

# Inhalt

|   |            |
|---|------------|
| <b>Formelzeichen .....</b>  | <b>VII</b> |
| <b>1 Einführung .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2 Stand des Wissens .....</b>  | <b>4</b>   |
| <b>3 Aufgabenstellung und Zielsetzung.....</b>                            | <b>16</b>  |
| <b>4 Nichtlineare Getriebeeigenschaften.....</b>                          | <b>19</b>  |
| 4.1 Allgemeines .....   | 19         |
| 4.2 Getriebehysterese .....   | 22         |
| 4.2.1 Hysterese bei antriebs- und abtriebsseitiger Belastung .....        | 23         |
| 4.2.2 Einfluß der Belastungsamplitude auf die<br>HystereseKennwerte ..... | 24         |
| 4.2.3 Getriebehysterese und der Wirkungsgrad.....                         | 26         |
| 4.2.4 Getriebesteifigkeit.....  | 28         |
| 4.2.5 Verdrehspiel.....   | 30         |
| 4.3 Kinematischer Übertragungsfehler .....                                | 33         |
| 4.4 Umkehrspanne .....  | 43         |
| 4.5 Drehwinkelabhängige Parameterschwankungen .....                       | 48         |
| 4.5.1 Schwankungen der Getriebesteifigkeit .....                          | 48         |
| 4.5.2 Schwankungen des Verdrehspiels.....                                 | 53         |
| 4.5.3 Schwankungen des Hysterese-Wirkungsgrads .....                      | 53         |
| 4.6 Übertragungsfehler unter Last.....                                    | 56         |
| <b>5 Statistische Steifigkeitsmodellierung .....</b>                      | <b>59</b>  |
| 5.1 Theoretisches Verzahnungsmodell .....                                 | 59         |
| 5.2 Statistische Beschreibung der Fertigungsabweichungen.....             | 61         |
| 5.3 Wahrscheinlichkeit eines Zahnkontakts.....                            | 65         |
| 5.4 Nichtlineare Getriebesteifigkeit .....                                | 67         |
| 5.5 Nichtlineare Nachgiebigkeitskennlinie .....                           | 70         |
| 5.6 Einfluß weiterer Strukturnachgiebigkeiten.....                        | 73         |
| 5.7 Experimentelle Verifikation.....                                      | 75         |
| <b>6 Identifikation der Steifigkeitsparameter.....</b>                    | <b>77</b>  |
| 6.1 Nichtlineare Parameteridentifikation .....                            | 77         |
| 6.1.1 Mittelung der Hysteresekurven .....                                 | 79         |
| 6.1.2 Meßwertsiebung .....  | 81         |

---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 6.1.3     | Normierung der Meßwerte .....                              | 81         |
| 6.1.4     | Gradientenverfahren.....                                   | 82         |
| 6.1.5     | Nichtlineare Regression .....                              | 85         |
| 6.2       | Konvergenz der Parameterschätzung .....                    | 87         |
| 6.2.1     | Eigenschaften des quadratischen Gütekriteriums .....       | 88         |
| 6.2.2     | Unsicherheit der Parameteridentifikation.....              | 92         |
| 6.3       | Identifikation des Verdrehspiels .....                     | 101        |
| 6.4       | Hinweise zur praktischen Anwendung.....                    | 102        |
| <b>7</b>  | <b>Statistisches Hysteresemodell .....</b>                 | <b>103</b> |
| 7.1       | Hysteresemodell mit konstanter Verzahnungsreibung .....    | 103        |
| 7.1.1     | Reibungsbehaftetes Verzahnungsmodell .....                 | 103        |
| 7.1.2     | Momentensummutation über mehrere Federelemente .....       | 108        |
| 7.1.3     | Stetige Approximation der Reibungshysterese.....           | 109        |
| 7.2       | Hysteresemodell mit stochastischer Verzahnungsreibung..... | 112        |
| <b>8</b>  | <b>Getriebeprüfstand.....</b>                              | <b>116</b> |
| 8.1       | Prüfstandkonzept.....                                      | 116        |
| 8.2       | Meßgrößen und Meßaufnehmer.....                            | 118        |
| 8.3       | Meßsystemsteuerung .....                                   | 120        |
| 8.3.1     | Nachgiebigkeitsmessung .....                               | 121        |
| 8.3.2     | Drehwinkelabhängige Parameterschwankungen.....             | 122        |
| 8.3.3     | Gleichlaufmessung mit Oversampling .....                   | 122        |
| 8.3.4     | Gleichlauf unter Last.....                                 | 124        |
| 8.3.5     | Reibungskennlinie .....                                    | 124        |
| 8.4       | Lageregelung .....   | 124        |
| <b>9</b>  | <b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>                  | <b>125</b> |
| <b>10</b> | <b>Literatur .....</b>                                     | <b>127</b> |