

Auswertung der airpointer®-Messungen

LÜSA-Messstation
Halberstadt/Friedenstraße



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz



Impressum

Herausgeber:	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt Tel.: +49 345-5704-501 <u>poststelle@lau.mlu.sachsen-anhalt.de</u> Internet: www.lau.sachsen-anhalt.de
Redaktion:	Fachbereich Immissionsschutz, Klima, Erneuerbare Energien, Nachhaltigkeit Fachgebiet Immissionsüberwachung
Autoren:	Sabine Willberg, Dr. Wolfgang Garche, Torsten Bayer
Redaktionsschluss:	Halle (Saale), März 2020
Bildrechte	Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

1	Einleitung	4
2	Standort und Messstellenumgebung	4
3	Messtechnik	6
3.1	Messsystem Airpointer	6
3.2	Passivsammler	6
3.3	Filterwechsler (LVS) SEQ 47/50	7
4	Messergebnisse	8
4.1	Ergebnisse der NO ₂ -Messungen	8
4.1.1	Bestimmung der Kenngrößen aus den NO ₂ -Passivsammlerergebnissen 2018	8
4.1.2	Monatsmittelwerte Airpointer versus Passivsammler	8
4.1.3	Jahresmittel (Mittel über den Messzeitraum)	9
4.2	Ergebnisse der PM ₁₀ -Messungen	9
4.2.1	Monatsmittelwerte Airpointer versus Filterwechsler SEQ 47/50	9
4.2.2	Tagesmittelwerte Airpointer versus Filterwechsler SEQ 47/50	10
4.2.3	Vergleich und Äquivalenzprüfung	11
5	Zusammenfassung	12
6	Anhang Äquivalenztest	13
7	Tabellenanhang	16

1 Einleitung

Das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt überwacht in der Friedenstraße in Halberstadt seit dem Jahr 2007 die Partikelbelastung (PM₁₀) und seit dem Jahr 2009 auch die Konzentration von Stickstoffdioxid (NO₂) in der Außenluft.

Bei dem Standort Halberstadt/Friedenstraße handelt es sich um eine Einzelmessstelle, da sich dort kein Messcontainer befindet. Die PM₁₀-Messung wird mit einem einzeln stehenden Filterwechsler (LVS¹) vom Typ SEQ 47/50 und die Messung der NO₂-Konzentration mittels Passivsammler durchgeführt.

Im Jahr 2018 wurde an der Messstation Halberstadt/Friedenstraße mit dem airpointer® (im Folgenden Airpointer) ein zusätzliches Messsystem temporär zum Einsatz gebracht. Mit Hilfe des Airpointers erfolgte parallel die Messung von PM₁₀ (Messzeitraum: 01.01.2018 - 12.08.2018) und NO₂ (Messzeitraum: 04.01.2018 - 01.01.2019). Die PM₁₀-Messung ist aufgrund unzureichender Zeitdeckung (kein vollständiges Jahr gemessen) als orientierende Messung einzustufen.

Der hier vorliegende Messbericht beinhaltet die Auswertung und Interpretation der Messergebnisse des Airpointers und den Vergleich für diesen Zeitraum mit den langjährigen Messreihen.

2 Standort und Messstellenumgebung

Abbildung 1 zeigt den LÜSA-Messstandort Halberstadt/Friedenstraße auf einer Übersichtskarte.

Geografische Koordinaten: Östliche Länge: 11.055946; Nördliche Breite: 51.889545

Höhe über NN: 116 m

Die Messstation befindet sich innerstädtisch an der stark befahrenen Bundesstraße (B 81) und repräsentiert die Luftqualität für einen ca. 145 m langen Straßenabschnitt der Straßenschluchtcharakter trägt.

Der Passivsammler befindet sich an einem Lichtmast (siehe Abbildung 2) etwa 15 m westlich vom Standort des Airpointers.

- ✓ Höhe des Messeinlasses NO₂ (Passivsammler): 2,60 m
- ✓ Höhe des Messeinlasses NO₂ (Airpointer): 2,40 m
- ✓ Höhe des Messeinlasses PM₁₀ (Filterwechsler LVS (SEQ 47/50)): 2,35 m
- ✓ Höhe des Messeinlasses PM₁₀ (Airpointer): 2,20 m

¹ LVS = Low-Volume-Sampler

Auswertung der airpointer® - Messungen an der LÜSA-Messtation Halberstadt/Friedenstraße

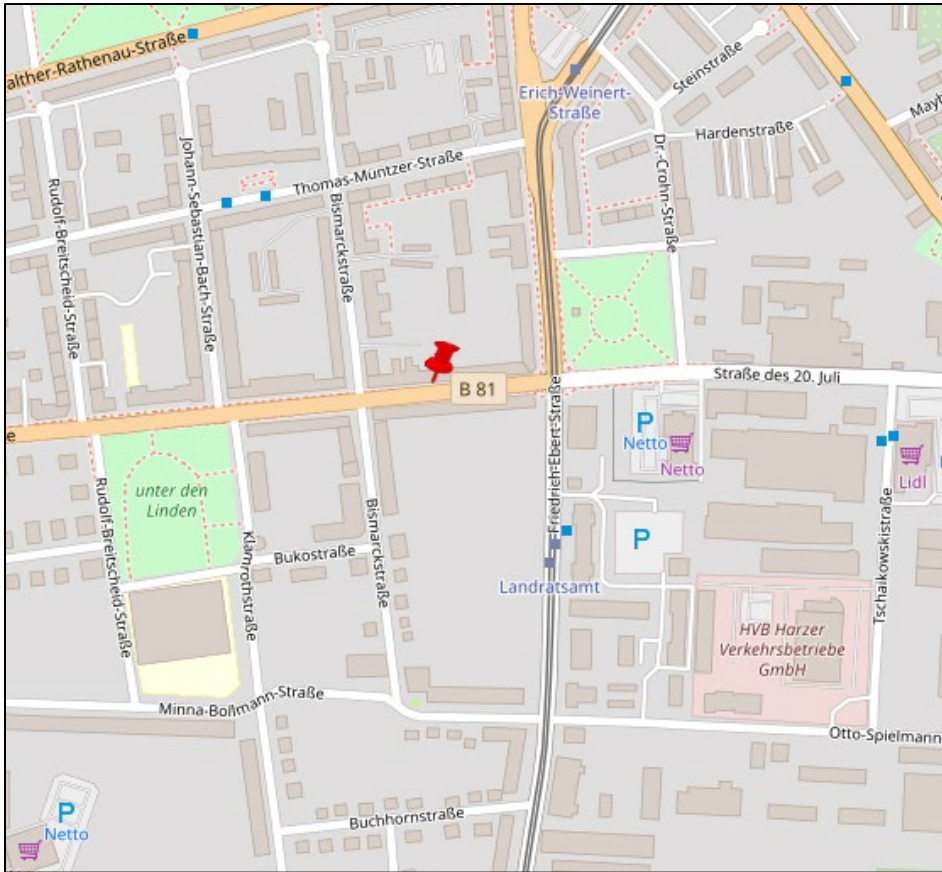


Abbildung 1: Karte Standort Halberstadt/Friedenstraße (© OpenStreetMap)



Abbildung 2: Foto Standort Halberstadt/Friedenstraße

3 Messtechnik

3.1 Messsystem Airpointer

Mit einem Airpointer können prinzipiell die wichtigsten Luftschadstoffe (NO , NO_x , NO_2 , O_3 und PM_{10}) zeitlich hoch aufgelöst erfasst werden. Das Messsystem Airpointer ist modular aufgebaut und in unterschiedlichen Varianten erhältlich. Die im LÜSA eingesetzte Variante ist für die Messung von Stickoxiden und Partikeln PM_{10} ausgelegt.

Die Messung der Stickoxide erfolgt nach Referenzverfahren gemäß 39. BImSchV (Messprinzip Chemilumineszenz, DIN EN14211:2012). Das Airpointer-PM-Modul verwendet die optische Methode der Nephelometrie.

Der Vorteil des Airpointers liegt in seiner kompakten Bauweise und den dementsprechend flexiblen Einsatzmöglichkeiten sowie im geringen Stromverbrauch. Grundsätzlich kann der Airpointer somit auch bei sehr beengten Platzverhältnissen zum Einsatz gebracht werden.

Abbildung 3 zeigt rechts im Bild den Airpointer und links den LVS Filterwechsler SEQ 47/50 am Standort Halberstadt/Friedenstraße.



Abbildung 3: Foto Filterwechsler SEQ 47/50 und Airpointer am Standort Halberstadt/Friedenstraße

3.2 Passivsammler

Aus Platzgründen werden am Standort Halberstadt/Friedenstraße die Immissionsmessungen von NO_2 in der Außenluft mit dem Passivsammlerverfahren nach DIN EN 16339 - „Luftqualität - Methode zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid mittels Passivsammler“ - durchgeführt (Abbildung 4). Dabei werden speziell konditionierte Röhrchen in einem Wet-

terschutzgehäuse für einen definierten Messzeitraum (meist 14 Tage) exponiert und anschließend im Labor analysiert. Die Probenahme (Wechsel der Sammlerröhrchen) erfolgt dabei kontinuierlich über das Jahr hinweg.

Obwohl das Passivsammlerverfahren im Vergleich zur Überwachung mit automatisch arbeitenden Messeinrichtungen zusätzlichen laboranalytischen Aufwand erfordert, stellt es dennoch eine interessante Alternativmethode dar. Die aufwändige Aufstellung von automatischen Messeinrichtungen in Messcontainern und die Bereitstellung der dazu benötigten Infrastruktur entfallen und die Ermittlungsmethode ist sehr kostengünstig. Ein wesentlicher Nachteil des Verfahrens ist jedoch, dass damit keine hohe Zeitauflösung der Konzentrationswerte zu erzielen ist. Das Passivsammlerverfahren zielt auf die Ermittlung von Jahreswerten ab und kommt somit nur für Messsituationen in Frage, wo die zeitnahe Information nicht im Vordergrund steht.



Abbildung 4: Passivsammler Halberstadt/Friedenstraße, rechts Detailaufnahme Wetter- schutzgehäuse mit Sammlerröhrchen

3.3 Filterwechsler (LVS) SEQ 47/50

Die Bestimmung der Partikelbelastung (PM_{10}) erfolgt am Standort Halberstadt/Friedenstraße mit dem PM_{10} -Standard-Referenzgerät gemäß DIN EN 12341:2014, dem Filterwechsler SEQ 47/50. Der Filterwechsler SEQ 47/50 ist klimatisiert und verfügt zusätzlich über eine eigene Datenanbindung an die Messnetzzentrale des LÜSA.

4 Messergebnisse

In Folgenden werden die Airpointer-Messungen mit den Ergebnissen des Routinemessprogramms (PM₁₀-Gravimetrie und NO₂-Passivsammler) verglichen.

4.1 Ergebnisse der NO₂-Messungen

4.1.1 Bestimmung der Kenngrößen aus den NO₂-Passivsammlerergebnissen 2018

Um aus den vorliegenden Ergebnissen Monatsmittelwerte berechnen zu können, wurden die monatsübergreifenden Proben am Monatsende in a- und b-Proben geteilt (Tabelle A 1 im Anhang) und die Dauer der Probenahme in Minuten ermittelt. Probe a für den Zeitraum vom Beginn der Probenahme bis zum Ende des Monats und Probe b vom Beginn des Folgemonats bis zum Ende der Probenahme.

Die Einzelschritte zur Berechnung des gewichteten arithmetischen Mittelwertes sind in Tabelle A 2 des Anhanges aufgeführt.

Die Berechnung der gewichteten arithmetischen Mittelwerte erfolgte mit der Formel:

$$x_w = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot E_i)$$

i	Probe
E_i	gemessener Wert für die Probe i
t_i	Dauer der Messung der Probe i in Minuten
n	Anzahl der Proben
w_i	$\frac{t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$

Mit dieser Formel wurde auch der Mittelwert für den Gesamtzeitraum bestimmt.

4.1.2 Monatsmittelwerte Airpointer versus Passivsammler

Tabelle 1 beinhaltet die Monatsmittelwerte des Passivsammlers (berechnet wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben) und des Airpointers (arithmetischer Mittelwert der 1-h-Mittelwerte). Der Vollständigkeit halber wurden auch die Monatsmittelwerte des Airpointers für Stickstoffmonoxid (NO) berechnet. Hier gibt es keine weitere Messreihe als Vergleich.

Tabelle 1: Monatsmittelwerte 2018 Passivsammler und Airpointer in µg/m³

Monat	Gewichtete Monatsmittelwerte Passivsammler	NO ₂ (Airpointer)	Abweichung Passivsammler - Airpointer	NO (Airpointer)
Januar	30	22*	8,53	17*
Februar	37	41	-3,99	65
März	33	34	-0,45	46
April	36	36*	0,47	41*
Mai	36	33	2,10	34
Juni	33	30	2,36	34
Juli	30	31	-0,94	30

Monat	Gewichtete Monatsmittelwerte Passivsammler	NO ₂ (Airpointer)	Abweichung Passivsammler - Airpointer	NO (Airpointer)
August	33	33	0,60	34
September	34	38	-3,88	47
Oktober	36	35	0,87	54
November	31	32	-1,42	72
Dezember	25	24	1,60	41
Mittel über die Monatsmittelwerte	33	32	0,48587	43

* Anzahl der Einzelwerte kleiner als 90 % der möglichen Messwerte

Passivsammler und Airpointer liefern für die Monatsmittelwerte größtenteils ähnliche Ergebnisse. Sie weichen jedoch im Januar, Februar und September mehr voneinander ab als in den anderen Monaten des Jahres 2018 (Tabelle 1). Der deutlich größte Unterschied bei den Monatsmittelwerten trat im Januar auf. Hier ist jedoch zu vermuten, dass die Ursache dafür die geringe Datenverfügbarkeit (84%) des Airpointers in diesem Monat ist. Dennoch heben sich die Unterschiede im Mittel auf. Der Unterschied im Mittel über alle Monatswerte beträgt weniger als 0,5 µg/m³.

4.1.3 Jahresmittel (Mittel über den Messzeitraum)

Für das gewichtete Jahresmittel des Passivsammlers vom 04.01.2018 09:00 bis 01.01.2019 00:00 wurde ein Wert von 32,625 µg/m³ berechnet. Am Airpointer wurde für denselben Zeitraum ein Mittel von 32,596 µg/m³ bestimmt. Der für beide Verfahren auf ganze Zahlen gerundete Wert beträgt 33 µg/m³. Somit liefern beide Verfahren für das Jahresmittel das gleiche Ergebnis.

4.2 Ergebnisse der PM₁₀-Messungen

4.2.1 Monatsmittelwerte Airpointer versus Filterwechsler SEQ 47/50

Tabelle 2 beinhaltet die Monatsmittelwerte (arithmetischer Mittelwert der Tagesmittel) des airpointers® und des Filterwechslers. Man sieht, dass die Monatsmittelwerte beider Verfahren gravierend nach unten und oben differieren.

Tabelle 2: Monatsmittelwerte PM₁₀ - Airpointer und Filterwechsler SEQ 47/50

Jahr: 2018 Monat	PM ₁₀ [µg/m ³] (Airpointer)	PM ₁₀ [µg/m ³] (SEQ 47/50 Filterwechsler)	Abweichung (Airpointer) - SEQ 47/50 Filterwechsler
Januar	12*	19	-6,27
Februar	37	31	6,44
März	43	31	11,99
April	34	32	1,47
Mai	22	29	-6,70

Jahr: 2018 Monat	PM ₁₀ [µg/m ³] (Airpointer)	PM ₁₀ [µg/m ³] (SEQ 47/50 Filterwechsler)	Abweichung (Airpointer) - SEQ 47/50 Filterwechsler
Juni	23	21	2,17
Juli	17	22	-4,51
August	-	24	
September	-	21	
Oktober	-	23	
November	-	31	
Dezember	-	14	

* Anzahl der Einzelwerte kleiner als 90 % der möglichen Messwerte

4.2.2 Tagesmittelwerte Airpointer versus Filterwechsler SEQ 47/50

Abbildung 5 visualisiert den Verlauf der PM₁₀-Tagesmittelwerte des Airpointers und der PM₁₀-Tagesmittelwerte, die mit dem Referenzverfahren (Gravimetrie) bestimmten wurden.

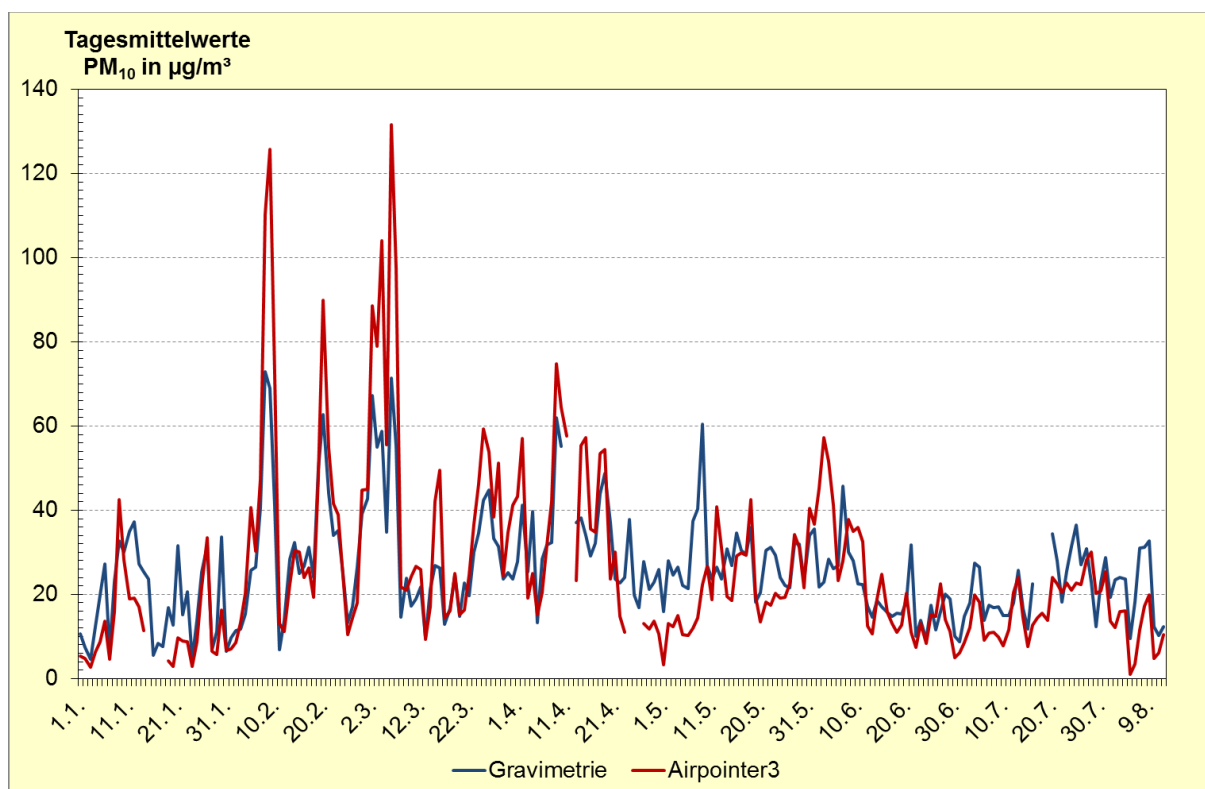


Abbildung 5: Verlauf der Tagesmittelwerte PM₁₀ Airpointer und Filterwechsler SEQ 47/50

Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass die PM₁₀-Tageswerte des Airpointers bei hohen PM₁₀-Konzentrationen größer und bei niedrigen PM₁₀-Konzentrationen meistens kleiner als beim Referenzverfahren (Gravimetrie) sind.

4.2.3 Vergleich und Äquivalenzprüfung

Um auf einen Zusammenhang der Messreihen zu prüfen wurden die Daten beider Messverfahren im Streudiagramm (Abbildung 6) visualisiert und die empirische Regressionsgrade der linearen Einfachregression bestmöglich durch die Punktwolke gelegt.

Das Bestimmtheitsmaß $R^2=0,6855$ deutet nur auf einen geringen (68%) statistischen Zusammenhang hin.

Der Äquivalenztest (Kapitel 6: Anhang Äquivalenztest) führte zu dem Ergebnis, dass ohne Kalibrierung die Ergebnisse der PM_{10} -Messung mit dem Airpointer auch nicht für orientierende Messungen geeignet sind, da selbst die für orientierende Messungen zulässige Messunsicherheit von 50% weit überschritten wird. Die erweiterte relative Messunsicherheit ohne Kalibrierung/Korrektur lag bei 88,2%.

Dessen ungeachtet liefert die Berechnung des Mittelwerts über alle bei jeweils beiden Messverfahren verfügbaren Tagesmittelwerte (01.01.2018 bis zum 12.08.2018) bis zur ersten Nachkommastelle dasselbe Ergebnis (Airpointer: 26,07510285 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Filterwechsler LVS (SEQ 47/50): 26,09940502 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

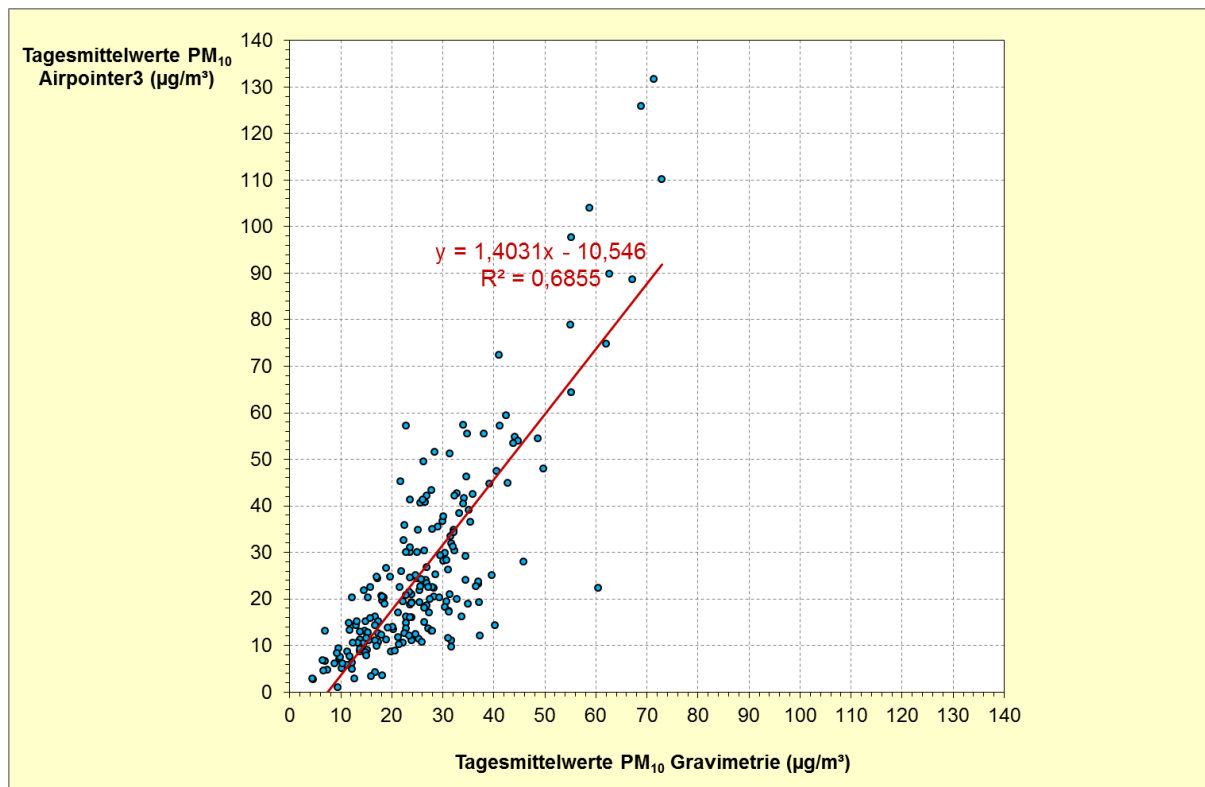


Abbildung 6: Lineare Regression Tagesmittelwerte PM_{10} Airpointer und Filterwechsler LVS (SEQ 47/50)

5 Zusammenfassung

Gegenstand des vorliegenden Berichtes ist die Auswertung und Interpretation der Messergebnisse des Airpointers am LÜSA-Standort Halberstadt/Friedenstraße.

Die Airpointer-Messungen erfolgten vom 01.01.2018 - 12.08.2018 (PM₁₀) und vom 04.01.2018 - 01.01.2019 (NO₂) und wurden mit den Ergebnissen des Routinemessprogramms (PM₁₀-Gravimetrie und NO₂-Passivsammler) verglichen.

Die Berechnung der Mittelwerte für PM₁₀ und NO₂ über die Gesamtmesszeiträume führte für beide Messverfahren zu den gleichen Ergebnissen.

Der Vergleich der PM₁₀-Messungen von Airpointer und Referenzverfahren mittels Äquivalenztest hat gezeigt, dass die Ergebnisse des Airpointers nur nach entsprechender Kalibrierung/Korrektur die Qualitätsanforderungen für orientierende Messungen (erweiterte relative Messunsicherheit max. 50%) erfüllen.

Für NO₂ lieferten Passivsammler und Airpointer bei den Monatsmittelwerten teils ähnliche, teils sehr unterschiedliche Ergebnisse. Die Differenzen sind nicht systematisch und traten in beide Richtungen auf.

Der Airpointer arbeitet zur Bestimmung der Konzentration von NO₂ und NO nach dem Referenzverfahren gemäß DIN EN 14211 (Chemilumineszenz). Die Ergebnisse aus dem Passivsammlerverfahren nach DIN EN 16339 sollten daher mit den Airpointer-Ergebnissen in Übereinstimmung gebracht werden können. Dies ist zumindest bei der Auswertung über einen längeren Messzeitraum erfolgreich festgestellt worden, da die gerundeten Jahresmittelwerte übereinstimmend waren.

Verbindlichere Aussagen sind nur auf der Basis weiterer und über einen längeren Messzeitraum geführter Vergleichsmessungen möglich.

6 Anhang Äquivalenztest

Bearbeiter: Dr. Wolfgang Garche

Der Vergleich der PM₁₀-Messungen Airpointer und Referenzverfahren ergab, dass ohne Kalibrierung die Ergebnisse der PM₁₀-Messung mit dem Airpointer auch nicht für orientierende Messungen geeignet sind, da selbst die für orientierende Messungen zulässige Messunsicherheit von 50% weit überschritten wird.

Vergleichsmessungen von automatische Partikelmessgeräten für PM10 mit dem gravimetrischen Referenzverfahren						
Zeitraum:	01.01.2018 bis 12.08.2018		Messort(e):	A103		
Gerätetyp:	Airpointer		Referenzsammler:	SEQ		
Grenzwert:	50	obere BS:	28	(für Jahresgrenzwert)		
Anzahl DS:	212	Anzahl DS>oBS:	77	entspricht	36,3%	
Ausreißer:	2	→ N=	210	alle Daten -Ausreißer		
	Kandidat	Referenz	orthogonale Regression y=a+bx			
Mittelwert	25,1	25,7	r²	Anstieg	Absolutglied	
Anzahl >LV	21	9	0,6473	1,7654	-20,2387	
			u	0,0656	1,8566	
			signifikant	Ja	Ja	
			Kal. notw.?	Ja	Ja	
Unsicherheitsberechnung:						
RSS:	33689,1					
u(random):	12,709		u(komb):	22,062		
u(syst.):	18,034					
u(Ref)*:	0,948		erweiterte relative Unsicherheit:	88,2%		
u(add):	0,000					
nach Kalibrierung mit: $y(cal)=0,566y(i) + 11,464$						
RSS:	9273,8					
u(random):	7,638		u(komb):	9,003		
u(syst.):	-2,921					
u(cal):	3,768		erweiterte relative Unsicherheit:	36,0%		
*) bereits in u(random) eingerechnet.						
Äquivalenz ist nicht nachweisbar, da auch nach Kalibrierung die Messunsicherheit wesentlich größer als 25% ist.						

Die Streuung der Werte ist sehr groß, so dass der Grubbs-Test nur 2 Wertepaare als Ausreißer identifiziert. Die folgenden Abbildungen zeigen das Verhältnis Airpointer zu Referenzverfahren vor und nach der Kalibrierung.

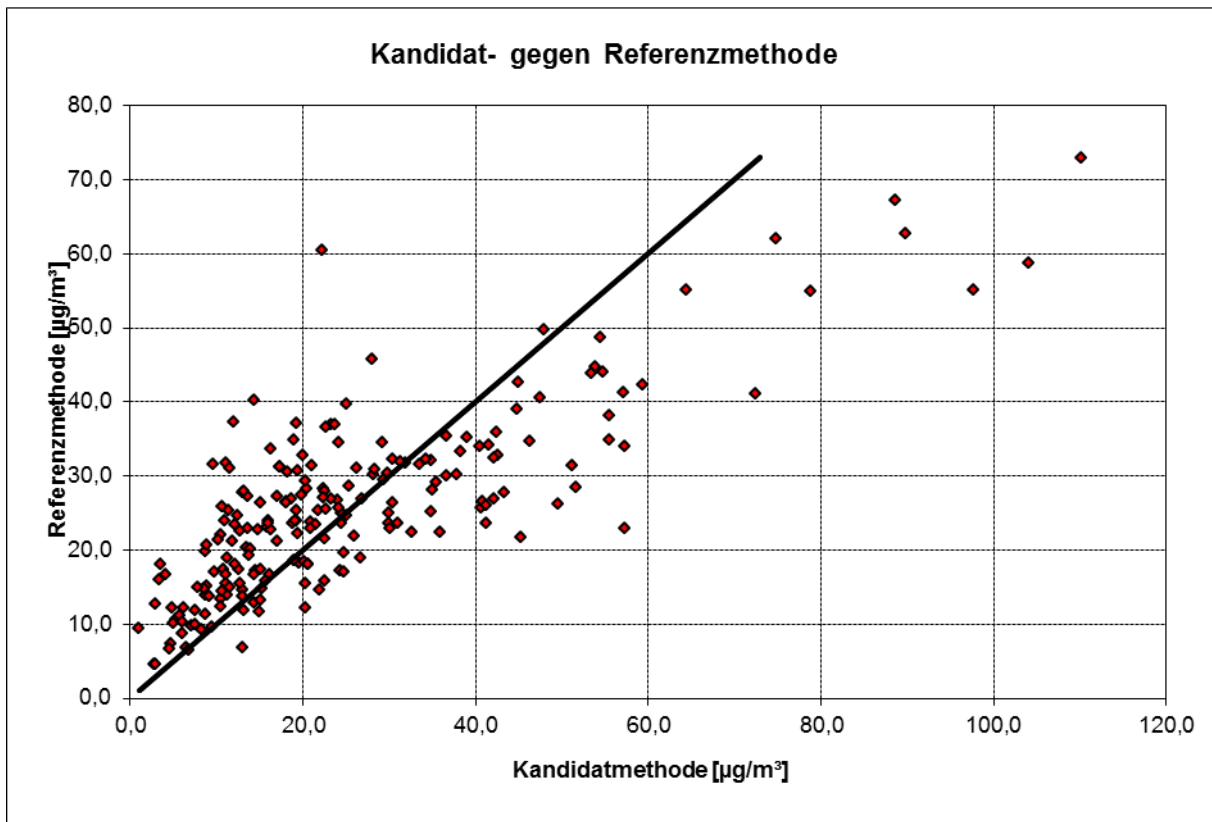


Abbildung 7: Referenzverfahren gegen Airpointer

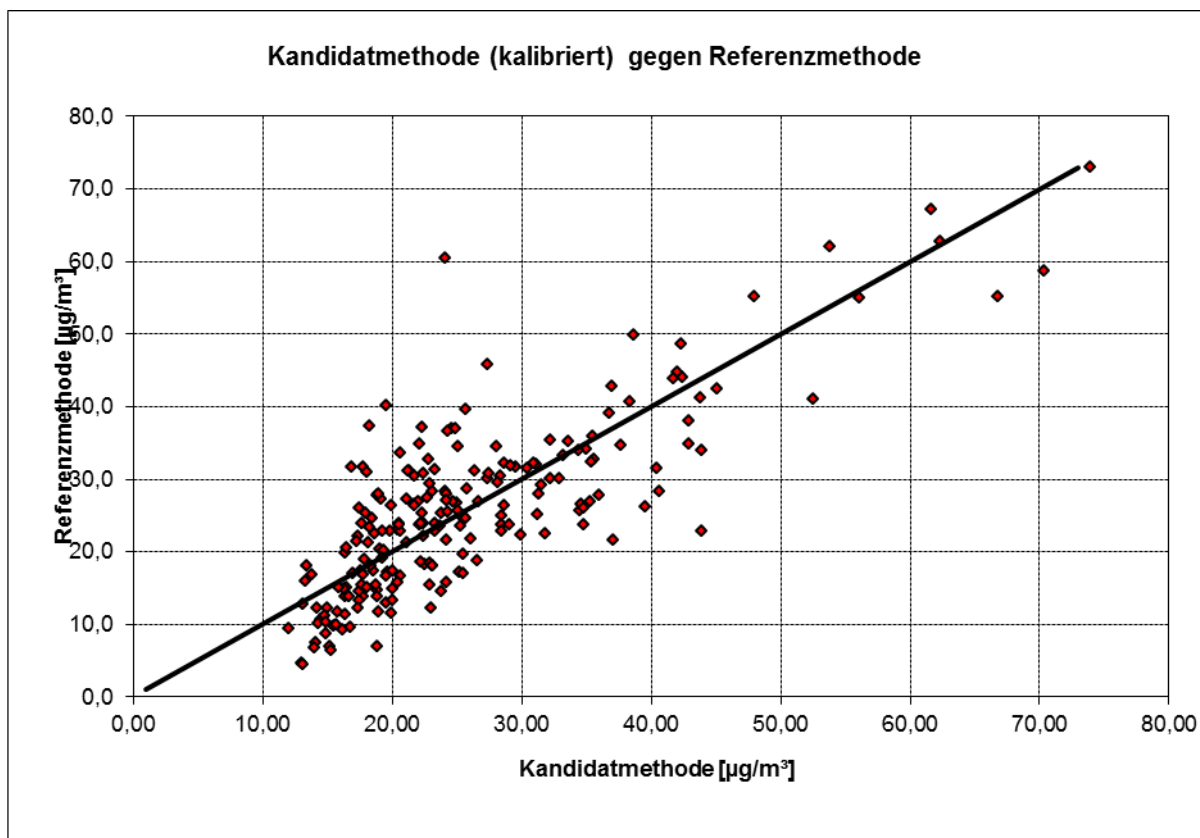


Abbildung 8: Referenzverfahren gegen Airpointer nach Kalibrierung

Betrachtet man die relative Häufigkeitsverteilung der Differenzen zwischen Referenzverfahren und Airpointer so ist zu erkennen, dass mehr als 30% der Datenpaare einen Unterschied von mehr als 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aufweisen.

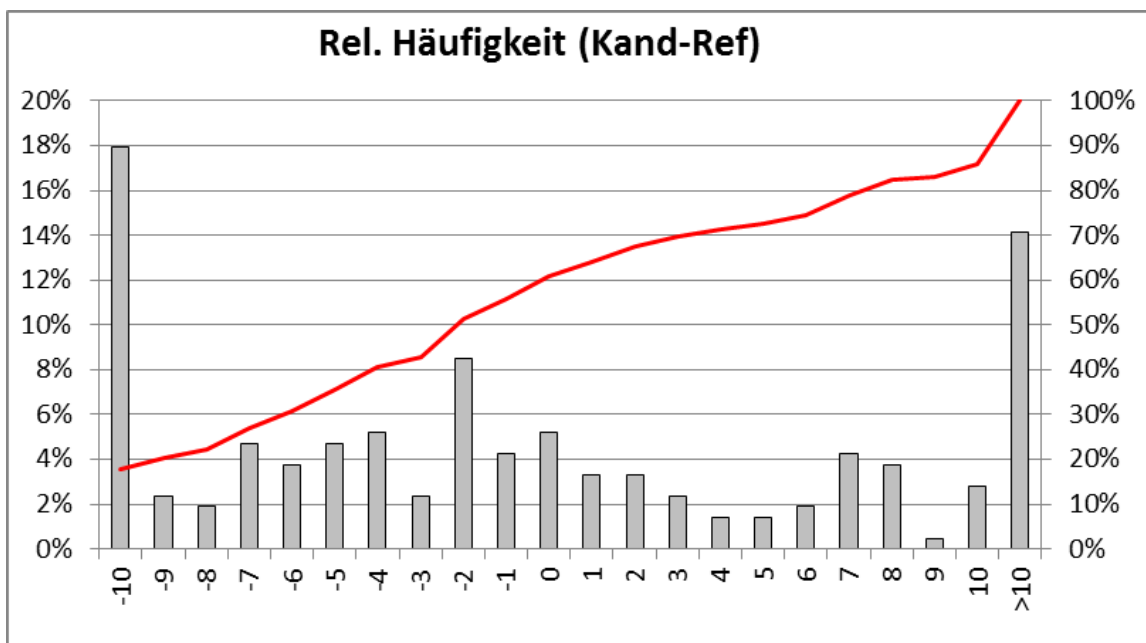


Abbildung 9: relative Häufigkeit der Differenzen Airpointer-Referenzwert

7 Tabellenanhang

Tabelle A 1: NO₂-Passivsammlerdaten 2018 Halberstadt/Friedenstraße

Probe	Von	Bis	Wert	Minuten
E1	04.01.2018 09:00	17.01.2018 10:00	30,03500215	18780
E2	17.01.2018 10:00	31.01.2018 10:00	30,72412889	20160
E3-a	31.01.2018 10:00	01.02.2018 00:00	35,49313571	840
E3	31.01.2018 10:00	15.02.2018 12:10	35,49313571	21730
E3-b	01.02.2018 00:00	15.02.2018 12:10	35,49313571	20890
E4-a	15.02.2018 12:10	01.03.2018 00:00	37,74287109	19430
E4	15.02.2018 12:10	01.03.2018 14:00	37,74287109	20270
E4-b	01.03.2018 00:00	01.03.2018 14:00	37,74287109	840
E5	01.03.2018 14:00	15.03.2018 10:40	33,73905112	19960
E6	15.03.2018 10:40	28.03.2018 11:30	33,26873281	18770
E7-a	28.03.2018 11:30	01.04.2018 00:00	32,45884198	5070
E7	28.03.2018 11:30	12.04.2018 09:00	32,45884198	21450
E7-b	01.04.2018 00:00	12.04.2018 09:00	32,45884198	16380
E8	12.04.2018 09:00	26.04.2018 09:50	40,21539356	20210
E9-a	26.04.2018 09:50	01.05.2018 00:00	33,93444622	6610
E9	26.04.2018 09:50	09.05.2018 08:30	33,93444622	18640
E9-b	01.05.2018 00:00	09.05.2018 08:30	33,93444622	12030
E10	09.05.2018 08:30	24.05.2018 11:20	33,75514973	21770
E11-a	24.05.2018 11:20	01.06.2018 00:00	40,83037712	10840
E11	24.05.2018 11:20	07.06.2018 09:15	40,83037712	20035
E11-b	01.06.2018 00:00	07.06.2018 09:15	40,83037712	9195
E12	07.06.2018 09:15	21.06.2018 09:15	29,89497561	20160
E13-a	21.06.2018 09:15	01.07.2018 00:00	31,12219875	13845
E13	21.06.2018 09:15	05.07.2018 10:50	31,12219875	20255
E13-b	01.07.2018 00:00	05.07.2018 10:50	31,12219875	6410
E14	05.07.2018 10:50	19.07.2018 10:50	25,52992164	20160
E15-a	19.07.2018 10:50	01.08.2018 00:00	34,82202127	18070
E15	19.07.2018 10:50	02.08.2018 11:00	34,82202127	20170
E15-b	01.08.2018 00:00	02.08.2018 11:00	34,82202127	2100
E16	02.08.2018 11:00	15.08.2018 11:00	29,08449757	18720
E17	15.08.2018 11:00	30.08.2018 11:20	30,98088494	21620
E18-a	30.08.2018 11:20	01.09.2018 00:00	36,20758277	2200
E18	30.08.2018 11:20	12.09.2018 09:30	36,20758277	18610
E18-b	01.09.2018 00:00	12.09.2018 09:30	36,20758277	16410
E19	12.09.2018 09:30	26.09.2018 10:40	32,29398459	20230
E20-a	26.09.2018 10:40	01.10.2018 00:00	33,92970874	6560
E20	26.09.2018 10:40	10.10.2018 08:40	33,92970874	20040
E20-b	01.10.2018 00:00	10.10.2018 08:40	33,92970874	13480
E21	10.10.2018 08:40	25.10.2018 09:00	40,43528818	21620
E22-a	25.10.2018 09:00	01.11.2018 00:00	28,62174778	9540
E22	25.10.2018 09:00	08.11.2018 09:10	28,62174778	20170

Auswertung der airpointer® - Messungen an der LÜSA-Messtation Halberstadt/Friedenstraße

Probe	Von	Bis	Wert	Minuten
E22-b	01.11.2018 00:00	08.11.2018 09:10	28,62174778	10630
E23	08.11.2018 09:10	21.11.2018 09:15	31,98838265	18725
E24-a	21.11.2018 09:15	01.12.2018 00:00	31,17262893	13845
E24	21.11.2018 09:15	05.12.2018 09:00	31,17262893	20145
E24-b	01.12.2018 00:00	05.12.2018 09:00	31,17262893	6300
E25	05.12.2018 09:00	20.12.2018 10:30	27,68612113	21690
E26-a	20.12.2018 10:30	01.01.2019 00:00	19,61915624	16650
E26	20.12.2018 10:30	03.01.2019 08:45	19,61915624	20055

Tabelle A 2: Ermittlung der Monatsmittelwerte (gewichtetes arithmetisches Mittel) der Passivsammlerergebnisse aus Tabelle A 1

Probe	Ei	ni	wi	wi*Ei
	$\sum ni:$	39780		
	Ei	ni	wi	wi * Ei
E1	30,03500215	18780	0,472096531	14,17942032
E2	30,72412889	20160	0,50678733	15,57059926
E3-a	35,49313571	840	0,021116139	0,749477979
Gewichteter Mittelwert Januar:				30,49949756
	$\sum ni:$	40320		
	Ei	ni	wi	wi * Ei
E3-b	35,49313571	20890	0,518105159	18,38917671
E4-a	37,74287109	19430	0,481894841	18,18809487
Gewichteter Mittelwert Februar:				36,57727158
	$\sum ni:$	44640		
	Ei	ni	wi	wi * Ei
E4-b	37,74287109	840	0,018817204	0,710215316
E5	33,73905112	19960	0,447132616	15,08583021
E6	33,26873281	18770	0,42047491	13,98866745
E7-a	32,45884198	5070	0,113575269	3,686521704
Gewichteter Mittelwert März:				33,47123467
	$\sum ni:$	43200		
	Ei	ni	wi	wi * Ei
E7-b	32,45884198	16380	0,379166667	12,30731092
E8	40,21539356	20210	0,467824074	18,81372925
E9-a	33,93444622	6610	0,153009259	5,19228448
Gewichteter Mittelwert April:				36,31332465
	$\sum ni:$	44640		
	Ei	ni	wi	wi * Ei
E9-b	33,93444622	12030	0,269489247	9,14496837
E10	33,75514973	21770	0,487679211	16,4616848
E11-a	40,83037712	10840	0,242831541	9,914903405
Gewichteter Mittelwert Mai:				35,52155658
	$\sum ni:$	43200		
	Ei	ni	wi	wi * Ei
E11-b	40,83037712	9195	0,212847222	8,690632353
E12	29,89497561	20160	0,466666667	13,95098862
E13-a	31,12219875	13845	0,320486111	9,974232446
Gewichteter Mittelwert Juni:				32,61585342
	$\sum ni:$	44640		
	Ei	ni	wi	wi * Ei
E13-b	31,12219875	6410	0,14359319	4,468935797
E14	25,52992164	20160	0,451612903	11,52964203
E15-a	34,82202127	18070	0,404793907	14,09574203
Gewichteter Mittelwert Juli:				30,09431986
	$\sum ni:$	44640		
E15-b	37,74287109	840	0,018817204	0,710215316

Auswertung der airpointer® - Messungen an der LÜSA-Messtation Halberstadt/Friedenstraße

Probe	E _i	n _i	w _i	w _i *E _i
E16	33,73905112	19960	0,447132616	15,08583021
E17	33,26873281	18770	0,42047491	13,98866745
E18-a	32,45884198	5070	0,113575269	3,686521704
Gewichteter Mittelwert August:				33,47123467
	∑n _i :	43200		
	E _i <td>n_i <td>w_i <td>w_i * E_i</td> </td></td>	n _i <td>w_i <td>w_i * E_i</td> </td>	w _i <td>w_i * E_i</td>	w _i * E _i
E18-b	36,20758277	16410	0,379861111	13,75385262
E19	32,29398459	20230	0,468287037	15,12285436
E20-a	33,92970874	6560	0,151851852	5,152289105
Gewichteter Mittelwert September:				34,02899609
	∑n _i :	44640		
	E _i <td>n_i <td>w_i <td>w_i * E_i</td> </td></td>	n _i <td>w_i <td>w_i * E_i</td> </td>	w _i <td>w_i * E_i</td>	w _i * E _i
E20-b	33,92970874	13480	0,301971326	10,24579914
E21	40,43528818	21620	0,484318996	19,58357819
E22-a	28,62174778	9540	0,213709677	6,116744486
Gewichteter Mittelwert Oktober:				35,94612182
	∑n _i :	43200		
	E _i <td>n_i <td>w_i <td>w_i * E_i</td> </td></td>	n _i <td>w_i <td>w_i * E_i</td> </td>	w _i <td>w_i * E_i</td>	w _i * E _i
E22-b	28,62174778	10630	0,246064815	7,042805068
E23	31,98838265	18725	0,433449074	13,86533484
E24-a	31,17262893	13845	0,320486111	9,990394618
Gewichteter Mittelwert November:				30,89853453
	∑n _i :	44640		
	E _i <td>n_i <td>w_i <td>w_i * E_i</td> </td></td>	n _i <td>w_i <td>w_i * E_i</td> </td>	w _i <td>w_i * E_i</td>	w _i * E _i
E24-b	31,17262893	6300	0,141129032	4,399362954
E25	27,68612113	21690	0,485887097	13,45232902
E26-a	19,61915624	16650	0,372983871	7,31762884
Gewichteter Mittelwert Dezember:				25,16932081

- i* Probe
- E_i* gemessener Wert für die Probe *i*
- t_i* Dauer der Messung der Probe *i* in Minuten
- n* Anzahl der Proben
- w_i* $\frac{t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$