

**Untersuchungen zur Wirkung von Unwucht
auf die Schallemission von Tragrollen**

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus–Senftenberg
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Dr.-Ing.

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

M. Eng.

Thomas Rieder

geboren am 29.09.1981 in Frankfurt/Oder

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. Johannes Ganster

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Ralph Schacht

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Sylvio Simon

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Sebastian Zug

Tag der mündlichen Prüfung: 24.03.2022

DOI:10.26127/BTUOpen-6142

Danksagung

Ich möchte mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken. Sie haben mir die Kraft und den Ansporn verliehen, diese Dissertation bis zu ihrer Vollendung zu bringen.

Des Weiteren möchte ich meinen betrieblichen Ansprechpartnern Herrn A. Uhlig, Herrn Dr.-Ing. D. Täschner und Herrn L. Sternitzke für ihre Unterstützung danken. Sie stellten mir ihr umfangreiches Wissen zur Verfügung und teilten ihre Erfahrungen mit mir.

Mein Dank gilt meinem Betreuer Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. S. Simon sowie Prof. Dr.-Ing. R. Schacht von der BTU Cottbus-Senftenberg. Im Rahmen von Präsentationen und zahlreichen Gesprächen konnten wir Erkenntnisse und Ergebnisse intensiv diskutieren. Das ermöglichte mir eine fundierte Bearbeitung der Thematik.

Ein besonderer Dank ist gerichtet an Herrn Prof. Dr.-Ing. P. Biegel, der mir immer wieder angeraten hat, noch einen Schritt weiter zu gehen und die gegebenen Möglichkeiten jetzt zu nutzen, um mich weiter zu entwickeln.

Allen weiteren Kollegen und Mitarbeitern der BTU Cottbus-Senftenberg und Lausitz Energie Bergbau AG, welche ich nicht alle aufzuzählen vermag, sei ebenfalls gedankt für ihre Unterstützung und Hilfe.

Herzlich bedanken möchte ich mich für die Korrekturen bei A. Kerkin, M. Rietschel, U. Krüger und R. Papke.

Diese Arbeit widme ich meinen Eltern.

Thomas Rieder

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
1 Einleitung.....	7
1.1 Intension.....	7
1.2 Arbeitshypothese und Ziele.....	8
2 Stand der Technik	9
3 Theoretische Grundlagen.....	12
3.1 Die Unwucht und Unwuchtarten.....	12
3.2 Die Akustik am Tragrollenprüfstand und die Bestimmung des Schalleistungspegels von Tragrollen.....	14
3.3 Anregungen durch Kreisformabweichung, Unwucht und Exzentrizität bei Tragrollen zur Schallabstrahlung	16
3.3.1 Statische Unwucht und Exzentrizität.....	17
3.3.2 Dynamische Unwucht und Exzentrizität.....	18
3.3.3 Modell Kreisformabweichungen als Anregung zur Schallabstrahlung von Tragrollen.....	20
3.3.4 Modell Exzentrizität als Anregung zur Schallabstrahlung von Tragrollen.....	21
3.3.5 Modell Unwucht als Anregung zur Schallabstrahlung von Tragrollen.....	23
4 Experimentelles Design, Methodiken und Durchführungen	27
4.1 Labor Tragrollenprüfstand.....	27
4.1.1 Der Tragrollenprüfstand	27
4.1.2 Der Unwuchtprüfstand.....	31
4.1.3 Der Versuchsgurttörderer.....	32
4.1.4 Die Tragrolle.....	33
4.1.5 Der Anschlagversuch an Tragrollen	37
4.1.6 Zusammenfassung.....	40
4.2 Untersuchungen Unwucht und Schallemission von lärmgeminderten Tragrollen am Tragrollenprüfstand	41
4.2.1 Wirkung von Unwucht auf die Schallemission einer Tragrolle.....	42
4.2.2 Prüftragrolle.....	42
4.2.3 Untersuchungsablauf	44
4.2.4 Untersuchungsergebnis	46
4.2.5 Untersuchungsergebnis und weitere Vorgehensweise	47
4.3 Anbackungen - Untersuchungen zur Wirkung der Unwucht auf die Schallemission von Tragrollen.....	48
4.3.1 Untersuchung mit anbackungsbehafteten Tragrollen.....	50
4.3.2 Untersuchungsergebnisse.....	51
4.3.3 Schlussfolgerung.....	52

4.3.4	Untersuchung zur Wirkung von Anbackungen und Unwucht auf die Schallemission einer Tragrolle	53
4.3.5	Prüftragrolle.....	55
4.3.6	Untersuchungsablauf	57
4.3.7	Untersuchungsergebnis	59
4.4	Untersuchungen von lärmgeminderten, nicht gewuchteten Tragrollen verschiedener Hersteller	62
4.4.1	Hersteller A A219x1050/600/1050-6312-G2-21-L	63
4.4.2	Hersteller B A219x1050/600/1050-6312-G2-21-L	71
4.4.3	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse von überdreht und nicht gewuchteten Tragrollen verschiedener Hersteller.....	78
4.5	Untersuchungen der Wirkung von Unwucht an Tragrollen am Versuchsgurtförderer	81
4.5.1	Lärmmessung am Versuchsgurtförderer ohne Unwucht, mit statischer – und dynamischer Unwucht an Tragrollen.....	82
4.5.2	Ergebnisse der Untersuchung am Versuchsgurtförderer	83
4.5.3	Ausblick auf nachfolgende Experimente am Versuchsgurtförderer	85
4.5.4	Vorschlag eines Experimentes im Feldversuch.....	86
4.6	Langzeituntersuchung an einer Gurtförderanlage im Feldversuch..	88
4.6.1	Tragrollenausfälle Feldversuch „überdreht, nicht gewuchtet“	90
4.6.2	Neuer Tragrollentyp „Lärmgemindert ohne Wuchten“	93
4.6.3	Zusammenfassung der Untersuchungen der Wirkung von Unwucht an Tragrollen am Gurtförderer.....	95
4.7	Anregungsreaktion einer Tragrolle	97
4.8	Untersuchung zum Einfluss einer Innendämpfung bei Tragrollen.	102
4.8.1	Erweiterter Anschlagversuch.....	102
4.8.2	Abklingverhalten von Tragrollen Typ A219x1050/600/1050-G2-21	105
4.8.3	Untersuchung zur Wirkung von Innendämpfung auf den Schalleistungspegel von Tragrollen.....	111
4.8.4	Zusammenfassung der Untersuchung zur Innendämpfung bei Tragrollen	116
5	Ergebnisse, Diskussion und Empfehlungen	117
5.1	Die Ergebnisse der Untersuchungen	117
5.2	Ergebnisdiskussion	123
5.3	Ableitung von Empfehlungen	126
6	Zusammenfassung und Ausblick	128
	Literaturverzeichnis	I
	Abbildungsverzeichnis	VI
	Formelzeichen	XIII

Abkürzungsverzeichnis	XV
Anhang.....	XVI

1 Einleitung

Die Lausitz Energie Bergbau AG (LE-B) hat in Zusammenarbeit mit der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg (ehemals Vattenfall Europe Mining AG und Hochschule Lausitz) und anderen Partnern einen Tragrollenprüfstand entwickelt. Dieser kann einzelne Tragrollen eines Hochleistungsgurtt Förderers hinsichtlich ihrer mechanischen und akustischen Eigenschaften untersuchen.

Diese Arbeit knüpft direkt an die Dissertation von D. Täschner [1] und Diplomarbeiten bzw. Masterthesen von M. Witczak [2], S. Henschler [3], T. Rieder [4], A. Kreter [5] und T. Großmann [6] an. Auf eine erneute Herleitung von bereits abgearbeiteten physikalischen Zusammenhängen wird weitestgehend verzichtet *bzw. nur in knapper Form eingegangen*. Diese Arbeit stellt die Erkenntnisse zum Tragrollenprüfstand dar. Unter Anwendung dieser Ergebnisse wird untersucht, inwieweit die Unwucht einer Tragrolle zu einer Schallemission führt.

Mit Hilfe des Tragrollenprüfstandes sind die Eigenschaften einer Tragrolle in Abhängigkeit von deren Umfangsgeschwindigkeit bei möglichst realen Einsatzbedingungen aufzuzeigen. Mit entsprechenden Testrollen kann am Tragrollenprüfstand der Einfluss von verschiedenen Parametern, wie Rundlaufeigenschaften, Unwucht oder wirkende Kraft auf eine Tragrolle untersucht werden. Mit diesen Informationen kann dann die Lieferanforderung für Tragrollen so präzisiert werden, dass die Tragrollen leise, langlebig, aber gleichzeitig Produktion bzw. Anschaffung kostengünstig bleiben. [1][2][3][4][5][6].

1.1 Intension

Aus den Ergebnissen der Dissertation von D. Täschner „Untersuchungen der akustischen Wirkung von Tragrollen zur zielgerichteten Lärminderung an Gurtt Förderanlagen“ ist im Zusammenhang mit der Unwucht und der damit verbundenen Auswirkung auf die Schallemission einer Tragrolle die Forderung gestellt worden, diese noch einmal kritisch zu hinterfragen. Die VDI 2341 (S.18, Pkt. 5.3 Satz 4) lautet: „*Tragrollen mit hohen Unwuchten, die auch durch Fördergutanbackungen auf den Tragrollenmänteln entstehen, sowie größere Rundlaufabweichungen der Tragrollenmäntel führen in Verbindung mit dem Fördergurt zu erhöhten Laufgeräuschen.*“ Ist diese allgemeine Aussage über den Einfluss von Unwucht zutreffend?

1.2 Arbeitshypothese und Ziele

Die in der VDI 2341 beschriebenen und miteinander verknüpften Anregungsmechanismen haben für sich selbst genommen unterschiedliche Auswirkungen auf die Schallemission einer Tragrolle. Diese müssten daher auch einzeln beschrieben werden. Aus den bereits am Tragrollenprüfstand gewonnenen Erkenntnissen ergeben sich folgende Hypothesen für die Wirkung der Unwucht:

1. Unwuchten führen nicht zu erhöhten Laufgeräuschen bei Tragrollen.

Lärmgeminderte Tragrollen, welche überdreht werden, müssen aufgrund dieses Fertigungsvorganges ausgewuchtet werden.

2. Hinsichtlich einer Lärminderung besteht keine Notwendigkeit für den Fertigungsschritt Auswuchten, wenn Rundlaufparameter beachtet werden.

Lärmgeminderte Tragrollen für ebenerdige Gurtförderanlagen müssen nach LE-B-Lieferanforderung eine Gütestufe von G14 erfüllen.

3. Die Definierung einer Gütestufe kann bei Tragrollen für ebenerdige Gurtförderanlagen entfallen.

Somit würde in der Produktion der Fertigungsschritt Auswuchten und im Wareneingang eine Überprüfung der Gütestufe entfallen.

Diese Arbeit prüft diese Hypothesen mit Hilfe von Experimenten an Prüfrollen am Tragrollenprüfstand, dem Versuchsförderer sowie bei Feldversuchen an ebenerdigen Gurtförderanlagen im Tagebau.

Die Möglichkeiten des Tragrollenprüfstandes nutzend, sollen weitere Anregungsmechanismen und Eigenschaften einer Tragrolle untersucht werden, die die Schallemission beeinflussen.

Die Rundlaufabweichung, Kreisformabweichung und Exzentrizität sowie die wirkende Kraft sind theoretisch und experimentell zu betrachten.

Zudem ist die Wirkung der Innendämpfung bei lärmoptimierten Tragrollen zu untersuchen. Die Methodik für ein Prüfungsverfahren ist auszuarbeiten.

2 Stand der Technik

Im Rahmen dieser Arbeit werden Tragrollen betrachtet, welche Bestandteil von Gurtförderern sind, hinsichtlich der Anregung über die Unwucht zur Schallabstrahlung. Gurtförderer zählen zu den Stetigförderern. *„Aus der stetigen Fördergutbewegung (eventuell mit wechselnder Geschwindigkeit oder im Takt) resultiert ein Gutstrom, durch dessen Stärke die Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Förderprinzipien und Fördermittel bestimmt wird.“* [7] Ein Gurtförderer ist *„ein endloser Gurt, am einen Ende um eine Antriebs-trommel, am anderen um eine Umlenktrommel geführt und dazwischen durch Tragrollen gestützt, fördert das Gut von der Aufgabe zur Abgabe-stelle. Gurtführung im Obertrum flach oder gemuldet, im Untertrum flach, aber auch leicht gemuldet. Zum Übertragen der Umfangskraft der Antriebs-trommel auf den Gurt Vorspannung erforderlich.“* [7] Eine Gurtförderanlage wird durch Reinigungselemente wie Bürsten oder Abstreifer ergänzt, welche den Gurt schonen und eine längere Lebensdauer begünstigen.

Die VDI-Richtlinie VDI 2341 [8] „Gurtförderer für Schüttgut - Tragrollen und Tragrollenabstände“ führt aus den darin genannten Annahmen zu folgenden Anregungsmechanismen:

1. Unwucht (allgemein)
2. Unwuchten resultierend aus Fördergutunbackungen
3. Rundlaufabweichung
4. Verbindung Fördergurt und Tragrolle

Es sind verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen zu den Anregungsmechanismen bzw. zum Thema Tragrolle bekannt.

In [9] wurde mit Hilfe einer Versuchsanlage das breite Spektrum an auftretenden Anregungen beschrieben. Hinsichtlich des Zusammenhangs von Unwucht und Schallemission wurde festgestellt, dass es zu „Schwankungen in der Unwuchtgüte zwischen G 10 und G 200“ kommt. Aufgrund möglicher Bauteilkollisionen und damit verbundenen Impulsanregungen, die Pegelerhöhungen bis zu 15 dB(A) erreichen können, wird die Einhaltung einer Gütestufe von G 30 vorgeschlagen [9]. Inwiefern sich der Lärmpegel der Tragrollen ändert bis zum Auftreten einer Bauteilkollision, wurde nicht beschrieben. (R. Hörstmeier 1981)

[10] hat unter Berufung von Tests die Möglichkeit einer Schallreduzierung durch Unwuchtreduktion von bis zu 8 dB(A) genannt. Darauf folgend wurde in [11] dieser Schallreduktionswert auf 3 dB korrigiert. (A. Gladysiewicz 2008 und 2009)

In [36] und [47] wurde die Eigenschaft eines Tragrollenmantels hinsichtlich der Schalldämpfung untersucht. Ein Verfahren zur Ermittlung des Abklingwertes wurde vorgestellt. (S. Henschler 2009 und 2012)

In [1] wurde der Einfluss der Manteloberfläche der Tragrolle bei der Geräuschemission beschrieben. Es wurde ein Verfahren entwickelt zur näheren Beschreibung der Rundlaufabweichung, welche sich in Kreisformabweichung (KFA) und Exzentrizität (EXZ) aufteilt und wie sich diese auf die Schallemission von Tragrollen auswirken [1]. (D. Täschner 2013)

[37] hat Kenngrößen herausgearbeitet, um einen Schaden, bzw. den Ausfall einer Tragrolle vorhersagen zu können. Der Zusammenhang von Unwucht und Schallemission wurde nicht untersucht. Experimentell wurde eine positive Korrelation zwischen der Temperatur einer Tragrolle und der Schallemission festgestellt [42]. Hinsichtlich Unwucht und Exzentrizität bezieht sich [37] auf die Arbeiten von [38][39][40][41]. So wird dort beschrieben, dass die Laufruhe und Schallemission einer Tragrolle Eigenschaften sind, die von den Parametern Unwucht und Exzentrizität beeinflusst werden [41][43]. (L. Xiangwei 2016)

In [50] wurde die Schallemission von Tragrollen im Labor bestimmt, um den Schalleistungspegel einer Gurtförderanlage zu berechnen. (G. Ladányi 2016)

[48] hat den Kontakt Tragrolle und Gurt näher betrachtet. Mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera wurde versucht, den „Air-Pumping-Effekt“ nachzuweisen. Die Luftströmung um die Tragrolle herum konnte mit künstlichem Nebel sichtbar gemacht werden. Der Effekt selbst konnte nicht nachgewiesen werden. (D. Scholochow 2018)

In [14] wurde kein Zusammenhang zwischen Unwucht und Schallemission bei Tragrollen festgestellt. Die Ergebnisse wurden bei der Schüttguttagung 2018 präsentiert und diskutiert. (T. Rieder 2018)

[27] hat Anbackungen, Unwucht und Schallemission von Tragrollen betrachtet. Es wurde bei der Schüttguttagung 2019 dargestellt, dass Anbackungen über die Geometrieänderung des Tragrollenmantels und nicht über die Unwucht die Schallemission von Tragrollen erhöhen. (T. Rieder 2019)

In [49] wurde dargelegt, dass ausgewuchtete Tragrollen bei hohen Geschwindigkeiten notwendig sind, um die umgebenen Strukturen vor unerwünschten Schwingungen zu schützen. (J. Ellis 2019)

[24] hat alle für einen Betreiber von Gurtförderanlagen relevanten lärmgeminderten Tragrollentypen hinsichtlich der akustischen und mechanischen Kennziffern definiert. (A. Uhlig 2019)

In [12] wird Luft – u. Körperschall im Zusammenhang mit Technik betrachtet. Es werden Vorschriften und Normen als auch die Messgrößen, Messverfahren und Messtechnik der Akustik sowie Schwingung und Schallabstrahlung fester Körper, lärmarme Maschinenkonstruktionsprinzipien und Schallschutzmaßnahmen beschrieben. (W. Schirmer 2006)

Weiterhin wurde in der Literatur Maschinendynamik [18], Maschinen-diagnose [20] und Auswuchttechnik [21] der Themenkomplex Unwucht und Unwuchtarten sowie deren Mess- und Prüftechnik beschrieben.

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Die Unwucht und Unwuchtarten

Die Unwucht U wird über das Produkt aus der Unwuchtmasse m_U und deren Abstand r_U zur Rotationsachse beschrieben. Bezogen auf eine Scheibe ist die Masse der drehenden Teile m_{rot} zu berücksichtigen, wobei deren Schwerpunkt um die Exzentrizität e_{zul} in (3-1) gegenüber der Rotationsachse verschoben ist [14] [18].

$$U = m_U * r_U = (m_{rot} + m_U) * e_{zul}$$

$$e_{zul} = \frac{m_U * r_U}{m_{rot} + m_U} \quad (3-1)$$

Für Rotoren wird e_{zul} als zulässige spezifische Restunwucht bezeichnet, da diese Wirkungen der resultierenden Unwucht und der Momentenunwucht enthält (DIN ISO 1940-1:2004, jetzt DIN ISO 21940-11:2016) [19]. Diese Größe ist nach (3-1) von der Masse m_{rot} der drehenden Teile abhängig. Wird dieser Betrag mit der Winkelgeschwindigkeit ω multipliziert, führt das zur Gütestufe G . [14]

Bei ausreichend großer Rotormasse im Verhältnis zur Unwuchtmasse lässt der Quotient sich vereinfachen, sodass für die Gütestufe Gleichung (3-2) folgt [18]:

$$G = e_{zul} * \omega \approx \frac{m_U * r_U}{m_{rot}} * \omega \quad (3-2)$$

Die Gütestufe G wird in der Lieferanforderung der LE-B als Bewertungskriterium herangezogen. [14]

Unwuchtarten

Je nach Verteilung der Unwucht über der Rotorlänge werden am starren Rotor zwei Hauptunwuchtarten unterschieden und untersucht:

- die statische Unwucht (Schwerpunktfehler)

Wird an einem vollkommen ausgewuchteten Rotor eine Unwucht in der Radialebene angebracht, in der sein Schwerpunkt liegt, dann entspricht das einer statischen Unwucht. Diese bewirkt eine Parallelverschiebung der zentralen Hauptträgheitsachse gegen die Schaftachse, wobei der Abstand zugleich der Verlagerung des Rotorschwerpunktes entspricht. [20]

Eine statische Unwucht ist gegeben, wenn die zentrale Hauptträgheitsachse des rotierenden Körpers parallel zur Rotationsachse verschoben ist (Abbildung 1). [20]

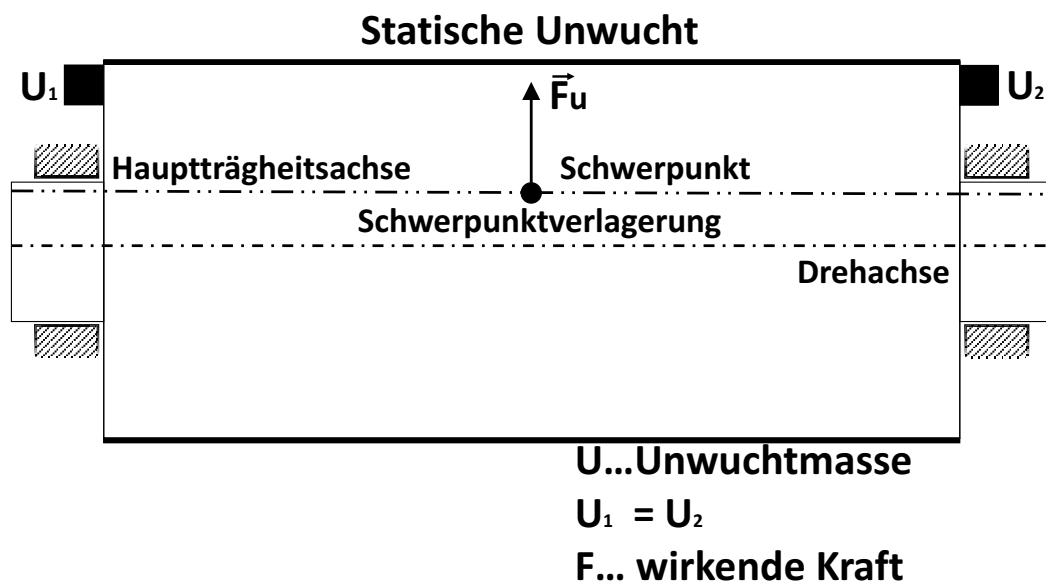


Abbildung 1: Wirkung einer statischen Unwucht [14]

- die Momentenunwucht [20]

Werden an einem vollkommen ausgewuchteten Rotor (Abbildung 2) zwei gleich große Unwuchten so angebracht, dass sie sich in zwei verschiedenen Radialebenen genau gegenüberliegen (Unwuchtpaar), so entspricht das einer Momentenunwucht (entgegengesetztes Unwuchtpaar). [14]

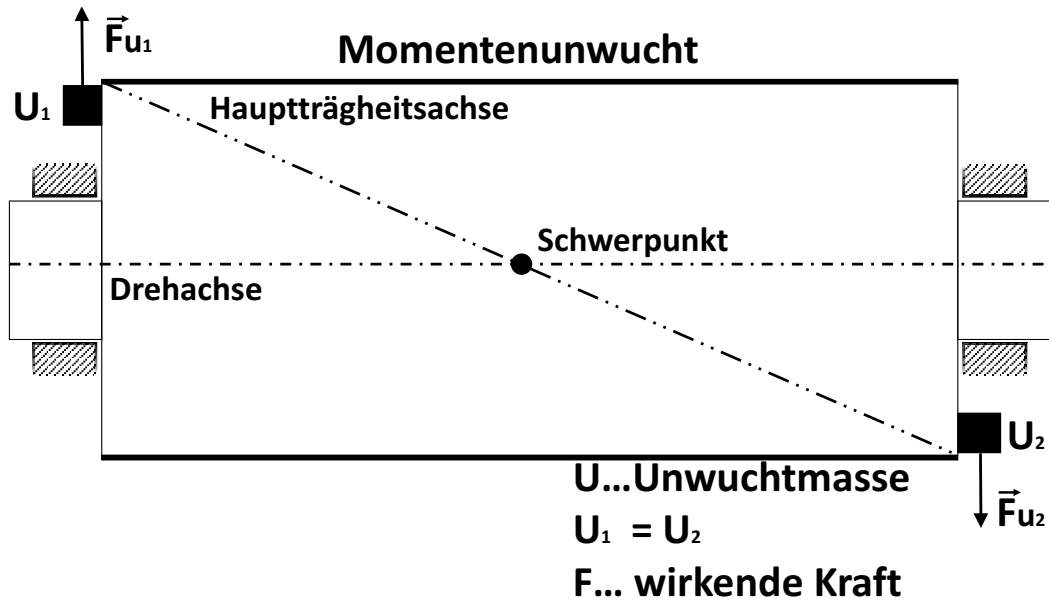


Abbildung 2: Momentenunwucht [14][21]

3.2 Die Akustik am Tragrollenprüfstand und die Bestimmung des Schalleistungspegels von Tragrollen

Die von einer Schallquelle abgestrahlte Schalleistung P ergibt sich aus der Schallintensität \vec{J} , die durch eine der Schallquelle umhüllende Messfläche S hindurch tritt, gemäß [12] [4]:

$$P = \oint \vec{J} \cdot \vec{dS} . \quad (3-3)$$

Da die Messung der Schallintensität zur Bestimmung der Schalleistung einen hohen Aufwand an Kosten und Messtechnik erfordert, wird das Hüllflächenverfahren nach DIN EN ISO 3744 [17] angewandt. Hier erfolgt die Bestimmung des Schalleistungspegels mit Hilfe von Schalldruckpegelmessungen an vielen Messorten auf der Messfläche [12]. Um den Schalleistungspegel (L_w) einer Tragrolle am Tragrollenprüfstand zu berechnen, werden die Schalldruckpegel von drei Messmikrofonen zum mittleren Messflächenschalldruckpegel ($\overline{L_p}$) zusammengefasst [4]. Die Messfläche (S) ist dabei die Oberfläche einer hypothetischen geometrischen Figur, die um die Tragrolle gespannt wird [4]. Die Bezugsmessfläche (S_0) beträgt 1 m^2 . Die Berechnung des Schalleistungspegels erfolgt dann über [12]:

$$L_W = \overline{L_P} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB} \quad (3-4)$$

Bei diesem Verfahren wird davon ausgegangen, dass der Schallintensitätspegel gleich dem Schalldruckpegel ist. Um die Sicherheit der Messergebnisse zu erhöhen, wurde beim Einrichten des Tragrollenprüfstandes die ausgewählte Hüllfläche mit vielen Messpunkten versehen, die mit dem Schallintensitätsmessgerät abgetastet wurde. Nach DIN EN ISO 3744 [17] müssen für die Genauigkeitsklasse 2 mindestens neun Messpunkte abgetastet werden. Weiterhin wurde ein Abstand zwischen der Schallquelle Tragrolle und den Messmikrofonen gefunden, bei dem die Differenz zwischen Schalldruckpegel und Schallintensitätspegel unter 3 dB liegt, um die EN ISO 9614-2 [45] für die Genauigkeitsklasse 2 zu erfüllen [4].

Das Hüllflächenmodell wurde mit dem Vergleichsverfahren [12] überprüft [4].

Bei der Anwendung des Hüllflächenverfahrens zur Bestimmung des Schallleistungspegels einer Schallquelle muss zuvor ein geeignetes Hüllflächenmodell ausgewählt werden, welches hypothetisch die Schallquelle umschließt. Dieses Hüllflächenmodell sollte möglichst eine ähnliche Form aufweisen wie die zu erwartende Schallabstrahlung der zu untersuchenden Schallquelle [44] [45] [4]. Für den Tragrollenprüfstand wurde das Hüllflächenmodell Halbkugel ausgewählt mit einem Radius r von 0,7 m (Abbildung 3).

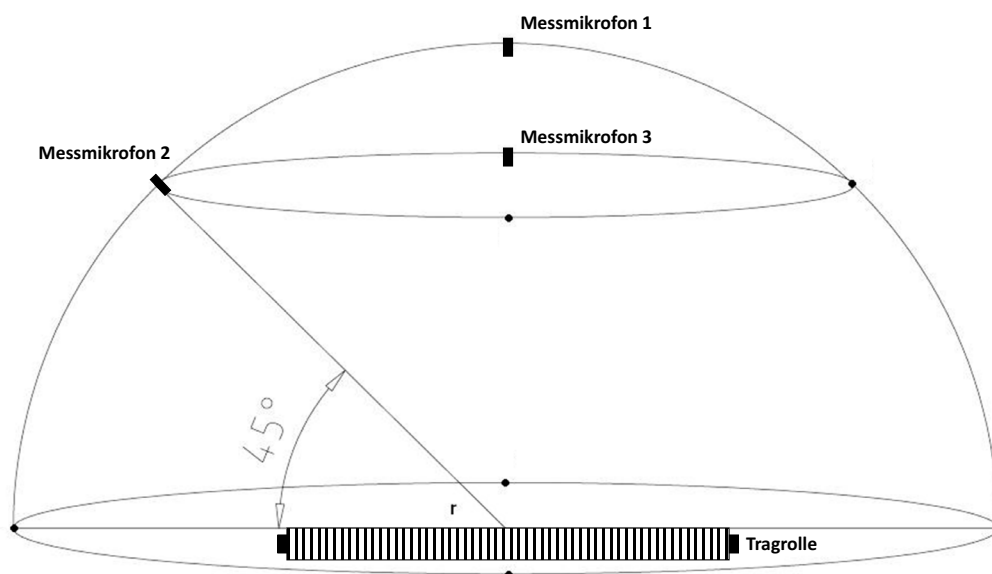


Abbildung 3: Skizze Hüllflächenmodell Halbkugel

Die Messfläche S berechnet sich nach der Formel [4]:

$$S = 2 \cdot r^2 \cdot \Pi \quad (3-5)$$

Daraus resultiert eine Messfläche von $S = 3,079 \text{ m}^2$.

Während eines Prüflaufes werden simultan die akustischen und mechanischen Messdaten aufgenommen und von der Prüfstandssoftware LabVIEW verarbeitet. Mit dem Programm DIAdem werden die verarbeiteten Daten zu einem Protokoll zusammengefasst und abgespeichert [4].

3.3 Anregungen durch Kreisformabweichung, Unwucht und Exzentrizität bei Tragrollen zur Schallabstrahlung

In den kommenden Kapiteln werden mit verschiedenen Versuchen die Zusammenhänge zwischen der Unwucht und der Schallemission von Tragrollen untersucht. Die bisherigen Ergebnisse am Tragrollenprüfstand und Beobachtungen im Tagebau an Gurtförderanlagen lassen folgende Vermutung zu:

Die Kreisformabweichung, die Radialkraft und die Bewegungsfreiheit der Tragrolle sind vor der Unwucht stehende Anregungsmechanismen hinsichtlich der Schallemission von Tragrollen. Auch die Exzentrizität scheint eine gewisse Rolle für die Anregung zur Schallabstrahlung bei Tragrollen zu spielen.

Unwucht und Exzentrizität haben die Gemeinsamkeit, dass sie in ihrer Wirkungsrichtung zum Fördergurt messtechnisch schwer zu unterscheiden sind. Gibt es weitere Gemeinsamkeiten oder Unterschiede? Zur Fertigung von lärmgeminderten Tragrollen werden unterschiedliche Fertigungsverfahren angewendet. Betrachtet wird an dieser Stelle nur das Resultat durch das Überdrehen der Tragrollenrohre. Jeder Hersteller hat für den Produktionsschritt Überdrehen eine eigene Verfahrensweise, abhängig von jahrelanger Erfahrung und den zur Verfügung stehenden Drehmaschinen.

Gängige Praxis nach dem Überdrehen ist das Auswuchten der Tragrollen, da das Überdrehen zu einer Ungleichverteilung der Massen des Tragrollenmantels führt. Dennoch sind an den lärmgeminderten Gurtförderanlagen bei den überdrehten und gewuchteten Tragrollen bereits subjektiv Bewegungen der Tragrollen zu sehen, auch wenn die Wuchtgüte noch besser ist als die geforderte G14.

Hier wirkt nicht allein die Unwucht, sondern auch die Exzentrizität. Exzentrizität und Unwucht entstehen beide durch das Überdrehen und die Exzentrizität hat wie die Unwucht unterschiedliche Erscheinungsformen. Hierzu folgend einige Überlegungen.

3.3.1 Statische Unwucht und Exzentrizität

Die Statische Unwucht gibt es bei Tragrollen nur theoretisch und kommt praktisch nur näherungsweise vor. Hierzu muss eine Phasengleichheit der Unwuchtmasse als auch die Größe der Unwuchtmassen in beiden Lager-ebenen gleich sein. Inwiefern könnte sich dieser Zustand einstellen?

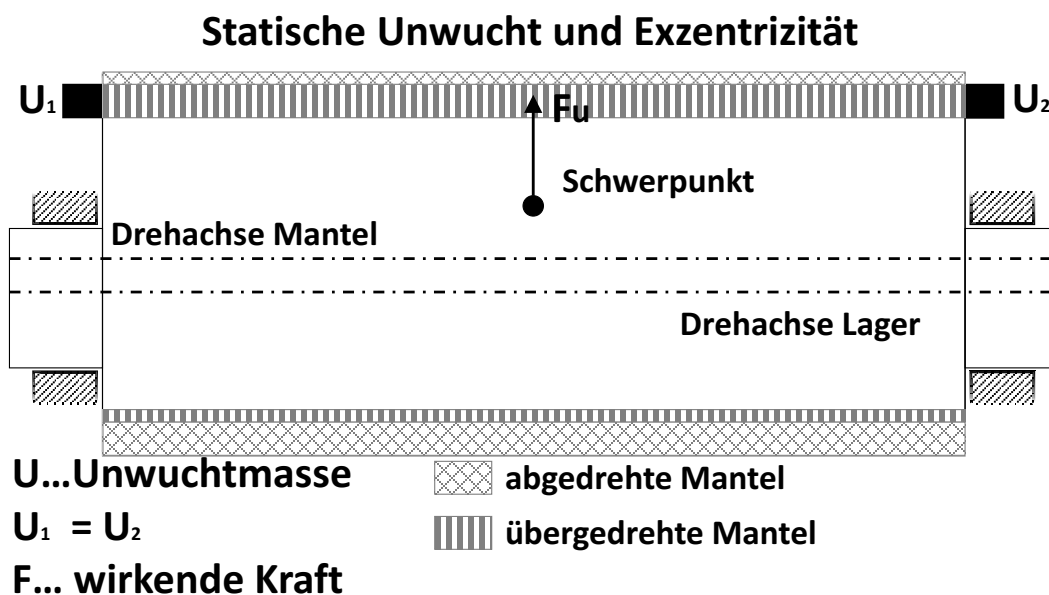


Abbildung 4: Statische Unwucht und Exzentrizität

Angenommen zum Überdrehen wird die Tragrolle an ihren Lagerpassungen gefasst. Die Lagerpassungen befinden sich gegenüberliegend, so dass die Drehachse über die Lager parallel zur Drehachse des Tragrollenrohres verläuft (Abbildung 4). Beim Überdrehen wird dadurch sich gegenüberliegend auf der gesamten Mantellänge mehr bzw. weniger Material abgetragen. Eine statische Unwucht entsteht, mit sich phasengleich gegenüberliegenden Unwuchtpaaren, aber mit einer relativ geringen Exzentrizität über den Mantel.

Die Exzentrizität wurde über die Drehachse der Lagerpassung relativ zur Drehachse des Mantels auf Kosten der unterschiedlich produzierten Mantelstärken bzw. Unwucht aus dem Mantelrohr herausgedreht.

Wenn das Tragrollenrohr innengespannt überdreht wird, kommt es zu einer relativ gleichmäßigen Verteilung der Mantelstärke und Unwucht. Da die Tragrolle jedoch über die Drehachse der Lager rotiert, wird sich der Unterschied zur Drehachse des Mantels als Exzentrizität mit gleicher Phasenlage und Amplitude über die Mantellänge messtechnisch nachweisen lassen (Abbildung 5).

Die Exzentrizität wirkt Richtung Fördergurt über den Weg und wird die Tragrolle am Gurt auf und ab bewegen. Zur Beschreibung könnte dies als „exzentrizitätsbedingte statische Unwuchtbewegung“ bezeichnet werden.

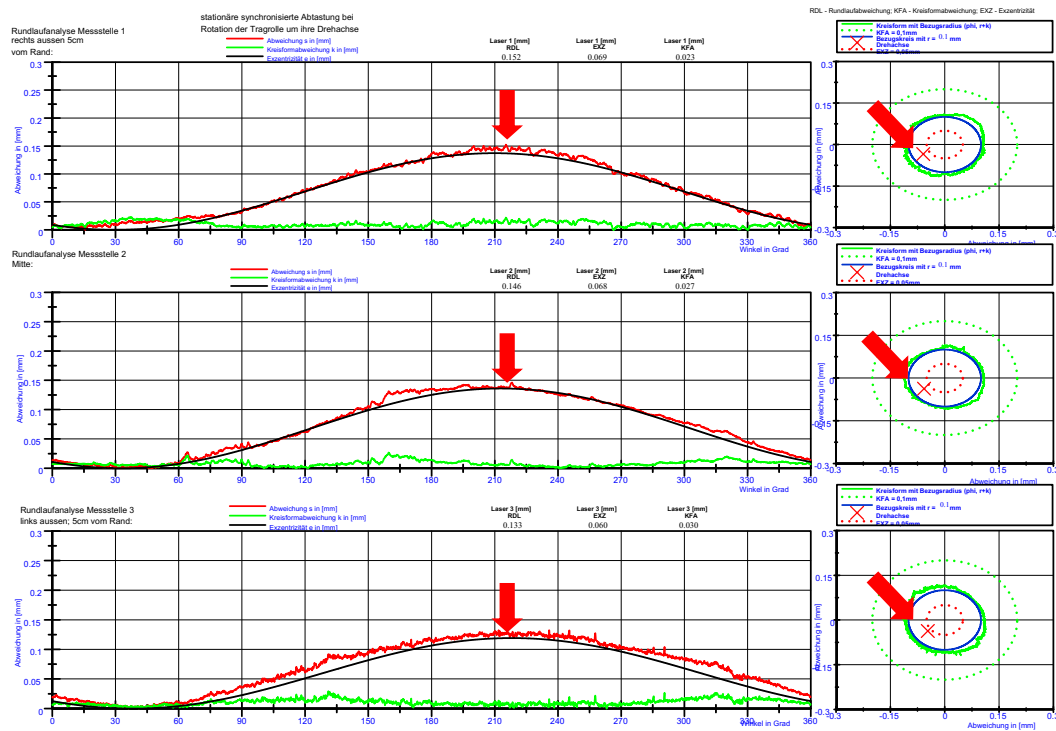


Abbildung 5: Phasengleiche Exzentrizität über Mantellänge #1728

3.3.2 Dynamische Unwucht und Exzentrizität

Die dynamische Unwucht kommt praktisch bei allen Tragrollen vor. Ein Spezialfall wäre, wenn sich das Unwuchtpaar gleicher Masse um 180° versetzt in beiden Lagerebenen gegenübersteht. Inwiefern könnte sich dieser Zustand einstellen?

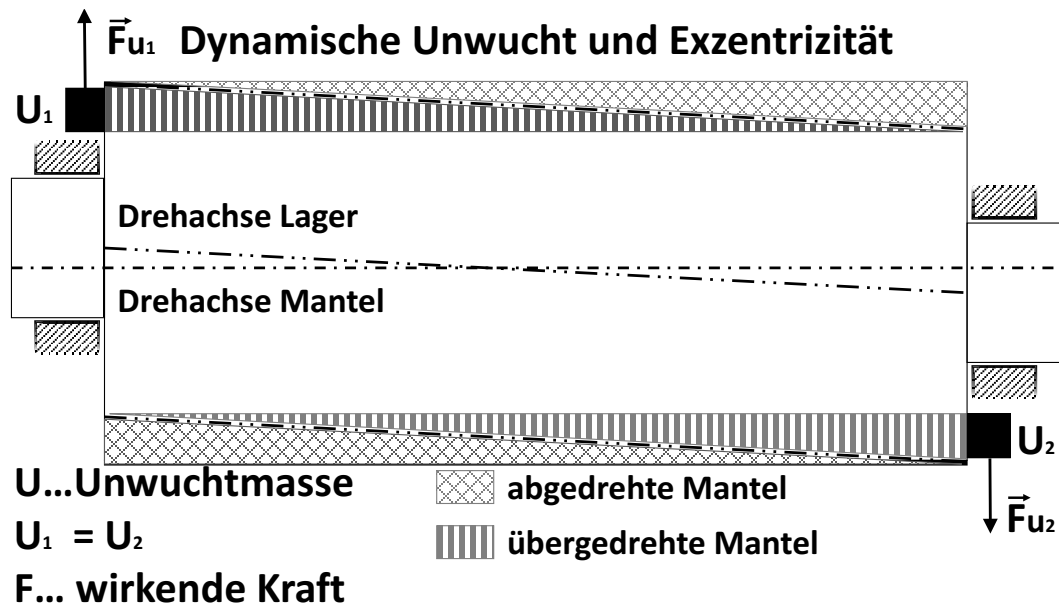


Abbildung 6: Dynamische Unwucht und Exzentrizität

Angenommen zum Überdrehen wird die Tragrolle an ihren Lagerpassungen gefasst. Die Lagerpassungen befinden sich im gleichen Abstand zur Drehachse des Mantels um 180° versetzt (Abbildung 6). Beim Überdrehen wird dadurch parallelverschoben zur Drehachse des Lagers gegenüberliegend um 180° versetzt auf der gesamten Mantellänge mehr bzw. weniger Material abgetragen. Eine dynamische Unwucht entsteht, mit um 180° versetzt gegenüberliegenden Unwuchtpaaren, aber einer relativ geringen Exzentrizität über den Mantel. Die Exzentrizität wurde über die Drehachse der Lagerpassung relativ zur Drehachse des Mantels auf Kosten der unterschiedlich produzierten Mantelstärken bzw. Unwucht aus dem Mantelrohr herausgedreht.

Wenn das Tragrollenrohr innengespannt überdreht wird, kommt es zu einer relativ gleichmäßigen Verteilung der Mantelstärke und Unwucht. Da die Tragrolle jedoch über die Drehachse der Lager rotiert, wird sich der Unterschied zur Drehachse des Mantels als Exzentrizität mit an den Seiten der Tragrolle phasenverschoben, sich gegenüberliegenden Hoch –u. Tiefpunkt und mittig des Tragrollenmantels einem Nulldurchgang messtechnisch nachweisen lassen (Abbildung 7). Die Exzentrizität wirkt Richtung Fördergurt über den Weg und wird die Tragrolle am Gurt mit einer Taumelbewegung auf und ab bewegen. Zur Beschreibung könnte dies als „exzentrizitätsbedingte dynamische Unwuchtbewegung“ bezeichnet werden.

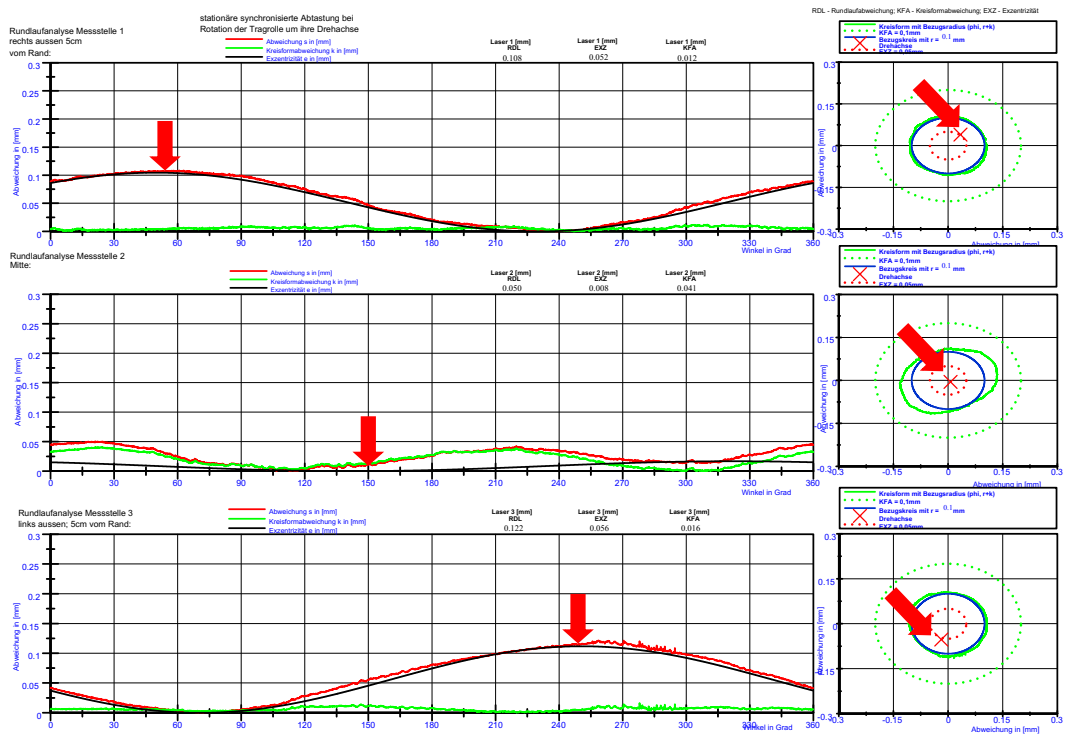


Abbildung 7: Phasenverschobene Exzentrizität über Mantellänge #1701

3.3.3 Modell Kreisformabweichungen als Anregung zur Schallabstrahlung von Tragrollen

Kreisformabweichungen, hervorgerufen durch zum Beispiel Anbackungen, führen zu einer Erhöhung des Lärmpegels. Das Überrollen einer Anbackung ist als stoßartige Anregung vorstellbar (Abbildung 8).

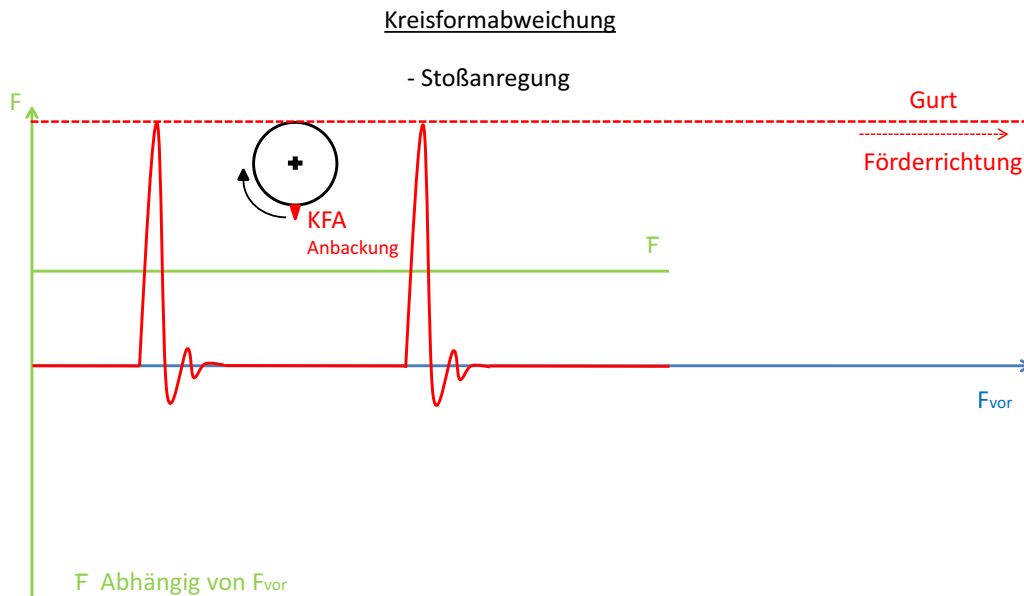


Abbildung 8: Skizze Modellannahme von Stoßanregung durch Kreisformabweichung [30]

Je mehr dieser lokal begrenzten Sprungstellen auf dem Tragrollenmantel zufällig verteilt vorhanden sind, desto größer wird die Anzahl an Stößen pro Umdrehung. Eine Erhöhung der Schallemission ist zu erwarten.

Mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera ist der beschriebene Effekt sichtbar zu machen. Hierzu ist ein Schweißdraht auf den Tragrollenmantel anzubringen. Beim Überfahren des Schweißdrahtes ist der Stoß und das darauffolgende Ausschwingen der Tragrolle erkennbar.

3.3.4 Modell Exzentrizität als Anregung zur Schallabstrahlung von Tragrollen

Exzentrizitäten, entstehend beim Überdrehprozess der Tragrolle, führen in Wirkungsrichtung Richtung Gurt zu einer Bewegung, da aufgrund der Außermittigkeit der Drehachse der Weg beim Abrollen überwunden werden muss. Die geometrischen Eigenschaften der Exzentrizität (EXZ) führen zu einer harmonischen sinusähnlichen Anregung (Abbildung 9).

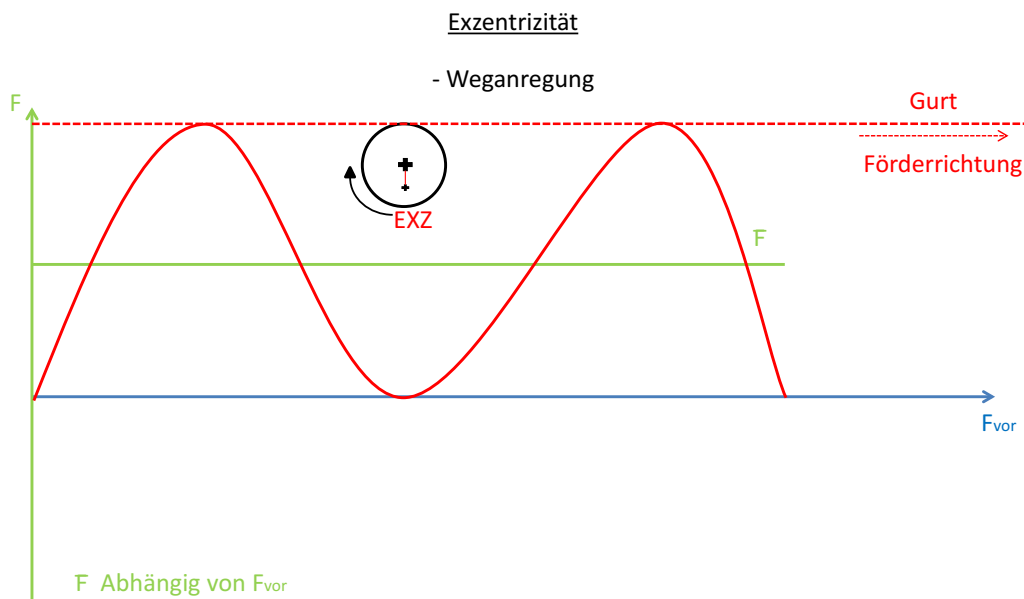


Abbildung 9: Skizze Modellannahme von Weganregung durch Exzentrizität [30]

Abhängig von Größe und Lage der Exzentrizität als auch der Gurtgeschwindigkeit kann sich diese gleichmäßige Bewegung umwandeln. Bei entsprechender Gurtgeschwindigkeit, nach Passieren des Hochpunktes der Exzentrizität kann der Fördergurt aufgrund seiner Trägheit dem Abrollen der Tragrolle nicht mehr folgen. Die Tragrolle zum Tiefpunkt der Exzentrizität abrollend dreht sich unter dem Fördergurt vom Fördergurt weg. Der Kontakt zwischen Tragrolle und Fördergurt geht kurzzeitig verloren. Die wirkenden Kräfte vom Fördergurt in Richtung Tragrolle bewirken danach eine Wiederkontaktaufnahme zwischen Gurt und Tragrolle. Das im Tagebau zu beobachtende „Gurtschlagen“ bei lärmgeminderten und ausgewuchteten Tragrollen entsteht (Abbildung 10).

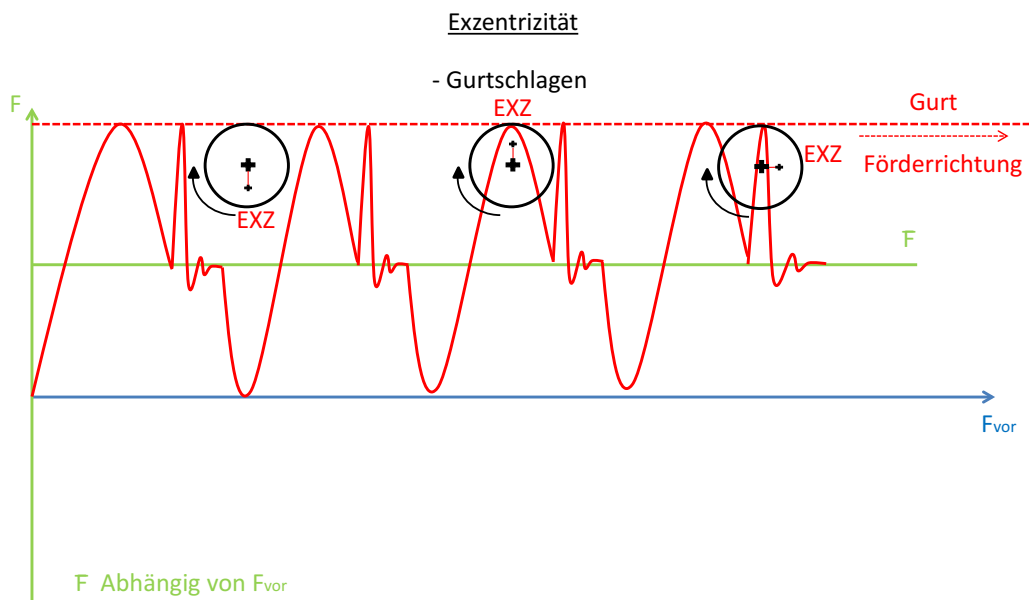


Abbildung 10: Skizze Modellannahme des Gurtschlagens durch Exzentrizität

Gegenüber der harmonisch-sinusähnlichen Anregung führt diese Art Stoßanregung nochmals zu einer Erhöhung der Schallemission. Hinzukommend durch den Schlag sind Schwingungen, übertragen von der Tragrolle auf die Girlande, was zur Erhöhung der Bewegungen der Girlande führt. Hierzu waren Untersuchungen mit der Hochgeschwindigkeitskamera auf einer Förderbrücke geplant.

3.3.5 Modell Unwucht als Anregung zur Schallabstrahlung von Tragrollen

Unwucht, entstehend beim Überdrehprozess der Tragrolle, verschiebt den Schwerpunkt gegenüber der Rotationsachse. Diese Verschiebung wird ebenfalls als Exzentrizität (e) bezeichnet. Ähnlich der geometriebedingten Exzentrizität (EXZ) führt die Unwucht zu einer harmonischen sinusähnlichen Anregung (Abbildung 11). Warum sollte eine unwuchtbedingte Schallemissionserhöhung bei Tragrollen ausbleiben?

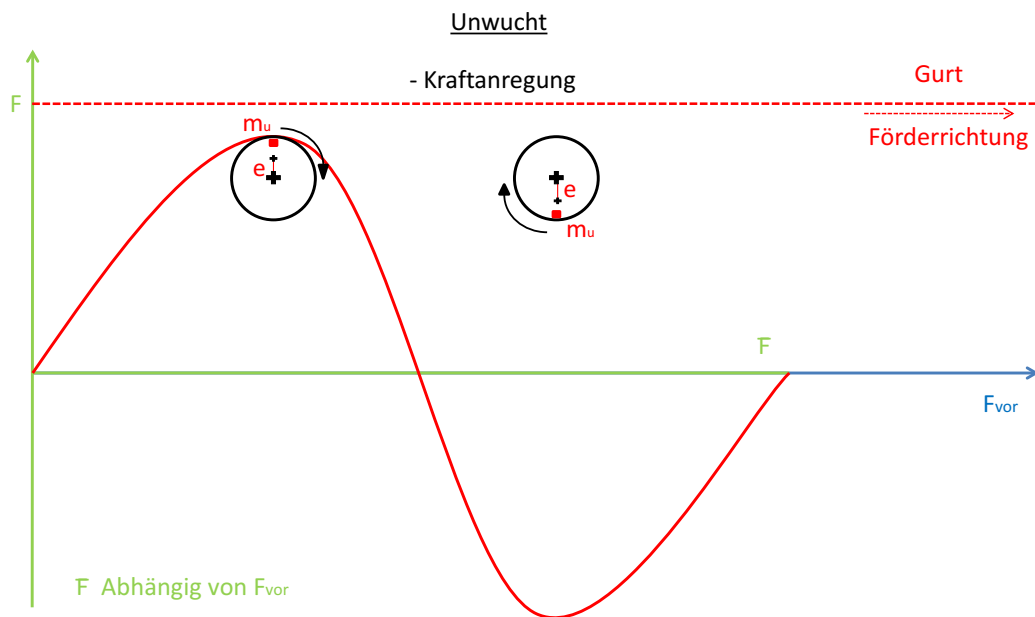


Abbildung 11: Skizze Modellannahme des Kraftverlaufes bei Unwucht einer frei rotierenden Tragrolle

Eine Tragrolle in der Gurtförderanlage rotiert nicht frei im Raum. Die Tragrolle führt eine an den Fördergurt gebundene Rotation aus. Bei Tragrollengirlanden sind Hin-und-Her-Bewegungen, parallel zum Gurt, von nicht gewuchteten lärmgeminderten Tragrollen zu beobachten (Abbildung 12).

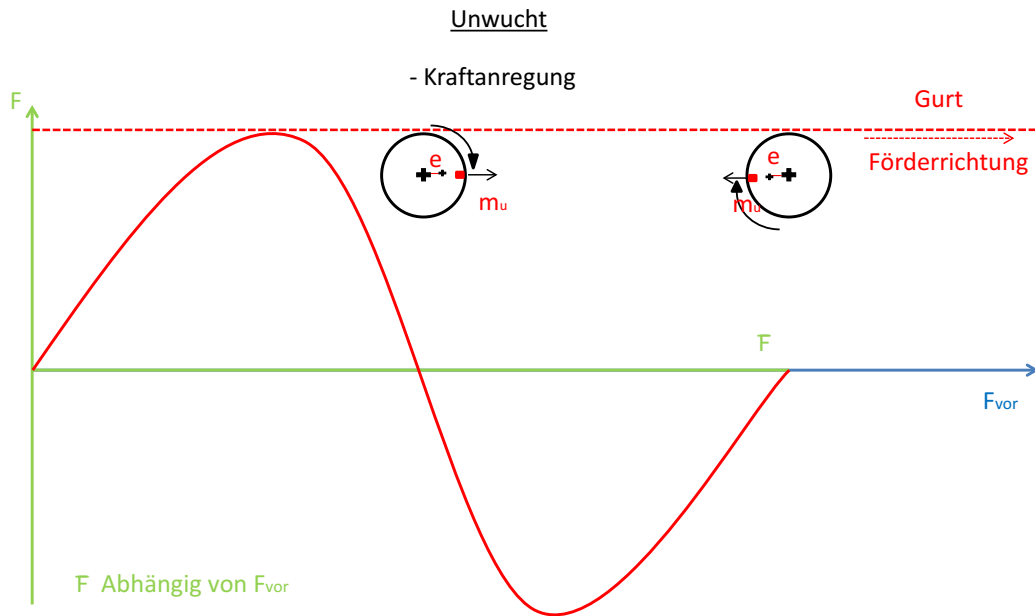


Abbildung 12: Skizze Modellannahme der unwuchtbedingten Bewegung einer Tragrolle

Ein Ausbleiben einer Schallemissionserhöhung bedeutet, dass die für die Anregung benötigte Bewegung Richtung Gurt ausbleibt.

Dieser Zeitpunkt modelhaft betrachtet, ohne Exzentrizität (EXZ) aus der Geometrie der Tragrolle:

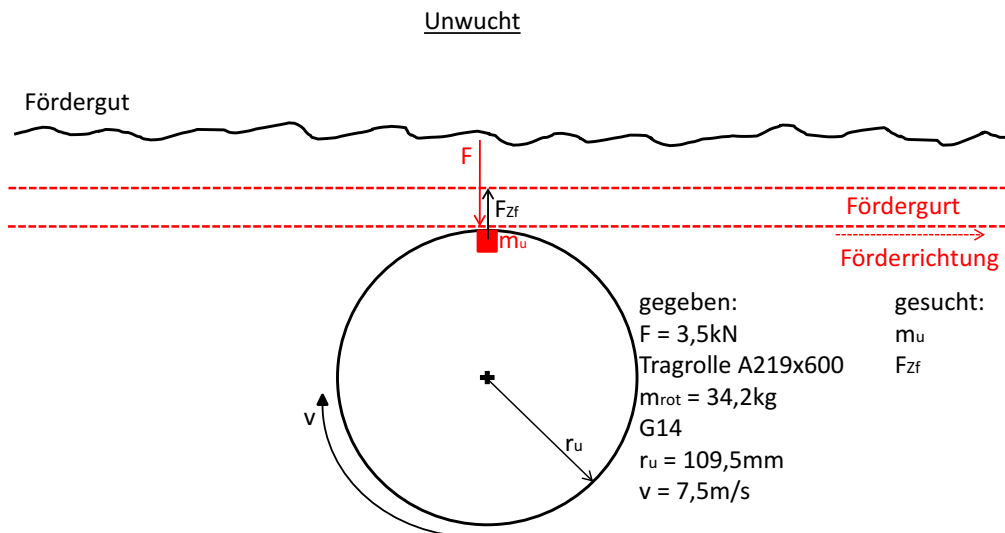


Abbildung 13: Betrachtung der Unwucht beim Zeitpunkt der zu erwartenden Anregungswirkung

Die Kennwerte der Betrachtung (Abbildung 13) sind aus der Lieferanforderung der LEAG für lärmgedimmte Tragrollen und einer entsprechenden technischen Zeichnung entnommen.

Gegeben ist eine Tragrolle A219x600 mit einer rotierenden Masse von $m_{\text{rot}}=34,2$ kg, einer Umfangsgeschwindigkeit von $v=7,5$ m/s, einem Radius von $r=109,5$ mm. Die Tragrolle ist mit der maximal zugelassenen Gütestufe G14 behaftet. Auf diese Mitteltragrolle wirkt, wie am Tragrollenprüfstand, eine Kraft $F=3,5$ kN.

Die Unwuchtmasse wird berechnet aus [18]:

$$U = m_u * r_u = (m_{\text{rot}} + m_u) * e_{\text{zul}}$$

$$e_{\text{zul}} = \frac{m_u * r_u}{m_{\text{rot}} + m_u} \quad (3-1)$$

und

$$G = e_{\text{zul}} * \omega \approx \frac{m_u * r_u}{m_{\text{rot}}} * \omega \quad (3-2)$$

folgt, dass ω zunächst aus der technischen Schwingungslehre [32] berechnet werden muss aus:

$$\omega = 2\pi f \text{ [1/s]} \quad (3-6)$$

Die Drehfrequenz f beschreibt die Umdrehungen n pro Sekunde. Aus der Umfangsgeschwindigkeit v und dem Radius r_u lässt sich berechnen [32]:

$$n = \frac{v}{2\pi r_u} \text{ [1/s]} = \frac{7,5 \text{ m/s}}{2\pi * 0,1095 \text{ m}} = 10,9 \text{ [1/s]} \quad (3-7)$$

Daraus folgt [32]:

$$\omega = 2\pi * 10,9 \text{ [1/s]} = 68,48 \text{ [1/s]} \quad (3-6)$$

Aus (3-2) umgestellt nach m_u folgt [18]:

$$m_u = \frac{G * m_{\text{rot}}}{r_u * \omega} = \frac{14 \frac{\text{mm}}{\text{s}} * 34,2 \text{ kg}}{109,5 \text{ mm} * 68,48 \text{ 1/s}} = 0,0638 \text{ kg} \quad (3-2)$$

Die Unwuchtmasse beträgt 0,0638 kg.

Betrachtet man die Unwuchtmasse, welche mit ω um den Radius r_u rotiert, dann zeigt nur die daraus resultierende Zentrifugalkraft [33] F_{Zf} in die Anreizungsrichtung Richtung F6rdergurt (Abbildung 13), welche die notwendige Bewegung der Tragrolle zur Anregung zur Schallabstrahlung ausf6hren muss. Mit den ermittelten Kennwerten berechnet sich [33]:

$$\begin{aligned} F_{Zf} &= m_u * r_u * \omega^2 && (3-8) \\ &= 0,0638kg * 0,1095m * 68,48^2 \frac{1}{s^2} = 32,76 N \end{aligned}$$

Die aus der Unwuchtmasse resultierende Zentrifugalkraft betr6gt 32,76 N.

Das hei6t, dass zum Zeitpunkt der Anregung die wirkende Kraft $F = 3,5$ kN auf die l6rmingeminderte Mitteltragrolle etwa zwei Gr66enordnungen h6her ist, als die entgegen gerichtete Fliehkraft aus der Unwuchtmasse heraus. Die Unwucht kann somit nicht als Anregung zur Schallabstrahlung wirken.

4 Experimentelles Design, Methodiken und Durchführungen

4.1 Labor Tragrollenprüfstand

Dem Labor Tragrollenprüfstand stehen zur akustischen und mechanischen Untersuchung von Tragrollen verschiedene Prüfstände und Prüfungsmethodiken zur Verfügung. Diese dienen der Ermittlung spezifischer Kennziffern von Tragrollen. Die Qualität von Tragrollen wird objektiv erfasst. Das ermöglicht die Überprüfung der an eine Tragrolle gestellten technischen Anforderungen als auch ein Vergleich zwischen typengleichen Tragrollen.

4.1.1 Der Tragrollenprüfstand

Die Hauptfunktion des Tragrollenprüfstandes wird durch den Hochfahrprozess bestimmt. Hierbei wird die eingespannte Tragrolle mit Hilfe eines Linearantriebes auf die sich bereits auf Schleichfahrt drehende Antriebswalze gedrückt. Wird die eingestellte Vorspannkraft erreicht, wird die Tragrolle mit Hilfe der Antriebswalze auf die voreingestellte Endgeschwindigkeit beschleunigt. Dabei werden simultan Luft –u. Körperschall, Kraft an der Vorspanneinrichtung und Geschwindigkeit der Antriebswalze aufgenommen. Nach Erreichen der Endgeschwindigkeit wird diese für 5 s gehalten. Danach wird die Messung beendet, der Prüfstand tourt ab. Der Linearantrieb verfährt die eingespannte Tragrolle in den Ausgangszustand.

Der Hochfahrprozess der Antriebsrolle des Tragrollenprüfstandes (Abbildung 14) wird mit einem Hall-Sensor aufgenommen. An der Antriebsrolle wurden hierfür acht Dauermagneten gleichmäßig verteilt angebracht. Die Signale des Sensors werden in den Analog-Digital-Umsetzer geleitet und dann mit Hilfe von LabVIEW verarbeitet [4].

Es werden während des Hochfahrprozesses des Prüflaufes mit Hilfe von zwei über den Tragrollenachszapfen angebrachten Schwingungssensoren vom Typ Beschleunigungsaufnehmer–Triaxial KS943B.10 die entstehenden mechanischen Beschleunigungen der zu prüfenden Tragrolle aufgenommen und in ein elektrisches Signal umgewandelt. Diese Signale werden in den Analog-Digital-Umsetzer, der NI PXI – 1033, geleitet und dann mit Hilfe von LabVIEW analysiert [4].

Für die akustische Erfassung am Tragrollenprüfstand werden drei Messmikrofone vom Typ MM210 ½ " verwendet. Diese nehmen während des Prüflaufes die Schalldruckschwankungen der Luft auf und wandeln diese in elektrische Signale um. Diese Signale werden in einen Analog-Digital-Umsetzer geleitet und dann in LabVIEW zum Schalldruckpegel bzw. mittleren Messflächenschalldruckpegel umgerechnet. In Anlehnung an die DIN EN ISO 3744 [17] wird im Hüllflächenverfahren der Schalleistungspegel ermittelt. Eine Spektralanalyse kann ebenfalls durchgeführt werden [4].

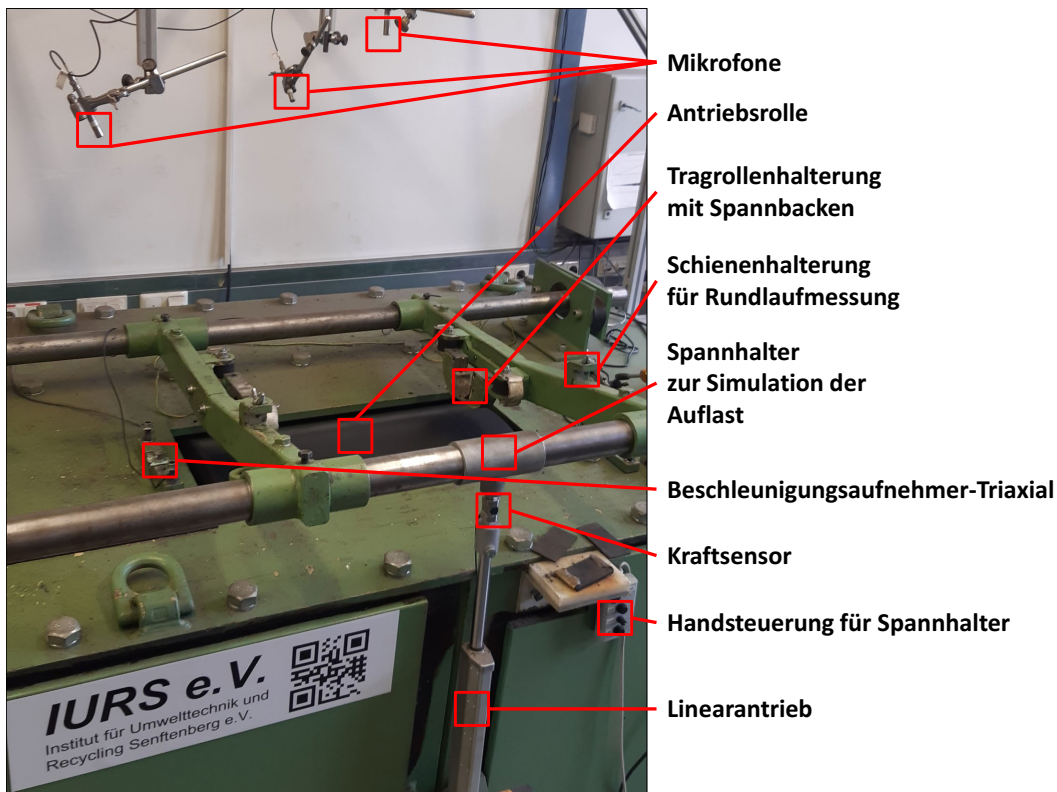


Abbildung 14: Tragrollenprüfstand ohne Tragrolle [Quelle: IURS e.V.]

Die Rundlaufmessung erfolgt simultan mit drei Micro-Epsilon optoNCDT Lasern, die in Linie achsparallel an drei Punkten, 5 cm rechts vom Tragrollenrand, Mitte und 5 cm links vom Tragrollenrand, stationär positioniert werden. Mit Hilfe eines Messrades wird die Winkelstellung auf dem Tragrollenmantel definiert (Abbildung 15). Die Aufnahme orientiert sich an der DIN 230-1:1999 [15]. Die Datenanalyse erfolgt in Anlehnung an „Akustische Wirkung von Tragrollen an Hochleistungsgurtförderanlagen“ [16], bei dem mit Hilfe verschiedener mathematischer Verfahren über den Verlauf der Rundlaufabweichung die Exzentrizität und Kreisformabweichung berechnet wird [1]. Die Ergebnisse werden im Prüfungsprotokoll tabellarisch und als Diagramm dargestellt.

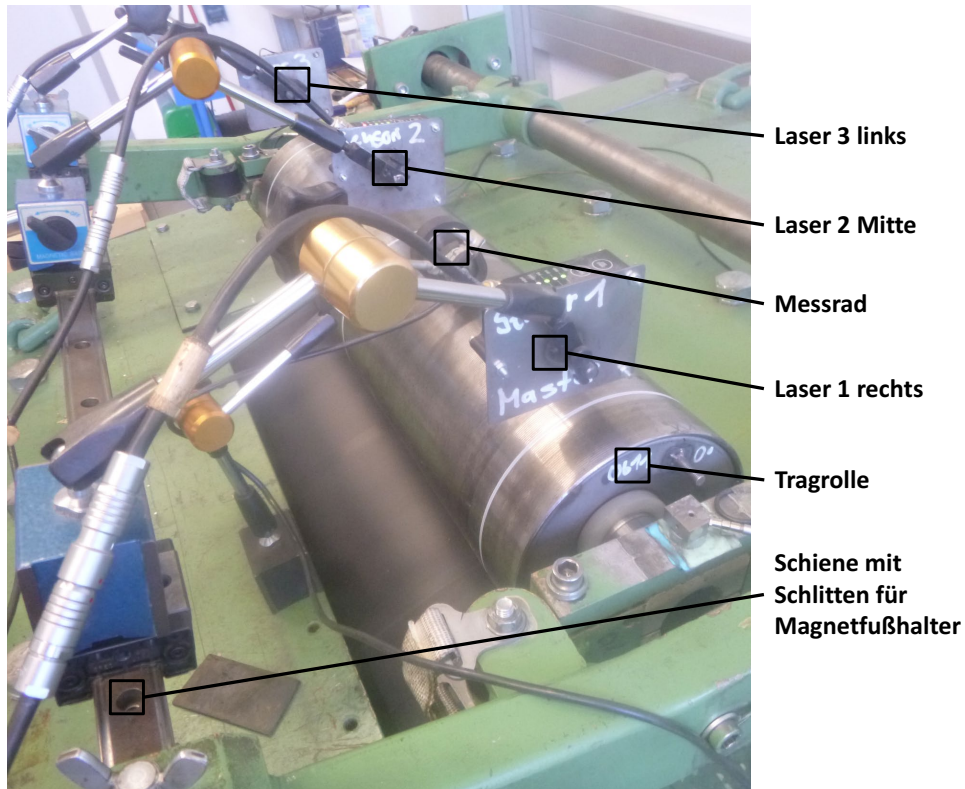


Abbildung 15: Tragrollenprüfstand Rundlaufmesssystem [Quelle: IURS e.V.]

Versuche mit „lärmgeminderten“ Tragrollen, welche eine geringe Außermit-tigkeit der Drehachse, aber unterschiedliche Gütestufen von kleiner G 6,3 und G 27 aufwiesen, stellten den bis dahin allgemein bekannten Zusam-menhang zwischen Unwucht und Schallemission einer Tragrolle in Frage [13]. In Anlehnung an „Optimierung der Untersuchungen von Tragrollen hin-sichtlich der Einsatzkennziffern Lärmemission, Bewegungswiderstand, Schwingungsverhalten“ [4] erfolgt am Tragrollenprüfstand die Ermittlung des Schalleistungspegels im Hüllflächenverfahren, welcher dann in Abhän-gigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit dargestellt wird. Dies ermöglicht einen Vergleich typengleicher Tragrollen hinsichtlich ihrer Schallemission bei spezifischen Umfangsgeschwindigkeiten. Eine akustische Bewertung der Tragrollen kann nach unterschiedlichen Herstellern, Fertigungsprinzi-pien oder bei verschiedenen Lebensdauerphasen erfolgen (Abbildung 16).

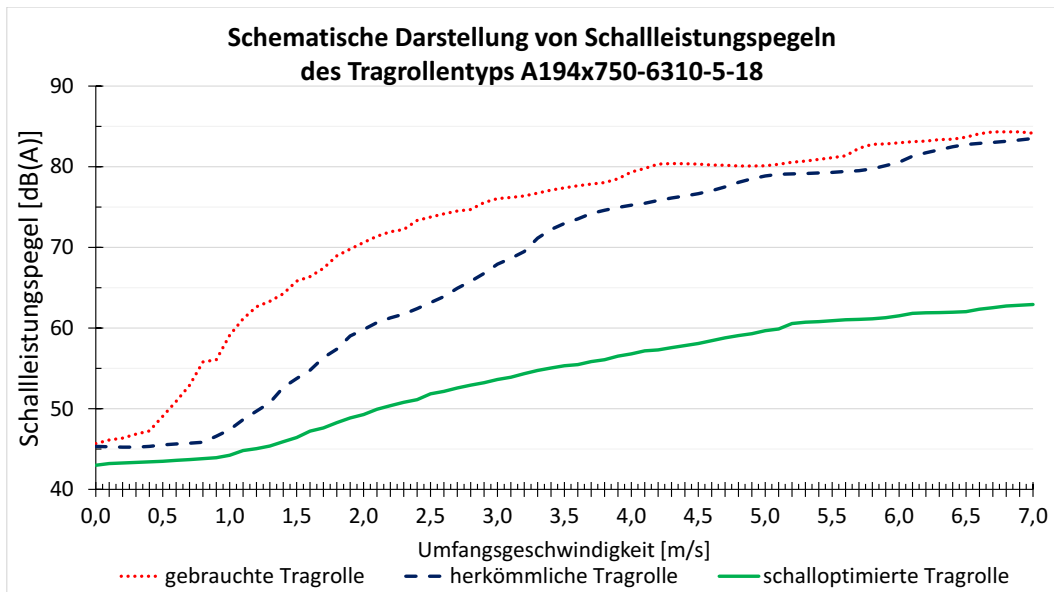


Abbildung 16: Schematische Darstellung von Schallleistungspegeln eines Tragrollentyps (A194x750-6310-G2-18) in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit [14]

Aus den Eigenschaften des Tragrollenprüfstandes [4][5][6] heraus ist es möglich, Tragrollen mit einem Durchmesser von 108 mm bis 219 mm und einer Mantellänge von 380 mm bis 1160 mm bis zu einer Umfangsgeschwindigkeit von 15 m/s zu prüfen. Im Labor Tragrollenprüfstand können zusätzlich die Größen der Rundlaufkennwerte (Rundlaufabweichung, Kreisformabweichung, Exzentrizität) [1], Unwucht, Abklingverhalten und Axialspiel der Tragrolle ermittelt werden.

Die Versuche am Tragrollenprüfstand zeigten bis jetzt, dass die Anregung und die Schallabstrahlung hauptsächlich über den Tragrollenmantel erfolgen. Erst ein defektes Wälzlager regt den Tragrollenmantel zusätzlich an. Der Tragrollenmantel trägt dann zur verstärkten Schallemission in seinen Eigenfrequenzen [46] bei.

Zusammenfassend ist der Tragrollenprüfstand darauf ausgelegt, akustische und mechanische Kennwerte von Einzeltragrollen aufzunehmen und auszuwerten. Es sind alle im Tagebau gängigen Tragrollentypen auf dem Tragrollenprüfstand prüfbar. Die maximale Prüfgeschwindigkeit beträgt 15 m/s. Während des Prüflaufes kann die Tragrolle mit bis zu 4 kN belastet werden. Durch die Abtastfrequenz von 22050 Hz wird der für die akustische Tragrollenprüfung relevante Bereich zwischen 200 Hz bis 10000 Hz darstellbar. Der Schallleistungspegel der Tragrolle wird als sogenannte Hochfahrkurve über der Umfangsgeschwindigkeit (Abbildung 16) dargestellt.

Die ausgewerteten Daten werden für jede Tragrolle in einem Protokoll ausgegeben. Das ermöglicht einen schnellen Vergleich der Ergebnisse typengleicher Tragrollen.

Die Prüfstandssoftware kann ebenfalls die Ergebnisse größerer Mengen an typengleichen Tragrollen, sogenannte Chargen, analysieren und die Informationen komprimiert auf einem Datenblatt zusammenfassen. Die Wareneingangsprüfung kann zum Beispiel somit schnell die Qualität der gelieferten Tragrollen beurteilen und auch über größere Zeiträume hinweg Schwankungen erfassen. Die Untersuchung und der Vergleich von neu gefertigten Tragrollen und aus dem Tagebau zurückgeführte, gebrauchte Tragrollen werden vereinfacht. Akustische und mechanische Veränderungen lassen sich über die Einsatzzeit darstellen.

4.1.2 Der Unwuchtprüfstand

Zur Ermittlung der Unwucht steht dem Labor der BTU ein Prüfstand der Firma Schenck vom Typ H3 BK zur Verfügung (Abbildung 17). Dieser Prüfstand ermittelt in zwei Ebenen jeweils die Restunwuchtmasse und deren Winkellage [14].

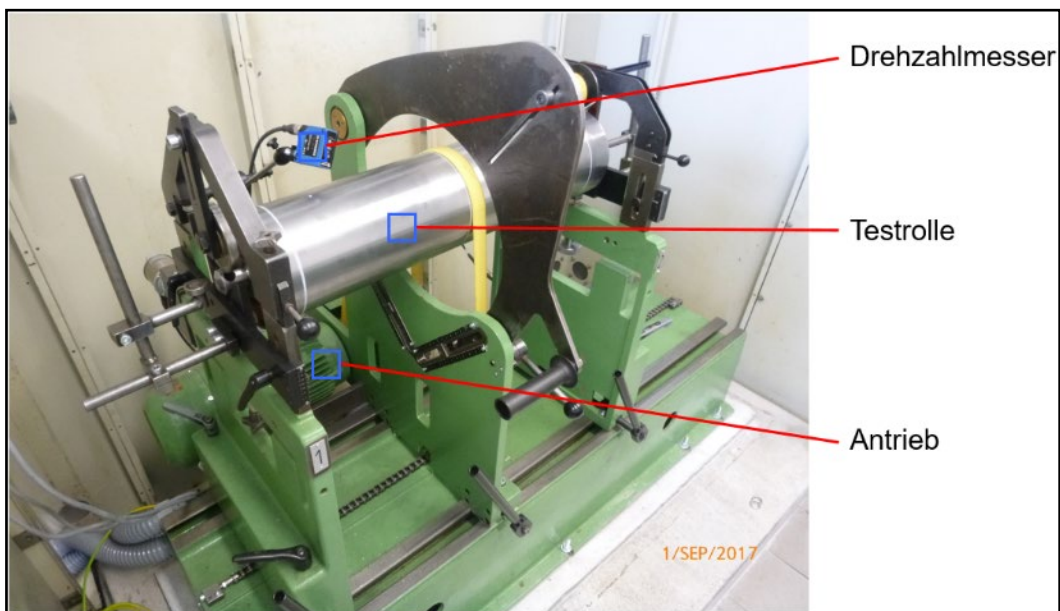


Abbildung 17: Unwuchtprüfstand für Tragrollen [14]

Geprüft werden können Tragrollen mit einem Durchmesser von 108 mm bis 219 mm und einer Mantellänge von 380 mm bis 1160 mm. Die Prüfgeschwindigkeit ist stufenlos regelbar bis 10 m/s.

4.1.3 Der Versuchsgurtförderer

Der Versuchsgurtförderer der BTU Cottbus-Senftenberg wurde ursprünglich konzipiert, um Aufgabenstellungen hinsichtlich Anlagenüberwachung sowie regelungs- u. steuerungstechnische Untersuchungen durchzuführen. Die Gurtgeschwindigkeit des Versuchsförderers ist stufenlos bis 5 m/s regelbar. Der Aufbau besteht aus drei Tragrollenstationen mit jeweils drei Tragrollen vom Typ A194x380-6310-G1-21-ML [26].

Aufbau Versuchsgurtförderanlage

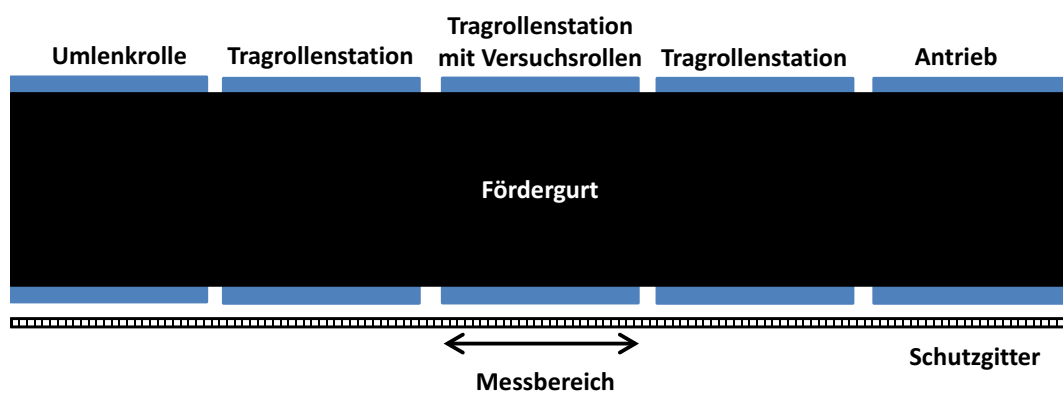


Abbildung 18: Skizze des Versuchsgurtförderers und Messaufbaus

Die mittlere Tragrollenstation wird pro Messdurchlauf mit den jeweiligen zu prüfenden Versuchsrollen bestückt (Abbildung 18). Die Schallemissionsmessungen werden freihand im Messbereich durchgeführt. Die dabei verwendeten Messgeräte sind Brüel & Kjær Analysator Typ 2270, Brüel & Kjær Schallintensitätssonde Typ 2683 mit einem 12 mm Distanzstück und einem Brüel & Kjær Mikrofon Typ 4189. Der Messpfad wird parallel zum Schutzgitter vor der zu untersuchenden Tragrollenstation abgetastet. Der Messabstand zu den Tragrollen beträgt 500 mm [26].

4.1.4 Die Tragrolle

Historisch betrachtet lässt sich die Entwicklung von Gurtförderanlagen und Tragrollen bis in das 19. Jahrhundert zurückverfolgen. Die Verwendung von Gurtförderanlagen kann bis etwa 1860 zurückverfolgt werden. [22] Die ersten dokumentierten Versuche mit Gurtbandförderern wurden von Mr. Westmacott durchgeführt. [22] Die Förderer wurden weiterentwickelt und wurden in verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt, zum Beispiel in der Braunkohleförderung. [22] Prof. M. Buhle von der Technische Hochschule Dresden schrieb 1906: *„Gurtförderer sind seit über 50 Jahren im Gebrauch, und zwar wurden sie zuerst angewendet zum Transport von leichten Sammelkörpern, wie Getreide, Hülsenfrüchte u. dergl. ... Als man später die Gurte zur Förderung von Sand, Kies, Zement, Erz, Kohle, Steinen usw., d. h. schweren Massengütern, verwendete, wurden die Schrägrollen jeder Tragrolle beigegeben, um gleichsam einen fortlaufenden Trog, eine bewegliche Rinne zu schaffen, in welcher das Gut allerdings nicht floss, vielmehr ruhte und zusammengehalten wurde. Erst allmählich kam man zu der heute gebräuchlichen, einfachen Gestaltung der Gurtträger, welche aus einer mittleren waagerechten Rolle und zwei seitlichen schrägen Rollen bestehen.“*[22]

Aus technischer Sicht werden Tragrollen (Abbildung 19) in einer Gurtförderanlage einzeln in Stationen oder zu einer Girlande verbundene Tragrollen in Gerüsten verbaut (Abbildung 20). Die technischen Eigenschaften von Tragrollen sind in der DIN 15207 [23] definiert. Eine Beschreibung von lärmgeminderten Tragrollen und deren Anforderungen sowie zu überprüfende technische Parameter wird nicht gegeben. Nur die bereits genannte VDI 2341 gibt Einflussgrößen an, welche akustisch wirksam seien. Spezifische Grenzwerte von zu prüfenden mechanischen oder akustischen Kennwerten werden nicht genannt. Daraus folgt, dass ein Anlagenbetreiber selbst in seiner Lieferanforderung mechanische und akustische Kenn- und Grenzwerte definieren muss. Dabei kann sich dieser nur an Auflagen, Gesetze und Umweltschutzbestimmungen hinsichtlich des Lärms orientieren. Das gilt für immissionsrelevante Strecken, die sich in der Nähe der Nachbarschaft befinden.

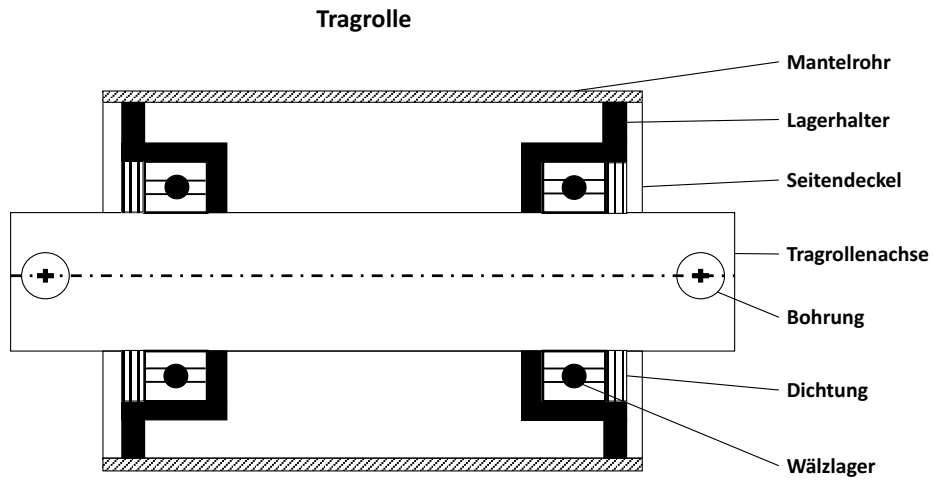


Abbildung 19: Skizze Tragrolle

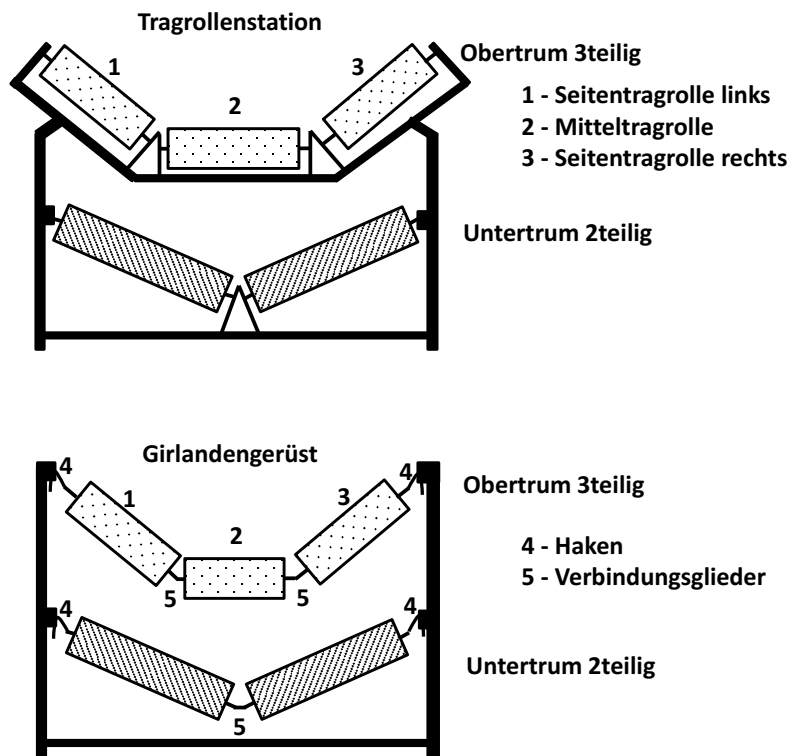


Abbildung 20: Skizze Tragrollenstation und Girlandengerüst

In der Praxis hat sich hierbei die LE-B-Lieferanforderung A für lärmgeminderte Tragrollen bewährt. Diese Lieferanforderung ist eine betriebsinterne Norm. Der Anlagenbetreiber beschreibt mit dieser Norm seine technischen Bedürfnisse speziell für das Maschinenelement Tragrolle. Diese gehen über die aktuellen allgemeinen Normen und Richtlinien hinaus. Am Tragrollenprüfstand wird abhängig vom Tragrollentyp darin ein nicht zu überschreitender Schalleistungspegel von 70 dB(A) bei der Umfangsgeschwindigkeit 7,5 m/s, oder 74 dB(A) bei 10 m/s vorgegeben. Zuzüglich werden die Grenzen der Rundlaufkennwerte des Tragrollenmantels definiert. Die Kreisformabweichung ist mit 0,1 mm (+50 % Toleranz) und die Exzentrizität mit 0,05 mm (+50 % Toleranz) vorgegeben. Daraus folgt eine nicht zu überschreitende Rundlaufabweichung von 0,2 mm. Des Weiteren wird eine Unwuchtgütestufe von G14 gefordert. Weiterhin werden Kennwerte der Rohrwandstärke, der Lager, Lagerhalter, Tragrollenachse und die Oberflächenrauheit der Manteloberfläche definiert [24]. Diese Anforderungen werden am Tragrollenprüfstand vor Einbau der Tragrollen in die Gurtförderanlage geprüft. Daraus ergeben sich Vorteile:

Der Anlagenbetreiber hat vorab die Möglichkeit, bei einer Wareneingangsprüfung bei Nichteinhaltung der Kennwerte beim Hersteller die Tragrollen zu reklamieren.

Die Qualitäten der Tragrollentypen verschiedener Hersteller sind vergleichbar.

Es lassen sich Lärmmodelle einer Anlage entwickeln. Die Messergebnisse erhöhen dabei das Prognosepotential.

Die Gefahr einer Fehlinvestition wird reduziert. Ohne Untersuchung am Tragrollenprüfstand kann erst nach erfolgtem Einbau der Tragrollen in die Gurtförderanlage eine lärmtechnische Prüfung durchgeführt werden.

Im Rahmen der Untersuchungen werden lärmgeminderte Tragrollen verschiedener Hersteller betrachtet. Diese zu betrachtenden Tragrollen werden durch das Fertigungsverfahren des abspannenden Drehens [25] des Tragrollenmantels produziert. Durch das Überdrehen wird die Anregung zur Schallabstrahlung über den Mantel während des Abrollens am Fördergurt reduziert, was zu einer Minderung der Geräuschemission führt (Abbildung 16). Die Hersteller der Tragrollen wenden für die Produktion unterschiedliche Verfahrensweisen an.

Fertigungsverfahren lärmgeminderter Tragrollen Hersteller A

Mit dem Zuschnitt der Rollenrohre und Achsen beginnt die Tragrollenfertigung. Das Entgraten der Enden erfolgt automatisch. Nach dem Zuschnitt werden die Rollenböden in die Rohre gedrückt. Danach erfolgt im MAG (Metall – Aktivgas) Schweißverfahren ein zeitgleiches und beidseitiges Anheften der Rollenböden an das Tragrollenrohr. Eine durchgängig umlaufende Kehlnaht zwischen Rollenboden und dem Rohr entsteht. Die Kontrolle der Schweißdaten erfolgt mit Parameter Monitoring. *Die Überprüfung des Rollenbodensitzes auf Einpresstiefe und Planlauf wird in einem Zwischenschritt mit einem Lasermesssystem realisiert.* Nach positiver Zwischenprüfung wird die Schweißbaugruppe zur abspannenden Fertigung weitergeleitet. Hochpräzise CNC – Drehautomaten fertigen in einer Aufspannung die Lagersitze. Durch das Aufspannen bei Achse und Rohr werden die Kugellagersitze der Achse und des Rohres in einer Flucht gefertigt. Bei lärmgeminderten Tragrollen erfolgt anschließend das Überdrehen der Rolle. Anschließend erfolgt das Fräsen und Bohren der Achsenden in einem Bearbeitungszentrum. Der Zusammenbau der Tragrolle erfolgt auf einer vollautomatischen Montagelinie. Roboter fügen die Einzelkomponenten zusammen. Wälzlager und Dichtungssystem werden auf der Achse in die Baugruppe gepresst. Die Qualitätskontrolle von Rundlauf, Laufwiderstand, Axialspiel und Wuchtgüte erfolgt automatisch. Die Wuchtgüte wird vor und nach dem Zusammenbau überprüft. Die Montage der Staubdeckel mit integrierten Auswuchtmassen erfolgt anschließend. Nach Lackierung und Konservierung ist die Tragrolle versandfertig. Bei höheren Fertigungsstückzahlen werden aus der laufenden Produktion Stichproben zur Qualitätskontrolle entnommen. [26]

Fertigungsverfahren lärmgeminderter Tragrollen Hersteller B

Die unbearbeiteten längsnahtgeschweißten Rohre aus S235JRG2 Stahl werden nach EN 10025 im ersten Arbeitsschritt auf Maß zugeschnitten. In den Rohrmantel werden die Lagergehäuse eingepresst. Aufgrund entstehender Wärme beim Schweißvorgang wird in Viertelumdrehungen das Lagergehäuse mit dem Rohrmantel verschweißt. Das Lagergehäuse ist aus tiefgezogenem Stahl, kalt umgeformt und kalibriert nach ISO M7. Danach erfolgt zur Fertigung einer lärmgeminderten Tragrolle das Überdrehen des Rohrmantels. Das Halten des Rohrmantels wird über Backen realisiert, die das Rohr von innen nach außen festspannen. Nachfolgend wird die Baugruppe dynamisch ausgewuchtet. Der Zusammenbau wird mit dem Einpressen von Wälzlager, Achse, Dichtungssatz und Deckel abgeschlossen. Eingesetzt werden einreihige Rillenkugellager nach DIN 625 der Bauart 62 oder 63 mit Lagerluft C3 oder C4. Bei der Einpressung des Wälzlagers wird zeitgleich das Schmierfett hinzugefügt. Verwendet werden Lithiumfette oder Spezialfette für den Einsatz im Tief- bzw. Hochtemperaturbereich. Der Dichtungssatz wird auf das Wälzlager gepresst. Ein Dichtungssatz besteht aus einer Innendichtung und einer Labyrinthdichtung. Nach der Qualitätskontrolle erfolgt die Konservierung der Tragrolle. [26]

4.1.5 Der Anschlagversuch an Tragrollen

Um objektiv das Abklingverhalten einer Tragrolle bewerten zu können, wurde an der BTU Cottbus-Senftenberg ein Verfahren [36] am Tragrollenprüfstand entwickelt. Dabei wird die Tragrolle definiert durch ein Pendel angeschlagen (Abbildung 21) und der durch die Tragrolle emittierte Schall mit den drei Messmikrofonen aufgenommen.

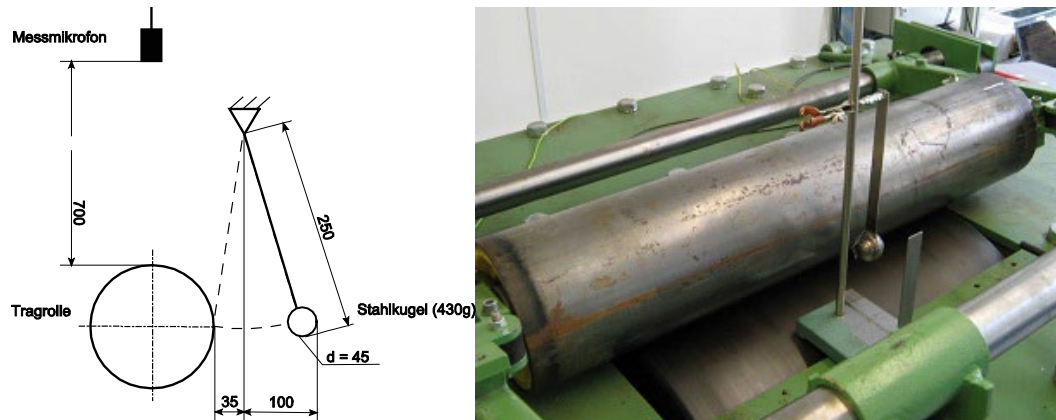


Abbildung 21: Skizze und Messaufbau des Anschlagversuchs bei Tragrollen [36] [47]

Mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation (FFT), ein Verfahren zur Frequenzanalyse von Schall und Schwingungen [12], werden aus dem Zeitsignal die Eigenfrequenzen [46] der Tragrolle (Abbildung 22) und über die Bildung des gleitenden Effektivwertes des Schalldruckes die Abklingkurve der Tragrolle ermittelt [36] (Abbildung 23).

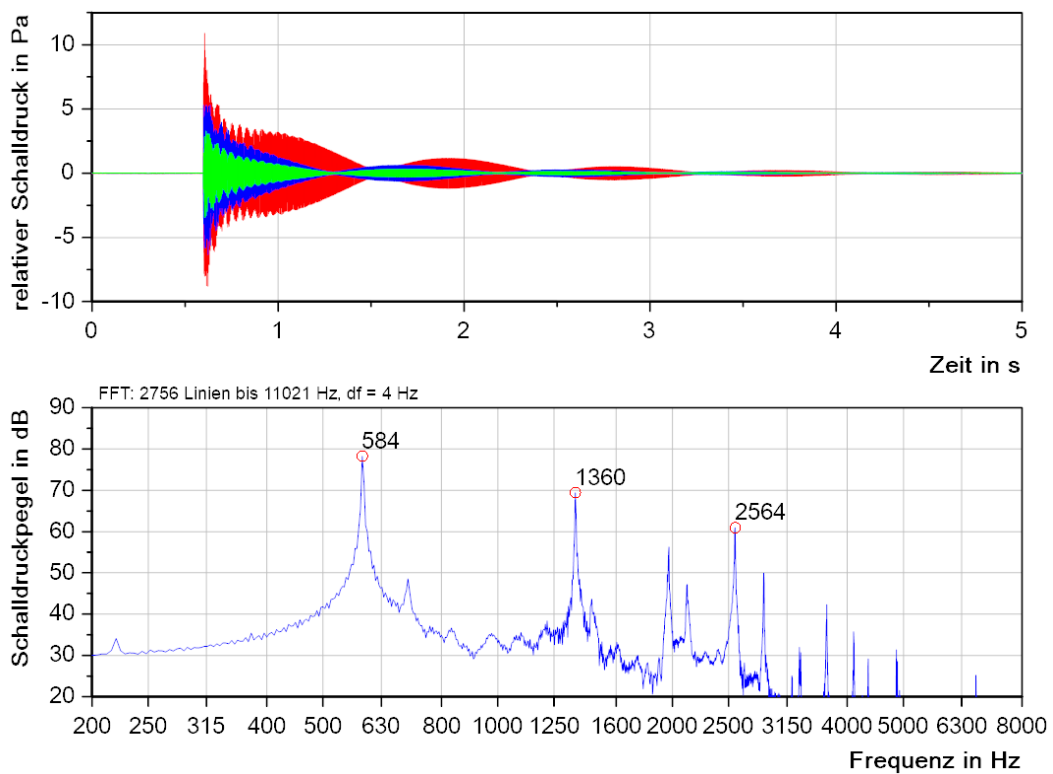


Abbildung 22: Anschlagversuch Zeitsignal und Frequenzanalyse [36] [47]

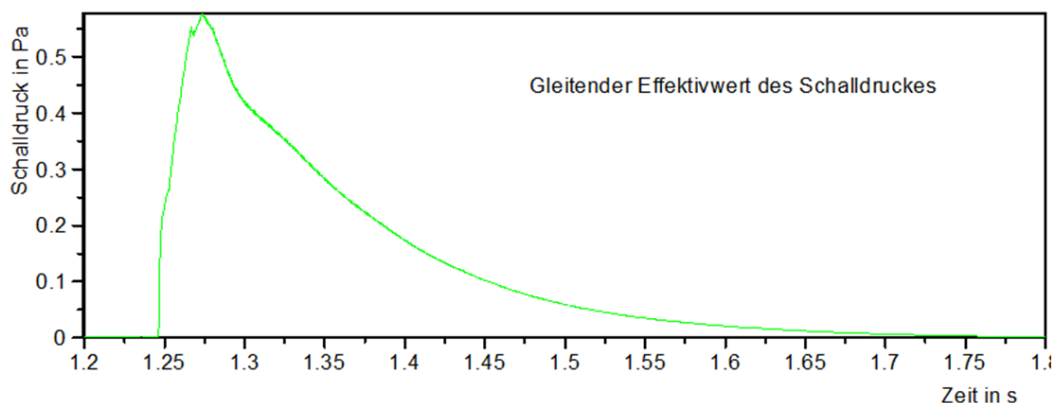


Abbildung 23: Ermittlung der Abklingkurve einer Tragrolle [36] [47]

Die Ergebnisse, die ersten drei Eigenfrequenzen [46] der Tragrolle, der Abklingwert bei 0,1 s und das Abklingdiagramm werden im Prüfungsprotokoll dokumentiert.

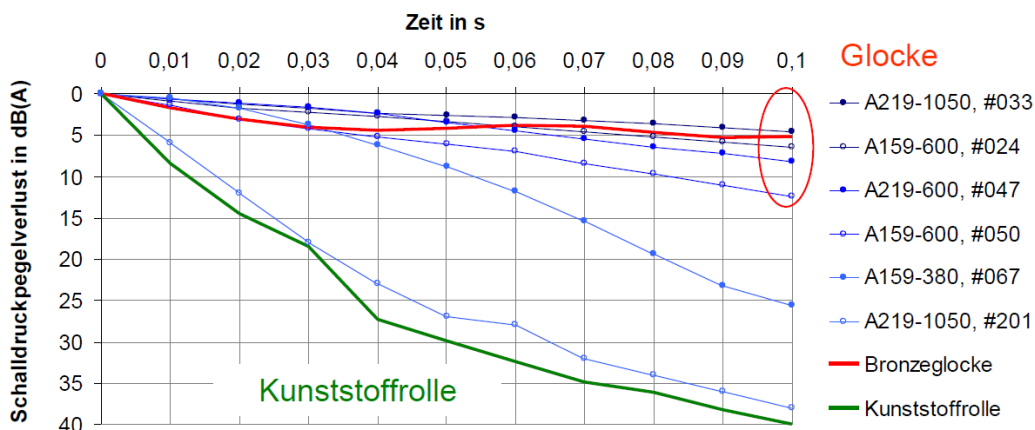


Abbildung 24: Schematische Darstellung Schalldruckpegelabfall von Tragrollen im Vergleich zu einer Glocke und einer Kunststoffrolle [36] [47]

Hinsichtlich einer Interpretation der Diagramme muss die Drehfrequenz der Tragrolle bekannt sein.

Beispiel:

Angenommen wird eine Anregung pro Umdrehung. Daraus folgt, dass eine Tragrolle mit einer Drehfrequenz von 20 Hz in 0,05 s eine Anregung erfährt. Im Falle der Kunststoffrolle (Abbildung 24) entspricht das einem Schalldruckpegelverlust von 30 dB(A).

4.1.6 Zusammenfassung

Das Labor Tragrollenprüfstand hat die Möglichkeit, die akustischen und mechanischen Kennwerte einer Tragrolle zu erfassen. Am Tragrollenprüfstand [1] kann der Schalleistungspegel einer Tragrolle in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit bis 15 m/s ermittelt werden. Mit Hilfe des Anschlagversuches an einer Tragrolle werden die Eigenfrequenzen [46] und der Abklingwert [47] festgestellt.

Die Rundlaufmessung einer Tragrolle wird am Tragrollenprüfstand mit einem Laser – Messsystem realisiert. Simultan wird an drei Messstellen die Rundlaufabweichung ermittelt. Aus diesen Messwerten werden die Kreisformabweichung und Exzentrizität berechnet [1].

Am Unwuchtprüfstand werden für eine Tragrolle jeweils in zwei Ebenen die Restunwuchtmasse und deren Winkellage ermittelt.

In der Versuchsgurtförderanlage können die Prüftragrollen in einer Station unter relativ realistischen Bedingungen untersucht werden.

Das Maschinenelement Tragrolle ist ein relativ einfach aufgebautes Bauteil einer Gurtförderanlage. Hinsichtlich der Fertigung von Tragrollen sind verschiedene Herstellungsvarianten möglich. Die Tragrolle findet in Normen und Richtlinien Beachtung, konkrete akustische bzw. mechanische Vorgaben von Tragrollen sind in der Lieferanforderung der Anlagenbetreiber zu finden. Die Anforderungen an Tragrollen werden im Labor Tragrollenprüfstand überprüft. Diese Möglichkeiten werden folgend benutzt, um Unwucht und Lärm bei Tragrollen für ebenerdige Gurtförderanlagen zu betrachten.

4.2 Untersuchungen Unwucht und Schallemission von lärmgeminderten Tragrollen am Tragrollenprüfstand

Die Untersuchungen betrachten die akustische Wirkung einer mit verschiedenen Unwuchten behafteten Tragrolle am Tragrollenprüfstand (Abbildung 25) mit geringer Außermittigkeit der Drehachse. Dazu wird die über Gummidämpfer eingespannte Prüfrolle von einer Walze angetrieben. An der Kontaktzone werden Belastungen von etwa 3,5 kN eingestellt. Die geprüften Unwuchtpaare liegen in den beiden Radialebenen (Seitendeckel) gegenüber sowie um 180 Grad versetzt. Stufenweise wird mit Massestücken die Unwucht erhöht und jeweils der sich einstellende Istzustand von Restunwuchtmasse und Schalleistungspegel ermittelt. Nach der Literaturangabe [8] ist eine Erhöhung der Schalleistung mit steigender Unwucht zu erwarten. Die Ergebnisse beziehen sich auf Prüfstandsdaten. Die Wirkung der Unwucht auf die Lebensdauer der Wälzlager, angrenzende Bauteile oder Baugruppen sowie auftretende Resonanzen bei Großgeräten im Tagebau, Förderbrücken oder Überführungen werden nicht betrachtet. [14]

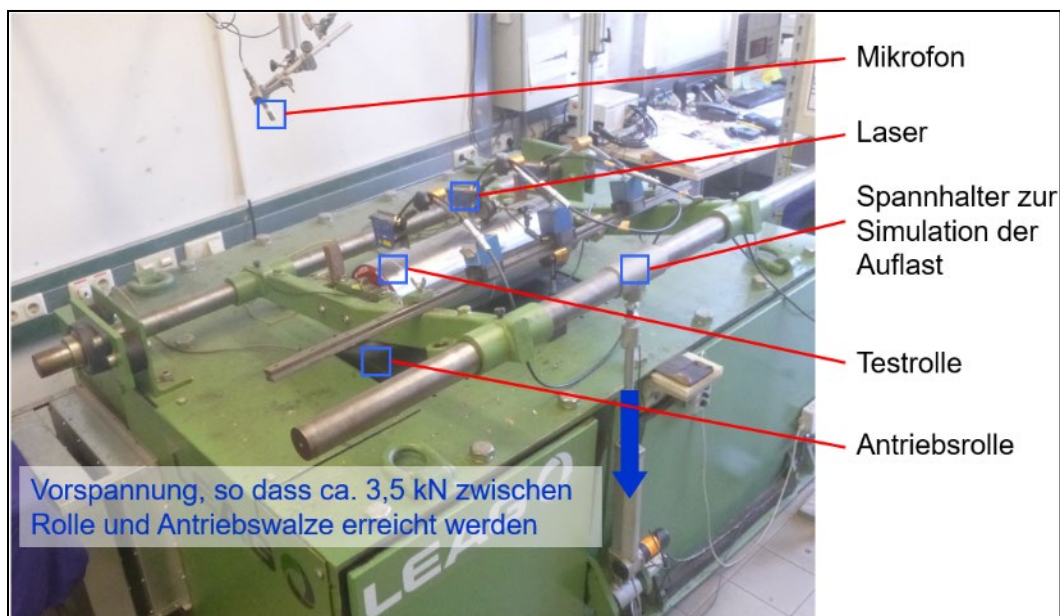


Abbildung 25: Tragrollenprüfstand [14]

Mit Hilfe einer Prüftragrolle kann bei gleichbleibenden mechanischen Kennwerten der Manteloberfläche und damit gleichbleibender Anregung zur Schallabstrahlung über den Tragrollenmantel festgestellt werden, inwiefern sich der Schalleistungspegel bei schrittweise zunehmender Unwucht verändert. [14]

4.2.1 Wirkung von Unwucht auf die Schallemission einer Tragrolle

Bestandteile dieser Untersuchungen sind:

- **Erfassung der Unwucht** – Das Messen der Restunwuchtmasse und der Winkellage am Unwuchtprüfstand.
- **Hochfahrprüfläufe** – Dabei wird eine Tragrolle unter Prüflast auf eine Umfangsgeschwindigkeit von 7,5 m/s beschleunigt und der Schalldruckpegel aufgezeichnet. Dies ermöglicht die Berechnung des Schalleistungspegels in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit.

4.2.2 Prüftragrolle

Zur Durchführung der Untersuchung wurde eine modifizierte lärmgeminderte Tragrolle vom Typ A194x750-6310-G2-18-L mit der Schlagzahl #0611 herangezogen. Die Tragrolle ist überdreht, gewuchtet und innen gedämpft. Für die Versuchsdurchführung wurden Gewindestangen zur Befestigung der Unwuchtmassen gegenüberliegend an den Seitendeckeln der Tragrolle angeschweißt (Abbildung 26). [14]

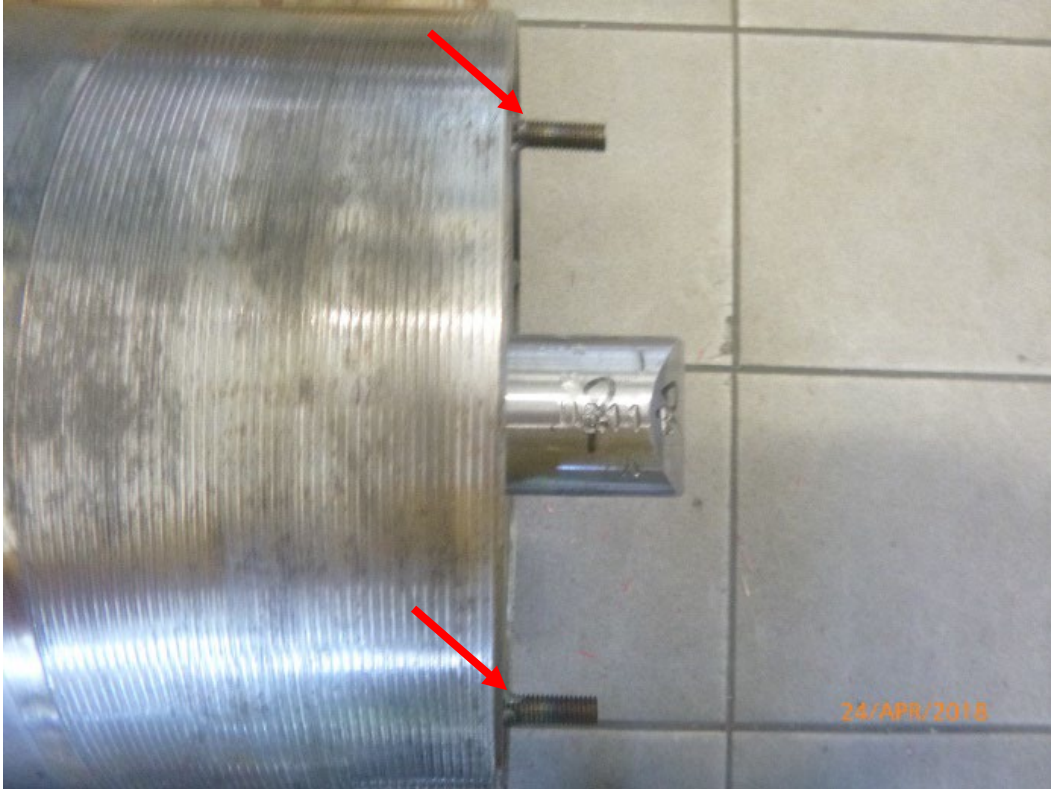


Abbildung 26: modifizierte Prüftragrolle #0611 mit den seitlich angebrachten Gewindestangen für die zusätzlichen Massestücke [14]

Die danach am Unwuchtprüfstand ermittelte Restunwuchtmasse der Tragrolle beträgt 23 g. Mit $r_U = 97 \text{ mm}$ folgt aus (3-1) [18]:

$$U = 2231 \text{ gmm}$$

Die Unwucht beträgt 2231 gmm. Nach Herstellerangabe hat die Tragrolle eine Masse rotierender Teile von $m_{\text{rot}} = 35,0 \text{ kg}$.

Die Winkelgeschwindigkeit ω aus der technischen Schwingungslehre [32] wird berechnet mit (3-6)

Die Drehfrequenz f beschreibt die Umdrehungen n pro Sekunde. Aus der Umfangsgeschwindigkeit $v=7,5 \text{ m/s}$ und dem Radius $r_U=0,097 \text{ m}$ lässt sich mit (3-7) berechnen [32]:

$$n = 12,31 \text{ [1/s]}$$

Aus (3-6) folgt [32]:

$$\omega = 77,34 \text{ [1/s]}$$

Die Gütestufe G wird berechnet mit (3-2) [18]:

$$G = 4,92 \text{ mm/s}$$

Die Gütestufe beträgt 4,9 mm/s. Tabelle 1 zeigt die festgestellten Rundlaufkennwerte [1] der Tragrolle #0611 (MS-Messstelle, RDL-Rundlauf-abweichung, EXZ-Exzentrizität, KFA-Kreisformabweichung). Der Schallleistungspegel von 62 dB(A) bei der Umfangsgeschwindigkeit 7,5 m/s, die Rundlaufkennwerte und Gütestufe entsprechen der LE-B-Lieferanforderung für lärmgeminderte Tragrollen.

Tabelle 1: Rundlaufkennwerte Prüftragrolle #0611 laut Messprotokoll [14]

	Rundlauf MS1 (rechts)			Rundlauf MS2(mitte)			Rundlauf MS3(links)		
	RDL	EXZ	KFA	RDL	EXZ	KFA	RDL	EXZ	KFA
				0,200	0,050	0,100			
Kennnummer				Kriterien:					
Schlagzahl				eingehalten	bis +50%	> 50%			
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
#0611	0,065	0,023	0,032	0,049	0,016	0,033	0,038	0,010	0,029

4.2.3 Untersuchungsablauf

In der folgenden Tabelle (Tabelle 2) wird die Untersuchungsmatrix dargestellt.

Tabelle 2: Untersuchungsmatrix des Versuches Unwucht und Schallemission

Schritt:	1	2	1	2
Messung:	μ [g]	L_w [dB(A)]	μ [g]	L_w [dB(A)]
Lauf:	statisch	bei 7,5 m/s	dynamisch	bei 7,5 m/s
0	23	62	24	62
1	24	62	20	62
...
12	407	62	414	62

Die Versuchsreihen werden die akustische Wirkung einer statischen und dynamischen Unwucht (Momentenunwucht) prüfen. Die Unwuchtpaare liegen sich in den beiden verschiedenen Radialebenen genau gegenüber sowie um 180 Grad versetzt. Bei der Tragrolle wird stufenweise mit Massestücken die Unwucht erhöht (Abbildung 27). [14]



Abbildung 27: Prüftragrolle #0611 mit Massestücken (roter Pfeil) im Unwuchtprüfstand [14]

Hierzu werden als Massestücke Unterlegscheiben mit einer Masse von etwa 11,5 g und Bleigewichte von etwa 150 g verwendet. Aufgrund konstruktiver Gegebenheiten sind daraus folgend jeweils für den Fall Momentenunwucht und statische Unwucht 12 Messungen durchführbar.

Zu erwarten ist eine Erhöhung der Schalleistung in Abhängigkeit der steigenden Unwucht der Tragrolle, die sich mit größer werdenden Pegeldifferenzen im Vergleich zum Ausgangszustand darstellen lassen sollte (Abbildung 28). [14]

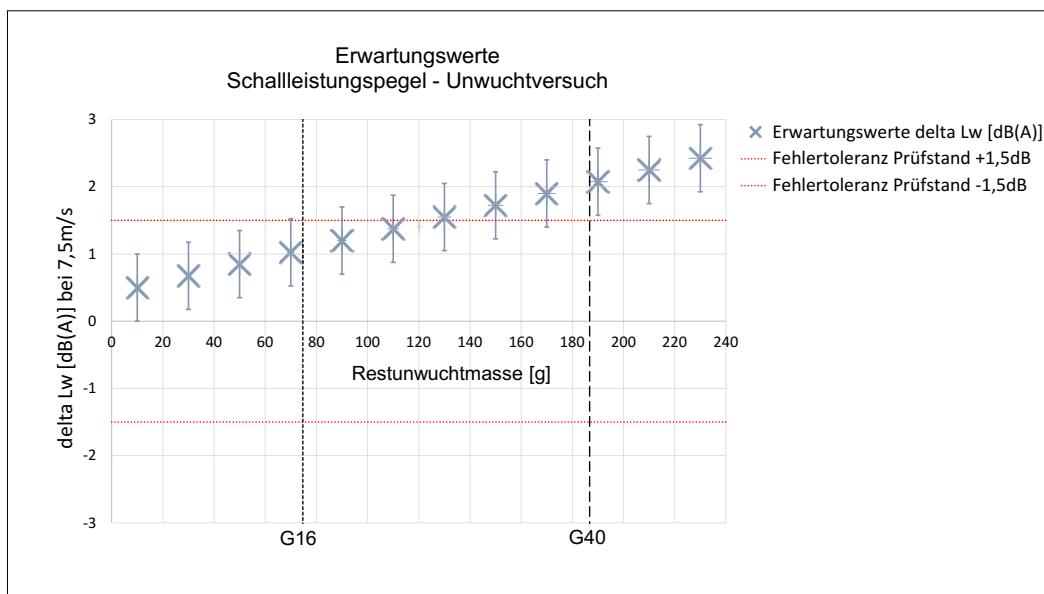


Abbildung 28: Darstellung möglicher Erwartungswerte Schalleistungspegel – Unwuchtversuch [14]

4.2.4 Untersuchungsergebnis

Die festgestellten Änderungen des Schalleistungspegels durch eine stufenweise Unwuchterhöhung verlaufen innerhalb der Abweichungen vom Tragrollenprüfstand. Es konnte auch nach dem Überschreiten der Gütestufe G80 keine signifikante Steigerung des Schalleistungspegels nachgewiesen werden (Abbildung 29). [14]

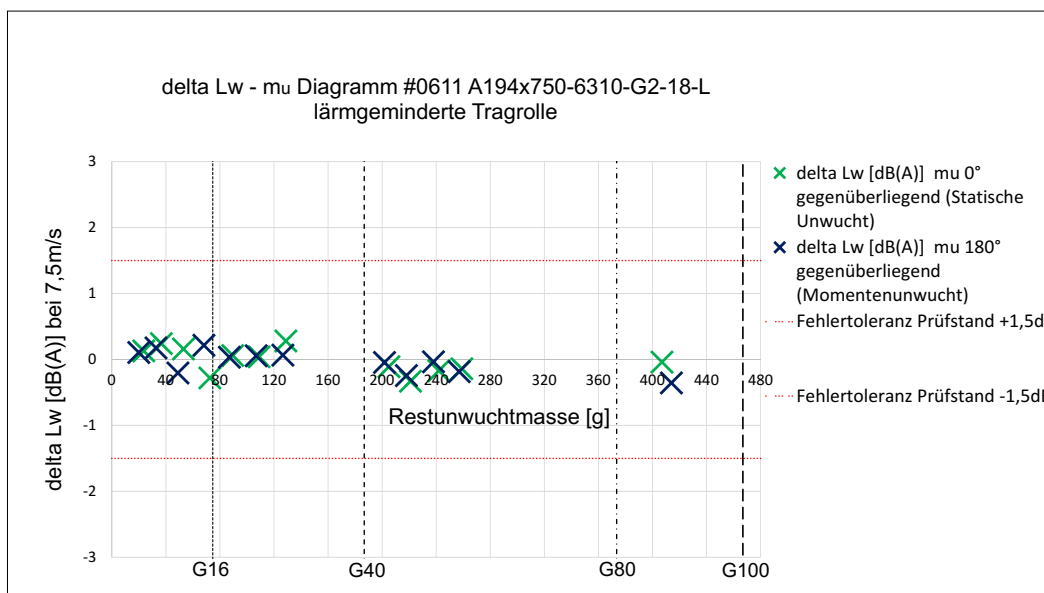


Abbildung 29: Differenzen des Schalleistungspegels über der Restunwuchtmass [14]

4.2.5 Untersuchungsergebnis und weitere Vorgehensweise

Die Versuchsreihen zur Prüfung der akustischen Wirkung durch zusätzliche Unwuchtmassen einer Tragrolle konnten keine Erhöhung der Schallemissionen nachweisen. Das lässt die These zu, dass kein kausaler Zusammenhang zwischen Unwucht und Geräuschemission bei Tragrollen für Gurtförderanlagen besteht. Es sind weitere Untersuchungen erforderlich, um diese These im realen Förderbetrieb zu bestätigen.

Die Untersuchungen müssen z. B. folgende Fragen klären: War die Unwucht nicht ausreichend für eine Schallemissionserhöhung? War die Schallemission der Tragrolle vorab zu hoch? Zu welchen Ergebnissen gelangen die Prüfungen bei einer statistisch relevanten Anzahl an nicht gewuchteten Tragrollen? Wie verhalten sich diese Rollen als Girlande? Gibt es andere relevante Einflüsse für die Geräuschemission an Gurtförderanlagen und wie wirken diese? Wie wirken Anbackungen?

Die nächsten Schritte sind die Untersuchungen am Tragrollenprüfstand zur akustischen Wirkung von Anbackungen an Tragrollen, als auch Tragrollen, überdreht und nicht gewuchtet, verschiedener Hersteller aus dem Produktionsprozess heraus. Abschließend erfolgt die Betrachtung von Feldversuchen dieser Tragrollen in Gurtförderanlagen.

Sollten Feldtests die eindeutigen Ergebnisse am Prüfstand bestätigen, sind bei Einhaltung von Geometrievorgaben durch eine Verminderung der Auswuchtgüte Kostenreduzierungen oder zumindest Vereinfachungen im Fertigungsprozess von Tragrollen zu erwarten. [14]

4.3 Anbackungen - Untersuchungen zur Wirkung der Unwucht auf die Schallemission von Tragrollen

Die vorgestellten Untersuchungen betrachten die akustische Wirkung von Anbackungen an Tragrollen und der daraus resultierenden Unwucht sowie einer mit verschiedenen Unwuchten behafteten Prüfrolle am Tragrollenprüfstand mit geringer Außermittigkeit der Drehachse und definiert angebrachten Klebestreifen auf der Manteloberfläche. Dazu treibt eine Walze die über Gummidämpfer eingespannte Prüfrolle an. An der Kontaktzone werden Belastungen von etwa 3,5 kN eingestellt. Die geprüften Unwuchtpaare liegen in den beiden Radialebenen (Seitendeckel) gegenüber sowie um 180 Grad versetzt. Stufenweise wird mit Massestücken die Unwucht erhöht sowie weiterführend erst phasengleich, dann ergänzend um 180 Grad versetzt Klebestreifen auf dem Tragrollenmantel angebracht. Die Klebestreifen simulieren reproduzierbar Anbackungen, welche sich gegenüberliegend hinsichtlich ihrer Unwuchtmasse ausgleichen. Jeweils wird der sich einstellende Istzustand von Restunwuchtmasse und Schalleistungspegel ermittelt. Nach den Literaturangaben ist eine Erhöhung der Schalleistung mit steigender Unwucht und bei Anbackungen zu erwarten.

Fördergutanbackungen erhöhen nach der genannten VDI-Richtlinie die Unwucht der Tragrolle und die Rundlaufabweichung. Nachweislich durch einen Klebestreifenversuch wird durch die größere Kreisformabweichung (ein Anteil der Rundlaufabweichung) die Anregung zur Schallabstrahlung erhöht [1]. Inwiefern jedoch hat die Unwucht einen Einfluss auf die Anregung?

Im Rahmen der Untersuchung werden akustische und mechanische Kenngrößen einer lärmgeminderten Tragrolle für ebenerdige Gurtförderanlagen betrachtet, um diese miteinander in Verbindung zu bringen. [27]

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen keinen Zusammenhang zwischen Unwucht und Geräuschemission einer Tragrolle (Abbildung 30).

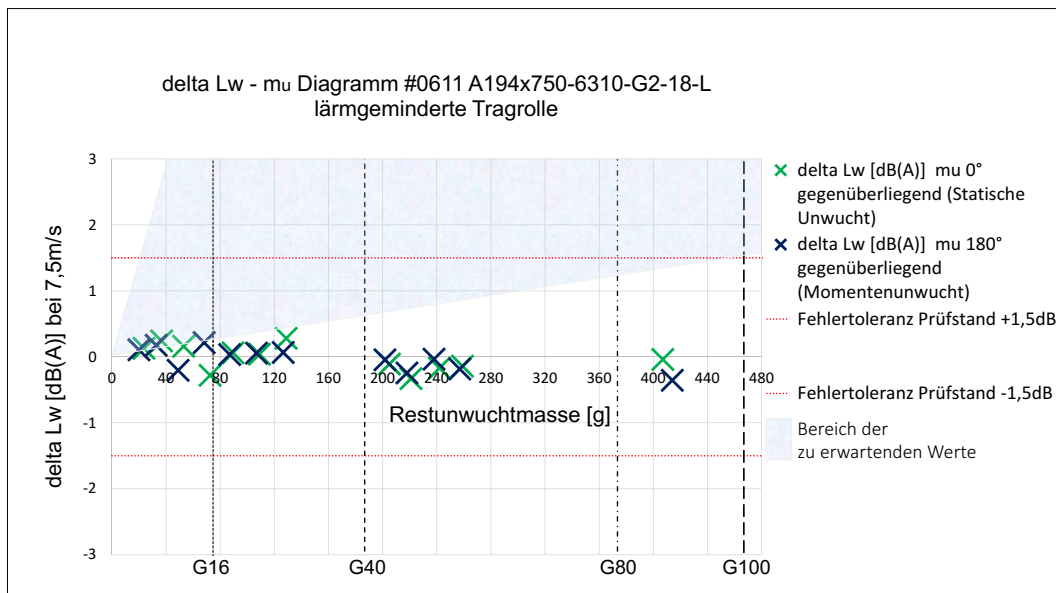


Abbildung 30: Untersuchungsergebnis Veröffentlichung Schüttguttagung 2018 [27]

Einer Einschätzung nach führen Fördergutanbackungen und die damit verbundene Auswirkung auf die Unwucht nachweislich zu einer Erhöhung der Geräuschemissionen.

Hierzu wird in einer Vorbetrachtung vergleichend das Ergebnis einer Versuchsreihe vorgestellt, bei der gebrauchte Tragrollen zuerst mit Anbackungen, dann nach der Reinigung ohne Anbackungen untersucht werden. [27]

4.3.1 Untersuchung mit anbackungsbehafteten Tragrollen

Bei dem geprüften Tragrollentyp handelt es sich um überdrehte und gewuchtete Rollen mit einem Durchmesser von 194 mm und 380 mm Länge (A194x380-6310-G1-21-L). Mit diesen gebrauchten Tragrollen wird eine Vergleichsmessungsreihe durchgeführt und die Kennnummern 2179 bis 2187 vergeben. Die Tragrollen wurden zuerst mit (Abbildung 31) und dann ohne Anbackungen geprüft. Ziel ist die Schallemission in Verbindung mit der durch die Anbackung verursachten Unwucht zu untersuchen. [27]



Abbildung 31: Anfangszustand der Tragrollen Typ A194x380-6310-G1-21-L [27]

Bestandteile dieser Untersuchungen sind (Tabelle 3):

- **Erfassung der Unwucht** – Das Messen der Restunwuchtmasse und der Winkellage am Unwuchtprüfstand.
- **Hochfahrprüfläufe** – Dabei wird eine Tragrolle unter Prüflast auf eine Umfangsgeschwindigkeit von 10 m/s beschleunigt und der Schalldruckpegel auf einer gedachten Hüllfläche aufgezeichnet. Dies ermöglicht die Berechnung des Schalleistungspegels in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit. [27]

Tabelle 3: Untersuchungsmatrix Anbackungen und Schallemission

Schritt:	1	2	3	1	2	3
Messung:	μ_u [g]	L_w [dB(A)]	KFA	μ_u [g]	L_w [dB(A)]	KFA
Tragrolle:	mit Anbackungen	bei 10 m/s	[mm]	ohne Anbackungen	bei 10 m/s	[mm]
2179	39	84	0,352	39	65	0,158
2180	36	85	0,612	36	68	0,022
...
2187	9	88	0,750	8	67	0,040

4.3.2 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse lassen sich als Differenz zwischen den Messwerten mit und ohne Anbackungen tabellarisch darstellen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Vergleich mit und ohne Anbackung #2179 bis #2187 [27]

Kennnummer LEAG:	2179	2180	2181	2182	2184	2185	2186	2187
delta Masse [kg]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	-0,05	-0,05
delta KFA max. [mm]:	-0,194	-0,589	-0,028	-0,071	-0,082	-0,003	-0,890	-0,710
delta L_w [dB(A)]:	-19	-17	-9	-7	-11	-18	-17	-21
delta Wuchtgüte G [mm/s]:	0	0	0	1	0	0	-1	0
delta μ links [g]:	0,20	-0,60	0,20	0,90	-0,30	0,40	-0,20	-0,92
delta Winkellage links [Grad]:	2	3	-2	-1	1	-2	-2	13
delta μ rechts [g]:	0,20	1,30	-0,20	-0,10	0,07	0,30	-1,10	0,25
delta Winkellage rechts [Grad]:	0	2	-1	0	-1	0	4	-3
delta μ gesamt [g]:	0,40	0,70	0,00	0,80	-0,23	0,70	-1,30	-0,67

Bei drei Tragrollen hat sich die Gesamtmasse um 50 g verringert. Daraus folgt, dass die Masse der Anbackungen insgesamt klein gegenüber der Gesamtmasse der Tragrolle bzw. der Masse der drehenden Teile ist.

Bei allen Tragrollen ist vom Zustand mit Anbackung zum Zustand ohne Anbackung eine Verringerung des Schalleistungspegels festzustellen. Die Reduzierung der Schalleistungspegel liegt zwischen 7 dB(A) bis 21 dB(A).

Daraus folgt, dass die Anbackungen direkt einen Einfluss auf die Schallemission einer Tragrolle ausüben. Die Wuchtgüte G betrachtend, ist in zwei Fällen eine Änderung zu verzeichnen. Bei der Tragrolle 2182 kommt es nach der Reinigung zu einer Erhöhung von 1 mm/s und bei der Tragrolle 2186 zu einer Verringerung von 1 mm/s.

Die Wirkung aus der Masse der Anbackungen bezüglich der Wuchtgüte der Tragrollen weisen nur geringe Änderungen auf. Die Unwucht wird hauptsächlich von der Masse der drehenden Teile der Tragrolle bestimmt. Dies verdeutlichen der Vergleich der festgestellten Restunwuchtmassen und deren Winkellage. [27]

Die Unterschiede zwischen den Messreihen mit Anbackung und ohne Anbackung verlaufen zwischen -1,3 g und +0,8 g. Die Veränderungen der Winkellage verlaufen hauptsächlich zwischen -3 Grad und +4 Grad. Nur an einer Messstelle (#2187 links) wurde eine Lageveränderung von 13 Grad festgestellt. [27]

4.3.3 Schlussfolgerung

Die Unwucht betrachtend ist festzustellen, dass die Anbackungen der untersuchten Tragrollen diese nur geringfügig beeinflussen. Die Entfernung der Anbackungen von der Manteloberfläche ist nicht gleichzusetzen mit einer Verminderung der Unwucht. Es kann sich auch eine Erhöhung der Unwucht nach der Reinigung der Manteloberfläche einstellen, wenn die Massen der Anbackungen und deren Lage auf dem Tragrollenmantel günstig verteilt waren.

Betrachtet man dieses Ergebnis im Zusammenhang mit der Verringerung des Schalleistungspegels bei allen Tragrollen nach der Reinigung ist festzustellen, dass die hauptsächlichliche Anregung zur Schallabstrahlung über die Manteloberfläche realisiert wird. Die Anbackungen führen zu Geometrieveränderungen (Kreisformabweichung – KFA) auf der Oberfläche der Tragrolle, welche dann die Anregungen zur Schallabstrahlung erhöht.

Ein direkter Zusammenhang zwischen Unwucht (hervorgerufen durch Anbackungen) und Geräuschemission konnte nicht nachgewiesen werden. Nachweisbar war der Einfluss der Geometrieveränderung auf der Manteloberfläche für die Schallemission von Tragrollen.

Diese Versuchsreihe kann mit einer beliebigen Anzahl an entsprechenden Tragrollen mit Anbackungen wiederholt werden. Nachteilig ist, dass das Ergebnis sich mit einer bereits geprüften Tragrolle durch die Änderungen im Prüfablauf nicht reproduzieren lässt. [27]

4.3.4 Untersuchung zur Wirkung von Anbackungen und Unwucht auf die Schallemission einer Tragrolle

Zur Untersuchung der Wirkung von Anbackungen und Unwucht auf die Schallemission einer Tragrolle wird eine Fördergutanbackung mit Hilfe von definierten Klebestreifen simuliert. Die aus dem Klebestreifen resultierende Unwucht wird mit einem zweiten, auf dem Tragrollenmantel um 180° versetzt, anzubringenden Klebestreifen „ausgewuchtet“. Der Nachweis für eine geometriebedingte Anregung zur Schallabstrahlung erfolgt dann durch eine theoretisch zu erwartende Pegelerhöhung von 3 dB, da sich in Abhängigkeit von der Drehfrequenz durch die Geometrieänderung der zwei Klebestreifen die Anregung verdoppelt.

Voraussetzung sind gleichbleibende geometriebedingte Änderungen sowie die für den Vergleich ausgesuchte Umfangsgeschwindigkeit der Tragrolle.

Diese Untersuchung soll mit Hilfe einer anderen, für das Experiment modifizierten lärmgeminderten Tragrolle, die Reproduzierbarkeit der bereits gewonnenen Ergebnisse nachweisen. [27]

Bestandteile dieser Untersuchungen sind (Tabelle 5):

- **Erfassung der Unwucht** – Das Messen der Restunwuchtmasse und Winkellage am Unwuchtprüfstand.
- **Hochfahrprüfläufe** – Dabei wird eine Tragrolle unter Prüflast auf eine Umfangsgeschwindigkeit von 7,5 m/s beschleunigt und der Schalldruckpegel aufgezeichnet. Dies ermöglicht die Berechnung des Schalleistungspegels in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit.
- **1. Klebestreifenversuch (1KS)** – Hochfahrprüfläufe, bei denen ein Klebestreifen von 150 mm Länge und einer Masse von 0,12 g mittig des Tragrollenmantels auf gleicher Winkelphase zur am Seitendeckel angebrachten Unwuchtmasse aufgeklebt wird.
- **2. Klebestreifenversuch (2KS)** – Hochfahrprüfläufe, bei denen ein zweiter Klebestreifen von 150 mm Länge und einer Masse von 0,12 g mittig um 180° gegenüberliegend des 1. Klebestreifens auf den Tragrollenmantel aufgeklebt wird. [27]

Tabelle 5: Untersuchungsmatrix Unwucht, Klebestreifen und Schallemission

Schritt:	1	2	3	4	1	2	3	4
Messung:	m_u [g]	L_w [dB(A)] bei 7,5 m/s	L_w [dB(A)] bei 7,5 m/s	L_w [dB(A)] bei 7,5 m/s	m_u [g]	L_w [dB(A)] bei 7,5 m/s	L_w [dB(A)] bei 7,5 m/s	L_w [dB(A)] bei 7,5 m/s
Lauf:	Statisch		1 Klebestreifen	2 Klebestreifen	dynamisch		1 Klebestreifen	2 Klebestreifen
0	39	62	68	72	39	61	68	72
1	61	61	68	72	44	62	68	72
...
9	450	61	68	71	1133	61	68	71

Zusätzlich wird die Wirkung von Anbackungen in Form von Klebestreifen untersucht. Dazu wird die über Gummidämpfer eingespannte Prüfrolle von einer Walze angetrieben. Die Tragrolle weist eine geringe Außermittigkeit der Drehachse auf, da sich die Wirkung von Exzentrizität und Unwucht in Richtung des Fördergurtes bzw. der Antriebswalze des Tragrollenprüfstandes mit einfachen Prüfmethode nicht trennen lässt. An der Kontaktzone zwischen Antriebswalze und Prüfrolle werden Belastungen von etwa 3,5 kN eingestellt. Die geprüften Unwuchtpaare liegen in den beiden Radialebenen (Seitendeckel) gegenüber sowie um 180 Grad versetzt. Stufenweise wird mit Massestücken die Unwucht erhöht und jeweils der sich einstellende Istzustand von Restunwuchtmasse und Schalleistungspegel ermittelt.

Nach der Ermittlung der unwuchtbedingten Lärmpegel erfolgen die beiden Klebestreifenversuche, bei denen jeweils die daraus resultierenden Schallemissionen gemessen werden. Die Ergebnisse beziehen sich auf Prüfstandsdaten. Die Wirkung der Unwucht auf die Lebensdauer der Wälzlager, angrenzende Bauteile oder Baugruppen sowie auftretende Resonanzen bei Großgeräten im Tagebau, Förderbrücken oder Überführungen werden hier nicht betrachtet.

Mit einer Prüftragrolle kann bei sonst gleichbleibenden mechanischen und akustischen Kennwerten der Manteloberfläche festgestellt werden, inwiefern sich der Schalleistungspegel bei schrittweise zunehmender Unwucht verändert. Mit der Prüfrolle kann auch der Einfluss der Klebestreifen untersucht werden. [27]

4.3.5 Prüftragrolle

Zur Durchführung der Untersuchung wird eine modifizierte lärmgeminderte Tragrolle vom Typ A194x750-6310-G2-18-L mit der Schlagzahl #0609 herangezogen. Die Rolle ist überdreht und gewuchtet. Für die Versuchsdurchführung wurden Gewindestangen zur Befestigung der Unwuchtmassen gegenüberliegend an den Seitendeckeln der Tragrolle angeschweißt (Abbildung 32).



Abbildung 32: modifizierte Prüftragrolle #0611 mit den seitlich angebrachten Gewindestangen für die zusätzlichen Massestücke (roter Pfeil) [27]

Die danach ermittelte Restunwuchtmass der Tragrolle beträgt 38,9 g. Das entspricht einer Unwucht von 3773,3 gmm. Nach Herstellerangabe hat die Tragrolle eine Masse drehender Teile von $m_{\text{rot}} = 30,8 \text{ kg}$. Daraus ergibt sich nach [3-2] eine Gütestufe von 9,5 mm/s. [27]

Tabelle 6 beschreibt die festgestellten Rundlaufkennwerte [1] der Tragrolle #0609 (MS-Messstelle, RDL-Rundlaufabweichung, EXZ-Exzentrizität, KFA-Kreisformabweichung). Der Schallleistungspegel von 62 dB(A) bei der Umfangsgeschwindigkeit 7,5 m/s, Rundlaufkennwerte und Gütestufe entsprechen der LE-B-Lieferanforderung für lärmgeminderte Tragrollen.

Tabelle 6: Rundlaufkennwerte Prüftragrolle #0609 laut Messprotokoll [27]

	Rundlauf MS1 (rechts)			Rundlauf MS2 (mitte)			Rundlauf MS3 (links)		
	RDL	EXZ	KFA	RDL	EXZ	KFA	RDL	EXZ	KFA
Kennnummer Schlaqzahl				0,200	0,050	0,100			
				Kriterien:					
				eingehalten	bis +50%	> 50%			
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
#0609	0,051	0,021	0,022	0,083	0,028	0,044	0,071	0,022	0,037

Die bei den Klebestreifenversuchen auftretenden Geometrieänderungen bei der Kreisformabweichung wurden gemessen und sind in Abbildung 33 und Abbildung 34 dargestellt. [27]

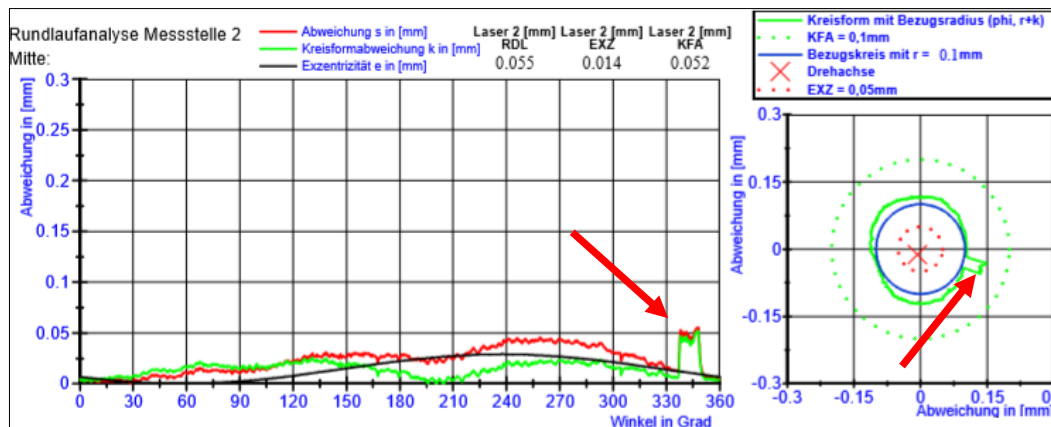


Abbildung 33: #0609 Rundlaufkennwerte mit einem Klebestreifen (rote Pfeile) [27]

Die Abbildung 34 zeigt, dass die Klebestreifen auf dem Tragrollenmantel um 180 Grad versetzt zueinander angebracht wurden. Die Klebestreifen gleichen sich somit hinsichtlich ihrer Masse gegenseitig aus.

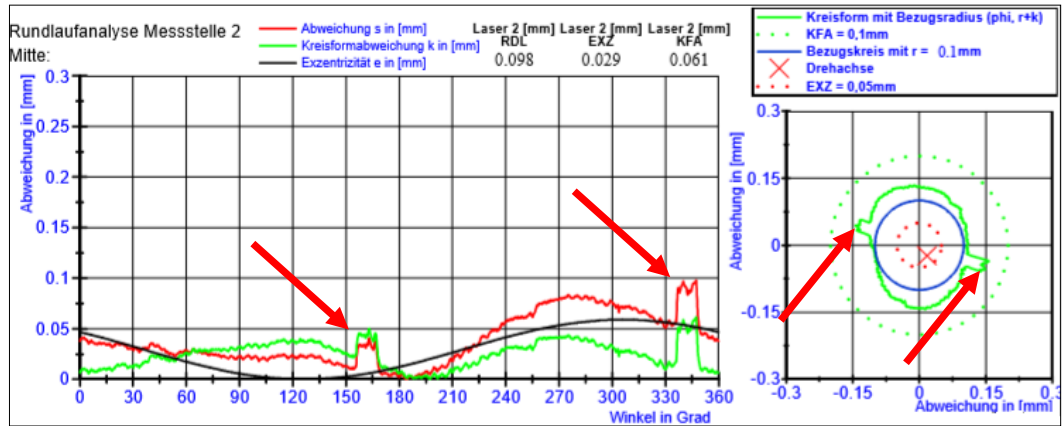


Abbildung 34: #0609 Rundlaufkennwerte mit zwei Klebestreifen (rote Pfeile) [27]

4.3.6 Untersuchungsablauf

Mit den Versuchsreihen erfolgt die Prüfung der akustischen Wirkung einer statischen Unwucht und einer Momentenunwucht. Die Unwuchtpaare liegen zueinander in den beiden verschiedenen Radialebenen genau gegenüber sowie um 180 Grad versetzt. Bei der Tragrolle wird stufenweise mit Massestücken die Unwucht erhöht (Abbildung 35). [27]



Abbildung 35: Prüftraggrolle #0609 mit Massestücken (roter Pfeil) im Tragrollenprüfstand [27]

Hierzu werden als zusätzliche Massestücke Scheiben mit etwa 11,5 g und Bleigewichte von etwa 150 g bzw. 800 g verwendet. Aufgrund konstruktiver Gegebenheiten sind daraus folgend jeweils für den Fall „Momentenunwucht“ zehn und „statische Unwucht“ neun Messungen durchführbar (Tabelle 5).

Zu erwarten ist eine Erhöhung der Schalleistung in Abhängigkeit der Unwucht der Tragrolle, die mit größer werdenden Pegeldifferenzen im Vergleich zum Ausgangszustand dargestellt werden kann (Abbildung 36).

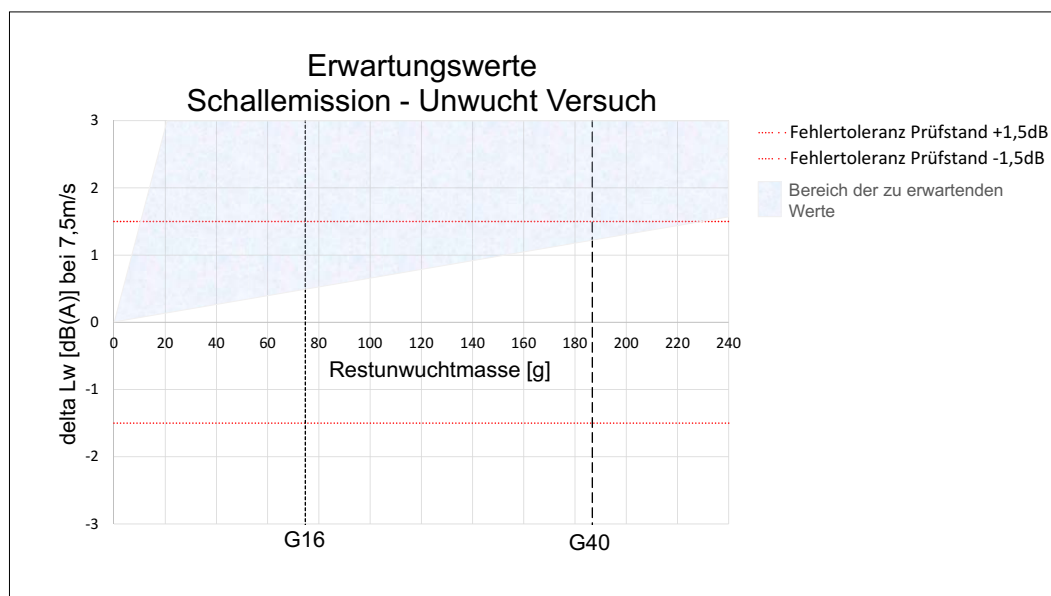


Abbildung 36: Darstellung möglicher Erwartungswerte Schalleistungspegel – Unwuchtversuch [27]

Pro Messschritt werden jeweils die Klebestreifenversuche durchgeführt. Unabhängig vom Ergebnis der Unwucht – Schallemissionsversuche ist bei den Klebestreifenversuchen mit einem Klebestreifen (Abbildung 37) eine deutliche Erhöhung des Lärmpegels zu erwarten. [27]



Abbildung 37: Prüftragrahne #0609 mit Klebestreifen (Pfeil) und Massestücken (Kreis) im Tragrollenprüfstand [27]

Die Masse des Klebestreifens ist mit 0,12 g klein gegenüber der an den Seitendeckeln angebrachten Unwuchtmass. Mit dem Anbringen des zweiten Klebestreifens, 180° auf dem Tragrollenmantel gegenüberliegend vom ersten Klebestreifen, heben sich die kleineren Massen der „simulierten Anbackungen“ auf. Der Nachweis für eine geometriebedingte Anregung zur Schallabstrahlung erfolgt durch eine weitere Erhöhung der Schallemission um 3 dB aufgrund der doppelten Anregung. [27]

4.3.7 Untersuchungsergebnis

Die festgestellten Änderungen des Schalleistungspegels durch eine stufenweise Unwuchterhöhung verlaufen innerhalb der Abweichungen vom Tragrollenprüfstand. Es konnte auch nach dem Überschreiten der Gütestufe G250 keine signifikante Steigerung des Schalleistungspegels nachgewiesen werden (Abbildung 38). [27]

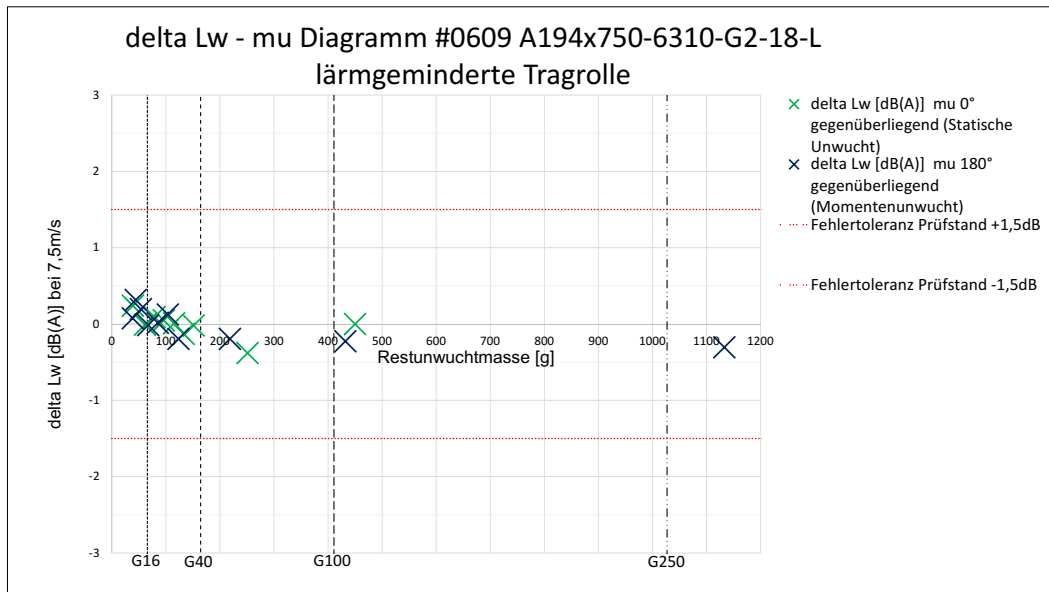


Abbildung 38: Differenzen des Schalleistungspegel über der Restunwuchtmasse der Prüftragrolle im Lastlauf [27]

Die Ergebnisse aus den Klebestreifenversuchen (Abbildung 39) zeigen eine sofortige Steigerung der Schalleistungspegel gegenüber den Unwucht – Schallemissionsversuchen. [27]

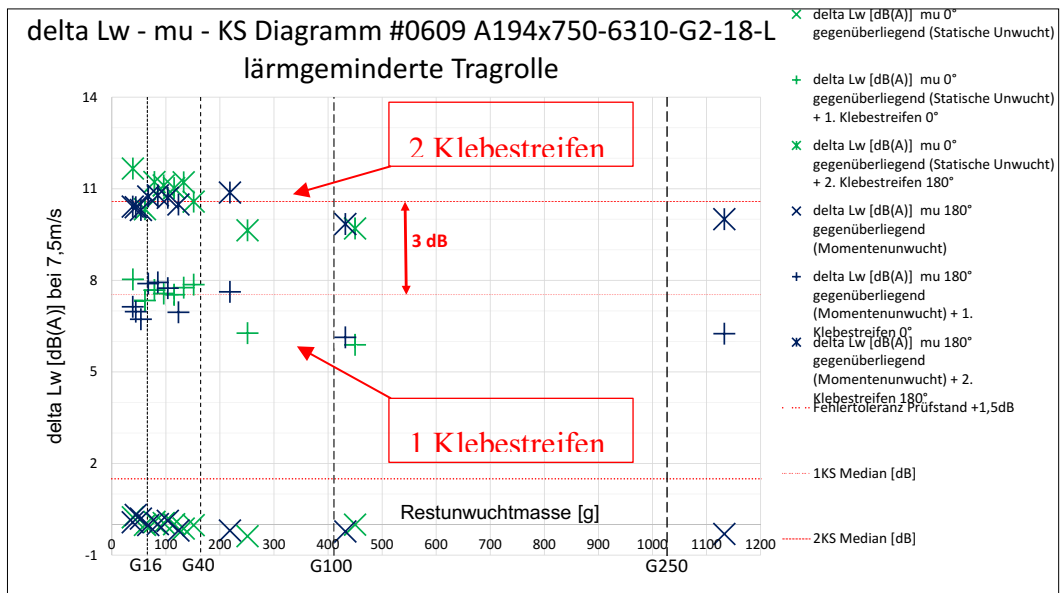


Abbildung 39: Differenzen der Schalleistungspegel über der Restunwuchtmasse der Prüftragrolle im Lastlauf [27]

Der Median der Pegeldifferenzen aus den Versuchen mit einem Klebestreifen (1KS) beträgt 7,5 dB. Bei der Messreihe, die die Gütestufe G250 übersteigt, beträgt die Restunwuchtmasse 1133 g. Jedoch steigert erst der Klebestreifen (mit einer vernachlässigbaren Eigenmasse) den Schallleistungspegel um etwa 6 dB.

Der Median der Pegeldifferenzen aus den Versuchen mit dem zweiten Klebestreifen (2KS) beträgt 10,5 dB. Mit den gegenüberliegenden Klebestreifen erfolgt ein weiterer Pegelanstieg um 3 dB. Dies zeigt, dass der erwartete Pegelanstieg von 3 dB aus der Verdopplung der geometriebedingten Anregung eingetreten ist.

Eine unwuchtbedingte Anregung zur Schallabstrahlung konnte bei dem Experiment nicht nachgewiesen werden.

Im Ergebnis zeigen Anbackungen eine hohe Wirkung auf die Geräuschemission von Tragrollen, was den Schluss nahelegt, dass kein Zusammenhang zwischen Unwucht und Geräuschemission besteht.

Mit der weiterführenden Untersuchung zur Prüfung der akustischen Wirkung durch zusätzliche Unwuchtmassen an einer Tragrolle war keine Erhöhung der Schallemission am Tragrollenprüfstand nachzuweisen. Dafür wurde gegenüber der ersten Untersuchung (2018) [14] bei der Umfangsgeschwindigkeit 7,5 m/s die dabei überschrittene Gütestufe 100 auf die Gütestufe 250 gesteigert.

Die Untersuchungen erfolgten mit unterschiedlichen lärmgeminderten Tragrollen gleichen Typs, jedoch unterschiedlicher Ausführungsform. Dabei war eine Tragrolle (#0611) mit einem sich im Tragrollenmantel befindlichem Element zur Dämpfung [12] (Innendämpfung) versehen und die andere Rolle (#0609) ohne Dämpfungselement. Im Zusammenhang mit den durchgeführten Versuchen folgt daraus, dass die Eigendämpfung einer Tragrolle die Ergebnisse nicht beeinflusst. [27]

Die Ergänzung des Unwuchtversuches mit den Klebestreifen zeigte einen direkten Zusammenhang zwischen geometriebedingter Anregung (Kreisformabweichung) und Schallemission. Die Eigenmasse der Klebestreifen ist klein gegenüber den an den Seitendeckel angebrachten Unwuchtmassen. Diese Eigenmassen der Klebestreifen heben sich bei den Versuchen mit zwei Klebestreifen, die 180° auf dem Tragrollenmantel gegenüberliegend angebracht wurden, gegenseitig auf. Die Anregung zur Schallabstrahlung erfolgte über die Kreisformabweichung, was mit Hilfe der Verdopplung der Anregung und der daraus resultierenden Pegelerhöhung von 3 dB nachzuweisen war. Daraus folgt, dass die Erhöhung der Geräusch-emission nicht auf die durch Fördergutanbackungen entstandene Unwucht, sondern nahezu ausschließlich durch die Geometrieveränderung auf dem Tragrollenmantel zurückzuführen ist.

Die vorliegenden Untersuchungen unterstützen die These, dass bisher kein kausaler Zusammenhang zwischen Unwucht und Geräuschemission bei Tragrollen für Gurtförderanlagen nachzuweisen ist. [27]

4.4 Untersuchungen von lärmgeminderten, nicht gewuchteten Tragrollen verschiedener Hersteller

Für die Untersuchungen wurden von verschiedenen Herstellern jeweils 16 Girlanden gefertigt, welche nach der Prüfung am Tragrollenprüfstand ihren Einsatz im Feldversuch in der Teststrecke Nochten Bd. 53 finden sollen. Das entspricht, mit Rückstellmustern, einer Gesamtmenge von je 52 zu prüfenden Tragrollen. [28] Rückstellmuster sind Tragrollen aus den spezifischen Tragrollenchargen, welche im Neuzustand am Tragrollenprüfstand verbleiben.

Die Besonderheit dieser Tragrollen liegt darin, dass sie überdreht, aber nicht gewuchtet gefertigt worden sind. Durch das Überdrehen werden die aus der Unrundheit resultierenden Anregungen zur Schallabstrahlung minimiert, was durch vergangene Versuche bereits nachgewiesen wurde. Sind die Tragrollen präzise überdreht, aber nicht gewuchtet, kann man jetzt am Tragrollenprüfstand untersuchen, wie groß der Anteil der Unwucht für die Anregung zur Schallabstrahlung für eine Tragrolle ist und inwieweit die Radialbelastungen diesen Anteil beeinflussen.

Es stellen sich die Fragen, bei welcher Geschwindigkeit bzw. und / oder bei welchem Lastfall der Betrieb kritisch wird? [28] Tabelle 7 zeigt die durchzuführende Untersuchungsmatrix.

Tabelle 7: Untersuchungsmatrix nicht gewuchtete Tragrollen verschiedener Hersteller

Schritt:	Standardprüfverfahren		Entlastungsversuche Aufbau beweglich		
	1	2	3	...	12
	m_u [g] 7,5 m/s	L_w dB(A) bei 7,5 m/s und 3,5 kN	L_w dB(A) bei 7,5 m/s und ca. 2 kN	...	L_w dB(A) bei 7,5 m/s und ca. 100 N
Hersteller A:	alle Tragrollen	alle Tragrollen	alle Tragrollen	alle Tragrollen	alle Tragrollen
Hersteller B:	alle Tragrollen	alle Tragrollen	alle Tragrollen	alle Tragrollen	alle Tragrollen

Schritt:	Entlastungsversuche Aufbau starr		
	13	...	22
	L_w dB(A) bei 7,5 m/s und ca. 2 kN	...	L_w dB(A) bei 7,5 m/s und ca. 100 N
Hersteller B:	alle Tragrollen	alle Tragrollen	alle Tragrollen

Kann man feststellen, dass sich auch bei einer hohen Stückzahl an überdreht und nicht gewuchteten Prüftragrollen die bereits gewonnenen Ergebnisse wiederholen und die Tragrollen als Girlande im Einsatz einen normalen Betrieb aufzeigen, hat das enorme Folgen hinsichtlich der Kostenersparnis. Folglich kann der Anlagenbetreiber seine Lieferanforderung anpassen und der Hersteller einen Fertigungsschritt einsparen. [28]

4.4.1 Hersteller A A219x1050/600/1050-6312-G2-21-L

Der Ist-Zustand der gelieferten Tragrollen wird festgestellt. Hierzu werden die Tragrollen am Tragrollenprüfstand standardmäßig geprüft und die Ergebnisse mit den Herstellerangaben zusammengefasst (Abbildung 40 und Abbildung 41). [28]

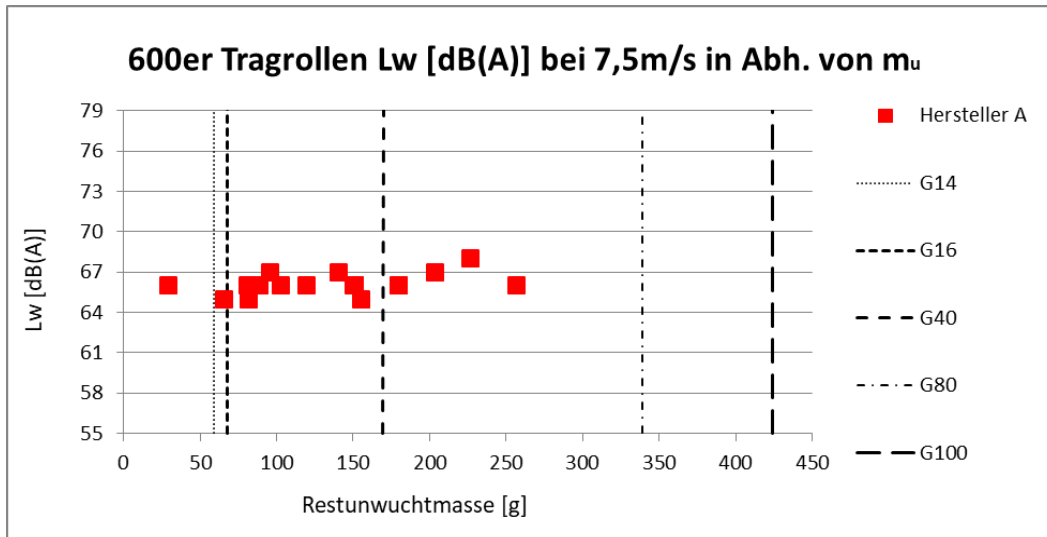


Abbildung 40: Schalleistungspegel über Restunwuchtmass; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller A

Die 18 Tragrollen vom Typ A219x600-6312-G2-21-L überdreht, nicht gewuchtet decken hinsichtlich der Unwucht ein Spektrum von Gütestufe G6 bis Gütestufe G56 ab. Das entspricht einer berechneten Unwucht von 3219,3 gmm bis 28141,5 gmm.

Den Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Restunwuchtmass (Abbildung 40) betrachtend, ist trotz Unwuchterhöhung keine signifikante Lärmpegelerhöhung feststellbar. Die Tragrollen mit G6 und G56 weisen nahezu identische Schalleistungspegel auf.

Die festgestellten Unrundheiten bleiben bei allen 18 Tragrollen innerhalb der nach Lieferanforderung A geforderten Toleranzen.

Bei einer eingestellten Vorspannkraft von 500 N, was einer wirkenden Kraft zwischen Tragrolle und Antriebsrolle, je nach Masse der Tragrolle, von etwa 3,3 kN entspricht, wurde bei der Umfangsgeschwindigkeit 7,5 m/s ein maximaler Schalleistungspegel von 68 dB(A) und ein Median Schalleistungspegel von 66 dB(A) festgestellt. Die 18 Tragrollen liegen innerhalb der nach Lieferanforderung A geforderten Toleranzen hinsichtlich des Schalleistungspegels. [28]

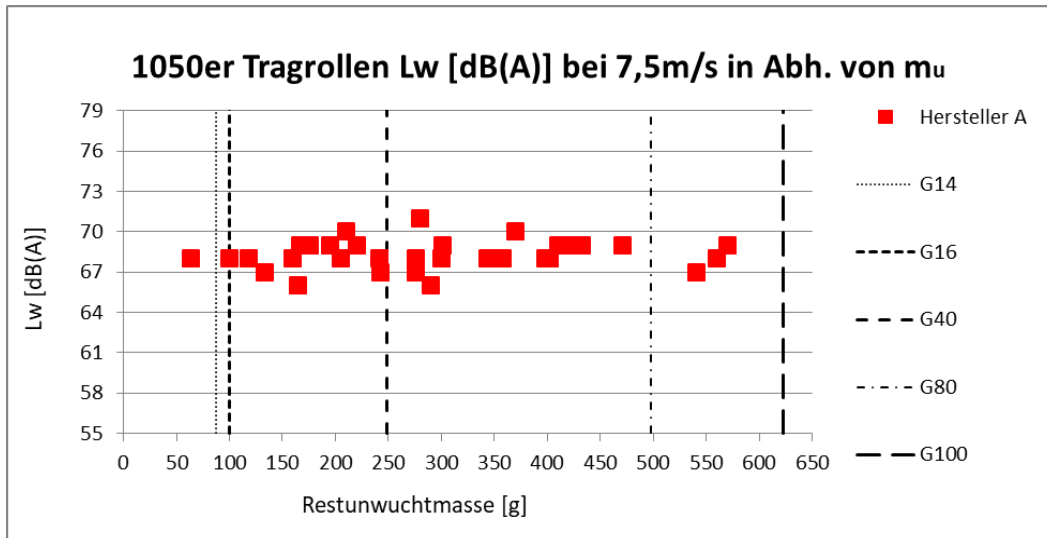


Abbildung 41: Schalleistungspegel über Restunwuchtmass; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller A

Die 34 Tragrollen vom Typ A219x1050-6312-G2-21-L überdreht, nicht gewuchtet decken hinsichtlich der Unwucht ein Spektrum von Gütestufe G10 bis Gütestufe G85 ab. Das entspricht einer berechneten Unwucht von 7008 gmm bis 62415 gmm.

Den Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Restunwuchtmass (Abbildung 41) betrachtend, ist trotz Unwuchterhöhung keine signifikante Lärmpegelerhöhung feststellbar. Die Tragrollen mit G10 und G85 weisen nahezu identische Schalleistungspegel auf.

Die festgestellten Unrundheiten bleiben bei allen 34 Tragrollen innerhalb der nach Lieferanforderung A geforderten Toleranzen. Das bedeutet die Exzentrizitäten (EXZ) sind kleiner als 0,05 mm, die Kreisformabweichungen (KFA) kleiner als 0,1 mm und Rundlaufabweichungen kleiner als 0,2 mm.

Es wurde bei der Umfangsgeschwindigkeit 7,5 m/s ein maximaler Schalleistungspegel von 71 dB(A) und ein Median Schalleistungspegel von 69 dB(A) festgestellt. Von 34 Tragrollen liegt nur eine Tragrolle mit 1 dB außerhalb der nach Lieferanforderung A geforderten Toleranzen hinsichtlich des Schalleistungspegels. [28]

Bis auf drei vorgegebene Girlandenpaarungen sind die Montagepaarungen beliebig erfolgt.

Entlastungsversuche Hersteller A

Da bei der Standardversuchsreihe keine Reaktion der Tragrollen provoziert werden konnte, welche die Anregung über die Unwucht zur höheren Schallabstrahlung begünstigte, wird nun bei allen Tragrollen stufenweise die Bewegungsfreiheit erhöht indem die wirkende Kraft zwischen Tragrolle und Antriebsrolle verringert wird. Hierzu werden Vorspanneinrichtung (Abbildung 42), Entkopplungselemente, die Gummipuffer am Spannhalter, auf Druck umgebaut (Abbildung 43), da eine Zugbelastung der Gummipuffer, welche durch das Entlasten eintreten würde, nicht zulässig ist. Die stufenweise Einstellung der Kraft erfolgt über eine Kraftmessdose in 100 N Schritte bei jeder Tragrolle. Das entspricht für alle Tragrollen des Herstellers A 502 Einzelmessungen. [28]



Abbildung 42: Umbau Vorspanneinrichtung Entlastungsversuch

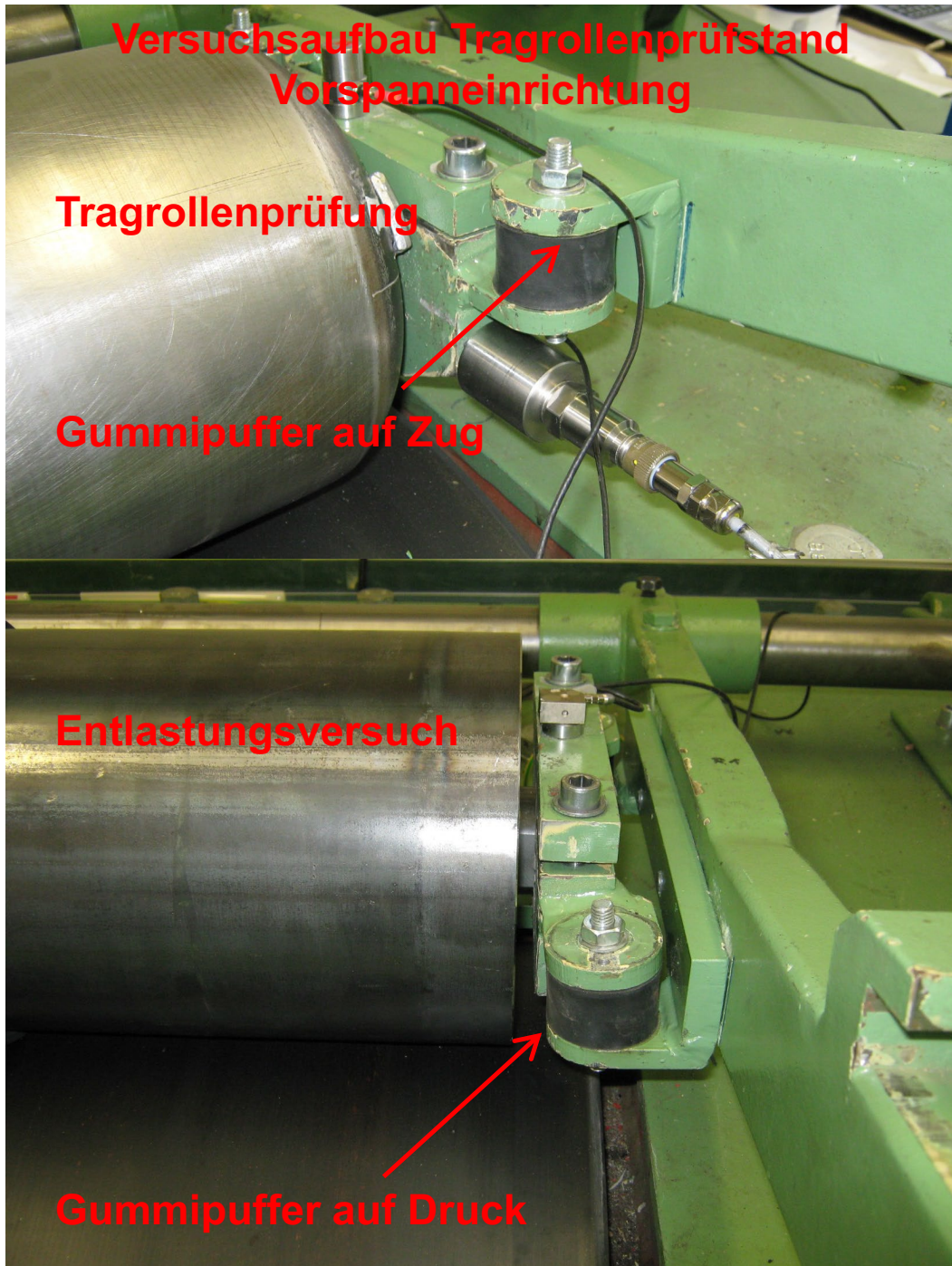


Abbildung 43: Umbau Gummipuffer am Spannhalter für Entlastungsversuch

Entlastungsversuche Hersteller A A219x600-6312-G2-21-L

Ein weiterer Aspekt der Untersuchungen ist neben der Unwucht die Betrachtung des Schalleistungspegels in Abhängigkeit von der eingestellten Radiallast. Hierzu wurden vier Umfangsgeschwindigkeiten zur Betrachtung ausgewählt. Diese Geschwindigkeiten umfassen die im Tagebau wahrscheinlich angefahrenen Fördergeschwindigkeiten. Da bei jeder eingestellten Radiallast 18 Mitteltragrollen geprüft wurden, wird zur Validierung der Ergebnisse in den verschiedenen Diagrammen (siehe Anhang) die Standardabweichung der Messergebnisse zu den Median Schalleistungspegeln angetragen.

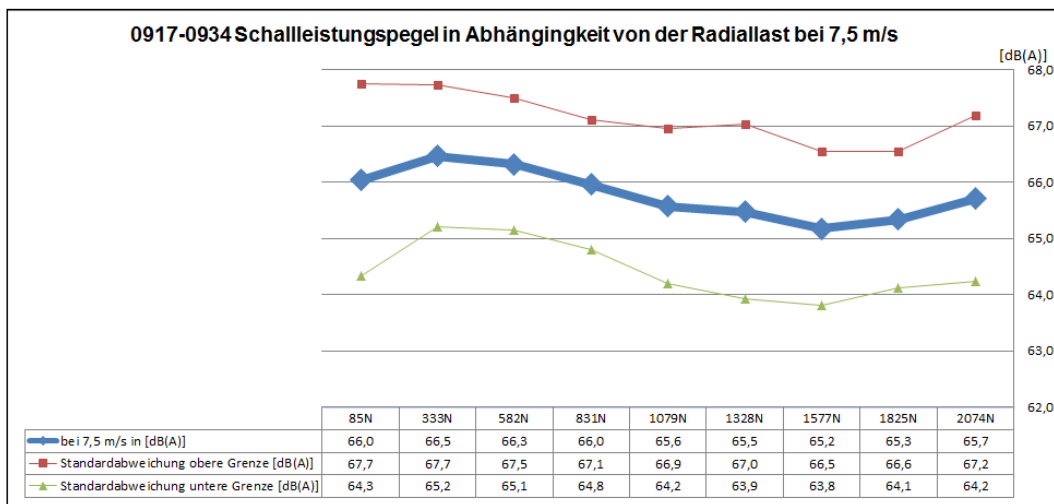


Abbildung 44: 0917-0934 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s [28]

Bei den Diagrammen (siehe Anhang) ist die Tendenz zu erkennen, dass es bei steigender Geschwindigkeit und steigender Radiallast zunächst zu einer Verringerung des Schalleistungspegels kommt. Vermutlich wirkt die Gumierung der Antriebsrolle, welche einem Fördergurt nachempfunden ist, zunächst bei steigender Radiallast dämpfend auf die Tragrolle. Erst bei etwa 1600 N ist zwischen 6,5 m/s und 7,5 m/s wieder eine steigende Tendenz des Schalleistungspegels zu erkennen (Abbildung 44). Der Verlauf des Median Schalleistungspegels im betrachteten Bereich ähnelt dem einer Sinusfunktion. Die Spitze-Spitze-Werte dieser Graphen liegen zwischen 1 dB und 1,5 dB. [28]

Das bedeutet, dass trotz sich ändernder Radiallast und wirkender Unwucht sich keine Anregung provozieren lässt, welche den Schalleistungspegel erheblich ansteigen lassen kann. [28]

Entlastungsversuche Hersteller A A219x1050-6312-G2-21-L

Es folgt die Untersuchung des Median Schalleistungspegels in Abhängigkeit von der eingestellten Radiallast bei den Seitenträgrollen. Hierzu wurden die gleichen vier Umfangsgeschwindigkeiten zur Betrachtung ausgewählt (siehe Anhang). Bei jeder eingestellten Radiallast wurden 34 Tragrollen geprüft. Zur Validierung der Ergebnisse werden in den folgenden Diagrammen die Standardabweichung der Messergebnisse zu den Median Schalleistungspegeln angetragen.

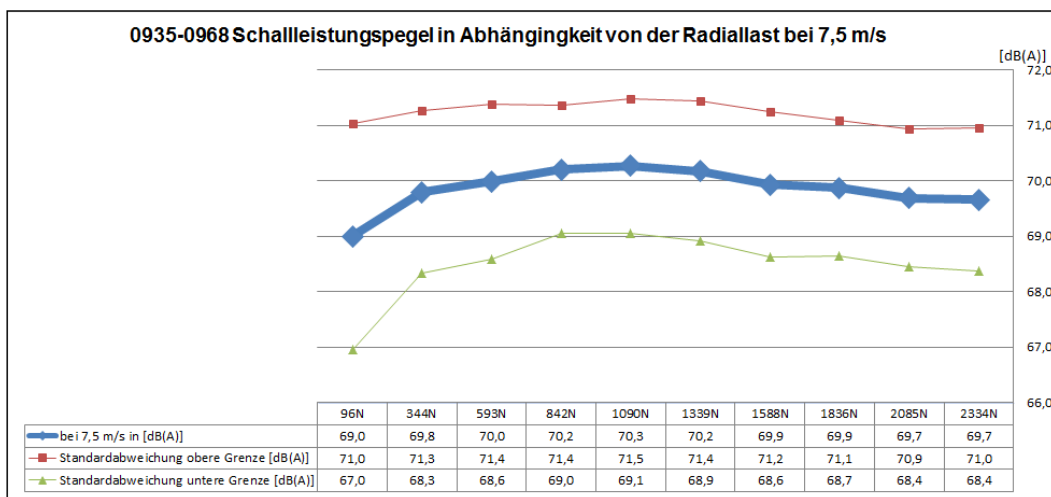


Abbildung 45: 0935-0968 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s [28]

Bei den Diagrammen (siehe Anhang) ist die Tendenz zu erkennen, dass es bei steigender Geschwindigkeit und steigender Radiallast zunächst zu einer Erhöhung des Schalleistungspegels kommt. Ab einer Radiallast von etwa 1100 N sinkt der Schalleistungspegel mit steigender Radiallast wieder stetig ab (Abbildung 45). Der Verlauf der Graphen bewegt sich bei dem Typ Tragrolle aber ebenfalls zwischen 1 dB und 1,5 dB. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese Tragrollen die geforderten 70 dB(A) bei 7,5 m/s nicht einhalten, ist aber bereits bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 7 m/s gegeben. [28]

Betrachtet man den Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast, ist zu beobachten, dass die Beeinflussung der nicht gewuchteten Tragrollen, bei den betrachteten Umfangsgeschwindigkeiten, ebenfalls nur eine geringe Veränderung von bis zu 1,5 dB ergibt. Das bedeutet, dass sich auch hier durch die Radiallasten und Unwuchten keine Anregungen provozieren lassen, welche den Schalleistungspegel erheblich anheben. Es wird aber ersichtlich, dass dieser Typ Tragrolle möglichst nicht schneller als mit 6,5 m/s in der Förderanlage betrieben werden sollte, wenn man unterhalb eines Schalleistungspegels von 70 dB(A) bleiben möchte.

Beide Tragrollentypen halten im Belastungsfall der Einzeltragrollenprüfung und in der Prüfgeschwindigkeit 7,5 m/s die geforderten akustischen und mechanischen Lieferanforderungen, außer der der Unwucht, ein.

Im Entlastungsfall der Einzeltragrollenprüfung zeigt sich, dass die Mitteltragrollen sich weniger anregen lassen als die Seitentragrollen. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich in den Unterschieden von Gesamtmasse bis hin zur Abstrahlfläche Tragrollenmantel. Ein Überschreiten des Schalleistungspegels von 70 dB(A) bei 7,5 m/s ist mit abnehmender wirkender Kraft bei den Seitentragrollen wahrscheinlich, wird aber 75 dB(A) nicht übersteigen. Daraus folgt, dass im Einsatzfall Leerfahrten der Gurtförderanlage nach Möglichkeit zu vermeiden sind.

Aus den Betrachtungen des Median Schalleistungspegels in Abhängigkeit von der Radiallast ist aus beiden Tragrollentypen zusammenfassend zu empfehlen, dass eine Förderanlage mit diesen Tragrollen nur bis 6,5 m/s betrieben werden sollte und möglichst eine Radiallast von 1600 N bei den Mitteltragrollen und für die Seitentragrollen eine Radiallast von höher als 1100 N realisiert werden sollte.

Wie sich die nicht gewuchteten Tragrollen, als Girlande, im Einsatzfall verhalten, muss im Feldversuch erst ermittelt werden. [28]

4.4.2 Hersteller B A219x1050/600/1050-6312-G2-21-L

Beim Hersteller B wurden mehrere Chargen untersucht. Der Ist-Zustand von Charge 1 ist gekennzeichnet von Kratzern auf der Manteloberfläche. Diese Unstetigkeiten führen während des Prüflaufes am Tragrollenprüfstand zu zusätzlichen Körperschallanregungen mit Auswirkungen auf die Geräuschemission. Die Ergebnisse vom Tragrollenprüfstand werden mit den Herstellerangaben zur Restunwuchtmasse zusammengefasst (Abbildung 46 und Abbildung 47).

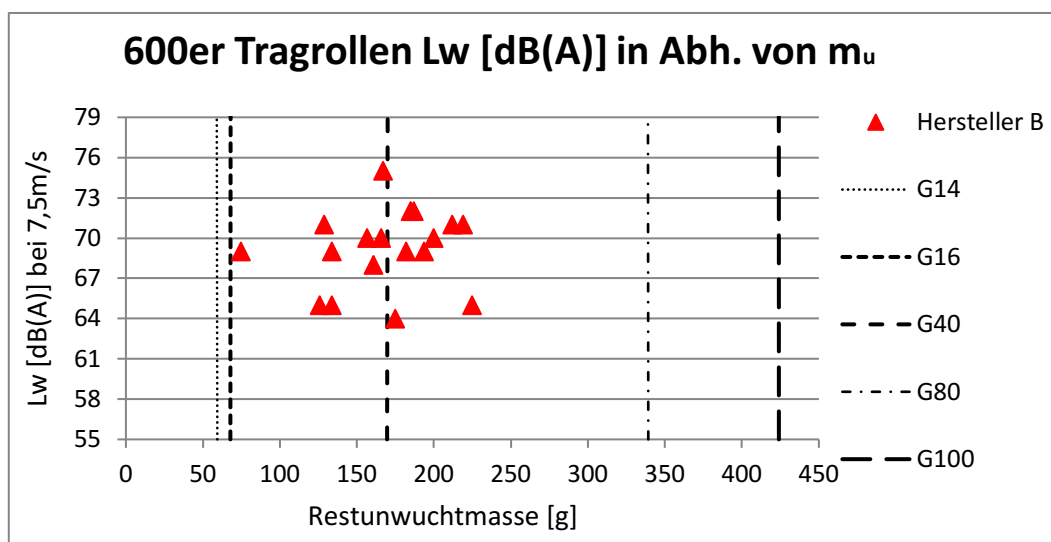


Abbildung 46: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller B

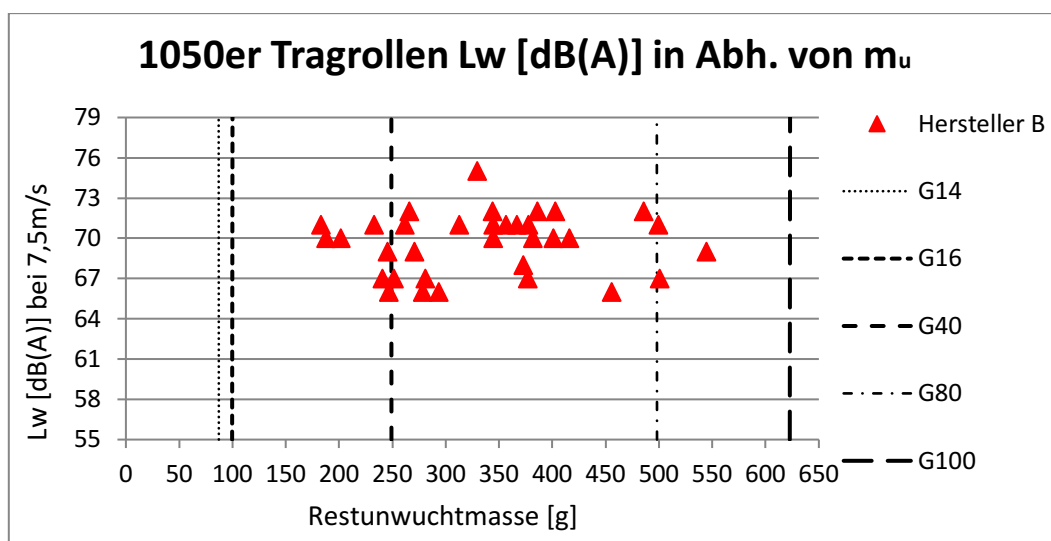


Abbildung 47: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller B

Neben der wegen den Unstetigkeiten auf der Manteloberfläche breiteren Verteilung hinsichtlich des Schalleistungspegels ist weiterhin auffällig, dass die Tragrollen mit der höchsten Restunwuchtmasse nicht gleichzeitig auch die Tragrollen mit dem höchsten Schalleistungspegel sind.

Mit den bereits gewonnenen Kenntnissen über die Bedeutung der Anregung über den Tragrollenmantel zur Schallabstrahlung, wäre die Vermutung zulässig, dass Unstetigkeiten wie Kratzer auf der Manteloberfläche einen höheren Einfluss auf die Geräuschemission haben, als die Unwucht.

Der Zusammenhang zwischen Unwucht und Schallemission muss ohne den zusätzlichen Faktor Oberflächenqualität untersucht werden. Daraus folgte eine zweite zu untersuchende Charge. Hier wurden Überhöhungen bei der Exzentrizität festgestellt. Da sich Unwucht und Exzentrizität hinsichtlich ihrer Kraftwirkung Richtung Fördergurt, bzw. Richtung Antriebswalze nicht unterscheiden lassen, wurden die entsprechenden Tragrollen ausgetauscht. Die Ergebnisse vom Tragrollenprüfstand werden mit den Herstellerangaben zur Restunwuchtmasse zusammengefasst (Abbildung 48 und Abbildung 49).

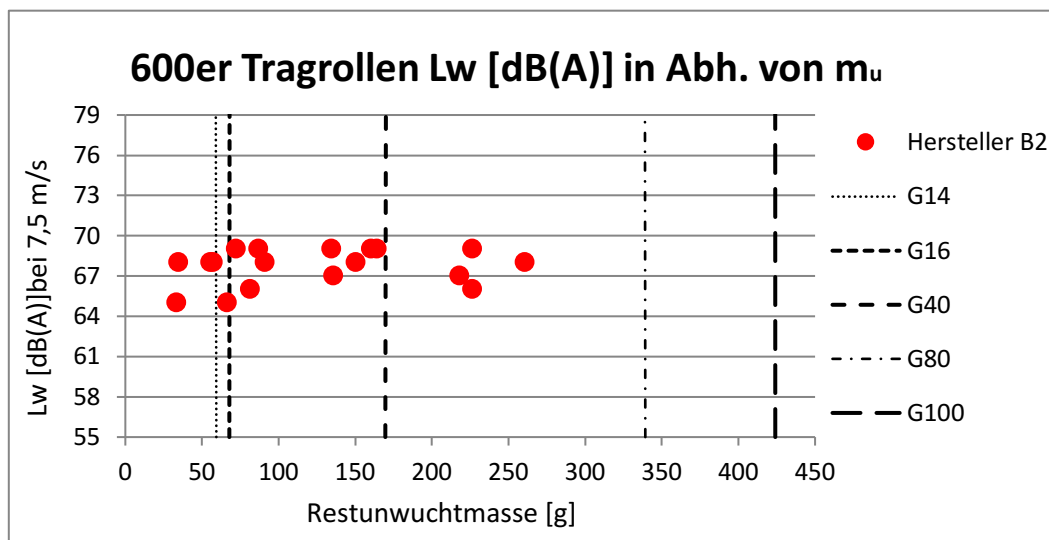


Abbildung 48: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller B

Die 18 Tragrollen vom Typ A219x600-6312-G2-21-L überdreht, nicht gewuchtet und mit Innendämpfung deckt hinsichtlich der Unwucht ein Spektrum von Gütestufe G8 bis Gütestufe G62 ab. Das entspricht einer berechneten Unwucht von 3723,0 gmm bis 28579,5 gmm.

Betrachtet man den Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Restunwuchtmasse (Abbildung 48), ist trotz Unwuchterhöhung keine signifikante Lärmpegelerhöhung feststellbar. Die Tragrollen mit G8 und G62 weisen nahezu ähnlich hohe Schalleistungspegel auf.

Die festgestellten Rundlaufabweichungen bleiben bei den 18 Tragrollen innerhalb der nach Lieferanforderung A geforderten Toleranzen. Hinsichtlich der Exzentrizität werden die Toleranzen ausgenutzt und von sechs Tragrollen überschritten.

Bei einer eingestellten Vorspannkraft von 500 N, was einer wirkenden Kraft zwischen Tragrolle und Antriebsrolle, je nach Masse der Tragrolle, von etwa 3,3 kN entspricht, wurde bei der Umfangsgeschwindigkeit 7,5 m/s ein maximaler Schalleistungspegel von 69 dB(A) und ein Median Schalleistungspegel von 65 dB(A) festgestellt. Die 18 Tragrollen liegen innerhalb der nach Lieferanforderung A geforderten Toleranzen hinsichtlich des Schalleistungspegels.

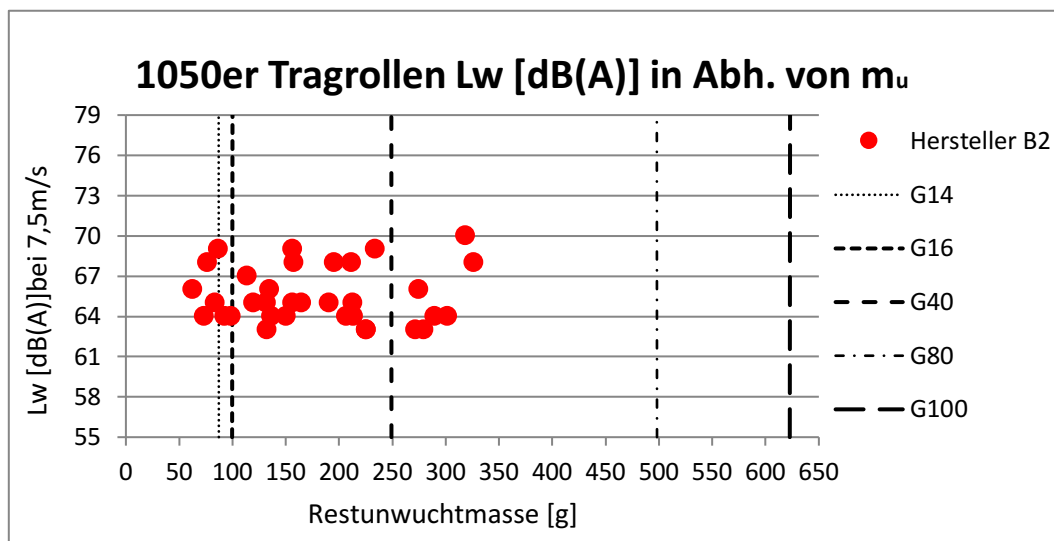


Abbildung 49: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller B

Die 34 Tragrollen vom Typ A219x1050-6312-G2-21-L überdreht, nicht gewuchtet und mit Innendämpfung decken hinsichtlich der Unwucht ein Spektrum von Gütestufe G10 bis Gütestufe G60 ab. Das entspricht einer berechneten Unwucht von 6898,5 gmm bis 33069 gmm.

Betrachtet man den Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Restunwuchtmasse (Abbildung 49), ist trotz Unwuchterhöhung keine signifikante Lärmpegelerhöhung feststellbar. Die Tragrollen mit G10 und G60 weisen nahezu ähnlich hohe Schalleistungspegel auf.

Die festgestellten Unrundheiten bleiben bei allen 34 Tragrollen innerhalb der nach Lieferanforderung A geforderten Toleranzen.

Es wurde bei der Umfangsgeschwindigkeit 7,5 m/s ein maximaler Schalleistungspegel von 70 dB(A) und ein Median Schalleistungspegel von 65 dB(A) festgestellt.

Aufgrund der gegebenen Exzentrizitäten wurden die Girlandenpaarungen für die Montage vorgegeben (siehe Anhang).

Entlastungsversuche Hersteller B

Da bei der Standardversuchsreihe keine Reaktion der Tragrollen provoziert werden konnte, welche die Anregung über die Unwucht zur höheren Schallabstrahlung begünstigte, wird nun bei allen Tragrollen stufenweise die Bewegungsfreiheit erhöht, indem die wirkende Kraft zwischen Tragrolle und Antriebsrolle verringert wird. Hierzu werden Vorspanneinrichtung (Abbildung 42), Entkopplungselemente, die Gummipuffer am Spannhalter, auf Druck umgebaut (Abbildung 43), da eine Zugbelastung der Gummipuffer, welche durch das Entlasten eintreten würde, nicht zulässig ist. Die stufenweise Einstellung der Kraft erfolgt über eine Kraftmessdose in 100 N Schritte bei jeder Tragrolle. Das entspricht 502 Einzelmessungen.

In Folge von Umbaumaßnahmen am Tragrollenprüfstand wurde mit Hilfe eines Linearantriebes der Prüfablauf automatisiert (Abbildung 50).



Abbildung 50: Umbau Vorspanneinrichtung Entlastungsversuch Linearantrieb

Dies erhöht die Steifigkeit des Systems und schränkt die Bewegungsfreiheit der Tragrolle in Richtung Antriebsrolle, also der Wirkungsrichtung für die Anregung zur Schallabstrahlung, ein. Eine zweite durchzuführende Entlastungsversuchsreihe wird aufzeigen, inwiefern die Bewegungsfreiheit einer Tragrolle die Schallemission beeinflusst. Hierfür werden noch einmal 502 Einzelmessungen durchgeführt.

Entlastungsversuche Hersteller B A219x600-6312-G2-21-L

Es folgt die Darstellung des Median Schalleistungspegels in Abhängigkeit von der eingestellten Radiallast bei den Mitteltragrollen. Hierzu wurden wieder die gleichen vier Umfangsgeschwindigkeiten zur Betrachtung ausgewählt (siehe Anhang), vergleichend mit und ohne Linearantrieb (Abbildung 51 und Abbildung 52).

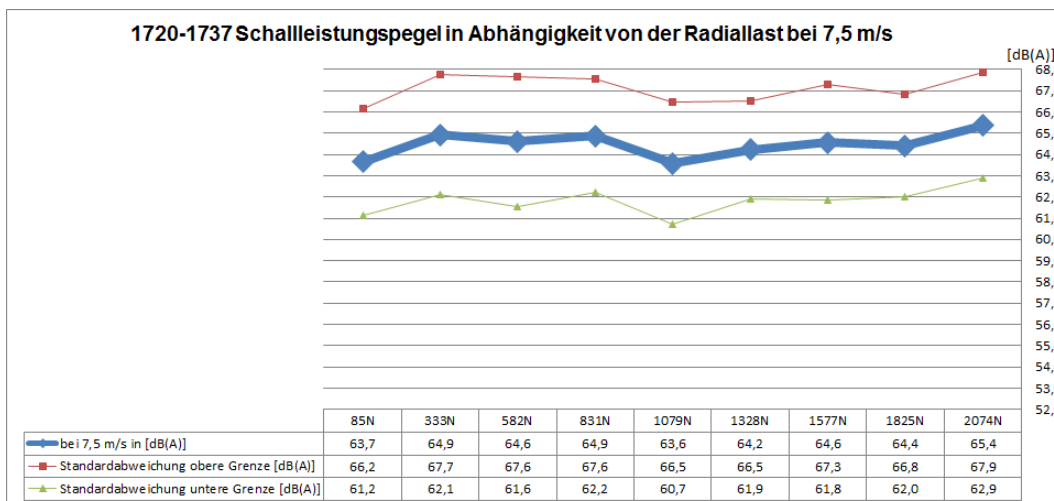


Abbildung 51: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s mit Linearantrieb

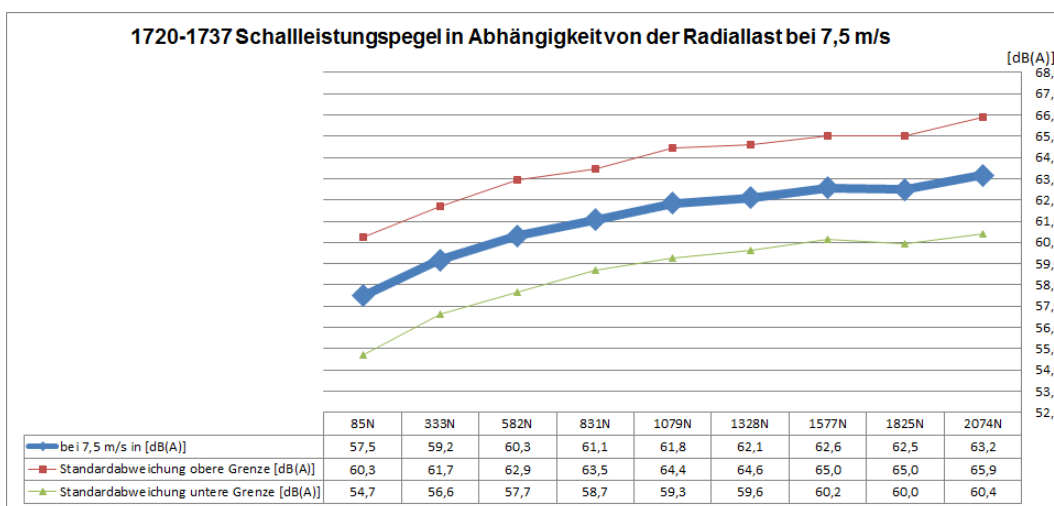


Abbildung 52: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s ohne Linearantrieb

Die Änderung des Messaufbaues am Tragrollenprüfstand hinsichtlich der höheren Steifigkeit über den Linearantrieb hatte eine eindeutige Wirkung auf das Messergebnis. Die Tragrollen haben über die größere Bewegungsfreiheit ein höheres Anregungspotential zur Schallabstrahlung. Daraus ließe sich schlussfolgern, dass bei einer Tragrollenstation, im Gegensatz zu Girlanden, bei gleicher Geschwindigkeit aber sich ändernden Lastzuständen der Schalleistungspegel gleichbleiben müsste. Die Prognose der lärmtechnischen Entwicklung einer Förderanlage könnte enger erfolgen, da der Einfluss der wirkenden Kraft entfiel. Die Möglichkeit dies im Feldversuch zu überprüfen, bleibt zunächst offen.

Entlastungsversuche Hersteller B A219x1050-6312-G2-21-L

Es folgt die Darstellung des Median Schallleistungspegels in Abhängigkeit von der eingestellten Radiallast bei den Seitentragrollen. Hierzu wurden wieder die gleichen vier Umfangsgeschwindigkeiten zur Betrachtung ausgewählt, vergleichend mit und ohne Linearantrieb (siehe Anhang).

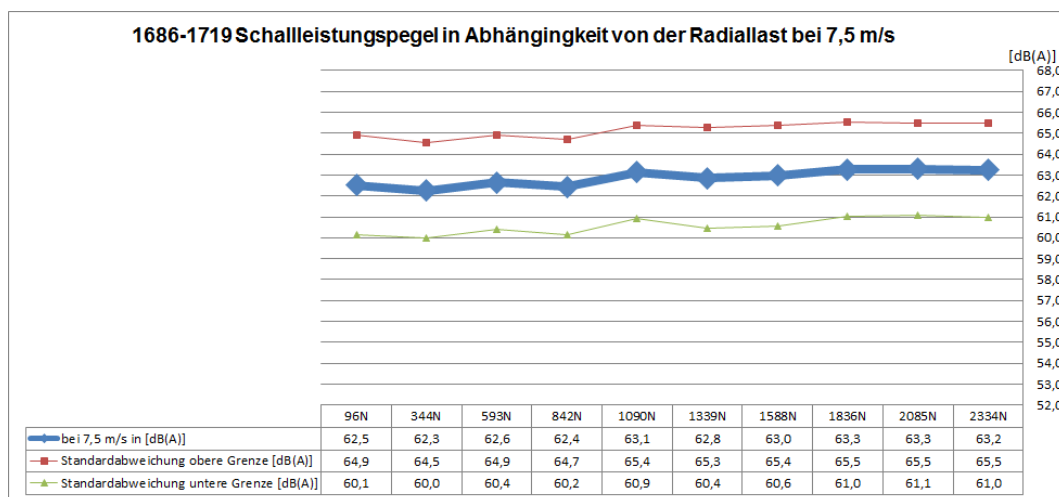


Abbildung 53: 1686-1719 Median Schallleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s mit Linearantrieb

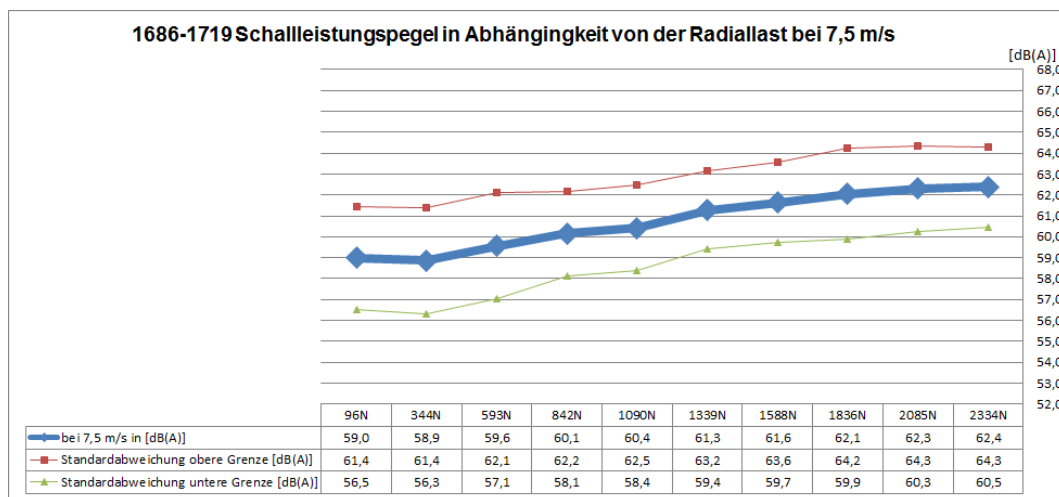


Abbildung 54: 1686-1719 Median Schallleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s ohne Linearantrieb

Die Seitentragrollen (Abbildung 53 und Abbildung 54) reagieren ähnlich auf die Änderung des Messaufbaues am Tragrollenprüfstand hinsichtlich der höheren Steifigkeit über den Linearantrieb wie die Mitteltragrollen (Abbildung 51 und Abbildung 52). Die eingeschränkte Bewegungsfreiheit führt zu einem gleichmäßigen Pegelverlauf trotz steigender Radialkraft.

Dem gegenüber steht bei höherer Bewegungsfreiheit ein stetig steigender Pegelverlauf bei höher werdenden wirkenden Kräften.

4.4.3 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse von überdreht und nicht gewuchteten Tragrollen verschiedener Hersteller

Im Zuge von Umbaumaßnahmen am Tragrollenprüfstand war es möglich Entlastungsversuche mit der Tragrollencharge des Herstellers B, Typ A219x1050/600/1050-6312-G2-21-L durchzuführen, bei dem die Einbausituation der Tragrollen einerseits so gestaltet wird, dass diese über die Gummipuffer und Vorspanneinrichtung relativ beweglich, als auch relativ steif in Anregungsrichtung Richtung Antriebswalze sind (Abbildung 55 und Abbildung 56).

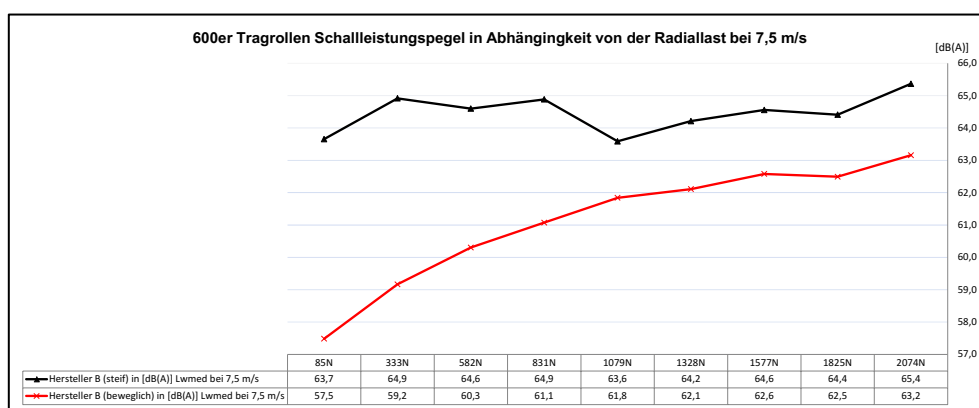


Abbildung 55: Vergleich Einbausituation Hersteller B Typ A219x600-6312-G2-21-L

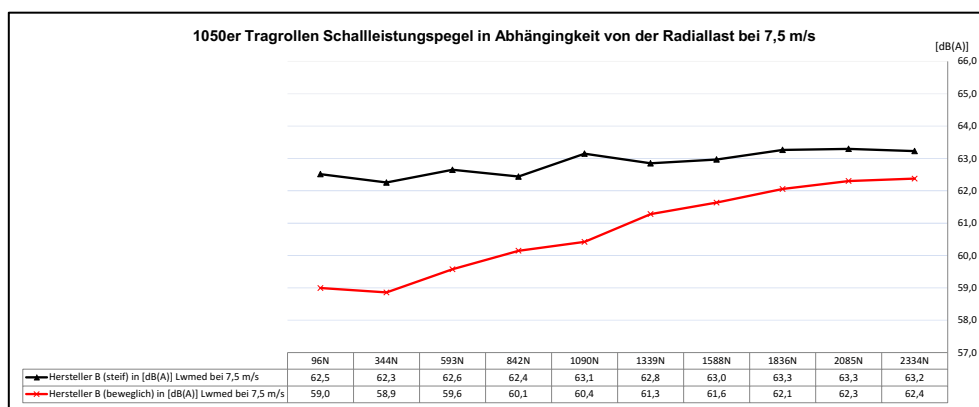


Abbildung 56: Vergleich Einbausituation Hersteller B Typ A219x1050-6312-G2-21-L

Der Vergleich der Verläufe der Median Schalleistungspegel lässt die Vermutung zu, dass sich bei Tragrollenstationen und Tragrollengirlanden aufgrund unterschiedlicher Bewegungsspielräume bei typengleichen Tragrollen und gleichen Messbedingungen unterschiedliche Schalleistungspegel ermitteln lassen müssten.

Für die Mittel- u. Seitenträgrollen beider Hersteller ergeben sich hinsichtlich Restunwuchtmasse und Schallemission vergleichend folgende Diagramme (Abbildung 57 und Abbildung 58).

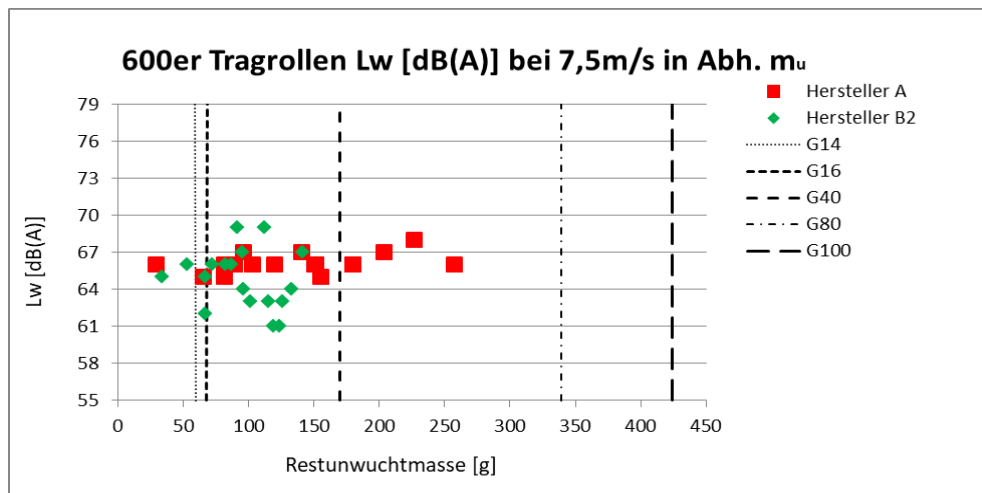


Abbildung 57: Herstellervergleich der Mitteltragrollen Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse

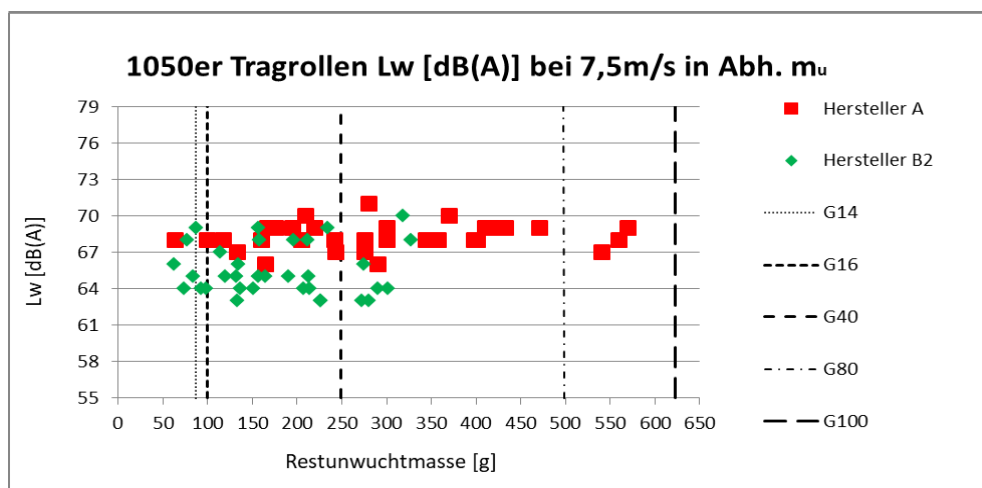


Abbildung 58: Herstellervergleich der Seitenträgrollen Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse

Die Messergebnisse weisen erneut nach, dass entgegen der gängigen Theorie, die Unwucht nicht allgemein zur erhöhten Schallabstrahlung führt. Bei der niedrigsten und höchsten Restunwuchtmasse sind bei Hersteller A die jeweiligen Schalleistungspegel nahezu gleich. Tabelle 8 zeigt insgesamt das Untersuchungsergebnis beider Hersteller.

Tabelle 8: Untersuchungsergebnis nicht gewuchtete Tragrollen verschiedener Hersteller

	L _w bei steigender Unwucht	L _w bei steigender Kraft	L _w bei starrem Aufbau	L _w bei beweglichem Aufbau
Hersteller A:	relativ konstant	schwankend		
Hersteller B:	relativ konstant	steigend	relativ konstant	steigend

Hinsichtlich des Schalleistungspegels haben beide Hersteller interessante Unterschiede. Bei den Mitteltragrollen hat Hersteller A eine Pegeldifferenz von 3 dB vorzuweisen gegenüber Hersteller B mit 8 dB. Bei den Seitentragrollen zeigt Hersteller A eine Pegeldifferenz von 5 dB gegenüber Hersteller B mit 6 dB. Bei Hersteller B wurden bis zu 3 dB leisere Tragrollen festgestellt.

Wie ist das zu erklären und warum ist die Schwankungsbreite bei Hersteller B hinsichtlich der Mitteltragrollen größer als bei den Seitentragrollen?

Hinsichtlich des geringeren Lärmpegels der Tragrollen von Hersteller B muss festgestellt werden, dass diese mit einer Innendämpfung versehen wurden. Durch die Dämpfung des Tragrollenmantels, also des Hauptklangkörpers, wird nach einer erfolgten Anregung ein besseres Abklingen ermöglicht. Eine gedämpfte Tragrolle würde bei gleicher Anregung einen niedrigeren Lärmpegel aufweisen, als eine typengleiche, nicht gedämpfte Tragrolle.

Bei den festgestellten Restunwuchtmassen weist Hersteller A gegenüber Hersteller B höhere Kennwerte auf. Eine Erklärung wäre die unterschiedlichen Fertigungsprinzipien beim Überdrehen der Tragrollen. Hersteller A überdreht die Tragrollen, indem „die Kugellagersitze der Achsen und Rohre in einer Flucht liegen“. Die Außermittigkeit der Drehachse wird über den Mantel „weggedreht“, zu Lasten einer höheren Ungleichverteilung der Masse des Tragrollenmantels. Daher sind bei Hersteller A hinsichtlich der festgestellten Exzentrizitäten niedrigere Kennwerte gegenüber Hersteller B nachgewiesen.

Die Exzentrizität ist eine wegabhängige Anregung, da die Tragrolle beim abrollen die Abweichung durchlaufen muss. Besonders bei den Mitteltragrollen wurden bei Hersteller B überhöhte Exzentrizitäten festgestellt. Daraus resultiert mutmaßlich auch die höhere Schwankungsbreite gegenüber den Seitentragrollen und die unterschiedlichen Verläufe zwischen Hersteller A und Hersteller B beim Entlastungsversuch.

Die Bewegungsfreiheit von Tragrollen hatte nachweislich am Tragrollenprüfstand einen Einfluss auf die Schallemission. Inwiefern die unterschiedlichen Einbauprinzipien von Tragrollen in Tragrollenstationen und Tragrollengirlanden akustisch vorteilhaft sind, müsste vergleichend im Feldversuch zukünftig ermittelt werden.

4.5 Untersuchungen der Wirkung von Unwucht an Tragrollen am Versuchsgurtförderer

Die folgenden Untersuchungen hinsichtlich der Wirkung von Unwucht auf die Geräuschemission von Tragrollen werden am Gurtförderer durchgeführt. Hierzu steht ein Versuchsgurtförderer (Abbildung 59) an der BTU Cottbus-Senftenberg zur Verfügung, als auch für den Feldversuch geeignete Versuchsstrecke im Tagebau Nochten (Abbildung 60).



Abbildung 59: Versuchsförderer der BTU Cottbus-Senftenberg [26]

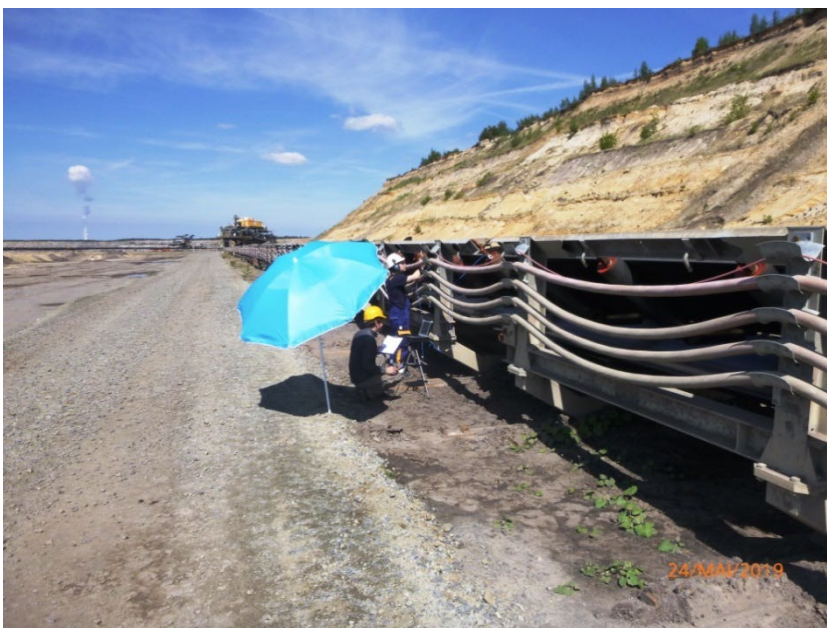


Abbildung 60: Gurtförderanlage Tagebau Nochten

4.5.1 Lärmmessung am Versuchsgurtförderer ohne Unwucht, mit statischer – und dynamischer Unwucht an Tragrollen

Die Tragrollen aus der Mittelstation wurden entnommen, gereinigt und am Tragrollenprüfstand geprüft [26]. Der festgestellte technische Zustand hinsichtlich Schalleistungspegel, Unwucht und Rundlaufeigenschaften entsprachen der LE-B-Lieferanforderung für lärmgeminderte Tragrollen. Zusätzlich wurden die ersten drei Eigenfrequenzen [46] des Tragrollenmantels ermittelt und jeweils den Terzmittenfrequenzen [46] zugeordnet [26]:

1. Eigenfrequenz bei 1250 Hz Terzmittenfrequenz
2. Eigenfrequenz bei 1600 Hz Terzmittenfrequenz
3. Eigenfrequenz bei 2500 Hz Terzmittenfrequenz

Wie bei den vorangegangenen bereits beschriebenen Versuchen werden für die Versuchsdurchführung Gewindestangen zur Befestigung der Unwuchtmassen gegenüberliegend an den Seitendeckeln der Tragrolle angeschweißt. Die Versuchsläufe am Gurtförderer werden unterteilt in [26]:

1. Versuchslauf mit ausgewuchteten Tragrollen zur Feststellung des akustischen Istzustandes
2. Versuchslauf mit statischer Unwucht an den Tragrollen
3. Versuchslauf mit dynamischer Unwucht an den Tragrollen

Für die akustische Messung werden jeweils drei Geschwindigkeiten mit dem Versuchsförderer angefahren [26]:

1. 2,5 m/s
2. 3,7 m/s
3. 5,0 m/s

Wenn eine Anregung über die Unwucht die Schallemission erhöht, dann muss diese über eine Pegelerhöhung der genannten Eigenfrequenzen [46] nachweisbar sein [26].



Abbildung 61: rechte Tragrollenseite mit 150g Massestück bei 180° [26]

Die mit 150 g Massestücken (Abbildung 61) herbeigeführte Unwucht führte zu Gütestufen im statischen Fall zwischen G105 und G109 und im dynamischen Fall zwischen G85 und G89 [26].

4.5.2 Ergebnisse der Untersuchung am Versuchsgurttörderer

Vergleicht man im Resultat des Versuches die ermittelten Schallintensitäts- bzw. Schalldruckpegel bei gewuchteten und nicht gewuchteten Tragrollen, so sind nur minimale Unterschiede bei den gleichen Geschwindigkeiten feststellbar [26]. Das Ergebnis wird dargestellt für 5 m/s. in Abbildung 62 und Abbildung 63.

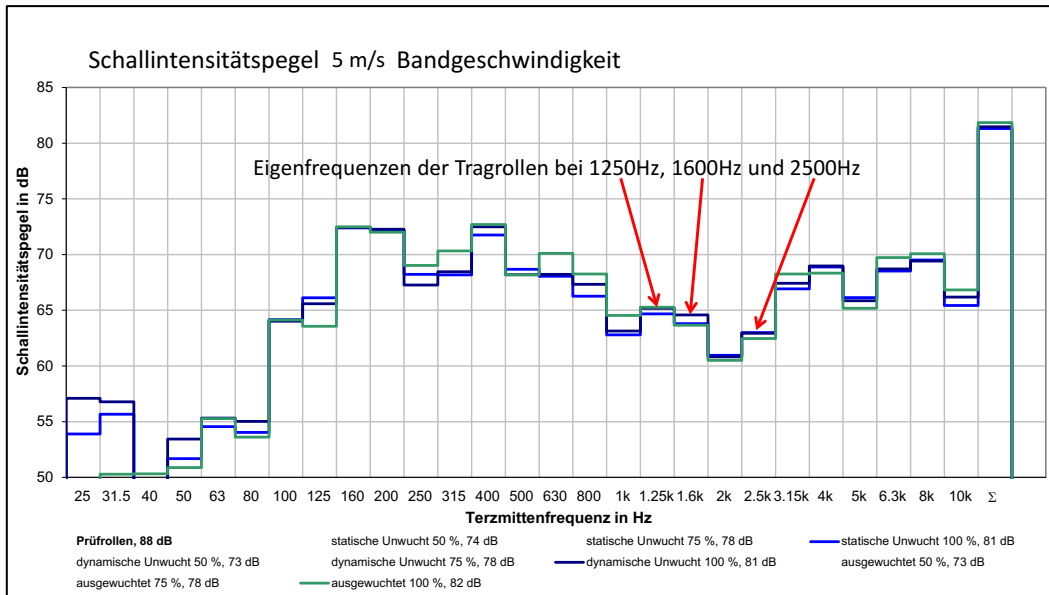


Abbildung 62: Schallintensitätspegel bei 5m/s am Versuchsförderer (Quelle: Tim Fritsch)

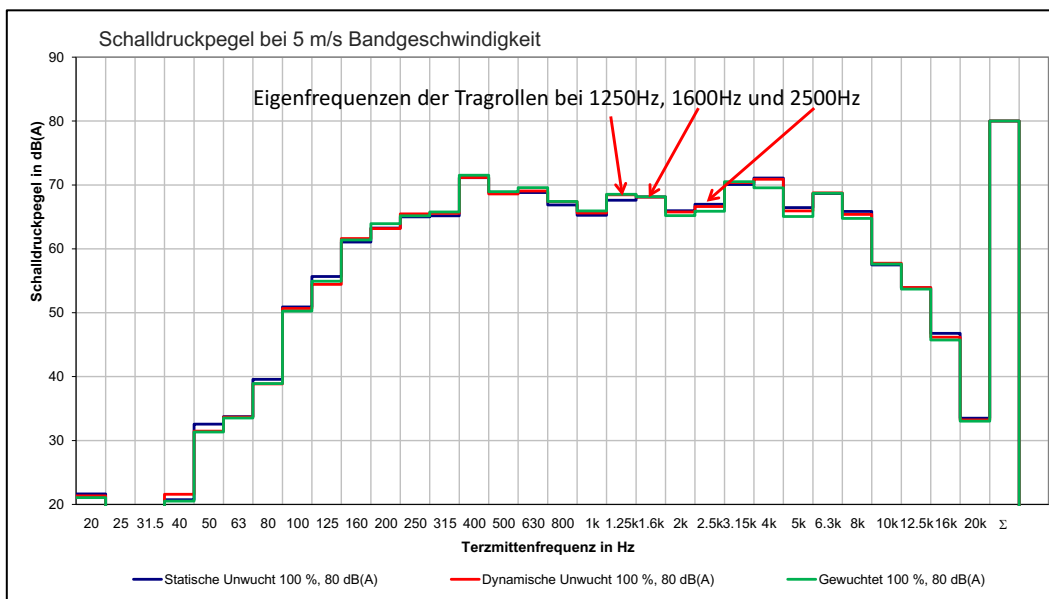


Abbildung 63: Schalldruckpegel bei 5m/s am Versuchsförderer (Quelle: Tim Fritsch)

Ursächlich für die Abweichungen können neben den Messungenauigkeiten noch Anbackungen sein, die während der Versuchsdurchführung von den Tragrollen aufgesammelt wurden. Insgesamt sind bei den Eigenfrequenzen [46] der Tragrollen und den Gesamtpegeln keine signifikanten Änderungen aufgetreten. Daraus folgt, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Unwucht und Schallemission von Tragrollen am Versuchsförderer nicht nachweisbar war. [26]

4.5.3 Ausblick auf nachfolgende Experimente am Versuchsgurtförderer

Es besteht die Möglichkeit, dass die Pegeländerungen hervorgerufen durch die Unwucht, nicht festgestellt werden konnten. Als Grund sind zu nennen die Störgeräusche des Antriebes und des Gurtes an den Untertrumtragrollen sowie die ungünstigen Raumeigenschaften und die fehlende Beladung des Gurtes [26].

Dennoch sollte in Zukunft die Betrachtung am Versuchsgurtförderer erweitert werden. Hierzu muss die mittlere Tragrollenstation durch eine Tragrollengirlande ersetzt werden (Abbildung 64). Anschließend wäre der vorgestellte Versuch zu wiederholen [26].

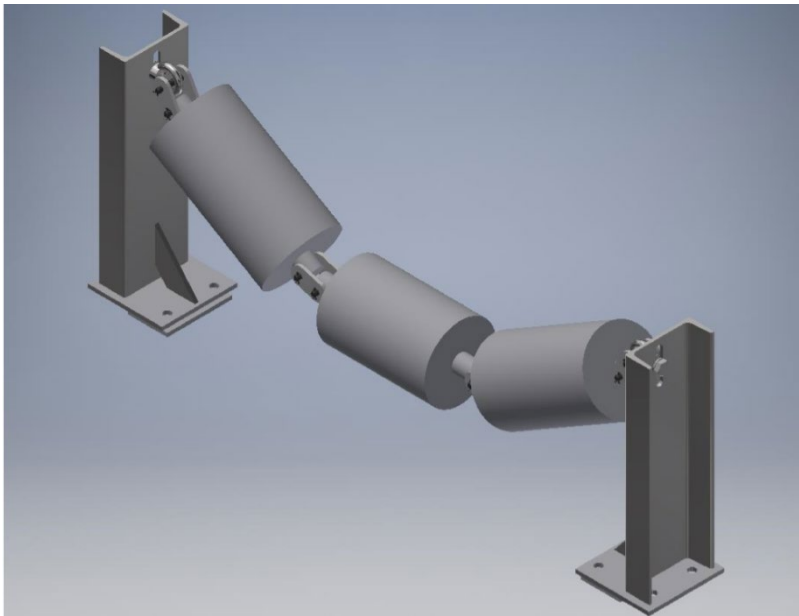


Abbildung 64: Tragrollengirlande für Versuchsförderer der BTU [26]

Weiterführend muss der schalltechnische Einfluss der Unwucht im Feldversuch untersucht werden. Dazu folgend ein Vorschlag zur Durchführung eines Experimentes an einer Gurtförderanlage im Feldversuch.

4.5.4 Vorschlag eines Experimentes im Feldversuch

Die vorgestellten Untersuchungen hinsichtlich eines Zusammenhanges zwischen Unwucht und Schallemission von Tragrollen sind unter Laborbedingungen durchgeführt worden. Auch eine weitere Untersuchung am Versuchsförderer, mit verändertem Versuchsaufbau hin zur Girlande, würde diesem Kriterium entsprechen. Die Ergebnisse müssen nicht zwingend auf eine reale Förderanlage übertragbar sein, auch wenn die gewonnenen Erkenntnisse durch die Nachweise von der Betrachtung der einzelnen Tragrolle bis hin zur Untersuchung am Versuchsförderer die These stützen, dass Unwucht keinen Einfluss auf die Schallemission von Tragrollen hat. Üblicherweise sollte man beim Aufstellen einer These ein Experiment vorschlagen, um diese falsifizieren zu können.

Hierzu muss das Experiment an einer realen Gurtförderanlage durchgeführt werden. Die Gurtförderanlage muss möglichst einheitlich mit lärmgeminderten Tragrollen, überdreht und gewuchtet, ausgerüstet sein und sich in einem guten akustischen Zustand befinden. Der Istzustand der Teststrecke muss vorab demzufolge ermittelt werden. Danach sind mindestens zwei Girlanden aus unterschiedlichen Gerüstfeldern zu entnehmen bzw. vorübergehend mit anderen Girlanden (Störreserve) als Platzhalter auszutauschen. Die Tragrollen der entnommenen Girlanden werden gekennzeichnet hinsichtlich ihrer Position in der Girlande, Drehrichtung der Tragrolle und Achslage der Lastzone. Die Girlanden werden zerlegt und die Seitendeckel der Tragrollen werden entfernt. Auf den frei werdenden Lagerböden werden links und rechts phasengleich sowie sich um 180° versetzt Gewindestangen angeschweißt. Die Länge der Gewindestangen darf die Mantelenden nicht überragen. Danach werden die Tragrollen ausgewuchtet mindestens der Lieferanforderung G14 entsprechend und am Tragrollenprüfstand hinsichtlich der mechanischen und akustischen Kennwerte geprüft. Danach werden an den Tragrollen girlandenspezifisch Massestücke angeschraubt um einheitlich eine Girlande mit statischer und eine Girlande mit dynamischer Unwucht herzustellen. Der sich nun eingestellte mechanische und akustische Zustand wird erneut ermittelt und dokumentiert. Die Versuchstragrollen sollten gemäß den bereits gewonnenen Erkenntnissen eine hohe Unwucht aufweisen. Die Tragrollen werden danach entsprechend ihrer Position, Drehrichtung und Achslage zu Girlanden mit statischer und dynamischer Unwucht montiert und zurück in den vorher eingenommenen Platz im Gerüstfeld verbracht (Abbildung 65).

Versuchsaufbau in der Gurtförderanlage

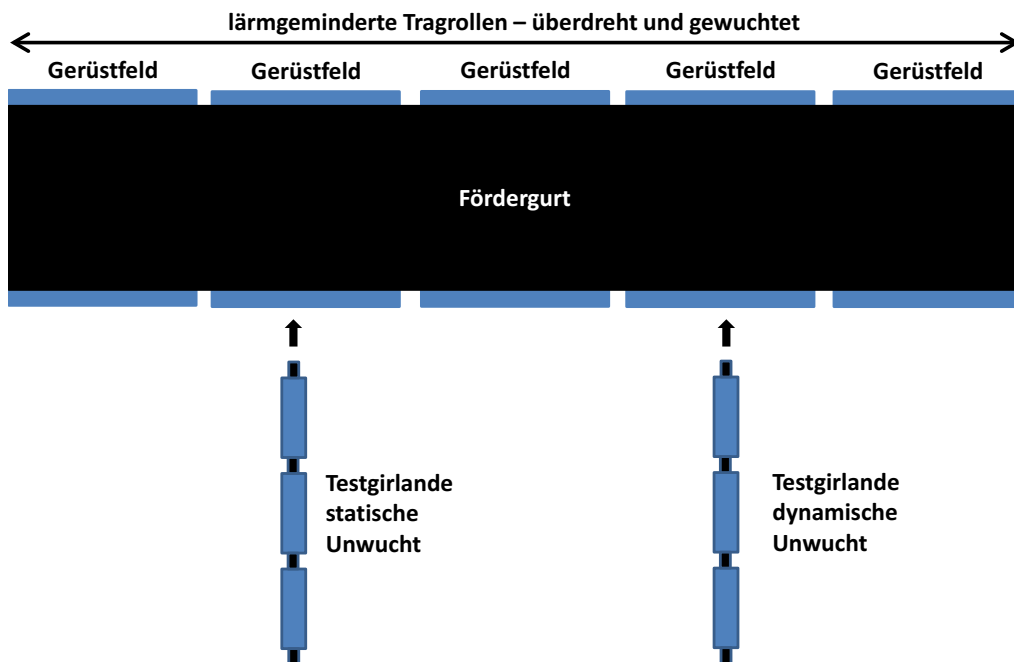


Abbildung 65: Versuchsaufbau statische und dynamische Unwucht in der Gurtförderanlage [30]

Der VDI 2341 folgend, sollte sich gegenüber dem Ausgangszustand eine Pegelerhöhung einstellen.

Das Experiment ist in der Vorbereitung sehr umfangreich und stellt auch organisatorisch eine Herausforderung dar, weil der Versuch nicht nur in den Förderbetrieb eingreift, sondern auch die Umbaumaßnahmen an der Gurtförderanlage gewährleistet werden müssen. Ein einfacherer Versuchsaufbau wäre, nach der Feststellung des Istzustandes der Förderanlage einen planmäßigen Instandhaltungsstillstand abzuwarten und dann an auszuwählenden Girlanden die jeweiligen Tragrollen an den Seitendeckeln mit starken Magneten zu behaften. Die genaue Größe der Unwucht wäre zunächst unklar, aber die Testgirlanden mit einer statischen und einer dynamischen Unwucht wären realisiert und die Lärmmessung kann erfolgen. Beim nächsten planmäßigen Stillstand müssen die Testgirlanden entnommen werden, um im Nachgang die Eigenschaften und Veränderungen der Tragrollen festzustellen. Ein solcher oder ähnlicher Versuchsaufbau sollte eine Falsifizierung ermöglichen.

Eine andere Möglichkeit ist, überdreht und nicht gewuchtete Tragrollen direkt vom Hersteller in die Gurtförderanlage zu verbauen und langfristig zu beobachten.

4.6 Langzeituntersuchung an einer Gurtförderanlage im Feldversuch

Die Untersuchung hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Unwucht und Lärm bei lärmgeminderten Tragrollen erfordert einen fortlaufenden Feldversuch. Dieser wird auf einer ebenerdigen Gurtförderanlage der LE-B durchgeführt und umfasst lärmgeminderte, nicht gewuchtete Tragrollen verschiedener Hersteller. Die Darstellung in Abbildung 50 zeigt vergleichend die Schallintensitätsmessungen von 2017 und 2019 eines Teilschnitts der Teststrecke für lärmgeminderte, ungewuchtete Tragrollen. Die Messdurchführung erfolgt ähnlich der am Versuchsgurtförderer. Die Erstprüfung dieser Tragrollen wurde 2015 am Tragrollenprüfstand durchgeführt. [27]

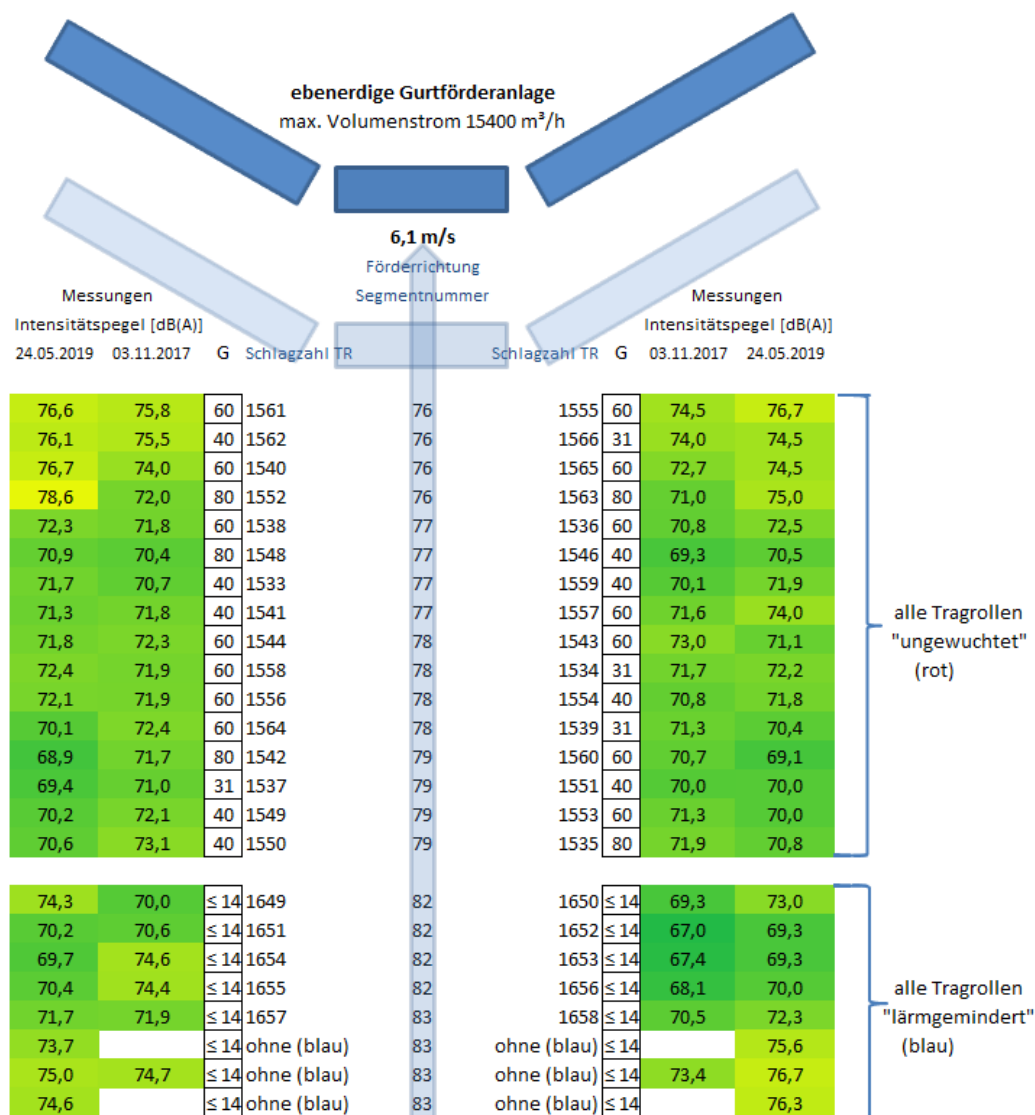


Abbildung 66: Darstellung der Messergebnisse Teststrecke Tragrollen "ungewuchtet" mit den Schallintensitätsmessdaten an Einzelgirlanden einer Gurtförderanlage des Tagebaus Nochten [27]

In Abbildung 66 aufgeführt der Aufbau und die Ergebnisse der Teststrecke für lärmgeminderte, ungewuchtete Tragrollen (Abbildung 66). Die Ergebnisse des Feldversuchs zeigen bezüglich der erfassten Schallintensitäten bei Gurtgeschwindigkeiten von 6,1 m/s keine relevanten auf die Unwucht zurückführbaren Erhöhungen der Geräuschemission (Abbildung 67)[27].

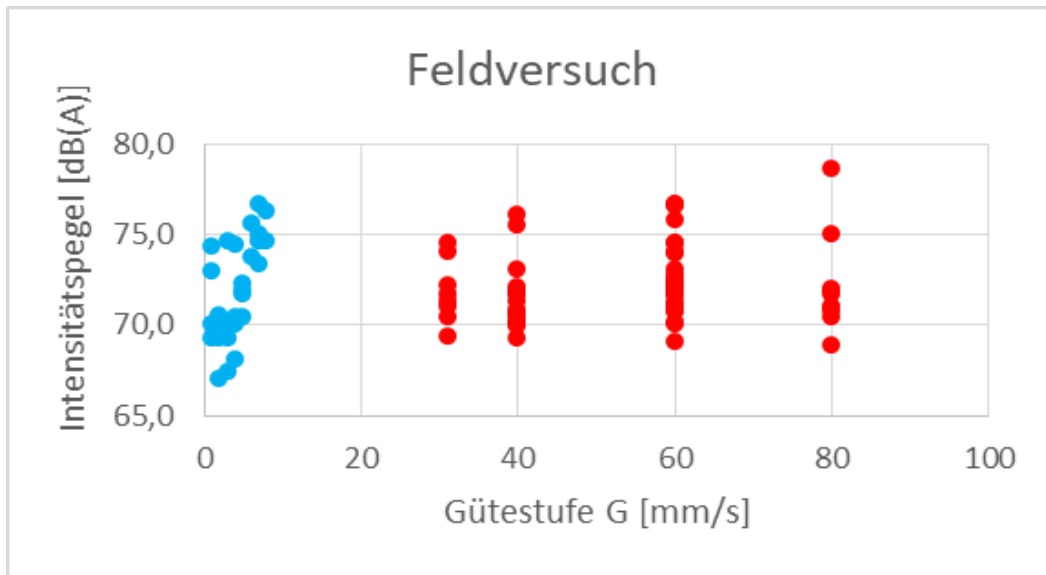


Abbildung 67: lärmgeminderte Tragrollen blau - nicht gewuchtete Tragrollen rot

Die ersten Ergebnisse des Feldtests bestätigen auf dieser Grundlage die Untersuchungen mit nicht ausgewuchteten Tragrollen am Prüfstand. Um die mechanischen Wirkungen in der Anlage genauer zu betrachten, sind weitergehende Untersuchungen auf Grundlage der Erfassung von Schwingbeschleunigung an den Achszapfen der Girlanden vorgesehen. [27]

Insgesamt wurden die Ergebnisse langfristig betrachtet vom Betreiber positiv bewertet. Der Feldversuch wurde Ende 2020 eingestellt mit dem Resultat, dass die LE-B-Lieferanforderung für lärmgeminderte Tragrollen ergänzt wurde. Für ebenerdige Gurtförderanlagen werden lärmgeminderte Tragrollen ohne Wuchten abgefordert. Die Definierung einer Gütestufe entfällt.

4.6.1 Tragrollenausfälle Feldversuch „überdreht, nicht gewuchtet“

Im Jahr 2013 begann der Feldversuch mit überdrehten, nicht gewuchteten Tragrollen. Für den Feldversuch wurden von zwei Herstellern insgesamt drei Chargen mit jeweils 16 Girlanden abgefordert (Tabelle 9).

Tabelle 9: Tragrollen im Feldversuch "überdreht, nicht gewuchtet"

	Hersteller A	Hersteller B	Hersteller B (II)	Hersteller B (III)
Einbaudatum	Juni 2013	Jan. 2016	Okt. 2017	Okt. 2017
Einbauort	Nochten Bd.54	Nochten Bd.53	Nochten Bd.53	Nochten Bd 53
Schlagzahlen	0917 - 0968	1515 - 1566	1686 - 1737	1951 - 1969
Girlanden	16	16	16	
Mitteltragrollen	16	16	16	15
Seitentragrollen	32	32	32	4

Vorab des Feldversuches wurde der technische Istzustand der Tragrollen am Tragrollenprüfstand festgestellt. Die Charge Hersteller B (III) diente zum Austausch von Tragrollen bei der Charge Hersteller B (II), aufgrund festgestellter Überhöhungen bei der Exzentrizität. Um den Einfluss der Unwucht untersuchen zu können, muss der Einfluss der Exzentrizität geringgehalten werden.

Charge „ungewuchtet“ Hersteller A

- Einbauort: Tgb. Nochten, Band 54
- Einbaudatum: Juni 2013
- Ausfälle: 7 von 16 Girlanden (Stand März 2019)

Die Charge „ungewuchtet“ von Hersteller A hat aufgrund von Umbaumaßnahmen an der Gurtförderanlage seine geschlossene Formation verloren. Die Girlanden wurden an unterschiedlichen Orten verteilt. In Vorbereitung einer Schwingungsmessung im März 2019 sind nur noch 11 der 16 Girlanden gefunden worden, welche weit zerstreut waren. Es wurde entschieden, die Untersuchungen dort nicht weiter fortzusetzen.

Charge „ungewuchtet“ Hersteller B

- Einbauort: Tgb. Nochten, Band 53, Gerüstfelder 76 – 79
- Einbaudatum: Januar 2016
- Ausfälle: 1 von 16 Girlanden (erfasste Außentragrollen: #1561 / #1555)

Nach Stand 04.11.2020 wurde 1 der 16 Girlanden ausgebaut. Die Haltbarkeit ist insgesamt nach etwa 5 Jahren mit gut zu bewerten.

Charge „ungewuchtet“ Hersteller B (II)

- Einbauort: Tgb. Nochten, Band 53, Gerüstfelder 86 – 89
- Einbaudatum: Oktober 2017
- Ausfälle: 5 von 16 Girlanden (erfasste Außentragrollen: #1689 / #1693; #1690 / #1707; #1700 / #1704; #1966 / #1688; #1701 / #1715)

Nach Stand 04.11.2020 sind bei der Charge „ungewuchtet“ Hersteller B (II) inkl. Nachlieferungen (III) fünf Ausfälle festgestellt worden. Die Haltbarkeit fällt nach 3 Jahren damit vergleichend geringer aus. Drei auffällige Girlanden aus der Charge Hersteller B (II) sind aus der Versuchsstrecke ausgebaut und an den Tragrollenprüfstand verbracht worden.

Von diesen untersuchten Tragrollen wies die Mitteltragrolle #1964 (Abbildung 68) ein beidseitiges ausgeschlagenes Wälzlager und zwei von drei Mitteltragrollen (#1963 und #1960) einen schwergängigen bis feststehenden Wälzlagerzustand auf. Bei den Seitentragrollen wurden vier von sechs Tragrollen (#1704, #1700, #1689 und #1690) als weiter einsatzfähig befunden. Zwei Seitentragrollen (#1693 und #1707) hatten einen schwergängigen bis feststehenden Wälzlagerzustand. Bezugnehmend auf die oben genannten Ausfallpaarungen der erfassten Außentragrollen müssen die Girlanden aufgrund der vorliegenden Lagerschädigungen komplett ausgetauscht werden.



Abbildung 68: Mitteltragrolle #1964 (beidseitiger Lagerschaden vorliegend)

Unwucht als zwingende Ursache für die in dem Feldversuch aufgetretenen Lagerschäden kann aufgrund des Ergebnisses der ersten Charge „ungewuchtet“ des Herstellers B nicht allein herangezogen werden. Ursachen für Lagerschäden an Tragrollen sind vielfältig. Diese reichen von eindringendem Schmutz in das Lager, über Abweichungen bei den mechanischen Kennziffern der Tragrolle oder weitere äußere Einflüsse, wie z.B. die Ausrichtung der Girlandenstationen einer Gurtförderanlage zueinander, was partiell zu Überbelastungen führt.

Untersuchungen zu diesem Komplex sind sehr umfangreich und stellen daher wiederum ein eigenes Thema [31] dar.

4.6.2 Neuer Tragrollentyp „Lärmgemindert ohne Wuchten“

Infolge der gewonnenen Erkenntnisse und Veröffentlichungen hat die LE-B entschieden, ihre Lieferanforderungen für lärmgeminderte Tragrollen hinsichtlich des Einsatzes bei ebenerdigen Gurtförderanlagen anzupassen. Die Vorgabe der maximal zulässigen Unwuchtgüte wurde gestrichen. Der neue Tragrollentyp wird „Lärmgemindert ohne Wuchten“ (LoW) benannt. Alle weiteren Lieferanforderungen gelten wie bei den lärmgeminderten Tragrollen. Ein Tragrollenhersteller hat diesbezüglich reagiert und erweiterte sein Angebot. Zur Validierung des neuen Tragrollentyps wurden verschiedene serienmäßig gefertigte Tragrollen am Tragrollenprüfstand „Lärmgemindert ohne Wuchten“ (LoW) untersucht (siehe Anhang). Es wurden neun verschiedene Tragrollentypen für ebenerdige Gurtförderanlagen geprüft mit insgesamt 99 Stück Tragrollen. Von diesen überschritt eine Tragrolle den geforderten Schallleistungspegel von 70 dB(A) bei 7,5 m/s aufgrund von Lagergeräuschen. Hier zeigt sich, dass Lärminderungsmaßnahmen bereits von einem technisch nicht einwandfreien Wälzlager konterkariert werden. Hinsichtlich der Exzentrizität wurden Überhöhungen festgestellt, die in den Seitenbereichen des Tragrollenmantels zu Überschreitungen der maximal zulässigen Rundlaufabweichung von 0,2 mm führten. Das bedeutet für den Hersteller von „LoW“ Tragrollen, dass das Entwicklungspotential in Richtung Verringerung der Exzentrizität gelenkt werden muss. Des Weiteren muss die Qualitätssicherung engmaschiger die Exzentrizitäten überwachen. Der Betreiber einer Gurtförderanlage muss, sollte sich dieser für den Einsatz von „LoW“ Tragrollen entscheiden, bei der Wareneingangsprüfung die Exzentrizitäten überprüfen. Der Tragrollenprüfstand als Schnittstelle zwischen Hersteller und Betreiber kann die entscheidenden Kennziffern von Tragrollen ermitteln. Die Ergebnisse hinsichtlich Unwucht und Schallemission der „LoW“ Tragrollen werden folgend als Diagramme aufgeführt.

Die geprüften Tragrollen (Abbildung 69) erfüllen den Sollwert des Schallleistungspegels von 70 dB(A) bei 7,5 m/s. Die Schallleistungspegel von drei Tragrollen befinden sich, ausgehend vom Median der Schallleistungspegel, oberhalb der Prüfstandstoleranzen. Der Schallleistungspegel der Tragrolle mit der höchsten Unwuchtgüte liegt auf dem Median Schallleistungspegel. Mit steigender Unwucht wurde keine signifikante Erhöhung des Schallleistungspegels festgestellt.

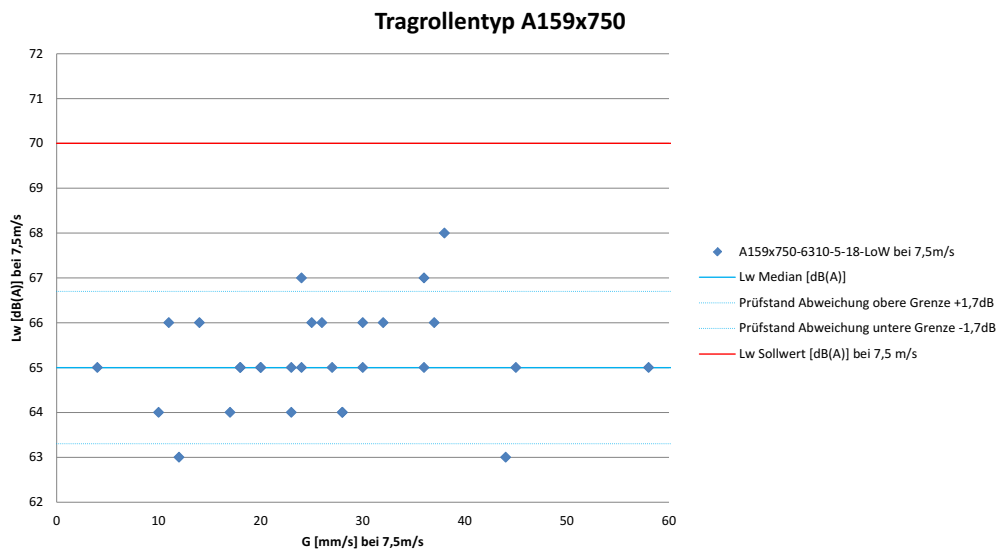


Abbildung 69: Zusammenfassung Tragrollentyp A159x750

Die geprüften Tragrollen (Abbildung 70) erfüllen den Sollwert des Schallleistungspegels von 70 dB(A) bei 7,5 m/s. Zwei Tragrollen befinden sich, ausgehend vom Median Schalleistungspegel, oberhalb der Prüfstandstoleranzen. Mit steigender Unwucht wurde keine signifikante Erhöhung des Schalleistungspegels festgestellt.

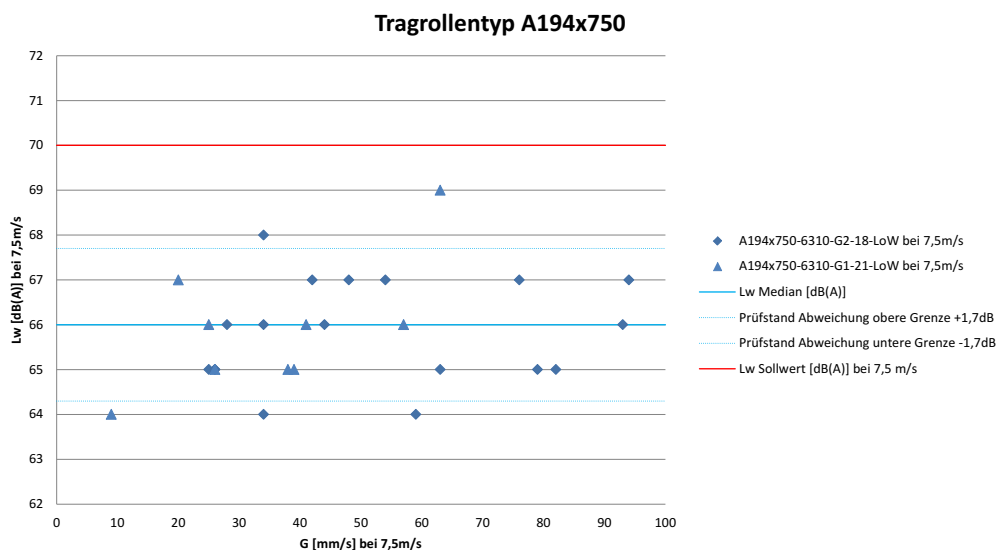


Abbildung 70: Zusammenfassung Tragrollentyp A194x750

4.6.3 Zusammenfassung der Untersuchungen der Wirkung von Unwucht an Tragrollen am Gurtförderer

Die Untersuchungen am Versuchsförderer der BTU Cottbus-Senftenberg betrachteten bei drei verschiedenen Geschwindigkeiten unterschiedliche Unwuchten. Sowohl bei der statischen und dynamischen Unwucht, als auch im ausgewuchteten Zustand der Tragrollen konnten keine signifikanten Differenzen bei der Schallemission festgestellt werden. Eine noch ausstehende Untersuchung am Versuchsförderer sollte die Tragrollengirlande anstatt der Tragrollenstation betrachten.

Es wurde ein spezifischer Feldversuch in einer Gurtförderanlage mit lärmgeminderten Tragrollen vorgeschlagen. Nach Feststellung des akustischen Istzustandes sind Girlanden zu entnehmen, mit Unwuchten zu bestücken und wiedereinzusetzen. Der Einfluss der Unwucht auf die Schallemission von Tragrollen an Gurtförderanlagen wird danach mit einer Vergleichsmessung ermittelt.

Der langfristig angelegte Feldversuch mit überdreht und nicht gewuchteten Tragrollen verschiedener Hersteller wurde nach etwa 6 Jahren vom Betreiber eingestellt. Es konnten keine spezifischen Unterschiede hinsichtlich der Schallemission zwischen lärmgeminderten Tragrollen und überdreht und nicht gewuchteten Tragrollen festgestellt werden. Die Ursachen für die festgestellten Tragrollenausfälle müssten dezidiert an anderer Stelle betrachtet werden. Aus den Ergebnissen des Feldversuches erfolgte die Einführung eines neuen Tragrollentyps in die Lieferanforderung der LEAG.

Der neue Tragrollentyp „LoW“ verzichtet auf die Forderung einer einzuhaltenden Gütestufe bei der Unwucht. Alle anderen Kriterien einer lärmgeminderten Tragrolle wie zum Beispiel Rundlaufabweichung, Kreisformabweichung, Exzentrizität und Schalleistungspegel bleiben bestehen.

Zur Kontrolle der genannten Parameter wurden am Tragrollenprüfstand verschieden dimensionierte, serienmäßig gefertigte Tragrollen des Typs „LoW“ eines Herstellers geprüft.

Bei keinen der geprüften Tragrollentypen wurde bei steigender Unwucht eine signifikante Erhöhung des Schallleistungspegels festgestellt. Das entspricht dem Ergebnis der vorangegangenen Untersuchungen von überdreht und nicht gewuchteten Tragrollen. Die Abweichungen bei der Exzentrizität und die festgestellten Lagergeräusche zeigen, dass eine fortlaufende Prüfung von Tragrollen am Tragrollenprüfstand empfehlenswert ist. Hersteller sowie Betreiber sollten bei ihrer Wareneingangsprüfung beziehungsweise Qualitätssicherung die oben genannten Parameter regelmäßig kontrollieren oder unabhängig kontrollieren lassen.

Weiterhin ergeben sich beim Ablauf der Fertigung der „LoW“ Tragrollen Handhabungs – u. Zeitersparnisse durch Weglassen des Fertigungsprozesses Auswuchten. Nach Herstellerangaben werden abhängig vom Rohrdurchmesser und von der Rohrlänge der Tragrolle bis zu 10 % Produktionskosten eingespart.

Mit Hilfe der vorgestellten Ergebnisse vom Tragrollenprüfstand und dem Versuchsförderer der BTU Cottbus-Senftenberg konnte ersichtlich gemacht werden, dass Unwucht nicht zu einer Schallemissionserhöhung von lärmgeminderten Tragrollen führt. Der Einsatz von überdreht und nicht gewuchteten Tragrollen in ebenerdigen Gurtförderanlagen zeigte sich beim Feldversuch aus lärmtechnischer Sicht als unproblematisch.

4.7 Anregungsreaktion einer Tragrolle

Im Labor Tragrollenprüfstand konnte ein Verfahren für die Validierung von simulierten Schwingungen an Tragrollen angewandt werden. Hierzu wurde von der Firma Polytec mit Hilfe eines Impulshammers eine Tragrolle ange-regt und ein Laservibrometer PSV-500extra hat die resultierende Schwin-gung auf dem Tragrollenmantel durch Abstandsmessung erfasst (Abbildung 71).

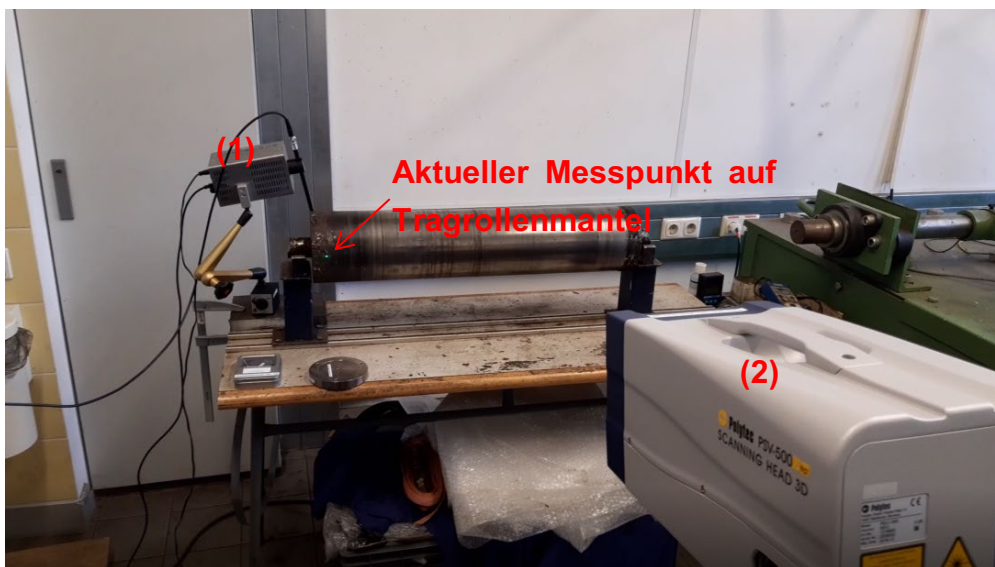


Abbildung 71: Impulshammer (1), Laser (2), Laservibrometer PSV-500extra

Da bei diesem Messsystem drei Laser auf einen Messpunkt verwendet wer-den, ist es möglich, über die Software eine 3D Darstellung der resultieren- den Schwingungen ausgeben zu lassen, nachdem alle Messpunkte der Messfläche über den Mantel verteilt abgetastet wurden. Die Messfläche ist ein auf den Tragrollenmantel projiziertes Gitternetz, dessen Knoten die Messpunkte darstellen.

Die untersuchte Tragrolle #2496 vom Typ A159x750-6310-5-18-L zeigt nach dem TPS – Anschlagversuch folgende drei Eigenfrequenzen [46] im Luftschall:

1. 752 Hz
2. 1825 Hz
3. 2307 Hz

Erste Eigenfrequenz 752 Hz:

Die erste Eigenfrequenz tritt mit zwei Amplituden bei 752 Hz und 759 Hz auf (Abbildung 72). Nach Aussage von Polytec resultieren zwei Amplituden nebeneinander aus fertigungstechnischen Abweichungen des Körpers von der Idealform. Der Abstand der Spitzen ist ein Maß für die Abweichung. Im Körperschall traten Frequenzen auf, die beim Anschlagversuch TPS nicht bestimmend im Luftschall nachgewiesen wurden.

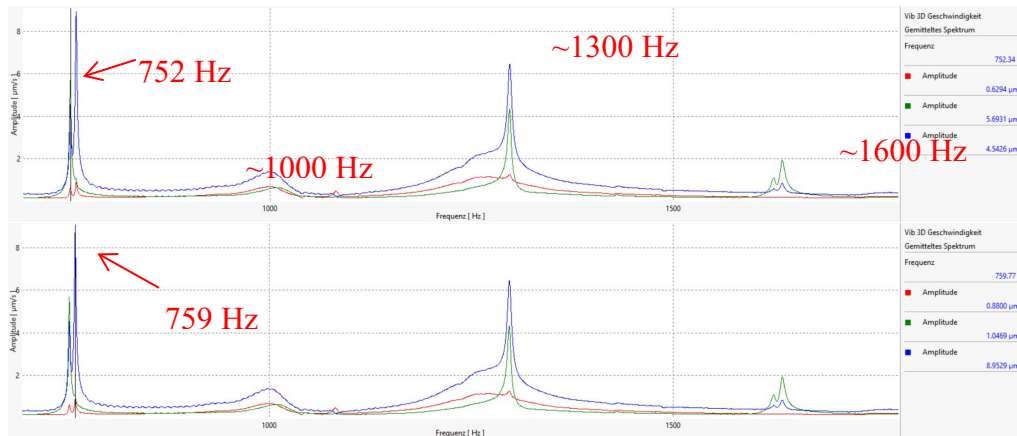


Abbildung 72: zwei Amplituden bei 752 Hz und 759 Hz erste Eigenfrequenz [35]

Die erste Eigenfrequenz der Tragrolle entspricht der Grundwelle mit einer mittigen Auslenkung des Tragrollenmantels (Mode $n=1$). Die Auslenkungen beider Amplituden treten jeweils mittig des Mantels, um den Umfang herum, um etwa 90 Grad versetzt auf (Abbildung 73).

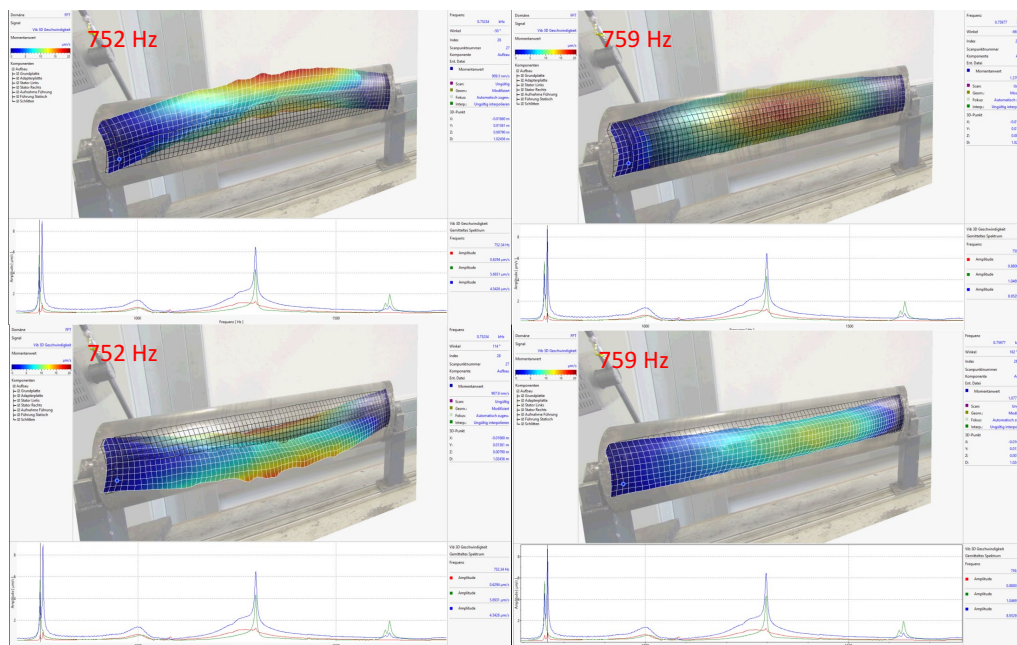


Abbildung 73: Erste Eigenfrequenz des Tragrollenmantels

Zweite Eigenfrequenz 1825 Hz:

Die Zweite Eigenfrequenz der Tragrolle tritt wie die erste Eigenfrequenz mit zwei Amplituden nebeneinander auf. Die Schwingform ähnelt der ersten Eigenfrequenz (Abbildung 74) mit der Mode $n=1$.

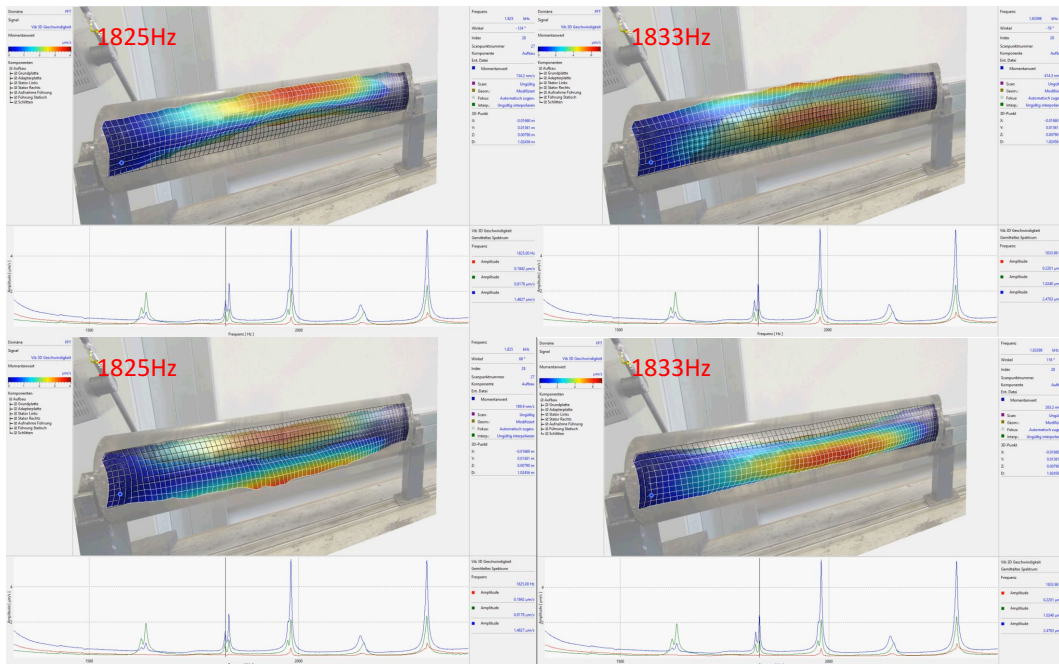


Abbildung 74: Zweite Eigenfrequenz des Tragrollenmantels

Dritte Eigenfrequenz 2307 Hz:

Die dritte Eigenfrequenz entspricht der zweiten Oberwelle mit der Mode $n=3$ (Abbildung 75).

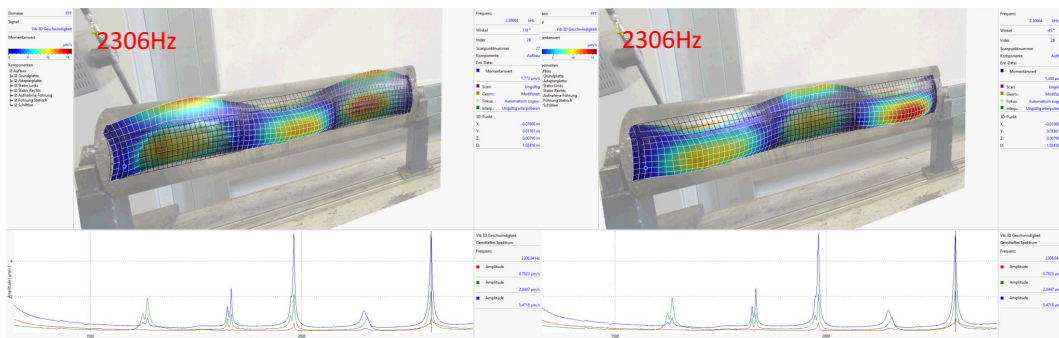


Abbildung 75: Dritte Eigenfrequenz des Tragrollenmantels

Die Messung konnte die auftretenden Schwingungen der Tragrolle #2496 sichtbar machen. Daraus folgt, dass Simulationen von schwingenden Tragrollen mit dieser Messmethodik validiert werden können.

Für einen konkreten Vergleich müsste eine Simulation von einem Model Tragrollentyp A159x750 durchgeführt werden oder die Messung für einen Tragrollentyp A219x600 wiederholt werden.

In [34] wurde unter Gliederungspunkt 2.5 „Mechanismen der Schallentstehung“ von Prof. Gründer (HTW Dresden) und R. Käso (HS Lausitz) Modalanalysen eines stark vereinfachten Tragrollenmodelles mit Hilfe der Finite Elemente Methode (FEM) durchgeführt. Diese Simulation untersuchte die Schwingform und Eigenfrequenzen [46] eines Tragrollenmantels (219x600). Das Ergebnis zeigte Schwingformen in Umfangsrichtung, Axialrichtung und deren Überlagerungen. [34]

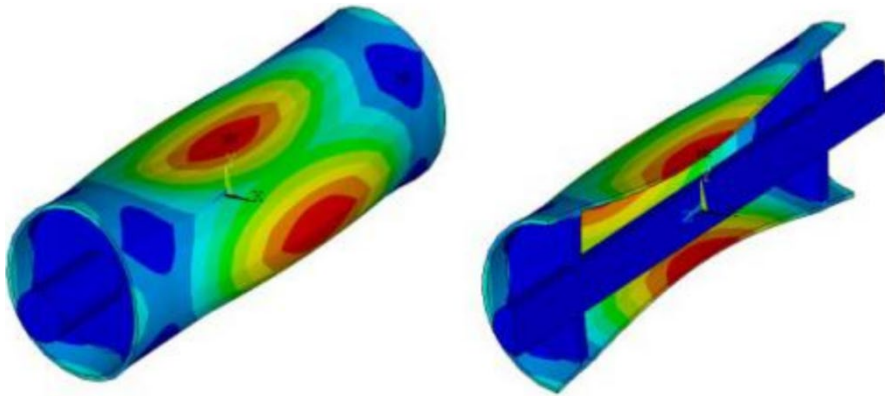


Abbildung 76: Schwingform in Umfangsrichtung [34]

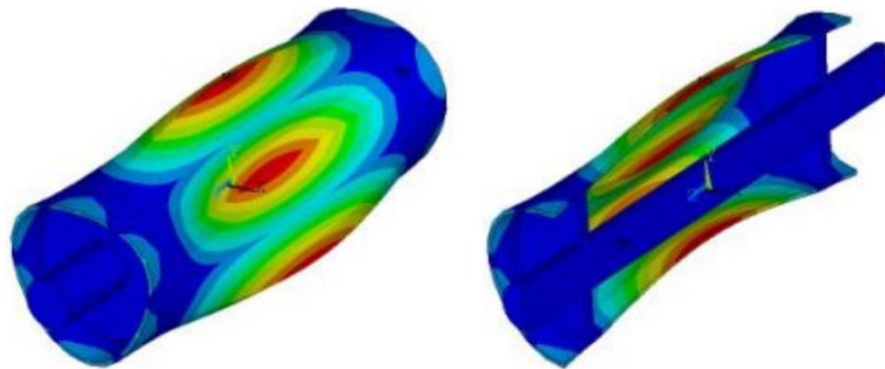


Abbildung 77: Schwingform in Umfangs- und Axialrichtung [34]

Dazu Zitat: „Die in der Simulation berechneten Eigenfrequenzen weisen eine hohe Ähnlichkeit mit den aus dem Anschlagversuch ermittelten Eigenfrequenzen auf. Eine eindeutige Zuordnung der gemessenen Eigenfrequenzen zu den berechneten Schwingformen ist, wenn überhaupt, nur im Fall der ersten Umfangsschwingung (Abbildung 76) möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wurde keine auf Messungen basierende, experimentelle Modalanalyse durchgeführt. Für dieses Verfahren wird die zu untersuchende Struktur mit einer geeigneten Erregerquelle (Impulshammer) angeregt. Gleichzeitig werden die Antworten der Struktur mit Beschleunigungsaufnehmern erfasst. Über Fast-Fouriertransformationen können dann die Frequenzgänge zwischen Anregung und Antwort berechnet werden. Dieses Verfahren ist für die Validierung der simulierten Schwingungen und für die eindeutige Zuordnung von Eigenfrequenzen [46] und Schwingformen zu empfehlen.“ [34]

4.8 Untersuchung zum Einfluss einer Innendämpfung bei Tragrollen

Der Einfluss von Unwucht auf die Schallemission von Tragrollen wurde in verschiedenen Experimenten untersucht. Es wurden dabei typengleiche lärmgeminderte Tragrollen verwendet, welche sich lediglich im Abklingverhalten unterscheiden haben. Das unterschiedliche Abklingverhalten wurde durch den Einsatz einer Innendämpfung realisiert. Es wurde bei beiden Tragrollen kein Einfluss der Unwucht auf die Schallemission festgestellt. Das Ergebnis ist demzufolge unabhängig vom Einsatz der Innendämpfung. Es stellt sich jedoch die Frage, inwiefern ist eine Innendämpfung bei Anregung wirksam?

4.8.1 Erweiterter Anschlagversuch

Lärmgeminderte Tragrollen werden bei höheren schalltechnischen Anforderungen vermehrt mit Innendämpfung versehen, welche im Tragrollenrohr durchgängig, partiell, oder mehrfach partiell eingebracht werden.

Wie kann man messtechnisch akustisch feststellen, welcher Fall vorliegt beziehungsweise welcher Fall akustisch günstig ist? Hierzu wurden Anschlagversuche über den gesamten Tragrollenmantel an Tragrollen durchgeführt. Tabelle 10 zeigt die Untersuchungsmatrix für den erweiterten Anschlagversuch.

Tabelle 10: Untersuchungsmatrix erweiterter Anschlagversuch

Schritt:	1	...	n	n+1	n+2
Anschlagpunkt:	5 cm	alle 5 cm	5 cm	Datenanalyse	Ausgabe und Darstellung
Tragrolle: #1516 #788 #1703 #1685	linke Mantelseite		rechte Mantelseite		

Bei der Tragrolle #1516 A219x600-6312-G2-21-L (überdreht, nicht gewuchtet, gedämpft) wurde festgestellt, dass außer im Bereich der Lagerhalter die Abklingwerte relativ konstant bleiben (Abbildung 78).

Die nach Zeichnung mittig eingebrachte Innendämpfung lässt sich messtechnisch mit der herkömmlichen Methode schwer nachweisen.

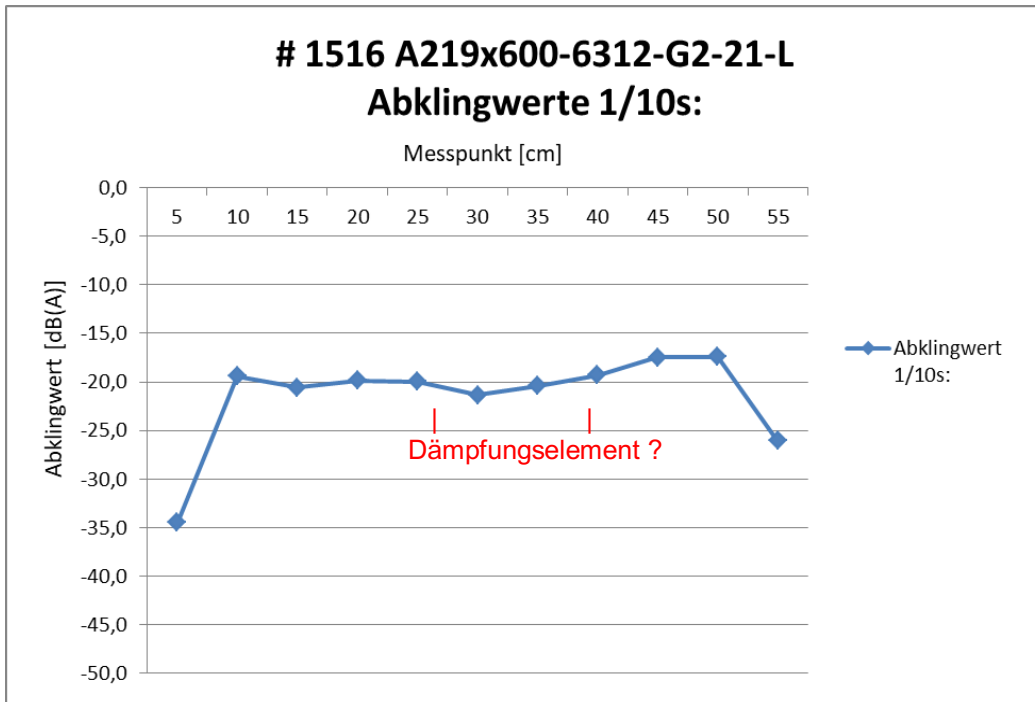


Abbildung 78: Abklingwerte entlang der Mantellänge #1516

Der Versuch wurde bei einer Innengedämpften Tragrolle mit der Mantellänge 1050 mm wiederholt.

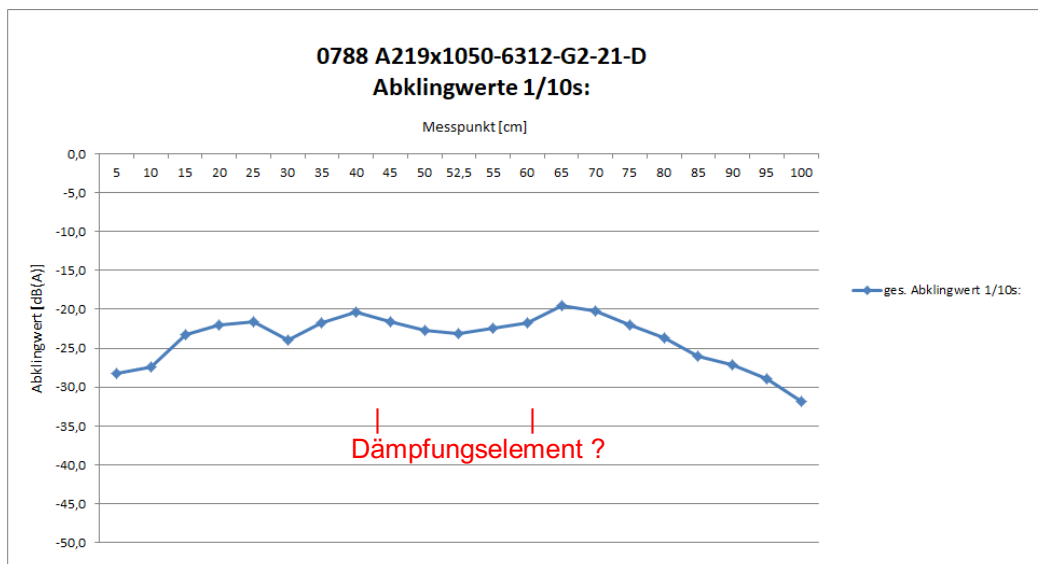


Abbildung 79: Abklingwerte entlang der Mantellänge #0788

Bei der Tragrolle #0788 A219x1050-6312-G2-21-D (nicht überdreht, nicht gewuchtet, gedämpft) wurde festgestellt, dass außer im Bereich der Lagerhalter die Abklingwerte leicht schwanken. Die eingebrachte Innendämpfung lässt sich messtechnisch nachweisen. Die Abbildung 79 zeigt im Mittelbereich 40 cm-65 cm eine Ausbauchung, welche durch die Innendämpfung hervorgerufen wird.

Der Bereich zwischen den Lagerhaltern und der Innendämpfung weist ähnliche Abklingwerte auf, aber durch das „Klingen“ in diesem Zwischenbereich eine bessere Auswertungsmöglichkeit für die Frequenzanalyse zur Ermittlung der Eigenfrequenzen [46] der Tragrolle. Um dies näher zu untersuchen, ist es notwendig, die Auswertungssoftware für den Anschlagversuch zu modifizieren und so zu erweitern, dass die Abklingwerte der einzelnen Terzmittenfrequenzen über den Mantel verteilt dargestellt werden können.

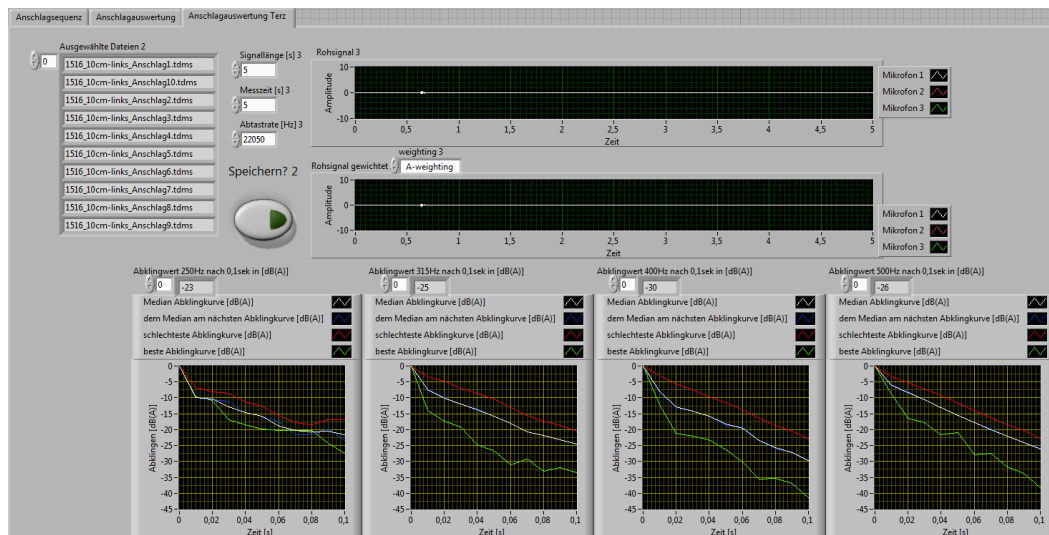


Abbildung 80: Anschlagauswertung Terz Frontpanel VI

Die Abklingwerte werden wie beim herkömmlichen Anschlagversuch ermittelt. Die Erweiterung besteht darin, dass das Signal für jede Terzmittenfrequenz einen Bandpass [12][46] durchläuft und dann entsprechend der jeweilige Abklingwert berechnet wird. Ergebnis ist ein Abklingwert spezifisch für jede Terzmittenfrequenz. Dargestellt und abgespeichert werden die Abklingwerte bei 1/10 s der Terzenmittenfrequenzen 250 Hz bis 8000 Hz (Abbildung 80).

4.8.2 Abklingverhalten von Tragrollen Typ A219x1050/600/1050-G2-21

Die aufgenommenen Daten werden mit der Softwareerweiterung ausgewertet dargestellt (Abbildung 81). Zum Vergleich, eine Kunststofftragrolle hat ein gutes Abklingverhalten mit -40 dB bei 0,1 s und eine Bronzeglocke hat dem gegenüber ein schlechtes Abklingverhalten mit -5 dB bei 0,1 s.

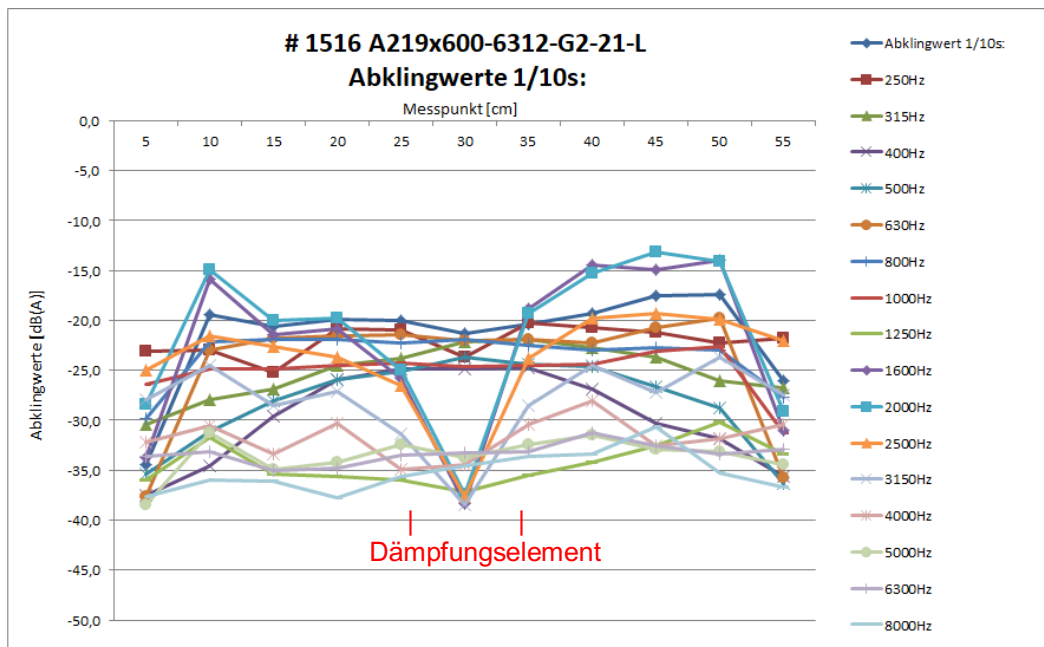


Abbildung 81: Abklingwerte Terzmittenfrequenzen entlang der Mantellänge #1516

Bei der Mitteltragrolle #1516 A219x600-6312-G2-21-L (überdreht, nicht gewuchtet, gedämpft) wurde festgestellt, dass die mittig eingebrachte Innendämpfung sich messtechnisch mit dem Abklingverhalten der Terzmittenfrequenzen nachweisen lässt. Die Terzmittenfrequenzen 1600 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz und 3150 Hz zeigen im Bereich der Mitte einen deutlichen Abfall auf -40 dB(A).

Die festgestellten ersten drei Eigenfrequenzen [46] der Tragrolle #1516 liegen im Bereich der Terzmittenfrequenzen 800 Hz, 1000 Hz und 2000 Hz. Die Eigenfrequenzen bei 800 Hz und 1000 Hz werden durch die Innendämpfung insgesamt gesenkt. Diese durchlaufen den mittigen Bereich der Innendämpfung, im Gegensatz zur Eigenfrequenz 2000 Hz, ohne Wirkung (Abbildung 82). Das heißt, dass die Innendämpfung auf die ersten beiden Eigenfrequenzen nur bedingt dämpfend wirkt. Bei einer Anregung der Tragrolle zur Schallabstrahlung werden diese Frequenzen akustisch wirksam werden. Ein Entwicklungspotential hinsichtlich konstruktiver Lärmminierungsmaßnahmen ist bei dieser Tragrolle gegeben.

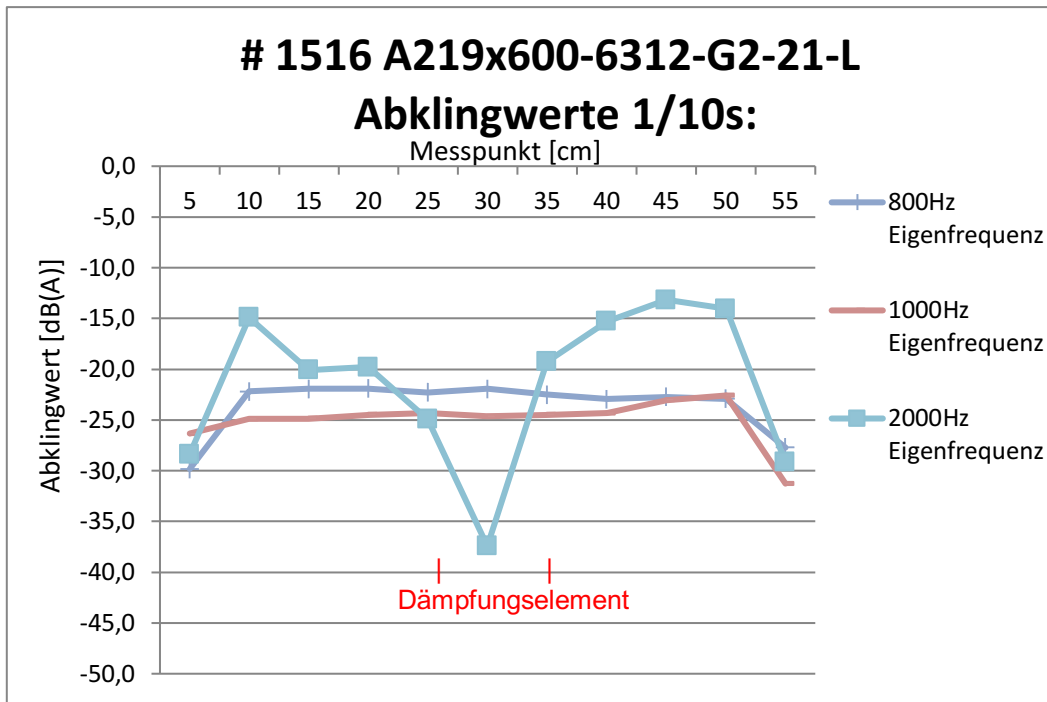


Abbildung 82: Verlauf Eigenfrequenzen #1516

Eine weitere Versuchsreihe wurde mit der Seitentragrolle #0788 wiederholt (Abbildung 83).

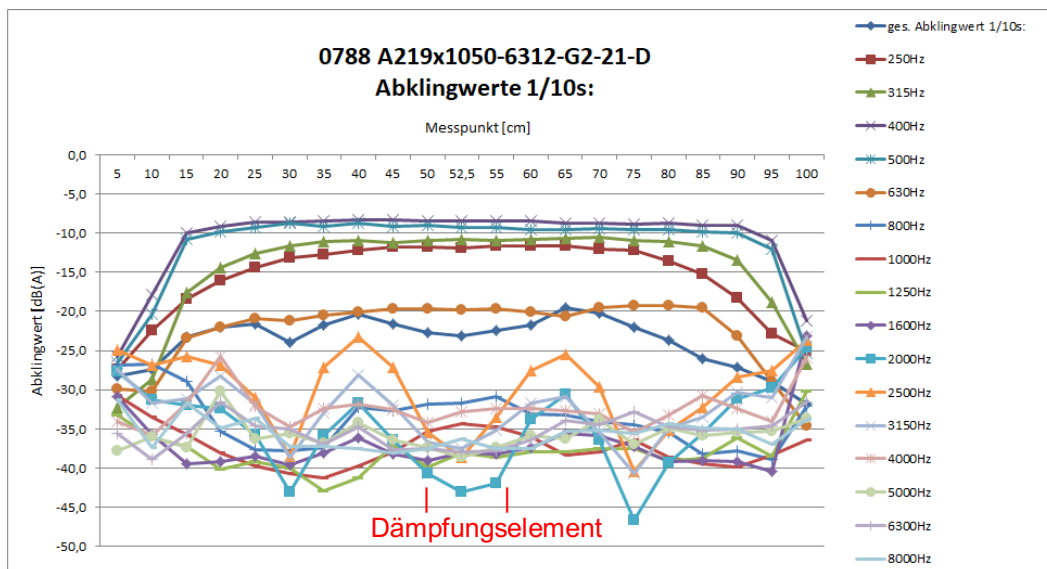


Abbildung 83: Abklingwerte Terzen entlang der Mantellänge # 0788

Bei der Tragrolle #0788 A219x1050-6312-G2-21-D (nicht überdreht, nicht gewuchtet, gedämpft) wurde festgestellt, dass die mittige Innendämpfung auf die ersten vier Terzmittenfrequenzen 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz und 500 Hz nur eine geringe Wirkung zeigt.

Dem folgt dann die deutlich gesenkte 630 Hz Terzmittenfrequenz.

Besonders auffällig ist die 2500 Hz Terz, welche im Zwischenbereich von Lagerhalter und Tragrollenmitte hoch (das „Klingen“ beim Anschlagen in diesem Bereich) und in der Mitte stark abfällt. Hier lässt sich eindeutig die Innendämpfung messtechnisch nachweisen.

Die ersten drei Eigenfrequenzen der Tragrolle #0788 liegen im Bereich der Terzmittenfrequenzen 400 Hz, 500 Hz, sowie 1000 Hz und 1600 Hz.

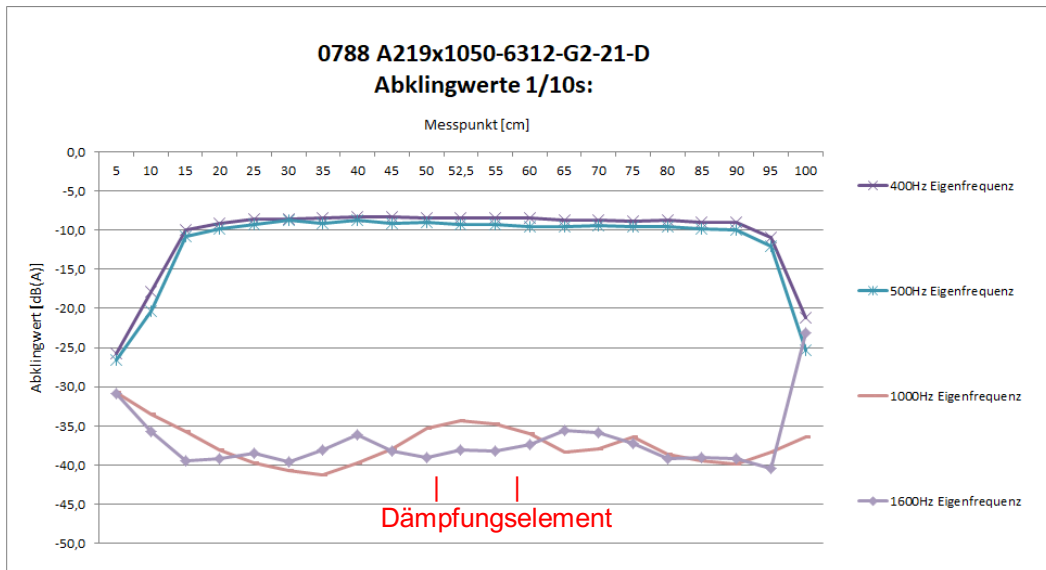


Abbildung 84: Verlauf Eigenfrequenzen #0788

Die erste Eigenfrequenz bei 400 Hz, 500 Hz wird durch die Innendämpfung insgesamt gering beeinflusst. Diese Terzmittenfrequenzen durchlaufen den Mantelbereich zwischen den Lagerhaltern konstant bei etwa einem Abklingwert von -10 dB(A), ohne dass im mittigen Bereich eine Innendämpfung zu erkennen wäre (Abbildung 84).

Die zweite und dritte Eigenfrequenz der Tragrolle ist bei 1000 Hz und 1600 Hz stark gesenkt.

Insgesamt bedeutet das, dass für diese Tragrolle ein Dämpfungselement mittig nicht ausreichend wirkt, um die erste Eigenfrequenz abzdämpfen. Bei einer Anregung der Tragrolle zur Schallabstrahlung werden diese Frequenzen akustisch wirksam werden. Ein Entwicklungspotential hinsichtlich konstruktiver Lärminderungsmaßnahmen ist bei dieser Tragrolle gegeben. Die zweite und dritte Eigenfrequenz werden durch die mittige Innendämpfung ausreichend beeinflusst.

Zum Vergleich dazu Seitentragrolle #1703 A219x1050-6312-G2-21-L, überdreht, nicht gewuchtet, gedämpft (Vergleich zwischen nicht überdreht #0788 und überdreht #1703).

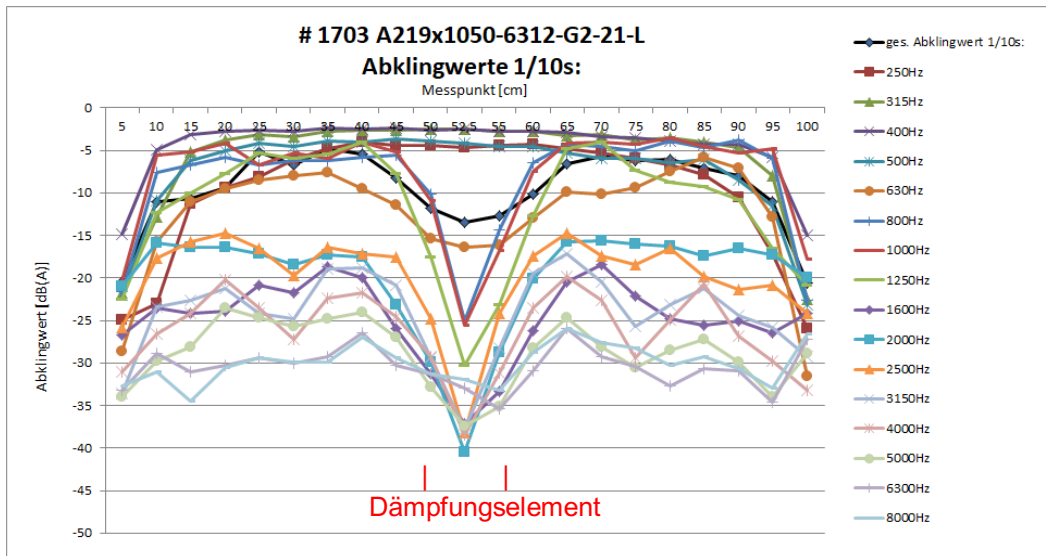


Abbildung 85: Tragrolle #1703 Abklingwerte der Terzmittenfrequenzen über Mantellänge

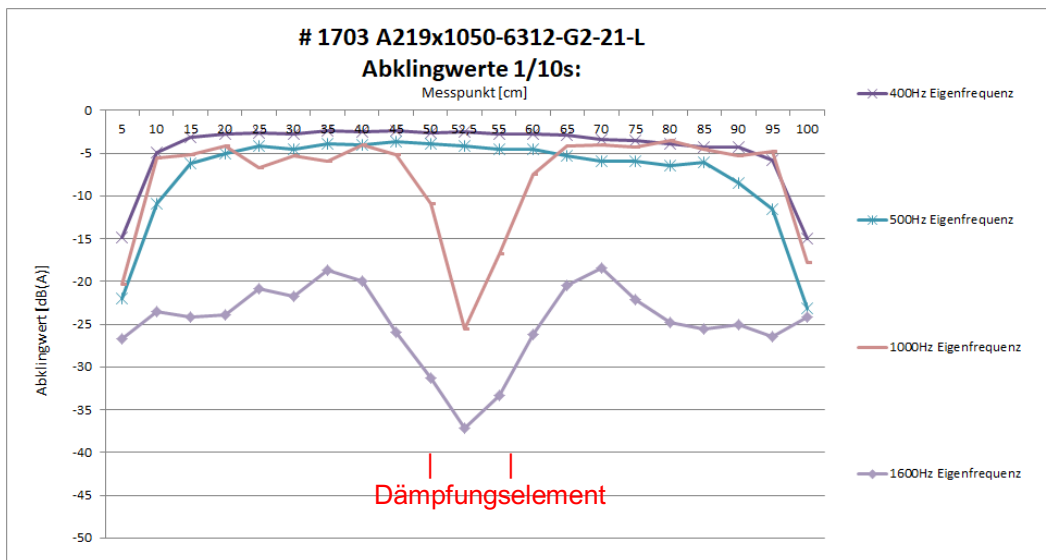


Abbildung 86: Tragrolle #1703 Abklingwerte der Eigenfrequenzen über Mantellänge

Das Überdrehen der Tragrolle (Vergleich Abbildung 83 und Abbildung 85 als auch Abbildung 84 und Abbildung 86) veränderten das Abklingverhalten der Tragrolle. Die erste Eigenfrequenz von #1703 bei 400 Hz, 500 Hz bleibt hinsichtlich des Abklingverhaltens über den Mantel konstant im gering abklingenden Bereich. Die zweite Eigenfrequenz bei 1000 Hz bleibt ebenfalls im gering abklingenden Bereich, wird aber bei der Innendämpfung abgedämpft auf -25 dB(A).

Die dritte Eigenfrequenz bei 1600 Hz verläuft im mittleren Abklingbereich und wird zusätzlich beim Dämpfungselement nochmals abgedämpft bis über -35 dB(A) hinaus.

Wie ist das Abklingverhalten von zwei Innendämpfungen eingebracht bei 1/3 und 2/3 Tragrollenmantellänge der 1050 mm Seitentragrolle?

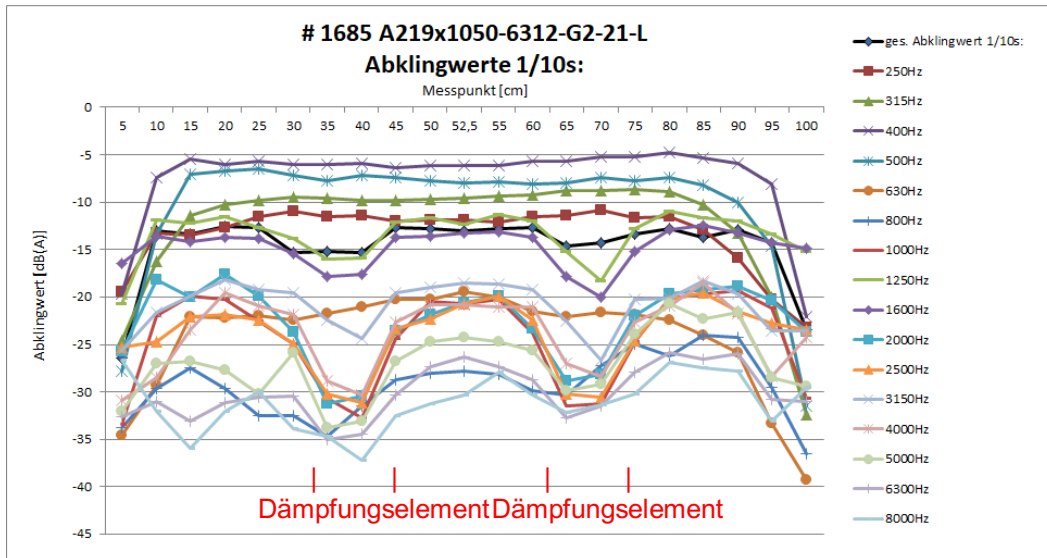


Abbildung 87: Tragrolle #1685 Abklingwerte Terzmittenfrequenzen über Mantellänge

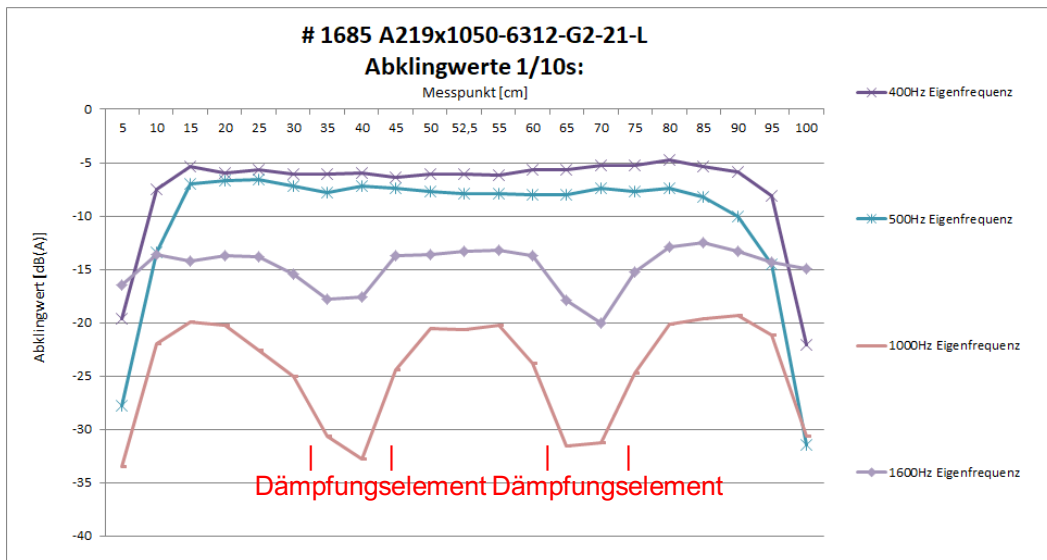


Abbildung 88: Tragrolle #1685 Abklingwerte der Eigenfrequenzen über Mantellänge

Bei der Testtragrolle #1685 sind messtechnisch beide Dämpfungselemente feststellbar, durch zwei Senkungen der Abklingwerte bei den Messpunkten 35 cm bis 40 cm und 65 cm bis 70 cm (Abbildung 87 und Abbildung 88).

Es sind weiterhin Unterschiede zu erkennen hinsichtlich der Höhe im Verlauf des Gesamtabklingwertes sowie der „Talbildung“ bei den höheren Terzmittenfrequenzen, welche die Position eines Dämpfungselementes aufzeigt und eines gering besseren Abklingverhaltens der niedrigeren Terzmittenfrequenzen von 250 Hz bis 630 Hz bei einem Einsetzen von zwei Dämpfungselementen.

Vergleicht man den Abklingverlauf der Eigenfrequenzen der Tragrolle #1703 mit einem Dämpfungselement und der Tragrolle #1685 mit zwei Dämpfungselementen zeigen sich Ähnlichkeiten im Verlauf der ersten Eigenfrequenz bei 400 Hz und 500 Hz. Auch zwei Innendämpfungen konnten die erste Eigenfrequenz der Tragrolle nicht wirkungsvoll abdämpfen. Bei einer entsprechenden Anregung wird die Tragrolle diese Eigenfrequenz als Schall abstrahlen. In Bezug auf den Einbauort bedeutet das, dass die erste Eigenfrequenz nach Anregung der Tragrolle auftritt und sich nachweisen lässt. Niedrigere Frequenzen wirken akustisch ungünstiger über weite Strecken als höhere Frequenzen. Die Entfernung zum Immissionsort wird relevant. Wenn die Notwendigkeit besteht, die Wirkung der ersten Eigenfrequenz einer Tragrolle über eine Innendämpfung zu minimieren, sollte ein tragrollentypenspezifischer Vergleich zwischen den verschiedenen möglichen Ausführungsformen durchgeführt werden. Die Untersuchung betrachtet den Einsatz eines Dämpfungselementes bis hin zur vollständig innenge-dämpften Tragrolle im Tragrollenmantel. Sollte sich die gewünschte Minimierung nicht nachweisen lassen, müssen andere konstruktive Lösungen gesucht werden oder andere Tragrollentypen für den Einsatzort in Betracht gezogen werden.

Die zweite Eigenfrequenz bei 1000 Hz wurde durch den Einsatz von zwei Dämpfungselementen bei der Tragrolle #1685 deutlich gegenüber der Tragrolle #1703 mit einem Dämpfungselement gesenkt.

Die dritte Eigenfrequenz bei 1600 Hz hingegen erfährt eher eine Verschlechterung im Verlauf des Abklingverhaltens.

4.8.3 Untersuchung zur Wirkung von Innendämpfung auf den Schalleistungspegel von Tragrollen

Zur Überprüfung der Wirkung der Dämpfungselemente wurden Klebestreifenversuche mit den Tragrollen durchgeführt und die Pegeldifferenzen verglichen. Der Klebestreifenversuch ist ein Vergleich zwischen einem normalen Prüflauf und einem Prüflauf mit einem orthogonal zur Laufrichtung, über den gesamten Tragrollenmantel aufgebrauchten Klebestreifen, welcher drehfrequent einmal eine Anregung zur Schallabstrahlung initiiert. Hierfür werden die bereits hinsichtlich des Abklingverhaltens untersuchten Seitentragrollen #1685 und #1703 herangezogen.

Die Tragrolle #1685 entspricht hinsichtlich des Schalleistungspegels der Kreisformabweichung und Exzentrizität der LE-B-Lieferanforderung für lärmgeminderte Tragrollen. Der Abklingwert beträgt -13 dB(A) bei 0,1 s. Der Schalleistungspegel bei 7,5 m/s beträgt 67 dB(A).

Die Tragrolle #1703 entspricht hinsichtlich des Schalleistungspegels und der Kreisformabweichung der LE-B-Lieferanforderung für lärmgeminderte Tragrollen. Bei der Exzentrizität ist bei Messstelle 1 eine Überhöhung festgestellt worden. Der Abklingwert der Tragrolle beträgt -19 dB(A) bei 0,1 s. Der Schalleistungspegel bei 7,5 m/s beträgt 63 dB(A).

Bei dem Versuch dargestellt werden die für die Vorschnittbandanlage relevanten Schalleistungspegel in Abhängigkeit von den Umfangsgeschwindigkeiten 5,8 m/s, 6,5 m/s, 7 m/s und 7,5 m/s, als auch die Pegelunterschiede hervorgerufen durch die für die zusätzliche Anregung angebrachten Klebestreifen der Längen 105 mm, 210 mm und über die gesamte Mantellänge. Es ist zu beachten, dass nur eine Tragrollenpaarung dieses Typs untersucht und verglichen werden konnte.

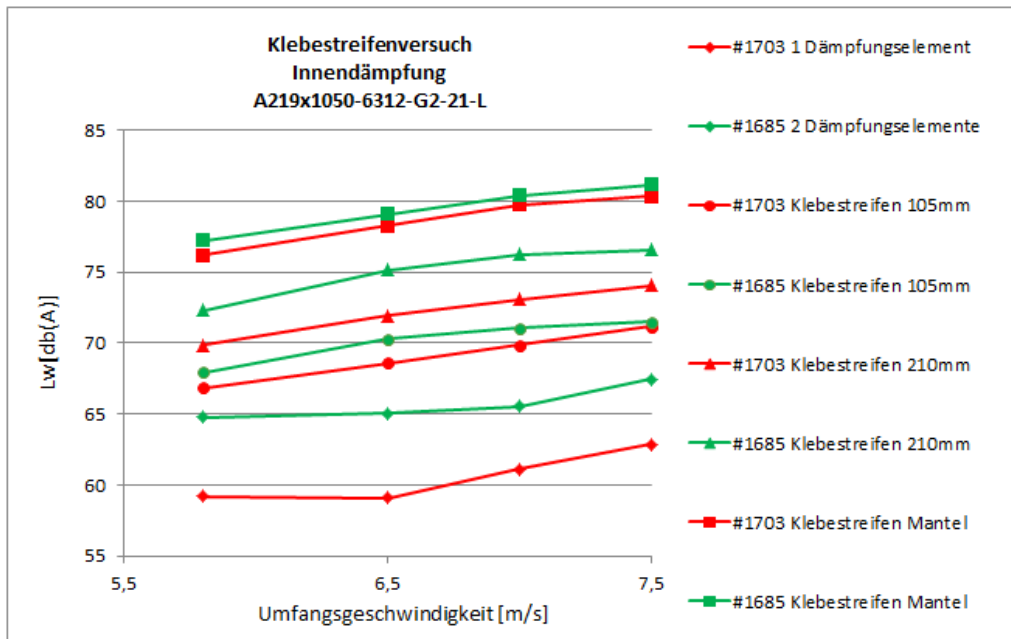


Abbildung 89: Pegelverläufe beim Klebestreifenversuch Innendämpfung (rot – ein Dämpfungselement, grün – zwei Dämpfungselemente)

Das Ergebnis (Abbildung 89) ist zunächst überraschend. Die Tragrolle #1703 mit nur einem Dämpfungselement ist sowohl im Prüflauf ohne Anregung durch einen Klebestreifen, als auch im höchsten durchgeführten Anregungsfall mit dem Klebestreifen über den gesamten Tragrollenmantel leiser als die Tragrolle #1685 mit zwei Dämpfungselementen.

Um die Wirkung der Innendämpfung näher zu betrachten, werden die Pegeldifferenzen dargestellt (Abbildung 90).

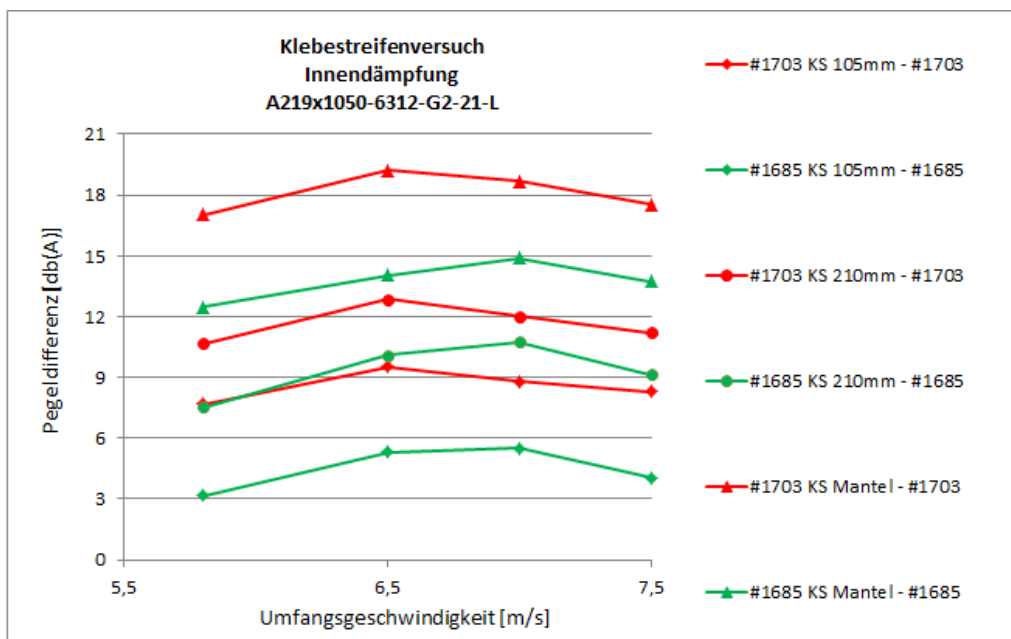


Abbildung 90: Vergleich der Pegelanstiege beim Klebestreifenversuch Innendämpfung

Die Pegel der jeweiligen Prüfläufe werden abzüglich des Prüflaues ohne Klebestreifen zur Anregung dargestellt. Es stellt sich heraus, dass die Tragrolle #1685 mit zwei Dämpfungselementen bei vergleichbarer Anregung geringere Pegelsteigerungen aufzeigt, als die Tragrolle #1703 mit nur einem Dämpfungselement. Zur Präzisierung und Absicherung, inwiefern nach erfolgter Anregung die Dämpfung wirkt, ist eine vergleichende Untersuchung mit einer höheren Stückzahl an Tragrollen zu empfehlen. Hierzu sollten wenigstens zehn Tragrollen des jeweiligen Tragrollentyps eingeplant werden.

Mit einem ähnlichen Verfahren werden die zur Verfügung stehenden Tragrollen vom Typ A194x750-6310 untersucht. Tabelle 11 zeigt die Untersuchungsmatrix für den Klebestreifenversuch.

Tabelle 11: Untersuchungsmatrix Klebestreifenversuch

Schritt:	1	...	9	10	11
Klebestreifenlänge:	10%	...	90%	Datenanalyse	Ausgabe und Darstellung
Tragrolle:	Mantellänge		Mantellänge		
#179					
#300					
#608					
#1863					
#610					

Hierzu stehen zur Verfügung die Tragrollen #0179 (Hersteller A, nicht überdreht), #0300 (Hersteller D, floatforming - ff), #0608 (Hersteller A, überdreht und gewuchtet), #1863 (Hersteller C, überdreht, gewuchtet, mittig gedämpft) und #0610 (Hersteller A überdreht, gewuchtet, vollständig gedämpft). Die zur Anregung verwendeten Klebestreifen werden hinsichtlich ihrer Länge gegenüber der Tragrollenmantellänge jeweils bei den Tragrollen in 10 %-Schritten verlängert. Zur besseren Veranschaulichung der Ergebnisse werden die festgestellten Differenzen der einzelnen Tragrollen bei der Geschwindigkeit 7,5 m/s in Abhängigkeit von der Klebestreifenlänge, also der Anregung zur Schallabstrahlung, dargestellt (Abbildung 91 und Abbildung 92).

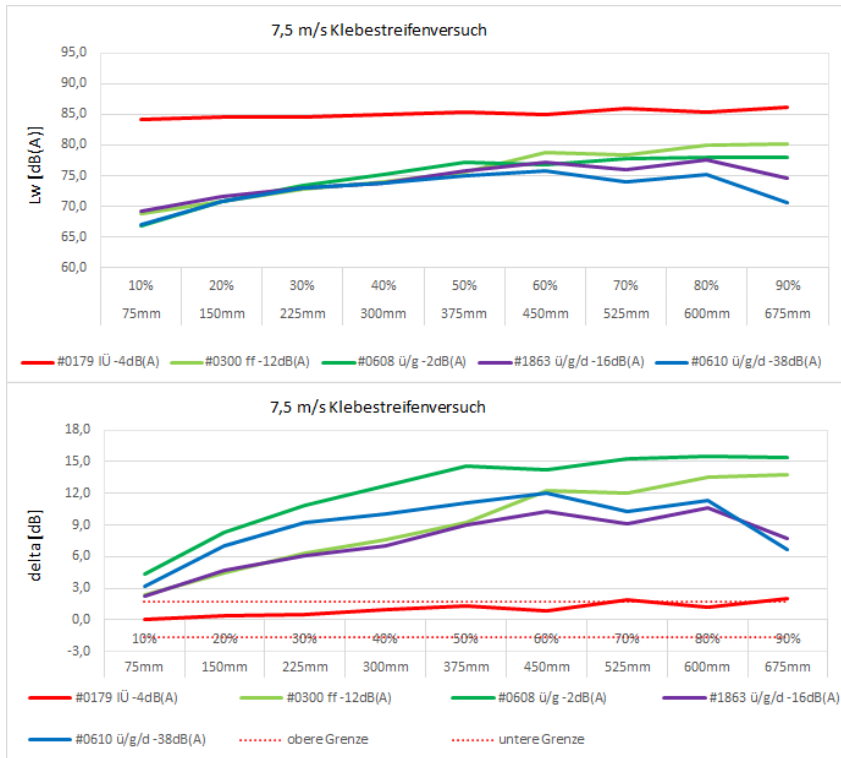


Abbildung 91: Pegelvergleiche bei 7,5 m/s und verschiedenen Anregungszuständen

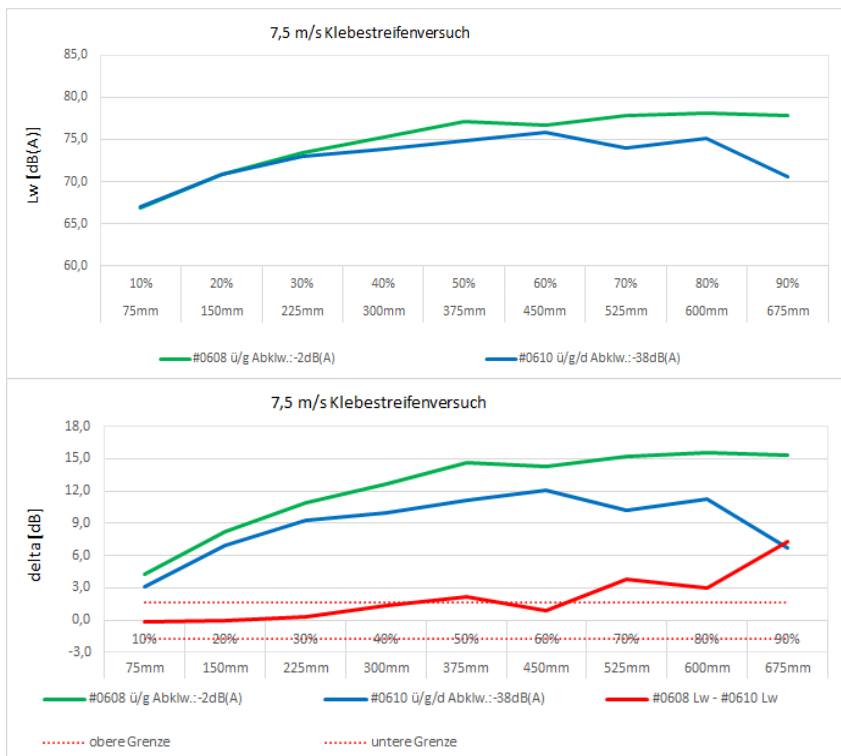


Abbildung 92: Pegelvergleich Hersteller A bei 7,5 m/s und verschiedenen Anregungszuständen

Der Pegeldifferenzenvergleich der Tragrollen bei der Geschwindigkeit 7,5 m/s (Abbildung 91) zeigt, dass die Tragrolle #0179 (rot) keine Pegeldifferenzen bei steigender Anregung aufweist.

Die Tragrolle wird über die Kreisformabweichung so stark zur Schallabstrahlung angeregt, dass trotz Klebestreifen keine Erhöhung des Schallleistungspegels erreicht wird. Die Tragrolle #0608 (dunkelgrün) hat die höchste auftretende Pegeldifferenz und den geringsten Abklingwertwert.

Auffällig sind die nah beieinander verlaufenden Pegeldifferenzen bei den Tragrollen #0300, #0610 und #1863 sowie ein Pegeldifferenzenrückgang bei den Tragrollen mit Innendämpfung ab einer Klebestreifenlänge von 450 mm (60% Mantellänge).

Aus diesem Versuch heraus lassen sich herstellerspezifisch die Tragrollen #0608 und #0610 von Hersteller A miteinander in ihren Typenunterschieden, lärmgemindert ohne Innendämpfung und lärmgemindert mit vollständiger Innendämpfung, vergleichen (Abbildung 92).

Die Pegeldifferenzen zwischen einer lärmoptimierten nicht gedämpften und einer lärmoptimierten vollgedämpften Tragrolle von Hersteller A sind gering, aber bei 5,8 m/s ab einem Klebestreifen von 225 mm (30% Mantellänge) nachweisbar.

Bei den Geschwindigkeiten 7,5 m/s und 10,0 m/s verschiebt sich die nachweisliche Wirkung auf die Klebestreifenlänge von 40% bzw. 50% der Mantellänge. Bei der Klebestreifenlänge von 375 mm (50%) ist ein Unterschied von 3 dB nachweisbar.

Durch die Klebestreifenversuche konnte im direkten Vergleich zweier Tragrollen eines Herstellers ein tatsächlicher Mehrwert einer eingebrachten Innendämpfung nachgewiesen werden, wenn die Tragrolle über den Mantel zur Schallabstrahlung angeregt wird. Somit wurde ein Lärminderungseffekt bei größer werdender Anregung zur Schallabstrahlung bei innengedämpften Tragrollen festgestellt. Bei Anbackungen an lärmgeminderten und innengedämpften Tragrollen in Gurtförderanlagen ist dem zu Folge eine geringere Schallemission zu erwarten gegenüber lärmgeminderten Tragrollen ohne Innendämpfung.

Inwieweit diese Effekte bei anderen Herstellern und bei anderen Tragrollentypen eintreten, bleibt zunächst offen. Weitere Untersuchungen hierzu sind zu empfehlen.

4.8.4 Zusammenfassung der Untersuchung zur Innendämpfung bei Tragrollen

Mit der Untersuchung der Wirkung von Innendämpfungen bei Tragrollen wurde ein Verfahren vorgestellt, mit dessen Ergebnissen man mit Hilfe von Anschlagversuchen über die Mantellänge die Position der Innendämpfung feststellen kann. Das Abklingverhalten der Eigenfrequenzen der Tragrolle bzw. der Terzmittenfrequenzen ist ebenfalls ermittelbar.

Am Tragrollenprüfstand wurden bei den Tragrollen vergleichend mit Klebestreifen verschiedene Anregungszustände hergestellt und die daraus resultierenden Schallleistungspegel bzw. Pegeländerungen ermittelt. Mit dem Testergebnis ist begründbar, ob ein Dämpfungselement ausreichend ist. Ein weiteres Dämpfungselement bewirkt bei vergleichbarer Anregung einen geringeren Pegelanstieg.

Die Angabe einer allgemein zu erwartenden Pegelreduktion durch ein Dämpfungselement ist aufgrund der Ergebnisse nur tragrollentypspezifisch, vergleichend sowie abhängig von der Umfangsgeschwindigkeit und Anregung darstellbar. Daraus folgt, dass die Tragrollenhersteller zum Nachweis eines Mehrwertes einer Innendämpfung bei Anregung zur Schallabstrahlung jeweils die mit Dämpfungselementen versehenen Tragrollentypen mit deren typengleichen Tragrollen ohne Innendämpfung vergleichen müssen.

Für welche Tragrollenvariante man sich letztendlich entscheidet, wird abhängig sein von der Lieferanforderung, der Notwendigkeit des Einsatzes, rechtlichen Vorgaben oder vom Preis der Tragrolle. Hinsichtlich der Lärmvorgaben in einer Lieferanforderung bietet die vorgestellten Untersuchungsverfahren die Möglichkeit, lärmgeminderte beziehungsweise lärmoptimierte Tragrollen zu prüfen und zu vergleichen. Der Hersteller kann mit diesem Verfahren konstruktive Änderungen objektiv bewerten und zielgerichtet lärmoptimierte Tragrollen weiterentwickeln.

5 Ergebnisse, Diskussion und Empfehlungen

Im folgendem sollen die Ergebnisse der verschiedenen Versuche noch einmal dargestellt werden. Die Ergebnisse werden diskutiert und aus den Erkenntnissen Empfehlungen abgeleitet.

5.1 Die Ergebnisse der Untersuchungen

Beim ersten Experiment wurde stufenweise bei einer Versuchstragrolle die Unwucht erhöht. Jeweils dazu wurde der Schalleistungspegel der Tragrolle ermittelt. Entgegen einer zu erwartenden Schallemissionserhöhung wurden keine signifikanten Pegeldifferenzen festgestellt (Abbildung 93).

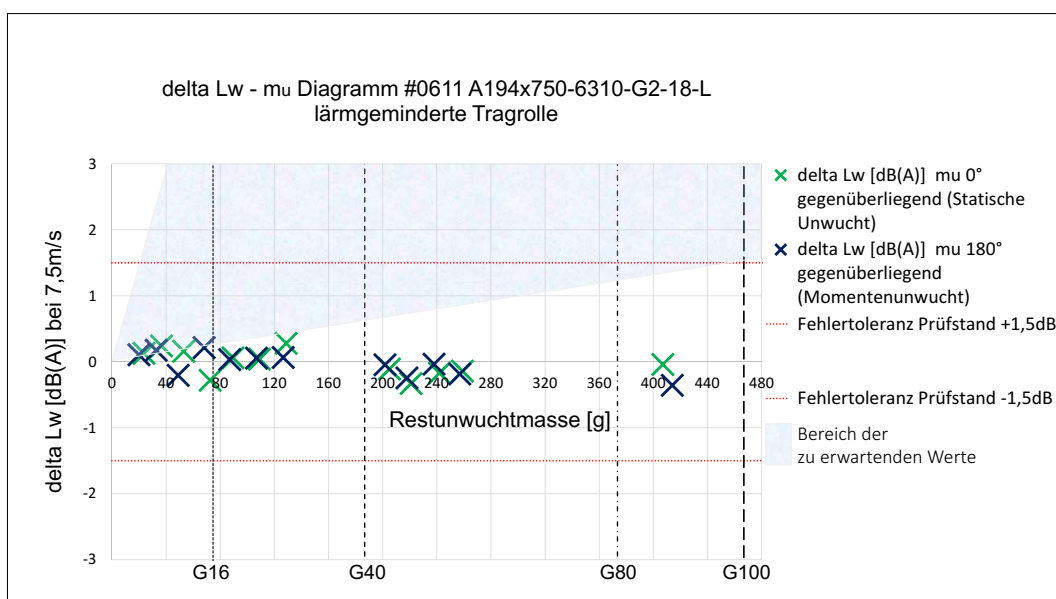


Abbildung 93: Ergebnis Schallemission einer Tragrolle bei stufenweiser Erhöhung der Unwucht [27]

Das zweite Experiment betrachtete den Zusammenhang zwischen Anbackungen, Unwucht und Schallemission. Bei Tragrollen mit Anbackungen wurden die Unwucht und der Schalleistungspegel festgestellt. Nach der Reinigung der Manteloberflächen der Tragrollen wurden die Messungen wiederholt. Der Vergleich der Ergebnisse (Tabelle 12) zeigte, dass die Anbackungen bei diesem Versuch die Schallemission um bis zu 21 dB erhöhen konnten. Auffällig wurde, dass Anbackungen die Unwucht einer Tragrolle auch verringern können.

Tabelle 12: Vergleich der Ergebnisse mit und ohne Anbackung #2179 bis #2187 [27]

Kennnummer LEAG:	2179	2180	2181	2182	2184	2185	2186	2187
delta Masse [kg]:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	-0,05	-0,05
delta KFA max. [mm]:	-0,194	-0,589	-0,028	-0,071	-0,082	-0,003	-0,890	-0,710
delta Lw [dB(A)]:	-19	-17	-9	-7	-11	-18	-17	-21
delta Wuchtgüte G [mm/s]:	0	0	0	1	0	0	-1	0
delta mu links [g]:	0,20	-0,60	0,20	0,90	-0,30	0,40	-0,20	-0,92
delta Winkellage links [Grad]:	2	3	-2	-1	1	-2	-2	13
delta mu rechts [g]:	0,20	1,30	-0,20	-0,10	0,07	0,30	-1,10	0,25
delta Winkellage rechts [Grad]:	0	2	-1	0	-1	0	4	-3
delta mu gesamt [g]:	0,40	0,70	0,00	0,80	-0,23	0,70	-1,30	-0,67

Der Ausgangszustand der Tragrollen mit Anbackungen ist nicht wiederherstellbar. Es musste ein Versuch entwickelt werden, der reproduzierbar ist. Das dritte Experiment wurde analog zum ersten Experiment entwickelt, ergänzt durch die Simulation von Anbackungen mit Hilfe von Klebestreifen. Dieser Versuch konnte auch mit höheren Unwuchten das Ergebnis des ersten Experimentes wiederholen. Erst das Anbringen eines Klebestreifens als Anbackung auf dem Tragrollenmantel erhöhte signifikant die Schallemission. Ein zweiter Klebestreifen wurde, den Tragrollenmantel um 180 Grad gedreht, genau gegenüber dem ersten Klebestreifen angebracht. Die Klebestreifen wuchten sich somit gegenseitig aus. Die danach festgestellte nochmalige Pegelerhöhung von 3 dB ist der Nachweis, dass nicht die Unwucht, sondern die Kreisformabweichung bzw. die Geometrieänderung des Tragrollenmantels durch die Anbackung die Anregung zur Schallabstrahlung verursachen (Abbildung 94).

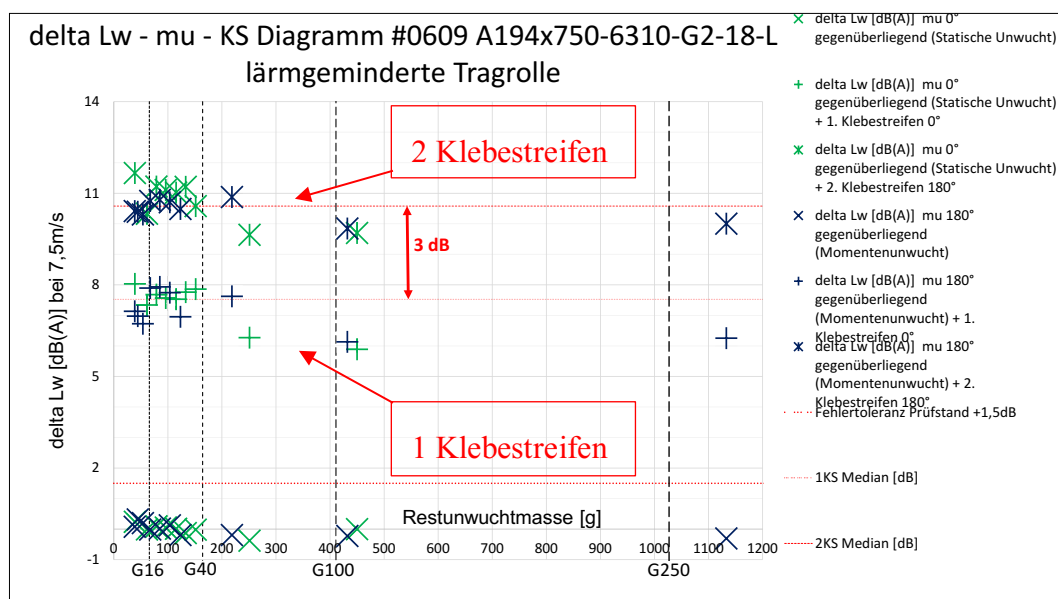


Abbildung 94: Nachweis für die Anregung zur Schallabstrahlung durch Kreisformabweichung [27]

Das vierte Experiment untersuchte überdreht und nichtgewuchtete Tragrollenchargen zweier Hersteller. Hinsichtlich Unwucht und Schallemission wurden über jeweils 16 Girlanden hinweg ähnliche Ergebnisse erzielt wie beim ersten Experiment. Eine signifikante Erhöhung des Schalleistungspiegels durch höher werdende Unwucht war nicht feststellbar (Abbildung 95).

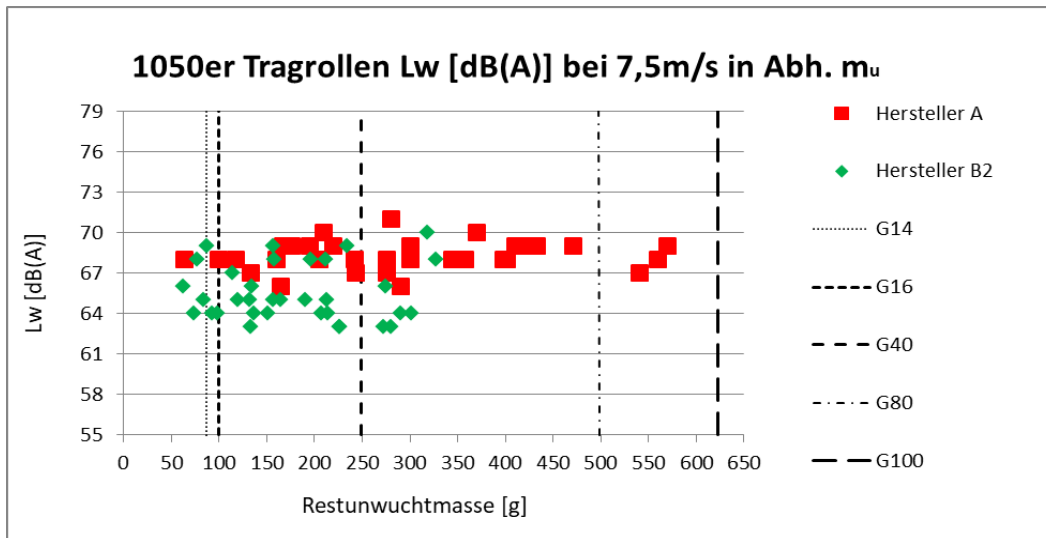


Abbildung 95: Ergebnis bei den Seitentragrollen Schalleistungspiegel über Restunwuchtmasse

Unstetigkeiten, wie Kratzer auf der Manteloberfläche einer überdrehten Tragrolle, führen hingegen zu einer erhöhten Schallemission.

Die danach durchgeführten Entlastungsversuche zeigten, dass die wirkende Kraft und die Bewegungsfreiheit der Tragrolle einen Einfluss auf die Schallemission einer Tragrolle haben (Abbildung 96).

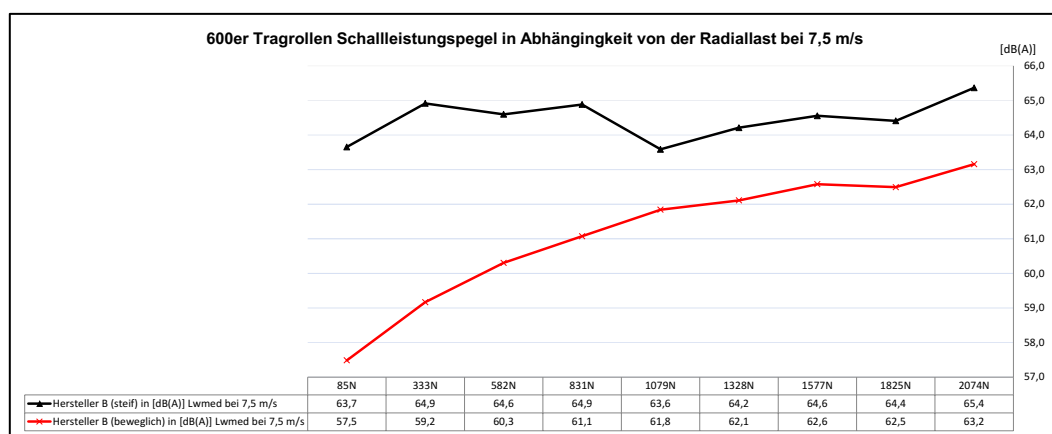


Abbildung 96: Wirkende Kraft und Einbausituation Pegelvergleich Typ A219x600-6312-G2-21-L

Beim fünften Experiment wurde die Wirkung von Unwucht auf die Schallemission von Tragrollen in der Versuchsgurtförderanlage der BTU Cottbus-Senftenberg untersucht. Die Schallemission der Versuchstragrollen wurde analog zum ersten Experiment mit verschiedenen Unwuchten bei verschiedenen Gurtgeschwindigkeiten gemessen. Es wurde keine signifikante Schallemissionserhöhung bei den verschiedenen Wuchtzuständen festgestellt (Abbildung 97).

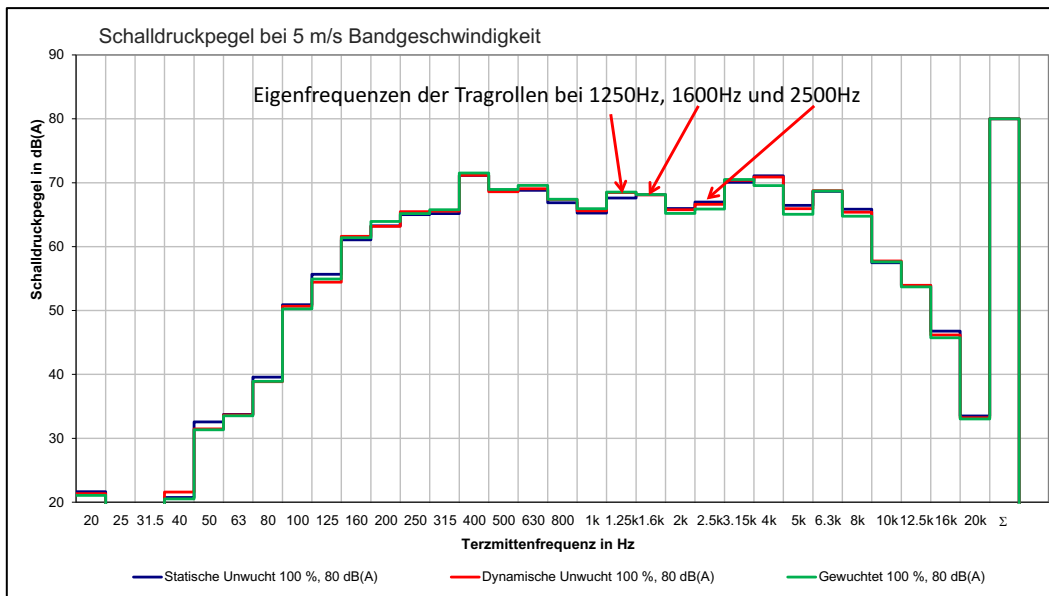


Abbildung 97: Schalldruckpegel bei 5m/s am Versuchsförderer (Quelle: Tim Fritsch)

Das sechste Experiment fand als Langzeit Feldversuch in der Vorschnittbandanlage 53 Tagebau Nochten statt. Die untersuchten Tragrollen des vierten Experimentes wurden dafür in die ebenerdige Versuchsstrecke verbaut. Die Schallemission der Teststrecke wurde über einen Zeitraum von 5 bis 6 Jahren mehrfach überprüft. Ohne entsprechende Kennzeichnung waren die überdreht und nicht gewuchteten Tragrollen von lärmgeminderten, überdreht und gewuchteten Tragrollen hinsichtlich der Schallemission nicht zu unterscheiden (Abbildung 98). Diese Ergebnisse führten zur Aufnahme des neuen Tragrollentyps „LoW“ (Lärmgemindert ohne Wuchten) in die Lieferanforderung der LEAG. Diese für ebenerdige Gurtförderanlagen vorgesehenen Tragrollen lassen sich, abhängig vom Fertigungsverfahren des Herstellers und Dimensionierung der Tragrolle, um bis zu 10% kostengünstiger herstellen. Die Prüfung verschiedener Typen dieser Tragrollen am Tragrollenprüfstand bestätigte nochmals die bereits gewonnenen Erkenntnisse (Abbildung 99).

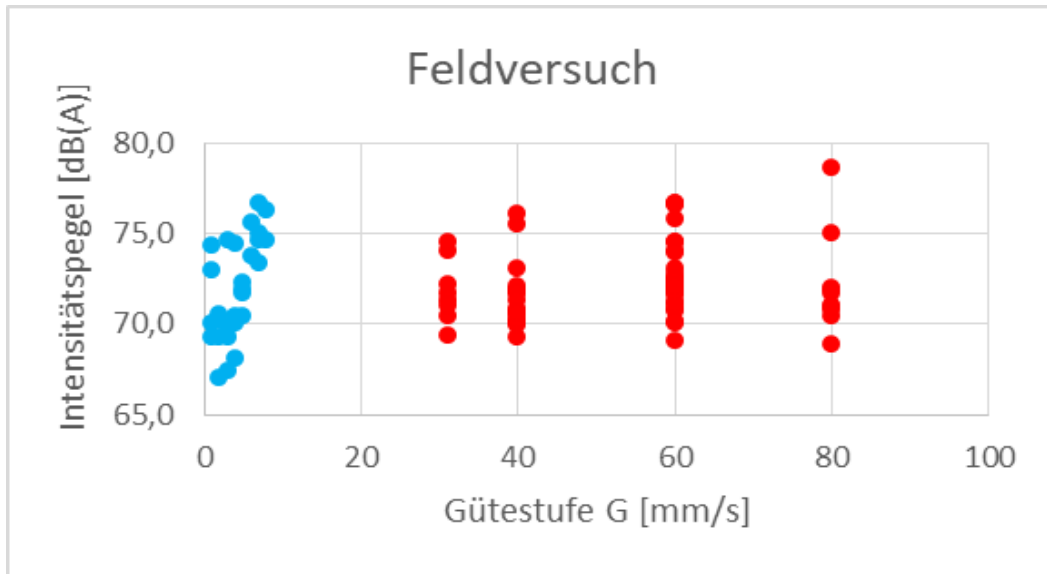


Abbildung 98: lärmgeminderte Tragrollen blau - nicht gewuchtete Tragrollen rot

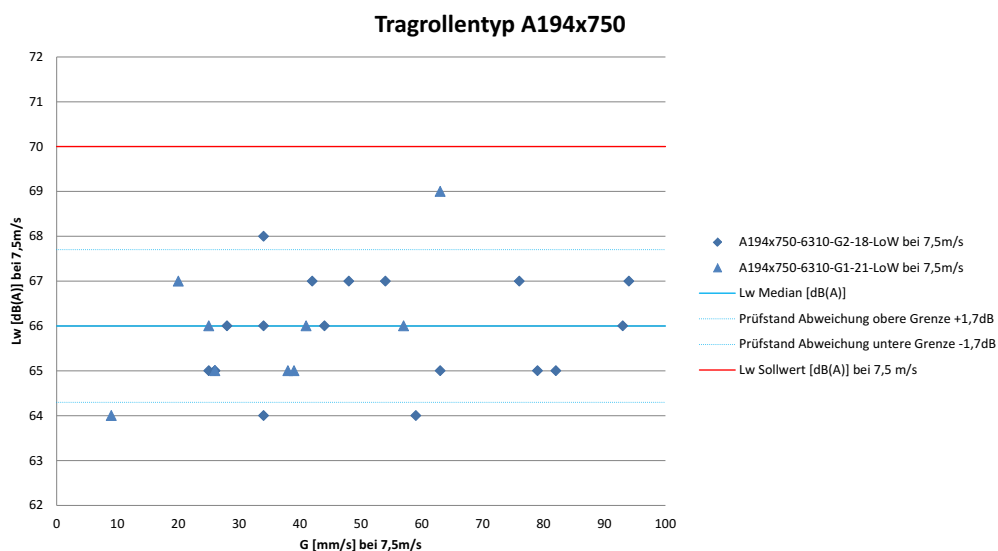


Abbildung 99: Zusammenfassung Tragrollentyp A194x750

Das siebte Experiment befasst sich mit der zerstörungsfreien Detektierung von Dämpfungselementen im Tragrollenmantel mit Hilfe von Anschlagversuchen über die Tragrollenmantellänge. Es wurde die Möglichkeit entwickelt über die Abklingwerte der Terzmittenfrequenzen die Positionen von Innendämpfungen bei Tragrollen zu ermitteln und die Wirkung der Innendämpfung auf die Eigenfrequenzen der Tragrolle zu untersuchen (Abbildung 100).

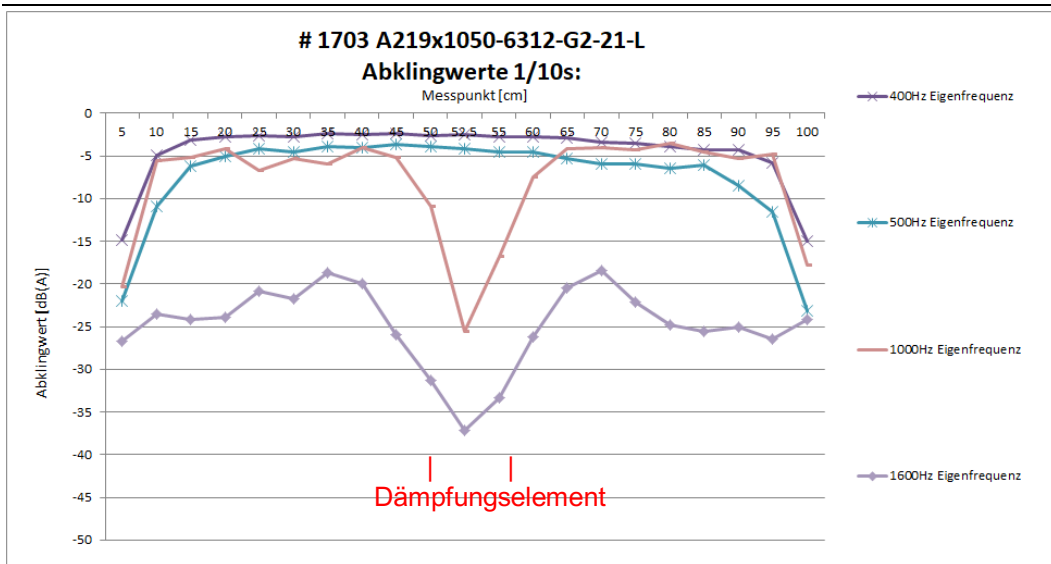


Abbildung 100: Tragrolle #1703 Abklingwerte der Eigenfrequenzen über Mantellänge

Das achte Experiment untersucht die Wirkung von Innendämpfungen auf die Schallemission von Tragrollen. Hierzu wurden Tragrollen mit unterschiedlichen Abklingwerten mit Hilfe von Klebestreifen angeregt. Der Vergleich von typengleichen lärmgeminderten Tragrollen zeigt, dass die Tragrolle mit Innendämpfung bei größer werdender Anregung eine geringere Schallemission aufzeigt (Abbildung 101).

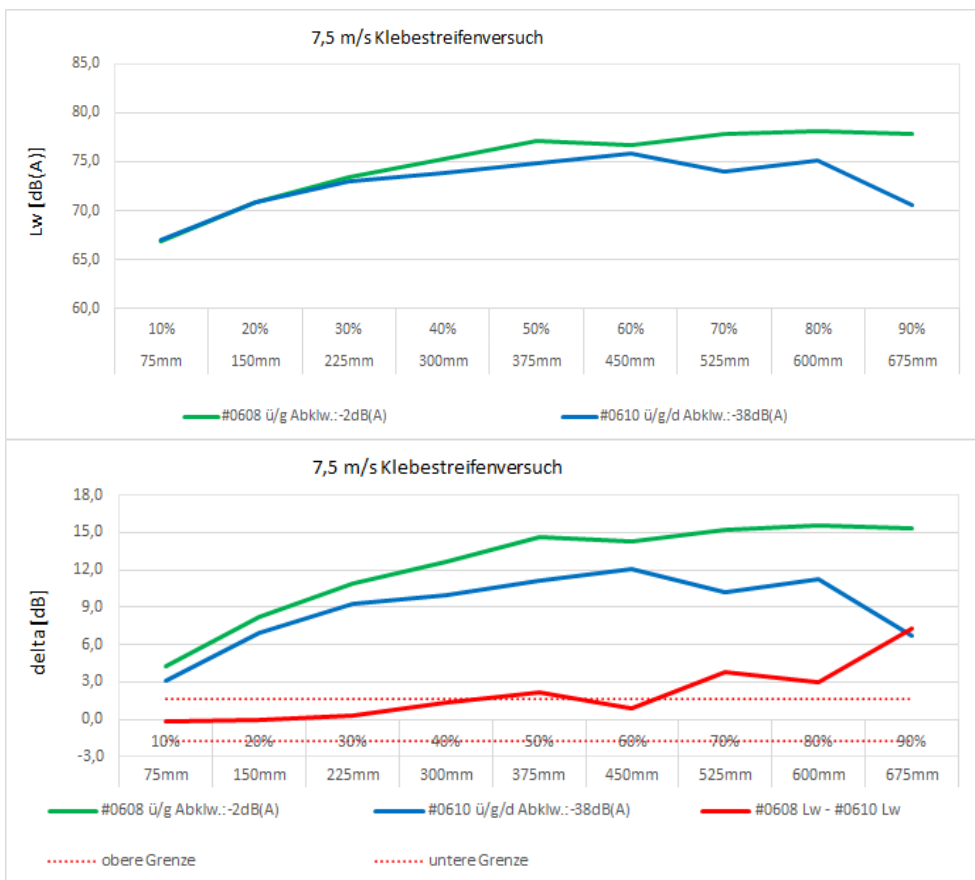


Abbildung 101: Pegelvergleich Hersteller A bei 7,5 m/s und verschiedenen Anregungszuständen

5.2 Ergebnisdiskussion

Die verschiedenen Versuche zum Thema Unwucht und Schallemission von Tragrollen haben gezeigt, dass die Unwucht bei Tragrollen keinen Einfluss auf Schallemission hat. Weiterhin hat sich gezeigt, dass Anbackungen nicht allgemein zu einer höheren Unwucht bei Tragrollen führen. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Anbackungen nicht über die Unwucht, sondern über die Kreisformabweichung bzw. die Geometrieänderung auf dem Tragrollenmantel die Tragrolle zur Schallabstrahlung anregen. Weitere Einflüsse auf die Schallemission von Tragrollen haben die wirkende Kraft auf die Tragrolle, die Bewegungsfreiheit der Tragrolle und das Abklingverhalten der Tragrolle. Die Exzentrizität der Tragrolle kann ebenfalls einen Einfluss auf die Schallemission haben. Dieser Einfluss scheint abhängig von der Größe bzw. Lage der Exzentrizität als auch von der Geschwindigkeit der Tragrolle.

Der Anregungsmechanismus Unwucht soll im folgenden noch einmal hinsichtlich seiner Wirkung näher betrachtet werden.

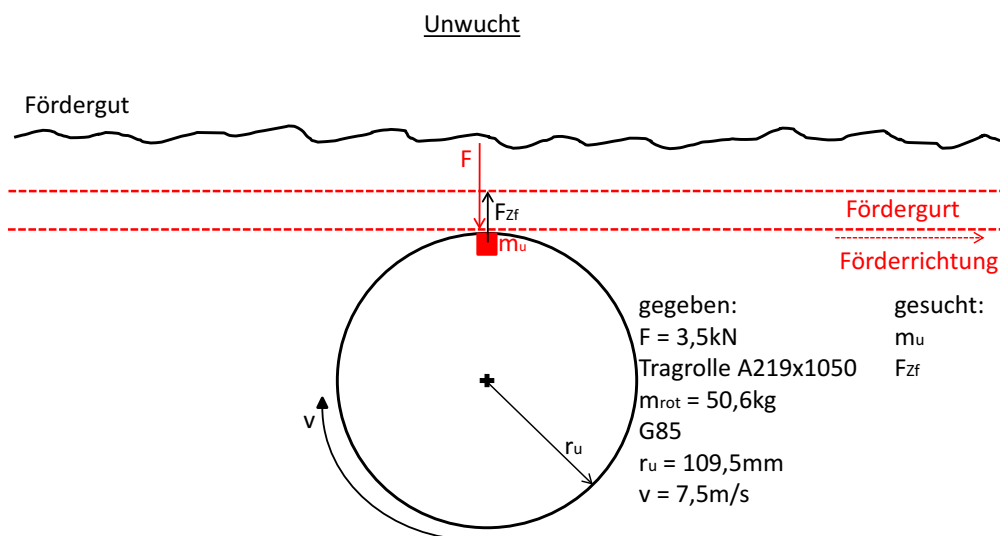


Abbildung 102: Betrachtung der Unwucht beim Zeitpunkt der zu erwartenden Anregungswirkung

Die Kennwerte der Betrachtungen (Abbildung 102) sind aus den vorgestellten Experimenten sowie Prüfungen überdrehter und nicht gewuchteter Tragrollen entnommen.

Gegeben ist eine Tragrolle A219x1050 mit einer rotierenden Masse von $m_{\text{rot}}=50,6$ kg, einer Umfangsgeschwindigkeit von $v=7,5$ m/s, einem Radius von $r=109,5$ mm. Die Tragrolle ist mit der maximal festgestellten Gütestufe G85 behaftet. Auf diese Tragrolle wirkt, wie am Tragrollenprüfstand, eine Kraft $F=3,5$ kN.

Die Unwuchtmasse wird berechnet aus (3-1) und (3-2) [18]. Mit (3-6) erfolgt die Berechnung von ω [32]. Die Drehfrequenz f beschreibt die Umdrehungen n pro Sekunde. Mit (3-7) erfolgt die Berechnung mit Hilfe der Umfangsgeschwindigkeit v und dem Radius r_u [32]. Aus (3-6) [32] und (3-2) [18] umgestellt nach m_u folgt:

$$m_u = \frac{G * m_{\text{rot}}}{r_u * \omega} = \frac{85 \frac{\text{mm}}{\text{s}} * 50,6 \text{ kg}}{109,5 \text{ mm} * 68,48 \text{ 1/s}} = 0,5735 \text{ kg}$$

Die Unwuchtmasse beträgt 0,5735 kg.

Betrachtet man die Unwuchtmasse, welche mit ω um den Radius r_u rotiert, dann zeigt nur die daraus resultierende Zentrifugalkraft [33] F_{zf} in die Antriegsrichtung Richtung Fördergurt (Abbildung 110), welche die notwendige Bewegung der Tragrolle zur Anregung zur Schallabstrahlung ausführen muss. Mit den ermittelten Kennwerten berechnet sich aus (3-8) [33]:

$$F_{\text{zf}} = 0,5735 \text{ kg} * 0,1095 \text{ m} * 68,48^2 \frac{1}{\text{s}^2} = 294,5 \text{ N}$$

Die aus der Unwuchtmasse resultierende Zentrifugalkraft beträgt 294,5 N.

Das heißt, dass zum Zeitpunkt der Anregung die wirkende Kraft $F = 3,5$ kN auf die Tragrolle etwa eine Größenordnung höher ist, als die Kraft aus der Unwuchtmasse heraus. Die Unwucht kann somit nicht als Anregung zur Schallabstrahlung wirken. Bei Seitentragrollen oder geringer Beladung muss das allerdings nicht unbedingt gelten. Hier können dann auch Auswirkungen auftreten.

Abschließend soll noch einmal der vorgestellte experimentelle Fall mit einer absichtlich herbeigeführten Gütestufe von G250 an diesem Tragrollentyp A219x1050 dargestellt werden mit (3-2) [18].

$$m_u = \frac{G * m_{rot}}{r_u * \omega} = \frac{250 \frac{mm}{s} * 50,6 kg}{109,5 mm * 68,48 1/s} = 1,686 kg$$

Die Unwuchtmasse beträgt in diesem Fall 1,686 kg.

Mit den beibehaltenen Kennwerten berechnet sich aus (3-8) [33]:

$$E_{zf} = 1,686 kg * 0,1095 m * 68,48^2 \frac{1}{s^2} = 865,76 N$$

Die aus dem Beispiel der Gütestufe G250 resultiert aus der Unwuchtmasse eine Zentrifugalkraft von 865,76 N.

In diesem Fall ist die wirkende Kraft $F = 3,5$ kN, die auf die Tragrolle wirkt, immer noch viermal höher, als die Kraft aus der Unwuchtmasse heraus. Auch hier kann die Unwucht somit nicht als Anregung zur Schallabstrahlung wirken.

5.3 Ableitung von Empfehlungen

Die Arbeitshypothesen aufgreifend, erfolgen aus den Ergebnissen:

1. Unwuchten führen nicht zu erhöhten Laufgeräuschen bei Tragrollen.

Die durchgeführten Experimente zeigten, dass die Unwuchten nicht zu erhöhten Laufgeräuschen bei Tragrollen führen.

2. Hinsichtlich einer Lärminderung besteht keine Notwendigkeit für den Fertigungsschritt Auswuchten, wenn Rundlaufparameter beachtet werden.

Die durchgeführten Untersuchungen an lärmgeminderten, nicht gewuchten Tragrollen für ebenerdige Gurtförderanlagen zeigten, dass nicht gewuchtete Tragrollen und Tragrollen mit der Gütestufe G14, hinsichtlich der Schallemission keine signifikanten Unterschiede aufweisen. Die Notwendigkeit des Fertigungsschrittes Auswuchten entfällt. Die Rundlaufparameter Kreisformabweichung und Exzentrizität zeigten einen Einfluss auf die Schallemission. Diese Parameter müssen beachtet werden.

3. Die Definierung einer Gütestufe kann bei Tragrollen für ebenerdige Gurtförderanlagen entfallen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an lärmgeminderten, nichtgewuchten Tragrollen für ebenerdige Gurtförderanlagen zeigten, dass solange die Rundlaufparameter eingehalten werden, auf eine definierte Gütestufe verzichtet werden kann. Daraus ergeben sich Vorteile bei der Fertigung und Qualitätskontrolle. Abhängig vom Tragrollentyp und Fertigungsverfahren des Herstellers sind bis zu 10% Kosteneinsparungen möglich.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen folgt, dass Normen und Richtlinien, wie z.B. die VDI 2341, angepasst und korrigiert werden müssen. Zuzüglich sollten lärmgeminderte Tragrollen definiert werden. Zur Vorgabe von konkreten mechanischen und akustischen Kennwerten kann die LE-B-Lieferanforderung für lärmgeminderte Tragrollen [24] herangezogen werden.

Zulässige Rundlaufkennwerte:

- Rundlaufabweichung 0,2 mm
- Kreisformabweichung 0,1 mm mit Toleranz von 50%
- Exzentrizität 0,05 mm mit Toleranz von 50%

Zulässige Schalleistungspegel:

- 70 dB(A) bei Umfangsgeschwindigkeit 7,5 m/s
- 74 dB(A) bei Umfangsgeschwindigkeit 10 m/s

Diese Kennwerte haben sich als praktikabel erwiesen. Denkbar ist auch die Definierung von lärmoptimierten Tragrollen. Diese müssen den Kriterien von lärmgeminderten Tragrollen genügen und zusätzlich einen spezifischen Abklingwert erreichen. Dieser Abklingwert kann beispielsweise durch das Einbringen von Dämpfungselementen in den Tragrollenmantel realisiert werden. Möglich wäre auch ein Vergleichsverfahren. Eine lärmoptimierte Tragrolle ist, wenn nach definierter Anregung der Schalleistungspegel niedriger ist als bei der typengleichen lärmgeminderten Tragrolle. Zur Prüfung bzw. Zertifizierung dieser Tragrollen kann der Tragrollenprüfstand der BTU Cottbus-Senftenberg genutzt werden.

Des Weiteren konnte aufgezeigt werden wie wichtig der Schutz vor Anbackungen bei Tragrollen hinsichtlich der Schallemission ist. Dieser Schutz kann indirekt über die Gurtreinigung realisiert werden oder direkt am Tragrollenmantel durch eine sprungstellenfreie Lackierung. Auch eine schmutzabweisende Beschichtung ist denkbar. Auf Konservierungen, die das Aufsammeln von Anbackungen begünstigen, sollte hinsichtlich der Schallemission verzichtet werden. Unstetigkeiten, wie Kratzer auf der Manteloberfläche, führten ebenfalls zu einer erhöhten Schallemission bei Tragrollen. Die Handhabung der Tragrollen bei der Fertigung, bei der Auslieferung und beim Einbau muss so gestaltet werden, dass Beschädigungen der Manteloberfläche vermieden werden.

Die Versuche im Labor zeigten, dass Tragrollen unterschiedliche Schalleistungspegel aufweisen, wenn sich deren Bewegungsfreiheit ändert. Eine Vergleichsuntersuchung zwischen typengleichen Tragrollen, eingebaut in Tragrollenstationen und Tragrollengirlanden, ist für eine weitere Optimierung der Schallemission zu empfehlen. Auch das vorgeschlagene Experiment im Feldversuch hinsichtlich Unwucht und Schallemission sollte zur Überprüfung der bereits gewonnenen Erkenntnisse durchgeführt werden.

Die skizzierten Modelle zu den Anregungsmechanismen sollten fachübergreifend tiefer untersucht werden, um grundlegend die verschiedenen Anregungen physikalisch zu beschreiben.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Kern dieser Arbeit waren die Untersuchungen zur Wirkung von Unwucht auf die Schallemission von Tragrollen. Betrachtet wurden Einzeltragrollen und Tragrollenchargen verschiedener Hersteller. Mit Hilfe des Tragrollenprüfstandes, des Versuchsförderers und eines langfristig angelegten Feldversuches. Es konnten Ergebnisse erarbeitet werden, welche die Erkenntnisse im Anwendungsgebiet der Tragrollen erweitern.

Die stufenweise Erhöhung der Unwucht einer Tragrolle führte nicht zur Erhöhung der Schallemission. Die vergleichende Untersuchung von Tragrollen mit Anbackungen und danach gereinigt ohne Anbackungen zeigten hinsichtlich der Schallemission Unterschiede von bis zu 21 dB. Dem gegenüber wurde bei der Unwucht der Tragrollen sowohl eine Erhöhung als auch eine Verringerung festgestellt. Daraus folgend wurde ein Versuch entwickelt und durchgeführt bei dem zuerst stufenweise die Unwucht erhöht und danach mit einem Klebestreifen Anbackungen nachgestellt wurden. Erst der Klebestreifen erhöhte die Schallemission. Mit Hilfe eines zweiten Klebestreifens, um 180 Grad gegenüberliegend des ersten Klebestreifens angebracht auf dem Tragrollenmantel, konnte der Nachweis erbracht werden, dass Anbackungen über die Geometrieänderung der Manteloberfläche und nicht über die Unwucht die Schallemission erhöhen. Das Verhindern von Anbackungen und das Vermeiden von Sprungstellen auf der Manteloberfläche der Tragrolle sind von entscheidender Bedeutung für die Anregung zur Schallabstrahlung.

Mit verschiedenen Experimenten konnte nachgewiesen werden, dass Unwucht bei lärmgeminderten Tragrollen nicht zu einer Erhöhung der Schallemission führt. Fördergutanbackungen führen allgemein nicht zu erhöhten Unwuchten, da sich diese zufällig über den Tragrollenmantel verteilt gegenseitig auswuchten. Die nachweislichen Schallemissionserhöhungen durch Fördergutanbackungen resultieren aus den Kreisformabweichungen.

Es folgten Untersuchungen am Tragrollenprüfstand von überdreht und nicht gewuchteten Tragrollen verschiedener Hersteller. Ein Ergebnis war die Bestätigung der vorherigen Untersuchungen hinsichtlich Unwucht und Schallemission von Tragrollen. Festgestellte Unstetigkeiten, wie Kratzer auf der Manteloberfläche, führten hingegen zu einer erhöhten Schallemission. Die Entlastungsversuche zeigten weiterhin,

dass die wirkende Kraft auf die Tragrolle, die Exzentrizität der Tragrolle und die Bewegungsfreiheit der Tragrolle einen Einfluss auf die Schallemission haben.

Dieser Einfluss ist, verglichen mit dem Einfluss von Anbackungen, geringer einzuschätzen. Zukünftige Untersuchungen sollten die Wirkung von Exzentrizitäten bei höheren Geschwindigkeiten über 7,5 m/s betrachten, als auch Unterschiede zwischen Tragrollengirlanden und Tragrollenstationen hinsichtlich der Schallemission herausarbeiten.

Aus den Ergebnissen vom Versuchsförderer, welche die Ergebnisse vom Tragrollenprüfstand bestätigten, wurde ein experimenteller Feldversuch an einer ebenerdigen Gurtförderanlage vorgeschlagen, der die These dieser Arbeit, dass Unwucht nicht zur erhöhter Schallemission von lärmgeminderten Tragrollen führt, überprüfbar macht.

Der Langzeitfeldversuch auf einer ebenerdigen Gurtförderanlage mit lärmgeminderten, nicht gewuchteten Tragrollen konnte die bisherigen Ergebnisse am Tragrollenprüfstand bestätigen. Inwiefern die Lebensdauer durch das „Nichtwuchten“ der Tragrollen beeinflusst wird, bleibt zunächst offen. Bisher haben diese Tragrollen eine Laufzeit erreicht, mit einem vergleichbaren Lärmpegel von lärmgeminderten gewuchteten Tragrollen der gleichen Laufzeit.

Des Weiteren wurde versucht einen Ansatz zu finden, welcher die Entstehung von Unwucht und Exzentrizität durch das Überdrehen erklärt. Aus dieser Überlegung heraus entstand die These, dass die Kreisformabweichung, hervorgerufen durch Fördergutanbackungen, die Anregung zur Schallabstrahlung von Tragrollen durch eine Stoßanregung und die Exzentrizität durch eine Weganregung Richtung Fördergurt realisiert. Die Unwucht führt zu einer Kraftanregung, welche Richtung Fördergurt gerichtet aufgehoben wird. Es kommt nicht zu einer Anregung zur Schallabstrahlung.

Im Zuge dieser Arbeit wurde die Wirkung von Innendämpfungen bei lärmgeminderten Tragrollen untersucht. Unterschiedliche Anzahl und veränderte Positionen der Innendämpfung führen bei typengleichen Tragrollen bei gleicher Anregung zu unterschiedlichen Lärmpegelsteigerungen. Es wurde ein einfaches Verfahren vorgestellt, welches mit Hilfe von Anschlagversuchen über die Mantellänge der Tragrolle das Abklingverhalten der Terzmittenfrequenzen ermitteln lässt. Dadurch ist es möglich, gezielt Lärm-minderungsmaßnahmen an Tragrollen zu untersuchen und die Optimierung von lärmgeminderten Tragrollen voranzutreiben.

Die gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit führten zu einer überarbeiteten Lieferanforderung der LEAG. Lärmgeminderte Tragrollen für ebenerdige Gurtförderanlagen unterliegen nicht mehr einer geforderten Gütestufe von G 14, da diese entfällt. Hierdurch werden nicht nur Kosten bei der Wareneingangsprüfung eingespart. Beim Einkauf von Tragrollen sind, abhängig vom Hersteller und dessen Fertigungsprozess, insofern für das Auswuchten der Tragrollen ein hoher Aufwand in der Fertigungskette betrieben wird, sowie Dimensionierung der Tragrollen, bis zu 10 % Kostenersparnis nachweisbar.

Einen Ausblick gebend, müssen die Normen und Richtlinien für Tragrollen den gewonnenen neuen Erkenntnissen angepasst werden. Zu empfehlen ist eine Definition für „lärmgeminderte“ bzw. „lärmoptimierte“ Tragrollen mit Benennung der einzuhaltenden akustischen und mechanischen Parameter. Ebenso muss die neu entstandene Tragrollenklasse „Lärmgemindert ohne Wuchten“ (LoW) dahingehend definiert werden, dass ein Einsatz außerhalb von ebenerdigen Gurtförderanlagen auszuschließen ist. Nicht gewuchtete Tragrollen könnten zu auftretenden Resonanzen bei Großgeräten im Tagebau, Förderbrücken oder Überführungen führen, was in dieser Arbeit nicht betrachtet wurde.

Auch im Hinblick auf den zukünftigen Kohleausstieg bleiben die gewonnenen Erkenntnisse relevant. Gurtförderanlagen werden weiterhin auch ausserhalb vom Tagebau genutzt werden. Betreiber von Anlagen mit immissionsrelevanten Strecken, die sich in der Nähe der Nachbarschaft befinden, müssen Auflagen, Gesetze und Umweltschutzbestimmungen hinsichtlich des Lärms erfüllen.

Summary

The goal of this project was to examine the effect of unbalance onto the sound emissions of conveyor rollers to which extend a very accurate with the help of the roller test bench how much a very accurate machined, but imbalanced rollers under different radial forces is able to emit sound.

Various experiments have shown that imbalance in noise-reducing idlers does not lead to an increase in noise emissions. Caking material on the roller surface generally does not lead to increased imbalances, since these seem to spread over the rollers surface randomly and create a balance. The verifiable increases in noise emissions due to caking material result from their circularity deviations. With these results, we can disprove the theory of imbalanced rollers increasing noise emissions.

Furthermore, further experimentation in a laboratory setting displayed that freedom of movement of the roller due to the installation situation and the force acting on the rollers have an influence on noise emissions.

From the results of the test conveyor, which did not disprove the results of the idler test bench, an experimental field test on a ground-level belt conveyor system was proposed which made the thesis of this work, which states that imbalance does not lead to increased noise emissions from noise-reduced idlers, verifiable.

The long-term field test on a ground-level belt conveyor system with noise-reduced, unbalanced idlers could not refute the previous results on the idler test bench. The Question to what extent the durability is impaired by the “unbalancing” of the idlers has not been answered so far. So far, these idlers have reached a running time with a noise level comparable to that of noise-reduced, balanced idlers of the same running time.

Furthermore, an attempt was made to find an approach that explains the occurrence of imbalance and eccentricity due to overwinding.

Based on this consideration, the thesis emerged that the circularity deviation, caused by caked material to be conveyed, implements the excitation of sound radiation from the rollers through an impact excitation and the eccentricity through an excitation in the direction of the conveyor belt.

The imbalance leads to a force excitation, which is canceled out in the direction of the conveyed goods. There is no excitation for sound radiation.

During the course of this work, the effects of internal damping on noise-reducing idlers were investigated. Different numbers and changed positions of the interior damping lead to different increases in noise levels with idlers of the same type with the same excitation. A simple procedure, which can be used to determine the decay behavior of the third octave center frequencies with the help of impact tests over the length of the roller, was introduced. This enables a specific investigation of noise reduction measures on idlers and to push forward the optimization of noise-reduced idlers.

The knowledge gained from this work led to a revised LEAG delivery requirement. Noise-reduced idlers for ground-level belt conveyor systems are no longer subject to the required quality level of G 14, as this is no longer applicable. This not only saves costs in the incoming goods inspection, additionally cost savings of up to 10% are possible when purchasing idlers, depending on the manufacturer and their manufacturing process, as well as the dimensions of the idlers.

Providing an outlook, the standards and guidelines for idlers must be adapted to these new findings. It is recommended to introduce a definition for "noise-reduced" or "noise-optimized" idlers with a description of the acoustic and mechanical parameters to be observed. Likewise, the newly created conveyor roller class "Noise Reduced Without Balancing" (LoW) must be defined in such a way that use outside of ground-level belt conveyor systems can be excluded.

Literaturverzeichnis

- [1] Dirk Täschner (2014) „Untersuchungen der akustischen Wirkung von Tragrollen zur zielgerichteten Lärminderung an Gurtförderanlagen“ Freiburger Forschungshefte, Bergbau, C 546, Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- [2] Miro Witczak (2013) „Untersuchungen für ein Verfahren zur Bestimmung der Auswuchtgüte von Tragrollen aus Schwingbeschleunigungsdaten am Tragrollenprüfstand der Hochschule Lausitz“
- [3] Stephan Henschler (2009) „Untersuchungen zur Schalldämpfung von Stahlmanteltragrollen an Hochleistungsgurtförderanlagen in Abhängigkeit von konstruktiven Parametern“
- [4] T. Rieder (2009) „Optimierung der Untersuchungen von Tragrollen hinsichtlich der Einsatzkennziffern Lärmemission, Bewegungswiderstand, Schwingungsverhalten“
- [5] A. Kreter (2007) „Versuchsstand zur Kennziffernermittlung an Tragrollen“
- [6] T. Großmann (2006) „Konstruktion eines Prüfstandes zur Ermittlung der Luft – und Körperschallemissionen von Tragrollen“
- [7] Karl-Heinrich Grote: „Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau“ (Auflage 23)
- [8] VDI-Richtlinie VDI 2341 (S.18, Pkt. 5.3 Satz 4)
- [9] Hörstmeier (1981) Zur Schallemission von Gurtförderanlagen, S.101
- [10] A. Gladysiewicz (2009) „Schallemission von Tragrollen“ 14. Fachtagung für Schüttgutfördertechnik 2009, S.145
- [11] A. Gladysiewicz (2010) „Schallemission von Gurtförderern –Neue Erkenntnisse“ 15. Fachtagung für Schüttgutfördertechnik 2010, S XII-4
- [12] Werner Schirmer (2006) „Technischer Lärmschutz - Grundlagen und praktische Maßnahmen zum Schutz vor Lärm und Schwingungen von Maschinen“

-
- [13] Täschner (2013) Untersuchungen der akustischen Wirkung von Tragrollen zur zielgerichteten Lärminderung an Gurtförderanlagen, S.116ff
- [14] T. Rieder (2018) „Untersuchung zur Wirkung von Unwucht auf die Schallemission einer Tragrolle“ 23. Fachtagung Schüttgutförder-technik 2018
- [15] DIN ISO 230-1 „Prüfregeln für Werkzeugmaschinen“
- [16] D. Täschner (2013) „Akustische Wirkung von Tragrollen an Hochleistungsgurtförderanlagen“ (Auszug aus Dissertation 2013)
- [17] DIN EN ISO 3744:2011-02 „Akustik - Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene (ISO 3744:2010); Deutsche Fassung EN ISO 3744:2010“
- [18] Jürgler, Rudolf (2004). Maschinendynamik. 3. neu bearbeitete Auflage. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag. VDI, S. 177 ff.
- [19] DIN ISO 21940-11:2016 Mechanical vibration — Rotor balancing
- [20] Schenck (1993). Maschinendiagnose, Verfahren und Geräte zur Analyse des Maschinenzustandes und zur Früherkennung von Maschinenschäden mit Hilfe der Schwingungsmessung. In: Schenck Rotec Seminarunterlagen. Carl Schenck AG, Darmstadt.
- [21] Schneider, Hatto (1992): Auswuchttechnik. 4. Auflage, VDI-Verlag Düsseldorf.
- [22] T. Rieder (2018) „Entwicklung der Tragrollen für den Lausitzer Tagebau“ Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Tagungsband 4. Ingenieurtag 2018
- [23] DIN 15207-1:2000-10 Stetigförderer - Tragrollen für Gurtförderer - Hauptmaße der Tragrollen für Schüttgutförderer
- [24] A. Uhlig (2019) LEAG Lieferanforderung-Nr.: 0310f für lärmoptimierte (L) Tragrollen

-
- [25] Paucksch, Eberhard (1992) Zerspantechnik S. 3
- [26] Maier (2019) Untersuchung der Wirkung von Unwucht an Tragrollen
- [27] T. Rieder (2019) „Anbackungen - Untersuchungen zur Wirkung der Unwucht auf die Schallemission von Tragrollen an Gurtförderanlagen“ 24. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2019
- [28] Rieder (2013) Masterthesis „Untersuchungen zur Wirkung von Radialbelastungen an nicht gewuchteten Tragrollen hinsichtlich des Einflusses auf die akustische Wirkung“
- [29] Lars Sternitzke, Lausitz Energie Bergbau AG, Immissionsschutz / Ks-S 1835 Projektmanagement / Konstruktion – B-TOK
- [30] Konsultation mit Dr.-Ing. Dirk Täschner
- [31] Robert Schneider (2021) 25. Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2021 „Evaluierung von geeigneten Grenzwerten für die axiale Verschiebbarkeit (Axialspiel) bei Tragrollen ab einer Lagergröße von 6308 und Vorstellung eines neuartigen Axialspielprüfgerätes“
- [32] Jäger, Helmut: Technische Schwingungslehre: Grundlagen - Modellbildung – Anwendungen (9.Auflage 2016)
- [33] Assmann, Bruno: Technische Mechanik 3 Band 3: Kinematik und Kinetik (2011)
- [34] Henschler, Stephan (2009) „Untersuchungen zur Schalldämpfung von Stahlmanteltragrollen an Hochleistungsgurtförderanlagen in Abhängigkeit von konstruktiven Parametern“
- [35] Auswertung Firma Polytec Laservibrometer PSV-500extra
- [36] Henschler, Stephan (2009) „Untersuchungen zur Schalldämpfung von Stahlmanteltragrollen“
- [37] Xiangwei, Liu (2016) „Prediction of Belt Conveyor Idler Performance“, Delft University of Technology,
<https://doi.org/10.4233/uuid:e813298e-93d8-4a76-a7ab-72b327bcde4b>

-
- [38] Geesmann, F. (2001) Experimentelle und Theoretische Untersuchungen der Bewegungswiderstände von Gurtförderanlagen. Phd thesis, The University of Hannover
- [39] Geesmann, F., Nagy, E., and Bati, J. Design of heavy-duty idlers for the upper run of belt conveyors Part I: Idler requirements. *Aufbereitungs Technik*, 49(11-12):30–45, 2008.
- [40] Geesmann, F., Nagy, E., and Bati, J. Design of heavy-duty idlers for the upper run of belt conveyors Part II: Engineering design of idlers. *Aufbereitungs Technik*, 50(3):4–24, 2009a.
- [41] Geesmann, F., Nagy, E., and Bati, J. Design of heavy-duty idlers for the upper run of belt conveyors Part III: Operational design of an idler. *Aufbereitungs Technik*, 50(4):35–45, 2009b.
- [42] Xiangwei, Liu (2016) „Prediction of Belt Conveyor Idler Performance“, Delft University of Technology, S. 116ff
- [43] Xiangwei, Liu (2016) „Prediction of Belt Conveyor Idler Performance“, Delft University of Technology, S.18
- [44] DIN EN ISO 9614 – 1 Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen
- [45] DIN EN ISO 9614 – 2 Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen
- [46] Sinambari G. R., Henn H. & Fallen M.: *Ingenieur Akustik*, Vieweg & Teubner, Wiesbaden, 2008
- [47] Henschler, Stephan M. Eng., *Tragrollenprüfstand*; 12. Wissenschaftstage der Hochschule Lausitz (FH) – 2012; Co-Autor: Thomas Rieder, M. Eng.,
- [48] Scholochow, Dimitrie B. Eng., (2018) „Untersuchung von aeroakustischen Ursachen bei Tragrollen in Bezug auf vergleichbare Systeme, mit dem Schwerpunkt: "Air-Pumping-Effekt"“ BTU Cottbus - Senftenberg

- [49] Ellis, Jeff (2019) „Conveyor Pulleys – Why is balance so important?” CEEMA – Conveyor Equipment Manufacturers Association
- [50] Ladányi, Gábor (2016) “Study on the noise emission of belt conveyor idler rolls” Annals of the University of Petroșani, Mechanical Engineering

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wirkung einer statischen Unwucht [14]	13
Abbildung 2: Momentenunwucht [14][21]	14
Abbildung 3: Skizze Hüllflächenmodell Halbkugel.....	15
Abbildung 4: Statische Unwucht und Exzentrizität	17
Abbildung 5: Phasengleiche Exzentrizität über Mantellänge #1728...	18
Abbildung 6: Dynamische Unwucht und Exzentrizität	19
Abbildung 7: Phasenverschobene Exzentrizität über Mantellänge #1701	20
Abbildung 8: Skizze Modellannahme von Stoßanregung durch Kreisformabweichung [30].....	20
Abbildung 9: Skizze Modellannahme von Weganregung durch Exzentrizität [30].....	21
Abbildung 10: Skizze Modellannahme des Gurtschlagens durch Exzentrizität.....	22
Abbildung 11: Skizze Modellannahme des Kraftverlaufes bei Unwucht einer frei rotierenden Tragrolle	23
Abbildung 12: Skizze Modellannahme der unwuchtbedingten Bewegung einer Tragrolle	24
Abbildung 13: Betrachtung der Unwucht beim Zeitpunkt der zu erwartenden Anregungswirkung.....	24
Abbildung 14: Tragrollenprüfstand ohne Tragrolle [Quelle: IURS e.V.]	28
Abbildung 15: Tragrollenprüfstand Rundlaufmesssystem [Quelle: IURS e.V.].....	29
Abbildung 16: Schematische Darstellung von Schalleistungspegeln eines Tragrollentyps (A194x750-6310-G2-18) in Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit [14]	30
Abbildung 17: Unwuchtprüfstand für Tragrollen [14]	31
Abbildung 18: Skizze des Versuchsgurttüfers und Messaufbaus....	32
Abbildung 19: Skizze Tragrolle.....	34
Abbildung 20: Skizze Tragrollenstation und Girlandengerüst.....	34
Abbildung 21: Skizze und Messaufbau des Anschlagversuchs bei Tragrollen [36] [47]	38
Abbildung 22: Anschlagversuch Zeitsignal und Frequenzanalyse [36] [47]	38
Abbildung 23: Ermittlung der Abklingkurve einer Tragrolle [36] [47]...	39
Abbildung 24: Schematische Darstellung Schalldruckpegelabfall von Tragrollen im Vergleich zu einer Glocke und einer Kunststoffrolle [36] [47].....	39
Abbildung 25: Tragrollenprüfstand [14]	41
Abbildung 26: modifizierte Prüftragrolle #0611 mit den seitlich angebrachten Gewindestangen für die zusätzlichen Massestücke [14]	43
Abbildung 27: Prüftragrolle #0611 mit Massestücken (roter Pfeil) im Unwuchtprüfstand [14]	45

Abbildung 28: Darstellung möglicher Erwartungswerte Schalleistungspegel – Unwuchtversuch [14]	46
Abbildung 29: Differenzen des Schalleistungspegels über der Restunwuchtmasse [14]	46
Abbildung 30: Untersuchungsergebnis Veröffentlichung Schüttguttagung 2018 [27]	49
Abbildung 31: Anfangszustand der Tragrollen Typ A194x380-6310- G1-21-L [27]	50
Abbildung 32: modifizierte Prüftragrolle #0611 mit den seitlich angebrachten Gewindestangen für die zusätzlichen Massestücke (roter Pfeil) [27].....	55
Abbildung 33: #0609 Rundlaufkennwerte mit einem Klebestreifen (rote Pfeile) [27]	56
Abbildung 34: #0609 Rundlaufkennwerte mit zwei Klebestreifen (rote Pfeile) [27]	57
Abbildung 35: Prüftragrolle #0609 mit Massestücken (roter Pfeil) im Tragrollenprüfstand [27]	57
Abbildung 36: Darstellung möglicher Erwartungswerte Schalleistungspegel – Unwuchtversuch [27]	58
Abbildung 37: Prüftragrolle #0609 mit Klebestreifen (Pfeil) und Massestücken (Kreis) im Tragrollenprüfstand [27]	59
Abbildung 38: Differenzen des Schalleistungspegels über der Restunwuchtmasse der Prüftragrolle im Lastlauf [27]	60
Abbildung 39: Differenzen der Schalleistungspegel über der Restunwuchtmasse der Prüftragrolle im Lastlauf [27]	60
Abbildung 40: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller A	64
Abbildung 41: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller A	65
Abbildung 42: Umbau Vorspanneinrichtung Entlastungsversuch.....	66
Abbildung 43: Umbau Gummipuffer am Spannhalter für Entlastungsversuch	67
Abbildung 44: 0917-0934 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s [28]	68
Abbildung 45: 0935-0968 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s [28]	69
Abbildung 46: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller B	71
Abbildung 47: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller B	71
Abbildung 48: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller B	72
Abbildung 49: Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse; Angaben zur Unwucht: Quelle QS Hersteller B	73
Abbildung 50: Umbau Vorspanneinrichtung Entlastungsversuch Linearantrieb	75

Abbildung 51: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s mit Linearantrieb.....	76
Abbildung 52: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s ohne Linearantrieb	76
Abbildung 53: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s mit Linearantrieb.....	77
Abbildung 54: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,5 m/s ohne Linearantrieb	77
Abbildung 55: Vergleich Einbausituation Hersteller B Typ A219x600-6312-G2-21-L	78
Abbildung 56: Vergleich Einbausituation Hersteller B Typ A219x1050-6312-G2-21-L	78
Abbildung 57: Herstellervergleich der Mitteltragrollen Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse	79
Abbildung 58: Herstellervergleich der Seitentragrollen Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse	79
Abbildung 59: Versuchsförderer der BTU Cottbus-Senftenberg [26]..	81
Abbildung 60: Gurtförderanlage Tagebau Nochten.....	81
Abbildung 61: rechte Tragrollenseite mit 150g Massestück bei 180° [26]	83
Abbildung 62: Schallintensitätspegel bei 5m/s am Versuchsförderer (Quelle: Tim Fritsch).....	84
Abbildung 63: Schalldruckpegel bei 5m/s am Versuchsförderer (Quelle: Tim Fritsch).....	84
Abbildung 64: Tragrollengirlande für Versuchsförderer der BTU [26].	85
Abbildung 65: Versuchsaufbau statische und dynamische Unwucht in der Gurtförderanlage [30]	87
Abbildung 66: Darstellung der Messergebnisse Teststrecke Tragrollen "ungewuchtet" mit den Schallintensitätsmessdaten an Einzelgirlanden einer Gurtförderanlage des Tagebaus Nochten [27]	88
Abbildung 67: lärmgeminderte Tragrollen blau - nicht gewuchtete Tragrollen rot.....	89
Abbildung 68: Mitteltragrolle #1964 (beidseitiger Lagerschaden vorliegend).....	92
Abbildung 69: Zusammenfassung Tragrollentyp A159x750	94
Abbildung 70: Zusammenfassung Tragrollentyp A194x750	94
Abbildung 71: Impulshammer (1), Laser (2), Laservibrometer PSV-500extra	97
Abbildung 72: zwei Amplituden bei 752 Hz und 759 Hz erste Eigenfrequenz [35]	98
Abbildung 73: Erste Eigenfrequenz des Tragrollenmantels	98
Abbildung 74: Zweite Eigenfrequenz des Tragrollenmantels	99
Abbildung 75: Dritte Eigenfrequenz des Tragrollenmantels	99
Abbildung 76: Schwingform in Umfangsrichtung [34].....	100
Abbildung 77: Schwingform in Umfangs- und Axialrichtung [34]	100

Abbildung 78: Abklingwerte entlang der Mantellänge #1516	103
Abbildung 79: Abklingwerte entlang der Mantellänge #0788	103
Abbildung 80: Anschlagauswertung Terz Frontpanel VI	104
Abbildung 81: Abklingwerte Terzmittenfrequenzen entlang der Mantellänge #1516.....	105
Abbildung 82: Verlauf Eigenfrequenzen #1516.....	106
Abbildung 83: Abklingwerte Terzen entlang der Mantellänge # 0788	106
Abbildung 84: Verlauf Eigenfrequenzen #0788.....	107
Abbildung 85: Tragrolle #1703 Abklingwerte der Terzmittenfrequenzen über Mantellänge.....	108
Abbildung 86: Tragrolle #1703 Abklingwerte der Eigenfrequenzen über Mantellänge.....	108
Abbildung 87: Tragrolle #1685 Abklingwerte Terzmittenfrequenzen über Mantellänge.....	109
Abbildung 88: Tragrolle #1685 Abklingwerte der Eigenfrequenzen über Mantellänge.....	109
Abbildung 89: Pegelverläufe beim Klebestreifenversuch Innendämpfung (rot – ein Dämpfungselement, grün – zwei Dämpfungselemente).....	112
Abbildung 90: Vergleich der Pegelanstiege beim Klebestreifenversuch Innendämpfung	112
Abbildung 91: Pegelvergleiche bei 7,5 m/s und verschiedenen Anregungszuständen	114
Abbildung 92: Pegelvergleich Hersteller A bei 7,5 m/s und verschiedenen Anregungszuständen	114
Abbildung 93: Ergebnis Schallemission einer Tragrolle bei stufenweiser Erhöhung der Unwucht [27].....	117
Abbildung 94: Nachweis für die Anregung zur Schallabstrahlung durch Kreisformabweichung [27].....	118
Abbildung 95: Ergebnis bei den Seitentragrollen Schalleistungspegel über Restunwuchtmasse	119
Abbildung 96: Wirkende Kraft und Einbausituation Pegelvergleich Typ A219x600-6312-G2-21-L.....	119
Abbildung 97: Schalldruckpegel bei 5m/s am Versuchsförderer (Quelle: Tim Fritsch).....	120
Abbildung 98: lärmgeminderte Tragrollen blau - nicht gewuchtete Tragrollen rot.....	121
Abbildung 99: Zusammenfassung Tragrollentyp A194x750.....	121
Abbildung 100: Tragrolle #1703 Abklingwerte der Eigenfrequenzen über Mantellänge.....	122
Abbildung 101: Pegelvergleich Hersteller A bei 7,5 m/s und verschiedenen Anregungszuständen	122
Abbildung 102: Betrachtung der Unwucht beim Zeitpunkt der zu erwartenden Anregungswirkung.....	123
Abbildung 103: 0917-0934 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s [28].....	XVII

Abbildung 104: 0917-0934 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s [28].....	XVII
Abbildung 105: 0917-0934 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7 m/s [28].....	XVII
Abbildung 106: 0935-0968 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s [28].....	XVIII
Abbildung 107: 0935-0968 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s [28].....	XVIII
Abbildung 108: 0935-0968 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7 m/s [28].....	XVIII
Abbildung 109: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s mit Linearantrieb [28]	XX
Abbildung 110: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s ohne Linearantrieb [28]	XX
Abbildung 111: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s mit Linearantrieb [28]	XXI
Abbildung 112: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s ohne Linearantrieb [28]	XXI
Abbildung 113: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,0 m/s mit Linearantrieb [28]	XXII
Abbildung 114: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,0 m/s ohne Linearantrieb [28]	XXII
Abbildung 115: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s mit Linearantrieb [28]	XXIII
Abbildung 116: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s ohne Linearantrieb [28]	XXIII
Abbildung 117: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s mit Linearantrieb [28]	XXIV
Abbildung 118: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s ohne Linearantrieb [28]	XXIV
Abbildung 119: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,0 m/s mit Linearantrieb [28]	XXV
Abbildung 120: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,0 m/s ohne Linearantrieb [28]	XXV
Abbildung 121: Ergebnis Schallintensitätspegel am Versuchsförderer bei 2,5m/s (Quelle: Tim Fritsch)	XXVI

Abbildung 122: Ergebnis Schallintensitätspegel am Versuchsförderer bei 3,7m/s (Quelle: Tim Fritsch)	XXVI
Abbildung 123: Ergebnis Schalldruckpegel am Versuchsförderer bei 3,7m/s (Quelle: Tim Fritsch)	XXVI
Abbildung 124: Zusammenfassung Tragrollentyp A159x600	XXVII
Abbildung 125: Zusammenfassung Tragrollentyp A194x600	XXVII
Abbildung 126: Zusammenfassung Tragrollentyp A194x1000	XXVIII
Abbildung 127: Zusammenfassung Tragrollentyp A219x600	XXVIII
Abbildung 128: Zusammenfassung Tragrollentyp A219x770	XXIX
Abbildung 129: Zusammenfassung Tragrollentyp A219x1050	XXIX
Abbildung 130: Verläufe Lw bei Tragrolle #0179	XXX
Abbildung 131: Verläufe delta Lw bei Tragrolle #0179	XXX
Abbildung 132: Verläufe Lw bei Tragrolle #0300	XXXI
Abbildung 133: Verläufe delta Lw bei Tragrolle #0300	XXXI
Abbildung 134: Verläufe Lw bei Tragrolle #0608	XXXII
Abbildung 135: Verläufe delta Lw bei Tragrolle #0608	XXXII
Abbildung 136: Verläufe Lw bei Tragrolle #1863	XXXIII
Abbildung 137: Verläufe delta Lw bei Tragrolle #1863	XXXIII
Abbildung 138: Verläufe Lw bei Tragrolle #0610	XXXIV
Abbildung 139: Verläufe delta Lw bei Tragrolle #0610	XXXIV
Abbildung 140: Pegelvergleiche bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Anregungszuständen	XXXV
Abbildung 141: Pegelvergleiche bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Anregungszuständen Hersteller A	XXXVI

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rundlaufkennwerte Prüftragrolle #0611 laut Messprotokoll [14]	44
Tabelle 2: Untersuchungsmatrix des Versuches Unwucht und Schallemission	44
Tabelle 3: Untersuchungsmatrix Anbackungen und Schallemission ..	51
Tabelle 4: Vergleich mit und ohne Anbackung #2179 bis #2187 [27].	51
Tabelle 5: Untersuchungsmatrix Unwucht, Klebestreifen und Schallemission	54
Tabelle 6: Rundlaufkennwerte Prüftragrolle #0609 laut Messprotokoll [27]	56
Tabelle 7: Untersuchungsmatrix nicht gewuchtete Tragrollen verschiedener Hersteller	63
Tabelle 8: Untersuchungsergebnis nicht gewuchtete Tragrollen verschiedener Hersteller	79
Tabelle 9: Tragrollen im Feldversuch "überdreht, nicht gewuchtet" ...	90
Tabelle 10: Untersuchungsmatrix erweiterter Anschlagversuch	102
Tabelle 11: Untersuchungsmatrix Klebestreifenversuch	113
Tabelle 12: Vergleich der Ergebnisse mit und ohne Anbackung #2179 bis #2187 [27].....	118
Tabelle 13: Hersteller A Girlandenpaarungen Nochten GF 53 [29]..	XVI
Tabelle 14: Nochten GF 54	XIX

Formelzeichen

d	Durchmesser	m
e	Exzentrizität (Unwucht)	mm
e _{zul}	zulässige Exzentrizität (Unwucht)	mm
F	Kraft	N
\bar{F}	mittlere Kraft	N
F _{vor}	Vorspannkraft	N
F _{Zf}	Zentrifugalkraft	N
f	Drehfrequenz	Hz
G	Gütestufe	mm/s
g	Erdbeschleunigung	m/s ²
\vec{J}	Schallintensität	W/m ²
L_W	Schalleistungspegel	dB
$L_{W \text{ med}}$	Median Schalleistungspegel	dB
L_i	Teilpegel	dB
L_{ges}	Gesamtschalldruckpegel	dB
\bar{L}	mittlerer Schalldruckpegel	dB
\bar{L}_P	mittlerer Messflächenschalldruckpegel	dB
L_W	Schalleistungspegel	dB
L_{WR}	Schalleistungspegel der Vergleichsschallquelle	dB
\bar{L}_{pR}	über alle Messorte gemittelter Schalldruckpegel bei Betrieb der Vergleichsschallquelle	dB
\bar{L}'_p	über die Messfläche gemittelter Schalldruckpegel von TPS und Tragrolle	dB
m	Masse	kg

m_{dT}	Masse drehender Teile	kg
m_{rot}	Masse rotierender Teile	kg
m_{TR}	Masse Tragrolle	kg
m_u	Unwuchtmasse	g
n	Anzahl der Messwerte	
	Anzahl der Messpositionen	
	Anzahl der Umdrehungen	
P	Schalleistung	W
S	Hüllfläche / Messfläche	m^2
S_0	Bezugsmessfläche	$1m^2$
r	Radius	m
r_u	Unwuchtradius	mm
t	Zeit	s
U	Unwucht	gmm
v	Geschwindigkeit / Umfangsgeschwindigkeit	m/s
ω	Winkelgeschwindigkeit	1/s

Abkürzungsverzeichnis

BTU	Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg
CNC	Computerized Numerical Control
DIAdem	Software von NI
EXZ	Exzentrizität
IÜ	Tragrollentyp mit Präzisionsstahlrohr
KFA	Kreisformabweichung
L	Tragrollentyp lärmgemindert
LabVIEW	Software von NI
LE-B	Lausitz Energie Bergbau AG (LEAG)
LoW	Tragrollentyp lärmgemindert ohne Wuchten
MS	Messstelle
NI	National Instruments Corporation
TPS	Tragrollenprüfstand
TRM	Tragrollenmitte
QS	Qualitätssicherung
RLA	Rundlaufabweichung
RML	Rundlauf, Manteldicke, Laufwiderstand
VE – M	Vattenfall Europe Mining AG
VI	virtuelles Instrument der Software LabVIEW
ü	Tragrolle wurde überdreht
ü/g	Tragrolle wurde überdreht und gewuchtet
ü/ng	Tragrolle wurde überdreht und nicht gewuchtet
ü/g/d	Tragrolle wurde überdreht, gewuchtet und gedämpft

Anhang

Tabelle 13: Hersteller A Girlandenpaarungen Nochten GF 53 [29]

Laufende Nummer	Gerüstfeld	Girlande	Seitentragrolle links	Mitte	Seitentragrolle rechts
1			#0944	#0924	#0948
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8			#0954	#0932	#0968
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16			#0943	#0930	#0959

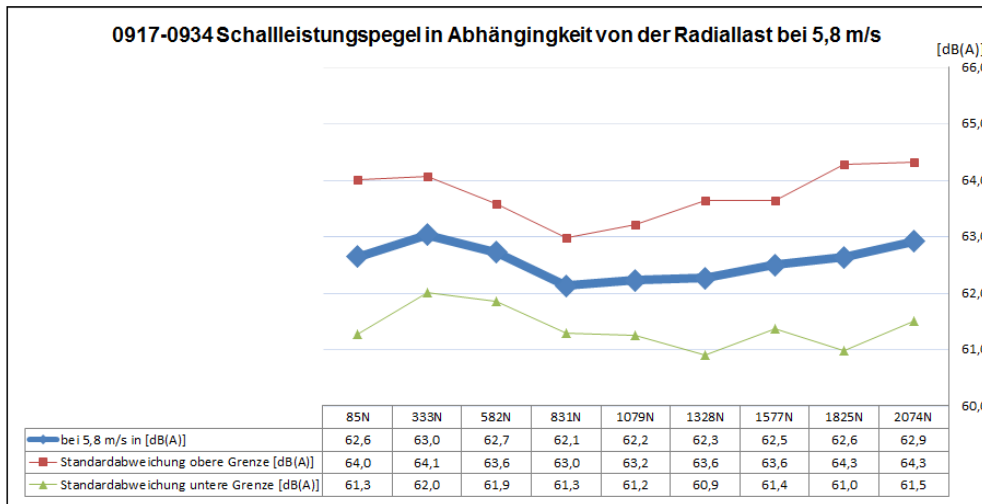


Abbildung 103: 0917-0934 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s [28]

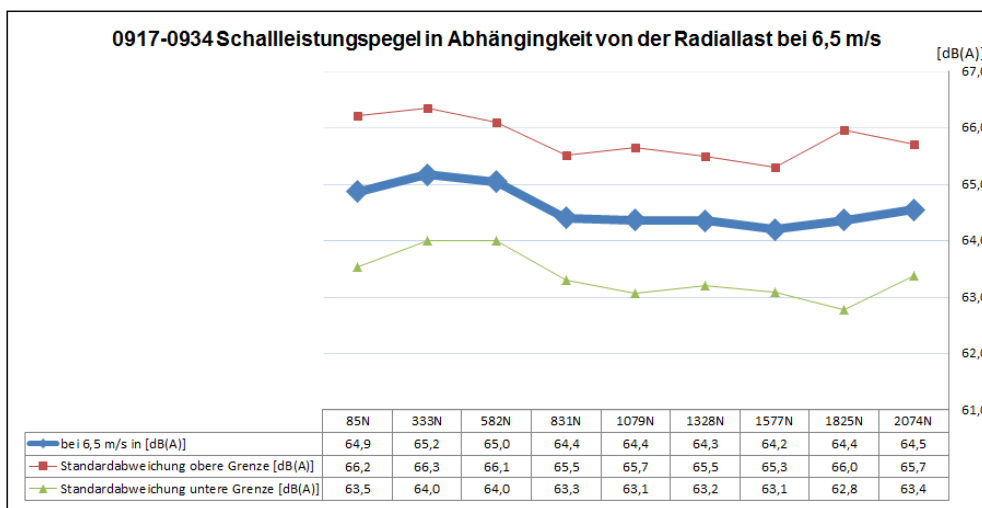


Abbildung 104: 0917-0934 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s [28]

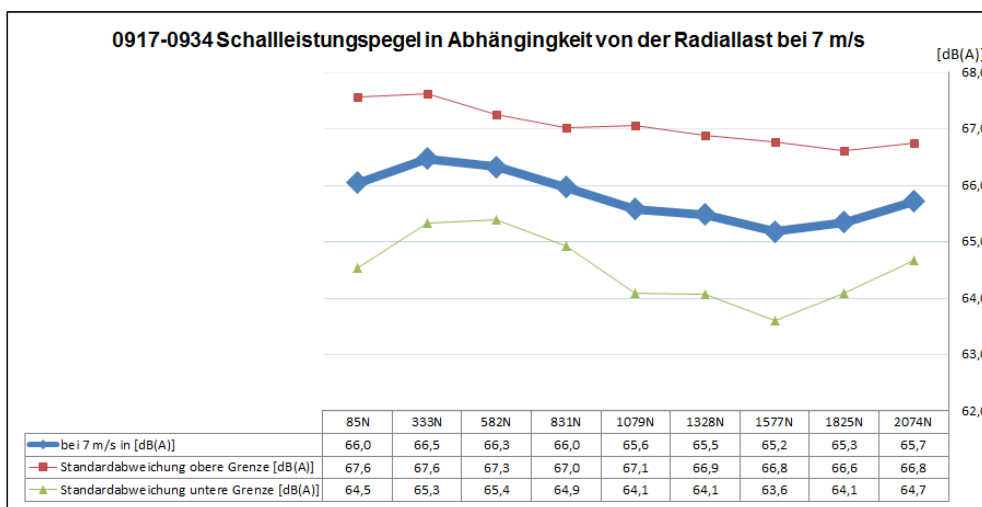


Abbildung 105: 0917-0934 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7 m/s [28]

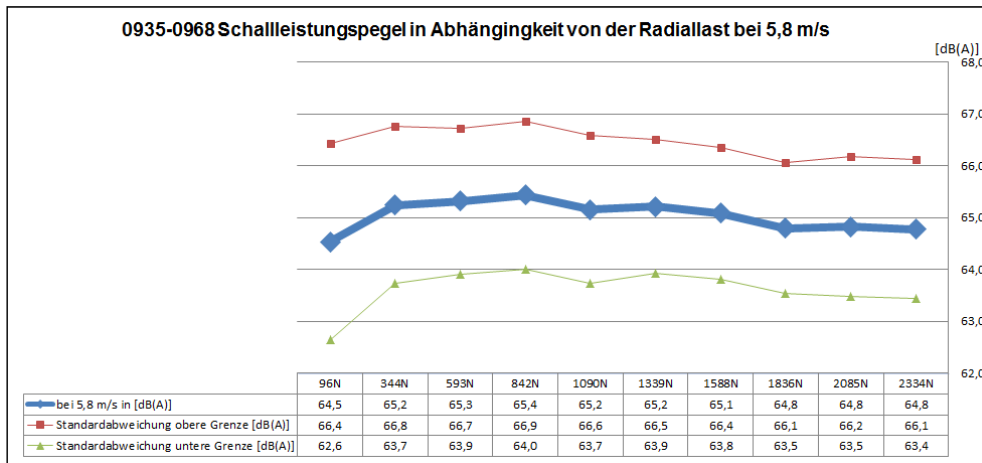


Abbildung 106: 0935-0968 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s [28]

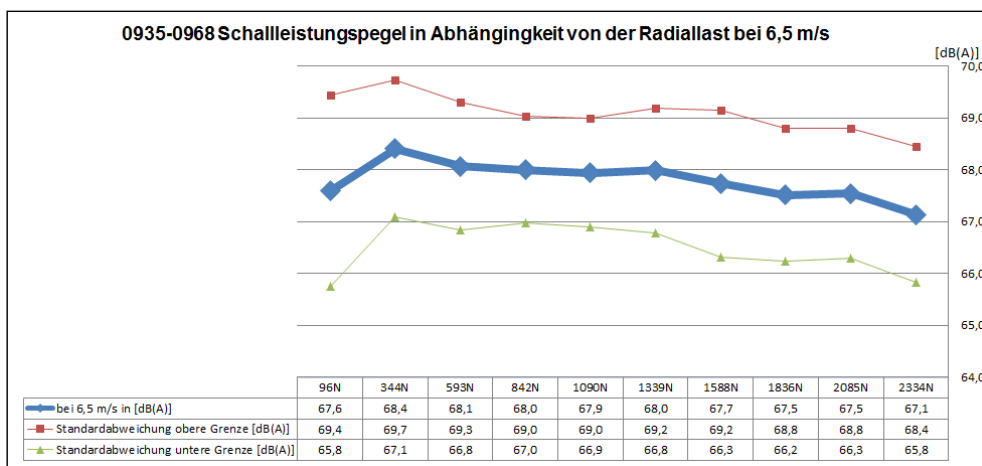


Abbildung 107: 0935-0968 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s [28]

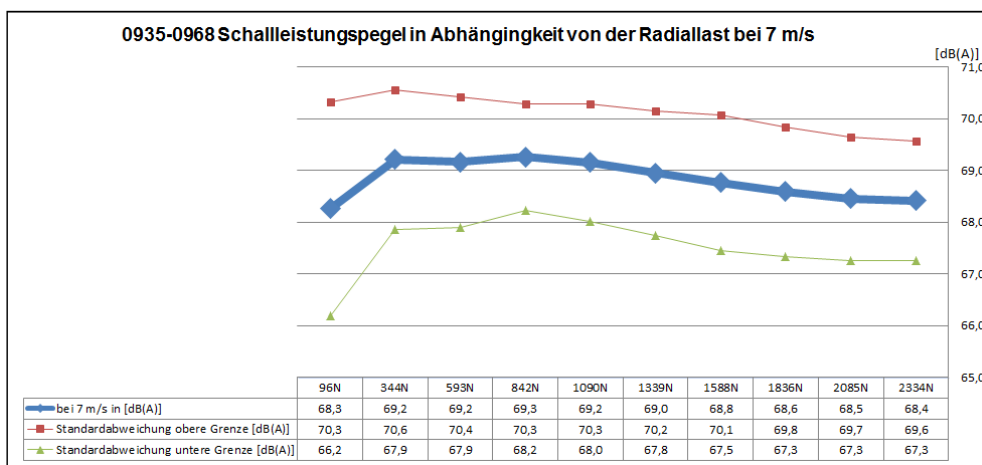


Abbildung 108: 0935-0968 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7 m/s [28]

Tabelle 14: Nochten GF 54

Tragrolle links				Tragrolle Mitte				Tragrolle rechts			
Lw [dB(A)]	1050er	Unwuchtgüte G	EXZ max	Lw [dB(A)]	600er	Unwuchtgüte G	EXZ max	Lw [dB(A)]	1050er	Unwuchtgüte G	EXZ max
64	1718	31	0,031	65	1735	16	0,046	64	1717	40	0,030
65	1691	22	0,035	68	1957	13	0,052	65	1709	13	0,035
68	1697	31	0,035	65	1722	8	0,062	65	1712	31	0,035
64	1716	22	0,043	69	1962	17	0,063	69	1708	22	0,036
68	1968	34	0,045	69	1955	54	0,065	68	1711	13	0,042
64	1719	22	0,046	66	1728	19	0,069	66	1713	40	0,046
64	1692	31	0,050	69	1953	21	0,069	65	1699	22	0,050
64	1701	16	0,052	69	1959	38	0,070	64	1715	13	0,054
63	1702	31	0,055	69	1965	32	0,070	64	1714	60	0,055
65	1696	19	0,056	68	1954	8	0,074	69	1694	13	0,058
68	1966	25	0,059	68	1952	36	0,079	67	1688	19	0,059
68	1700	60	0,062	66	1964	54	0,085	63	1704	31	0,060
66	1710	19	0,063	68	1961	62	0,085	70	1969	51	0,062
64	1687	16	0,065	69	1951	39	0,086	65	1686	31	0,069
63	1690	40	0,071	68	1960	14	0,087	65	1707	19	0,072
63	1689	40	0,074	67	1963	32	0,089	63	1693	19	0,074
Exzentrizität EXZ Sollwert: 0,05mm				Rückstellung:				Rückstellung:			
Exzentrizität EXZ Toleranzwert: 0,075mm maximal				Rückstellung:				Rückstellung:			
				67	1956	52	0,094	66	1695	10	0,075
				68	1958	22	0,107	69	1967	38	0,077

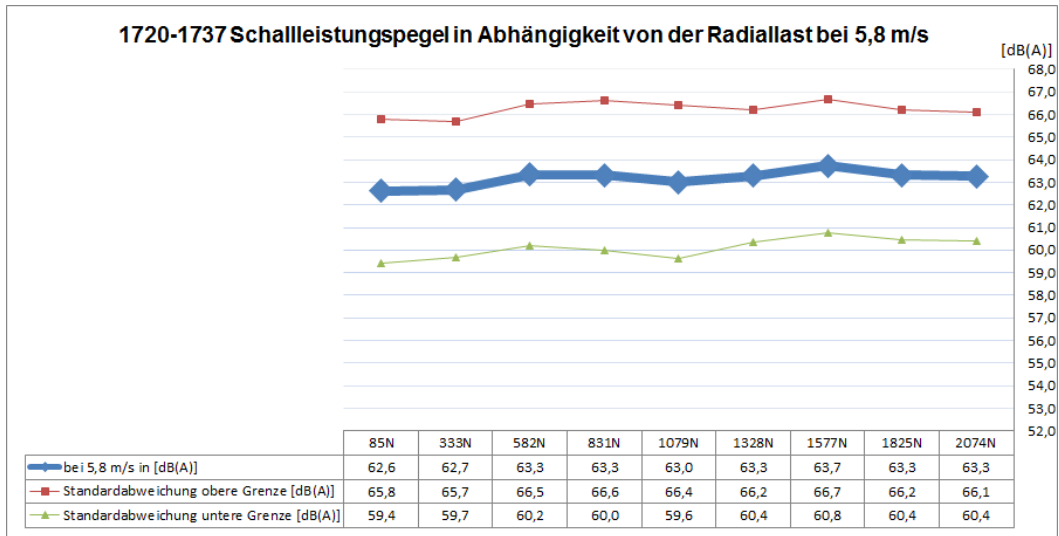


Abbildung 109: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s mit Linearantrieb [28]

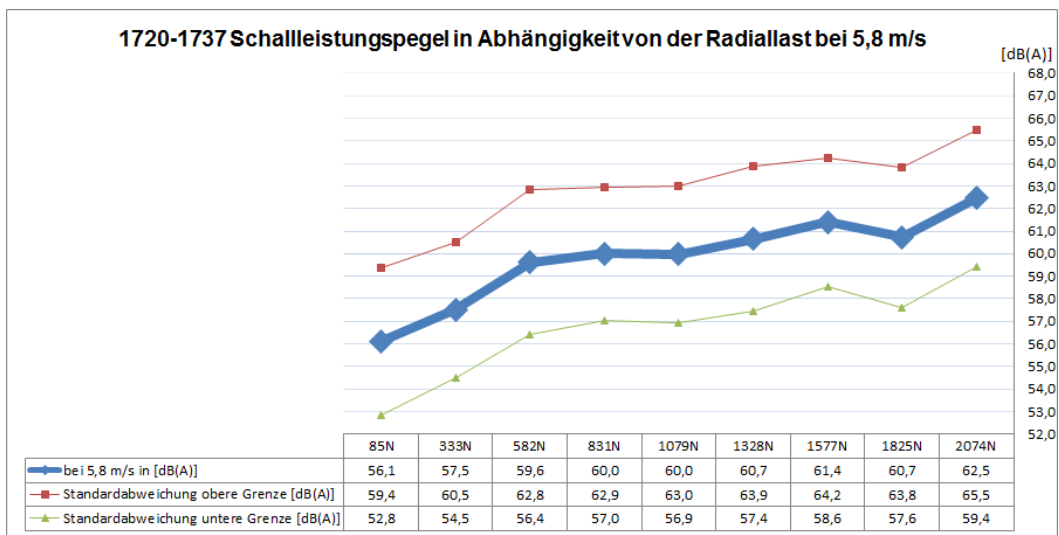


Abbildung 110: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s ohne Linearantrieb [28]

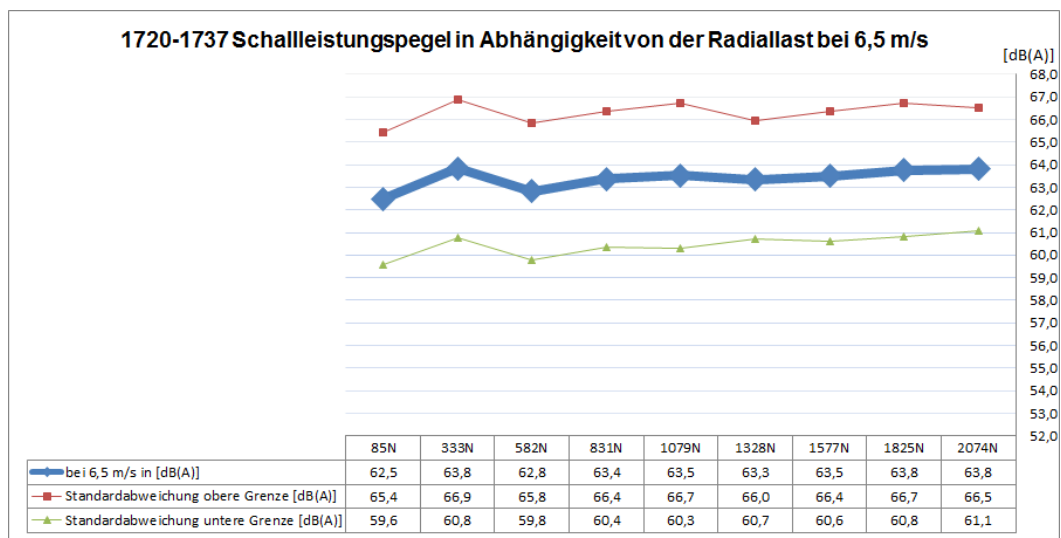


Abbildung 111: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s mit Linearantrieb [28]

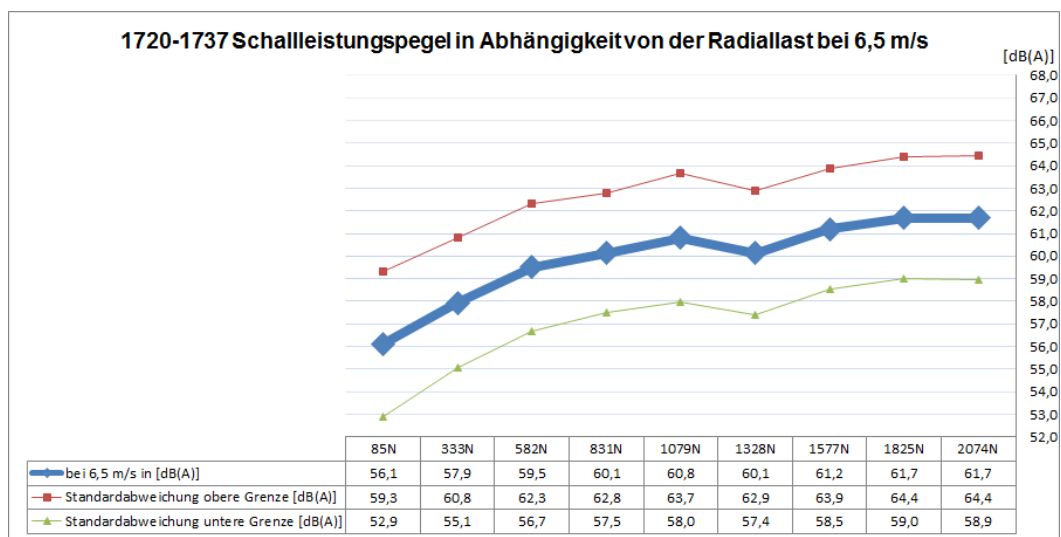


Abbildung 112: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s ohne Linearantrieb [28]

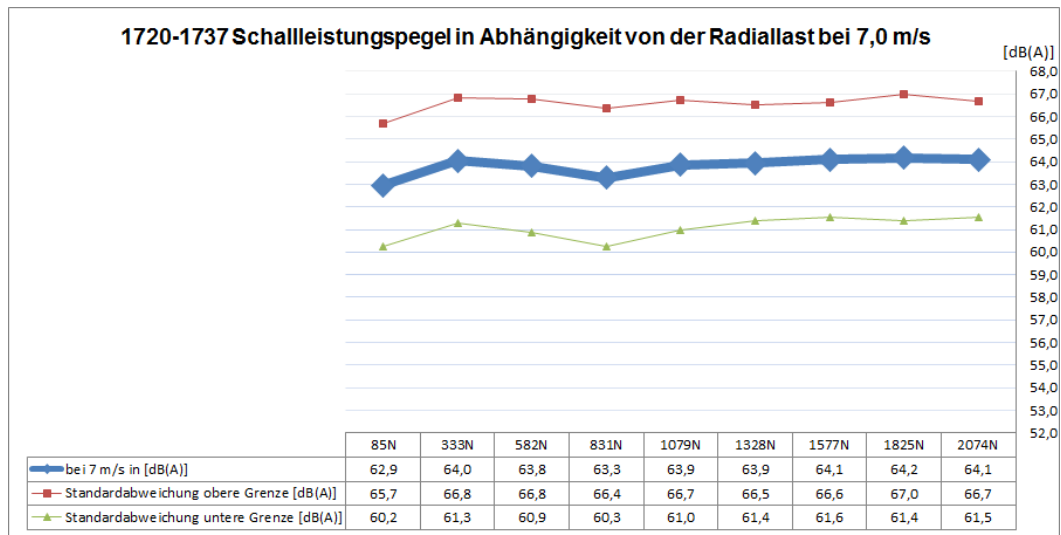


Abbildung 113: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,0 m/s mit Linearantrieb [28]

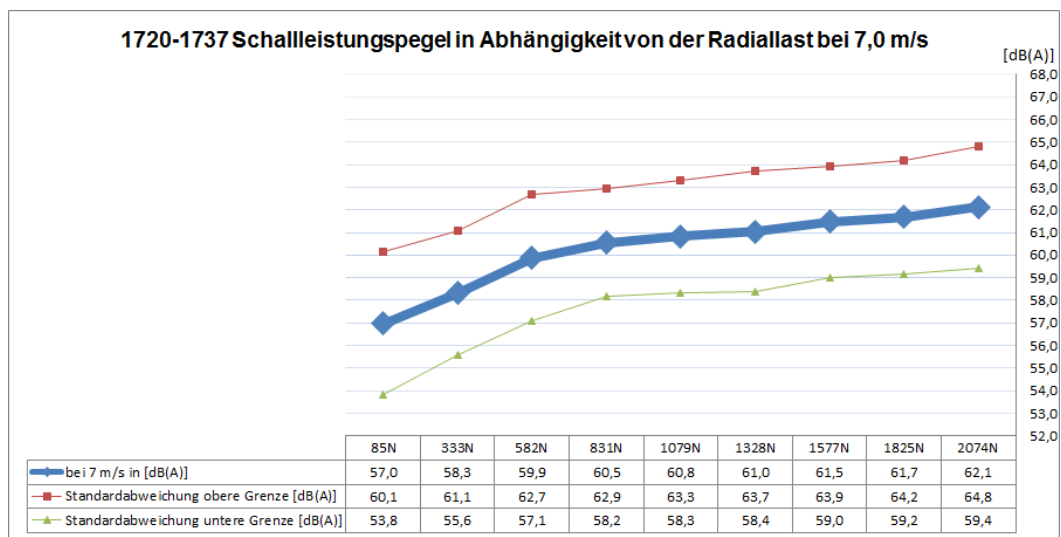


Abbildung 114: 1720-1737 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,0 m/s ohne Linearantrieb [28]

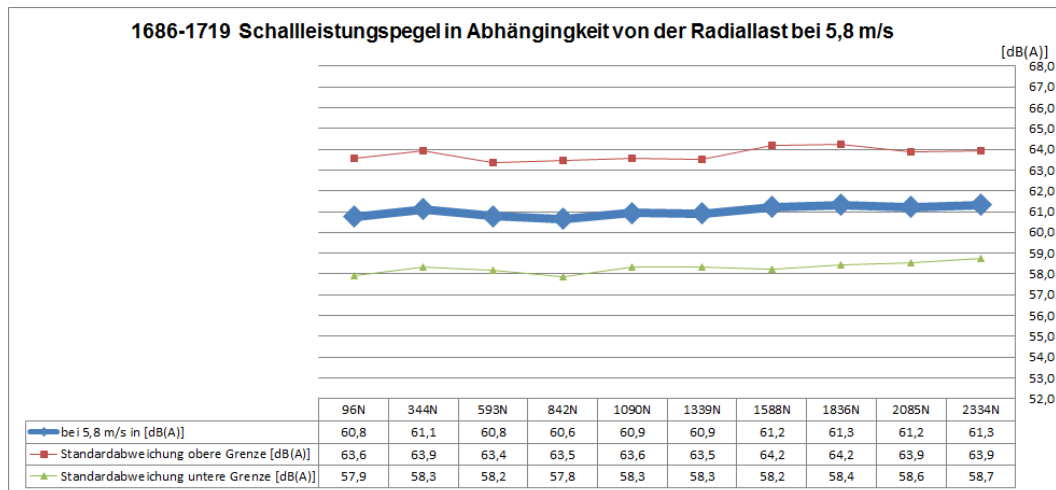


Abbildung 115: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s mit Linearantrieb [28]

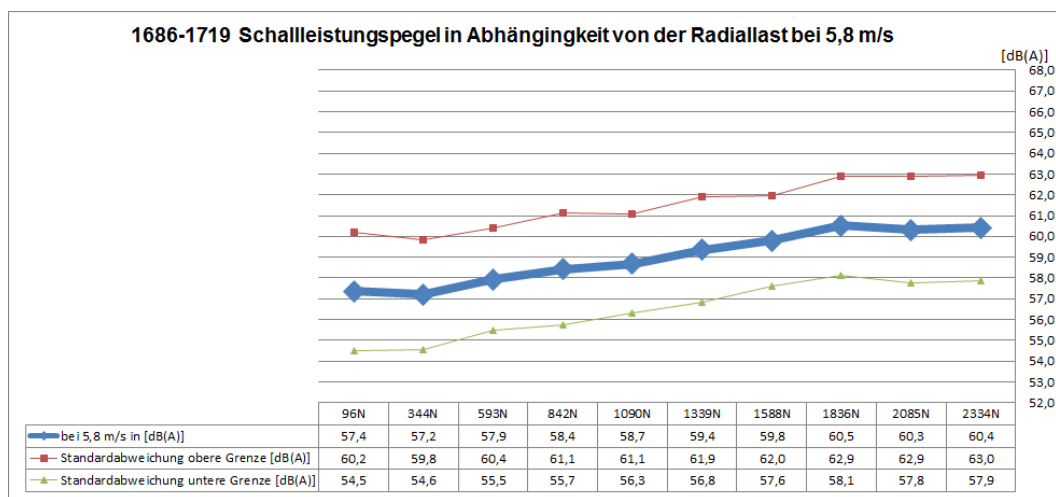


Abbildung 116: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 5,8 m/s ohne Linearantrieb [28]

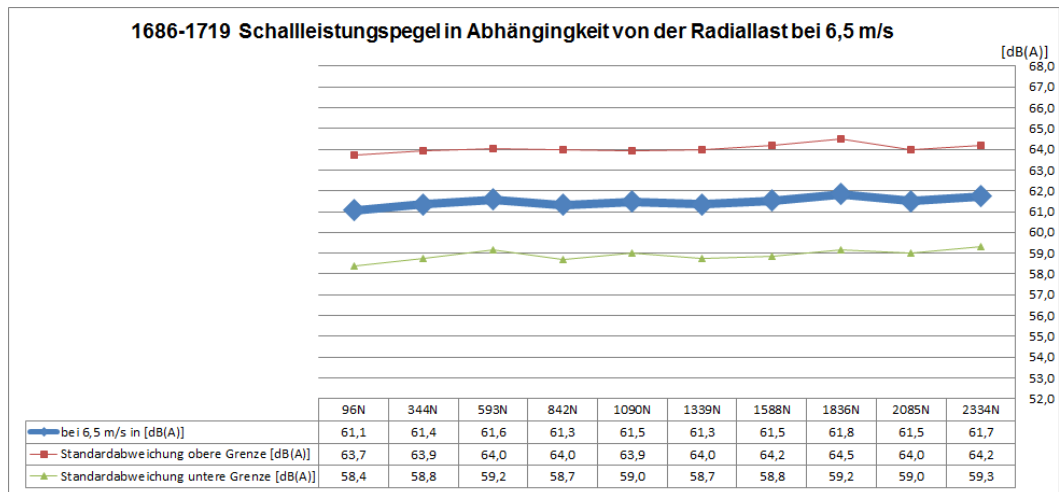


Abbildung 117: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s mit Linearantrieb [28]

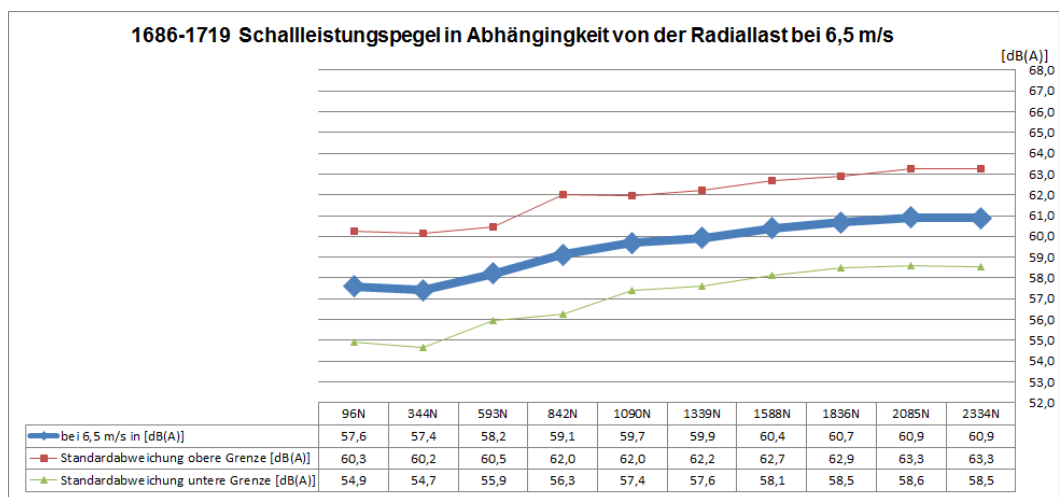


Abbildung 118: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 6,5 m/s ohne Linearantrieb [28]

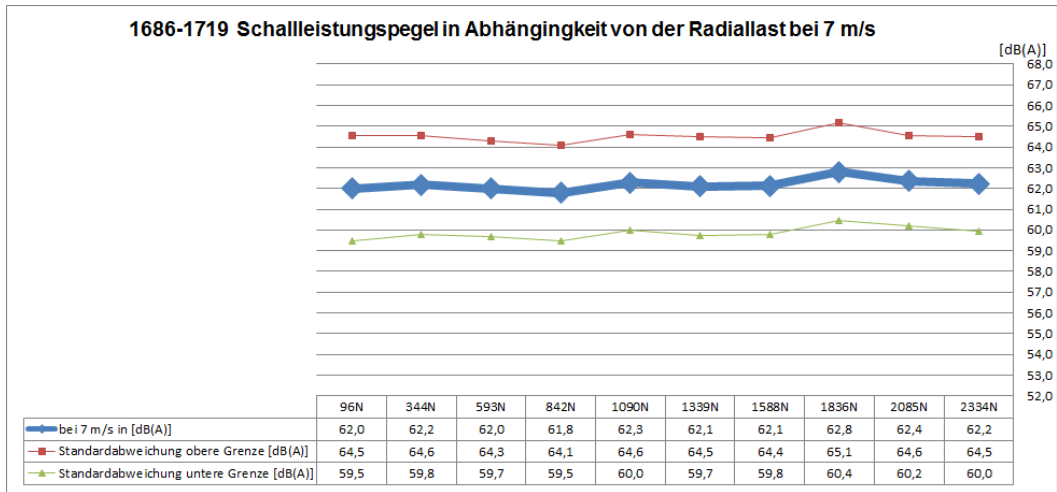


Abbildung 119: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,0 m/s mit Linearantrieb [28]

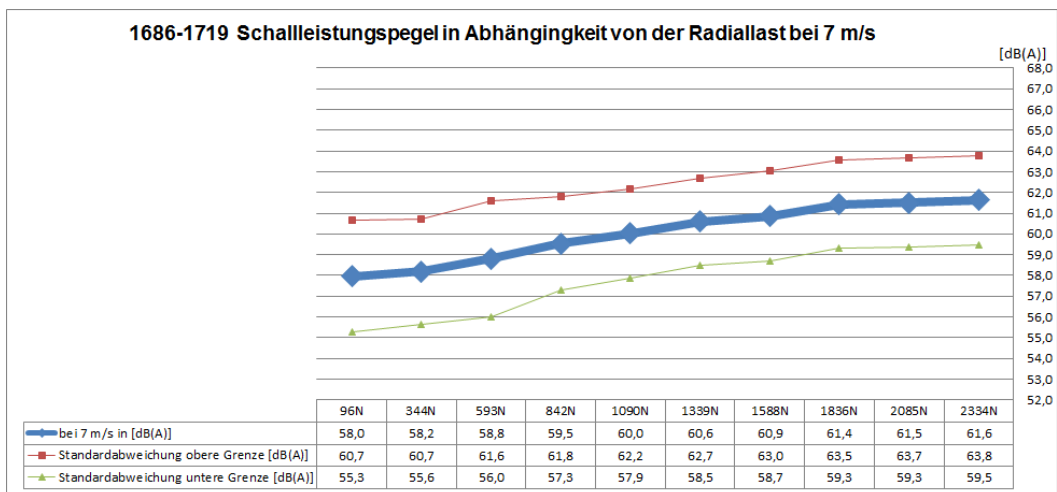


Abbildung 120: 1686-1719 Median Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Radiallast bei 7,0 m/s ohne Linearantrieb [28]

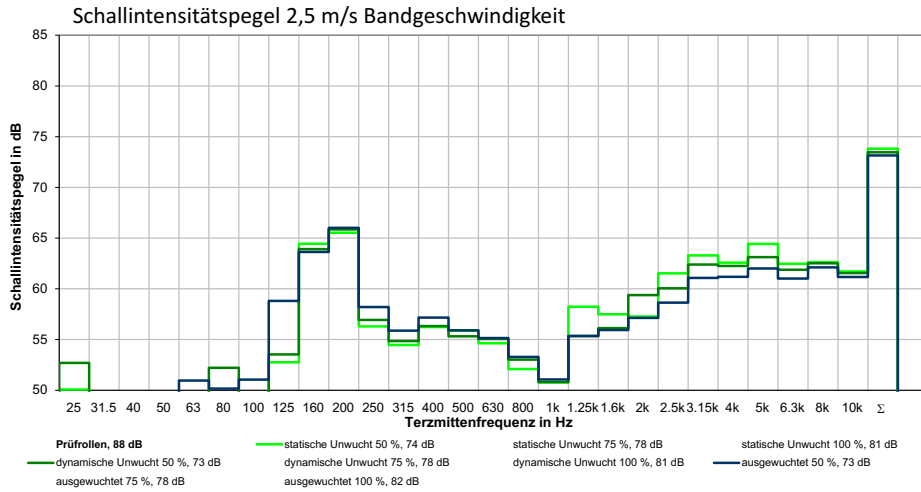


Abbildung 121: Ergebnis Schallintensitätspegel am Versuchsförderer bei 2,5m/s (Quelle: Tim Fritsch)

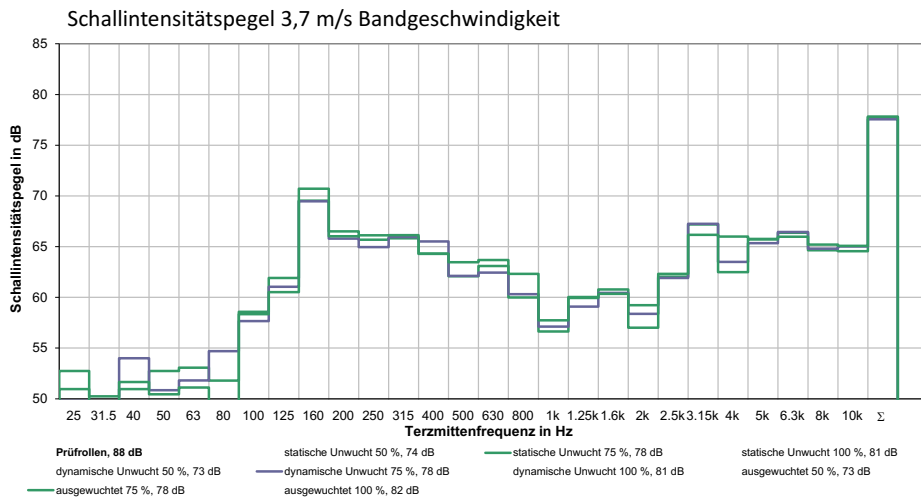


Abbildung 122: Ergebnis Schallintensitätspegel am Versuchsförderer bei 3,7m/s (Quelle: Tim Fritsch)

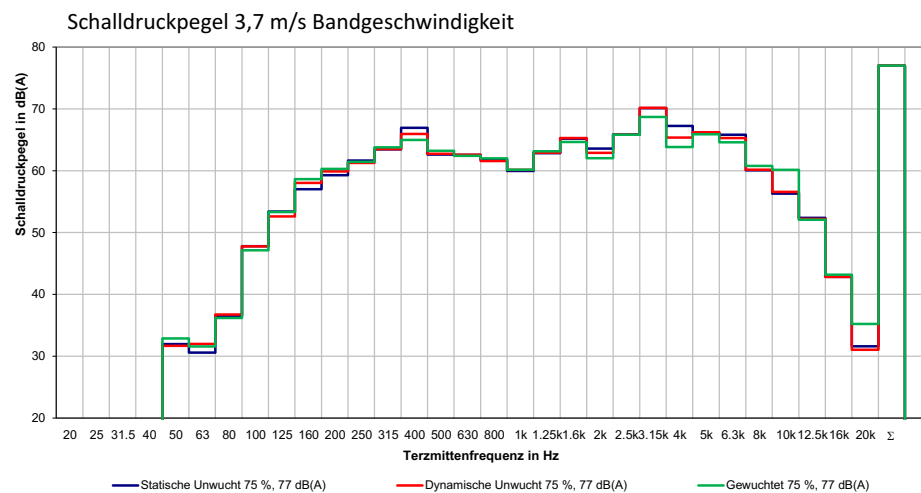


Abbildung 123: Ergebnis Schalldruckpegel am Versuchsförderer bei 3,7m/s (Quelle: Tim Fritsch)

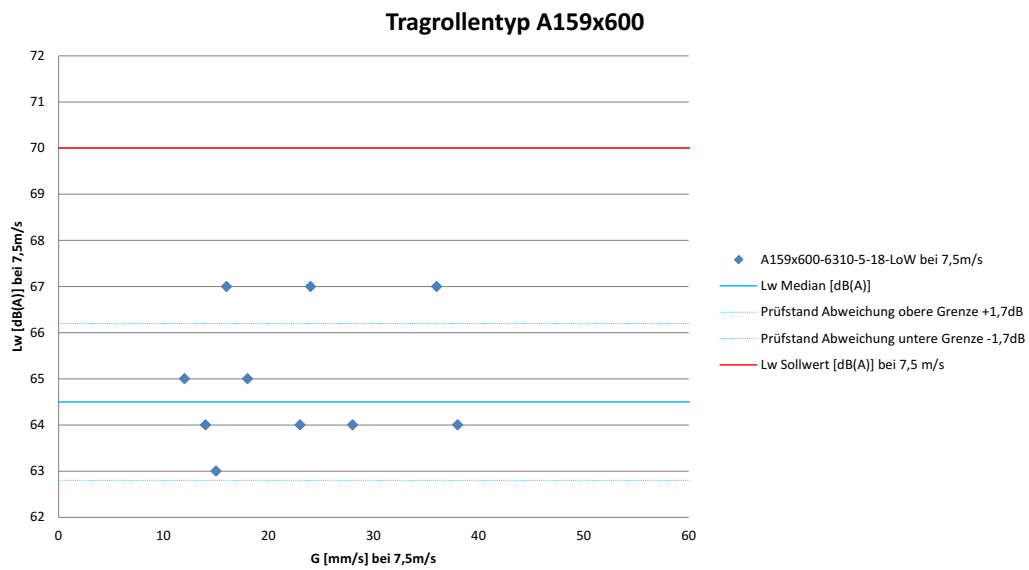


Abbildung 124: Zusammenfassung Tragrollentyp A159x600

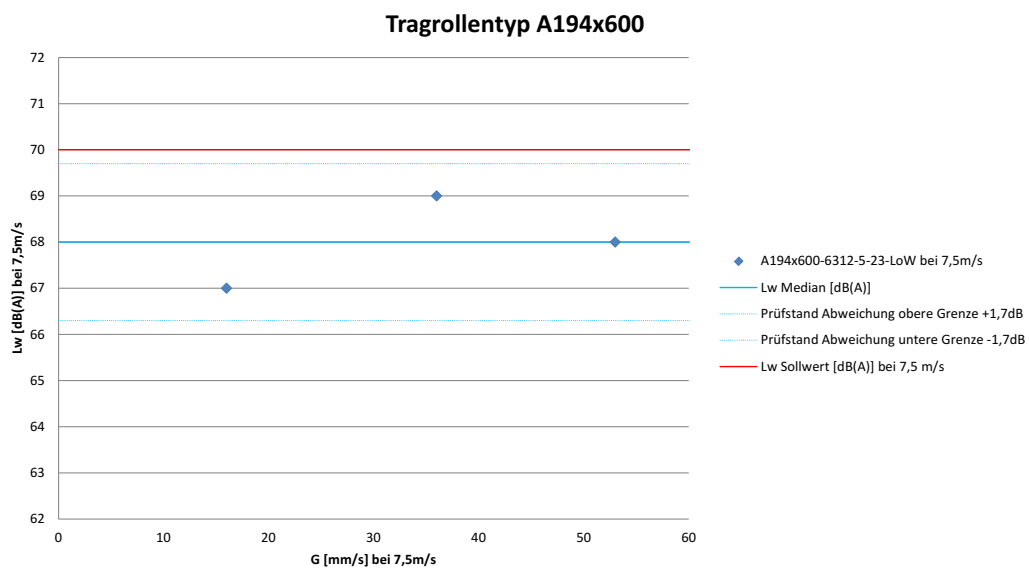


Abbildung 125: Zusammenfassung Tragrollentyp A194x600

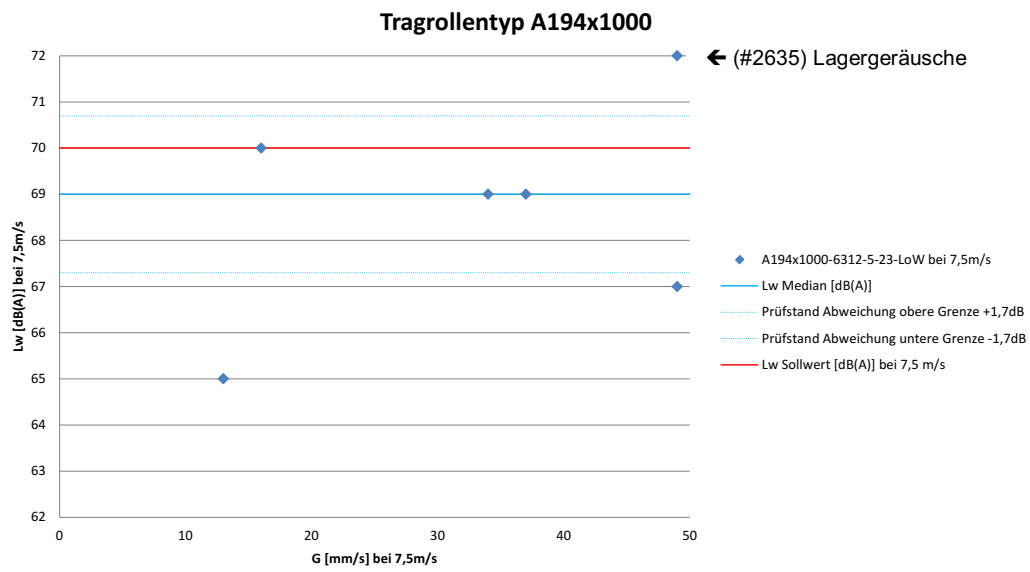


Abbildung 126: Zusammenfassung Tragrollentyp A194x1000

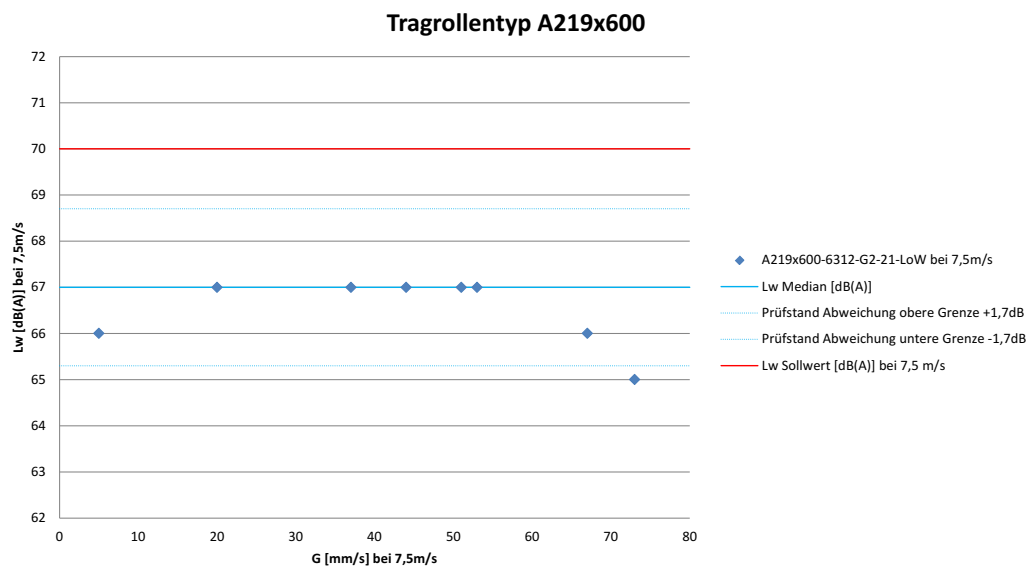


Abbildung 127: Zusammenfassung Tragrollentyp A219x600

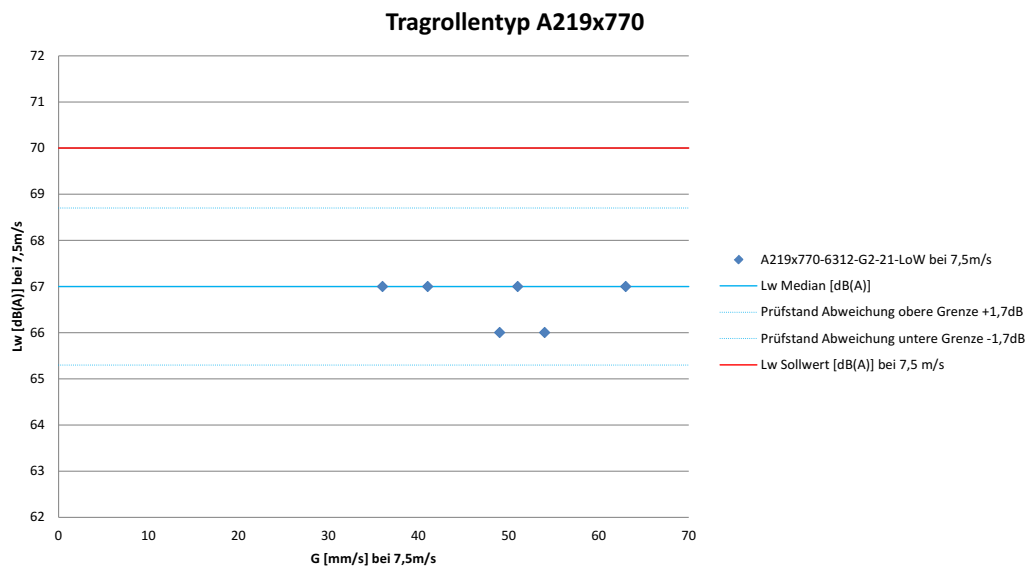


Abbildung 128: Zusammenfassung Tragrollentyp A219x770

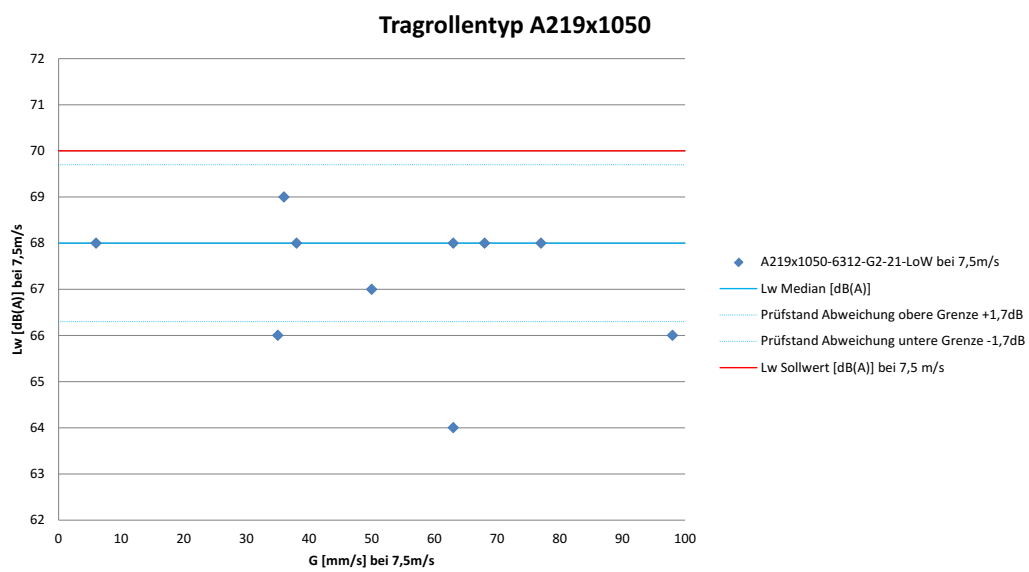


Abbildung 129: Zusammenfassung Tragrollentyp A219x1050

Dargestellt wird der Schalleistungspegel über der Umfangsgeschwindigkeit (Abbildung 130) der jeweiligen Tragrolle und deren einzelnen Anregungserhöhungen durch den Klebestreifen. Zusätzlich werden für eine nähere Betrachtung die Pegeldifferenzen gegenüber dem Prüflauf ohne Klebestreifen der jeweiligen Tragrolle dargestellt (Abbildung 131).

#0179 A194x750-6310-G2-18 IÜ Abklingwert nach 0,1 s -4 dB(A)

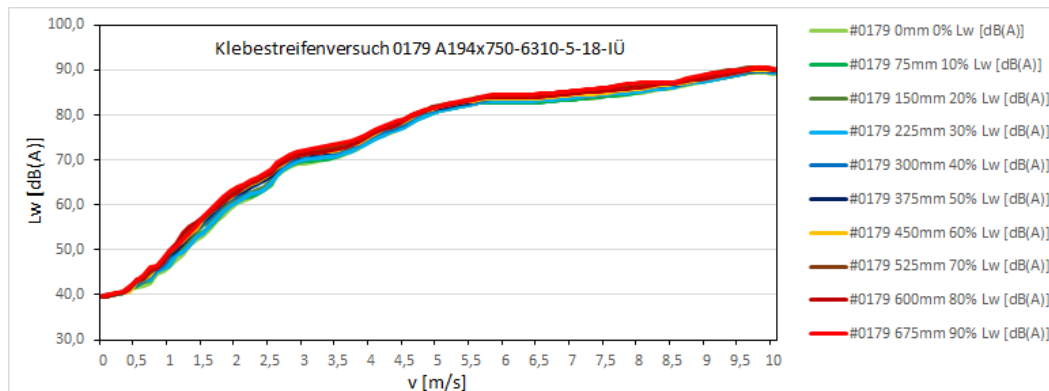


Abbildung 130: Verläufe Lw bei Tragrolle #0179

#0179 A194x750-6310-G2-18 IÜ Abklingwert nach 0,1 s -4 dB(A)

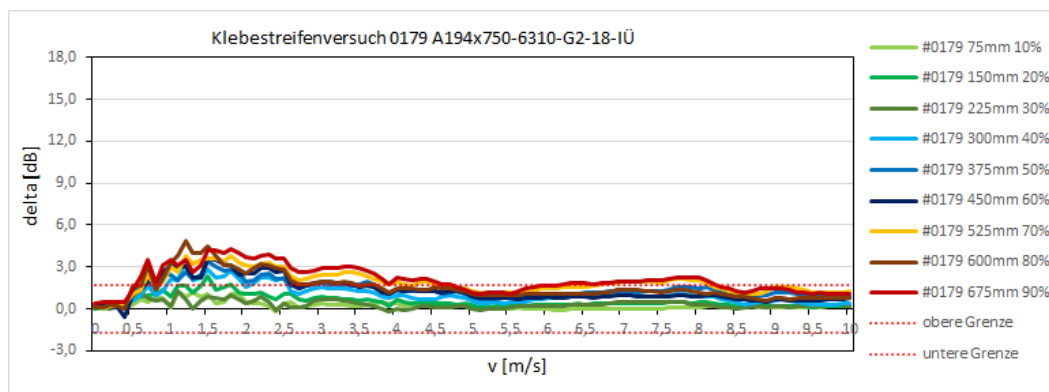


Abbildung 131: Verläufe delta Lw bei Tragrolle #0179

Der größer werdende Klebestreifen zeigt bei der Tragrolle #0179 nur bis etwa 2,5 m/s (Abbildung 131) eine nachweisbare Wirkung über 3 dB. Danach wird die nicht überdrehte Tragrolle über die hohe Kreisformabweichung so stark angeregt, dass der Klebestreifen nahezu keine nachweisbare zusätzliche Anregung zur Schallabstrahlung mehr verursacht.

#0300 A194x750-6310-5-18 (ff) Abklingwert nach 0,1 s -12 dB(A)

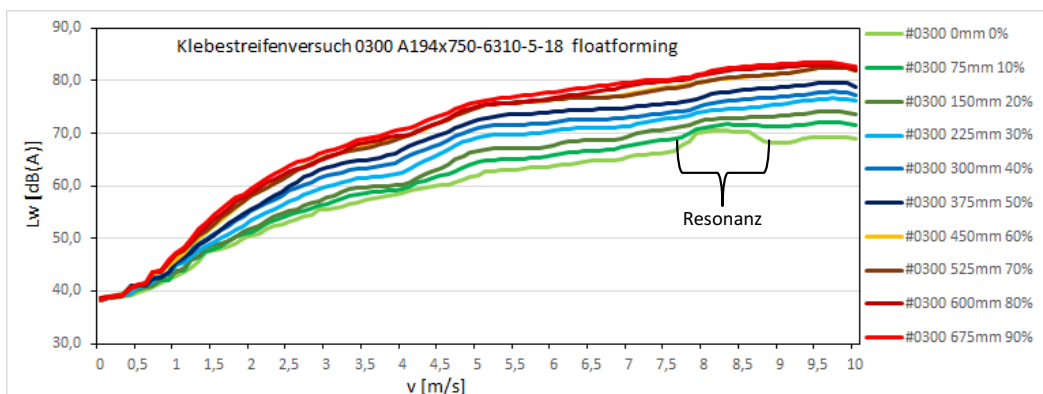


Abbildung 132: Verläufe Lw bei Tragrolle #0300

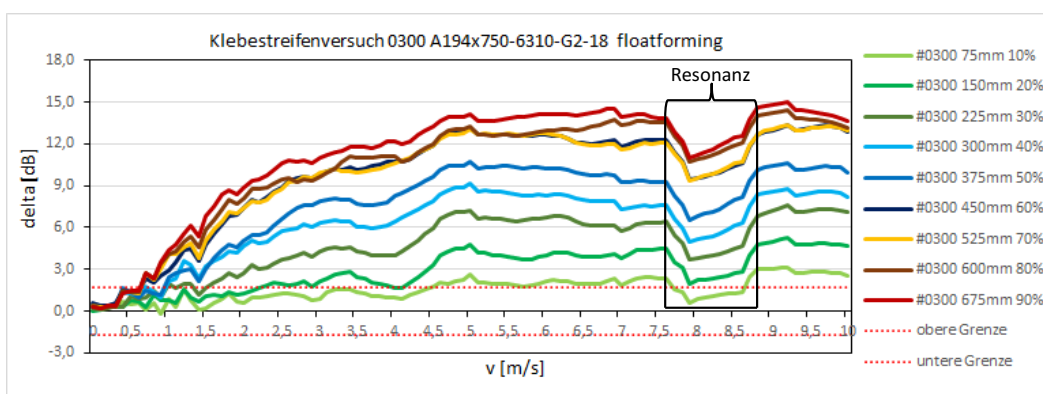


Abbildung 133: Verläufe delta Lw bei Tragrolle #0300

Der größer werdende Klebestreifen zeigt bei der Tragrolle #0300 eine gleichmäßig größer werdende Pegeldifferenz bis zur Klebestreifenlänge 450 mm (60 % der Mantellänge). Danach werden die Pegelzuwächse geringfügiger (Abbildung 133).

#0608 A194x750-6310-G2-18-IL ü/g Abklingwert nach 0,1 s -2 dB(A)

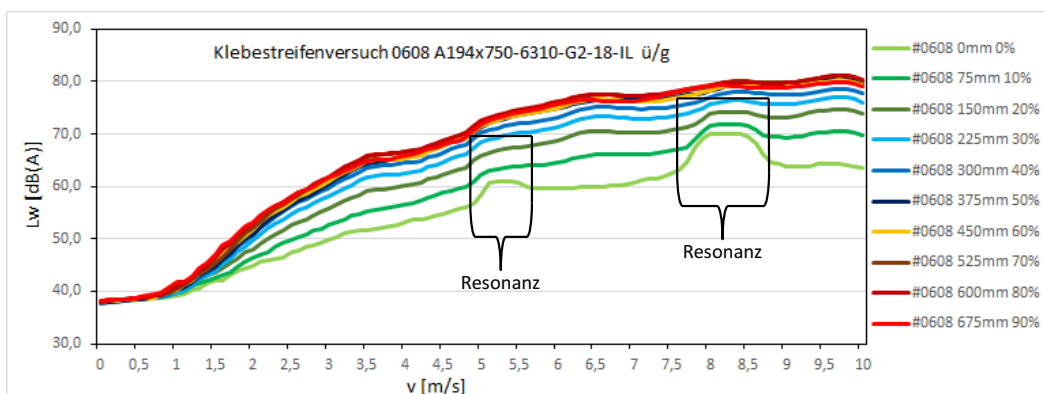


Abbildung 134: Verläufe Lw bei Tragrolle #0608

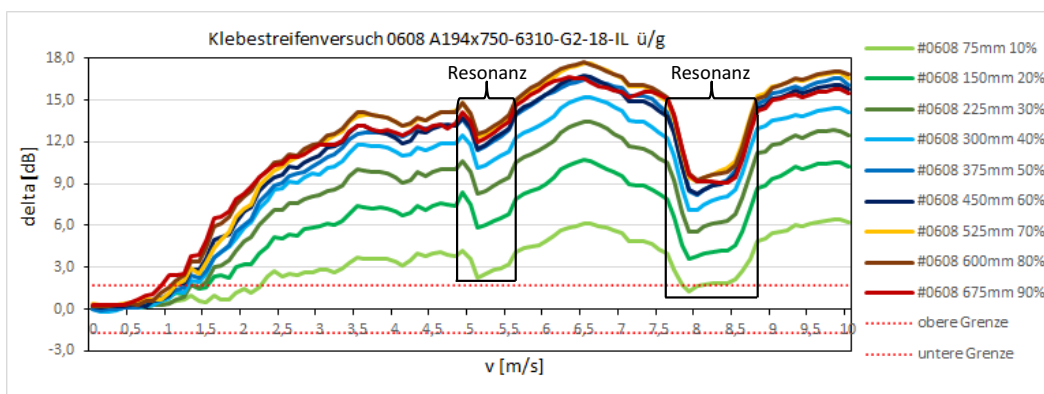


Abbildung 135: Verläufe delta Lw bei Tragrolle #0608

Der größer werdende Klebestreifen zeigt bei der Tragrolle #0608 eine abnehmend größer werdende Pegeldifferenz bis zur Klebestreifenlänge 375 mm (50 % der Mantellänge). Danach sind signifikante Pegelzuwächse nicht mehr feststellbar (Abbildung 135).

#1863 A194x750-6310-5-18-L ü/g/d Abklingwert nach 0,1s -16 dB(A)

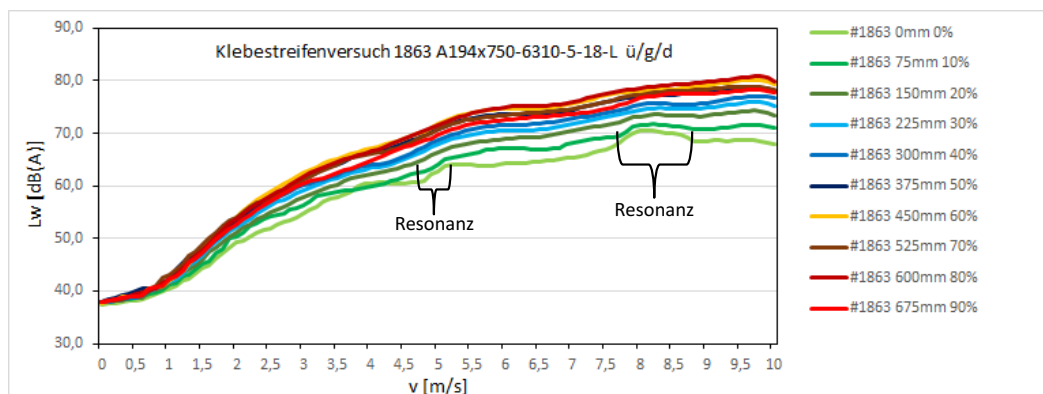


Abbildung 136: Verläufe L_w bei Tragrolle #1863

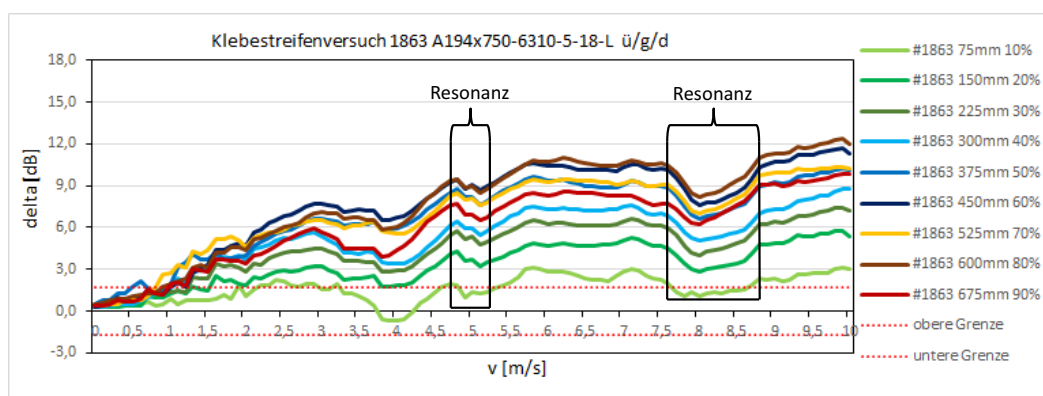


Abbildung 137: Verläufe ΔL_w bei Tragrolle #1863

Der größer werdende Klebestreifen zeigt bei der Tragrolle #1863 eine abnehmend größer werdende Pegeldifferenz bis zur Klebestreifenlänge 375 mm (50% der Mantellänge). Danach sind die Pegelzuwächse gering bis hin zum Pegelrückgang bei der Klebestreifenlänge 675 mm (90% Mantellänge) (Abbildung 137).

#0610 A194x750-6310-G2-18-L ü/g/d Abklingwert nach 0,1s -38 dB(A)

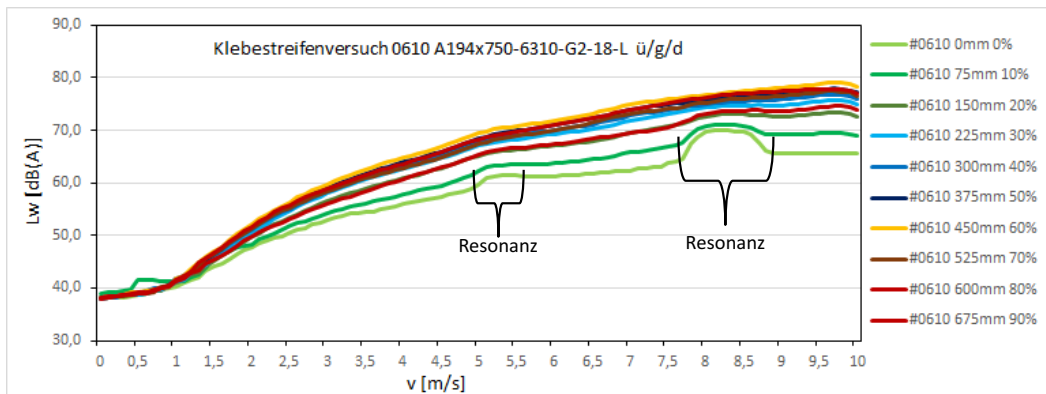


Abbildung 138: Verläufe Lw bei Tragrolle #0610

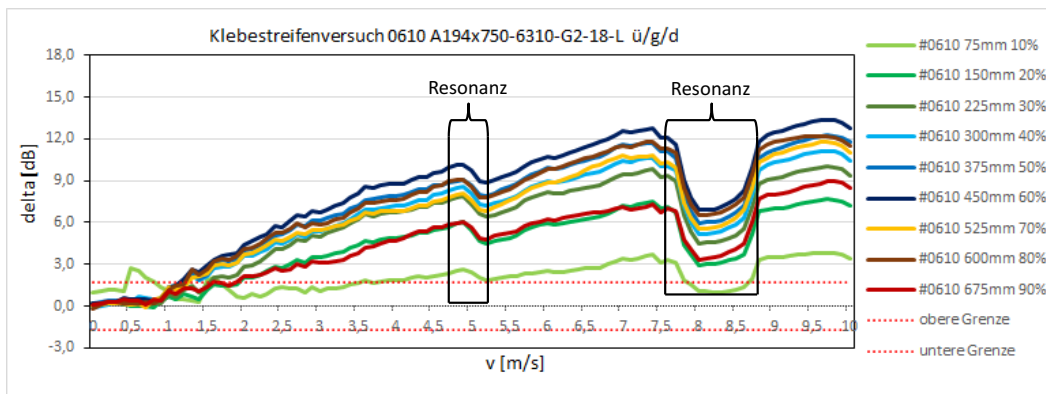


Abbildung 139: Verläufe delta Lw bei Tragrolle #0610

Der größer werdende Klebestreifen zeigt bei der Tragrolle #0610 eine abnehmend größer werdende Pegeldifferenz bis zur Klebestreifenlänge 450 mm (60% der Mantellänge). Danach findet ein Pegelrückgang bis zur Klebestreifenlänge 675 mm (90% Mantellänge) statt (Abbildung 139).

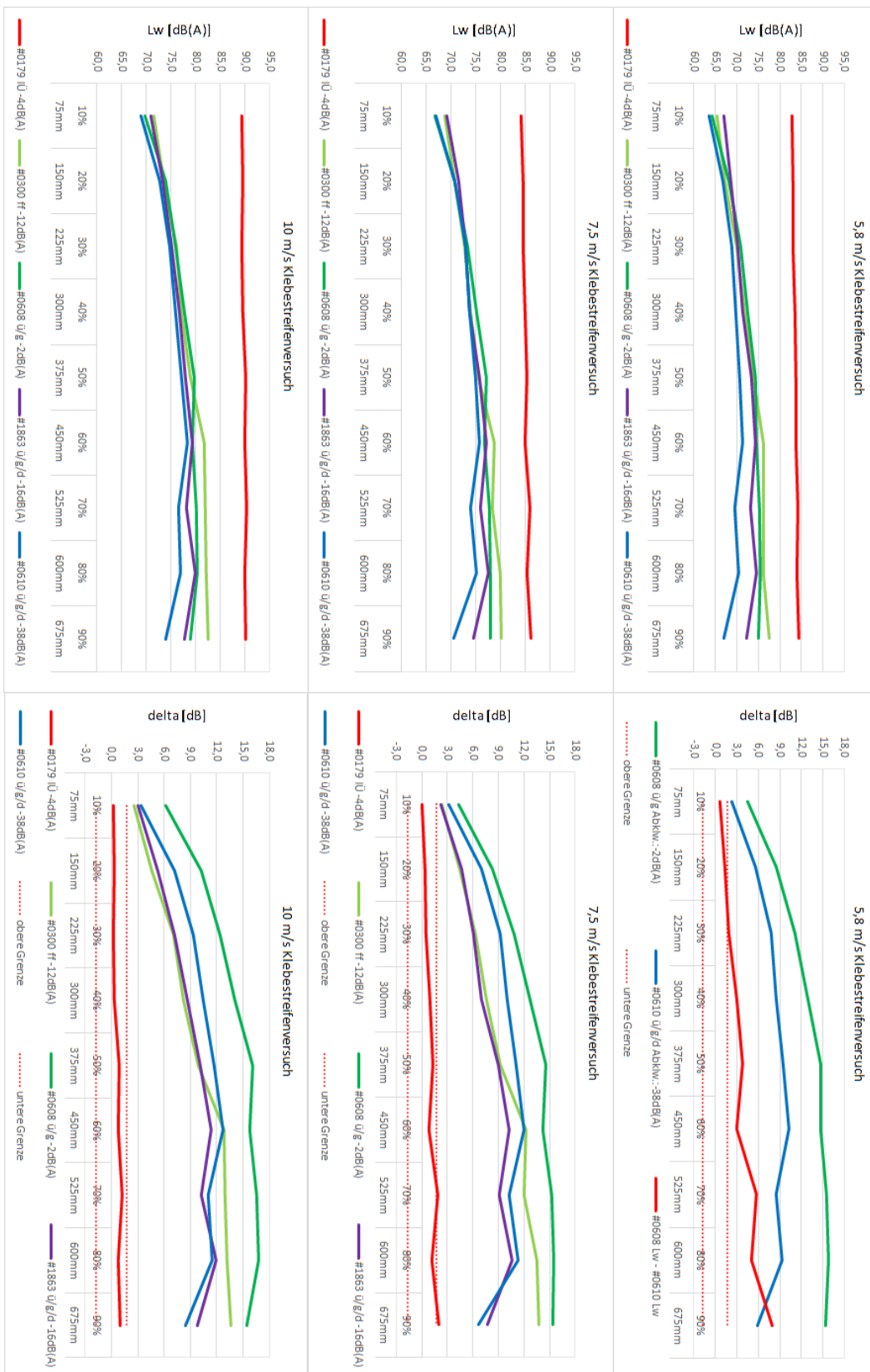


Abbildung 140: Pegelvergleiche bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Anregungszuständen

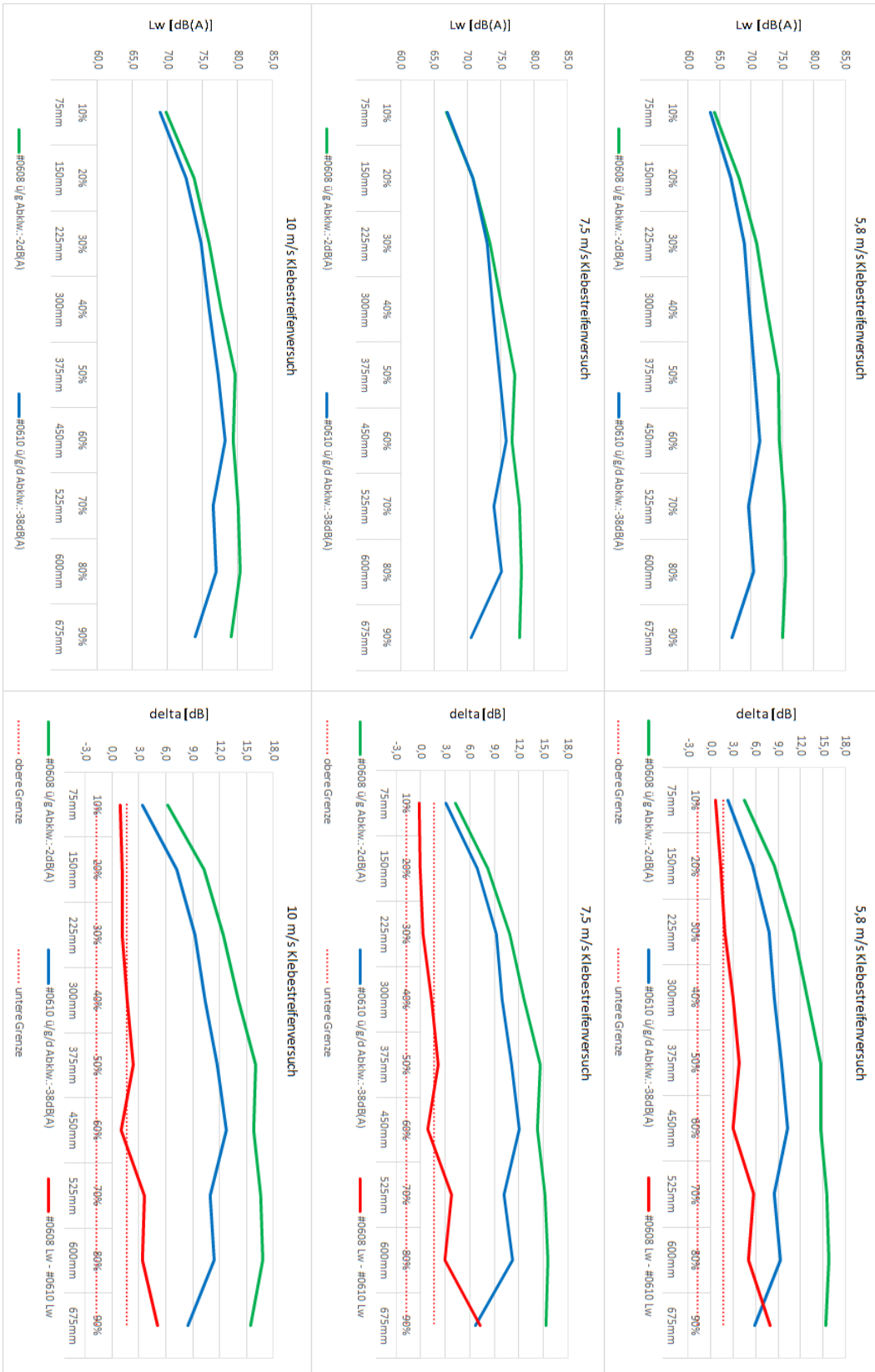


Abbildung 141: Pegelvergleiche bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Anregungszuständen Hersteller A