

Äquivalenzbericht 2020

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 2020 dokumentiert. Eine Übersicht der Kalibrierfaktoren für die einzelnen Messgeräte ist in Tabelle 1 dargestellt. Eine Veränderung der Faktoren gegenüber dem Vorjahr war für PM_{10} nur für die APDA 371 Messgeräte nötig. Im Falle von $PM_{2,5}$ wurden für alle Geräte neue Faktoren bestimmt.

Tabelle 1: Übersicht der im LUQS-Messnetz für das Jahr 2020 ermittelten Äquivalenz-Faktoren (Faktoren des Vorjahres in Klammern)

Parameter	Messtechnik	Faktor
PM_{10}	APDA 371	1,05 (1,00)
	APDA 372 E	1,00 (1,00)
	DURAG F-701-20	1,08 (1,08)
	SHARP	0,94 (0,94)
$PM_{2,5}$	APDA 371	1,05 (1,00)
	APDA 372 E	0,92 (0,95)

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 2020 wieder verfolgt, so dass für jeden Gerätetyp ein konstanter Faktor für alle Stationstypen bestimmt werden soll.

Im Nachfolgenden sind für 2020 die Ergebnisse für die fortlaufende Überprüfung nach dem Äquivalenzleitfaden (Guide to the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods) 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 2020 sechs verschiedene automatische Messeinrichtungen verwendet:

- Das Gerät 5030 SHARP PM₁₀ der Firma Thermo Fischer Scientific, im Folgenden SHARP genannt, mit Eignungsprüfung TÜV-Rheinland; Bericht: 936/21209885/G
- 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 APDA-372 E PM₁₀ und PM_{2,5} der Firma Horiba Europe GmbH (Fidas 200 der Firma Palas), im Folgenden APDA 372 E genannt, mit Eignungsprüfung TÜV-Rheinland; Bericht: 936/21226418/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 2020 an 55 Stationen PM₁₀ Messungen und an 22 Stationen PM_{2,5} Messungen durchgeführt. Für die Bestimmung der Faktoren und den Nachweis der Äquivalenz für das Jahr 2020 wurden an den Stationen mit Parallelmessungen von AMS und Referenz-Verfahren 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 (2018-2020) 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 Referenz-Verfahren (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 mit APDA 371, DURAG F-701-20 und mit SHARP lag die Unsicherheit zwischen 10 und 15% und bei den PM_{10} -APDA 372 E Messungen lag die Unsicherheit kleiner 10%. Die daraus abzuleitende Anzahl der erforderlichen Parallelmessungen und die im Jahr 2020 verfügbaren Parallelmessungen sind in Tabelle 3 aufgeführt. Die Vorgabe für die Anzahl an Vergleichsmessungen wurde bei PM_{10} -SHARP nicht eingehalten. Neben dem PM_{10} -DURAG F-701-20 wird das PM_{10} -SHARP in Zukunft aber nicht mehr im Messnetz verwendet, weshalb sich eine Beseitigung des Mangels erübrigt.

Tabelle 3: Übersicht der Messungen mit Referenzverfahren und AMS im Jahr 2020

	AMS	$W_{AMS}, \%$	Parallelmessungen		Vorgabe erfüllt
	gesamt		Ist	Soll	
PM_{10}	55	-	15	-	-
PM_{10} APDA 371	28	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	6	3	Ja
PM_{10} APDA 372 E	10	≤ 10	6	2	Ja
PM_{10} DURAG F-701-20	3	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	2	2	Ja
PM_{10} SHARP	14	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	1	2	Nein
$PM_{2,5}$	22	-	8	-	-
$PM_{2,5}$ APDA 371	12	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	3	2	Ja
$PM_{2,5}$ APDA 372 E	10	$> 10 \text{ bis } \leq 15$	5	2	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.

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 14 im folgenden Kapitel. Eine Veränderung der Faktoren gegenüber dem Vorjahr war für PM_{10} nur für die APDA 371 Messgeräte nötig. Im Falle von $PM_{2.5}$ wurden für alle Geräte neue Faktoren bestimmt.

Das Tool

Der Äquivalenztest erfolgte mit Hilfe des RIVM-spreadsheets (Version 3.0) für die verschiedenen Geräte. Sofern ein Vorjahresfaktor vorhanden war wurde der Tests 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 Ausreißerererkennung des spreadsheets 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.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

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, sprich 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 Spreadsheet ermittelt werden
- Faktor des Gesamtdatensatzes (korrigiert um Ausreißer, ohne Faktor), der mit dem Spreadsheet 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 Spreadsheets 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 PM₁₀-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 2020

PM₁₀

APDA 371

Bei den APDA 371 Geräten lag der Faktor im Vorjahr bei 1,00. Mit dem Vorjahresfaktor wird für den Gesamtdatensatz und alle Subsets das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit eingehalten. Die Achsenabschnitte sind unauffällig ($< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), bis auf die Konzentrationen $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bei denen der Achsenabschnitt im akzeptablen Bereich ($< \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) liegt. Allerdings erfüllt die Steigung des

Gesamtdatensatzes nicht die festgelegten Kriterien, weshalb eine Kalibrierung nötig ist. Zwar verbessert sich die erweiterten Messunsicherheit nach Kalibrierung nur geringfügig (s. Tabelle 5 und Abbildung 2), allerdings ist die Änderung des Faktors $\geq 0,05$, daher wird eine Kalibrierung mit einem Faktor von 1,05 durchgeführt. Diese Tendenz hatte sich bereits im letzten Jahr abgezeichnet, außerdem wird damit dem konservativen Ansatz im Hinblick auf Überschreitungstage Rechnung getragen.

Tabelle 4: PM10 Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 1,00.²

APDA 371 ohne Faktor	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 µg/m³	
				N	R²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 28 µg/m³
Individual Datasets	BOTT	1079	13	1066	0,935	0,892 +/- 0,007	1,938 +/- 0,145	15,76	13,4
	BUCH	543	8	535	0,922	0,950 +/- 0,012	0,249 +/- 0,216	12,15	8,6
	CHOR	538	10	528	0,913	0,954 +/- 0,012	1,614 +/- 0,221	9,54	7,4
	DMD2	526	14	512	0,916	0,960 +/- 0,012	-0,361 +/- 0,240	13,63	11,3
	VDUI	1065	12	1053	0,931	0,953 +/- 0,008	-0,987 +/- 0,166	16,10	15,7
	VMGR	363	6	357	0,942	0,959 +/- 0,012	0,011 +/- 0,258	11,60	12,9
	VWEL	903	21	882	0,934	0,974 +/- 0,008	1,946 +/- 0,180	8,52	12,8
WALS	341	2	339	0,892	0,919 +/- 0,017	1,522 +/- 0,317	13,63	11,5	
Combined Datasets	$\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	551	43	508	0,848	1,007 +/- 0,017	-2,502 +/- 0,674	14,99	100,0
	All Data	5358	86 (1,61%)	5272	0,911	0,952 +/- 0,004	0,613 +/- 0,080	12,12	12,3

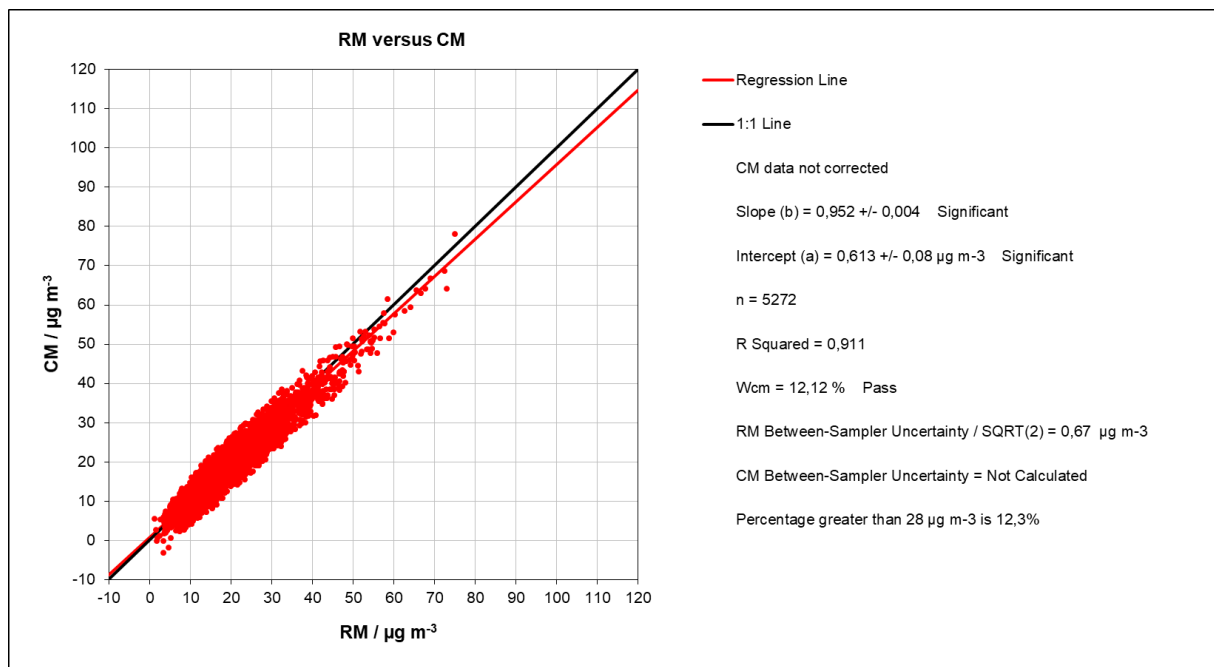


Abbildung 1: Orthogonale Regression APDA 371 PM₁₀, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) ohne Faktor

²

VMGR: seit 2019 keine Vergleichsmessung mehr

WALS: APDA 371 seit 09.02.2019

Mit dem Faktor von 1,05 wird für alle Subsets das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit eingehalten. Die Achsenabschnitte sind unauffällig ($< \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), bis auf die Konzentrationen $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bei denen der Achsenabschnitt im akzeptablen Bereich ($< \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) liegt. Die Steigung und der Achsenabschnitt des Gesamtdatensatzes erfüllen die festgelegten Kriterien. Der Faktor wird mit 1,05 festgelegt.

Tabelle 5: PM10 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 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				N	R ²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Individual Datasets	BOTT	1079	13	1066	0,935	0,938 +/- 0,007	2,006 +/- 0,152	9,06	13,4
	BUCH	543	8	535	0,922	1,000 +/- 0,012	0,228 +/- 0,226	8,77	8,6
	CHOR	538	10	528	0,913	1,004 +/- 0,013	1,658 +/- 0,233	12,13	7,4
	DMD2	526	14	512	0,916	1,010 +/- 0,013	-0,417 +/- 0,252	10,40	11,3
	VDUI	1065	13	1052	0,931	1,004 +/- 0,008	-1,090 +/- 0,175	10,19	15,6
	VMGR	363	6	357	0,942	1,008 +/- 0,013	-0,017 +/- 0,271	8,75	12,9
	VWEL	903	19	884	0,934	1,028 +/- 0,009	1,956 +/- 0,190	15,92	13,0
WALS	341	2	339	0,892	0,968 +/- 0,017	1,550 +/- 0,332	9,66	11,5	
Combined Datasets	$\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	551	42	509	0,846	1,064 +/- 0,018	-2,825 +/- 0,712	13,22	100,0
	All Data	5358	85 (1,59%)	5273	0,911	1,003 +/- 0,004	0,583 +/- 0,084	10,66	12,3

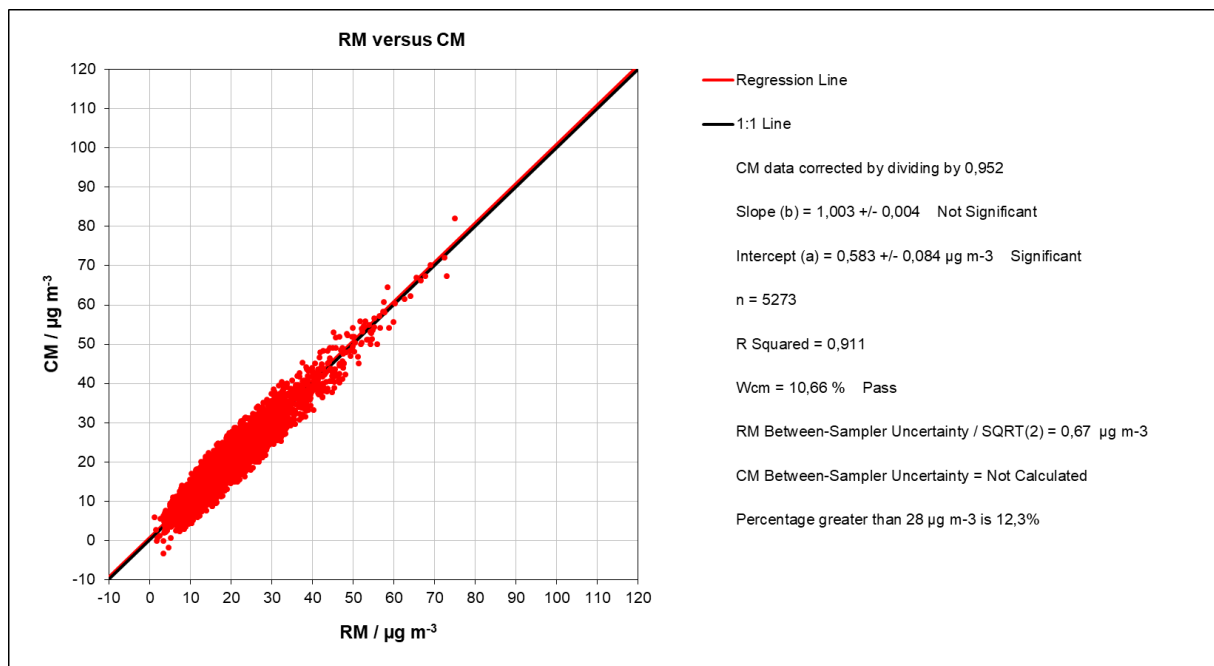


Abbildung 2: Orthogonale Regression APDA 371 PM₁₀, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 1,05

APDA 372 E

Bei den APDA 372 E Geräten lag der Faktor im Vorjahr bei 1,00. Mit dem Vorjahresfaktor wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für das gesamte Datenkollektiv, für alle Einzel-Stationen 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. Weiterhin ist aber eine Tendenz Richtung Standortabhängigkeit zu sehen. Abbildung 3 zeigt die Resultate bereinigt um 57 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 2,06%. Der Achsenabschnitt war sowohl für das gesamte Datenkollektiv als auch für alle Subsets unauffällig ($< 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabelle 6: PM10 Äquivalenzauswertung für die mit APDA 372 E ausgerüsteten Stationen ohne Verwendung eines Faktors.³

APDA 372 E ohne Faktor	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				N	R ²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Individual Datasets	DMD2	377	8	369	0,945	1,061 +/- 0,013	-0,438 +/- 0,237	13,12	9,2
	EIFE	373	2	371	0,946	1,088 +/- 0,013	0,255 +/- 0,132	19,34	0,8
	NIZI	581	27	554	0,960	0,990 +/- 0,008	-0,448 +/- 0,189	10,14	21,5
	STYR	342	11	331	0,937	1,083 +/- 0,015	-0,486 +/- 0,243	16,41	5,4
	VACW	325	0	325	0,944	1,072 +/- 0,014	-2,227 +/- 0,256	9,16	7,7
	VKTU	763	9	754	0,936	1,005 +/- 0,009	-1,260 +/- 0,171	8,63	7,6
Combined Datasets	$\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	249	38	211	0,797	1,017 +/- 0,032	-1,262 +/- 1,231	15,24	100,0
	All Data	2761	57 (2,06%)	2704	0,943	1,003 +/- 0,005	-0,335 +/- 0,083	8,54	9,5

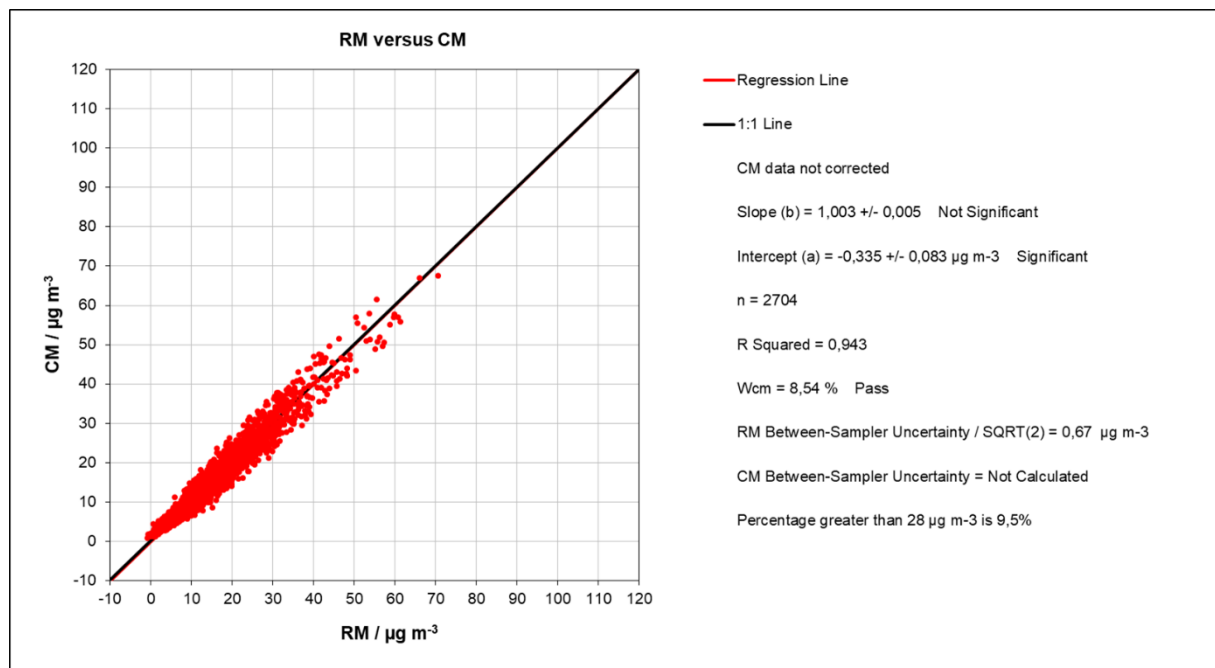


Abbildung 3: Orthogonale Regression APDA 372 E PM₁₀, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) ohne Faktor

3

DMD2: seit 15.11.2018 APDA 372E
 EIFE: bis 30.11.2018 SHARP, seit 02.12.2018 APDA 372E
 NIZI: bis 20.11.2018 SHARP, seit 23.11.2018 APDA 372E
 STYR: seit 21.01.2020 APDA 372E
 VACW: seit 07.02.2020 APDA 372E
 VKTU: bis 18.11.2018 SHARP, seit 20.11.2018 APDA 372E

DURAG F-701-20

Unter Verwendung des Vorjahresfaktors (1,08) wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für das gesamte Datenkollektiv, für alle Einzel-Stationen sowie für den Bereich der Konzentrationen oberhalb von 30 µg/m³ eingehalten. Die folgenden Abbildungen zeigen die Resultate bereinigt um 67 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 2,22%. Allerdings erfüllen die Steigung und der Achsenabschnitt des Gesamtdatensatzes nicht die festgelegten Kriterien, weshalb eigentlich eine Kalibrierung nötig wäre. Der Achsenabschnitt war auch für alle Einzel-Stationen unauffällig (<2 µg/m³). Die Wertepaare ≥ 30 µg/m³ zeigen zwar einen auffälligen Achsenabschnitt (-4,109), aber die erweiterte Messunsicherheit wird eingehalten und auch die graphische Darstellung zeigt keine Auffälligkeiten für die höchsten Konzentrationen (s. Abbildung 4).

Tabelle 7: PM10 Äquivalenzauswertung für die mit DURAG F-701-20 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 1,08.⁴

DURAG F-701-20 Mit Faktor 1,08	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 µg/m³	
				N	R²	Slope (b) +/- ub	Intercept (a) +/- ua	W _{CM} / %	% > 28 µg/m³
Individual Datasets	DUB2	1078	17	1061	0,927	1,000 +/- 0,008	-0,524 +/- 0,204	10,71	24,0
	SOES	1036	14	1022	0,882	0,940 +/- 0,010	-1,390 +/- 0,165	20,24	5,4
	STYR	729	30	699	0,937	1,065 +/- 0,010	0,554 +/- 0,193	17,62	10,0
	WALS	179	6	173	0,907	0,896 +/- 0,021	1,306 +/- 0,461	18,39	16,2
Combined Datasets	≥ 30 µg/m³	354	30	324	0,764	1,080 +/- 0,029	-4,109 +/- 1,130	16,41	100,0
	All Data	3022	67 (2,22%)	2955	0,907	1,026 +/- 0,006	-1,100 +/- 0,118	11,89	13,8



Abbildung 4: Orthogonale Regression DURAG F-701-20 PM₁₀, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) mit einem Faktor von 1,08

⁴

STYR: bis 20.01.2020 DURAG F-701-20, seit 21.01.2020 APDA 372 E

WALS: bis 05.02.2019 DURAG F-701-20, seit 09.02.2019 APDA 371

Ohne Verwendung eines Faktors wird die erweiterte Messunsicherheit nicht 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 1,06 müsste durchgeführt werden.

Tabelle 8: PM10 Äquivalenzauswertung für die mit DURAG F-701-20 ausgerüsteten Stationen ohne Faktor.

DURAG F-701-20 ohne Faktor	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 µg/m³	
				N	R²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 28 µg/m³
Individual Datasets	DUB2	1078	17	1061	0,927	0,923 +/- 0,008	-0,424 +/- 0,189	19,62	24,0
	SOES	1036	14	1022	0,882	0,866 +/- 0,009	-1,226 +/- 0,153	33,03	5,4
	STYR	729	29	700	0,935	0,969 +/- 0,009	0,779 +/- 0,181	9,13	10,1
	WALS	179	6	173	0,907	0,827 +/- 0,019	1,272 +/- 0,427	30,93	16,2
Combined Datasets	≥ 30 µg/m³	354	29	325	0,766	0,969 +/- 0,026	-2,628 +/- 1,026	22,62	100,0
	All Data	3022	66 (2,18%)	2956	0,907	0,944 +/- 0,005	-0,915 +/- 0,109	18,38	13,8

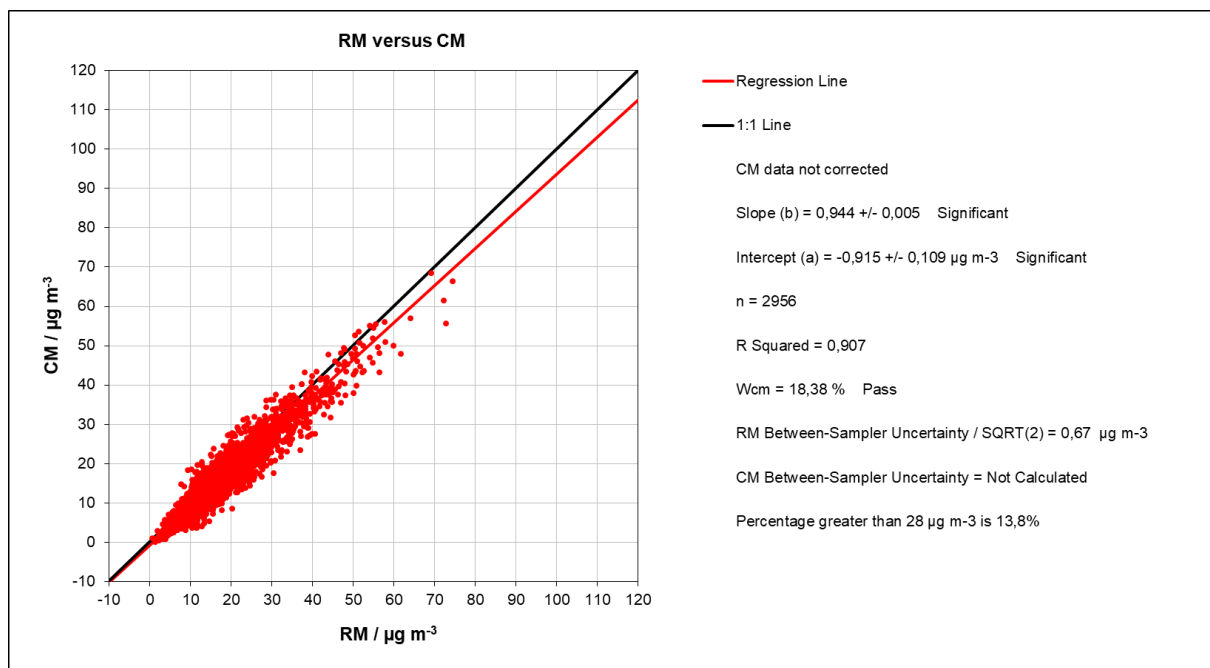


Abbildung 5: Orthogonale Regression DURAG F-701-20 PM₁₀, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) ohne Faktor

Eine neue Kalibrierung mit einem Faktor von 1,06 führt zu den in Tabelle 9 und Abbildung 6 dargestellten Ergebnissen. Da sich die erweiterte Messunsicherheit durch eine Kalibrierung nicht verbessert, und sich der Faktor nur minimal ändert, wird der Faktor bei 1,08 belassen, um der Kontinuität des Faktor Rechnung zu tragen.

Tabelle 9: PM10 Äquivalenzauswertung für die mit DURAG F-701-20 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Faktors von 1,06.

DURAG F-701-20 Mit Faktor 1,06	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 µg/m³	
				N	R²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 28 µg/m³
Individual Datasets	DUB2	1078	17	1061	0,927	0,981 +/- 0,008	-0,498 +/- 0,200	11,84	24,0
	SOES	1036	14	1022	0,882	0,921 +/- 0,010	-1,348 +/- 0,162	23,30	5,4
	STYR	729	30	699	0,937	1,044 +/- 0,010	0,555 +/- 0,190	14,17	10,0
	WALS	179	6	173	0,907	0,879 +/- 0,021	1,298 +/- 0,452	21,35	16,2
Combined Datasets	≥ 30 µg/m³	354	30	324	0,764	1,057 +/- 0,028	-3,925 +/- 1,109	16,61	100,0
	All Data	3022	67 (2,22%)	2955	0,907	1,006 +/- 0,006	-1,062 +/- 0,116	11,99	13,8

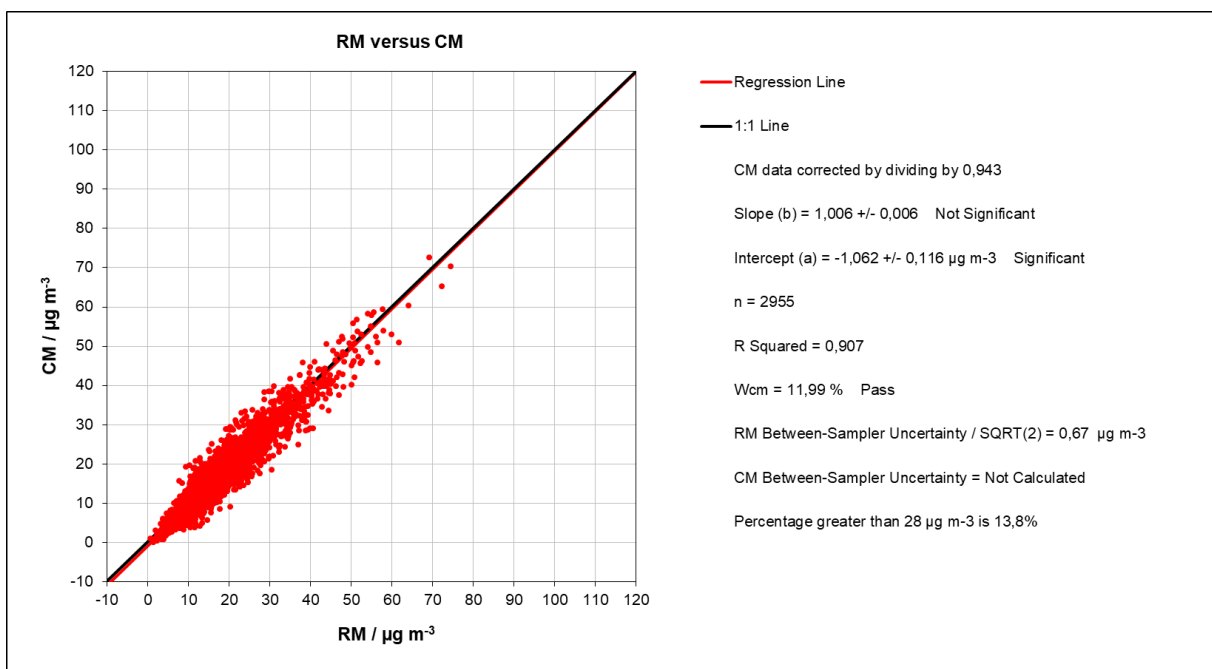


Abbildung 6: Orthogonale Regression DURAG F-701-20 PM₁₀, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) neu kalibriert

Sharp

Unter Verwendung des Vorjahresfaktors (0,94) wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für das gesamte Datenkollektiv, für alle Einzel-Stationen sowie für den Bereich der Konzentrationen oberhalb von 30 µg/m³ eingehalten. Allerdings erfüllt die Steigung des Gesamtdatensatzes nicht die festgelegten Kriterien, weshalb eigentlich eine Kalibrierung nötig wäre. Aufgrund der nur geringen Verbesserung der erweiterten Messunsicherheit nach Kalibrierung (s. Abbildung 8), und da die Änderung des Faktors < 0,05 wäre, wird auf eine Kalibrierung verzichtet. Die folgenden Abbildungen zeigen die Resultate bereinigt um 89 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 2,49%. Die automatische Ausreißererkenkung hatte 94 Ausreißer identifiziert, von denen 5 nicht entfernt wurden, um den maximal erlaubten Anteil von 2,5% nicht zu überschreiten. Der Achsenabschnitt war sowohl für das gesamte Datenkollektiv als auch für die Einzel-Stationen mit Ausnahme EIFE unauffällig (<2 µg/m³). Die Station EIFE und die Wertepaare ≥ 30 µg/m³ zeigen einen akzeptablen Achsenabschnitt (2,442 bzw. -2,931). Dies überrascht nicht, da EIFE und die Werte ≥ 30 µg/m³ besonders hohe bzw. niedrige Werte beinhalten. Da sich die erweiterte Messunsicherheit

durch eine Kalibrierung nicht verbessert, und sich der Faktor nur minimal ändert, wird der Faktor bei 0,94 belassen, um der Kontinuität des Faktor Rechnung zu tragen.

Tabelle 10: PM10 Äquivalenzauswertung für die mit SHARP ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 0,94.⁵

SHARP	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 50 µg/m³	
				N	R²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 28 µg/m³
Individual Datasets	BIEL	487	6	481	0,938	0,989 +/- 0,011	1,129 +/- 0,206	8,76	9,6
	BORG	475	10	465	0,910	0,957 +/- 0,013	1,460 +/- 0,253	10,09	9,9
	DDCS	1063	27	1036	0,903	1,008 +/- 0,010	-0,259 +/- 0,237	12,07	19,6
	EIFE	164	6	158	0,873	0,944 +/- 0,027	2,442 +/- 0,335	9,04	1,9
	NIZI	319	12	307	0,931	0,933 +/- 0,014	1,594 +/- 0,401	15,46	31,3
	VACW	757	18	739	0,915	1,002 +/- 0,011	-0,015 +/- 0,241	11,94	14,9
	VKTU	309	10	299	0,904	1,022 +/- 0,018	0,620 +/- 0,404	12,81	12,7
Combined Datasets	≥ 30 µg/m³	469	48	421	0,871	1,050 +/- 0,018	-2,931 +/- 0,770	16,82	100,0
	All Data	3574	89 (2,49%)	3485	0,919	0,973 +/- 0,005	0,906 +/- 0,105	11,48	15,6

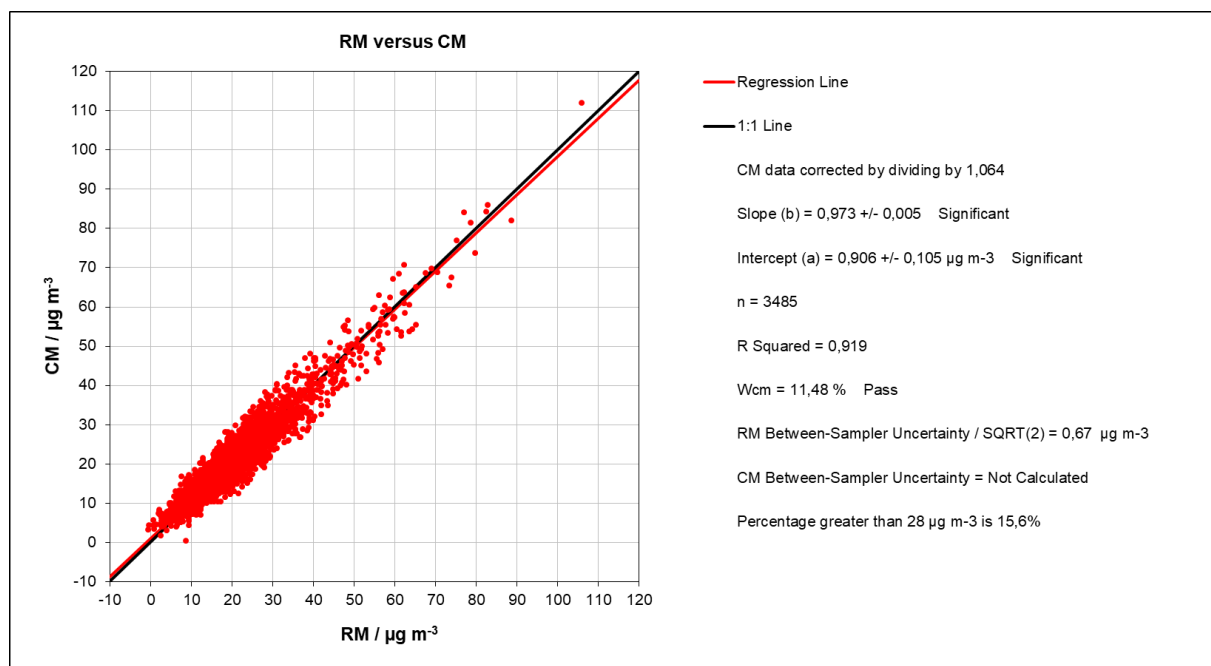


Abbildung 7: Orthogonale Regression SHARP PM10, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 0,94

5

- BIEL: bis 09.09.2020 SHARP, dann APDA 371
- BORG: bis 01.09.2020 SHARP, dann APDA 371
- EIFE: bis 30.11.2018 SHARP, dann APDA 372E
- NIZI: bis 20.11.2018 SHARP, dann APDA 372E
- VACW: bis 06.02.2020 SHARP, dann APDA 372E
- VKTU: bis 18.11.2018 SHARP, dann APDA 372E

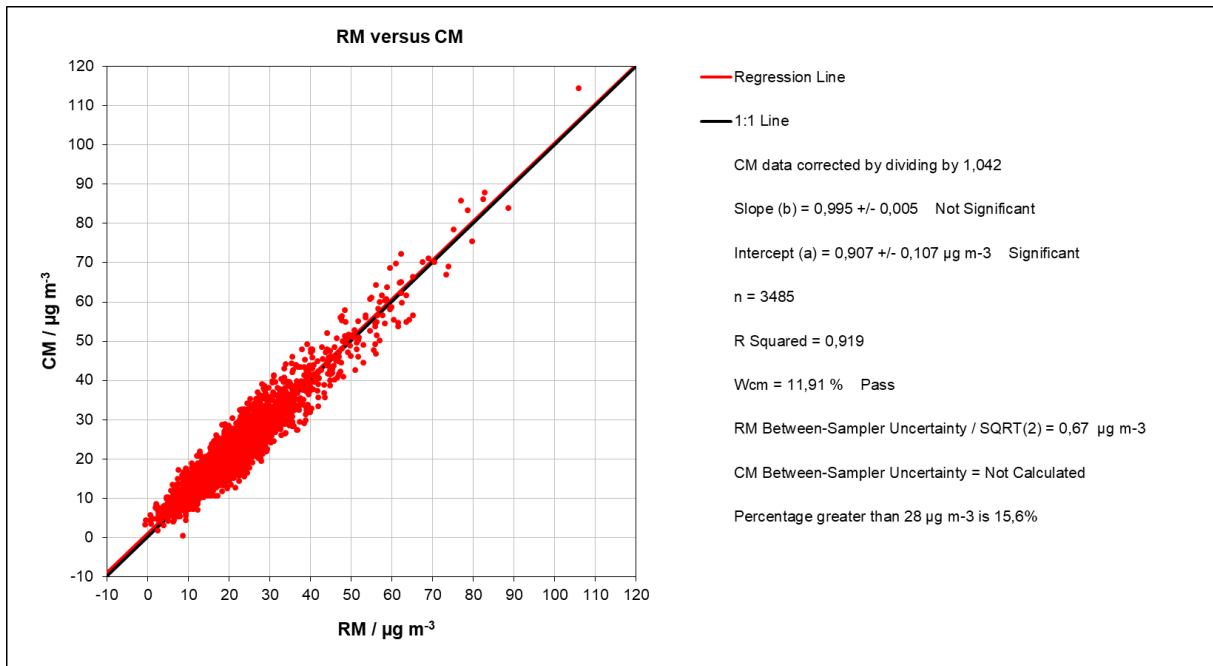


Abbildung 8: Orthogonale Regression SHARP PM10, gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 0,96

PM_{2,5}

APDA 371

Unter Verwendung des Vorjahresfaktors (1,00) wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für alle Subsets eingehalten. Allerdings erfüllt die Steigung des Gesamtdatensatzes nicht die festgelegten Kriterien, weshalb eine Kalibrierung nötig ist. Zwar verschlechtert sich die erweiterten Messunsicherheit nach Kalibrierung minimal (s. Abbildung 10), allerdings ist die Änderung des Faktors $\geq 0,05$, daher wird eine Kalibrierung mit einem Faktor von 1,05 durchgeführt. Diese Tendenz hatte sich bereits im letzten Jahr abgezeichnet. Die folgenden Abbildungen zeigen die Resultate für das gesamte Datenkollektiv bereinigt um 59 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 2,44% und erfüllt somit die im Äquivalenzleitfaden definierten Kriterien. Für alle Stationen war der Achsenabschnitt unauffällig ($< 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabelle 11: PM_{2,5} Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 1,00.⁶

APDA 371 ohne Faktor	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m ³	
				N	R ²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 17 µg/m ³
Individual Datasets	ELAN	1073	29	1044	0,933	0,908 +/- 0,007	1,074 +/- 0,088	15,10	12,1
	EVOG	1069	23	1046	0,915	0,984 +/- 0,009	0,462 +/- 0,127	13,21	20,2
	LOER	273	7	266	0,869	0,936 +/- 0,021	0,002 +/- 0,218	16,53	8,6
Combined Datasets	$\geq 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$	337	32	305	0,863	0,997 +/- 0,021	-1,077 +/- 0,549	18,44	100,0
	All Data	2415	59 (2,44%)	2356	0,920	0,955 +/- 0,006	0,620 +/- 0,072	12,88	15,3

⁶ LOER: seit 19.03.2020 APDA 371

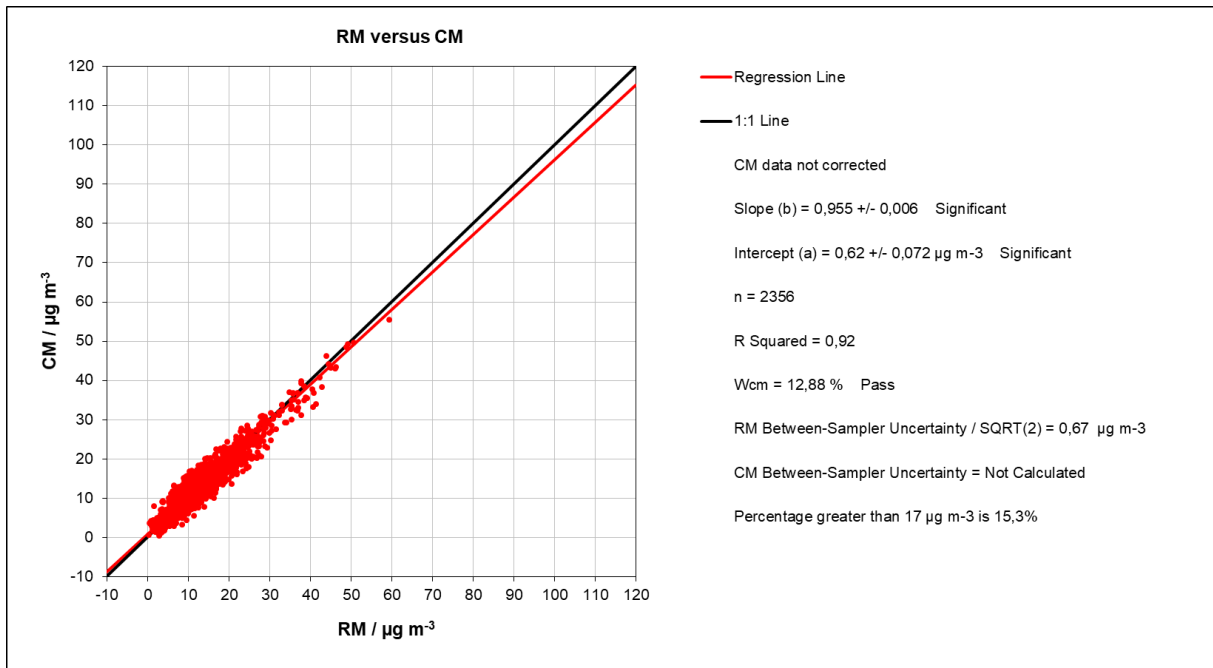


Abbildung 9: Orthogonale Regression APDA 371 PM_{2,5} gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) ohne Faktor

Tabelle 12: PM_{2,5} Äquivalenzauswertung für die mit APDA 371 ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Faktors von 1,05.

APDA 371 mit Faktor 1,05	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m ³	
				N	R ²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 17 µg/m ³
Individual Datasets	ELAN	1073	30	1043	0,934	0,956 +/- 0,008	1,108 +/- 0,092	10,69	12,0
	EVOG	1069	22	1047	0,915	1,038 +/- 0,009	0,439 +/- 0,133	17,50	20,2
	LOER	273	7	266	0,869	0,986 +/- 0,022	-0,030 +/- 0,229	11,41	8,6
Combined Datasets	≥ 18 µg/m ³	337	32	305	0,863	1,051 +/- 0,022	-1,182 +/- 0,578	17,81	100,0
	All Data	2415	59 (2,44%)	2356	0,921	1,006 +/- 0,006	0,617 +/- 0,076	13,66	15,3

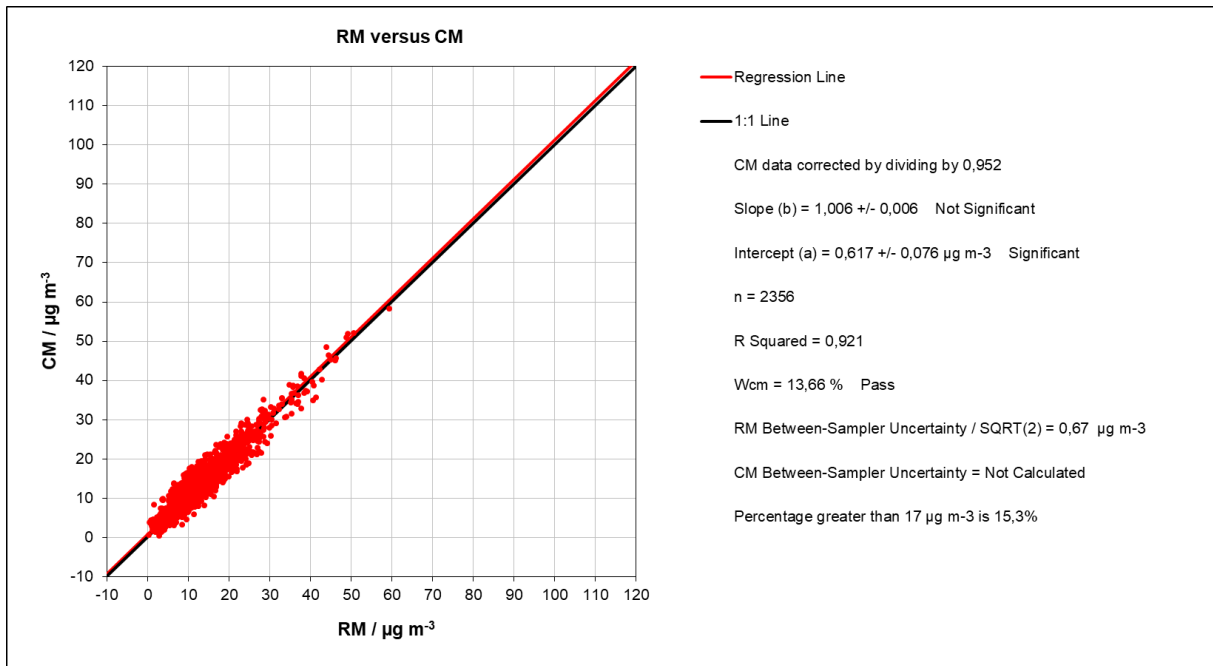


Abbildung 10: Orthogonale Regression APDA 371 PM_{2.5} gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) Steigung mit Faktor 1,05 korrigiert.

APDA 372 E

Unter Verwendung eines Faktors von 0,95 wurde das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für alle Subsets eingehalten (s. Tabelle 13). Allerdings erfüllt die Steigung des Gesamtdatensatzes durch den angesetzten Faktor nicht die festgelegten Kriterien, weshalb eigentlich eine neue Kalibrierung nötig wäre. Die folgenden Abbildungen zeigen die Resultate für das gesamte Datenkollektiv bereinigt um 24 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 1,00% und erfüllt somit die im Äquivalenzleitfaden definierten Kriterien. Für alle Stationen waren die Achsenabschnitte unauffällig (<2 µg/m³).

Da das Messgerät erst 2019 durchgängig betrieben wurde, und die Datengrundlage klein war, wurde im letzten Jahr aufgrund der Tatsache, dass die erweiterte Messunsicherheit mit einem eher konservativen Faktor von 0,95 eingehalten wurde, zunächst keine weitere Korrektur vorgenommen. Die Tendenz zu einem kleineren Faktor war aber auch da schon gegeben, weshalb nun eine Kalibrierung durchgeführt wird.

Tabelle 13: PM_{2,5} Äquivalenzauswertung für die mit APDA 372 E ausgerüsteten Stationen unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 0,95.⁷

APDA 372 E mit Fakto 0,95	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m ³	
				N	R ²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 17 µg/m ³
Individual Datasets	DMD2	760	5	755	0,935	1,014 +/- 0,009	-0,491 +/- 0,118	10,55	14,8
	EIFE	373	1	372	0,928	1,001 +/- 0,014	-0,082 +/- 0,107	6,90	3,5
	EVOG	756	18	738	0,918	1,077 +/- 0,011	-1,220 +/- 0,149	14,76	17,8
	STYR	161	0	161	0,938	1,049 +/- 0,021	-1,186 +/- 0,247	9,77	11,8
	WULA	341	0	341	0,914	1,028 +/- 0,016	-0,914 +/- 0,163	8,14	6,5
Combined Datasets	≥ 18 µg/m ³	274	19	255	0,811	1,085 +/- 0,029	-2,223 +/- 0,712	16,25	100,0
	All Data	2391	24 (1%)	2367	0,930	1,034 +/- 0,006	-0,709 +/- 0,066	10,78	12,5

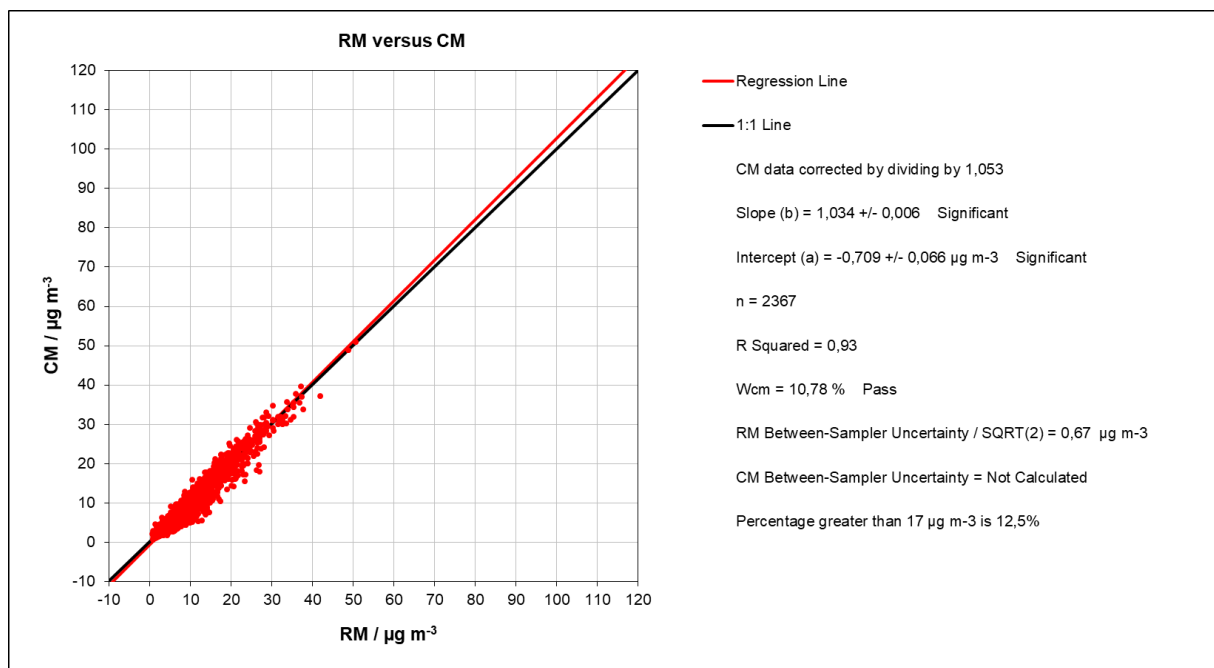


Abbildung 11: Orthogonale Regression APDA 372 E PM_{2.5} gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) unter Verwendung des Vorjahresfaktor von 0,95

Unter Verwendung eines Faktors von 0,92 wird das Kriterium der erweiterten Messunsicherheit für alle Subsets eingehalten. Gegenüber dem Vorjahresfaktor verschlechtert sich die erweiterte Messunsicherheit zwar minimal, aber dafür werden alle Anforderungen an die Steigung und den Achsenabschnitt erfüllt. Die folgenden Abbildungen zeigen die Resultate für das gesamte Datenkollektiv bereinigt um 25 Ausreißer. Dies entspricht einem Anteil von 1,05% und erfüllt somit die im Äquivalenzleitfaden definierten Kriterien.

7

DMD2: seit 15.11.2018 APDA-372E
 EIFE: seit 27.11.2018 APDA 372E
 EVOG: seit 13.11.2018 APDA 372E
 STYR: seit 21.01.2020 APDA 372E
 WULA: seit 22.01.2020 APDA 372E

Tabelle 14: PM_{2,5} Äquivalenzbewertung für die mit APDA 372 E ausgerüsteten Stationen mit Verwendung eines Faktors von 0,92.

APDA 372 E mit Faktor 0,92	Dataset	Anzahl	Ausreißer	Orthogonal Regression				Limit Value of 30 µg/m ³	
				N	R ²	Slope (b) +/- u _b	Intercept (a) +/- u _a	W _{CM} / %	% > 17 µg/m ³
Individual Datasets	DMD2	760	5	755	0,935	0,981 +/- 0,009	-0,464 +/- 0,114	12,23	14,8
	EIFE	373	1	372	0,928	0,968 +/- 0,014	-0,072 +/- 0,104	9,54	3,5
	EVOG	756	19	737	0,917	1,040 +/- 0,011	-1,144 +/- 0,144	12,30	17,6
	STYR	161	0	161	0,938	1,015 +/- 0,020	-1,138 +/- 0,240	10,29	11,8
	WULA	341	0	341	0,914	0,994 +/- 0,016	-0,872 +/- 0,158	10,52	6,5
Combined Datasets	≥ 18 µg/m ³	274	20	254	0,811	1,041 +/- 0,028	-1,948 +/- 0,687	16,14	100,0
	All Data	2391	25 (1,05%)	2366	0,930	1,000 +/- 0,005	-0,666 +/- 0,064	11,10	12,5

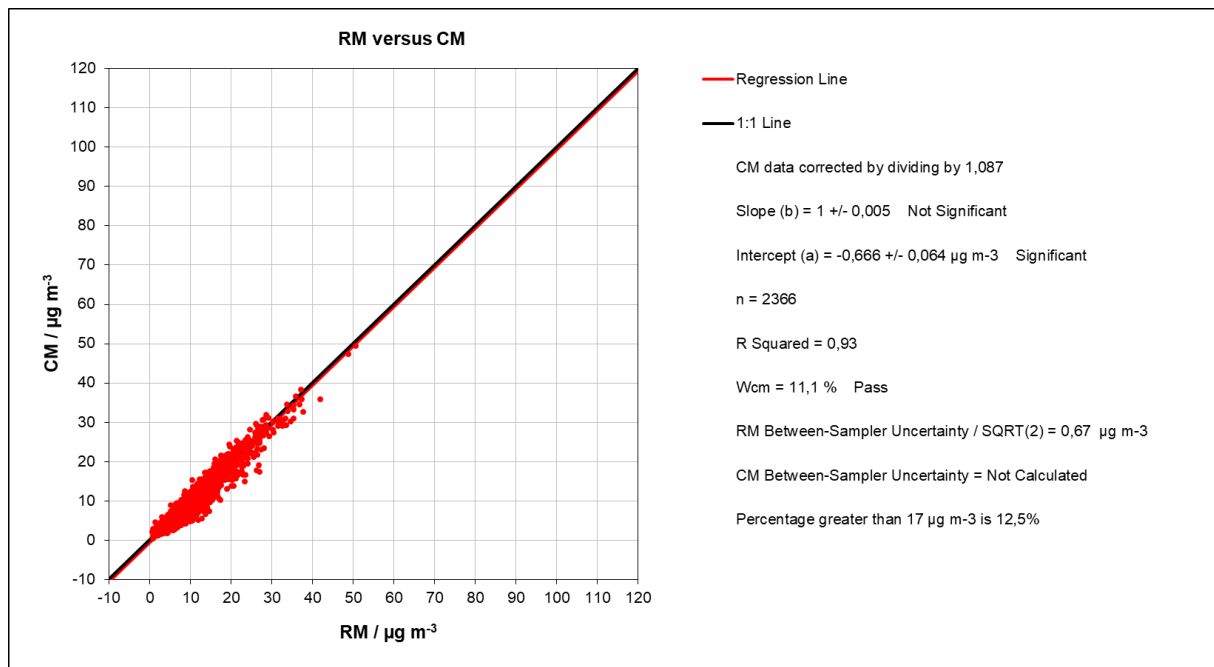


Abbildung 12: Orthogonale Regression APDA 372 E PM_{2,5} gesamtes Datenkollektiv (bereinigt um Ausreißer) korrigiert um Faktor 0,92