

# Äquivalenzbericht 2023

## 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 2023 dokumentiert. Eine Übersicht der Kalibrierfaktoren für die einzelnen Messgeräte ist in Tabelle 1 dargestellt. Eine geringfügige Veränderung der Faktoren gegenüber dem Vorjahr ist bei  $PM_{2,5}$  nötig. Bei  $PM_{10}$  haben sich die Faktoren nicht geändert.

*Tabelle 1: Übersicht der im LUQS-Messnetz für das Jahr 2023 ermittelten Äquivalenzfaktoren (Faktoren des Vorjahres in Klammern).*

Parameter	Messtechnik	Faktor
$PM_{10}$	APDA 371	<b>1,05</b> (1,05)
	Fidas 200 E	<b>0,95</b> (0,95)
$PM_{2,5}$	APDA 371	<b>1,05</b> (1,10)
	Fidas 200 E	<b>0,95</b> (0,92)

## Allgemeines

Im Messnetz des Landes Nordrhein-Westfalen, welches vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz 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 2023 wieder verfolgt, so dass für jeden Gerätetyp ein konstanter Faktor für alle Stationstypen bestimmt werden soll.

Im Nachfolgenden sind für 2023 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 2023 vier verschiedene automatische Messeinrichtungen verwendet:

- Das Gerät APDA-371 mit PM<sub>2,5</sub>-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 PM<sub>10</sub>-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 PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> 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 PM<sub>10</sub> ist das gravimetrische Verfahren nach der Europannorm 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 2023 insgesamt an 69 Messstellen PM<sub>10</sub> Messungen und an 51 Stellen PM<sub>2,5</sub> Messungen durchgeführt. Für die Bestimmung der Faktoren und den Nachweis der Äquivalenz für das Jahr 2023 wurden an den Stationen mit Parallelmessungen von AMS und Referenzverfahren Vergleichspaare auf Basis der Tagesmittelwerte bestimmt.

Für die Größenfraktionen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> wurden die Vergleichspaare der Tagesmittelwerte der automatischen Messsysteme (AMS) und Referenzverfahren für die drei vorangegangenen Jahre (2021-2023) 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)

$W_{AMS}, \%$	$\leq 10$	$> 10$ bis $\leq 15$	$> 15$ bis $\leq 20$	$> 20$ bis $\leq 25$
Anteil der Stationen ( $\geq 2$ )*	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  $\leq 10$  %. Die daraus abzuleitende Anzahl der erforderlichen Parallelmessungen und die im Jahr 2023 verfügbaren Parallelmessungen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Übersicht der Messungen mit Referenzverfahren und AMS im Jahr 2023.

	AMS	$W_{AMS}, \%$	Parallelmessungen		Vorgabe erfüllt
	gesamt		Ist	Soll	
<b>PM<sub>10</sub> Standorte</b>	<b>57</b>	-	<b>18</b>	-	-
PM <sub>10</sub> APDA 371	20	$\leq 10$	9	2	Ja
PM <sub>10</sub> Fidas 200 E	41	$\leq 10$	12	2	Ja
<b>PM<sub>2,5</sub> Standorte</b>	<b>48</b>	-	<b>8</b>	-	-
PM <sub>2,5</sub> APDA 371	10	$\leq 10$	2	2	Ja
PM <sub>2,5</sub> Fidas 200 E	41	$> 10$ bis $\leq 15$	8	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  $\geq 40$  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 9. Eine geringfügige Veränderung der Faktoren gegenüber dem Vorjahr war für  $PM_{2.5}$  erforderlich. Im Falle von  $PM_{10}$  war keine Veränderung des Faktors gegenüber dem Vorjahr notwendig.

## 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  $\pm 3$  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.<sup>1</sup>

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.

---

<sup>1</sup> 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

PM<sub>10</sub>

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 überwiegend unauffällig ( $< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bei den Stationen BOTT, DDCS und WALs sowie den Wertepaaren  $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt der Achsenabschnitt im akzeptablen Bereich ( $< \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Die Stationen BORG und WAST liegen zwischen  $\pm 3$  und  $\pm 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und werden daher einer besonderen Überprüfung unterzogen. 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: PM<sub>10</sub> Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktors von 1,05.<sup>2</sup>*

APDA 371 mit Faktor 1,05	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 µg/m <sup>3</sup>	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 28 µg/m <sup>3</sup>
Individual Datasets	BIEL	202	1	201	0,955	0,961 +/- 0,015	1,082 +/- 0,226	6,10	4,5
	BORG	167	17	150	0,940	0,984 +/- 0,020	3,456 +/- 0,336	12,96	4,0
	BOTT	789	14	775	0,954	0,966 +/- 0,007	2,402 +/- 0,140	6,99	8,6
	CHOR	537	5	532	0,920	1,038 +/- 0,013	0,481 +/- 0,199	12,54	4,1
	DDCS	122	11	111	0,936	1,027 +/- 0,025	-2,466 +/- 0,540	8,99	11,7
	DMD2	543	10	533	0,914	1,144 +/- 0,014	-1,668 +/- 0,247	24,22	6,2
	DUB2	689	10	679	0,954	1,012 +/- 0,008	-0,261 +/- 0,187	6,95	16,8
	SOES	475	6	469	0,953	0,895 +/- 0,009	0,323 +/- 0,130	20,20	4,5
	VDUI	1062	9	1053	0,965	1,046 +/- 0,006	1,275 +/- 0,122	15,60	11,6
	VWEL	446	2	444	0,928	0,966 +/- 0,012	1,812 +/- 0,236	7,18	6,5
	WALS	542	4	538	0,951	0,939 +/- 0,009	2,774 +/- 0,164	6,44	8,9
	WAST	425	18	407	0,955	0,888 +/- 0,009	3,041 +/- 0,182	12,70	13,8
Combined Datasets	≥ 30 µg/m <sup>3</sup>	471	58	413	0,886	1,062 +/- 0,018	-2,103 +/- 0,687	12,20	100,0
	All Data	5999	107 (1,78%)	5892	0,933	1,006 +/- 0,003	0,980 +/- 0,063	9,86	9,2

<sup>2</sup>

BIEL: APDA 371 bis 16.02.2022

BORG: APDA 371 bis 08.12.2021

BOTT: APDA 371 bis 28.03.2023

DDCS: APDA 371 von 15.03.2021 bis 20.07.2021

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

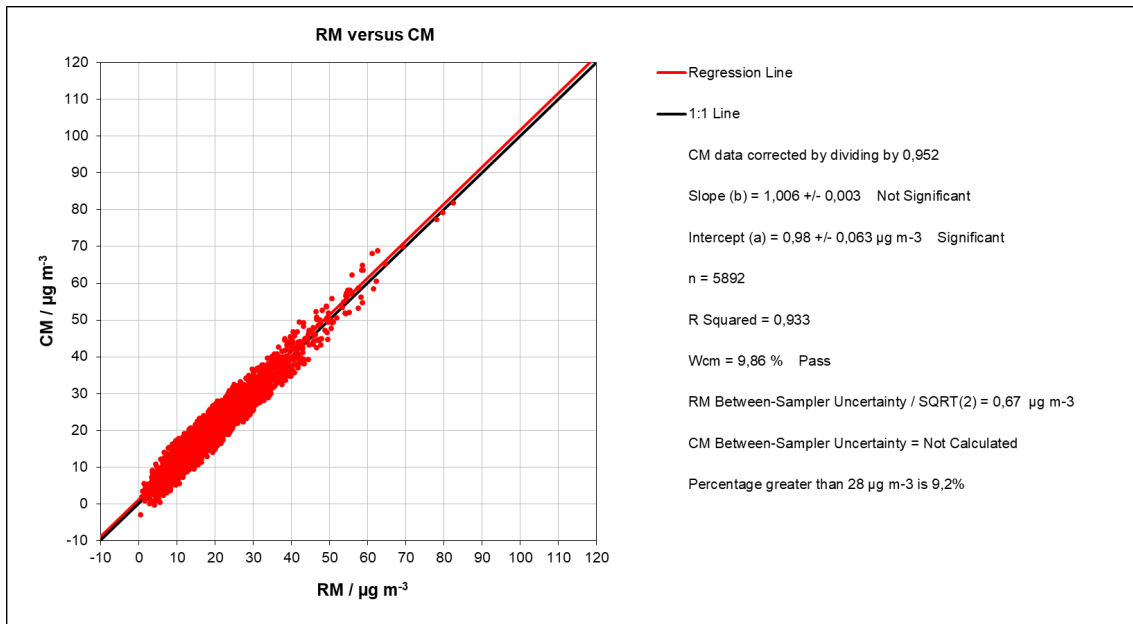


Abbildung 1: Orthogonale Regression APDA 371 PM10, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 1,05.

## 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 an allen Messstationen und im Gesamtdatensatz eingehalten. Auch die Steigung und der Achsenabschnitt des Gesamtdatensatzes erfüllen die festgelegten Kriterien. Aus diesem Grund muss kein neuer Faktor bestimmt werden.

Die Achsenabschnitte sind überwiegend unauffällig ( $< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bei der Station VACW liegt der Achsenabschnitt im akzeptablen Bereich ( $< \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bei den Stationen BOTT, DDCS sowie den Wertepaaren  $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen die Achsenabschnitte zwischen  $\pm 3$  und  $\pm 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und werden daher einer besonderen Überprüfung unterzogen.

Tabelle 5: PM10 Äquivalenzauswertung für die mit Fidas 200 E ausgerüsteten Stationen mit Verwendung des Vorjahresfaktors von 0,95.<sup>3</sup>

Fidas 200e mit Faktor 0,95	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	328	1	327	0,953	1,052 +/- 0,013	-0,363 +/- 0,187	10,56	3,1
	BORG	360	5	355	0,933	1,053 +/- 0,014	0,149 +/- 0,231	13,62	5,4
	BOTT	269	2	267	0,858	1,143 +/- 0,026	-3,143 +/- 0,399	17,77	1,9
	DDCS	876	18	858	0,929	1,055 +/- 0,010	-3,011 +/- 0,197	8,19	11,5
	DMD2	543	3	540	0,950	1,057 +/- 0,010	-0,673 +/- 0,177	11,12	6,7
	EIFE	525	7	518	0,929	1,027 +/- 0,012	0,096 +/- 0,128	8,60	1,4
	NIZI	530	24	506	0,938	1,016 +/- 0,011	-0,365 +/- 0,209	9,23	10,9
	NETT	683	21	662	0,919	1,039 +/- 0,011	0,192 +/- 0,190	12,30	5,7
	STYR	1077	11	1066	0,941	1,056 +/- 0,008	-0,340 +/- 0,127	12,06	4,9
	VACW	1067	21	1046	0,942	1,017 +/- 0,008	-2,364 +/- 0,148	9,80	9,7
	VKTU	1071	14	1057	0,942	1,001 +/- 0,007	-1,571 +/- 0,130	8,78	5,8
	WAST	452	2	450	0,978	1,049 +/- 0,007	-1,461 +/- 0,160	8,55	18,0
Combined Datasets	$\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	510	63	447	0,875	1,162 +/- 0,019	-6,659 +/- 0,734	14,10	100,0
	All Data	7781	129 (1,66%)	7652	0,928	1,016 +/- 0,003	-0,814 +/- 0,055	8,71	7,4

<sup>3</sup>

BIEL: seit 16.02.2022 FIDAS 200 E  
 BORG: seit 08.12.2021 FIDAS 200 E  
 BOTT: seit 28.03.2023 FIDAS 200 E  
 DDCS: seit 20.07.2021 FIDAS 200 E  
 NETT: seit 20.01.2022 FIDAS 200 E  
 WAST: seit 02.09.2022 Vergleichsmessung Referenzgerät



PM<sub>2,5</sub>

## APDA 371

Unter Verwendung des Vorjahresfaktors von 1,10 wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für die Station LOER knapp nicht eingehalten. Außerdem erfüllt die Steigung des Gesamtdatensatzes nicht die Anforderungen. Eine Kalibrierung ist daher notwendig.

Tabelle 6: PM<sub>2,5</sub> Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 1,10.<sup>4</sup>

APDA 371 mit Faktor 1,10	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m <sup>3</sup>	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 17 µg/m <sup>3</sup>
Individual Datasets	ELAN	361	10	351	0,935	0,992 +/- 0,014	1,389 +/- 0,134	10,95	6,3
	EVOG	1061	29	1032	0,949	1,015 +/- 0,007	0,820 +/- 0,090	11,81	12,4
	LOER	1059	12	1047	0,942	1,094 +/- 0,008	0,967 +/- 0,088	26,66	8,1
Combined Datasets	≥ 18 µg/m <sup>3</sup>	233	22	211	0,883	1,059 +/- 0,025	-0,093 +/- 0,612	17,31	100,0
	All Data	2481	51 (2,06%)	2430	0,940	1,036 +/- 0,005	1,044 +/- 0,059	16,75	9,7

Der neue Kalibrierfaktor wird aus dem Gesamtdatensatz ohne Faktor bestimmt. Mit dem neuen Faktor von 1,06 wird die erweiterte Messunsicherheit nun an allen Messstationen eingehalten. Da auch mit einem Faktor von 1,05 diese Bedingungen eingehalten werden, wird aus oben genannten Gründen dieser Faktor verwendet, damit der Faktor für alle APDA 371 Geräte unabhängig der Größenfraktion gleich ist. Wie bereits im Vorjahr ist die erweiterte Messunsicherheit an der Station LOER größer als an den anderen beiden Stationen. Die Tabelle und Abbildung zeigen die Ergebnisse für das gesamte Datenkollektiv bereinigt um 51 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 2,06 % und erfüllt somit die im Äquivalenzleitfaden definierten Kriterien. Für alle Stationen war der Achsenabschnitt unauffällig ( $< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Tabelle 7: PM<sub>2,5</sub> Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung eines Faktors von 1,05.

APDA 371 mit Faktor 1,05	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m <sup>3</sup>	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 17 µg/m <sup>3</sup>
Individual Datasets	ELAN	361	10	351	0,935	0,945 +/- 0,013	1,338 +/- 0,128	7,71	6,3
	EVOG	1061	29	1032	0,949	0,968 +/- 0,007	0,796 +/- 0,086	7,82	12,4
	LOER	1059	12	1047	0,942	1,043 +/- 0,008	0,936 +/- 0,084	16,88	8,1
Combined Datasets	≥ 18 µg/m <sup>3</sup>	233	22	211	0,883	1,008 +/- 0,024	-0,017 +/- 0,584	12,57	100,0
	All Data	2481	51 (2,06%)	2430	0,940	0,988 +/- 0,005	1,011 +/- 0,057	9,41	9,7

4

ELAN: seit 2022 keine Vergleichsmessung mehr

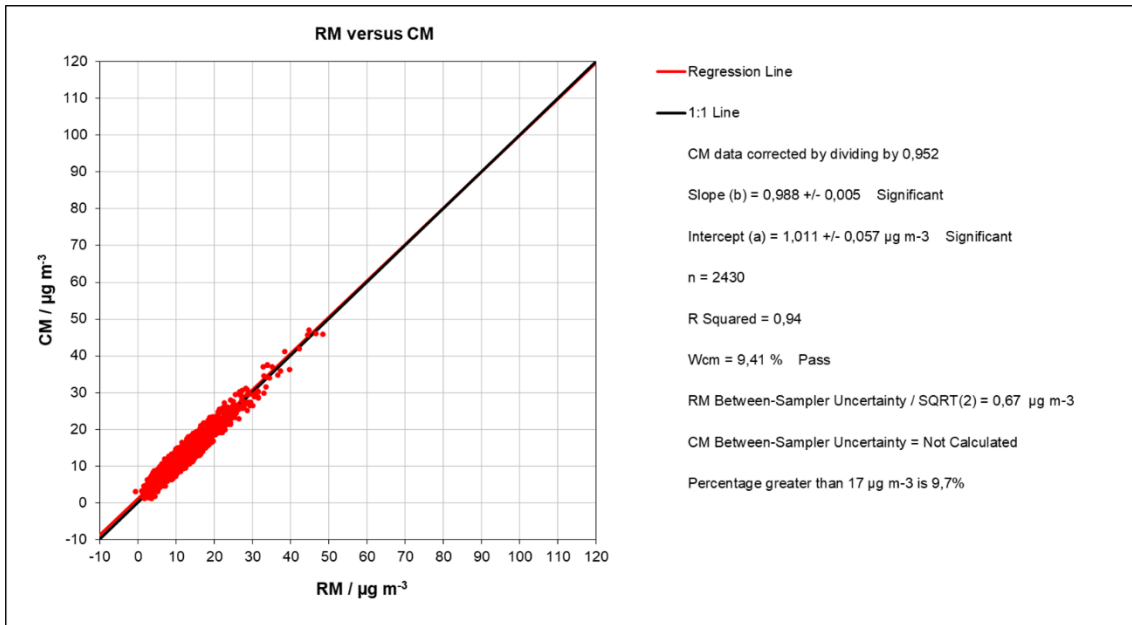


Abbildung 2: Orthogonale Regression APDA 371  $\text{PM}_{2,5}$  gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 1,05.

## Fidas 200 E

Unter Verwendung eines Faktors von 0,92 wird das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für alle Datensätze eingehalten. Allerdings wird die Anforderung für die Steigung nicht erfüllt, weshalb eine Neukalibrierung notwendig ist.

Tabelle 8: PM<sub>2,5</sub> Äquivalenzauswertung für die mit Fidas 200 E ausgerüsteten Stationen mit Verwendung eines Faktors von 0,92.<sup>5</sup>

Fidas 200e mit Faktor 0,92	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m <sup>3</sup>	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 17 µg/m <sup>3</sup>
Individual Datasets	BIEL	335	2	333	0,937	0,956 +/- 0,013	-0,479 +/- 0,149	14,55	10,2
	DDCS	876	22	854	0,920	0,971 +/- 0,009	-1,514 +/- 0,128	19,11	15,7
	DMD2	1079	12	1067	0,938	0,988 +/- 0,008	-0,617 +/- 0,093	11,35	11,7
	EIFE	530	11	519	0,886	0,964 +/- 0,014	0,449 +/- 0,102	9,06	2,5
	EVOG	1061	22	1039	0,935	0,983 +/- 0,008	-1,029 +/- 0,101	14,36	13,4
	LOER	194	0	194	0,844	1,049 +/- 0,030	-0,683 +/- 0,247	10,86	2,1
	STYR	535	10	525	0,941	1,044 +/- 0,011	-1,053 +/- 0,132	9,22	12,0
	WULA	1073	3	1070	0,912	1,004 +/- 0,009	-0,696 +/- 0,097	10,02	7,4
Combined Datasets	≥ 18 µg/m <sup>3</sup>	532	23	509	0,888	0,965 +/- 0,014	-0,492 +/- 0,358	16,02	100,0
	All Data	5683	82 (1,44%)	5601	0,923	0,970 +/- 0,004	-0,571 +/- 0,042	14,07	10,6

Mit dem neubestimmten Faktor von 0,95, welcher aus dem Gesamtdatensatz ohne Faktor bestimmt wurde, werden die Leistungskriterien für den Gesamtdatensatz sowie die Teildatensätze eingehalten. Die nachfolgende Tabelle und Abbildung zeigen die Resultate für das gesamte Datenkollektiv bereinigt um 82 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 1,44 % und erfüllt somit die festgelegten Kriterien. Für alle Stationen war der Achsenabschnitt unauffällig ( $< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Tabelle 9: PM<sub>2,5</sub> Äquivalenzauswertung für die mit Fidas 200 E ausgerüsteten Stationen mit Verwendung eines Faktors von 0,95.

Fidas 200e mit Faktor 0,95	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m <sup>3</sup>	
				N	R2	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 17 µg/m <sup>3</sup>
Individual Datasets	BIEL	335	2	333	0,937	0,988 +/- 0,014	-0,505 +/- 0,154	10,28	10,2
	DDCS	876	22	854	0,920	1,004 +/- 0,010	-1,580 +/- 0,132	14,72	15,7
	DMD2	1079	12	1067	0,938	1,021 +/- 0,008	-0,649 +/- 0,096	9,65	11,7
	EIFE	530	11	519	0,886	0,997 +/- 0,015	0,452 +/- 0,106	8,70	2,5
	EVOG	1061	22	1039	0,935	1,016 +/- 0,008	-1,075 +/- 0,105	11,14	13,4
	LOER	194	0	194	0,844	1,087 +/- 0,031	-0,728 +/- 0,255	15,90	2,1
	STYR	535	10	525	0,941	1,079 +/- 0,011	-1,098 +/- 0,136	12,73	12,0
	WULA	1073	3	1070	0,912	1,038 +/- 0,009	-0,733 +/- 0,100	9,97	7,4
Combined Datasets	≥ 18 µg/m <sup>3</sup>	532	23	509	0,888	0,998 +/- 0,015	-0,556 +/- 0,370	13,36	100,0
	All Data	5683	82 (1,44%)	5601	0,923	1,002 +/- 0,004	-0,602 +/- 0,044	10,97	10,6

5

BIEL: seit 16.02.2022 Fidas 200 E

DDCS: seit 20.07.2021 Fidas 200 E

LOER: seit 16.06.2023 Fidas 200 E

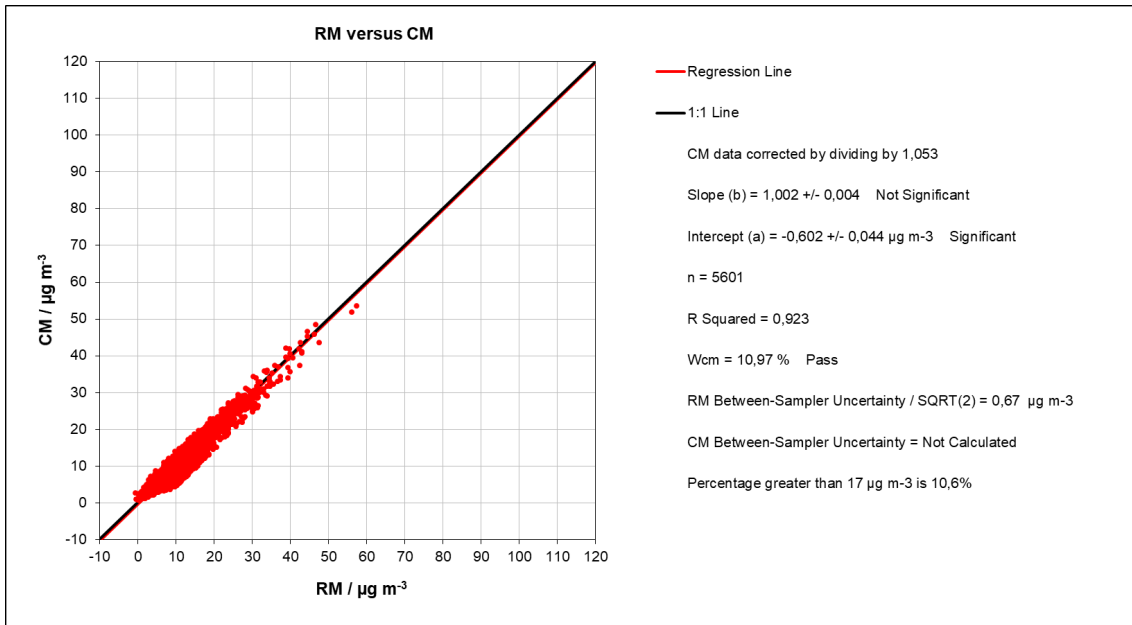


Abbildung 3: Orthogonale Regression Fidas 200 E  $\text{PM}_{2,5}$  gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 0,95.

## Anhang: Messstellenverzeichnis

Kürzel	Name	Klassifikation	EU-Code	PLZ	Ort	Straße	UTM_E32	UTM_N32
<b>BIEL</b>	Bielefeld-Ost	Hintergrund	DENW067	33607	Bielefeld	Herman-Delius-Straße / Ecke Bleichstraße	469011	5763710
<b>BORG</b>	Borken-Gemen	Hintergrund	DENW081	46325	Borken	Pumpenwerk, Lise-Meitner-Str. 4	353641	5747830
<b>BOTT</b>	Bottrop-Welheim	Industrie	DENW021	46238	Bottrop	Welheimer Straße (an der Schule)	359656	5710256
<b>CHOR</b>	Köln-Chorweiler	Hintergrund	DENW053	50765	Köln	Fühlinger Weg	351630	5654105
<b>DDCS</b>	Düsseldorf Corneliusstraße	Verkehr	DENW082	40215	Düsseldorf	Corneliusstr. 71	345124	5675867
<b>DMD2</b>	Dortmund-Eving	Hintergrund	DENW008	44145	Dortmund	Burgweg	393014	5710660
<b>DUB2</b>	Duisburg-Bruckhausen	Industrie	DENW338	47169	Duisburg	Kaiser-Wilhelm-Str. / Ecke Kronstraße	342769	5706248
<b>EIFE</b>	Simmerath (Eifel)	Hintergrund	DENW064	52152	Simmerath	An der B399 ca. 6km von Simmerath	307805	5614792
<b>ELAN</b>	Essen-Schuir (LANUV)	Hintergrund	DENW247	45133	Essen	Wallneyer Str. 6 (Gelände des LANUV)	358505	5697033
<b>EVOG</b>	Essen-Vogelheim	Hintergrund	DENW024	45356	Essen	Ecke Hafestraße/Wildstr.	359851	5706977
<b>LOER</b>	Düsseldorf-Lörick	Hintergrund	DENW071	40547	Düsseldorf	Zum Niederkassler Deich	341743	5679982
<b>NETT</b>	Nettetal-Kaldenkirchen	Hintergrund	DENW066	41334	Nettetal	Juiser Feld	304636	5689916
<b>NIZI</b>	Niederzier	Industrie	DENW074	52382	Niederzier	Treibbachstr. (am Feuerwehrgerätehaus)	321990	5639919
<b>SOES</b>	Soest-Ost	Hintergrund	DENW068	59494	Soest	Enkesen Weg	440954	5713633
<b>STYR</b>	Mülheim-Styrum	Hintergrund	DENW038	45476	Mülheim	Neustadtstraße (am Sportplatz)	351664	5702415
<b>VACW</b>	Aachen Wilhelmstraße	Verkehr	DENW207	52070	Aachen	Wilhelmstrasse 22/24	295236	5628617
<b>VDUI</b>	Duisburg Kardinal-Galen Straße	Verkehr	DENW112	47051	Duisburg	Kardinal-Galen Straße	345137	5700854
<b>VKTU</b>	Köln Turiner Straße	Verkehr	DENW212	50668	Köln	Turiner Straße 19	356533	5645947
<b>VWEL</b>	Wuppertal Gathe	Verkehr	DENW189	42107	Wuppertal	Gathe / Wilhelmstraße	370737	5680445
<b>WALS</b>	Duisburg-Walsum	Industrie	DENW034	47179	Duisburg	Sonnenstraße	343799	5710505
<b>WAST</b>	Warstein	Industrie	DENW181	59581	Warstein	Rangetriftweg	455576	5699283
<b>WULA</b>	Wuppertal-Langerfeld	Hintergrund	DENW114	42389	Wuppertal	Am Buchenloh	376676	5682182