

Wahrnehmung von Getriebegeräuschen – Einflüsse und Störgrößen bei Prüfstandsversuchen

Karsten Moritz¹, Steffen Ochs¹, Josef Schlittenlacher², Joachim Bös¹, Tobias Melz^{1,3}

¹ TU Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM, 64289 Darmstadt
E-mail: moritz@szm.tu-darmstadt.de

² TU Darmstadt, Institut für Psychologie, 64289 Darmstadt

³ Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, 64289 Darmstadt

Einleitung

Die psychoakustische Bewertung von Produkten für Privatkunden, wie z.B. in der Automobilbranche oder auch bei Haushaltsgeräten, hat mittlerweile einen festen Stellenwert. Gespräche mit Getriebeherstellern haben ergeben, dass es aber auch bei Industrieanwendungen zu Reklamationen kommen kann, wenn der Klang eines Produktes zu aufdringlich erscheint. Eine bereits durchgeführte Untersuchung konnte zeigen, welche Attribute bei der Beschreibung von Getriebeegeräuschen anwendbar sind [1].

Um individuelle Aufnahmen für Hörversuche erstellen und die Einflüsse verschiedener Getriebeparameter auf die Psychoakustik untersuchen zu können, wird am Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM der Technischen Universität Darmstadt im Rahmen eines von der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. geförderten Projektes ein Getriebeakustikprüfstand (GAP) aufgebaut. Da die Qualität dieser Aufnahmen entscheidend für die Durchführung der weiteren Untersuchungen ist, werden Anstrengungen zur Minimierung der Störeinflüsse sowohl bei der Einrichtung des Prüfstandes als auch bei der Versuchsplannung unternommen, die im Folgenden näher erläutert werden.

Aufbau

Gegenstand der Untersuchung ist ein einstufiges, schrägverzahntes Stirnradgetriebe der Firma SEW Eurodrive in der Leistungsklasse bis 40 kW. Es ist im schallreflexionsarmen Labor des Fachgebietes SzM aufgebaut und wird von zwei außerhalb des Labors aufgestellten Gleichstrommaschinen angetrieben und belastet. Im Labor sind außerdem zwei Stützlager mit integrierter Drehmomentmesswelle montiert.

Minimierung von Störgeräuschen

Bei der Minimierung von Störeinflüssen im Messbetrieb kann sowohl eine räumliche Trennung als auch eine zeitliche Trennung angewendet werden. So finden die Messungen am GAP grundsätzlich nur dann statt, wenn in der umgebenden Maschinenhalle nicht gearbeitet wird. Auch die Zwangskühlung der Antriebsmaschinen kann für den Zeitraum der Messung abgeschaltet werden und reduziert so den größten Anteil des Störgeräusches im Betrieb. Geräusche, die betriebsbedingt entstehen, müssen räumlich getrennt oder gekapselt werden. Da für die Hörversuchsaufzeichnungen auch Betriebspunkte bei geringer Last angefahren werden, können sich auch Störquellen auswirken, die beispielsweise

bei einer Schalleistungsmessung bei Nennlast nicht relevant wären. Dies können Lagergeräusche der Stützlager sein, sporadische Quietschgeräusche von Dichtringen oder auch die Luftschallabstrahlung der Gelenkwellen. Diese Geräusche können den Klangcharakter des aufgenommenen Geräusches verändern. Abbildung 1 zeigt beispielhaft ein akustisches Foto der Störquelle „Gelenkwelle“.

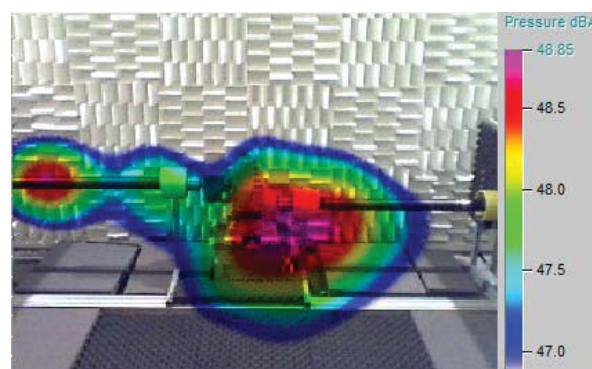


Abbildung 1: Geräuschabstrahlung der Gelenkwelle im akustischen Foto

Die Anbringung von z.B. Wellenschalldämpfern minimiert diese Störeinflüsse, was sich auch im Frequenzspektrum bemerkbar macht (Abbildung 2). Der Frequenzbereich oberhalb von 2 kHz wird deutlich gedämpft, was wiederum Einfluss auf die Schärfe der Aufnahme und somit auch auf die Beurteilung in den Hörversuchen hat [2].

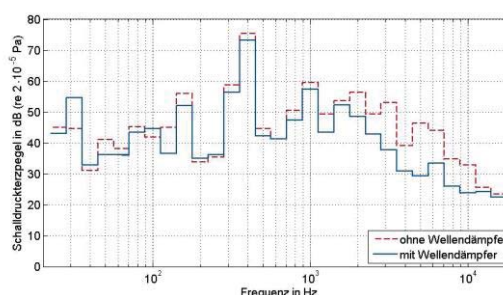


Abbildung 2: Einfluss der Wellendämpfer auf das Frequenzspektrum (bei 960 U/min und 250 Nm im Rechtslauf), deutliche Senkung der Pegel ab 2 kHz

Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Tendenz zwischen steigender Drehzahl und zunehmender Schärfe. Dies liegt in der Verlagerung des Frequenzspektrums zu höheren Frequenzen hin begründet. Der Einbruch der Schärfe bei 840 U/min ergibt sich aus einer Antriebsstrangresonanz, die den Schärfewert des Getriebeegeräusches durch tieffrequentes Wummern verfälscht. Dies zeigt die Wichtigkeit der

Berücksichtigung psychoakustischer Größen bereits bei der Auslegung des Prüfstandes. Mit der Umsetzung der nötigen Maßnahmen wird ein Ruheschalldruckpegel $< \text{ca. } 34 \text{ dB(A)}$ im Labor bei laufenden Motoren realisiert. Dabei werden fast über den kompletten Frequenzbereich $0,1 \text{ sone/bark}$ unterschritten, wodurch bereits Aufnahmen niedriger Lastpunkte für die Hörversuche herangezogen werden können.

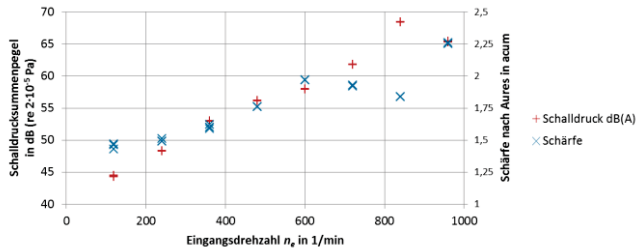


Abbildung 3: Einfluss der Drehzahl auf die Schärfe bei 250 Nm im Rechtslauf – Beeinflussung durch tieffrequente Resonanz im Antriebsstrang (3 Messungen pro Lastpunkt)

Versuchsplanung und Wiederholbarkeit

Das Kennfeld für die Untersuchung umfasst 6 diskrete Drehzahlen verknüpft mit 9 diskreten Drehmomenten. Um reproduzierbare Aufzeichnungen für die Hörversuche und geringe Streuungen in den Auswertungen zu erhalten, wird ein Messplan nach Kriterien der statistischen Versuchsplanung gestaltet. Dazu gehört die Randomisierung der einzelnen Betriebspunkte im Messablauf. Dies verhindert systematische Fehler, die bei einer spalten- oder zeilenweise Abarbeitung des Kennfeldes auftreten können [3]. Gegen eine tatsächlich zufällige Anordnung spricht jedoch, dass, abhängig von der Abfolge der Lastpunkte, auch ein Einfluss auf die Temperatur zu verzeichnen ist. Vorversuche haben eine Abhängigkeit der gemessenen akustischen Größen von der Getriebetemperatur gezeigt, weshalb eine quasizufällige Anordnung gewählt wurde, bei der die Abfolge von hohen und niedrigen Lasten berücksichtigt wurde. Diese Abfolge wird zur Blockbildung für die beiden Drehrichtungen genutzt. Die Auswertung der Messdaten zeigt, dass die Unterschiede der Betriebstemperaturen in einem Messblock bei max. ca. $2 \text{ }^\circ\text{C}$, bei einer kompletten Messung beider Blöcke (Dauer ca. $1,5 \text{ h}$) bei max. ca. $3,5 \text{ }^\circ\text{C}$ liegen, abhängig von der Starttemperatur (siehe Abbildung 4).

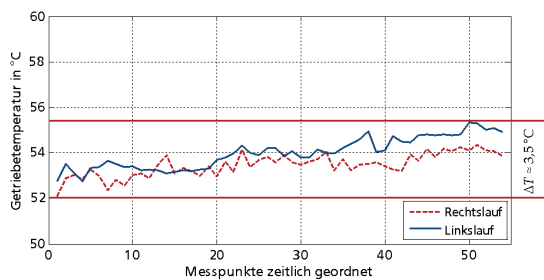


Abbildung 4: Getriebetemperatur über die Messdauer von 2×45 Minuten (2×54 Messpunkte)

Die Auswirkungen der nur geringen Temperaturschwankung auf die Messwerte wie z.B. Schalldruck und Lautheit kann somit unter Berücksichtigung der Vorversuche vernachlässigt werden.

Einen deutlich größeren Einfluss hat die Steuerung der Antriebsmaschinen, da die einzelnen Messpunkte von Hand angefahren werden. Um den Einfluss des wiederholten Anfahrens einschätzen zu können, wurde im ersten Block ein Lastpunkt angefahren und die Messung zehnmal hintereinander ausgelöst. Anschließend wurde im zweiten Block der Lastpunkt zehnmal neu angefahren (Neueinstellung von Drehzahl und Drehmoment) und dann im dritten Block das Prozedere des ersten Blocks wiederholt. Je nach Lastpunkt variiert die Streuung. Exemplarisch genannt sei der Lastpunkt bei 600 U/min und 200 Nm im Rechtslauf. Die Streuung des A-bewerteten Schalldrucksummenpegels beträgt beim genannten Vorgehen weniger als 1 dB . Etwas größer wird die Abweichung, wenn auch die Wiederholung nach einer Woche berücksichtigt wird. Dann liegen die Extrema $1,5 \text{ dB}$ auseinander. Die Abweichungen der psychoakustischen Größen, die mit ArtemiS berechnet werden, liegen alle – teilweise deutlich – unter 10% . So zeigt Abbildung 5 die Lautheitswerte für den genannten Messpunkt. Die Abweichung ist hier $< 5\%$.

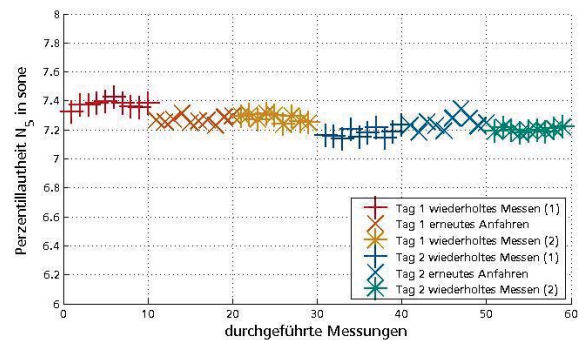


Abbildung 5: Lautheitswerte (N_5 Perzentillautheit) bei wiederholtem Anfahren des gleichen Messpunktes (600 U/min , 200 Nm , Rechtslauf)

Fazit

Durch die gezielte Berücksichtigung psychoakustischer Größen bei der Auslegung des GAP auf die Erstellung von Hörversuchen ist es gelungen, Störgrößen im Betrieb des Prüfstandes soweit zu minimieren, dass die Geräuschaufnahmen reproduzierbar sind und selbst in kleinen Lastzuständen ermöglicht werden. Dadurch ergibt sich neben dem Vorteil der Unabhängigkeit von extern erstellten Getriebegeräuschen die Möglichkeit, individuell und kurzfristig hochwertige Geräuschdateien in einem feineren Raster oder in für die Auswertung interessanten Lastpunkten zu erzeugen.

Literatur

- [1] Schlittenlacher, J.: Psychoacoustic evaluation of gear noise using category ratings of multiple attributes. Inter-Noise 2013, Innsbruck
- [2] DIN 45692: Messtechnische Simulation der Hörempfindung Schärfe, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2009
- [3] Kleppmann, W.: Versuchsplanung, Hanser Verlag, München, 2011