

Äquivalenzbericht 2021

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 2021 dokumentiert. Eine Übersicht der Kalibrierfaktoren für die einzelnen Messgeräte ist in Tabelle 1 dargestellt. Eine Veränderung des Faktors gegenüber dem Vorjahr war für APDA 371 Messgeräte im Bereich von $PM_{2,5}$ notwendig.

Tabelle 1: Übersicht der im LUQS-Messnetz für das Jahr 2021 ermittelten Äquivalenzfaktoren (Faktoren des Vorjahres in Klammern)

Parameter	Messtechnik	Faktor
PM_{10}	APDA 371	1,05 - (1,05)
	FIDAS 200e	1,00 - (1,00)
	DURAG F-701-20 ¹	1,08 - (1,08)
	SHARP ²	* - (0,94)
$PM_{2,5}$	APDA 371	1,10 - (1,05)
	FIDAS 200e	0,92 - (0,92)

Allgemeines

Im Messnetz des Landes Nordrhein-Westfalen 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 Referenzverfahren (Richtlinie 2008/50/EG, Anhang VI Abschnitt B).

Aufgabenstellung

Die generelle Gleichwertigkeit der verwendeten Geräte wurde durch die Eignungsprüfung 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 2021 wieder verfolgt, so dass für jeden Gerätetyp ein konstanter Faktor für alle Stationstypen bestimmt werden soll.

Im Nachfolgenden sind für 2021 die Ergebnisse für die fortlaufende Überprüfung nach dem Äquivalenzleitfaden („Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods“)

¹ Die letzten DURAG Messgeräte haben das Messnetz Ende 2021 verlassen.

² Messgeräte der Bauart SHARP sind seit Anfang 2021 nicht mehr im Einsatz.

dargestellt. Vgl. auch Kapitel 8 "Feldbetrieb und laufende Qualitätslenkung" der DIN EN 16450:2017-07.

Automatische Messsysteme (AMS)

Im Messnetz des Landes NRW wurden im Jahr 2021 fünf verschiedene automatische Messeinrichtungen verwendet:

- Das Gerät APDA-371 PM_{2,5} der Firma Horiba Europe GmbH (BAM-1020 der Firma MetOne), im Folgenden APDA 371 genannt, mit Eignungsprüfung TÜV-Rheinland; Bericht: 936/21221789/B
- Das Gerät APDA-371 PM₁₀ der Firma Horiba Europe GmbH (BAM-1020 der Firma MetOne), im Folgenden APDA 371 genannt, mit Eignungsprüfung TÜV-Rheinland; Bericht: 936/21221789/A
- Das Gerät FIDAS 200e PM₁₀ und PM_{2,5} der Firma der Firma Palas GmbH (APDA-372 E der Firma Horiba), im Folgenden FIDAS 200e genannt, mit Eignungsprüfung TÜV-Rheinland; Bericht: 936/21227195/C
- Das Gerät F-701-20 PM₁₀ der Firma DURAG GmbH, im Folgenden DURAG F-701-20 genannt, mit Eignungsprüfung TÜV-Süd Bericht-Nr. 720 349

Die automatischen Messeinrichtungen wurden jeweils entsprechend der in der Bedienungsanleitung beschriebenen Parameter betrieben. Service- und Wartungsarbeiten wurden ebenfalls entsprechend der Angaben in der Bedienungsanleitung durchgeführt.

Referenzmessverfahren

Das von der EU festgelegte Referenzverfahren zur Messung von PM₁₀ ist das gravimetrische Verfahren nach der Europannorm EN 12341. Das Messprinzip besteht darin, Außenluft über 24 Stunden durch ein vorgewogenes und konditioniertes Filter zu leiten, das 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 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 2021 insgesamt an 58 Stationen PM₁₀ Messungen und an 37 Stationen PM_{2,5} Messungen durchgeführt. Für die Bestimmung der Faktoren und den Nachweis der Äquivalenz für das Jahr 2021 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 von AMS und Referenzverfahren für die drei vorangegangenen Jahre (2019-2021) 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 Anzahl der automatischen Mess-Systeme (AMS) 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.

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 2021 verfügbaren Parallelmessungen sind in Tabelle 3 aufgeführt. Das PM_{10} -DURAG F-701-20 wird ab 2022 nicht mehr im Messnetz eingesetzt.

Tabelle 3: Übersicht der Messungen mit Referenzverfahren und AMS im Jahr 2021

	AMS	$W_{AMS}, \%$	Parallelmessungen		Vorgabe erfüllt
	gesamt		Ist	Soll	
PM_{10}	58	-	18	-	-
PM_{10} APDA 371	31	≤ 10	9	2	Ja
PM_{10} FIDAS 200e	25	≤ 10	7	2	Ja
PM_{10} DURAG F-701-20	2	≤ 10	2	2	Ja
$PM_{2,5}$	37	-	9	-	-
$PM_{2,5}$ APDA 371	12	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	3	2	Ja
$PM_{2,5}$ FIDAS 200e	25	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	6	2	Ja

Im Jahr 2022 kommen außerdem zwei PM_{10} APDA 371 und eine PM_{10} FIDAS 200e Vergleichsmessung hinzu.

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.

Analog zum Äquivalenzleitfaden wurden die jeweiligen Parameter 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 11 im folgenden Kapitel. Eine Veränderung der Faktoren gegenüber dem Vorjahr war für PM_{10} nicht erforderlich. Im Falle von $PM_{2.5}$ war eine Veränderung des Faktors gegenüber dem Vorjahr nur für APDA 371 Messgeräte 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. Die Beseitigung der Ausreißer führt in der Regel zu einer kleineren erweiterten Messunsicherheit. Die Ausreißer wurden mit Hilfe der Ausreißererkenung 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 im Messjahr 2013 alle TEOM-FDMS-Geräte durch andere Messtechniken ersetzt.³

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.

³ 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

Wenn die Steigung b für den gesamten Datensatz sich signifikant von 1 unterscheidet und ihr Wert nicht $0,980 \leq b \leq 1,020$ ist, ist eine Kalibrierung erforderlich. Besteht allerdings kaum Optimierungspotential, d.h. der Äquivalenztests liefert für die erweiterte Messunsicherheit vor Kalibrierung und nach Kalibrierung kaum 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 angestrebt den Faktor erst bei Veränderungen von 0,05 zu ändern. Es liegt allerdings im Ermessen des Bearbeiters von dieser Konvention abzuweichen.

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 dann der Äquivalenz-Test erneut durchgeführt wird. Dafür gibt es verschiedene Methoden:

- Robuste Methode: Mittelwert des Quotienten der Mittelwerte von CM und 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 also aus dem Gesamtdatensatz ohne Faktor mithilfe des Datenblatts ermittelt, wobei die Gerade nicht durch Null gezwungen wird. Um nicht jedes Jahr geringfügige Änderungen machen zu müssen, soll der Faktor nach Möglichkeit auf 0,05er Schritte gerundet werden. Es liegt allerdings im Ermessen des Bearbeiters von dieser Konvention abzuweichen. Im Hinblick auf die Bedeutung des Faktors für die PM_{10} -Überschreitungstage und den Jahresgrenzwert nach EU-Luftqualitätsrichtlinien, wird der Faktor im Zweifelsfall eher konservativ angesetzt. Die Kalibrierung wird auf den gesamten Datensatz angewandt und dann der Äquivalenztest erneut durchgeführt.

Detailauswertung für das Jahr 2021

PM_{10}

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 BORG und DDCS und die Station BORG liegt der Achsenabschnitt im akzeptablen Bereich ($< \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die Wertepaare $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zeigen zwar einen auffälligen Achsenabschnitt (-4,051), aber die erweiterte Messunsicherheit wird eingehalten und auch die graphische Darstellung zeigt keine Auffälligkeiten für

die höchsten Konzentrationen. Die Steigung und der Achsenabschnitt des Gesamtdatensatzes erfüllen die festgelegten Kriterien, weshalb eine Kalibrierung nicht erforderlich ist.

Tabelle 4: PM₁₀ Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktors von 1,05.⁴

APDA 371 mit Faktor 1,05	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value 50 µg/m ³	
				N	R ²	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	W _{CM} / %	% > 28 µg/m ³
Individual Datasets	BIEL	234	0	234	0,955	0,964 +/- 0,013	0,855 +/- 0,209	6,24	4,7
	BORG	224	17	207	0,909	0,995 +/- 0,021	2,515 +/- 0,363	13,30	5,3
	BOTT	1076	9	1067	0,941	0,952 +/- 0,007	2,054 +/- 0,136	7,20	10,7
	BUCH	363	6	357	0,940	0,989 +/- 0,013	0,024 +/- 0,228	7,51	7,8
	CHOR	538	7	531	0,945	0,982 +/- 0,010	1,590 +/- 0,171	7,82	7,2
	DDCS	122	6	116	0,931	1,016 +/- 0,025	-2,414 +/- 0,553	10,37	12,9
	DMD2	530	17	513	0,878	1,050 +/- 0,016	-0,326 +/- 0,285	14,38	7,8
	VDUI	1068	19	1049	0,924	1,014 +/- 0,009	-0,312 +/- 0,177	9,45	12,4
	VWEL	725	8	717	0,925	0,995 +/- 0,010	1,637 +/- 0,204	9,96	10,5
WALS	523	3	520	0,917	0,955 +/- 0,012	1,965 +/- 0,232	8,63	12,5	
Combined datasets	≥ 30 µg/m ³	446	43	403	0,832	1,101 +/- 0,022	-4,051 +/- 0,844	13,19	100,0
	All Data	5403	92 (1,7%)	5311	0,918	0,989 +/- 0,004	0,969 +/- 0,074	9,23	9,9

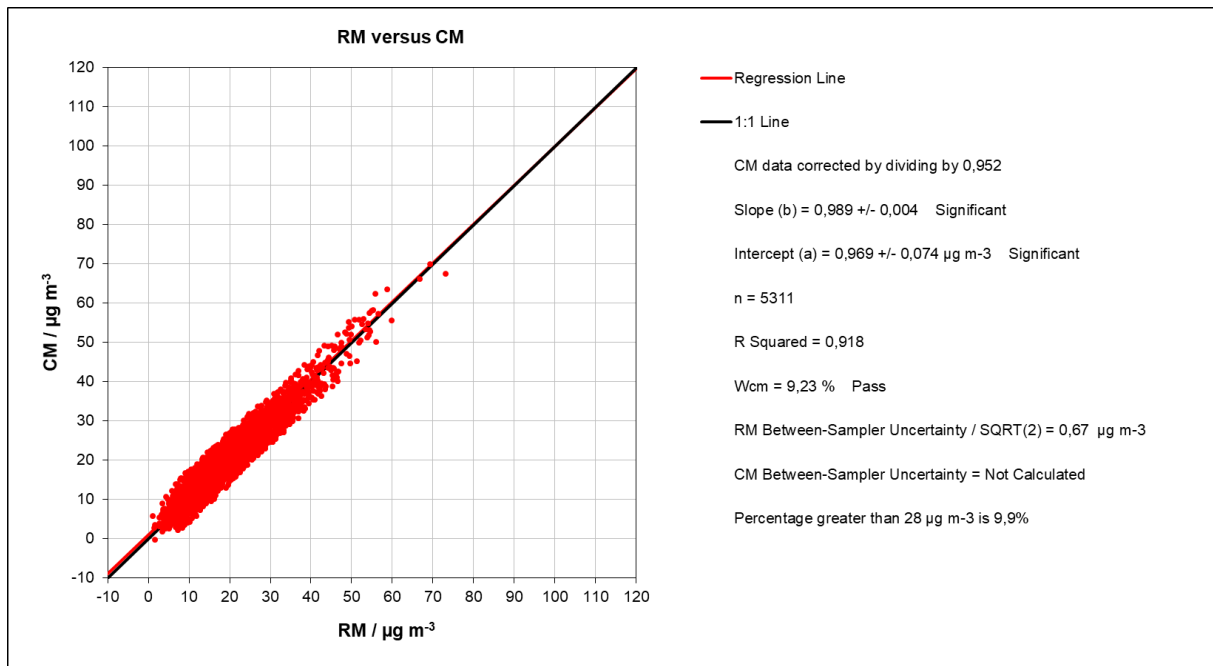


Abbildung 1: Orthogonale Regression APDA 371 PM₁₀, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 1,05.

4

BIEL: APDA 371 seit 09.09.2020
 BORG: APDA 371 von 01.09.2020 bis 08.12.2021
 BUCH: keine Vergleichsmessung mehr seit 2021
 DDCS: APDA 371 von 15.03.2021 bis 20.07.2021

FIDAS 200e

Bei den FIDAS 200e Geräten lag der Faktor im Vorjahr bei 1,00. Mit dem Vorjahresfaktor wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für das gesamte Datenkollektiv, für alle Einzelstationen sowie für den Bereich der Konzentrationen oberhalb von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eingehalten. Auch der Achsenabschnitt und die Steigung des Gesamtdatensatzes erfüllen die festgelegten Kriterien. Aus diesem Grund ist keine Kalibrierung nötig, der Faktor für das Jahr 2022 bleibt unverändert. Der Achsenabschnitt war sowohl für das gesamte Datenkollektiv als auch für alle Subsets unauffällig ($< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Lediglich die Konzentrationen $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zeigen einen erhöhten Achsenabschnitt. Allerdings wird die erweiterte Messunsicherheit eingehalten und auch die graphische Darstellung zeigt keine Auffälligkeiten für die höchsten Konzentrationen.

An manchen Stationen ist eine erhöhte erweiterte Messunsicherheit zu erkennen, die aber in einem tolerierbaren Maß liegt. Dies deutet auf eine Standortabhängigkeit des Messgerätes hin, und war bereits in den Vorjahren zu beobachten.

Tabelle 5: PM₁₀ Äquivalenzauswertung für die mit FIDAS 200e ausgerüsteten Stationen ohne Verwendung eines Faktors. ⁵

FIDAS 200e Faktor 1,0	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
				N	R ²	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	W _{CM} / %	% > $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Individual Datasets	DDCS	161	0	161	0,937	0,995 +/- 0,020	-1,048 +/- 0,414	8,83	13,0
	DMD2	535	8	527	0,948	1,068 +/- 0,011	-0,179 +/- 0,192	15,08	8,3
	EIFE	535	3	532	0,943	1,097 +/- 0,011	0,447 +/- 0,113	21,85	1,1
	NIZI	720	40	680	0,949	1,013 +/- 0,009	-0,238 +/- 0,185	10,10	17,6
	STYR	702	13	689	0,938	1,083 +/- 0,010	-0,214 +/- 0,171	17,48	6,1
	VACW	671	3	668	0,937	1,027 +/- 0,010	-1,765 +/- 0,186	7,84	8,2
	VKTU	1082	15	1067	0,941	1,012 +/- 0,008	-1,242 +/- 0,137	7,64	7,1
Combined Datasets	$\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	344	53	291	0,785	1,093 +/- 0,029	-3,630 +/- 1,125	15,98	100,0
	All Data	4406	82 (1,86%)	4324	0,934	1,013 +/- 0,004	-0,285 +/- 0,070	8,87	8,4

Abbildung 2 zeigt die Resultate bereinigt um 82 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 1,86%.

⁵

DDCS: seit 20.07.2021 FIDAS 200e

STYR: seit 21.01.2020 FIDAS 200e

VACW: seit 07.02.2020 FIDAS 200e

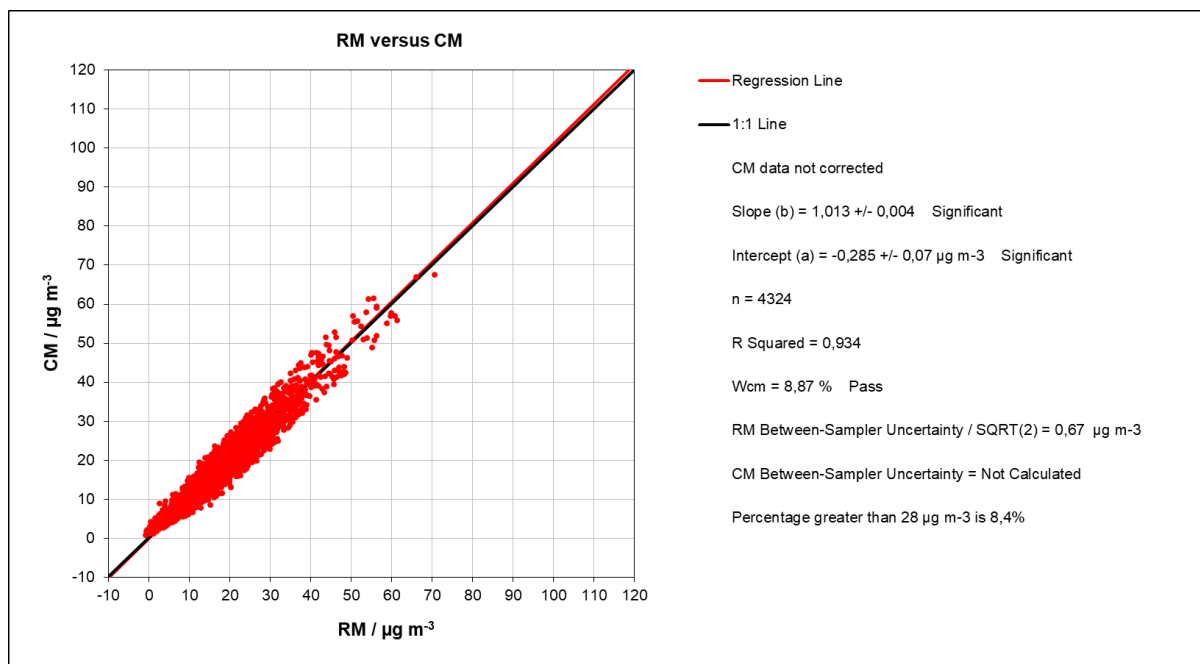


Abbildung 2: Orthogonale Regression FIDAS 200e PM10, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) ohne Faktor.

DURAG F-701-20

Unter Verwendung des Vorjahresfaktors von 1,08 wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für das gesamte Datenkollektiv, für die Einzelstationen DUB2 und STYR sowie für den Bereich der Konzentrationen oberhalb von 30 µg/m³ eingehalten. Einzig die Station SOES überschreitet das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit deutlich. Die folgenden Tabellen zeigen die Resultate bereinigt um 36 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 1,45%.

Tabelle 6: PM₁₀ Äquivalenzauswertung für die mit DURAG F-701-20 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 1,08.⁶

DURAG F-701-20 mit Faktor 1,08	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression						Limit Value 50 µg/m ³	
				N	R ²	Slope (b) +/- ub		Intercept (a) +/- ua		W _{CM} / %	> 28 µg/m ³
Individual Datasets	DUB2	1055	15	1040	0,925	0,993	+/- 0,008	-0,245	+/- 0,195	10,12	19,9
	SOES	1047	12	1035	0,896	0,895	+/- 0,009	-1,080	+/- 0,134	26,41	3,5
	STYR	374	9	365	0,943	1,052	+/- 0,013	0,433	+/- 0,235	14,37	8,5
Combined Datasets	≥ 30 µg/m ³	232	10	222	0,733	1,095	+/- 0,038	-4,710	+/- 1,431	15,76	100,0
	All Data	2476	36 (1,45%)	2440	0,915	1,029	+/- 0,006	-1,509	+/- 0,117	10,69	11,2

Auch mit einer Kalibrierung konnte der Datensatz von SOES nicht in Übereinstimmung mit den anderen Datensätzen gebracht werden. Eine Befragung der Kollegen hat zutage gefördert, dass es sich um ein bekanntes Problem handelt. Das Gerät hatte während des Jahres immer wieder Probleme gemacht. Es zeigte eine große Streuung, welche besonders aufgrund der niedrigen Konzentrationen an diesem Standort als problematisch für die Mittelwertbildung bei den Stunden und Tagesmittelwerten gesehen wurde. Die hier verwendeten Tagesmittelwerte wurden daher als nicht gesichert bewertet. Aufgrund dieser Tatsache wird der Standort aus dem Datensatz entfernt.

⁶ STYR: bis 20.01.2020 DURAG F-701-20, seit 21.01.2020 FIDAS 200e

Tabelle 7 zeigt den bereinigten Datensatz ohne die Messstation SOES. Alle Teildatensätze sowie der Gesamtdatensatz erfüllen nun das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit. Da sowohl die Steigung als auch der Achsenabschnitt des Gesamtdatensatzes die festgelegten Kriterien erfüllen, ist eine Faktor Anpassung nicht erforderlich. Der Achsenabschnitt ist auch für alle einzelnen Stationen unauffällig ($< 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die Wertepaare $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zeigen einen akzeptablen Achsenabschnitt.

Tabelle 7: PM₁₀ Äquivalenzauswertung für die mit DURAG F-701-20 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 1,08 ohne Berücksichtigung der Station SOES.

DURAG F-701-20 mit Faktor 1,08	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				N	R ²	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	W _{CM} / %	% > 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Individual Datasets	DUB2	1055	14	1041	0,923	0,991 +/- 0,009	-0,202 +/- 0,197	10,21	19,8
	STYR	374	8	366	0,942	1,055 +/- 0,013	0,391 +/- 0,239	14,95	8,5
Combined Datasets	$\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	200	9	191	0,770	1,061 +/- 0,037	-2,779 +/- 1,400	14,22	100,0
	All Data	1429	22 (1,54%)	1407	0,924	0,988 +/- 0,007	0,284 +/- 0,159	9,90	16,8

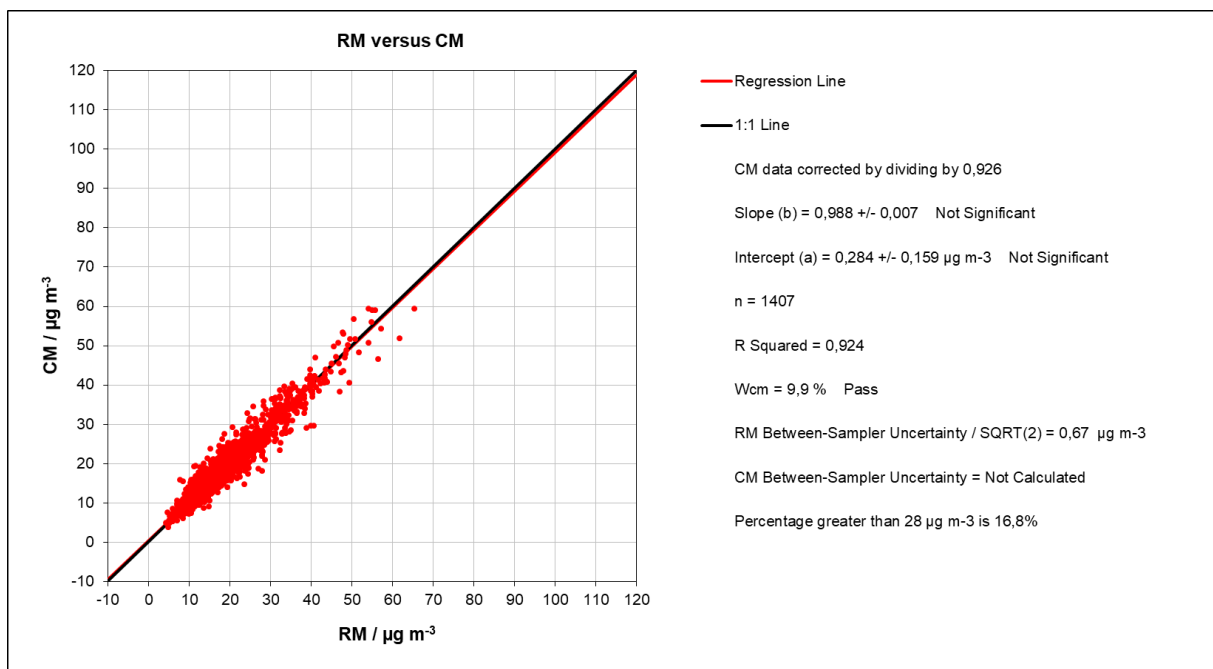


Abbildung 3: Orthogonale Regression DURAG F-701-20 PM₁₀ gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 1,08

PM_{2,5}**APDA 371**

Unter Verwendung des Vorjahresfaktors von 1,05 wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für alle Datensätze eingehalten. Allerdings erfüllt die Steigung des Gesamtdatensatzes nicht die festgelegten Kriterien, weshalb eine Kalibrierung nötig ist.

Tabelle 8: PM_{2,5} Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 1,05.⁷

APDA 371 mit Faktor 1,05	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m ³	
				N	R ²	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 17 µg/m ³
Individual Datasets	ELAN	1082	19	1063	0,920	0,948 +/- 0,008	1,307 +/- 0,085	9,47	7,8
	EVOG	1062	23	1039	0,928	0,980 +/- 0,008	0,606 +/- 0,109	10,67	16,7
	LOER	618	10	608	0,888	1,022 +/- 0,014	0,298 +/- 0,149	12,45	8,9
Combined Datasets	≥ 18 µg/m ³	296	27	269	0,818	1,085 +/- 0,028	-2,511 +/- 0,683	15,94	100,0
	All Data	2762	52 (1,88%)	2710	0,920	0,969 +/- 0,005	0,906 +/- 0,061	10,22	11,4

Zur Bestimmung eines neuen Faktors wird der Äquivalenztest zunächst ohne Korrektur durchgeführt (s. Tabelle 9). Ohne Verwendung eines Faktors wird die erweiterte Messunsicherheit bei allen Subsets eingehalten, und verschlechtert sich für den Gesamtdatensatz deutlich. Der Achsenabschnitt erfüllt die Kriterien, d.h. nur eine Korrektur der Steigung mit einem Faktor von 1,09 müsste durchgeführt werden. Da der Faktor per Konvention möglichst in 0,05er Schritten geändert werden soll, wird eine Kalibrierung mit einem Faktor von 1,10 durchgeführt. Dies trägt auch dem konservativen Ansatz Rechnung.

Die Erhöhung des Faktors über die letzten Jahre ist auf den Wechsel des Filterbandfabrikats zurückzuführen.

Tabelle 9: PM_{2,5} Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen ohne Faktor.

APDA 371 ohne Faktor	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m ³	
				N	R ²	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	WCM / %	% > 17 µg/m ³
Individual Datasets	ELAN	1082	19	1063	0,920	0,901 +/- 0,008	1,260 +/- 0,080	14,34	7,8
	EVOG	1062	23	1039	0,928	0,931 +/- 0,008	0,597 +/- 0,104	14,01	16,7
	LOER	618	10	608	0,888	0,970 +/- 0,013	0,311 +/- 0,142	10,78	8,9
Combined Datasets	≥ 18 µg/m ³	296	27	269	0,818	1,028 +/- 0,027	-2,266 +/- 0,651	17,82	100,0
	All Data	2762	52 (1,88%)	2710	0,920	0,921 +/- 0,005	0,881 +/- 0,058	13,86	11,4

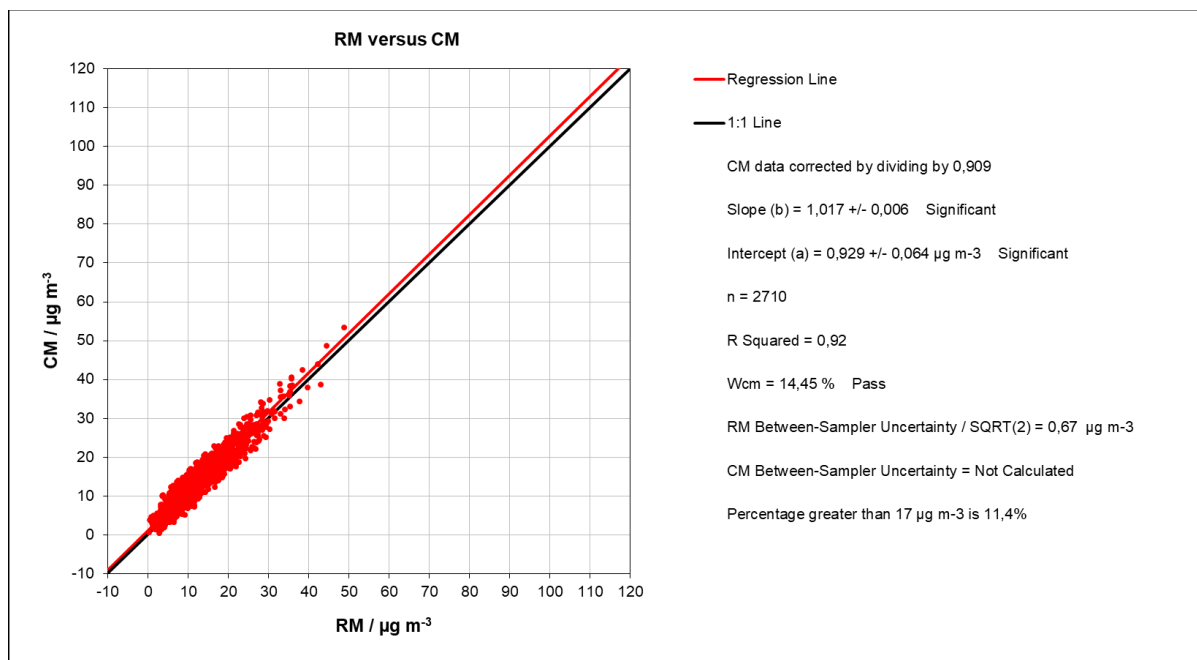
Die nachfolgende Tabelle und das dazugehörige Diagramm zeigen welchen Einfluss ein geänderter Faktor auf die Steigung und den Achsenabschnitt der Gerade hat.

⁷

LOER: seit 19.03.2020 APDA 371

Tabelle 10: PM_{2,5} Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Faktors von 1,10.

APDA 371 mit Faktor 1,10	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m ³	
				N	R ²	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	W _{CM} / %	% > 17 µg/m ³
Individual Datasets	ELAN	1082	19	1063	0,920	0,995 +/- 0,009	1,352 +/- 0,089	12,78	7,8
	EVOG	1062	23	1039	0,928	1,028 +/- 0,009	0,614 +/- 0,114	14,90	16,7
	LOER	618	10	608	0,888	1,074 +/- 0,015	0,283 +/- 0,157	20,10	8,9
Combined Datasets	≥ 18 µg/m ³	296	27	269	0,818	1,142 +/- 0,029	-2,762 +/- 0,716	19,56	100,0
	All Data	2762	52 (1,88%)	2710	0,920	1,017 +/- 0,006	0,929 +/- 0,064	14,45	11,4

Abbildung 2: Orthogonale Regression APDA 371 PM_{2,5} gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 1,10.

Zwar verschlechtert sich die erweiterte Messunsicherheit nach einer Kalibrierung, jedoch in einem, zulässigem Maß. Zudem zeigt die Tabelle die Ergebnisse für das gesamte Datenkollektiv bereinigt um 52 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 1,88% und erfüllt somit die im Äquivalenzleitfaden definierten Kriterien. Für alle Stationen war der Achsenabschnitt unauffällig ($< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

FIDAS 200e

Unter Verwendung eines Faktors von 0,92 wird das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für alle Datensätze eingehalten. Gegenüber dem Vorjahr bleibt die erweiterte Messunsicherheit auf ähnlichem Niveau, dies gilt auch für alle Anforderungen an die Steigung und den Achsenabschnitt. Die nachfolgende Tabelle und Abbildung zeigen die Resultate für das gesamte Datenkollektiv bereinigt um 38 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 0,98% und erfüllt somit die im Äquivalenzleitfaden festgelegten Kriterien. Für das Messgerät dieser Bauart ist zunächst keine weitere Anpassung des Faktors erforderlich, sodass er unverändert bei 0,92 bleibt. Auch hier lässt sich eine leichte Standortabhängigkeit erkennen, die allerdings noch keiner Korrektur bedarf.

Tabelle 11: PM_{2,5} Äquivalenzauswertung für die mit FIDAS 200e ausgerüsteten Stationen mit Verwendung eines Faktors von 0,92.⁸

Fidas 200e mit Faktor 0,92	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression						Limit Value of $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				N	R ²	Slope (b) +/- u _b		Intercept (a) +/- u _a		W _{CM} / %	% > $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Individual Datasets	DDCS	161	0	161	0,930	0,996	+/- 0,021	-1,021	+/- 0,271	11,58	15,5
	DMD2	1075	7	1068	0,936	0,980	+/- 0,008	-0,453	+/- 0,095	11,88	14,0
	EIFE	534	1	533	0,917	0,964	+/- 0,012	0,134	+/- 0,092	9,45	3,4
	EVOG	1057	25	1032	0,923	1,011	+/- 0,009	-0,998	+/- 0,115	11,96	16,4
	STYR	341	4	337	0,933	1,031	+/- 0,015	-1,127	+/- 0,177	9,47	13,6
	WULA	701	1	700	0,923	1,017	+/- 0,011	-0,753	+/- 0,113	8,15	7,9
Combined Datasets	$\geq \mu\text{g}/\text{m}^3$	417	27	390	0,844	1,004	+/- 0,020	-1,164	+/- 0,484	14,69	100,0
	All Data	3869	38 (0,98%)	3831	0,931	0,987	+/- 0,004	-0,528	+/- 0,049	11,26	12,1

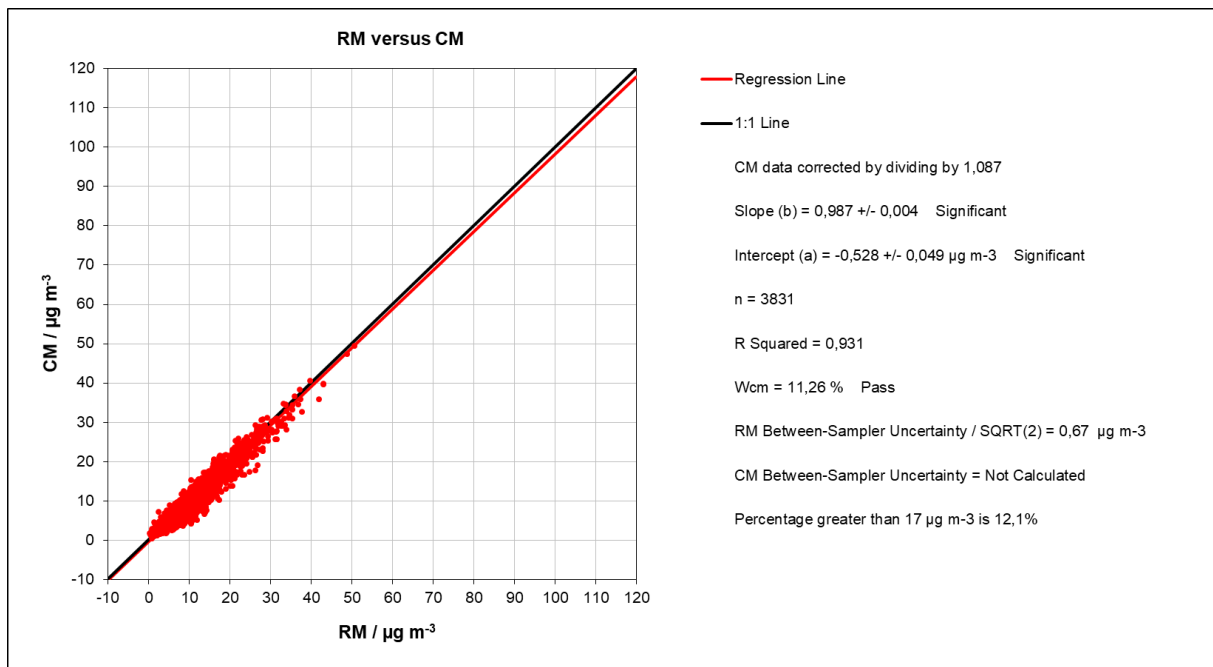


Abbildung 3: Orthogonale Regression FIDAS 200e PM_{2,5} gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 0,92.

8

DDCS: seit 20.07.2021 FIDAS 200e
 STYR: seit 21.01.2020 FIDAS 200e
 WULA: seit 22.01.2020 FIDAS 200e