

## SCHALLTECHNISCHER BERICHT Nr.: 217413-01.01

Spektrenvarianz – Auswirkung spektraler Unterschiede auf Schallemissionen und Schallimmissionen

**Datum:**

30.11.2017

**Auftraggeber:**

Landesamt für Natur, Umwelt und  
Verbraucherschutz NRW (Dezernat 45)  
Postfach 102363  
45023 Essen

**Bearbeiter:**

André Raming, M. Eng.  
Dipl.-Ing. Oliver Bunk

## 1.) Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Spektrenvarianz von Schallemissionen und Schallimmissionen von Windenergieanlagen (WEA). Den Standardabweichungen der Originalspektren werden die Standardabweichung der normierten Spektren sowie die Gesamtstandardabweichung der Emissionsdaten gegenübergestellt.

Zur Bestimmung der Standardabweichung der Schallimmission werden aus den vorliegenden Oktavspektren Ausbreitungsberechnungen nach dem Interimsverfahren angefertigt. Es wird pauschal eine Quellhöhe von 140 m und eine Immissionsaufpunkthöhe von 4 m angesetzt. Die Ausbreitungsberechnungen werden für Entfernungen von 300 m bis 2.000 m in 50 m Abständen durchgeführt.

Aus den ermittelten Standardabweichungen der originalen und normierten Spektren für die Emissionen und die prognostizierten Immissionen der WEA lässt sich für die untersuchten WEA-Typen festhalten, dass eine spektrale Betrachtung der Serienstreuung die Unsicherheit dieser nicht beeinflusst.

Grundlage der Berechnung sind insgesamt 27 anonymisierte Messberichte von drei WEA-Herstellern mit jeweils einem WEA-Typ der 2,5- bis 3-MW-Klasse.

Nachfolgender Bericht enthält 28 Seiten und wurde nach bestem Wissen und Gewissen mit größter Sorgfalt erstellt. <sup>1)</sup>

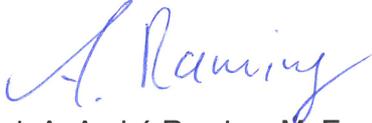
Rheine, 30.11.2017 AR/BB

KÖTTER Consulting Engineers GmbH & Co. KG



Bonifatiusstraße 400 · 48432 Rheine  
Tel. 0 59 71 - 97 10.0 · Fax 0 59 71 - 97 10.43

Bericht verfasst durch:



i. A. André Raming, M. Eng.

stellvertr. Projektleiter

geprüft und freigegeben durch:



i. V. Dipl.-Ing. Oliver Bunk

Projektleiter und stellvertr. fachlich  
verantwortlich Geräusche Gruppe V

---

<sup>1)</sup> Die Weitergabe von Daten oder Informationen ist dem Auftraggeber gestattet. Authentisch ist dieses Dokument nur mit Originalunterschrift. Bezüglich der Urheberrechte verweisen wir auf die jeweils gültigen KCE-Beratungsbedingungen.

## Inhaltsverzeichnis

1.)	Zusammenfassung	2
2.)	Situation und Aufgabenstellung	5
3.)	Berechnungs- und Beurteilungsgrundlagen	6
4.)	Datensammlung	7
5.)	Untersuchung der Oktavspektren	11
5.1.	Bildung statistischer Kenngrößen	11
5.2.	Normierung der Oktavspektren	16
6.)	Ausbreitungsberechnung nach dem Interimsverfahren	21
7.)	Vergleich der Standardabweichungen der Emissions- und Immissionsdaten	23

## 2.) Situation und Aufgabenstellung

Aktuell erfolgt die Erstellung einer Schallimmissionsprognose auf Grundlage von Messberichten für die ausgewählten Windenergieanlagen (WEA). Die Messberichte enthalten die maximalen Schallleistungspegel  $L_{WA, max}$  und bei Dreifachmessberichten auch die zugehörige Serienstreuung. Bei der anschließenden Genehmigung einer Windenergieanlage dienen diese Daten als Vorgabe für eine spätere Abnahmemessung.

Der aktuelle Entwurf der LAI-Richtlinien vom 30.06.2016 sieht eine Umstellung des obigen Verfahrens von A-bewerteten Einzahlkenngrößen [1] auf eine frequenzselektive Betrachtung [2] vor.

Es soll daher der Schwankungsbereich der Oktav-Emissionsspektren sowohl verschiedener Emissionsmessungen eines WEA-Typs untereinander als auch der immissionsseitigen Auswirkung am Immissionsort untersucht werden. Die Ergebnisse sollen die zukünftigen Bedingungen für Abnahmemessungen konkretisieren.

### 3.) **Berechnungs- und Beurteilungsgrundlagen**

Für die Berechnung und Bearbeitung werden folgende Vorschriften, Normen und Unterlagen herangezogen:

- [1] DIN ISO 9613-2, Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, Ausgabe Oktober 1999
- [2] Dokumentation zur Schallausbreitung: Interimsverfahren zur Prognose der Geräuschmissionen von Windkraftanlagen, Fassung 2015-05.1
- [3] Technische Richtlinie für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Rev 18 01.02.2008
- [4] DIN EN 61400-11, Windenergieanlagen – Teil 11 Schallmessverfahren; Ausgabe September 2013

#### 4.) Datensammlung

Die Grundlagen sollen die Oktavbanddaten für drei unterschiedliche WEA-Typen dreier unterschiedlicher Hersteller darstellen. Es werden WEA-Typen der Leistungsklasse von 2.5 bis 3 MW verwendet. Hierzu sind jeweils neun Messberichte für jeden einzelnen WEA-Typ zu untersuchen. Nicht einbezogen werden Messberichte von WEA, die einen offensichtlichen Defekt aufweisen.

Es sind jeweils neun Messberichte für jeden WEA-Typen zu untersuchen, die im gleichen Betriebspunkt und in der gleichen Betriebsweise vermessen sind. Messberichte gleicher Betriebsweise aber unterschiedlicher Nabenhöhen sind hingegen zugelassen. Als Kennzeichnung des untersuchten Betriebspunktes wird die erzeugte elektrische Leistung herangezogen. Die ausgewählten Emissionsmessungen entsprechen dem Teil 1 der Technischen Richtlinie Rev. 18 (FGW-konform) [3] oder der IEC 61400-11 ed. 3 [4]. Bezogen auf den Störgeräuschabstand gilt im Frequenzbereich 63 Hz bis 4 kHz für die zu verwendenden Oktavspektren ein Minimum von 3 dB. Hierfür werden vorhandene Berichte aus den von KÖTTER Consulting Engineers (KCE) ausgeführten Messungen verwendet und bezüglich der Mindestanzahl mit von den Herstellern zusätzlich zur Verfügung gestellten Messberichten aufgefüllt.

In den nachfolgenden Tabellen und grafischen Darstellungen werden die Namen der Hersteller durch Buchstaben von A bis C ersetzt. Zusätzlich werden die Anlagentypen durch Zahlen von 1 bis 3 beschrieben.

Die in Tabelle 1 abgebildeten Berichtsdaten des Herstellers A im offenen Betrieb sind durch die Zahlen von 1 bis 9 anonymisiert dargestellt. Es werden WEA mit Nabenhöhen zwischen 86 m bis 140 m betrachtet, die ihren  $v_{95\%}$ -Wert zwischen 7,2 m/s und 7,7 m/s erreichen. Die maximale Schallleistung bei 7 m/s, entspricht einer Leistung von 2.807 kW. Lediglich die mit \* gekennzeichneten WEA erreichen aufgrund niedrigerer Nabenhöhen geringere Leistungswerte (vgl. Tabelle 1).

Be- richts- num- mer	Her- steller	Anla- gentyp	Naben- höhe [m]	v <sub>95%</sub> [m/s]	Nenn- lei- stung [kW]	Be- triebs- modus	Untersucher Betriebspunkt
1.	A	1	140,0	7,20	3.075	offener Betrieb	7 m/s max. Schalleis- tung, entsprechend 2.807 kW
2.	A	1	140,0	7,20	3.075	offener Betrieb	7 m/s max. Schalleis- tung, entsprechend 2.807 kW
3.	A	1	140,0	7,20	3.075	offener Betrieb 0	7 m/s max. Schalleis- tung, entsprechend 2.807 kW
4.	A	1	140,0	7,20	3.075	offener Betrieb	7 m/s max. Schalleis- tung, entsprechend 2.807 kW
5.	A	1	140,0	7,20	3.075	offener Betrieb	7 m/s max. Schalleis- tung, entsprechend 2.807 kW
6.	A	1	140,0	7,20	3.075	offener Betrieb	7 m/s max. Schalleis- tung, entsprechend 2.807 kW
7.	A	1	140,0	7,20	3.075	offener Betrieb	7 m/s max. Schalleis- tung, entsprechend 2.807 kW
8.	A	1	86,0	7,70	3.075	offener Betrieb	7 m/s max. Schalleis- tung, entsprechend 2.478 kW*
9.	A	1	94,0	7,60	3.075	offener Betrieb	7 m/s max. Schalleis- tung, entsprechend 2.558 kW*

Tabelle 1: Auflistung der verwendeten Berichte des Herstellers A mit den zugehörigen Betriebspunkten und Betriebsweisen

Die anonymisierten Berichte des Herstellers B für den offenen Betrieb beziehen sich auf WEA mit Nabenhöhen von 99 m bis 149 m. Der v<sub>95%</sub>-Wert wird für Windgeschwindigkeiten zwischen 7,4 m/s und 7,8 m/s erreicht. Für den untersuchten Betriebspunkt wird für alle WEA eine Leistung von 2.898 kW betrachtet. Aufgrund verschiedener Nabenhöhen wird dieser Leistungswert bei Windgeschwindigkeiten zwischen 7,4 m/s und 7,8 m/s erreicht.

Be- richts- num- mer	Her- steller	Anla- gentyp	Naben- höhe [m]	$V_{95\%}$ [m/s]	Nenn- lei- stung [kW]	Be- triebs- modus	Untersucher Betriebspunkt
1.	B	2	135,4	7,50	3.050	BM 0	7,5 m/s, entsprechend 2.898 kW
2.	B	2	135,0	7,50	3.050	BM 0	7,5 m/s, entsprechend 2.898 kW
3.	B	2	135,4	7,50	3.050	BM 0	7,5 m/s, entsprechend 2.898 kW
4.	B	2	149,0	7,40	3.050	BM 0	7,4 m/s, entsprechend 2.898 kW
5.	B	2	99,0	7,80	3.050	BM 0	7,8 m/s, entsprechend 2.898 kW
6.	B	2	99,0	7,80	3.050	BM 0	7,8 m/s, entsprechend 2.898 kW
7.	B	2	149,0	7,40	3.050	BM 0	7,4 m/s, entsprechend 2.898 kW
8.	B	2	149,0	7,40	3.050	BM 0	7,4 m/s, entsprechend 2.898 kW
9.	B	2	135,0	7,50	3.050	BM 0	7,5 m/s, entsprechend 2.898 kW

Tabelle 2: Auflistung der verwendeten Berichte des Herstellers B mit den zugehörigen Betriebspunkten und Betriebsweisen

Für die neun anonymisierten Messberichte des Herstellers C werden WEA im offenen Betrieb mit Nabenhöhen von 85 m bis 149 m untersucht. Es wird ein Betriebspunkt der WEA in einem Leistungsbereich von 2.400 kW betrachtet. Dieser wird bei Windgeschwindigkeiten zwischen 6,6 m/s und 7 m/s erreicht.

Be- richts- num- mer	Her- steller	Anla- gentyp	Naben- höhe [m]	$V_{95\%}$ [m/s]	Nenn- lei- stung [kW]	Be- triebs- modus	Untersucher Betriebspunkt
1.	C	3	149,0	6,60	2.530	NO	6,6 m/s, entsprechend 2.404 kW
2.	C	3	139,0	6,60	2.530	NO	6,6 m/s, entsprechend 2.404 kW
3.	C	3	139,0	6,60	2.530	NO	6,6 m/s, entsprechend 2.404 kW
4.	C	3	110,0	6,90	2.530	NO	7 m/s, entsprechend 2.416 kW
5.	C	3	139,0	6,90	2.530	NO	7 m/s, entsprechend 2.454 kW
6.	C	3	139,0	6,60	2.530	NO	7 m/s, entsprechend 2.474 kW
7.	C	3	85,0	6,98	2.530	NO	7 m/s, entsprechend 2.381 kW
8.	C	3	139,0	6,60	2.530	NO	7 m/s, entsprechend 2.474 kW
9.	C	3	139,0	6,70	2.530	NO	7 m/s, entsprechend 2.474 kW

**Tabelle 3:** Auflistung der verwendeten Berichte des Herstellers C mit den zugehörigen Betriebspunkten und Betriebsweisen

Bei allen Messberichten des Herstellers C handelt es sich ausschließlich um WEA die Serrations als Blattzusatzkomponenten beinhalten. Alle übrigen Messberichte der Hersteller A und B enthalten keine Blattzusatzkomponenten.

## 5.) Untersuchung der Oktavspektren

### 5.1. Bildung statistischer Kenngrößen

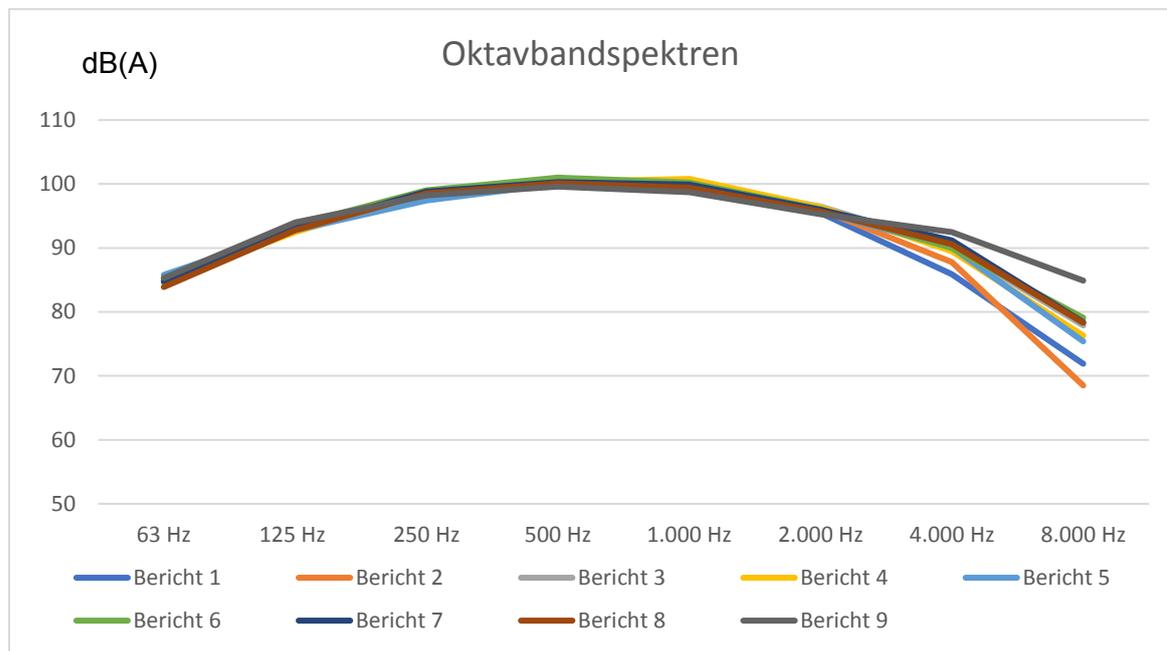
Aus den untersuchten Messberichten werden die für den jeweils gewählten Betriebspunkt und Betriebsmodus relevanten A-bewerteten Oktavspektren gesammelt und tabellarisch sowie grafisch dargestellt. Zusätzlich werden die Tonzuschläge für den untersuchten Betriebspunkt angegeben. Des Weiteren werden je Anlagentyp die statistischen Kenngrößen des Mittelwerts  $\bar{L}_{WA}$  und der Standardabweichung  $s$  gebildet. Diese Kenngrößen werden nachfolgend dargestellt. Es wird stets für jeden WEA-Typ ein Fremdgeräuschabstand von 3 dB für den Frequenzbereich von 63 Hz bis 4.000 Hz garantiert.

Die Messberichte des Herstellers A weisen einen mittleren A-bewerteten Schalleistungspegel  $\bar{L}_{WA}$  von 105,4 dB (A) auf. Für diesen WEA-Typ ergibt sich eine Gesamtstandardabweichung von  $s = 0,29$ . Ein Tonzuschlag nach [4] von 1 dB wird nur in zwei Fällen verteilt.

Messberichte Hersteller A										
Bericht Nr.:	Oktav-Schalleistungspegel [dB(A)] * $\triangleq$ Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB ** $\triangleq$ Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 3 dB - $\triangleq$ keine Werte vorhanden								$L_{WA}$ [dB(A)]	$K_{TN}$ [dB]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz		
1.	85,3	93,6*	97,9	100,0	100,2	95,5	85,9	71,9**	105,2	0
2.	85,4	93,5	98,4	100,2	99,4	96,0	87,8	68,5*	105,2	0
3.	84,7	94,0	98,1	100,2	100,2	96,5	90,3	77,9**	105,6	0
4.	84,9	92,5	98,5	100,3	100,8	96,4	89,5	76,3	105,6	0
5.	85,8*	92,8	97,4	100,0	100,1	95,7	90,1	75,4	105,2	1
6.	84,6*	93,6	99,0	101,0	100,2	96,1	90,0	79,1**	105,9	1
7.	84,8	93,1	98,8	100,3	99,9	96,0	91,2	78,4	105,5	0
8.	83,9	92,8	98,5	100,1	99,4	95,7	90,6	78,3	105,2	0
9.	85,3	94	98,2	99,6	98,7	95,3	92,5	84,9	105,0	0
										[dB(A)]
$\bar{L}_{WA, Oktav}$	85,0	93,3	98,3	100,2	99,9	95,9	89,8	76,7	$\bar{L}_{WA, Gesamt}$	105,4
$s$ Oktaven	0,56	0,54	0,48	0,37	0,62	0,40	1,92	4,64	$s$ Gesamt	0,29

**Tabelle 4:** Hersteller A, Angabe der Oktav-Schalleistungspegel, Gesamtschalleistungspegel und Tonzuschläge

Aus der Darstellung in Abbildung 1 wird ersichtlich, dass die Oktav-Schalleistungspegel der neun Messberichte erst ab Frequenzen von über 4.000 Hz eine zunehmende Streuung erfahren. Diese Tatsache lässt sich auf den sinkenden Fremdgeräuschabstand bei 8.000 Hz zurückführen.



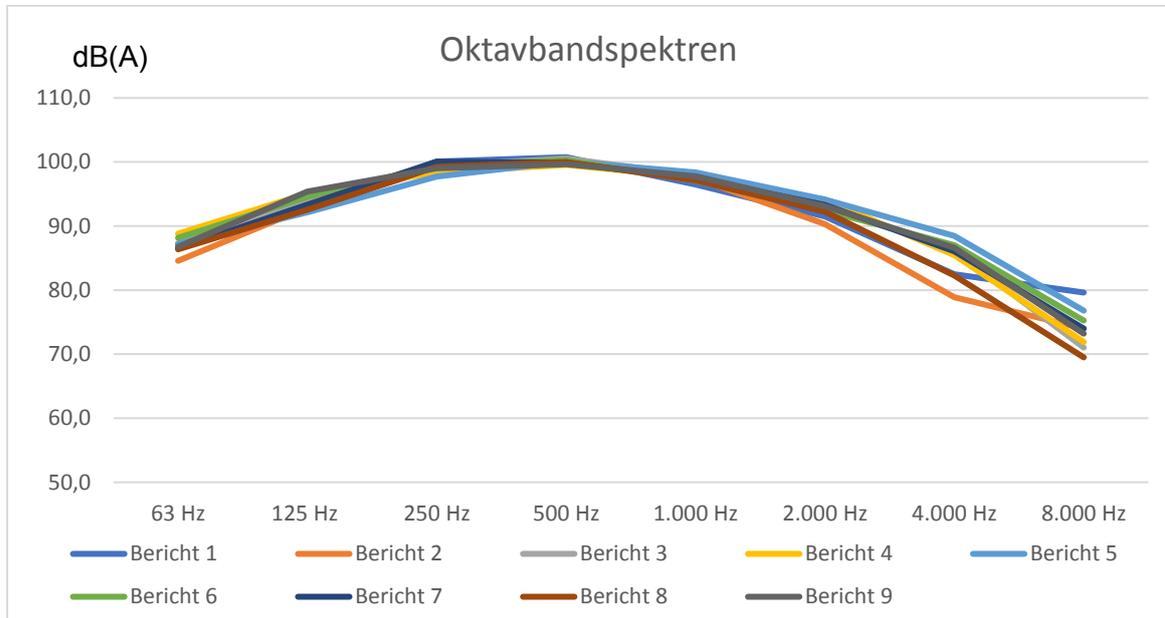
**Abbildung 1:** Hersteller A, Grafische Darstellung der Oktavbandschalleistungspegel

Auch die Messberichte des Herstellers B weisen bei einem mittleren A-bewerteten Schalleistungspegel  $\bar{L}_{WA}$  von 104,7 dB(A) nur eine geringe Gesamtstandardabweichung von  $s = 0,22$  auf. Lediglich eine WEA hat in dem untersuchten Betriebszustand einen Tonzuschlag von 1 dB erhalten.

Messberichte Hersteller B										
Bericht Nr.:	Oktav-Schalleistungspegel [dB(A)]								L <sub>WA</sub> [dB(A)]	K <sub>TN</sub> [dB]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz		
1.	87,1	92,8	100,1	100,8	96,5	91,5	82,5	79,6	104,9	0
2.	84,6	92,9	99,0	100,3	97,5	90,3	78,9*	74**	104,4	0
3.	87,3	94,2	99,4	100,5	97,9	93,4	86,2	71,0	105,0	0
4.	88,8	95,1	98,4	99,5	97,6	94,1	85,5	71,9	104,6	0
5.	87,2	92,1	97,7	100,1	98,4	94,1	88,4	76,8*	104,5	0
6.	88,2	94,6	99,5	100,3	97,1	92,5	87,0	75,2	104,8	0
7.	86,5	93,3	100,1	99,9	97,4	93,3	86,1	74*	104,8	0
8.	86,3	92,5	99,3	100,0	97,2	92,2	82,3	69,5**	104,4	0
9.	86,7	95,4	99,0	99,7	97,8	93,1	86,6	73,2**	104,7	1
[dB(A)]										
$\bar{L}_{WA, Oktav}$	87,0	93,7	99,2	100,1	97,5	92,7	84,8	73,9	$\bar{L}_{WA, Gesamt}$	104,7
S Oktaven	1,2	1,2	0,7	0,4	0,5	1,2	3,0	3,1	S Gesamt	0,22

**Tabelle 5:** Hersteller B, Angabe der Oktav-Schalleistungspegel, Gesamtschalleistungspegel und Tonzuschläge

Wie bereits beim Oktavbandspektrum in Abbildung 1 beschrieben wurde, nimmt auch bei dem Spektrenverlauf des Herstellers B die Streuung für höhere Frequenzen zu.



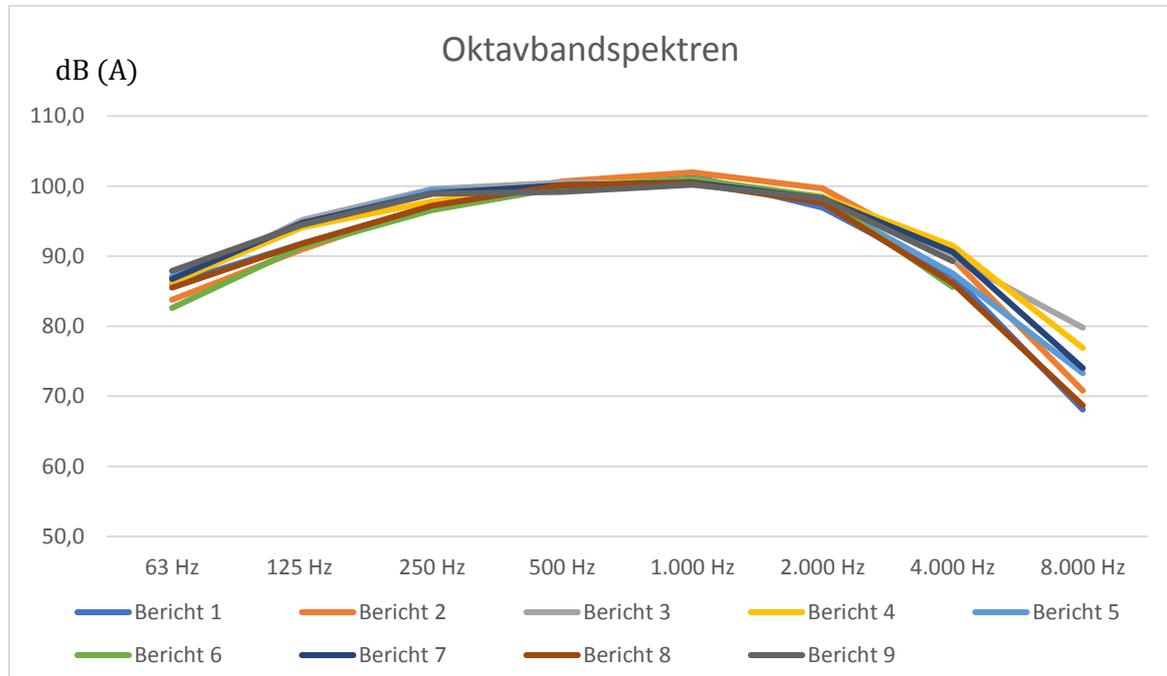
**Abbildung 2:** Hersteller B, Grafische Darstellung der Oktavbandschalleistungspegel

Die Messberichte des Herstellers C weisen mit einem Wert von  $s = 0,37$  die höchste Gesamtstandardabweichung in dieser Untersuchung auf. Tonzuschläge lagen nicht vor. Der mittlere Schalleistungspegel  $\bar{L}_{WA}$  beträgt für diese neun Messberichte 105,9 dB(A).

Messberichte Hersteller C										
Bericht Nr.:	Oktav-Schalleistungspegel [dB(A)] * $\triangleq$ Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 6 dB ** $\triangleq$ Abstand zwischen Anlagengeräusch und Fremdgeräusch < 3 dB - $\triangleq$ keine Werte vorhanden								L <sub>WA</sub> [dB(A)]	K <sub>TN</sub> [dB]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz		
1.	86*	91,8	97,2	100,1	101,4	97,0	87,2	68,1*	105,7	0
2.	83,8	91,0	97,3	100,7	102,0	99,7	89,6	70,8*	106,5	0
3.	86,1	95,2	99,6	100,5	100,5	98,3	89,7	79,8**	106,3	0
4.	86,3	94,1	97,8	100,0	101,0	98,5	91,5	76,9	106,0	0
5.	87,1	94,6	99,4	99,6	100,7	97,8	87,5	73,3	106,0	0
6.	82,6	91,4	96,6	99,8	101,0	98,4	85,6*	-	105,5	0
7.	86,8	94,8	99,0	100,1	100,5	98,2	90,6	74,0	106,1	0
8.	85,5	91,8	97,2	100,1	100,4	97,7	86,1	68,7	105,4	0
9.	87,9	94,5	98,9	99,2	100,2	98,2	89,3*	-	105,7	0
										[dB(A)]
$\bar{L}_{WA, Oktav}$	85,8	93,2	98,1	100,0	100,9	98,2	88,6	73,1	$\bar{L}_{WA, Gesamt}$	105,9
s Oktaven	1,65	1,69	1,12	0,44	0,56	0,73	2,05	4,28	s Gesamt	0,37

**Tabelle 6:** Hersteller C, Angabe der Oktav-Schalleistungspegel, Gesamtschalleistungspegel und Tonzuschläge

Neben der erhöhten Streuung der Oktav-Schalleistungspegel bei hohen Frequenzen ist für die Messberichte des Herstellers C auch im Frequenzbereich von 63 Hz bis 125 Hz eine erhöhte Streuung der Pegel zu erkennen.



**Abbildung 3:** Hersteller C, Grafische Darstellung der Oktavbandschalleistungspegel

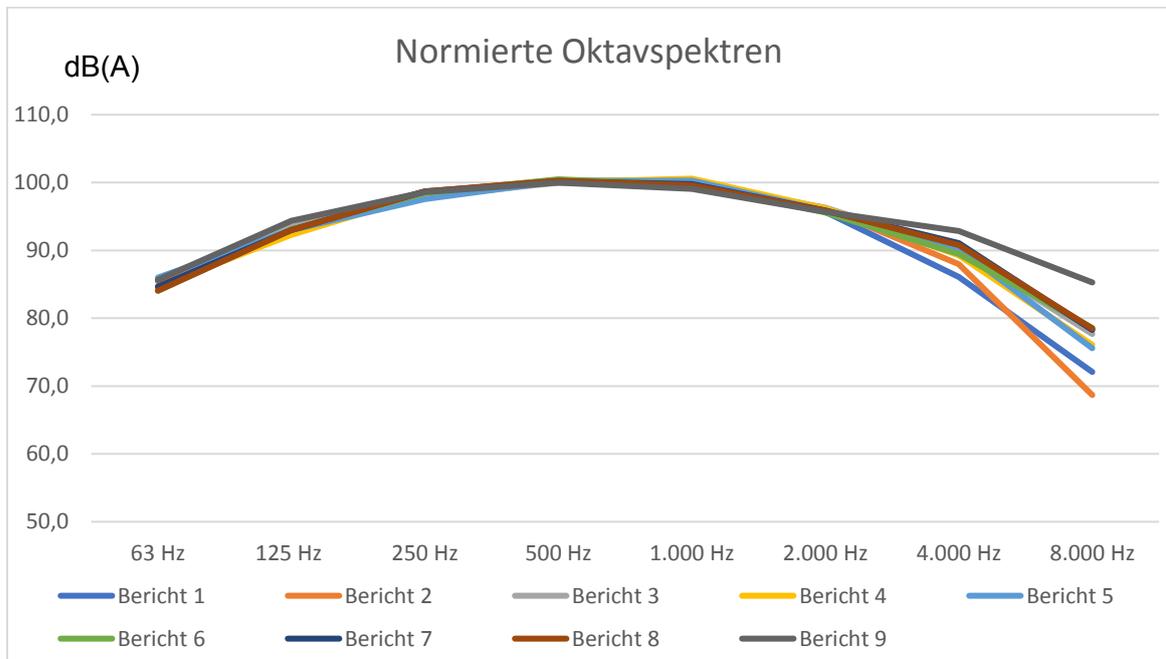
## 5.2. Normierung der Oktavspektren

Weiterhin sind die Oktavspektren je Anlagentyp auf den Mittelwert  $\bar{L}_{WA}$  zu normieren. Anschließend erfolgt eine erneute Berechnung der Standardabweichung je Anlagentyp für die normierten Oktavspektren. Diese Untersuchungen werden ebenfalls tabellarisch und grafisch festgehalten.

**Hersteller A**

Bericht Nr.:	Oktav-Schallleistungspegel [dB(A)]								L <sub>WA</sub> [dB(A)]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	
1.	85,5	93,8	98,1	100,2	100,4	95,7	86,1	72,1	105,4
2.	85,6	93,7	98,6	100,4	99,6	96,2	88,0	68,7	105,4
3.	84,5	93,8	97,9	100,0	100,0	96,3	90,1	77,7	105,3
4.	84,7	92,3	98,3	100,1	100,6	96,2	89,3	76,1	105,5
5.	86,0	93,0	97,6	100,2	100,3	95,9	90,3	75,6	105,3
6.	84,1	93,1	98,5	100,5	99,7	95,6	89,5	78,6	105,4
7.	84,7	93,0	98,7	100,2	99,8	95,9	91,1	78,3	105,4
8.	84,1	93,0	98,7	100,3	99,6	95,9	90,8	78,5	105,4
9.	85,7	94,4	98,6	100,0	99,1	95,7	92,9	85,3	105,4
L <sub>WA, Oktav</sub>	85,0	93,3	98,3	100,2	99,9	95,9	89,8	76,7	L <sub>WA, Gesamt</sub> 105,4
S Oktaven	0,72	0,63	0,39	0,17	0,47	0,25	1,93	4,62	S Gesamt 0,05

**Tabelle 7:** Hersteller A, Angaben zum normierten Oktav-Schallleistungspegel

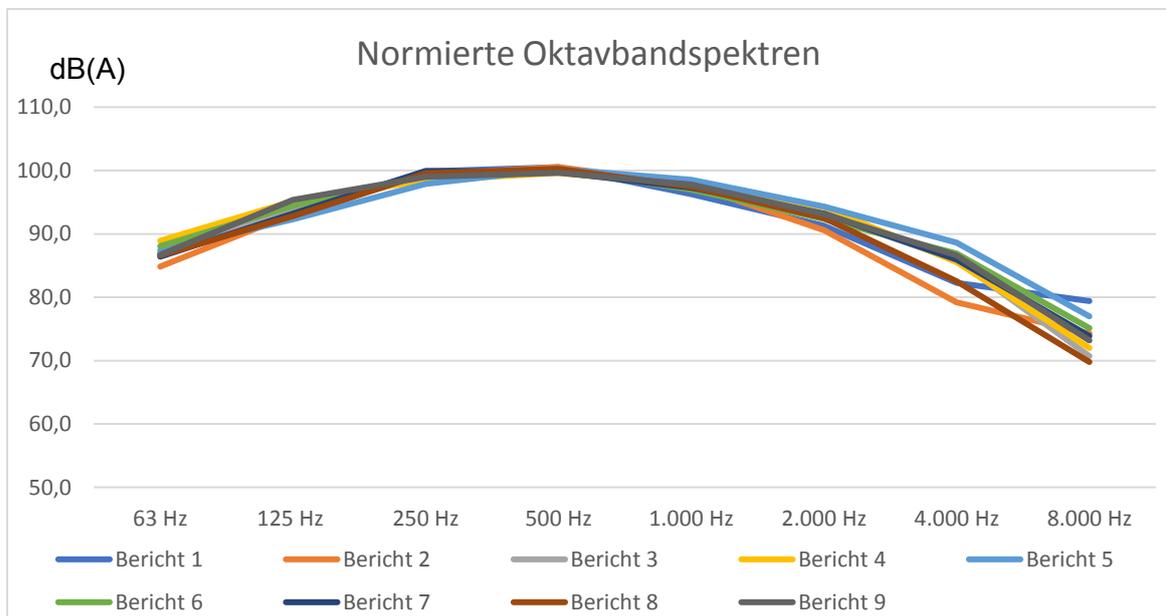


**Abbildung 4:** Hersteller A, Grafische Darstellung der normierten Oktavbandschallleistungspegel

**Hersteller B**

Bericht Nr.:	Oktav-Schalleistungspegel [dB(A)]								L <sub>WA</sub> [dB(A)]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	
1.	86,9	92,6	99,8	100,5	96,3	91,3	82,3	79,4	104,6
2.	84,9	93,2	99,3	100,6	97,7	90,6	79,2	74,3	104,7
3.	87,0	93,8	99,1	100,2	97,6	93,0	85,9	70,7	104,7
4.	88,9	95,1	98,5	99,6	97,7	94,2	85,5	72,0	104,6
5.	87,4	92,3	97,9	100,2	98,5	94,3	88,6	77,0	104,7
6.	88,0	94,4	99,4	100,2	97,0	92,3	86,9	75,1	104,7
7.	86,4	93,2	99,9	99,8	97,3	93,2	85,9	73,9	104,7
8.	86,6	92,8	99,6	100,3	97,4	92,5	82,5	69,8	104,7
9.	86,7	95,4	99,0	99,6	97,8	93,1	86,6	73,2	104,7
L <sub>WA, Oktav</sub>	87,0	93,7	99,2	100,1	97,5	92,7	84,8	73,9	L <sub>WA, Gesamt</sub> 104,7
S Oktaven	1,12	1,11	0,65	0,36	0,62	1,22	2,92	3,01	S Gesamt 0,03

**Tabelle 8:** Hersteller B, Angaben zum normierten Oktav-Schalleistungspegel

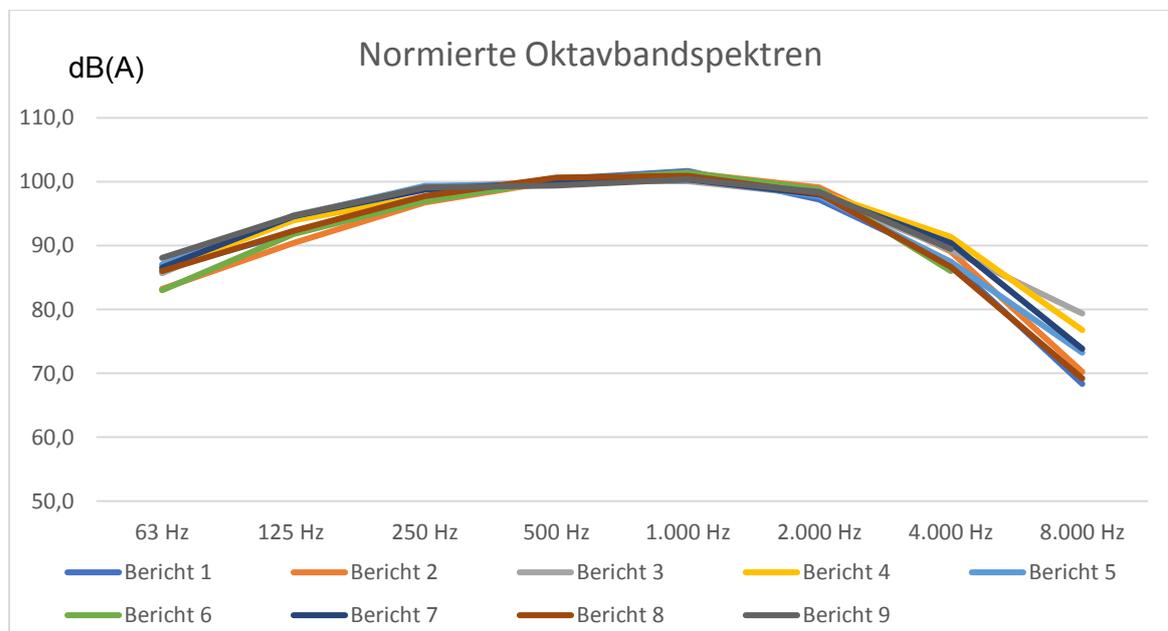


**Abbildung 5:** Hersteller B, Grafische Darstellung der normierten Oktavbandschalleistungspegel

**Hersteller C**

Bericht Nr.:	Oktav-Schalleistungspegel [dB(A)]								L <sub>WA</sub> [dB(A)]	
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	L <sub>WA, Oktav</sub>	S Gesamt
1.	86,3	92,0	97,4	100,4	101,7	97,2	87,4	68,4	105,9	
2.	83,2	90,4	96,7	100,1	101,4	99,1	89,1	70,2	105,9	
3.	85,6	94,8	99,2	100,1	100,1	97,9	89,3	79,4	105,9	
4.	86,2	94,0	97,7	99,9	100,9	98,4	91,4	76,8	105,9	
5.	87,0	94,5	99,3	99,5	100,6	97,7	87,4	73,2	105,9	
6.	83,0	91,8	97,0	100,2	101,4	98,8	86,0	--	105,9	
7.	86,6	94,6	98,8	99,9	100,3	98,0	90,4	73,8	105,9	
8.	86,0	92,3	97,7	100,6	100,9	98,2	86,7	69,2	105,9	
9.	88,1	94,7	99,1	99,4	100,4	98,4	89,5	--	105,9	
L <sub>WA, Oktav</sub>	85,8	93,2	98,1	100,0	100,9	98,2	88,6	73,0	L <sub>WA, Gesamt</sub>	105,9
S Oktaven	1,57	1,52	0,94	0,37	0,52	0,53	1,69	3,77	S Gesamt	0,00

**Tabelle 9:** Hersteller C, Angaben zum normierten Oktav-Schalleistungspegel



**Abbildung 6:** Hersteller C, Grafische Darstellung der normierten Oktavbandschalleistungspegel

In den Tabellen 7 bis 9 wurden jeweils die Mittelwerte  $\bar{L}_{WA}$  und Standardabweichungen erneut berechnet. Da eine Normierung der originalen Spektren auf den jeweils berechneten Mittelwert durchgeführt wurde, nimmt die Gesamtstandardabweichung für die drei WEA-Typen einen Wert von  $s = 0$  an.

## 6.) Ausbreitungsberechnung nach dem Interimsverfahren

Mit den gewonnenen Daten der zuvor angefertigten Oktavspektren werden Ausbreitungsberechnungen nach dem Interimsverfahren [2] angefertigt. Hierzu wird ein Berechnungsmodell angefertigt, in welchem eine Quellhöhe von 140 m und eine Immissionsaufpunkthöhe von 4 m angesetzt wird. Je WEA-Typ werden Ausbreitungsberechnungen für jeden vorhandenen Messbericht mit Prüfpunkten in Abständen von 300 m bis 2.000 m in 50 m-Schritten ausgeführt. Die Ausbreitungsberechnungen erfolgen auf Basis der Originalspektren und des zugehörigen mittleren Originalspektrums. Zusätzlich werden die Ausbreitungsberechnungen für die normierten Spektren und das zugehörige mittlere normierte Spektrum durchgeführt (vgl. Anlage A).

Die Pegel werden getrennt nach WEA-Typ dargestellt. Für die horizontalen Abstände 500 m, 1.000 m, 1.500 m und 2.000 m werden die arithmetischen Mittelwerte und die zugehörigen Standardabweichungen je WEA-Typ berechnet und ebenfalls tabellarisch dargestellt (vgl. Tabelle 10 bis Tabelle 12). Die statistischen Auswertungen werden getrennt für die Originalspektren und für die normierten Spektren durchgeführt.

Immissionsdaten Hersteller A				
Entfernung [m]	$\bar{L}_{Aeq, Oktaven Messung}$ [dB (A)]	$\bar{L}_{Aeq, Oktaven normiert}$ [dB(A)]	s Oktavpegel	s Oktavpegel normiert
500	41,6	41,6	0,29	0,08
1.000	34,7	34,7	0,29	0,08
1.500	30,2	30,3	0,28	0,10
2.000	26,9	26,9	0,29	0,13

Tabelle 10: Hersteller A, Standardabweichung und Mittelwerte der Prognose nach dem Interimsverfahren für verschiedene Entfernungen

Immissionsdaten Hersteller B				
Entfernung [m]	$\bar{L}_{Aeq, Oktaven}$ Messung [dB (A)]	$\bar{L}_{Aeq, Oktaven}$ normiert [dB(A)]	s Oktavpegel	s Oktavpegel normiert
500	41,3	41,2	0,27	0,11
1.000	34,6	34,6	0,27	0,16
1.500	30,3	30,3	0,32	0,20
2.000	27,1	27,1	0,36	0,22

Tabelle 11: Hersteller B, Standardabweichung und Mittelwerte der Prognose nach dem Interimsverfahren für verschiedene Entfernungen

Immissionsdaten Hersteller C				
Entfernung [m]	$\bar{L}_{Aeq, Oktaven}$ Messung [dB (A)]	$\bar{L}_{Aeq, Oktaven}$ normiert [dB(A)]	s Oktavpegel	s Oktavpegel normiert
500	41,9	41,9	0,39	0,13
1.000	34,9	34,9	0,41	0,22
1.500	30,4	30,4	0,47	0,32
2.000	27,0	27,0	0,56	0,40

Tabelle 12: Hersteller C, Standardabweichung und Mittelwerte der Prognose nach dem Interimsverfahren für verschiedene Entfernungen

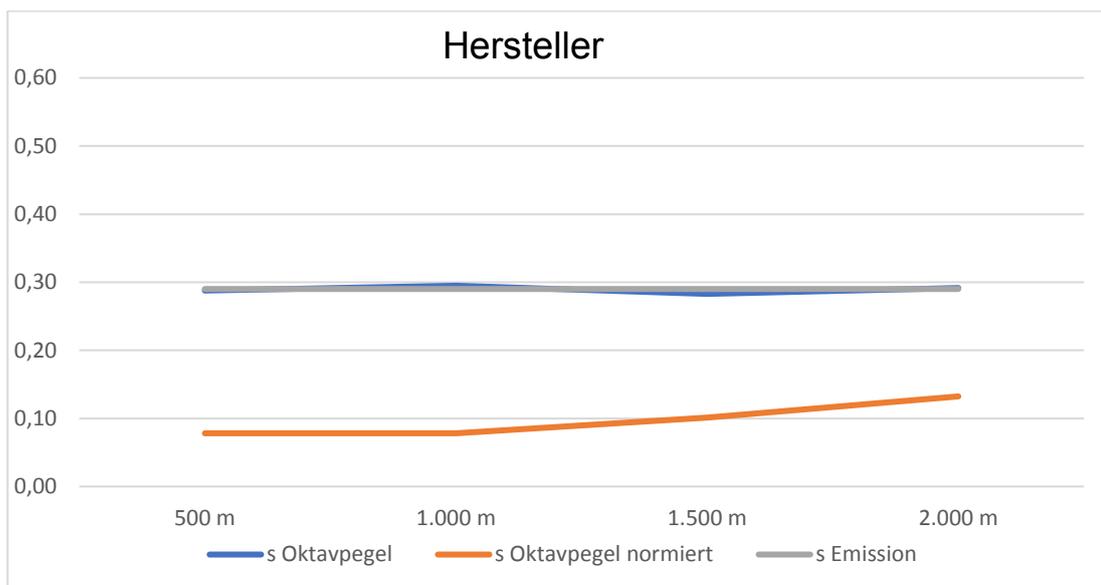
**7.) Vergleich der Standardabweichungen der Emissions- und Immissionsdaten**

Nachfolgend werden für alle drei Hersteller die Standardabweichungen der Emissions- und Immissionsdaten gegenübergestellt und verglichen. Die Standardabweichungen der Immissionsdaten werden zudem für die Originalspektren und die normierten Spektren unterschieden.

**Hersteller A**

Immissionsdaten			Emissionsdaten
Entfernung	s Oktavpegel	s Oktavpegel normiert	s Emission
500 m	0,29	0,08	0,29
1.000 m	0,29	0,08	
1.500 m	0,28	0,10	
2.000 m	0,29	0,13	

**Tabelle 13:** Hersteller A, Gegenüberstellung der Standardabweichung für die Emissions- und Immissionsdaten

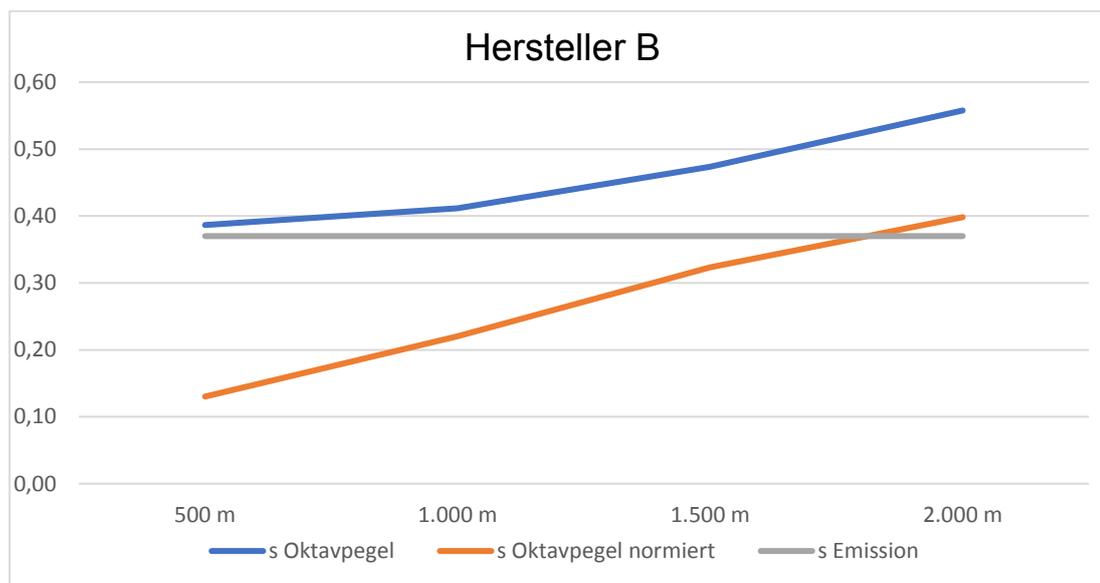


**Abbildung 7:** Hersteller A, Grafische Darstellung der Standardabweichung für die Emissions- und Immissionsdaten

**Hersteller B**

Immissionsdaten			Emissionsdaten
Entfernung	s Oktavpegel	s Oktavpegel normiert	s Emission
500 m	0,39	0,13	0,37
1.000 m	0,41	0,22	
1.500 m	0,47	0,32	
2.000 m	0,56	0,40	

**Tabelle 14:** Hersteller B, Gegenüberstellung der Standardabweichung für die Emissions- und Immissionsdaten

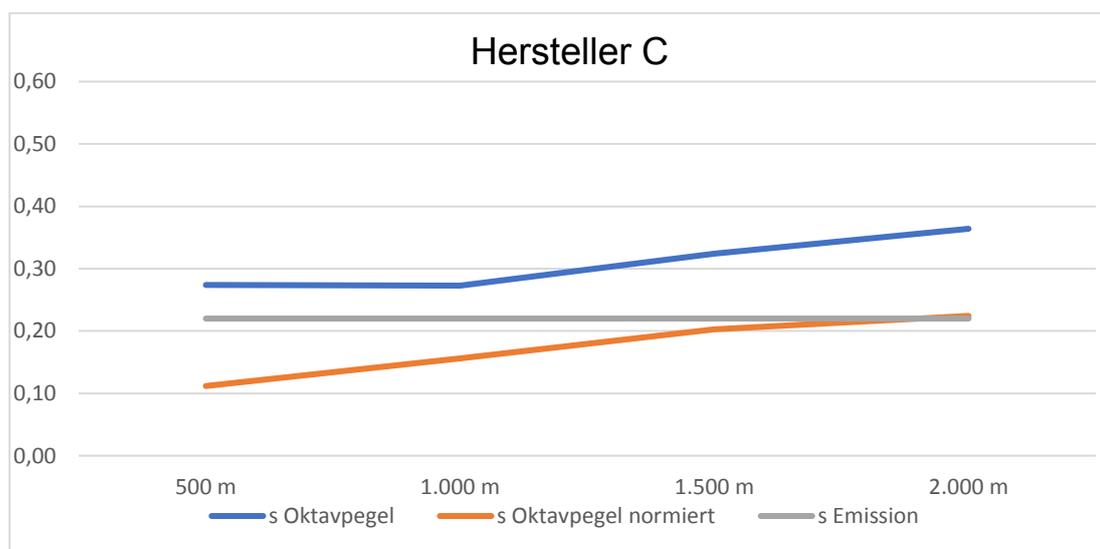


**Abbildung 8:** Hersteller B, Grafische Darstellung der Standardabweichung für die Emissions- und Immissionsdaten

**Hersteller C**

Immissionsdaten			Emissionsdaten
Entfernung	s Oktavpegel	s Oktavpegel normiert	s Emission
500 m	0,27	0,11	0,22
1.000 m	0,27	0,16	
1.500 m	0,32	0,20	
2.000 m	0,36	0,22	

**Tabelle 15:** Hersteller C, Gegenüberstellung der Standardabweichung für die Emissions- und Immissionsdaten



**Abbildung 9:** Hersteller C, Grafische Darstellung der Standardabweichung für die Emissions- und Immissionsdaten

Durch die Ausbreitungsberechnung mittels Interimsverfahren zeigt die Standardabweichung der Originalspektren, dass für den Hersteller A die Entfernung der Immissionsorte keinen Einfluss auf die Standardabweichung ausübt (vgl. Tabelle 13). Für die Hersteller B und C hingegen nimmt die Standardabweichung mit steigender Entfernung zu. Gleiches ist für die Standardabweichungen der normierten Oktavspektren ersichtlich, jedoch liegen diese Werte unterhalb der Standardabweichung der Originalspektren.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Standardabweichung der Oktavspektren aus den Emissionsdaten stets  $\geq$  der Standardabweichung der normierten Spektren der Immissionsdaten ist. Aus dieser Erkenntnis lässt sich resümieren, dass eine spektrale Betrachtung in Bezug auf die Serienstreuung keine relevanten Einflüsse auf die zu betrachtende Unsicherheit hat.

Anlage A:      Ausbreitungsberechnung nach dem Interimsverfahren

