

Blocked Force Prüfstand für mobile Anbindungen regelungstechnische Betrachtung

Anian Brosch¹, Robert Henneberger¹, Stefan Sentpali¹

¹ Hochschule München, FK03, Labor für Akustik u. Dynamik, 80335 München, Email: abrosch@hm.edu

Einleitung

Die von Nebenaggregaten eingeleitete Körperschallleistung ist eine der wichtigsten akustischen Beurteilungsgrößen für den simulativen Abgleich oder der Verzierung im Fahrzeug. Ein proportionales Maß für die eingeleitete Körperschallleistung stellen die mit der Blocked Force-Methode gemessenen dynamischen Kräfte dar. Um Kräfte messen zu können, müssen sich immer die Reaktionskräfte an einer Struktur oder einem Prüfstand abstützen können. Bei dem hier vorgestellten Akustikprüfstand ist es notwendig, eine statische Last auf das bewegliche System (Nebenaggregat) aufzuprägen bei gleichzeitiger Erfassung der dynamischen Anbindungskräfte. Diese statische Last ist erforderlich für die Simulation einer realen Last. In diesem Paper wird auf das mechanische Design und die regelungstechnische Auslegung eines solchen fahrzeugunabhängigen Komponentenprüfstandes bei mobilen Anbindungspunkten eingegangen.

Motivation und Zielsetzung

Bisher existieren Prüfstände, welche Schnittstellenkräfte von Hilfsaggregaten für unbewegliche Anbindungspunkte (siehe Abbildung 1, links) nach dem Blocked Force Prinzip messen. Motivation für die Entwicklung des hier vorgestellten Prüfstandes war es, auch für bewegliche Anbindungspunkte (siehe Abbildung 1, rechts) die statischen und dynamischen Schnittstellenkräfte aller Anbindungspunkte zu messen.

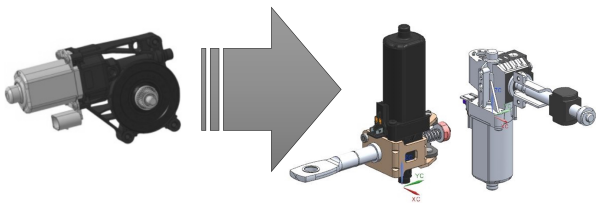


Abbildung 1: Nebenaggregat mit ortsfesten Anbindungspunkten (links), Nebenaggregat mit mobilen Anbindungspunkten (rechts)

Ziel ist zudem, eine geringe Prüfstandsrückwirkung in dem zu messenden Frequenzbereich zu erreichen.

Prüfstandskonzept und Aktuatorik

Um das Hilfsaggregat unter realen Bedingungen zu messen, muss eine Betriebskraft F durch den Prüfstand erzeugt werden. Dadurch können Belastungen auf den Spindeltrieb simuliert werden (siehe Abbildung 2). Mithilfe eines Linearmotors wird die benötigte Betriebskraft F zur Simulation einer Belastung bereitgestellt.

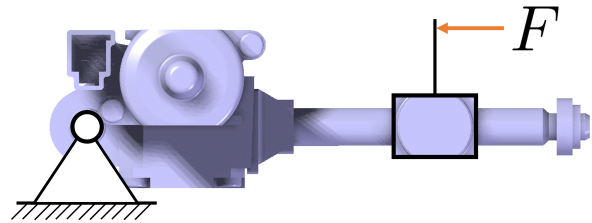


Abbildung 2: mechanisches Ersatzschaltbild für den Prüfstand

Der hier eingesetzte elektromagnetische Aktuator erzeugt Kräfte und führt Linearbewegungen aus. Dieser Linearmotor entspricht einer gedanklich aufgeschnittenen und abgerollten permanenten Synchronmaschine. Durch die feldorientierte Regelung (FOR) wird das rotorfeste dreiphasige Koordinatensystem auf ein zweiphasiges statorfestes Koordinatensystem transformiert, wodurch sich die spätere Kraftregelung wesentlich vereinfacht. In Abbildung 3 ist der Prüfstand schematisch

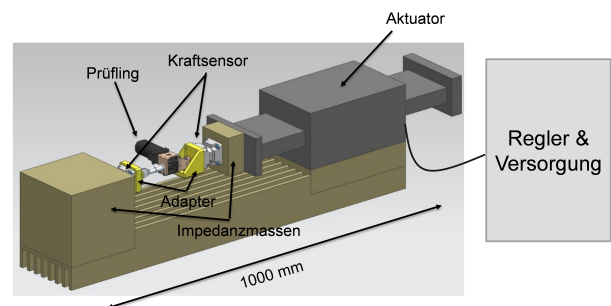


Abbildung 3: Prüfstandskonzept

abgebildet. Durch variable Adapter können Spindeltriebe mit unterschiedlichen Anbindungspunkten schnell gewechselt und vermessen werden. Die Kraftsensoren liegen im direkten Kraftfluss und messen statische sowie dynamische Kräfte, wobei sie sich an den Impedanzmassen für die Blocked Force Bedingung [1] abstützen. Der Linearmotor als Aktuator kann durch eine Regelung seiner Kraft statische und dynamische Lastprofile, wie etwa Krafttrampen oder Kraftsprünge erzeugen.

Reglertopologie

Um eine variable Last frei von Störungen auf den Spindeltrieb aufzuprägen, muss die Betriebskraft F des Linearmotors geregelt werden. Der Stromfluss durch die Spulen des Linearmotors ist direkt proportional zur Kraft, welche das Spulenpaket in Verbindung mit den Permanentmagneten erzeugt. Diese Kraft fällt einmal am Spin-

delantrieb ab und zum anderen Teil wird sie zur Beschleunigung der Massen von Linearmotor und Prüfstand benötigt. Ziel ist es die Kraft, welche am Spindeltrieb anliegt, zu regeln.

Kaskadenregelung

Um die Kraft auf das Hilfsaggregat zu regeln, muss auch der Strom durch die Spulen geregelt werden. Die langsamste Zeitkonstante eines dynamischen Systems ist für dessen Regelung maßgebend. Bei dieser Regelung wurde eine Kaskadenregelung gewählt, da die langsamste Zeitkonstante der Stromregelung T_S wesentlich geringer ist als die langsamste Zeitkonstante der Kraftregelung T_F . Die innere schnelle Kaskade stellt den Stromregelkreis

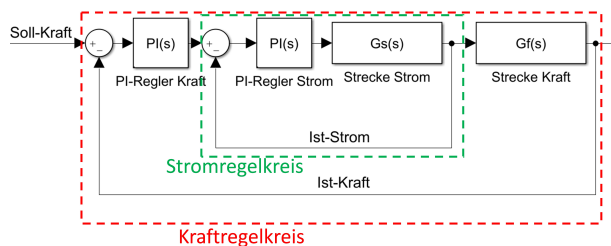


Abbildung 4: Reglertopologie mit Strom- und Kraftkaskade

dar, wobei sich in der äußeren langsamen Kaskade die Kraftregelung befindet (siehe Abbildung 4).

Stromkaskade

Um den Strom in die Spulen des Linearmotors zu regeln, wurde ein Regler mit proportionalem und integralem Anteil für stationäre Genauigkeit gewählt (siehe Abbildung 5). Zur Bestimmung der beiden Parameter des Reglers

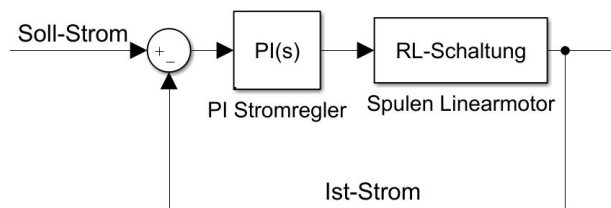


Abbildung 5: Stromregelkreis als innere Kaskade der Regelung

wurde ein Modell erstellt, welches durch eine Messung am Prüfstand verifiziert wurde. Mit diesem Modell konnten Parameter ermittelt werden, sodass der Dämpfungsgrad des Stromregelkreises $D = 1$ ist. Dadurch entsteht kein Überschwingen (siehe Abbildung 6), wodurch auch keine Schwingungen in die Mechanik des Prüfstand induziert werden und das Messergebnis der dynamischen Kräfte des Spindeltriebes verfälschen.

Kraftkaskade

Wie schon beim Stromregelkreis wurde auch beim Kraftregelkreis ein PI Regler verwendet. Das Ist-Signal der Kraft wird von einem Kraftsensor, welcher auch die vibroakustischen Merkmale des Spindeltriebes misst, ab-

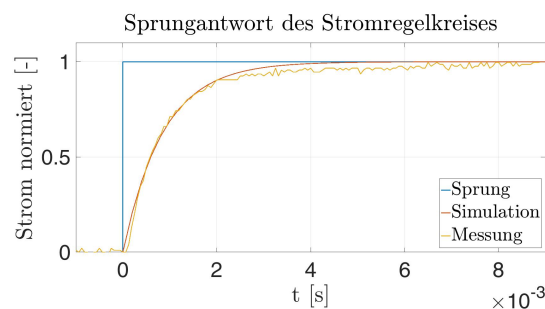


Abbildung 6: Sprungantwort des Stromregelkreises für Messung und Simulation

genommen. Oftmals liegt das Ziel einer Regelung in einer geringen Anregelzeit und schnellen Dynamik. Der zu vermessende Spindeltrieb erzeugt Schwingungen, was einer Störungen des Regelkreises entspricht. Diese Störungen versucht der Regler zu minimieren. Somit regelt ein zu schneller Regler die eigentlich zu messenden Merkmale des Spindeltriebes weg. Aus diesem Grund wurden die Parameter des Reglers so ausgelegt, dass der Regler das vibroakustische Merkmal des Spindeltriebes mit der geringsten Frequenz nicht mehr weg-regelt. Da $T_S \ll T_F$ und der Stromregelkreis stationär genau ist kann für die Auslegung des Kraftregelkreises näherungsweise die Übertragungsfunktion des Stromregelkreises $G_S = 1$ gesetzt werden [2], wodurch sich die Kraftregelung vereinfacht (siehe Abbildung: 7). Um die

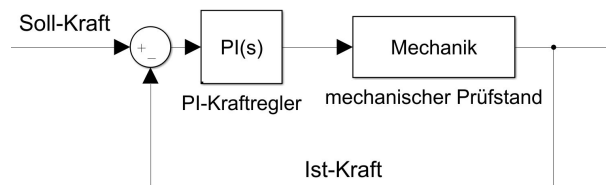


Abbildung 7: Kraftregelkreis als äußere Kaskade der Regelung

Parameter des Reglers in einer Simulation zu bestimmen, wurde die Simulation mit einer Messung am Prüfstand verifiziert (siehe Abbildung 8).

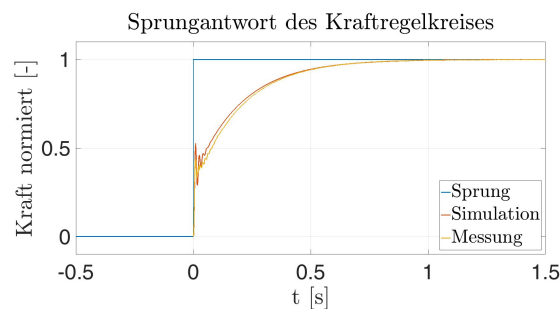


Abbildung 8: Sprungantwort des Kraftregelkreises für Messung und Simulation

Wirksamkeitsnachweis Regelung

In Abbildung 9 ist das Zeitsignal einer Messung eines Spindeltriebs zu sehen. Die Endanschläge des Spindeltriebs werden nicht mitgemessen und sind grau eingefärbt. Als Kraftregelung wird die verwendete Kaska-

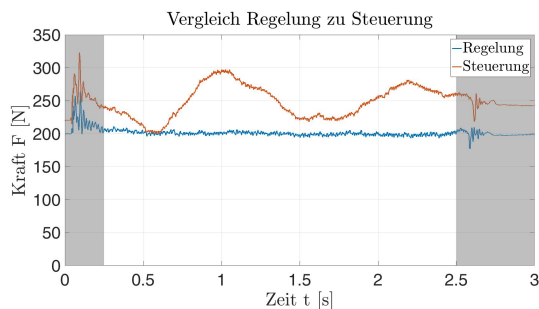


Abbildung 9: Vergleich von Kraftregelung zu Kraftsteuerung, Sollwert 200 N, Messbereich (weiß)

denregelung bezeichnet, wobei die Kraftsteuerung ausschließlich eine Stromregelung verwendet und die Kraft über den direkt proportionalen Strom steuert. Durch Störungen wie etwa Reibung der Linearführungen oder Krafttrippel des Linearmotors entsteht eine nicht konstante Last am Spindeltrieb im Vergleich zum kraftgeregelten Linearmotor.

Tabelle 1: Vergleich Regelung zu Steuerung

	Soll-Kraft 200 N		
	Mittelwert [N]	rel. Fehler [%]	Peak to Peak [N]
Regelung	201	0,5	18
Steuerung	248	24	97

Durch die Regelung der Betriebskraft F kann die Belastung des Spindeltriebs nahezu konstant im Vergleich zur Steuerung gehalten werden (siehe Tabelle 1, rel. Fehler). Durch die konstante Last bleibt auch die Drehzahl des Spindeltriebs nahezu konstant und eine akustische Beurteilung kann subjektiv und objektiv durch die nun messbaren dynamischen Kräfte des Spindeltriebs erfolgen. Durch die schwankende Last der Steuerung entsteht eine tieffrequente Modulation des Spindeltriebs wodurch eine subjektive Beurteilung nicht mehr möglich ist.

Fazit

Es wurde ein vom Gesamtfahrzeug unabhängiger Akustikprüfstand zur vibroakustischen Merkmalsidentifikation von Spindeltrieben ausgelegt, konstruiert und gefertigt. Hierbei wurde zur Beurteilung der in die Anbindungsstruktur eingeleiteten Körperschalleistung das Prinzip Blocked Force angestrebt. Die Minimierung der dynamischen Rückwirkung des Prüfstandes wurde bei der Konstruktion berücksichtigt. Durch die Regelung des elektromechanischen Aktuators können dynamische Lasten aufgebracht werden. Desweiteren wurden die Reg-

lerparameter bezüglich einer akustischen Merkmalsidentifikation angepasst.

Anerkennung

Die Autoren bedanken sich für den kreativen Austausch mit Herrn Otto Brass und Mark Unverhau. Einen speziellen Dank an Herrn Marcus Schulz und Gerd Knöpfel für die Unterstützung im gesamten Projekt. Ein weiterer Dank gilt Herrn Simon Hecker und Dominik Schubert für den Support bei regelungstechnischen Fragen.

Literatur

- [1] Henneberger, R. et al., Blocked Force Prüfstand für mobile Anbindungen akustische Betrachtung, DAGA 2017 Kiel
- [2] Lunze, J.: Regelungstechnik I. Springer Vieweg Verlag, Berlin, 2014