0	1,0	0,9
08.02.2014	0,0	-0,5	-0,1	08.02.2014	0,4	-0,6	0,3
09.02.2014	0,4	0,4	0,3	09.02.2014	0,3	-0,1	0,3
10.03.2014	0,4	0,0	0,4	10.03.2014	0,6	0,2	0,5

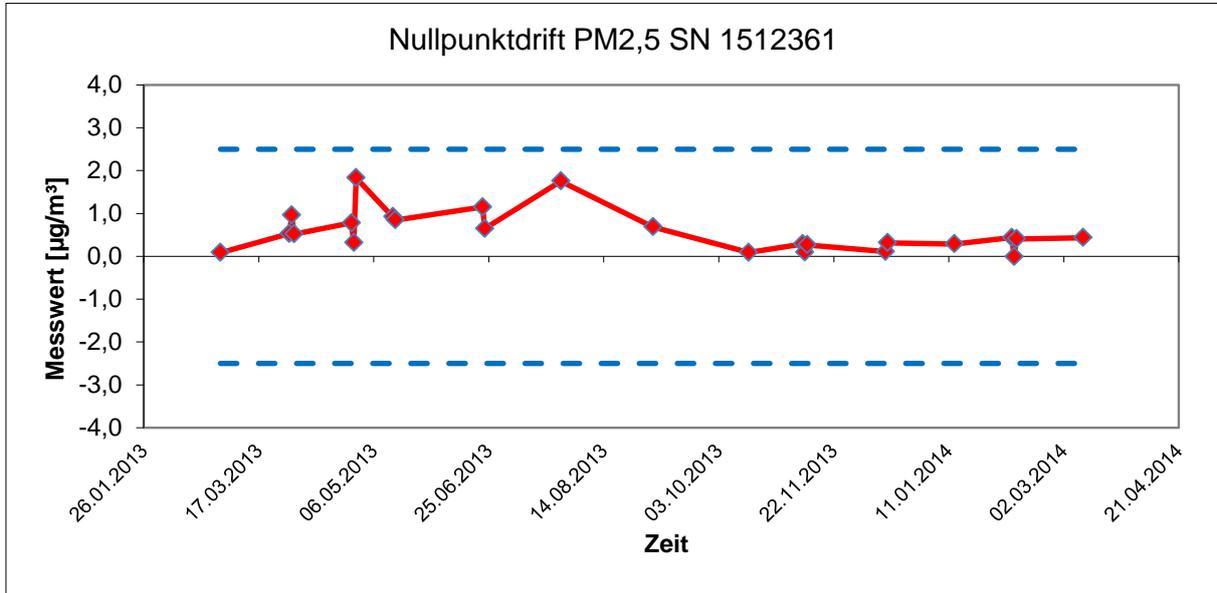


Abbildung 23: Nullpunktdrift SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

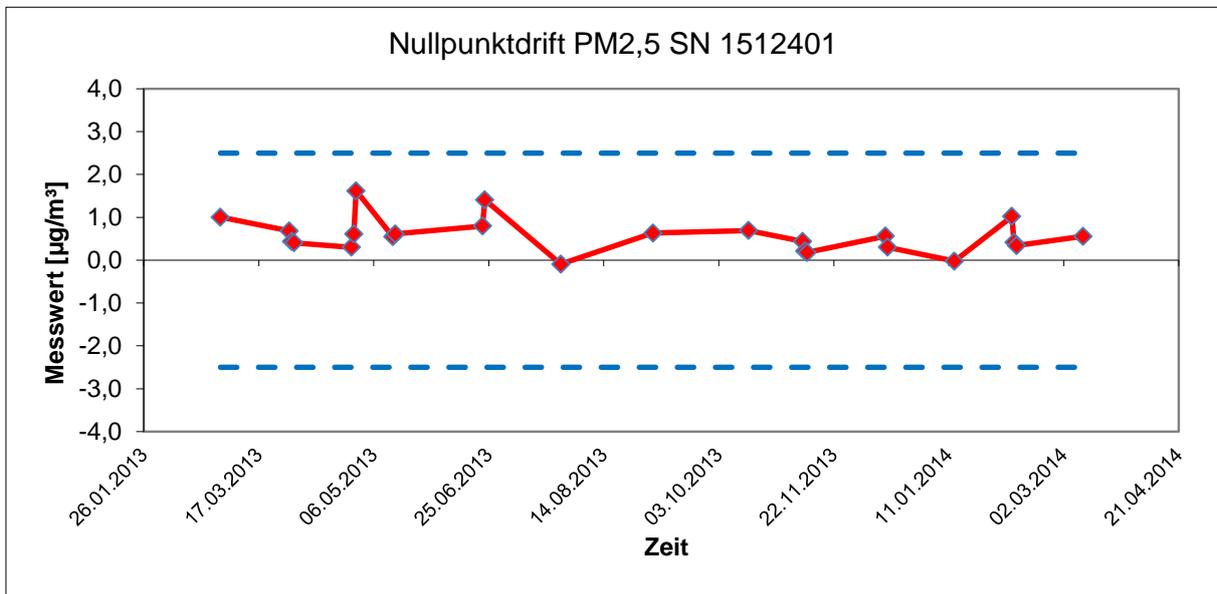


Abbildung 24: Nullpunktdrift SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

Tabelle 19: Empfindlichkeitsdrift SN 1512361 & SN 1512401

Datum	SN 1512361			Datum	SN 1512401		
	Messwert	Abweichung zum Vorgängerwert	Abweichung zum Startwert		Messwert	Abweichung zum Vorgängerwert	Abweichung zum Startwert
		%	%			%	%
27.02.2013	289,4	-	-	27.02.2013	291,1	-	-
02.05.2013	295,0	1,9	1,9	02.05.2013	294,0	1,0	1,0
03.09.2013	301,0	2,0	4,0	03.09.2013	293,0	-0,3	0,7
12.12.2013	293,0	-2,7	1,2	12.12.2013	289,0	-1,4	-0,7
11.03.2014	286,0	-2,4	-1,2	11.03.2014	288,0	-0,3	-1,1

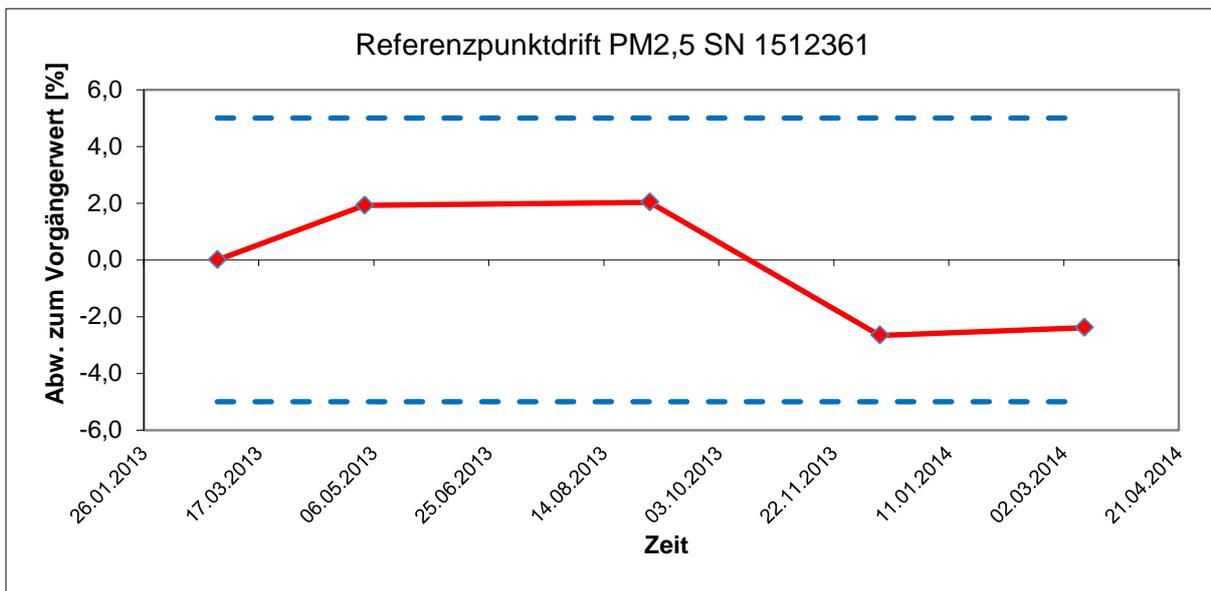


Abbildung 25: Drift des Messwertes SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

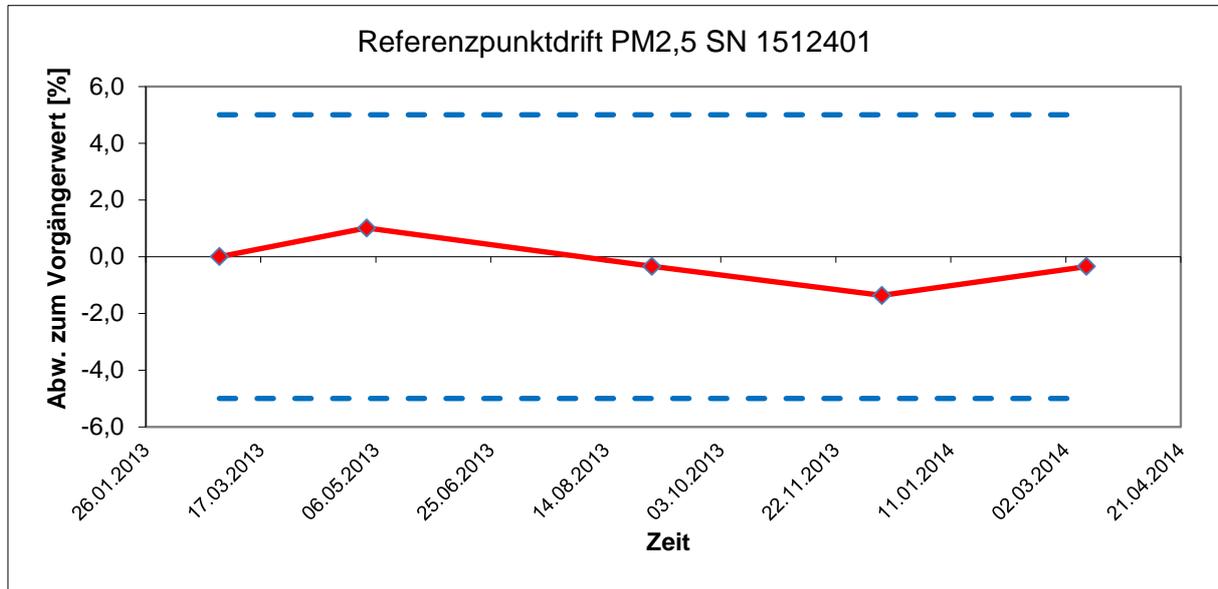


Abbildung 26: Drift des Messwertes SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

## **6.1 5.3.13 Kurzzeitdrift**

*Die Kurzzeitdrift am Nullpunkt und am Referenzpunkt darf die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) in der Laborprüfung in 12 h (für Benzol in 24 h) und in der Feldprüfung in 24 h nicht überschreiten. Als Referenzpunkt ist ein Wert  $c_t$  bei 70 % bis 80 % der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs zu verwenden.*

Hinweis:

Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen 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 5.3.14 Einstellzeit**

*Die Einstellzeit (Anstieg) der Messeinrichtung darf höchstens 180 s betragen.*

*Die Einstellzeit (Abfall) der Messeinrichtung darf höchstens 180 s betragen.*

*Die Differenz zwischen der Einstellzeit (Anstieg) und der Einstellzeit (Abfall) der Messeinrichtung darf maximal 10 % der Einstellzeit (Anstieg) oder 10 s betragen, je nachdem, welcher Wert größer ist.*

Hinweis:

Für Staubmesseinrichtungen ist dieser Punkt 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 5.3.15 Differenz zwischen Proben- und Kalibriereingang**

*Die Differenz zwischen den Messwerten bei Aufgabe am Proben- und Kalibriereingang darf den Wert der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten Als Referenzpunkt ist ein Wert  $c_t$  bei 70 % bis 80 % der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs zu verwenden.*

Hinweis:

Für Staubmesseinrichtungen ist dieser Punkt 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 5.3.16 Konverterwirkungsgrad**

*Bei Messeinrichtungen mit einem Konverter muss dessen Wirkungsgrad mindestens 98 % betragen.*

Hinweis:

Für Staubmesseinrichtungen ist dieser Punkt 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 5.3.17 Anstieg der NO<sub>2</sub>-Konzentration durch Verweilen im Messgerät**

*Bei NO<sub>x</sub>-Messeinrichtungen darf der Anstieg der NO<sub>2</sub>-Konzentration durch Verweilen im Messgerät die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) nicht überschreiten.*

*Die Anforderungen der Tabelle 2 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) gelten für die Zertifizierungsbereiche nach Tabelle 1 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010). Für abweichende Zertifizierungsbereiche sind die Anforderungen entsprechend linear umzurechnen.*

Hinweis:

Für Staubmesseinrichtungen ist dieser Punkt 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 5.3.18 Gesamtunsicherheit**

*Die erweiterte Messunsicherheit der Messeinrichtung ist zu ermitteln. Dieser ermittelte Wert darf die in Anhang A, Tabelle A1 der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) aufgeführten Vorgaben der anzuwendenden EU-Richtlinien zur Luftqualität nicht überschreiten.*

Hinweis:

Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen nicht relevant. Es wird auf das Modul 5.4.10 verwiesen.

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen nicht relevant. Es wird auf das Modul 5.4.10 verwiesen.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen nicht relevant. Es wird auf das Modul 5.4.10 verwiesen.

## **6.4 Auswertung**

Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen nicht relevant. Es wird auf das Modul 5.4.10 verwiesen.

## **Bewertung**

Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen nicht relevant. Es wird auf das Modul 5.4.10 verwiesen.

Mindestanforderung erfüllt? -

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Gemäß Beschluss der zuständigen Stelle in Deutschland (siehe Modul 5.3.1) ist dieser Prüfpunkt für Staubmesseinrichtungen nicht relevant. Es wird auf das Modul 5.4.10 verwiesen.

## 6.1 5.4.1 Allgemeines

*Die Prüfung für Staubmesseinrichtungen erfolgen gemäß der Mindestanforderungen der Tabelle 5 der Richtlinie VDI 4202, Blatt 1 (September 2010).  
Partikelmassenkonzentrationen müssen auf ein definiertes Volumen bezogen sein. Der Volumenbezug hinsichtlich Druck und Temperatur muss nachvollziehbar angegeben werden.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung erfolgte gemäß der Mindestanforderungen der Tabelle 5 der Richtlinie VDI 4202, Blatt 1 (September 2010).

Es wurde geprüft, ob die gemessenen Partikelmassenkonzentrationen auf ein definiertes Volumen bezogen sind.

## 6.4 Auswertung

Die Prüfung erfolgte gemäß der Mindestanforderungen der Tabelle 5 der Richtlinie VDI 4202, Blatt 1 (September 2010).

Die Messeinrichtung F-701-20 ist ein radiometrisches Messgerät. Die auf dem Filterband abgeschiedene Masse wird von der radiometrischen Messung bestimmt. Die ermittelte Masse wird auf ein definiertes und aktiv geregeltes Probenahmenvolumen bezogen und somit die Partikelmassenkonzentration bestimmt.

## 6.5 Bewertung

Die Prüfung erfolgte gemäß der Mindestanforderungen der Tabelle 5 der Richtlinie VDI 4202, Blatt 1 (September 2010).

Die ermittelte Partikelmasse wird auf ein definiertes und aktiv geregeltes Probenahmenvolumen bezogen und somit die Partikelmassenkonzentration bestimmt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.



## **6.1 5.4.2 Gleichwertigkeit des Probenahmesystems**

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

*Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.10 des vorliegenden Berichts verwiesen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.10 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.10 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.4 Auswertung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.10 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.5 Bewertung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.10 des vorliegenden Berichts verwiesen.

Mindestanforderung erfüllt? -

## **Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.10 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.1 5.4.3 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 der Feldprüfung nachzuweisen.*

*Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.9 des vorliegenden Berichts verwiesen.*

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.9 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.9 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.4 Auswertung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.9 des vorliegenden Berichts verwiesen.

## **6.5 Bewertung**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.9 des vorliegenden Berichts verwiesen.

Mindestanforderung erfüllt? -

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Für PM<sub>2,5</sub>-Probenahmesysteme nicht zutreffend. Es wird auf Modul 5.4.9 des vorliegenden Berichts verwiesen.



**6.1 5.4.4 Kalibrierung**

Die Prüflinge sind in der Feldprüfung mit dem Referenzverfahren durch Vergleichsmessungen zu kalibrieren. Hierbei ist der Zusammenhang zwischen dem Messsignal und der gravimetrisch bestimmten Referenzkonzentration als stetige Funktion zu ermitteln.

**6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Siehe Modul 5.4.10.

**6.3 Durchführung der Prüfung**

Für PM<sub>2,5</sub>:

Die Vergleichbarkeit der Messeinrichtungen gemäß Modul 5.4.10 wurde im Rahmen der Prüfung nachgewiesen.

Zur Bestimmung der Kalibrier- bzw. Analysenfunktion wird auf den gesamten Datensatz (213 (SN 1512361) bzw. 213 (SN 1512401) 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.

**6.4 Auswertung**

Es ergeben sich die in Tabelle 20 aufgeführten Kennwerte.

Tabelle 20: Ergebnisse der Kalibrier- und Analysenfunktion, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

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
Gerät 1 (SN 1512361)	0,921	0,457	1,086	0,496
Gerät 2 (SN 1512401)	0,915	0,689	1,093	0,753

## **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 Modul 5.4.10.



#### 6.1 5.4.5 Querempfindlichkeit

*Der Störeinfluss durch die im Messgut enthaltene Feuchte darf im Bereich des Grenzwertes nicht mehr als 10 % des Grenzwerts betragen.*

#### 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht notwendig.

#### 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Ermittlung des Störeinflusses durch die im Messgut enthaltene Luftfeuchte erfolgte unter Feldbedingungen.

Hierzu 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.

Jahresgrenzwert PM<sub>2,5</sub> = 25 µg/m<sup>3</sup>

10 % von JGW = 2,5 µg/m<sup>3</sup>

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  $>-0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Abweichung vom Sollwert für PM<sub>2,5</sub> 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 21 zeigt eine zusammenfassende Darstellung.

*Tabelle 21: Abweichung zwischen Referenzmessung und Prüfling an Tagen mit einer relativen Luftfeuchte  $> 70 \%$ , Messkomponente PM<sub>2,5</sub>*

Feldtest, Tage mit relativer Feuchte $>70 \%$				
		Referenz	SN 1512361	SN 1512401
Mittelwert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	13,8	13,2	13,3
Abweichung zu Mittelwert Referenz in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-0,6	-0,5
Abweichung in % von Mittelwert Referenz	%	-	-4,3	-3,6
Abweichung in % von JGW	%	-	-2,4	-2,0

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

Die Darstellung und Bewertung der Messunsicherheiten  $W_{\text{CM}}$  an Tagen mit einer relativen Luftfeuchte  $> 70 \%$  erfolgt in Tabelle 22. Einzelwerte können den Anlagen 5 und 6 im Anhang entnommen werden.

*Tabelle 22: Vergleich Testgerät SN 1512361 / SN 1512401 mit Referenzgerät, rel. Luftfeuchte > 70 %, alle Standorte, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>*

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Leitfaden "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods", 2010				
Prüfung	F-701-20	SN	SN 1512361 / SN 1512401	
Status Messwerte	Rohdaten	Grenzwert	30	µg/m <sup>3</sup>
		erlaubte Unsicherheit	25	%
Alle Standorte, rF>70%				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,57			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,61			µg/m <sup>3</sup>
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	203		203	
Steigung b	0,920		0,913	
Unsicherheit von b	0,009		0,011	
Achsabschnitt a	0,486		0,728	
Unsicherheit von a	0,154		0,176	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	14,75	%	15,26	%

## 6.1 5.4.6 Mittelungseinfluss

*Die Messeinrichtung muss die Bildung von 24 h-Mittelwerten ermöglichen.*

*Die Summe aller Filterwechsel darf innerhalb von 24 h nicht mehr als 1 % dieser 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.

## 6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung arbeitet mit Messzyklen zwischen 15 min und 24 h.

Die Absaugdauer bzw. die Sammelzeit entspricht der jeweils programmierten Zykluszeit und der programmierten Belegzahl abzüglich der Messzeit bzw. der Zeiten für Filterbandbewegungen. Über die Belegzahl kann eine Mehrfachbelegung eines Filterspots festgelegt werden. Sie kann zwischen 1 (=für jeden Zyklus einen neuen Filterspot) und 24 (=ein Filterspot wird 24fach belegt) parametrierbar werden.

Die Absaugdauer beträgt daher:

Für Zykluszeit 60 min und Belegzahl 1:

$$60 \text{ min} - (2 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 48 \text{ min}$$

Bei einer Belegzahl >1 dient dann die Messung nach einer Absaugung sowohl zur Kalkulation des Messwerts des abgeschlossenen Zyklus als auch als Startmessung für den nachfolgenden Zyklus, d.h. pro Zyklus ist nur eine radiometrische Messung von 300 s notwendig.

In der Eignungsprüfung war eine Zykluszeit von 60 min mit einer Belegzahl 24 parametrierbar. Die Absaugdauer beträgt dann:

$$\text{Zyklus 1: } 60 \text{ min} - (2 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 48 \text{ min}$$

$$\text{Zyklus 2-24: } 60 \text{ min} - (1 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 53 \text{ min}$$

Die verfügbare Probenahmezeit pro Messzyklus liegt damit zwischen 80 % und 88,3 % der Gesamtzykluszeit. Die Ergebnisse aus den Felduntersuchungen gemäß Punkt 6.1

5.4.10 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge aus diesem Bericht zeigen, dass bei dieser Gerätekonfiguration die Vergleichbarkeit der Prüflinge mit dem Referenzverfahren sicher nachgewiesen werden konnte und die Bildung von Tagesmittelwerten damit gesichert möglich ist.

## **6.5 Bewertung**

Mit der beschriebenen Gerätekonfiguration und einem Messzyklus von 1 h bei einer Belegzahl von 24 ist die Bildung von validen Tagesmittelwerten auf Basis der 24 Messzyklen möglich

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Hier nicht erforderlich.

## **6.1 5.4.7 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 dem ersten Feldteststandort kalibriert und dann vor den Feldteststandorten mit Hilfe einer trockenen Gasuhr bzw. eines Massendurchflussmessers auf Korrektheit überprüft und falls erforderlich nachjustiert.

Um die Konstanz des Probenahmevervolumenstroms zu ermitteln, wurde die Durchflussrate gemäß des zukünftig relevanten Prüfpunkts 7.4.5 „Konstanz des Probevolumenstroms“ der Technischen Spezifikation DIN CEN/TS 16450 (August 2013) [9] über 24 h im Feld mit Hilfe eines Massendurchflussmessers aufgezeichnet und ausgewertet.

## **6.4 Auswertung**

Aus den ermittelten Messwerten für den Durchfluss wurden Mittelwert, Standardabweichung sowie Maximal- und Minimalwert bestimmt.

## 6.5 Bewertung

Die Ergebnisse der vor den Feldteststandorten durchgeführten Überprüfung der Durchflussrate sind in Tabelle 23 dargestellt.

*Tabelle 23: Ergebnisse Kontrolle Durchflussrate*

Durchflussüberprüfung vor Standort:	SN 1512361		SN 1512401	
	[l/min]	Abw. vom Soll [%]	[l/min]	Abw. vom Soll [%]
Bonn, Winter	16,67*	-	16,67*	-
Bornheim, Sommer	16,69	0,12	16,72	0,30
Köln, Herbst	16,35	-1,92	16,42	-1,50
Köln, Winter	16,58	-0,54	16,68	0,06

\* Justiert am 27.02.2013

Die grafischen Darstellungen der Konstanz des Durchflusses 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 16,67 l/min ist ebenfalls deutlich 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.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

In Tabelle 24 sind die ermittelten Kenngrößen für den Durchfluss aufgeführt. Abbildung 27 bis Abbildung 28 zeigen die grafische Darstellung der Durchflussmessungen an den beiden Testgeräten SN 1512361 und SN 1512401.

*Tabelle 24: Kenngrößen für die Durchflussmessung (24h-Mittel), SN 1512361 & SN 1512401*

Gerät	Mittelwert [l/min]	Abweichung vom Sollwert [%]	Std. Abw. [l/min]	Max [l/min]	Min [l/min]
SN 1512361	16,662	-0,05	0,1228	17,22	16,27
SN 1512401	16,637	-0,20	0,1234	17,03	16,18

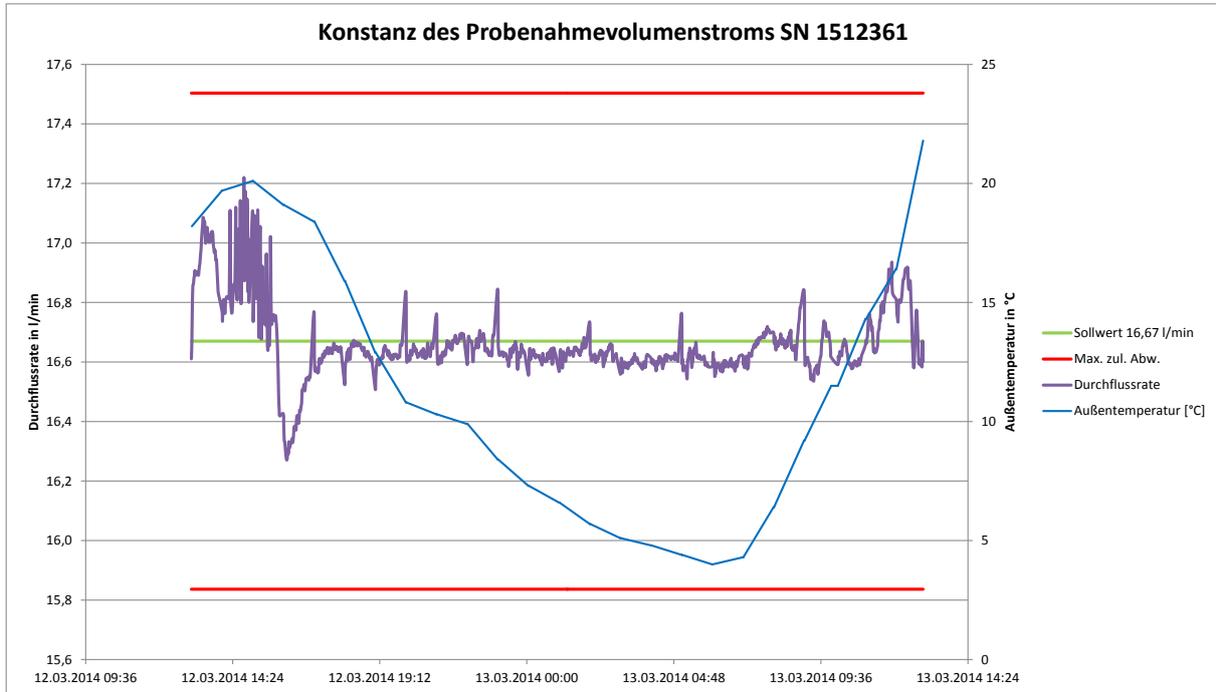


Abbildung 27: Durchfluss am Testgerät SN 1512361 (Feld)

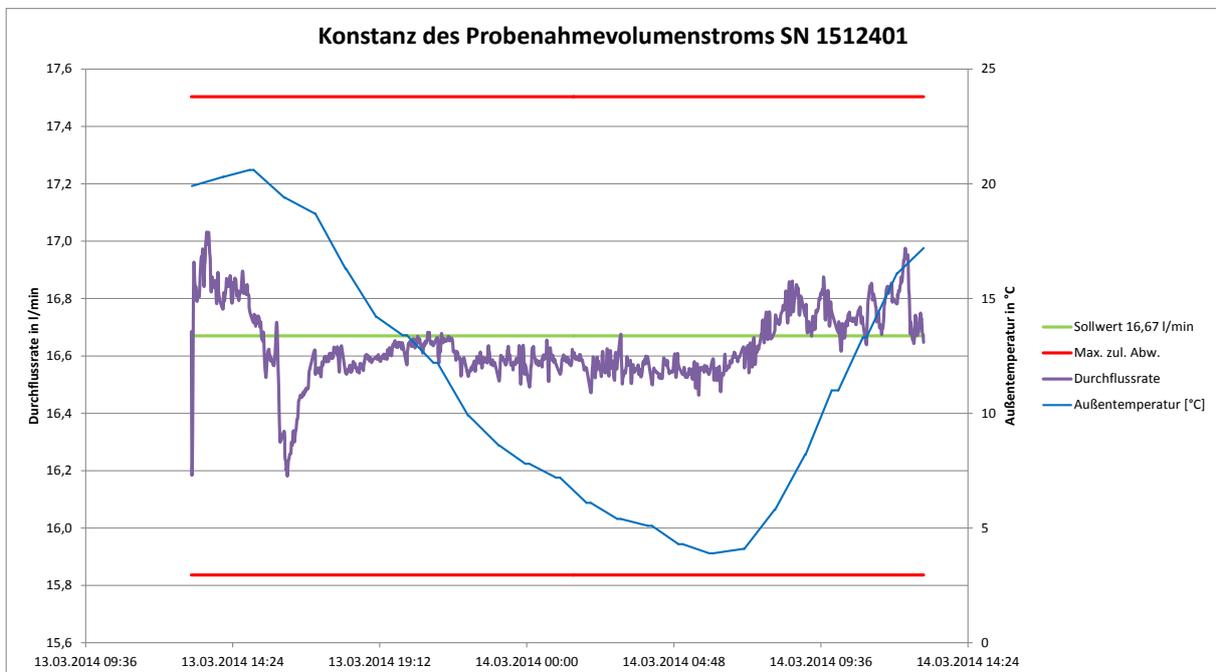


Abbildung 28: Durchfluss am Testgerät SN 1512401 (Feld)



## **6.1 5.4.8 Dichtheit des Probenahmesystems**

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

## **6.2 Gerätetechnische Ausstattung**

Stopfen zum Verschließen des Ansaugrohres

## **6.3 Durchführung der Prüfung**

Der Durchflusssensor der Messeinrichtung F-701-20 ist unmittelbar vor der Pumpe angeordnet. Um die Leckrate der Messeinrichtung zu bestimmen, wird gemäß Kapitel 5.3.3 des Handbuchs das Gerät gestartet und nach Erreichen der Solldurchflussrate von 1000 l/h der Eingang des Probenahmerohres z.B. mit dem Daumen oder einem Stopfen abgedichtet. Die vom Gerät gemessene Durchflussrate muss dann gemäß Herstellerangaben unter 10 l/h, idealerweise auf 0 l/h absinken.

Diese Prozedur wurde jeweils zu Beginn eines jeden Feldteststandorts durchgeführt.

Es wird empfohlen, die Dichtigkeit der Messeinrichtung mit Hilfe der beschriebenen Prozedur alle 3 Monate vor der regelmäßigen Durchflussüberprüfung zu überprüfen.

## **6.4 Auswertung**

Die Dichtigkeitsprüfung wurde jeweils zu Beginn eines jeden Feldteststandorts durchgeführt.

Das vom Gerätehersteller vorgegebene Kriterium zum Bestehen der Dichtigkeitsprüfung – Durchfluss maximal 10 l/h bei blockiertem Einlass - erwies sich in der Prüfung als geeignete Kenngröße zur Überwachung der Gerätedichtigkeit.

Die maximal ermittelte Leckrate von 1 l/h ist kleiner als 1 % von der nominalen Durchflussrate von 1000 l/h (16,67 l/min).

## 6.5 Bewertung

Das vom Gerätehersteller vorgegebene Kriterium zum Bestehen der Dichtigkeitsprüfung – Durchfluss maximal 10 l/h bei blockiertem Einlass - erwies sich in der Prüfung als geeignete Kenngröße zur Überwachung der Gerätedichtigkeit.

Die maximal ermittelte Leckrate von 1 l/h ist kleiner als 1 % von der nominalen Durchflussrate von 1000 l/h (16,67 l/min).

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 25 enthält die ermittelten Werte aus der Dichtigkeitsprüfung.

*Tabelle 25: Ergebnisse der Dichtigkeitsprüfungen*

Dichtigkeitsüberprüfung vor	SN 1512361		SN 1512401	
	Soll [l/h]	Ist [l/h]	Soll [l/h]	Ist [l/h]
Bonn, Winter	< 10	0	< 10	0
Bornheim, Sommer	< 10	1	< 10	0
Köln, Herbst	< 10	0	< 10	0
Köln, Winter	< 10	0	< 10	0

## 6.1 Methodik der Äquivalenzprüfung (Module 5.4.9 – 5.4.11)

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 Jahreshgrenzwerte, 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>.
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 5.4.9 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  werden die Kriterien 1 und 2 geprüft.

Unter Punkt 6.1 5.4.10 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge werden die Kriterien 3, 4 und 5 geprüft.

Unter Punkt 6.1 5.4.11 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen erfolgt eine Auswertung für den Fall, dass Kriterium 5 nicht ohne Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen erfüllt werden kann.

## 6.1 5.4.9 Ermittlung der Unsicherheit zwischen den Prüflingen $u_{bs}$

*Bei der Prüfung von PM<sub>2,5</sub>-Messeinrichtungen ist die Unsicherheit zwischen den Prüflingen nach Kapitel 9.5.3.1 des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ im Feldtest an mindestens vier für den späteren Einsatz repräsentativen Probenahmeorten zu ermitteln.*

## 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 µg/m<sup>3</sup>.

Es wurden für jede Vergleichskampagne mindestens 40 valide Wertepaare ermittelt. Vom gesamten Datensatz (4 Vergleiche, 213 valide Messwertpaare für SN 1512361, 213 valide Messwertpaare für SN 1512401) liegen insgesamt 27,2 % 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

Gemäß **Punkt 9.5.3.1** des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ gilt:

Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  muss  $\leq 2,5$  µg/m<sup>3</sup> liegen. Eine Unsicherheit über 2,5 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:

- Alle Standorte bzw. Vergleiche gemeinsam (Kompletter Datensatz)
- 1 Datensatz mit Messwerten  $\geq 18$  µg/m<sup>3</sup> 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 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

## 6.5 Bewertung

Die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  liegt mit maximal 0,84 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub> unterhalb des geforderten Wertes von 2,5 µg/m<sup>3</sup>.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 26 führt die berechneten Werte für die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  auf. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 29 bis Abbildung 35.

*Tabelle 26: Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  für die Testgeräte SN 1512361 und SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>*

Testgeräte	Standort	Anzahl Werte	Unsicherheit $u_{bs}$
SN			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>	<b>Alle Standorte</b>	<b>265</b>	<b>0,61</b>
Einzelstandorte			
SN 1512361 / SN 1512401	Bonn, Winter	61	0,62
SN 1512361 / SN 1512401	Bornheim, Sommer	67	0,45
SN 1512361 / SN 1512401	Köln, Herbst	85	0,81
SN 1512361 / SN 1512401	Köln, Winter	52	0,33
Klassierung über Referenzwerte			
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>	<b>Werte <math>\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>53</b>	<b>0,84</b>
SN 1512361 / SN 1512401	Werte $< 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$	160	0,50

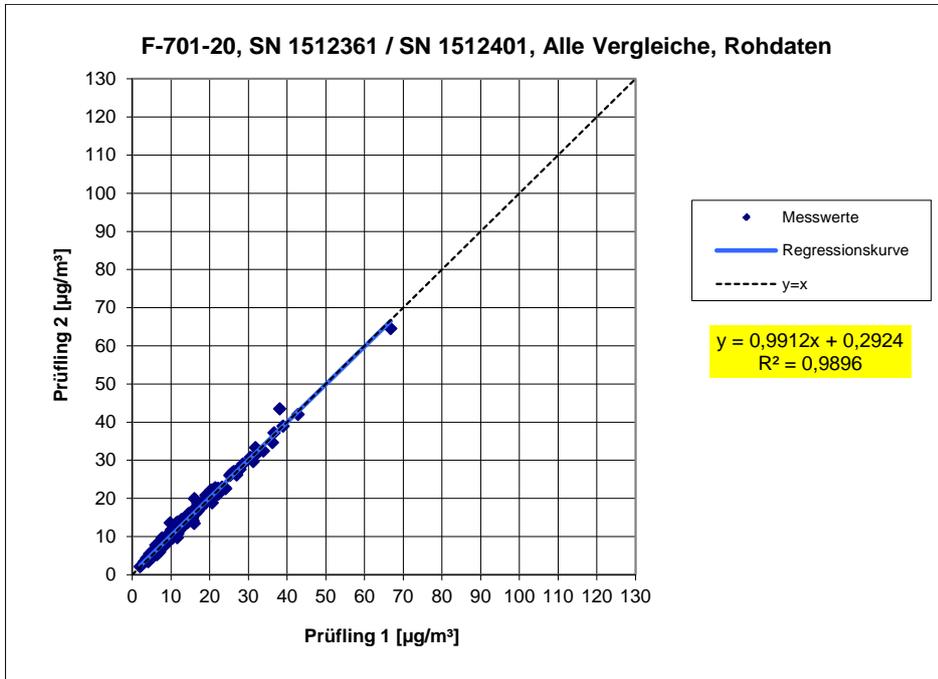


Abbildung 29: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte

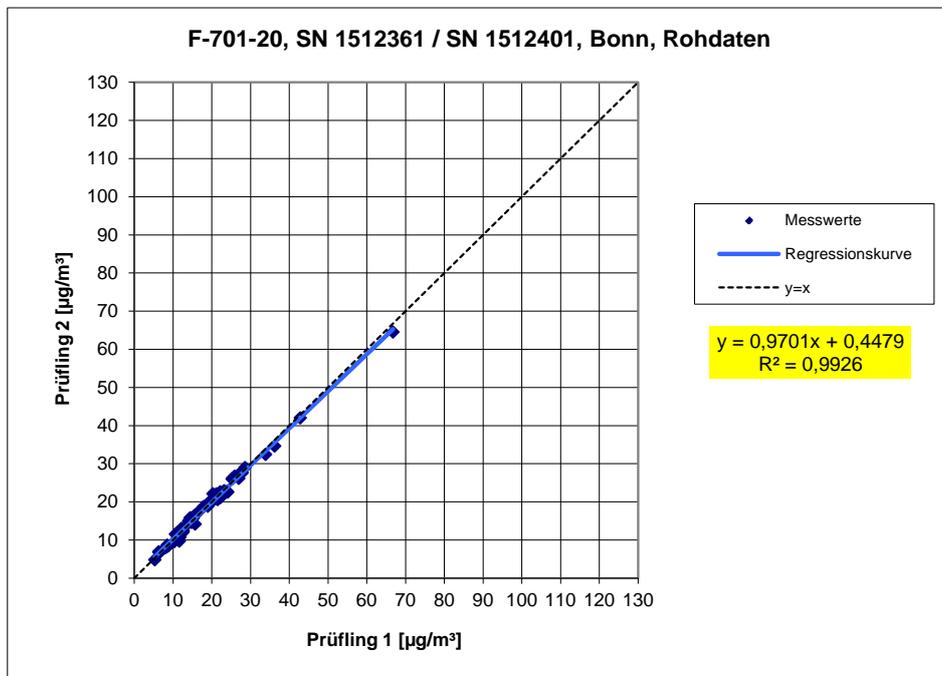


Abbildung 30: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Bonn, Winter

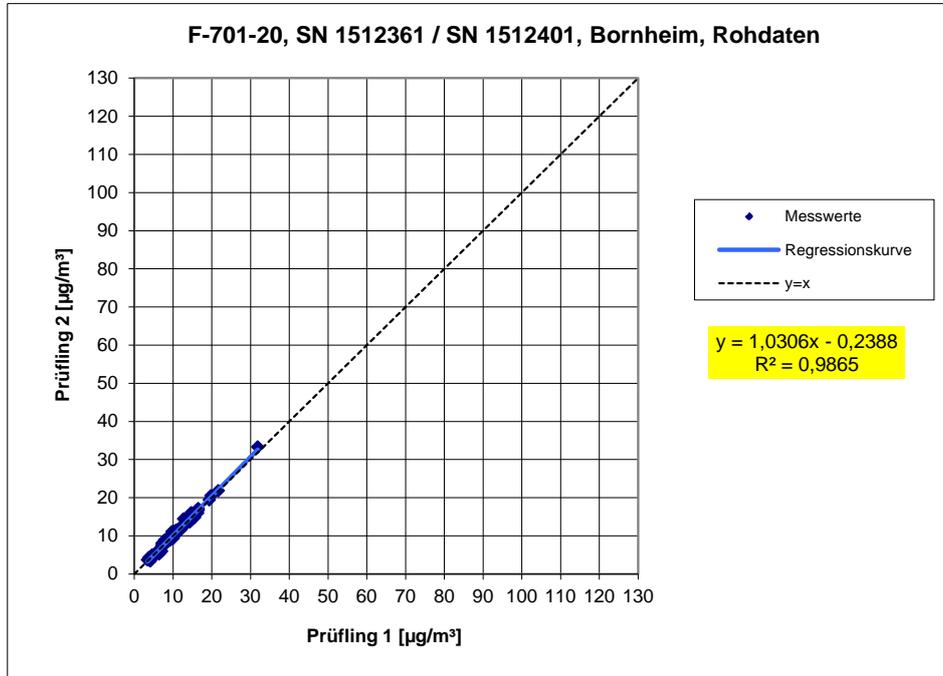


Abbildung 31: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten  
SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Bornheim, Sommer

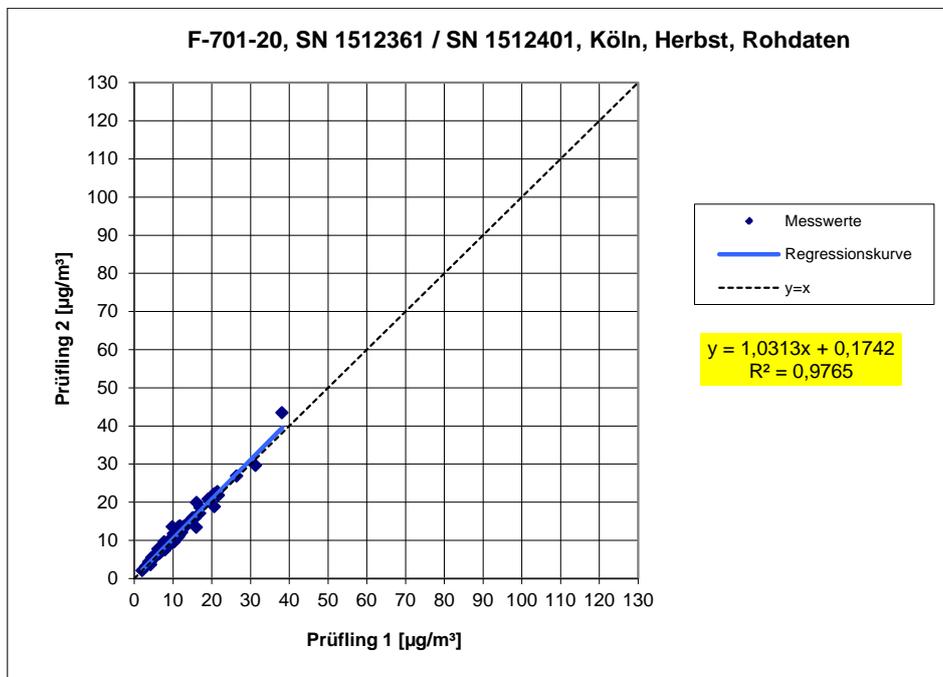


Abbildung 32: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten  
SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Köln, Herbst

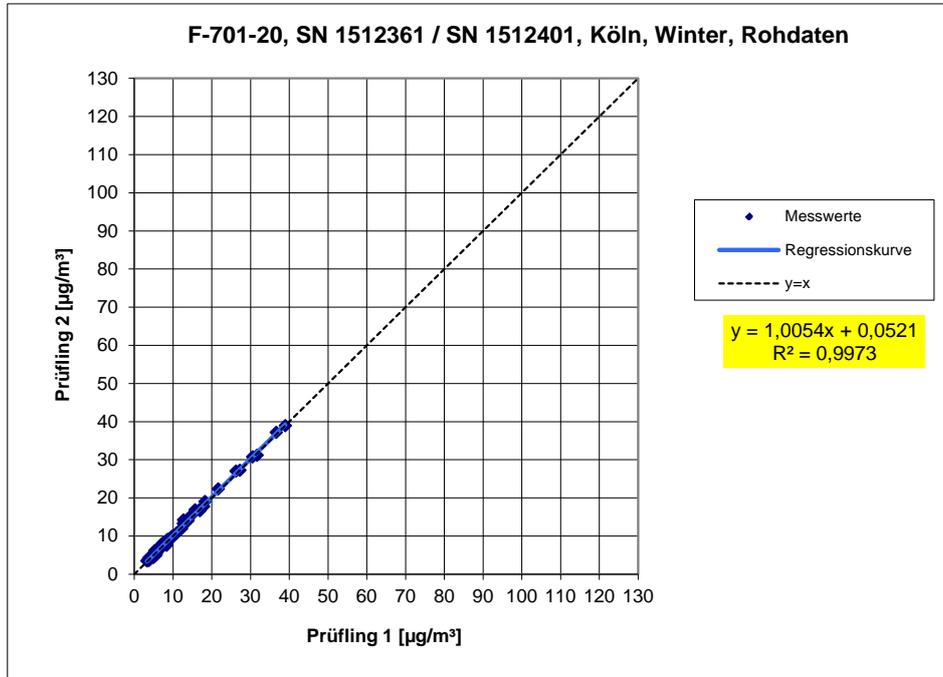


Abbildung 33: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Köln, Winter

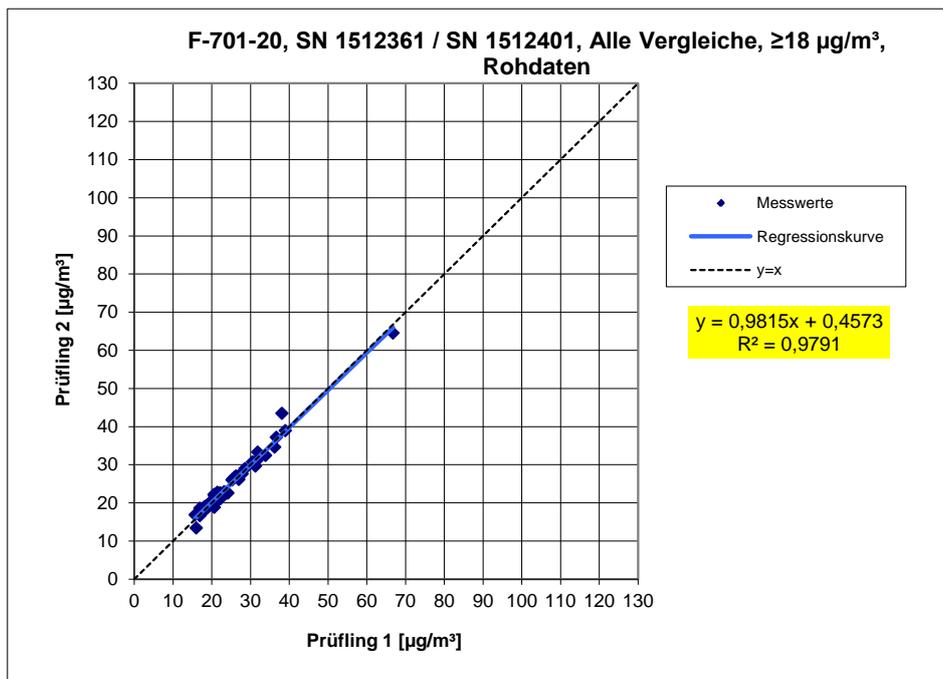


Abbildung 34: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte, Werte ≥ 18 µg/m³

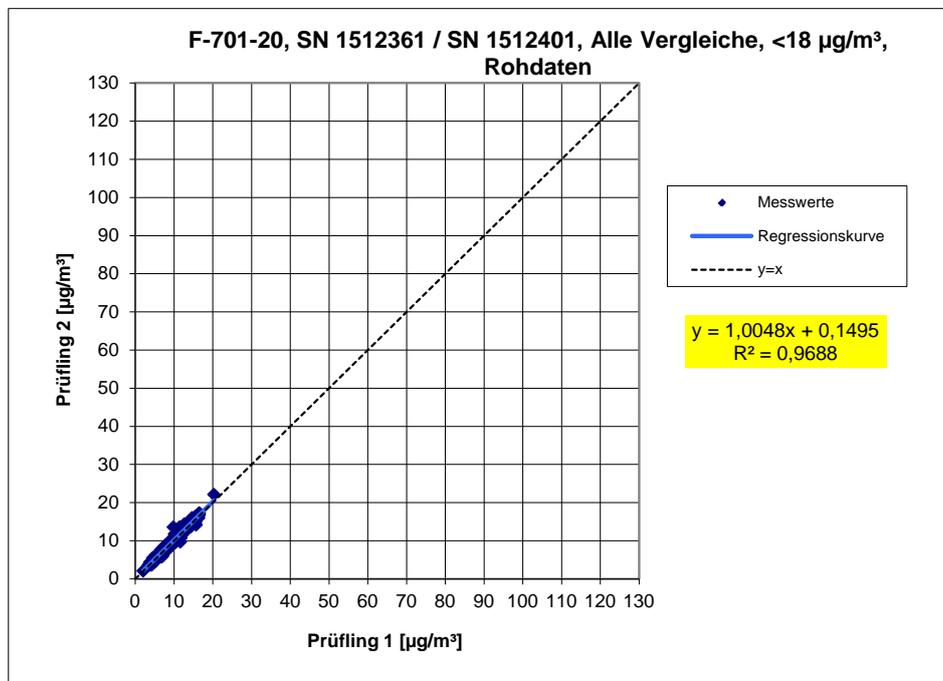


Abbildung 35: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten  
SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte, Werte < 18 µg/m<sup>3</sup>



## 6.1 5.4.10 Berechnung der erweiterten Unsicherheit der Prüflinge

*Bei der Prüfung von PM<sub>2,5</sub>-Messeinrichtungen ist die Gleichwertigkeit zum Referenzverfahren gemäß Kapitel 9.5.3.2 bis 9.6 des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ im Feldtest an mindestens vier für den späteren Einsatz repräsentativen Probenahmeorten zu nachzuweisen. Die höchste errechnete erweiterte Unsicherheit der Prüflinge ist mit den Anforderungen an die Datenqualität nach Anhang A der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) zu vergleichen.*

## 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, 213 valide Messwertpaare für SN 1512361, 213 valide Messwertpaare für SN 1512401) liegen insgesamt 27,2 % 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

[Punkt 9.5.3.2] 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  $\leq 2$  µg/m<sup>3</sup> sein.

Die Ergebnisse der Auswertung sind unter 6.6 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 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<sub>2,5</sub>  $\geq 18$  µg/m<sup>3</sup> (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.

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

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 6.1 5.4.9 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  $u_{CR}$  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

5.4.11 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen. Die Kalibrierung darf nur für den Gesamtdatensatz durchgeführt werden.

[Punkt 9.5.4] 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:

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

Für jeden Datensatz wird die Unsicherheit  $w_{c,CM}$  auf einem Level von  $y_i = 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für PM<sub>2,5</sub> berechnet.

[Punkt 9.5.5] 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].

## 6.5 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

Auf Grund der Signifikanz der Steigung und des Achsabschnitts für den Gesamtdatensatz erfolgt eine Anwendung von Korrekturfaktoren gemäß Punkt 6.1 5.4.11 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen.

Nachfolgende Tabelle 27 zeigt einen Überblick über alle Ergebnisse der Äquivalenzprüfung für den Prüfling F-701-20 für PM<sub>2,5</sub>. Für den Fall, dass ein Kriterium nicht erfüllt wird, ist die entsprechende Zelle mit roter Farbe hinterlegt.

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>, Berichts-Nr.: 936/21220478/A

Seite 137 von 266

Tabelle 27: Übersicht Äquivalenzprüfung F-701-20 für PM<sub>2,5</sub>

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Leitfaden "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods", 2010				
Prüfling	F-701-20	SN	SN 1512361 / SN 1512401	
Status Messwerte	Rohdaten	Grenzwert	30	µg/m <sup>3</sup>
		erlaubte Unsicherheit	25	%
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,58			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,61			µg/m <sup>3</sup>
SN 1512361 / SN 1512401				
Anzahl Wertepaare	213			
Steigung b	0,917		signifikant	
Unsicherheit von b	0,009			
Achsabschnitt a	0,587		signifikant	
Unsicherheit von a	0,153			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	14,64			%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,70			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,84			µg/m <sup>3</sup>
SN 1512361 / SN 1512401				
Anzahl Wertepaare	53			
Steigung b	0,922			
Unsicherheit von b	0,025			
Achsabschnitt a	0,368			
Unsicherheit von a	0,700			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	16,33			%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,53			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,50			µg/m <sup>3</sup>
SN 1512361 / SN 1512401				
Anzahl Wertepaare	160			
Steigung b	0,936			
Unsicherheit von b	0,022			
Achsabschnitt a	0,431			
Unsicherheit von a	0,224			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	11,82			%

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Leitfaden "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods", 2010				
Prüfling	F-701-20	SN	SN 1512361 / SN 1512401	
Status Messwerte	Rohdaten	Grenzwert	30	µg/m <sup>3</sup>
		erlaubte Unsicherheit	25	%
<b>Bonn</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,62			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,62			µg/m <sup>3</sup>
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	51		51	
Steigung b	0,925		0,903	
Unsicherheit von b	0,018		0,020	
Achsabschnitt a	0,882		1,105	
Unsicherheit von a	0,400		0,457	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	11,97	%	15,11	%
<b>Bornheim</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,52			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,45			µg/m <sup>3</sup>
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	54		54	
Steigung b	1,020		1,045	
Unsicherheit von b	0,031		0,030	
Achsabschnitt a	-0,429		-0,611	
Unsicherheit von a	0,377		0,365	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	6,70	%	8,07	%
<b>Köln, Herbst</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,65			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,81			µg/m <sup>3</sup>
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	62		62	
Steigung b	0,922		0,962	
Unsicherheit von b	0,021		0,029	
Achsabschnitt a	0,284		0,315	
Unsicherheit von a	0,270		0,386	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	15,06	%	11,53	%
<b>Köln, Winter</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,49			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,33			µg/m <sup>3</sup>
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	46		46	
Steigung b	0,852		0,856	
Unsicherheit von b	0,010		0,009	
Achsabschnitt a	0,775		0,875	
Unsicherheit von a	0,165		0,155	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	24,65	%	23,12	%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,70			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,84			µg/m <sup>3</sup>
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	53		53	
Steigung b	0,929		0,920	
Unsicherheit von b	0,023		0,030	
Achsabschnitt a	0,195		0,422	
Unsicherheit von a	0,629		0,85	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	15,49	%	17,99	%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,53			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,50			µg/m <sup>3</sup>
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	160		160	
Steigung b	0,930		0,950	
Unsicherheit von b	0,022		0,023	
Achsabschnitt a	0,396		0,395	
Unsicherheit von a	0,233		0,236	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	13,31	%	10,11	%
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,58			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,61			µg/m <sup>3</sup>
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	213		213	
Steigung b	0,921	signifikant	0,915	signifikant
Unsicherheit von b	0,009		0,010	
Achsabschnitt a	0,457	signifikant	0,689	signifikant
Unsicherheit von a	0,151		0,172	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	14,60	%	15,02	%

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: Die Steigungen und der Achsabschnitt bei der Auswertung des Gesamtdatensatzes sind für SN 1512361 und für SN 1512401 signifikant größer als erlaubt.
- Weitere: Die Auswertung des Gesamtdatensatzes für beide Prüflinge gemeinsam zeigt, dass die Messeinrichtung eine sehr gute Korrelation mit der Referenzmethode aufweist mit einer Steigung von 0,917 und einem Achsabschnitt von 0,587 bei einer erweiterten Gesamtunsicherheit von 14,6 %

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 (Herr Theo Hafkenschied) 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.

Der UK Equivalence Report aus 2006 [8] hat diesen Punkt als Schwachstelle in der Statistik für den Äquivalenznachweis in der November 2005 Version des Leitfadens beschrieben, da „präzisere“ Geräte dadurch benachteiligt werden (Anhang E Abschnitt 4.2). Die gleiche Schwachstelle wurde 1:1 in die Januar 2010 Version des Leitfadens übernommen. Dadurch wird die Messeinrichtung F-701-20 für PM<sub>2,5</sub> in der Tat durch die Statistik für ihre Präzision benachteiligt. Es wird daher vorgeschlagen, denselben pragmatischen Ansatz zu wählen, der in der Vergangenheit in früheren Studien schon zur Anwendung kam.

Gemäß der Tabelle 27 muss aufgrund der ermittelten Signifikanz eine Korrektur der Steigung und des Achsabschnitts für PM<sub>2,5</sub> erfolgen. Es ist an dieser Stelle zu beachten, dass die ermittelten Unsicherheiten  $W_{CM}$  für PM<sub>2,5</sub> auch ohne Anwendung von Korrekturfaktoren für alle betrachteten Datensätze unter der festgelegten erweiterten relativen Unsicherheit  $W_{dqo}$  von 25 % für Feinstaub liegen.



Die Steigung für den Gesamtdatensatz liegt bei 0,917. Der Achsabschnitt für den Gesamtdatensatz liegt bei 0,587. Es erfolgt daher unter Punkt 6.1 5.4.11 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen eine zusätzliche Auswertung unter Anwendung der entsprechenden Kalibrierfaktoren auf die Datensätze.

Die überarbeitete Fassung des Leitfadens von Januar 2010 enthält 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 14,6 % für PM<sub>2,5</sub>, was wiederum eine jährliche Überprüfung an 3 Messorten erfordern würde (Leitfaden [4], Kapitel 9.9.2, Tabelle 6). Auf Grund der notwendigen Anwendung der entsprechenden Kalibrierfaktoren, sollte diese Bewertung schlussendlich jedoch auf Basis der Auswertung der korrigierten Datensätze erfolgen (siehe Punkt 6.1 5.4.11 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen).

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 28 zeigt einen Überblick über die Unsicherheiten zwischen den Referenzgeräten  $u_{ref}$  aus den Felduntersuchungen.

Tabelle 28: Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten  $u_{ref}$  für PM<sub>2,5</sub>

Referenz- Geräte	Standort	Anzahl Werte	Unsicherheit $u_{bs}$
Nr.			$\mu\text{g}/\text{m}^3$
1 / 2	Bonn, Winter	51	0,62
1 / 2	Bornheim, Sommer	54	0,52
1 / 2	Köln, Herbst	62	0,65
1 / 2	Köln, Winter	46	0,49
1 / 2	Alle Standorte	213	0,58

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

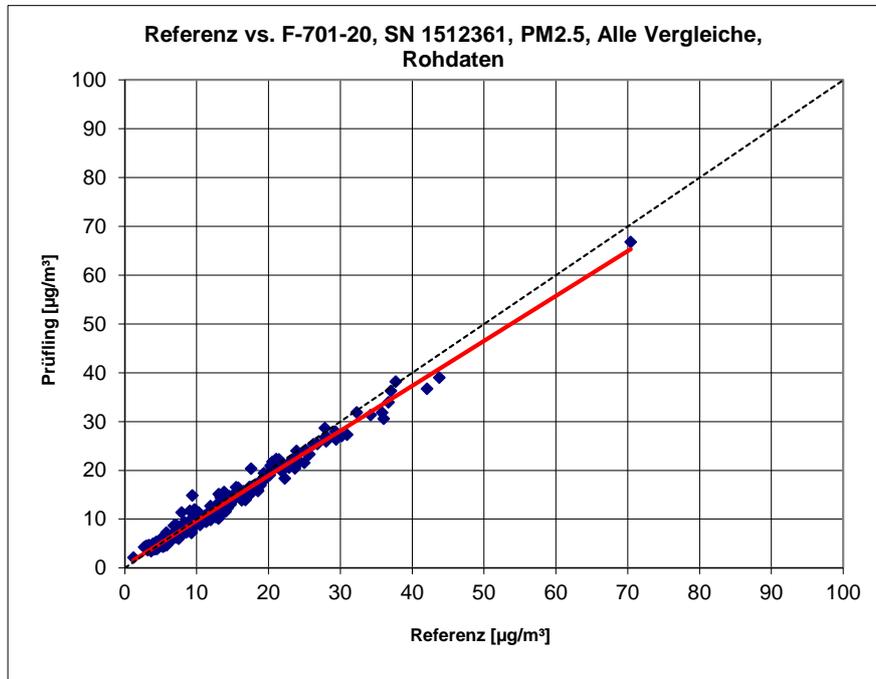


Abbildung 36: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte

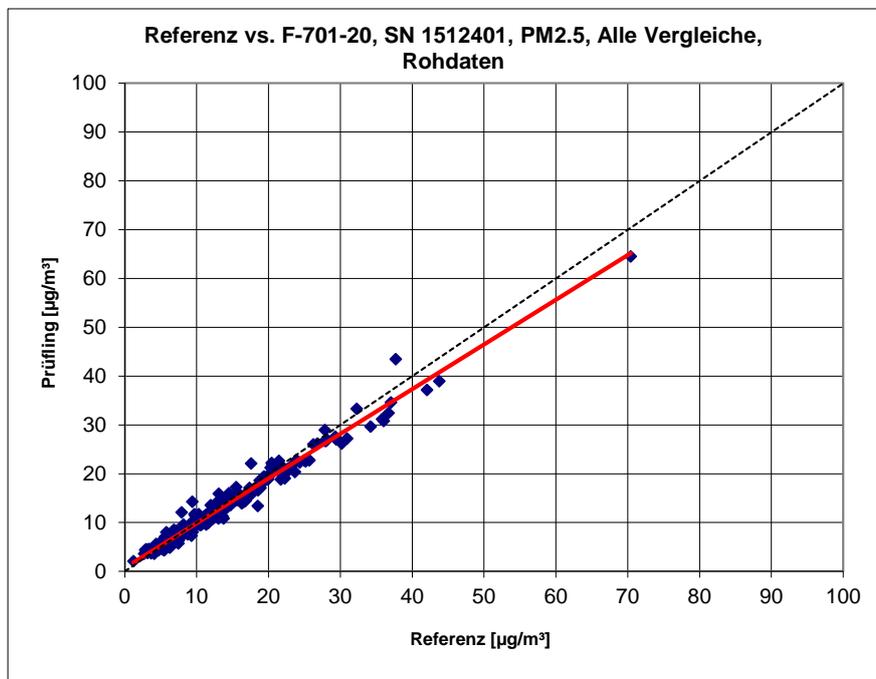


Abbildung 37: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte

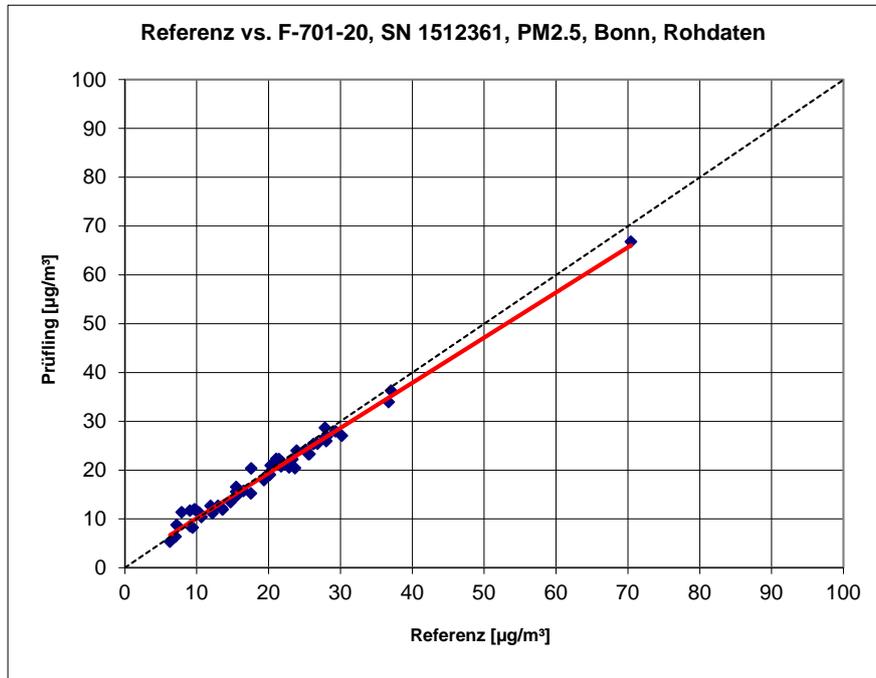


Abbildung 38: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Bonn, Winter

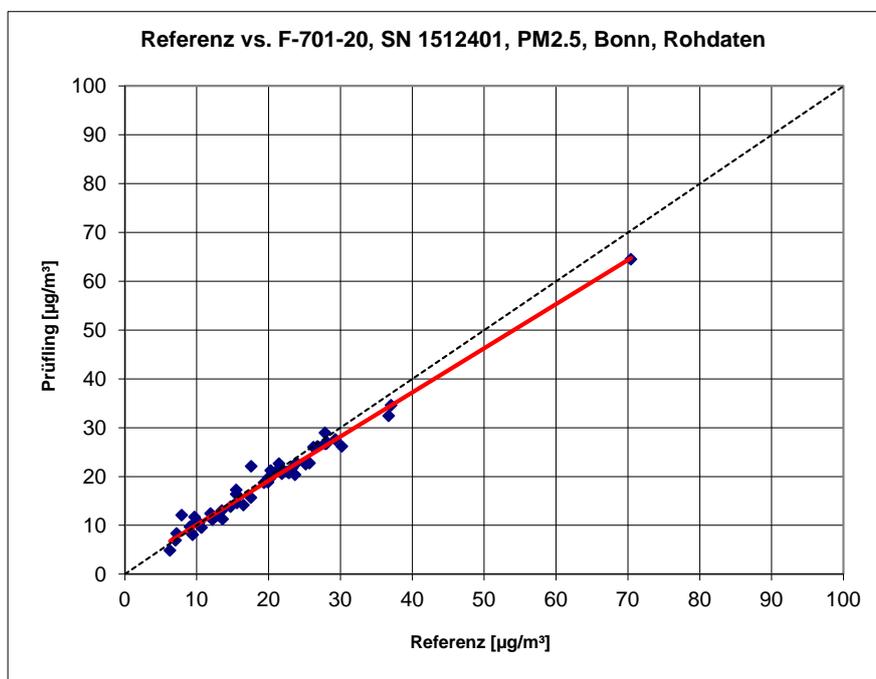


Abbildung 39: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Bonn, Winter

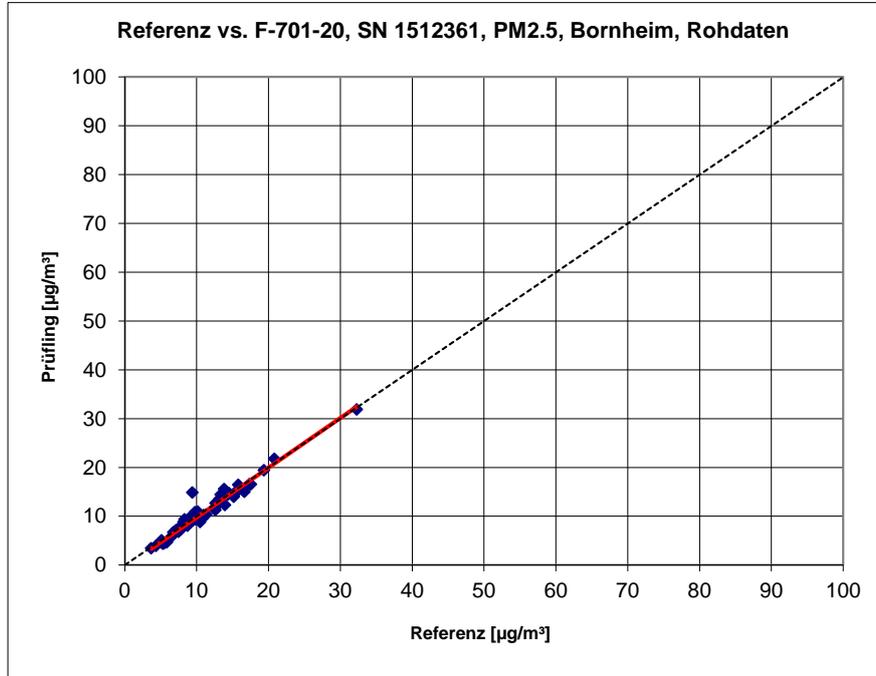


Abbildung 40: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Bornheim, Sommer

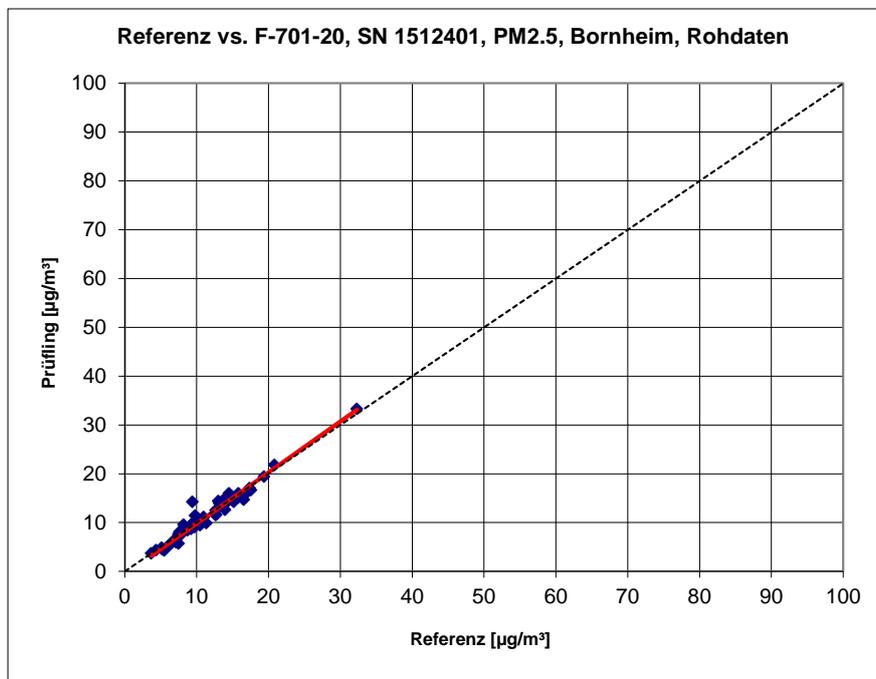


Abbildung 41: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Bornheim, Sommer

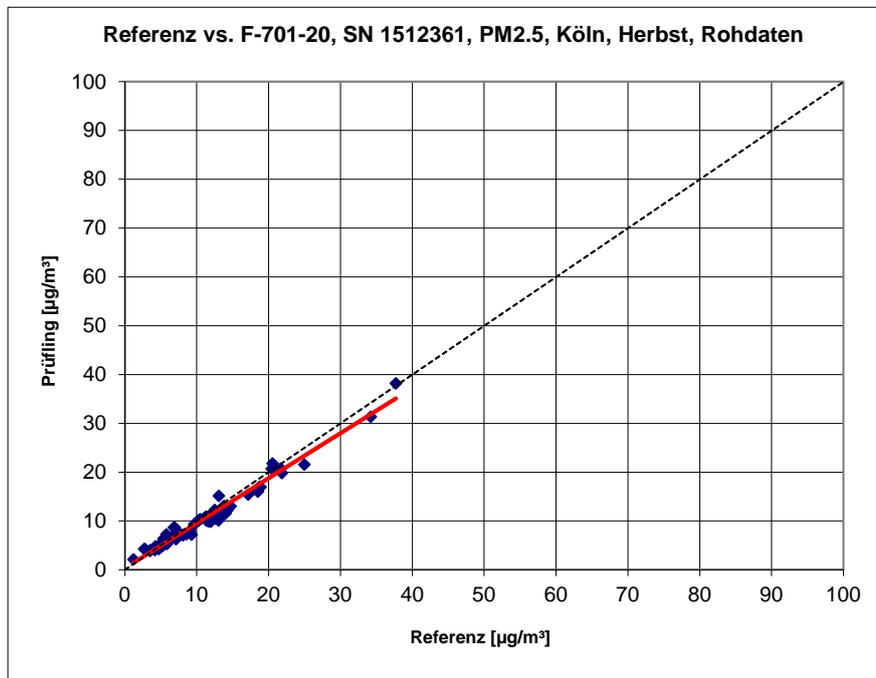


Abbildung 42: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Herbst

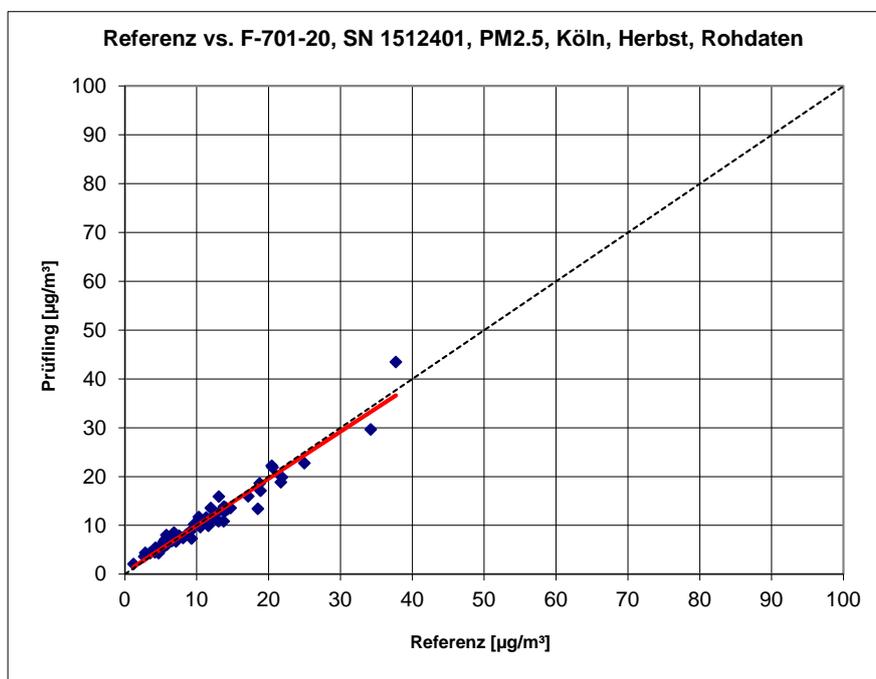


Abbildung 43: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Herbst

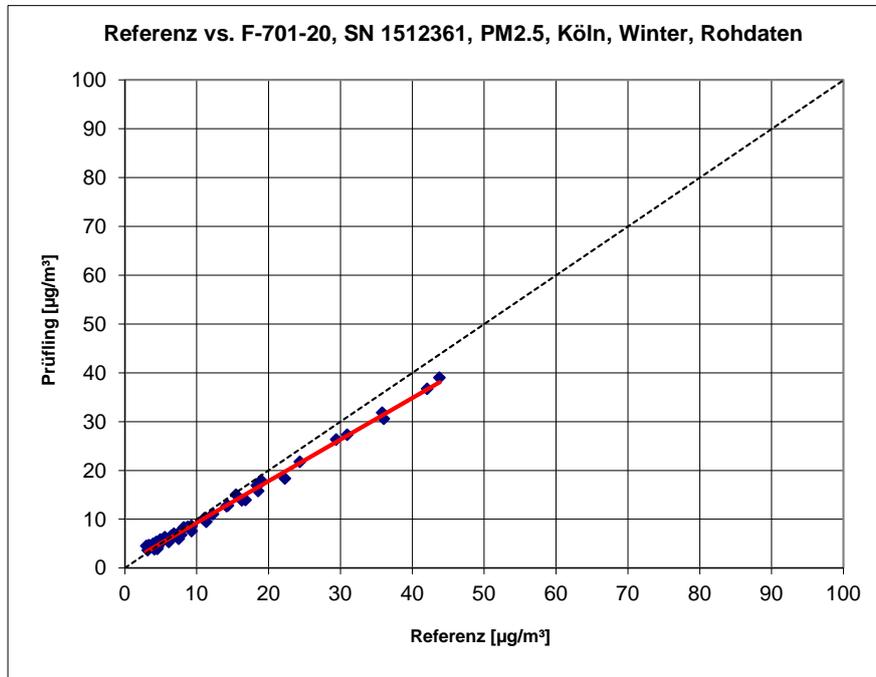


Abbildung 44: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Winter

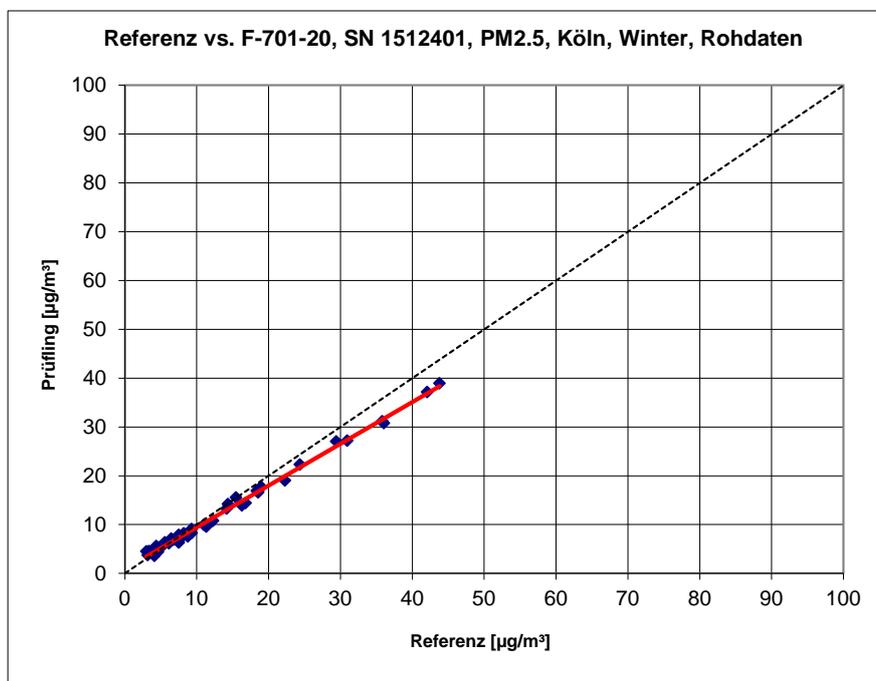


Abbildung 45: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Winter

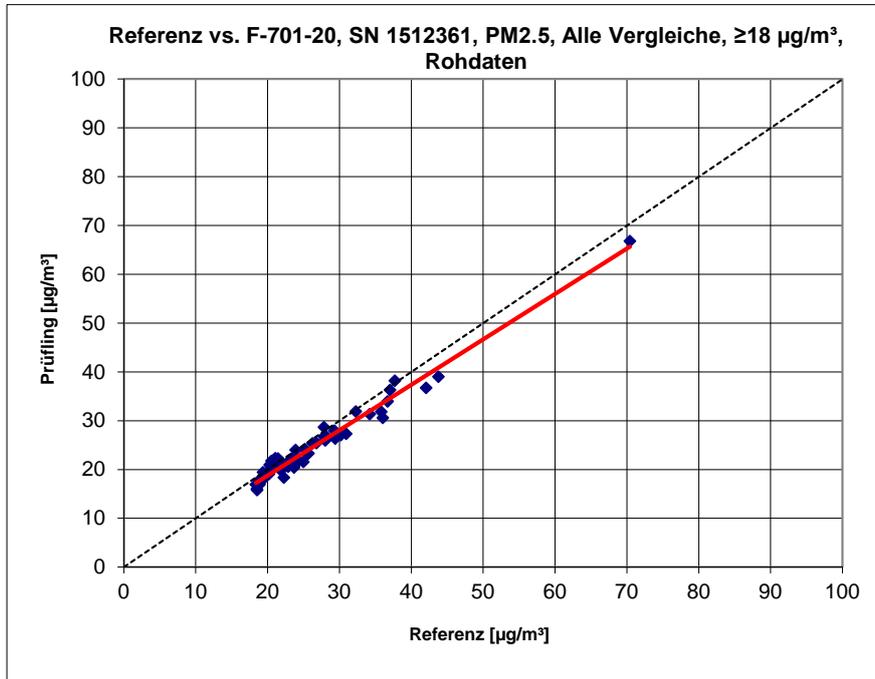


Abbildung 46: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Werte  $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$

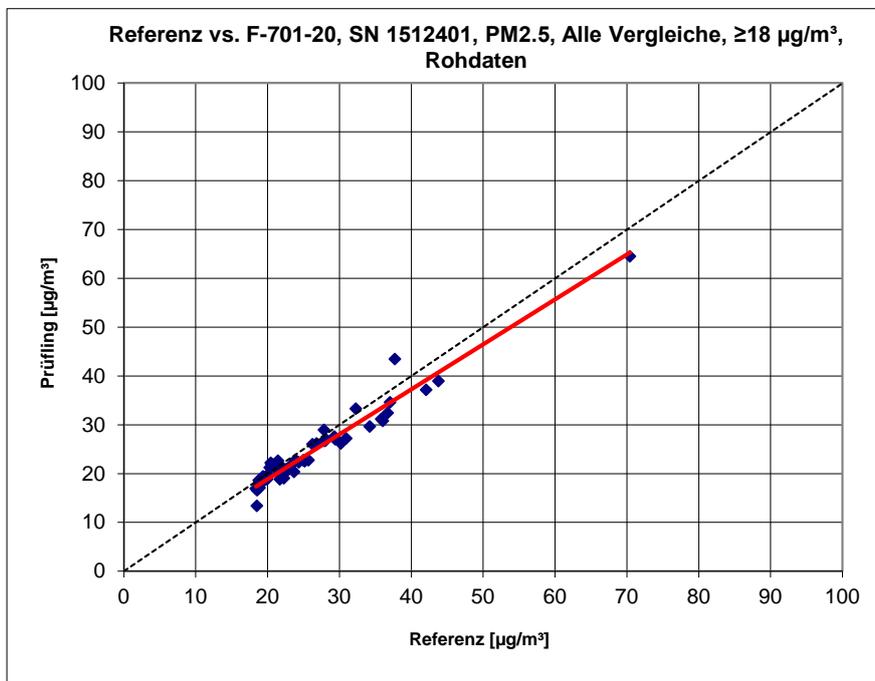


Abbildung 47: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Werte  $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## 6.1 5.4.11 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen

*Ist bei der Prüfung von PM<sub>2,5</sub>-Messeinrichtungen die höchste errechnete erweiterte Unsicherheit der Prüflinge größer als die in den Anforderungen an die Datenqualität nach Anhang B der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (September 2010) festgelegte erweiterte relative Unsicherheit, ist eine Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen zulässig. Die korrigierten Werte müssen die Anforderungen gemäß den Punkten 9.5.3.2ff. des Leitfadens „Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ erfüllen.*

## 6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Siehe Modul 5.4.10

## 6.4 Auswertung

Tritt bei der Auswertung der Rohwerte gemäß Modul 5.4.10 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 5.4.10). 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 5.4.10 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 5.4.10 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 5.4.10 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].

## 6.5 Bewertung

Die Prüflinge erfüllen während der Prüfung die Anforderungen an die Datenqualität von Immissionsmessungen schon ohne eine Anwendung von Korrekturfaktoren. Eine Korrektur der Steigung und des Achsabschnitts führt dennoch zu einer weiteren erheblichen Verbesserung der erweiterten Messunsicherheiten für den Gesamtdatensatz.

Mindestanforderung erfüllt? ja

Die Auswertung des Gesamtdatensatzes für beide Prüflinge ergibt für die Messkomponente PM<sub>2,5</sub> eine signifikante Steigung und einen signifikanten Achsabschnitt.

Die Steigung für den Gesamtdatensatz liegt bei 0,917. Der Achsabschnitt für den Gesamtdatensatz liegt bei 0,587 (siehe Tabelle 27).

Es wurde eine Steigungs- und 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 und die Messunsicherheiten verbessern sich bei einigen Standorten erheblich. Lediglich der Standort „Bornheim, Sommer“ verschlechtert sich signifikant durch die Korrektur, die erweiterte Messunsicherheit liegt aber unter den zulässigen 25 %.

Die Version des Leitfadens vom Januar 2010 verlangt 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). Es bleibt festzustellen, dass die höchste ermittelte erweiterte Unsicherheit für PM<sub>2,5</sub> nach Korrektur im Bereich < 10 % liegt, während sie vor der Korrektur im Bereich 10 % bis 15 % lag.

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 14,6 % (PM<sub>2,5</sub>, unkorrigierter Datensatz) respektive 8,5 % (PM<sub>2,5</sub>, Datensatz nach Steigungs-/Offset-Korrektur), was wiederum eine jährliche Überprüfung an 3 Messorten (unkorrigiert) bzw. 2 Messorten (korrigiert) erfordern würde.

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 29 zeigt die Ergebnisse der Auswertungen der Äquivalenzprüfung nach Anwendung des Korrekturfaktors für die Steigung und den Achsabschnitt auf den Gesamtdatensatz.

*Tabelle 29: Zusammenstellung der Ergebnisse der Äquivalenzprüfung, SN 1512361 & SN 1512401, nach Korrektur Steigung und Achsabschnitt*

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Leitfaden "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods", 2010			
Prüfung	F-701-20	SN	SN 1512361 / SN 1512401
Status Messwerte	Korrektur Steigung und Offset	Grenzwert erlaubte Unsicherheit	30 25      µg/m <sup>3</sup> %
<b>Alle Vergleiche</b>			
Unsicherheit zwischen Referenz	<b>0,58</b>		µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	<b>0,67</b>		µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>			
Anzahl Wertepaare	<b>213</b>		
Steigung b	<b>1,001</b>		nicht signifikant
Unsicherheit von b	<b>0,010</b>		
Achsabschnitt a	<b>-0,013</b>		nicht signifikant
Unsicherheit von a	<b>0,167</b>		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	<b>8,46</b>		%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m<sup>3</sup></b>			
Unsicherheit zwischen Referenz	<b>0,70</b>		µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	<b>0,92</b>		µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>			
Anzahl Wertepaare	<b>53</b>		
Steigung b	<b>1,007</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,027</b>		
Achsabschnitt a	<b>-0,283</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,763</b>		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	<b>11,12</b>		%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m<sup>3</sup></b>			
Unsicherheit zwischen Referenz	<b>0,53</b>		µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	<b>0,54</b>		µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>			
Anzahl Wertepaare	<b>160</b>		
Steigung b	<b>1,025</b>		
Unsicherheit von b	<b>0,024</b>		
Achsabschnitt a	<b>-0,209</b>		
Unsicherheit von a	<b>0,244</b>		
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	<b>8,36</b>		%

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>, Berichts-Nr.: 936/21220478/A

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Leitfaden "Demonstration of Equivalence Of Ambient Air Monitoring Methods", 2010				
Prüfung	F-701-20	SN	SN 1512361 / SN 1512401	
Status Messwerte	Korrektur Steigung und Offset	Grenzwert	30	µg/m <sup>3</sup>
		erlaubte Unsicherheit	25	%
<b>Bonn</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,62	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,67	µg/m <sup>3</sup>		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	51		51	
Steigung b	1,010		0,986	
Unsicherheit von b	0,019		0,022	
Achsabschnitt a	0,306		0,544	
Unsicherheit von a	0,436		0,499	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	9,79	%	10,46	%
<b>Bornheim</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,52	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,49	µg/m <sup>3</sup>		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	54		54	
Steigung b	1,114		1,142	
Unsicherheit von b	0,033		0,032	
Achsabschnitt a	-1,134		-1,330	
Unsicherheit von a	0,411		0,398	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	17,07	%	20,87	%
<b>Köln, Herbst</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,65	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,89	µg/m <sup>3</sup>		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	62		62	
Steigung b	1,007		1,051	
Unsicherheit von b	0,022		0,032	
Achsabschnitt a	-0,345		-0,327	
Unsicherheit von a	0,295		0,421	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	7,54	%	13,97	%
<b>Köln, Winter</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,49	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,36	µg/m <sup>3</sup>		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	46		46	
Steigung b	0,929		0,934	
Unsicherheit von b	0,011		0,010	
Achsabschnitt a	0,201		0,311	
Unsicherheit von a	0,180		0,169	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	13,56	%	11,90	%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,70	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,92	µg/m <sup>3</sup>		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	53		53	
Steigung b	1,014		1,006	
Unsicherheit von b	0,025		0,033	
Achsabschnitt a	-0,464		-0,246	
Unsicherheit von a	0,686		0,92	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	9,81	%	13,79	%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,53	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,54	µg/m <sup>3</sup>		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	160		160	
Steigung b	1,018		1,040	
Unsicherheit von b	0,025		0,025	
Achsabschnitt a	-0,250		-0,251	
Unsicherheit von a	0,254		0,257	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	8,15	%	10,24	%
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,58	µg/m <sup>3</sup>		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,67	µg/m <sup>3</sup>		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	213		213	
Steigung b	1,005	nicht signifikant	0,999	nicht signifikant
Unsicherheit von b	0,010		0,011	
Achsabschnitt a	-0,155	nicht signifikant	0,095	nicht signifikant
Unsicherheit von a	0,165		0,187	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	8,33	%	9,64	%

## **6.1      5.5 Anforderungen an Mehrkomponentenmesseinrichtungen**

*Mehrkomponentenmesseinrichtungen müssen die Anforderungen für jede Einzelkomponente erfüllen, auch bei Simultanbetrieb aller Messkanäle.*

## **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. Empfehlungen zum Praxiseinsatz

### Arbeiten im Wartungsintervall (4 Wochen)

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
- Kontrolle des Filterbandvorrates
- Wartung des Probenahmekopfes gemäß Herstellerangaben

Im Übrigen sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten.

### Weitergehende Wartungsarbeiten

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

- Kontrolle des Filterbandvorrates –  
Ein Filterband mit 45 m Länge reicht bei einer Zykluszeit von 1 h und einer Belegzahl von 24 (Einstellung in Eignungsprüfung) dabei theoretisch für 30.000 Messzyklen entsprechend 1250 Tagen aus. Da je nach Schwebstaubkonzentrationslevel in der Praxis auf Grund einer möglichen Überschreitung der maximal pro Filterfleck zulässigen Masse von 400 µg ein neuer Filterfleck früher als bis zum Erreichen einer 24fachen Belegung angefahren werden muss, reduziert sich die Zeit, in der die Filterbandrolle verbraucht wird entsprechend.  
Bei einer Zykluszeit von 1 h und einer minimalen Belegzeit von 1 (d.h. für jeden Zyklus wird ein neuer Filterfleck verwendet) ergeben sich 1.250 Messzyklen entsprechend 52 Tagen. Es empfiehlt sich daher, den Vorrat des Filterbandes bei jedem Besuch der Messeinrichtung zur regelmäßigen Wartung zu überprüfen (z.B. im Rahmen der Säuberung des Probenahmekopfes).
- Gemäß Hersteller soll die Pumpe nach einem Jahr Laufzeit ca. alle 6 Wochen gewartet werden, d.h. es sind die Filter auszublasen und die Lamellenhöhe zu kontrollieren und ggf. die Lamellen zu wechseln
- Eine Überprüfung der Sensoren für Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck sollte gemäß DIN CEN/TS 16450 [9] alle 3 Monate erfolgen.
- Eine Überprüfung der Durchflussrate sollte gemäß DIN CEN/TS 16450 [9] alle 3 Monate erfolgen.
- Eine Überprüfung der Dichtigkeit sollte im Rahmen der Überprüfung der Durchflussrate ebenfalls alle 3 Monate erfolgen.
- Der Filterhalter, die Transportrolle und die Andruckrollen sind alle 6 Monate zu säubern.

- Die Abluftfilter und die Schlauchverbindungen sind alle 6 Monate zu prüfen und ggf. auszublasen.
- Der Pumpenfilter und die Dichtung soll einmal jährlich getauscht werden.
- Einmal im Jahr ist der Meteorologiesensor zur Rekalibrierung an den Gerätehersteller einzuschicken. Darüber hinaus wird eine Überprüfung der radiometrischen Messung mit Hilfe der Referenzfolie einmal im Jahr empfohlen.
- Während einer jährlichen Grundwartung ist auch auf die Reinigung des Probenahme-rohres zu achten.

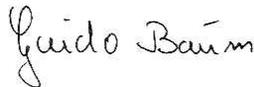
Weitere Einzelheiten können der Bedienungsanleitung entnommen werden.

Immissionsschutz/Luftreinhaltung



---

Dipl.-Ing. Karsten Pletscher



---

Dipl.-Ing. Guido Baum

Köln, 17. März 2014  
936/21220478/A

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmesseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“, Juni 2002 & September 2010
- [2] VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, August 2004 & September 2010
- [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 vom Januar 2010
- [5] Bedienungshandbuch F-701-20 Rev. 04 von 03 / 2014
- [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] Bericht „UK Equivalence Programme for Monitoring of Particulate Matter“, Berichts-Nr.: BV/AQ/AD202209/DH/2396 vom 05.06.2006
- [9] Technische Spezifikation DIN CEN/TS 16450, „Außenluft – Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>)“, Deutsche Fassung vom August 2013

## 9. 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

### **Anhang 2      Verfahren zur Filterwägung**

### **Anhang 3      Handbücher**

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>, Berichts-Nr.: 936/21220478/A

**Anlage 1**

**Nachweisgrenze**

**Blatt 1 von 1**

<b>Hersteller</b> DURAG GmbH				
<b>Gerätetyp</b> F-701-20		Standards	NP	Messwerte mit Nullfilter
<b>Serien-Nr.</b> SN 1512401 / SN 1512361				

Nr.	Datum	Messwerte [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Datum	Messwerte [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
		SN 1512401		SN 1512361
1	20.12.12	0,4	20.12.12	0,3
2	21.12.12	0,6	21.12.12	0,1
3	22.12.12	0,3	22.12.12	0,7
4	23.12.12	0,1	23.12.12	0,0
5	24.12.12	0,3	24.12.12	0,8
6	25.12.12	0,7	25.12.12	-0,4
7	26.12.12	-0,3	26.12.12	0,5
8	27.12.12	0,0	27.12.12	0,7
9	28.12.12	0,9	28.12.12	-0,1
10	29.12.12	0,1	29.12.12	0,4
11	30.12.12	0,0	30.12.12	0,2
12	31.12.12	0,2	31.12.12	0,6
13	01.01.13	0,5	01.01.13	0,5
14	02.01.13	0,5	02.01.13	0,0
19	03.01.13	0,0	03.01.13	0,6
	Anzahl Werte	15	Anzahl Werte	15
	Mittelwert	0,28	Mittelwert	0,34
	Standardabweichung $s_{x0}$	0,31	Standardabweichung $s_{x0}$	0,35
	Nachweisgrenze X	<b>0,66</b>	Nachweisgrenze X	<b>0,75</b>

$$s_{x0} = \sqrt{\left(\frac{1}{n-1}\right) \cdot \sum_{i=1,n} (x_{oi} - \bar{x}_0)^2}$$

**Anlage 2**

**Umgebungstemperaturabhängigkeit am Nullpunkt**

**Blatt 1 von 1**

<b>Hersteller</b>		DURAG GmbH		<b>Standards</b>				Nullfilter			
<b>Gerätetyp</b>		F-701-20									
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401									
				Durchgang 1		Durchgang 2		Durchgang 3			
SN 1512361	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg/m³]	Abw. [µg/m³]	Messwert [µg/m³]	Abw. [µg/m³]	Messwert [µg/m³]	Abw. [µg/m³]			
NP	1	20	1,0	-	0,5	-	0,7	-			
	2	5	1,2	0,2	0,8	0,3	0,4	-0,3			
	3	20	1,4	0,5	0,4	-0,1	0,7	0,0			
	4	40	0,0	-0,9	-0,5	-1,0	-0,4	-1,1			
	5	20	0,7	-0,3	0,5	0,1	0,1	-0,7			
SN 1512401	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg/m³]	Abw. [µg/m³]	Messwert [µg/m³]	Abw. [µg/m³]	Messwert [µg/m³]	Abw. [µg/m³]			
NP	1	20	0,5	-	0,1	-	0,3	-			
	2	5	-0,1	-0,6	-0,2	-0,3	0,0	-0,2			
	3	20	-0,2	-0,6	0,7	0,6	0,4	0,1			
	4	40	-0,5	-1,0	-0,4	-0,5	0,2	0,0			
	5	20	0,2	-0,2	0,4	0,4	0,2	0,0			

Anlage 3

Umgebungstemperaturabhängigkeit am Referenzpunkt

Blatt 1 von 1

<b>Hersteller</b>		DURAG GmbH		<b>Standards</b>				Referenzfolie			
<b>Gerätetyp</b>		F-701-20									
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401									
			Durchgang 1		Durchgang 2		Durchgang 3				
SN 1512361	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg]	Abw. [%]	Messwert [µg]	Abw. [%]	Messwert [µg]	Abw. [%]			
RP	1	20	294,0	-	289,0	-	290,0	-			
	2	5	292,0	-0,7	292,0	1,0	283,0	-2,4			
	3	20	292,0	-0,7	292,0	1,0	298,0	2,8			
	4	40	288,0	-2,0	285,0	-1,4	280,0	-3,4			
	5	20	284,0	-3,4	284,0	-1,7	285,0	-1,7			
SN 1512401	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg]	Abw. [%]	Messwert [µg]	Abw. [%]	Messwert [µg]	Abw. [%]			
RP	1	20	277,0	-	272,0	-	274,0	-			
	2	5	267,0	-3,6	270,0	-0,7	273,0	-0,4			
	3	20	262,0	-5,4	275,0	1,1	265,0	-3,3			
	4	40	261,0	-5,8	263,0	-3,3	274,0	0,0			
	5	20	267,0	-3,6	268,0	-1,5	271,0	-1,1			

**Anlage 4**

**Netzspannungsabhängigkeit am Referenzpunkt**

**Blatt 1 von 1**

<b>Hersteller</b>		DURAG GmbH		<b>Standards</b>				Referenzfolie			
<b>Gerätetyp</b>		F-701-20									
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401									
				Durchgang 1		Durchgang 2		Durchgang 3			
SN 1512361	Nr.	Netzspannung [V]	Messwert	Abw. [%]	Messwert	Abw. [%]	Messwert	Abw. [%]			
RP	1	230	294,0	-	284,0	-	295,0	-			
	2	210	288,0	-2,0	286,0	0,7	293,0	-0,7			
	3	230	294,0	0,0	289,0	1,8	287,0	-2,7			
	4	245	284,0	-3,4	283,0	-0,4	294,0	-0,3			
	5	230	292,0	-0,7	289,0	1,8	282,0	-4,4			
SN 1512401	Nr.	Netzspannung [V]	Messwert	Abw. [%]	Messwert	Abw. [%]	Messwert	Abw. [%]			
RP	1	230	270,0	-	279,0	-	273,0	-			
	2	210	272,0	0,7	269,0	-3,6	279,0	2,2			
	3	230	261,0	-3,3	279,0	0,0	279,0	2,2			
	4	245	283,0	4,8	271,0	-2,9	265,0	-2,9			
	5	230	283,0	4,8	267,0	-4,3	266,0	-2,6			

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit  
PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub  
PM<sub>2,5</sub>, Berichts-Nr.: 936/21220478/A

Seite 163 von 266

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 1 von 10

Hersteller		DURAG							Schwebstaub PM2,5	
Gerätetyp		F701-20							Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.	
Serien-Nr.		SN 1512361 / SN 1512401								
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort
1	28.02.2013								Nullpunkt	Bonn, Winter
2	01.03.2013	24,9	23,0	36,3	36,7	65,6	24,0	22,8		
3	02.03.2013						27,7	27,8		
4	03.03.2013	22,1	23,2	29,3	29,8	76,6	21,2	20,9		
5	04.03.2013	19,6	20,5	28,2	28,7	70,2	19,3	19,7		
6	05.03.2013	28,4	27,7	40,2	39,9	70,1	26,0	26,7		
7	06.03.2013	25,8	24,5	39,3	39,7	63,8	24,2	22,5		
8	07.03.2013	28,0	28,3	39,5	39,5	71,2	26,9	27,0		
9	08.03.2013	28,8	27,0	35,4	34,8	79,5	28,6	28,9		
10	09.03.2013						12,0	11,5		
11	10.03.2013	21,8	22,0	23,1	22,3	96,5	21,6	20,6		
12	11.03.2013	27,6	28,1	31,2	30,3	90,6	26,7	26,7		
13	12.03.2013	15,6	15,6	17,8	17,7	87,9	14,8	14,5		
14	13.03.2013	36,7	36,7	50,8	50,0	72,9	33,9	32,4		
15	14.03.2013	19,6	19,2	27,5	27,6	70,3	18,0	18,7		
16	15.03.2013	22,0	21,5	31,7	31,7	68,7	20,8	21,7		
17	16.03.2013						14,4	15,7		
18	17.03.2013	7,0	7,4	11,0	10,5	67,2	8,8	8,3		
19	18.03.2013	7,7	8,2	17,4	17,2	45,9	11,4	12,0		
20	19.03.2013	9,5	9,9	17,1	16,8	57,5	11,9	11,7		
21	20.03.2013	21,3	20,9	25,2	24,5	84,7	22,3	21,1		
22	21.03.2013	37,5	36,6	46,3	45,9	80,5	36,2	34,6		
23	22.03.2013	21,4	21,6	26,0	26,3	82,2	22,2	22,6		
24	23.03.2013						23,4	22,5		
25	24.03.2013	15,1	15,9	19,7	18,8	80,6	16,5	17,2		
26	25.03.2013	20,1	20,6	26,0	25,6	78,9	20,9	21,2		
27	26.03.2013	15,7	15,3	21,1	20,4	74,7	15,6	16,4		
28	27.03.2013	26,6	25,9	33,3	32,8	79,5	25,3	26,0		
29	28.03.2013						42,9	42,0		
30	29.03.2013	71,1	69,8	76,5	76,3	92,2	66,8	64,5		

**Anlage 5**

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

**Blatt 2 von 10**

Hersteller DURAG Gerätetyp F701-20 Serien-Nr. SN 1512361 / SN 1512401										
Schwebstaub PM <sub>2,5</sub> Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.										
Nr.	Datum	Ref. 1 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> [%]	SN 1512361 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort
31	30.03.2013								Nullpunkt	Bonn, Winter
32	31.03.2013								Nullpunkt	
33	01.04.2013								Nullpunkt	
34	02.04.2013	20,2	20,2	24,7	25,2	81,0	19,0	19,5		
35	03.04.2013	27,2	26,5	31,4	30,8	86,3	25,4	26,2		
36	04.04.2013	29,5	29,1	33,5	33,2	88,0	27,9	27,6		
37	05.04.2013	25,8	25,4	30,8	30,0	84,1	23,2	22,9		
38	06.04.2013						21,3	22,1		
39	07.04.2013	23,0	22,8	30,9	30,2	74,9	20,6	20,7		
40	08.04.2013	26,3	25,1	31,7	31,7	81,0	23,3	22,7		
41	09.04.2013	16,5	16,5	21,6	21,0	77,4	15,7	14,1		
42	10.04.2013	12,2	12,2	17,9	17,8	68,4	11,1	11,1		
43	11.04.2013	9,4	8,8	15,9	15,7	57,4	8,5	8,7		
44	12.04.2013	6,2	6,3	10,4	10,4	60,4	5,3	4,8		
45	13.04.2013						6,5	6,6		
46	14.04.2013	7,2	6,9	11,9	11,1	61,4	6,4	6,9		
47	15.04.2013	18,5	16,8	31,2	30,2	57,3	20,3	22,1		
48	16.04.2013	12,7	11,2	21,1	20,7	57,2	12,7	12,4		
49	17.04.2013	9,9	9,8	19,5	19,7	50,2	11,8	10,7		
50	18.04.2013	9,4	8,7	21,4	21,5	42,2	11,7	9,7		
51	19.04.2013	10,3	10,3	21,0	20,8	49,4	11,3	10,5		
52	20.04.2013						10,6	11,5		
53	21.04.2013	24,4	23,0	36,7	37,6	63,8	20,4	20,3		
54	22.04.2013	31,0	29,4	44,7	43,9	68,3	27,0	26,1		
55	23.04.2013	11,0	10,4	18,2	18,8	57,6	10,4	9,5		
56	24.04.2013	14,3	12,7	24,2	24,4	55,6	12,2	13,0		
57	25.04.2013	13,8	12,1	23,3	23,6	55,3	12,6	12,0		
58	26.04.2013								Nullpunkt	
59	27.04.2013								Nullpunkt	
60	28.04.2013								Nullpunkt	

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 3 von 10

Hersteller		DURAG									Schwebstaub PM <sub>2,5</sub>	
Gerätetyp		F701-20									Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.	
Serien-Nr.		SN 1512361 / SN 1512401										
Nr.	Datum	Ref. 1 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> [%]	SN 1512361 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort		
61	29.04.2013	14,3	12,9	20,6	21,4	64,9	11,9	11,2		Bonn, Winter		
62	30.04.2013						14,1	15,0				
63	01.05.2013	16,9	18,2	21,4	22,2	80,7	15,2	15,6				
64	02.05.2013						14,5	15,8				
65	03.05.2013	23,2	23,4	33,7	34,4	68,5	22,2	21,7				
66	04.05.2013	20,2	19,7	30,1	30,6	65,7	19,1	18,8				
67	05.05.2013	9,6	9,3	14,0	14,8	65,4	8,2	8,0				
68	06.05.2013	14,5	15,0	23,3	22,9	63,9	13,4	13,8				
69	14.05.2013								Nullpunkt	Bornheim, Sommer		
70	15.05.2013								Nullpunkt			
71	16.05.2013	21,0	20,7	24,5	24,7	84,6	21,7	21,8				
72	17.05.2013	16,1	15,5	18,3	19,4	83,8	16,4	16,0				
73	18.05.2013						8,8	9,3				
74	19.05.2013						19,9	20,5				
75	20.05.2013	11,3	10,3	13,9	14,7	75,2	9,5	10,2				
76	21.05.2013		5,4	8,3	8,8		5,1	4,9	Stromausfall Ref. PM <sub>2,5</sub> G#1			
77	22.05.2013						6,4	5,2				
78	23.05.2013						5,3	4,8				
79	24.05.2013			10,1	10,7		6,6	6,1	Stromausfall Ref. PM <sub>2,5</sub>			
80	25.05.2013						10,4	10,8				
81	26.05.2013		6,6	12,9	13,4		7,2	7,0	Stromausfall Ref. PM <sub>2,5</sub> G#2			
82	27.05.2013	11,7	11,0	16,9	17,6	65,7	10,3	9,9				
83	28.05.2013	8,7	7,7	12,8	12,2	65,8	7,9	8,9				
84	29.05.2013						4,2	3,4				
85	30.05.2013						9,8	11,0				
86	31.05.2013						16,4	16,9				
87	01.06.2013						13,3	13,0				
88	02.06.2013	5,3	5,0	10,8	10,7	47,7	5,0	4,8				
89	03.06.2013	8,0	7,0	14,5	14,5	51,5	7,2	7,6				
90	04.06.2013	9,5	9,5	18,2	18,4	51,9	10,1	9,3				

**Anlage 5**

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

**Blatt 4 von 10**

<b>Hersteller</b>		DURAG							Schwebstaub PM <sub>2,5</sub>		
<b>Gerätetyp</b>		F701-20							Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.		
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401									
Nr.	Datum	Ref. 1 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> [%]	SN 1512361 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort	
91	05.06.2013	9,1	9,3	17,2	18,8	51,2	8,9	8,7	Nullpunkt Nullpunkt	Bornheim, Sommer	
92	06.06.2013	10,8	10,2	17,0	17,5	60,8	8,8	9,4			
93	07.06.2013	17,0	16,1	28,6	29,9	56,6	15,1	14,7			
94	08.06.2013						15,0	15,7			
95	09.06.2013	14,0	13,6	20,1	21,3	66,9	15,6	14,8			
96	10.06.2013	16,1	15,4	26,1	27,1	59,1	15,4	15,0			
97	11.06.2013	13,0	12,2	20,8	20,7	60,7	11,3	11,6			
98	12.06.2013	7,1	6,4	14,6	14,0	47,4	6,7	6,3			
99	13.06.2013	5,6	5,4	13,4	12,7	42,1	4,4	4,3			
100	14.06.2013	5,0	5,7	10,8	10,8	49,3	4,3	4,4			
101	15.06.2013	5,1	5,3	10,6	10,2	50,0	4,5	4,6			
102	16.06.2013	7,3	7,6	16,7	16,6	44,8	6,8	5,7			
103	17.06.2013	12,2	13,3	21,3	20,9	60,3	12,0	11,6			
104	18.06.2013	17,8	17,3	28,6	29,1	60,9	16,5	16,7			
105	19.06.2013	31,9	32,7	48,7	48,5	66,5	31,9	33,3			
106	20.06.2013	8,7	10,1	15,5	14,9	62,1	14,9	14,2			
107	21.06.2013	4,2	4,5	7,2	6,8	62,2	3,9	4,3			
108	22.06.2013	3,3	4,1	5,7	5,9	63,8					
109	23.06.2013	3,1	3,0	4,6	5,5	59,8					
110	24.06.2013	8,7	8,0	13,9	13,2	61,6	9,3	8,8			
111	25.06.2013	6,3	6,6	12,9	12,7	50,4	5,7	5,6			
112	26.06.2013	9,1	9,4	14,6	14,5	63,4	10,0	9,6			
113	27.06.2013	9,8	9,6	14,2	13,8	69,5	9,3	9,0			
114	28.06.2013	8,8	8,7	14,2	14,7	60,4	8,0	8,4			
115	29.06.2013	6,0	5,8	11,7	11,5	50,8	4,7	5,0			
116	30.06.2013	7,4	6,9	14,6	14,4	49,3	7,1	6,0			
117	01.07.2013	7,7	7,6	13,4	13,2	57,5	7,2	8,1			
118	02.07.2013	7,9	7,9	12,5	12,0	64,9	8,1	7,9			
119	03.07.2013	3,6	3,8	9,0	9,9	39,1	3,4	3,7			
120	04.07.2013	7,5	7,9	13,5	13,6	56,8	7,1	7,3			

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 5 von 10

Hersteller		DURAG									Schwebstaub PM <sub>2,5</sub> Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.
Gerätetyp		F701-20									
Serien-Nr.		SN 1512361 / SN 1512401									
Nr.	Datum	Ref. 1 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> [%]	SN 1512361 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort	
121	05.07.2013	12,9	13,1	20,9	19,9	63,8	12,7	14,4	Ausreisser Ref. PM <sub>10</sub>	Bornheim, Sommer	
122	06.07.2013	13,3	13,1	18,7	18,5	71,0	13,5	13,9			
123	07.07.2013	11,3	10,7	14,9	14,4	75,0	10,1	11,1			
124	08.07.2013	11,3	10,6	16,3	16,1	67,7	10,2	11,1			
125	09.07.2013	14,2	14,5	24,9	22,6	60,5	14,4	14,4			
126	10.07.2013	9,7	10,2	19,1	17,5	54,6	9,6	9,9			
127	11.07.2013	13,6	14,3	26,6	24,9	54,1	12,3	12,6			
128	12.07.2013	16,5	16,8			53,6	15,0	15,7			
129	13.07.2013	15,3	15,3	20,4	20,7	74,5	14,5	15,1			
130	14.07.2013	14,5	14,5	22,2	21,5	66,5	14,7	16,0			
131	15.07.2013	17,4	17,4	26,2	25,6	67,1	16,6	17,1			
132	16.07.2013	20,4	18,4	30,2	28,9	65,5	19,4	19,4			
133	17.07.2013	13,6	13,2	18,7	18,0	72,9	14,4	13,8			
134	18.07.2013	11,3	9,0	17,0	17,3	59,2	10,9	10,9			
135	19.07.2013	9,0	7,3	16,3	14,8	52,7	8,8	9,6			
136	20.07.2013	10,1	9,5	17,3	16,0	58,7	10,8	11,4			
137	21.07.2013	12,9	12,3	18,0	17,7	70,7	12,7	12,5			
138	22.07.2013	15,5	14,8	23,2	22,0	67,2	13,9	14,2			
139	23.07.2013	14,1	13,6	25,4	24,5	55,3	14,4	13,6			
140	24.07.2013	20,3	20,0	31,5	30,3	65,2					
141	25.07.2013	11,1	12,1	21,3	20,3	55,7					
142	04.09.2013								Audits Wechsel auf Nullfilter	Köln, Herbst	
143	05.09.2013								Nullpunkt		
144	06.09.2013	19,7	19,9	31,6	29,9	64,4			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.		
145	07.09.2013								verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.		
146	08.09.2013	10,9	12,5	15,0	14,9	78,3			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.		
147	09.09.2013	3,6	3,8	6,7	6,7	55,6			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.		
148	10.09.2013	3,9	4,9	9,1	7,4	53,2			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.		
149	11.09.2013	7,8	8,0	12,3	11,7	65,7			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.		
150	12.09.2013	10,3	10,6	17,6	15,9	62,5			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.		

**Anlage 5**

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

**Blatt 6 von 10**

<b>Hersteller</b> DURAG									Schwebstaub PM <sub>2,5</sub>	
<b>Gerätetyp</b> F701-20									Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.	
<b>Serien-Nr.</b> SN 1512361 / SN 1512401										
Nr.	Datum	Ref. 1 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> [%]	SN 1512361 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort
151	13.09.2013	6,3	5,3	9,0	7,7	69,4	7,2	8,0		Köln, Herbst
152	14.09.2013						3,1	3,3		
153	15.09.2013	4,4	5,5	9,5	7,9	56,8	4,6	5,5		
154	16.09.2013	6,0	4,5	9,8	9,8	53,9	4,9	5,3		
155	17.09.2013	4,3	4,2	7,5	6,4	61,7	4,8	5,4		
156	18.09.2013	8,8	9,4	13,9	13,1	67,3	7,8	8,7		
157	19.09.2013	5,8	5,5	10,3	10,5	54,2	6,4	7,1		
158	20.09.2013	8,2	6,9	15,2	14,8	50,5	7,5	7,8		
159	21.09.2013						11,9	13,8		
160	22.09.2013	13,1	13,1	18,9	17,1	72,8	15,1	15,8		
161	23.09.2013	14,2	13,9	20,0	18,5	72,8	11,5	13,6		
162	24.09.2013	19,6	21,3	27,5	26,3	76,1	20,6	22,2		
163	25.09.2013	36,5	38,9	49,6	48,6	76,8	38,2	43,5		
164	26.09.2013	11,1	12,8	19,1	18,9	62,9	9,8	13,6		
165	27.09.2013	6,0	7,2	11,7	11,7	56,4	6,6	6,8		
166	28.09.2013						8,2	8,5		
167	29.09.2013	7,3	8,9	11,7	11,6	69,7	7,0	7,4		
168	30.09.2013	11,9	13,2	18,5	17,9	69,0	12,2	12,1		
169	01.10.2013	11,2	12,1	16,2	16,6	70,9	9,9	9,9		
170	02.10.2013	10,6	11,6	17,1	16,4	66,3	10,6	10,7		
171	03.10.2013						7,8	9,6		
172	04.10.2013	13,1	14,5	18,3	18,4	75,3	13,0	13,8		
173	05.10.2013						16,1	19,9		
174	06.10.2013	9,9	11,1	14,1	14,6	73,2	10,3	9,6		
175	07.10.2013	9,9	10,6	15,7	15,1	66,4	10,0	10,0		
176	08.10.2013	19,9	21,2	28,9	28,8	71,3	21,7	21,8		
177	09.10.2013	7,1	6,8	12,6	11,7	57,3	6,8	7,8		
178	10.10.2013	8,4	8,8	12,6	12,4	68,8	7,3	8,1		
179	11.10.2013						7,9	8,2		
180	12.10.2013						13,4	13,7		

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 7 von 10

Hersteller		DURAG							Schwebstaub PM2,5		Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.
Gerätetyp		F701-20									
Serien-Nr.		SN 1512361 / SN 1512401									
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort	
181	13.10.2013	5,0	5,6	7,7	8,2	66,8	5,5	5,7	Wartung SN 1512401 Nullpunkt	Köln, Herbst	
182	14.10.2013	5,0	4,6	8,3	7,8	59,5	5,0	5,4			
183	15.10.2013										
184	16.10.2013										
185	17.10.2013	9,5	11,1	25,4	25,4	40,6	10,1	11,7			
186	18.10.2013						8,9	9,3			
187	19.10.2013						9,3	9,5			
188	20.10.2013	3,8	3,3	8,3	8,1	43,1	4,0	4,3			
189	21.10.2013	5,4	5,3	13,7	13,6	39,4	6,3	6,5			
190	22.10.2013	6,8	7,1	15,5	15,2	45,2	8,6	8,3			
191	23.10.2013	5,5	6,1	11,3	11,9	50,1	6,5	6,6			
192	24.10.2013	6,9	6,9	14,9	15,4	45,2	8,6	8,5			
193	25.10.2013						6,9	7,0			
194	26.10.2013						4,9	5,2			
195	27.10.2013	3,0	2,7	6,9	7,2	40,3	4,2	4,4			
196	28.10.2013	3,0	2,4	7,1	7,4	37,3	4,2	3,6			
197	29.10.2013	4,1	4,3	7,9	8,6	51,2	4,0	4,4			
198	30.10.2013	9,6	9,8	17,0	16,6	57,5	9,3	10,2			
199	31.10.2013						8,1	8,0			
200	01.11.2013						6,3	6,7			
201	02.11.2013						3,7	3,9			
202	03.11.2013	1,9	0,5	3,9	4,6	28,6	2,1	2,1			
203	04.11.2013	5,5	4,4	10,5	11,0	46,2	5,1	5,8			
204	05.11.2013	5,8	5,1	12,8	12,3	43,6	6,3	6,6			
205	06.11.2013	3,7	3,4	8,0	9,2	41,0	3,8	4,3			
206	07.11.2013	5,8	6,0	9,8	10,3	58,6	5,3	6,1			
207	08.11.2013								Nullpunkt Nullpunkt Nullpunkt		
208	09.11.2013										
209	10.11.2013										
210	11.11.2013	13,2	13,8	21,5	21,4	63,0	12,5	13,2			

**Anlage 5**

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

**Blatt 8 von 10**

<b>Hersteller</b>		DURAG									Schwebstaub PM <sub>2,5</sub>	
<b>Gerätetyp</b>		F701-20									Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.	
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401										
Nr.	Datum	Ref. 1 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> [%]	SN 1512361 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort		
211	12.11.2013	11,3	11,3	18,1	18,7	61,6	10,9	11,6		Köln, Herbst		
212	13.11.2013	17,3	17,1	28,2	29,1	59,9	15,4	15,9				
213	14.11.2013	18,8	19,0	24,0	25,1	76,9	16,9	17,1				
214	15.11.2013						21,6	21,7				
215	16.11.2013						26,4	26,9				
216	17.11.2013	21,8	21,9	24,9	26,0	86,0	19,8	19,9				
217	18.11.2013	13,8	14,1	18,6	19,1	74,0	12,2	12,9				
218	19.11.2013	13,7	13,8	19,4	19,8	70,4	11,4	10,8				
219	20.11.2013	8,3	8,0	12,7	12,5	64,7	7,1	7,4				
220	21.11.2013	12,7	13,4	15,8	16,3	81,4	10,1	10,8				
221	22.11.2013						15,6	15,7				
222	23.11.2013						13,8	14,5				
223	24.11.2013	12,3	12,1	18,1	18,6	66,6	11,7	11,3				
224	25.11.2013	13,0	12,4	18,3	18,9	68,2	10,4	11,3				
225	26.11.2013	33,8	34,7	42,4	41,8	81,3	31,3	29,6				
226	27.11.2013	24,5	25,5	32,3	32,6	77,2	21,5	22,7				
227	28.11.2013	14,1	15,3	23,1	22,9	64,0	13,0	13,5				
228	29.11.2013						8,0	7,5				
229	30.11.2013						14,9	15,2				
230	01.12.2013	18,3	19,3	30,0	29,9	62,7	17,0	18,6				
231	02.12.2013	10,7	12,0	21,7	21,4	52,7	10,1	10,6				
232	03.12.2013						19,1	20,8				
233	04.12.2013	21,2	22,3	32,4	31,7	67,8	20,7	18,8				
234	05.12.2013	4,3	5,2	9,2	9,0	52,1	4,2	4,3				
235	06.12.2013						6,2	7,7				
236	07.12.2013						10,5	10,1				
237	08.12.2013	6,7	7,6	10,2	10,7	68,2	6,2	6,7				
238	09.12.2013	13,9	14,8	22,3	22,5	63,9	12,2	13,3				
239	10.12.2013	18,1	19,0	22,2	22,3	83,3	16,0	13,4				
240	11.12.2013	8,7	9,9	9,9	10,6	90,7	7,2	7,3				

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit  
PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub  
PM<sub>2,5</sub>, Berichts-Nr.: 936/21220478/A

Seite 171 von 266

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 9 von 10

<b>Hersteller</b> DURAG										Schwebstaub PM <sub>2,5</sub>	
<b>Gerätetyp</b> F701-20										Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.	
<b>Serien-Nr.</b> SN 1512361 / SN 1512401											
Nr.	Datum	Ref. 1 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> [%]	SN 1512361 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort	
241	13.01.2014	12,9	13,6	18,2	18,9	71,5			Nullpunkt	Köln, Winter	
242	14.01.2014	10,8	11,2	15,5	15,0	72,3	10,0	10,0			
243	15.01.2014	5,5	5,7	8,0	8,7	66,9	6,3	6,4			
244	16.01.2014	3,1	3,6	6,4	7,1	50,0	4,7	4,6			
245	17.01.2014	4,6	5,2	8,9	8,6	56,0	5,3	5,3			
246	18.01.2014						9,5	9,4			
247	19.01.2014	14,5	14,2	16,8	17,3	84,2	12,8	14,2			
248	20.01.2014	15,6	15,3	18,9	19,9	79,7	15,0	15,6			
249	21.01.2014	24,2	24,6	30,8	31,1	78,7	21,7	22,3			
250	22.01.2014	18,4	18,8	23,0	23,5	80,0	17,0	16,6			
251	23.01.2014	10,9	11,4	15,2	16,3	70,9	10,2	10,0			
252	24.01.2014	18,7	19,3	28,1	28,9	66,6	17,9	17,7			
253	25.01.2014						9,4	9,1			
254	26.01.2014	4,4	4,4	11,4	12,0	37,8	5,3	5,6			
255	27.01.2014	2,9	3,5	6,7	7,1	46,7	3,6	3,7			
256	28.01.2014	6,3	6,7	10,9	10,6	60,4	6,6	7,1			
257	29.01.2014	16,0	16,6	19,2	19,7	83,8	13,9	13,9			
258	30.01.2014	35,7	36,0	41,6	42,3	85,4	31,8	31,2			
259	31.01.2014	29,8	29,0	35,0	34,9	84,1	26,3	27,0			
260	01.02.2014						5,6	4,9			
261	02.02.2014	8,6	7,9	18,1	17,5	46,3	8,3	8,2			
262	03.02.2014	18,7	18,0	22,0	21,5	84,5	16,9	16,9			
263	04.02.2014						12,2	12,0			
264	05.02.2014	4,4	3,4	8,0	8,2	48,6	5,0	4,4			
265	06.02.2014	2,9	3,1	9,8	9,1	32,0	4,5	4,5			
266	07.02.2014										Nullpunkt Nullpunkt Nullpunkt
267	08.02.2014										
268	09.02.2014										
269	10.02.2014	9,8	8,8	12,9	13,1	71,4	8,6	9,1			
270	11.02.2014	4,5	3,8	9,6	8,0	47,6	3,9	3,9			

**Anlage 5**

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

**Blatt 10 von 10**

<b>Hersteller</b> DURAG									Schwebstaub PM <sub>2,5</sub>	
<b>Gerätetyp</b> F701-20									Messwerte in µg/m <sup>3</sup> i.B.	
<b>Serien-Nr.</b> SN 1512361 / SN 1512401										
Nr.	Datum	Ref. 1 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 1 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ref. 2 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Ratio PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub> [%]	SN 1512361 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	SN 1512401 PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Bemerkung	Standort
271	12.02.2014	4,5	3,8	8,2	7,9	51,3	3,9	3,6		Köln, Winter
272	13.02.2014	4,8	4,3	10,3	10,0	44,8	3,9	4,4		
273	14.02.2014	0,0	0,0				3,3	3,5		
274	15.02.2014	0,0	0,0				3,7	3,6		
275	16.02.2014	5,2	4,9	8,8	9,2	56,2	5,2	5,3		
276	17.02.2014	8,0	7,0	12,7	12,5	59,7	7,2	7,9		
277	18.02.2014	14,5	13,8	19,8	19,6	71,7	12,7	13,3		
278	19.02.2014	9,6	8,9	13,2	8,9	83,8	8,5	8,3		
279	20.02.2014	4,3	4,4	6,6	6,2	67,5	5,2	4,9		
280	21.02.2014	4,8	5,0	7,8	7,8	63,2	5,8	5,4		
281	22.02.2014	4,2	5,0	4,7	5,4	90,9	4,3	4,4		
282	23.02.2014	5,6	6,6	7,1	7,0	87,0	5,3	6,2		
283	24.02.2014	9,3	9,3	13,7	12,7	70,6	7,5	8,2		
284	25.02.2014	9,0	8,6	12,8	12,1	70,5	8,4	7,5		
285	26.02.2014	11,3	11,3	19,4	17,3	61,7	9,4	9,6		
286	27.02.2014	7,5	8,2	12,0	10,4	70,3	6,8	7,2		
287	28.02.2014	7,7	7,3	10,3	9,9	74,3	6,0	6,3		
288	01.03.2014	12,1	12,4	14,7	14,7	83,5	11,0	10,7		
289	02.03.2014	16,8	16,9	18,3	19,6	88,6	13,9	14,4		
290	03.03.2014	6,8	6,9	9,9	11,8	63,0	7,0	6,9		
291	04.03.2014	19,5	17,6	25,6	24,3	74,4	15,7	16,9		
292	05.03.2014	30,8	31,2	43,5	43,7	71,0	27,3	27,2		
293	06.03.2014	36,5	35,6	44,2	43,5	82,2	30,6	30,7		
294	07.03.2014	43,6	44,0	56,7	55,5	78,0	39,0	38,9		
295	08.03.2014	42,8	41,4	49,7	50,0	84,4	36,7	37,1		
296	09.03.2014	23,2	21,4	28,1	27,2	80,7	18,3	19,0		

Anlage 6

Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten

Blatt 1 von 10

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
1	28.02.2013	Bonn, Winter	4,1	1017	71,8	1,2	250	0,0
2	01.03.2013		3,5	1016	72,0	1,7	249	0,0
3	02.03.2013		3,0	1015	67,4	1,2	238	0,0
4	03.03.2013		3,1	1014	72,8	0,5	196	0,0
5	04.03.2013		6,6	1007	57,8	1,4	140	0,0
6	05.03.2013		8,5	999	56,5	1,2	136	0,0
7	06.03.2013		11,5	993	48,5	0,4	143	0,0
8	07.03.2013		12,3	990	67,5	0,5	144	2,1
9	08.03.2013		13,7	990	72,1	1,4	138	1,5
10	09.03.2013		10,6	991	72,2	1,2	178	3,6
11	10.03.2013		1,6	993	81,8	3,6	273	2,4
12	11.03.2013		-1,4	996	78,7	1,9	241	0,0
13	12.03.2013		-3,4	995	83,9	2,0	276	0,0
14	13.03.2013		-1,2	999	72,8	1,1	224	0,3
15	14.03.2013		-1,3	1004	75,3	1,1	209	2,1
16	15.03.2013		2,3	1006	58,8	1,0	132	2,1
17	16.03.2013		5,3	998	49,0	3,4	131	0,0
18	17.03.2013		4,7	988	78,3	2,2	131	0,9
19	18.03.2013		6,6	985	60,3	0,7	131	0,0
20	19.03.2013		5,8	991	74,5	0,6	157	1,2
21	20.03.2013		2,6	999	85,8	1,9	240	13,2
22	21.03.2013		0,6	1010	78,8	1,0	229	0,3
23	22.03.2013		2,9	1006	63,4	3,2	146	0,0
24	23.03.2013		1,1	1005	56,8	4,2	146	0,0
25	24.03.2013		1,0	1005	42,8	3,3	153	0,0
26	25.03.2013		0,9	1004	49,0	2,6	153	0,0
27	26.03.2013		1,6	1003	44,1	2,3	168	0,0
28	27.03.2013		2,6	1001	49,5	2,0	148	0,0
29	28.03.2013		3,0	999	58,9	1,2	243	0,0
30	29.03.2013		0,4	999	77,8	1,1	271	1,5

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 2 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
31	30.03.2013	Bonn, Winter	1,8	1000	68,9	1,3	271	0,0
32	31.03.2013	Bonn, Winter	1,7	1003	68,2	1,1	269	0,0
34	01.04.2013	Bonn, Winter	3,2	1001	52,9	1,5	190	0,0
34	02.04.2013	Bonn, Winter	3,6	1003	52,2	1,8	201	0,0
35	03.04.2013	Bonn, Winter	3,0	1005	58,0	1,8	158	0,0
36	04.04.2013	Bonn, Winter	4,4	1001	60,5	1,8	166	0,0
37	05.04.2013	Bonn, Winter	3,8	1003	67,8	1,6	267	0,0
38	06.04.2013	Bonn, Winter	3,6	1012	73,9	1,7	221	0,3
39	07.04.2013	Bonn, Winter	6,4	1008	51,4	0,7	174	0,0
40	08.04.2013	Bonn, Winter	7,0	996	63,9	1,4	130	0,9
41	09.04.2013	Bonn, Winter	8,3	992	78,0	1,2	133	1,8
42	10.04.2013	Bonn, Winter	9,7	996	77,3	1,4	154	6,0
43	11.04.2013	Bonn, Winter	13,0	991	69,6	1,3	169	6,0
44	12.04.2013	Bonn, Winter	12,2	997	69,0	1,1	154	4,4
45	13.04.2013	Bonn, Winter	13,9	1011	56,8	1,4	152	0,6
46	14.04.2013	Bonn, Winter	18,3	1011	57,0	1,5	136	0,0
47	15.04.2013	Bonn, Winter	17,5	1011	67,0	1,5	214	2,7
48	16.04.2013	Bonn, Winter	18,4	1011	54,4	0,9	149	0,0
49	17.04.2013	Bonn, Winter	18,7	1009	54,3	0,6	141	0,0
50	18.04.2013	Bonn, Winter	15,6	1009	46,2	3,1	210	0,0
51	19.04.2013	Bonn, Winter	11,4	1017	57,7	3,5	260	0,0
52	20.04.2013	Bonn, Winter	10,3	1018	51,5	3,3	274	0,0
53	21.04.2013	Bonn, Winter	11,1	1009	57,4	1,1	253	0,0
54	22.04.2013	Bonn, Winter	13,2	1009	46,5	1,4	217	0,0
55	23.04.2013	Bonn, Winter	13,7	1014	63,6	1,7	187	0,0
56	24.04.2013	Bonn, Winter	17,9	1016	56,5	1,0	167	0,0
57	25.04.2013	Bonn, Winter	20,0	1010	51,5	0,4	146	0,0
58	26.04.2013	Bonn, Winter	11,9	1000	77,3	2,2	230	9,9
59	27.04.2013	Bonn, Winter	7,8	1003	70,3	3,2	293	0,0
60	28.04.2013	Bonn, Winter	9,2	1007	68,3	0,7	169	0,0

Anlage 6

Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten

Blatt 3 von 10

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]	
61	29.04.2013	Bonn, Winter	12,0	1010	56,1	1,9	209	0,0	
62	30.04.2013		11,8	1014	57,9	1,0	214	0,0	
63	01.05.2013		14,6	1011	62,8	0,9	173	0,3	
64	02.05.2013		16,5	1009	60,4	1,1	200	0,0	
65	03.05.2013		16,0	1007	60,0	1,5	253	0,0	
66	04.05.2013		15,7	1011	54,5	2,4	238	0,0	
67	05.05.2013		16,4	1013	55,9	1,3	190	0,0	
68	06.05.2013		19,8	1008	50,0	0,6	192	0,0	
69	14.05.2013	Bornheim, Sommer	keine Wetterdaten vorhanden						
70	15.05.2013								
71	16.05.2013		12,6	989	85,5	0,7	263	8,6	
72	17.05.2013		10,0	995	89,1	0,8	265	2,4	
73	18.05.2013		12,0	1000	77,7	0,4	216	0,0	
74	19.05.2013		16,7	998	66,5	2,7	273	7,4	
75	20.05.2013		11,9	1000	83,1	0,3	175	6,2	
76	21.05.2013		12,9	1001	78,8	1,8	239	13,1	
77	22.05.2013		8,8	1004	82,4	2,4	258	7,4	
78	23.05.2013		6,4	1000	81,9	1,8	255	2,4	
79	24.05.2013		8,3	1003	69,9	0,7	192	0,9	
80	25.05.2013		10,5	1005	70,9	2,8	270	3,0	
81	26.05.2013		9,8	1002	79,9	3,2	271	5,7	
82	27.05.2013		14,0	1000	61,4	1,6	244	0,0	
83	28.05.2013		17,2	993	60,4	2,0	179	1,2	
84	29.05.2013		9,7	995	88,4	0,6	207	15,0	
85	30.05.2013		13,5	999	69,6	1,7	237	2,4	
86	31.05.2013		16,1	1001	73,0	4,7	299	0,9	
87	01.06.2013		11,9	1009	79,4	4,4	290	0,3	
88	02.06.2013		13,3	1016	57,6	4,0	288	0,0	
89	03.06.2013		12,9	1017	61,6	3,6	269	0,0	
90	04.06.2013		15,6	1012	64,5	1,7	237	0,0	

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 4 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
91	05.06.2013	Bornheim, Sommer	19,9	1009	54,2	0,6	197	0,0
92	06.06.2013		20,9	1010	52,6	0,8	168	0,0
93	07.06.2013		21,7	1010	55,5	1,0	211	0,0
94	08.06.2013		21,1	1005	62,3	2,1	243	0,0
95	09.06.2013		15,6	1001	78,7	1,8	273	4,5
96	10.06.2013		14,4	1005	75,9	1,2	253	0,6
97	11.06.2013		18,8	1008	61,5	0,6	198	0,0
98	12.06.2013		21,1	1008	67,1	1,0	181	0,0
99	13.06.2013		17,0	1007	77,9	1,3	209	22,5
100	14.06.2013		16,1	1009	65,4	0,6	181	0,0
101	15.06.2013		17,2	1005	63,1	1,4	209	0,0
102	16.06.2013		17,7	1007	63,9	0,7	226	0,0
103	17.06.2013		23,3	1004	64,7	0,9	185	0,0
104	18.06.2013		27,2	1005	61,3	0,4	178	0,0
105	19.06.2013		26,9	1003	67,8	1,9	244	0,0
106	20.06.2013		20,5	1003	78,5	1,0	187	34,6
107	21.06.2013		19,0	1005	69,8	1,6	196	0,3
108	22.06.2013		19,0	1004	67,8	1,8	198	1,5
109	23.06.2013		16,2	1005	69,9	1,6	216	0,9
110	24.06.2013		14,2	1013	76,9	1,8	255	1,5
111	25.06.2013		13,4	1018	71,1	1,8	259	0,3
112	26.06.2013		13,9	1018	70,9	1,1	250	9,8
113	27.06.2013		13,2	1014	78,5	0,7	230	3,9
114	28.06.2013		14,1	1010	86,1	0,3	174	16,4
115	29.06.2013		14,8	1012	73,9	2,6	269	1,8
116	30.06.2013		17,7	1012	66,4	0,6	198	0,0
117	01.07.2013		18,8	1008	74,9	0,7	215	21,0
118	02.07.2013		21,6	1003	62,7	0,6	183	0,3
119	03.07.2013		17,5	1004	85,6	0,2	213	16,0
120	04.07.2013		20,0	1014	71,1	0,9	232	0,0

Anlage 6

Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten

Blatt 5 von 10

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
121	05.07.2013	Bornheim, Sommer	19,8	1020	74,4	0,3	222	0,0
122	06.07.2013		22,4	1020	65,4	1,0	191	0,0
123	07.07.2013		23,1	1020	58,8	1,2	218	0,0
124	08.07.2013		23,0	1019	59,6	1,4	214	0,0
125	09.07.2013		23,4	1014	59,4	1,4	237	0,0
126	10.07.2013		19,5	1012	62,6	3,5	261	0,0
127	11.07.2013		15,7	1013	70,1	1,7	215	0,0
128	12.07.2013		16,5	1013	70,8	1,2	250	0,0
129	13.07.2013		17,7	1014	68,3	1,1	241	0,0
130	14.07.2013		18,9	1014	69,1	1,7	249	0,0
131	15.07.2013		21,3	1013	62,9	0,8	188	0,0
132	16.07.2013		22,5	1013	58,8	0,8	184	0,0
134	17.07.2013		23,2	1014	59,0	1,2	218	0,0
134	18.07.2013		24,5	1014	56,8	1,7	224	0,0
135	19.07.2013	23,5	1013	58,3	2,3	241	0,0	
136	20.07.2013	21,1	1011	68,5	1,3	226	0,0	
137	21.07.2013	25,3	1009	57,4	1,1	155	0,0	
138	22.07.2013	27,6	1006	52,2	0,9	167	0,0	
139	23.07.2013	25,5	1004	62,0	0,6	159	0,0	
140	24.07.2013	21,7	1006	78,7	0,7	213	3,6	
141	25.07.2013	22,5	1006	81,7	0,7	145	15,1	
142	04.09.2013	Köln, Herbst	22,5	1012	64,5	0,2	159	0,0
143	05.09.2013		25,5	1004	56,3	0,2	181	0,0
144	06.09.2013		24,3	1004	62,8	0,2	180	0,3
145	07.09.2013		17,7	1010	81,6	0,1	170	35,8
146	08.09.2013		14,4	1012	86,6	0,0	172	2,1
147	09.09.2013		14,9	1007	73,6	0,5	186	4,2
148	10.09.2013		13,6	1005	79,7	1,0	188	11,9
149	11.09.2013		14,0	1006	86,5	0,1	178	10,9
150	12.09.2013		15,2	1011	82,9	0,1	191	2,7

Anlage 6

Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten

Blatt 6 von 10

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
151	13.09.2013	Köln, Herbst	17,1	1010	76,6	0,1	190	3,0
152	14.09.2013		15,5	1005	82,7	0,2	182	4,1
153	15.09.2013		14,8	1000	74,7	0,4	198	11,6
154	16.09.2013		12,3	995	67,6	0,4	191	1,2
155	17.09.2013		12,3	992	79,7	0,5	196	7,5
156	18.09.2013		12,3	998	84,1	0,0	182	0,9
157	19.09.2013		14,1	1005	75,0	0,4	181	3,0
158	20.09.2013		14,5	1013	78,7	0,1	189	0,0
159	21.09.2013		14,4	1020	77,8	0,0	188	0,0
160	22.09.2013		16,9	1020	81,0	0,0	182	0,0
161	23.09.2013		15,9	1015	78,0	0,0	187	0,0
162	24.09.2013		15,8	1007	76,9	0,1	191	0,0
163	25.09.2013		16,8	1004	80,1	0,0	197	0,0
164	26.09.2013		13,2	1009	77,2	0,1	188	0,0
165	27.09.2013		12,5	1008	71,6	0,1	199	0,0
166	28.09.2013		14,0	1004	64,8	0,4	164	0,0
167	29.09.2013		13,4	1002	61,9	0,6	187	0,0
168	30.09.2013		13,9	1003	62,8	0,2	177	0,0
169	01.10.2013		15,2	1006	57,0	0,4	153	0,0
170	02.10.2013							
171	03.10.2013							
172	04.10.2013							
173	05.10.2013							
174	06.10.2013							
175	07.10.2013							
176	08.10.2013							
177	09.10.2013		12,7	1005	84,1	0,2	207	6,9
178	10.10.2013		7,8	1003	86,9	0,1	180	7,1
179	11.10.2013		6,5	1009	89,2	0,0	190	6,3
180	12.10.2013		7,1	1009	88,6	0,1	187	2,7

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 7 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
181	13.10.2013	Köln, Herbst	9,5	1009	78,9	0,5	194	0,0
182	14.10.2013		12,2	1004	82,3	0,3	183	12,4
183	15.10.2013		10,7	1002	82,5	0,2	187	10,6
184	16.10.2013		11,8	1006	83,2	0,1	206	0,6
185	17.10.2013		13,0	1008	83,5	0,4	191	0,3
186	18.10.2013		12,9	1009	79,7	0,0	166	0,0
187	19.10.2013		16,8	1004	78,4	0,1	184	0,6
188	20.10.2013		15,7	1006	81,9	0,3	174	3,3
189	21.10.2013		16,5	1005	79,6	0,2	195	0,0
190	22.10.2013		18,3	998	79,6	0,3	198	9,2
191	23.10.2013		16,6	1003	76,4	0,9	206	0,3
192	24.10.2013		14,3	1009	79,3	0,1	185	0,6
193	25.10.2013		15,9	1005	87,5	0,0	163	8,9
194	26.10.2013		18,1	1002	77,0	0,6	185	2,4
195	27.10.2013		15,7	996	69,5	2,5	217	4,8
196	28.10.2013		13,7	997	68,9	2,2	212	2,4
197	29.10.2013		10,5	1009	73,2	1,0	215	0,3
198	30.10.2013		8,2	1018	76,7	0,2	188	0,0
199	31.10.2013		11,1	1013	71,9	0,3	190	0,3
200	01.11.2013		10,0	1002	89,8	0,0	180	20,9
201	02.11.2013		11,9	995	86,3	0,2	195	7,7
202	03.11.2013		10,2	992	72,9	1,9	210	1,2
203	04.11.2013		8,9	986	82,5	0,7	186	15,1
204	05.11.2013		8,4	989	81,4	0,6	185	13,4
205	06.11.2013		13,5	997	80,2	1,1	202	8,3
206	07.11.2013		12,4	1001	89,2	0,3	174	21,2
207	08.11.2013		11,1	1000	77,6	0,9	197	1,5
208	09.11.2013		8,7	998	77,8	0,7	193	2,7
209	10.11.2013		5,4	1016	85,6	0,0	177	2,7
210	11.11.2013		6,0	1020	81,3	0,0	196	0,0

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 8 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]	
211	12.11.2013	Köln, Herbst	7,8	1021	89,1	0,0	163	3,6	
212	13.11.2013		4,4	1018	89,5	0,0	192	0,0	
213	14.11.2013		7,0	1015	84,0	0,1	186	0,3	
214	15.11.2013		3,4	1024	84,9	0,1	183	0,0	
215	16.11.2013		2,6	1020	87,8	0,0	195	0,3	
216	17.11.2013		5,0	1009	85,5	0,1	192	0,0	
217	18.11.2013		6,0	1001	76,6	0,1	191	0,0	
218	19.11.2013		5,7	1000	84,8	0,2	163	0,0	
219	20.11.2013		5,2	992	71,0	0,2	185	0,9	
220	21.11.2013		4,4	999	78,6	0,8	198	0,9	
221	22.11.2013		5,7	1007	80,5	0,2	188	0,0	
222	23.11.2013		5,2	1013	84,3	0,2	168	0,9	
223	24.11.2013		5,2	1020	82,8	0,2	165	0,9	
224	25.11.2013		1,1	1026	88,1	0,1	186	1,2	
225	26.11.2013		1,7	1027	88,4	0,0	197	0,3	
226	27.11.2013		4,5	1025	86,9	0,0	186	2,1	
227	28.11.2013		7,6	1021	82,4	0,2	177	0,3	
228	29.11.2013		6,2	1009	84,2	0,6	171	1,2	
229	30.11.2013		4,2	1024	78,9	0,0	191	0,0	
230	01.12.2013		keine Wetterdaten vorhanden						
231	02.12.2013		keine Wetterdaten vorhanden						
232	03.12.2013		2,6	1020	82,9	0,0	183	0,0	
234	04.12.2013		4,9	1020	86,4	0,1	189	1,8	
234	05.12.2013		4,8	1009	76,3	2,3	176	6,8	
235	06.12.2013		3,0	1017	80,9	1,1	171	5,1	
236	07.12.2013		6,2	1018	85,8	0,1	194	2,1	
237	08.12.2013		8,7	1019	77,2	0,9	201	0,0	
238	09.12.2013		8,2	1025	78,9	0,3	197	0,0	
239	10.12.2013		5,9	1027	87,1	0,1	206	0,0	
240	11.12.2013	5,6	1025	87,7	0,6	201	0,0		

Anlage 6

Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten

Blatt 9 von 10

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
241	13.01.2014	Köln, Winter	6,8	1002	82,5	0,0	210	0,0
242	14.01.2014		6,3	1001	77,9	0,3	203	0,0
243	15.01.2014		5,3	998	86,2	0,3	205	3,9
244	16.01.2014		7,8	993	80,2	0,2	220	0,0
245	17.01.2014		8,2	994	72,4	0,3	209	0,3
246	18.01.2014		6,5	992	75,3	0,7	202	0,0
247	19.01.2014		5,7	994	80,7	0,2	202	0,0
248	20.01.2014		3,8	1000	83,9	0,3	135	0,0
249	21.01.2014		4,0	1005	87,1	0,0	186	0,0
250	22.01.2014		2,7	1006	84,8	0,1	203	0,0
251	23.01.2014		3,8	1004	87,2	0,2	193	8,0
252	24.01.2014		4,1	1010	86,2	0,0	188	0,3
253	25.01.2014		5,0	1004	79,5	1,1	208	6,5
254	26.01.2014		5,1	991	79,6	0,8	207	18,9
255	27.01.2014		4,9	990	75,6	0,8	214	0,3
256	28.01.2014		3,8	992	73,6	0,6	204	0,0
257	29.01.2014		2,6	996	71,0	1,1	198	0,0
258	30.01.2014		2,5	1000	72,6	0,2	194	0,0
259	31.01.2014		5,7	996	70,7	0,6	204	0,3
260	01.02.2014		5,5	997	81,6	0,5	214	3,6
261	02.02.2014		4,2	1008	76,5	0,5	207	0,0
262	03.02.2014		4,9	1001	77,9	0,7	203	0,0
263	04.02.2014		5,9	998	75,1	0,3	204	0,0
264	05.02.2014		7,4	992	73,8	1,2	209	0,0
265	06.02.2014		10,2	989	66,1	1,6	210	5,1
266	07.02.2014		7,6	991	72,7	2,4	216	7,7
267	08.02.2014		7,7	984	70,0	1,9	219	0,6
268	09.02.2014	5,9	989	67,2	1,7	221	0,0	
269	10.02.2014	5,5	990	75,2	0,3	205	1,8	
270	11.02.2014	6,7	997	70,1	1,1	217	2,4	

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 10 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]	
271	12.02.2014	Köln, Winter	7,1	994	68,5	1,7	224	0,3	
272	13.02.2014		5,2	992	80,2	0,5	201	8,0	
273	14.02.2014		8,6	992	74,6	1,4	217	9,5	
274	15.02.2014		10,0	995	65,2	3,0	210	1,5	
275	16.02.2014		7,4	1004	71,7	0,8	220	0,6	
276	17.02.2014		4,2	1008	82,8	0,0	212	0,0	
277	18.02.2014		7,4	1005	76,0	0,1	214	1,8	
278	19.02.2014		8,3	1006	77,5	0,3	208	0,0	
279	20.02.2014		9,7	999	78,3	0,9	209	5,4	
280	21.02.2014		5,8	1002	77,2	0,6	207	0,9	
281	22.02.2014		5,5	1010	76,2	0,7	211	1,8	
282	23.02.2014		7,3	1011	70,4	0,5	206	0,0	
283	24.02.2014		12,9	1005	53,2	0,5	203	0,0	
284	25.02.2014								
285	26.02.2014								
286	27.02.2014								
287	28.02.2014			6,6	994	75,3	0,3	199	0,0
288	01.03.2014			5,8	995	78,1	0,1	223	0,6
289	02.03.2014			6,1	990	69,9	0,7	199	0,0
290	03.03.2014			6,2	988	71,5	0,6	187	0,0
291	04.03.2014			7,9	1002	70,6	0,1	199	0,0
292	05.03.2014			4,6	1018	81,8	0,2	146	0,0
293	06.03.2014			7,6	1020	67,2	0,2	191	0,0
294	07.03.2014		11,1	1021	63,3	0,1	178	0,0	
295	08.03.2014		12,4	1022	56,2	0,5	202	0,0	
296	09.03.2014		13,1	1020	46,8	0,3	164	0,0	

## Anhang 2

### Verfahren zur Filterwägung

#### A) Standorte in Deutschland

##### A.1 Ausführung der Wägung

Die Wägungen werden im klimatisierten Wägeraum durchgeführt. Die Bedingungen sind 20 °C ±1 °C und 50 % ±5 % rel. Feuchte und entsprechen damit den Vorgaben der DIN EN 14907.

Die Filter für den Feldtest werden manuell gewogen. Für die Konditionierung werden die Filter einschließlich der Kontrollfilter auf Siebe gelegt, sodass keine Überlappung vorliegt. Die Bedingungen für die Hin und Rückwägung werden vorher festgelegt und entsprechen der Richtlinie.

Vor der Probenahme = Hinwägung	Nach der Probenahme = Rückwägung
Konditionierung 48 Stunden + 2 Stunden	Konditionierung 48 Stunden + 2 Stunden
Wiegen der Filter	Wiegen der Filter
nochmals Konditionierung 24 Stunden +2 Stunden	nochmals Konditionierung 24 Stunden + 2 Stunden
Wiegen der Filter und sofort verpacken	Wiegen der Filter

Die Waage steht immer betriebsbereit zur Verfügung. Vor jeder Wägeserie wird die interne Waagenkalibrierung gestartet. Ist alles in Ordnung, wird als Referenzgewicht das Eichgewicht von 200 mg gewogen und die Randbedingungen notiert. Die Abweichungen zur vorhergehenden Wägung entsprechen der Richtlinie und überschreiten die 20 µg nicht (siehe Abbildung 48). Dann werden die sechs Kontrollfilter gewogen. Die Kontrollfilter mit einer Abweichung von über 40 µg werden in der Auswerteseite mit einer Warnung angezeigt und nicht für die Rückwägung verwendet. Für die Rückwägung werden die ersten drei einwandfreien Kontrollfilter genommen, während die anderen sicher in ihren Döschen bleiben, um bei Beschädigungen und/oder größeren Abweichungen der ersten drei Kontrollfilter zum Einsatz zu kommen. Den exemplarischen Verlauf über einen Zeitraum von über vier Monaten zeigt Abbildung 49.

Bei der Hinwägung der Filter werden die Filter, die zwischen der ersten und zweiten Wägung eine Differenz von über 40 µg aufweisen, ausgemustert. Bei der Rückwägung werden die Filter mit einer Differenz von über 60 µg normgerecht nicht zur Auswertung genommen.

Für den Transport von und zu der Messstelle und für die Lagerung werden die gewogenen Filter einzeln in Polystyrol-döschen verpackt. Erst vor dem Einlegen in den Filterhalter wird das Döschen geöffnet. Die unbeladenen Filter können im Wägeraum bis zu 28 Tage vor der Probenahme gelagert werden. Sollte dieser Zeitraum einmal überschritten werden, so wird die Hinwägung der Filter wiederholt.

Die Lagerung der beaufschlagten Filter kann bei oder unterhalb von 23 °C max. 15 Tage erfolgen. Die Filter werden bei 7 °C im Kühlschrank gelagert.

## A2 Auswertung der Filter

Die Auswertung der Filter erfolgt unter Verwendung eines Korrekturterms. Zweck dieser Korrekturrechnung ist es, die relative Masseänderung durch die Wägeraumbedingungen zu minimieren.

Formel :

$$\text{Staub} = MF_{\text{rück}} - ( M_{\text{Tara}} \times ( MKon_{\text{rück}} / MKon_{\text{hin}} ) ) \quad (\text{F1})$$

$MKon_{\text{hin}}$  = mittlere Masse der 3 Kontrollfilter von 48 h und 72 h Hinwägung

$MKon_{\text{rück}}$  = mittlere Masse der 3 Kontrollfilter von 48 h und 72 h Rückwägung

$M_{\text{Tara}}$  = mittlere Masse des Filters von 48 h und 72 h Hinwägung

$MF_{\text{rück}}$  = mittlere Masse des bestaubten Filters von 48 h und 72 h Rückwägung

Staub = korrigierte Staubmasse auf dem Filter

Es zeigt sich, dass durch die Korrekturrechnung das Verfahren unabhängig von den Wägeraumkonditionen wird. Damit sind die Einflüsse des Wassergehaltes der Filtermasse zwischen beladenen und unbeladenen Filtern kontrollierbar und verändern nicht die Staubgehalte auf den beladenen Filtern. Damit ist der Punkt EN 14907 9.3.2.5 hinreichend erfüllt.

Der exemplarische Verlauf des Eichgewichtes für den Zeitraum von Nov. 2008 bis Feb. 2009 zeigt, dass die zulässige Differenz von 20 µg zur vorhergehenden Messung nicht überschritten wird.

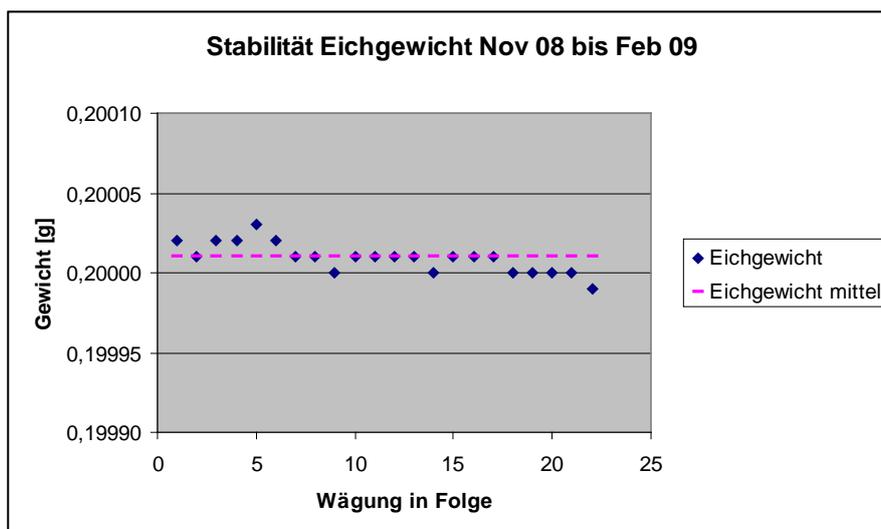


Abbildung 48: Stabilität Eichgewicht

*Tabelle 30: Stabilität Eichgewicht*

Datum	Wägung Nr.	Eichgewicht g	Differenz zur vorhergehenden Wägung µg
12.11.2008	1	0,20002	
13.11.2008	2	0,20001	-10
10.12.2008	3	0,20002	10
11.12.2008	4	0,20002	0
17.12.2008	5	0,20003	10
18.12.2008	6	0,20002	-10
07.01.2009	7	0,20001	-10
08.01.2009	8	0,20001	0
14.01.2009	9	0,20000	-10
15.01.2009	10	0,20001	10
21.01.2009	11	0,20001	0
22.01.2009	12	0,20001	0
29.01.2009	13	0,20001	0
30.01.2009	14	0,20000	-10
04.02.2008	15	0,20001	10
05.02.2009	16	0,20001	0
11.02.2009	17	0,20001	0
12.02.2009	18	0,20000	-10
18.02.2009	19	0,20000	0
19.02.2009	20	0,20000	0
26.02.2009	21	0,20000	0
27.02.2009	22	0,19999	-10

Gelb hinterlegt = Mittelwert

Grün hinterlegt = niedrigster Wert

Blau hinterlegt = höchster Wert

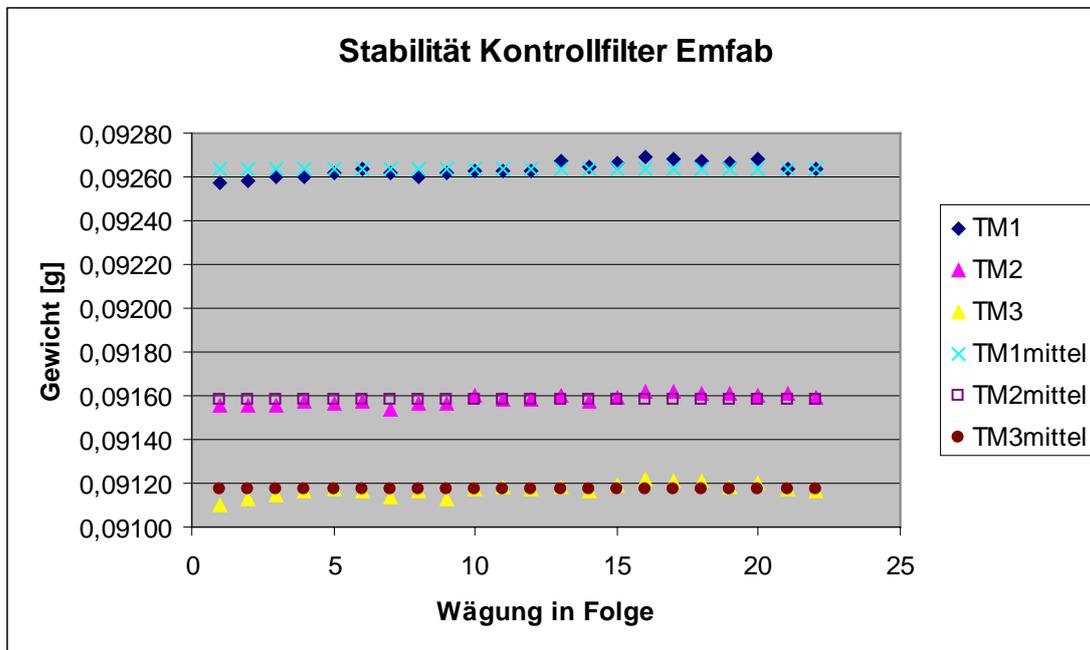


Abbildung 49: Stabilität der Kontrollfilter

*Tabelle 31: Stabilität der Kontrollfilter*

Wägung Nr.	Kontrollfilter Nr.		
	TM1	TM2	TM3
1	0,09257	0,09155	0,09110
2	0,09258	0,09155	0,09113
3	0,09260	0,09155	0,09115
4	0,09260	0,09157	0,09116
5	0,09262	0,09156	0,09117
6	0,09264	0,09157	0,09116
7	0,09262	0,09154	0,09114
8	0,09260	0,09156	0,09116
9	0,09262	0,09156	0,09113
10	0,09263	0,09160	0,09117
11	0,09263	0,09158	0,09118
12	0,09263	0,09158	0,09117
13	0,09267	0,09160	0,09118
14	0,09265	0,09157	0,09116
15	0,09266	0,09159	0,09119
16	0,09269	0,09162	0,09122
17	0,09268	0,09162	0,09121
18	0,09267	0,09161	0,09121
19	0,09266	0,09161	0,09118
20	0,09268	0,09160	0,09120
21	0,09264	0,09161	0,09117
22	0,09264	0,09159	0,09116
<b>Mittelwert</b>	0,09264	0,09158	0,09117
Standardabw.	3,2911E-05	2,4937E-05	2,8558E-05
rel. Standardabw.	0,036	0,027	0,031
Median	0,09264	0,09158	0,09117
kleinster Wert	0,09257	0,09154	0,09110
höchster Wert	0,09269	0,09162	0,09122

Gelb hinterlegt = Mittelwert

Grün hinterlegt = niedrigster Wert

Blau hinterlegt = höchster Wert

# Anhang 3

## Handbuch

## TÜV RHEINLAND ENERGY GMBH



### ADDENDUM

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014

TÜV-Bericht: 936/21243589/A  
Köln, 14. September 2018

[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 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 ist gültig bis 10-12-2022 und gilt für den unter der Urkundenanlage D-PL-11120-02-00 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 F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/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 .....	19
3.3	Umfang und Aufbau der Messeinrichtung .....	19
4.	PRÜFPROGRAMM.....	34
4.1	Allgemeines .....	34
4.2	Laborprüfung .....	35
4.3	Feldtest .....	36
5.	REFERENZMESSVERFAHREN.....	44
6.	PRÜFERGEBNISSE .....	44
6.1	1 Messbereiche.....	45
6.1	2 Negative Signale.....	46
6.1	3 Nullniveau und Nachweisgrenze (7.4.3).....	47
6.1	4 Genauigkeit des Volumenstroms (7.4.4) .....	49
6.1	5 Konstanz des Probenvolumenstroms (7.4.5).....	51
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	20 Prüfungen der Sensoren für Temperatur, Druck und/oder Luftfeuchte .....	103
7.	EMPFEHLUNGEN ZUM PRAXISEINSATZ.....	104
8.	LITERATURVERZEICHNIS .....	106
9.	ANLAGEN.....	109



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beschreibung der Messstellen .....	9
Tabelle 2:	Ergebnisse des Äquivalenztests (Rohdaten) .....	9
Tabelle 3:	Gerätetechnische Daten F-701-20 (Herstellerangaben) .....	32
Tabelle 4:	Feldteststandorte .....	37
Tabelle 5:	Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten, als Tagesmittelwerte ....	42
Tabelle 6:	Eingesetzte Filtermaterialien .....	43
Tabelle 7:	Nullniveau und Nachweisgrenze PM <sub>2,5</sub> .....	48
Tabelle 8:	Genauigkeit des Volumenstroms bei +5 °C und +40 °C .....	50
Tabelle 9:	Ergebnisse Kontrolle Durchflussrate .....	52
Tabelle 10:	Kenngrößen für die Gesamtdurchflussmessung (24h-Mittel), SN 1512361 & SN 1512401 53	
Tabelle 11:	Ergebnisse der Dichtigkeitsprüfungen im Feldtest .....	56
Tabelle 12:	Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur, F-701-20, Abweichung in µg/m <sup>3</sup> , Mittelwert aus drei Messungen, SN 1512361 & SN 1512401 .....	58
Tabelle 13:	Abhängigkeit der Empfindlichkeit (Referenzfolie) von der Umgebungstemperatur, F-701-20, Abweichung in %, Mittelwert aus drei Messungen, SN 1512361 & SN 1512401 .....	60
Tabelle 14:	Abhängigkeit des Messwertes von der Netzspannung, Abweichung in %, SN 1274509 & SN 1274510 .....	62
Tabelle 15:	Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration, Abweichung in µg/m <sup>3</sup> , SN 1274509 & SN 1274510 .....	65
Tabelle 16:	Nullpunktprüfungen SN 1512361 & SN 1512401, PM <sub>2,5</sub> , mit Nullfilter .....	67
Tabelle 17:	Ermittlung der Verfügbarkeit .....	73
Tabelle 18:	Unsicherheit zwischen den Prüflingen $u_{bs,AMS}$ für die Testgeräte SN 1512361 und SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	76
Tabelle 19:	Übersicht Äquivalenzprüfung F-701-20 für PM <sub>2,5</sub> .....	84
Tabelle 20:	Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten $u_{bs,RM}$ für PM <sub>2,5</sub> .....	87
Tabelle 21:	Zusammenstellung der Ergebnisse der Äquivalenzprüfung, SN 1512361 & SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> nach Korrektur Steigung und Achsabschnitt .....	98
Tabelle 22:	Stabilität Eichgewicht .....	138
Tabelle 23:	Stabilität der Kontrollfilter .....	140

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung – Aufbau der Messeinrichtung F-701-20, hier ohne aktiv belüftetes Probeneinlassrohr und mit interner Pumpe.....	21
Abbildung 2:	Darstellung F-701-20.....	22
Abbildung 3:	Probenahmekopf PM <sub>2,5</sub> .....	23
Abbildung 4:	Aktive Belüftung Probenahmesystem im Feldtest.....	24
Abbildung 5:	F-701-20 in Feldtestinstallation.....	24
Abbildung 6:	Nullfilter zur Erzeugung schwebstaubfreier Luft, im Feldeinsatz.....	25
Abbildung 7:	Referenzfolie.....	26
Abbildung 8:	Hauptmenü F-701-20.....	27
Abbildung 9:	Flussdiagramm – Menüstruktur der Parameter (ab Software 3.11R0008)....	29
Abbildung 10:	Übersicht Parameterausdruck F-701-20.....	31
Abbildung 11:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Bonn, Straßenkreuzung, Winter“.....	38
Abbildung 12:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Bornheim, Autobahnparkplatz, Sommer“.....	38
Abbildung 13:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände, Herbst“.....	39
Abbildung 14:	Verlauf der PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände, Winter“.....	39
Abbildung 15:	Feldteststandort Bonn, Straßenkreuzung.....	40
Abbildung 16:	Feldteststandort Bornheim, Autobahnparkplatz.....	40
Abbildung 17:	Feldteststandort Köln, Parkplatzgelände.....	41
Abbildung 18:	Durchfluss am Testgerät SN 1512361.....	53
Abbildung 19:	Durchfluss am Testgerät SN 1512401.....	54
Abbildung 20:	Nullpunktdrift SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	68
Abbildung 21:	Nullpunktdrift SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> .....	68
Abbildung 22:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte.....	77
Abbildung 23:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Bonn, Winter.....	77
Abbildung 24:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Bornheim, Sommer.....	78
Abbildung 25:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Köln, Herbst.....	78
Abbildung 26:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Standort Köln, Winter.....	79
Abbildung 27:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte, Werte $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	79
Abbildung 28:	Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte, Werte $< 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .....	80
Abbildung 29:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte	88
Abbildung 30:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , alle Standorte	88
Abbildung 31:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Bonn, Winter	89
Abbildung 32:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Bonn, Winter	89



Abbildung 33:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Bornheim, Sommer	90
Abbildung 34:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Bornheim, Sommer	90
Abbildung 35:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Herbst	91
Abbildung 36:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Herbst	91
Abbildung 37:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Winter	92
Abbildung 38:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Köln, Winter	92
Abbildung 39:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Werte ≥ 18 µg/m <sup>3</sup>	93
Abbildung 40:	Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM <sub>2,5</sub> , Werte ≥ 18 µg/m <sup>3</sup>	93
Abbildung 41:	Erstbekanntgabe BAnz. AT 05.08.2014 B11, Kapitel III Nummer 3.1 .....	107
Abbildung 42:	Bekanntgabe Mitteilung BAnz AT 15.03.2017 B6, Kapitel V 3. Mitteilung ..	107
Abbildung 43:	Bekanntgabe Mitteilung BAnz AT 26.03.2018 B8, Kapitel V 4. Mitteilung ..	108
Abbildung 44:	Bekanntgabe Mitteilung BAnz AT 17.07.2018 B9, Kapitel III 27. Mitteilung	108
Abbildung 45:	Stabilität Eichgewicht .....	137
Abbildung 46:	Stabilität der Kontrollfilter .....	139

## 1. Kurzfassung

Im Auftrag der Firma DURAG GmbH führte die TÜV Rheinland Energy GmbH die Eignungsprüfung der Messeinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider 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“, September 2010 bzw. Juni 2002
- VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, September 2010 bzw. 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 Januar 2010

Auf Basis der aufgeführten Prüfgrundlagen wurden die Messeinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> bereits eignungsgeprüft und wie folgt bekanntgegeben:

- F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> mit Bekanntmachung des Umweltbundesamtes vom 17. Juli 2014 (BAnz. AT 05.08.2014 B11, Kapitel III Nummer 3.1) – Erstbekanntgabe
- F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> mit Bekanntmachung des Umweltbundesamtes vom 22. Februar 2017 (BAnz AT 15.03.2017 B6, Kapitel V 3. Mitteilung) – Mitteilung zu Geräteänderung (SD-Karte) und neuen Softwareversionen
- F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> mit Bekanntmachung des Umweltbundesamtes vom 21. Februar 2018 (BAnz AT 26.03.2018 B8, Kapitel V 4. Mitteilung) – Mitteilung zu Geräteänderung (alternatives Regelventil)

- F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> mit Bekanntmachung des Umweltbundesamtes vom 3. Juli 2018 (BAnz AT 17.07.2018 B9, Kapitel III 27. Mitteilung) – Mitteilung zu Geräteänderung (Anpassung Gehäuse, Gerätevariante mit externer Pumpe) 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 Schwebstaubmeseinrichtungen.

Das vorliegende Addendum enthält nun eine Beurteilung der Messeinrichtungen vom Typ F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider 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 2018 komplett neue Prüfungen durchgeführt.

Das Addendum ist nach seiner Veröffentlichung fester Bestandteil des TÜV Rheinland Prüfberichtes der Nummer 936/21220478/A vom 17. März 2014 und wird im Internet unter [www.qal1.de](http://www.qal1.de) einsehbar sein.

Die Messeinrichtung F-701-20 ermittelt die Staubkonzentrationen mittels eines Radiometer-Messprinzips. Mit Hilfe einer Pumpe wird Umgebungsluft über einen PM<sub>2,5</sub> Probenahmekopf angesaugt (Probenahmefluss 16,67 l/min). Die staubbeladene Probenahmeluft wird anschließend auf ein Filterband gesaugt. Die Bestimmung der abgeschiedenen Staubmasse auf dem Filterband erfolgt nach der jeweiligen Probenahme durch das radiometrische Messprinzip der Beta-Absorption.

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

	Bonn, Straßenkreuzung Winter	Bornheim, Autobahnparkplatz, Sommer	Köln, Parkplatzgelände, Herbst	Köln, Parkplatzgelände, Winter
Zeitraum	02/2013 – 05/2013	05/2013 – 07/2013	09/2013 – 12/2013	01/2014 – 03/2014
Anzahl der Messwertpaare: Prüflinge	61	68	85	52
Charakterisierung	Verkehrsbeeinflusst	Ländliche Struktur + Autobahn	Städtischer Hinter- grund	Städtischer Hinter- grund
Einstufung der Im- missionsbelastung	durchschnittlich bis hoch	niedrig bis durchschnittlich	durchschnittlich	durchschnittlich

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Ergebnisse des durchgeführten Äquivalenztests:

Tabelle 2: Ergebnisse des Äquivalenztests (Rohdaten)

PM <sub>x</sub>	Steigung	Achs- abschnitt	Alle Datensätze W <sub>CM</sub> <25 % Rohdaten	Kalibrie- rung ja/nein	Alle Datensätze W <sub>CM</sub> <25 % kal. Daten
PM <sub>2,5</sub>	0,917	0,587	14,64	ja*	8,46

\* 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/m³ bis 1000 µg/m³ als ein 24-Stunden-Mittelwert 0 µg/m³ bis 10000 µg/m³ als ein 1-Stunden-Mittelwert, falls zutreffend	Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0 – 1.000 µg/m³ eingestellt. Andere Messbereiche bis zu 0 – 10.000 µg/m³ sind möglich.	ja	45
2 Negative Signale	Dürfen nicht unterdrückt werden.	Negative Messsignale werden von der Messeinrichtung direkt angezeigt und über die entsprechenden Messsignalausgänge korrekt ausgegeben.	ja	46
3 Nullniveau und Nachweisgrenze (7.4.3)	Nullniveau: ≤ 2,0 µg/m³ Nachweisgrenze: ≤ 2,0 µg/m³	Das Nullniveau ermittelte sich aus den Untersuchungen für beide Geräte zu maximal 0,34 µg/m³ und die Nachweisgrenze zu maximal 1,15 µg/m³.	ja	47
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 -1,53 %.	ja	49
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	51
6 Dichtheit des Probenahme-systems (7.4.6)	≤ 2,0 % des gemittelten Proben-volumenstroms	Das vom Gerätehersteller vorgegebene Kriterium zum Bestehen der Dichtigkeitsprüfung – Durchfluss maximal 10 l/h bei blockiertem Einlass - erwies sich in der Prüfung als geeignete Kenngröße zur Überwachung der Gerätedichtheit. Die maximal ermittelte Leckrate von 1 l/h ist kleiner als 2,0 % von der nominalen Durchflussrate von 1000 l/h (16,67 l/min).	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 -1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 > -1,9 % 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 > 2,3 %, 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 mit Erreichen des Startzeitpunkts für den nächsten Messzyklus (in der Eignungsprüfung nach Erreichen der nächsten vollen Stunde) 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	Alle ermittelten Differenzen zwischen den Messwerten bei 40 % und bei 90 % relativer Feuchte sind $\leq -1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Es konnte kein signifikanter Einfluss auf die Nullmesswerte durch verschiedene Wasserdampfkonzentrationen ermittelt werden.	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 $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .	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 (RS232, RS485). Betriebszustände und relevante Parameter werden bereitgestellt.	ja	69
14 Tagesmittelwerte (7.5.5)	Die AMS muss die Bildung von Tagesmittelwerten oder tageswerten ermöglichen.	Mit der beschriebenen Gerätekonfiguration und einem Messzyklus von 1 h bei einer Belegzahl von 24 ist die Bildung von validen Tagesmittelwerten auf Basis der 24 Messzyklen möglich .	ja	71

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 13 von 140

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
15 Verfügbarkeit (7.5.6)	Mindestens 90 %	Die Verfügbarkeit betrug für SN 1512361 100 % und für SN 1512401 99,7 %.	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 0,84 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 $W_{dqo}$ von 25 % für Feinstaub.	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 der Steigung und des Achsenabschnitts führt dennoch zu einer weiteren erheblichen Verbesserung der erweiterten Messunsicherheiten für den Gesamtdatensatz.	ja	94



Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
18 Wartungsintervall (7.5.7)	Mindestens 14 d	Das Wartungsintervall wird durch die notwendigen Wartungsarbeiten bestimmt und beträgt 4 Wochen.	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.	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 sind leicht vor Ort überprüfbar und justierbar.	ja	103

## **2. Aufgabenstellung**

### **2.1 Art der Prüfung**

Im Auftrag der DURAG GmbH wurde von der TÜV Rheinland Energy GmbH eine Eignungsprüfung für die Messeinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider vorgenommen.

Die Messeinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider 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 F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider 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 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“, September 2010 bzw. Juni 2002 [1]
- VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, September 2010 bzw. 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 Januar 2010 [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 Schwebstaubmeseinrichtungen.



Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Das vorliegende Addendum enthält nun eine Beurteilung der Messeinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider 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 2018 komplett neue Prüfungen durchgeführt.

Das Addendum ist nach seiner Veröffentlichung fester Bestandteil des TÜV Rheinland Prüfberichtes der Nummer 936/21220478/A vom 17. März 2014 und wird im Internet unter [www.qal1.de](http://www.qal1.de) einsehbar sein.

### 3. Beschreibung der geprüften Messeinrichtung

#### 3.1 Messprinzip

Die Immissionsmesseinrichtung F-701-20 basiert auf dem Messprinzip der Beta-Abschwächung.

Das Luftvolumen wird durch ein Glasfaserfilterband hindurchgesaugt, wobei die Staubpartikel auf dem Filter abgeschieden werden. Der Volumenstrom wird von der Steuerung geregelt und aufgezeichnet. Nach der Absaugzeit wird die auf dem Filter gesammelte Masse radiometrisch ausgemessen. Dazu wird eine Messanordnung bestehend aus einem Beta-Strahler (C14) und einem Geiger-Müller-Zählrohr (GM) verwendet.

Das Messprinzip zur Staubmassenbestimmung basiert darauf, dass Beta-Strahlen beim Durchtritt durch Materie abgeschwächt werden. Die Intensität der Strahlung (Pulse pro Messzeit) wird zunächst nach dem Durchtritt durch das unbelegte saubere Filterpapier bewertet. Nach der Staubsammlung wird erneut die Intensität der Strahlung gemessen. Das Verhältnis der beiden Intensitäten ist ein Maß für die auf dem Filterfleck gesammelte Staubmenge (homogene Verteilung auf der Filterfläche vorausgesetzt) und damit bei konstanter Querschnittsfläche des belegten Filterflecks ein Maß für die absolute Staubmasse. Die absolute Staubmasse dividiert durch die abgesaugte Luftmenge ergibt dann die Staubkonzentration.

Das radiometrische Messverfahren ist universell anwendbar, da es in weiten Grenzen unabhängig von den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Staubes und des Trägergases die Masse des Staubes bestimmt.

Bei homogener Verteilung des Staubniederschlages mit der Masse  $m$  auf einer Filterfläche  $A_F$  gilt bis  $5 \text{ mg/cm}^2$  in guter Näherung die lineare Beziehung:

$$\ln(n_0/n) = (\mu/\rho) * d$$

mit:  $d = m/A_F$  in  $\mu\text{g/cm}^2$ , Staubflächendichte bei einem Staubniederschlag in  $\mu\text{g}$  auf der konstanten Niederschlagsfläche in  $\text{cm}^2$

$\mu/\rho$  in  $\text{cm}^2/\text{g}$  ist der Massenschwächungskoeffizient

$\mu$  in  $\text{cm}^{-1}$  ist der lineare Schwächungskoeffizient der verwendeten Beta-Strahlung

$\rho$  in  $\text{g/cm}^3$  ist die Dichte des Absorbermaterials

$n_0$  und  $n$  die vom Zähler ohne (=0-Rate) bzw. mit Staub (=M-Rate) pro Minute erfassten Beta-Teilchen, die elektronisch als Spannungsimpulse registriert werden. Die Impulsrate ist ein Maß für die Strahlungsintensität.

Der Massenschwächungskoeffizient  $\mu/\rho$  der verwendeten Beta-Strahlung ist abhängig von der Elektronendichte des Absorbers und damit proportional dem Verhältnis ( $Z/A$ )

mit:  $Z$  chemische Ordnungszahl

$A$  Massenzahl

Da jedoch für die meisten vorkommenden Stäube das Verhältnis ( $Z/A$ ) =  $0,45 \dots 0,5$  näherungsweise konstant ist, ist die Beta-Strahlenschwächung praktisch unabhängig von der chemischen Zusammensetzung und der Korngrößenverteilung des Staubes.



Bei konstant bleibender Filterfläche lässt sich, da  $(\mu/\rho) = \text{konstant}$  ist, die auf dem Filter A abgeschiedene Staubmasse aus der Strahlenschwächung nach der folgenden Gleichung bestimmen:

$$m = A_F \cdot (\rho/\mu) \cdot \ln(n_0/n)$$

mit: m absolute Staubmasse in g

A<sub>F</sub> Filterfleckfläche in cm<sup>2</sup>

Da der Massenschwächungskoeffizient  $(\mu/\rho)$  mit abnehmender Beta-Maximalenergie zunimmt, ist die Massenbestimmung durch die Beta-Absorptionsmessung umso empfindlicher, je energieschwächer die verwendete Beta-Strahlung ist.

Die Staubkonzentration ergibt sich aus der absoluten Masse, dividiert durch das abgesaugte Luftvolumen.

$$c = m / Q$$

mit: c Staubkonzentration in g/m<sup>3</sup>

Q abgesaugtes Luftvolumen in m<sup>3</sup>

### 3.2 Funktionsweise der Messeinrichtung

Die Immissionsmesseinrichtung F-701-20 basiert auf dem Prinzip der Beta-Abschwächung.

Die Partikelprobe passiert mit einer Durchflussrate von 1 m<sup>3</sup>/h (=16,67 l/min) den PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf und gelangt über das Probeneinlassrohr zum eigentlichen Messgerät F-701-20.

Im Rahmen der Eignungsprüfung wurde die Messeinrichtung mit einem aktiv belüfteten Probeneinlassrohr und ohne eine Rohrbegleitheizung geprüft. Bei Einsatz des aktiv belüfteten Probeneinlassrohres wird ständig Außenluft mittels einer Ventilatoreinheit durch das äußere Hüllrohr befördert, so dass das eigentliche Probenahmerohr im Innern bis zur Messstrecke im Gerät auf der Temperatur der Außenluft gehalten wird. Die Stromversorgung der Ventilatoreinheit erfolgt über das Gerät selbst. Eine zusätzliche passive Isolation des Außenrohrs kann bei extremen Unterschieden zwischen Umgebungstemperatur und Temperatur im Aufstellungsraum des Gerätes hilfreich sein.

Die Messeinrichtung selbst ist kompakt aufgebaut (siehe auch Abbildung 1). Bei der Gerätevariante mit interner Pumpe, sind bis auf die Probenahmesonde (Probeneinlassrohr, Probenahmekopf), den meteorologischen Sensor zur Messung von Luftdruck und Umgebungstemperatur und die Installation zur aktiven Belüftung des Probeneinlassrohres, alle Komponenten in einem Gehäuse untergebracht. Des Weiteren gibt es auch eine Gerätevariante mit externer Pumpe – es handelt sich hierbei um die gleiche Pumpe, lediglich der Einbauort wurde geändert, indem die Pumpe aus der bisherigen Baugruppe entfernt wurde, die Verschlauchung angepasst wurde und die Spannungsversorgung für einen Betrieb der Pumpe außerhalb des Gehäuses modifiziert wurde.

Das Messgerät wird durch ein Mikrocontrollerboard gesteuert.

Der Filterbandtransport wird von der Vorratsrolle zur Aufwickelrolle durch einen Schrittmotor realisiert. Das Geiger-Müller-Zählrohr bestimmt über die Abschwächung der von der C14-Strahlungsquelle ausgehenden Strahlungsintensität die Massezunahme auf dem Filterband. Die Luft wird durch die Pumpe abgesaugt, wobei der Volumenstrom durch das Volumenstrom-Meter gemessen und mittels des Bypass-Ventils konstant auf 1000 l/h geregelt wird. Eine Elektronik steuert die Messvorgänge, ermöglicht eine benutzerfreundliche Bedienung über einen Touchscreen und speichert die Messwerte.

Optional kann das Gerät die gemessenen Staubproben mit einer Abdeckfolie gegen Verschmierung und Verlust schützen, um eine nachträgliche Laboruntersuchung auf Staubinhaltsstoffe, z.B. Schwermetalle, zu ermöglichen. Diese Option war nicht Bestandteil der Eignungsprüfung.

Bei regulärem Messablauf wird am Anfang der Messung ein unbelegter Filterfleck zwischen C14-Strahler und Zählrohr transportiert. Für 300 s wird dann die Strahlungsintensität gemessen, d.h. die vom Zählrohr erzeugten Impulse werden als Maß für die detektierte Beta-Strahlung gewertet.

Anschließend wird der Filterhalter geöffnet und das Filterband solange transportiert, bis sich diese bewertete Filterfläche in der Absaugposition befindet. Der Filterhalter wird anschließend wieder geschlossen und der Absaugvorgang beginnt. Nach Beenden der Probenahme wird der Filterhalter wieder geöffnet und das Filterpapier in die ursprüngliche Position unter das Zählrohr gelegt. Der Filterhalter schließt und die Strahlenintensität wird wieder für 300 s gemessen.

Aus den gemessenen Zählraten vor und nach Absaugung wird dann die Staubmesse gemäß Kapitel 3.1 ermittelt und die Staubkonzentration durch die Verrechnung mit der abgesaugten Luft berechnet.

Die Absaugdauer entspricht der jeweils programmierten Zykluszeit und der programmierten Belegzahl abzüglich der Messzeit bzw. Zeiten für Filterbandbewegungen. Über die Belegzahl kann eine Mehrfachbelegung eines Filterspots festgelegt werden. Sie kann zwischen 1 (=für jeden Zyklus einen neuen Filterspot) und 24 (=ein Filterspot wird 24fach belegt) parametrieren werden.

Die Absaugdauer beträgt daher:

Für Zykluszeit 60 min und Belegzahl 1:

$$60 \text{ min} - (2 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 48 \text{ min}$$

Bei einer Belegzahl >1 dient dann die Messung nach einer Absaugung sowohl zur Kalkulation des Messwerts des abgeschlossenen Zyklus als auch als Startmessung für den nachfolgenden Zyklus, d.h. pro Zyklus ist nur eine radiometrische Messung von 300 s notwendig.

In der Eignungsprüfung war eine Zykluszeit von 60 min mit einer Belegzahl 24 parametrieren. Die Absaugdauer beträgt dann:

$$\text{Zyklus 1: } 60 \text{ min} - (2 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 48 \text{ min}$$

$$\text{Zyklus 2-24: } 60 \text{ min} - (1 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 53 \text{ min}$$

Die ermittelten Messwerte werden im Display angezeigt und sind sowohl als 4-20 mA Analogsignal als auch über serielle RS232-Schnittstelle (z.B. mittels Bayern-Hessen-Protokoll, Gesytec) verfügbar. Alle Messwerte der letzten 9 Monate sind im Gerät gespeichert und stehen am Display und über die serielle Schnittstelle zur Verfügung. Ein Download der Messwerte, der Fehlermeldungen sowie der Geräteparameter ist über diesen Weg einfach über ein Terminalprogramm möglich. Optional kann zur Kennzeichnung der gesammelten Staubprobe auch das Filterpapier bedruckt werden. Die letztgenannte Option war nicht Bestandteil der Eignungsprüfung.

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 21 von 140

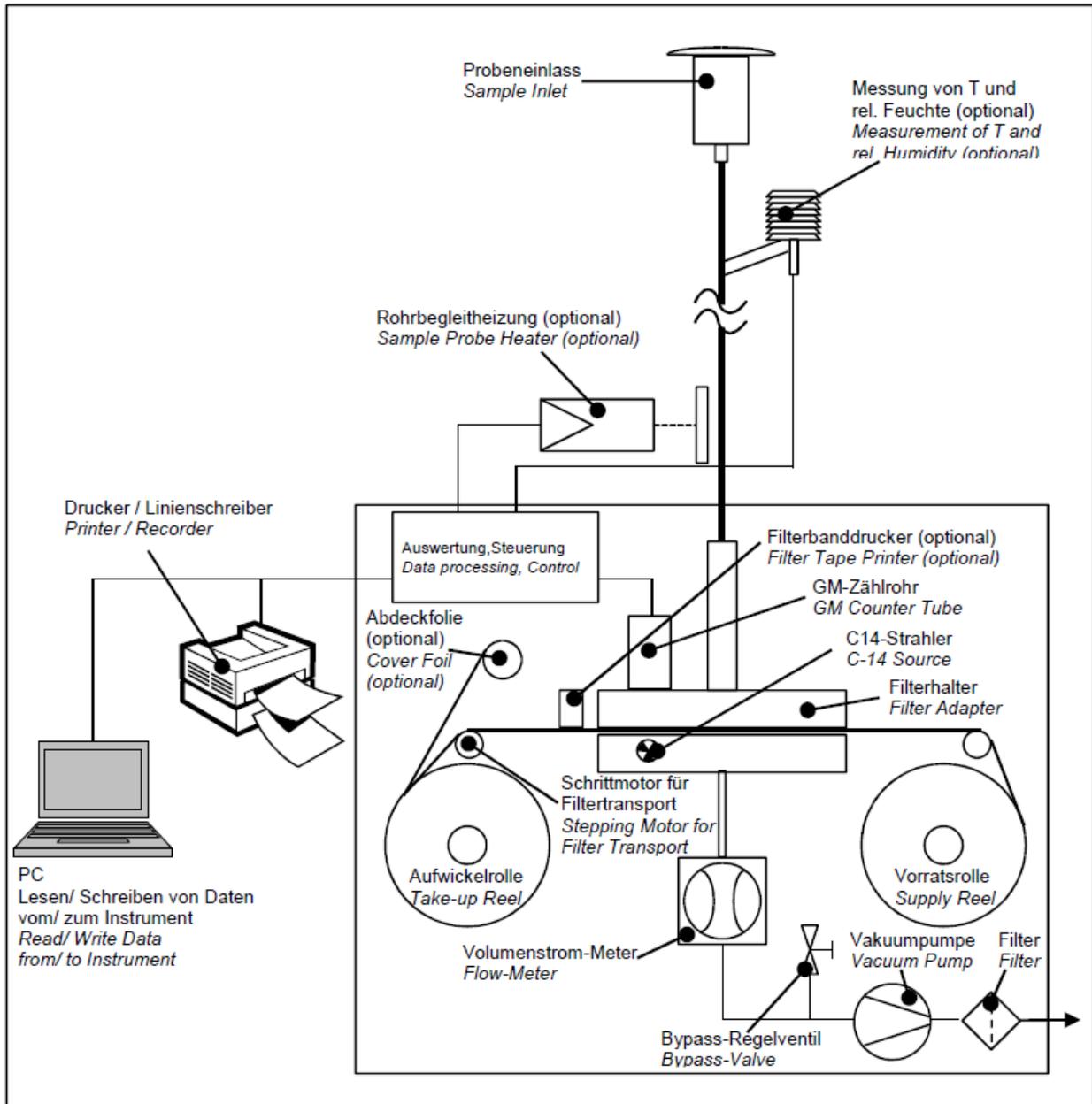


Abbildung 1: Schematische Darstellung – Aufbau der Messeinrichtung F-701-20, hier ohne aktiv belüftetes Probeneinlassrohr und mit interner Pumpe

### 3.3 Umfang und Aufbau der Messeinrichtung

Die Messeinrichtung besteht aus dem PM<sub>2,5</sub>-Probenahmekopf, dem Meteorologiesensor, dem Probeneinlassrohr mit aktiver Belüftung, dem eigentlichen Messgerät F-701-2 inkl. Glasfaserfilterband, den jeweils zugehörigen Anschlussleitungen und –kabeln sowie Adaptern, der Dachdurchführung inkl. Flansch sowie dem Handbuch in deutscher Sprache.

Abbildung 2 zeigt einen Überblick über die Messeinrichtung F-701-20.

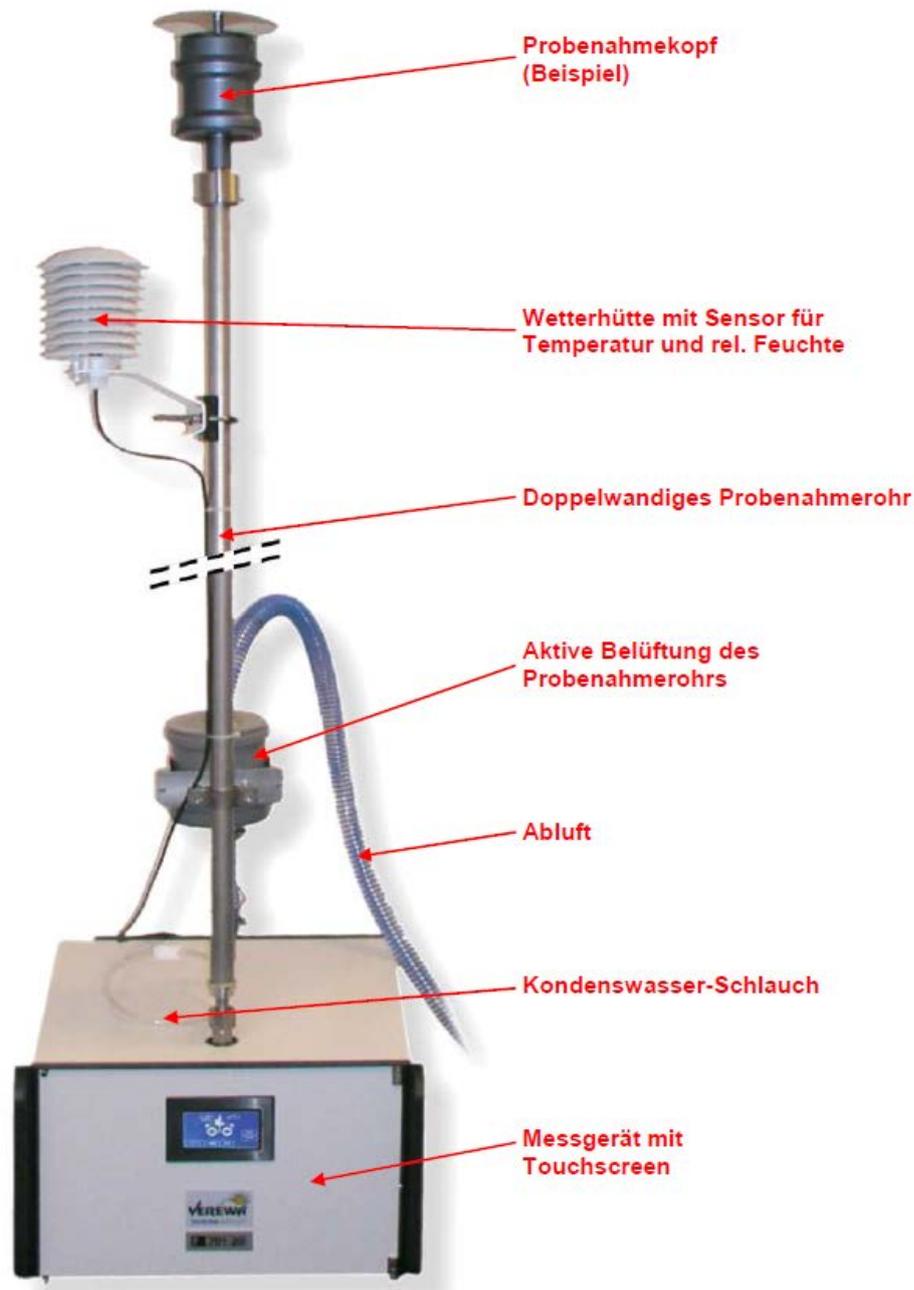


Abbildung 2: Darstellung F-701-20

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 23 von 140

Als Probenahmekopf wird ein PM<sub>2,5</sub> Probeneinlass (Hersteller: Fa. Comde-Derenda GmbH, Stahnsdorf) eingesetzt. Alternativ ist auch der Einsatz von TSP- oder PM<sub>10</sub>-Probeneinlässen möglich.



Abbildung 3: Probenahmekopf PM<sub>2,5</sub>

Die Verbindung zwischen Probenahmekopf und Messgerät erfolgt durch das aktiv belüftete Probeneinlassrohr. Bei Einsatz des aktiv belüfteten Probeneinlassrohres wird ständig Außenluft mittels einer Ventilatereinheit durch das äußere Hüllrohr befördert, so dass das eigentliche Probenahmerohr im Innern bis zur Messstrecke im Gerät auf der Temperatur der Außenluft gehalten wird. Die Länge des Probeneinlassrohres in der Eignungsprüfung betrug 2m, alternativ sind auch standardmäßig die Längen von 1 m und 3 m verfügbar.

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A



Abbildung 4: Aktive Belüftung Probennahmesystem im Feldtest

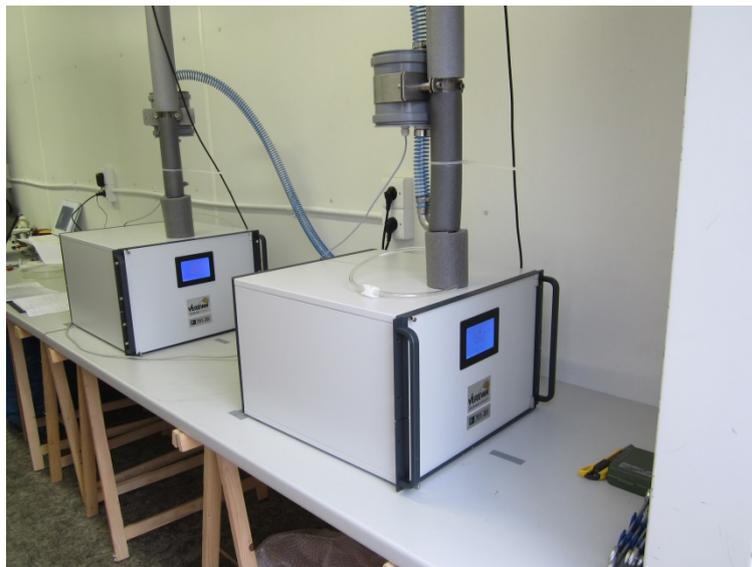


Abbildung 5: F-701-20 in Feldtestinstallation

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 25 von 140

Zur externen Nullpunktüberprüfung der Messeinrichtung wird ein Nullfilter am Geräteinlass montiert. Der Einsatz dieses Filters ermöglicht die Bereitstellung von schwebstaubfreier Luft.



Abbildung 6: Nullfilter zur Erzeugung schwebstaubfreier Luft, im Feldeinsatz

Zur externen Überprüfung der radiometrischen Messung stellt der Gerätehersteller eine Referenzfolie zur Verfügung.



Abbildung 7: Referenzfolie

Die Bedienung der Messeinrichtung erfolgt auf der Frontseite der Messeinrichtung über Touchscreen-Display. Der Benutzer kann Messdaten und Geräteinformationen abrufen, Parameter ändern sowie Tests zur Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Messeinrichtung durchführen.

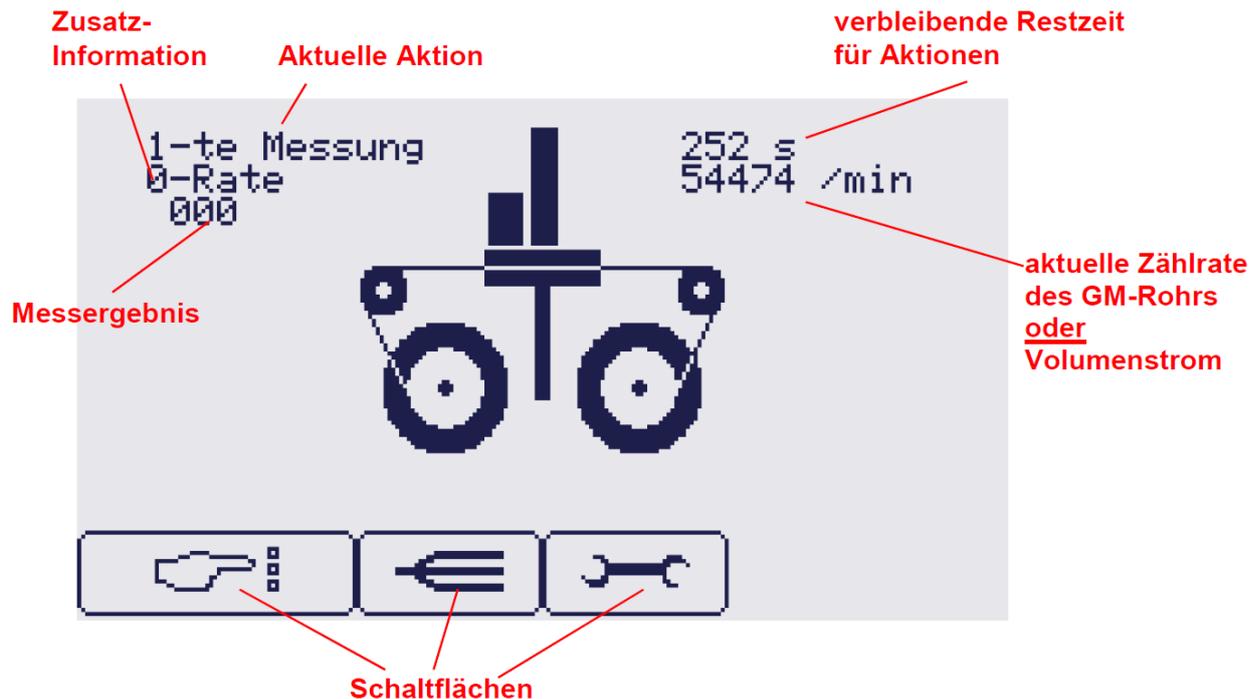


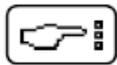
Abbildung 8: Hauptmenü F-701-20

Nach Gerätestart erscheint das Hauptmenü. Hier werden verschiedene Informationen angezeigt, wie

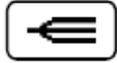
- Aktueller Gerätestatus (Messung; n-te Messung (Zyklusnummer bei Mehrfachbelegung); Standby)
- Zusatzinformationen z.B. Status im aktuellen Messzyklus (0-Rate...)



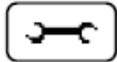
Über drei Schaltflächen stehen folgende Aktionen zur Verfügung:



**Zwischen Mess-, Datenanzeige- und Parametrier-Modus wechseln.**



**Gehe zu einem Untermenü / zeige zusätzliche Informationen an**



**Wartungsmenü aufrufen**

Über die Taste  kann im Normalbetrieb zwischen den folgenden Menüs gewechselt werden:

**Mess-Modus:** Staubmessung und Anzeige der Ergebnisse, Anzeige der aktuellen Aktivitäten, Durchführung von Serviceaktionen

**Datenanzeige-Modus:** Anzeige der gemessenen Werte in Grafik- oder Tabellenform sowie von Status- und Fehlermeldungen

**Parametrier-Modus:** Anzeige und Änderung der Geräteparameter

Im Parametrier-Modus können alle Parameter eingesehen werden und nach Passworteingabe geändert werden. Abbildung 9 gibt einen Gesamtüberblick über die Menüstruktur der Parameter. Die einzelnen Parameter sind im Gerätehandbuch in Kapitel 5 ausführlich beschrieben.

menüs.

**Untermenüs:**

• Password	Passworteingabe
• Messwerte	Anzeige der gemessenen/ gespeicherten Werte
• Parameter	Anzeige und Eingabe der Hauptparameter
• Neben Parameter	Anzeige und Eingabe der Unterparameter
• Justage	Korrigieren der Eingangs- und Ausgangs-Signale
• Schnittstellen	Einstellen der Schnittstellenparameter
• Datum/ Uhr	Einstellen von Uhrzeit und Datum
• Service	Grundlegende Betriebsfunktionen, Fehlersuche

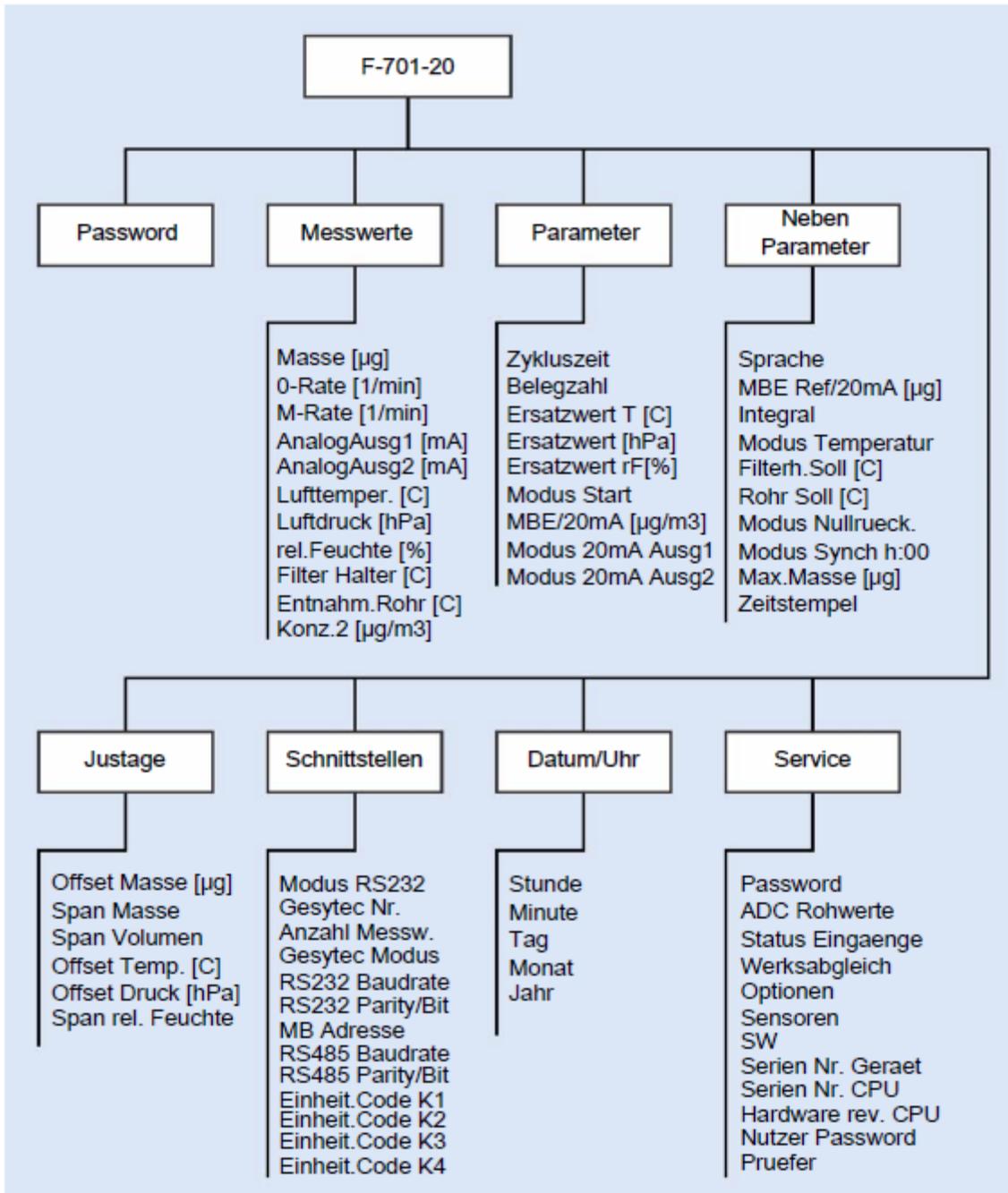


Abbildung 9: Flussdiagramm – Menüstruktur der Parameter (ab Software 3.11R0008)

Durch Betätigen der Taste  können zusätzliche Informationen abgerufen werden, so stehen im Mess-Modus Zusatzinformationen z.B. zum normierten Volumenstrom, Außen-temperatur, rel. Luftfeuchte und Umgebungsdruck zur Verfügung.

Durch Betätigen der Taste  wird das Wartungsmenü nach Eingabe des entsprechenden Passwortes aktiviert. Es können folgende Aktionen durchgeführt werden:

-  Filterhalter öffnen
  -  Filterhalter schließen
  -  Filterband vorwärts
  -  Filterband rückwärts
  -  Referenzmessung starten
  -  Null-Messung starten
  -  Referenzfolien-Messung starten
- Bei manuellem Betrieb erscheint zusätzlich:
-  Messung starten



Neben der direkten Kommunikation via Touchscreen-Display besteht weiterhin die Möglichkeit mit der Messeinrichtung via RS232 zu kommunizieren. Im Rahmen der Eignungsprüfung erfolgte der Zugriff auf die Messeinrichtungen insbesondere zum Download der intern gespeicherten Messdaten via RS232 und der Terminal-Software HyperTerminal.

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 31 von 140

Abbildung 10 gibt einen Gesamtüberblick über die Parameter der Prüflinge während der Eignungsprüfung (am Beispiel des Gerätes SN 1512361).

```

                                P_1512361.TXT
Parameter Ausdruck 15.10.13 14:33
-----
Beta Staubmeter F 701-20
Serien Nr.Geraet 1512361
Silicon Serial Number
SW 3.10
-----
Stammdaten: -----
Serien Nr.CPU 1227716
8A-70-00-00-00-0C-E9-68
-----
Parameter: -----
Zykluszeit 1 h
Ersatzwert [hPa] 1013
MBE/20mA [ug/m3] 200
-----
Sprache Deutsch
Modus Temperatur humidity
Modus Nullrueck. inactive
-----
Parameter: -----
Belegzahl 24
Ersatzwert rF[%] 50
Modus 20mA Ausg1 conc
Modus 20mA Ausg2 mass
-----
Integral 1
Rohr Soll [C] 3
Max. Masse [ug] 250
-----
MBE Ref/20mA[ug] 1000
Filterh.Soll [C] 3
Modus Synch h:00 10
-----
Span Masse 1
Offset Druck hPa -8
Span Volumen 0.982
-----
Modus RS232 terminal
Parity/Bit no 8
Gesytec Nr. 123
RS485 inactive
Baud 9600bd
-----
Fertigungseinstellungen: -----
Offset sc1 [ug] 0
Offs Fi-Ha[0.1C] 0
Tube heater 100 4240
Temperature 120 9022
Pressure 4 mA 4024
Reserve 20 mA 15000
b 20 mA Out2 1.001
-----
Offset sc2-n[ug] 0
Filter adapt.100 4258
Tube heater 120 9019
Volumesensor 1 V 3278
Pressure 20 mA 15679
b 20 mA Out1 0.998
c 20 mA Out2 0.021
-----
Span Service 1
Filter adapt.120 9001
Temperature 100 4271
Volumesensor 5 V 15613
Reserve 4 mA 4000
c 20 mA Out1 0.016
-----
Meldung debounce 0
Filter Motor micro
Intell. Korr. Active 1
Filter Drucker inactive
-----
Beta Sensor GM tube
Abstand Qu./Rohr 1600
ICC Wert 0.39
Geraetetyp F701- 20
Abstand Flecken 1600
Vol. GM Quelle 780
-----
Sensor Luft T meteor.
Druck c 675
Sensor Luft p 4/20mA
Sensor Luft rF meteor.
Druck b 31.25

```

Abbildung 10: Übersicht Parameterausdruck F-701-20

Tabelle 2 enthält eine Auflistung wichtiger gerätetechnischer Kenndaten des Schwebstaubimmissionsmessgerätes F-701-20.

Tabelle 3: Gerätetechnische Daten F-701-20 (Herstellerangaben)

<b>Abmessungen / Gewicht</b>	<b>F-701-20</b>
Messgerät	482 x 530 x 320 mm / 31 kg (Version mit interner Pumpe), 26 kg + 8 kg Pumpe (Version mit externer Pumpe)
Probenahmerohr	Einfaches oder doppelwandiges Probenahmerohr, Länge 1, 2 m oder 3 m
Probenahmekopf	je nach Hersteller, in Eignungsprüfung Comde-Derenda GmbH, Probenahmekopf PM <sub>2,5</sub> 1,0m <sup>3</sup> /h für Rohranschluss 16 mm
<b>Energieversorgung</b>	Analysator: 230 V / 50 Hz oder 115 V / 60 Hz
<b>Leistungsaufnahme</b>	ca. 400 W
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
Temperatur	+5 bis +40 °C (in Eignungsprüfung)
Feuchte	nicht kondensierend
<b>Probenflussrate (Inlet)</b>	16,67 l/min = 1 m <sup>3</sup> /h
<b>Radiometrie Strahler</b>	<sup>14</sup> C-Flächenstrahler, <450 kBq (< 12,5 µCi)
<b>Detektor</b>	Geiger-Müller-Endfensterzählrohr
<b>Parameter Filterwechsel</b>	
Filterband	Glasfaserfilter, 30 m oder 45 m
Messzyklus (Zykluszeit)	15 min - 24 h In Eignungsprüfung: 1 h (24 Wechsel pro Tag)
Belegzahl (Mehrfachbelegung)	1 – 24 In Eignungsprüfung: 24 (max. 24 Zyklen pro Filterfleck)
Max. Staubmasse pro Filterfleck	Abhängig von der Staubzusammensetzung, parametrierbar, in Eignungsprüfung 400 µg
<b>Parameter Probennahmenkonditionierung</b>	
Konditionierung Probeneinlassrohr	Aktive Belüftung
<b>Speicherkapazität Daten (intern)</b>	Abhängig von Größe der SD-Karte, Zugriff direkt am Gerät über Menü auf Daten für letzten 9 Monate

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 33 von 140

	<b>F-701-20</b>
<b>Geräteeingänge und -ausgänge</b>	Ausgänge: Analog 4-20 mA Digital RS232
<b>Protokolle</b>	Kommunikation mit PC via RS232 Bayern-Hessen, Gesytec
<b>Statussignale / Fehlermeldungen</b>	vorhanden, Übersicht siehe Kapitel 6 Tabelle 6.4 (Fehlermeldungen) bzw. Kapitel 5.7 (Statusmeldungen) des Bedienungshandbuch



## 4. Prüfprogramm

### 4.1 Allgemeines

Die ursprüngliche Eignungsprüfung [9] erfolgte an zwei identischen Geräten vom Typ F-701-20 mit den Seriennummern SN 1512361 und SN 1512401 gemäß den Mindestanforderungen aus [1; 2; 3; 4].

Die Prüfung wurde mit der Softwareversion 3.07 bzw. 3.10 durchgeführt.

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

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) erfolgten mit zwei identischen Geräten der Version F-701-20 mit den Seriennummern SN 1274509 und SN 1274510.

Die zuletzt bekanntgegebene Softwareversion für die Messeinrichtung lautet 4.11R0009. Während der Zusatzuntersuchungen war auf den Prüflingen die neue Softwareversion 4.11R0010 installiert. Diese neue aktuelle Softwareversion beinhaltet eine Fehlerkorrektur bei der Anwendung der „intelligenten Korrektur“. Diese wurde bislang nur für Belegzahlen > 1 angewendet. Mit der aktuellen Softwareversion ist die Anwendung nun auch für eine Belegzahl von 1 gegeben. Die Änderung wurde 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, insbesondere da die Einstellung einer Belegzahl von 24 (wie in Eignungsprüfung) nicht durch die Änderung berührt wird. Der Sachverhalt wird der zuständigen Stelle gesondert per Mitteilung übermittelt.

Alle ermittelten Konzentrationen werden in µg/m<sup>3</sup> (Betriebsbedingungen) angegeben.

Das vorliegende Addendum enthält nun eine Beurteilung der Messeinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider 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 2018 zusätzlich eine neue Prüfung durchgeführt werden:

- Genauigkeit des Volumenstroms
- Abhängigkeit der Messspanne von der Netzspannung
- Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration

Folgende Geräte kamen für die Laboruntersuchungen zur Ermittlung der Verfahrenskenngrößen zum Einsatz:

- Klimakammer (Temperaturbereich von  $-20\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$ , Genauigkeit besser als  $1\text{ °C}$ )
- Trennstelltrafo
- 1 Massendurchflussmesser Model 4043 (Hersteller: TSI)
- 1 Referenzdurchflussmesser vom Typ BIOS Met Lab 500 (Hersteller: Mesa Lab)
- Nullfilter zur externen Nullpunktsüberprüfung
- Referenzfolien

Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte geräteintern. Die gespeicherten Messwerte wurden via RS232-Schnittstelle mittels Hyperterminal 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 1512361

Gerät 2: SN 1512401

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 PM2.5 gemäß Punkt 5
- 1 Gasuhr, trockene Bauart
- 1 Massendurchflussmesser Model 4043 (Hersteller: TSI)
- Messgerät zur Erfassung der Leistungsaufnahme Metratester 5 (Hersteller: Fa. Gosson Metrawatt)
- Nullfilter zur externen Nullpunktsüberprüfung
- Referenzfolien

Im Feldtest liefen jeweils für 24 h zeitgleich zwei F-701-20 -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 wurden in der Prüfung ca. alle 2 Wochen gereinigt und mit Silikonfett eingefettet, um eine sichere Trennung und Abscheidung der Partikel zu gewährleisten. Die PM<sub>2,5</sub> Probenahmeköpfe der Prüflinge wurden ca. alle 4 Wochen gereinigt. Der Probenahmekopf muss prinzipiell nach den Anweisungen des Herstellers gesäubert werden, wobei die örtlichen Schwebstaubkonzentrationen in Betracht zu ziehen sind.

Bei den Prüflingen sowie bei den Referenzgeräten wurde der Durchfluss vor und nach jedem Standortwechsel mit einer trockenen Gasuhr bzw. mit einem Massendurchflussmesser, 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 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	Bonn, Straßenkreuzung, Winter	02/2013 – 05/2013	Verkehrseinfluss
2	Bornheim, Autobahnparkplatz, Sommer	05/2013 – 07/2013	Ländliche Struktur + Verkehrseinfluss
3	Köln, Parkplatzgelände, Herbst	09/2013 – 12/2013	Städtischer Hintergrund
4	Köln, Parkplatzgelände, Winter	01/2014 – 03/2014	Städtischer Hintergrund

Abbildung 11 bis Abbildung 14 zeigen den Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen an den Feldteststandorten, die mit den Referenzmesseinrichtungen aufgenommen wurden.

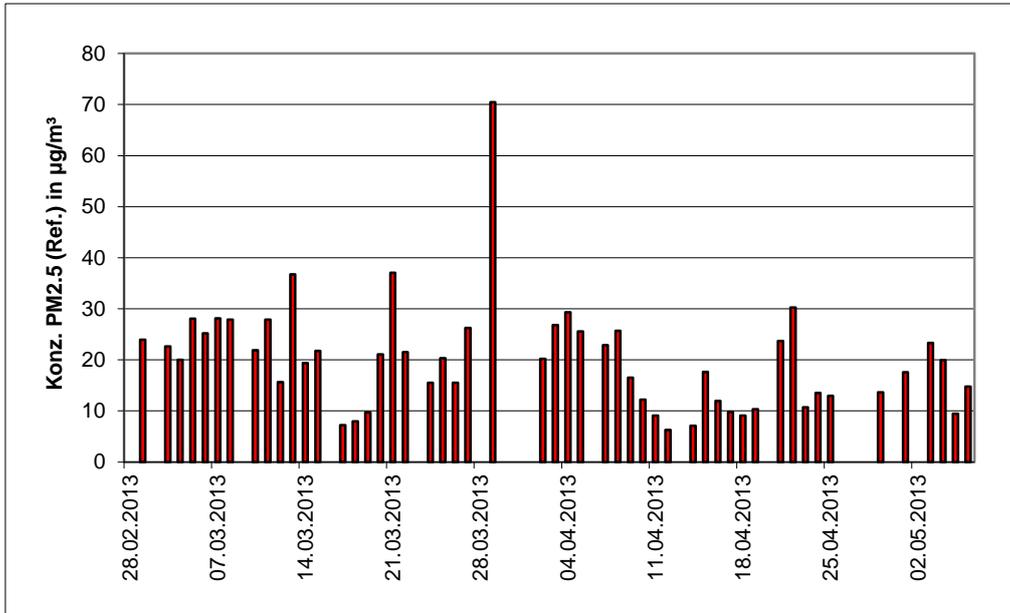


Abbildung 11: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Bonn, Straßenkreuzung, Winter“

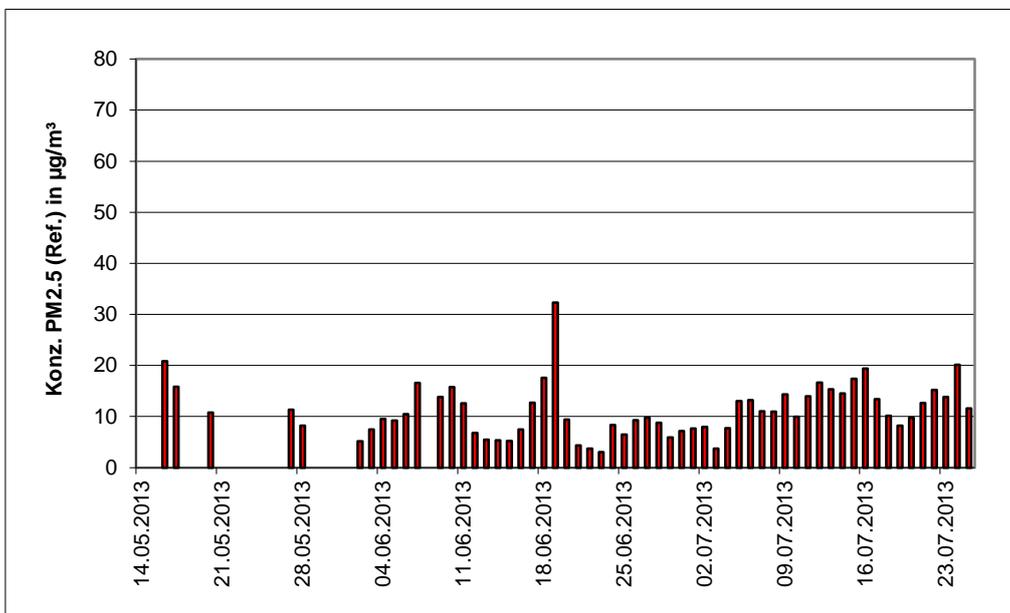


Abbildung 12: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Bornheim, Autobahnparkplatz, Sommer“

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

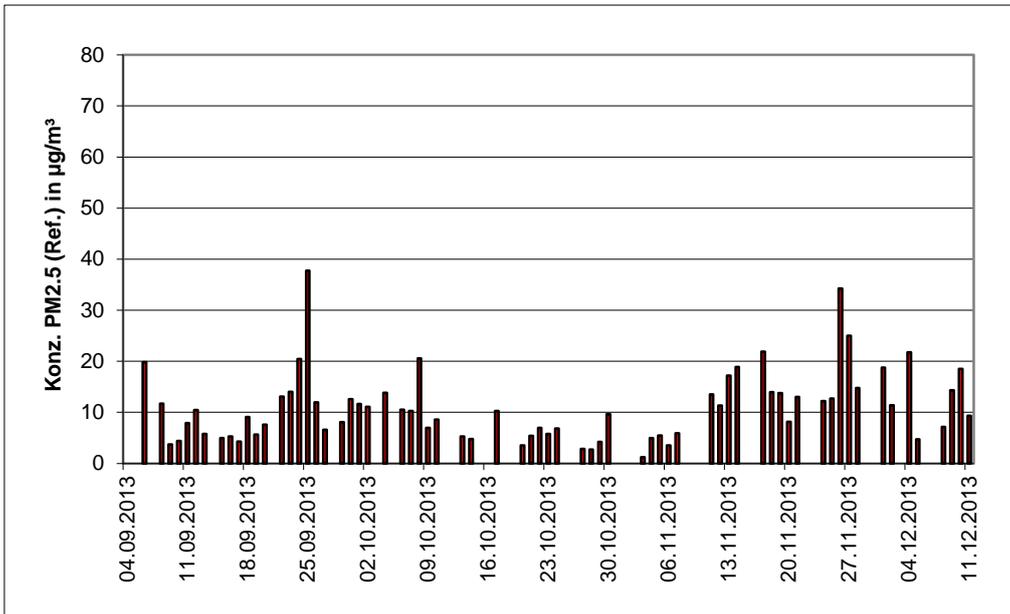


Abbildung 13: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände, Herbst“

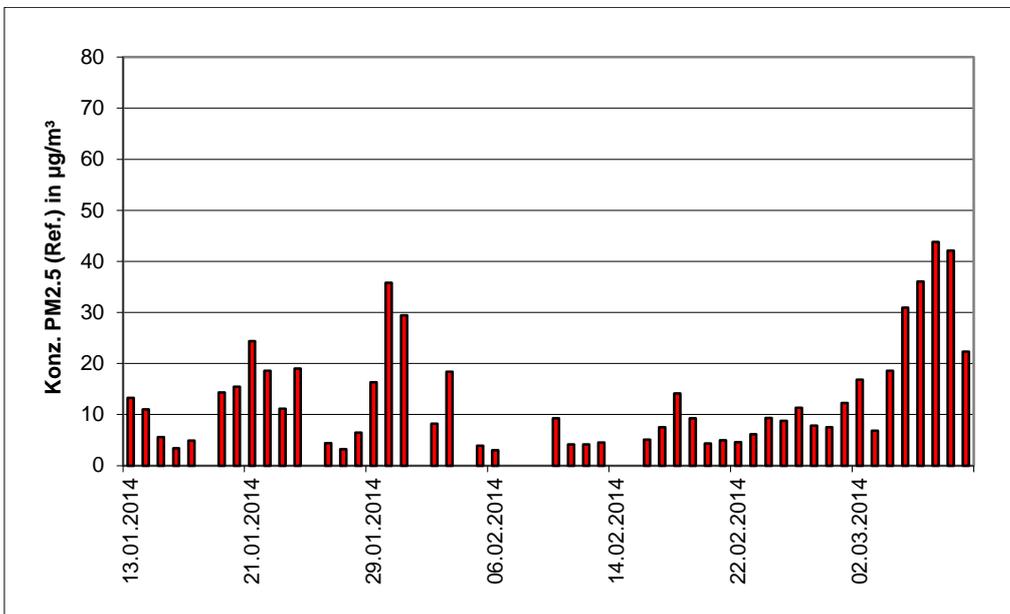


Abbildung 14: Verlauf der PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen (Referenz) am Standort „Köln, Parkplatzgelände, Winter“

Die folgenden Abbildungen zeigen den Messcontainer an den Feldteststandorten, Bonn (Straßenkreuzung), Bornheim (Autobahnparkplatz) und Köln (Parkplatzgelände).



Abbildung 15: Feldteststandort Bonn, Straßenkreuzung



Abbildung 16: Feldteststandort Bornheim, Autobahnparkplatz

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 41 von 140



Abbildung 17: Feldteststandort Köln, Parkplatzgelände

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 sowie die Anordnung der Probenahmesonden wurden durch die folgenden Abmessungen charakterisiert:

- Höhe Containerdach: 2,50 m
- Höhe der Probenahme für Test-/Referenzgerät: 0,50 m / 0,51 m über Containerdach
- Referenzgerät: 3,00 / 3,01 m über Grund
- Höhe der Windfahne: 4,5 m über Grund

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

	Bonn, Straßenkreuzung Winter	Bornheim, Autobahn- parkplatz, Sommer	Köln, Parkplatzgelände Herbst	Köln, Parkplatzgelände Winter
Anzahl Wertepaare Referenz	51	58	68	47
<b>Anteil PM<sub>2,5</sub> an PM<sub>10</sub> [%]</b>				
Bereich	42,2 – 96,5	39,1 – 84,6	28,6 – 90,7	32,0 – 90,9
Mittelwert	70,5	60,5	61,7	68,8
<b>Lufttemperatur [°C]</b>				
Bereich	-3,4 – 20,0	6,4 – 27,6	1,1 – 25,5	2,5 – 13,1
Mittelwert	8,0	17,7	10,9	6,5
<b>Luftdruck [hPa]</b>				
Bereich	985 – 1018	989 – 1020	986 – 1027	984 – 1022
Mittelwert	1004	1008	1008	1000
<b>Rel. Luftfeuchte [%]</b>				
Bereich	42,8 – 85,8	52,2 – 89,1	56,3 – 89,8	46,8 – 87,2
Mittelwert	63,0	69,2	79,5	74,4
<b>Windgeschwindigkeit [m/s]</b>				
Bereich	0,4 – 4,2	0,2 – 4,7	0,0 – 2,5	0,0 – 3,0
Mittelwert	1,6	1,4	0,4	0,7
<b>Niederschlagsmenge [mm/d]</b>				
Bereich	0,0 – 13,2	0,0 – 34,6	0,0 – 35,8	0,0 – 18,9
Mittelwert	0,9	3,3	3,4	1,7

### Dauer der Probenahmen

DIN EN 14907 [3] legte die Probenahmedauer auf 24 h ± 1 h fest.

Im Feldtest wurde immer eine Probenahmezeit von 24 h für alle Geräte eingestellt (von 10:00 – 10:00 Uhr (Köln) und von 7:00 – 7:00 Uhr (Bonn, Bornheim)).

### Handhabung der Daten

Die ermittelten Messwertpaare 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 werden, bis der kritische Wert der Prüfgröße unterschritten wurde. Die Version des Leitfadens [4] vom Januar 2010 verlangt, dass nur 2,5 % der Datenpaare als Ausreißer ermittelt und entfernt werden dürfen.

Für die Prüflinge werden prinzipiell keine Messwerte verworfen, es sei denn, es liegen begründbare technische Ursachen für unplausible Werte vor. Es wurden in der gesamten Prüfung keine Messwerte der Prüflinge verworfen.

Die statistischen Ausreißertests nach Grubbs (99 %) ergaben für keinen Standort als signifikante Ausreißer erkannte Messwertpaare. Somit wurden auch für die Referenzmessung für PM<sub>2,5</sub> keine Messwertpaare verworfen.

### Filterhandling - Massenbestimmung

Folgende Filter wurden in der Eignungsprüfung verwendet:

Tabelle 6: Eingesetzte Filtermaterialien

Messgerät	Filtermaterial, Typ	Hersteller
Referenzgeräte LVS3	Emfab™, Ø 47 mm	Pall

Die Behandlung der Filter entspricht den Anforderungen der DIN EN 14907.

Die Verfahren zur Behandlung der Filter und zur Wägung sind im Detail im Anhang 2 zu diesem Bericht beschrieben.

## 5. Referenzmessverfahren

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

1. als Referenzgerät PM<sub>2,5</sub>: Kleinfiltergerät Low Volume Sampler LVS3  
Hersteller: Ingenieurbüro Sven Leckel, Leberstraße 63, Berlin, Deutschland  
Herstelldatum: 2007 und 2010  
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

An der Messeinrichtung kann ein Messbereich bis maximal 0 – 10.000 µg/m<sup>3</sup> eingestellt werden, standardmäßig ist ein Messbereich von 0 – 1.000 µg/m<sup>3</sup> eingestellt.

Als zweckmäßige Standardeinstellung des Analogausgangs für europäische Verhältnisse wird ein Messbereich 0 – 200 oder 0 - 1.000 µg/m<sup>3</sup> empfohlen.

(empfohlener) Messbereich: 0 – 200 oder 0 - 1.000 µg/m<sup>3</sup>

### 6.5 Bewertung

Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0 – 1.000 µg/m<sup>3</sup> eingestellt. Andere Messbereiche bis zu 0 – 10.000 µg/m<sup>3</sup> sind möglich.

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.

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 47 von 140

### 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

Nullfilter 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 1512361 und SN 1512401 durch den Betrieb der Messeinrichtung mit jeweils an beiden Messgeräteeinlässen installiertem Null-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  $0,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und die Nachweisgrenze zu maximal  $1,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Mindestanforderung erfüllt? ja



## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 7: Nullniveau und Nachweisgrenze PM<sub>2,5</sub>

		Gerät SN 1512401	Gerät SN 1512361
Anzahl der Werte n		15	15
Mittelwert der Leerwerte (Nullniveau) $\bar{x}_0$	µg/m <sup>3</sup>	0,28	0,34
Standardabweichung der Werte $s_{x_0}$	µg/m <sup>3</sup>	0,31	0,35
Nachweisgrenze x	µg/m <sup>3</sup>	<b>1,01</b>	<b>1,15</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 bereitgestellt.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Messeinrichtungen vom Typ F-701-20 arbeiten mit einer Durchflussrate von 16,67 l/min (1 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 -1,53 %.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Ergebnisse der Durchflussmessungen bei den zulässigen Umgebungstemperaturen sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Genauigkeit des Volumenstroms bei +5 °C und +40 °C

		Gerät SN 1274509	Gerät SN 1274510
Sollwert Durchflussrate	l/min	16,67	16,67
Mittelwert bei 5°C	l/min	16,43	16,41
Abw. vom Sollwert	%	-1,44	-1,53
Mittelwert bei 40°C	l/min	16,91	16,90
Abw. vom Sollwert	%	1,44	1,36

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**

Die Messeinrichtungen vom Typ F-701-20 arbeiten mit einer Durchflussrate von 16,67 l/min (1 m<sup>3</sup>/h).

Der Probenahmestrom wurde vor dem ersten Feldteststandort kalibriert und dann vor den Feldteststandorten mit Hilfe eines Massendurchflussmessers auf Korrektheit überprüft und falls erforderlich nachjustiert.

Um die Konstanz des Probenahmestroms zu ermitteln, wurde die Durchflussrate über 24 h im Feld mit Hilfe eines Massendurchflussmessers aufgezeichnet und ausgewertet.

## **6.4 Auswertung**

Aus den ermittelten Messwerten für den Durchfluss wurden Mittelwert, Standardabweichung sowie Maximal- und Minimalwert bestimmt.

## 6.5 Bewertung

Die Ergebnisse der vor den Feldteststandorten durchgeführten Überprüfungen der Durchflussrate sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Ergebnisse Kontrolle Durchflussrate

Durchflussüberprüfung vor Standort:	SN 1512361		SN 1512401	
	[l/min]	Abw. vom Soll [%]	[l/min]	Abw. vom Soll [%]
Bonn, Winter	16,67*	-	16,67*	-
Bornheim, Sommer	16,69	0,12	16,72	0,30
Köln, Herbst	16,35	-1,92	16,42	-1,50
Köln, Winter	16,58	-0,54	16,68	0,06

\* Justiert am 27.02.2013

Die grafischen Darstellungen der Konstanz des Durchflusses 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 16,67 l/min sind ebenfalls deutlich 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 10 sind die ermittelten Kenngrößen für den Durchfluss aufgeführt. Abbildung 18 bis Abbildung 19 zeigen eine grafische Darstellung der Durchflussmessungen an den beiden Testgeräten SN 1512361 und SN 1512401.

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Tabelle 10: Kenngrößen für die Gesamtdurchflussmessung (24h-Mittel), SN 1512361 & SN 1512401

		Gerät SN 1512361	Gerät SN 1512401
Mittelwert	l/min	16,66	16,64
Abw. vom Sollwert	%	-0,05	-0,20
Standardabweichung	l/min	0,12	0,12
Minimalwert	l/min	16,27	16,18
Maximalwert	l/min	17,22	17,03

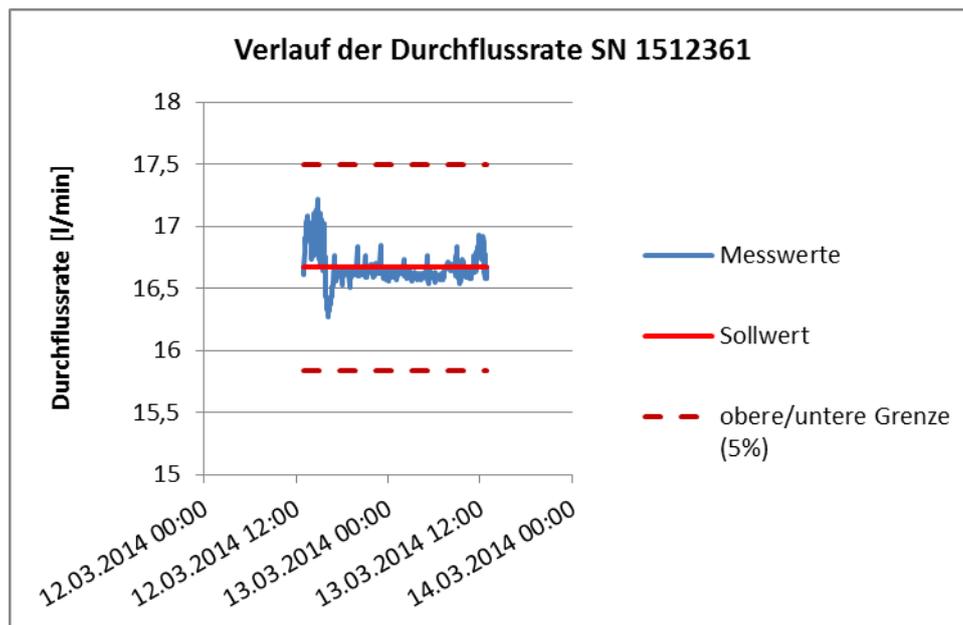


Abbildung 18: Durchfluss am Testgerät SN 1512361

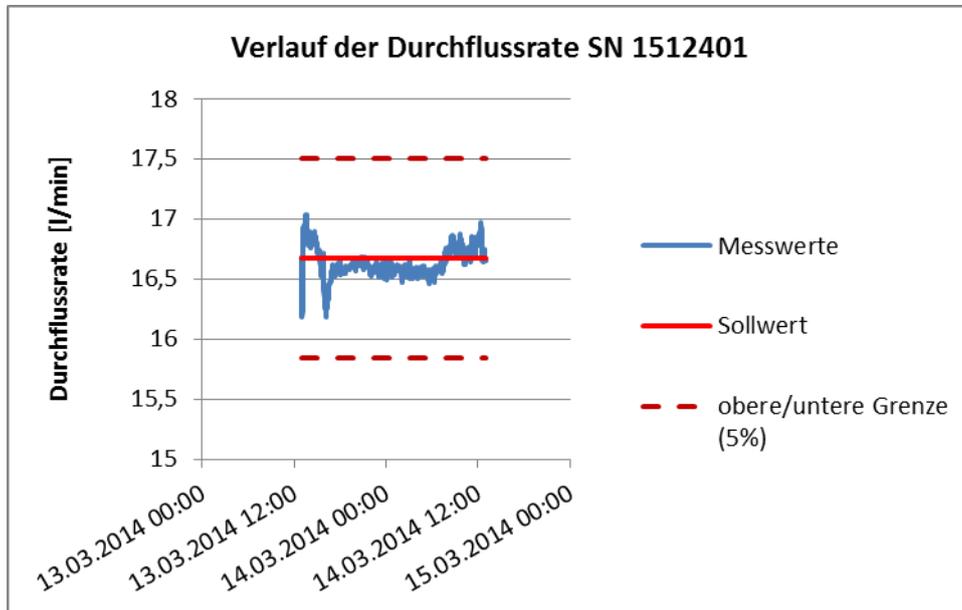


Abbildung 19: Durchfluss am Testgerät SN 1512401

## 6.1 6 Dichtheit 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

Bei dieser Mindestanforderung nicht notwendig.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Der Durchflusssensor der Messeinrichtung F-701-20 ist unmittelbar vor der Pumpe angeordnet. Um die Leckrate der Messeinrichtung zu bestimmen, wird gemäß Kapitel 5.3.3 des Handbuchs das Gerät gestartet und nach Erreichen der Solldurchflussrate von 1000 l/h der Eingang des Probenahmerohres z.B. mit dem Daumen oder einem Stopfen abgedichtet. Die vom Gerät gemessene Durchflussrate muss dann gemäß Herstellerangaben unter 10 l/h, idealerweise auf 0 l/h absinken.

Diese Prozedur wurde jeweils zu Beginn eines jeden Feldteststandorts durchgeführt.

Es wird empfohlen, die Dichtigkeit der Messeinrichtung mit Hilfe der beschriebenen Prozedur alle 3 Monate vor der regelmäßigen Durchflussüberprüfung zu überprüfen.

## 6.4 Auswertung

Die Dichtigkeitsprüfung wurde jeweils zu Beginn eines jeden Feldteststandorts durchgeführt.

Das vom Gerätehersteller vorgegebene Kriterium zum Bestehen der Dichtigkeitsprüfung – Durchfluss maximal 10 l/h bei blockiertem Einlass - erwies sich in der Prüfung als geeignete Kenngröße zur Überwachung der Gerätedichtigkeit.

Die maximal ermittelte Leckrate von 1 l/h ist kleiner als 2,0 % von der nominalen Durchflussrate von 1000 l/h (16,67 l/min).

## 6.5 Bewertung

Das vom Gerätehersteller vorgegebene Kriterium zum Bestehen der Dichtigkeitsprüfung – Durchfluss maximal 10 l/h bei blockiertem Einlass - erwies sich in der Prüfung als geeignete Kenngröße zur Überwachung der Gerätedichtigkeit.

Die maximal ermittelte Leckrate von 1 l/h ist kleiner als 2,0 % von der nominalen Durchflussrate von 1000 l/h (16,67 l/min).

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 11 enthält die ermittelten Werte aus der Dichtigkeitsprüfung.

Tabelle 11: Ergebnisse der Dichtigkeitsprüfungen im Feldtest

Dichtigkeitsüberprüfung vor	SN 1512361		SN 1512401	
	Soll [l/h]	Ist [l/h]	Soll [l/h]	Ist [l/h]
Standort:				
Bonn, Winter	< 10	0	< 10	0
Bornheim, Sommer	< 10	1	< 10	0
Köln, Herbst	< 10	0	< 10	0
Köln, Winter	< 10	0	< 10	0

## 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, Nullfilter zur Nullpunktüberprüfung.

## 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  $T_{S,2} = 40 \text{ °C}$ .

Zur Untersuchung der Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur wurden die vollständigen Messeinrichtungen in der Klimakammer betrieben.

Für die Nullpunktuntersuchungen wurde den Testgeräten durch Montage von Null-Filtern am Geräteinlass schwebstaubfreie Probenluft zugeführt.

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 ca. 24 h pro Temperaturstufe erfolgte die Aufnahme der Messwerte am Nullpunkt (3 Messwerte pro Temperaturstufe).

## 6.4 Auswertung

Es wurden die Messwerte für die Konzentration der jeweiligen Einzelmessungen ausgelesen 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. Bei Betrachtung der vom Gerät ausgegebenen Werte konnte ein maximaler Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Nullpunkt von -1,0 µg/m<sup>3</sup> festgestellt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 12: Abhängigkeit des Nullpunktes von der Umgebungstemperatur, F-701-20, Abweichung in µg/m<sup>3</sup>, Mittelwert aus drei Messungen, SN 1512361 & SN 1512401

Temperatur	SN 1512361		SN 1512401	
	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	0,7	0,1	0,3	0,0
5	0,8	0,1	-0,1	-0,4
20	0,8	0,2	0,3	0,0
40	-0,3	-1,0	-0,2	-0,5
20	0,4	-0,2	0,3	0,0
Mittelwert bei 20°C	0,7	-	0,3	-

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, 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 Umgebungstemperatur wurden die vollständigen Messeinrichtungen in der Klimakammer betrieben.

Für die Referenzpunktuntersuchungen wurde bei den Testgeräten SN 1512361 und SN 1512401 zur Überprüfung der Stabilität der Empfindlichkeit der Referenzfolienmesswert überprüft.

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

Es wurden die Messwerte für die Referenzfolien 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 > -1,9 % ermittelt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 13: Abhängigkeit der Empfindlichkeit (Referenzfolie) von der Umgebungstemperatur, F-701-20, Abweichung in %, Mittelwert aus drei Messungen, SN 1512361 & SN 1512401

Temperatur	SN 1512361		SN 1512401	
	Messwert	Abweichung zu mittlerem Messwert bei 20°C	Messwert	Abweichung zu mittlerem Messwert bei 20°C
°C	[µg]	%	[µg]	%
20	291,0	0,4	274,3	1,6
5	289,0	-0,3	270,0	0,0
20	294,0	1,5	267,3	-1,0
40	284,3	-1,9	266,0	-1,5
20	284,3	-1,9	268,7	-0,5
Mittelwert bei 20°C	289,8	-	270,1	-

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, Referenzfolie 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 1274509 und SN 1274510 zur Überprüfung der Stabilität der Empfindlichkeit der Referenzfolienmesswert überprüft.

## 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 > 2,3 %, bezogen auf den Startwert von 230 V, festgestellt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 14 zeigt eine zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse.

Tabelle 14: Abhängigkeit des Messwertes von der Netzspannung, Abweichung in %, SN 1274509 & SN 1274510

Netzspannung	SN 1274509		SN 1274510	
	Messwert	Abweichung zu Startwert bei 230 V	Messwert	Abweichung zu Startwert bei 230 V
V	[µg]	%	[µg]	%
230	320,3	-	333,3	-
195	324,3	1,2	330,7	-0,8
230	326,3	1,9	332,7	-0,2
253	326,3	1,9	337,7	1,3
230	327,7	2,3	338,7	1,6

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

Im Falle eines Netzausfalles startet die Messeinrichtung mit Erreichen des Startzeitpunkts für den nächsten Messzyklus (in der Eignungsprüfung nach Erreichen der nächsten vollen Stunde) selbstständig wieder den Messbetrieb.

## 6.5 Bewertung

Alle Geräteparameter sind gegen Verlust durch Pufferung geschützt. Die Messeinrichtung befindet sich bei Spannungswiederkehr in störungsfreier Betriebsbereitschaft und führt selbstständig mit Erreichen des Startzeitpunkts für den nächsten Messzyklus (in der Eignungsprüfung nach Erreichen der nächsten vollen Stunde) 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 1274509 und SN 1274510 wurde für die Nullpunktuntersuchungen durch Montage von Null-Filtern an jeweils beiden Geräteeinlässen schwebstaubfreie Probenluft zugeführt.

Nach der Stabilisierung der relativen Feuchte und der Konzentrationsmesswerte der AMS wurde ein Anzeigewert über einen Mittelungszeitraum von 24 h bei 40 % relativer Feuchte aufgezeichnet. Die relative Feuchte wurde dann mit einer konstanten Geschwindigkeit auf 90 % erhöht. Die Zeit bis zur Einstellung des Gleichgewichts (Rampe) und der Anzeigewert über einen Mittelungszeitraum von 24 h bei 90 % relative Feuchte wurden aufgezeichnet. Anschließend wurde die Feuchte dann mit einer konstanten Geschwindigkeit zurück auf 40 % verringert. Erneut wurden die Zeit bis zur Einstellung des Gleichgewichts (Rampe) und der Anzeigewert über einen Mittelungszeitraum von 24 h bei 40 % relative Feuchte aufgezeichnet.

## **6.4 Auswertung**

Es wurden die Messwerte für die Nullkonzentrationen der jeweils 24-stündigen Einzelmessungen bei stabilen Feuchten ausgelesen 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**

Alle ermittelten Differenzen zwischen den Messwerten bei 40 % und bei 90 % relativer Feuchte sind ≤ -1,1 µg/m<sup>3</sup>. Es konnte kein signifikanter Einfluss auf die Nullmesswerte durch verschiedene Wasserdampfkonzentrationen ermittelt werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 15: Abhängigkeit der Messwerte von der Wasserdampfkonzentration, Abweichung in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , SN 1274509 & SN 1274510

rel. Luftfeuchte	SN 1274509		SN 1274510	
	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	-1,5	-	-0,9	-
90	-0,5	1,0	-0,2	0,7
40	-1,2	-0,7	-1,3	-1,1
Maximale Abweichung	1,0		-1,1	
40 → 90*	-0,3		0,4	
90 → 40*	-1,1		-1,7	

\* 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 Gesamtzeitraum von insgesamt ca. 12 Monaten.

Die Messeinrichtungen wurden im Rahmen eines regelmäßigen Checks ca. einmal pro Monat (inkl. zu Beginn und zum Ende jedes Standortes) mit Null-Filter an den Geräteeinlässen für einen Zeitraum jeweils mindestens 24 h betrieben und die gemessenen Nullwerte ausgewertet.

## **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  $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .  
Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Tabelle 16 enthält die ermittelten Messwerte für den Nullpunkt in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

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

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 67 von 140

Tabelle 16: Nullpunktprüfungen SN 1512361 & SN 1512401, PM<sub>2,5</sub>, mit Nullfilter

Datum	SN 1512361		Datum	SN 1512401	
	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>	
28.02.2013	0,1	ok	28.02.2013	1,0	ok
30.03.2013	0,5	ok	30.03.2013	0,7	ok
31.03.2013	1,0	ok	31.03.2013	0,4	ok
01.04.2013	0,5	ok	01.04.2013	0,4	ok
26.04.2013	0,8	ok	26.04.2013	0,3	ok
27.04.2013	0,3	ok	27.04.2013	0,6	ok
28.04.2013	1,8	ok	28.04.2013	1,6	ok
14.05.2013	0,9	ok	14.05.2013	0,6	ok
15.05.2013	0,8	ok	15.05.2013	0,6	ok
22.06.2013	1,2	ok	22.06.2013	0,8	ok
23.06.2013	0,6	ok	23.06.2013	1,4	ok
26.07.2013	1,8	ok	26.07.2013	-0,1	ok
04.09.2013	0,7	ok	04.09.2013	0,6	ok
16.10.2013	0,1	ok	16.10.2013	0,7	ok
08.11.2013	0,3	ok	08.11.2013	0,4	ok
09.11.2013	0,1	ok	09.11.2013	0,2	ok
10.11.2013	0,3	ok	10.11.2013	0,2	ok
14.12.2013	0,1	ok	14.12.2013	0,6	ok
15.12.2013	0,3	ok	15.12.2013	0,3	ok
13.01.2014	0,3	ok	13.01.2014	0,0	ok
07.02.2014	0,4	ok	07.02.2014	1,0	ok
08.02.2014	0,0	ok	08.02.2014	0,4	ok
09.02.2014	0,4	ok	09.02.2014	0,3	ok
10.03.2014	0,4	ok	10.03.2014	0,6	ok

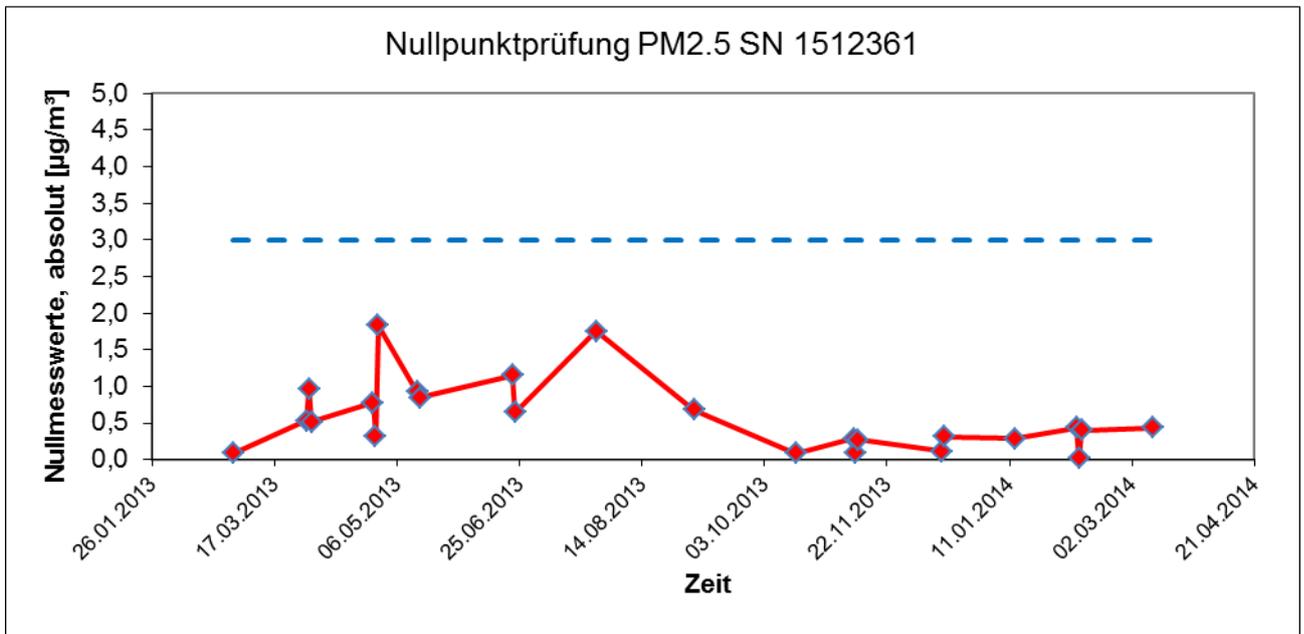


Abbildung 20: Nullpunktdrift SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

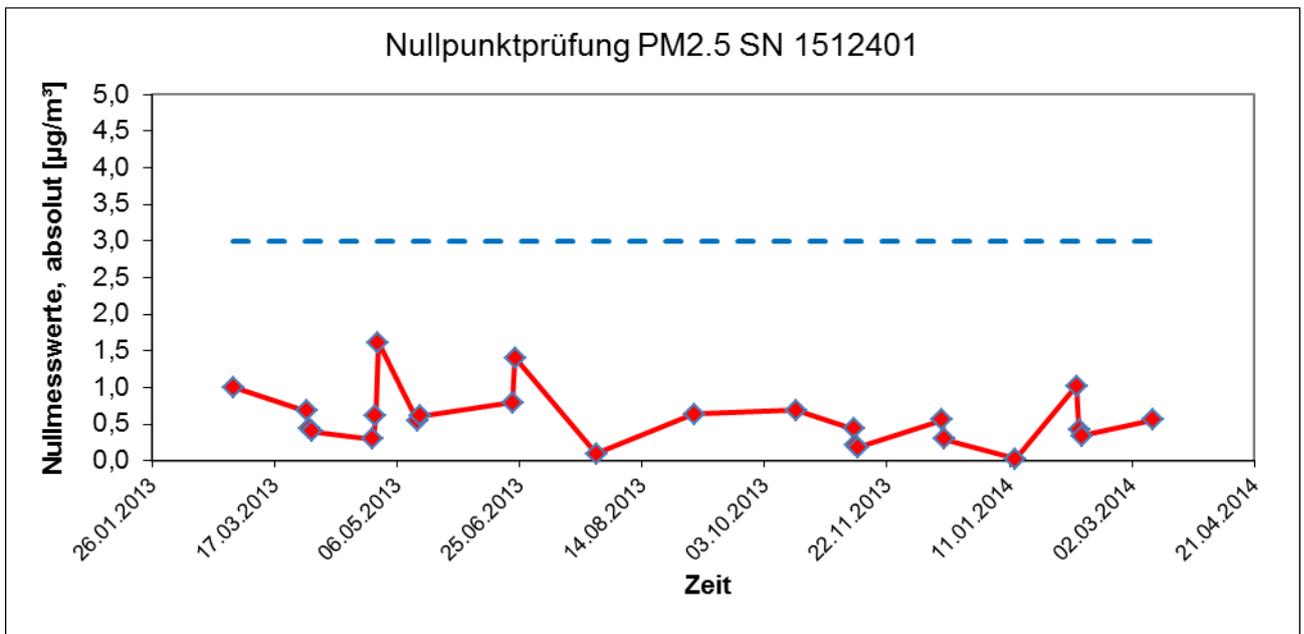


Abbildung 21: Nullpunktdrift SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

## 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

PC zur Datenerfassung.

## 6.3 Durchführung der Prüfung

Die Messeinrichtung ermöglicht eine umfassende telemetrische Kontrolle und Steuerung der Messeinrichtung u.a. über RS232- oder RS485-Schnittstelle und kann Messwerte bzw. Statusinformationen z.B. über Gesytec-Protokoll kommunizieren.

Die Übermittlung von Betriebszuständen sowie der relevanten Parameter wie z.B.

- Konzentrationsmesswert,
- Gesammeltes Volumen,
- Gesammelte Masse,
- Außenlufttemperatur, -druck, -feuchte,
- Temperatur Filterhalter,
- ....

sind möglich.

Die Parameter „Druckabfall über den Probenahmefilter“, „Probenahmedauer“ (festgelegt über Zykluszeit), und „Temperatur des Probeneinlasses“ sind nicht relevant für die Messeinrichtung bzw. werden durch andere Parameter abgebildet (z.B. festlegbare maximale Beladung eines Filterflecks).

Über entsprechende Router oder Modems ist eine Fernüberwachung- und -steuerung leicht möglich.

Im Rahmen der Eignungsprüfung erfolgte der Zugriff auf das Gerät bzw. der Datentransfer über ein Terminalprogramm.

#### **6.4 Auswertung**

Die Messeinrichtung ermöglicht eine umfassende telemetrische Kontrolle und Steuerung der Messeinrichtung über verschiedene Wege (RS232, RS485). Betriebszustände und relevante Parameter werden bereitgestellt.

#### **6.5 Bewertung**

Die Messeinrichtung ermöglicht eine umfassende telemetrische Kontrolle und Steuerung der Messeinrichtung über verschiedene Wege (RS232, RS485). 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 arbeitet mit Messzyklen zwischen 15 min und 24 h.

Die Absaugdauer bzw. die Sammelzeit entspricht der jeweils programmierten Zykluszeit und der programmierten Belegzahl abzüglich der Messzeit bzw. der Zeiten für Filterbandbewegungen. Über die Belegzahl kann eine Mehrfachbelegung eines Filterspots festgelegt werden. Sie kann zwischen 1 (=für jeden Zyklus einen neuen Filterspot) und 24 (=ein Filterspot wird 24fach belegt) parametrierbar werden.

Die Absaugdauer beträgt daher:

Für Zykluszeit 60 min und Belegzahl 1:

$$60 \text{ min} - (2 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 48 \text{ min}$$

Bei einer Belegzahl >1 dient dann die Messung nach einer Absaugung sowohl zur Kalkulation des Messwerts des abgeschlossenen Zyklus als auch als Startmessung für den nachfolgenden Zyklus, d.h. pro Zyklus ist nur eine radiometrische Messung von 300 s notwendig.

In der Eignungsprüfung war eine Zykluszeit von 60 min mit einer Belegzahl 24 parametrierbar. Die Absaugdauer beträgt dann:

$$\text{Zyklus 1: } 60 \text{ min} - (2 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 48 \text{ min}$$

$$\text{Zyklus 2-24: } 60 \text{ min} - (1 \times 300 \text{ s Messzeit} + 120 \text{ s Filterbandbewegungen}) = 53 \text{ min}$$

Die verfügbare Probenahmezeit pro Messzyklus liegt damit zwischen 80 % und 88,3 % der Gesamtzykluszeit.

Die Bildung von Tagesmittelwerten ist damit gesichert möglich.

## 6.5 Bewertung

Mit der beschriebenen Gerätekonfiguration und einem Messzyklus von 1 h bei einer Belegzahl von 24 ist die Bildung von validen Tagesmittelwerten auf Basis der 24 Messzyklen 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 (deutsche Standorte) 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 17 zeigt eine Aufstellung der Betriebs-, Wartungs- und Störungszeiten. Die Messeinrichtungen wurden im Feldtest über einen Zeitraum von insgesamt 296 Messtagen betrieben (siehe Anlage 5). Dieser Zeitraum beinhaltet insgesamt 22 Tage mit Nullfilterbetrieb, Audits sowie Tage, die durch den Wechsel auf Nullfilter verworfen werden mussten (siehe auch Anlage 5).

Bei Gerät SN 1512361 wurde auf Grund der Untersuchungen zur Feststellung der ungewöhnlichen Abweichungen zwischen beiden Prüflingen am 15.10.2013 auch der Messwert des (nicht betroffenen) Gerätes SN 1512361 durch langen Wartungsausfall verworfen.

Ausfälle durch externe Einflüsse, die nicht dem Gerät angelastet werden können, wurden zwischen dem 05.09.2013 und dem 12.09.2013 registriert. Die Messwerte beider Prüflinge mussten für den genannten Zeitraum verworfen werden, da die Durchflussrate vor der Inbetriebnahme durch eine Fehlparametrierung des Referenzdurchflussmessgerätes systematisch falsch justiert wurde. Die Durchflussraten wurden daraufhin am 12.09.2013 nochmals überprüft und korrekt justiert.

Dadurch reduziert sich die Gesamtbetriebszeit auf 288 (SN 1512361) bzw. 288 (SN 1512401) Messtage.

Es wurden folgende Gerätestörungen beobachtet:

SN 1512361:

Für dieses System wurden keine Gerätestörungen beobachtet.

SN 1512401:

Bei SN 1512401 wurde am Standort Köln, Herbst festgestellt, dass die Messwerte z.T. deutlich höher waren als bei SN 1512361 und auch höher als die ersten Referenzwerte vom Standort. Das Gerät wurde daraufhin vom Gerätehersteller am Messort am 15.10.2013 intensiv untersucht und es wurde festgestellt, dass die Abdeckfolie des Geiger-Müller-Zählrohres sehr wellig war und es dadurch zu Abweichungen kommen kann. Die Ursache für diese Störung konnte nicht ermittelt werden. Es wurde daraufhin entschieden, ein neues Geiger-Müller-Zählrohr in das Gerät einzubauen. Es wurden keine Messwerte aus der Vergangenheit verworfen, allerdings konnte am 15.10.2013 keine Messung erfolgen.

Ansonsten wurden keine weiteren Gerätestörungen beobachtet.

Die üblichen Wartungszeiten (ohne Nullfilterbetrieb) z.B. zur Pflege der Probenahmeköpfe oder zur Überprüfung der Durchflussrate / Dichtigkeit führen in der Regel zu Ausfällen von einem Messzyklus (d.h. 1 h pro Tag). Die betroffenen Tagesmittelwerte wurden daher nicht verworfen.

## 6.5 Bewertung

Die Verfügbarkeit betrug für SN 1512361 100 % und für SN 1512401 99,7 %.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 17: Ermittlung der Verfügbarkeit

		Gerät 1 (SN 1512361)	Gerät 2 (SN 1512401)
Einsatzzeit ( $t_{\text{field}}$ )	d	288	288
Ausfallzeit	d	0	1
Wartungszeit inkl. Nullfilter ( $t_{\text{cal,maint}}$ )	d	23	22
Tatsächliche Betriebszeit ( $t_{\text{valid}}$ )	d	265	265
Verfügbarkeit	%	100	99,7



## 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, 213 valide Messwertpaare für SN 1512361, 213 valide Messwertpaare für SN 1512401) liegen insgesamt 27,2 % 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 0,84 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>2,5</sub> unterhalb des geforderten Wertes von 2,5 µg/m<sup>3</sup>.

Mindestanforderung erfüllt? ja

### 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 18 führt die berechneten Werte für die Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs}$  auf. Die grafische Darstellung erfolgt in Abbildung 22 bis Abbildung 28.

Tabelle 18: Unsicherheit zwischen den Prüflingen  $u_{bs,AMS}$  für die Testgeräte SN 1512361 und SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>

Testgeräte	Standort	Anzahl Werte	Unsicherheit $u_{bs}$
SN			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>	<b>Alle Standorte</b>	<b>265</b>	<b>0,61</b>
Einzelstandorte			
SN 1512361 / SN 1512401	Bonn, Winter	61	0,62
SN 1512361 / SN 1512401	Bornheim, Sommer	67	0,45
SN 1512361 / SN 1512401	Köln, Herbst	85	0,81
SN 1512361 / SN 1512401	Köln, Winter	52	0,33
Klassierung über Referenzwerte			
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>	<b>Werte ≥ 18 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>53</b>	<b>0,84</b>
SN 1512361 / SN 1512401	Werte < 18 µg/m <sup>3</sup>	160	0,50

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

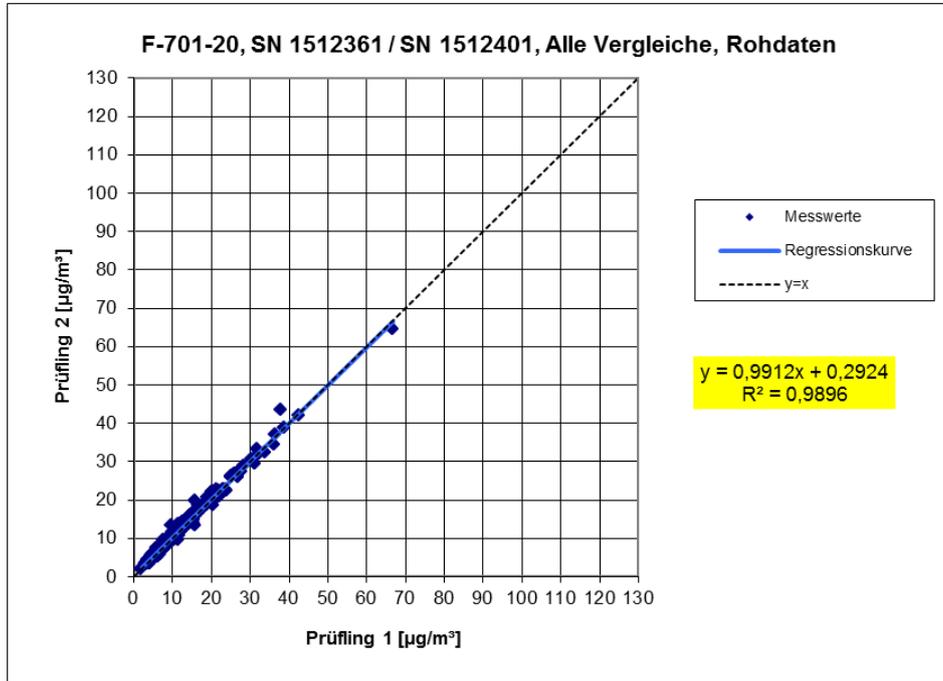


Abbildung 22: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte

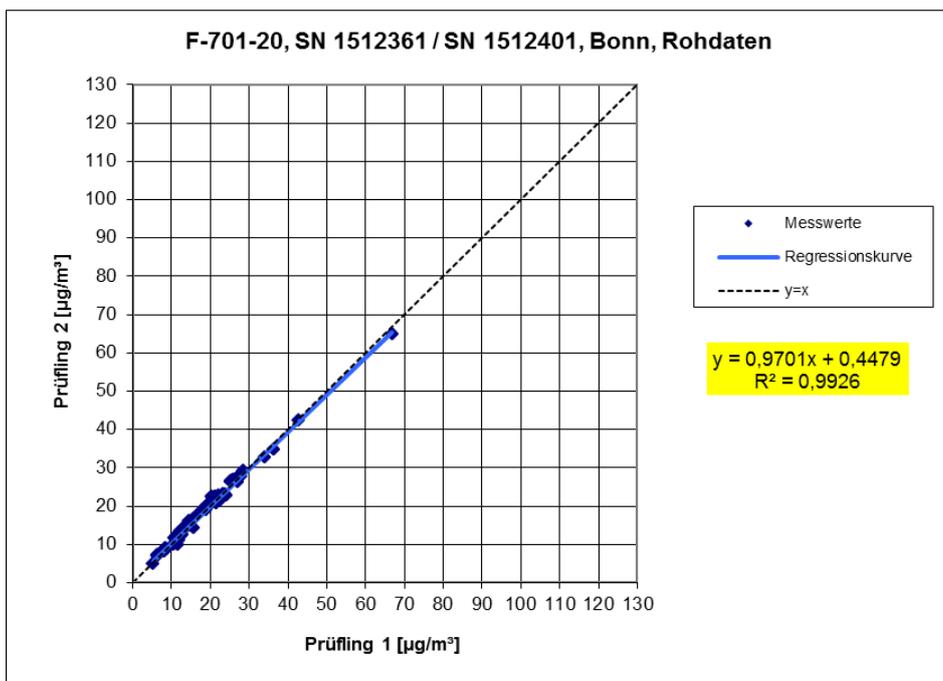


Abbildung 23: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Bonn, Winter

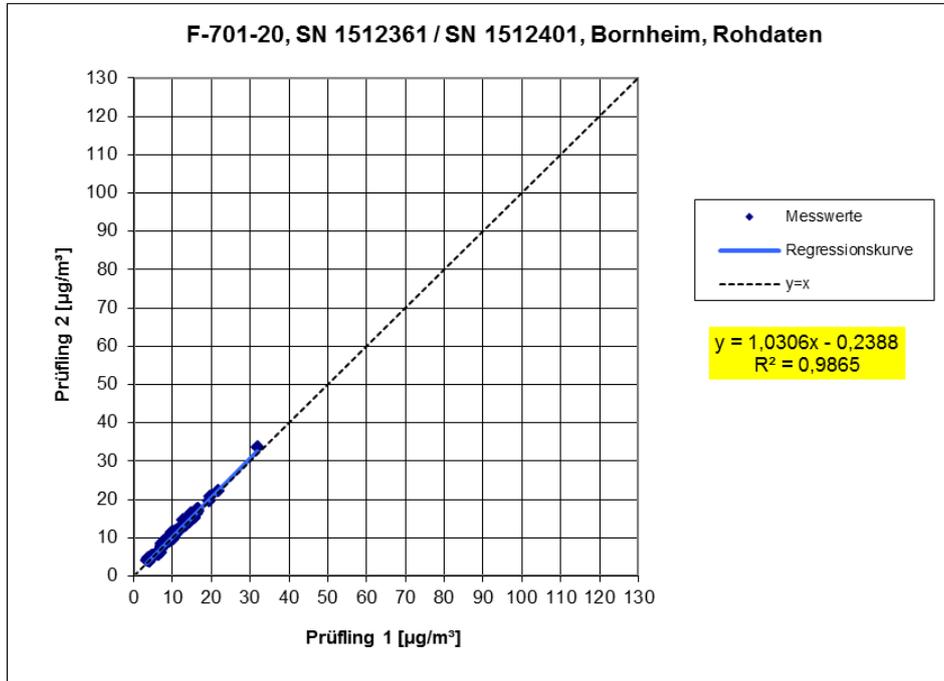


Abbildung 24: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Bornheim, Sommer

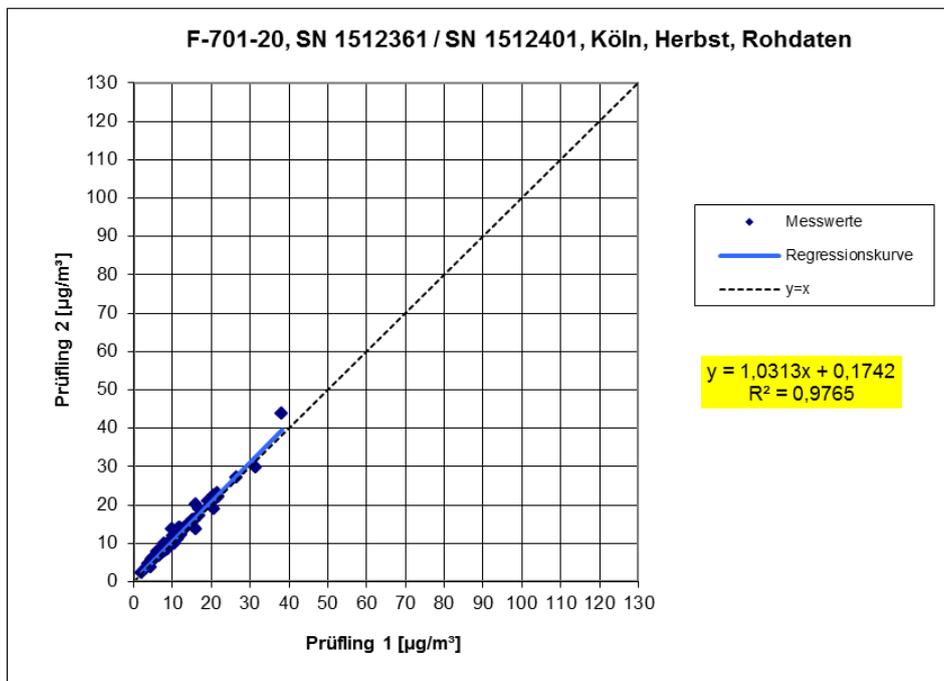


Abbildung 25: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Köln, Herbst

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 79 von 140

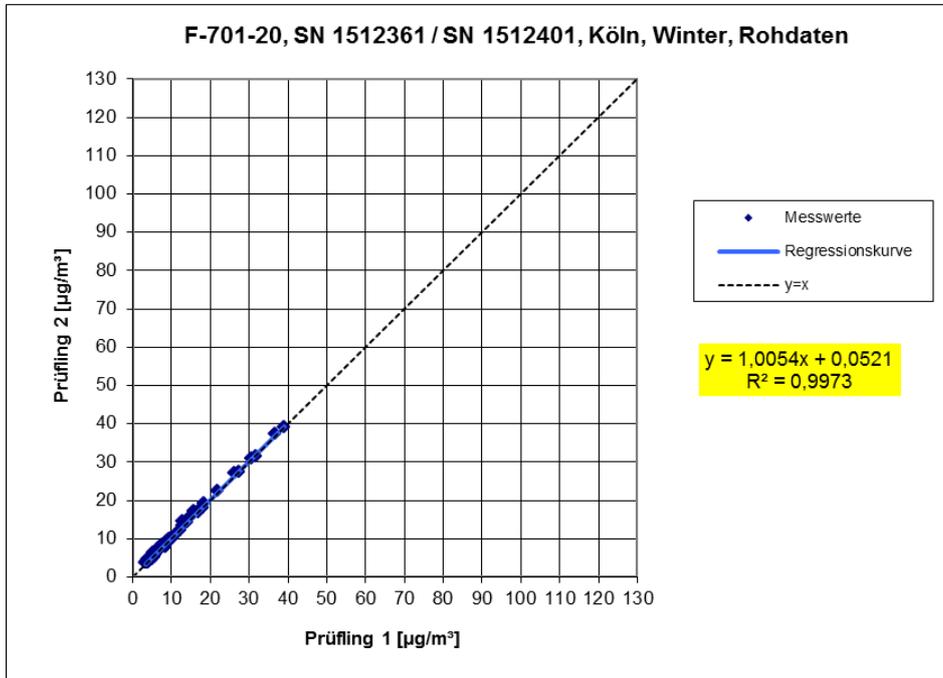


Abbildung 26: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Standort Köln, Winter

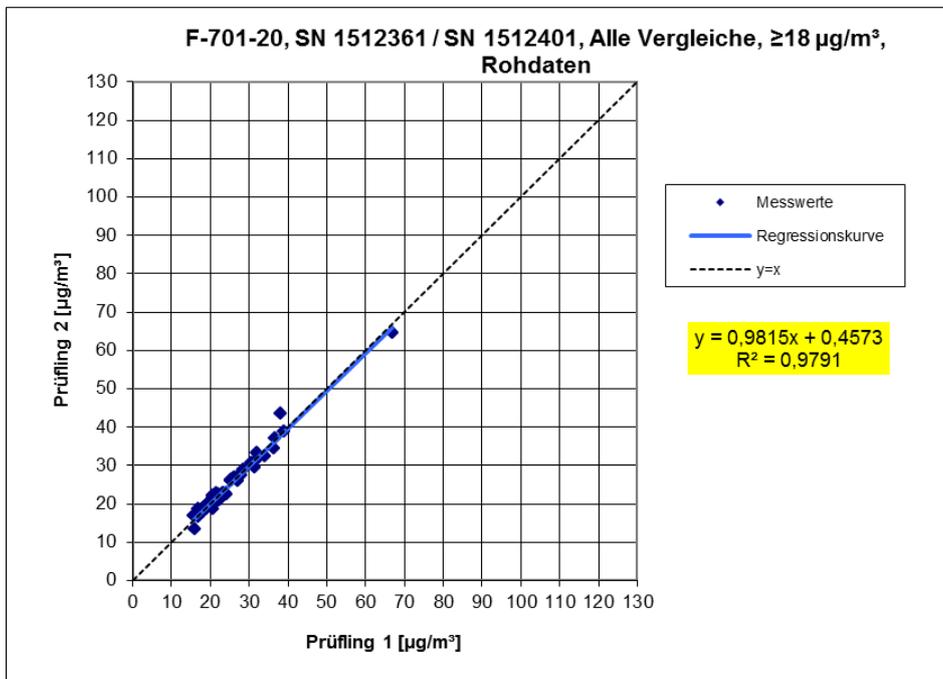


Abbildung 27: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte, Werte  $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$

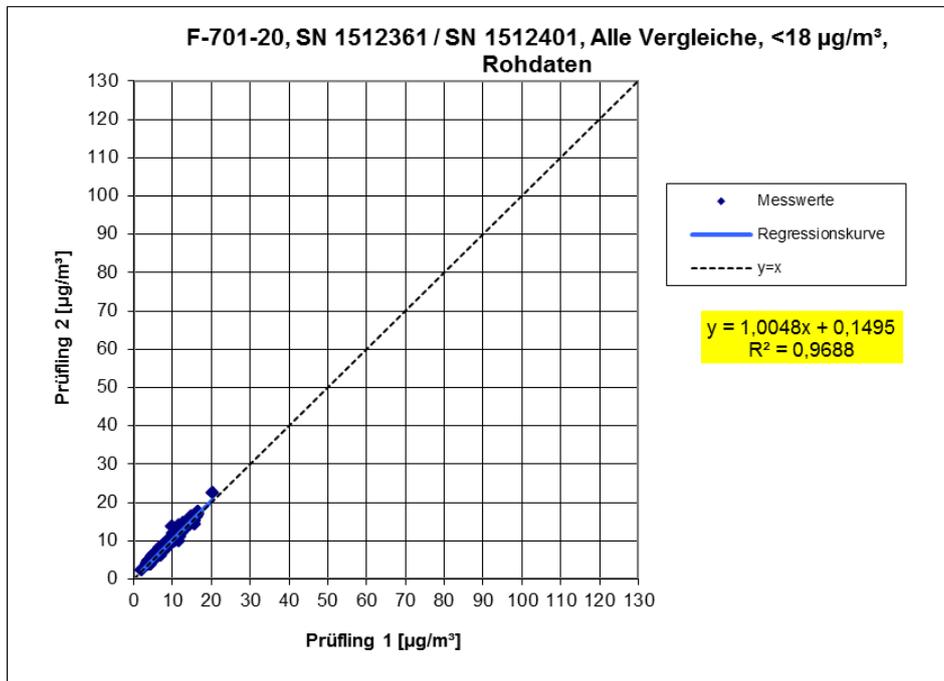


Abbildung 28: Ergebnis der Parallelmessungen mit den Testgeräten SN 1512361 / SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte, Werte < 18 µg/m³

## 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 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, 213 valide Messwertpaare für SN 1512361, 213 valide Messwertpaare für SN 1512401) liegen insgesamt 27,2 % 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<sub>2,5</sub> ≥ 18 µg/m<sup>3</sup> (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  $u_{bs,RM}/\sqrt{2}$ , wo bei  $u_{bs,RM}$  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<sub>2,5</sub> ≥ 18 µg/m<sup>3</sup> (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.

Mindestanforderung erfüllt? ja

Auf Grund der Signifikanz der Steigung und des Achsabschnitts für den Gesamtdatensatz erfolgt eine Anwendung von Korrekturfaktoren gemäß Kapitel 6.1 17 Anwendung von Korrekturfaktoren/-termen .

Nachfolgende Tabelle 19 zeigt einen Überblick über alle Ergebnisse der Äquivalenzprüfung für den Prüfling F-701-20 für PM<sub>2,5</sub>. Für den Fall, dass ein Kriterium nicht erfüllt wird, ist die entsprechende Zelle mit roter Farbe hinterlegt.

Tabelle 19: Übersicht Äquivalenzprüfung F-701-20 für PM<sub>2,5</sub>

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Richtlinie DIN EN 16450:2017				
Prüfling	F-701-20	SN	SN 1512361 / SN 1512401	
Status Messwerte	Rohdaten	Grenzwert	30	µg/m <sup>3</sup>
		erlaubte Unsicherheit	25	%
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,58			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,61			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>				
Anzahl Wertepaare	213			
Steigung b	0,917		signifikant	
Unsicherheit von b	0,009			
Achsabschnitt a	0,587		signifikant	
Unsicherheit von a	0,153			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	14,89			%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,70			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,84			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>				
Anzahl Wertepaare	53			
Steigung b	0,922			
Unsicherheit von b	0,025			
Achsabschnitt a	0,368			
Unsicherheit von a	0,700			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	16,66			%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,53			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,50			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>				
Anzahl Wertepaare	160			
Steigung b	0,936			
Unsicherheit von b	0,022			
Achsabschnitt a	0,431			
Unsicherheit von a	0,224			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	12,08			%

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 85 von 140

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Richtlinie DIN EN 16450:2017				
Prüfung	F-701-20	SN	SN 1512361 / SN 1512401	
Status	Messwerte	Rohdaten	Grenzwert	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
			erlaubte Unsicherheit	25 %
<b>Bonn</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,62	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,62	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	51		51	
Steigung b	0,925		0,903	
Unsicherheit von b	0,018		0,020	
Achsabschnitt a	0,882		1,105	
Unsicherheit von a	0,400		0,457	
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	12,32	%	15,39	%
<b>Bornheim</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,52	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,45	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	54		54	
Steigung b	1,020		1,045	
Unsicherheit von b	0,031		0,030	
Achsabschnitt a	-0,429		-0,611	
Unsicherheit von a	0,377		0,365	
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	7,13	%	8,44	%
<b>Köln, Herbst</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,65	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,81	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	62		62	
Steigung b	0,922		0,962	
Unsicherheit von b	0,021		0,029	
Achsabschnitt a	0,284		0,315	
Unsicherheit von a	0,270		0,386	
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	15,37	%	11,93	%
<b>Köln, Winter</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,49	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,33	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	46		46	
Steigung b	0,852		0,856	
Unsicherheit von b	0,010		0,009	
Achsabschnitt a	0,775		0,875	
Unsicherheit von a	0,165		0,155	
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	24,76	%	23,23	%
<b>Alle Vergleiche, <math>\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,70	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,84	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	53		53	
Steigung b	0,929		0,920	
Unsicherheit von b	0,023		0,030	
Achsabschnitt a	0,195		0,422	
Unsicherheit von a	0,629		0,85	
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	15,83	%	18,29	%
<b>Alle Vergleiche, <math>&lt; 18 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,53	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	160		160	
Steigung b	0,930		0,950	
Unsicherheit von b	0,022		0,023	
Achsabschnitt a	0,396		0,395	
Unsicherheit von a	0,233		0,236	
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	13,54	%	10,41	%
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,58	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,61	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	SN 1512361		SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	213		213	
Steigung b	0,921	signifikant	0,915	signifikant
Unsicherheit von b	0,009		0,010	
Achsabschnitt a	0,457	signifikant	0,689	signifikant
Unsicherheit von a	0,151		0,172	
Erweiterte Messunsicherheit $W_{CM}$	14,85	%	15,26	%



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: Die Steigungen und der Achsabschnitt bei der Auswertung des Gesamtdatensatzes sind für SN 1512361 und für SN 1512401 signifikant größer als erlaubt.
- Weitere: Die Auswertung des Gesamtdatensatzes für beide Prüflinge gemeinsam zeigt, dass die Messeinrichtung eine sehr gute Korrelation mit der Referenzmethode aufweist mit einer Steigung von 0,917 und einem Achsabschnitt von 0,587 bei einer erweiterten Gesamtunsicherheit von 14,9 %

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 Hafkenschied) 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 19 muss daher aufgrund der ermittelten Signifikanz bei beiden Prüflingen bei einer Korrektur der Steigung und des Achsabschnitts für PM<sub>2,5</sub> erfolgen.

Es ist an dieser Stelle zu beachten, dass die ermittelten Unsicherheiten  $W_{AMS}$  für PM<sub>2,5</sub> auch ohne Anwendung von Korrekturfaktoren für alle betrachteten Datensätze unter der festgelegten erweiterten relativen Unsicherheit  $W_{dqo}$  von 25 % für Feinstaub liegen.

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 14,9 % 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 20 zeigt einen Überblick über die Unsicherheiten zwischen den Referenzgeräten  $u_{bs, RM}$  aus den Felduntersuchungen.

Tabelle 20: 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	Bonn, Winter	51	0,62
1 / 2	Bornheim, Sommer	54	0,52
1 / 2	Köln, Herbst	62	0,65
1 / 2	Köln, Winter	46	0,49
1 / 2	Alle Standorte	213	0,58

Die Unsicherheit zwischen den Referenzgeräten  $u_{bs, RM}$  ist an allen Standorten  $< 2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

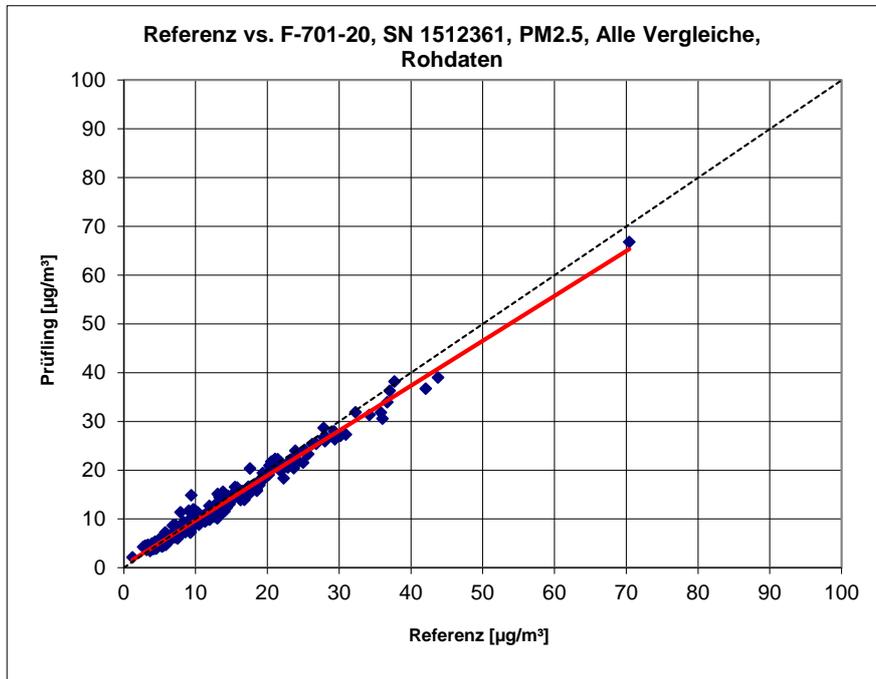


Abbildung 29: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte

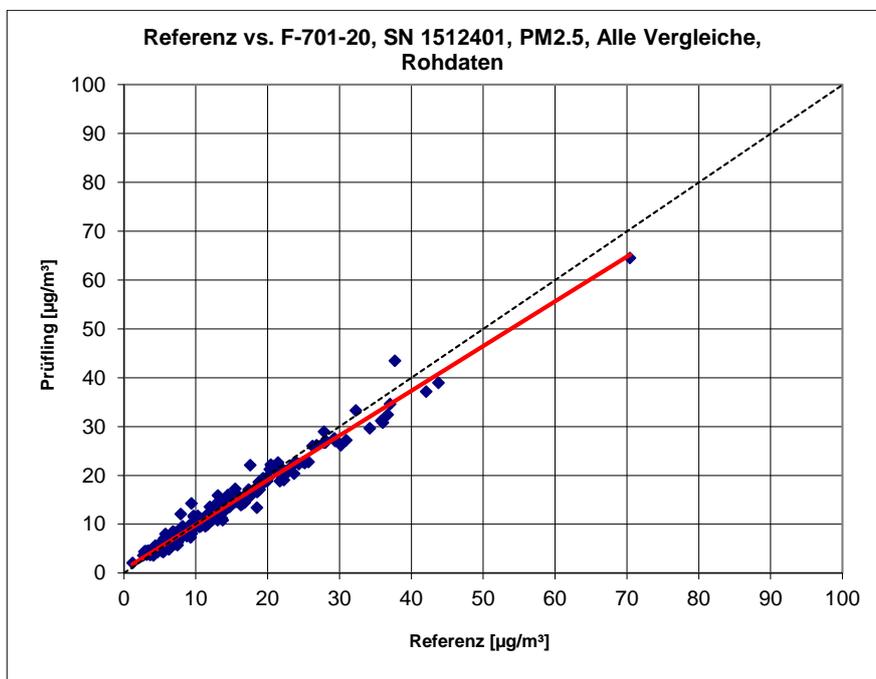


Abbildung 30: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, alle Standorte

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

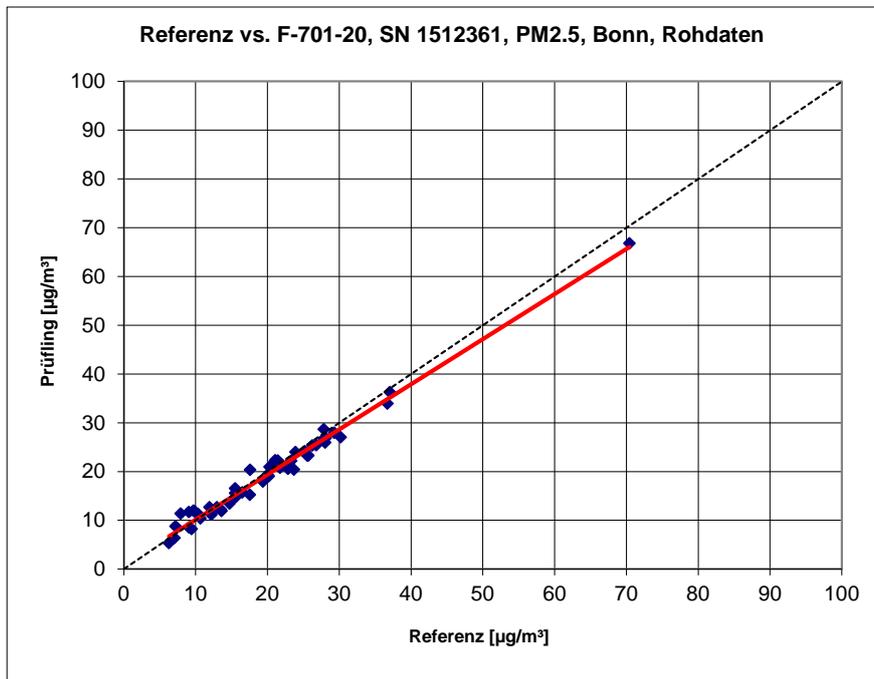


Abbildung 31: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Bonn, Winter

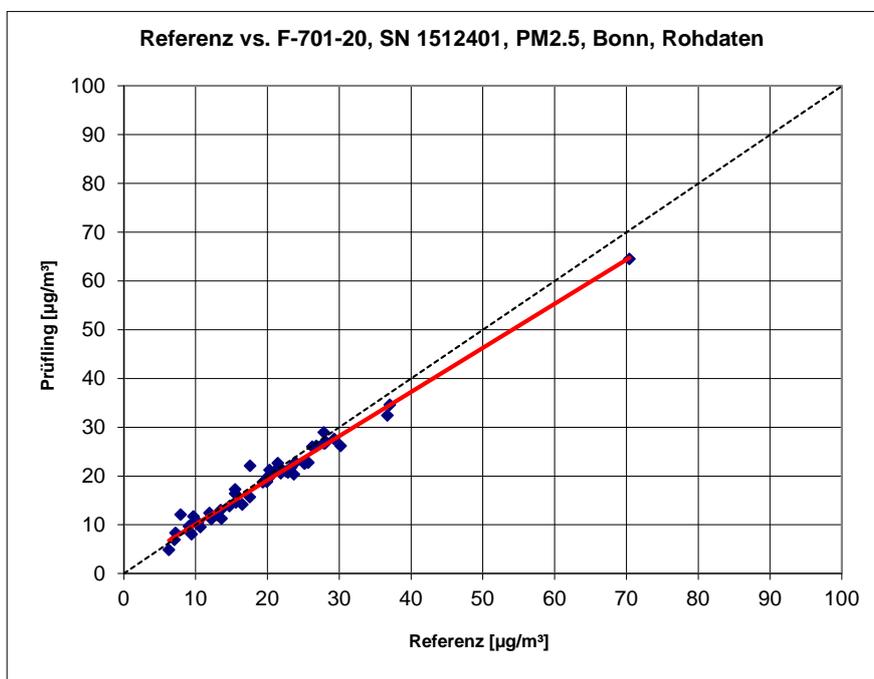


Abbildung 32: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Bonn, Winter

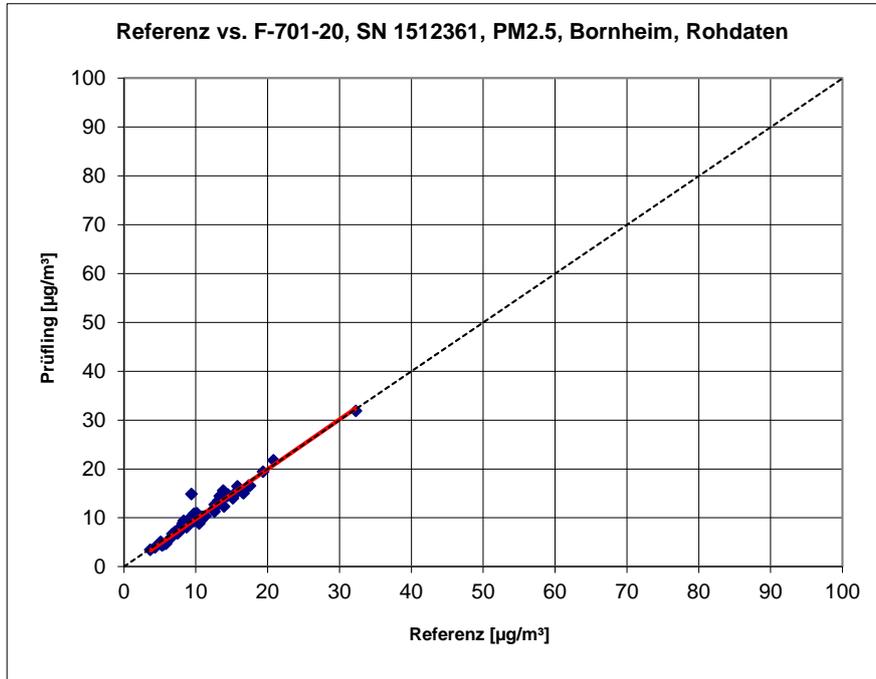


Abbildung 33: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Bornheim, Sommer

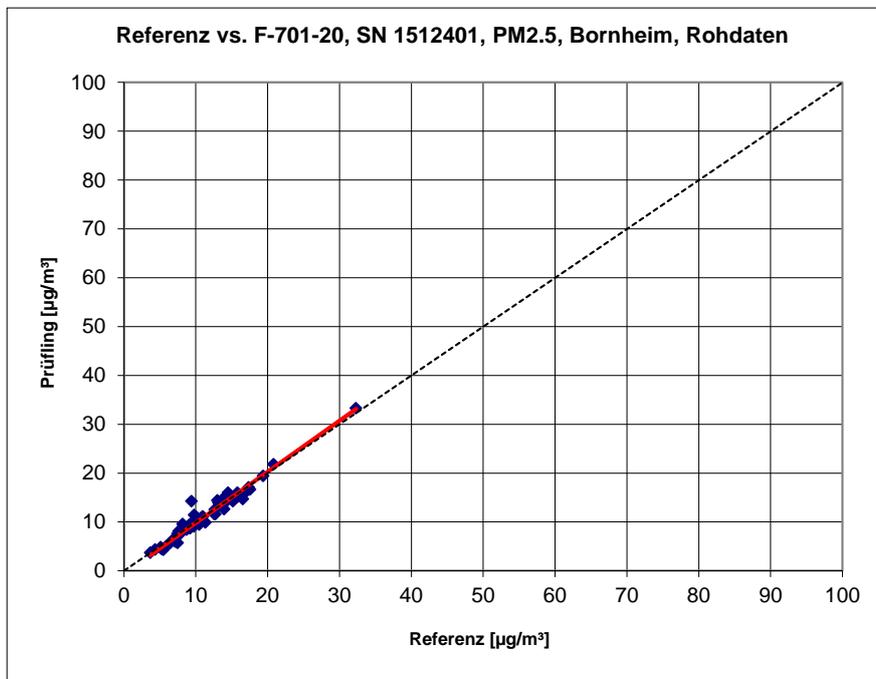


Abbildung 34: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Bornheim, Sommer

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 91 von 140

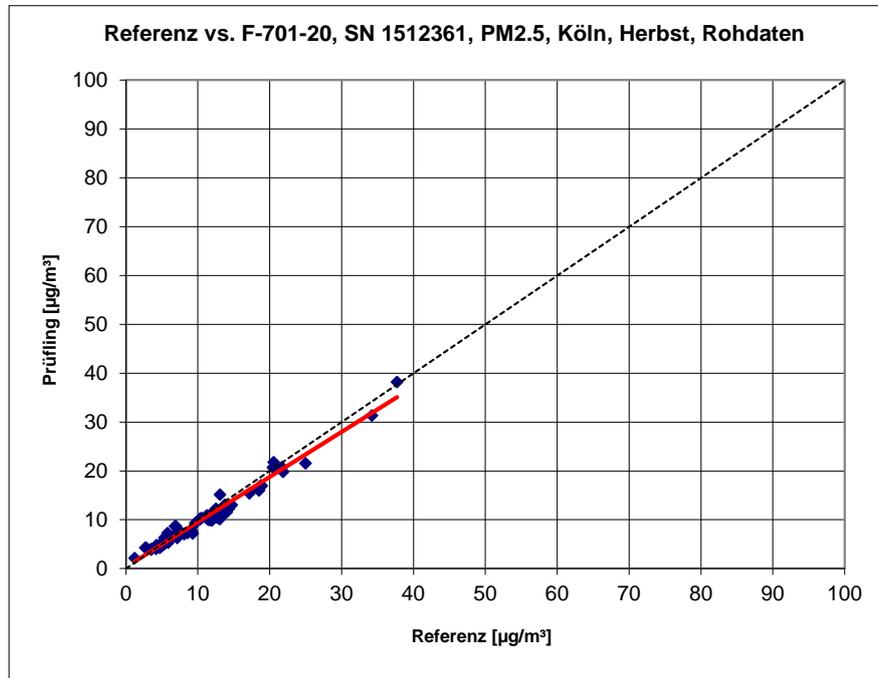


Abbildung 35: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Herbst

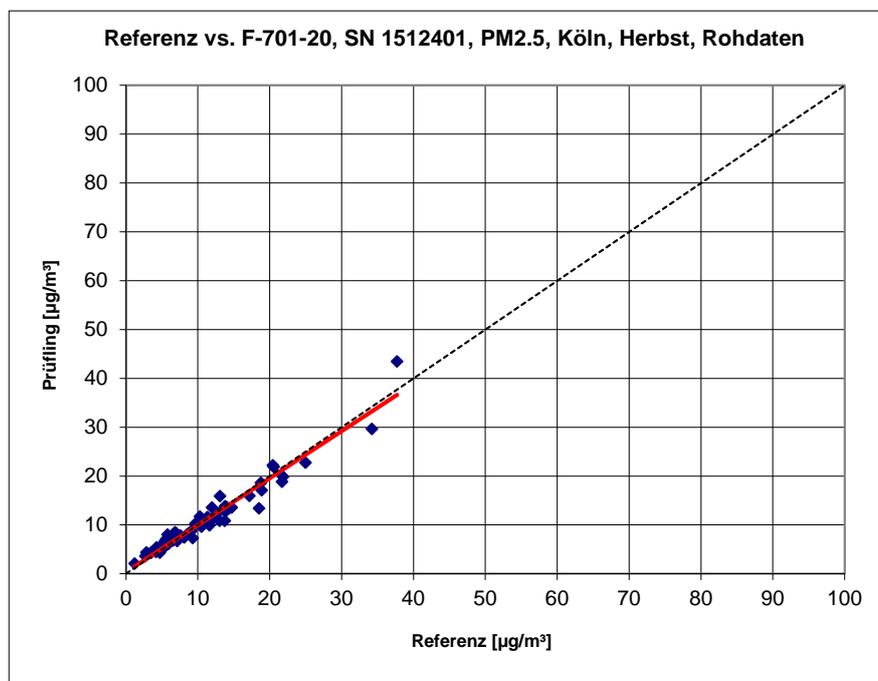


Abbildung 36: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Herbst

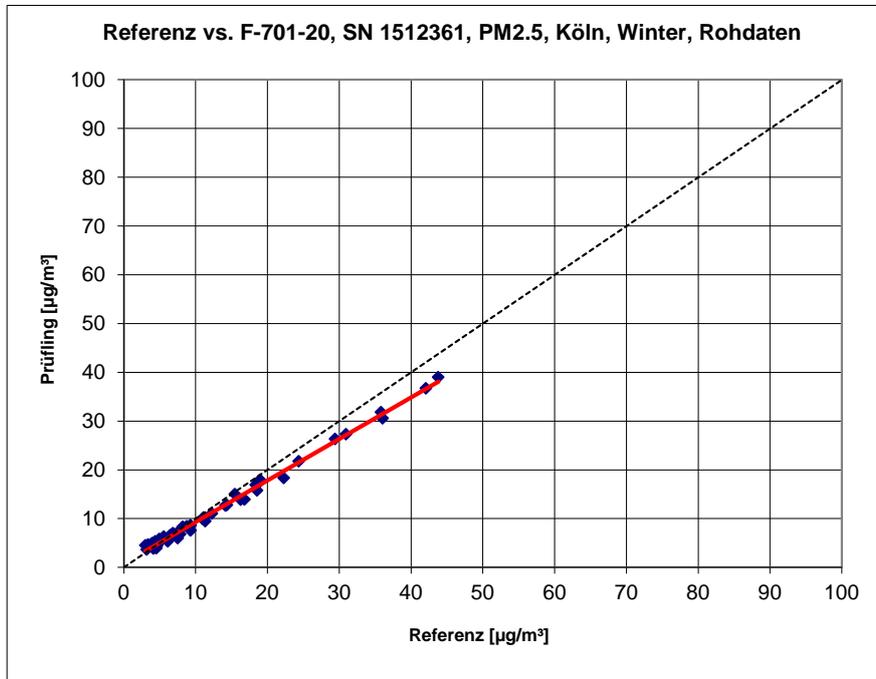


Abbildung 37: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Winter

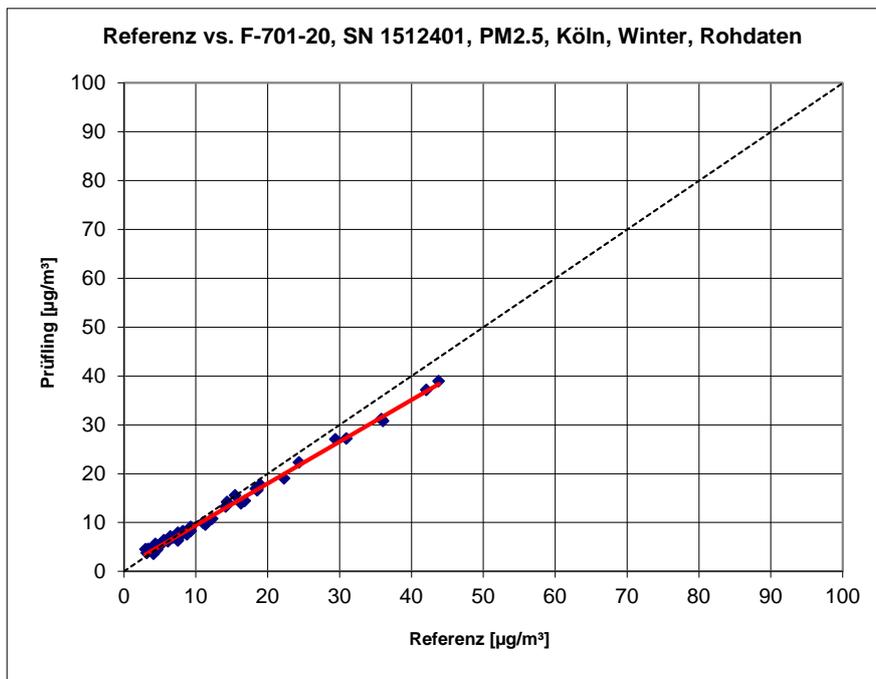


Abbildung 38: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Köln, Winter

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 93 von 140

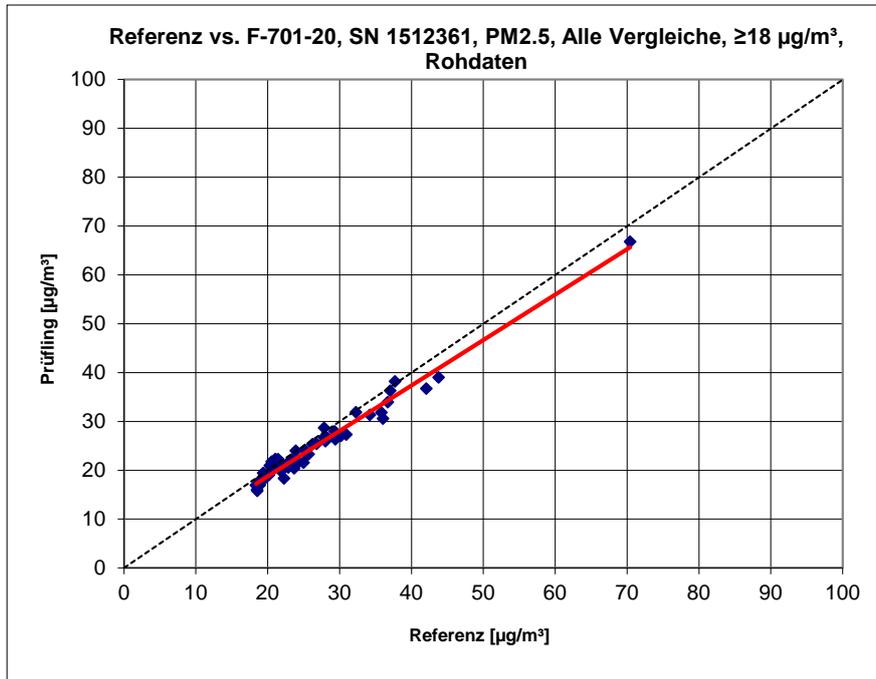


Abbildung 39: Referenz vs. Testgerät, SN 1512361, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Werte  $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$

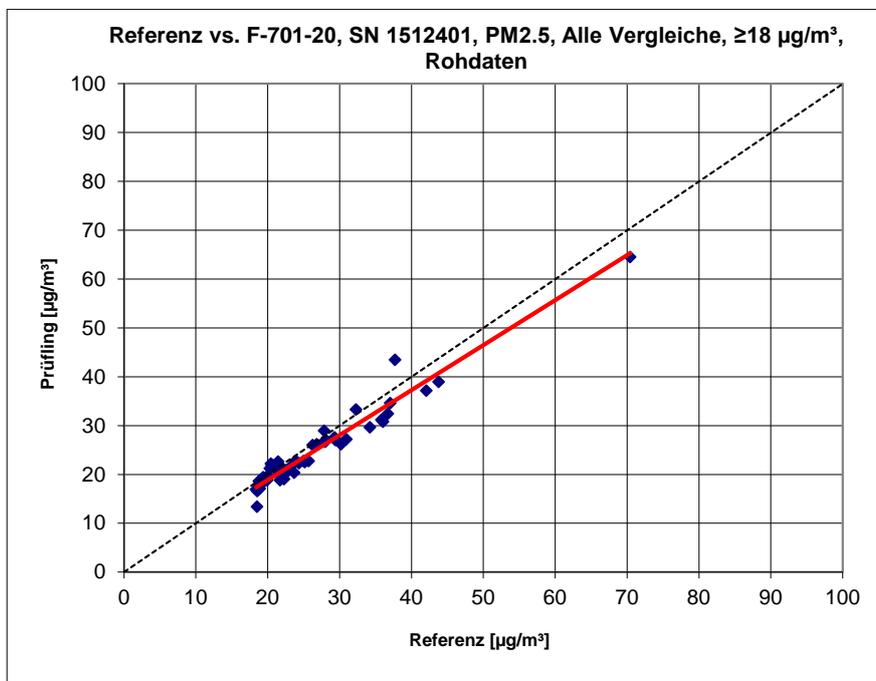


Abbildung 40: Referenz vs. Testgerät, SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub>, Werte  $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## 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 Achsenabschnitt 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:

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

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 95 von 140

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 Achsabschnitten 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 Achsabschnitten 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.  $W_{AMS,corr} \leq W_{dqo}$  → Prüfling wird als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.
2.  $W_{AMS,corr} > W_{dqo}$  → Prüfling wird nicht als gleichwertig zum Referenzverfahren betrachtet.

Die festgelegte erweiterte relative Unsicherheit  $W_{dqo}$  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 der Steigung und des Achsabschnitts führt dennoch zu einer weiteren erheblichen Verbesserung der erweiterten Messunsicherheiten für den Gesamtdatensatz.

Mindestanforderung erfüllt? ja

Die Auswertung des Gesamtdatensatzes für beide Prüflinge ergibt für die Messkomponente PM<sub>2,5</sub> eine signifikante Steigung und einen signifikanten Achsabschnitt.

Die Steigung für den Gesamtdatensatz liegt bei 0,917. Der Achsabschnitt für den Gesamtdatensatz liegt bei 0,587. (siehe Tabelle 19).

Es wurde für die Messkomponente PM<sub>2,5</sub> eine Steigungs- und 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 und die Messunsicherheiten verbessern sich bei einigen Standorten erheblich. Lediglich der Standort „Bornheim, Sommer“ verschlechtert sich signifikant durch die Korrektur, die erweiterte Messunsicherheit liegt aber unter den zulässigen 25 %.

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 20 % bis 25 % liegt.

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 14,9 % (PM<sub>2,5</sub>, unkorrigierter Datensatz) respektive 8,9 % (PM<sub>2,5</sub>, Datensatz nach Steigungs-/Offset-Korrektur), was wiederum eine jährliche Überprüfung an 3 Messorten (unkorrigiert) bzw. 2 Messorten (korrigiert) erfordern würde.

## 6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 21 zeigt die Ergebnisse der Auswertungen der Äquivalenzprüfung nach Anwendung der Korrekturfaktoren auf den Gesamtdatensatz.

Tabelle 21: Zusammenstellung der Ergebnisse der Äquivalenzprüfung, SN 1512361 & SN 1512401, Messkomponente PM<sub>2,5</sub> nach Korrektur Steigung und Achsabschnitt

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Richtlinie DIN EN 16450:2017				
Prüfung	F-701-20	SN	SN 1512361 / SN 1512401	
Status Messwerte	Korrektur Steigung und Offset	Grenzwert	30	µg/m <sup>3</sup>
		erlaubte Unsicherheit	25	%
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,58			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,67			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>				
Anzahl Wertepaare	213			
Steigung b	1,001			nicht signifikant
Unsicherheit von b	0,010			
Achsabschnitt a	-0,013			nicht signifikant
Unsicherheit von a	0,167			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	8,89			%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,70			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,92			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>				
Anzahl Wertepaare	53			
Steigung b	1,007			
Unsicherheit von b	0,027			
Achsabschnitt a	-0,283			
Unsicherheit von a	0,763			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	11,59			%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,53			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,54			µg/m <sup>3</sup>
<b>SN 1512361 / SN 1512401</b>				
Anzahl Wertepaare	160			
Steigung b	1,025			
Unsicherheit von b	0,024			
Achsabschnitt a	-0,209			
Unsicherheit von a	0,244			
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	8,73			%

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 99 von 140

Vergleich Testgerät mit Referenzgerät gemäß Richtlinie DIN EN 16450:2017				
Prüfung	F-701-20	SN	SN 1512361 / SN 1512401	
Status	Messwerte	Korrektur	Steigung und Offset	erlaubte Unsicherheit
		Grenzwert	30	µg/m <sup>3</sup>
			25	%
<b>Bonn</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,62			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,67			µg/m <sup>3</sup>
		SN 1512361	SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	51		51	
Steigung b	1,010		0,986	
Unsicherheit von b	0,019		0,022	
Achsabschnitt a	0,306		0,544	
Unsicherheit von a	0,436		0,499	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	10,22	%	10,86	%
<b>Bornheim</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,52			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,49			µg/m <sup>3</sup>
		SN 1512361	SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	54		54	
Steigung b	1,114		1,142	
Unsicherheit von b	0,033		0,032	
Achsabschnitt a	-1,134		-1,330	
Unsicherheit von a	0,411		0,398	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	17,24	%	21,02	%
<b>Köln, Herbst</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,65			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,89			µg/m <sup>3</sup>
		SN 1512361	SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	62		62	
Steigung b	1,007		1,051	
Unsicherheit von b	0,022		0,032	
Achsabschnitt a	-0,345		-0,327	
Unsicherheit von a	0,295		0,421	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	8,13	%	14,30	%
<b>Köln, Winter</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,49			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,36			µg/m <sup>3</sup>
		SN 1512361	SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	46		46	
Steigung b	0,929		0,934	
Unsicherheit von b	0,011		0,010	
Achsabschnitt a	0,201		0,311	
Unsicherheit von a	0,180		0,169	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	13,75	%	12,12	%
<b>Alle Vergleiche, ≥18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,70			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,92			µg/m <sup>3</sup>
		SN 1512361	SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	53		53	
Steigung b	1,014		1,006	
Unsicherheit von b	0,025		0,033	
Achsabschnitt a	-0,464		-0,246	
Unsicherheit von a	0,686		0,92	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	10,35	%	14,18	%
<b>Alle Vergleiche, &lt;18 µg/m<sup>3</sup></b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,53			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,54			µg/m <sup>3</sup>
		SN 1512361	SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	160		160	
Steigung b	1,018		1,040	
Unsicherheit von b	0,025		0,025	
Achsabschnitt a	-0,250		-0,251	
Unsicherheit von a	0,254		0,257	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	8,53	%	10,55	%
<b>Alle Vergleiche</b>				
Unsicherheit zwischen Referenz	0,58			µg/m <sup>3</sup>
Unsicherheit zwischen Prüflingen	0,67			µg/m <sup>3</sup>
		SN 1512361	SN 1512401	
Anzahl Wertepaare	213		213	
Steigung b	1,005	nicht signifikant	0,999	nicht signifikant
Unsicherheit von b	0,010		0,011	
Achsabschnitt a	-0,155	nicht signifikant	0,095	nicht signifikant
Unsicherheit von a	0,165		0,187	
Erweiterte Messunsicherheit W <sub>CM</sub>	8,77	%	10,01	%



## **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 via RS232-Schnittstelle über Gesytec-Protokoll 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 alle 4 Wochen).
3. Kontrolle des Filterbandvorrates –  
Ein Filterband mit 45 m Länge reicht bei einer Zykluszeit von 1 h und einer Belegzahl von 24 (Einstellung in Eignungsprüfung) dabei theoretisch für 30.000 Messzyklen entsprechend 1250 Tagen aus. Da je nach Schwebstaubkonzentrationslevel in der Praxis auf Grund einer möglichen Überschreitung der maximal pro Filterfleck zulässigen Masse von 400 µg ein neuer Filterfleck früher als bis zum Erreichen einer 24fachen Belegung angefahren werden muss, reduziert sich die Zeit, in der die Filterbandrolle verbraucht wird entsprechend.  
Bei einer Zykluszeit von 1 h und einer minimalen Belegzeit von 1 (d.h. für jeden Zyklus wird ein neuer Filterfleck verwendet) ergeben sich 1.250 Messzyklen entsprechend 52 Tagen. Es empfiehlt sich daher, den Vorrat des Filterbandes bei jedem Besuch der Messeinrichtung zur regelmäßigen Wartung zu überprüfen (z.B. im Rahmen der Säuberung des Probenahmekopfes).
4. Gemäß Hersteller soll die Pumpe nach einem Jahr Laufzeit ca. alle 6 Wochen gewartet werden, d.h. es sind die Filter auszublasen und die Lamellenhöhe zu kontrollieren und ggf. die Lamellen zu wechseln
5. Eine Überprüfung der Sensoren für Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck sollte gemäß DIN EN 16450 [8] alle 3 Monate erfolgen.
6. Eine Überprüfung der Durchflussrate sollte gemäß DIN EN 16450 [8] alle 3 Monate erfolgen.
7. Eine Überprüfung der Dichtigkeit sollte im Rahmen der Überprüfung der Durchflussrate ebenfalls alle 3 Monate erfolgen.
8. Der Filterhalter, die Transportrolle und die Andruckrollen sind alle 6 Monate zu säubern.

9. Die Abluftfilter und die Schlauchverbindungen sind alle 6 Monate zu prüfen und ggf. auszublasen.
10. Der Pumpenfilter und die Dichtung soll einmal jährlich getauscht werden.
11. Einmal im Jahr ist der Meteorologiesensor zur Rekalibrierung an den Gerätehersteller einzuschicken. Darüber hinaus wird eine Überprüfung der radiometrischen Messung mit Hilfe der Referenzfolie einmal im Jahr empfohlen.
12. Während einer jährlichen Grundwartung ist auch auf die Reinigung des Probenahme-rohres 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 bestimmt und beträgt 4 Wochen.

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. Liegt eine Kenngröße außerhalb der erlaubten Toleranzen erscheint ein entsprechendes Fehlerbit.

## **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.

## **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.

Mindestanforderung erfüllt? ja

## **6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses**

Die verfügbaren Statuswerte können dem Kapitel 5 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:*

$T \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$

$p \pm 1 \text{ kPa}$

$rF \pm 5 \text{ } \%$

## 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 F-701-20 verwenden meteorologische Sensoren zur Erfassung der Außentemperatur, des Luftdrucks und der relativen Luftfeuchte.

Die Genauigkeit der Sensoren werden vom Hersteller mit  $\pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{K}$  (Lufttemperatur),  $\pm 0,8 \text{ } \%$  (rel. Luftfeuchte) und  $< 0,5 \text{ kPa}$  (Luftdruck) angegeben.

Es ist jederzeit leicht möglich mittels Transferstandards vor Ort Vergleichsmessungen durchzuführen und die Sensoren entsprechend bei Abweichungen über Offsetfaktoren (Temperatur, Druck) bzw. Steigungsfaktoren (rel. Feuchte) zu justieren.

## 6.5 Bewertung

Die Sensoren zur Erfassung der Außentemperatur, des Luftdrucks und der relativen Luftfeuchte sind leicht 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 (4 Wochen)**

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
- Kontrolle des Filterbandvorrates
- Wartung des Probenahmekopfes gemäß Herstellerangaben

Im Übrigen sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten.

### **7.2 Weitergehende Wartungsarbeiten**

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

- Kontrolle des Filterbandvorrates –  
Ein Filterband mit 45 m Länge reicht bei einer Zykluszeit von 1 h und einer Belegzahl von 24 (Einstellung in Eignungsprüfung) dabei theoretisch für 30.000 Messzyklen entsprechend 1250 Tagen aus. Da je nach Schwebstaubkonzentrationslevel in der Praxis auf Grund einer möglichen Überschreitung der maximal pro Filterfleck zulässigen Masse von 400 µg ein neuer Filterfleck früher als bis zum Erreichen einer 24fachen Belegung angefahren werden muss, reduziert sich die Zeit, in der die Filterbandrolle verbraucht wird entsprechend.  
Bei einer Zykluszeit von 1 h und einer minimalen Belegzeit von 1 (d.h. für jeden Zyklus wird ein neuer Filterfleck verwendet) ergeben sich 1.250 Messzyklen entsprechend 52 Tagen. Es empfiehlt sich daher, den Vorrat des Filterbandes bei jedem Besuch der Messeinrichtung zur regelmäßigen Wartung zu überprüfen (z.B. im Rahmen der Säuberung des Probenahmekopfes).
- Gemäß Hersteller soll die Pumpe nach einem Jahr Laufzeit ca. alle 6 Wochen gewartet werden, d.h. es sind die Filter auszublasen und die Lamellenhöhe zu kontrollieren und ggf. die Lamellen zu wechseln
- Eine Überprüfung der Sensoren für Umgebungstemperatur und Umgebungsdruck sollte gemäß DIN CEN/TS 16450 [9] alle 3 Monate erfolgen.
- Eine Überprüfung der Durchflussrate sollte gemäß DIN CEN/TS 16450 [9] alle 3 Monate erfolgen.
- Eine Überprüfung der Dichtigkeit sollte im Rahmen der Überprüfung der Durchflussrate ebenfalls alle 3 Monate erfolgen.
- Der Filterhalter, die Transportrolle und die Andruckrollen sind alle 6 Monate zu säubern.
- Die Abluftfilter und die Schlauchverbindungen sind alle 6 Monate zu prüfen und ggf. auszublasen.

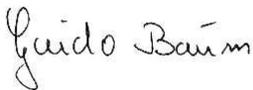
Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 105 von 140

- Der Pumpenfilter und die Dichtung soll einmal jährlich getauscht werden.
- Einmal im Jahr ist der Meteorologiesensor zur Rekalibrierung an den Gerätehersteller einzuschicken. Darüber hinaus wird eine Überprüfung der radiometrischen Messung mit Hilfe der Referenzfolie einmal im Jahr empfohlen.
- Während einer jährlichen Grundwartung ist auch auf die Reinigung des Probenahme-rohres zu achten.

Weitere Einzelheiten können der Bedienungsanleitung entnommen werden.

Immissionsschutz / Luftreinhaltung



---

Dipl.-Ing. Guido Baum



---

Dipl.-Ing. Karsten Pletscher

Köln, 14. September 2018  
936/21243589/A



## 8. Literaturverzeichnis

- [1] VDI-Richtlinie 4202, Blatt 1, „Mindestanforderungen an automatische Immissionsmeseinrichtungen bei der Eignungsprüfung – Punktmessverfahren für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen“, Juni 2002 & September 2010
- [2] VDI-Richtlinie 4203, Blatt 3, „Prüfpläne für automatische Messeinrichtungen - Prüfprozeduren für Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gas- und partikelförmigen Immissionen“, August 2004 & September 2010
- [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 vom Januar 2010
- [5] Bedienungshandbuch F-701-20, Stand 2018
- [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. 936/21220478/A vom 17. März 2014; Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmeseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>
- [10] Stellungnahme der TÜV Rheinland Energy GmbH vom 13. Oktober 2016
- [11] Stellungnahme der TÜV Rheinland Energy GmbH vom 29. September 2017
- [12] Stellungnahme der TÜV Rheinland Energy GmbH vom 2. Mai 2018

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub> Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 107 von 140

### 3.1 F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub>-Vorabscheider für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub>

Hersteller:

DURAG GmbH, Hamburg

Eignung:

Zur kontinuierlichen Immissionsmessung der PM<sub>2,5</sub>-Fraktion im Schwebstaub im stationären Einsatz

Messbereich in der Eignungsprüfung:

Komponente	Zertifizierungsbereich	Einheit
PM <sub>2,5</sub>	0 – 1 000	µg/m <sup>3</sup>

Softwareversion: 3.10

Einschränkungen:

Keine

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. Während der Eignungsprüfung betrug die Zykluszeit 1 h und die Belegzahl betrug 24; d. h. jede Stunde wurde ein automatischer Filterwechsel durchgeführt, wobei jeder Filterfleck bis zu maximal 24 Mal beprobt wurde.
3. Die Messeinrichtung ist mit einem aktiv belüfteten Probenahmesystem ohne Rohrbegleitheizung zu betreiben.
4. Die Messeinrichtung ist in einem verschließbaren Messcontainer zu betreiben.
5. Die Messeinrichtung ist mit dem gravimetrischen PM<sub>2,5</sub>-Referenzverfahren nach DIN EN 14907 regelmäßig am Standort zu kalibrieren.
6. Der Prüfbericht über die Eignungsprüfung ist im Internet unter [www.qual1.de](http://www.qual1.de) einsehbar.

Prüfinstitut: TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Köln

Bericht-Nr.: 936/21220478/A vom 17. März 2014

Abbildung 41: Erstbekanntgabe BAnz. AT 05.08.2014 B11, Kapitel III Nummer 3.1

### 3 Mitteilung zu der Bekanntmachung des Umweltbundesamtes vom 17. Juli 2014 (BAnz AT 05.08.2014 B11, Kapitel III Nummer 3.1)

Die aktuelle Softwareversion der Messeinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub>-Vorabscheider für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> der Firma DURAG GmbH lautet: 03.11R0005.

Darüber hinaus ist auch die Version V03.10R0001 zugelassen.

Die Messeinrichtung kann jetzt auch mit SD-Karten neueren Typs (Spec. V4.10, 22. Januar 2013) genutzt werden.

Stellungnahme der TÜV Rheinland Energy GmbH vom 13. Oktober 2016

Abbildung 42: Bekanntgabe Mitteilung BAnz AT 15.03.2017 B6, Kapitel V 3. Mitteilung

**4 Mitteilung zu den Bekanntmachungen des Umweltbundesamtes vom 17. Juli 2014 (BAnz AT 05.08.2014 B11, Kapitel III Nummer 3.1) und vom 22. Februar 2017 (BAnz AT 15.03.2017 B6, Kapitel V 3. Mitteilung)**

Die aktuelle Softwareversion der Messeinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub>-Vorabscheider für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> der Firma DURAG GmbH lautet: 03.11R0008.

Die Messeinrichtung kann statt mit dem Regelventil Buschjost 8288200.9624.02400 jetzt auch mit dem Regelventil Buschjost 8288200.9638.02400 ausgerüstet werden.

Stellungnahme der TÜV Rheinland Energy GmbH vom 29. September 2017

Abbildung 43: Bekanntgabe Mitteilung BAnz AT 26.03.2018 B8, Kapitel V 4. Mitteilung

**27 Mitteilung zu den Bekanntmachungen des Umweltbundesamtes vom 17. Juli 2014 (BAnz AT 05.08.2014 B11, Kapitel III Nummer 3.1) und vom 21. Februar 2018 (BAnz AT 26.03.2018 B8, Kapitel V 4. Mitteilung)**

Die aktuelle Softwareversion der Messeinrichtung F-701-20 mit PM<sub>2,5</sub>-Vorabscheider für Schwebstaub PM<sub>2,5</sub> der Firma DURAG GmbH lautet:

04.11R0009

Das Gehäuse der Messeinrichtung wurde für den Einbau in ein 19" Rack angepasst.

Die Messeinrichtung ist auch in einer Gerätevariante mit externer Pumpe verfügbar. Die Variante ist in der Typenschlüsselstruktur F-701-20 PM xx2-xxxxxF durch den Buchstaben „F“ eindeutig gekennzeichnet und identifizierbar.

Stellungnahme der TÜV Rheinland Energy GmbH vom 2. Mai 2018

Abbildung 44: Bekanntgabe Mitteilung BAnz AT 17.07.2018 B9, Kapitel III 27. Mitteilung

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 109 von 140

## **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 Verfahren zur Filterwägung**

### **Anhang 3 Handbücher**

**Anlage 1**

**Nullniveau und Nachweisgrenze**

**Blatt 1 von 1**

<b>Hersteller</b> DURAG GmbH				
<b>Gerätetyp</b> F-701-20		<b>Standards</b> NP Messwerte mit Nullfilter		
<b>Serien-Nr.</b> SN 1512401 / SN 1512361				
Nr.	Datum	Messwerte [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] SN 1512401	Datum	Messwerte [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] SN 1512361
1	20.12.2012	0,4	20.12.2012	0,3
2	21.12.2012	0,6	21.12.2012	0,1
3	22.12.2012	0,3	22.12.2012	0,7
4	23.12.2012	0,1	23.12.2012	0,0
5	24.12.2012	0,3	24.12.2012	0,8
6	25.12.2012	0,7	25.12.2012	-0,4
7	26.12.2012	-0,3	26.12.2012	0,5
8	27.12.2012	0,0	27.12.2012	0,7
9	28.12.2012	0,9	28.12.2012	-0,1
10	29.12.2012	0,1	29.12.2012	0,4
11	30.12.2012	0,0	30.12.2012	0,2
12	31.12.2012	0,2	31.12.2012	0,6
13	01.01.2013	0,5	01.01.2013	0,5
14	02.01.2013	0,5	02.01.2013	0,0
15	03.01.2013	0,0	03.01.2013	0,6
	Anzahl Werte	15	Anzahl Werte	15
	Mittelwert (Nullniveau)	0,28	Mittelwert (Nullniveau)	0,34
	Standardabweichung $s_{x0}$	0,31	Standardabweichung $s_{x0}$	0,35
	Nachweisgrenze X	<b>1,01</b>	Nachweisgrenze X	<b>1,15</b>

$$s_{x0} = \sqrt{\left(\frac{1}{n-1}\right) \cdot \sum_{i=1,n} (x_{0i} - \bar{x}_0)^2}$$

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Anlage 2

Genauigkeit des Volumenstroms

Blatt 1 von 1

<b>Hersteller</b>	DURAG GmbH						<b>Solldurchflussrate [l/min]</b>	16,67
<b>Gerätetyp</b>	F-701-20							
<b>Serien-Nr.</b>	SN 1274509 / SN 1274510							
Temperatur 1	5°C	SN 1274509			SN 1274510			
		Nr.	Datum/Uhrzeit	Messwert [l/pm]	Nr.	Datum/Uhrzeit	Messwert [l/pm]	
		1	15.08.2018 07:06	16,45	1	15.08.2018 07:08	16,44	
		2	15.08.2018 07:10	16,43	2	15.08.2018 07:12	16,42	
		3	15.08.2018 07:14	16,43	3	15.08.2018 07:16	16,41	
		4	15.08.2018 07:18	16,42	4	15.08.2018 07:20	16,42	
		5	15.08.2018 07:22	16,42	5	15.08.2018 07:24	16,44	
		6	15.08.2018 07:26	16,40	6	15.08.2018 07:28	16,43	
		7	15.08.2018 07:30	16,41	7	15.08.2018 07:32	16,40	
		8	15.08.2018 07:34	16,43	8	15.08.2018 07:36	16,40	
		9	15.08.2018 07:38	16,42	9	15.08.2018 07:40	16,40	
10	15.08.2018 07:42	16,49	10	15.08.2018 07:44	16,39			
		<b>Mittelwert</b>	<b>16,43</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>16,41</b>			
Temperatur 2	40°C	SN 1274509			SN 1274510			
		Nr.	Datum/Uhrzeit	Messwert [l/pm]	Nr.	Datum/Uhrzeit	Messwert [l/pm]	
		1	16.08.2018 07:04	16,83	1	16.08.2018 07:06	16,86	
		2	16.08.2018 07:08	16,91	2	16.08.2018 07:10	16,90	
		3	16.08.2018 07:12	16,92	3	16.08.2018 07:14	16,91	
		4	16.08.2018 07:16	16,90	4	16.08.2018 07:18	16,90	
		5	16.08.2018 07:20	16,92	5	16.08.2018 07:22	16,89	
		6	16.08.2018 07:24	16,92	6	16.08.2018 07:26	16,90	
		7	16.08.2018 07:28	16,91	7	16.08.2018 07:30	16,90	
		8	16.08.2018 07:32	16,91	8	16.08.2018 07:34	16,91	
		9	16.08.2018 07:36	16,92	9	16.08.2018 07:38	16,91	
10	16.08.2018 07:40	16,97	10	16.08.2018 07:42	16,90			
		<b>Mittelwert</b>	<b>16,91</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>16,90</b>			

**Anlage 3**

**Umgebungstemperaturabhängigkeit am Nullpunkt**

**Blatt 1 von 2**

<b>Hersteller</b>		DURAG GmbH					
<b>Gerätetyp</b>		F-701-20					
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401					
<b>Prüfzeitraum:</b>		24.01.2013 - 11.02.2013		Messung 1	Messung 2	Messung 3	
SN 1512361	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg/m³]	Messwert [µg/m³]	Messwert [µg/m³]	Mittelwert aus 3 Messungen [µg/m³]	Mittelwert bei 20°C [µg/m³]
NP	1	20	1,0	0,5	0,7	0,7	0,7
	2	5	1,2	0,8	0,4	0,8	
	3	20	1,4	0,4	0,7	0,8	
	4	40	0,0	-0,5	-0,4	-0,3	
	5	20	0,7	0,5	0,1	0,4	
SN 1512401	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg/m³]	Messwert [µg/m³]	Messwert [µg/m³]	Mittelwert aus 3 Messungen [µg/m³]	Mittelwert bei 20°C [µg/m³]
NP	1	20	0,5	0,1	0,3	0,3	0,3
	2	5	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	
	3	20	-0,2	0,7	0,4	0,3	
	4	40	-0,5	-0,4	0,2	-0,2	
	5	20	0,2	0,4	0,2	0,3	

**Anlage 3**

**Umgebungstemperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit (Span)**

**Blatt 2 von 2**

<b>Hersteller</b>		DURAG GmbH		<b>Verwendeter Prüfstandard</b> Referenzfolie			
<b>Gerätetyp</b>		F-701-20					
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401					
<b>Prüfzeitraum:</b> 07.01.2014 - 09.01.2014			Messung 1	Messung 2	Messung 3		
SN 1512361	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg]	Messwert [µg]	Messwert [µg]	Mittelwert aus 3 Messungen [µg]	Mittelwert bei 20°C [µg]
RP	1	20	294,0	289,0	290,0	291,0	289,8
	2	5	292,0	292,0	283,0	289,0	
	3	20	292,0	292,0	298,0	294,0	
	4	40	288,0	285,0	280,0	284,3	
	5	20	284,0	284,0	285,0	284,3	
SN 1512401	Nr.	Temperatur [°C]	Messwert [µg]	Messwert [µg]	Messwert [µg]	Mittelwert aus 3 Messungen [µg]	Mittelwert bei 20°C [µg]
RP	1	20	277,0	272,0	274,0	274,3	270,1
	2	5	267,0	270,0	273,0	270,0	
	3	20	262,0	275,0	265,0	267,3	
	4	40	261,0	263,0	274,0	266,0	
	5	20	267,0	268,0	271,0	268,7	

**Anlage 4 Netzspannungsabhängigkeit der Empfindlichkeit (Span)**

**Blatt 1 von 1**

<b>Hersteller</b> DURAG GmbH		<b>Verwendeter Prüfstandard</b> Referenzfolie					
<b>Gerätetyp</b> F-701-20							
<b>Serien-Nr.</b> SN 1274509 / SN 1274510							
<b>Prüfzeitraum:</b> 04.07.2018		Messung 1		Messung 2		Messung 3	
SN 1274509	Nr.	Netzspannung [V]	Messwert [µg]	Messwert [µg]	Messwert [µg]	Mittelwert aus 3 Messungen [µg]	
RP	1	230	327,0	322,0	312,0	320,3	
	2	195	335,0	320,0	318,0	324,3	
	3	230	317,0	325,0	337,0	326,3	
	4	253	332,0	331,0	316,0	326,3	
	5	230	327,0	327,0	329,0	327,7	
SN 1274510	Nr.	Netzspannung [V]	Messwert [µg]	Messwert [µg]	Messwert [µg]	Mittelwert aus 3 Messungen [µg]	
RP	1	230	340,0	336,0	324,0	333,3	
	2	195	328,0	331,0	333,0	330,7	
	3	230	321,0	345,0	332,0	332,7	
	4	253	342,0	338,0	333,0	337,7	
	5	230	342,0	340,0	334,0	338,7	

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 1 von 10

Hersteller		DURAG							Schwebstaub PM2,5	
Gerätetyp		F701-20							Messwerte in µg/m³ i.B.	
Serien-Nr.		SN 1512361 / SN 1512401								
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM2,5 [µg/m³]	SN 1512401 PM2,5 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
1	28.02.2013								Nullpunkt	Bonn, Winter
2	01.03.2013	24,9	23,0	36,3	36,7	65,6	24,0	22,8		
3	02.03.2013						27,7	27,8		
4	03.03.2013	22,1	23,2	29,3	29,8	76,6	21,2	20,9		
5	04.03.2013	19,6	20,5	28,2	28,7	70,2	19,3	19,7		
6	05.03.2013	28,4	27,7	40,2	39,9	70,1	26,0	26,7		
7	06.03.2013	25,8	24,5	39,3	39,7	63,8	24,2	22,5		
8	07.03.2013	28,0	28,3	39,5	39,5	71,2	26,9	27,0		
9	08.03.2013	28,8	27,0	35,4	34,8	79,5	28,6	28,9		
10	09.03.2013						12,0	11,5		
11	10.03.2013	21,8	22,0	23,1	22,3	96,5	21,6	20,6		
12	11.03.2013	27,6	28,1	31,2	30,3	90,6	26,7	26,7		
13	12.03.2013	15,6	15,6	17,8	17,7	87,9	14,8	14,5		
14	13.03.2013	36,7	36,7	50,8	50,0	72,9	33,9	32,4		
15	14.03.2013	19,6	19,2	27,5	27,6	70,3	18,0	18,7		
16	15.03.2013	22,0	21,5	31,7	31,7	68,7	20,8	21,7		
17	16.03.2013						14,4	15,7		
18	17.03.2013	7,0	7,4	11,0	10,5	67,2	8,8	8,3		
19	18.03.2013	7,7	8,2	17,4	17,2	45,9	11,4	12,0		
20	19.03.2013	9,5	9,9	17,1	16,8	57,5	11,9	11,7		
21	20.03.2013	21,3	20,9	25,2	24,5	84,7	22,3	21,1		
22	21.03.2013	37,5	36,6	46,3	45,9	80,5	36,2	34,6		
23	22.03.2013	21,4	21,6	26,0	26,3	82,2	22,2	22,6		
24	23.03.2013						23,4	22,5		
25	24.03.2013	15,1	15,9	19,7	18,8	80,6	16,5	17,2		
26	25.03.2013	20,1	20,6	26,0	25,6	78,9	20,9	21,2		
27	26.03.2013	15,7	15,3	21,1	20,4	74,7	15,6	16,4		
28	27.03.2013	26,6	25,9	33,3	32,8	79,5	25,3	26,0		
29	28.03.2013						42,9	42,0		
30	29.03.2013	71,1	69,8	76,5	76,3	92,2	66,8	64,5		

**Anlage 5**

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

**Blatt 2 von 10**

<b>Hersteller</b>		DURAG							Schwebstaub PM2,5	
<b>Gerätetyp</b>		F701-20							Messwerte in µg/m³ i.B.	
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401								
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m³]	SN 1512401 PM10 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
31	30.03.2013								Nullpunkt Nullpunkt Nullpunkt	Bonn, Winter
32	31.03.2013									
33	01.04.2013									
34	02.04.2013	20,2	20,2	24,7	25,2	81,0	19,0	19,5		
35	03.04.2013	27,2	26,5	31,4	30,8	86,3	25,4	26,2		
36	04.04.2013	29,5	29,1	33,5	33,2	88,0	27,9	27,6		
37	05.04.2013	25,8	25,4	30,8	30,0	84,1	23,2	22,9		
38	06.04.2013						21,3	22,1		
39	07.04.2013	23,0	22,8	30,9	30,2	74,9	20,6	20,7		
40	08.04.2013	26,3	25,1	31,7	31,7	81,0	23,3	22,7		
41	09.04.2013	16,5	16,5	21,6	21,0	77,4	15,7	14,1		
42	10.04.2013	12,2	12,2	17,9	17,8	68,4	11,1	11,1		
43	11.04.2013	9,4	8,8	15,9	15,7	57,4	8,5	8,7		
44	12.04.2013	6,2	6,3	10,4	10,4	60,4	5,3	4,8		
45	13.04.2013						6,5	6,6		
46	14.04.2013	7,2	6,9	11,9	11,1	61,4	6,4	6,9		
47	15.04.2013	18,5	16,8	31,2	30,2	57,3	20,3	22,1		
48	16.04.2013	12,7	11,2	21,1	20,7	57,2	12,7	12,4		
49	17.04.2013	9,9	9,8	19,5	19,7	50,2	11,8	10,7		
50	18.04.2013	9,4	8,7	21,4	21,5	42,2	11,7	9,7		
51	19.04.2013	10,3	10,3	21,0	20,8	49,4	11,3	10,5		
52	20.04.2013						10,6	11,5		
53	21.04.2013	24,4	23,0	36,7	37,6	63,8	20,4	20,3		
54	22.04.2013	31,0	29,4	44,7	43,9	68,3	27,0	26,1		
55	23.04.2013	11,0	10,4	18,2	18,8	57,6	10,4	9,5		
56	24.04.2013	14,3	12,7	24,2	24,4	55,6	12,2	13,0		
57	25.04.2013	13,8	12,1	23,3	23,6	55,3	12,6	12,0		
58	26.04.2013								Nullpunkt Nullpunkt Nullpunkt	
59	27.04.2013									
60	28.04.2013									

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 3 von 10

Hersteller DURAG										Schwebstaub PM2,5 Messwerte in µg/m³ i.B.	
Gerätetyp F701-20											
Serien-Nr. SN 1512361 / SN 1512401											
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m³]	SN 1512401 PM10 [µg/m³]	Bemerkung	Standort	
61	29.04.2013	14,3	12,9	20,6	21,4	64,9	11,9	11,2		Bonn, Winter	
62	30.04.2013						14,1	15,0			
63	01.05.2013	16,9	18,2	21,4	22,2	80,7	15,2	15,6			
64	02.05.2013						14,5	15,8			
65	03.05.2013	23,2	23,4	33,7	34,4	68,5	22,2	21,7			
66	04.05.2013	20,2	19,7	30,1	30,6	65,7	19,1	18,8			
67	05.05.2013	9,6	9,3	14,0	14,8	65,4	8,2	8,0			
68	06.05.2013	14,5	15,0	23,3	22,9	63,9	13,4	13,8			
69	14.05.2013								Nullpunkt Nullpunkt	Bornheim, Sommer	
70	15.05.2013										
71	16.05.2013	21,0	20,7	24,5	24,7	84,6	21,7	21,8			
72	17.05.2013	16,1	15,5	18,3	19,4	83,8	16,4	16,0			
73	18.05.2013						8,8	9,3			
74	19.05.2013						19,9	20,5			
75	20.05.2013	11,3	10,3	13,9	14,7	75,2	9,5	10,2			
76	21.05.2013		5,4	8,3	8,8		5,1	4,9			Stromausfall Ref. PM2,5 G#1
77	22.05.2013						6,4	5,2			
78	23.05.2013						5,3	4,8			Stromausfall Ref. PM2,5
79	24.05.2013			10,1	10,7		6,6	6,1			
80	25.05.2013						10,4	10,8	Stromausfall Ref. PM2,5 G#2		
81	26.05.2013		6,6	12,9	13,4		7,2	7,0			
82	27.05.2013	11,7	11,0	16,9	17,6	65,7	10,3	9,9			
83	28.05.2013	8,7	7,7	12,8	12,2	65,8	7,9	8,9			
84	29.05.2013						4,2	3,4			
85	30.05.2013						9,8	11,0			
86	31.05.2013						16,4	16,9			
87	01.06.2013						13,3	13,0			
88	02.06.2013	5,3	5,0	10,8	10,7	47,7	5,0	4,8			
89	03.06.2013	8,0	7,0	14,5	14,5	51,5	7,2	7,6			
90	04.06.2013	9,5	9,5	18,2	18,4	51,9	10,1	9,3			

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

**Anlage 5**
**Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen**
**Blatt 4 von 10**

<b>Hersteller</b>		DURAG							Schwebstaub PM2,5	
<b>Gerätetyp</b>		F701-20							Messwerte in µg/m³ i.B.	
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401								
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m³]	SN 1512401 PM10 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
91	05.06.2013	9,1	9,3	17,2	18,8	51,2	8,9	8,7		Bornheim, Sommer
92	06.06.2013	10,8	10,2	17,0	17,5	60,8	8,8	9,4		
93	07.06.2013	17,0	16,1	28,6	29,9	56,6	15,1	14,7		
94	08.06.2013						15,0	15,7		
95	09.06.2013	14,0	13,6	20,1	21,3	66,9	15,6	14,8		
96	10.06.2013	16,1	15,4	26,1	27,1	59,1	15,4	15,0		
97	11.06.2013	13,0	12,2	20,8	20,7	60,7	11,3	11,6		
98	12.06.2013	7,1	6,4	14,6	14,0	47,4	6,7	6,3		
99	13.06.2013	5,6	5,4	13,4	12,7	42,1	4,4	4,3		
100	14.06.2013	5,0	5,7	10,8	10,8	49,3	4,3	4,4		
101	15.06.2013	5,1	5,3	10,6	10,2	50,0	4,5	4,6		
102	16.06.2013	7,3	7,6	16,7	16,6	44,8	6,8	5,7		
103	17.06.2013	12,2	13,3	21,3	20,9	60,3	12,0	11,6		
104	18.06.2013	17,8	17,3	28,6	29,1	60,9	16,5	16,7		
105	19.06.2013	31,9	32,7	48,7	48,5	66,5	31,9	33,3		
106	20.06.2013	8,7	10,1	15,5	14,9	62,1	14,9	14,2		
107	21.06.2013	4,2	4,5	7,2	6,8	62,2	3,9	4,3		
108	22.06.2013	3,3	4,1	5,7	5,9	63,8				
109	23.06.2013	3,1	3,0	4,6	5,5	59,8				
110	24.06.2013	8,7	8,0	13,9	13,2	61,6	9,3	8,8		
111	25.06.2013	6,3	6,6	12,9	12,7	50,4	5,7	5,6		
112	26.06.2013	9,1	9,4	14,6	14,5	63,4	10,0	9,6		
113	27.06.2013	9,8	9,6	14,2	13,8	69,5	9,3	9,0		
114	28.06.2013	8,8	8,7	14,2	14,7	60,4	8,0	8,4		
115	29.06.2013	6,0	5,8	11,7	11,5	50,8	4,7	5,0		
116	30.06.2013	7,4	6,9	14,6	14,4	49,3	7,1	6,0		
117	01.07.2013	7,7	7,6	13,4	13,2	57,5	7,2	8,1		
118	02.07.2013	7,9	7,9	12,5	12,0	64,9	8,1	7,9		
119	03.07.2013	3,6	3,8	9,0	9,9	39,1	3,4	3,7		
120	04.07.2013	7,5	7,9	13,5	13,6	56,8	7,1	7,3		
									Nullpunkt	
									Nullpunkt	

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 5 von 10

Hersteller DURAG										Schwebstaub PM2,5 Messwerte in µg/m³ i.B.
Gerätetyp F701-20										
Serien-Nr. SN 1512361 / SN 1512401										
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m³]	SN 1512401 PM10 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
121	05.07.2013	12,9	13,1	20,9	19,9	63,8	12,7	14,4	Ausreisser Ref. PM10	Bornheim, Sommer
122	06.07.2013	13,3	13,1	18,7	18,5	71,0	13,5	13,9		
123	07.07.2013	11,3	10,7	14,9	14,4	75,0	10,1	11,1		
124	08.07.2013	11,3	10,6	16,3	16,1	67,7	10,2	11,1		
125	09.07.2013	14,2	14,5	24,9	22,6	60,5	14,4	14,4		
126	10.07.2013	9,7	10,2	19,1	17,5	54,6	9,6	9,9		
127	11.07.2013	13,6	14,3	26,6	24,9	54,1	12,3	12,6		
128	12.07.2013	16,5	16,8			53,6	15,0	15,7		
129	13.07.2013	15,3	15,3	20,4	20,7	74,5	14,5	15,1		
130	14.07.2013	14,5	14,5	22,2	21,5	66,5	14,7	16,0		
131	15.07.2013	17,4	17,4	26,2	25,6	67,1	16,6	17,1		
132	16.07.2013	20,4	18,4	30,2	28,9	65,5	19,4	19,4		
133	17.07.2013	13,6	13,2	18,7	18,0	72,9	14,4	13,8		
134	18.07.2013	11,3	9,0	17,0	17,3	59,2	10,9	10,9		
135	19.07.2013	9,0	7,3	16,3	14,8	52,7	8,8	9,6		
136	20.07.2013	10,1	9,5	17,3	16,0	58,7	10,8	11,4		
137	21.07.2013	12,9	12,3	18,0	17,7	70,7	12,7	12,5		
138	22.07.2013	15,5	14,8	23,2	22,0	67,2	13,9	14,2		
139	23.07.2013	14,1	13,6	25,4	24,5	55,3	14,4	13,6		
140	24.07.2013	20,3	20,0	31,5	30,3	65,2			Audits Wechsel auf Nullfilter	
141	25.07.2013	11,1	12,1	21,3	20,3	55,7				
142	04.09.2013								Nullpunkt	Köln, Herbst
143	05.09.2013								verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.	
144	06.09.2013	19,7	19,9	31,6	29,9	64,4			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.	
145	07.09.2013								verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.	
146	08.09.2013	10,9	12,5	15,0	14,9	78,3			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.	
147	09.09.2013	3,6	3,8	6,7	6,7	55,6			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.	
148	10.09.2013	3,9	4,9	9,1	7,4	53,2			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.	
149	11.09.2013	7,8	8,0	12,3	11,7	65,7			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.	
150	12.09.2013	10,3	10,6	17,6	15,9	62,5			verworfen, fehlerhafte Durchflussskal.	

**Anlage 5**

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

**Blatt 6 von 10**

<b>Hersteller</b>		DURAG							Schwebstaub PM2,5	
<b>Gerätetyp</b>		F701-20							Messwerte in µg/m³ i.B.	
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401								
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m³]	SN 1512401 PM10 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
151	13.09.2013	6,3	5,3	9,0	7,7	69,4	7,2	8,0		Köln, Herbst
152	14.09.2013						3,1	3,3		
153	15.09.2013	4,4	5,5	9,5	7,9	56,8	4,6	5,5		
154	16.09.2013	6,0	4,5	9,8	9,8	53,9	4,9	5,3		
155	17.09.2013	4,3	4,2	7,5	6,4	61,7	4,8	5,4		
156	18.09.2013	8,8	9,4	13,9	13,1	67,3	7,8	8,7		
157	19.09.2013	5,8	5,5	10,3	10,5	54,2	6,4	7,1		
158	20.09.2013	8,2	6,9	15,2	14,8	50,5	7,5	7,8		
159	21.09.2013						11,9	13,8		
160	22.09.2013	13,1	13,1	18,9	17,1	72,8	15,1	15,8		
161	23.09.2013	14,2	13,9	20,0	18,5	72,8	11,5	13,6		
162	24.09.2013	19,6	21,3	27,5	26,3	76,1	20,6	22,2		
163	25.09.2013	36,5	38,9	49,6	48,6	76,8	38,2	43,5		
164	26.09.2013	11,1	12,8	19,1	18,9	62,9	9,8	13,6		
165	27.09.2013	6,0	7,2	11,7	11,7	56,4	6,6	6,8		
166	28.09.2013						8,2	8,5		
167	29.09.2013	7,3	8,9	11,7	11,6	69,7	7,0	7,4		
168	30.09.2013	11,9	13,2	18,5	17,9	69,0	12,2	12,1		
169	01.10.2013	11,2	12,1	16,2	16,6	70,9	9,9	9,9		
170	02.10.2013	10,6	11,6	17,1	16,4	66,3	10,6	10,7		
171	03.10.2013						7,8	9,6		
172	04.10.2013	13,1	14,5	18,3	18,4	75,3	13,0	13,8		
173	05.10.2013						16,1	19,9		
174	06.10.2013	9,9	11,1	14,1	14,6	73,2	10,3	9,6		
175	07.10.2013	9,9	10,6	15,7	15,1	66,4	10,0	10,0		
176	08.10.2013	19,9	21,2	28,9	28,8	71,3	21,7	21,8		
177	09.10.2013	7,1	6,8	12,6	11,7	57,3	6,8	7,8		
178	10.10.2013	8,4	8,8	12,6	12,4	68,8	7,3	8,1		
179	11.10.2013						7,9	8,2		
180	12.10.2013						13,4	13,7		

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 121 von 140

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 7 von 10

Hersteller DURAG										Schwebstaub PM2,5 Messwerte in µg/m³ i.B.
Gerätetyp F701-20										
Serien-Nr. SN 1512361 / SN 1512401										
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m³]	SN 1512401 PM10 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
181	13.10.2013	5,0	5,6	7,7	8,2	66,8	5,5	5,7	Wartung SN 1512401 Nullpunkt	Köln, Herbst
182	14.10.2013	5,0	4,6	8,3	7,8	59,5	5,0	5,4		
183	15.10.2013									
184	16.10.2013									
185	17.10.2013	9,5	11,1	25,4	25,4	40,6	10,1	11,7		
186	18.10.2013						8,9	9,3		
187	19.10.2013						9,3	9,5		
188	20.10.2013	3,8	3,3	8,3	8,1	43,1	4,0	4,3		
189	21.10.2013	5,4	5,3	13,7	13,6	39,4	6,3	6,5		
190	22.10.2013	6,8	7,1	15,5	15,2	45,2	8,6	8,3		
191	23.10.2013	5,5	6,1	11,3	11,9	50,1	6,5	6,6		
192	24.10.2013	6,9	6,9	14,9	15,4	45,2	8,6	8,5		
193	25.10.2013						6,9	7,0		
194	26.10.2013						4,9	5,2		
195	27.10.2013	3,0	2,7	6,9	7,2	40,3	4,2	4,4		
196	28.10.2013	3,0	2,4	7,1	7,4	37,3	4,2	3,6		
197	29.10.2013	4,1	4,3	7,9	8,6	51,2	4,0	4,4		
198	30.10.2013	9,6	9,8	17,0	16,6	57,5	9,3	10,2		
199	31.10.2013						8,1	8,0		
200	01.11.2013						6,3	6,7		
201	02.11.2013						3,7	3,9		
202	03.11.2013	1,9	0,5	3,9	4,6	28,6	2,1	2,1		
203	04.11.2013	5,5	4,4	10,5	11,0	46,2	5,1	5,8		
204	05.11.2013	5,8	5,1	12,8	12,3	43,6	6,3	6,6		
205	06.11.2013	3,7	3,4	8,0	9,2	41,0	3,8	4,3		
206	07.11.2013	5,8	6,0	9,8	10,3	58,6	5,3	6,1		
207	08.11.2013								Nullpunkt Nullpunkt Nullpunkt	
208	09.11.2013									
209	10.11.2013									
210	11.11.2013	13,2	13,8	21,5	21,4	63,0	12,5	13,2		

**Anlage 5**

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

**Blatt 8 von 10**

<b>Hersteller</b>		DURAG							Schwebstaub PM2,5	
<b>Gerätetyp</b>		F701-20							Messwerte in µg/m³ i.B.	
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401								
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m³]	SN 1512401 PM10 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
211	12.11.2013	11,3	11,3	18,1	18,7	61,6	10,9	11,6		Köln, Herbst
212	13.11.2013	17,3	17,1	28,2	29,1	59,9	15,4	15,9		
213	14.11.2013	18,8	19,0	24,0	25,1	76,9	16,9	17,1		
214	15.11.2013						21,6	21,7		
215	16.11.2013						26,4	26,9		
216	17.11.2013	21,8	21,9	24,9	26,0	86,0	19,8	19,9		
217	18.11.2013	13,8	14,1	18,6	19,1	74,0	12,2	12,9		
218	19.11.2013	13,7	13,8	19,4	19,8	70,4	11,4	10,8		
219	20.11.2013	8,3	8,0	12,7	12,5	64,7	7,1	7,4		
220	21.11.2013	12,7	13,4	15,8	16,3	81,4	10,1	10,8		
221	22.11.2013						15,6	15,7		
222	23.11.2013						13,8	14,5		
223	24.11.2013	12,3	12,1	18,1	18,6	66,6	11,7	11,3		
224	25.11.2013	13,0	12,4	18,3	18,9	68,2	10,4	11,3		
225	26.11.2013	33,8	34,7	42,4	41,8	81,3	31,3	29,6		
226	27.11.2013	24,5	25,5	32,3	32,6	77,2	21,5	22,7		
227	28.11.2013	14,1	15,3	23,1	22,9	64,0	13,0	13,5		
228	29.11.2013						8,0	7,5		
229	30.11.2013						14,9	15,2		
230	01.12.2013	18,3	19,3	30,0	29,9	62,7	17,0	18,6		
231	02.12.2013	10,7	12,0	21,7	21,4	52,7	10,1	10,6		
232	03.12.2013						19,1	20,8		
233	04.12.2013	21,2	22,3	32,4	31,7	67,8	20,7	18,8		
234	05.12.2013	4,3	5,2	9,2	9,0	52,1	4,2	4,3		
235	06.12.2013						6,2	7,7		
236	07.12.2013						10,5	10,1		
237	08.12.2013	6,7	7,6	10,2	10,7	68,2	6,2	6,7		
238	09.12.2013	13,9	14,8	22,3	22,5	63,9	12,2	13,3		
239	10.12.2013	18,1	19,0	22,2	22,3	83,3	16,0	13,4		
240	11.12.2013	8,7	9,9	9,9	10,6	90,7	7,2	7,3		

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Anlage 5

Messwerte aus den Feldteststandorten, bezogen auf Umgebungsbedingungen

Blatt 9 von 10

Hersteller DURAG Gerätetyp F701-20 Serien-Nr. SN 1512361 / SN 1512401											
Schwebstaub PM2,5 Messwerte in µg/m³ i.B.											
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m³]	SN 1512401 PM10 [µg/m³]	Bemerkung	Standort	
241	13.01.2014	12,9	13,6	18,2	18,9	71,5			Nullpunkt	Köln, Winter	
242	14.01.2014	10,8	11,2	15,5	15,0	72,3	10,0	10,0			
243	15.01.2014	5,5	5,7	8,0	8,7	66,9	6,3	6,4			
244	16.01.2014	3,1	3,6	6,4	7,1	50,0	4,7	4,6			
245	17.01.2014	4,6	5,2	8,9	8,6	56,0	5,3	5,3			
246	18.01.2014						9,5	9,4			
247	19.01.2014	14,5	14,2	16,8	17,3	84,2	12,8	14,2			
248	20.01.2014	15,6	15,3	18,9	19,9	79,7	15,0	15,6			
249	21.01.2014	24,2	24,6	30,8	31,1	78,7	21,7	22,3			
250	22.01.2014	18,4	18,8	23,0	23,5	80,0	17,0	16,6			
251	23.01.2014	10,9	11,4	15,2	16,3	70,9	10,2	10,0			
252	24.01.2014	18,7	19,3	28,1	28,9	66,6	17,9	17,7			
253	25.01.2014						9,4	9,1			
254	26.01.2014	4,4	4,4	11,4	12,0	37,8	5,3	5,6			
255	27.01.2014	2,9	3,5	6,7	7,1	46,7	3,6	3,7			
256	28.01.2014	6,3	6,7	10,9	10,6	60,4	6,6	7,1			
257	29.01.2014	16,0	16,6	19,2	19,7	83,8	13,9	13,9			
258	30.01.2014	35,7	36,0	41,6	42,3	85,4	31,8	31,2			
259	31.01.2014	29,8	29,0	35,0	34,9	84,1	26,3	27,0			
260	01.02.2014						5,6	4,9			
261	02.02.2014	8,6	7,9	18,1	17,5	46,3	8,3	8,2			
262	03.02.2014	18,7	18,0	22,0	21,5	84,5	16,9	16,9			
263	04.02.2014						12,2	12,0			
264	05.02.2014	4,4	3,4	8,0	8,2	48,6	5,0	4,4			
265	06.02.2014	2,9	3,1	9,8	9,1	32,0	4,5	4,5			
266	07.02.2014										Nullpunkt
267	08.02.2014										
268	09.02.2014										
269	10.02.2014	9,8	8,8	12,9	13,1	71,4	8,6	9,1			
270	11.02.2014	4,5	3,8	9,6	8,0	47,6	3,9	3,9			

**Anlage 5**

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

**Blatt 10 von 10**

<b>Hersteller</b>		DURAG							Schwebstaub PM2,5	
<b>Gerätetyp</b>		F701-20							Messwerte in µg/m³ i.B.	
<b>Serien-Nr.</b>		SN 1512361 / SN 1512401								
Nr.	Datum	Ref. 1 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 2 PM2,5 [µg/m³]	Ref. 1 PM10 [µg/m³]	Ref. 2 PM10 [µg/m³]	Ratio PM2,5/PM10 [%]	SN 1512361 PM10 [µg/m³]	SN 1512401 PM10 [µg/m³]	Bemerkung	Standort
271	12.02.2014	4,5	3,8	8,2	7,9	51,3	3,9	3,6		Köln, Winter
272	13.02.2014	4,8	4,3	10,3	10,0	44,8	3,9	4,4		
273	14.02.2014						3,3	3,5		
274	15.02.2014						3,7	3,6		
275	16.02.2014	5,2	4,9	8,8	9,2	56,2	5,2	5,3		
276	17.02.2014	8,0	7,0	12,7	12,5	59,7	7,2	7,9		
277	18.02.2014	14,5	13,8	19,8	19,6	71,7	12,7	13,3		
278	19.02.2014	9,6	8,9	13,2	8,9	83,8	8,5	8,3		
279	20.02.2014	4,3	4,4	6,6	6,2	67,5	5,2	4,9		
280	21.02.2014	4,8	5,0	7,8	7,8	63,2	5,8	5,4		
281	22.02.2014	4,2	5,0	4,7	5,4	90,9	4,3	4,4		
282	23.02.2014	5,6	6,6	7,1	7,0	87,0	5,3	6,2		
283	24.02.2014	9,3	9,3	13,7	12,7	70,6	7,5	8,2		
284	25.02.2014	9,0	8,6	12,8	12,1	70,5	8,4	7,5		
285	26.02.2014	11,3	11,3	19,4	17,3	61,7	9,4	9,6		
286	27.02.2014	7,5	8,2	12,0	10,4	70,3	6,8	7,2		
287	28.02.2014	7,7	7,3	10,3	9,9	74,3	6,0	6,3		
288	01.03.2014	12,1	12,4	14,7	14,7	83,5	11,0	10,7		
289	02.03.2014	16,8	16,9	18,3	19,6	88,6	13,9	14,4		
290	03.03.2014	6,8	6,9	9,9	11,8	63,0	7,0	6,9		
291	04.03.2014	19,5	17,6	25,6	24,3	74,4	15,7	16,9		
292	05.03.2014	30,8	31,2	43,5	43,7	71,0	27,3	27,2		
293	06.03.2014	36,5	35,6	44,2	43,5	82,2	30,6	30,7		
294	07.03.2014	43,6	44,0	56,7	55,5	78,0	39,0	38,9		
295	08.03.2014	42,8	41,4	49,7	50,0	84,4	36,7	37,1		
296	09.03.2014	23,2	21,4	28,1	27,2	80,7	18,3	19,0		

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 1 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
1	28.02.2013	Bonn, Winter	4,1	1017	71,8	1,2	250	0,0
2	01.03.2013		3,5	1016	72,0	1,7	249	0,0
3	02.03.2013		3,0	1015	67,4	1,2	238	0,0
4	03.03.2013		3,1	1014	72,8	0,5	196	0,0
5	04.03.2013		6,6	1007	57,8	1,4	140	0,0
6	05.03.2013		8,5	999	56,5	1,2	136	0,0
7	06.03.2013		11,5	993	48,5	0,4	143	0,0
8	07.03.2013		12,3	990	67,5	0,5	144	2,1
9	08.03.2013		13,7	990	72,1	1,4	138	1,5
10	09.03.2013		10,6	991	72,2	1,2	178	3,6
11	10.03.2013		1,6	993	81,8	3,6	273	2,4
12	11.03.2013		-1,4	996	78,7	1,9	241	0,0
13	12.03.2013		-3,4	995	83,9	2,0	276	0,0
14	13.03.2013		-1,2	999	72,8	1,1	224	0,3
15	14.03.2013		-1,3	1004	75,3	1,1	209	2,1
16	15.03.2013		2,3	1006	58,8	1,0	132	2,1
17	16.03.2013		5,3	998	49,0	3,4	131	0,0
18	17.03.2013		4,7	988	78,3	2,2	131	0,9
19	18.03.2013		6,6	985	60,3	0,7	131	0,0
20	19.03.2013		5,8	991	74,5	0,6	157	1,2
21	20.03.2013		2,6	999	85,8	1,9	240	13,2
22	21.03.2013		0,6	1010	78,8	1,0	229	0,3
23	22.03.2013		2,9	1006	63,4	3,2	146	0,0
24	23.03.2013		1,1	1005	56,8	4,2	146	0,0
25	24.03.2013		1,0	1005	42,8	3,3	153	0,0
26	25.03.2013		0,9	1004	49,0	2,6	153	0,0
27	26.03.2013		1,6	1003	44,1	2,3	168	0,0
28	27.03.2013		2,6	1001	49,5	2,0	148	0,0
29	28.03.2013		3,0	999	58,9	1,2	243	0,0
30	29.03.2013		0,4	999	77,8	1,1	271	1,5

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 2 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
31	30.03.2013	Bonn, Winter	1,8	1000	68,9	1,3	271	0,0
32	31.03.2013		1,7	1003	68,2	1,1	269	0,0
34	01.04.2013		3,2	1001	52,9	1,5	190	0,0
34	02.04.2013		3,6	1003	52,2	1,8	201	0,0
35	03.04.2013		3,0	1005	58,0	1,8	158	0,0
36	04.04.2013		4,4	1001	60,5	1,8	166	0,0
37	05.04.2013		3,8	1003	67,8	1,6	267	0,0
38	06.04.2013		3,6	1012	73,9	1,7	221	0,3
39	07.04.2013		6,4	1008	51,4	0,7	174	0,0
40	08.04.2013		7,0	996	63,9	1,4	130	0,9
41	09.04.2013		8,3	992	78,0	1,2	133	1,8
42	10.04.2013		9,7	996	77,3	1,4	154	6,0
43	11.04.2013		13,0	991	69,6	1,3	169	6,0
44	12.04.2013		12,2	997	69,0	1,1	154	4,4
45	13.04.2013		13,9	1011	56,8	1,4	152	0,6
46	14.04.2013		18,3	1011	57,0	1,5	136	0,0
47	15.04.2013		17,5	1011	67,0	1,5	214	2,7
48	16.04.2013		18,4	1011	54,4	0,9	149	0,0
49	17.04.2013		18,7	1009	54,3	0,6	141	0,0
50	18.04.2013		15,6	1009	46,2	3,1	210	0,0
51	19.04.2013		11,4	1017	57,7	3,5	260	0,0
52	20.04.2013		10,3	1018	51,5	3,3	274	0,0
53	21.04.2013		11,1	1009	57,4	1,1	253	0,0
54	22.04.2013		13,2	1009	46,5	1,4	217	0,0
55	23.04.2013		13,7	1014	63,6	1,7	187	0,0
56	24.04.2013		17,9	1016	56,5	1,0	167	0,0
57	25.04.2013		20,0	1010	51,5	0,4	146	0,0
58	26.04.2013		11,9	1000	77,3	2,2	230	9,9
59	27.04.2013		7,8	1003	70,3	3,2	293	0,0
60	28.04.2013		9,2	1007	68,3	0,7	169	0,0

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Anlage 6

Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten

Blatt 3 von 10

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]	
61	29.04.2013	Bonn, Winter	12,0	1010	56,1	1,9	209	0,0	
62	30.04.2013		11,8	1014	57,9	1,0	214	0,0	
63	01.05.2013		14,6	1011	62,8	0,9	173	0,3	
64	02.05.2013		16,5	1009	60,4	1,1	200	0,0	
65	03.05.2013		16,0	1007	60,0	1,5	253	0,0	
66	04.05.2013		15,7	1011	54,5	2,4	238	0,0	
67	05.05.2013		16,4	1013	55,9	1,3	190	0,0	
68	06.05.2013		19,8	1008	50,0	0,6	192	0,0	
69	14.05.2013	Bornheim, Sommer	keine Wetterdaten vorhanden						
70	15.05.2013								
71	16.05.2013		12,6	989	85,5	0,7	263	8,6	
72	17.05.2013		10,0	995	89,1	0,8	265	2,4	
73	18.05.2013		12,0	1000	77,7	0,4	216	0,0	
74	19.05.2013		16,7	998	66,5	2,7	273	7,4	
75	20.05.2013		11,9	1000	83,1	0,3	175	6,2	
76	21.05.2013		12,9	1001	78,8	1,8	239	13,1	
77	22.05.2013		8,8	1004	82,4	2,4	258	7,4	
78	23.05.2013		6,4	1000	81,9	1,8	255	2,4	
79	24.05.2013		8,3	1003	69,9	0,7	192	0,9	
80	25.05.2013		10,5	1005	70,9	2,8	270	3,0	
81	26.05.2013		9,8	1002	79,9	3,2	271	5,7	
82	27.05.2013		14,0	1000	61,4	1,6	244	0,0	
83	28.05.2013		17,2	993	60,4	2,0	179	1,2	
84	29.05.2013		9,7	995	88,4	0,6	207	15,0	
85	30.05.2013		13,5	999	69,6	1,7	237	2,4	
86	31.05.2013		16,1	1001	73,0	4,7	299	0,9	
87	01.06.2013		11,9	1009	79,4	4,4	290	0,3	
88	02.06.2013		13,3	1016	57,6	4,0	288	0,0	
89	03.06.2013		12,9	1017	61,6	3,6	269	0,0	
90	04.06.2013		15,6	1012	64,5	1,7	237	0,0	

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 4 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
91	05.06.2013	Bornheim, Sommer	19,9	1009	54,2	0,6	197	0,0
92	06.06.2013		20,9	1010	52,6	0,8	168	0,0
93	07.06.2013		21,7	1010	55,5	1,0	211	0,0
94	08.06.2013		21,1	1005	62,3	2,1	243	0,0
95	09.06.2013		15,6	1001	78,7	1,8	273	4,5
96	10.06.2013		14,4	1005	75,9	1,2	253	0,6
97	11.06.2013		18,8	1008	61,5	0,6	198	0,0
98	12.06.2013		21,1	1008	67,1	1,0	181	0,0
99	13.06.2013		17,0	1007	77,9	1,3	209	22,5
100	14.06.2013		16,1	1009	65,4	0,6	181	0,0
101	15.06.2013		17,2	1005	63,1	1,4	209	0,0
102	16.06.2013		17,7	1007	63,9	0,7	226	0,0
103	17.06.2013		23,3	1004	64,7	0,9	185	0,0
104	18.06.2013		27,2	1005	61,3	0,4	178	0,0
105	19.06.2013		26,9	1003	67,8	1,9	244	0,0
106	20.06.2013		20,5	1003	78,5	1,0	187	34,6
107	21.06.2013		19,0	1005	69,8	1,6	196	0,3
108	22.06.2013		19,0	1004	67,8	1,8	198	1,5
109	23.06.2013		16,2	1005	69,9	1,6	216	0,9
110	24.06.2013		14,2	1013	76,9	1,8	255	1,5
111	25.06.2013		13,4	1018	71,1	1,8	259	0,3
112	26.06.2013		13,9	1018	70,9	1,1	250	9,8
113	27.06.2013		13,2	1014	78,5	0,7	230	3,9
114	28.06.2013		14,1	1010	86,1	0,3	174	16,4
115	29.06.2013		14,8	1012	73,9	2,6	269	1,8
116	30.06.2013		17,7	1012	66,4	0,6	198	0,0
117	01.07.2013		18,8	1008	74,9	0,7	215	21,0
118	02.07.2013		21,6	1003	62,7	0,6	183	0,3
119	03.07.2013		17,5	1004	85,6	0,2	213	16,0
120	04.07.2013		20,0	1014	71,1	0,9	232	0,0

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

Seite 129 von 140

Anlage 6

Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten

Blatt 5 von 10

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
121	05.07.2013	Bornheim, Sommer	19,8	1020	74,4	0,3	222	0,0
122	06.07.2013		22,4	1020	65,4	1,0	191	0,0
123	07.07.2013		23,1	1020	58,8	1,2	218	0,0
124	08.07.2013		23,0	1019	59,6	1,4	214	0,0
125	09.07.2013		23,4	1014	59,4	1,4	237	0,0
126	10.07.2013		19,5	1012	62,6	3,5	261	0,0
127	11.07.2013		15,7	1013	70,1	1,7	215	0,0
128	12.07.2013		16,5	1013	70,8	1,2	250	0,0
129	13.07.2013		17,7	1014	68,3	1,1	241	0,0
130	14.07.2013		18,9	1014	69,1	1,7	249	0,0
131	15.07.2013		21,3	1013	62,9	0,8	188	0,0
132	16.07.2013		22,5	1013	58,8	0,8	184	0,0
134	17.07.2013		23,2	1014	59,0	1,2	218	0,0
134	18.07.2013		24,5	1014	56,8	1,7	224	0,0
135	19.07.2013	23,5	1013	58,3	2,3	241	0,0	
136	20.07.2013	21,1	1011	68,5	1,3	226	0,0	
137	21.07.2013	25,3	1009	57,4	1,1	155	0,0	
138	22.07.2013	27,6	1006	52,2	0,9	167	0,0	
139	23.07.2013	25,5	1004	62,0	0,6	159	0,0	
140	24.07.2013	21,7	1006	78,7	0,7	213	3,6	
141	25.07.2013	22,5	1006	81,7	0,7	145	15,1	
142	04.09.2013	Köln, Herbst	22,5	1012	64,5	0,2	159	0,0
143	05.09.2013		25,5	1004	56,3	0,2	181	0,0
144	06.09.2013		24,3	1004	62,8	0,2	180	0,3
145	07.09.2013		17,7	1010	81,6	0,1	170	35,8
146	08.09.2013		14,4	1012	86,6	0,0	172	2,1
147	09.09.2013		14,9	1007	73,6	0,5	186	4,2
148	10.09.2013		13,6	1005	79,7	1,0	188	11,9
149	11.09.2013		14,0	1006	86,5	0,1	178	10,9
150	12.09.2013		15,2	1011	82,9	0,1	191	2,7

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 6 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
151	13.09.2013	Köln, Herbst	17,1	1010	76,6	0,1	190	3,0
152	14.09.2013		15,5	1005	82,7	0,2	182	4,1
153	15.09.2013		14,8	1000	74,7	0,4	198	11,6
154	16.09.2013		12,3	995	67,6	0,4	191	1,2
155	17.09.2013		12,3	992	79,7	0,5	196	7,5
156	18.09.2013		12,3	998	84,1	0,0	182	0,9
157	19.09.2013		14,1	1005	75,0	0,4	181	3,0
158	20.09.2013		14,5	1013	78,7	0,1	189	0,0
159	21.09.2013		14,4	1020	77,8	0,0	188	0,0
160	22.09.2013		16,9	1020	81,0	0,0	182	0,0
161	23.09.2013		15,9	1015	78,0	0,0	187	0,0
162	24.09.2013		15,8	1007	76,9	0,1	191	0,0
163	25.09.2013		16,8	1004	80,1	0,0	197	0,0
164	26.09.2013		13,2	1009	77,2	0,1	188	0,0
165	27.09.2013		12,5	1008	71,6	0,1	199	0,0
166	28.09.2013		14,0	1004	64,8	0,4	164	0,0
167	29.09.2013	13,4	1002	61,9	0,6	187	0,0	
168	30.09.2013	13,9	1003	62,8	0,2	177	0,0	
169	01.10.2013	15,2	1006	57,0	0,4	153	0,0	
170	02.10.2013							
171	03.10.2013							
172	04.10.2013							
173	05.10.2013							
174	06.10.2013							
175	07.10.2013							
176	08.10.2013							
177	09.10.2013		12,7	1005	84,1	0,2	207	6,9
178	10.10.2013		7,8	1003	86,9	0,1	180	7,1
179	11.10.2013		6,5	1009	89,2	0,0	190	6,3
180	12.10.2013		7,1	1009	88,6	0,1	187	2,7

keine Wetterdaten vorhanden

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 7 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
181	13.10.2013	Köln, Herbst	9,5	1009	78,9	0,5	194	0,0
182	14.10.2013		12,2	1004	82,3	0,3	183	12,4
183	15.10.2013		10,7	1002	82,5	0,2	187	10,6
184	16.10.2013		11,8	1006	83,2	0,1	206	0,6
185	17.10.2013		13,0	1008	83,5	0,4	191	0,3
186	18.10.2013		12,9	1009	79,7	0,0	166	0,0
187	19.10.2013		16,8	1004	78,4	0,1	184	0,6
188	20.10.2013		15,7	1006	81,9	0,3	174	3,3
189	21.10.2013		16,5	1005	79,6	0,2	195	0,0
190	22.10.2013		18,3	998	79,6	0,3	198	9,2
191	23.10.2013		16,6	1003	76,4	0,9	206	0,3
192	24.10.2013		14,3	1009	79,3	0,1	185	0,6
193	25.10.2013		15,9	1005	87,5	0,0	163	8,9
194	26.10.2013		18,1	1002	77,0	0,6	185	2,4
195	27.10.2013		15,7	996	69,5	2,5	217	4,8
196	28.10.2013		13,7	997	68,9	2,2	212	2,4
197	29.10.2013		10,5	1009	73,2	1,0	215	0,3
198	30.10.2013		8,2	1018	76,7	0,2	188	0,0
199	31.10.2013		11,1	1013	71,9	0,3	190	0,3
200	01.11.2013		10,0	1002	89,8	0,0	180	20,9
201	02.11.2013		11,9	995	86,3	0,2	195	7,7
202	03.11.2013		10,2	992	72,9	1,9	210	1,2
203	04.11.2013		8,9	986	82,5	0,7	186	15,1
204	05.11.2013		8,4	989	81,4	0,6	185	13,4
205	06.11.2013		13,5	997	80,2	1,1	202	8,3
206	07.11.2013		12,4	1001	89,2	0,3	174	21,2
207	08.11.2013		11,1	1000	77,6	0,9	197	1,5
208	09.11.2013		8,7	998	77,8	0,7	193	2,7
209	10.11.2013		5,4	1016	85,6	0,0	177	2,7
210	11.11.2013		6,0	1020	81,3	0,0	196	0,0

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 8 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]	
211	12.11.2013	Köln, Herbst	7,8	1021	89,1	0,0	163	3,6	
212	13.11.2013		4,4	1018	89,5	0,0	192	0,0	
213	14.11.2013		7,0	1015	84,0	0,1	186	0,3	
214	15.11.2013		3,4	1024	84,9	0,1	183	0,0	
215	16.11.2013		2,6	1020	87,8	0,0	195	0,3	
216	17.11.2013		5,0	1009	85,5	0,1	192	0,0	
217	18.11.2013		6,0	1001	76,6	0,1	191	0,0	
218	19.11.2013		5,7	1000	84,8	0,2	163	0,0	
219	20.11.2013		5,2	992	71,0	0,2	185	0,9	
220	21.11.2013		4,4	999	78,6	0,8	198	0,9	
221	22.11.2013		5,7	1007	80,5	0,2	188	0,0	
222	23.11.2013		5,2	1013	84,3	0,2	168	0,9	
223	24.11.2013		5,2	1020	82,8	0,2	165	0,9	
224	25.11.2013		1,1	1026	88,1	0,1	186	1,2	
225	26.11.2013		1,7	1027	88,4	0,0	197	0,3	
226	27.11.2013		4,5	1025	86,9	0,0	186	2,1	
227	28.11.2013		7,6	1021	82,4	0,2	177	0,3	
228	29.11.2013		6,2	1009	84,2	0,6	171	1,2	
229	30.11.2013		4,2	1024	78,9	0,0	191	0,0	
230	01.12.2013								
231	02.12.2013					keine Wetterdaten vorhanden			
232	03.12.2013			2,6	1020	82,9	0,0	183	0,0
234	04.12.2013			4,9	1020	86,4	0,1	189	1,8
234	05.12.2013			4,8	1009	76,3	2,3	176	6,8
235	06.12.2013			3,0	1017	80,9	1,1	171	5,1
236	07.12.2013			6,2	1018	85,8	0,1	194	2,1
237	08.12.2013			8,7	1019	77,2	0,9	201	0,0
238	09.12.2013			8,2	1025	78,9	0,3	197	0,0
239	10.12.2013			5,9	1027	87,1	0,1	206	0,0
240	11.12.2013		5,6	1025	87,7	0,6	201	0,0	

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 9 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur [°C]	Luftdruck [hPa]	Rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windrichtung [°]	Niederschlagsmenge [mm]
241	13.01.2014	Köln, Winter	6,8	1002	82,5	0,0	210	0,0
242	14.01.2014		6,3	1001	77,9	0,3	203	0,0
243	15.01.2014		5,3	998	86,2	0,3	205	3,9
244	16.01.2014		7,8	993	80,2	0,2	220	0,0
245	17.01.2014		8,2	994	72,4	0,3	209	0,3
246	18.01.2014		6,5	992	75,3	0,7	202	0,0
247	19.01.2014		5,7	994	80,7	0,2	202	0,0
248	20.01.2014		3,8	1000	83,9	0,3	135	0,0
249	21.01.2014		4,0	1005	87,1	0,0	186	0,0
250	22.01.2014		2,7	1006	84,8	0,1	203	0,0
251	23.01.2014		3,8	1004	87,2	0,2	193	8,0
252	24.01.2014		4,1	1010	86,2	0,0	188	0,3
253	25.01.2014		5,0	1004	79,5	1,1	208	6,5
254	26.01.2014		5,1	991	79,6	0,8	207	18,9
255	27.01.2014		4,9	990	75,6	0,8	214	0,3
256	28.01.2014		3,8	992	73,6	0,6	204	0,0
257	29.01.2014		2,6	996	71,0	1,1	198	0,0
258	30.01.2014		2,5	1000	72,6	0,2	194	0,0
259	31.01.2014		5,7	996	70,7	0,6	204	0,3
260	01.02.2014		5,5	997	81,6	0,5	214	3,6
261	02.02.2014		4,2	1008	76,5	0,5	207	0,0
262	03.02.2014		4,9	1001	77,9	0,7	203	0,0
263	04.02.2014		5,9	998	75,1	0,3	204	0,0
264	05.02.2014		7,4	992	73,8	1,2	209	0,0
265	06.02.2014		10,2	989	66,1	1,6	210	5,1
266	07.02.2014		7,6	991	72,7	2,4	216	7,7
267	08.02.2014		7,7	984	70,0	1,9	219	0,6
268	09.02.2014		5,9	989	67,2	1,7	221	0,0
269	10.02.2014		5,5	990	75,2	0,3	205	1,8
270	11.02.2014		6,7	997	70,1	1,1	217	2,4

**Anlage 6**

**Umgebungsbedingungen an den Feldteststandorten**

**Blatt 10 von 10**

Nr.	Datum	Standort	mittl. Lufttemperatur	Luftdruck	Rel. Luftfeuchte	Windgeschwindigkeit	Windrichtung	Niederschlagsmenge	
			[°C]	[hPa]	[%]	[m/s]	[°]	[mm]	
271	12.02.2014	Köln, Winter	7,1	994	68,5	1,7	224	0,3	
272	13.02.2014		5,2	992	80,2	0,5	201	8,0	
273	14.02.2014		8,6	992	74,6	1,4	217	9,5	
274	15.02.2014		10,0	995	65,2	3,0	210	1,5	
275	16.02.2014		7,4	1004	71,7	0,8	220	0,6	
276	17.02.2014		4,2	1008	82,8	0,0	212	0,0	
277	18.02.2014		7,4	1005	76,0	0,1	214	1,8	
278	19.02.2014		8,3	1006	77,5	0,3	208	0,0	
279	20.02.2014		9,7	999	78,3	0,9	209	5,4	
280	21.02.2014		5,8	1002	77,2	0,6	207	0,9	
281	22.02.2014		5,5	1010	76,2	0,7	211	1,8	
282	23.02.2014		7,3	1011	70,4	0,5	206	0,0	
283	24.02.2014		12,9	1005	53,2	0,5	203	0,0	
284	25.02.2014								
285	26.02.2014								
286	27.02.2014								
287	28.02.2014			6,6	994	75,3	0,3	199	0,0
288	01.03.2014			5,8	995	78,1	0,1	223	0,6
289	02.03.2014			6,1	990	69,9	0,7	199	0,0
290	03.03.2014			6,2	988	71,5	0,6	187	0,0
291	04.03.2014			7,9	1002	70,6	0,1	199	0,0
292	05.03.2014			4,6	1018	81,8	0,2	146	0,0
293	06.03.2014			7,6	1020	67,2	0,2	191	0,0
294	07.03.2014			11,1	1021	63,3	0,1	178	0,0
295	08.03.2014			12,4	1022	56,2	0,5	202	0,0
296	09.03.2014			13,1	1020	46,8	0,3	164	0,0

## Anhang 2

### Verfahren zur Filterwägung

#### A.1 Ausführung der Wägung

Die Wägungen werden im klimatisierten Wägeraum durchgeführt. Die Bedingungen sind  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  und  $50\% \pm 5\%$  rel. Feuchte und entsprechen damit den Vorgaben der DIN EN 14907.

Die Filter für den Feldtest werden manuell gewogen. Für die Konditionierung werden die Filter einschließlich der Kontrollfilter auf Siebe gelegt, sodass keine Überlappung vorliegt. Die Bedingungen für die Hin und Rückwägung werden vorher festgelegt und entsprechen der Richtlinie.

Vor der Probenahme = Hinwägung	Nach der Probenahme = Rückwägung
Konditionierung 48 Stunden + 2 Stunden	Konditionierung 48 Stunden + 2 Stunden
Wiegen der Filter	Wiegen der Filter
nochmals Konditionierung 24 Stunden + 2 Stunden	nochmals Konditionierung 24 Stunden + 2 Stunden
Wiegen der Filter und sofort verpacken	Wiegen der Filter

Die Waage steht immer betriebsbereit zur Verfügung. Vor jeder Wägeserie wird die interne Waagenkalibrierung gestartet. Ist alles in Ordnung, wird als Referenzgewicht das Eichgewicht von 200 mg gewogen und die Randbedingungen notiert. Die Abweichungen zur vorhergehenden Wägung entsprechen der Richtlinie und überschreiten die  $20\text{ }\mu\text{g}$  nicht (siehe Abbildung 45). Dann werden die sechs Kontrollfilter gewogen. Die Kontrollfilter mit einer Abweichung von über  $40\text{ }\mu\text{g}$  werden in der Auswerteseite mit einer Warnung angezeigt und nicht für die Rückwägung verwendet. Für die Rückwägung werden die ersten drei einwandfreien Kontrollfilter genommen, während die anderen sicher in ihren Döschen bleiben, um bei Beschädigungen und/oder größeren Abweichungen der ersten drei Kontrollfilter zum Einsatz zu kommen. Den exemplarischen Verlauf über einen Zeitraum von über vier Monate zeigt Abbildung 46.

Bei der Hinwägung der Filter werden die Filter, die zwischen der ersten und zweiten Wägung eine Differenz von über  $40\text{ }\mu\text{g}$  aufweisen, ausgemustert. Bei der Rückwägung werden die Filter mit einer Differenz von über  $60\text{ }\mu\text{g}$  normgerecht nicht zur Auswertung genommen.



Für den Transport von und zu der Messstelle und für die Lagerung werden die gewogenen Filter einzeln in Polystyrolböschchen verpackt. Erst vor dem Einlegen in den Filterhalter wird das Böschchen geöffnet. Die unbeladenen Filter können im Wägeraum bis zu 28 Tage vor der Probenahme gelagert werden. Sollte dieser Zeitraum einmal überschritten werden, so wird die Hinwägung der Filter wiederholt.

Die Lagerung der beaufschlagten Filter kann bei oder unterhalb von 23 °C max. 15 Tage erfolgen. Die Filter werden bei 7 °C im Kühlschrank gelagert.

## **A2 Auswertung der Filter**

Die Auswertung der Filter erfolgt unter Verwendung eines Korrekturterms. Zweck dieser Korrekturrechnung ist es, die relative Masseänderung durch die Wägeraumbedingungen zu minimieren.

Formel:

$$\text{Staub} = MF_{\text{rück}} - ( M_{\text{Tara}} \times ( MKon_{\text{rück}} / MKon_{\text{hin}} ) ) \quad (\text{F1})$$

$MKon_{\text{hin}}$  = mittlere Masse der 3 Kontrollfilter von 48 h und 72h Hinwägung

$MKon_{\text{rück}}$  = mittlere Masse der 3 Kontrollfilter von 48 h und 72 h Rückwägung

$M_{\text{Tara}}$  = mittlere Masse des Filters von 48 h und 72 h Hinwägung

$MF_{\text{rück}}$  = mittlere Masse des bestaubten Filters von 48 h und 72 h Rückwägung

Staub = korrigierte Staubmasse auf dem Filter

Es zeigt sich, dass durch die Korrekturrechnung das Verfahren unabhängig von den Wägeraumkonditionen wird. Damit sind die Einflüsse des Wassergehaltes der Filtermasse zwischen beladenen und unbeladenen Filtern kontrollierbar und verändern nicht die Staubgehalte auf den beladenen Filtern. Damit ist der Punkt EN 14907 9.3.2.5 hinreichend erfüllt.

Der exemplarische Verlauf des Eichgewichtes für den Zeitraum von Nov. 2008 bis Feb. 2009 zeigt, dass die zulässige Differenz von 20 µg zur vorhergehenden Messung nicht überschritten wird.

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

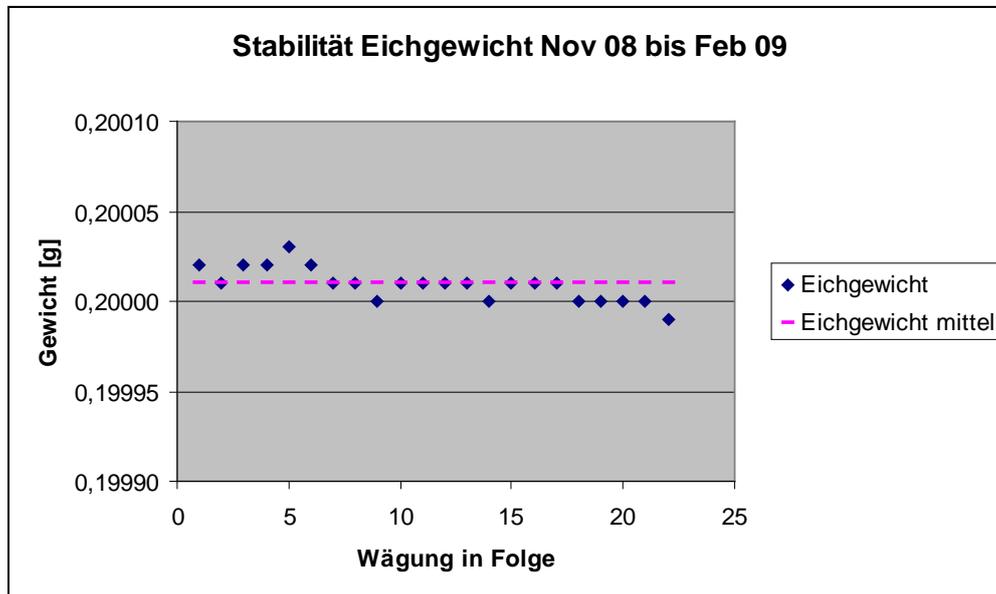


Abbildung 45: Stabilität Eichgewicht

Tabelle 22: Stabilität Eichgewicht

Datum	Wägung Nr.	Eichgewicht g	Differenz zur vorhergehenden Wägung µg
12.11.2008	1	0,20002	
13.11.2008	2	0,20001	-10
10.12.2008	3	0,20002	10
11.12.2008	4	0,20002	0
17.12.2008	5	0,20003	10
18.12.2008	6	0,20002	-10
07.01.2009	7	0,20001	-10
08.01.2009	8	0,20001	0
14.01.2009	9	0,20000	-10
15.01.2009	10	0,20001	10
21.01.2009	11	0,20001	0
22.01.2009	12	0,20001	0
29.01.2009	13	0,20001	0
30.01.2009	14	0,20000	-10
04.02.2008	15	0,20001	10
05.02.2009	16	0,20001	0
11.02.2009	17	0,20001	0
12.02.2009	18	0,20000	-10
18.02.2009	19	0,20000	0
19.02.2009	20	0,20000	0
26.02.2009	21	0,20000	0
27.02.2009	22	0,19999	-10

Gelb hinterlegt = Mittelwert

Grün hinterlegt = niedrigster Wert

Blau hinterlegt = höchster Wert

Addendum zum Eignungsprüfbericht der Immissionsmesseinrichtung F-701-20 mit PM2,5 Vorabscheider der Firma DURAG GmbH für die Komponente Schwebstaub PM2,5 zum TÜV-Bericht 936/21220478/A vom 17. März 2014, Berichts-Nr.: 936/21243589/A

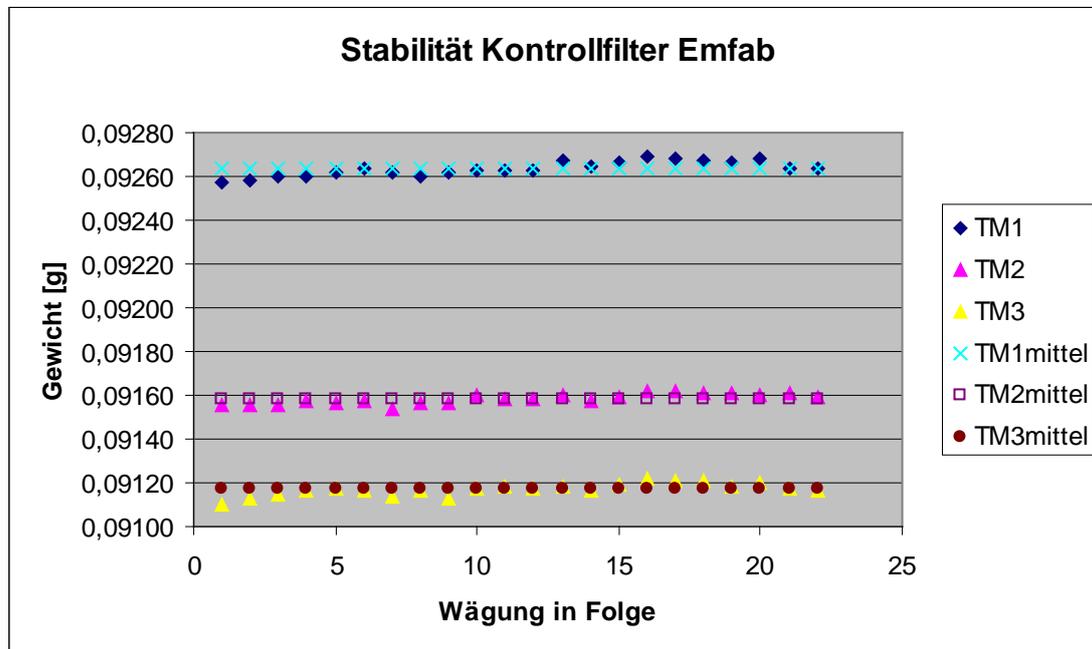


Abbildung 46: Stabilität der Kontrollfilter

Tabelle 23: Stabilität der Kontrollfilter

Wägung Nr.	Kontrollfilter Nr.		
	TM1	TM2	TM3
1	0,09257	0,09155	0,09110
2	0,09258	0,09155	0,09113
3	0,09260	0,09155	0,09115
4	0,09260	0,09157	0,09116
5	0,09262	0,09156	0,09117
6	0,09264	0,09157	0,09116
7	0,09262	0,09154	0,09114
8	0,09260	0,09156	0,09116
9	0,09262	0,09156	0,09113
10	0,09263	0,09160	0,09117
11	0,09263	0,09158	0,09118
12	0,09263	0,09158	0,09117
13	0,09267	0,09160	0,09118
14	0,09265	0,09157	0,09116
15	0,09266	0,09159	0,09119
16	0,09269	0,09162	0,09122
17	0,09268	0,09162	0,09121
18	0,09267	0,09161	0,09121
19	0,09266	0,09161	0,09118
20	0,09268	0,09160	0,09120
21	0,09264	0,09161	0,09117
22	0,09264	0,09159	0,09116
Mittelwert	0,09264	0,09158	0,09117
Standardabw.	3,2911E-05	2,4937E-05	2,8558E-05
rel. Standardabw.	0,036	0,027	0,031
Median	0,09264	0,09158	0,09117
kleinster Wert	0,09257	0,09154	0,09110
höchster Wert	0,09269	0,09162	0,09122

Gelb hinterlegt = Mittelwert

Grün hinterlegt = niedrigster Wert

Blau hinterlegt = höchster Wert