



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

U



Äquivalenznachweis für 2021

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.mlu.sachsen-anhalt.de

www.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 Michael Schüler

1. Auflage

August 2022

Zitiervorschlag: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2022): Äquivalenznachweis für 2021. Feinstaubmessungen im Land Sachsen-Anhalt. Herausgegeben vom Landesamt für Umweltschutz.

Inhalt

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Hintergrund..... | 4 |
| 2 | Methodik..... | 5 |
| 3 | Ergebnisse im Berichtsjahr 2021 | 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} | 12 |
| 3.4 | Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Grimm EDM 180 in der Fraktion PM _{2,5} | 14 |
| 4 | Stationsübersicht | 15 |
| 5 | Literaturverzeichnis..... | 16 |

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 2021 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 2021 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 2021 die in Tabelle 2 aufgeführten Geräte ein. Dabei sind für jede Partikelfraktion jeweils drei Geräte an temporären Standorten zu Vergleichszwecken eingesetzt worden. Bei den restlichen Geräten handelt es sich um permanent stationär betriebene Vergleichsmessungen, z.B. an Hotspots.

Tabelle 2: Im Jahr 2021 eingesetzte, gravimetrische Messsysteme zur Bestimmung der Feinstaubkonzentrationen in den Fraktionen PM₁₀ und PM_{2,5}.

| Partikelfraktion | Gerätetyp | Anzahl |
|-------------------|--------------|--------|
| PM ₁₀ | LVS SEQ47/50 | 10 |
| 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 2021 betrachtet, sondern auch in der Vergangenheit aufgenommene Daten seit 2017. 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 0,3 % für PM_{10} bzw. 0,6 % 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 2021 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 2021

3.1 Äquivalenznachweis für den Gerätetyp Sharp 5030 in der Fraktion PM₁₀

2021 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 zwei Messstellen wurden im Jahr 2021 Vergleichsmessungen mit Probenahmen an jedem zweiten Tag durchgeführt. Zur Auswertung wurden entsprechend DIN EN 16450 sowohl die Vergleichsmessungen des Jahres 2021 als auch die Vergleichsmessungen der vorangegangenen Jahre seit 2017 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 |
|---------------|-------------------------|----------------------------------|
| BECO | 27.01.2017 – 11.12.2017 | 150 |
| BUCO | 01.01.2017 – 31.12.2021 | 1.761 |
| DOBO | 01.01.2017 – 31.12.2021 | 1.738 |
| GRNN | 28.09.2020 – 21.06.2021 | 134 |
| HENN | 03.01.2017 – 29.12.2017 | 116 |
| HERP | 01.01.2020 – 31.12.2021 | 721 |
| HEVC | 01.01.2017 – 31.12.2017 | 360 |
| HTCC | 14.01.2020 – 27.12.2020 | 173 |
| HZUN | 02.02.2017 – 03.12.2017 | 149 |
| M002 | 01.01.2017 – 31.12.2021 | 1.792 |
| M003 | 21.07.2021 – 06.12.2021 | 139 |
| M102 | 01.01.2017 – 31.12.2021 | 1.796 |
| MGWW | 03.01.2017 – 26.12.2017 | 116 |
| ROSS | 02.01.2018 – 30.12.2018 | 168 |
| 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 |
| Gesamt | | 10.451 |

Bereits die Rohdaten halten die Anforderung an die Messunsicherheit von < 25 % mit einem Wert von 10,7 % sicher ein. Eine Kalibrierung mit der Funktion $y = 1,005x + 0,577$ würde eine Verbesserung der Messunsicherheit auf 10,2 % 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 | 17,2 | 16,5 |
| Anzahl >LV | 123 | 131 |

Unsicherheitsberechnung:

| | |
|------------|---------|
| RSS: | 71667,5 |
| u(random): | 2,536 |
| u(syst.): | -0,830 |
| u(Ref)*: | 0,948 |
| u(add): | 0,000 |

$u(\text{komb}):$

$U(\text{erw}):$

orthogonale Regression $y=a+bx$

| r^2 | Anstieg | Absolutglied |
|-------------|---------------|----------------|
| 0,9321 | 0,9949 | -0,5744 |
| u | 0,0025 | 0,0505 |
| signifikant | Ja | Ja |
| Kal. notw.? | Nein | Nein |

nach Kalibrierung mit: $y(\text{cal})=1,005y(i) + 0,577$

| | |
|------------|---------|
| RSS: | 72419,0 |
| u(random): | 2,554 |
| u(syst.): | 0,006 |
| u(cal): | 0,137 |

$u(\text{komb}):$

$U(\text{erw}):$

orthogonale Regression $y=bx$

| r^2 | Anstieg |
|-------------|---------------|
| 0,9818 | 0,9698 |
| u | 0,0013 |
| signifikant | Ja |
| Kal. notw.? | Ja |

| | Referenz | Kandidat |
|------------|----------|----------|
| Mittelwert | 17,2 | 17,2 |
| Anzahl >LV | 123 | 141 |

*) 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 2021 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 2021 ermittelten Messunsicherheiten für die Sharp 5030 Geräte zur PM₁₀-Messung sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Messunsicherheiten der unkorrigierten PM₁₀-Messreihen 2021, aufgenommen mit den Sharp 5030 Geräten.

| Station | Anzahl Wertepaare | Messunsicherheit |
|---------|-------------------|------------------|
| BUCO | 364 | 7,4 % |
| DOBO | 320 | 10,5 % |
| GRNN | 86 | 23,5 % |
| HERP | 360 | 15,1 % |
| M002 | 364 | 8,7 % |
| M003 | 139 | 8,7 % |
| M102 | 362 | 12,7 % |
| ZUWA | 180 | 22,5 % |

Am Standort Bitterfeld-Wolfen (GRNN) wurde über einen relativ kurzen Zeitraum (28.09.2020 bis 21.06.2021) eine Vergleichsmessung mit Probenahme an jedem zweiten Tag durchgeführt. Grund hierfür war die coronabedingt verspätete Rückführung unserer Messtechnik vom Ringversuch in Wiesbaden, bei dem das einzusetzende LVS SEQ47/50 Gerät eingebunden war. Entsprechend konnte die sich daran anschließende Vergleichsmessung am Standort Magdeburg/Schleinufer (M003) erst im Juli mit täglicher Probenahme beginnen. Hier mussten wiederum die ersten 20 Tage der Vergleichsmessung aufgrund eines defekten Zählrohres am Sharp Gerät verworfen werden. So erklären sich die geringen Probenahmezahlen an beiden Standorten. Durch die geringe Datengrundlage ist die Messunsicherheit am Standort GRNN erhöht, liegt aber noch unterhalb der einzuhaltenden Grenze von 25 %.

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.

Am Standort Domäne Bobbe mussten zwischen dem 30.03.2021 und 12.05.2021 alle Messwerte des Referenzgeräts als unplausibel eingestuft werden, da nach Wartungsarbeiten das Probenahmerohr nicht korrekt montiert worden war, sodass die Ansaugung teilweise über das äußere Mantelrohr erfolgte und nicht vollständig über den Probenahmekopf. Entsprechend kann dieser Zeitraum nicht für die Auswertung der Vergleichsmessung herangezogen werden.

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 ($PM_{10} \geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gemessen mit Referenzverfahren). Für das Jahr 2021 lagen 171 Wertepaare vor. Davon wurden vier als Ausreißer durch den Grubbs-Test ermittelt. Als erweiterte Messunsicherheit ergibt sich ein Wert von 18,8 %, 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 | 38,0 | 35,6 |
| Anzahl >LV | 18 | 14 |

Unsicherheitsberechnung:

| | |
|------------|--------|
| RSS: | 2865,5 |
| u(random): | 4,113 |
| u(syst.): | -2,250 |
| u(Ref)*: | 0,948 |
| u(add): | 0,000 |

u(komb):

U(erw):

orthogonale Regression $y=a+bx$

| r ² | Anstieg | Absolutglied |
|----------------|---------|--------------|
| 0,8463 | 1,0112 | -2,8097 |
| u | 0,0308 | 1,2138 |
| signifikant | Nein | Ja |
| Kal. notw.? | Nein | Ja |

nach Kalibrierung mit: $y(\text{cal})=0,989y(i) + 2,779$

| | |
|------------|--------|
| RSS: | 2799,7 |
| u(random): | 4,513 |
| u(syst.): | -0,012 |
| u(cal): | 1,962 |

u(komb):

U(erw):

| | Referenz | Kandidat |
|------------|----------|----------|
| Mittelwert | 38,0 | 38,0 |
| Anzahl >LV | 18 | 18 |

*) bereits in u(random) eingerechnet.

Abbildung 2: Äquivalenznachweis für Episoden mit erhöhter Feinstaubkonzentration ($PM_{10} \geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 2021 für die Fraktion PM₁₀ und den Gerätetyp Grimm EDM 180.

| Zeitraum | Gerät | Anzahl Wertepaare (Ausreißer) | Messunsicherheit Rohdaten | Korrekturfunktion | Messunsicherheit korrigierte Daten |
|-------------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 14.11.2020 - 26.11.2021 | EDM180-01 | 376 (6) | 32,5 % | $y = 0,885x$ | 8,8 % |
| 27.11.2021 - 31.12.2021 | EDM180-02 | 35 (1) | 18,8 % | $y = 0,940x$ | 12,0 % |

Für den Zeitraum vom 14.11.2020 bis zum 26.11.2021 ist ein Korrekturfaktor von 0,885 anzuwenden. In diesem Zeitraum ist das laut DIN EN16450 gesetzte Kriterium, mindestens 20 % des Datensatzes müssen Konzentrationen größer als 28 µg/m³ aufweisen, mit 11,7 % 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 44 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 35 Datensätze vorliegen. Der aus diesen Daten berechnete Faktor von 0,940 kann sich über den weiteren Einsatzzeitraum im Jahr 2022 noch stark verändern.

Tabelle 6 zeigt die für die verschiedenen Einsatzzeiten und Geräte ermittelten Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M501. Aus der Zusammenstellung 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. Im Falle des Geräts EDM180-03 führt die Kalibrierung zu einer leichten Erhöhung der Unsicherheit; der Maximalwert von 25 % wird jedoch unterschritten. Für den Zeitraum vom 29.10.2020 bis zum 28.04.2021 ist ein Korrekturfaktor von 0,993 anzuwenden. Für den Zeitraum nach dem Austausch des Messgerätes ist ein Korrekturfaktor von 1,068 anzuwenden.

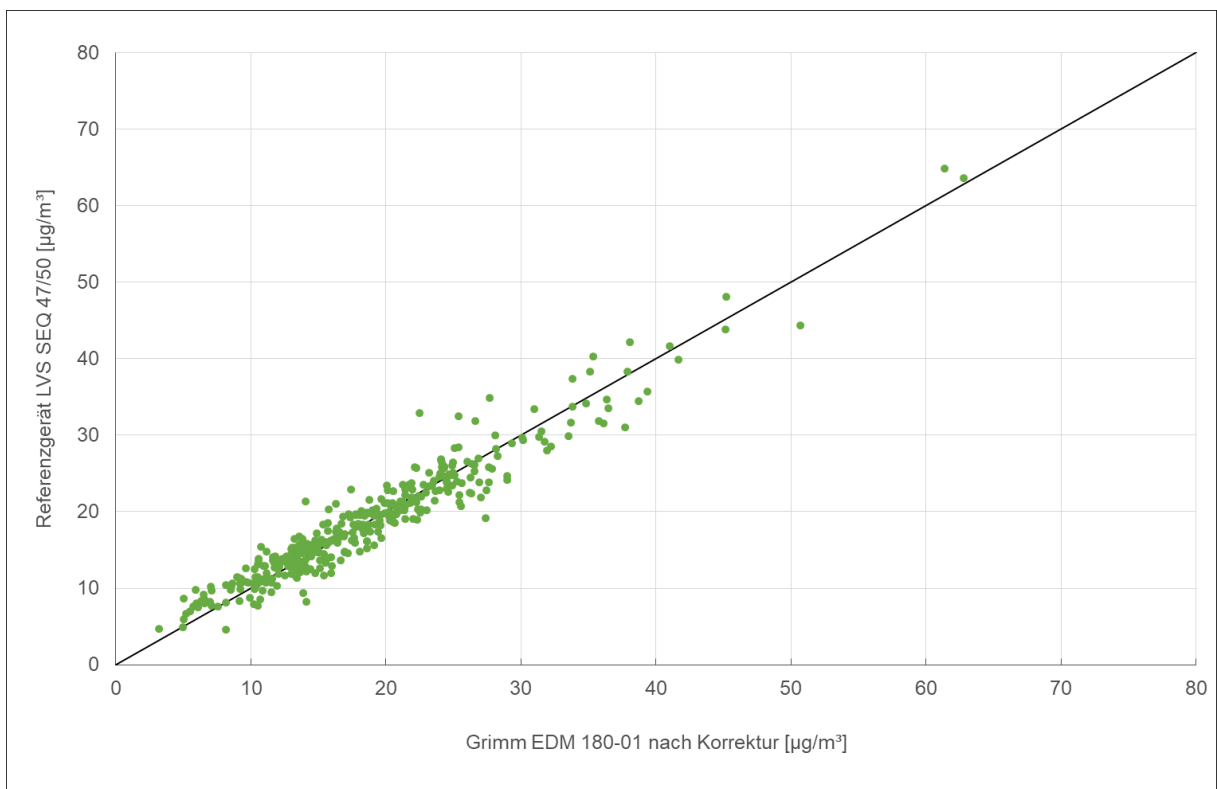
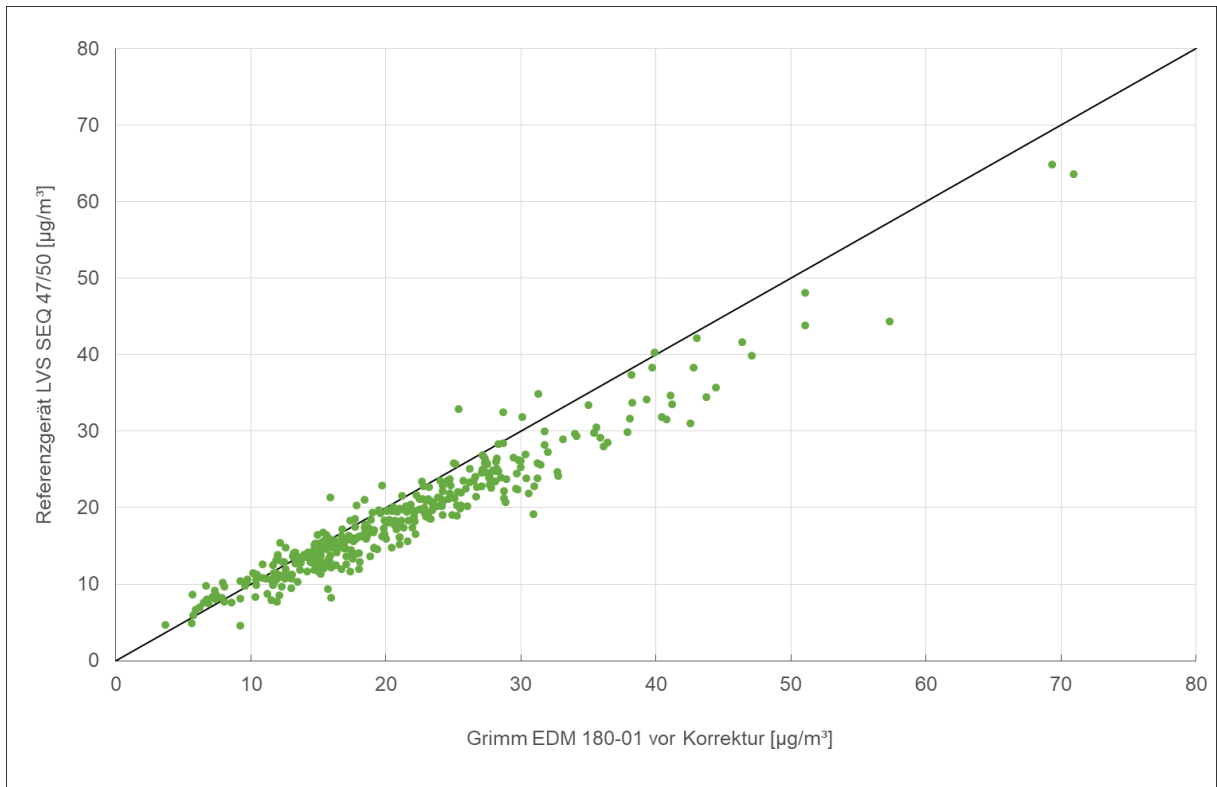


Abbildung 3: Vergleich der Wertepaare zwischen Referenzverfahren (LVS SEQ47/50) und automatischer Messung (Grimm EDM 180-01) am Standort Magdeburg/Guericke-Straße. Die obere Grafik zeigt die Wertepaare vor der Korrektur der automatisch erhobenen Messdaten, die untere Abbildung die Wertepaare nach Anwendung des Korrekturfaktors 0,885 auf die automatisch erhobenen Messdaten für den Zeitraum 14.11.2020 bis 26.11.2021.

Tabelle 6: Messunsicherheiten und Korrekturfaktoren an der Station M501 im Jahr 2021 für die Fraktion PM₁₀ und den Gerätetyp Grimm EDM 180.

| Zeitraum | Gerät | Anzahl Wertepaare (Ausreißer) | Messunsicherheit Rohdaten | Korrekturfunktion | Messunsicherheit korrigierte Daten |
|-------------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 29.10.2020 - 28.04.2021 | EDM180-02 | 181 (2) | 17,8 % | $y = 0,993x$ | 17,2 % |
| 29.04.2021 - 31.12.2021 | EDM180-03 | 230 (3) | 13,3 % | $y = 1,068x$ | 14,2 % |

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

2021 wurden an fünf Messstellen Parallelmessungen von Partikeln PM_{2,5} zwischen gravimetrischem Referenzverfahren und dem automatischen Messsystem SHARP 5030 durchgeführt. Dabei lief die Messreihe in Weißenfels (WSVW) bis Ende Juni 2021. Anschließend wurde das Gerät an der Station Unterharz (HZUN) zur Vergleichsmessung eingesetzt. Zur Auswertung wurden entsprechend DIN EN 16450 sowohl die Vergleichsmessungen des Jahres 2021 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 | 01.01.2017 – 25.01.2017 13.01.2021 – 11.12.2021 | 178 |
| DOBO | 01.01.2017 – 31.01.2017 | 15 |
| HENN | 30.01.2017 – 30.12.2021 | 859 |
| HZUN | 01.07.2021 – 14.12.2021 | 156 |
| MGWW | 02.01.2018 – 30.12.2021 | 720 |
| WSVW | 31.12.2017 – 30.12.2018 19.03.2021 – 23.06.2021 | 272 |

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 von weniger als 25 % mit einem Wert von 14,3 % sicher ein. Eine Kalibrierung mit der berechneten Funktion würde hier zu einer Verschlechterung der Messunsicherheit führen. Laut DIN EN 16450 Anhang C ist eine Kalibrierung nicht notwendig, wenn die Aufnahme zusätzlicher Unsicherheitsterme zu einer Erhöhung oder einer nicht signifikanten Verringerung der kombinierten Messunsicherheit der automatischen Messung führt.

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

Zeitraum: 01.01.2017 bis 30.12.2021 **Messort(e):** alle

Gerätetyp: SHARP 5030 **Referenzsammler:** SEQ 47/50

Grenzwert: 30 **obere BS:** 18 (für Jahresgrenzwert)

Anzahl DS: 2200 **Anzahl DS>oBS:** 327 **entspricht** 14,9%

Ausreißer: 13 → **N=** 2187 **alle Daten -Ausreißer**

| | Referenz | Kandidat |
|------------|----------|----------|
| Mittelwert | 10,2 | 10,8 |
| Anzahl >LV | 66 | 64 |

Unsicherheitsberechnung:

| | |
|------------|---------|
| RSS: | 10712,0 |
| u(random): | 2,110 |
| u(syst.): | 0,381 |
| u(Ref)*: | 0,948 |
| u(add): | 0,000 |

u(komb): 2,144

U(erw): 14,3%

orthogonale Regression y=a+bx

| r ² | Anstieg | Absolutglied |
|----------------|---------------|---------------|
| 0,9189 | 0,9890 | 0,7094 |
| u | 0,0060 | 0,0773 |
| signifikant | Nein | Ja |
| Kal. notw.? | Nein | Nein |

nach Kalibrierung mit: $y(cal)=1,011y(i) + -0,717$

| | |
|------------|---------|
| RSS: | 10955,9 |
| u(random): | 2,146 |
| u(syst.): | 0,009 |
| u(cal): | 0,197 |

u(komb): 2,155

U(erw): 14,4%

orthogonale Regression y=bx

| r ² | Anstieg |
|----------------|---------------|
| 0,9700 | 1,0343 |
| u | 0,0038 |
| signifikant | Ja |
| Kal. notw.? | Ja |

| | Referenz | Kandidat |
|------------|----------|----------|
| Mittelwert | 10,2 | 10,2 |
| Anzahl >LV | 66 | 59 |

*) 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 2021 durchgeführt, da für vorangehende Messungen die Prüfung bereits in den Vorjahren erfolgt ist. Die an den einzelnen Messstellen im Jahr 2021 ermittelten Messunsicherheiten für die Sharp 5030 Geräte zur PM_{2.5}-Messung sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Bei der Auswertung der PM_{2.5}-Vergleichsmessungen für das Jahr 2021 wurde ein Defekt am Zählrohr des Sharp 5030 Geräts in Weißenfels aufgedeckt. Dieser Defekt konnte rückwirkend bis zum Beginn der Vergleichsmessung im Jahr 2020 nachgewiesen werden. Aus diesem Grund müssen die Messdaten des automatischen Messsystems im Zeitraum vom 30.09.2020 bis 18.03.2021 an der Station Weißenfels für ungültig erklärt werden und stehen nicht für die Auswertung der Vergleichsmessung zur Verfügung. Die Berechnungen für das Jahr 2020 wurden in den zugehörigen Berichten entsprechend angepasst und dokumentiert.

Im Jahr 2021 bleiben 92 Datenpaare zur Auswertung der Vergleichsmessung zwischen Sammler und Automat im Zeitraum vom 19.03.2021 bis 23.06.2021 am Standort Weißenfels erhalten. Trotz der eingeschränkten Datenlage wird die Messunsicherheit mit 22,1 % eingehalten.

Tabelle 8: Messunsicherheiten der unkorrigierten PM_{2,5}-Messreihen 2021, aufgenommen mit den Sharp 5030 Geräten.

| Station | Anzahl Wertepaare | Messunsicherheit |
|---------|-------------------|------------------|
| BUCO | 165 | 22,8 % |
| HENN | 176 | 16,6 % |
| HZUN | 156 | 6,5 % |
| MGWW | 179 | 8,5 % |
| WSVV | 92 | 22,1 % |

Auch ohne Korrektur der Automatendaten wurde die Anforderung an die Messunsicherheit von weniger als 25 % im Jahr 2021 eingehalten. Gleiches gilt für Episoden mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen ($PM_{2,5} \geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Im Jahr 2021 konnten 75 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 24,3 % erreicht und damit das notwendige Kriterium eingehalten.

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

Im Jahr 2021 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 |
|-------------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------------|
| 29.10.2020 - 29.04.2021 | EDM180-02 | 181 (0) | 43,4 % | $y = 0,811x$ | 16,1 % |
| 30.04.2021 - 31.12.2021 | EDM180-03 | 230 (0) | 51,0 % | $y = 0,821x$ | 12,7 % |

Für den Zeitraum vom 29.10.2020 bis zum 29.04.2021 ist demnach ein Korrekturfaktor von 0,811 anzuwenden. Für den Zeitraum nach dem Austausch des Messgerätes ist ein Korrekturfaktor von 0,821 anzuwenden.

Für die Station M205 wurde im Jahr 2021 keine Vergleichsmessung für PM_{2,5} durchgeführt. Für die Korrektur der automatischen Messsysteme werden weiterhin die Korrekturfaktoren aus dem Bezugsjahr 2020 herangezogen. Eine erneute Vergleichsmessung im Jahr 2023 ist angedacht.

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 |
| 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 |
| 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 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 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.