



Staatliches Gewerbeaufsichtsamt  
Hildesheim



## Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen

### PM<sub>2,5</sub>-/ PM<sub>10</sub>-Vergleichsmessungen zwischen automatischen Messungen und Referenzmess- verfahren im Jahr 2015

Festlegung der Korrekturfunktionen 2015

Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung,  
Lärm und Gefahrstoffe - ZUS LLG



Niedersachsen



Titelbilder: diverse Staubsammelgeräte (links), Aufbewahrung von Staubfilter (mittig),  
diverse Probenahmeeinrichtungen (rechts)

**Bericht Nr. 42-16-003**

Stand: 18.04.2016

Durchführung:



Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim  
Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und  
Gefahrstoffe - ZUS LLG, Dezernat 42, Dezernat 43  
Goslarsche Straße 3, 31134 Hildesheim





## Festlegung der Korrekturfunktionen für das Kalenderjahr 2015 und der vorläufigen Korrekturfunktionen für 2016 für $PM_{2,5}$ und $PM_{10}$

### Inhalt

1	Einleitung .....	4
2	Grundlagen für die Festlegung der Korrekturfunktionen .....	4
3	Vergleichsmessungen in 2015 .....	4
4	Ergebnisse und Festlegung der Korrekturfunktionen.....	5
Anhang A – Vergleichsmessungen zwischen den Messverfahren LVS (Derenda PNS 18 T3,1) und HVS (Digital DHA 80) .....		6
Anhang B – Ergebnisse der $PM_{2,5}$ -Vergleichsmessungen (LVS/HVS vs. SHARP 5030).....		8
Anhang C – Ergebnisse der $PM_{10}$ -Vergleichsmessungen (LVS/HVS vs. SHARP 5030) .....		9



## 1 Einleitung

Im Messnetz des LÜN werden neben gravimetrischen Referenzmessverfahren aus Kostengründen und zur aktuellen Information der Öffentlichkeit flächendeckend automatische, kontinuierlich messende Messgeräte für die Feinstaubmessung eingesetzt. Diese Geräte weisen ohne Kalibrierung Abweichungen vom Referenzmessverfahren auf.

Daher ist es notwendig, die kontinuierlich erhobenen Daten durch Korrekturfunktionen auf das Referenzverfahren zu beziehen. Aus diesem Grund werden an ausgewählten Messstationen automatische Messgeräte und Referenzmessgeräte parallel betrieben. Zur Angleichung der Daten an das Referenzmessverfahren wird wie folgt vorgegangen. In einem ersten Schritt werden aktuell auflaufende Daten der automatischen Messgeräte mit der Korrekturfunktion des vorangegangenen Jahres vorläufig korrigiert. In einem zweiten Schritt werden die Feinstaubwerte nach Ablauf eines Kalenderjahres auf Basis der zum jeweiligen Kalenderjahr ermittelten Korrekturfunktion neu bewertet. Endgültig validierte Feinstaubwerte liegen somit immer erst zu Beginn des folgenden Kalenderjahres vor.

## 2 Grundlagen für die Festlegung der Korrekturfunktionen

Folgende Aspekte wurden bei der Festlegung der Korrekturfunktionen berücksichtigt:

- Die Äquivalenz gravimetrischer Messverfahren ist im Rahmen der STIMES-Vergleichsmessungen im Jahr 2003 für  $PM_{10}$  nachgewiesen worden.
- Die Äquivalenz gravimetrischer und automatischer Messverfahren ist im Rahmen der STIMES-Vergleichsmessungen in den Jahren 2008/2009 für  $PM_{2,5}$  nachgewiesen worden.
- Als Referenzmessverfahren kommen Staubsammler mit gravimetrischer Staubmassenbestimmung zum Einsatz. Zur Unterscheidung von  $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$  werden bei der Probenahme fraktionierende Vorabscheider verwendet.
- Auf der Basis von Vergleichsmessungen werden jeweils 24-stündige Probenahmen zwischen Referenzmess- und automatischen Messverfahren über den Zeitraum eines Kalenderjahres ausgewertet.
- Zum Nachweis der Äquivalenz automatischer Messverfahren muss ein funktionaler Zusammenhang zum Referenzmessverfahren gegeben sein. In diesem Fall dürfen, um die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen, Messwerte entsprechend korrigiert werden.
- Anforderungen zum Nachweis der Äquivalenz sind in DIN EN 12341 (für  $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$ ) sowie in dem Report „Demonstration of equivalence of Ambient Air Monitoring Methods“ festgelegt.
- Bei der Äquivalenzprüfung und der Ermittlung der Korrekturfunktion ist auf Basis der o.g. Quellen vorzugehen.

## 3 Vergleichsmessungen in 2015

Im Jahr 2015 wurden für die Vergleichsmessungen zur Kalibrierung des automatischen Messverfahrens für  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  (SHARP 5030) erstmals die gleiche Anzahl (7) an High-Volume-Samplern bzw. Low-Volume-Samplern eingesetzt. Für die Vergleichsmessungen kamen Quarzfaserfilter zum Einsatz, die vor der vorgeschriebenen Äquilibration etwa zwei Wochen in einer gesättigten Wasserdampfatosphäre gelagert wurden. Die Auswertungen, insbesondere die der gravimetrischen Analysen, wurden explizit nach den Anforderungen der DIN EN12341 (August 2014) durchgeführt. Abweichend von den Vorgaben der Richtlinie (Anhang B – B.2.2.1) wurden jedoch die Ergebnisse beider Referenzmessverfahren gleichwertig bei der Berechnung der Kalibrierfunktion eingesetzt. Die Ergebnisse zweier parallel betriebener Referenzmessverfahren (HVS, LVS – 161 Datenpaare) in der Göttinger Straße in Hannover liefern hierfür die Begründung (s. Anhang A).



#### 4 Ergebnisse und Festlegung der Korrekturfunktionen

- Die Bestimmung der Korrekturfunktion für die  $PM_{2,5}$ -Messung mittels SHARP-Geräte basiert auf Vergleichsmessungen an vier LÜN-Standorten (s. Anhang B).
- Für die Bestimmung der Korrekturfunktion für die  $PM_{10}$ -Messung mittels SHARP-Geräte wurden die ganzjährig durchgeführten Vergleichsmessungen an neun Stationen zu Grunde gelegt (s. Anhang C)
- Sowohl für  $PM_{10}$  als auch für  $PM_{2,5}$  konnte für die SHARP-Geräte die Gleichwertigkeit mit dem Referenzmessverfahren nach entsprechender Korrektur anhand der geforderten Messunsicherheit für alle betrachteten Messstandorte nachgewiesen werden.

Als gültige **Korrekturfunktionen** wurden für **alle Messstandorte** folgende Funktionen bestimmt bzw. festgelegt:

$$PM_{10, \text{endgültig}} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = 0,9917 * PM_{10} (\mu\text{g}/\text{m}^3) + 0,4392 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$PM_{2,5, \text{endgültig}} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = 0,9703 * PM_{2,5} - 0,2436 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

Die einzelnen Kenngrößen der Vergleichsmessungen sind den Anhängen B und C zu entnehmen.

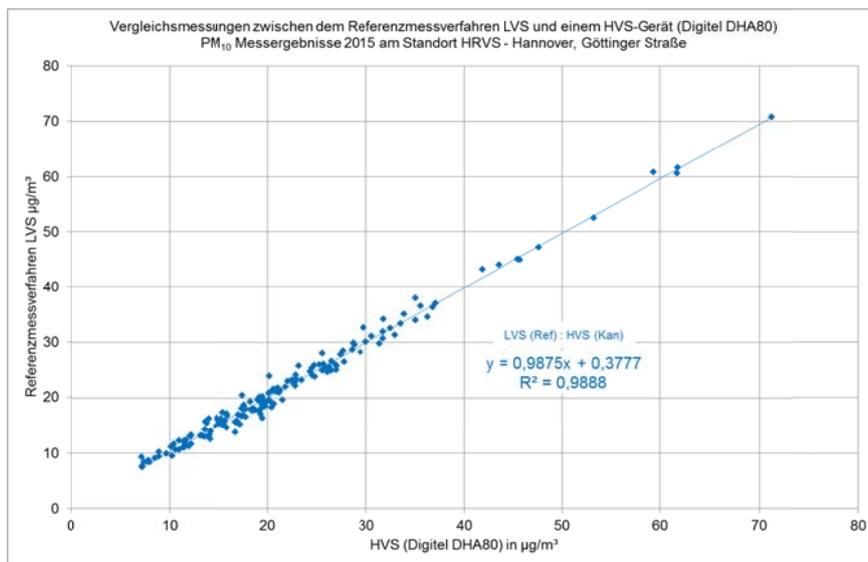


## Anhang A – Vergleichsmessungen zwischen den Messverfahren LVS (Derenda PNS 18 T3,1) und HVS (Digital DHA 80)

Im Jahr 2015 wurden an der Verkehrsmessstation in der Göttinger Straße in Hannover zwei Staubsammelgeräte parallel betrieben (HVS, LVS – 161 Datenpaare) um die Gleichwertigkeit beider Verfahren zu demonstrieren. Dabei kam als Referenzmessverfahren gemäß DIN EN12341 (August 2015) ein Kleinfiltergerät (LVS) des Typs Derenda PNS 18 T3,1 zum Einsatz. Bei dem HVS handelte es sich um ein Gerät des Typs Digital DHA 80. 161 Datenpaare auf Basis von  $PM_{10}$ -Tagesmittelwerten liefern die Grundlage für die nachfolgenden Betrachtungen.

Die Jahresmittelwerte beider Referenzmessverfahren ergaben übereinstimmende Ergebnisse (HVS =  $21,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; LVS  $21,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Ein statistischer Mittelwerttest (Kaiser/Gottschalk) ergab, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Tagesmittelwerten besteht und es sich daher um zufällige Abweichungen zwischen den einzelnen Messwerten handelt. Veranschaulicht wird das u.a. auch durch die nachfolgende Abbildung.



Die between-sampler-uncertainty, berechnet als Standardabweichung der Doppelbestimmungen (hier die Ergebnisse der beiden Messverfahren (HVS und LVS) als Doppelbestimmung gegenübergestellt), bleibt entsprechend der Anforderung bei Äquivalenztests (Guidance for the Demonstration of Equivalence - Punkt 9.5.3.2) mit  $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sehr deutlich unter dem geforderten Wert von  $\leq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Äquivalenz -Test	
Referenzmessverfahren (Reference) (RM):	Derenda
Standardmessunsicherheit des RM:	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Testmessverfahren (Candidate) (CM):	Digital
Messobjekt:	$PM_{10}$
Messort(e):	HRVS (Derenda-Ref zu Digital-Kan)
Messzeitraum:	01.01.15 bis 31.12.15
Messergebnisse:	Referenzdaten, zweitäglich (n = 161)
Grenzwert:	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Datenqualitätsziel der Messunsicherheit:	25 %
Orthogonale Regressionsanalyse	
Steigungsmaß (b):	1,0071 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Standardunsicherheit der Steigung:	0,0083 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Achsenabschnitt (a):	-0,2593 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Standardunsicherheit des Achsenabschnitts:	0,2028 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Bestimmtheitsmaß ( $r^2$ ):	0,9888
Äquivalenz Ergebnisse für die Kandidatmethode	
Zufällige Abweichungen:	1,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Systematische Abweichung am Grenzwert:	-0,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kombinierte Abweichungsunsicherheiten:	1,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Standardmessunsicherheit am Grenzwert:	2,33 %
Erweiterte relative Messunsicherheit:	4,7 % (K = 2)



Auch die ermittelte kombinierte Messunsicherheit bleibt mit  $1,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unterhalb der maximal zulässigen „between sampler uncertainty“ von  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Ein wesentlicher Faktor für die gute Übereinstimmung wird in der zusätzlichen Konditionierung der für LVS- und HVS-Geräte eingesetzten Quarzfaserfilter (Munktel MK360) gesehen, welche nach dem Erscheinen der überarbeiteten DIN EN 12341 im August 2014 in die Routine übernommen wurde. Dabei werden die Filter zunächst über zwei Wochen in einer gesättigten Wasserdampf-atmosphäre gelagert, worauf sich eine Konditionierung unter Wägelaborbedingungen über eine Woche anschließt. Erst dann erfolgt die entsprechend der Richtlinie geforderte 48-stündige Äquilibration im Wägelabor. Dieser zeitliche und apparative Mehraufwand ermöglichte es, die strengen Anforderungen im Hinblick auf die Feldblindwerte sowohl für die großen Filter ( $\varnothing 150 \text{ mm}$ ) als auch für die kleinen Filter ( $\varnothing 47 \text{ mm}$ ) einzuhalten. Die Filter bleiben seitdem hinsichtlich Masseänderungen durch Feuchtigkeitsschwankungen über den gravimetrischen Bearbeitungszeitraum von bis zu sieben Wochen stabil. Feldblindwertkorrekturen wurden nicht vorgenommen.

**Die Untersuchungen belegen, dass beide Messverfahren (HVS, Digital DHA 80 und LVS, Derenda PNS 18 T3,1) als gleichwertige Referenzmessverfahren eingesetzt werden können.**



Anhang B – Ergebnisse der PM<sub>2,5</sub>-Vergleichsmessungen (LVS/HVS vs. SHARP 5030)

PM<sub>2,5</sub>-Vergleichsmessungen mit dem DIGITEL DHA 80 bzw. dem DERENDA PNS 18 T3,1 zur Kalibrierung der Ergebnisse 2015 der SHARP 5030-Monitore im LÜN

Rohdaten 2015		HRSW	OKCC	OKVT	SROO	Gesamt- daten
		tägl. Derenda	tägl. Derenda	zweitgl. Digitel	zweitgl. Derenda	
1	Anzahl Datensätze insgesamt:	334	337	162	149	<b>982</b>
2	Datenverfügbarkeit (%):	<b>91,5%</b>	<b>92,3%</b>	<b>88,5%</b>	<b>81,4%</b>	<b>88,4%</b>
<b>Ortho Reg.</b>						
3	Orthogonale Regression (Steigung):	0,9233	0,9951	0,9352	1,0744	<b>0,9703</b>
4	Orthogonale Regression (Achsenabschnitt):	-0,0990	-0,6309	0,8804	-0,9039	<b>-0,2436</b>
5	Bestimmtheitsmaß (r <sup>2</sup> ):	0,92	0,93	0,94	0,91	<b>0,93</b>

Daten 2014 zum Vergleich		Digitel	Digitel	Digitel		
6	Orthogonale Regression (Steigung):	0,8999	0,9421	0,8745	1,0226	0,9253
7	Orthogonale Regression (Achsenabschnitt):	0,1726	-0,2357	0,8854	-0,9196	0,0026
8	Bestimmtheitsmaß (r <sup>2</sup> ):	0,96	0,93	0,93	0,93	0,94

Datenvergleich		HRSW	OKCC	OKVT	SROO	Gesamt
9	<b>Jahresmittelwert PM<sub>2,5</sub> (Gravimetrie) (µg/m<sup>3</sup>) :</b>	<b>11,4</b>	<b>11,4</b>	<b>14,8</b>	<b>11,4</b>	<b>12,3</b>
10	<b>Jahresmittelwert PM<sub>2,5</sub> (SHARP-Rohdaten) (µg/m<sup>3</sup>) :</b>	<b>12,5</b>	<b>12,1</b>	<b>14,9</b>	<b>11,4</b>	<b>12,7</b>
11	Jahresmittelwert SHARP 5030 (XPM <sub>2,5</sub> ) berechnet s. o. :	11,8	11,5	14,2	10,8	<b>12,1</b>
12	Abweichung JMW bei SHARP-Rohdaten (%):	9,6%	6,1%	0,7%	0,0%	---
13	Abweichung JMW bei kalibrierten Daten (%):	3,5%	0,9%	-4,1%	-5,3%	---

Bewertung

Messunsicherheit - Tagesmittelwertbezug 30 µg/m<sup>3</sup> (0,5 µg/m<sup>3</sup> Standardmessunsicherheit des Referenzmessverfahrens)

		HRSW	OKCC	OKVT	SROO	Gesamt
		Derenda	Derenda	Digitel	Derenda	
14	erw. Unsicherheit SHARP 5030 (PM <sub>2,5</sub> ) Rohdaten(%):	<b>26,5</b>	<b>18,1</b>	<b>17,7</b>	<b>18,5</b>	<b>20,2</b>
15	erw. Unsicherheit SHARP 5030 (XPM <sub>2,5</sub> ) berechnet (%):	<b>21,4</b>	<b>17,0</b>	<b>15,5</b>	<b>22,4</b>	<b>19,1</b>

(f=0,9703x-0,2436) orthogonal s. o.

(17,9)  
bei eigener Kal.



Anhang C – Ergebnisse der PM<sub>10</sub>-Vergleichsmessungen (LVS/HVS vs. SHARP 5030)

PM<sub>10</sub>-Vergleichsmessungen mit dem DIGITEL DHA 80 bzw. DERENDA PNS 18 T3,1  
zur Kalibrierung der Ergebnisse 2015 der SHARP 5030-Monitore im LÜN

Rohdaten 2015		BSVS tägl. Digitel	GNVS tägl. Digitel	HRVS tägl. Digitel	HRVS zweitgl. Derenda	OGCC tägl. Derenda	OKVT tägl. Digitel	OLVT tägl. Digitel	SROO zweitgl. Derenda	WNCC zweitgl. Digitel	Gesamt- daten
1	Anzahl Datensätze insgesamt:	347	358	359	166	354	356	364	163	182	2649
2	Datenverfügbarkeit (%):	95%	98%	98%	91%	97%	98%	100%	89%	99%	96%
3	Orthogonale Regression (Steigung (b)):	1,0205	1,0002	0,9491	0,9701	1,0076	1,0120	0,9134	1,0559	0,9968	Ortho Reg. 0,9917
4	Orthogonale Regression (Achsenabschnitt (a)):	-0,7369	-0,0074	1,4170	0,6248	-0,6900	1,3101	1,9568	-0,1741	1,7519	0,4392
5	Bestimmtheitsmaß (r <sup>2</sup> ):	0,91	0,93	0,91	0,89	0,89	0,93	0,90	0,93	0,91	0,91
Daten 2014 zum Vergleich					Derenda	Digitel	Digitel				
6	Orthogonale Regression (Steigung (b)):	1,0134	1,0049	0,9915	0,9681	1,0034	0,9837	---	0,9992	1,0487	1,0124
7	Orthogonale Regression (Achsenabschnitt (a)):	-0,9007	0,5962	1,3870	0,6194	-0,1204	2,1295	---	0,7997	1,3600	0,4788
8	Bestimmtheitsmaß (r <sup>2</sup> ):	0,93	0,94	0,94	0,92	0,96	0,92	---	0,93	0,92	0,93
Datenvergleich		BSVS	GNVS	HRVS <sub>dig</sub>	HRVS <sub>der</sub>	OGCC	OKVT	OLVT	SROO	WNCC	Gesamt
9	Jahresmittelwert PM <sub>10</sub> (Gravimetrie) (µg/m <sup>3</sup> ):	17,6	21,9	22,8	21,6	12,3	24,6	22,9	16,6	16,9	19,7
10	Jahresmittelwerte PM <sub>10</sub> (SHARP-Rohdaten) (µg/m <sup>3</sup> ):	17,9	21,9	22,5	21,6	12,9	23,0	22,9	15,9	15,2	19,3
11	Jahresmittelwert SHARP 5030 (XPM <sub>10</sub> ) berechnet s. o.:	18,2	22,2	22,7	21,9	13,2	23,3	23,1	16,2	15,5	19,6
12	Abweichung JMW bei SHARP-Rohdaten (%):	1,7%	0,0%	-1,3%	0,0%	4,9%	-6,5%	0,0%	-4,2%	-10,1%	---
13	Abweichung JMW bei kalibrierten Daten (%):	3,4%	1,4%	-0,4%	1,4%	7,3%	-5,3%	0,9%	-2,4%	-8,3%	---

Bewertung

Messunsicherheit - Tagesmittelwertbezug 50 µg/m<sup>3</sup> (0,5 µg/m<sup>3</sup> Standardmessunsicherheit des Referenzmessverfahrens)

	BSVS	GNVS	HRVS <sub>dig</sub>	HRVS <sub>der</sub>	OGCC	OKVT	OLVT	SROO	WNCC	Gesamt
14 erw. Unsicherheit SHARP 5030 (PM <sub>10</sub> ) Rohdaten(%):	11,2	12,5	15,5	15,5	11,1	14,5	19,2	14,0	13,3	14,1
15 erw. Unsicherheit SHARP 5030 (XPM <sub>10</sub> ) berechnet (%):	11,1	12,4	15,4	15,4	11,0	14,4	19,0	13,8	13,2	14,0

(f=0,9917\*+0,4392) orthogonal s. o.