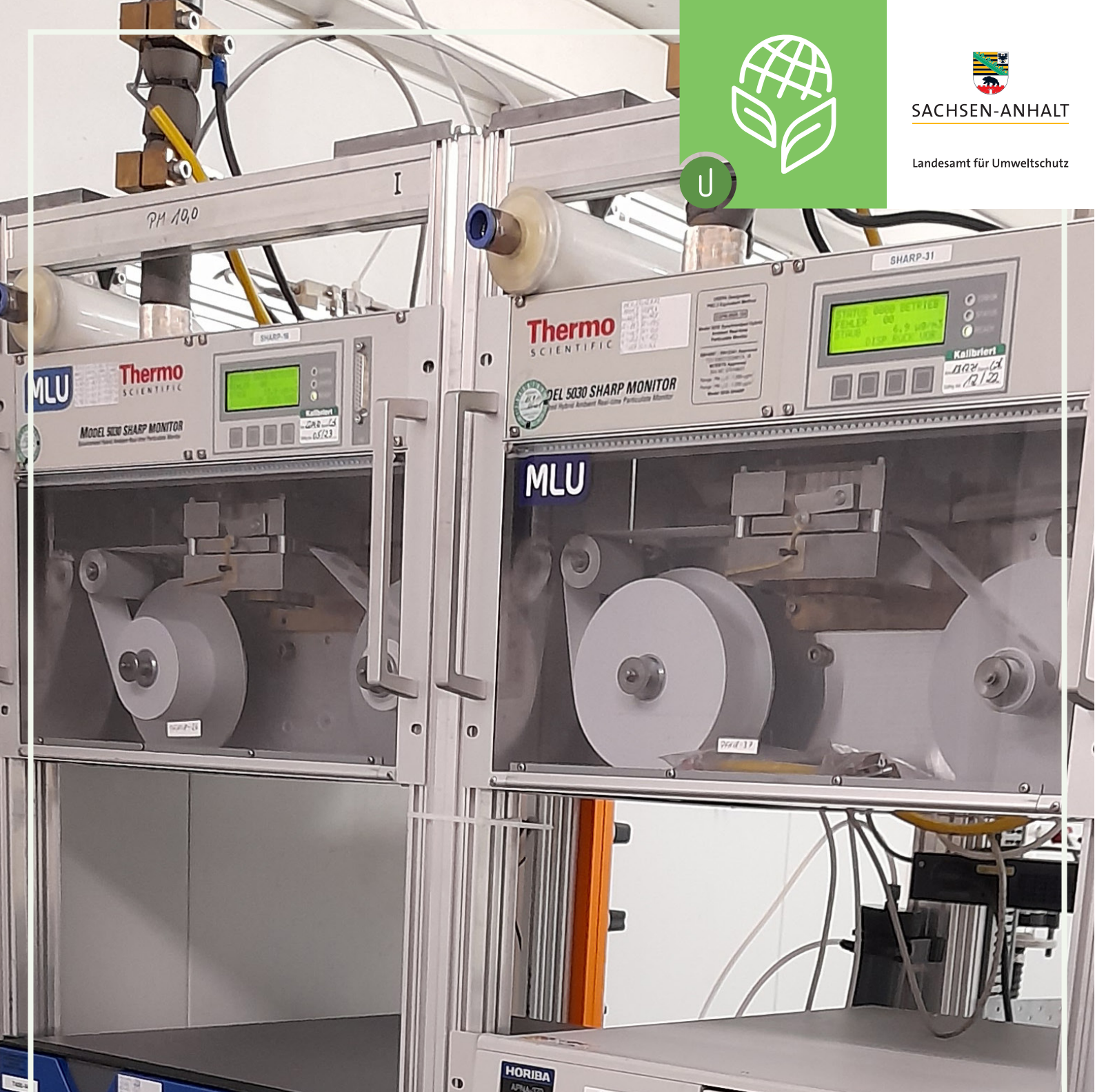




SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

U



Äquivalenznachweis 2022

Feinstaubmessungen im Land Sachsen-Anhalt



Impressum

Herausgeber

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Reideburger Str. 47 • 06116 Halle (Saale)
Tel.: 0345 5704-0
Fax: 0345 5704-605
E-Mail: poststelle@lau.mwu.sachsen-anhalt.de
Web: lau.sachsen-anhalt.de

Erarbeitung

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

Umschlaggestaltung unter Verwendung des Fotos von Katharina Roloff

1. Auflage
Juli 2023

Zitiervorschlag: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2023): Äquivalenznachweis für 2022. Feinstaubmessungen im Land Sachsen-Anhalt.

Inhalt

1	Hintergrund.....	4
2	Methodik.....	5
3	Ergebnisse im Berichtsjahr 2022	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	10
3.3	Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Sharp 5030 in der Fraktion PM _{2,5}	13
3.4	Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Grimm EDM 180 in der Fraktion PM _{2,5}	15
4	Stationsübersicht	17
5	Literaturverzeichnis.....	18

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 2022 die in Tabelle 1 aufgeführten automatischen Messsysteme ein. Beide Messgerätetypen sind eignungsgeprüft (TÜV Rheinland Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH, 2006), (Umweltbundesamt Österreich, 2010) und basieren auf optischen Messverfahren, welche beim Sharp mit einer radiometrischen Messung kombiniert werden.

Tabelle 1: Im Jahr 2022 eingesetzte, automatische Messsysteme zur Bestimmung der Feinstaubkonzentrationen in den Fraktionen PM₁₀ und PM_{2,5}.

Partikelfraktion	Gerätetyp	Anzahl
PM ₁₀	Sharp 5030	20
PM ₁₀	Grimm EDM 180	2
PM _{2,5}	Sharp 5030	8
PM _{2,5}	Grimm EDM 180	2

Für die als Referenzverfahren geltenden gravimetrischen Messungen setzte das LÜSA im Jahr 2022 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 2022 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	5

2 Methodik

An den für Vergleichsmessungen ausgestatteten Messstationen wurden die mit dem Referenzverfahren und der Alternativmethode ermittelten Feinstaubkonzentrationen in den Fraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ zum Tagesmittelwert aggregiert. Die daraus entstehenden Wertepaare werden dann auf Korrelation untersucht. Dabei wurden nicht nur die Messdaten des Berichtsjahres 2022 betrachtet, sondern auch in der Vergangenheit aufgenommene Daten seit 2018. Im Datensatz des Referenzverfahrens müssen mindestens 20 % der Daten bzw. mindestens 32 Werte über der oberen Beurteilungsschwelle liegen (für $PM_{10} > 28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für $PM_{2,5} > 17 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 0,4 % für PM_{10} bzw. 0,5 % 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 ($PM_{10} \geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2,5} \geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

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).

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 2022 verzichtet.

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 2022

3.1 Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Sharp 5030 in der Fraktion PM₁₀

2022 wurden an acht Messstellen Parallelmessungen zwischen gravimetrischem Referenzverfahren und dem automatischen Messsystem Sharp 5030 durchgeführt. Bei vier dieser Messstellen handelt es sich um Dauermessstellen, an denen bereits seit Jahren Vergleichsmessungen laufen. In Halle/Riebeckplatz (HERP) wurde 2020 eine neue Dauermessstelle eingerichtet. An allen Messstellen wurden im Jahr 2022 Vergleichsmessungen mit Probenahmen an jedem zweiten Tag durchgeführt. Zur Auswertung wurden entsprechend DIN EN 16450 sowohl die Vergleichsmessungen des Jahres 2022 als auch die Vergleichsmessungen der vorangegangenen Jahre seit 2018 verwendet. Die Vergleichsdatensätze der Station HEVC von 2018 wurden nicht in die Berechnungen einbezogen, da in diesem Jahr Bauarbeiten im Umfeld der Station stattfanden und die Probenahmen von Automat und Sammler unterschiedlich beeinflusst wurden.

Vor der Auswertung wurden 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	01.01.2018 – 31.12.2022	1.765
DOBO	01.01.2017 – 31.12.2022	1.745
GRNN	28.09.2020 – 21.06.2021	134
HENN	11.01.2022 – 19.12.2022	172
HERP	01.01.2020 – 31.12.2022	1.063
HTCC	14.01.2020 – 27.12.2020	173
LASO	19.01.2022 – 17.12.2022	165
M002	01.01.2018 – 31.12.2022	1.805
M003	21.07.2021 – 06.12.2021	139
M102	01.01.2018 – 31.12.2022	1.793
ROSS	02.01.2018 – 30.12.2018	168
ROVN	13.01.2022 – 19.12.2022	171
SLWW	17.01.2019 – 14.09.2020	446
WENN	02.02.2019 – 31.12.2019	166
WGCC	02.01.2018 – 28.12.2018	178
ZUWA	13.01.2021 – 29.12.2021	180
ZZCC	25.01.2019 – 31.12.2019	168
Insgesamt		10.431

Bereits die Rohdaten halten die Anforderung an die Messunsicherheit, welche kleiner als 25 % sein soll, mit einem Wert von 10,4 % sicher ein.

Eine Kalibrierung mit der Funktion $y = 0,999x + 0,894$ würde eine Verbesserung der Messunsicherheit auf 9,9 % 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 automatische 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	17,0	16,1
Anzahl >LV	66	67

Unsicherheitsberechnung:

RSS:	67501,0
u(random):	2,459
u(syst.):	-0,860
u(Ref)*:	0,948
u(add):	0,000

$u(\text{komb}):$

$U(\text{erw}):$

orthogonale Regression $y=a+bx$

r^2	Anstieg	Absolutglied
0,9224	1,0007	-0,8944
u	0,0027	0,0526
signifikant	Nein	Ja
Kal. notw.?	Nein	Nein

nach Kalibrierung mit: $y(\text{cal})=0,999y(i) + 0,894$

RSS:	67405,5
u(random):	2,462
u(syst.):	-0,001
u(cal):	0,147

$u(\text{komb}):$

$U(\text{erw}):$

	Referenz	Kandidat
Mittelwert	17,0	17,0
Anzahl >LV	66	73

orthogonale Regression $y=bx$

r^2	Anstieg
0,9813	0,9595
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 2022 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 2022 ermittelten Messunsicherheiten für die Sharp 5030 Geräte zur PM₁₀-Messung sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Messunsicherheiten der unkorrigierten PM₁₀-Messreihen 2022, aufgenommen mit den Sharp 5030 Geräten.

Station	Anzahl Wertepaare	Messunsicherheit
BUCO	362	8,6 %
DOBO	362	11,5 %
HENN	172	24,1 %
HERP	342	10,6 %
LASO	165	12,5 %
M002	363	12,8 %
M102	356	17,0 %
ROVN	171	12,4 %

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.

Zuletzt wurden die Episoden mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen auf Äquivalenz untersucht (PM₁₀ ≥ 30 µg/m³, gemessen mit Referenzverfahren). Für das Jahr 2022 lagen 217 Wertepaare vor. Davon wurden drei als Ausreißer durch den Grubbs-Test ermittelt. Als erweiterte Messunsicherheit ergibt sich ein Wert von 14,4 %, 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 automatische 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	35,7	33,6
Anzahl >LV	5	2

Unsicherheitsberechnung:

RSS:	<input type="text" value="2821,9"/>	
u(random):	<input type="text" value="3,586"/>	
u(syst.):	<input type="text" value="0,368"/>	u(komb): <input type="text" value="3,605"/>
u(Ref)*:	<input type="text" value="0,948"/>	
u(add):	<input type="text" value="0,000"/>	U(erw): <input type="text" value="14,4%"/>

nach Kalibrierung mit: $y(\text{cal})=0,850y(i) + 7,194$

RSS:	<input type="text" value="1989,9"/>	
u(random):	<input type="text" value="3,798"/>	u(komb): <input type="text" value="4,474"/>
u(syst.):	<input type="text" value="-0,316"/>	
u(cal):	<input type="text" value="2,343"/>	U(erw): <input type="text" value="17,9%"/>

	Referenz	Kandidat
Mittelwert	35,7	35,7
Anzahl >LV	5	2

orthogonale Regression $y=a+bx$

r ²	Anstieg	Absolutglied
0,7709	1,1767	-8,4653
u	0,0379	1,3767
signifikant	Ja	Ja
Kal. notw.?	Ja	Ja

orthogonale Regression $y=bx$

r ²	Anstieg
0,9896	0,9467
u	0,0066
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-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 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 2022 für die Fraktion PM₁₀ und den Gerätetyp Grimm EDM 180.

Zeitraum	Gerät	Anzahl Wertepaare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
27.11.2021 - 30.09.2022	EDM180-02	301 (5)	39,6%	$y = 0,907x$	11,4 %
01.10.2022 - 31.12.2022	EDM180-03	92 (3)	14,5%	$y = 0,953x$	10,2 %

Für den Zeitraum vom 27.11.2021 bis zum 30.09.2022 ist ein Korrekturfaktor von 0,907 anzuwenden. In diesem Zeitraum ist das laut DIN EN16450 gesetzte Kriterium, mindestens 20 % des Datensatzes müssen Konzentrationen größer als 28 µg/m³ aufweisen, mit 12,3 % nicht erfüllt. Die Norm gibt allerdings als Alternative eine Anzahl von mindestens 32 Datenpunkten pro Vergleichsmessung vor. Dieses Kriterium wird an der Station M205 mit 37 Datenpunkten sicher 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 92 Datensätze vorliegen. Der aus diesen Daten berechnete Faktor von 0,953 kann sich über den weiteren Einsatzzeitraum im Jahr 2023 noch stark verändern und wird daher für das Jahr 2023 im nächsten Äquivalenznachweis berechnet.

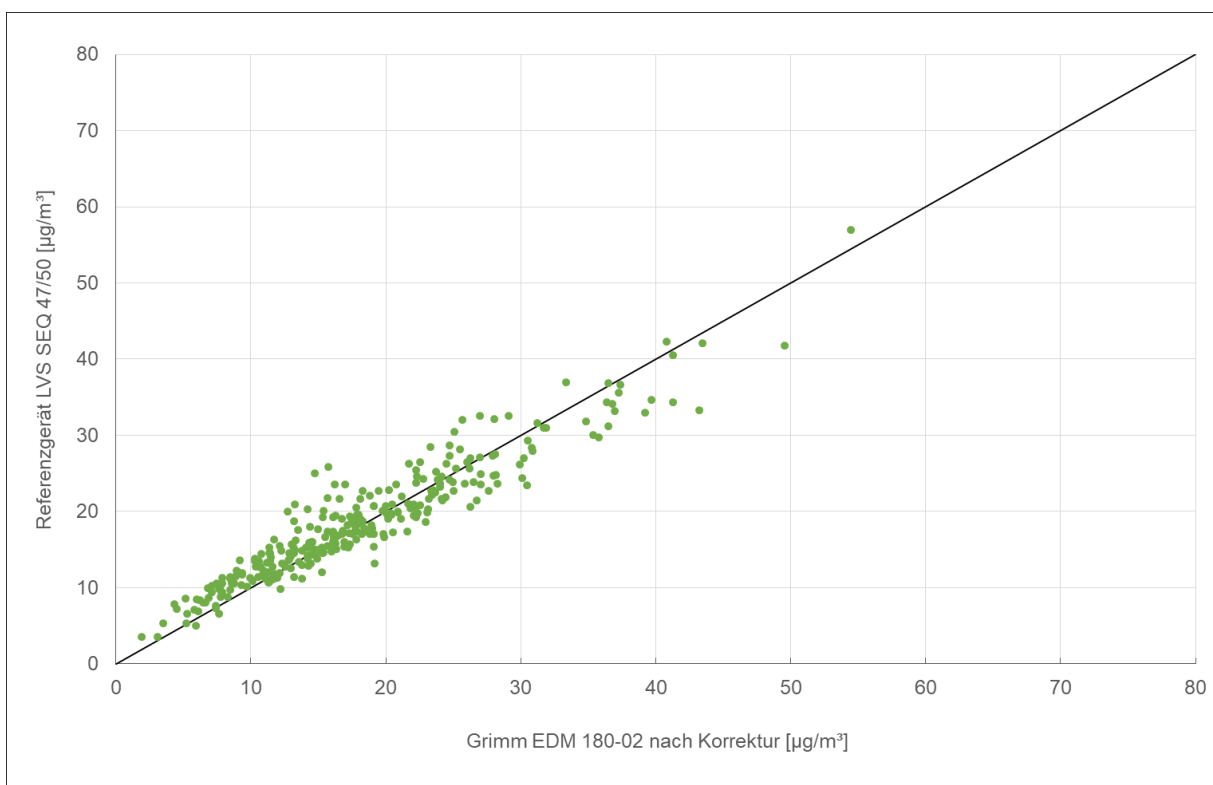
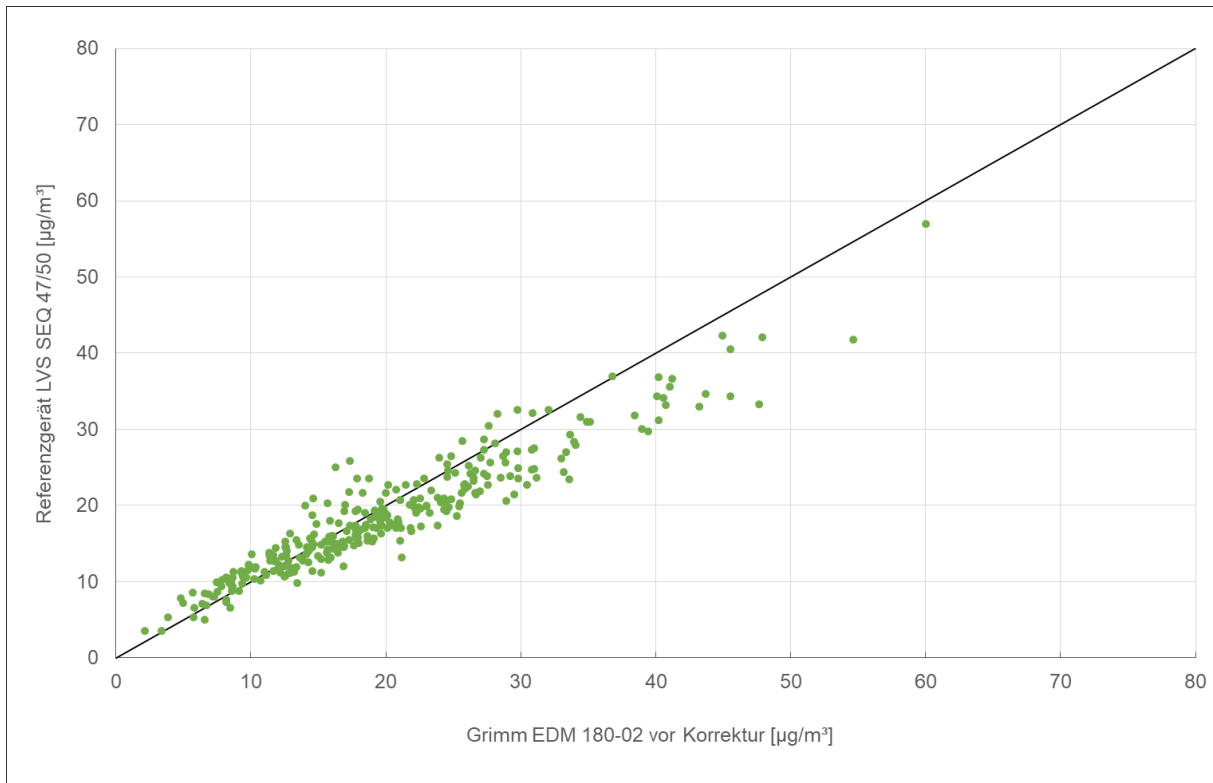


Abbildung 3: Vergleich der Wertepaare zwischen Referenzverfahren (LVS SEQ47/50) und automatischer Messung (Grimm EDM 180-02) am Standort Magdeburg/Guericke-Straße. Die obere Grafik zeigt die Wertepaare vor der Korrektur der automatisch erhobenen Messdaten, die untere Abbildung die Wertepaare nach Anwendung des Korrekturfaktors 0,907 auf die automatisch erhobenen Messdaten für den Zeitraum 27.11.2021 bis 30.09.2022.

Tabelle 6 zeigt die für die verschiedenen Einsatzzeiten und Geräte ermittelten Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M501. Aus der ersten Spalte der Tabelle ist zu erkennen, dass beide Geräte jeweils zwei Einsatzzeiten an der Station M501 absolviert haben. Das EDM180-03 wurde am 27.04.2022 planungsgemäß zur Routinewartung ausgebaut und durch das EDM180-01 ersetzt. Dieses Gerät wies allerdings nach kurzer Zeit eine kontaminierte Messkammer auf und musste zum Hersteller eingeschickt werden. Es wurde wiederum durch das EDM180-03 ersetzt. Nach der Reparatur des EDM180-01 wurde es zurück in die Station M501 eingebaut. Dadurch ergeben sich für 2022 zunächst vier Messzeiträume, die ausgewertet werden mussten. Der zweite Messzeitraum des EDM180-03 (19.07.2022 - 29.08.2022) ist jedoch mit 30 gültigen Datensätzen zu kurz für eine Einzelauswertung. Daher wurden die beiden Messzeiträume des EDM180-03 zusammen ausgewertet.

Tabelle 6: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M501 im Jahr 2022 für die Fraktion PM₁₀ und den Gerätetyp Grimm EDM 180.

Zeitraum	Gerät	Anzahl Werte paare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
29.04.2021 - 27.04.2022 19.07.2022 - 29.08.2022	EDM180-03	376 (1)	18,7 %	$y = 1,038x$	17,5 %
28.04.2022 - 18.07.2022 30.08.2022 - 31.12.2022	EDM180-01	200 (1)	18,3 %	$y = 1,020x$	13,0 %
28.04.2022 - 18.07.2022	EDM180-01	80 (0)	28,5 %	$y = 1,017x$	12,8 %
30.08.2022 - 31.12.2022	EDM180-01	120 (1)	15,7 %	$y = 1,023x$	13,7 %

Für die zwei Messzeiträume des EDM180-01 wurden sowohl eine Einzelauswertung als auch eine zusammengelegte Auswertung durchgeführt. Die Ergebnisse der Einzelauswertung sind in Tabelle 2 in den letzten beiden Zeilen (grau) aufgeführt. Letztlich wurde, ebenso für die Komponente PM_{2,5}, der Faktor der zusammengefassten Auswertung für die Korrektur der Automatendaten genutzt, da sich hierbei in der Gesamtheit eine verbesserte Messunsicherheit ergibt und die Datenbasis mit 200 gültigen Datenpaaren statistisch fundierter ist.

Für die Zeiträume vom 29.04.2021 bis 27.04.2022 und vom 19.07.2022 bis 29.08.2022 ist ein Korrekturfaktor von 1,038 anzuwenden. Für den Zeitraum vom 28.04.2022 bis 18.07.2022 und ab 30.08.2022 ist ein Korrekturfaktor von 1,02 anzuwenden.

Aus der Zusammenstellung in Tabelle 6 ist zudem 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 Sharp 5030 in der Fraktion PM_{2,5}

2022 wurden an vier Messstellen Parallelmessungen von Partikeln PM_{2,5} zwischen gravimetrischem Referenzverfahren und dem automatischen Messsystem SHARP 5030 durchgeführt. Zur Auswertung wurden entsprechend DIN EN 16450 sowohl die Vergleichsmessungen des Jahres 2022 als auch die Vergleichsmessungen der vorangegangenen fünf Jahre verwendet.

Vor der Auswertung wurden die Datensätze 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 7 sind die zur Auswertung verwendeten PM_{2,5}-Messreihen zusammen gefasst.

Tabelle 7: 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	02.01.2018 – 31.12.2022	883
HZUN	01.07.2021 – 14.12.2021	156
MGWW	02.01.2018 – 31.12.2022	902
WSVV	01.01.2018 – 30.12.2018	271
Insgesamt		2.549

Das Ergebnis der Auswertung über die in Tabelle 7 aufgeführten Messreihen ist in Abbildung 4 dargestellt. Bereits die Rohdaten halten die Anforderung an die Messunsicherheit (< 25 %) mit einem Wert von 13,5 % sicher ein. Eine Kalibrierung mit der Funktion $y = 1,004x - 0,571$ würde eine Verbesserung der Messunsicherheit auf 13,3 % 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.

Vergleichsmessungen von automatische 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	9,9	10,4
Anzahl >LV	60	54

Unsicherheitsberechnung:

RSS:	<input type="text" value="10932,1"/>	
u(random):	<input type="text" value="1,966"/>	
u(syst.):	<input type="text" value="0,453"/>	u(komb): <input type="text" value="2,018"/>
u(Ref)*:	<input type="text" value="0,948"/>	
u(add):	<input type="text" value="0,000"/>	U(erw): <input type="text" value="13,5%"/>

nach Kalibrierung mit: $y(\text{cal})=1,004y(i) + -0,571$

RSS:	<input type="text" value="11018,4"/>	
u(random):	<input type="text" value="1,983"/>	u(komb): <input type="text" value="1,992"/>
u(syst.):	<input type="text" value="0,003"/>	
u(cal):	<input type="text" value="0,184"/>	U(erw): <input type="text" value="13,3%"/>

	Referenz	Kandidat
Mittelwert	9,9	9,9
Anzahl >LV	60	48

orthogonale Regression $y=a+bx$

r ²	Anstieg	Absolutglied
0,9173	0,9962	0,5686
u	0,0057	0,0696
signifikant	Nein	Ja
Kal. notw.?	Nein	Nein

orthogonale Regression $y=bx$

r ²	Anstieg
0,9715	1,0348
u	0,0035
signifikant	Ja
Kal. notw.?	Ja

*) 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 2022 durchgeführt, da für vorangehende Messungen die Prüfung bereits in den Vorjahren erfolgt ist. Die an den einzelnen Messstellen im Jahr 2022 ermittelten Messunsicherheiten für die Sharp 5030 Geräte zur PM_{2.5}-Messung sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Messunsicherheiten der unkorrigierten PM_{2,5}-Messreihen 2022, aufgenommen mit den Sharp 5030 Geräten.

Station	Anzahl Wertepaare	Messunsicherheit
DOBO	172	12,1 %
HENN	180	13,2 %
MGWW	182	9,2 %

Auch ohne Korrektur der Automatendaten wurde die Anforderung an die Messunsicherheit von weniger als 25 % im Jahr 2022 eingehalten. Gleiches gilt für Episoden mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen (PM_{2,5} ≥ 18 µg/m³). Im Jahr 2022 konnten 51 Wertepaare auf Äquivalenz untersucht werden, wobei ein Ausreißer mittels Grubbs-Test erkannt und vom Datensatz entfernt wurde. Auch ohne Korrektur der Automatendaten wurde eine erweiterte Messunsicherheit von 24,5 % erreicht und damit das notwendige Kriterium eingehalten.

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

Im Jahr 2022 wurde nur an der Station M501 eine Vergleichsmessung für Partikel PM_{2,5} zwischen gravimetrischem Referenzverfahren und dem automatischen Messsystem vom Typ EDM 180 durchgeführt. Tabelle 9 zeigt die für die verschiedenen Einsatzzeiten und Geräte ermittelten Messunsicherheiten und Kalibrierfunktionen an der Station M501 für PM_{2,5}.

Tabelle 9: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M501 im Jahr 2021 für die Fraktion PM_{2,5} und den Gerätetyp Grimm EDM 180.

Zeitraum	Gerät	Anzahl Wertepaare (Ausreißer)	Messunsicherheit Rohdaten	Korrekturfunktion	Messunsicherheit korrigierte Daten
29.04.2021 - 27.04.2022 19.07.2022 - 29.08.2022	EDM180-03	377 (0)	40,7 %	y = 0,847x	13,8 %
28.04.2022 - 18.07.2022 30.08.2022 - 31.12.2022	EDM180-01	195 (3)	44,3 %	y = 0,857x	17,2 %
28.04.2022 - 18.07.2022	EDM180-01	75 (1)	21,8 %	y = 1,019x	20,2%
30.08.2022 - 31.12.2022	EDM180-01	120 (3)	42,7 %	y = 0,814x	11,8 %

Bezüglich der doppelten Messzeiträume je Gerät (siehe Tabelle 9, Spalte 1) gelten dieselben Ausführungen wie für die Fraktion PM₁₀ in Abschnitt 3.2. Auch für die Komponente PM_{2,5} wurden letztlich die errechneten Korrekturfaktoren aus den zusammengelegten Messzeiträumen genutzt. Zum einen ergab sich bei der Einzelauswertung für das Gerät EDM180-01 zwi-

schen dem 28.04.2022 und 18.07.2022 ein im Vergleich zu den Vorjahren unpassender Korrekturfaktor. Zum anderen ist die Datenbasis der zusammengelegten Auswertung mit 195 gültigen Datenpaaren statistisch fundierter.

Für die Zeiträume vom 29.04.2021 bis 27.04.2022 und vom 19.07.2022 bis 29.08.2022 ist demnach ein Korrekturfaktor von 0,847 anzuwenden. Für den Zeitraum vom 28.04.2022 bis 18.07.2022 und ab 30.08.2022 ist ein Korrekturfaktor von 0,857 anzuwenden.

Für die Station M205 wurde im Jahr 2022 keine Vergleichsmessung für $PM_{2,5}$ durchgeführt. Für die Korrektur der automatischen Messsysteme wurden im Jahr 2021 weiterhin die Korrekturfaktoren aus dem Bezugsjahr 2020 herangezogen. Die Automatendaten des Jahres 2022 können aufgrund der fehlenden Vergleichsmessung nicht beurteilt werden und werden daher auch nicht im Jahresdatensatz ans UBA berichtet. Eine erneute Vergleichsmessung im Jahr 2023 wird derzeit durchgeführt.

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 10: 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-Str.	M205	Verkehr	4474902	5777622
Magdeburg/Schleinufer	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 Str.	M002	Verkehr	4541315	5748323
Zartau/Waldmessstation	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 PM_{2,5} mit der Software PM_Kalk*. Magdeburg: Landesamt für Umweltschutz.
- Ruben Beijik, T. H. (2018). *Orthogonal regression and equivalence test utility*. RIVM (Dutch Institute for Public Health and the Environment).
- 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 PM_{2,5}-Massenkonzentration des Schwebstaubes*. Deutsche Fassung EN 12341:2014.
- VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft. (2017). *Außenluft - Automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration (PM₁₀; PM_{2,5})*. Deutsche Fassung EN 16450:2017.