

Berechnung von PM_{2.5}-Tagesmittelwerten aus kontinuierlich erfassten PM₁₀-Werten

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation.....	3
2	Erste Analysen im Jahr 2017.....	3
3	Methode und Diskussion der Ergebnisse.....	5
3.1	Datengrundlage.....	5
3.2	Validierung der HVS-Daten.....	6
3.3	Zusammenhang PM _{2.5} -HVS und PM ₁₀ -HVS.....	6
3.4	Berechnung der PM _{2.5} -Werte aus den Daten der PM ₁₀ -Automaten.....	8
3.5	Unsicherheit der berechneten PM _{2.5} -Werte.....	8
3.6	Validierung mit den Daten von 2019.....	8
4	Zusammenfassung.....	9
Literaturverzeichnis.....		10
A 1	Anhang.....	11
A 1.1	Zusammenhang PM ₁₀ , HVS und PM _{2.5} , HVS für verkehrsnaher Messstationen.....	11
A 1.2	Zusammenhang PM ₁₀ , HVS und PM _{2.5} , HVS für Hintergrund-Messstationen.....	12
A 1.3	Zusammenhang PM _{2.5} , Berechnung und PM _{2.5} , HVS für die Messstation CLE.....	13
A 1.4	Zusammenhang PM _{2.5} , Berechnung und PM _{2.5} , HVS für die Messstation DDN.....	14
A 1.5	Zusammenhang PM _{2.5} , Berechnung und PM _{2.5} , HVS für die Messstation DDB.....	15
A 1.6	Zusammenhang PM _{2.5} , Berechnung und PM _{2.5} , HVS für die Messstation LMI.....	16
A 1.7	Zusammenhang PM _{2.5} , Berechnung und PM _{2.5} , HVS für die Messstation DDW.....	17
A 1.8	Zusammenhang PM _{2.5} , Berechnung und PM _{2.5} , HVS für die Messstation LWE.....	18
A 1.9	Zusammenhang PM _{2.5} , Berechnung und PM _{2.5} , HVS für die Messstation COL.....	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Unsicherheitsanteil PM ₁₀ -Automat und Unsicherheit des PM _{2.5} -Tagesmittelwertes	4
Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Unsicherheitsanteil PM ₁₀ -Automat und Unsicherheit des PM _{2.5} -Tagesmittelwertes für das Jahr 2019	9

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ermittelte stationsspezifische Koeffizienten für eine zukünftige PM _{2.5} -Berechnung (Datenbasis 2010 - 2016).....	4
Tabelle 2: Übersicht Messstationen	6
Tabelle 3: Absolute und relative Anzahl der gestrichenen Datenpaare an den Messstationen	6
Tabelle 4: Koeffizienten der Gl. 3 für den Zusammenhang der Referenzwerte PM _{2.5} und PM ₁₀ an den Messstationen für drei Zeiträume.....	7
Tabelle 5: Koeffizienten der Gl. 4 für den Zusammenhang PM _{2.5} und PM ₁₀ -HVS an den Stationstypen 2017/2018	7
Tabelle 6: Erweiterte Messunsicherheit der berechneten PM _{2.5} -Tagesmittelwerte in %	8
Tabelle 7: Erweiterte Messunsicherheiten der berechneten PM ₁₀ - und PM _{2.5} -Tagesmittelwerte in %.....	9

Abkürzungsverzeichnis

BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Sachsen
BK	Baustelle, korrigierte Werte
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
HG	Hintergrund
HVS	High-Volume-Sampler (Sammelgeräte für Filter mit einem hohen Luftdurchsatz)
m ³	Kubikmeter
PM ₁₀	Massenkonzentration von Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser (Median) kleiner 10 µm
PM _{2.5}	Massenkonzentration von Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser (Median) kleiner 2,5 µm
UBA	Umweltbundesamt
µm	Mikrometer
CLE	Chemnitz-Leipziger Straße
COL	Collnberg
DDB	Dresden-Bergstraße
DDN	Dresden-Nord
DDW	Dresden-Winckelmannstraße
LMI	Leipzig-Mitte
LWE	Leipzig-West

1 Motivation

Die tagaktuelle Modellierung der Luftqualität, z. B. für Deutschland insgesamt, erfordert die kontinuierliche Ermittlung aller Messparameter. Sachsen verfügt jedoch bislang nicht über kontinuierlich erfasste PM_{2.5}-Daten. Die PM_{2.5}-Messwerte werden mittels High Volume Sampler (HVS) gewonnen. Durch Filtertransport und Labor-Gravimetrie liegt das Messergebnis methodenbedingt einige Wochen später vor. Zur gesetzlich vorgeschriebenen Bewertung des Jahresmittelwertes ist dies ausreichend. Für PM_{2.5} existieren keine Kurzzeitgrenzwerte oder Alarmschwellen, die eine PM_{2.5}, die Automatenmessungen erforderten.

Die Daten von PM_{2.5}-HVS mit Filter und Labor-Gravimetrie besitzen eine höhere Datenqualität in Form einer geringeren Messunsicherheit als die Daten von PM_{2.5}-Automaten. Es sind nur PM_{2.5}-Tagesmittelwerte durch das Referenzverfahren abgesichert. Die PM_{2.5}-Stundenmittelwerte sind nicht qualitätsgesichert. Auch wäre für die PM_{2.5}-Automaten ein Nachweis der Gleichwertigkeit am jeweiligen Messort gegenüber dem Referenzverfahren zu führen.

Zusätzliche PM_{2.5}-Messungen mit Automaten in Sachsen würden erhebliche Kosten für Investitionen, Betrieb und Personal erfordern.

Um für Modellierungen aktuelle PM_{2.5}-Tagesmittelwerte bereitstellen zu können, wurde gemeinsam mit der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) untersucht, ob eine Berechnung der PM_{2.5}-Tagesmittelwerte aus den Daten der PM₁₀-Automaten Ergebnisse mit ausreichender Qualität liefert.

2 Erste Analysen im Jahr 2017

Die Daten aus der Messkampagne zur messtechnischen Begleitung der Umweltzone Leipzig (Löschau, Wiedensohler, 2017) lagen bereits gut aufbereitet vor. Diese wurden genutzt, um eine erste Orientierung für die erreichbare Qualität berechneter PM_{2.5}-Daten zu erhalten. Mit diesen Berechnungen wurde ein interner Bericht erstellt (Löschau et al., 2017). Nachfolgend sind wichtige Ergebnisse daraus zusammengestellt.

Ein Datensatz von sieben Jahren PM₁₀- und PM_{2.5}-Messungen in Sachsen wurde ausgewertet. Sechs Messstationen des Luftgütemessnetzes wurden einbezogen, drei verkehrsnaher städtische Stationen, zwei im städtischen Hintergrund und eine im ländlichen Hintergrund.

Anhand der Tagesmittelwerte für PM₁₀ und PM_{2.5} mit der höchsten Datenqualität (HVS und Labor-Gravimetrie) wurde der funktionale Zusammenhang zwischen PM₁₀ und PM_{2.5} über eine lineare Regression an jedem Messort für die Jahre von 2010 bis 2016 über die Kalibrierfunktion (Gl. 1) ermittelt.

$$PM_{10, HVS} = m * PM_{2.5, HVS} + b \quad (Gl. 1)$$

Für jeden Messort wurde dann die Analysenfunktion ermittelt (Gl. 2). Mit den jeweiligen Koeffizienten m und b aus Tabelle 1 und dem Tagesmittelwert des PM₁₀-Automaten konnte der PM_{2.5}-Wert berechnet werden:

$$PM_{2.5, Berechnung} = 1/m * PM_{10, Automat} - b/m \quad (Gl. 2)$$

Tabelle 1: Ermittelte stationsspezifische Koeffizienten für eine zukünftige PM_{2.5}-Berechnung (Datenbasis 2010 - 2016)

2010 - 2016	DDN	DDB	LMI _{BK} *	DDW	LWE	COL
m	1,204	1,257	1,118	1,078	1,131	1,135
b	6,5	6,0	8,1	3,5	4,0	3,4
R²	0,94	0,95	0,90	0,97	0,96	0,96

*BK...Baustelle-korrigiert, d. h. hohe Werte aufgrund von Baustellenaktivität wurden in die Berechnung nicht mit einbezogen

In einem weiteren Schritt wurde der berechnete Tagesmittelwert PM_{2.5} mit dem gemessenen Tagesmittelwert PM_{2.5} (HVS und Labor-Gravimetrie) verglichen und die Unsicherheit mittels Equivalencesheet berechnet. Weiterhin wurde die Unsicherheit der Daten der PM₁₀-Automaten gegenüber PM_{10, HVS} berechnet. Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen den erweiterten Unsicherheiten der PM_{10, Automat}-Werte und den erweiterten Unsicherheiten der berechneten PM_{2.5}-Werte. Die rote gestrichelte Linie markiert das Qualitätsziel für die berechneten PM_{2.5}-Daten von 25 % erweiterter Messunsicherheit.

Erweiterte Unsicherheit PM_{2.5}-Wert in %

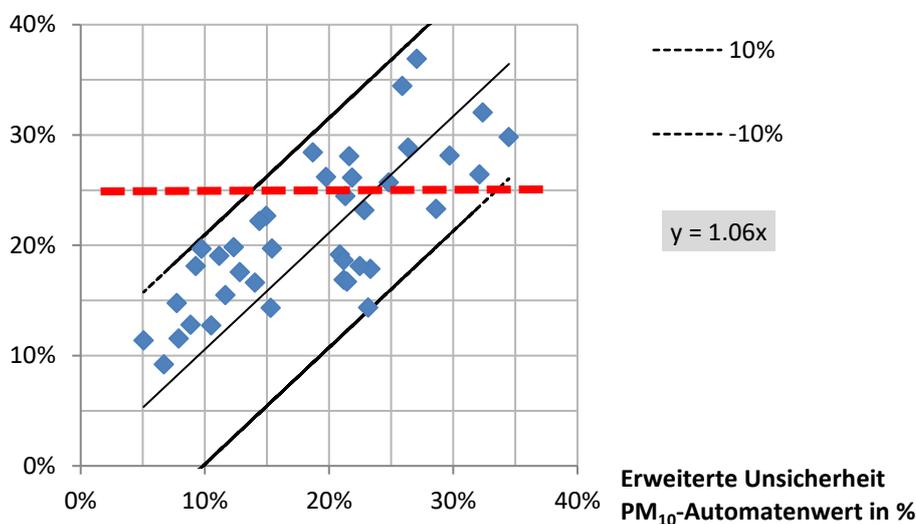


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Unsicherheitsanteil PM₁₀-Automat und Unsicherheit des PM_{2.5}-Tagesmittelwertes

Die Ergebnisse der jährlichen Auswertungen von 2010 bis 2016 an den sechs Messorten zeigten, dass in 27 von 42 Fällen eine erweiterte Unsicherheit der PM_{2.5}-Tagesmittelwerte von 25 % eingehalten wurde. In 15 Fällen wurde dagegen das Datenqualitätsziel nicht eingehalten. Dabei waren in drei Fällen vermutlich lokale Bautätigkeiten und in sechs Fällen ein PM₁₀-Automat älterer Bauart (ohne Berücksichtigung des flüchtigen Anteils an der Partikelmasse) die Ursachen für eine erweiterte Unsicherheit größer 25 %.

Daraus lässt sich schließen, dass diese Methode nicht angewendet werden darf, wenn nahe der Messstation Bautätigkeit erfolgt oder ein PM₁₀-Automat älterer Bauart eingesetzt wird.

Weiterhin wurde ersichtlich, dass bei einer erweiterten Messunsicherheit der PM₁₀-Automaten gleich oder kleiner 15 % keine Überschreitung des Qualitätszieles der berechneten PM_{2.5}-Daten auftrat. Das bedeutet: Wenn es in der Zukunft gelänge, die Datenqualität der PM₁₀-Automatenwerte auf eine Unsicherheit von 15 % zu begrenzen, dann würden nach dem hier genutzten Ansatz PM_{2.5}-Tagesmittelwerte in einer Datenqualität erzeugt, die die Anforderung für ein äquivalentes Messverfahren erreichen würden und dies ohne eine PM_{2.5}-Messung mit Automat durchzuführen.

Zur Verbesserung der berechneten PM_{2.5}-Daten wurden die Berücksichtigung der Temperatur - um des Jahresgang des Verhältnisses PM_{2.5}/PM₁₀ zu kompensieren - und eine Feuchte-Korrektur getestet, leider ohne Erfolg.

Die BfUL arbeitet kontinuierlich an der Verbesserung der Datenqualität der PM₁₀- und PM_{2.5}-Daten. So erfolgte in den letzten Jahren zum Beispiel:

- die Nachrüstung der PM_{2.5}-HVS-Probenahmeköpfe mit automatischer Prallplattendrehung und einer temperaturgeführten Heizungssteuerung (2013-2014),
- der Ersatz der Rupprecht & Patashnik Probenahmeköpfe der TEOM-Automaten durch Digital Probenahmeköpfe (2014-2015),
- der Ersatz der PM₁₀-Automaten Typ TEOM_50 gegen Typ TEOM 1405 (18.02.2016 – Chemnitz Leipziger Str. und 19.05.2016 – Dresden Bergstraße), An der Station Leipzig-Lützner Straße ist aus Platzgründen kein Austausch möglich.

Zum Qualitätsmanagement gehören:

- die regelmäßige Prüfung der PM₁₀-Automaten mit Prüfaerosol im Kalibrierlabor (in Routinebetrieb seit Oktober 2016) und
- die regelmäßige Prüfung der PM₁₀-HVS und PM₁₀-Automaten durch Vergleichsmessung mit Kleinfiltergeräten (Qualitätsregelkarten).

Die Daten der PM₁₀-Automaten sind zudem temperatur- und feuchtekorrigiert. Die Korrekturfunktion wird regelmäßig überprüft und gegebenenfalls angepasst.

Derzeit findet im Messnetz ein Austausch der PM₁₀-Automaten TEOM 1400 durch den Nachfolgetyp TEOM 1405 statt.

Ab dem Jahr 2017 konnte dadurch die PM₁₀- und PM_{2.5}-Datenqualität in Sachsen noch einmal verbessert werden. Ausgehend von dieser Erkenntnis führte die BfUL eine erneute Analyse der vorhandenen Daten durch, wobei die Daten der Jahre 2017 und 2018 zur Grundlage der neuen Untersuchungen festgelegt wurden. Die Ergebnisse werden im nächsten Kapitel zusammengestellt.

3 Methode und Diskussion der Ergebnisse

3.1 Datengrundlage

Die PM₁₀- und PM_{2.5}-Daten der Jahre 2017 und 2018 an den sieben Messstationen in Tabelle 2 bilden die Grundlage der Berechnungen. Der Messstationstyp „Städtisch, Verkehr“ ist durch vier Stationen, der Typ „Städtischer Hintergrund“ durch zwei Stationen und der Typ „Ländlicher Hintergrund“ durch eine Messstation vertreten.

An diesen Messstationen liegen PM_{2.5}- und PM₁₀-Daten mittels HVS und Labor-Gravimetrie mit sehr kleiner Messunsicherheit vor. Die gleichzeitig gemessenen Daten der PM₁₀-Automaten bilden die Basis für die Berechnung der PM_{2.5}-Tagesmittelwerte. An jeder Messstation müssen also Tagesmittelwerte von den drei Messverfahren vorliegen:

- PM_{2.5}, HVS,
- PM₁₀, HVS und
- PM₁₀, Automat.

Tabelle 2: Übersicht Messstationen

Kürzel	CLE	DDN	DDB	LMI	DDW	LWE	COL
Name der Messstation	Chemnitz-Leipziger Straße	Dresden-Nord	Dresden-Bergstraße	Leipzig-Mitte	Dresden-Winckelmannstraße	Leipzig-West	Collmburg
Stationstyp	Städtisch, Verkehr				Städtischer Hintergrund		Ländl. HG

3.2 Validierung der HVS-Daten

Die HVS-Daten für PM_{2.5} und PM₁₀ wurden für die Zeiträume von 2010 bis 2016 und von 2017 bis 2018 mittels linearer Regression einer visuellen Prüfung unterzogen. Dabei wurden nicht plausible Datenpaare gestrichen, wobei der Anteil im Mittel für alle Messstationen unter 0,1 % der Datenpaare lag. Details zu den einzelnen Messstationen sind in Tabelle 3 zu finden.

Tabelle 3: Absolute und relative Anzahl der gestrichenen Datenpaare an den Messstationen

Kürzel	CLE	DDN	DDB	LMI	DDW	LWE	COL
2010-2016	2 (0,08 %)	0	0	3 (0,12 %)	0	0	0
2017-2018	0	0	0	0	0	1	1 (0,14 %)

3.3 Zusammenhang PM_{2.5}-HVS und PM₁₀-HVS

Für jeden Messort wurde der funktionale Zusammenhang zwischen den Referenzwerten PM_{2.5, HVS} und den Referenzwerten PM_{10, HVS} hergestellt und die Koeffizienten für die lineare Regressionsgleichung nach Gleichung 3 für jeden Messort ermittelt.

$$PM_{2.5, HVS} = a_1 * PM_{10, HVS} + a_0 \quad (Gl. 3)$$

Dies erfolgte für drei verschiedene Zeiträume (Tabelle 4).

Tabelle 4: Koeffizienten der Gl. 3 für den Zusammenhang der Referenzwerte PM_{2,5} und PM₁₀ an den Messstationen für drei Zeiträume

Parameter	CLE	DDN	DDB	LMI	DDW	LWE	COL
2010-2016							
a ₁	0,72	0,78	0,76	0,75	0,90	0,85	0,85
a ₀	-3,2	-4,1	-3,7	-3,8	-2,6	-2,9	-2,4
R ²	0,90	0,94	0,95	0,87	0,97	0,96	0,96
2017							
a ₁	0,80	0,84	0,82	0,78	0,88	0,89	0,89
a ₀	-3,0	-3,4	-3,3	-4,1	-2,8	-3,0	-2,6
R ²	0,90	0,94	0,96	0,92	0,97	0,96	0,95
2018							
a ₁	0,77	0,85	0,74	0,78	0,87	0,82	0,83
a ₀	-2,7	-4,2	-3,2	-4,1	-2,8	-2,6	-2,2
R ²	0,86	0,88	0,84	0,92	0,92	0,90	0,92

In Tabelle 4 ist zu erkennen, dass die vier verkehrsnahen Messstationen CLE, DDN, DDB und LMI für die festgelegten Zeiträume zwar unterschiedliche Koeffizienten a₁ aufweisen, aber im Niveau für a₁ pro Zeitraum sehr ähnlich sind. Gleiches gilt für a₁ für die städtischen Hintergrundstationen DDW und LWE und die ländliche Hintergrundstation COL.

Es lag nahe, die vier verkehrsnahen Messstationen und die drei Hintergrundmessstationen zu jeweils einem Stationstyp zusammen zu fassen und die Koeffizienten nach Gleichung 4 erneut zu ermitteln. Sie wurden mit a_{1m} und a_{0m} gekennzeichnet, da sie nun für den jeweiligen Stationstyp gelten.

$$PM_{2,5, HVS} = a_{1m} * PM_{10, HVS} + a_{0m} \quad (Gl. 4)$$

Die Beschränkung auf den Zeitraum von 2017 bis 2018 hat ihre Ursache in der im Vergleich zu den Vorjahren höheren Datenqualität. Die Ergebnisse sind in den Anlagen 2 und 3 dargestellt und zusammengefasst in Tabelle 5 zu finden. Gleichzeitig ist die Zuordnung der einzelnen Messstationen zum Stationstyp zu erkennen.

Tabelle 5: Koeffizienten der Gl. 4 für den Zusammenhang PM_{2,5} und PM₁₀-HVS an den Stationstypen 2017/2018

Parameter	CLE	DDN	DDB	LMI	DDW	LWE	COL
Stationstyp	Städtisch, Verkehr				Städtischer und ländlicher Hintergrund		
a_{1m}	0,81				0,87		
a_{0m}	-3,4				-2,7		
R²	0,92				0,95		

3.4 Berechnung der PM_{2.5}-Werte aus den Daten der PM₁₀-Automaten

Die Koeffizienten a_{1m} und a_{0m} in Tabelle 5 werden nachfolgend für die einzelnen Messstationen je nach Stationstyp angewandt. Damit lassen sich nach Gleichung 5 für jede Messstation mit den mittleren Koeffizienten und dem gemessenen Tagesmittelwert des Automaten $PM_{10, \text{Automat}}$ ein Tagesmittelwert $PM_{2.5, \text{Berechnung}}$ berechnen.

$$PM_{2.5, \text{Berechnung}} = a_{1m} * PM_{10, \text{Automat}} + a_{0m} \quad (\text{Gl. 5})$$

Es muss beachtet werden, dass bei sehr kleinen $PM_{10, \text{Automat}}$ -Werten negative $PM_{2.5}$ -Werte ausgerechnet werden. Für solche Fälle muss daher in der Praxis für $PM_{2.5}$ ein Ersatzwert verwendet werden.

3.5 Unsicherheit der berechneten PM_{2.5}-Werte

Die berechneten Tagesmittelwerte $PM_{2.5, \text{Berechnung}}$ können nun mit den gemessenen Referenzdaten $PM_{2.5, \text{HVS}}$ verglichen werden. Dazu wird wieder das Excel-Sheet „Equivalence“ genutzt. Die Ergebnisse für die Unsicherheit sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Es werden auch noch zusätzlich die Ergebnisse für den Zeitraum 2010 bis 2016 dargestellt, wobei wieder deutlich sichtbar ist, dass die Jahre 2017 bis 2018 die höchste Datenqualität aufweisen. Das Qualitätsziel, eine erweiterte Unsicherheit von 25 Prozent nicht zu überschreiten, wurde 2017 und 2018 für jede Messstation eingehalten.

Tabelle 6: Erweiterte Messunsicherheit der berechneten PM_{2.5}-Tagesmittelwerte in %

Messstation	CLE	DDN	DDB	LMI	DDW	LWE	COL
Stationstyp	Städtisch, Verkehr				Städtischer und ländlicher Hintergrund		
2010	28	19	30	40	31	28	13
2011	31	16	26	61	18	15	14
2012	101	13	29	42	15	13	9
2013	45	24	30	24	29	19	19
2014	27	21	27	18	27	19	28
2015	25	14	24	19	16	12	13
2016	47	16	19	21	19	12	13
2017	13	18	23	24	12	14	15
2018	16	13	18	19	13	15	12

3.6 Validierung mit den Daten von 2019

Unter Nutzung der Koeffizienten aus Tabelle 5 wurden für das Jahr 2019 anhand der $PM_{10, \text{Automat}}$ -Werte $PM_{2.5}$ -Tagesmittelwerte berechnet. Die daraus resultierten erweiterten Messunsicherheiten sind in Tabelle 7 zu sehen. Für alle Messstationen liegen die erweiterten Messunsicherheiten für PM_{10} unter 13 %. Für $PM_{2.5}$ liegen die erweiterten Messunsicherheiten für den Stationstyp „Städtisch, Verkehr“ zwischen 14 und 23 % und für die Stationen des städtischen und ländlichen Hintergrundes zwischen 9 und 11 %. Alle erweiterten Messunsicherheiten liegen unter 25 %. Damit wurde das Qualitätsziel erreicht. Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen den erweiterten Messunsicherheiten der $PM_{10, \text{Automat}}$ -Werte und der berechneten $PM_{2.5}$ -Werte.

Fazit: Der Testlauf für das Jahr 2019 war erfolgreich. Die Methode kann zukünftig angewendet werden.

Tabelle 7: Erweiterte Messunsicherheiten der berechneten PM₁₀- und PM_{2.5}-Tagesmittelwerte in %

Messtation	CLE	DDN	DDB	LMI	DDW	LWE	COL
Stationstyp	Städtisch, Verkehr				Städtischer und ländlicher Hintergrund		
PM ₁₀	4	13	11	7	6	7	8
PM _{2.5}	17	21	14	23	9	11	9

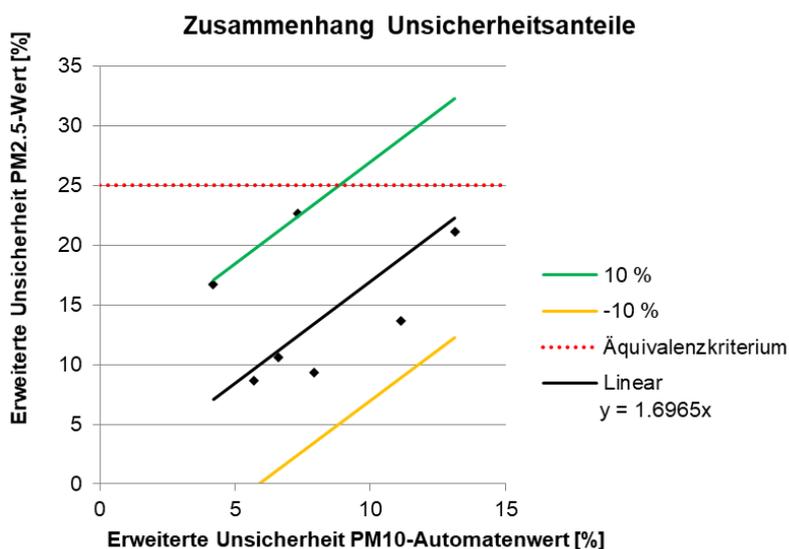


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Unsicherheitsanteil PM₁₀-Automat und Unsicherheit des PM_{2.5}-Tagesmittelwertes für das Jahr 2019

4 Zusammenfassung

Die aktuelle Berechnung von PM_{2.5}-Tagesmittelwerten aus PM₁₀-Automatendaten liefert Ergebnisse, deren erweiterte Unsicherheiten das Datenqualitätsziel < 25 % erfüllen. Spezifische Berechnungen für jede Station einzeln sind nicht erforderlich. Die verkehrsnahen Stationen sowie die Stationen im städtischen und ländlichen Hintergrund können in den beiden Gruppen »Städtisch, Verkehr« und »Städtischer und ländlicher Hintergrund« zusammengefasst werden. Die berechneten PM_{2.5}-Tagesmittel können für tagaktuelle Modellierungen sowie als Stützstellen für die flächenhafte Modellierung von Jahresmittelwerten genutzt werden.

Es wird beabsichtigt,

- die berechneten PM_{2.5}-Tagesmittel auf Anfrage zur Verfügung zu stellen und
- die Koeffizienten für die Berechnung jährlich zu überprüfen und bei Bedarf fortzuschreiben.

Literaturverzeichnis

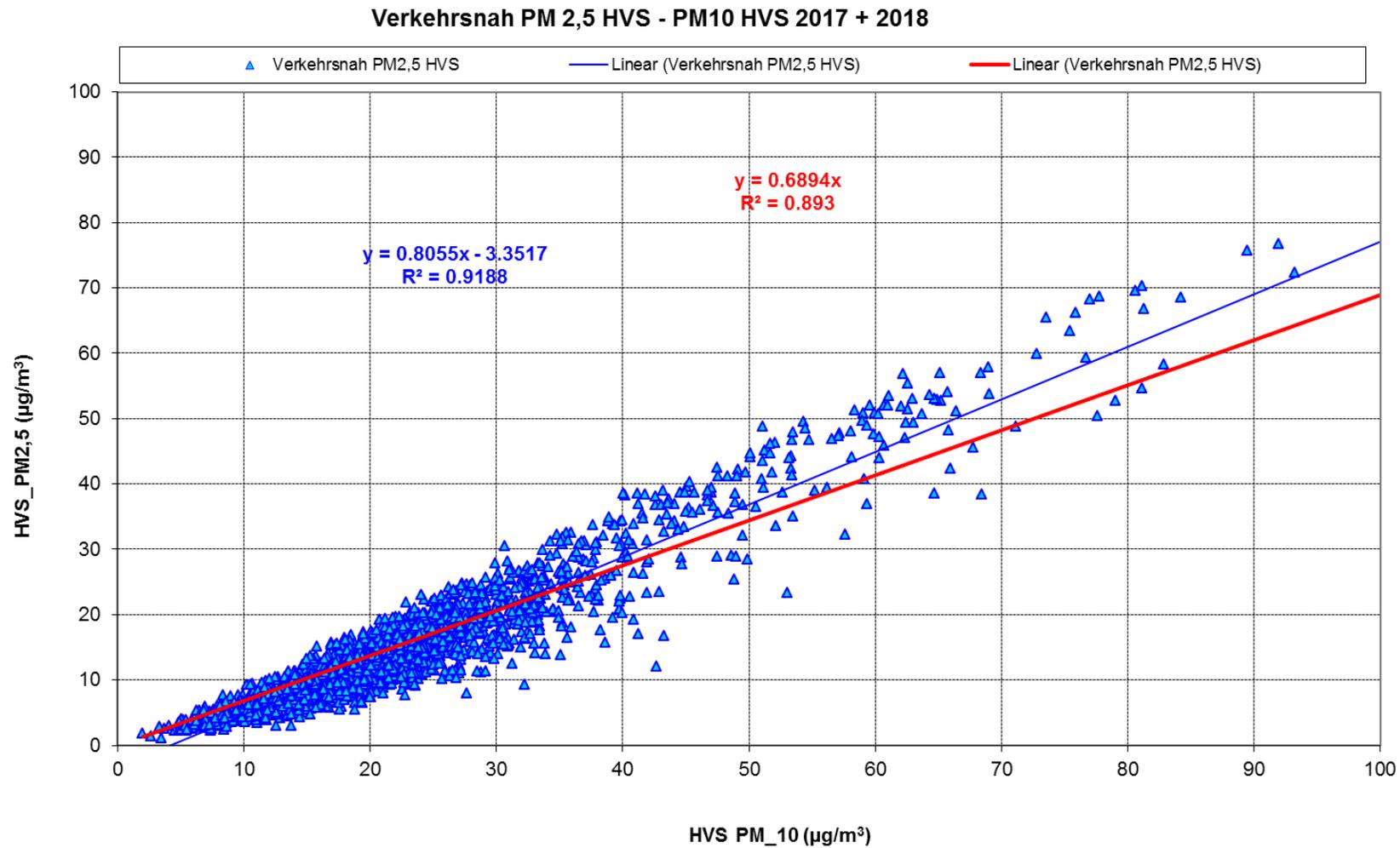
LÖSCHAU, G.; WIEDENSOHLER, A.; BIRMILI, W.; RASCH, F.; SPINDLER, G.; MÜLLER, K.; HAUSMANN, A.; WOLF, U.; SOMMER, W.; ANHALT, M.; DIETZ, V.; HERRMANN, H.; BÖHME, U.; KATH, H.-G.; KÜHNE, H. (2017): Umweltzone Leipzig, Teil 6: Abschlussbericht – Immissionssituation von 2010 bis 2016 und Wirkung der Umweltzone. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Oktober 2017.

<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/29757>

LÖSCHAU, G.; HAUSMANN, A.; PAUSCH, A.; KATH, H.-G.; KÜHNE, H. (2017): Sächsische PM_{2.5}-Daten für aktuelle UBA-Karte - Ein Vorschlag für die Bereitstellung von PM_{2.5}-Tagesmittelwerten aus Sachsen zur Erstellung der aktuellen PM_{2.5}-Karte des Umweltbundesamtes. Interner unveröffentlichter Entwurf vom 20.6.2017 vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

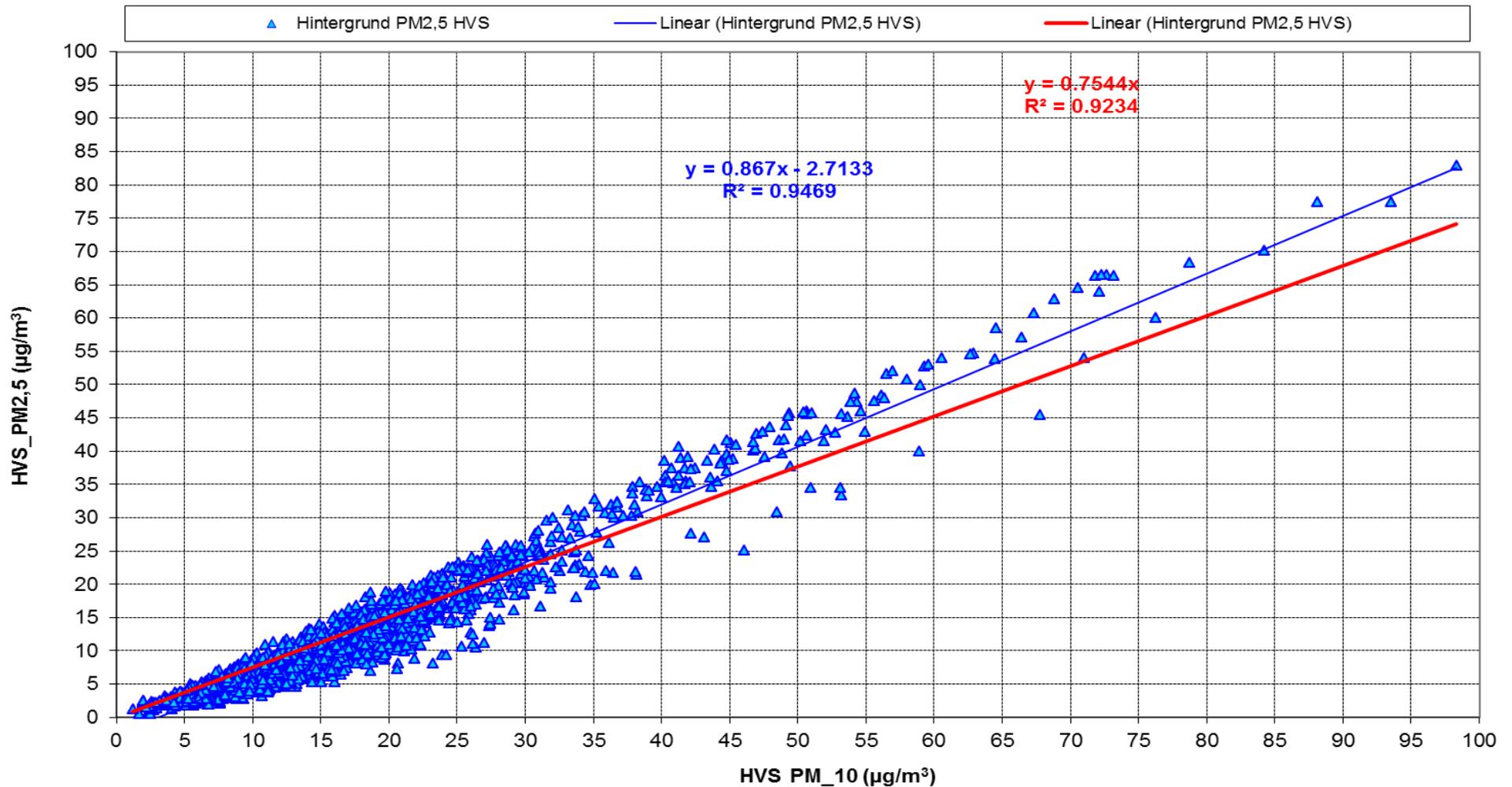
A 1 Anhang

A 1.1 Zusammenhang PM_{10, HVS} und PM_{2,5, HVS} für verkehrsnahen Messstationen



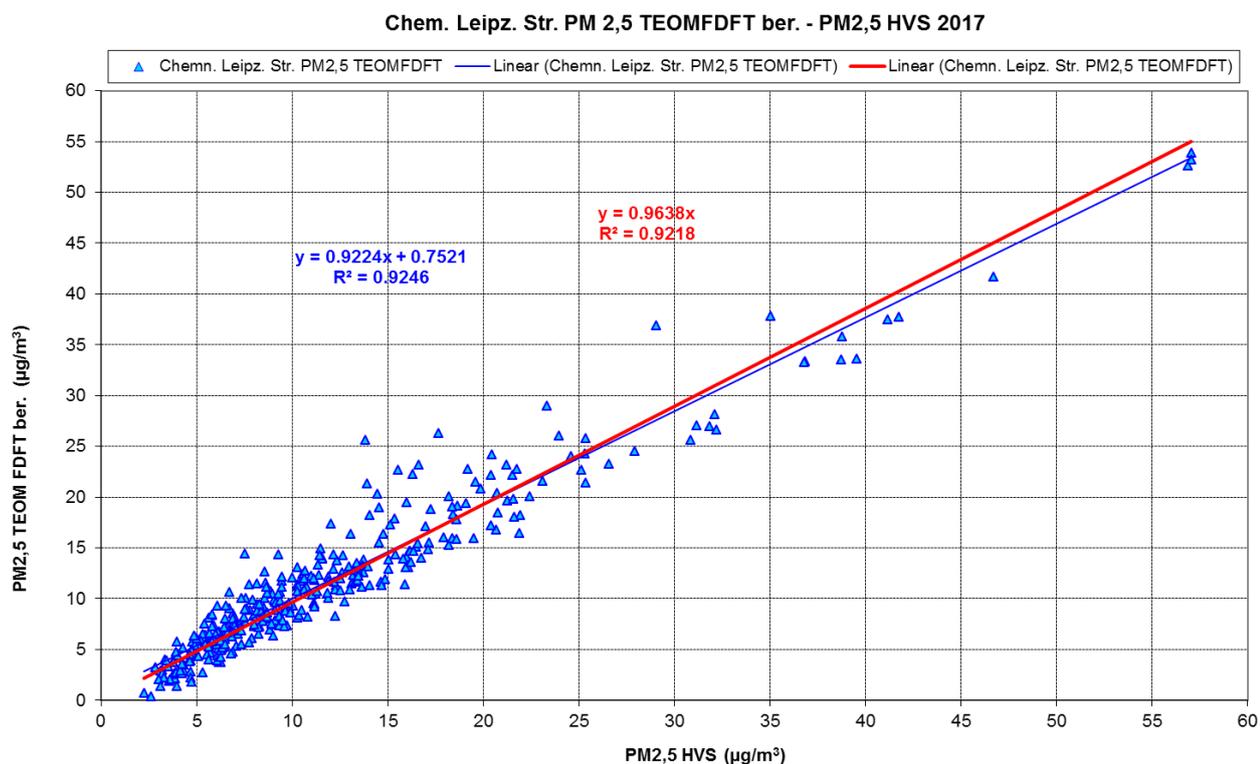
A 1.2 Zusammenhang PM_{10, HVS} und PM_{2,5, HVS} für Hintergrund-Messstationen

Hintergrund PM 2,5 HVS - PM10 HVS 2017 + 2018

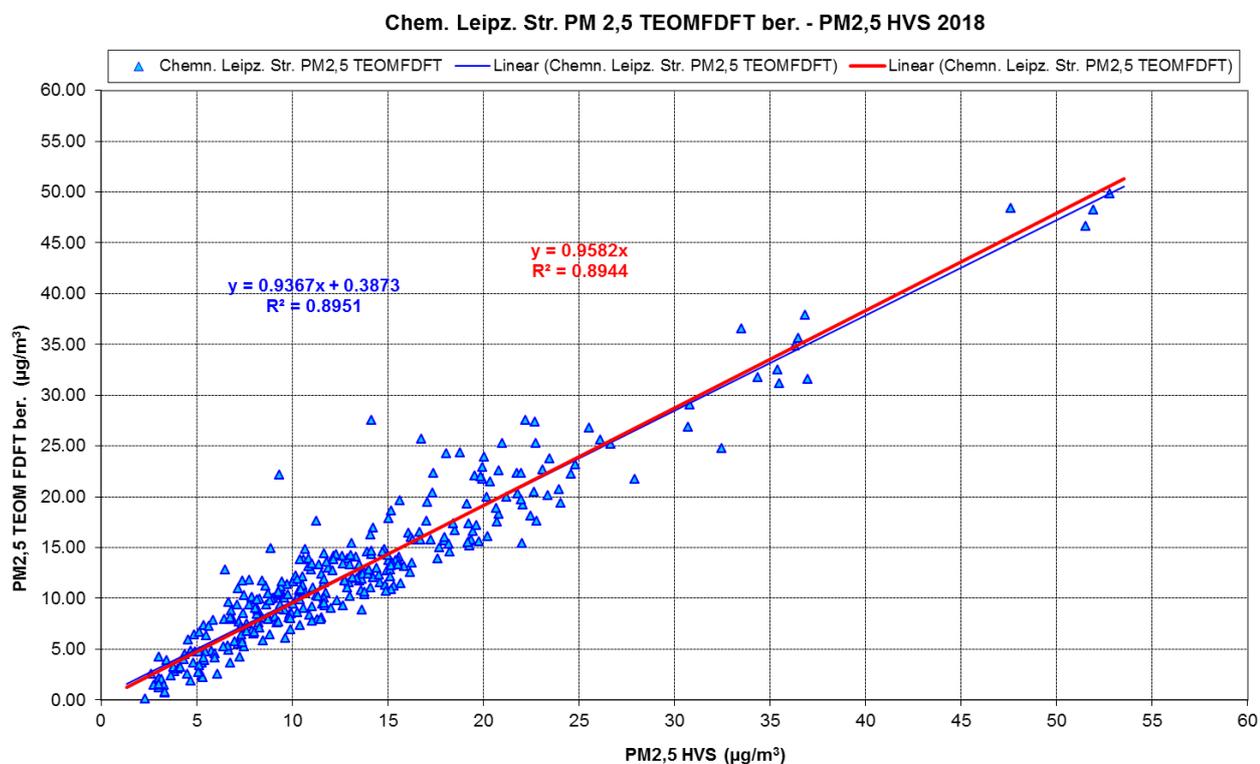


A 1.3 Zusammenhang PM_{2,5}, Berechnung und PM_{2,5}, HVS für die Messstation CLE

Jahr 2017:

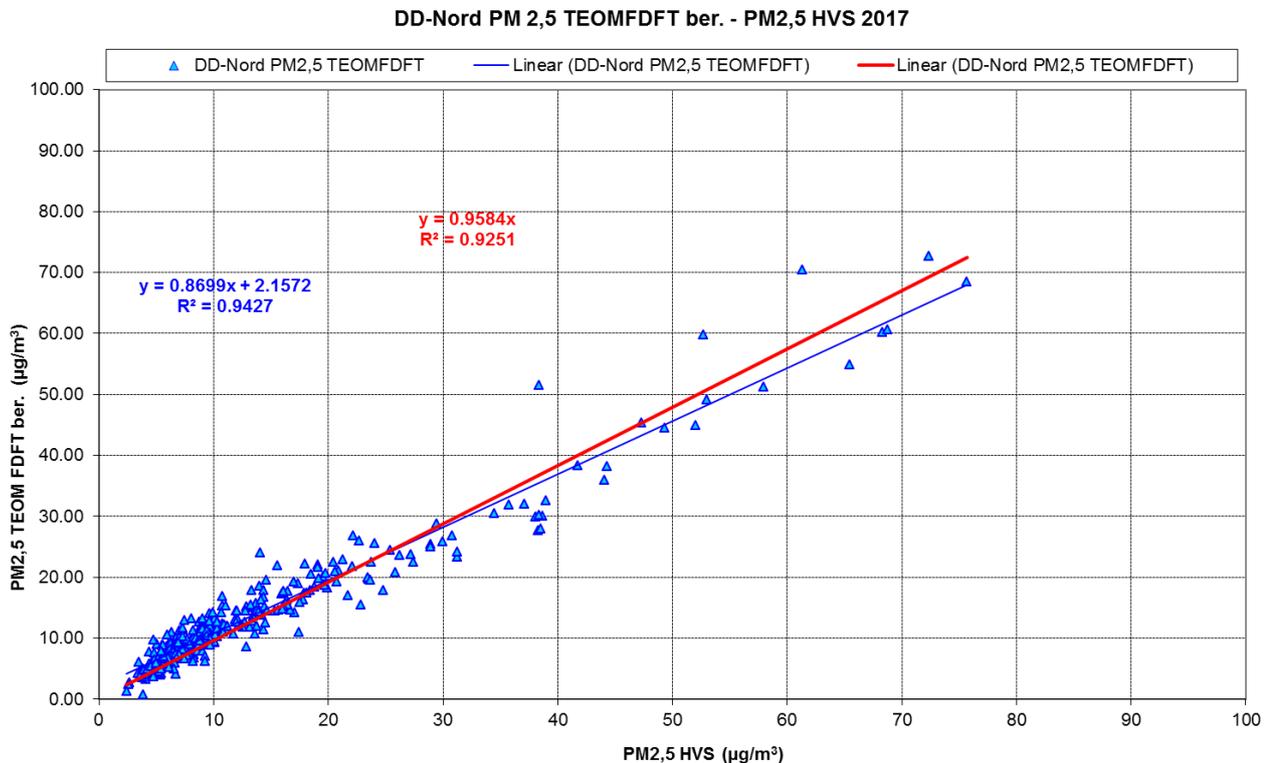


Jahr 2018:

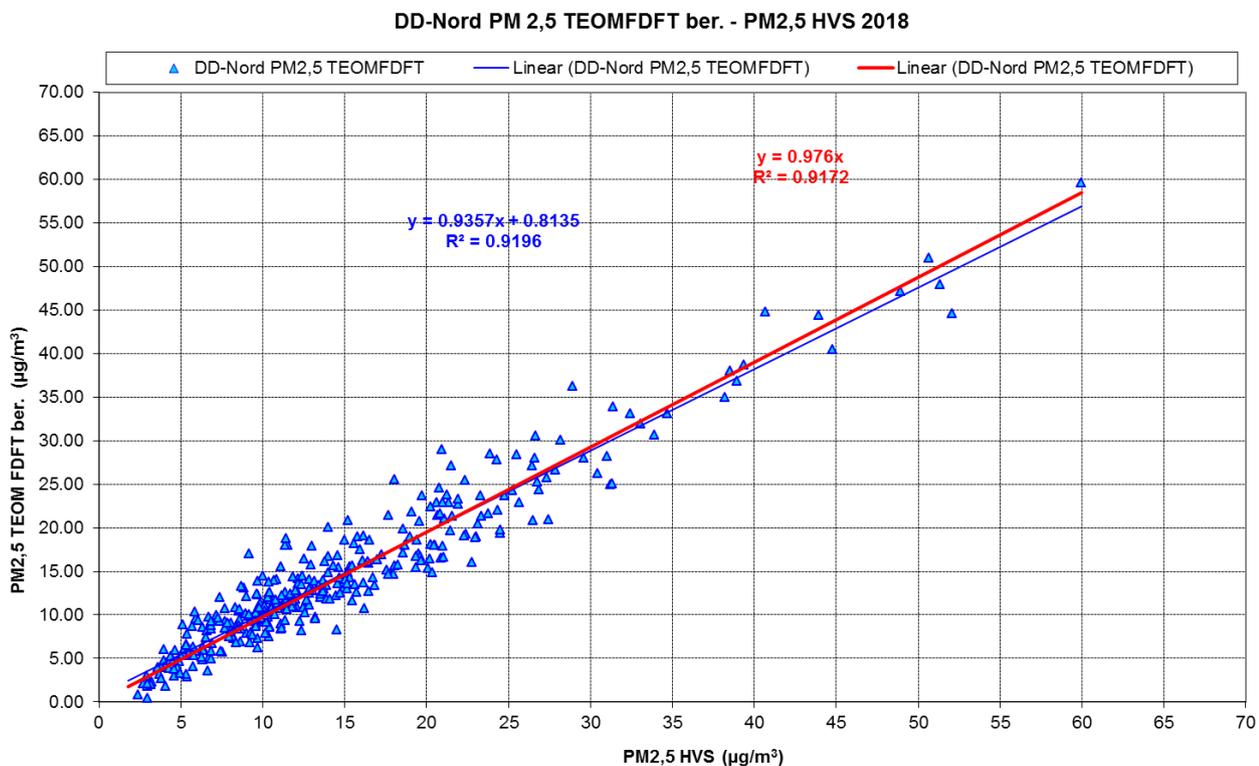


A 1.4 Zusammenhang PM_{2,5}, Berechnung und PM_{2,5}, HVS für die Messstation DDN

Jahr 2017:

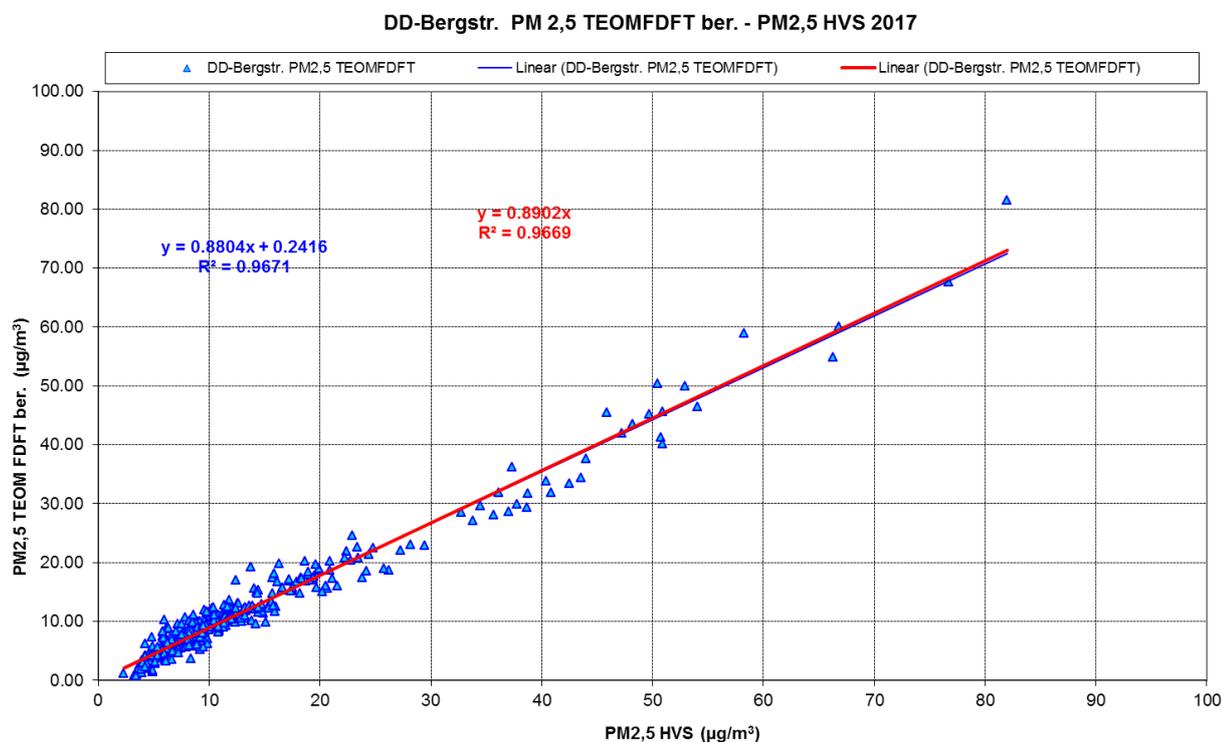


Jahr 2018:

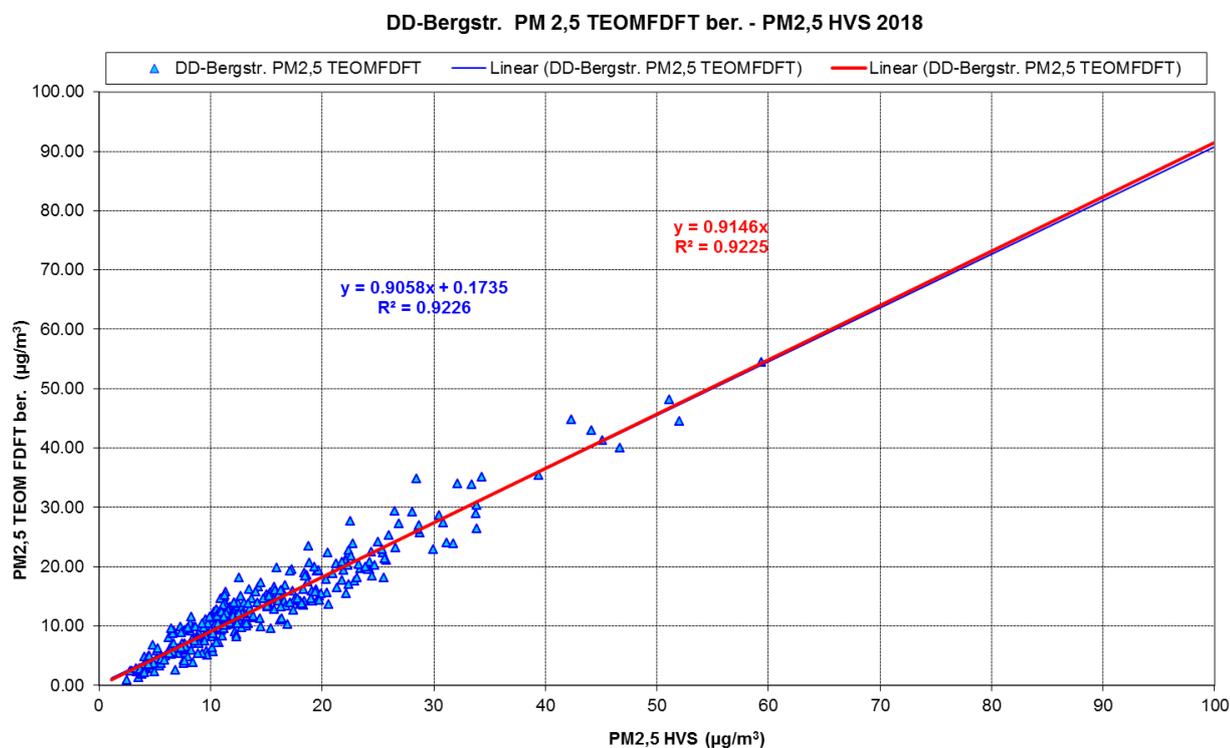


A 1.5 Zusammenhang PM_{2,5}, Berechnung und PM_{2,5}, HVS für die Messstation DDB

Jahr 2017:

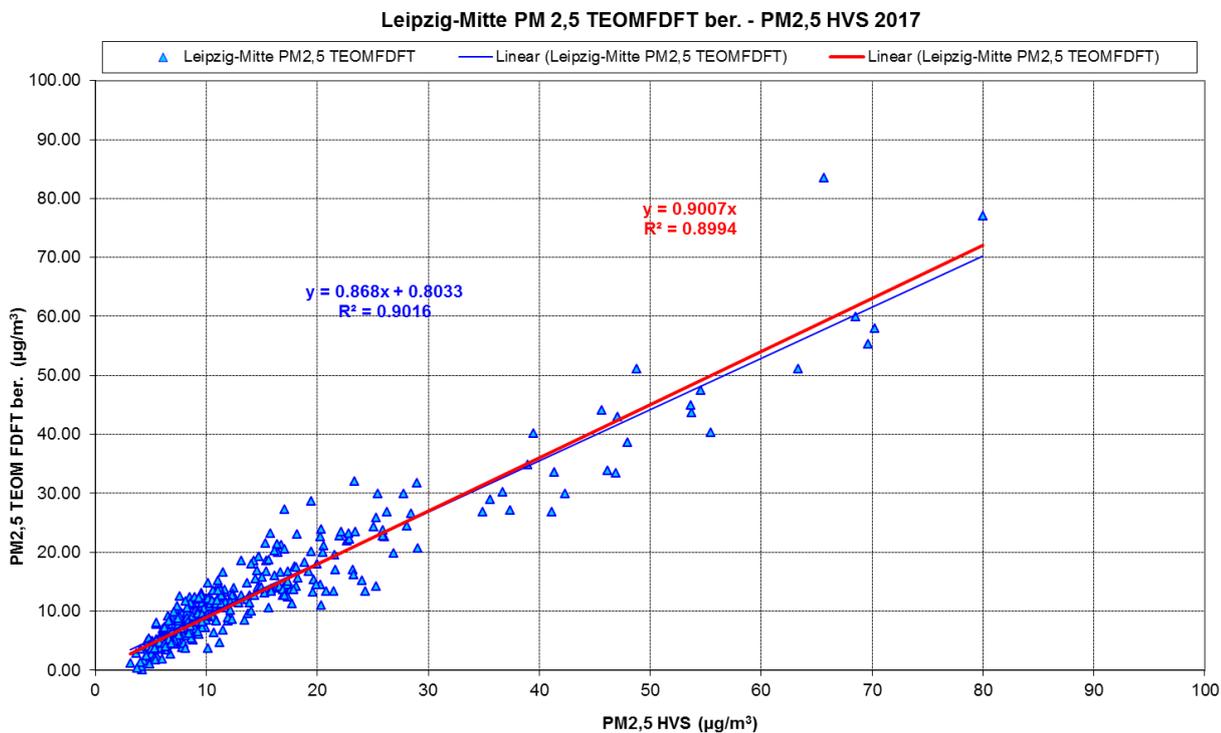


Jahr 2018:

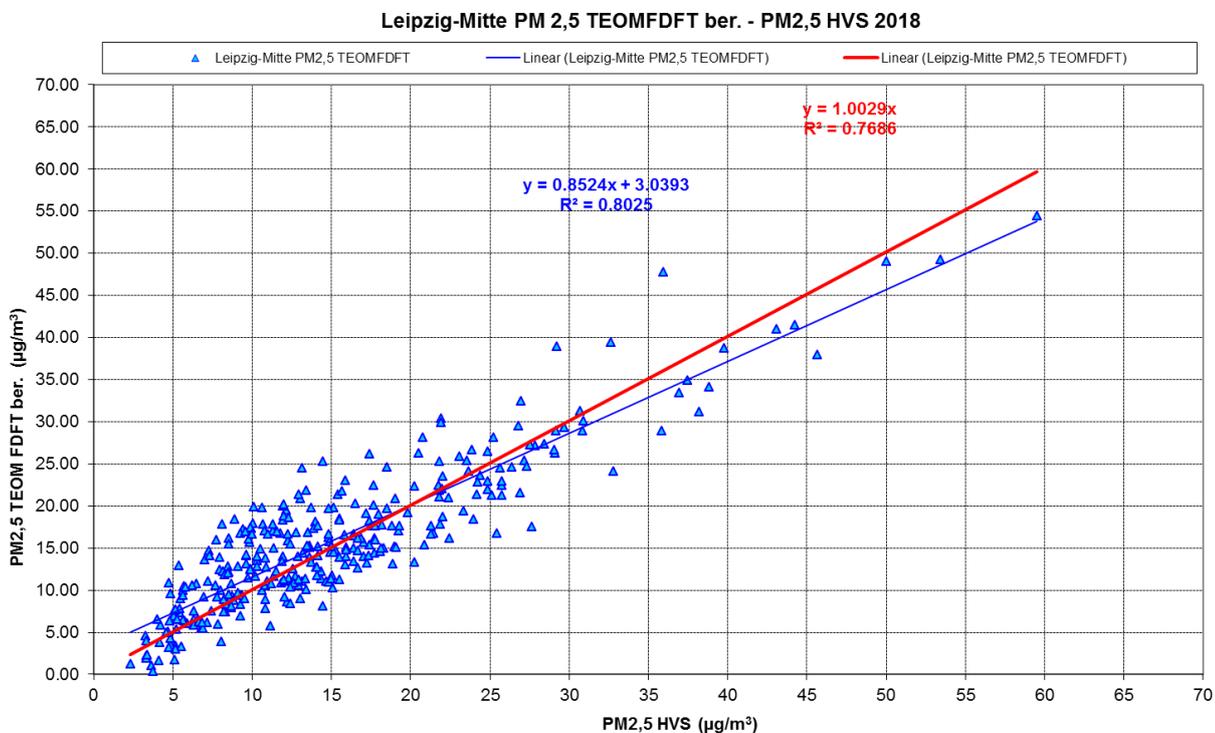


A 1.6 Zusammenhang PM_{2,5}, Berechnung und PM_{2,5}, HVS für die Messstation LMI

Jahr 2017:

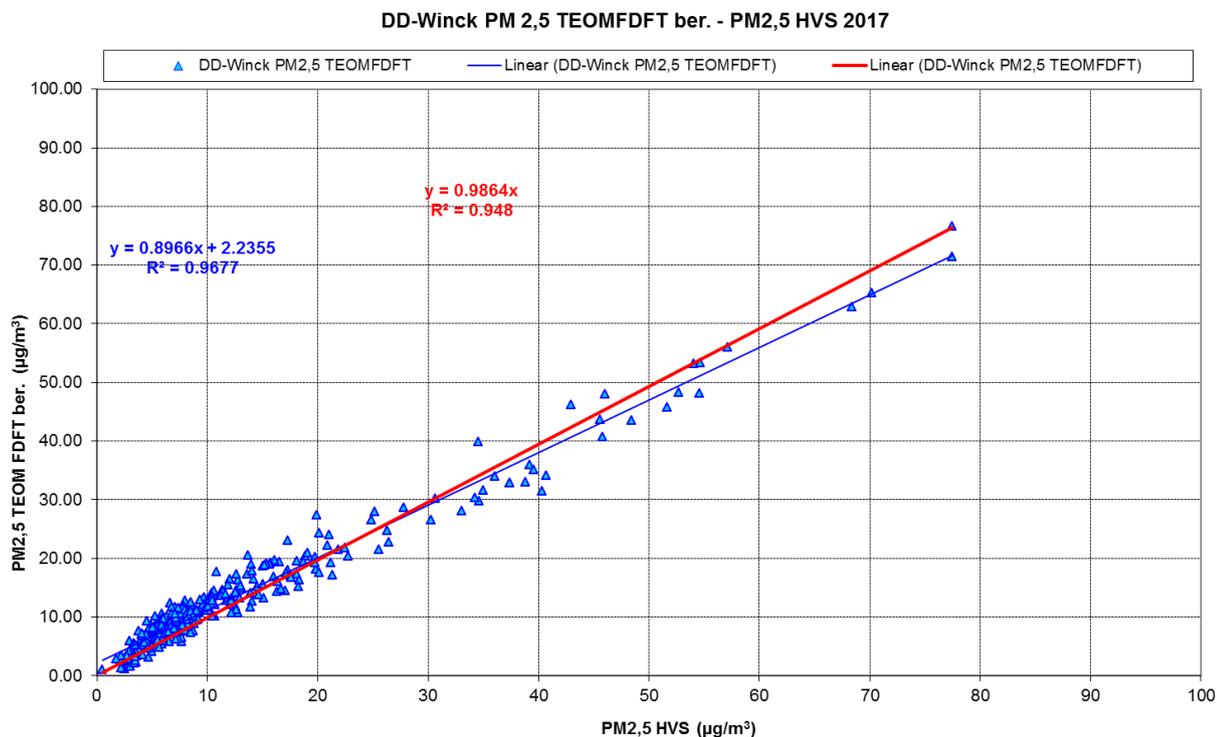


Jahr 2018:

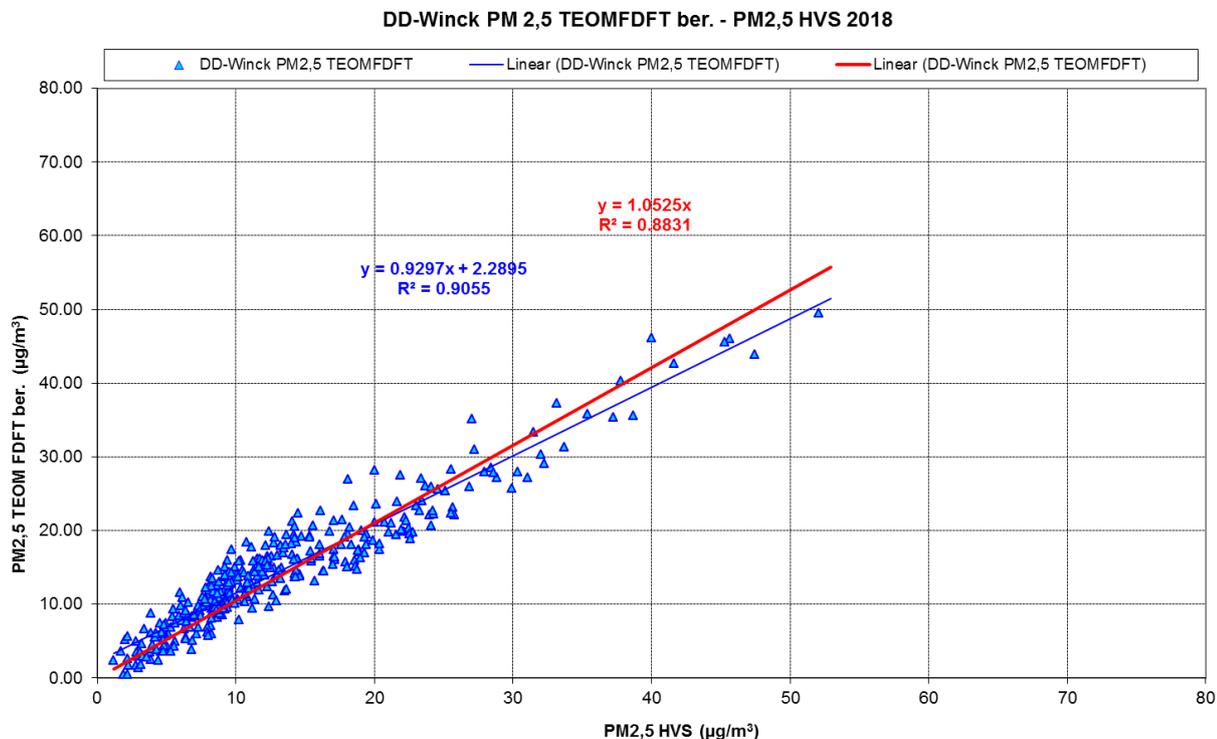


A 1.7 Zusammenhang PM_{2,5}, Berechnung und PM_{2,5}, HVS für die Messstation DDW

Jahr 2017:

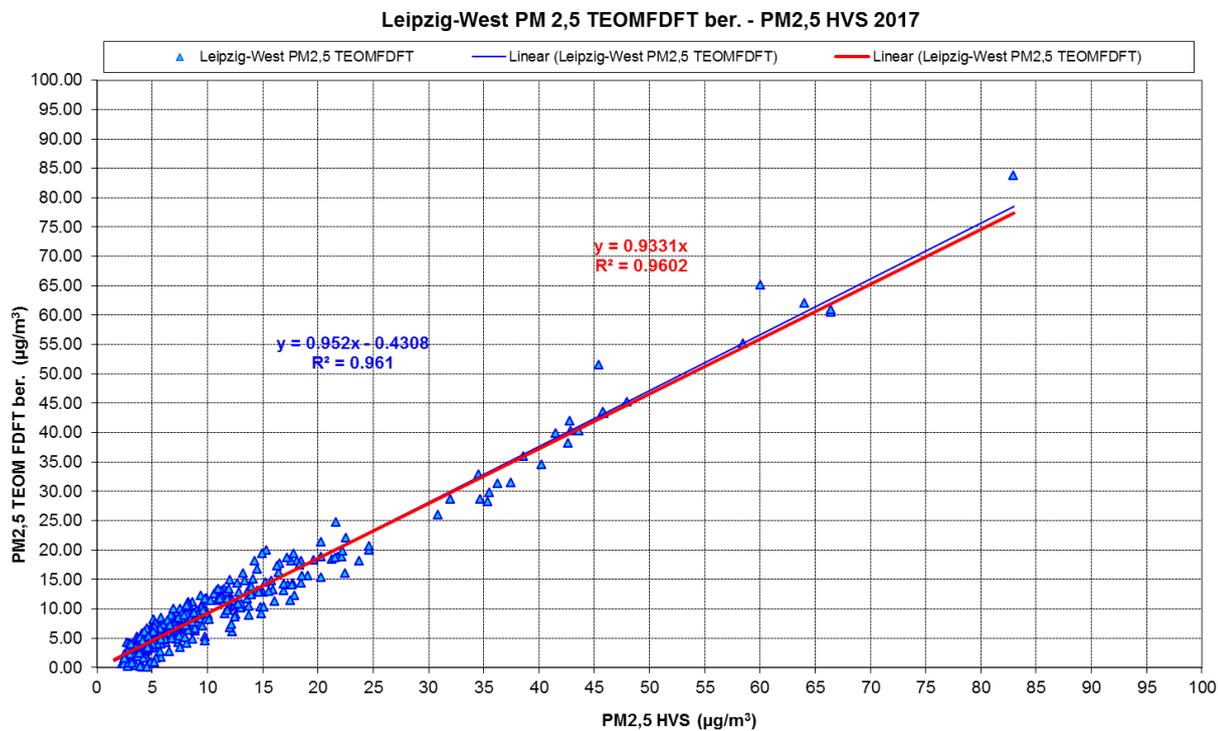


Jahr 2018:

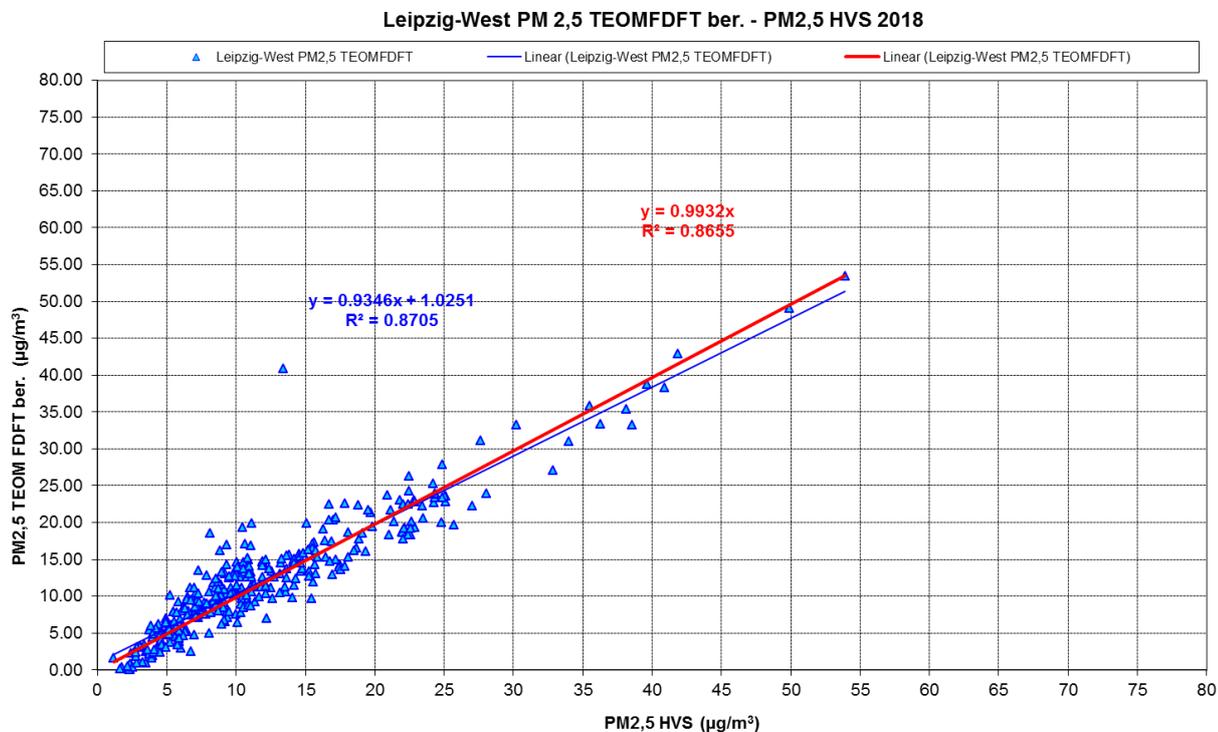


A 1.8 Zusammenhang PM_{2,5}, Berechnung und PM_{2,5}, HVS für die Messstation LWE

Jahr 2017:

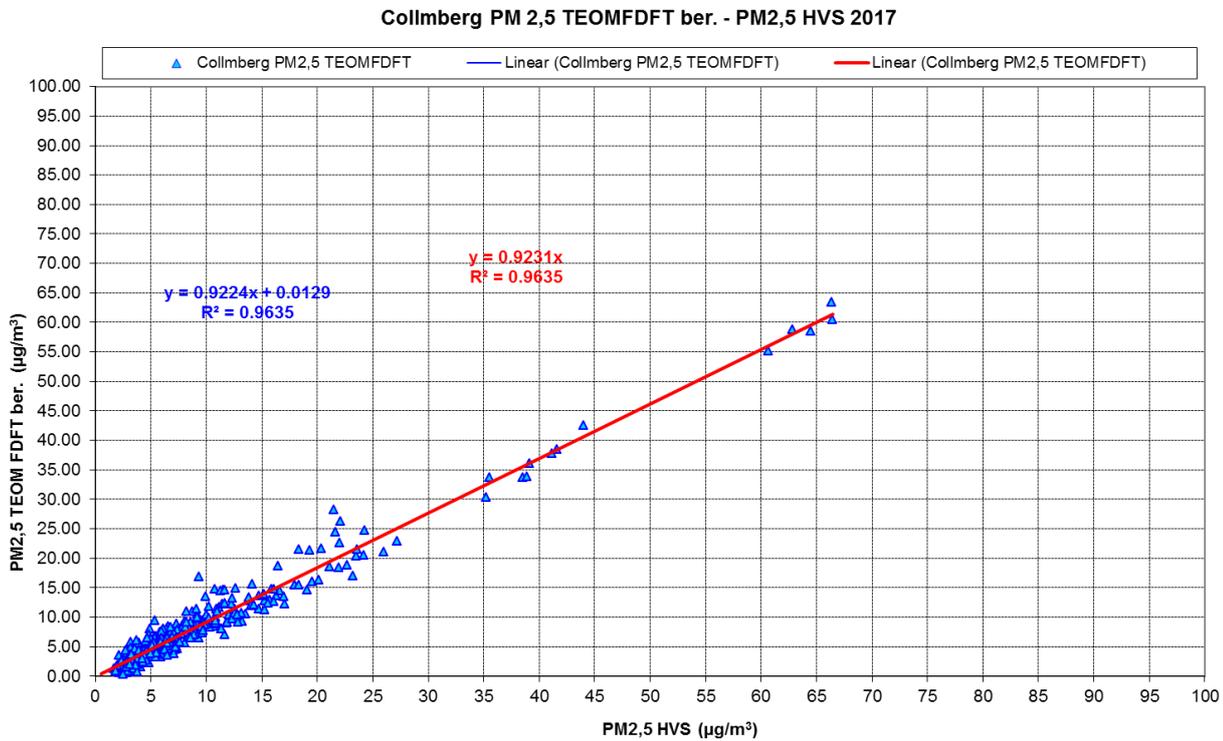


Jahr 2018:



A 1.9 Zusammenhang PM_{2,5}, Berechnung und PM_{2,5}, HVS für die Messstation COL

Jahr 2017:



Jahr 2018:

