



Fabian Hausberg (Autor)  
**Adaptive und kennfeldbasierte Steuerung aktiver Motorlager**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8854>

Copyright:  
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| Abkürzungen, Operatoren und Formelzeichen                                      | IX        |
| <b>1 Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 Stand der Technik  | 3         |
| 1.1.1 Systemkonfigurationen  | 4         |
| 1.1.2 Verfahren zur Steuerung bzw. Regelung aktiver Motorlager                 | 6         |
| 1.2 Zusammenfassung und Zielsetzung  | 11        |
| <b>2 Grundlagen FIR-basierter adaptiver Filter</b>                             | <b>15</b> |
| 2.1 Konvergenz im Mittel und normierter LMS-Algorithmus                        | 15        |
| 2.2 Adaptives Kerbfilter   | 17        |
| 2.3 FxLMS-Algorithmus  | 20        |
| 2.3.1 Komplexer schmalbandiger FxLMS-Algorithmus                               | 22        |
| 2.3.2 Erweiterung auf Mehrgrößensysteme  | 25        |
| <b>3 Versuchsumgebung zur experimentellen Analyse</b>                          | <b>31</b> |
| 3.1 Aktives Motorlager   | 31        |
| 3.2 Versuchsfahrzeug   | 32        |
| 3.2.1 Zylinderabschaltung  | 33        |
| 3.2.2 Signalverarbeitung und Echtzeitumgebung                                  | 34        |
| 3.2.3 Sekundärstreckenidentifikation   | 36        |
| 3.3 Prüfstände   | 36        |
| 3.3.1 Hydropulsprüfmaschine  | 36        |
| 3.3.2 Prüfstand zur Vermessung des aktiven Übertragungsverhaltens              | 38        |
| <b>4 Verknüpfung adaptiver und kennfeldbasierter Steuerungen</b>               | <b>39</b> |
| 4.1 Zusammenhang zwischen Filtergewichten und verbrennungsmotorischer Anregung | 39        |
| 4.2 Integration adaptiver Kennfelder in adaptive Steuerungen                   | 42        |
| 4.2.1 Steuerungsstrukturen   | 42        |
| 4.2.2 Rasterkennfelder und deren Online-Adaption                               | 44        |
| 4.2.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Kennfeldadaption                          | 46        |
| 4.2.4 Wahl der Schrittweiten   | 48        |
| 4.2.5 Simulation   | 50        |
| 4.2.6 Fahrversuch  | 51        |
| 4.3 Nutzung adaptiver Filter zur Bedatung kennfeldbasierter Steuerungen        | 55        |
| 4.4 Zusammenfassung  | 58        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>5</b> | <b>Analyse des Motorlagerübertragungsverhaltens</b>                                    | <b>59</b>  |
| 5.1      | Modellbildung . . . . .  | 59         |
| 5.1.1    | Elastomermodell . . . . .  | 60         |
| 5.1.2    | Motorlagermodell . . . . .   | 61         |
| 5.1.3    | Charakteristische Pol- und Nullstellen . . . . .                                       | 64         |
| 5.2      | Experimentelle Validierung . . . . .   | 66         |
| 5.3      | Variation des Übertragungsverhaltens bei äußeren Einflüssen . . . . .                  | 68         |
| 5.3.1    | Nichtlinearität . . . . .  | 69         |
| 5.3.2    | Lagervorlast . . . . .   | 71         |
| 5.3.3    | Temperatur . . . . .   | 73         |
| 5.3.4    | Alterung . . . . .   | 74         |
| 5.3.5    | Serienstreuung . . . . .   | 76         |
| 5.4      | Zusammenfassung . . . . .  | 77         |
| <b>6</b> | <b>Maßnahmen zur Stabilisierung der adaptiven Steuerung</b>                            | <b>79</b>  |
| 6.1      | Stabilitätsbetrachtung . . . . .   | 79         |
| 6.2      | Robuster Systementwurf . . . . .   | 82         |
| 6.2.1    | Wahl eines frequenzabhängigen <i>Leakage</i> -Faktors . . . . .                        | 83         |
| 6.2.2    | Einfluss des <i>Leakage</i> -Faktors auf die erzielbare Schwingungsreduktion . . . . . | 84         |
| 6.3      | Onlineidentifikation eines Teilfrequenzbandes . . . . .                                | 86         |
| 6.3.1    | Strukturen zur Onlineidentifikation eines Teilfrequenzbandes . . . . .                 | 87         |
| 6.3.2    | Identifikationssignal . . . . .  | 90         |
| 6.3.3    | Wahl der Identifikationsschrittweite und -amplitude . . . . .                          | 92         |
| 6.3.4    | Fahrversuch . . . . .  | 94         |
| 6.4      | Zusammenfassung . . . . .  | 97         |
| <b>7</b> | <b>Experimenteller Vergleich adaptiver und kennfeldbasierter Steuerungen</b>           | <b>99</b>  |
| 7.1      | Versuchsmethodik . . . . .   | 100        |
| 7.2      | Versuchsergebnisse . . . . .   | 101        |
| 7.2.1    | Schwingungsreduktion am Referenzfahrzeug . . . . .                                     | 101        |
| 7.2.2    | Schwingungsreduktion im Fahrzeugkollektiv . . . . .                                    | 102        |
| 7.3      | Zusammenfassung . . . . .  | 105        |
| <b>8</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>  | <b>107</b> |
|          | Literaturverzeichnis   | 109        |
|          | Anhang   | 125        |
|          | Lebenslauf   | 141        |