



PM_{2,5}-ÄQUIVALENZNACHWEIS

für die automatischen Geräte
des Typs Grimm-EDM180
des Berliner Luftgütemessnetzes
für das Jahr 2023

Senatsverwaltung
für Mobilität, Verkehr,
Klimaschutz und Umwelt

BERLIN



Impressum

Herausgeber:

Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt
Berliner Luftgütemessnetz
Brückenstraße 6
10179 Berlin
Tel.: 030-9025-0

Bearbeitung:

Sean Carlos Conrad, Sebastian Clemen, Dr. Katja Grunow, Dr. Heike Kaupp

Stand:

Juni 2024

Bezug des Berichts bei:

Sean Carlos Conrad
Tel.: 030-9025-2355
E-Mail: carlos.conrad@senmvku.berlin.de

Titelbild:

Automatisches PM-Messgerät EDM180 der Firma Grimm in Betrieb, Quelle: Berliner Luftgütemessnetz

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Kurzzusammenfassung	4
1 Vergleichsgeräte und Orte	5
2 Bedingung an die Datensätze für die Überprüfung der Vergleichbarkeit der automatischen Messgeräte zur Referenzmethode (DIN EN 16450 7.5.8.2)	5
3 Ergebnisse	6
Anlage	8
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	9
Referenzen	9

Kurzzusammenfassung

An ausgewählten Berliner Standorten wurden PM_{2,5}-Parallelmessungen der Automaten EDM180 der Firma Grimm zur gravimetrischen Referenz durchgeführt.

Die geforderte erweiterte Messunsicherheit von 25 % am Grenzwert von 30 µg/m³ der automatischen Geräte zur Referenz wird nach Anwendung von Korrekturfunktionen an allen Vergleichsorten im Jahr 2023 eingehalten.

Die Korrektur für die EDM180 pro Belastungsregime wurde gegenüber dem Vorjahr verändert. Die Regime städtisches Randgebiet und städtisches Wohngebiet wurden getrennt, so dass das städtische Randgebiet mit einer eigenen Funktion korrigiert wird:

- | | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1. Städtisches Randgebiet: | $0,69 \cdot \text{EDM180} + 1,24$ |
| 2. Städtisches Wohngebiet: | $0,80 \cdot \text{EDM180} + 1,30$ |
| 3. Straßen: | $0,83 \cdot \text{EDM180} + 2,00$ |

Bei der Berechnung der erweiterten relativen Messunsicherheit wurde eine Messunsicherheit des Referenzverfahrens von 0,7 µg/m³ verwendet.

Für den Gesamtdatensatz 2023 und alle Vergleichsorte beträgt die erweiterte relative Messunsicherheit 11,1 % und liegt damit unter 25 %.

Für alle Daten $\geq 17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gesamtdatensatz) wird die erweiterte Unsicherheit mit 11,0 % eingehalten.

In Anlage 6 Absatz A 4 der 39. BImSchV wird in Umsetzung der Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa die Referenzmethode für die Beurteilung der PM_{2,5}-Konzentration nach DIN EN 12341:2014-08 festgelegt. Hier wird auch auf das Verfahren zum Nachweis der Gleichwertigkeit von automatischen Messverfahren zur Referenzmethode verwiesen. Die automatischen Messgeräte zur PM-Bestimmung werden gemäß DIN EN 16450:2017-07 betrieben.

1 VERGLEICHSGERÄTE UND ORTE IM JAHR 2023

- Im Berliner Luftgütemessnetz wird die PM_{2,5}-Konzentration an 5 Stationen mit dem gravimetrischen Referenzverfahren gemäß 39.BImSchV erhoben. Dabei werden SEQ-Geräte der Firma Leckel (SEQ47/50-Geräte mit PM_{2,5}-Kopf) eingesetzt.
- An allen 5 Stationen werden auch automatische PM_{2,5}-Geräte betrieben, so dass als Vergleichsorte die folgenden Stationen zur Verfügung stehen:
 - an Straßen: DEBE065 (MC174),
 - im innerstädtischen Hintergrund DEBE034 (MC042); DEBE010 (MC010) und DEBE068 (MC171) sowie
 - am Stadtrand DEBE051 (MC077).
- Als automatische Messgeräte kommen ausschließlich EDM180 der Firma Grimm mit Software aus dem Eignungstest zum Einsatz.
- Nach DIN EN 16450:2017-07 Absatz 8.6.2 ist bis zur max. zulässigen erweiterten Messunsicherheit von 25 % eine Mindestanzahl von 5 Vergleichsorten festgelegt (siehe Tabelle 1). Diese Mindestanzahl wird erfüllt.

Tabelle 1: Anzahl der notwendigen Vergleichsmessungen in Abhängigkeit der erweiterten Unsicherheit

Erweiterte Unsicherheit in %	≤ 10	10-15	15-20	20-25
Anzahl Vergleichsmessungen	2	3	4	5

- Die SEQ-Geräte werden im klimatisierten Messcontainer mit folgenden Spezifikation betrieben: Motherboard Software 3.0.0, Motherboard Hardware 1.0.0, Kommunikationsmodul Software 5.0.0 oder 5.0.1, Kommunikationsmodul Hardware 2.0.0)
- Beim gravimetrischen Verfahren werden Quarzfaserfilter vom Typ MN QF-10 eingesetzt, welche vorbehandelt wurden (glühen, befeuchten, equilibrieren).
- Am MC077 erfolgt die gravimetrische Probenahme jeden 2. Tag, an allen anderen Stationen täglich.
- Die Wartung und Kalibrierung der kontinuierlichen Messgeräte und der Partikelsammler erfolgte im Routinebetrieb.
- Die Verfügbarkeit ist bei den SEQ und den EDM180 an allen Orten deutlich größer als 90 %.

2 BEDINGUNG AN DIE DATENSÄTZE FÜR DIE ÜBERPRÜFUNG DER VERGLEICHBARKEIT DER AUTOMATISCHEN MESSGERÄTE ZUR REFERENZMETHODE (DIN EN 16450:2017-07 7.5.8.2)

1. Die Referenzmethode muss eine Unsicherheit < 2 µg/m³ haben (DIN EN 16450:2017-07; 7.5.8.3).
2. Die Kandidatenmethode (EDM180) muss eine Unsicherheit < 2,5 µg/m³ haben (DIN EN 16450:2017-07; 7.5.8.4).
3. Ausreißer dürfen mit bis zu 2,5 % entfernt werden - müssen begründet und dokumentiert werden. Danach muss jeder Datensatz noch mehr als 40 verwendete Datenpaare enthalten (DIN EN 16450:2017-07; 7.5.8.2).
4. Mindestens 20 % der Daten müssen größer oder gleich der oberen Beurteilungsschwelle (70 % des Grenzwertes = 17 µg/m³) sein, wenn das nicht erreicht wird, müssen mindestens 32 Datensätze mit Werten oberhalb der oberen Beurteilungsschwelle für den Vergleich vorhanden sein (DIN EN 16450:2017-07; 7.5.8.2).
5. Die erweiterte kombinierte Messunsicherheit der Kandidaten muss bei PM_{2,5} am Grenzwert von 30 µg/m³ ≤ 25 % sein (DIN EN 16450:2017-07; 7.5.8.5):
 - für alle Ergebnisse zusammen,
 - für alle ≥ 17 µg/m³,
 - für Datensätze für jeden einzelnen Standort.

Der Nachweis für EDM180 wird durch die Anwendung der orthogonalen Regression mittels Excel-Sheet [Equivalence Tool V3.1] durchgeführt.

3 ERGEBNISSE

1. Die Unsicherheit der Referenzmethode wird seit mehreren Jahren laufend mittels Parallelmessungen SEQ zu SEQ an zwei Messstationen (MC174 und MC042) ermittelt. Bei den SEQ 47/50 Geräten der Firma Leckel wurde für PM₁₀ eine Unsicherheit von 0,7 µg/m³ gefunden und verwendet. In früheren Untersuchungen wurde am MC171 über ca. 1 Jahr neben PM₁₀- auch PM_{2,5}-Unsicherheiten bestimmt und kein Unterschied festgestellt. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass diese Unsicherheit auf PM_{2,5} übertragbar ist.
2. Die Unsicherheit der Kandidatenmethode (EDM180) wird ebenfalls seit mehreren Jahren durch Parallelmessungen am MC174 für PM_{2,5} ermittelt und für den Gesamtdatensatz des Jahres 2023 mit 0,25 µg/m³ und für den Datensatz ≥ 17 µg/m³ mit 0,3 µg/m³ ermittelt.
3. Außer an den Tagen Silvester und Neujahr, die prinzipiell als Ausreißer behandelt werden, wurden im Datensatz keine weiteren Ausreißer identifiziert. Im Gesamtdatensatz wurden 0,5 % Ausreißer entfernt. 1601 Datenpaare wurden für den Äquivalenzvergleich 2023 berücksichtigt (siehe Tabelle 2). Pro Messstation wurden maximal 0,6 % Ausreißer entfernt.
4. Der Mindestanteil von 20% der Daten oberhalb der oberen Beurteilungsschwelle wird im Zeitraum 01.01.2023-31.12.2023 von keiner Messstation erreicht, jedoch erreichen alle Stationen außer MC077 die Mindestanzahl von 32 Wertepaaren. Beim MC077 reichen die Daten oberhalb der oberen Beurteilungsschwelle mit 10 Wertepaaren größer oder gleich 17 µg/m³ nicht aus (siehe Tabelle 2).
5. Die erweiterte Messunsicherheit der automatischen Geräte zur Referenz wird ohne Korrekturfunktion nicht eingehalten. Eine Korrektur für die EDM180 pro Belastungsregime ist erforderlich mit

○ Städtisches Randgebiet:	$0,69 \cdot \text{EDM180} + 1,24$
○ Städtisches Wohngebiet:	$0,80 \cdot \text{EDM180} + 1,30$
○ Straßen:	$0,83 \cdot \text{EDM180} + 2,00$

verbessert die Vergleichbarkeit und ermöglicht den Nachweis der Gleichwertigkeit im Jahr 2023.

Es wurde für alle Ergebnisse zusammen, für jeden Messort einzeln und für alle Daten ≥ 17 µg/m³ der Äquivalenztest durchgeführt und die erweiterte Unsicherheit von ≤ 25 % am Grenzwert von 30 µg/m³ eingehalten.

- Der Vergleich der Tagesmittelwerte aller Vergleichsorte (MC174, MC042, MC010, MC077 und MC171) zwischen SEQ (Referenzmethode RM) und Automaten (Kandidatenmethode CM) ist in Abbildung 1 dargestellt. Die zulässige erweiterte Unsicherheit von ≤ 25 % ist eingehalten.
- Pro Messort beträgt die erweiterte Messunsicherheit zwischen 9,4 % und 13,9 % (siehe Anlage).

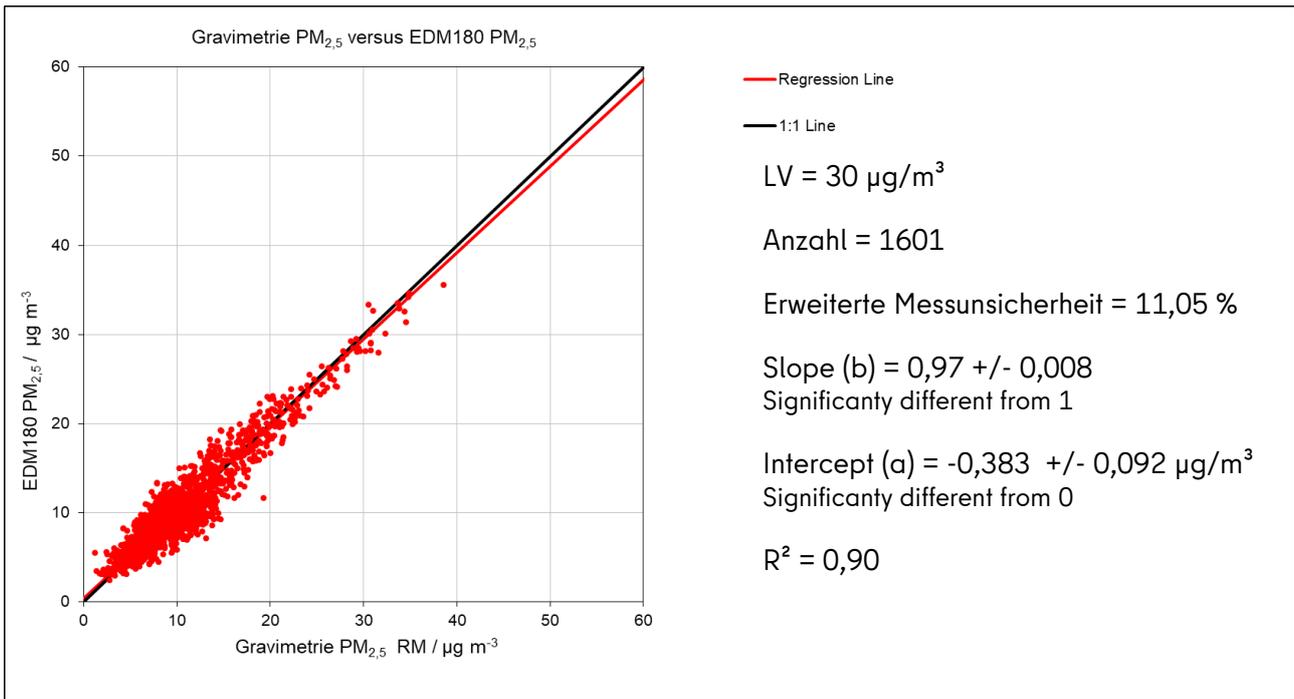


Abbildung 1: Vergleich Automat EDM180 (CM) zu SEQ (RM) an fünf Berliner Standorten für alle Messwerte [berechnet mit Equivalence Tool V3.1] durchgeführt.

Auch für die Daten $\geq 17 \mu\text{g/m}^3$ wird die erweiterte Messunsicherheit mit 10,99 % eingehalten (Abb. 2):

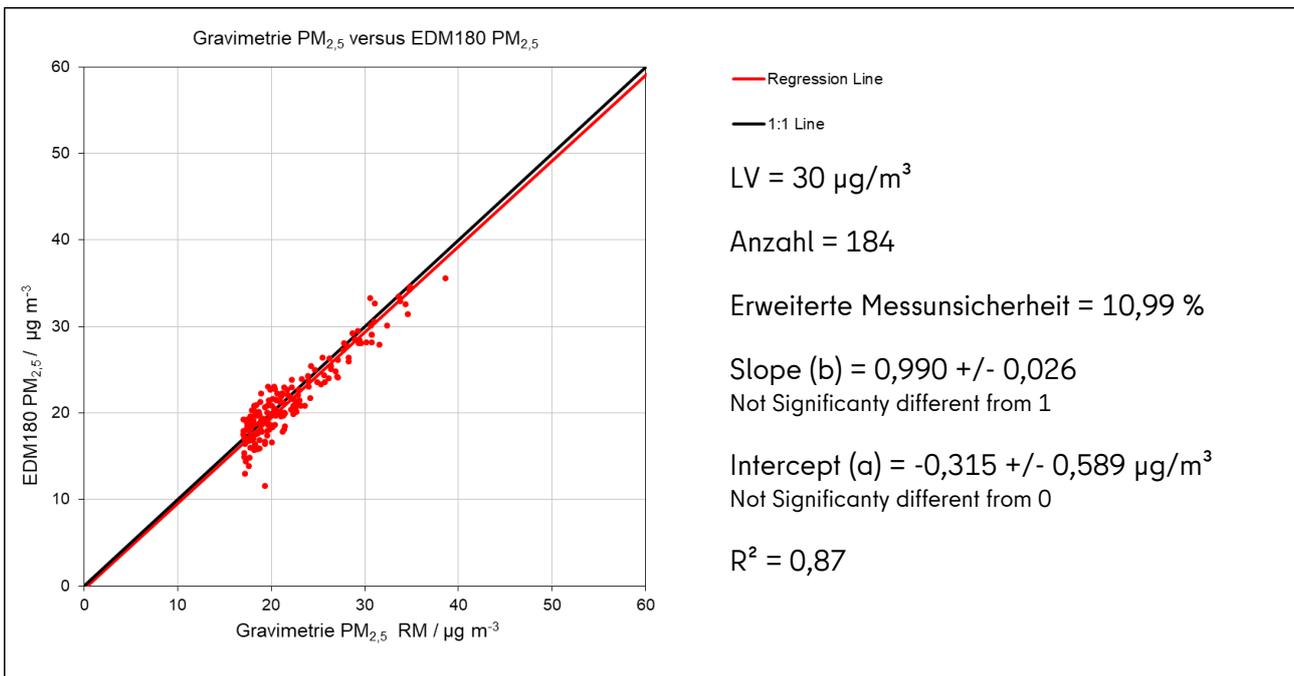


Abbildung 2: Werte $\geq 17 \mu\text{g/m}^3$ Vergleich Automat EDM180 (CM) zu SEQ (RM) an fünf Berliner Standorten für Messwerte $\geq 17 \mu\text{g/m}^3$ [berechnet mit Equivalence Tool V3.1]

Die detaillierten Ergebnisse aus dem Equivalence Tool V3.1 sind der Anlage zu entnehmen.

Damit ist die Gleichwertigkeit der PM_{2,5}-Werte der automatischen Geräte zur Referenz für das Jahr 2023 nachgewiesen.

Anlage

Die folgenden Kennwerte wurden erstellt unter Verwendung des Auswertetools [Equivalence Tool V3.1]

Tabelle 2: Kennwerte des Jahres 2023 der Parallelmessungen von Grimm-EDM180-Geräten (Kandidatenmethode) zu SEQ-Innengeräten 47/50 (Referenzmethode)

Messstation	MC042	MC174	MC077	MC171	MC010	alle Vergleichs-MC
EDM180 Korrektur-Funktion seit 2023	0,8*EDM180 +1,3	0,83*EDM180 +2,0	0,69*EDM180 +1,24	0,8*EDM180 +1,3	0,8*EDM180 +1,3	EDM180 mit jeweiliger Funktion
Mittelwerte und Anzahl aus EU-Sheet:						
Mittelwert EDM180 in µg/m ³	10,4	12,2	8,7	10,4	9,8	10,3
Mittelwert SEQ in µg/m ³	10,9	11,8	8,6	10,3	9,8	10,3
Differenz EDM180-SEQ in µg/m ³	-0,5	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0
Anzahl Werte ohne Ausreißer	354	352	180	355	360	1601
Regressions-Kennwerte						
relative beidseitige Messunsicherheit ¹⁾ in % am Grenzwert von 30 µg/m ³	13,9	11,6	13,0	9,4	9,4	11,1
²⁾ CM=b*RM + a	Steigung b	0,95	0,95	0,97	0,98	0,98
	Achsenabschnitt a	0,04	1,16	0,31	0,40	0,26
Regressionskoeffizient R ²	0,90	0,90	0,81	0,91	0,91	0,90
Anzahl Daten über oberer Beurteilungsschwelle (oBs) und Ausreißer						
20% der Daten SEQ (Anzahl)	71	70	36	71	72	320
20% der Daten SEQ > 17 µg/m ³ (oBs? ³⁾)	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Anzahl Datensätze > 17 µg/m ³ (oBs)	46	54	10	39	35	184
Mindestanzahl > 17 µg/m ³ erreicht? ³⁾	ja	ja	nein	ja	ja	ja
Ausreißer in % (max. 2,5% Ausreißer?)	0,6 (2)	0,6 (2)	0,0 (0)	0,6 (2)	0,6 (2)	0,5 (8)

¹⁾ Gemessene Messunsicherheit zwischen den SEQ-Innengeräten: 0,7 µg/m³

²⁾ RM = Referenzmethode (engl. reference method), hier: SEQ-Messungen; CM = Kandidatenmethode (engl. candidate method); hier EDM180-Messungen.
Bis 2021 war hier die Umkehrfunktion dargestellt. Nun entsprechen Steigung und Achsenabschnitt denen des Equivalence Tool V3.1.

³⁾ Es müssen mindestens 20 % der Daten oberhalb der oberen Beurteilungsschwelle liegen. Wenn dies nicht erreicht wird, müssen mindestens 32 Datensätze vorhanden sein, um die Prüfung auf Äquivalenz durchführen zu können.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vergleich Automat (CM) zu SEQ (RM) an fünf Berliner Standorten für alle Messwerte [berechnet mit Equivalence Tool V3.1] durchgeführt.....	7
Abbildung 2:	Werte $\geq 17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Vergleich Automat (CM) zu SEQ (RM) an fünf Berliner Standorten für Messwerte $\geq 17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [berechnet mit Equivalence Tool V3.1]	7

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl der notwendigen Vergleichsmessungen in Abhängigkeit der erweiterten Unsicherheit	5
Tabelle 2:	Kennwerte des Jahres 2023 der Parallelmessungen von Grimm-EDM180-Geräten (Kandidatenmethode) zu SEQ-Innengeräten 47/50 (Referenzmethode)	8

Referenzen

39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV), https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_39/ (Stand 08.07.2022)
- DIN EN 12341 - Außenluft - Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM_{10} - oder $\text{PM}_{2,5}$ -Massenkonzentration des Schwebstaubes; Deutsche Fassung EN 12341:2014-08
- DIN EN 16450:2017-07: Außenluft - Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM_{10} ; $\text{PM}_{2,5}$); Deutsche Fassung EN 16450:2017-07. Beuth-Verlag. <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-16450/261291177> (Stand 08.07.2022)
- EQUIVALENCE TOOL V3.1 020720 (2).XLSX (Version 1.0): Excel-Datei zum Nachweis der Äquivalenz eines Kandidatenverfahrens mit einem Referenzverfahren gemäß 39.BImSchV. Erstellt von David HARRISON Version 1.0 vom 31.05.2022, 11:11; <https://circabc.europa.eu/ui/group/cd69a4b9-1a68-4d6c-9c48-77c0399f225d/library/ece2498e-2ca5-4817-8bfa-30521190f166> (Stand 08.07.2022)
- GDE 2010: GUIDE TO THE DEMONSTRATION OF EQUIVALENCE OF AMBIENT AIR MONITORING METHODS; Deutscher Titel: „Leitfaden zur Demonstration der Gleichwertigkeit der Methoden zur Überwachung der Umgebungsluft“, Europäische Kommission, Januar 2010, <https://circabc.europa.eu/ui/group/cd69a4b9-1a68-4d6c-9c48-77c0399f225d/library/ece2498e-2ca5-4817-8bfa-30521190f166> (Stand 08.07.2022)



Öffentlichkeitsarbeit
Am Köllnischen Park 3
10179 Berlin

www.berlin.de/sen/mvku
twitter.com/senmvkuberlin
instagram.com/senmvkuberlin

Berlin, 06/2024