

Äquivalenzbericht 2024

Kurzfassung

Durch fortlaufende Vergleichsmessungen mit dem Referenzverfahren wurde die Äquivalenz der im Luftqualitätsmessnetz des Landes Nordrhein-Westfalen (LUQS) eingesetzten automatischen Messsysteme zur Messung der Feinstaub-Fraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ für das Jahr 2024 dokumentiert. Eine Übersicht der Kalibrierfaktoren für die einzelnen Messgeräte ist in Tabelle 1 dargestellt. Eine geringfügige Veränderung des Faktors gegenüber dem Vorjahr ist bei Fidas 200 E PM_{10} nötig. Bei $PM_{2,5}$ und APDA 371 PM_{10} haben sich die Faktoren nicht geändert.

Tabelle 1: Übersicht der im LUQS-Messnetz für das Jahr 2024 ermittelten Äquivalenzfaktoren (Faktoren des Vorjahres in Klammern).

Parameter	Messtechnik	Faktor
PM_{10}	APDA 371	1,05 (1,05)
	Fidas 200 E	0,93 (0,95)
$PM_{2,5}$	APDA 371	1,05 (1,05)
	Fidas 200 E	0,95 (0,95)

Allgemeines

Im Messnetz des Landes Nordrhein-Westfalen, welches vom Landesamt für Natur, Umwelt und Klima NRW betrieben wird, werden zur Bestimmung der Feinstaubkonzentration (PM_{10} , $PM_{2,5}$) sowohl diskontinuierliche als auch kontinuierliche Messverfahren eingesetzt. Hier geht es um den Nachweis der Gleichwertigkeit der automatischen Messeinrichtungen mit dem auf gravimetrischen Messungen basierenden Referenzverfahren (Richtlinie 2008/50/EG, Anhang VI Abschnitt B).

Aufgabenstellung

Die generelle Gleichwertigkeit der verwendeten Geräte wurde durch eine externe Eignungsprüfung des TÜV-Rheinland bestätigt. Die Eignungsprüfung fand u. a. an Messstationen in Nordrhein-Westfalen statt, die verschiedene Stationstypen und damit verschiedene Belastungssituationen umfassten. Die Bedingungen der Eignungsprüfung sind damit vergleichbar mit den Bedingungen an den Messstationen des Messnetzes. Die Vergleichsmessungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass eine Unterscheidung verschiedener Stationstypen (Verkehr, Stadt, Hintergrund) für die Bestimmung des Kalibrierfaktors zur Erfüllung der Qualitätskriterien nicht notwendig ist. In den vergangenen Jahren wurde daher ein gemeinsamer Faktor für alle Stationstypen (Verkehr, Stadt, Hintergrund) verwendet. Dieser Ansatz wird auch für 2024 wieder verfolgt, so dass für jeden Gerätetyp ein konstanter Faktor für alle Stationstypen bestimmt werden soll.

Im Nachfolgenden sind für 2024 die Ergebnisse für die fortlaufende Überprüfung nach dem Äquivalenzleitfaden („Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods“) und Kapitel 8 „Feldbetrieb und laufende Qualitätslenkung“ der DIN EN 16450:2017-07 dargestellt.

Automatische Messsysteme (AMS)

Im Messnetz des Landes NRW wurden im Jahr 2024 vier verschiedene automatische Messeinrichtungen verwendet:

- Das Gerät APDA-371 mit PM_{2,5}-Vorabscheider der Firma Horiba Europe GmbH (baugleich BAM-1020 der Firma MetOne), im Folgenden APDA 371 genannt, mit Eignungsprüfung TÜV-Rheinland; Bericht: 936/21221789/B
- Das Gerät APDA-371 mit PM₁₀-Vorabscheider der Firma Horiba Europe GmbH (baugleich BAM-1020 der Firma MetOne), im Folgenden APDA 371 genannt, mit Eignungsprüfung TÜV-Rheinland; Bericht: 936/21221789/A
- Das Gerät Fidas 200 E für Messungen von PM₁₀ und PM_{2,5} der Firma der Firma Palas GmbH (baugleich APDA-372 E der Firma Horiba), im Folgenden Fidas 200 E genannt, mit Eignungsprüfung TÜV-Rheinland; Bericht: 936/21227195/C

Referenzmessverfahren

Das von der EU festgelegte Referenzverfahren zur Messung von PM₁₀ ist das gravimetrische Verfahren nach der Europanorm EN 12341. Das Messprinzip besteht darin, Außenluft über 24 Stunden durch einen vorgewogenen und konditionierten Filter zu leiten, der anschließend im Labor ausgewogen wird. Zwischen Probenahme im Feld und anschließender Messung im Labor vergehen in der Regel mehrere Wochen, da bis zu 15 bestaubte Filter im Gerät gesammelt werden können (die Stationen werden aus Kostengründen zweimal pro Monat zum Filterwechsel angefahren) und da die Wägeprozedur (vor allem durch die in der EN vorgeschriebene Konditionierung der Filter auf eine vorgegebene Temperatur und Luftfeuchte) mehrere Tage dauert. Das Referenzverfahren ist deshalb nicht geeignet für eine tägliche aktuelle Information der Bevölkerung.

Grundsätzliche Vorgehensweise

Im LUQS-Messnetz wurden im Jahr 2024 insgesamt an 70 Messstellen PM₁₀ Messungen und an 53 Stellen PM_{2,5} Messungen durchgeführt. Für die Bestimmung der Faktoren und den Nachweis der Äquivalenz für das Jahr 2024 wurden an den Stationen mit Parallelmessungen von AMS und Referenzverfahren Vergleichspaare auf Basis der Tagesmittelwerte bestimmt.

Für die Größenfraktionen PM₁₀ und PM_{2,5} wurden die Vergleichspaare der Tagesmittelwerte der automatischen Messsysteme (AMS) und Referenzverfahren für die drei vorangegangenen Jahre (2022-2024) zusammengestellt.

Anforderungen an Parallelmessungen

Die Gleichwertigkeit gegenüber dem Referenzverfahren soll durch die Einhaltung des Kriteriums der erweiterten Messunsicherheit W_{AMS} bei geeigneten Kalibrierfunktionen nachgewiesen werden. Dazu werden Datenpaare von kontinuierlichen und Referenzverfahren herangezogen. Diese sollen das ganze Jahr abdecken, und mindestens 80 Vergleichspaare beinhalten.

Die Anzahl der für die fortlaufende Äquivalenzüberprüfung geforderten Vergleichsstationen ergibt sich aus der erweiterten Messunsicherheit und der AMS Anzahl im Messnetz.

Tabelle 2: Anzahl der notwendigen Messstationen für den Vergleich mit dem Referenzverfahren (DIN EN 16450)

$W_{AMS}, \%$	≤ 10	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	$> 15 \text{ bis } \leq 20$	$> 20 \text{ bis } \leq 25$
Anteil der Stationen (≥ 2)*	10 %	10 %	15 %	20 %
Anzahl der Stationen*	2	3	4	5

*Von beiden Werten (als Anteil oder absolute Anzahl) gilt der Kleinere. Die Mindestanzahl ist zwei.

In den vergangenen 3 Jahren lag die im Messnetz ermittelte erweiterte Messunsicherheit für $PM_{2,5}$ zwischen 10 und 15 %. Bei den PM_{10} -Messungen lag die Unsicherheit ≤ 10 %. Die daraus abzuleitende Anzahl der erforderlichen Parallelmessungen und die im Jahr 2024 verfügbaren Parallelmessungen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Übersicht der Messungen mit Referenzverfahren und AMS im Jahr 2024.

	AMS gesamt	$W_{AMS}, \%$	Parallelmessungen Ist	Soll	Vorgabe erfüllt
PM₁₀ Monitore im Netz	59	-	20	-	-
PM ₁₀ APDA 371	7	≤ 10	5	2	Ja
PM ₁₀ Fidas 200 E	52	≤ 10	15	2	Ja
PM_{2,5} Monitore im Netz	58	-	11	-	-
PM _{2,5} APDA 371	6	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	2	2	Ja
PM _{2,5} Fidas 200 E	52	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	9	3	Ja

Eignung der Daten

Aus dem gesamten Datensatz müssen mindestens 20 % oder mindestens 32 Werte, die mit dem Referenzverfahren bestimmt wurden, über der oberen Beurteilungsschwelle gemäß Richtlinie 2008/50/EG liegen. Dieser Schwellenwert ist $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM_{10} und $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für $PM_{2,5}$.

Es dürfen bis zu 2,5 % der Wertepaare als Ausreißer markiert und von der Äquivalenzbestimmung ausgeschlossen werden, solange die Anzahl der validen Wertepaare je Vergleich ≥ 40 ist. Die Einhaltung dieses Kriteriums wurde überwacht.

Äquivalenztest

Die Gleichwertigkeit gegenüber dem Referenzverfahren soll durch die Einhaltung des Kriteriums der erweiterten Messunsicherheit bei geeigneten Kalibrierfunktionen nachgewiesen werden. Der Äquivalenztest basiert auf der Annahme, dass der Zusammenhang zwischen den Messwerten von AMS und Referenzverfahren durch eine lineare Funktion beschrieben werden kann. Die Beziehung

zwischen Ergebnissen von Referenzverfahren und AMS wird durch eine orthogonale Regression ermittelt, um eine symmetrische Behandlung beider Messwerte zu gewährleisten.

Die jeweiligen Parameter wurden ausgewertet für:

- Das gesamte Datenkollektiv
- Jede Station individuell
- Sowie für den Bereich der höheren Konzentrationen ($PM_{10} \geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2.5} \geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Diese Prozedur wird für jeden Gerätetyp durchgeführt. Die Analysen-Resultate finden sich in Tabelle 4 bis Tabelle 8. Eine geringfügige Veränderung des Faktors gegenüber dem Vorjahr ist bei Fidas 200 E PM_{10} nötig. Bei $PM_{2.5}$ und APDA 371 PM_{10} haben sich die Faktoren nicht geändert.

Das Berechnungsdatenblatt

Der Äquivalenztest erfolgte mit Hilfe des RIVM-Datenblatts (Version 3.0) für die verschiedenen Geräte. Sofern ein Vorjahresfaktor vorhanden war, wurde der Test mit diesem durchgeführt. Wenn noch kein Faktor bestimmt wurde, wurde ein Faktor von 1,00 verwendet.

Für die Auswertung wurden die Standard-Parameter (RM uncertainty = 0,67 und confidence intervall = 0,99) beibehalten. Die Tests wurden mit dem gesamten Datenkollektiv sowie nach einer Ausreißerbereinigung durchgeführt. Das Herausnehmen der Ausreißer führt in der Regel zu einer kleineren erweiterten Messunsicherheit. Die Ausreißer wurden mit Hilfe der Ausreißerererkennung des Datenblatts identifiziert.

In den vergangenen Jahren konnten die Kalibration mit Hilfe von Faktoren ohne Achsenabschnitt durchgeführt werden. Die Achsenabschnitte werden jedoch bei der Äquivalenzbewertung nicht vollständig außer Acht gelassen. Sie liefern wertvolle Hinweise, ob Probleme mit der Messtechnik vorliegen. Achsenabschnitte, die im Bereich von $\pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen, werden als unauffällig erachtet, bis $\pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als akzeptabel. Zwischen ± 3 und $\pm 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ werden die Stationen, an denen dieser Wert auftritt, besonderen Überprüfungen unterzogen. Werte oberhalb von $\pm 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sprechen für ein Problem mit der Messtechnik. Hier wird das Messgerät getauscht. Im Extremfall kann dies auch den Ersatz einer kompletten Messtechnik zur Folge haben. So wurden z. B. im Messjahr 2013 alle TEOM-FDMS-Geräte durch andere Messtechniken ersetzt.¹

Aus diesem Grund wurde der gesamte Datensatz ohne das Zwingen der Gerade durch den Ursprung getestet. Der Achsenabschnitt wurde, wie zuvor beschrieben, betrachtet. Sofern die Abweichung des Achsenabschnitts die genannten Grenzen übersteigt, wird eine Kalibrierung mit Achsenabschnitt durchgeführt.

¹ Dieses Vorgehen entspricht nicht der DIN EN 16450:2017-07. Es wird aber als gerechtfertigt angesehen, um eine mögliche Kalibrierung zu vereinfachen. Erfahrungswerte haben gezeigt, dass die Kalibration mit Hilfe von Faktoren ohne Achsenabschnitt zu zufriedenstellenden Ergebnissen führt.

Überprüfung der Leistungskriterien

Unterscheidet sich die Steigung b für den gesamten Datensatz signifikant von 1 und liegt ihr Wert nicht im Toleranzbereich ($0,980 \leq b \leq 1,020$), ist eine Kalibrierung erforderlich. Ergibt diese Kalibrierung kein Optimierungspotential, d.h. der Äquivalenztest liefert für die erweiterte Messunsicherheit vor Kalibrierung und nach Kalibrierung nicht signifikant unterschiedliche Werte, wird die Durchführung einer Kalibrierung überdacht. Ein gewisser Spielraum erscheint sinnvoll, um den Faktor nicht jedes Jahr geringfügig ändern zu müssen. Der Kontinuität des Faktors soll hierdurch Rechnung getragen werden. Es wird daher angestrebt den Faktor erst bei Abweichungen von $> 0,05$ anzupassen. Die erweiterte relative Messunsicherheit der Ergebnisse wird für den gesamten Datensatz und für alle Teildatensätze (Einzelstationen, Wertepaare $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bestimmt. Wenn die erweiterte relative Messunsicherheit $> 25 \%$ ist, muss zwingend eine Kalibrierung durchgeführt werden, d.h. ein neuer Faktor ist zu bestimmen.

Bestimmung eines neuen Faktors

Werden die Leistungskriterien für den Vorjahresfaktor bzw. ohne Faktor nicht erfüllt, muss ein neuer Kalibrierfaktor bestimmt werden, für den der Äquivalenz-Test erneut durchgeführt werden muss. Dafür gibt es verschiedene Methoden:

- Robuste Methode: Mittelwert des Quotienten der Mittelwerte von AMS/Kandidatverfahren (CM) und Referenzmethode (RM) für die einzelnen Stationen
- Mittelwert der Faktoren der einzelnen Stationen, die mit dem Datenblatt ermittelt werden
- Faktor des Gesamtdatensatzes (korrigiert um Ausreißer, ohne Faktor), der mit dem RIVM-Datenblatt ermittelt wird

Die dritte Methode entspricht dem Äquivalenzleitfaden und der DIN EN 16450:2017-07. Der neue Kalibrierfaktor wird folglich aus dem Gesamtdatensatz ohne Faktor mithilfe des Datenblatts ermittelt, wobei die Gerade nicht durch Null gezwungen wird. Um der Kontinuität des Faktors Rechnung zu tragen, soll der Faktor nach Möglichkeit auf 0,05er Schritte gerundet werden.

Prüfergebnisse

PM₁₀

APDA 371

Bei den APDA 371 Geräten lag der Faktor im Vorjahr bei 1,05. Mit dem Vorjahresfaktor wird für den Gesamtdatensatz und einzelne Subsets das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit eingehalten. Die Achsenabschnitte sind in der Hälfte der Fälle unauffällig ($< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Bei den Stationen BOTT, VWEL, WALD und WAST liegt der Achsenabschnitt im akzeptablen Bereich ($< \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die Steigung und der Achsenabschnitt des Gesamtdatensatzes erfüllen die festgelegten Kriterien, weshalb eine Kalibrierung nicht erforderlich ist. Für das Messgerät dieser Bauart ist zunächst keine weitere Anpassung des Faktors erforderlich, sodass er unverändert bei 1,05 bleibt.

Tabelle 4: PM₁₀ Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktors von 1,05.²

APDA 371 mit Faktor 1,05	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 µg/m ³	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 28 µg/m ³
Individual Datasets	BOTT	433	10	423	0,948	0,957 +/- 0,011	2,419 +/- 0,206	7,17	9,5
	CHOR	418	5	413	0,897	1,120 +/- 0,018	-0,511 +/- 0,263	23,91	3,4
	DMD2	721	17	704	0,917	1,149 +/- 0,012	-1,862 +/- 0,206	24,30	6,0
	DUB2	689	6	683	0,952	1,005 +/- 0,008	-0,150 +/- 0,190	7,09	17,1
	SOES	453	5	448	0,952	0,891 +/- 0,009	0,401 +/- 0,135	20,72	4,7
	VDUI	1065	16	1049	0,955	1,075 +/- 0,007	0,604 +/- 0,131	18,67	9,5
	VWEL	267	2	265	0,941	0,967 +/- 0,015	2,668 +/- 0,275	7,32	5,7
	WALS	543	3	540	0,938	0,961 +/- 0,010	2,404 +/- 0,175	6,91	4,6
WAST	781	41	740	0,957	0,878 +/- 0,007	2,726 +/- 0,134	15,42	15,4	
Combined Datasets	≥ 30 µg/m ³	430	59	371	0,866	1,031 +/- 0,020	-1,207 +/- 0,757	12,60	100,0
	All Data	5370	105 (1,96%)	5265	0,930	1,004 +/- 0,004	0,873 +/- 0,068	9,75	9,3

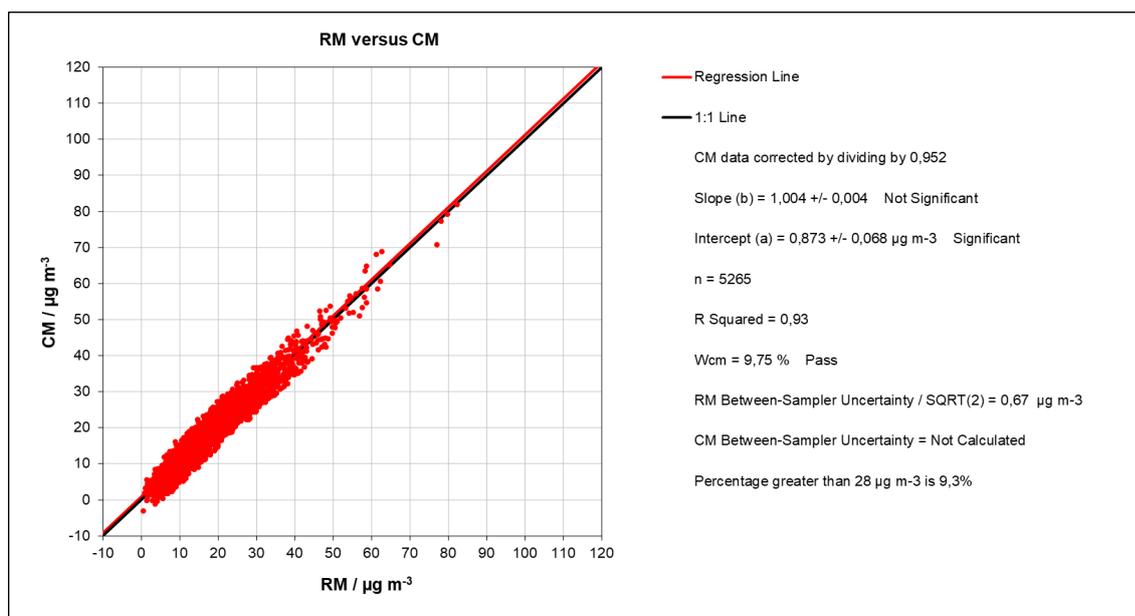


Abbildung 1: Orthogonale Regression APDA 371 PM₁₀, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 1,05.

2

BOTT: APDA 371 bis 28.03.2023

CHOR: APDA 371 bis 30.04.2024

DUB2: APDA 371 von 16.12.2021 bis 04.12.2023

SOES: APDA 371 von 09.12.2021 bis 03.04.2023

VWEL: APDA 371 bis 26.06.2023

WAST: seit 02.09.2022 Vergleichsmessung mit Referenzgerät

Fidas 200 E

Bei den Fidas 200 E Geräten lag der Faktor im Vorjahr bei 0,95. Mit dem Vorjahresfaktor wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit aber nicht an allen Messstationen eingehalten. Eine Kalibrierung ist daher notwendig.

Table 5: PM10 Äquivalenzauswertung für die mit Fidas 200 E ausgerüsteten Stationen mit Verwendung des Vorjahresfaktors von 0,95.³

Fidas 200e mit Faktor 0,95	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 µg/m ³	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 28 µg/m ³
Individual Datasets	BIEL	509	2	507	0,939	1,049 +/- 0,011	-0,654 +/- 0,165	9,49	2,4
	BORG	542	16	526	0,933	1,056 +/- 0,012	0,283 +/- 0,182	14,24	4,2
	BOTT	628	8	620	0,864	1,075 +/- 0,016	-1,711 +/- 0,252	11,89	3,1
	DDCS	1077	24	1053	0,925	1,071 +/- 0,009	-2,964 +/- 0,180	8,58	10,1
	DMD2	362	1	361	0,948	1,074 +/- 0,013	-1,203 +/- 0,222	12,14	7,2
	DUB2	377	9	368	0,906	1,051 +/- 0,017	-1,890 +/- 0,325	8,95	8,4
	EIFE	528	6	522	0,935	1,048 +/- 0,012	-0,498 +/- 0,125	9,51	1,1
	NETT	1045	30	1015	0,918	1,042 +/- 0,009	-0,021 +/- 0,149	11,80	4,2
	NIZI	533	18	515	0,943	0,994 +/- 0,011	-0,306 +/- 0,192	8,76	10,3
	SOES	628	4	624	0,929	1,153 +/- 0,012	-1,164 +/- 0,147	26,76	1,0
	STYR	1073	11	1062	0,945	1,071 +/- 0,008	-0,613 +/- 0,118	13,38	3,7
	VACW	1077	28	1049	0,935	1,029 +/- 0,008	-2,826 +/- 0,152	9,63	8,4
	VKTU	1072	10	1062	0,931	1,042 +/- 0,008	-1,816 +/- 0,143	7,06	4,9
	VWEL	275	4	271	0,922	1,166 +/- 0,020	-2,358 +/- 0,309	24,71	3,7
WAST	812	16	796	0,979	1,026 +/- 0,005	-1,323 +/- 0,116	7,08	18,7	
Combined Datasets	≥ 30 µg/m ³	584	68	516	0,871	1,137 +/- 0,018	-5,451 +/- 0,679	14,09	100,0
	All Data	10538	187 (1,77%)	10351	0,928	1,023 +/- 0,003	-0,864 +/- 0,046	8,53	6,4

Der neue Kalibrierfaktor wird aus dem Gesamtdatensatz ohne Faktor bestimmt. Mit dem neuen Faktor von 0,93 wird die erweiterte Messunsicherheit nun an allen Messstationen eingehalten. Auch die Steigung und der Achsenabschnitt des Gesamtdatensatzes erfüllen die festgelegten Kriterien. Die Tabelle und Abbildung zeigen die Ergebnisse für das gesamte Datenkollektiv bereinigt um 184 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 1,75 % und erfüllt somit die im Äquivalenzleitfaden definierten Kriterien. Für die meisten Stationen war der Achsenabschnitt unauffällig ($< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

³

BIEL: seit 16.02.2022 FIDAS 200 E
 BOTT: seit 28.03.2023 FIDAS 200 E
 DUB2: seit 05.12.2023 FIDAS 200 E
 NETT: seit 20.01.2022 FIDAS 200 E
 SOES: seit 04.04.2023 FIDAS 200 E
 VWEL: seit 27.06.2023 FIDAS 200 E
 WAST: seit 02.09.2022 Vergleichsmessung Referenzgerät

Bei den Stationen DDCS, VWEL und VACW liegt der Achsenabschnitt im akzeptablen Bereich ($< \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Diese Stationen hatten auch schon im letzten Jahr leicht höhere Achsenabschnitte. Bei den Wertepaaren $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist der Achsenabschnitte $> 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und sind damit eigentlich nicht mehr akzeptabel. Zurückzuführen ist dies aber auf die geringe Häufigkeit von nur 5% mit der diese Werte auftreten und dort mehr streuen. Es werden daher keine weiteren Schritte unternommen.

Tabelle 6: PM10 Äquivalenzauswertung für die mit Fidas 200 E ausgerüsteten Stationen mit Verwendung eines Faktors von 0,93.⁴

Fidas 200e mit Faktor 0,93	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Individual Datasets	BIEL	509	2	507	0,939	1,026 +/- 0,011	-0,632 +/- 0,162	6,67	2,4
	BORG	542	15	527	0,932	1,033 +/- 0,012	0,297 +/- 0,179	10,50	4,2
	BOTT	628	8	620	0,864	1,050 +/- 0,016	-1,650 +/- 0,247	9,19	3,1
	DDCS	1077	24	1053	0,925	1,047 +/- 0,009	-2,886 +/- 0,176	8,36	10,1
	DMD2	362	0	362	0,949	1,036 +/- 0,012	-0,962 +/- 0,215	7,67	7,5
	DUB2	377	9	368	0,906	1,028 +/- 0,016	-1,830 +/- 0,318	8,54	8,4
	EIFE	528	6	522	0,935	1,025 +/- 0,011	-0,481 +/- 0,123	6,43	1,1
	NETT	1045	30	1015	0,918	1,019 +/- 0,009	-0,007 +/- 0,146	9,01	4,2
	NIZI	533	18	515	0,943	0,972 +/- 0,010	-0,289 +/- 0,188	10,61	10,3
	SOES	628	4	624	0,929	1,128 +/- 0,012	-1,130 +/- 0,144	21,98	1,0
	STYR	1073	11	1062	0,945	1,047 +/- 0,008	-0,591 +/- 0,115	9,55	3,7
	VACW	1077	28	1049	0,935	1,006 +/- 0,008	-2,754 +/- 0,148	12,42	8,4
	VKTU	1072	10	1062	0,931	1,019 +/- 0,008	-1,766 +/- 0,140	7,57	4,9
	VWEL	275	4	271	0,922	1,140 +/- 0,019	-2,294 +/- 0,303	20,05	3,7
WAST	812	15	797	0,979	1,004 +/- 0,005	-1,286 +/- 0,114	8,21	18,8	
Combined Datasets	$\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	584	66	518	0,870	1,108 +/- 0,017	-5,175 +/- 0,664	12,73	100,0
	All Data	10538	184 (1,75%)	10354	0,928	1,000 +/- 0,003	-0,826 +/- 0,045	8,86	6,4

4

BIEL: seit 16.02.2022 FIDAS 200 E
 BOTT: seit 28.03.2023 FIDAS 200 E
 DUB2: seit 05.12.2023 FIDAS 200 E
 NETT: seit 20.01.2022 FIDAS 200 E
 SOES: seit 04.04.2023 FIDAS 200 E
 VWEL: seit 27.06.2023 FIDAS 200 E
 WAST: seit 02.09.2022 Vergleichsmessung Referenzgerät

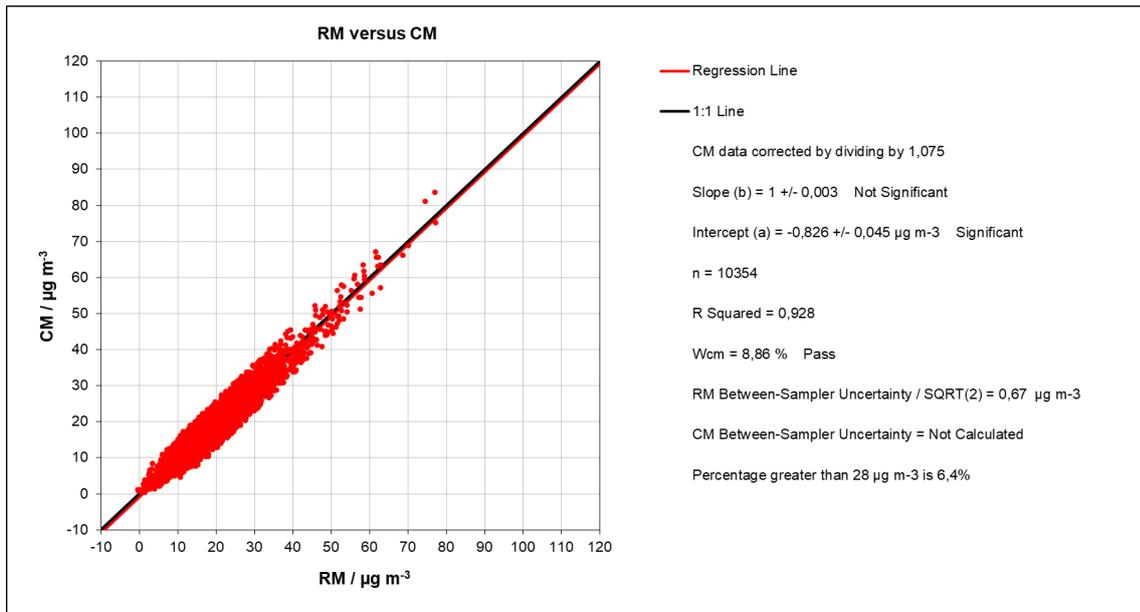


Abbildung 2: Orthogonale Regression FIDAS 200 E PM10, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 0,93.

PM_{2,5}

APDA 371

Bei den APDA 371 Geräten lag der Faktor im Vorjahr bei 1,05. Mit dem Vorjahresfaktor wird für den Gesamtdatensatz und einzelne Subsets das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit eingehalten. Auch erfüllen die Steigung und der Achsenabschnitt des Gesamtdatensatzes die Anforderungen. Eine Kalibrierung ist daher nicht notwendig. Die Achsenabschnitte aller Subsets sind unauffällig ($< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabelle 7: PM_{2,5} Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 1,05.

APDA 371 mit Faktor 1,05	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m³	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 17 µg/m³
Individual Datasets	EVOG	1045	28	1017	0,944	0,975 +/- 0,007	0,626 +/- 0,089	8,07	11,4
	LOER	1076	6	1070	0,932	1,043 +/- 0,008	0,997 +/- 0,087	17,73	7,5
Combined Datasets	≥ 18 µg/m³	197	19	178	0,876	1,053 +/- 0,028	-1,007 +/- 0,680	14,06	100,0
	All Data	2121	34 (1,6%)	2087	0,930	0,997 +/- 0,006	0,912 +/- 0,065	10,67	9,4

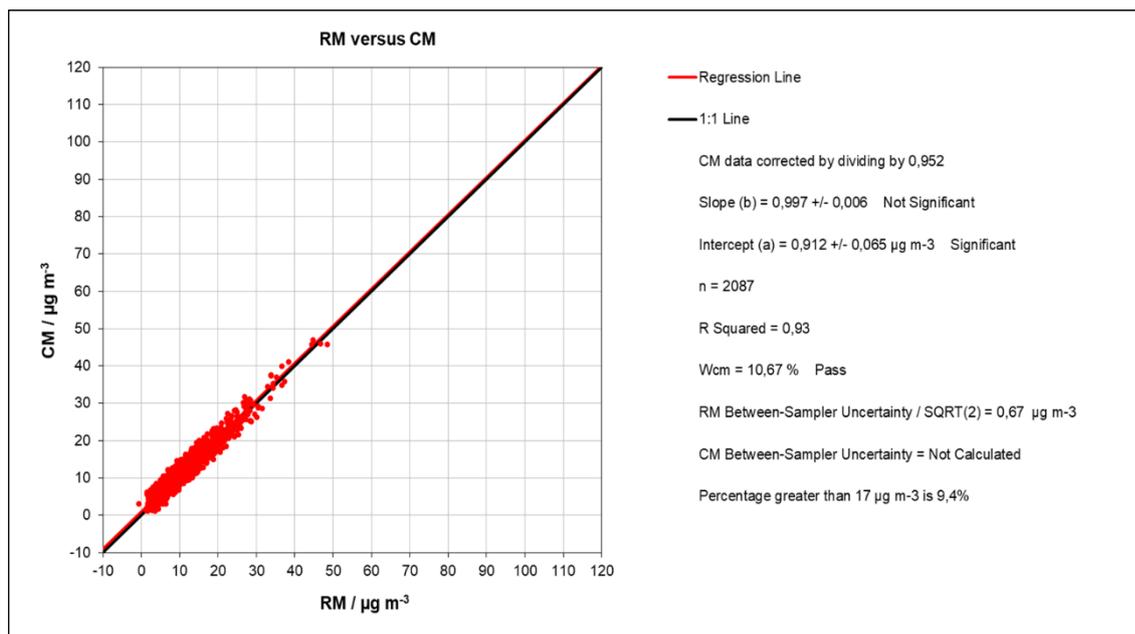


Abbildung 3: Orthogonale Regression APDA 371 PM2.5 gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 1,05.

Fidas 200 E

Mit dem Vorjahresfaktor von 0,95 werden die Leistungskriterien für den Gesamtdatensatz sowie die Teildatensätze eingehalten. Die nachfolgende Tabelle und Abbildung zeigen die Resultate für das gesamte Datenkollektiv bereinigt um 104 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 1,57 % und erfüllt somit die festgelegten Kriterien. Für alle Stationen war der Achsenabschnitt unauffällig ($< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabelle 8: PM2,5 Äquivalenzauswertung für die mit Fidas 200 E ausgerüsteten Stationen mit Verwendung des Vorjahresfaktors von 0,95.⁵

Fidas 200e mit Faktor 0,95	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m³	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 17 µg/m³
Individual Datasets	BIEL	517	2	515	0,935	0,977 +/- 0,011	-0,548 +/- 0,122	11,78	9,7
	DDCS	1078	30	1048	0,923	1,000 +/- 0,009	-1,437 +/- 0,115	14,46	15,6
	DMD2	1079	14	1065	0,935	1,025 +/- 0,008	-0,646 +/- 0,095	9,65	10,5
	EIFE	534	12	522	0,866	1,002 +/- 0,016	0,378 +/- 0,109	9,22	2,1
	EVOG	1056	23	1033	0,931	1,005 +/- 0,008	-1,123 +/- 0,102	12,04	12,2

5

BIEL: seit 16.02.2022 Fidas 200 E
 LOER: seit 16.06.2023 Fidas 200 E
 MSGE: seit 06.12.2023 Fidas 200 E

Fidas 200e mit Faktor 0,95	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m³	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 17 µg/m³
	LOER	556	6	550	0,908	1,088 +/- 0,014	-0,378 +/- 0,129	17,69	5,1
	MSGE	179	6	173	0,925	1,074 +/- 0,022	-0,374 +/- 0,230	15,22	8,7
	STYR	535	5	530	0,937	1,038 +/- 0,011	-0,821 +/- 0,129	9,62	10,0
	WULA	1074	6	1068	0,911	1,005 +/- 0,009	-0,579 +/- 0,094	9,67	6,6
Combined Datasets	≥ 18 µg/m³	582	35	547	0,877	1,014 +/- 0,015	-1,073 +/- 0,373	13,84	100,0
	All Data	6608	104 (1,57%)	6504	0,919	0,993 +/- 0,004	-0,516 +/- 0,040	11,36	9,7

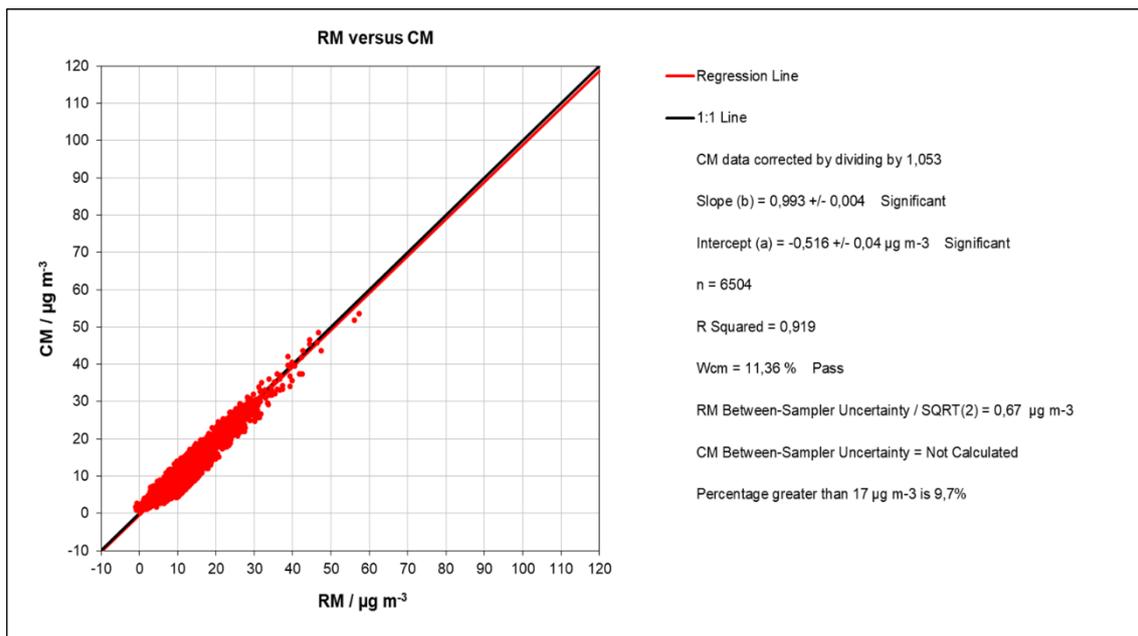


Abbildung 4: Orthogonale Regression Fidas 200 E PM2.5 gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 0,95.

Anhang: Messstellenverzeichnis

Kürzel	Name	Klassifikation	EU-Code	PLZ	Ort	Straße	UTM_E32	UTM_N32
BIEL	Bielefeld-Ost	Hintergrund	DENW067	33607	Bielefeld	Herman-Delius-Straße / Ecke Bleichstraße	469011	5763710
BORG	Borken-Gemen	Hintergrund	DENW081	46325	Borken	Pumpenwerk, Lise-Meitner-Str. 4	353641	5747830
BOTT	Bottrop-Welheim	Industrie	DENW021	46238	Bottrop	Welheimer Straße (an der Schule)	359656	5710256
CHOR	Köln-Chorweiler	Hintergrund	DENW053	50765	Köln	Fühlinger Weg	351630	5654105
DDCS	Düsseldorf Corneliusstraße	Verkehr	DENW082	40215	Düsseldorf	Corneliusstr. 71	345124	5675867
DMD2	Dortmund-Eving	Hintergrund	DENW008	44145	Dortmund	Burgweg	393014	5710660
DUB2	Duisburg-Bruckhausen	Industrie	DENW338	47169	Duisburg	Kaiser-Wilhelm-Str. / Ecke Kronstraße	342769	5706248
EIFE	Simmerath (Eifel)	Hintergrund	DENW064	52152	Simmerath	An der B399 ca. 6km von Simmerath	307805	5614792
EVOG	Essen-Vogelheim	Hintergrund	DENW024	45356	Essen	Ecke Hafestraße/Wildstr.	359851	5706977
LOER	Düsseldorf-Lörick	Hintergrund	DENW071	40547	Düsseldorf	Zum Niederkassler Deich	341743	5679982
MSGE	Münster-Geist	Hintergrund	DENW095	48151	Münster	Gut Insel (Gelände der Ludwig-Erhard-Schule)	404552	5754890
NETT	Nettetal-Kaldenkirchen	Hintergrund	DENW066	41334	Nettetal	Juiser Feld	304636	5689916
NIZI	Niederzier	Industrie	DENW074	52382	Niederzier	Treibbachstr. (am Feuerwehrgerätehaus)	321990	5639919
SOES	Soest-Ost	Hintergrund	DENW068	59494	Soest	Enkesen Weg	440954	5713633
STYR	Mülheim-Styrum	Hintergrund	DENW038	45476	Mülheim	Neustadtstraße (am Sportplatz)	351664	5702415
VACW	Aachen Wilhelmstraße	Verkehr	DENW207	52070	Aachen	Wilhelmstrasse 22/24	295236	5628617
VDUI	Duisburg Kardinal- Galen Straße	Verkehr	DENW112	47051	Duisburg	Kardinal-Galen Straße	345137	5700854
VKTU	Köln Turiner Straße	Verkehr	DENW212	50668	Köln	Turiner Straße 19	356533	5645947
VWEL	Wuppertal Gathe	Verkehr	DENW189	42107	Wuppertal	Gathe / Wilhelmstraße	370737	5680445
WALS	Duisburg-Walsum	Industrie	DENW034	47179	Duisburg	Sonnenstraße	343799	5710505
WAST	Warstein	Industrie	DENW181	59581	Warstein	Rangetriftweg	455576	5699283
WULA	Wuppertal-Langerfeld	Hintergrund	DENW114	42389	Wuppertal	Am Buchenloh	376676	5682182