

DESIGN FOR LOW NOISE: EMPIRISCHE GERÄUSCHOPTIMIERUNG AN EINEM INNOVATIVEN FLACHMOTOR FÜR KRAFTFAHRZEUG-FENSTERHEBER

Dr. Thomas Börnchen, Dr. Helmut Sesselmann, Dr. Markus Schultz

Zusammenfassung

Bei der Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. Kommanditgesellschaft wird ein neuartiger Typ von Fensterheberantrieb entwickelt. Es handelt sich um einen permanentmagnetisch erregten, mechanisch kommutierten Flachmotor mit eisenlosem Anker und integriertem Umlaufrädergetriebe.

Die Minimierung der Geräuschabstrahlung ist eine besonders kritische Anforderung im Entwicklungsprozess. An Prototypen mit verschiedenen Umlaufrädergetrieben sowie verschiedenen Ankertechnologien sind Schallpegel gemessen und Frequenzspektren untersucht worden. Die ausgeprägt erprobungsorientierte Vorgehensweise auf Basis einer dichten Abfolge von Musterständen ermöglicht es, die einzelnen Geräuschverursacher genau zu identifizieren und ihren jeweiligen Beitrag zum Gesamtgeräuschbild zu quantifizieren. Damit wird eine frühzeitige Risikominimierung im Entwicklungsprozess möglich, denn das Geräuschverhalten unterscheidet sich konzept- und auslegungsabhängig erheblich. Das zielgerichtete *design for low noise* geht einher mit der Berücksichtigung weiterer Anforderungen wie z. B. Package, Gewicht, Wirkungsgrad und insbesondere Wirtschaftlichkeit. Auf Basis eines „akustisch robusten“ Grundkonzepts erfolgt die Gesamtoptimierung des Fensterheberantriebs.

1 Ausgangspunkt

Bereits 1963 führte Brose den ersten elektrischen Fensterheber auf dem europäischen Markt ein. Heute werden weltweit ca. 180 Mio Fensterheber hergestellt, von denen etwa 60 % elektrisch sind. Aufgrund des allgemeinen Trends zu höherem Komfort wird dieser Anteil weiter steigen.

1.1 Stand der Technik

Fensterheberantriebe in Serie bestehen aus Stabankermotoren in Kombination mit einer Schneckengetriebestufe. Damit ist der Grundaufbau eines elektrischen Fensterhebers seit der Markteinführung bis heute erhalten geblieben. Verbesserungen sind in zahlreichen Details eingeflossen. Ein wesentlicher Meilenstein war die Einführung des elektronischen Einklemmschutzes, der seit 1986 am Markt verfügbar ist.

1.2 Motivation

Das heute verbreitete Antriebskonzept hat einen hohen Reifegrad erreicht. Zwar ist davon auszugehen, dass es noch weiteres technisches Optimierungs- wie Kostensenkungspotential besitzt. Markterwartungen und technische Rahmenbedingungen aber werden sich in Zukunft weiter wandeln und bergen damit Risiken für die vorhandene Technologie:

- Die Kundenansprüche nehmen zu. Dem Fahrzeuginnengeräusch wird wachsende Aufmerksamkeit geschenkt. Dies betrifft gleichermaßen die akustische Dämmung von Außen- und Fahrgeräuschen wie die gezielte Gestaltung des Klangs einzelner Aggregate.
- Zu weiteren Optimierungszielen bei Komfortantrieben zählen u.a. ihre „Intelligenz“, d.h. ihre (situationsabhängige) Steuerbarkeit, wie auch Bauraum, Gewicht etc.
- Das technologische Umfeld, wie z. B. die Energieversorgung, wird sich ändern.

Die Grenzen der heutigen Serientechnologie werden in etwa 5...10 Jahren sichtbar werden. Dementsprechend ist ein wachsender Bedarf an einem alternativen Antriebskonzept zu erwarten.

1.3 Neuartiges Produktkonzept

Brose entwickelt einen Flachantrieb mit vollständig neuem Grundaufbau. Die verwendeten Wirkprinzipie der Energiewandlung sind grundsätzlich – z.B. aus der Automatisierungstechnik – bekannt, ihre Kombination und Anpassung an die Anforderungen eines Fensterhebers sind jedoch bislang noch nicht geleistet worden.

Von verschiedenen elektrisch-mechanischen Energiewandlungsmechanismen wird nach einer vergleichenden Bewertung der elektrodynamische Effekt als auch weiterhin am geeignetsten betrachtet. Es wird jedoch ein scheibenförmiger Läufer vorgesehen, der ein besonders hohes Integrationspotential in Verbindung mit einem konzentrisch angeordneten Umlaufrädergetriebe verspricht. Bild 1 zeigt ein Konfigurationsbeispiel für einen Seilfensterheber.

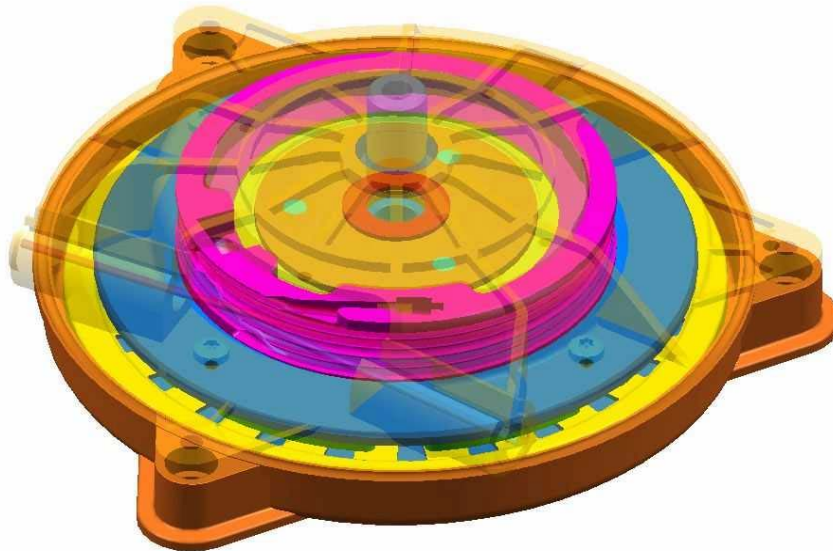


Bild 1: Neuartiger Fensterheber

Die wesentlichen Vorteile der neuen Bauart liegen im kompakten und symmetrischen Systemaufbau, einer Vereinfachung der Teile- sowie Montagekomplexität, einer Material- wie auch Gewichtsreduzierung und im sich daraus ergebenden Kosteneinsparungspotential. Bild 2 zeigt die Topologie der Serien- im Vergleich zu der der neuartigen Lösung.

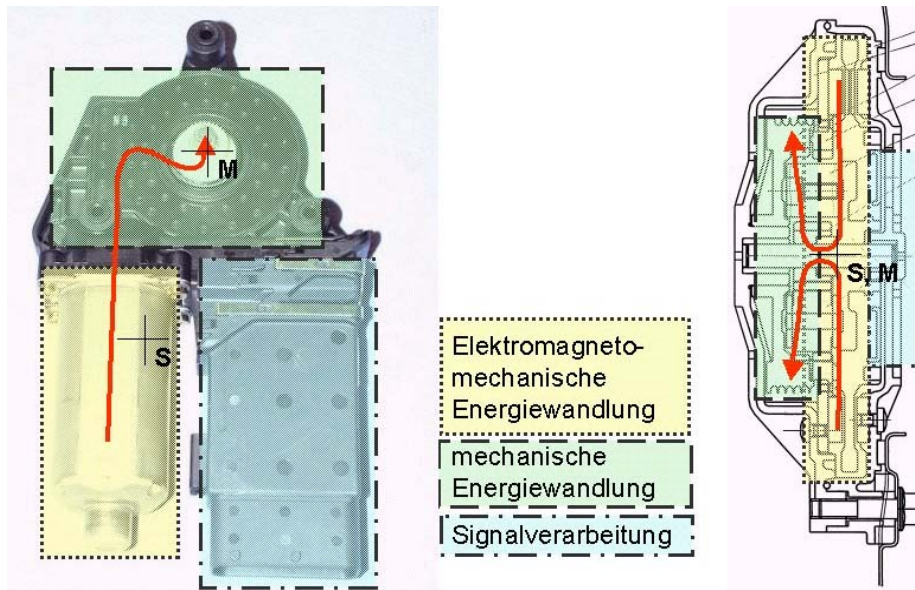


Bild 2: Aufbau von konventioneller und neuer Lösung im Vergleich

2 Entwicklungsprozess

2.1 Ziele und Vorgehen

Nach Abschluss einer Explorationsphase von ca. 15 Monaten wurde ein Prototyp des Scheibenläuferantriebs mit „Versuchsfreigabe 0“ auf der IAA 2001 gezeigt, s. Bild 3. In der nachfolgenden *feasibility*-Phase ist der Antrieb seitdem sukzessive verbessert worden mit dem Ziel, alle wesentlichen Eckpunkte einer Fensterhebermotorspezifikation zu erfüllen („Versuchsfreigabe 1“).

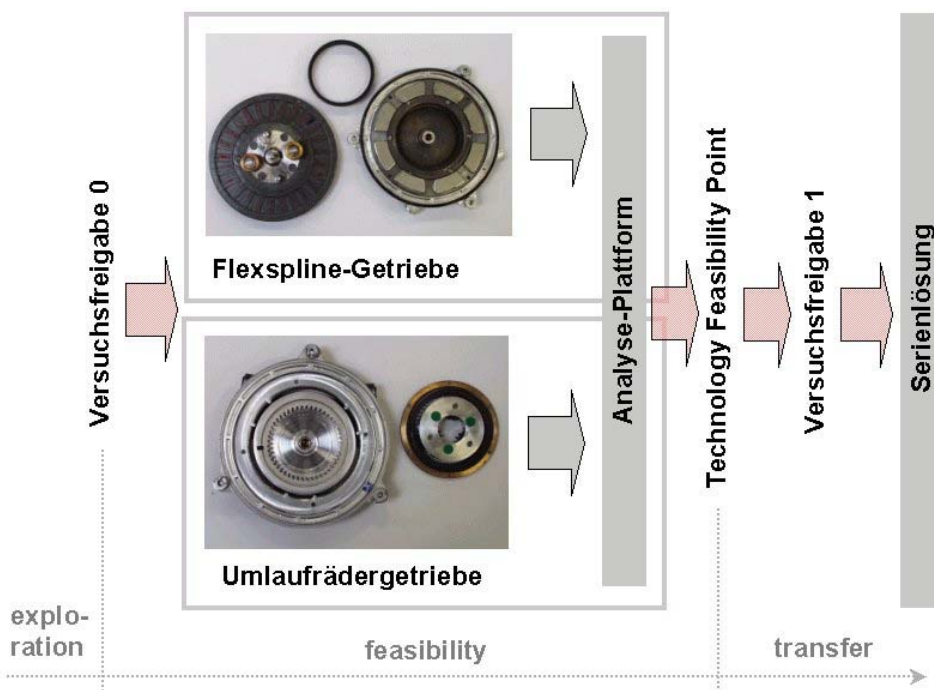


Bild 3: Projektphasenplan

Mit einer Analyse-Plattform werden verschiedene Alternativen wesentlicher Funktionsgruppen erprobt und vergleichend bewertet. Dazu zählen insbesondere:

- das Getriebekonzept (zwei Varianten exemplarisch in Bild 3 dargestellt),
- der Magnetkreis,
- der Anker sowie
- das Bürstensystem.

Um möglichst zielstrebig den sogenannten *Technology Feasibility Point* zu erreichen, bei dem das verbleibende Restrisiko klein genug ist, um sicher im weiteren Serienentwicklungsprozess bewältigt werden zu können, wird das Suchfeld deduktiv eingeschränkt. Hauptkriterium dafür ist der Geräuscheinfluss einer Variante. Der abgestrahlte Schall kann sich prinzipiell aus folgenden Anteilen zusammensetzen:

- aerodynamische Geräusche
- Lager-/Unwuchtgeräusche
- magnetische bzw. Kommutierungsgeräusche
- Zahneingriffsgeräusche

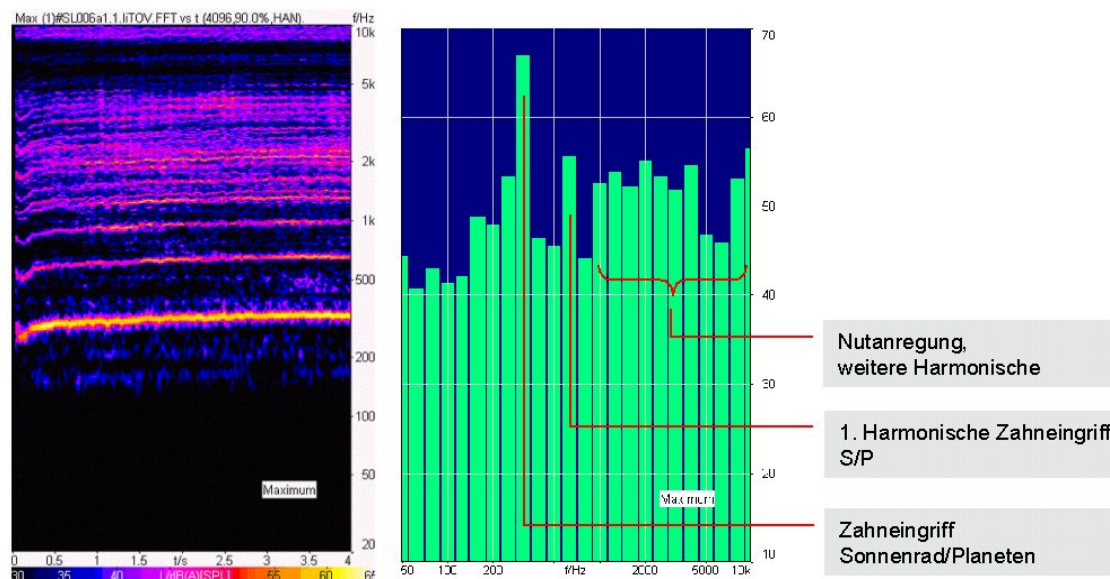


Bild 4: spektrale Schallpegelverteilung des Lastfalls „Scheibe heben“ im Zeitbereich (links) und Terzpegel-Auswertung im Frequenzbereich (rechts)

Aufgabe ist, die dominanten Anteile zu ermitteln und wirksam zu verringern. Für Messungen steht ein akustischer Halbraum zur Verfügung. Es werden mit einem Kunstkopf und dem Analyse-Werkzeug Artemis spektrale Schallpegelverteilungen aufgenommen.

2.2 Heutiger Entwicklungsstand

Bild 4 zeigt einen Zeitverlauf der Schallabstrahlung bei einem Hebevorgang und die zugehörige Terzanalyse.

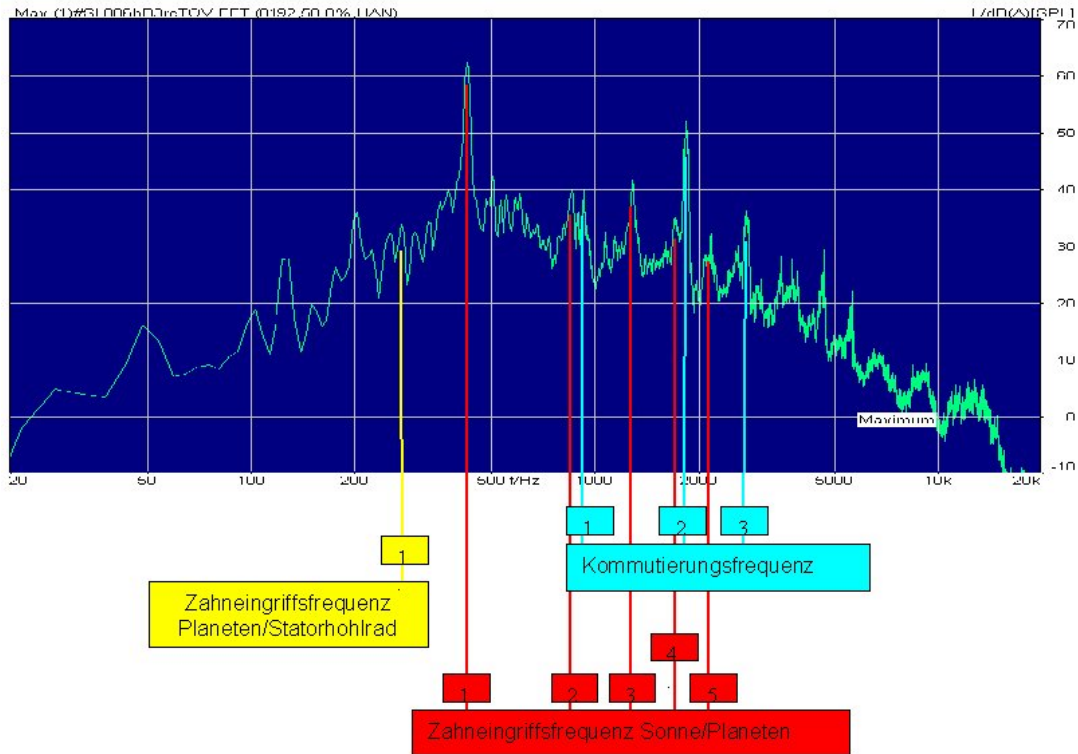


Bild 5: Schmalband-(FFT-)Analyse mit Zuordnung der Quellen

Auf der Basis von Auslegungsgrößen (Zähnezahlen, Lamellenzahl) sowie der gemessenen Drehzahl lassen sich Anregungsquellen zuordnen. Die Dominanz von Zahneingriffsgereuschen ist deutlich zu erkennen. Bild 5 zeigt die mittels Schmalbandanalyse ausgewertete Messung an einem verbesserten Motorstand. Hier werden die Harmonischen deutlicher sichtbar. Der Summenschallpegel ist verringert. Inzwischen ist eine akustisch geeignete Grundkonfiguration und -auslegung gefunden. Die laufende Detailoptimierung bezieht neben der weiteren Geräuschverbesserung auch die Erfüllung aller anderen Anforderungen immer stärker ein.

3 Literatur

- [1] FISCHER, R.: *Elektrische Maschinen*. Hanser, München Wien, 9th edition, 1995
- [2] LOOMAN, J.: *Zahnradgetriebe*. Springer, Berlin, 2nd edition, 1988
- [3] HECKL, M.; MÜLLER, H. A. (editors): *Taschenbuch der Technischen Akustik*. Springer, Berlin, 2nd edition, 1994
- [4] MCGRATH, M. E. (editor): *Setting the PACE in Product Development*. Butterworth-Heinemann, Newton, rev. ed., 1996
- [5] PESCH, A.: *Prozessoptimierung der Produktentwicklung*. Lit, Münster, 1996

Die Autoren danken ihren Projektpartnern für die verlässliche Unterstützung bei Auslegung und Musterfertigung. Ein besonderer Dank gilt W. Stammberger, U. Sommer and M. Klimmt aus dem Musterbau für ihre kreative Unterstützung bei allen experimentellen Arbeiten sowie S. Koller and H. Krüger für ihr geduldiges Engagement bei Messungen und Auswertung.

Kontakt:

Thomas Börnchen,
Türsysteme Vorentwicklung, Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG,
Tel.: +49 (0) 951/7474-2708,
Fax.: +49 (0) 951/7474-4183,
E-Mail: thomas.boernchen@brose.net,
URL: www.brose.de