



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

U



Äquivalenznachweis 2023

Feinstaubmessungen im Land Sachsen-Anhalt



Diese Schrift wird vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt kostenlos herausgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Der Nachdruck bedarf der Genehmigung. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf sie nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Impressum

Herausgeber

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Reideburger Str. 47 • 06116 Halle (Saale)
Tel.: 0345 5704-0
Fax: 0345 5704-190
E-Mail: poststelle@lau.mwu.sachsen-anhalt.de
www.lau.sachsen-anhalt.de

Erarbeitung

Abteilung 3: Immissionsschutz, Klima, Nachhaltigkeit
Dezernat 32: Lufthygienisches Überwachungssystem Sachsen-Anhalt (LÜSA)

Autorin

Katharina Roloff

Redaktion/Schriftleitung

Katharina Roloff

Umschlaggestaltung unter Verwendung des Fotos von Katharina Roloff

1. Auflage

April 2025

Inhalt

1	Hintergrund.....	4
2	Methodik.....	5
3	Ergebnisse im Berichtsjahr 2023	6
3.1	Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Sharp 5030 in der Fraktion PM ₁₀	6
3.2	Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Grimm EDM 180 in der Fraktion PM ₁₀	11
3.3	Äquivalenznachweis für den Gerätetyp FIDAS 200E in der Fraktion PM ₁₀	13
3.4	Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Sharp 5030 in der Fraktion PM _{2,5}	16
3.5	Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Grimm EDM 180 in der Fraktion PM _{2,5}	18
3.6	Äquivalenznachweis für den Gerätetyp FIDAS 200E in der Fraktion PM _{2,5}	20
4	Stationsübersicht	22
5	Literaturverzeichnis.....	23

1 Hintergrund

Im Lufthygienischen Überwachungssystem Sachsen-Anhalt (LÜSA) kommen verschiedene Messgeräte zur Bestimmung der Feinstaubkonzentration in den Fraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} zum Einsatz. Gemäß EU-Richtlinie 2008/50/EG über saubere Luft und Luftqualität können andere Messmethoden als die ausgewiesenen Referenzverfahren angewendet werden, sofern ein Nachweis erbracht wird, dass damit gleichwertige Ergebnisse erzielt werden. Eine Korrektur der Messergebnisse ist dabei nicht ausgeschlossen. Für die Nachweisführung und eine eventuell durchzuführende Korrektur müssen Vergleichsmessungen zwischen Referenzverfahren und Alternativmethode durchgeführt werden.

Das für PM₁₀ und PM_{2,5} in der DIN EN 12341:2014 (VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft, 2014) beschriebene Referenzverfahren für die Probenahme und Messung der Feinstaubkonzentration ist die gravimetrische Messung. Dabei wird Außenluft 24 Stunden lang über einen vorgewogenen Filter geleitet, welcher den Feinstaub abscheidet und anschließend in einem geeigneten Labor ausgewogen werden muss. Das Messgerät kann bis zu 15 bestaubte Filter sammeln, sodass die einzelnen Messstationen im Normalfall nur zwei Mal monatlich zum Filterwechsel angefahren werden müssen. Hinzu kommt die Dauer der Laborauswertung, sodass das Referenzverfahren für die zeitnahe Information der Öffentlichkeit, z.B. über eine Überschreitung des PM₁₀-Tagesgrenzwerts, nicht geeignet ist. Daher setzte das LÜSA im Jahr 2023 die in Tabelle 1 aufgeführten automatischen Messsysteme ein. Alle Messgerätetypen sind eignungsgeprüft (TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH, 2006), (Umweltbundesamt Österreich, 2010), (TÜV Rheinland Energy GmbH, 2016) und basieren auf optischen Messverfahren, welche beim Sharp mit einer radiometrischen Messung kombiniert werden. Im LÜSA wird seit 2023 die alte Messgerätegeneration des Sharp 5030 nach und nach durch neue Feinstaubanalysatoren vom Typ FIDAS 200E ersetzt.

Tabelle 1: Im Jahr 2023 eingesetzte automatische Messsysteme zur Bestimmung der Feinstaubkonzentrationen in den Fraktionen PM₁₀ und PM_{2,5}.

Partikelfraktion	Gerätetyp	Anzahl
PM ₁₀	Sharp 5030	16
PM ₁₀	Grimm EDM 180	2
PM ₁₀	FIDAS 200E	5
PM _{2,5}	Sharp 5030	8
PM _{2,5}	Grimm EDM 180	2
PM _{2,5}	FIDAS 200E	5

Für die als Referenzverfahren geltenden gravimetrischen Messungen setzte das LÜSA im Jahr 2023 die in Tabelle 2 aufgeführten Geräte ein. Dabei sind für die Partikelfraktion PM₁₀ drei Geräte an temporären Standorten zu Vergleichszwecken eingesetzt worden, für PM_{2,5} ein Gerät. Bei den restlichen Geräten handelt es sich um permanent stationär betriebene Vergleichsmessungen, z.B. an Hotspots.

Tabelle 2: Im Jahr 2023 eingesetzte gravimetrische Messsysteme zur Bestimmung der Feinstaubkonzentrationen in den Fraktionen PM₁₀ und PM_{2,5}.

Partikelfraktion	Gerätetyp	Anzahl
PM ₁₀	LVS SEQ47/50	11
PM _{2,5}	LVS SEQ47/50	8

2 Methodik

An den für Vergleichsmessungen ausgestatteten Messstationen wurden die mit dem Referenzverfahren und der Alternativmethode ermittelten Feinstaubkonzentrationen in den Fraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} zum Tagesmittelwert aggregiert. Die daraus entstehenden Wertepaare werden dann auf Korrelation untersucht. Dabei wurden nicht nur die Messdaten des Berichtsjahres 2023 betrachtet, sondern auch in der Vergangenheit aufgenommene Daten seit 2019. Im Datensatz des Referenzverfahrens müssen mindestens 20 % der Daten bzw. mindestens 32 Werte über der oberen Beurteilungsschwelle liegen (für PM₁₀ > 28 µg/m³, für PM_{2,5} > 17 µg/m³). Für beide Fraktionen lagen mehr als 32 Werte vor. Zudem können gemäß der geltenden Norm (VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft, 2017) bis zu 2,5 % der Daten als Ausreißer markiert und aus dem Datensatz entfernt werden. Dieses Kriterium wurde mit 0,5 % für PM₁₀ bzw. 0,7 % für PM_{2,5} ebenfalls sicher eingehalten.

Gemäß DIN EN 16450 ist die Äquivalenz zwischen Referenzverfahren und Alternativmethode nachzuweisen, indem zwischen den Wertepaaren mittels orthogonaler Regression ein linearer Zusammenhang nachgewiesen wird. Der in diesem Zuge ermittelte Korrekturfaktor bzw. die Korrekturfunktion wird dann nachträglich auf den Gesamtdatensatz angewendet. Der Äquivalenztest wird für folgende Datensätze, unterteilt nach Gerätetyp und Feinstaubgrößenfraktion, durchgeführt:

- a) Gesamtdatensatz
- b) jede ausgerüstete Messstation einzeln
- c) Episoden mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen (PM₁₀ ≥ 30 µg/m³, PM_{2,5} ≥ 18 µg/m³)

Für die Durchführung des Äquivalenznachweises wurde vom Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) das so genannte Equivalence Tool entwickelt (Ruben Beijck, 2018) und den Messnetzen zur Verfügung gestellt. Im Landesamt für Umweltschutz wurde dieses Tool als Grundlage zur Erstellung eines eigenen Tools PM_Kalk genutzt, das sich ausschließlich in der Definition der Ausreißer¹ unterscheidet. Die Äquivalenz der Ergebnisse wurde durch einen entsprechenden Bericht nachgewiesen (Garche, 2019).

¹ Im Equivalence Tool der Europäischen Kommission wird ein 95 % Vertrauensbereich berechnet und alle Wertepaare, die sich außerhalb des Bereiches befinden, als Ausreißer gewertet. Im Programm PM_Kalk des LÜSA wird zur Ausreißerermittlung der Grubbs-Test mit einer 99 % Wahrscheinlichkeit verwendet. Im Gegensatz zu (European Commission, 2008), in dem die Anwendung des Grubbs-Test auf dem 99 % Niveau empfohlen wurde, enthält die DIN EN 16450 keinen Hinweis mehr, nach welchem Verfahren die Ausreißer zu ermitteln sind. In der Regel werden mit dem Grubbs-Test wesentlich weniger Daten als Ausreißer gekennzeichnet, weshalb dieser bevorzugt wird.

3 Ergebnisse im Berichtsjahr 2023

3.1 Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Sharp 5030 in der Fraktion PM₁₀

2023 wurden an acht Messstellen Parallelmessungen zwischen dem gravimetrischen Referenzverfahren und dem automatischen Messsystem Sharp 5030 durchgeführt. Bei fünf dieser Messstellen handelt es sich um Dauermessstellen, an denen bereits seit Jahren Vergleichsmessungen laufen. An den anderen Messstellen wurden im Jahr 2023 Vergleichsmessungen mit Probenahmen an jedem zweiten Tag durchgeführt. In Magdeburg/Schleiufer (M003) wurde im Verlauf des Jahres die Probenahme von zweitägig auf täglich umgestellt.

Im Jahr 2023 wurde die Erneuerung der Gerätegeneration automatischer Partikelmessgeräte von Sharp 5030 auf FIDAS 200E weiter vorangetrieben. Dabei wurden 2022 angeschaffte Geräte neu in Betrieb genommen. Leider trat ein Serien-Produktionsfehler bei den Speicherchips der neuen Geräte auf, der nach und nach bei allen Geräten einen Totalausfall erzeugte. Um die Datenlücken so kurz wie möglich zu halten, wurde während der Ausfallzeiten des FIDAS 200E wiederum ein Sharp 5030 reaktiviert. Daher weisen vorrangig die Messreihen in Bitterfeld-Wolfen, Magdeburg/Schleiufer und Zartau kürzere Zeiträume mit wechselnden Gerätetypen auf.

Zur Auswertung wurden entsprechend DIN EN 16450 sowohl die Vergleichsmessungen des Jahres 2023 als auch die Vergleichsmessungen der vorangegangenen Jahre seit 2019 verwendet. Vor der Auswertung wurde der Gesamtdatensatz mittels Grubbs-Test (mit $P = 99\%$) auf Ausreißer getestet. Als Ausreißer identifizierte Datensätze wurden nicht in die Auswertung einbezogen, auch wenn die Ursache für Ausreißer nicht in jedem Fall geklärt werden konnte. In Tabelle 3 sind die zur Auswertung verwendeten Messreihen zusammengefasst.

Tabelle 3: Zur Auswertung verwendete PM₁₀-Messreihen des Gerätetyps Sharp 5030.

Station	Zeitraum	Anzahl Wertepaare zur Berechnung
BUCO	01.01.2019 – 31.12.2023	1.767
DOBO	01.01.2019 – 31.12.2023	1.749
GRNN	28.09.2020 – 21.06.2021 05.07.2023 – 06.10.2023	226
HENN	11.01.2022 – 19.12.2022	172
HERP	01.01.2020 – 31.12.2023	1.418
HTCC	14.01.2020 – 27.12.2020	173
LASO	19.01.2022 – 17.12.2022	165
M002	01.01.2019 – 19.03.2023	1.526
M003	21.07.2021 – 06.12.2021 07.01.2023 – 20.07.2023	198
M102	01.01.2019 – 31.12.2023	1.796
ROVN	13.01.2022 – 19.12.2022	171
SLWW	17.01.2019 – 14.09.2020	446
WENN	02.02.2019 – 31.12.2019	166
ZUWA	13.01.2021 – 29.12.2021 11.01.2023 – 03.09.2023	303
ZZCC	25.01.2019 – 31.12.2019	168
Gesamt		10.444

Bereits die Rohdaten halten die Anforderung an die Messunsicherheit, welche kleiner als 25 % sein soll, mit einem Wert von 10,8 % sicher ein.

Eine Kalibrierung mit der Funktion $y = 1,017x + 0,527$ würde eine Verbesserung der Messunsicherheit auf 9,6 % erzielen, ist aber nicht notwendig, da laut DIN EN 16450 Anhang C eine Kalibrierung nicht erforderlich ist, wenn

- der Wert der Steigung $0,980 \leq b \leq 1,020$ und / oder
- der Wert des Achsenabschnitts $-1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist.

Beide Bedingungen treffen hier zu, wie auch die Abbildung 1 zeigt.

Vergleichsmessungen von automatischen Partikelmessgeräten für PM10 mit dem gravimetrischen Referenzverfahren

Zeitraum: Messort(e):

Gerätetyp: Referenzsammler:

Grenzwert: obere BS: (für Jahresgrenzwert)

Anzahl DS: Anzahl DS > oBS: entspricht

Ausreißer: → N= alle Daten -Ausreißer

	Referenz	Kandidat
Mittelwert	15,8	15,1
Anzahl >LV	37	35

Unsicherheitsberechnung:
 RSS:
 u(random):
 u(syst.): u(komb):
 u(Ref)*:
 u(add): U(erw):

nach Kalibrierung mit: $y(\text{cal}) = 1,017y(i) + 0,527$
 RSS:
 u(random): u(komb):
 u(syst.):
 u(cal): U(erw):

	Referenz	Kandidat
Mittelwert	15,8	15,8
Anzahl >LV	37	43

orthogonale Regression $y=a+bx$

r ²	Anstieg	Absolutglied
0,9151	0,9835	-0,5184
u	0,0028	0,0504
signifikant	Ja	Ja
Kal. notw.?	Nein	Nein

orthogonale Regression $y=bx$

r ²	Anstieg
0,9803	0,9578
u	0,0013
signifikant	Ja
Kal. notw.?	Ja

*) bereits in u(random) eingerechnet.

Abbildung 1: Äquivalenznachweis für den Gesamtdatensatz der Sharp 5030 Messgeräte in der Fraktion PM₁₀. Screenshot aus PM_Kalk.

Zusätzlich ist zu prüfen, ob auch an den Einzelmessstellen die Anforderung an die Messunsicherheit ohne Kalibrierung eingehalten ist. Diese Berechnung wird nur für die Vergleichsmessungen des Jahres 2023 durchgeführt, da für vorangehende Messungen die Prüfung bereits in den Vorjahren erfolgte. Auch hier werden die Datensätze der Einzelstationen mit dem Grubbs-Test auf Ausreißer geprüft. Erkannte Ausreißer werden nicht in die Berechnung einbezogen, auch wenn nicht in jedem Fall die Ursache für den Ausreißer geklärt werden konnte.

Die an den einzelnen Messstellen im Jahr 2023 ermittelten Messunsicherheiten für die Sharp 5030 Geräte zur PM₁₀-Messung sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Messunsicherheiten der unkorrigierten PM₁₀-Messreihen 2023, aufgenommen mit den Sharp 5030 Geräten.

Station	Anzahl Wertepaare	Messunsicherheit
BUCO	362	8,3 %
DOBO	358	7,3 %
GRNN	92	5,4 %
HERP	355	7,7 %
M002	78	6,9 %
M003	59	9,7 %
M102	361	8,7 %
ZUWA	123	23,8 %

Die vergleichsweise hohe Unsicherheit am Standort ZUWA ist auf die geringe Partikelbelastung zurückzuführen. Differenzen zwischen Referenzgerät und automatischer Messung führen durch die geringen Konzentrationen zu erhöhten prozentualen Abweichungen. Zudem verfügt der Datensatz Zartau über diskontinuierliche Daten aus Winter (Januar bis Mitte März) und Sommer (Juli bis Anfang September). Dies ist auf die Probleme mit der neuen Generation automatischer Partikelanalytoren vom Typ FIDAS 200E zurückzuführen (siehe auch Ausführungen auf Seite 6).

Zusammenfassend wurde an allen Stationen die Anforderung an die Messunsicherheit ohne Kalibrierung eingehalten. Entsprechend muss keine Korrektur der Messdaten aus den automatischen Messungen vorgenommen werden.

In den vergangenen Jahren zeigten die Auswertungen der Vergleichsmessungen zwischen Referenzverfahren und Alternativmethode, dass eine gesonderte Berechnung für die einzelnen Stationsumgebungen (Verkehr, städtischer Hintergrund, ländlicher Hintergrund) nicht notwendig ist, da die für die automatischen Messgeräte ermittelten Kalibrierfaktoren bzw. -funktionen unabhängig vom Stationstyp waren. Daher wird hierauf im Berichtsjahr 2023 verzichtet.

Zuletzt wurden die Episoden mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen auf Äquivalenz untersucht ($PM_{10} \geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gemessen mit Referenzverfahren). Für das Jahr 2023 lagen 68 Wertepaare vor. Davon wurde kein Ausreißer durch den Grubbs-Test ermittelt. Als erweiterte Messunsicherheit ergibt sich ein Wert von 16,2 %, sodass keine Kalibrierung notwendig ist (siehe auch Abbildung 2). In diesem Fall würde eine Kalibrierung sogar zu einer Verschlechterung der Messunsicherheit führen und ist daher gemäß DIN EN 16450 nicht notwendig.

Vergleichsmessungen von automatischen Partikelmessgeräten für PM10 mit dem gravimetrischen Referenzverfahren

Zeitraum: Messort(e):

Gerätetyp: Referenzsammler:

Grenzwert: obere BS: (für Jahresgrenzwert)

Anzahl DS: Anzahl DS>oBS: entspricht

Ausreißer: → N= alle Daten -Ausreißer

	Referenz	Kandidat
Mittelwert	32,7	31,1
Anzahl >LV	0	0

Unsicherheitsberechnung:

RSS:	<input type="text" value="841,6"/>	
u(random):	<input type="text" value="3,507"/>	
u(syst.):	<input type="text" value="2,006"/>	u(komb): <input type="text" value="4,040"/>
u(Ref)*:	<input type="text" value="0,948"/>	
u(add):	<input type="text" value="0,000"/>	U(erw): <input type="text" value="16,2%"/>

nach Kalibrierung mit: $y(cal)=0,829y(i) + 6,903$

RSS:	<input type="text" value="537,1"/>	
u(random):	<input type="text" value="6,418"/>	u(komb): <input type="text" value="8,719"/>
u(syst.):	<input type="text" value="-1,157"/>	
u(cal):	<input type="text" value="5,788"/>	U(erw): <input style="background-color: red;" type="text" value="34,9%"/>

	Referenz	Kandidat
Mittelwert	32,7	32,7
Anzahl >LV	0	0

orthogonale Regression $y=a+bx$

r ²	Anstieg	Absolutglied
0,5316	1,2067	-8,3296
u	0,0966	3,1854
signifikant	Ja	Ja
Kal. notw.?	Ja	Ja

orthogonale Regression $y=bx$

r ²	Anstieg
0,9896	0,9551
u	0,0119
signifikant	Ja
Kal. notw.?	Ja

*) bereits in u(random) eingerechnet.

Abbildung 2: Äquivalenznachweis für Episoden mit erhöhter Feinstaubkonzentration (PM₁₀ ≥ 30 µg/m³). Screenshot aus PM_Kalk.

3.2 Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Grimm EDM 180 in der Fraktion PM₁₀

Streulichtphotometer vom Typ EDM 180 zur Messung der Partikelmassenkonzentration von Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5} kommen in den Stationen Halle/Paracelsusstraße (M501) und Magdeburg/Guericke-Straße (M205) zum Einsatz. Die Geräte werden einmal jährlich durch den Hersteller (Grimm Aerosol Technik GmbH) gewartet und kalibriert. Die Ermittlung von Messunsicherheiten und notwendigen Korrekturfunktionen wird daher gerätespezifisch und bezogen auf die Einsatzzeiten zwischen zwei Kalibrierungen durchgeführt. Die Datensätze werden vor der Berechnung mittels Grubbs-Tests (P = 99 %) auf Ausreißer geprüft. Ermittelte Ausreißer werden vor der Berechnung aus dem Datenkollektiv entfernt, auch wenn die Ursache des Ausreißers nicht in jedem Fall geklärt werden konnte. Tabelle 5 zeigt die für die verschiedenen Einsatzzeiten und Geräte ermittelten Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M205.

Tabelle 5: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M205 im Jahr 2023 für die Fraktion PM₁₀ und den Gerätetyp Grimm EDM 180.

Zeitraum	Gerät	Anzahl Wertepaare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
01.10.2022 – 03.09.2023	EDM180-03	336 (5)	20,7 %	$y = 0,929x$	8,7 %
04.09.2023 – 31.12.2023	EDM180-01	119 (0)	24,9 %	$y = 0,938x$	6,4 %

Für den Zeitraum vom 01.10.2022 bis zum 03.09.2023 ist ein Korrekturfaktor von 0,929 anzuwenden. In diesem Zeitraum ist das laut DIN EN16450 gesetzte Kriterium, dass mindestens 20% des Datensatzes Konzentrationen größer als 28 µg/m³ (obere Beurteilungsschwelle) aufweisen müssen, mit 8,9% nicht erfüllt. Die Norm gibt für Standorte mit vergleichsweise niedrigen Konzentrationen als Alternative eine Anzahl von mindestens 32 Datenpunkten pro Vergleichsmessung vor. Dieses Kriterium wird an der Station M205 mit 30 Datenpunkten auch knapp nicht eingehalten. Die Anwendung des Faktors und die damit einhergehende Korrektur der automatischen Messung auf Basis des Referenzverfahrens ist in Abbildung 3 beispielhaft dargestellt.

Für den Zeitraum nach dem Austausch des Messgerätes kann noch kein gesicherter Korrekturfaktor angegeben werden, da bisher nur 119 Datensätze vorliegen. Der aus diesen Daten berechnete Faktor von 0,938 kann sich über den weiteren Einsatzzeitraum noch stark verändern.

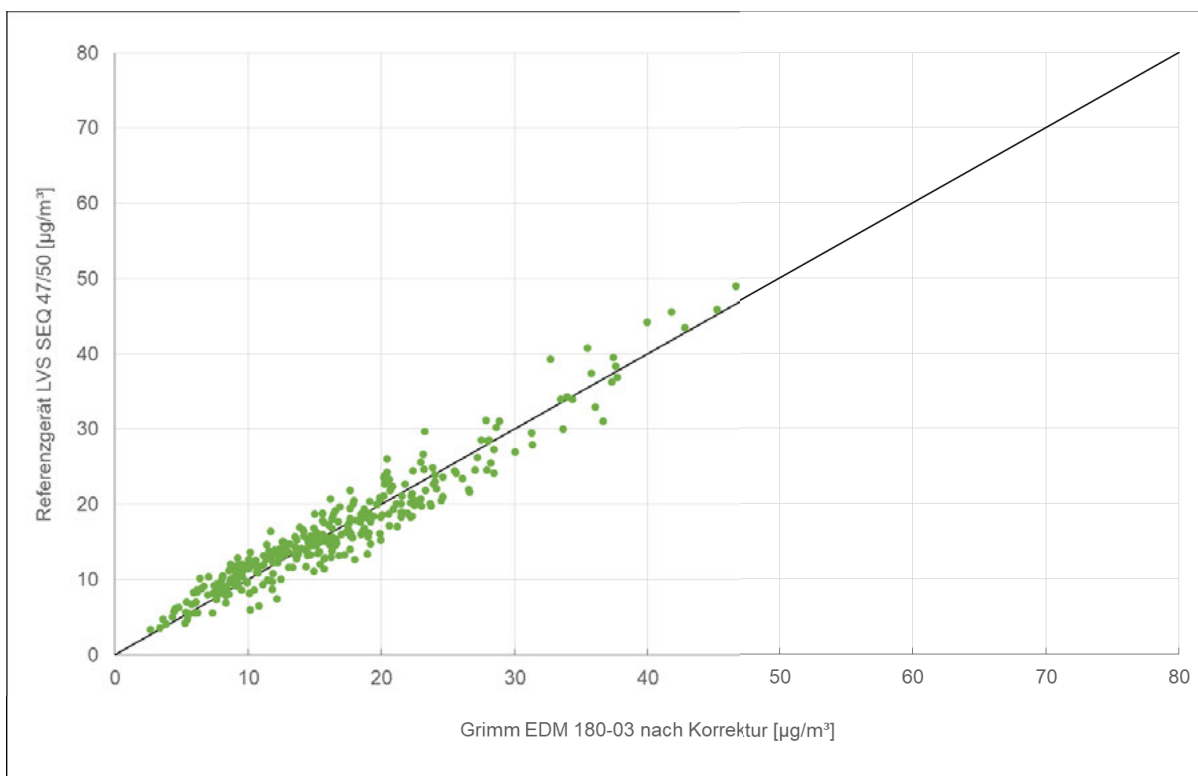
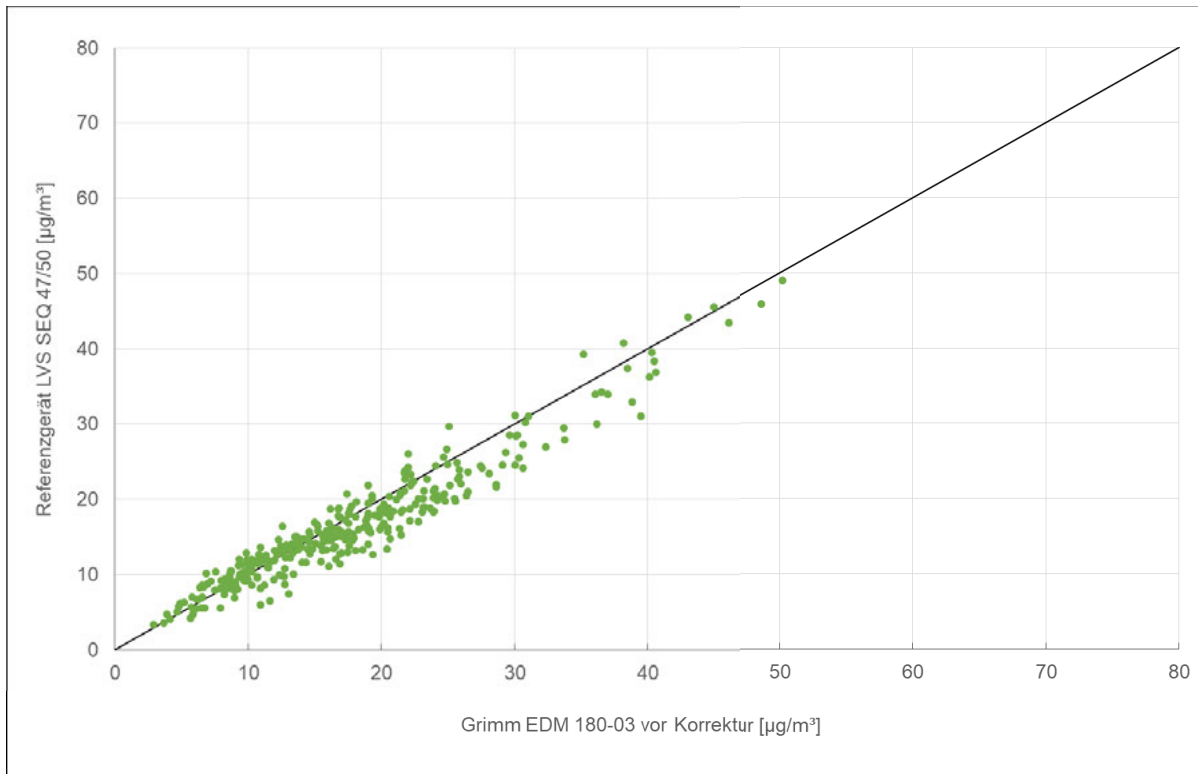


Abbildung 3: Vergleich der Wertepaare zwischen Referenzverfahren (LVS SEQ47/50) und automatischer Messung (Grimm EDM180-03) am Standort Magdeburg/Guericke-Straße.

Die obere Grafik zeigt die Wertepaare vor der Korrektur der automatisch erhobenen Messdaten, die untere Abbildung die Wertepaare nach Anwendung des Korrekturfaktors 0,929 auf die automatisch erhobenen Messdaten für den Zeitraum 01.10.2022 bis 03.09.2023.

Tabelle 6 zeigt die für die verschiedenen Einsatzzeiten und Geräte ermittelten Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M501. Am Standort M501 fanden im Jahr 2023 zwei Gerätewechsel statt. Das EDM180-01 musste aufgrund eines Defekts vorzeitig ausgebaut werden und wurde durch das EDM180-02 ersetzt. Dieses Gerät zeigte wiederum ab Ende September auffällige Messwerte für die Komponente PM₁₀, sodass sich nochmals für einen Gerätetausch entschieden wurde. Das EDM180-03 verblieb dann bis Ende des Jahres und darüber hinaus in der Messstation.

Tabelle 6: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M501 im Jahr 2023 für die Fraktion PM₁₀ und den Gerätetyp Grimm EDM 180.

Zeitraum	Gerät	Anzahl Wertepaare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
30.08.2022 – 06.07.2023	EDM180-01	302 (4)	13,2 %	$y = 1,027x$	13,1 %
07.07.2023 – 15.10.2023	EDM180-02	76 (0)	15,5 %	$y = 1,031x$	10,2 %
16.10.2023 – 31.12.2023	EDM180-03	76 (0)	11,7 %	$y = 1,097x$	13,2 %

Für den Zeitraum vom 30.08.2022 bis 06.07.2023 ist ein Korrekturfaktor von 1,027 anzuwenden. In diesem Zeitraum ist das laut DIN EN16450 gesetzte Kriterium, dass mindestens 20% des Datensatzes Konzentrationen größer als 28 µg/m³ (obere Beurteilungsschwelle) aufweisen müssen, mit 18,9% nicht erfüllt. Die Norm gibt für Standorte mit vergleichsweise niedrigen Konzentrationen als Alternative eine Anzahl von mindestens 32 Datenpunkten pro Vergleichsmessung vor. Dieses Kriterium wird an der Station M501 mit 57 Datenpunkten eingehalten.

Für den kurzen Zeitraum vom 07.07.2023 bis 15.10.2023 ist ein Korrekturfaktor von 1,031 anzuwenden. Für den Zeitraum ab 16.10.2023 kann noch kein gesicherter Korrekturfaktor angegeben werden, da bisher nur 76 Datensätze vorliegen. Der aus diesen Daten berechnete Faktor von 1,097 kann sich über den weiteren Einsatzzeitraum noch stark verändern.

Aus der Zusammenstellung in Tabelle 5 und Tabelle 6 ist ersichtlich, dass bereits die Rohdatensätze eine Unsicherheit unter 25% aufweisen. Eine Kalibrierung ist trotzdem notwendig, da die laut DIN EN 16450 geforderten Kriterien an die Steigung und den Achsenabschnitt der linearen Regression durch die Rohdaten nicht erfüllt werden.

3.3 Äquivalenznachweis für den Gerätetyp FIDAS 200E in der Fraktion PM₁₀

2023 wurden an fünf Messstellen Parallelmessungen zwischen dem gravimetrischen Referenzverfahren und dem automatischen Messsystem FIDAS 200E für die Komponente PM₁₀ durchgeführt. Dabei geht die Messung an der Station Burg in das dritte Jahr. Die anderen

vier Stationen wurden aufgrund der Erneuerung der Gerätegeneration automatischer Partikelmessgeräte von Sharp 5030 auf FIDAS 200E neu ausgerüstet. Um so viele Erfahrungen wie möglich mit den neuen Geräten zu sammeln, wurde an jeder neu ausgerüsteten Station auch ein Referenzmessgerät aufgestellt. In der Jahresmitte sollte die Messung am Referenzgerät dann auf PM_{2,5} umgestellt werden. Ausnahme hierbei bildete die Station Wittenberg/Dessauer Straße, an der von vornherein zwei Referenzmessgeräte liefen.

Leider trat ein Serien-Produktionsfehler bei den Speicherchips der neuen FIDAS 200E Geräte auf, der nach und nach bei allen Geräten einen Totalausfall erzeugte. Daher weisen vorrangig die Messreihen in Bitterfeld-Wolfen, Magdeburg/Schleiufer und Zartau kürzere Zeiträume mit wechselnden Geräten auf. In Wittenberg/Dessauer Straße trat der Fehler erst im Dezember 2023 auf. Eine Umstellung der Referenzmessung auf PM_{2,5} erfolgte aus diesen Gründen nur an der Station GRNN und dort auch erst im Oktober 2023. An den anderen beiden Stationen wurde erst zum Jahreswechsel auf PM_{2,5} umgestellt.

Die unterschiedlichen Einsatzzeiten der Messgeräte an den einzelnen Messstationen sind in Tabelle 7 gezeigt. Die Geräte sind dabei mit 01 bis 06 benannt. Da es im LÜSA bisher keine weitreichenden Erfahrungen zur Auswertung von Vergleichsmessungen mit FIDAS 200E Geräten gab, wurden zwei verschiedene Auswertemethoden ausprobiert.

Im ersten Schritt wurde die Vergleichsmessung an den einzelnen Standorten pro Messgerät ausgewertet. Durch die langjährige Erfahrung mit den Grimm EDM 180 Geräten war bekannt, dass die Auswertung nicht nur einen standortspezifischen, sondern auch einen gerätespezifischen Faktor ergeben kann. Daher sollte untersucht werden, ob dieses Phänomen auch bei den FIDAS 200E Geräten auftritt. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Tabelle 7 einzusehen. Es ist kein systematisches Verhalten der Geräte zu erkennen. In fünf Fällen müsste eine Korrektur der Automatendaten mittels Korrekturfunktion erfolgen. Zudem sind die auszuwertenden Zeiträume zum Teil so kurz (4 bzw. 11 Tage), dass keine erweiterte Messunsicherheit berechnet werden kann. In dieser Form ist eine Auswertung der Vergleichsmessung, auch aufgrund der Datenlage, nicht ratsam.

Tabelle 7: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren der FIDAS 200E-Geräte je Einsatzzeitraum im Jahr 2023 für die Komponente PM₁₀.

Station	Zeitraum und Gerät	Anzahl Wertepaare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
GRNN	19.01.2023 – 02.07.2023 04	164 (0)	14,6 %	$y = 0,956x$	6,2 %
	07.10.2023 – 10.10.2023 03	4 (0)	---	$y = 1,033x$	4,5 %
M002	20.03.2023 – 17.12.2023 02	272 (0)	10,3 %	$y = 0,912x + 2,442$	7,5 %
	21.12.2023 – 31.12.2023 06	11 (0)	---	$y = 1,100x - 0,565$	8,6 %
M003	17.01.2023 – 03.04.2023 05	36 (1)	19,3 %	$y = 1,073x + 1,434$	7,3 %
	21.07.2023 – 17.12.2023 04	121 (1)	12,9 %	$y = 0,907x + 2,079$	9,1 %
ZUWA	17.03.2023 – 26.05.2023 03	66 (1)	3,5 %	$y = 0,990x + 0,508$	9,2 %
	31.05.2023 – 03.07.2023 05	34 (0)	45,1 %	$y = 0,879x$	9,0 %
	04.09.2023 – 31.12.2023 05	118 (2)	4,2 %	$y = 0,976x$	5,3 %

Daher wurden in einem zweiten Schritt die Messzeiträume der FIDAS 200E-Geräte an den einzelnen Standorten zusammengefasst und pro Station ein Korrekturfaktor für die Automaten Daten ermittelt. Die Ergebnisse dieser Vorgehensweise sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren der FIDAS 200E-Geräte je Station im Jahr 2023 für die Komponente PM₁₀.

Station	Zeitraum und Gerät	Anzahl Wertepaare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
BUCO	01.01.2023 – 31.12.2023 01	363 (0)	30,1 %	$y = 0,891x$	6,0 %
GRNN	19.01.2023 – 02.07.2023 04	168 (0)	14,7 %	$y = 0,957x$	6,2 %
	07.10.2023 – 10.10.2023 03				
M002	20.03.2023 – 17.12.2023 02	283 (0)	8,0 %	$y = 1,065x$	6,9 %
	21.12.2023 – 31.12.2023 06				
M003	17.01.2023 – 03.04.2023 05	157 (2)	6,8 %	$y = 1,059x$	7,7 %
	21.07.2023 – 17.12.2023 04				
ZUWA	17.03.2023 – 26.05.2023 03	218 (3)	7,6 %	$y = 0,973x$	5,5 %
	31.05.2023 – 03.07.2023 05				
	04.09.2023 – 31.12.2023 05				

Laut DIN EN 16450 Anhang C ist eine Kalibrierung nicht erforderlich, wenn

- der Wert der Steigung $0,980 \leq b \leq 1,020$ und /oder
- der Wert des Achsenabschnitts $-1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist.

Beides wäre hier aber der Fall, sodass eine Kalibrierung notwendig ist. In allen Fällen ist ein anzuwendender Korrekturfaktor ausreichend und es kann auf eine Korrekturfunktion verzichtet werden.

Es ist zu erkennen, dass an den hoch belasteten Verkehrsstationen das FIDAS 200E die Schadstoffkonzentration eher unterschätzt (Korrekturfaktor > 1), an den Hintergrundstationen jedoch eher überschätzt (Korrekturfaktor < 1). Dies deckt sich mit den Erfahrungen aus anderen Messnetzen.

3.4 Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Sharp 5030 in der Fraktion PM_{2,5}

2023 wurden an zwei Messstellen Parallelmessungen zwischen dem gravimetrischen Referenzverfahren und dem automatischen Messsystem Sharp 5030 für die Komponente PM_{2,5} durchgeführt. Dabei handelte es sich um zwei permanente Vergleichsmessungen an den Stationen HENN und MGWW. Die anderen für PM_{2,5} vorgesehenen Referenzgeräte wurden für Vergleichsmessungen mit dem EDM 180 bzw. FIDAS 200E eingesetzt.

Zur Auswertung wurden entsprechend DIN EN 16450 sowohl die Vergleichsmessungen des Jahres 2023 als auch die Vergleichsmessungen der vorangegangenen fünf Jahre verwendet. Vor der Auswertung wurden die Datensätze mittels Grubbs-Tests (mit P = 99 %) auf Ausreißer getestet. Als Ausreißer identifizierte Datensätze wurden nicht in die Auswertung einbezogen, auch wenn die Ursache für Ausreißer nicht in jedem Fall geklärt werden konnte.

In Tabelle 9 sind die zur Auswertung verwendeten PM_{2,5}-Messreihen zusammengefasst.

Tabelle 9: Zur Auswertung verwendete PM_{2,5}-Messreihen des Gerätetyps Sharp 5030.

Station	Zeitraum	Anzahl Wertepaare zur Berechnung
BUCO	13.01.2021 – 11.12.2021	165
DOBO	01.01.2022 – 21.12.2022	172
HENN	01.01.2019 – 30.12.2023	849
HZUN	01.07.2021 – 14.12.2021	156
MGWW	01.01.2019 – 30.12.2023	895
WSVW	19.03.2021 – 23.06.2021	92
Gesamt		2.329

Das Ergebnis der Auswertung über die in Tabelle 9 aufgeführten Messreihen ist in Abbildung 4 dargestellt. Bereits die Rohdaten halten die Anforderung an die Messunsicherheit von weniger als 25 % mit einem Wert von 12,1% sicher ein. Eine Kalibrierung mit der Funktion $y = 1,004x - 0,401$ würde keine Verbesserung der Messunsicherheit erzielen (12,2%) und ist zusätzlich nicht notwendig, da laut DIN EN 16450 Anhang C eine Kalibrierung nicht erforderlich ist, wenn

- der Wert der Steigung $0,980 \leq b \leq 1,020$ und /oder
- der Wert des Achsenabschnitts $-1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist.

Beide Bedingungen treffen hier zu.

Vergleichsmessungen von automatischen Partikelmessgeräten für PM_{2.5} mit dem gravimetrischen Referenzverfahren

Zeitraum: Messort(e):

Gerätetyp: Referenzsammler:

Grenzwert: obere BS: (für Jahresgrenzwert)

Anzahl DS: Anzahl DS > oBS: entspricht

Ausreißer: → N= alle Daten -Ausreißer

	Referenz	Kandidat
Mittelwert	9,0	9,3
Anzahl >LV	33	26

Unsicherheitsberechnung:

RSS:	8559,5
u(random):	1,800
u(syst.):	0,273
u(Ref)*:	0,948
u(add):	0,000

u(komb):

U(erw):

orthogonale Regression y=a+bx

r ²	Anstieg	Absolutglied
0,9028	0,9958	0,3989
u	0,0064	0,0700
signifikant	Nein	Ja
Kal. notw.?	Nein	Nein

nach Kalibrierung mit: $y(\text{cal})=1,004y(i) + -0,401$

RSS:	8633,4
u(random):	1,821
u(syst.):	0,005
u(cal):	0,206

u(komb):

U(erw):

	Referenz	Kandidat
Mittelwert	9,0	9,0
Anzahl >LV	33	23

*) bereits in u(random) eingerechnet.

Abbildung 4: Äquivalenznachweis für den Gesamtdatensatz der Sharp 5030 Messgeräte in der Fraktion PM_{2.5}. Screenshot aus PM_Kalk.

Zusätzlich ist zu prüfen, ob auch an den Einzelmessstellen die Anforderung an die Messunsicherheit ohne Kalibrierung eingehalten ist. Diese Berechnung wird nur für die Vergleichsmessungen des Jahres 2023 durchgeführt, da für vorangehende Messungen die Prüfung bereits in den Vorjahren erfolgt ist. Die an den einzelnen Messstellen im Jahr 2023 ermittelten Messunsicherheiten für die Sharp 5030 Geräte zur PM_{2.5}-Messung sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Messunsicherheiten der unkorrigierten PM_{2,5}-Messreihen 2023, aufgenommen mit den Sharp 5030 Geräten.

Station	Anzahl Wertepaare	Messunsicherheit
HENN	145	20,7 %
MGWW	172	10,4 %

Die Station HENN weist eine geringere Datenbasis auf, da am Sharp 5030 zwischen Mitte Januar und Ende März technische Probleme auftraten, die dazu führten, dass die Messdaten für die Vergleichsmessung nicht genutzt werden konnten. Zusammenfassend wurde an allen Stationen die Anforderung an die Messunsicherheit ohne Kalibrierung eingehalten. Entsprechend muss keine Korrektur der Messdaten aus den automatischen Messungen vorgenommen werden.

Für Episoden mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen (PM_{2,5} ≥ 18 µg/m³) konnten im Jahr 2023 nur neun Wertepaare auf Äquivalenz untersucht werden, wobei kein Ausreißer mittels Grubbs-Test erkannt wurde. Auch ohne Korrektur der Automaten Daten wurde eine erweiterte Messunsicherheit von 10,4 % erreicht und damit das notwendige Kriterium eingehalten.

3.5 Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Grimm EDM 180 in der Fraktion PM_{2,5}

Im Jahr 2023 wurde an zwei Messstationen eine Vergleichsmessung für Partikel PM_{2,5} zwischen gravimetrischem Referenzverfahren und dem automatischen Messsystem (AMS) vom Typ EDM 180 durchgeführt. Dies waren Magdeburg/Guericke-Straße (M205) und Halle/Paracelsusstraße (M501). Die Datensätze werden vor der Berechnung mittels Grubbs-Test (P = 99 %) auf Ausreißer geprüft. Ermittelte Ausreißer werden vor der Berechnung aus dem Datenkollektiv entfernt, auch wenn die Ursache des Ausreißers nicht in jedem Fall geklärt werden konnte.

Tabelle 11 zeigt die für die verschiedenen Einsatzzeiten und Geräte ermittelten Messunsicherheiten und Kalibrierfunktionen an der Station M205 für PM_{2,5}.

Tabelle 11: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M205 im Jahr 2023 für die Fraktion PM_{2,5} und den Gerätetyp Grimm EDM 180.

Zeitraum	Gerät	Anzahl Wertepaare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
07.01.2023 – 02.09.2023	EDM180-03	120 (1)	9,0 %	y = 0,970x	10,0 %
04.09.2023 – 22.10.2023	EDM180-01	25 (0)	13,5 %	y = 0,956x	14,3 %

Für den Zeitraum vom 07.01.2023 bis zum 03.09.2023 ist ein Korrekturfaktor von 0,970 anzuwenden. In diesem Zeitraum ist das laut DIN EN16450 gesetzte Kriterium, dass mindestens 20 % des Datensatzes Konzentrationen größer als 18 µg/m³ (obere Beurteilungsschwelle) aufweisen müssen, mit 7,5 % nicht erfüllt. Die Norm gibt für Standorte mit vergleichsweise niedrigen Konzentrationen als Alternative eine Anzahl von mindestens 32 Datenpunkten pro Vergleichsmessung vor. Dieses Kriterium wird an der Station M205 mit neun Datenpunkten auch nicht eingehalten.

Für den Zeitraum nach dem Austausch des Messgerätes kann noch kein gesicherter Korrekturfaktor angegeben werden, da bisher nur 25 Datensätze vorliegen. Der aus diesen Daten berechnete Faktor von 0,956 kann sich über den weiteren Einsatzzeitraum noch stark verändern.

Tabelle 12 zeigt die für die verschiedenen Einsatzzeiten und Geräte ermittelten Messunsicherheiten und Kalibrierfunktionen an der Station M501 für PM_{2,5}.

Tabelle 12: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M501 im Jahr 2023 für die Fraktion PM_{2,5} und den Gerätetyp Grimm EDM 180.

Zeitraum	Gerät	Anzahl Wertepaare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
30.08.2022 – 06.07.2023	EDM180-01	301 (3)	52,6 %	$y = 0,793x$	12,6 %
07.07.2023 – 15.10.2023	EDM180-02	101 (0)	22,8 %	$y = 0,919x$	11,1 %
16.10.2023 – 31.12.2023	EDM180-03	77 (0)	96,7 %	$y = 0,696x$	9,3 %

Wie die Tabelle zeigt, ist die erweiterte Messunsicherheit für Gerät 03 mit 96,7 % deutlich erhöht. Daher wurden die Daten dieses Gerätes noch detaillierter untersucht, um die Ursache aufzudecken.

Das betroffene EDM Gerät wurde Anfang Oktober 2023 zur jährlichen Kalibrierung und Wartung eingesendet. Dabei wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Auch das Kalibrierprotokoll war unauffällig. Trotzdem kommt es bei der PM_{2,5}-Messung ab Konzentrationen von über 7,5 µg/m³ zu einer Überschätzung der Messwerte, wie in Abbildung 5 zu erkennen ist. Der Mittelwert über den gesamten Messzeitraum (16.10.2023 - 31.12.2023) liegt für das EDM180-03 bei 10,1 µg/m³, das Referenzgerät zeigt nur 7,1 µg/m³. Daraufhin wurde das Gerät mit den neuen Erkenntnissen abermals zum Hersteller eingeschickt, damit Ursachenforschung betrieben werden konnte. Es wurden ein kompletter Service und eine erneute Kalibrierung am Gerät durchgeführt. Die Protokolle von 2023 zu 2024 wiesen keine größeren Abweichungen auf. Das Gerät wurde daher als einsatzbereit deklariert und im September 2024 erneut im Messnetz eingesetzt. Leider zeigte sich dort dasselbe Fehlerbild, auch wenn es sich dieses Mal um die Station Halle/Paracelsusstraße handelte.

Zusätzlich wurden von Seiten des Messnetzes ein Feuchteinfluss auf die Messung und ein Fehler am Referenzgerät geprüft. Beides kann ausgeschlossen werden. Die Feuchte war über die betroffenen Messzeiträume 2023 auf einem vergleichbaren Level. Das Fehlerbild trat allerdings nur bei Gerät 03 auf, die anderen beiden Geräte waren nicht betroffen und zeigten nur geringe Abweichungen zum Referenzgerät. Ebenso war das Referenzgerät an der Station M501 konstant im Einsatz, sodass sich die Auffälligkeiten auch bei den anderen beiden Automaten hätte zeigen müssen.

Der Hersteller wurde nach erneutem Auftreten des Fehlerbilds nochmals kontaktiert, sah aber von einer wiederholten Geräteprüfung ab. Eine Erklärung für das Verhalten des Geräts konnte nicht gefunden werden. Daher wurde seitens des Messnetzes entschieden, die im Jahr 2023 an der Station M501 erhobenen PM_{2,5}-Automatendaten zu verwerfen.

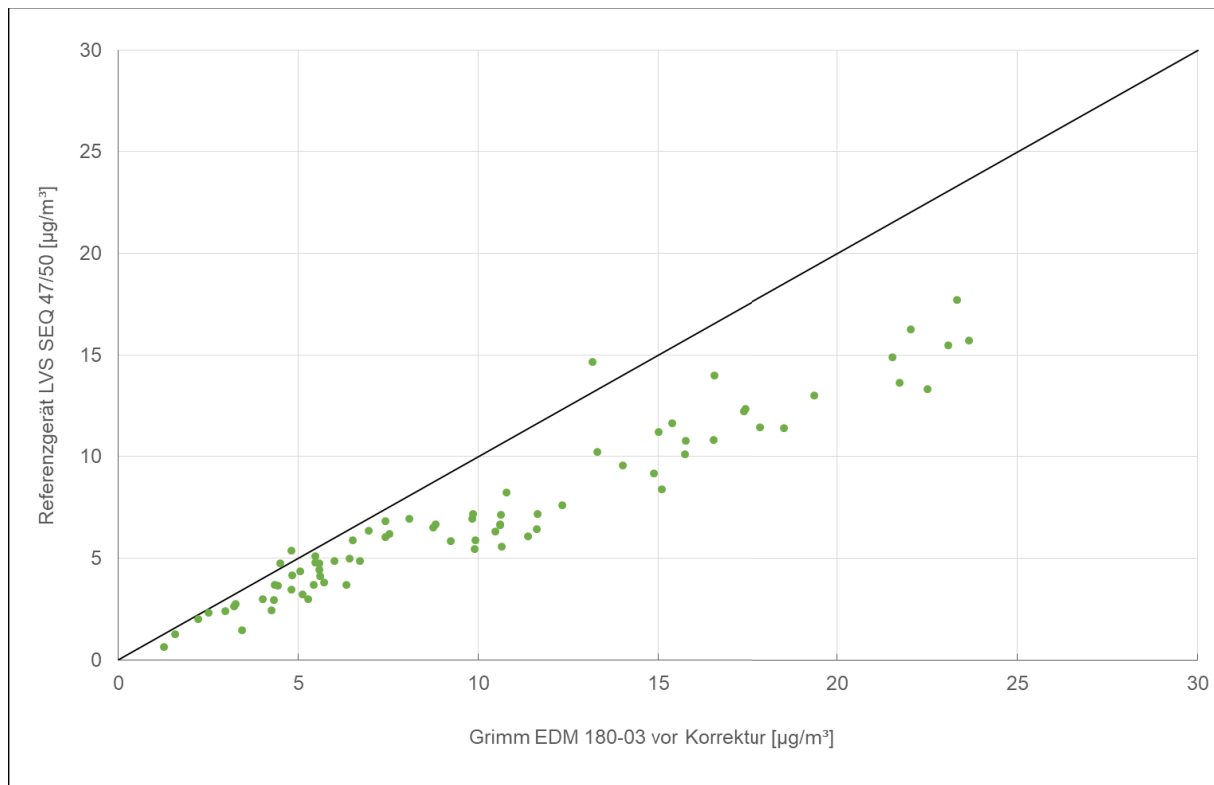


Abbildung 5: Vergleich der Wertepaare zwischen Referenzverfahren (LVS SEQ47/50) und automatischer Messung (Grimm EDM180-03) am Standort Halle/Paracelsusstraße.

Die Grafik zeigt die Wertepaare vor der Korrektur der automatisch erhobenen Messdaten für den Zeitraum 16.10.2023 bis 31.12.2023.

Die bereits übersendeten Daten ans UBA wurden zurückgerufen. Die Messverpflichtung konnte durch die durchgehend laufende Referenzmessung trotzdem erfüllt werden. Eine Korrektur der Automaten Daten mittels der in Tabelle 12 dargestellten Korrekturfaktoren ist daher nicht erfolgt.

Das Gerät EDM180-03 ist für einen Einsatz im Messnetz aus den erläuterten Gründen nicht mehr vorgesehen. Eine schnelle Ablösung durch die neue Gerätegeneration FIDAS 200E wird angestrebt.

3.6 Äquivalenznachweis für den Gerätetyp FIDAS 200E in der Fraktion $PM_{2,5}$

Die FIDAS 200E Geräte messen zusätzlich die Feinstaubfraktionen PM_4 , $PM_{2,5}$ und PM_1 . Nur für $PM_{2,5}$ können Vergleichsmessungen mit dem Referenzgerät LVS SEQ47/50 durchgeführt werden. Die anderen beiden Fraktionen werden nicht zur Beurteilung der Luftqualität herangezogen.

Aufgrund der begrenzten Anzahl der Referenzgeräte (auch für die Sharp 5030 und Grimm EDM 180 Geräte mussten Vergleichsmessungen durchgeführt werden) wurden in der Fraktion $PM_{2,5}$ zwei Vergleichsmessungen zwischen Referenzgerät und FIDAS 200E durchgeführt. In Bitterfeld-Wolfen folgte die Umstellung der Vergleichsmessung von PM_{10} auf $PM_{2,5}$

unterjährig, in Wittenberg/Dessauer Straße wurde nach Inbetriebnahme des FIDAS 200E ganzjährig PM_{2,5} mit Probenahme alle zwei Tage gemessen. Tabelle 13 zeigt die für die verschiedenen Einsatzzeiten und Geräte ermittelten Messunsicherheiten und Kalibrierfunktionen.

Tabelle 13: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren der FIDAS 200E-Geräte im Jahr 2023 für die Komponente PM_{2,5}.

Station	Zeitraum und Gerät	Anzahl Wertepaare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
GRNN	12.10.2023 – 19.12.2023 03	69 (0)	17,3 %	$y = 0,917x$	4,8 %
M002	22.03.2023 – 17.12.2023 02	136 (0)	12,5 %	$y = 1,007x$	7,7 %

Laut DIN EN 16450 Anhang C ist eine Kalibrierung nicht erforderlich, wenn

- der Wert der Steigung $0,980 \leq b \leq 1,020$ und /oder
- der Wert des Achsenabschnitts $-1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist.

Beides wäre hier aber der Fall, sodass eine Kalibrierung notwendig ist. In allen Fällen ist ein anzuwendender Korrekturfaktor ausreichend und es kann auf eine Korrekturfunktion verzichtet werden.

Auch für PM_{2,5} ist zu erkennen, dass an der hoch belasteten Verkehrsstationen das FIDAS 200E die Schadstoffkonzentration eher unterschätzt (Korrekturfaktor > 1), an der Hintergrundstation jedoch eher überschätzt (Korrekturfaktor < 1).

4 Stationsübersicht

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die im Bericht erwähnten LÜSA Messstationen, an denen das Referenzmessverfahren und/oder ein automatisches Messsystem eingesetzt wurde und deren Messreihe(n) in diesem Bericht zur Führung des Äquivalenznachweises genutzt wurde(n).

Tabelle 14: Messstationen des LÜSA mit Referenzmessverfahren und/oder automatischem Messsystem. Die Koordinaten sind im Gauß-Krüger-System (Bessel, Zone 3) angegeben.

Stationsname	Stationskürzel	Stationstyp	Rechtswert	Hochwert
Aschersleben	M102	Verkehr	4462098	5736285
Bernburg	BECO	Stadtgebiet	4482101	5741072
Bitterfeld/Wolfen	GRNN	Industrie	4521068	5724131
Burg	BUCO	Stadtgebiet	4490874	5792768
Dessau-Roßlau	ROVN	Verkehr	4516540	5750216
Domäne Bobbe	DOBO	Hintergrund	4492622	5744802
Goldene Aue (Roßla)	ROSS	Hintergrund	4436931	5702773
Halberstadt/Paulsplan	HTCC	Stadtgebiet	4435226	5751857
Halle/Nord	HENN	Stadtgebiet	4498652	5706842
Halle/Riebeckplatz	HERP	Verkehr	4498984	5704573
Halle/Paracelsusstraße	M501	Verkehr	4498809	5706685
Leuna	LASO	Industrie	4502347	5687395
Magdeburg/Guericke-Straße	M205	Verkehr	4474902	5777622
Magdeburg/Schleiufer	M003	Verkehr	4474947	5776400
Magdeburg/West	MGWW	Stadtgebiet	4473499	5777202
Stendal/Stadtsee	SLWW	Stadtgebiet	4489962	5829902
Unterharz/Friedrichsbrunn	HZUN	Hintergrund	4433916	5725774
Weißenfels/Am Krug	WSVW	Verkehr	4497378	5673589
Wernigerode/Bahnhof	WENN	Stadtgebiet	4416721	5745720
Wittenberg/Bahnstraße	WGCC	Stadtgebiet	4545816	5748738
Wittenberg/Dessauer Straße	M002	Verkehr	4541315	5748323
Zartau	ZUWA	Hintergrund	4444019	5829221
Zeitz	ZZCC	Stadtgebiet	4510015	5657721

5 Literaturverzeichnis

European Commission. (2008). *Demonstration of the equivalence of ambient air analytical method*. Proceedings of the workshop on demonstration of equivalence 2-4 May 2007 in Ispra (Italy).

Garche, D. W. (2019). *Softwarevalidierung und Bewertung: Auswertung der Vergleichsmessungen Automat-Referenzverfahren für PM10 und PM2,5 mit der Software PM_Kalk*. Magdeburg: Landesamt für Umweltschutz.

Ruben Beijl, T. H. (2018). *Orthogonal regression and equivalence test utility*. RIVM (Dutch Institute for Public Health and the Environment).

TÜV Rheinland Energy GmbH. (2016). *Bericht über die Ergänzungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung FIDAS 200S bzw. FIDAS 200 der Firma PALAS GmbH für die Komponenten Schwebstaub PM10 und PM2,5*. Köln.

TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH. (2006). *Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung Modell 5030 SHARP MONITOR mit PM10 Vorabscheider der Firma Thermo Fisher Scientific für die Komponente Schwebstaub PM10*. TÜV-Bericht: 936/21203481/A, Köln.

Umweltbundesamt Österreich. (2010). *Equivalence test of optical PM monitors by order of the company GRIMM at 4 measurement locations in Austria*. Wien.

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft. (2014). *Außenluft - Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM10- oder PM2,5-Massenkonzentration des Schwebstaubes*. Deutsche Fassung EN 12341:2014.

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft. (2017). *Außenluft - Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM10; PM2,5)*. Deutsche Fassung EN 16450:2017.