

Empa  
Überlandstrasse 129  
CH-8600 Dübendorf  
T +41 58 765 11 11  
F +41 58 765 11 22  
www.empa.ch

Fredy Fischer  
Bundesamt für Umwelt  
Abteilung Lärm und NIS  
3003 Bern

## Prüfbericht Nr. 5211.01233

<b>Prüfauftrag:</b>	<b>Identifikation und Charakterisierung von Schall- und Vibrationsquellen bei Stopfmaschinen der Firma MATISA</b>
Auftraggeber:	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Lärm und NIS
Prüfobjekt:	Stopfmaschinen der Firma MATISA
Kundenreferenz:	Hr. Fredy Fischer
Ihr Auftrag vom:	25. August 2016
Eingang des Prüfobjektes:	-
Ausführung der Prüfung:	21. November 2016
Anzahl Seiten:	52
Beilagen:	Bericht Nr. 23/2016, <i>Messtechnische Identifizierung der Schall- und Vibrationsquellen und Ausarbeitung von prinzipiellen Minderungsvorschlägen für die Gleisstopfmaschine B66U der Firma MATISA, 07.12.2016</i>

---

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt  
Dübendorf, 7. Dezember 2016

Prüfleiter / Prüfleiterin:  
Dr. Armin Zemp



Abteilungsleiter / Abteilungsleiterin:  
Kurt Eggenschwiler



## Inhalt

1. Ausgangslage / Problemstellung .....	3
2. Lösungsansatz / Vorgehensweise .....	3
3. Resultate .....	3

## **1. Ausgangslage / Problemstellung**

Mit Hilfe einer Gleisstopfmaschine werden beim Bau und in der Instandhaltung von Gleisen mit Schotteroberbau Verschiebungen und Unebenheiten in der Gleislage beseitigt. Der Stopfvorgang sowie der Stillstand der Gleisstopfmaschine emittieren Schall und beeinträchtigen damit die Lebensqualität der Anwohner. Das entstandene Schallereignis, das Schalldruckpegel von 110 dB(A) bei 7,5 Meter Abstand aufweisen kann, wird i.A. als störend empfunden und kann daher als Lärm bezeichnet werden. Die Reduktion des Lärmpegels steht somit im Zentrum des Vorhabens.

Der erste Schritt zur Minderung des von der Gleisstopfmaschine emittierten Lärms, ist die Charakterisierung der verschiedenen Lärmquellen bezüglich ihrer spektralen Zusammensetzung und deren Ortung.

Eine Gleisstopfmaschine verfügt über ein Stopf- und ein Antriebsaggregat. Beide Aggregate bilden unabhängige Lärmquellen hinsichtlich ihrer Lage und ihrer frequenzabhängigen Eigenschaften. Der beim Stopfvorgang verschobene Schotter ist eine zusätzliche Lärmquelle. Deshalb sollen Luftschallmessungen an der Hydraulik des Motors sowie Luftschall- und Beschleunigungsmessungen an der Stopf- und Verdichtungseinheit vorgenommen werden.

Das Hauptziel des Projekts ist, Ansätze zur Lärminderung auszuarbeiten, die in einem Folgeprojekt im Detail konzipiert und umgesetzt werden sollen.

## **2. Lösungsansatz / Vorgehensweise**

Die Charakterisierung der einzelnen Quellen und die des gesamten Schallereignisses hinsichtlich der spektralen Zusammensetzung und deren Ortung soll mit Hilfe von Luftschall- und Körperschallsensoren erfolgen. Die Messung soll im Stillstand bei eingeschalteten Aggregaten sowie während des Stopfvorganges stattfinden. Die Behinderung der Ausbreitung von Luft- und Körperschall durch den Einsatz von schalldämmenden Maßnahmen, die Änderung der Steifigkeit von eventuell vibrierenden Strukturen und die Änderung der Ordnungszahl von rotierenden Elementen sind erste Ansatzpunkte zur Lärminderung.

## **3. Resultate**

Eine detaillierte Beschreibung der Untersuchten Gleisstopfmaschine, der durchgeführten Luft- und Körperschallmessungen und konkrete Massnahmen zur Lärminderung basierend auf den ausgewerteten Luft- und Körperschallmessungen sind im Bericht Nr. 23/2016 der TU Berlin, Messtechnische Identifizierung der Schall- und Vibrationsquellen und Ausarbeitung von prinzipiellen Minderungsvorschlägen für die Gleisstopfmaschine B66U der Firma MATISA, ausgeführt.

**Bericht Nr. 23/ 2016**

**Messtechnische Identifizierung der Schall- und Vibrationsquellen und  
Ausarbeitung von prinzipiellen  
Minderungsvorschlägen für die  
Gleisstopfmaschine B66U der Firma  
MATISA**



Bearbeitet von

Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht  
Yasmin Baumgärtel M.Sc.

Berlin, den 07.12.2016

**I Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Die Gleisstopfmaschine B66U .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung der Messung.....</b>	<b>8</b>
	<b>3.1 Luftschallmessungen.....</b>	<b>8</b>
	<b>3.1.1 Messung der Stopf- und der Verdichtungseinheit.....</b>	<b>8</b>
	<b>3.1.2 Messung des Nachhalls im Innenraum .....</b>	<b>27</b>
	<b>3.1.3 Messung des Hydrauliklüfters .....</b>	<b>30</b>
	<b>3.1.4 Messung der Hydraulik des Motors.....</b>	<b>32</b>
	<b>3.2 Vibrationsmessungen .....</b>	<b>35</b>
	<b>3.2.1 Messung der Stopfeinheit.....</b>	<b>35</b>
	<b>3.2.2 Messung des Kopfverdichters.....</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>Prinzipielle Lärminderungsmaßnahmen.....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>Anlage .....</b>	<b>47</b>
	<b>I Technische Daten der Gleisstopfmaschine B66U.....</b>	<b>47</b>
	<b>II Sensorenverzeichnis.....</b>	<b>48</b>
	<b>III Die Messumgebung.....</b>	<b>49</b>

## II Abbildungsverzeichnis

<u>Abbildung 2-1 Die Gleisstopfmaschine B66U</u>	<u>07</u>
<u>Abbildung 3-1 Messaufbau-Luftschallmessungen an der Stopf-und Verdichtungseinheit</u>	<u>08</u>
<u>Abbildung 3 2: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Mikrofon 1</u>	<u>10</u>
<u>Abbildung 3 3: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Mikrofon 2</u>	<u>10</u>
<u>Abbildung 3 4: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Mikrofon 3</u>	<u>11</u>
<u>Abbildung 3 5: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Mikrofon 4</u>	<u>11</u>
<u>Abbildung 3 6: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Spektrogramm - Mikrofon 1</u>	<u>12</u>
<u>Abbildung 3 7: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Spektrogramm - Mikrofon 2</u>	<u>12</u>
<u>Abbildung 3 8: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Spektrogramm - Mikrofon 3</u>	<u>13</u>
<u>Abbildung 3 9: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Spektrogramm - Mikrofon 4</u>	<u>13</u>
<u>Abbildung 3 10: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine Mikrofon 1</u>	<u>14</u>
<u>Abbildung 3 11: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine Mikrofon 2</u>	<u>14</u>
<u>Abbildung 3 12: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine Mikrofon 3</u>	<u>15</u>
<u>Abbildung 3 13: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine Mikrofon 4</u>	<u>15</u>
<u>Abbildung 3 14: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine Spektrogramm - Mikrofon 1</u>	<u>16</u>
<u>Abbildung 3 15: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine Spektrogramm - Mikrofon 2</u>	<u>16</u>
<u>Abbildung 3 16: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine Spektrogramm - Mikrofon 3</u>	<u>17</u>
<u>Abbildung 3 17: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine Spektrogramm - Mikrofon 4</u>	<u>17</u>
<u>Abbildung 3 18: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine - Mikrofon 1</u>	<u>19</u>
<u>Abbildung 3 19: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine - Mikrofon 2</u>	<u>19</u>

<b><u>Abbildung 3 20: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine - Mikrofon 3</u></b>	<b>20</b>
<b><u>Abbildung 3 21: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine - Mikrofon 4</u></b>	<b>20</b>
<b><u>Abbildung 3 22: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine Spektrogramm - Mikrofon 1</u></b>	<b>21</b>
<b><u>Abbildung 3 23: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine Spektrogramm - Mikrofon 2</u></b>	<b>21</b>
<b><u>Abbildung 3 24: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine Spektrogramm - Mikrofon 3</u></b>	<b>22</b>
<b><u>Abbildung 3 25: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine Spektrogramm - Mikrofon 4</u></b>	<b>22</b>
<b><u>Abbildung 3 26: Ortsfeste Messung der Verdichter – Mikrofon 1</u></b>	<b>23</b>
<b><u>Abbildung 3 27: Ortsfeste Messung der Verdichter – Mikrofon 2</u></b>	<b>23</b>
<b><u>Abbildung 3 28: Ortsfeste Messung der Verdichter – Mikrofon 3</u></b>	<b>24</b>
<b><u>Abbildung 3 29: Ortsfeste Messung der Verdichter – Mikrofon 4</u></b>	<b>24</b>
<b><u>Abbildung 3 30: Ortsfeste Messung der Verdichter – Spektrogramm - Mikrofon 1</u></b>	<b>25</b>
<b><u>Abbildung 3 31: Ortsfeste Messung der Verdichter – Spektrogramm - Mikrofon 2</u></b>	<b>25</b>
<b><u>Abbildung 3 32: Ortsfeste Messung der Verdichter – Spektrogramm - Mikrofon 3</u></b>	<b>26</b>
<b><u>Abbildung 3 33: Ortsfeste Messung der Verdichter – Spektrogramm - Mikrofon 4</u></b>	<b>26</b>
<b><u>Abbildung 3 34: Messaufbau-Nachhallmessungen im Innenraum im Bereich der Stopfeinheit</u></b>	<b>27</b>
<b><u>Abbildung 3 35: Nachhallmessung im Innenraum der Stopfeinheit - Mikrofon 1</u></b>	<b>28</b>
<b><u>Abbildung 3 36: Nachhallmessung im Innenraum der Stopfeinheit - Mikrofon 2</u></b>	<b>28</b>
<b><u>Abbildung 3 37: Nachhallmessung im Innenraum der Stopfeinheit - Mikrofon 3</u></b>	<b>29</b>
<b><u>Abbildung 3 38: Nachhallmessung im Innenraum der Stopfeinheit - Mikrofon 4</u></b>	<b>29</b>
<b><u>Abbildung 3 39: Luftschallmessung des Hydrauliklüfters (rechts) der Stopfeinheit Motor auf Volllast – Lüfter aus</u></b>	<b>30</b>
<b><u>Abbildung 3 40: Luftschallmessung des Hydrauliklüfters (links) der Stopfeinheit Motor auf Volllast – Lüfter aus</u></b>	<b>31</b>

<b><u>Abbildung 3 41: Luftschallmessung des Hydrauliklüfters (rechts) der Stopfeinheit Motor und Lüfter auf Volllast</u></b>	<b>31</b>
<b><u>Abbildung 3 42: Luftschallmessung des Hydrauliklüfters (links) der Stopfeinheit Motor und Lüfter auf Volllast</u></b>	<b>32</b>
<b><u>Abbildung 3 43: Luftschallmessung der Hydraulik des Motors im Stand</u></b>	<b>33</b>
<b><u>Abbildung 3 44: Luftschallmessung der Hydraulik des Motors – fahrend</u></b>	<b>33</b>
<b><u>Abbildung 3 45: Luftschallmessung der Hydraulik des Motors im Stand Spektrogramm</u></b>	<b>34</b>
<b><u>Abbildung 3 46: Luftschallmessung der Hydraulik des Motors - fahrend Spektrogramm</u></b>	<b>34</b>
<b><u>Abbildung 3 47: Messaufbau-Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit</u></b>	<b>35</b>
<b><u>Abbildung 3 48: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Sensor 1</u></b>	<b>36</b>
<b><u>Abbildung 3 49: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Sensor 2</u></b>	<b>36</b>
<b><u>Abbildung 3 50: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Sensor 3</u></b>	<b>37</b>
<b><u>Abbildung 3 51: Vibrationsmessungen an der Karosserie – Sensor 4</u></b>	<b>37</b>
<b><u>Abbildung 3 52: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Spektrogramm Sensor 1</u></b>	<b>38</b>
<b><u>Abbildung 3 53: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Spektrogramm Sensor 2</u></b>	<b>38</b>
<b><u>Abbildung 3 54: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Spektrogramm Sensor 3</u></b>	<b>39</b>
<b><u>Abbildung 3 55: Vibrationsmessungen an der Karosserie – Spektrogramm Sensor 4</u></b>	<b>39</b>
<b><u>Abbildung 3 56: Messaufbau-Vibrationsmessungen am Kopfverdichter</u></b>	<b>40</b>
<b><u>Abbildung 3 57: Vibrationsmessungen am Kopfverdichter</u></b>	<b>41</b>
<b><u>Abbildung 3 58: Vibrationsmessungen an der Karosserie</u></b>	<b>41</b>
<b><u>Abbildung 3 59: Vibrationsmessungen am Kopfverdichter – Spektrogramm</u></b>	<b>42</b>
<b><u>Abbildung 3 60: Vibrationsmessungen an der Karosserie – Spektrogramm</u></b>	<b>42</b>



## 1 Einleitung

Der Stopfvorgang ist eine beim Bau und in der Instandhaltung von Gleisen mit Schotteroberbau angewandte Methode, um vertikale Unebenheiten und horizontale Verschiebungen in der Gleislage durch Anheben u.o. Verschieben des Gleises, von Weichen und Kreuzungen, durch Unterfüttern der Bahnschwellen mit Schotter zu beseitigen. Zudem wird das Gleis in seiner Lage so fixiert, dass Temperaturschwankungen keine großen Bewegungen mehr verursachen können. Eine Gleisstopfmaschine ist eine Gleisbaumaschine zum Stopfen des Oberbaus, die im Betrieb sehr großen Lärm erzeugt. Verschiedene Komponenten dieser komplexen Maschine bilden Teil-schallquellen, die z.T. interagieren und das Gesamtschallereignis erzeugen.

Dieser Bericht beschäftigt sich mit den prinzipiellen Möglichkeiten der Lärminderung an einer Universallgisstopfmaschine vom Typ B66U der Firma Matisa. Die vorgeschlagenen Ansätze zur Lärminderung am Ende des vorliegenden Berichts basieren auf eine messtechnische Identifizierung und Charakterisierung der Schall- und Vibrationsquellen. Dazu wurden Luftschallmessungen an der Hydraulik des Motors sowie Luftschall- und Beschleunigungsmessungen an der Stopf- und Verdichtungseinheit vorgenommen. Die Wahl dieser Bauteile als akustische Hauptquellen der Gleisstopfmaschine erfolgte basierend auf Array-Messungen an einem Vorgänger-Modell vom Typ B66UC, deren Analyse in einem Bericht vom 24.08.2007 unter dem Titel „Identification des sources de bruit“ veröffentlicht wurde.

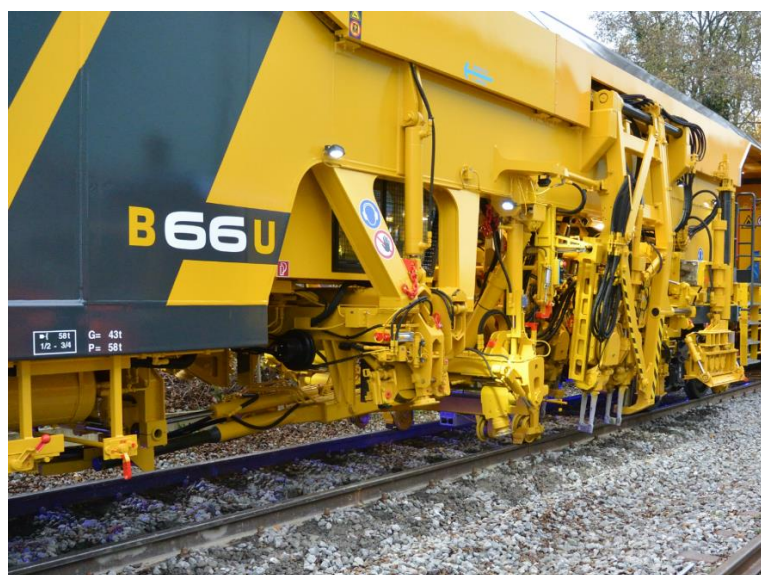
Die Hydraulik des Motors steht, anders als der eingehauste Motor, frei im Innenraum der Gleisstopfmaschine. Schalldruckmessungen sollten die Notwendigkeit von lärmmindernden Maßnahmen in diesem Bereich überprüfen, dabei wurden diese Messungen unter Volllast des Motors bei 1600 U/min durchgeführt. Luftschallmessungen im Bereich der Stopfeinheit sollten zur Charakterisierung und zur Ortung der Schallabstrahlung in diesem Bereich dienen. Dabei wurde der Stopfprozess im Stand sowie während der Fahrt der Gleisstopfmaschine mit Hilfe von vier Mikrofonen auf verschiedenen Höhen aufgezeichnet. Die Messung wurde mit der Inbetriebnahme von den Verdichtern (Fachverdichter und Schwellenkopfverdichter) wiederholt. Bei einer weiteren Messung wurden sowohl die Stopfarme als auch die Verdichter in Betrieb genommen. Mit Hilfe von Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit und am Schwellenkopfverdichter konnte eine Schwingungsanalyse im Betrieb vorgenommen werden. Zusätzliche Schalldruckmessungen wurden im Innenraum der Gleisstopfmaschine im Bereich der Stopfeinheit durchgeführt. Zum einen wurde der Nachhallcharakter von diesem Bereich mit Hilfe eines Impulsgebers analysiert. Zum anderen wurden die hydraulischen Kühler im Bereich der Stopfeinheit bzgl. deren Luftschallabstrahlung vermessen.

Das Hauptziel des Projekts ist, Ansätze zur Lärminderung auszuarbeiten, die in einem Folgeprojekt im Detail konzipiert und umgesetzt werden sollen.

Messtechnische Identifizierung der Schall- und Vibrationsquellen und Ausarbeitung von prinzipiellen Minderungsvorschlägen für die Gleisstopfmaschinen B66U

## 2 Die Gleisstopfmaschine B66U

Die Universallgisstopfmaschine B66U der Firma Matisa ist in Abbildung 2-1 zu sehen (Siehe auch Datenblätter unter Anlage I). Diese Maschine ist in der Lage ohne Satellit mit einer Geschwindigkeit von 500 m/h, mit Satellit mit 900 m/h und in der Ausführung mit Doppelkopf und Satellit mit einer Geschwindigkeit von 1800 m/h zu stopfen. Die Gleisstopfmaschine verfügt über einen eigenen Antrieb, der über einen Dieselmotor und eine Hydrostatikpumpe realisiert wird, wobei letztere den Öldruck sowohl für den Vortrieb als auch für das Stopfaggregat liefert. Der Dieselmotor ist akustisch gänzlich abgeschirmt und damit für die weitere Betrachtung bzgl. der Lärmemission von untergeordnetem Interesse. Die dahinter eingebaute Hydraulik ist akustisch hoch auffällig. Diese steht frei im Innenraum der Gleisstopfmaschine, um Wartungsprozesse zu vereinfachen und genügend Luftzirkulation zur Kühlung gewährleisten zu können. Die Hauptaufgabe der Gleisstopfmaschine wird mit Hilfe von Messinstrumenten, die akustisch vollständig unauffällig sind, sowie von der Stopfeinheit und den dahinter platzierten Verdichtern umgesetzt. Die Stopfeinheit wird hydraulisch, mit einer Frequenz von 42 Hz angetrieben. Diese Frequenz wird nicht geregelt und bleibt konstant, weil sonst der Stopfprozess nicht mit der nötigen Güte durchgeführt werden kann. Die Verdichtungseinheit besteht aus Fachverdichtern und von Kopfschwellenverdichtern. Der erstere wird hydraulisch angetrieben und ist akustisch unauffällig. Die Schwellenkopfverdichter sind exzentrisch, wobei sie beim Eintauchen in Schotter mit 3000 U/min arbeiten und hydraulisch angetrieben werden. Diese ist die Hauptquelle der Verdichtungseinheit bzgl. der Lärmemission, wobei die Verdichter außerhalb des Schotter geregelt werden können, um eine verminderte Vibration aufzuweisen. Der Innenraum oberhalb der Stopfeinheit wurde als laut wahrgenommen. Auch die sich hier befindenden Hydraulik-Kühler sind akustisch auffällig.



**Abbildung 2-1: Die Gleisstopfmaschine B66U**

Messtechnische Identifizierung der Schall- und Vibrationsquellen und Ausarbeitung von prinzipiellen Minderungsvorschlägen für die Gleisstopfmaschinen B66U

### 3 Durchführung der Messung

Um Vorschläge zur Lärminderung unterbreiten zu können, wurden im ersten Schritt Messungen durchgeführt, um die Eigenschaften der Gleisstopfmaschine bzgl. des Luft- und des Körperschallverhaltens analysieren zu können (Siehe auch Anlage II für die genaue Bezeichnung der Sensoren).

#### 3.1 Luftschallmessungen

Vier Freifeld Mikrofone wurden eingesetzt, um mit Hilfe von Luftschallmessungen die akustischen Eigenschaften der Stopf- und der Verdichtungseinheit sowie die der Hydraulik des Motors zu charakterisieren.

##### 3.1.1 Messung der Stopf- und der Verdichtungseinheit

Bedingt durch Vormessungen, die die Eigenschaften des Umfelds charakterisierten, wurden Luftschallmessungen bei einem Abstand von 3,10m von der Schienenkopf Außenkante auf vier verschiedenen Höhe durchgeführt.

Die Höhe der Mikrofone von der Schienenoberkante betrug:

- Mikrofon 1: 3,20 m
- Mikrofon 2: 2,80 m
- Mikrofon 3: 0,96 m
- Mikrofon 4: 0,05 m



Abbildung 3-1: Messaufbau-Luftschallmessungen an der Stopf- und Verdichtungseinheit

Crissier – 21.11.2016

In den Abbildungen 3-2 bis 3-5 sind die Spektren der Zeitsignale von den vier verwendeten Mikrofonen zu sehen, die über 4 Stopfzyklen aufgezeichnet wurden. Dabei wurde der Stopfvorgang im Stand betrieben, wobei sich die Mikrofonzeile in der Mitte der Stopfeinheit befand.

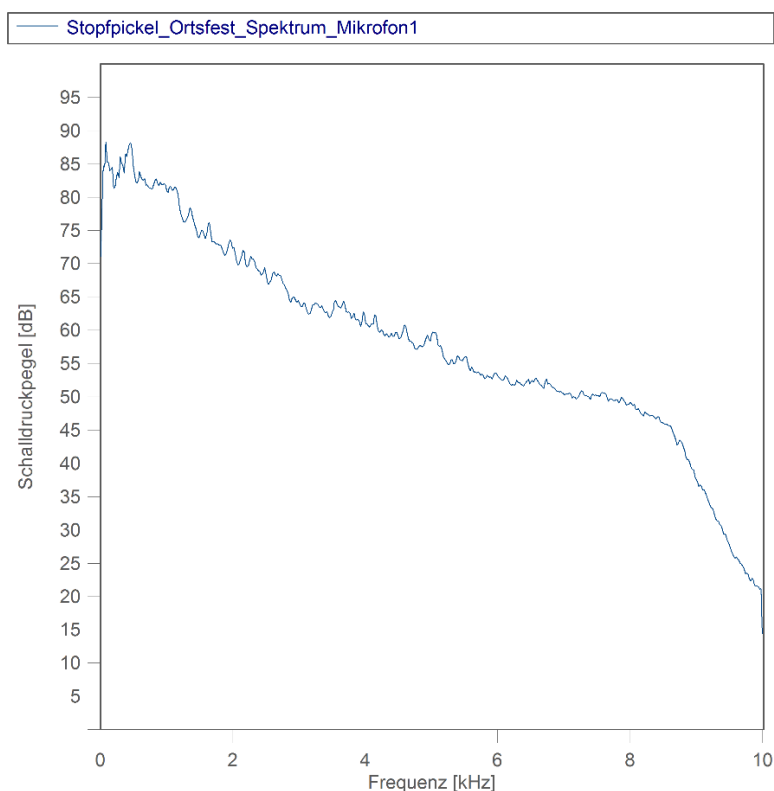
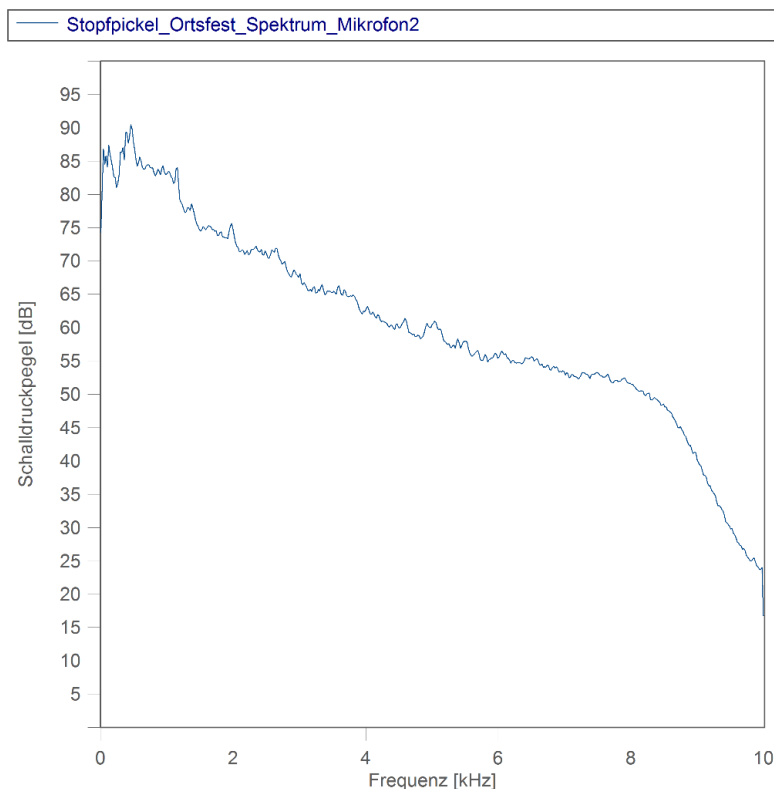
Der grundsätzliche Verlauf der Spektren zwischen den vier verschiedenen Mikrofonen ist ähnlich: Hohe Pegel ( $>75$  dB) sind bis maximal 2 kHz zu verzeichnen. Der Schalldruckpegel nimmt kontinuierlich zu den hohen Frequenzen ab. Die mittleren Mikrofone 2 und 3 heben sich im Vergleich zu den außenstehenden Mikrofonen durch höhere Schalldruckpegel ab. Mikrofon 3 wurde vor dem hydraulischen Antrieb der Stopfarme platziert und weist besonders hohe Pegel (bis zu 92 dB) bei 400 Hz auf.

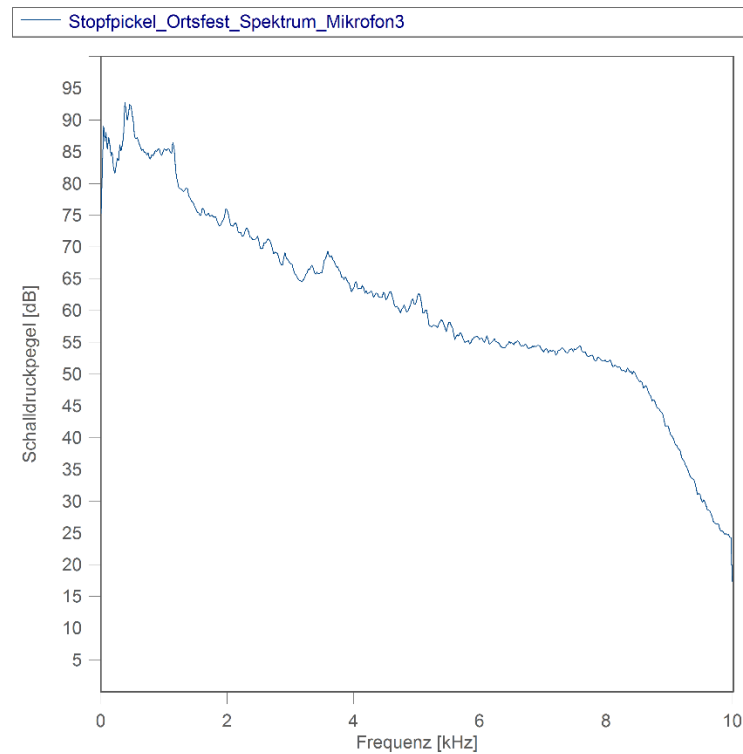
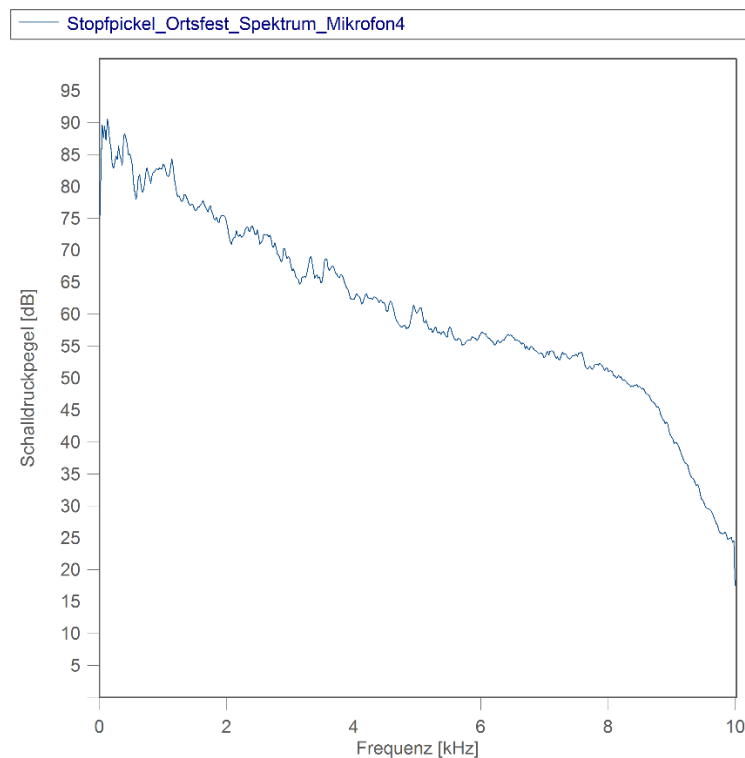
In den Spektrogrammen (Abbildungen 3-6 bis 3-9) sind die vier Stopfzyklen eindeutig erkennbar. Es sind deutlich hohe Schalldruckpegel unterhalb von 1 kHz zu verzeichnen, unabhängig vom Stopfmodus, also davon, ob die Stopfarme im Leerlauf schwenken oder im Schotter stopfen. Auch hier ist die Resonanz bei 400 Hz durch einen deutlichen Streifen über die gesamte Messzeit und vor allem bei den Mikrofonen 2 und 3 zu erkennen. Dieser Kontrast ist bei der darauffolgenden Auswertung (Abbildung 3-14 bis 3-17) weniger deutlich erkennbar. Die Analyse bezieht sich auf eine Messung bei der der Messaufbau bestehen blieb, die Gleisstopfmaschine aber fahrend stopfte. Aus den Spektren dieser Messung, die ebenfalls vier Stopfzyklen beinhaltete, können keine deutlichen Diskrepanzen im Vergleich zu der vorherigen Messung gewonnen werden. Darin ist auch die Analyse des instationären Stopfprozesses als Spektrogrammen begründet: die Spektren liefern eine hilfreiche Grundlage über die Schallabstrahlung, man sollte aber nicht außer Acht lassen, dass bei der Mittelung Informationen über zeitabhängige Vorgänge verloren gehen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass

- im Bereich unterhalb von 2 kHz und insbesondere unterhalb von 1 kHz unabhängig vom Stopfmodus stets hohe Pegel (um 80 dB) zu verzeichnen sind.
- Unabhängig vom Stopfmodus ist, besonders im Bereich der Hydraulikantrieb der Stopfarme, eine deutliche Resonanz bei 400 Hz (bis zu 92 dB) zu verzeichnen.
- Der Stopfvorgang ist bzgl. der Schallabstrahlung ein breitbandiger Vorgang, wobei die Schalldruckpegel im höher frequenten Bereich ab ca. 5 kHz bei ca. 60 dB liegen.

Damit wird die Bedeutung der Ausarbeitung von stopfmodusunabhängigen Minderungsmaßnahmen im Bereich unterhalb von 1 kHz (und insbesondere bei 400 Hz) im Bereich der Hydraulikantrieb der Stopfarme deutlich.

**Abbildung 3-2: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Mikrofon 1****Abbildung 3-3: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Mikrofon 2**

**Abbildung 3-4: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Mikrofon 3****Abbildung 3-5: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Mikrofon 4**



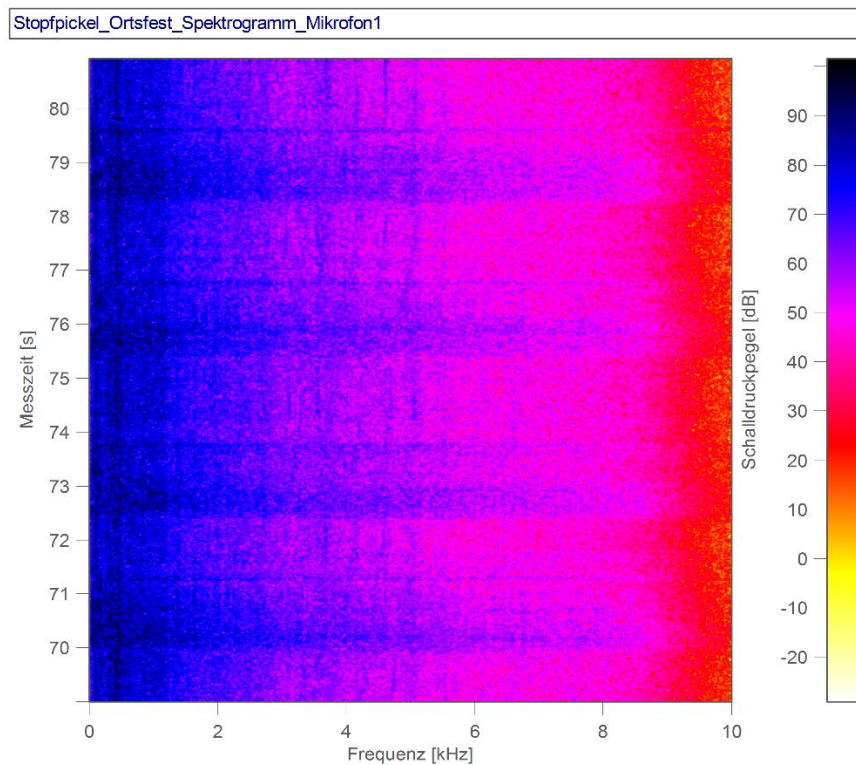


Abbildung 3-6: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Spektrogramm - Mikrofon 1

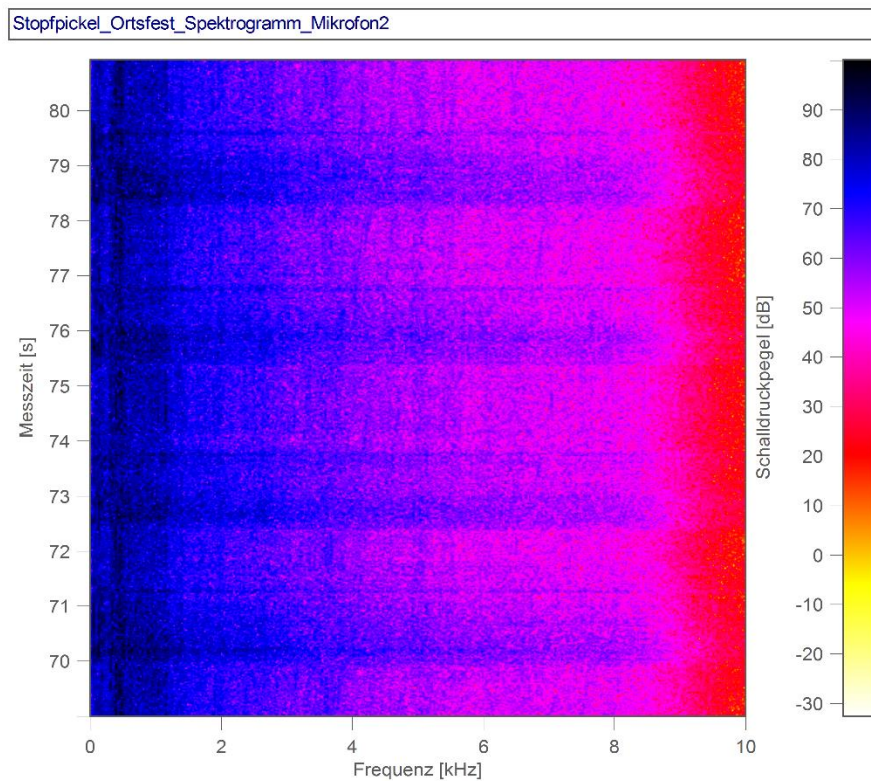
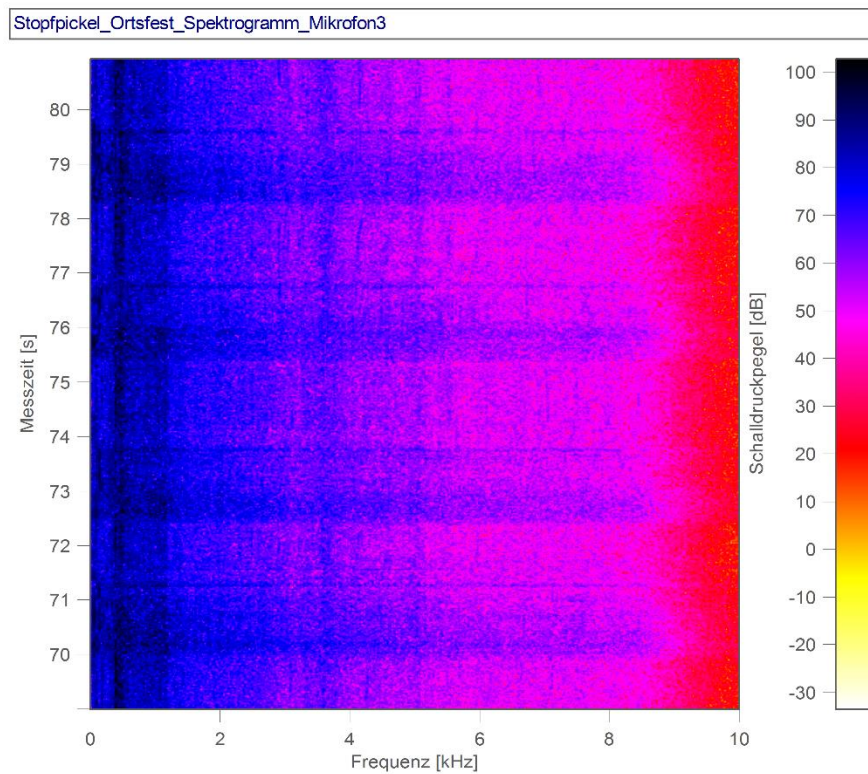
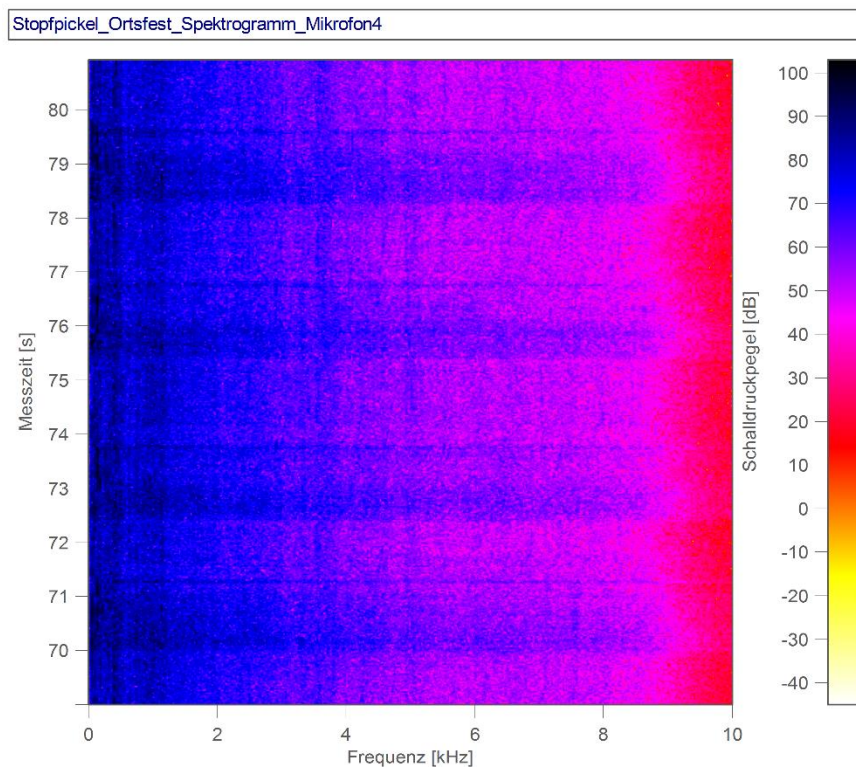


Abbildung 3-7: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Spektrogramm - Mikrofon 2

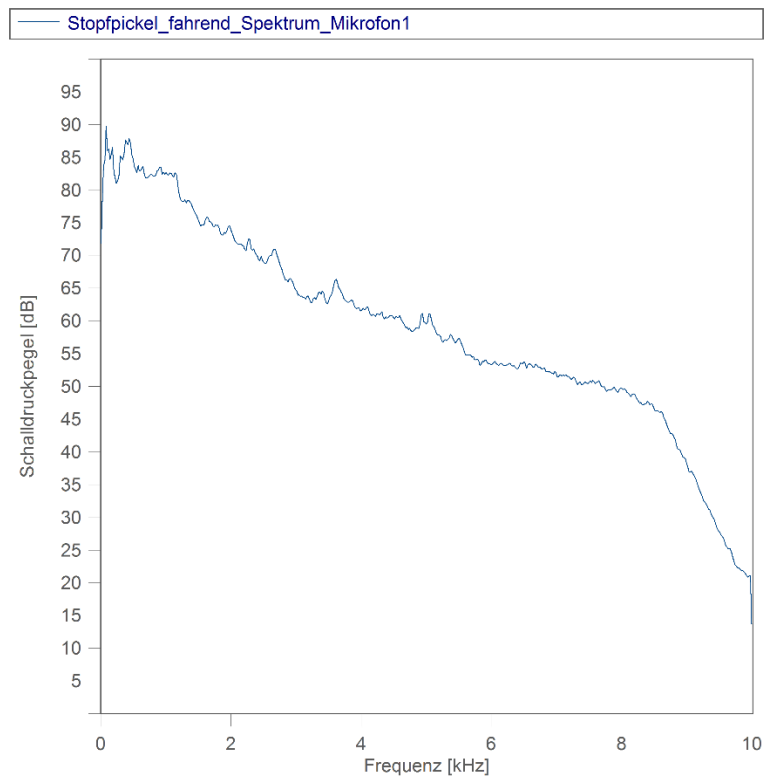


**Abbildung 3-8: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Spektrogramm - Mikrofon 3**

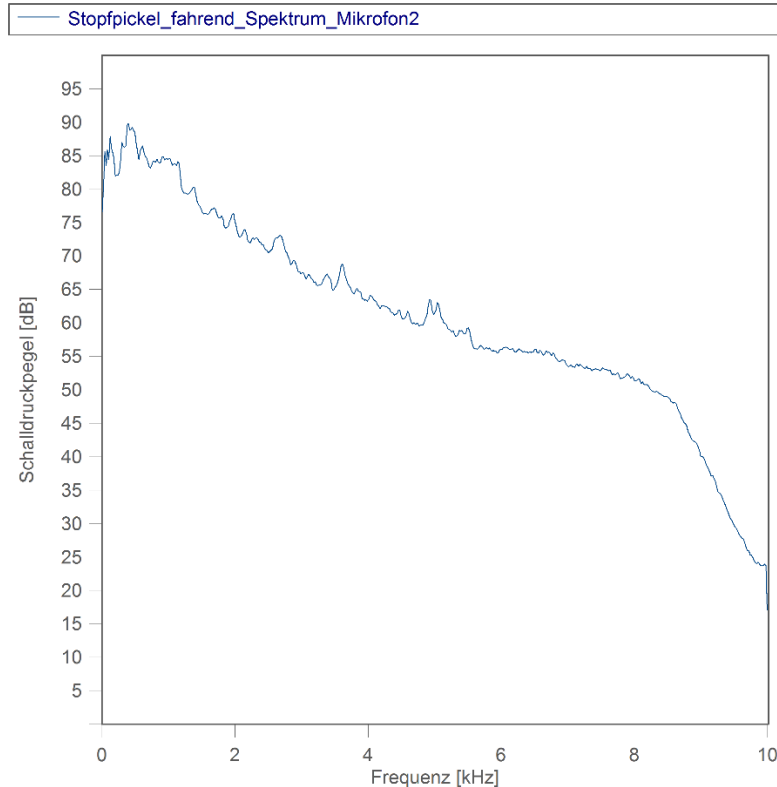


**Abbildung 3-9: Ortsfeste Messung der Stopfarme – Spektrogramm - Mikrofon 4**

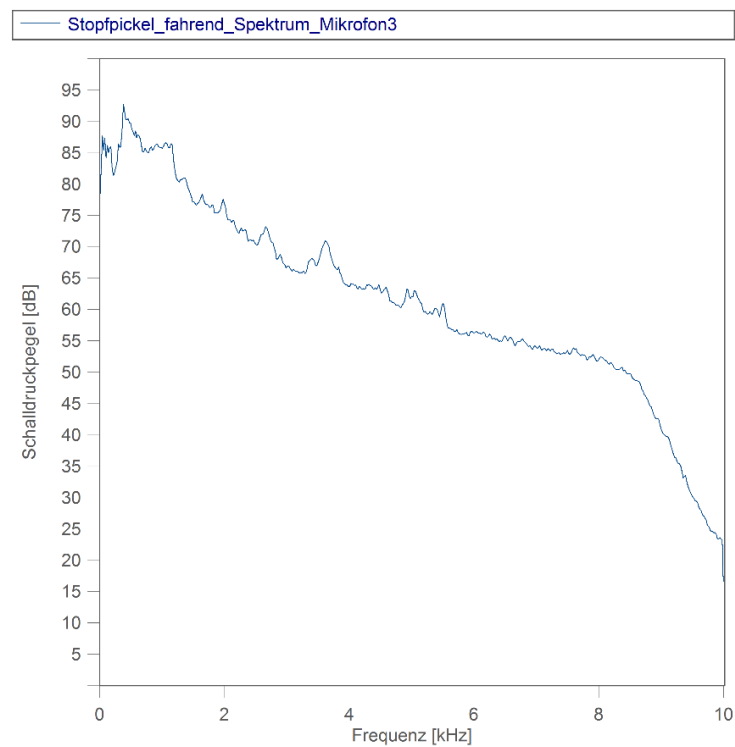




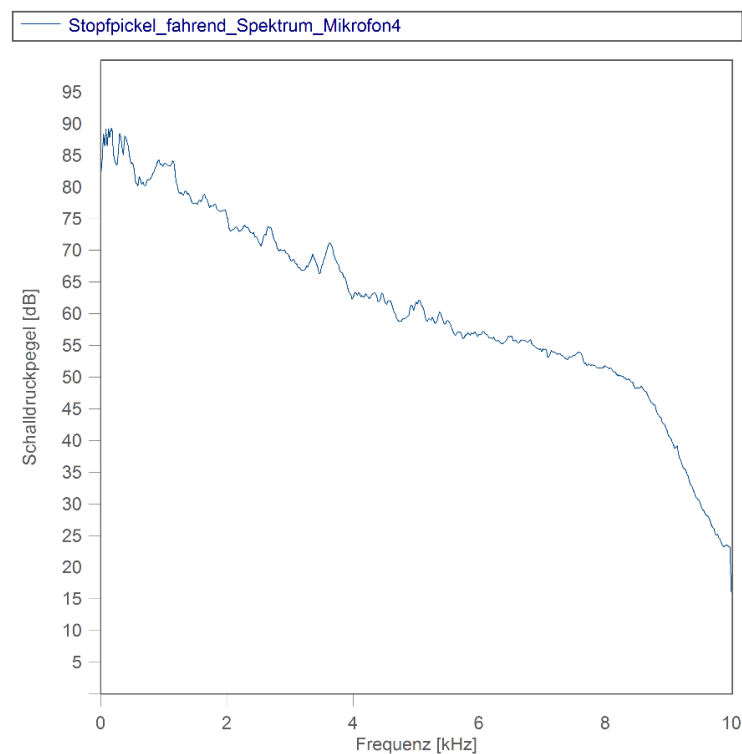
**Abbildung 3-10: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine – Mikrofon 1**



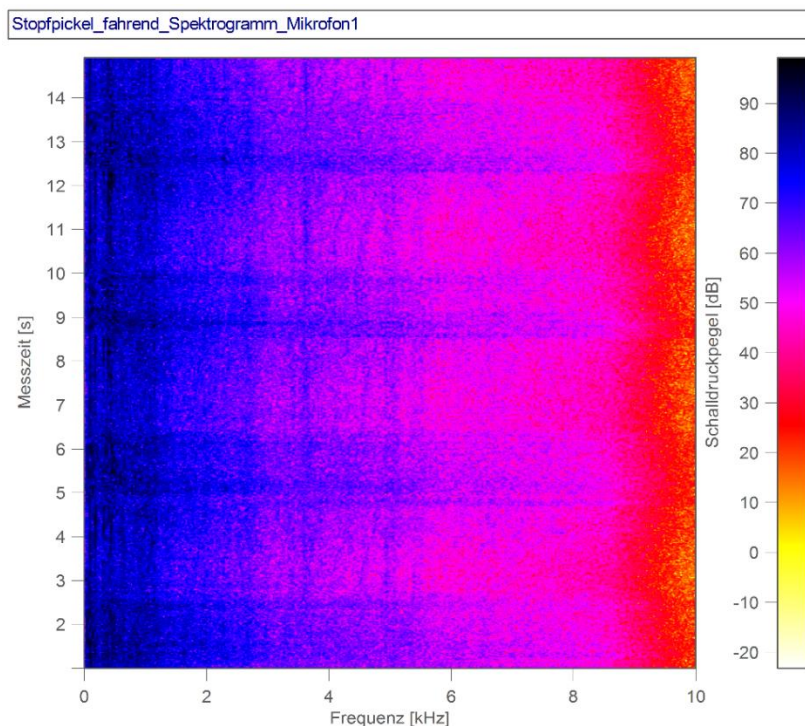
**Abbildung 3-11: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine – Mikrofon 2**



**Abbildung 3-12: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstoppmaschine – Mikrofon 3**

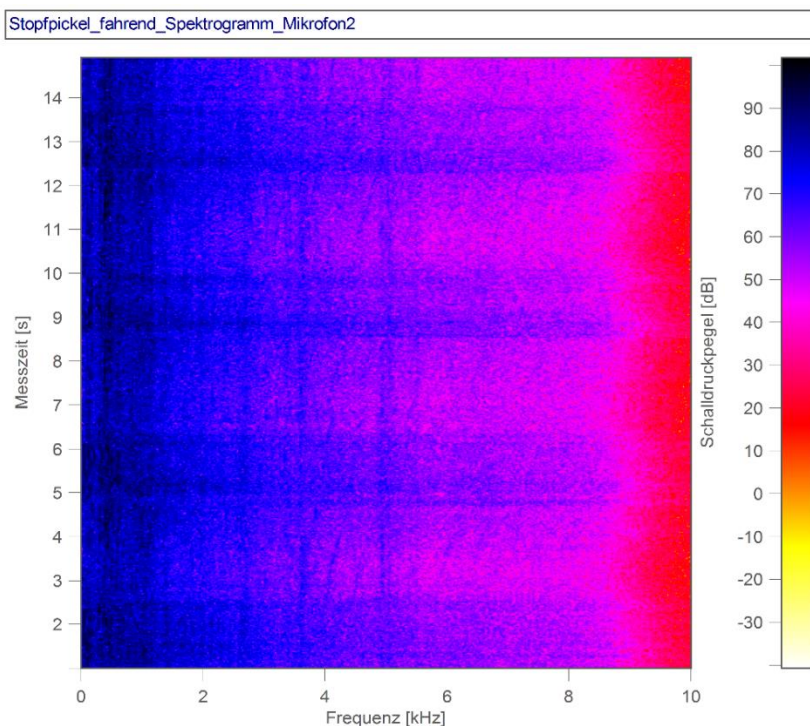


**Abbildung 3-13: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstoppmaschine – Mikrofon 4**



**Abbildung 3-14: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine**

**Spektrogramm - Mikrofon 1**



**Abbildung 3-15: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine**

**Spektrogramm - Mikrofon 2**

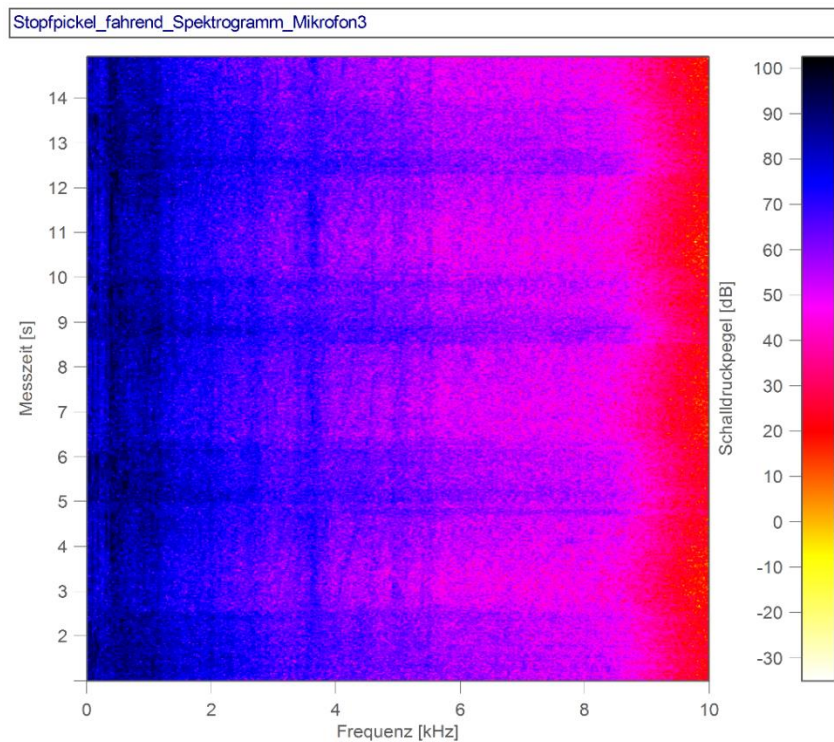


Abbildung 3-16: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine

Spektrogramm - Mikrofon 3

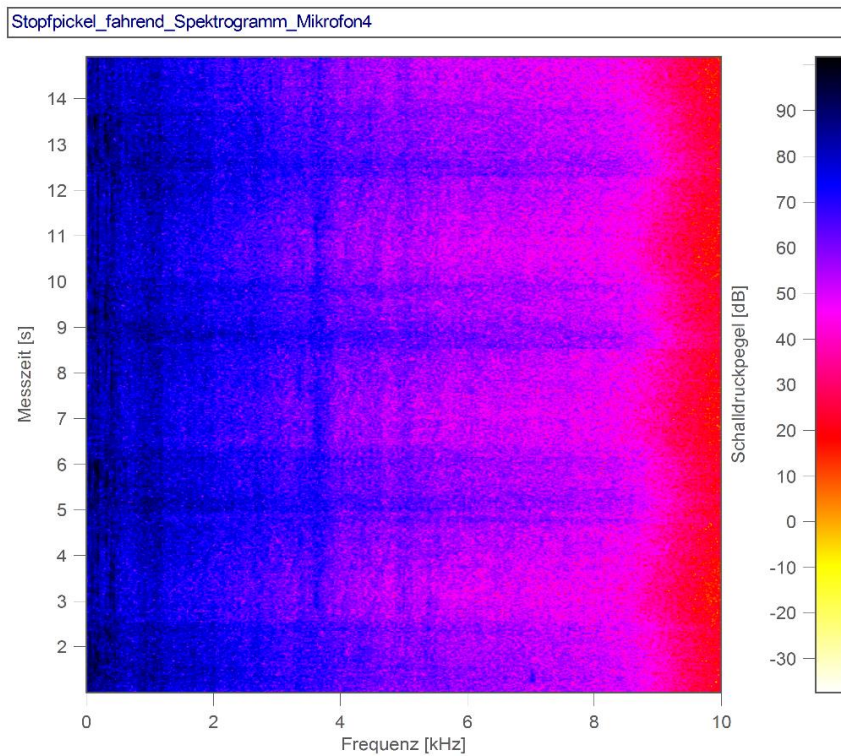


Abbildung 3-17: Messung der Stopfarme an der fahrenden Gleisstopfmaschine

Spektrogramm - Mikrofon 4

Die gleiche Messung während der Fahrt der Gleisstopfmaschine wurde unter Inbetriebnahme der Kopfschwellenverdichter und der Fachverdichter über vier Stopfzyklen durchgeführt. Der Verdichtungsprozess erfolgt zeitversetzt und nach dem Stopfen und somit sind bei den Spektrogrammen stets über die Messzeit hoch frequente Anteile zu sehen. Gerade beim Mikrofon 4 ist diese Tatsache leicht anhand des Spektrogramms (Abbildung 3-25) ersichtlich. Dieses Mikrofon ist von der Höhe am nächsten zum Schwellenkopfverdichter platziert. Die Spektren zeigen ähnliche Verläufe wie die Messungen ohne den Verdichter auf. Allerdings können bei den Messungen mit Verdichter höhere Schalldruckpegel (von bis zu 5 dB bei Mikrofon 4) verzeichnet werden.

Es wurden zusätzlich ortsfeste Messungen durchgeführt bei denen lediglich die Verdichter im Betrieb waren. Es ist leicht erkennbar, dass der Verdichtungsprozess breitbandig ist (Siehe Abbildung 3-30 bis 3-33). Den selben Spektrogrammen sind hohe Pegel zwischen 7 kHz und 9 kHz zu entnehmen. Hier sind auch hohe Schalldruckpegel beim Verdichten bei 800 Hz zu erkennen. Am Spektrum von Mikrofon 3 ist bei 800 Hz ein Schalldruckpegel von 82 dB (Abbildung 3-28) und von Mikrofon 4 bei 50 Hz ein Schalldruckpegel von 97 dB (Abbildung 3-29) zu entnehmen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Schallabstrahlung der Verdichter besonders im Bereich von 50 Hz und 800 Hz sowie im Frequenzband zwischen 7 kHz und 9 kHz am höchsten ist.

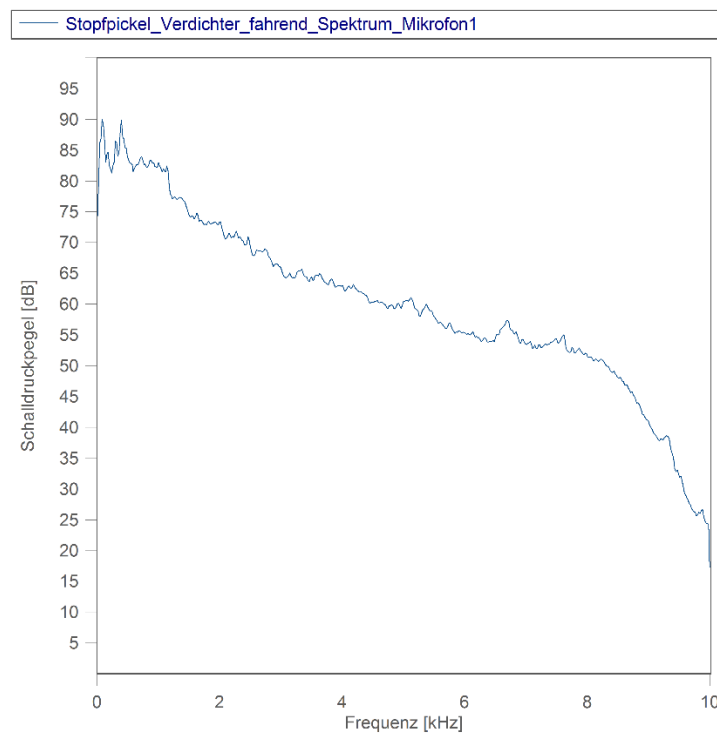


Abbildung 3-18: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine

**Mikrofon 1**

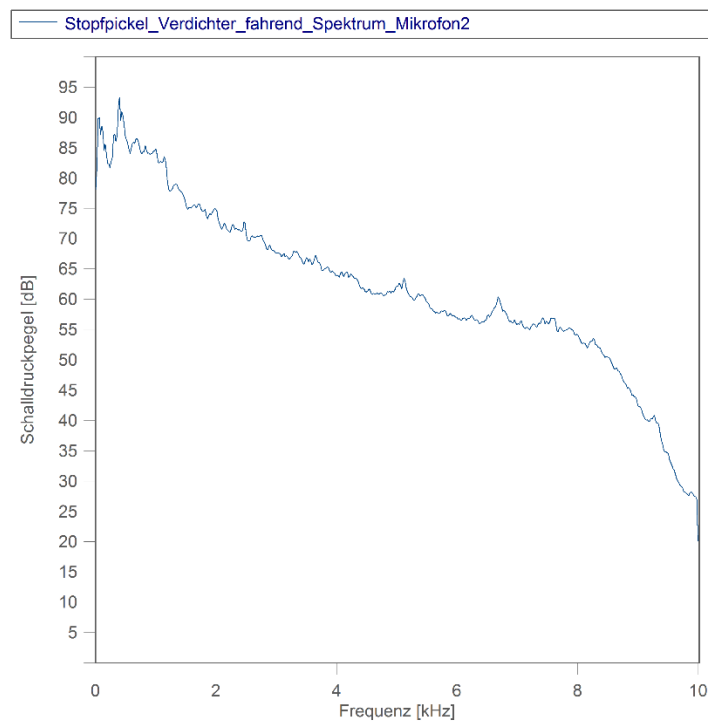


Abbildung 3-19: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine

**Mikrofon 2**



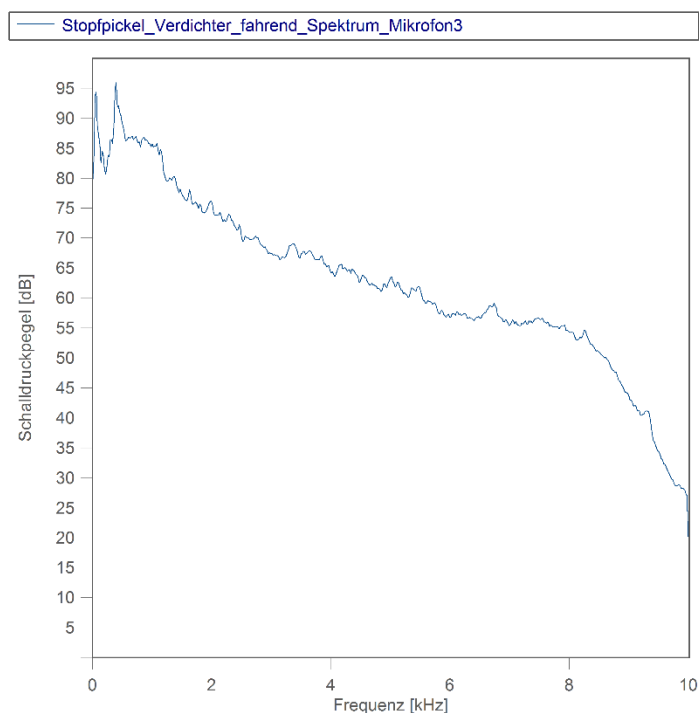


Abbildung 3-20: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine

#### Mikrofon 3

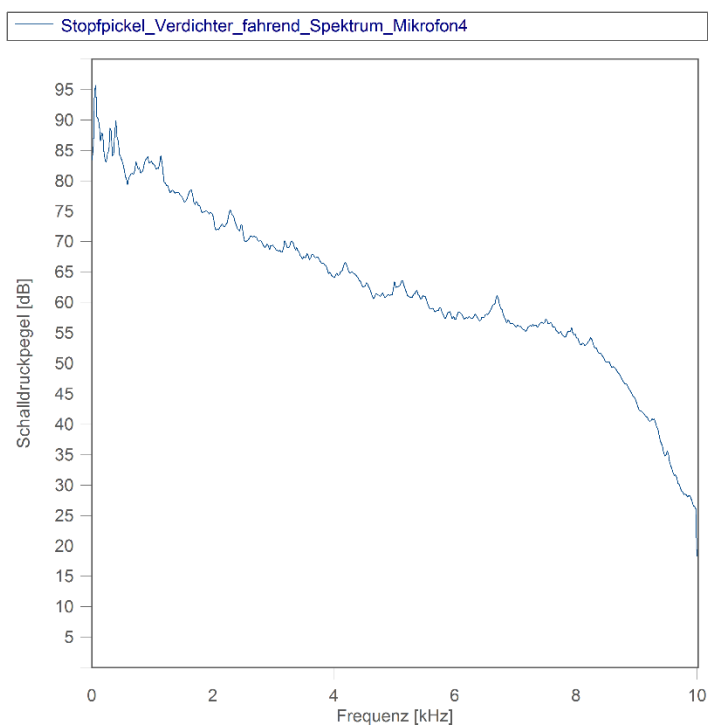


Abbildung 3-21: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine

#### Mikrofon 4

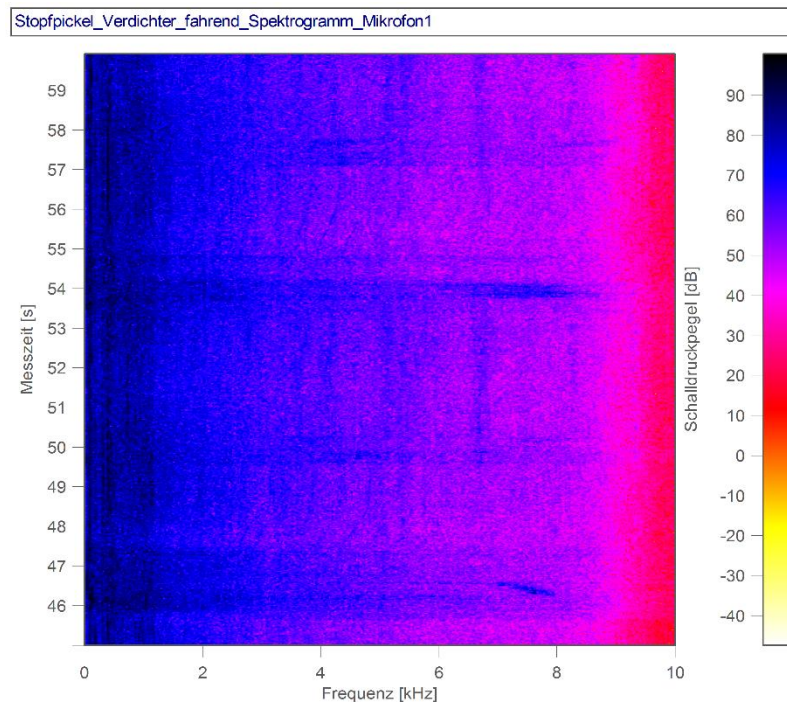


Abbildung 3-22: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine

#### Spektrogramm - Mikrofon 1

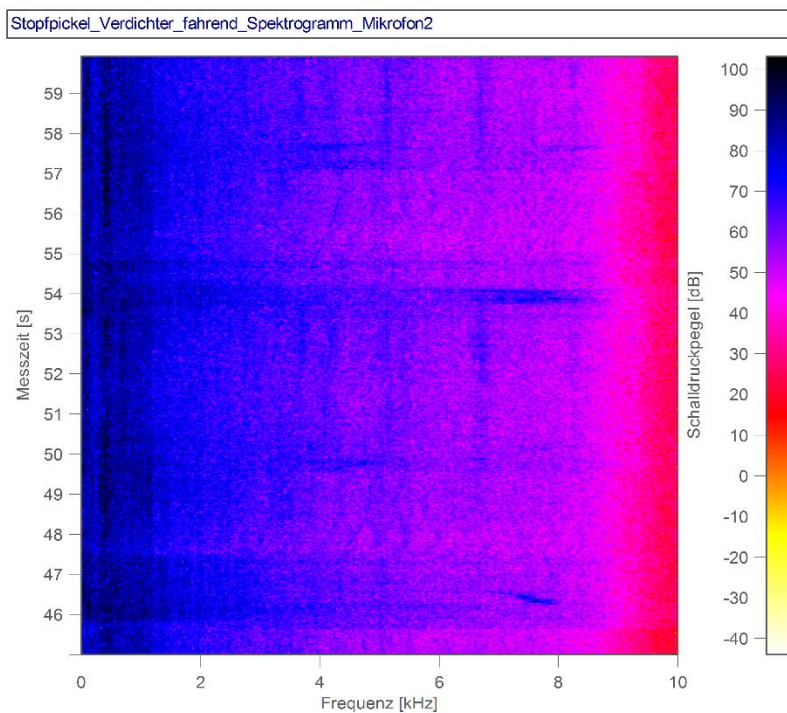
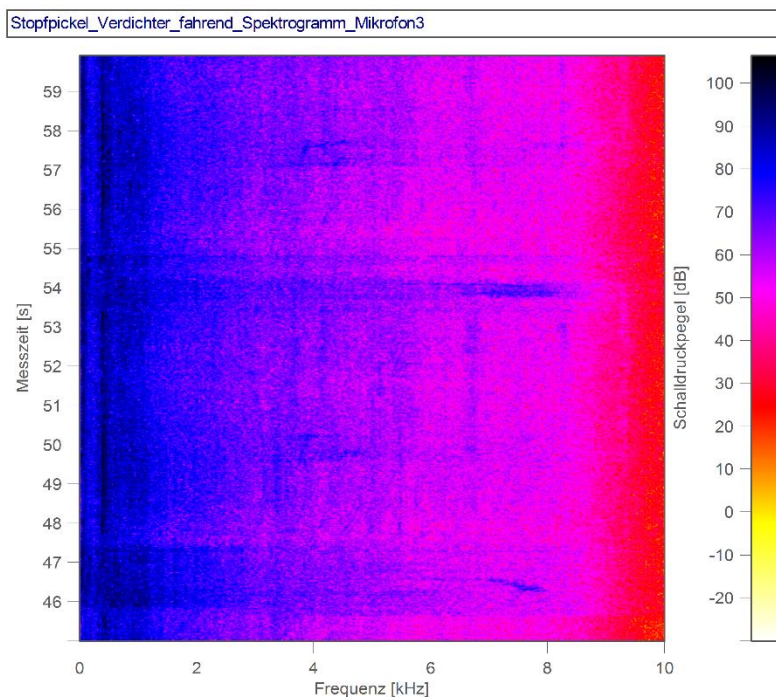


Abbildung 3-23: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine

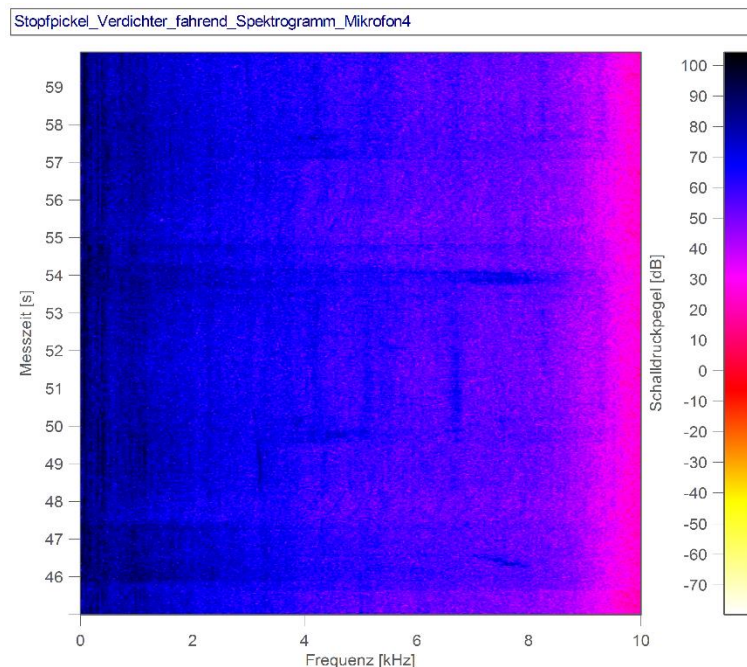
#### Spektrogramm - Mikrofon 2





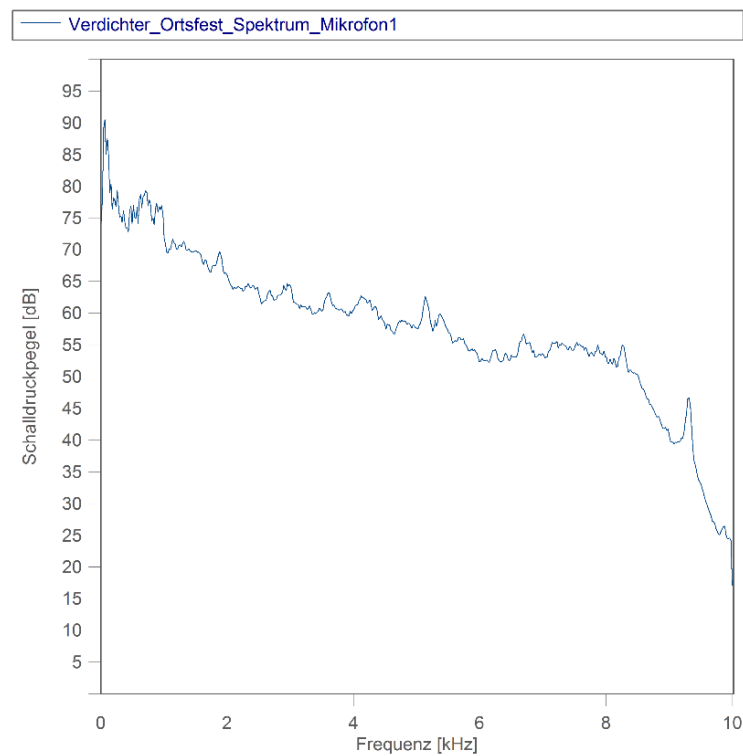
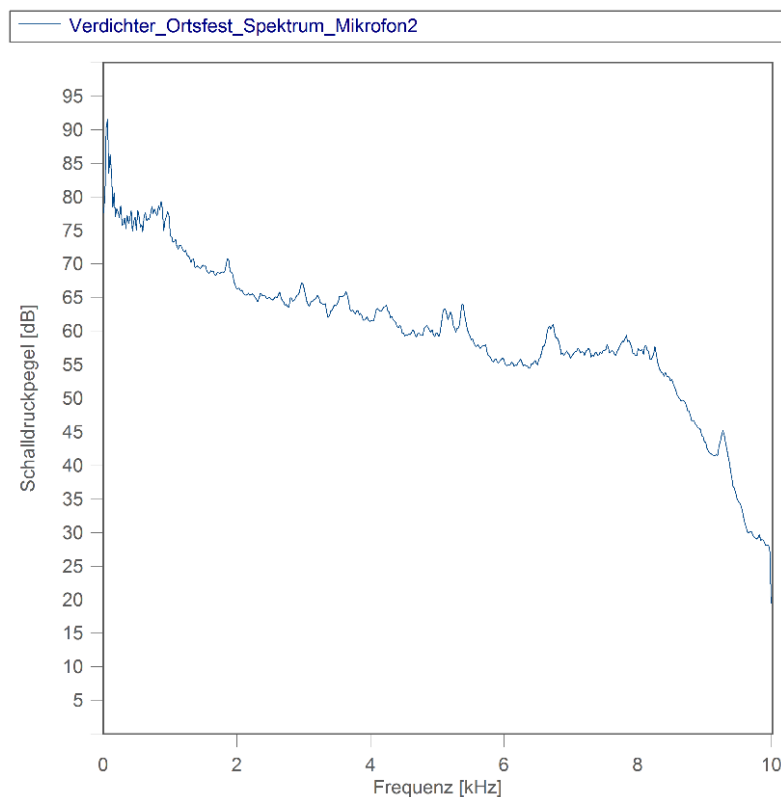
**Abbildung 3-24: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine**

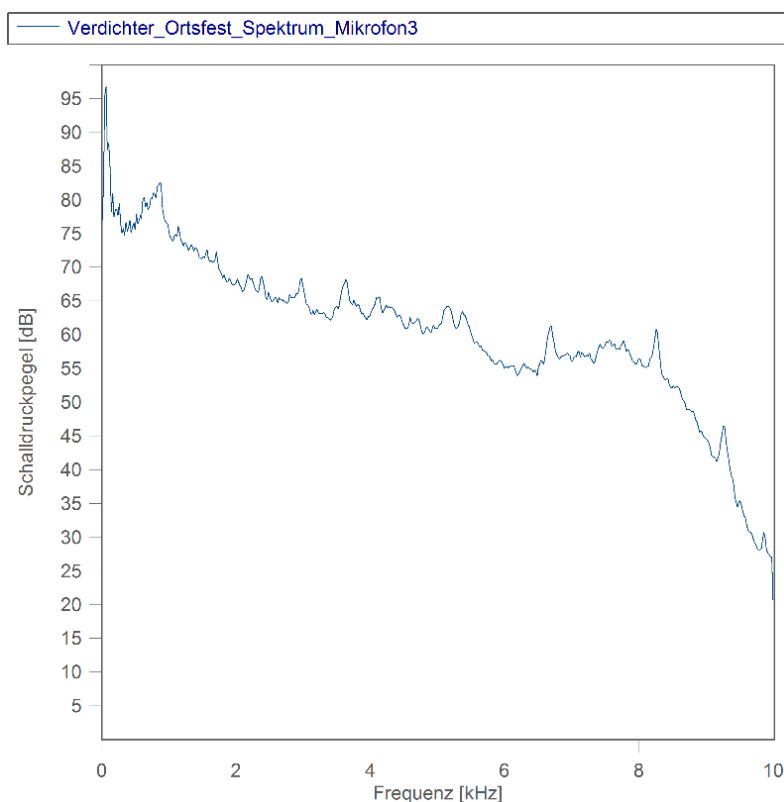
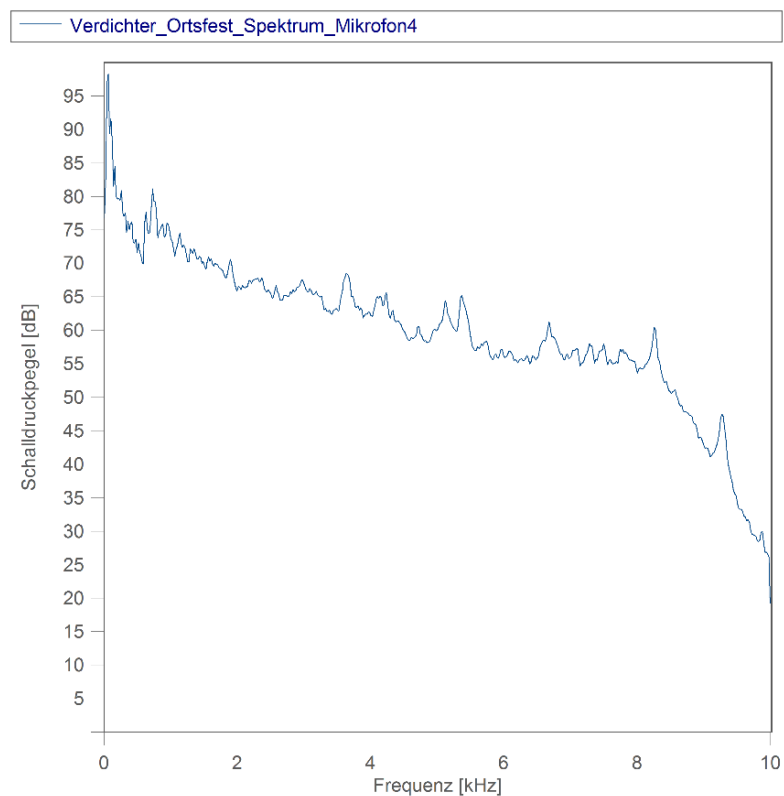
**Spektrogramm - Mikrofon 3**

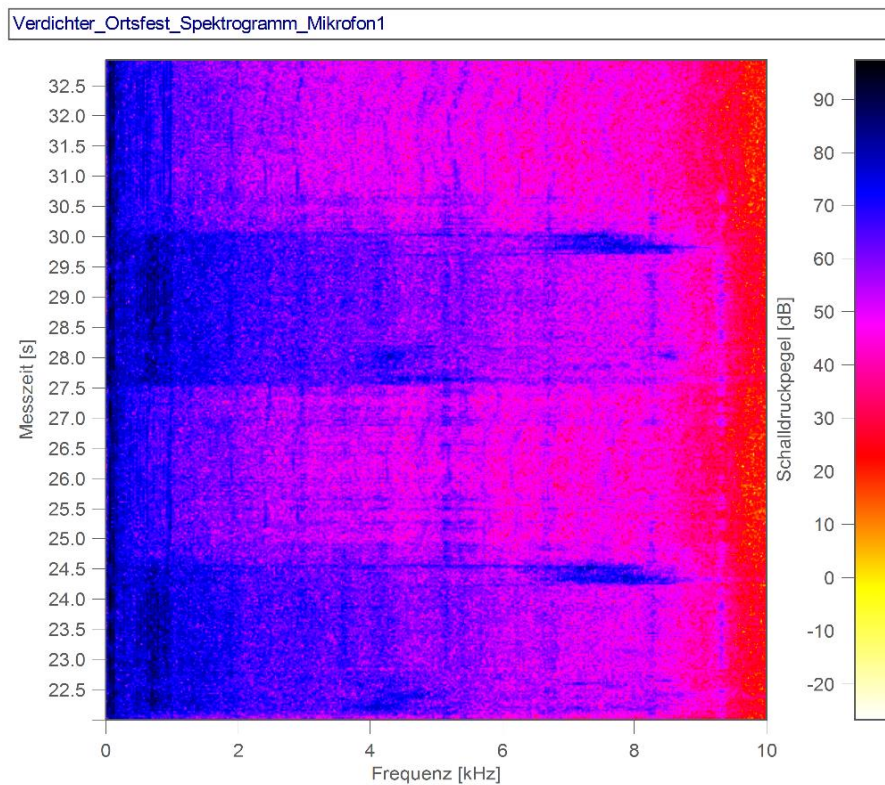
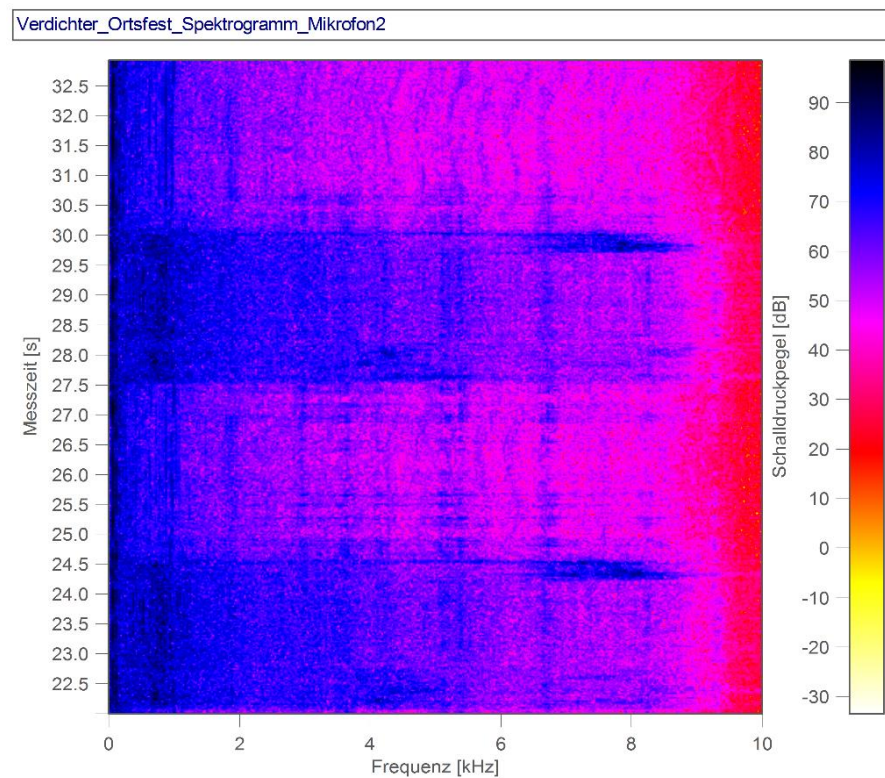


**Abbildung 3-25: Messung der Stopfarme und der Verdichter an der fahrenden Gleisstopfmaschine**

**Spektrogramm - Mikrofon 4**

**Abbildung 3-26: Ortsfeste Messung der Verdichter – Mikrofon 1****Abbildung 3-27: Ortsfeste Messung der Verdichter – Mikrofon 2**

**Abbildung 3-28: Ortsfeste Messung der Verdichter – Mikrofon 3****Abbildung 3-29: Ortsfeste Messung der Verdichter – Mikrofon 4**

**Abbildung 3-30: Ortsfeste Messung der Verdichter – Spektrogramm - Mikrofon 1****Abbildung 3-31: Ortsfeste Messung der Verdichter – Spektrogramm - Mikrofon 2**



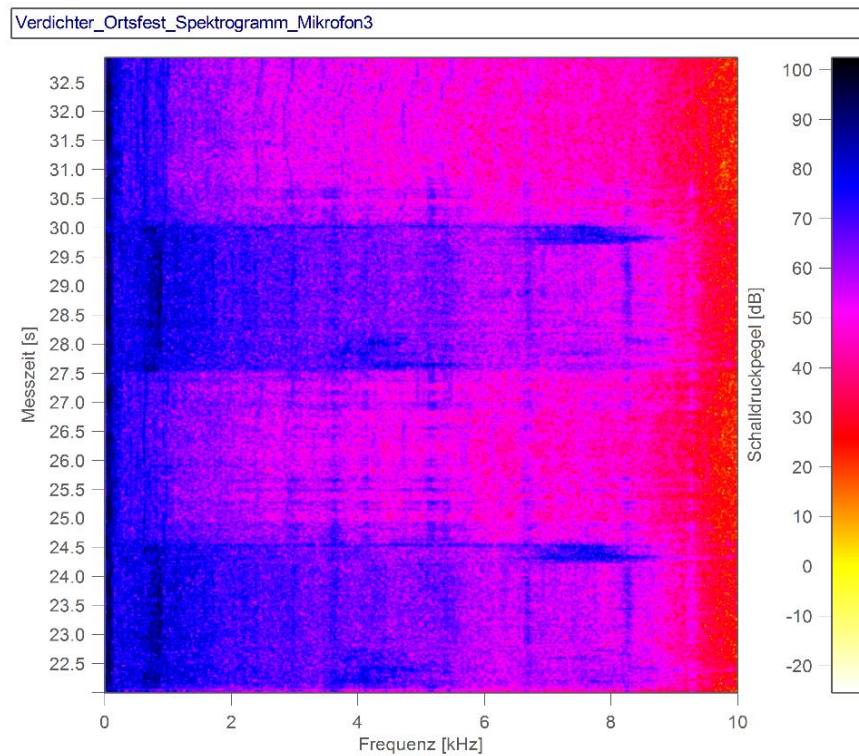


Abbildung 3-32: Ortsfeste Messung der Verdichter – Spektrogramm - Mikrofon 3

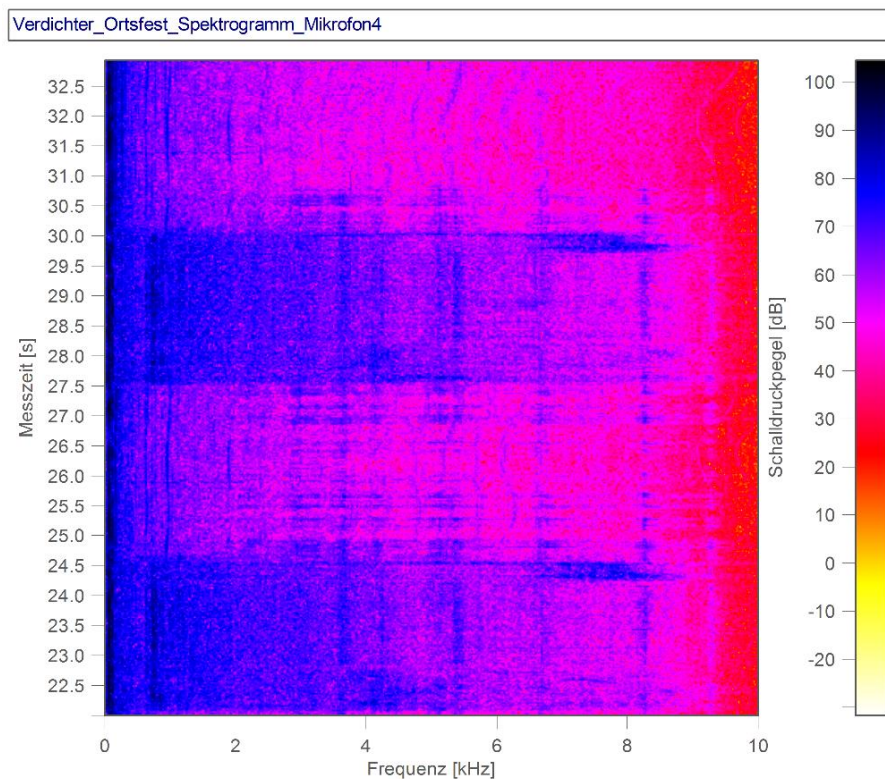


Abbildung 3-33: Ortsfeste Messung der Verdichter – Spektrogramm - Mikrofon 4

### 3.1.2 Messung des Nachhalls im Innenraum

Eine weitere Messung wurde im Bereich der Stopfeinheit im Innenraum der Gleisstopfmaschine durchgeführt, um die Nachhallcharakteristik in diesem Bereich einschätzen zu können. Ein Impulsgeber wurde als Quelle verwendet und vier Mikrofone wurden jeweils bei einem Abstand von 0,90m von der Innenwand und einem Abstand von 0,40 m vom Beginn der Stopfeinheit aufgebaut (Siehe Abbildung 3-34). Mikrofon 1 wurde auf einer Höhe von 2m (Abbildung 3-34; oben links), Mikrofon 2 auf einer Höhe von 1m (Abbildung 3-34; unten links), Mikrofon 3 auf einer Höhe von 2m (Abbildung 3-34; oben rechts) und Mikrofon 4 auf einer Höhe von 1 m (Abbildung 3-34; unten rechts) platziert.

Die Spektrogramme (Abbildung 3-35 bis Abbildung 3-38) zeigen die Abklingraten innerhalb der ersten 10 Sekunden nach einem Impuls. Die Analyse zeigt, dass im Bereich unterhalb von 500Hz die Abklingrate sehr gering ist und insbesondere in diesem Bereich Absorber ausgelegt werden sollten, um weitere Reflexionen und damit Erhöhung der Schalldruckpegel zu vermeiden, wenn die Stopfarme im Betrieb sind.



**Abbildung 3-34: Messaufbau-Nachhallmessungen im Innenraum im Bereich der Stopfeinheit**



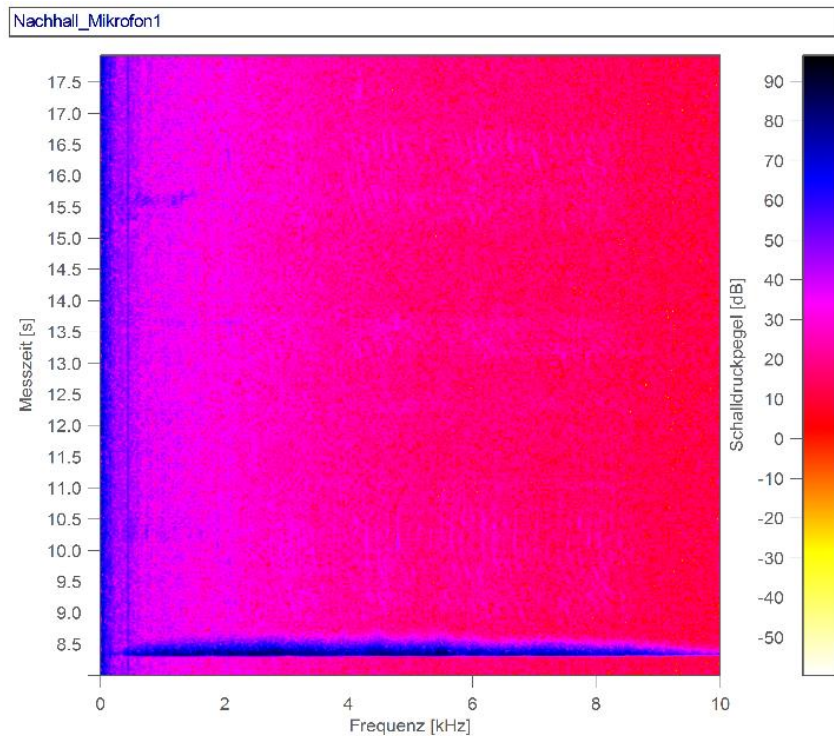


Abbildung 3-35: Nachhallmessung im Innenraum der Stopfeinheit - Mikrofon 1

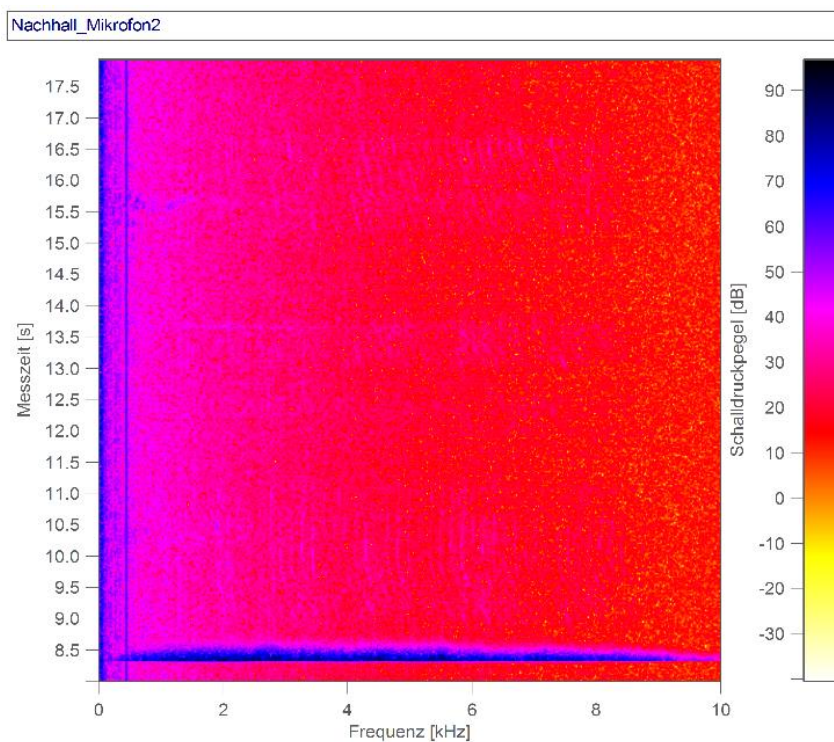


Abbildung 3-36: Nachhallmessung im Innenraum der Stopfeinheit - Mikrofon 2

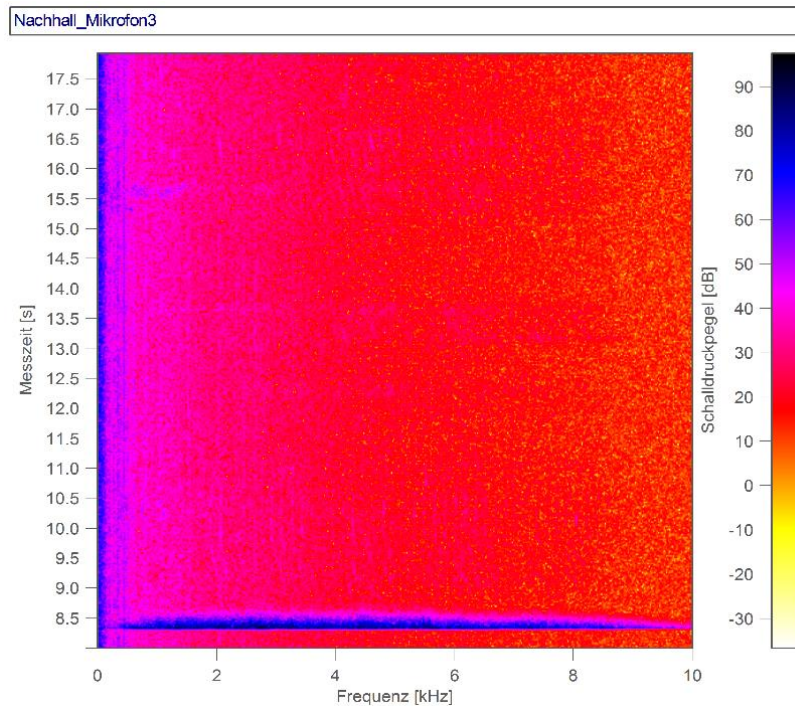


Abbildung 3-37: Nachhallmessung im Innenraum der Stopfeinheit - Mikrofon 3

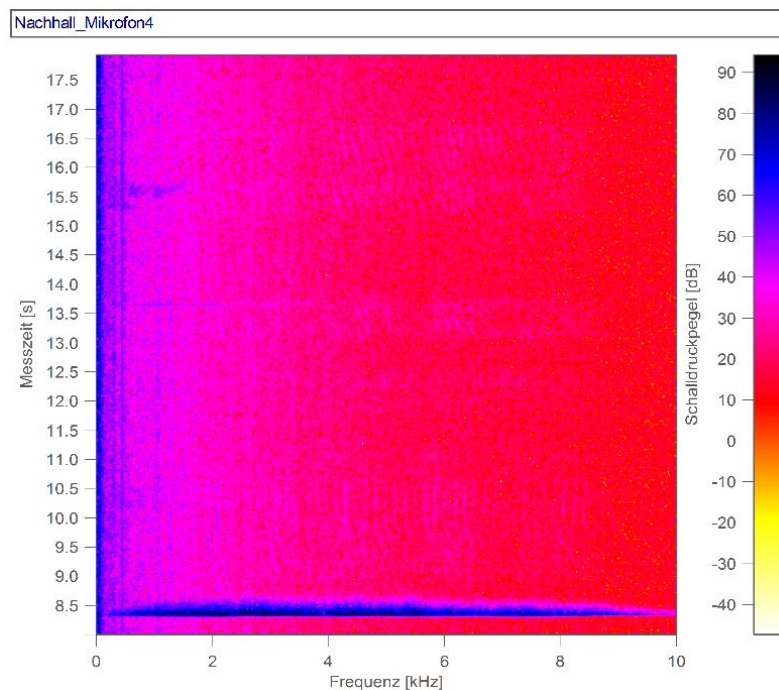
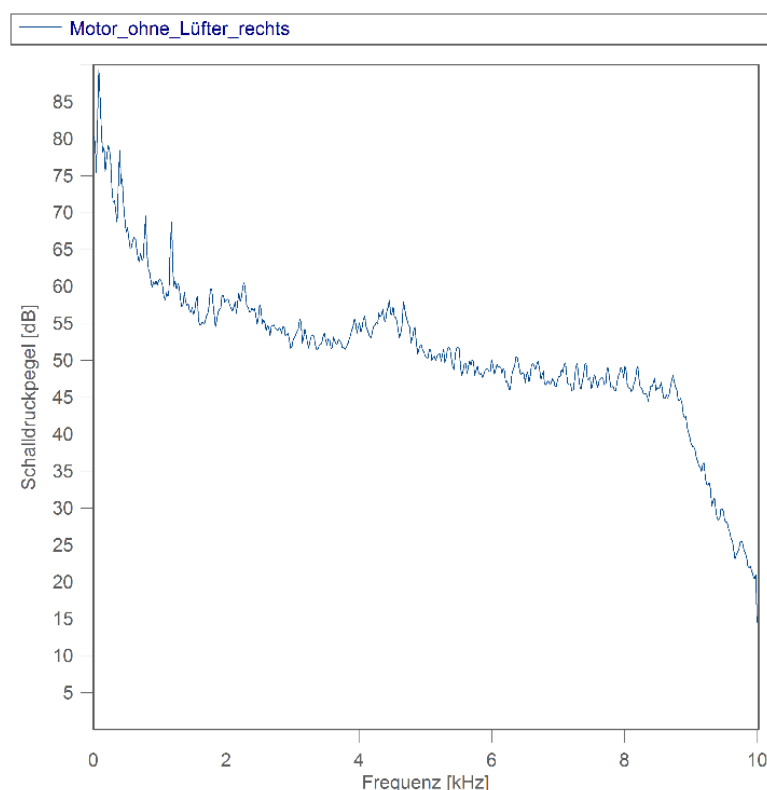


Abbildung 3-38: Nachhallmessung im Innenraum der Stopfeinheit - Mikrofon



### 3.1.3 Messung des Hydraulik-Lüfters

Eine weitere dominante Lärmquelle befindet sich im Bereich der Hydraulik-Lüfter oberhalb der Stopfeinheit im Innenraum der Gleisstopfmaschine. Es sind (in Fahrtrichtung) rechts und links zwei Lüfter eingebaut. Bei einem Abstand von 50 cm von der Mitte des Lüfters wurden jeweils Mikrofone platziert. Da die Lüfter nur unter Inbetriebnahme von Motor betrieben werden können, wurden Messungen durchgeführt, bei denen nur der Motor unter Volllast eingeschaltet war. Bei einer weiteren Messung wurde zusätzlich der Lüfter unter Volllast eingeschaltet. Somit konnte der Einfluss des Motors herausgerechnet werden. Der maximale Schalldruckpegel bei der Messung mit ausgeschaltetem Lüfter betrug 89 dB (Siehe Abbildung 3-39). Bei den Messungen mit eingeschaltetem Motor und Lüfter wurden beim linken Kühler bei 20 Hz 107 dB, und bei 230 Hz 102 dB verzeichnet (Siehe Abbildung 3-42). Beim rechten Lüfter wurden Schalldruckpegel von 109 dB bei 20 Hz und 100 dB bei 230 Hz erreicht (Siehe Abbildung 3-41). Bei den Messungen mit eingeschaltetem Lüfter ist das Spektrum weniger schwankungsstark. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Lüfter bei Volllast zu einem hohen Grade zwischen 20 Hz und 230 Hz zur Lärmemission beiträgt.



**Abbildung 3-39: Luftschallmessung des Hydrauliklüfters (rechts) der Stopfeinheit**

**Motor auf Volllast – Lüfter aus**

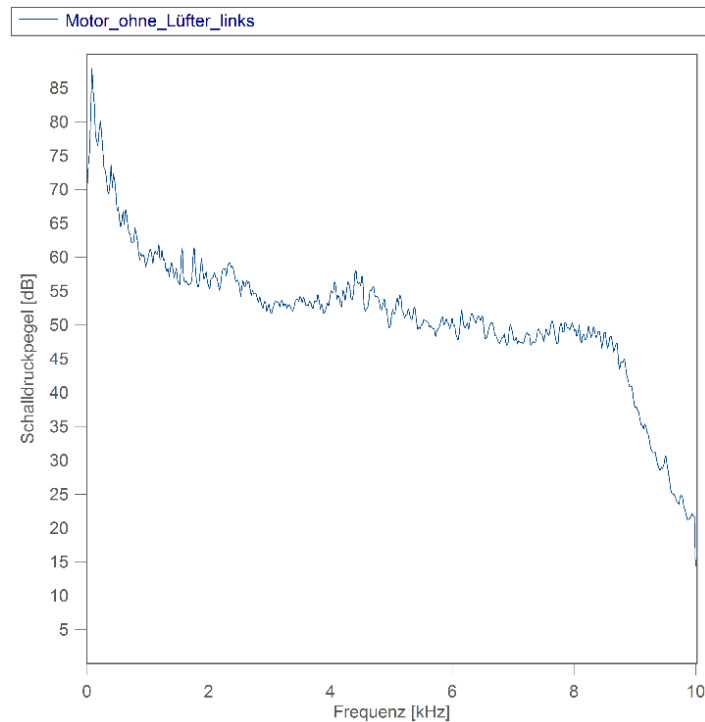


Abbildung 3-40: Luftschallmessung des Hydrauliklüfters (links) der Stopfeinheit

Motor auf Vollast – Lüfter aus

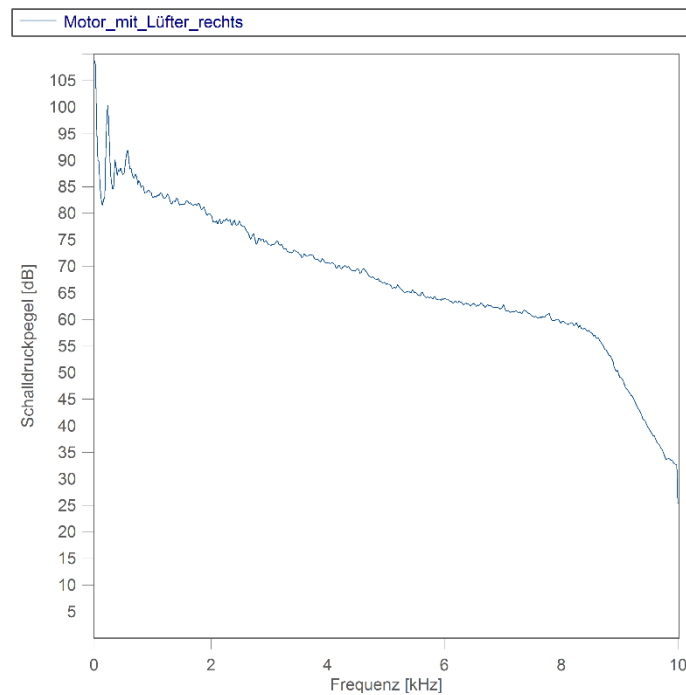
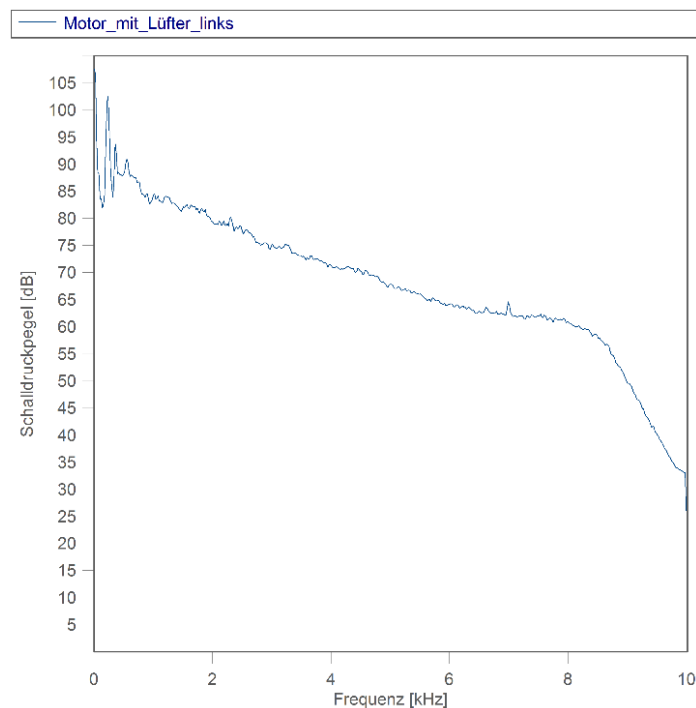


Abbildung 3-41: Luftschallmessung des Hydrauliklüfters (rechts) der Stopfeinheit

Motor und Lüfter auf Vollast

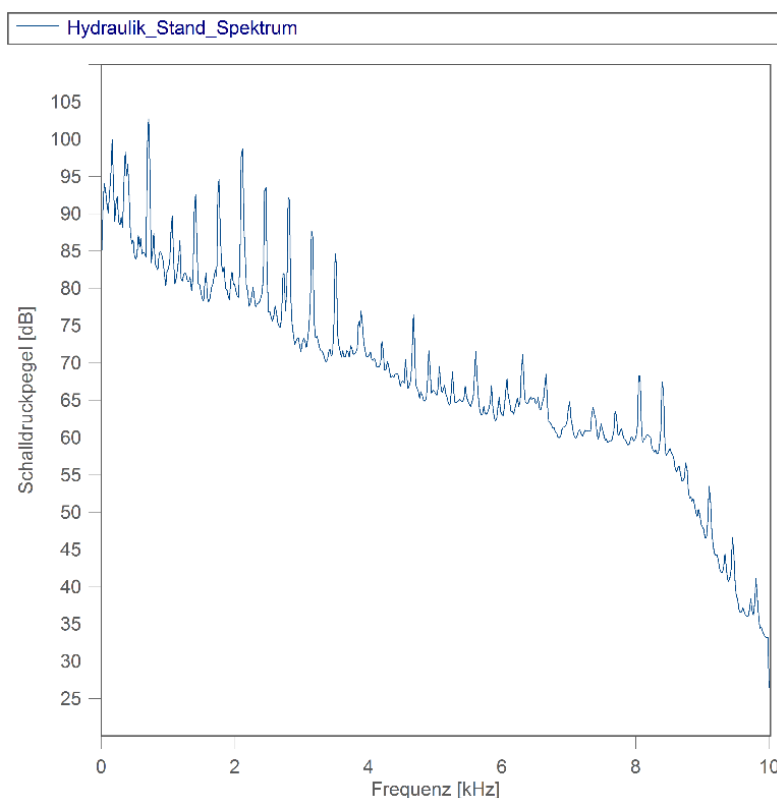


**Abbildung 3-42: Luftschallmessung des Hydrauliklüfters (links) der Stopfeinheit**

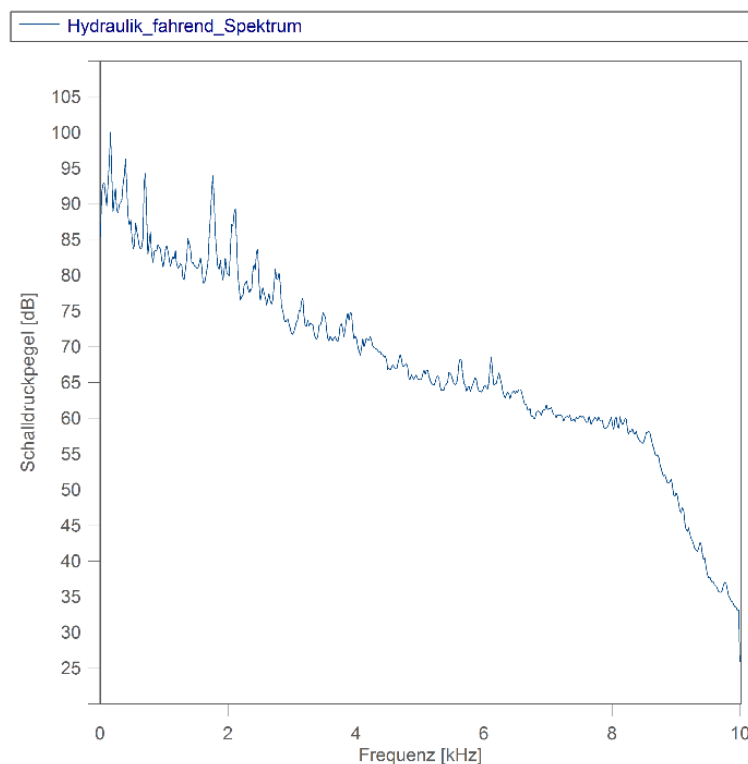
**Motor und Lüfter auf Vollast**

### 3.1.4 Messung der Hydraulik des Motors

Die Hydraulik des Motors ist freistehend im Innenraum der Gleisstopfmaschine und hinter dem eingehausten Motor eingebaut. Die Drehzahl bei Vollast beträgt 1600 U/min. Da die Hydraulik eine dominante Geräuschquelle darstellt, wurde die Schallabstrahlung einmal im Stand und einmal bei fahrender Maschine mit Hilfe eines Mikrofons aufgezeichnet. Das Mikrofon wurde an einer Stelle (bei 0,70 m Entfernung von der Mitte der Hydraulik und bei 0,70 m Höhe) platziert, an der bautechnisch genügend Raum für eine abschirmende Maßnahme zur Verfügung steht. Das Spektrum und das Spektrogramm der Messungen der Hydraulik bei stehender Maschine zeigen in den Abbildungen 3-43 und 3-45 eine Resonanzstelle bei 700 Hz und die vielfache dieser Frequenz. Beim Stand werden maximale Schalldruckpegel von 102 dB erreicht. Bei der Fahrt ist der maximale Schalldruckpegel 100dB. Die Resonanzstellen und deren Vielfache sind bei diesem Modus nicht mehr eindeutig erkennbar. Ein Pfeifton, der vor Ort deutlich hörbar war, ist am Spektrogramm bei 1700 Hz zu sehen (Siehe Abbildung 3-36). Die Quelle kann im Turbolader liegen, da die Maschine bei der Fahrt mehr Öl benötigt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Bereich zwischen 700 Hz – 4 kHz im Zentrum der schallmindernden Maßnahmen im Bereich der Hydraulik stehen sollte.



**Abbildung 3-43: Luftschallmessung der Hydraulik des Motors im Stand**



**Abbildung 3-44: Luftschallmessung der Hydraulik des Motors - fahrend**

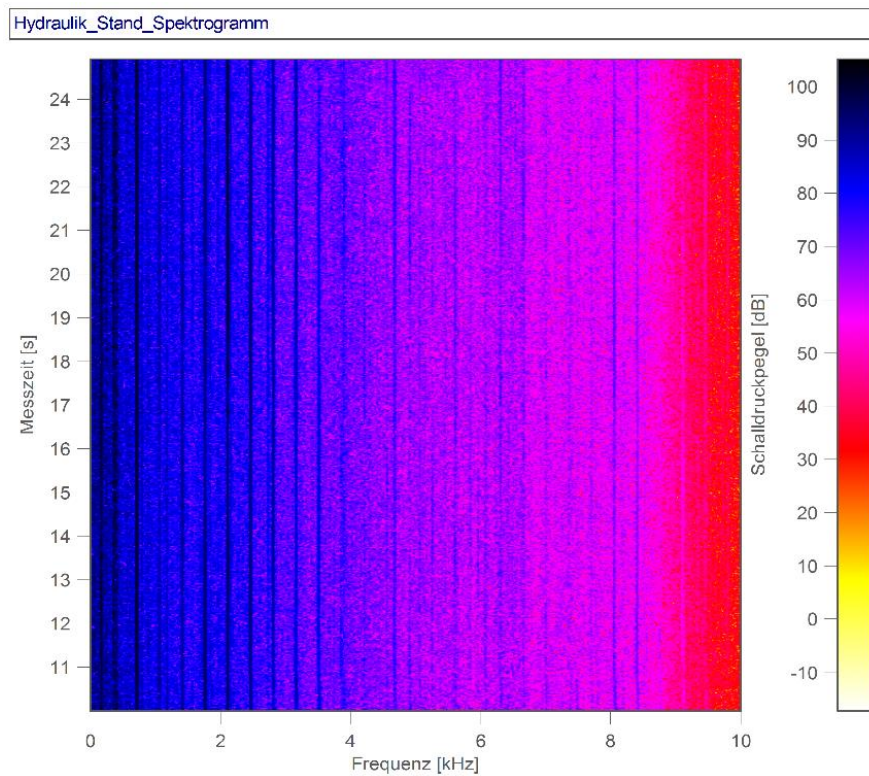


Abbildung 3-45: Luftschallmessung der Hydraulik des Motors im Stand - Spektrogramm

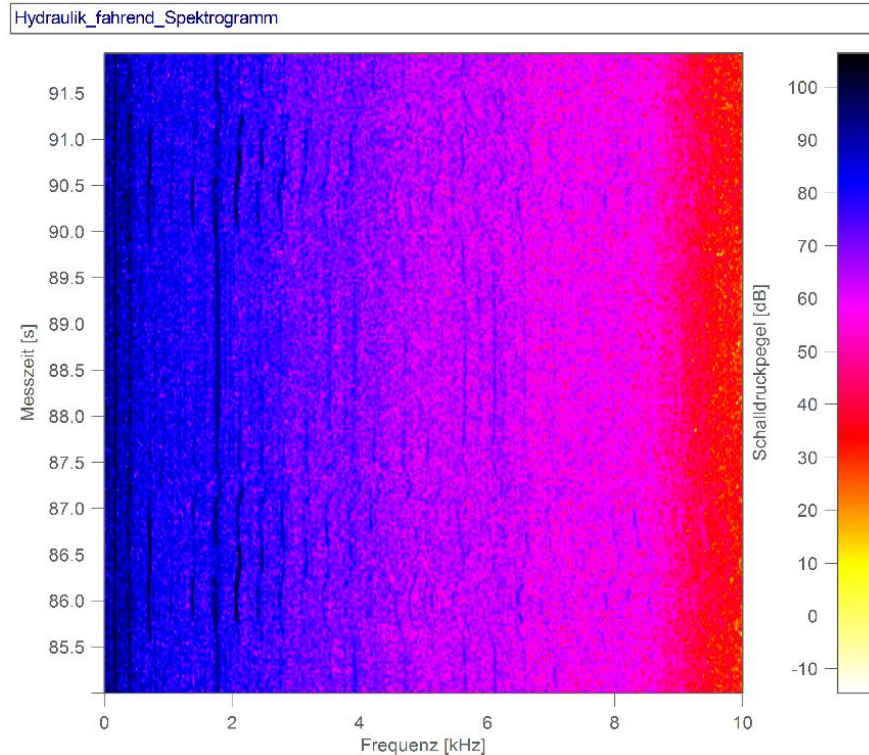


Abbildung 3-46: Luftschallmessung der Hydraulik des Motors - fahrend - Spektrogramm

## 3.2 Vibrationsmessungen

Bei der zweiten Messreihe wurden Vibrationsmessungen durchgeführt, um Körperschallquellen charakterisieren und orten zu können.

### 3.2.1 Messung der Stopfeinheit

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit dargestellt. Es wurden vier Beschleunigungssensoren verwendet und nach Abbildung 3-47 aufgebaut. Bei den Spektren wurde nur über die Stopfzeit gemittelt, weil sonst zu viele Informationen über die Bewegungen der Strukturen verloren gegangen wären. Die Spektrogramme stellen ein Stopfzyklus und die Zeit davor und danach dar. Hier ist leicht erkennbar, dass die Vibrationen während des Stopfvorgangs dominant sind. Den Spektren (Abbildungen 3-48 bis 3-51) ist vor allem zu entnehmen, dass Sensor 1, der genau am Antrieb des Stopfarmes platziert ist, die größten Amplituden aufweist. Hier ist bei 1140 Hz eine deutliche Resonanzstelle bei  $255 \text{ m/s}^2$  zu verzeichnen. Sensor 2 zeichnet mehrere Resonanzstellen auf, wobei hier 40 Hz ( $36 \text{ m/s}^2$ ) und 500 Hz ( $40 \text{ m/s}^2$ ) am dominantesten sind. Die von Sensor 3 aufgezeichneten Resonanzstellen liegen bei 1180 Hz ( $12 \text{ m/s}^2$ ), 2320 Hz ( $19,3 \text{ m/s}^2$ ), 2900 Hz ( $10,6 \text{ m/s}^2$ ) und bei 4800 Hz ( $9,7 \text{ m/s}^2$ ). Sensor 4 war an der Karosserie am Rahmen gekoppelt und zeichnet die größte Strukturbewegung bei 200 Hz ( $14 \text{ m/s}^2$ ) auf, wobei nach kleineren Resonanzen bei 700 Hz, 1000 Hz und 1200 Hz ab 2 kHz ein deutlicher Abfall folgt. Der Stopfantrieb im Stopfvorgang weist dieser Analyse nach die mit Abstand höchsten Amplituden auf. Es ist eine deutliche Frequenzverschiebung zwischen Sensor 2 und 3 zu verzeichnen. Die einzige Frequenz die dominant an die Karosserie weitergeleitet wird, beträgt 200 Hz.

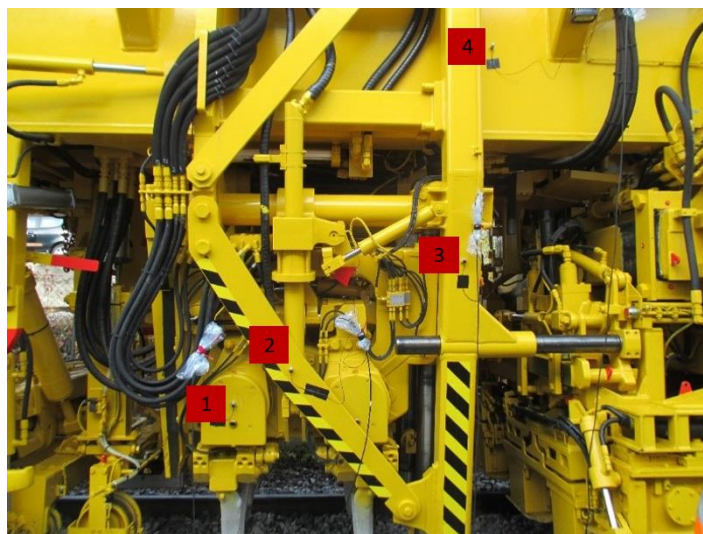
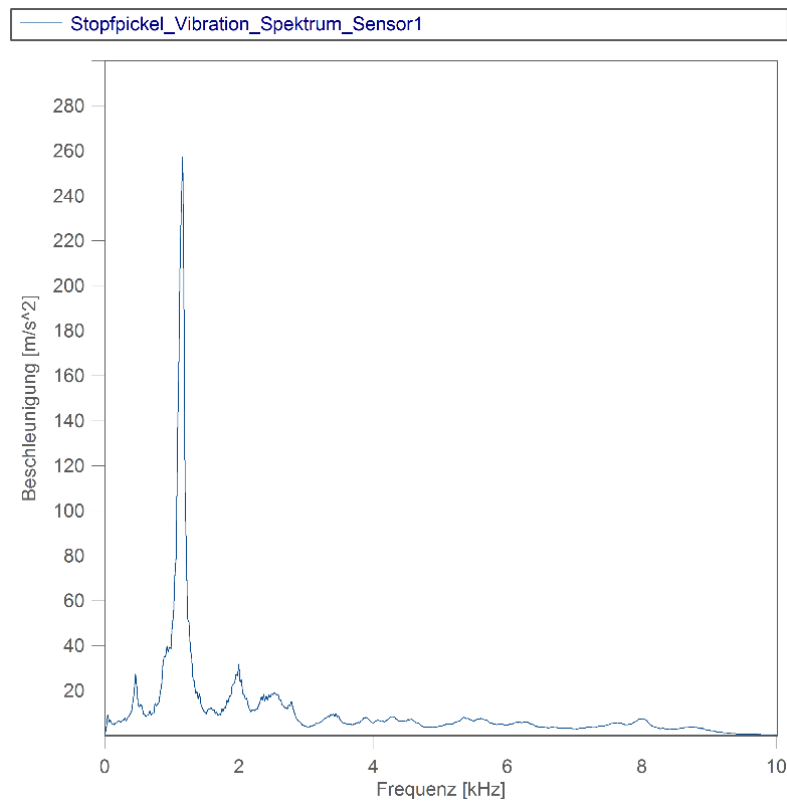
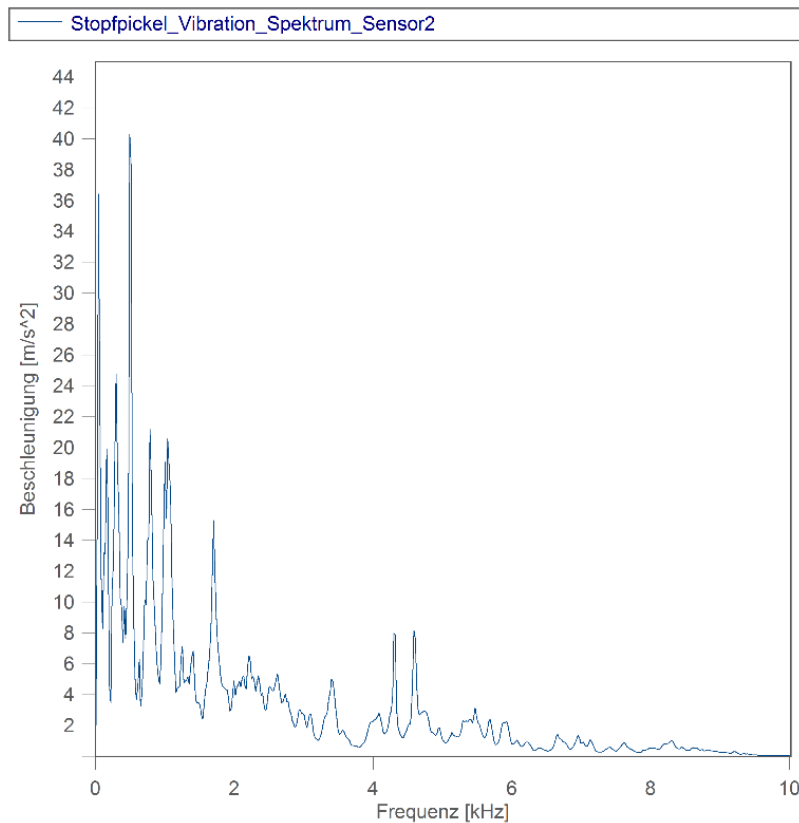
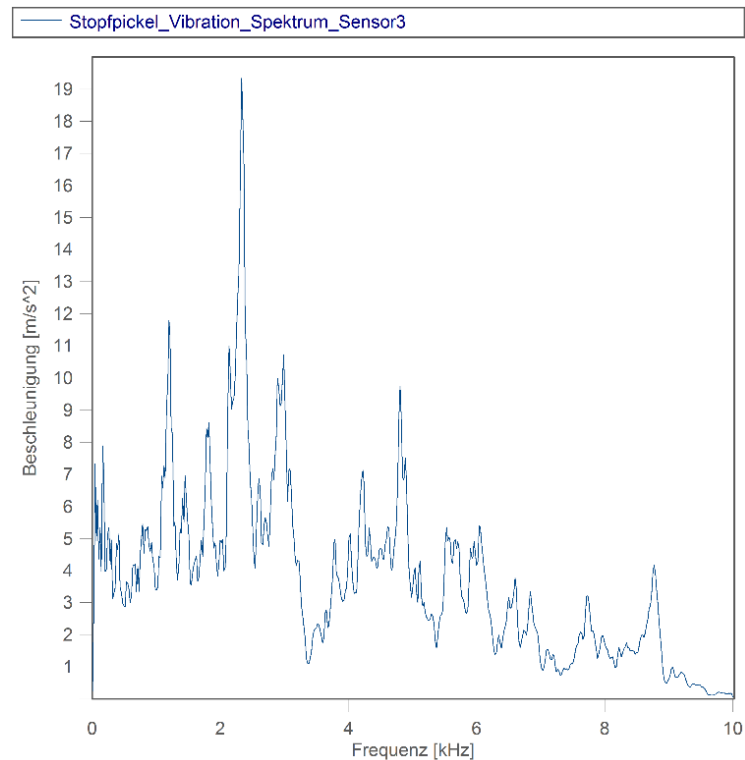


Abbildung 3-47: Messaufbau-Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit

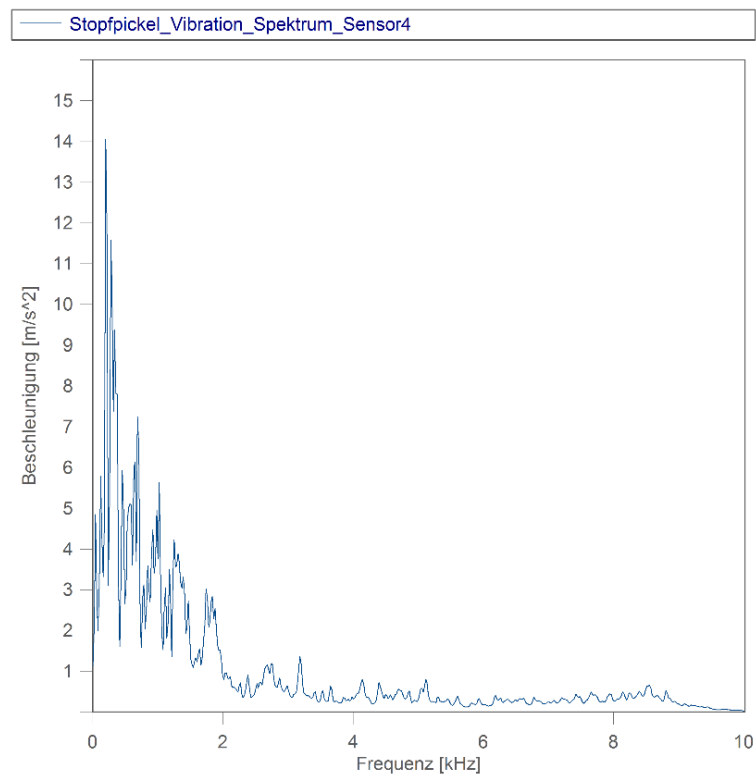


**Abbildung 3-48: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Sensor 1****Abbildung 3-49: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Sensor 2**

Messtechnische Identifizierung der Schall- und Vibrationsquellen und Ausarbeitung von prinzipiellen Minderungsvorschlägen für die Gleisstopfmaschinen B66U



**Abbildung 3-50: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Sensor 3**



**Abbildung 3-51: Vibrationsmessungen an der Karosserie – Sensor 4**



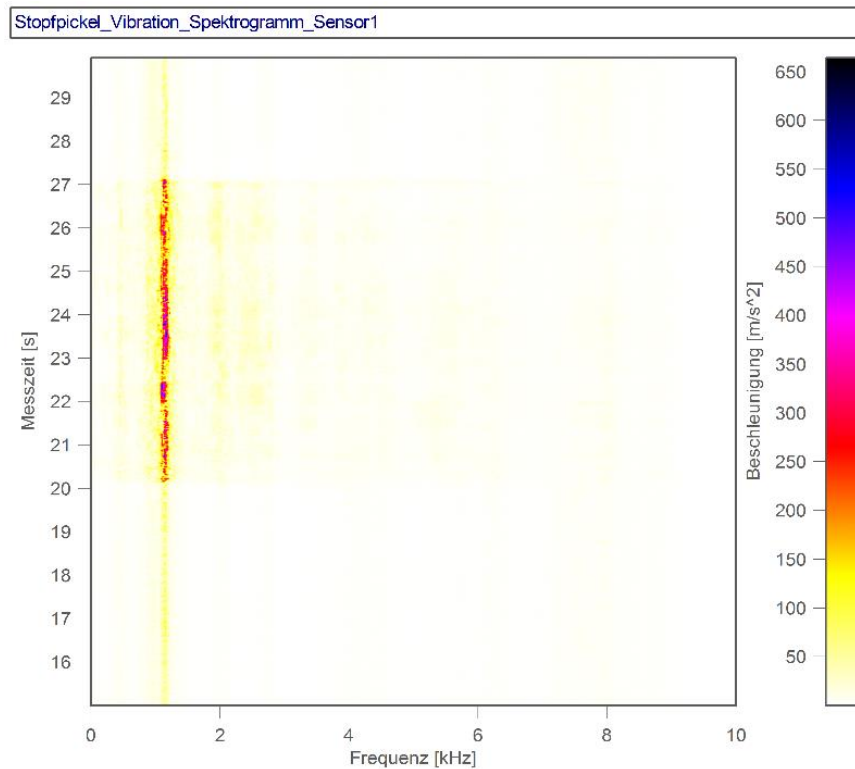


Abbildung 3-52: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Spektrogramm -Sensor 1

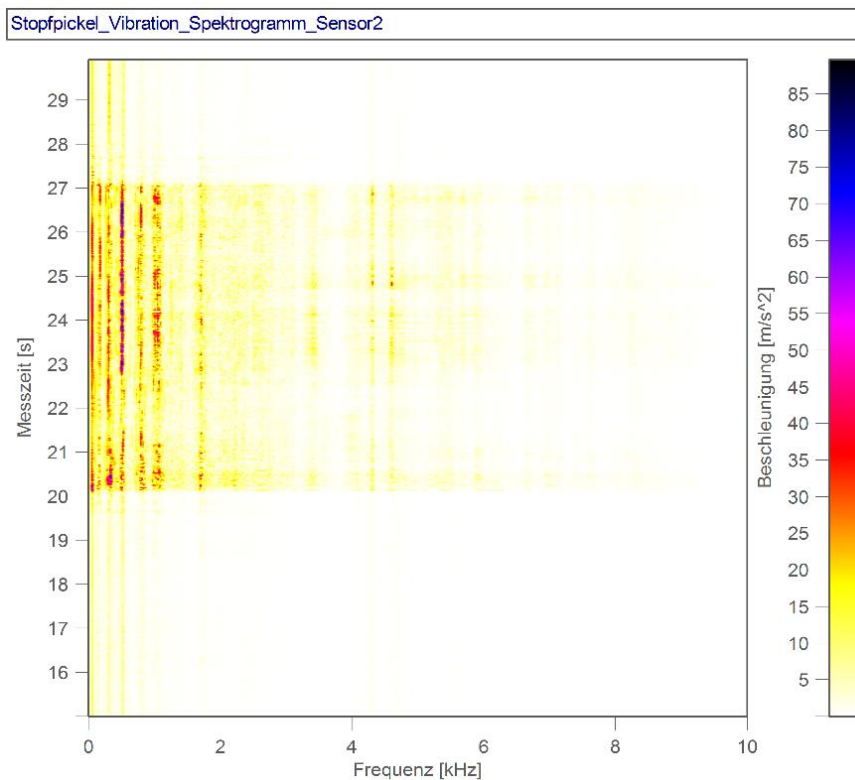


Abbildung 3-53: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Spektrogramm -Sensor 2

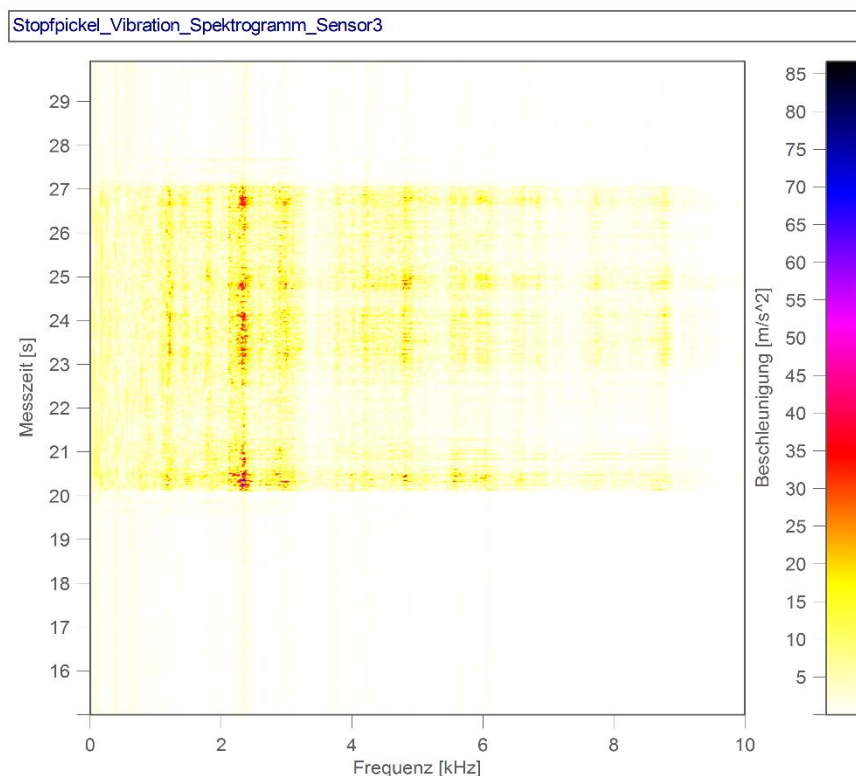


Abbildung 3-54: Vibrationsmessungen an der Stopfeinheit – Spektrogramm –Sensor 3

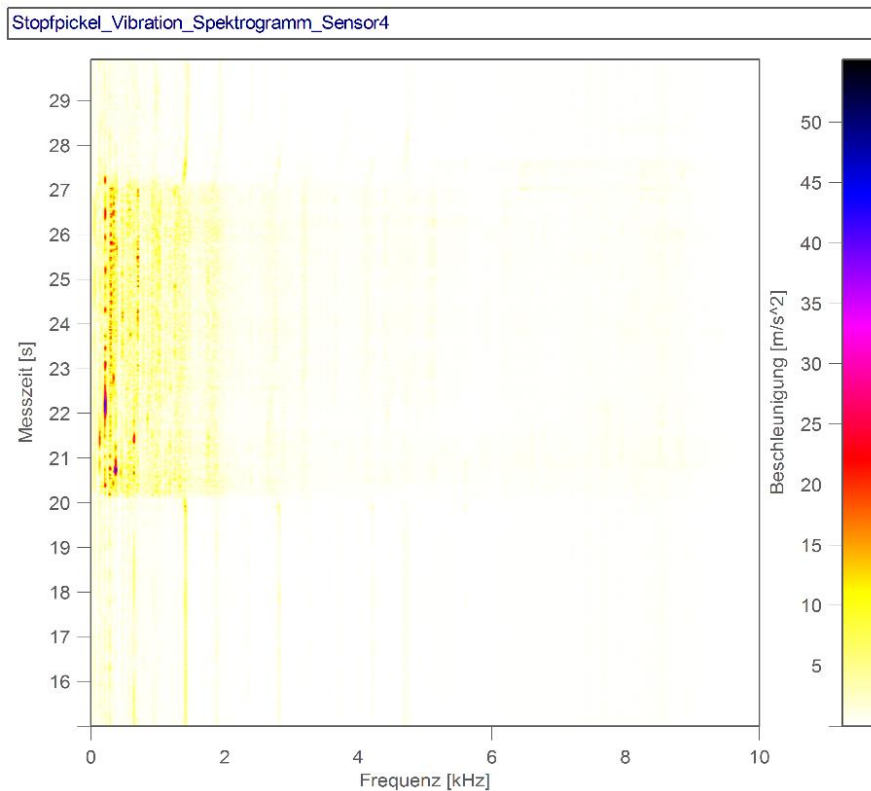


Abbildung 3-55: Vibrationsmessungen an der Karosserie – Spektrogramm -Sensor 4

### 3.2.2 Messung des Kopfverdichters

Der Messaufbau der Vibrationsmessungen am Kopfverdichter und an der Karosserie ist in Abbildung 3-56, die Analyse dieser Messungen während des Verdichtungsvorgangs in den Abbildungen 3-57 bis 3-60 zu sehen. Im Spektrum der Messung am Kopfverdichter sind Resonanzstellen bei 200 Hz ( $4,2 \text{ m/s}^2$ ), bei 400 Hz ( $5,2 \text{ m/s}^2$ ) und bei 1140 Hz ( $9,2 \text{ m/s}^2$ ) zu verzeichnen (Siehe Abbildung 3-57). Wobei die letztere Resonanzstelle auch am Spektrogramm dominant zu sehen ist (Siehe Abbildung 3-59). An der Karosserie liegt die Resonanzfrequenz bei 200 Hz ( $4,3 \text{ m/s}^2$ ). Diese Frequenz ist auch am Spektrogramm deutlich erkennbar (Siehe Abbildung 3-60). Bei den Messungen an der Karosserie sind kleinere Resonanzstellen um 8kHz erkennbar (Siehe Abbildung 3-58). Auch bei dieser Messreihe wurden die Spektren lediglich über die Zeit des Verdichtungsvorganges gemittelt. Abschließend kann festgestellt werden, dass am Kopfverdichter die dominante Resonanzfrequenz bei 1140 Hz liegt. Die Schwingungen der Resonanzfrequenz bei 200 Hz werden quasi vollständig an die Karosserie weitergeleitet.

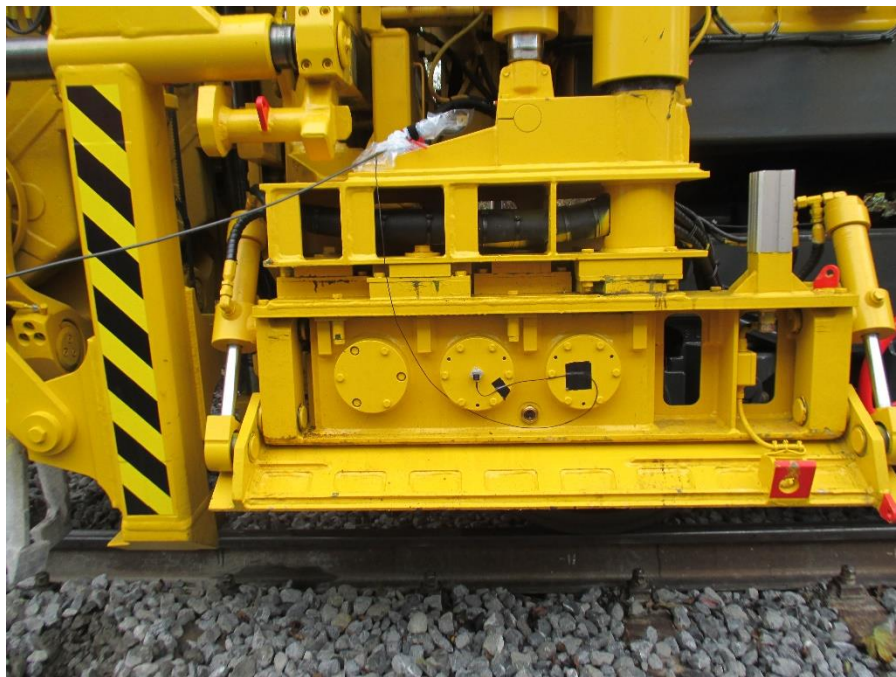
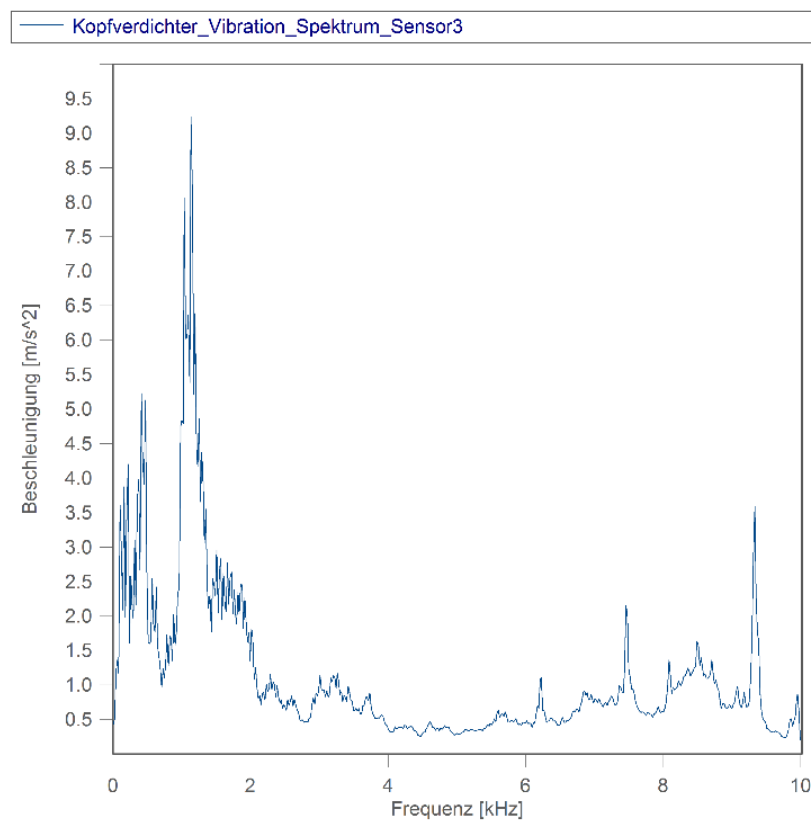
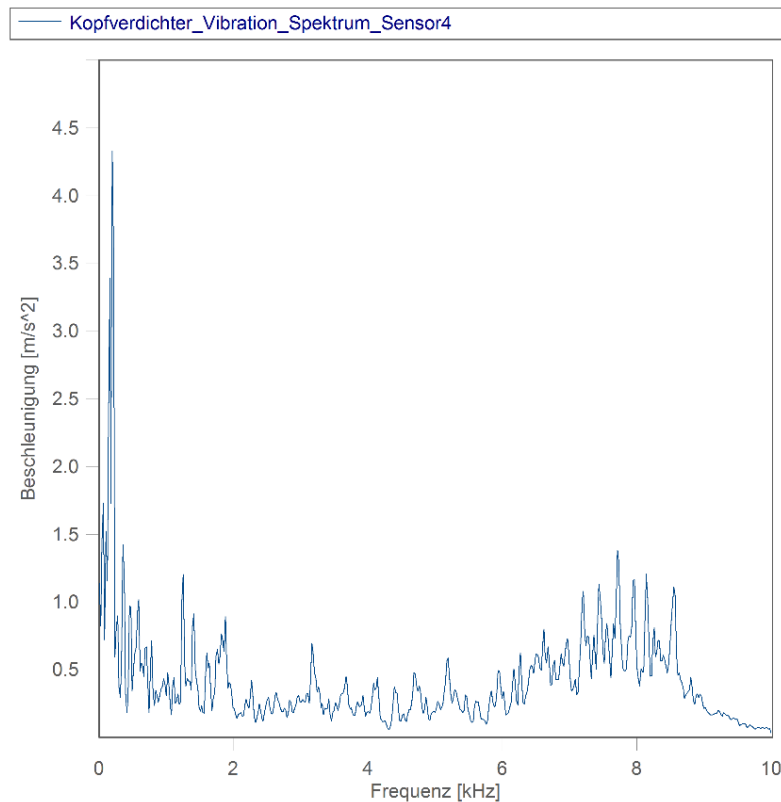


Abbildung 3-56: Messaufbau-Vibrationsmessungen am Kopfverdichter

**Abbildung 3-57: Vibrationsmessungen am Kopfverdichter****Abbildung 3-58: Vibrationsmessungen an der Karosserie**

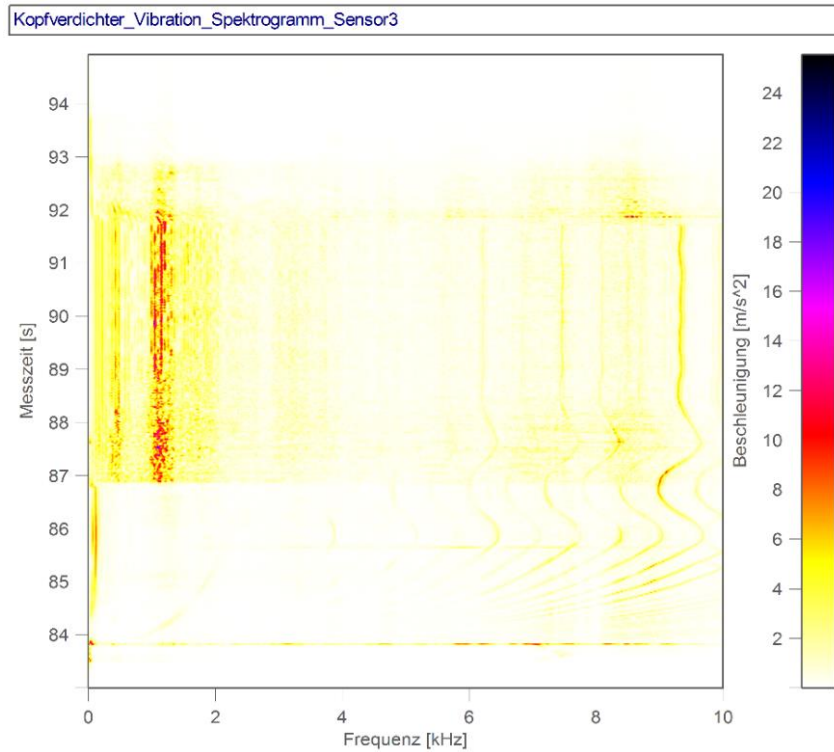


Abbildung 3-59: Vibrationsmessungen am Kopfverdichter - Spektrogramm

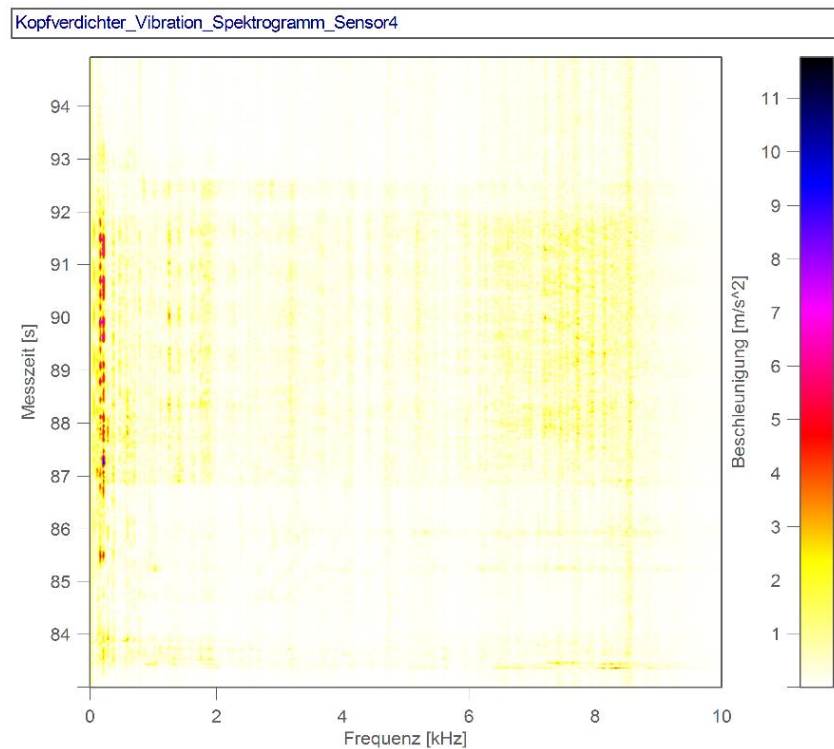


Abbildung 3-60: Vibrationsmessungen an der Karosserie - Spektrogramm



## 4 Prinzipielle Lärminderungsmaßnahmen

Die in den vorherigen Kapiteln dargestellten Messergebnisse zeigen sowohl starke Einzelquellen als auch eindeutige Körperschallübertragungen auf. Es sind diverse Maßnahmen anzuwenden, die quantitativ abzustimmen sind, damit eine deutliche Lärminderung zu geringen Kosten erreicht werden kann. Im vorliegenden Kapitel werden Ansätze zur Lärminderung an der untersuchten Gleisstopfmaschine herausgearbeitet. Diese sind als prinzipielle Lärminderungsmaßnahmen anzusehen. Eine detaillierte quantitative Konzipierung und Empfehlung zur Umsetzung dieser Maßnahmen ist das angestrebte Ziel in einem Folgeprojekt. Nach der Analyse der durchgeführten Messungen werden in diesem Bericht Grundideen zur Lärminderung an der Stopfeinheit (Innenraum und Stopfarme), an der Verdichtungseinheit, an den hydraulischen Lüfter und an der Hydraulik des Motors vorgestellt.

- Ansätze zur Lärminderung an der Stopfeinheit:

Bei den Messungen an den Stopfarmen konnte bei den Luftschallmessungen festgestellt werden, dass unterhalb von 2 kHz und insbesondere unterhalb von 1 kHz unabhängig vom Stopfmodus stets hohe Pegel (um 80 dB) zu verzeichnen sind. Eine deutliche Resonanz bei 400 Hz (bis zu 92 dB) war im Bereich der Hydraulikantriebe der Stopfarme messbar. Der Stopfvorgang selbst ist bzgl. der Schallabstrahlung ein breitbandiger Vorgang. Allerdings liegen die Schalldruckpegel beispielsweise ab 5 kHz bei ca. 60 dB.

Es erscheint damit von zentraler Bedeutung bzgl. des Luftschalls Maßnahmen zu erarbeiten, die stopfmodusunabhängig sind, im Bereich unterhalb von 1 kHz (und insbesondere bei 400 Hz) liegen und die den Hydraulikantrieb als Hauptquelle für die Schallabstrahlung ansehen. Die Vibrationsmessung an vier Punkten der Stopfeinheit zeigte, dass der Hydraulikantrieb der Stopfarme die mit Abstand höchsten Amplituden aufweist. Hier ist eine Amplitude der Beschleunigung bei  $255 \text{ m/s}^2$  und bei 1140 Hz zu verzeichnen. Die Resonanzfrequenz an der Struktur beträgt 200 Hz.

Da eine komplette Einhausung der Stopfeinheit nach Möglichkeit vermieden werden soll, um die Zugänglichkeit und Beobachtbarkeit nicht zu sehr einzuschränken, ist vor allem die Körperschallleitung und die Abstrahlung durch große Flächen stark zu vermindern. Mit den Maschinenkonstrukteuren ist die Anwendung von akustisch günstigeren Konstruktionselementen wie Gleitlager und schrägverzahnter Zahnräder fallweise abzuklären. Auch die Drehzahlregelung der Stopfarme sollte zu einer akustischen Optimierung beitragen. Würden die Stopfarme, wenn sie nicht im Schotter stopfen, bei einer niedrigeren Frequenz vibrieren, wäre die Luftschallabstrahlung geringer. Durch den Einsatz von Schwingungsisolatoren und Impedanzsprüngen durch Sperrmassen

bei den verschiedenen Bauteilen innerhalb der Stopfeinheit sind die Körperschallpfade zu unterbrechen. Auch die Entkopplung der Stopfeinheit von der Karosserie erscheint eine wichtige Maßnahme, um eine Körperschallbrücke zu vermeiden. Weiterhin müssen Maßnahmen zur Entdröhnung von einzelnen Bauteilen und Strukturen herausgearbeitet werden. Ansätze zur Lärmminde- rung am Kopfverdichter:

Es konnte gezeigt werden, dass die Schallabstrahlung der Verdichter besonders im Bereich von 50 Hz und 800 Hz sowie im Frequenzband zwischen 7 kHz und 9 kHz am höchsten ist. Diese Frequenzen stimmen mit der Resonanzfrequenz der Vibrationsmessung, am Kopfverdichter, die 1140 Hz beträgt, nicht überein. Die Schwingungen bei 200 Hz werden vollständig an die Karosserie weitergeleitet. An dieser Stelle kann eine Abschirmmaßnahme in Betracht gezogen werden, die die Frequenzen unterhalb von 800 Hz in der Abstrahlung hindert. Die Emission zwischen 7 kHz und 9 kHz lag an einem nicht optimal gedrehten Zylinder. Diese Tatsache konnte vor Ort festgestellt werden. Die Behebung dieser Problemstelle ist konstruktiv unkompliziert. Wichtig erscheint, die Ausarbeitung von Methoden zur Entdröhnung des Kopfverdichters bei 1140 Hz und der Karosserie bei 200 Hz.

- Ansätze zur Lärmminde- rung im Innenraum im Bereich der Stopfeinheit:

Zusätzliche Schallemissionen können durch Reflexion der eintreffenden Schallwellen an Begren- zungsflächen entstehen. Die Stärke dieses Vorganges ist proportional zur Nachhallcharakteristik innerhalb der Begrenzungsflächen.

Die Analyse der Messung der Nachhallcharakteristik zeigt die Notwendigkeit der Absorption von eintreffenden Schallwellen im Bereich der Stopfeinheit im Innenraum der Gleisstopfmaschine. Die Absorber müssen vor allem für Frequenzen unterhalb von 500 Hz entworfen werden.

- Ansätze zur Lärmminde- rung an den Hydrauliklüftern im Bereich der Stopfeinheit:

Es konnte gezeigt werden, dass die Hydrauliklüfter im Bereich der Stopfeinheit bei Volllast zu einem hohen Grade zwischen 20 Hz und 230 Hz zur Lärmemission beitragen. Es wurden Schall- druckpegel von bis zu 109 dB aufgezeichnet. Prinzipiell sollte der Einsatz von einer akustisch optimierten Schaufel sowie akustisch optimierte Gitter ein erster Schritt zur Lärmminde- rung sein. Allenfalls können auch etwas größere Kühler mit kleineren Lüfterdrehzahlen eingesetzt werden.

- Ansätze zur Lärmminde- rung an der Hydraulik des Motors:

Im Bereich der Hydraulik des Motors können schallabschirmende Maßnahmen eingebaut wer- den. Diese sollten als Schalldämpfer konzipiert werden, die aufgrund der vorliegenden Analyse besonders in den Bereichen zwischen 700 Hz und 4 kHz angepasst werden müssen.

## 5 Ausblick

In diesem Kapitel werden die lärm mindernden Maßnahmen in den Fokus gesetzt, die für die Gleisstopfmaschine B66U grundsätzlich in Frage kommen. Einige im Kapitel 4 erwähnten Punkte sind zwar allgemein umsetzbar, aber für die konstruktiv fortgeschrittene Gleisstopfmaschine B66U von keiner praktischen Relevanz. Die bestehende Konstruktion sieht in Zukunft keine Modifizierung im Bereich des Hydraulikantriebs der Stopfarme vor. Würde der Antrieb Drehzahl geregelt werden, würde der Stopfvorgang nicht mit der vorhandenen Effektivität durchgeführt werden können. Die Gleisstopfmaschine B66U verfügt bereits über Silent-Blocks, die als Dämpfungselemente zwischen den Bauteilen in der Stopfeinheit eingebaut sind. Diese sind zu überprüfen, resp. zu optimieren. Die Stopfeinheit ist von der Karosserie entkoppelt. Die Strukturen sind für eine bessere Dämpfung mit einem besonderen Anstrich behandelt. Der vorliegende Bericht zeigt, dass trotz der genannten Maßnahmen neue Ansätze erforderlich sind, um die Vibrationen bei 1140Hz am Hydraulikantrieb der Stopfarme und die Schwingungen bei 200 Hz an der Karosserie zu dämpfen. Für eine komplette oder partielle Abschirmung der Stopfeinheit ist der Bereich unterhalb von 1kHz und insbesondere die Schallabstrahlung bei 400Hz in den Fokus zu setzen. Herkömmliche Abschirmungsmaßnahmen sind an dieser Stelle nicht ohne weiteres einsetzbar. Es bedarf einer spezifischen Konstruktion, die den Mechanismus der Stopfarme im Betrieb nicht behindert und das Lichtraumprofil nicht verletzt. Ein möglicher Ansatz könnte eine robuste mobile Konstruktion sein, die auf zusätzlichen Armen an der Gleisstopfmaschine aufgebaut wird und mitfährt.

Bei den Messungen am Kopfverdichter war die sonst vorhandene Drehzahlregelung aus technischen Gründen nicht möglich. Hier wurde auf der höchsten Stufe mit 3000 U/min gemessen. Dieser Modus ist zwar akustisch als worst case anzusehen, aber es darf nicht außer Acht gelassen werden, dass eine Drehzahlregelung wahrscheinlich niedrigere Amplituden verursacht, aber auch eine Frequenzverschiebung herbeiführt. Die herausgearbeiteten Bereiche zur Ausarbeitung von Methoden zur Entdröhnung am Kopfverdichter bei 1140Hz und an der Karosserie bei 200Hz, sowie Möglichkeiten der Abschirmung unterhalb von 800Hz sind daher gekoppelt an den nicht geregelten Modus zu betrachten.

Die Analyse der Nachhallcharakteristik hat gezeigt, dass der Einbau von Absorbermaterial im Bereich der Stopfeinheit im Innenraum der Gleisstopfmaschine notwendig ist. Die Konstruktion von Absorbern, die nicht entflammbar sind und die Frequenzen unterhalb von 500Hz in den Fokus setzen, ist eine raumakustische Aufgabe. Bei der Gleisstopfmaschine B66U darf der Parameter der Achslast nicht außer Acht gelassen werden. Somit ist die Notwendigkeit einer Konstruktion vorhanden, die besonders leicht ist. Zusätzlich sollte in einem weiteren Schritt mit Hilfe von Simulationen evaluiert werden, welche Stellen im Innenraum für die ersten Reflexionen zuständig sind. Messtechnische Identifizierung der Schall- und Vibrationsquellen und Ausarbeitung von prinzipiellen Minderungsvorschlägen für die Gleisstopfmaschinen B66U

sind. Damit kann die Auslegung von Absorbermaterialien an diesen bestimmten Stellen die Effektivität der Absorption erhöhen ohne den gesamten Innenraum verkleiden zu müssen, eine Methode die das Gesamtgewicht der Maschine erhöhen würde.

Der Hydrauliklüfter ist mit seinem eingebauten Wärmetauscher eine spezielle Konstruktion. Im Bereich der Hydrauliklüfter muss genauer analysiert werden, ob herkömmliche Gitter und Schaufeln, die akustisch optimiert sind, auch den Wärmeaustausch gewährleisten können. Da bisherige Versuche in diesem Bereich wenig erfolgreich waren, ist die Notwendigkeit einer besonderen Konstruktion gegeben.

Im Bereich der Hydraulik des Motors der Gleisstopfmaschine B66U ist eine besondere Herausforderung, Schalldämpfer zu entwickeln, die den Wärmeaustausch genügend gewährleisten. Zusätzlich müssen die konstruierten Schalldämpfer (z.B. als Kulissenschalldämpfer), die Möglichkeit der Wartung der Bauteile bieten. An dieser Stelle können Kulissenschalldämpfer entworfen werden, die nicht entflammbar sind, genügend Wärmeaustausch bieten und als einzelne Elemente aufgebaut sind, die zum Teil verschiebbar sein müssen.

Die herausgearbeiteten Ansätze zur Lärminderung bilden eine fundierte Basis, auf deren Grundlage in einem weiteren Projekt konkrete Maßnahmen konzipiert, umgesetzt und iterativ optimiert werden müssen.

Berlin, den 07.Dezember 2016



Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht



M.Sc. Yasmin Baumgärtel

## 6 Anlage

### I Technische Daten der Gleisstopfmaschine B66U

#### Vergleichstabell Universal-Stopfmaschinen



Grundausstattung	B 41 UE	B 45 UE	B 66 U	B 66 UC
Doppel-Dreigeschleichen	•	•	•	•
CATERPILLAR® Motor	•	•	•	•
Hydrostatischer Fahrantrieb	•	•	•	•
Hydraulikkreislauf für die Arbeitswerkzeuge	•	•	•	•
UTC Pneumatische- und Bremsensystem	•	•	•	•
2 klimatisierte Arbeits- und Fahrkabinen	•	•	•	•
3 klimatisierte Arbeits- und Fahrkabinen	•	•	•	•
Kombinierte Stopfeinheiten Typ C	•	•	•	•
Kombinierte Zange Typ C	•	•	•	•
Synchronisierte 3-Strang-Hebvorrichtung	•	•	•	•
Optisches 3-Punkte-Messsystem NEMO	•	•	•	•
Führungsschere CAT	•	•	•	•
Automatische Positionierung der Stopfeinheiten	•	•	•	•
Fahrbefeuchtung	•	•	•	•
Arbeitsbeleuchtung	•	•	•	•
Brandmeldesystem mit Überwachung des Motorraums	•	•	•	•
Elektronische Ausweichbegrenzung	•	•	•	•
<b>Zusatzausstattung</b>	<b>B 41 UE</b>	<b>B 45 UE</b>	<b>B 66 U</b>	<b>B 66 UC</b>
Einachsiger Anhänger	•	•	•	•
Zweachsiger Anhänger	•	•	•	•
Anhänger mit 1 Dreigeschle	•	•	•	•
Zusätzliche Antriebsachse	•	•	•	•
Hilfsaggregat 230/400 V AC	•	•	•	•
Partikelreiter	•	•	•	•
Klimatisierte Fahrkabine auf dem Anhänger	•	•	•	•
Werkstatt auf dem Anhänger	•	•	•	•
Weichen- oder Streckenbürste	•	•	•	•
Synchronisierte 3-Strang-Hebvorrichtung	•	•	•	•
Vorkopfverdrichter	•	•	•	•
Schotterpflüge	•	•	•	•
Staubentwässerungsanlage	•	•	•	•
Laser zur Regulierung der Hebelhöhe des abgehenden Strangs	•	•	•	•
Optische oder Laser-Abtastur-Messbasis	•	•	•	•
Aufzeichnungsgerät für Gleisgeometrie	•	•	•	•
Feuerlöschvorrichtung	•	•	•	•
Hydroelektrische Notaufpackvorrichtung	•	•	•	•

14

15

MAATISA Matériel Industriel S.A.

Technische Daten	B 41 UE	B 45 UE	B 66 U	B 66 UC
Leichtbauprofil	UTC 505-1 / W6A	UTC 505-1 / W6A	UTC 505-1	UTC 505-1 / W6A
Spurweite	1.000-1.676 mm	1.000-1.676 mm	1.435-1.676 mm	1.435-1.676 mm
Minimaler Arbeitradius	150 m	150 m	150 m	150 m
Minimaler Radius bei Eigenaktion	90 m	90 m	90 m	90 m
Minimaler Radius im Zugverband	150 m	150 m	150 m	150 m
Geschwindigkeit bei Eigenaktion	100 km/h	100 km/h	100 km/h	100 km/h
Geschwindigkeit im Zugverband	100 km/h	100 km/h	100 km/h	100 km/h
Drehzapfenabstand	14.000 mm	11.500 mm	14.000 mm	15.500 mm
Motorleistung	563 kW	403 kW	563 kW	563 kW
Antriebsachsen in Eigenaktion	2	2	2	2
Antriebsachsen im Arbeitsmodus	2	2	2	4
Tankvolumen in Grundausstattung	2.000 l	1.200 l	2.000 l	2.000 l
Anzahl Stopfpickel	16	16	16	16
Vibrationsfrequenz der Stopfpickel	42 Hz	42 Hz	42 Hz	42 Hz
Seitlicher Verfahrweg der Stopfeinheiten <sup>u)</sup>	1.800 mm	1.800 mm	2.800 mm	2.800 mm <sup>u)</sup>
Längsverfahrweg der inneren Stopfeinheiten	—	—	560 mm	560 mm
Längsverfahrweg der äußeren Stopfeinheiten	200 mm	200 mm	560 mm	560 mm
Max. Hebeweg	150 mm	150 mm	150 mm	150 mm
Max. Richweg	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm
Hebekraft	2 x 125 kN	2 x 125 kN	2 x 125 kN	2 x 125 kN
Richtkraft	125 kN	125 kN	125 kN	125 kN
Längsverfahrweg der kombinierten Zange	760 mm	760 mm	760 mm	760 mm
Seitlicher Verfahrweg Dichtung - kombinierte Zange	± 180 mm	—	± 180 mm	± 180 mm
Hebekraft der integrierten, synchronen 3-Strang-Hebung	—	—	120 kN	120 kN
Reichweite der integrierten, synchronen 3-Strang-Hebung <sup>v)</sup>	—	—	3.320 mm	3.320 mm <sup>v)</sup>
Arbeitsleistung bei Streckenstopf mit 1 Entschauung <sup>q)</sup>	680 m/h	650 m/h	680 m/h	950 m/h
Bearbeitungszeit einer einfachen Weiche <sup>q)</sup>	22-28 min	40 min	20-25 min	20-25 min

<sup>u)</sup> Gegenüber Gleismitte  
<sup>v)</sup> 1.900 mm für Maschinen mit Begrenzungslinie W6A  
<sup>q)</sup> 2.133 mm für Maschinen mit Begrenzungslinie W6A  
<sup>q)</sup> Abhängig von Baustelleneigenschaften und eingestellten Maschinenparametern



## II Sensorenverzeichnis

TU Berlin - Kanalbelegung - MATISA - final - 16.11.2016						
Sensor	SN:	Empfindlichkeit	Signalname	Messbereich	Cronos - Nexus	Abtastrate
MK250 + MV210	1076	48,1 mV/Pa	Mik1	1V/V	TUB4_01 - N1-1	20 kHz
MK250 + MV210	1077	41,2 mV/Pa	Mik2	1V/V	TUB4_02 - N1-2	20 kHz
MK250 + MV210	1078	44,7 mV/Pa	Mik3	1V/V	TUB4_03 - N1-3	20 kHz
MK250 + MV210	1079	43,2 mV/Pa	Mik4	1V/V	TUB4_04 - N1-4	20 kHz
MK250 + MV210	1082	50,9 mV/Pa	Mik5	1V/V	TUB4_05 - N2-1	20 kHz
MK250 + MV210	1083	41,2 mV/Pa	Mik6	1V/V	TUB4_06 - N2-2	20 kHz
MK250 + MV210	1084	49,6 mV/Pa	Mik7	1V/V	TUB4_07 - N2-3	20 kHz
MK250 + MV210	1086	46,4 mV/Pa	Mik8	1V/V	TUB4_08 - N2-4	20 kHz
B&K 4503	1948135	0,967 mV/ms <sup>-2</sup>	K09_a1	100 ms <sup>-2</sup>	TUB4_09 - N3-1	20 kHz
B&K 4503	1948137	0,960 mV/ms <sup>-2</sup>	K10_a2	100 ms <sup>-2</sup>	TUB4_10 - N3-2	20 kHz
B&K 4503	1948138	0,946 mV/ms <sup>-2</sup>	K11_a3	100 ms <sup>-2</sup>	TUB4_11 - N3-3	20 kHz
B&K 4503	1948139	0,918 mV/ms <sup>-2</sup>	K12_a4	100 ms <sup>-2</sup>	TUB4_12 - N3-4	20 kHz

### III Die Messumgebung

