

---

# Inhaltsverzeichnis

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Einführung und historische Entwicklung</b> | <b>1</b>  |
| 1.1 Klassifizierung                             | 1         |
| 1.2 Entwicklung von Zahnriemen                  | 3         |
| 1.2.1 Nähmaschine                               | 3         |
| 1.2.2 Profilformen                              | 4         |
| 1.3 Standard Trapezprofil                       | 6         |
| 1.4 T- und AT-Profil                            | 8         |
| 1.5 HTD-Profil                                  | 8         |
| 1.6 Hochleistungsprofile                        | 9         |
| 1.7 Rolle von Zahnriemen                        | 10        |
| 1.8 Einsatzmöglichkeiten von Zahnriemen         | 11        |
| 1.9 Vor- und Nachteile von Zahnriemengetrieben  | 16        |
| Literatur                                       | 17        |
| <b>2 Systematik von Zahnriemengetrieben</b>     | <b>19</b> |
| 2.1 Das System Zahnriemengetriebe: Aufbau       | 19        |
| 2.2 Zugstrang                                   | 21        |
| 2.2.1 Glasfaserzugträger                        | 22        |
| 2.2.2 Polyesterzugträger                        | 26        |
| 2.2.3 Stahlzugträger                            | 26        |
| 2.2.4 Aramidzugträger                           | 28        |
| 2.2.5 Carbonzugträger                           | 29        |
| 2.2.6 Hybridzugträger                           | 29        |
| 2.3 Gewebe                                      | 30        |
| 2.4 Elastomer                                   | 34        |
| 2.4.1 Kautschukmaterialien                      | 34        |
| 2.4.2 Polyurethan                               | 37        |

|          |                                                                                       |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.5      | Herstellung von Zahnriemen .....                                                      | 39         |
| 2.5.1    | Vulkanisationsverfahren .....                                                         | 39         |
| 2.5.2    | Gießverfahren .....                                                                   | 41         |
| 2.5.3    | Hybridverfahren .....                                                                 | 43         |
| 2.5.4    | Extrusionsverfahren .....                                                             | 45         |
| 2.5.5    | Konfektionieren .....                                                                 | 48         |
|          | Literatur .....                                                                       | 50         |
| <b>3</b> | <b>Berechnungsgrundlagen von Zahnriemengetrieben .....</b>                            | <b>51</b>  |
| 3.1      | Geometrische Beziehungen .....                                                        | 52         |
| 3.1.1    | Zahnriemenbreite .....                                                                | 54         |
| 3.1.2    | Riemenlänge .....                                                                     | 56         |
| 3.1.3    | Wirkkreisdurchmesser .....                                                            | 56         |
| 3.1.4    | Kopfkreisdurchmesser .....                                                            | 57         |
| 3.1.5    | PLD Wert .....                                                                        | 58         |
| 3.1.6    | Übersetzungsverhältnis .....                                                          | 60         |
| 3.1.7    | Achsabstand .....                                                                     | 60         |
| 3.1.8    | Lückenspiel .....                                                                     | 61         |
| 3.2      | Kräfte am Zahnriemen .....                                                            | 63         |
| 3.2.1    | Umfangskraft .....                                                                    | 63         |
| 3.2.2    | Vorspannkraft .....                                                                   | 65         |
| 3.2.3    | Fliehkraft .....                                                                      | 80         |
| 3.2.4    | Reibkraft .....                                                                       | 82         |
| 3.3      | Kraftwirkungsmechanismus .....                                                        | 82         |
| 3.3.1    | Zahntragfähigkeit .....                                                               | 83         |
| 3.3.2    | Biegespannungen .....                                                                 | 85         |
| 3.3.3    | Kraftverlauf .....                                                                    | 89         |
| 3.3.4    | Gefahren in der Praxis .....                                                          | 91         |
|          | Literatur .....                                                                       | 98         |
| <b>4</b> | <b>Lebensdauer- und Zuverlässigkeitsbetrachtung von<br/>Zahnriemengetrieben .....</b> | <b>101</b> |
| 4.1      | Grundlagen der Lebensdauer- und Zuverlässigkeitsbetrachtung .....                     | 102        |
| 4.1.1    | Was ist Streuung und warum streuen Messwerte? .....                                   | 102        |
| 4.1.2    | Begriffe .....                                                                        | 103        |
| 4.1.3    | Statistische Maßzahlen und Kenngrößen der<br>Zuverlässigkeitstechnik .....            | 108        |
| 4.1.4    | Wichtigste Lebensdauerverteilungen und deren Charakteristika ....                     | 112        |
| 4.1.5    | Parameterbestimmung .....                                                             | 116        |
| 4.1.6    | Konfidenzintervalle .....                                                             | 121        |
| 4.2      | Grundlagen der statistischen Versuchsplanung .....                                    | 130        |
| 4.2.1    | Ausgewählte Begriffe .....                                                            | 130        |
| 4.2.2    | Versuchspläne für lineare und nicht-lineare Zusammenhänge .....                       | 133        |

|          |                                                                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.3    | Die Erfolgskriterien der statistischen Versuchsplanung.....                                         | 138        |
| 4.2.4    | Mathematische Grundlagen .....                                                                      | 141        |
| 4.3      | Zahnriemenantrieb als Black-Box.....                                                                | 152        |
| 4.4      | Ausfallmechanismen von Zahnriemen .....                                                             | 154        |
| 4.4.1    | Zahnabscherung.....                                                                                 | 155        |
| 4.4.2    | Zugstrangriss.....                                                                                  | 155        |
| 4.4.3    | Zahnflankenverschleiß.....                                                                          | 155        |
| 4.4.4    | Polymerversprödung.....                                                                             | 156        |
| 4.5      | Einflussfaktoren auf das Ausfallverhalten .....                                                     | 156        |
| 4.5.1    | Methodische Unterstützung zur Ermittlung von potentiellen lebensdauerbeeinflussenden Faktoren ..... | 157        |
| 4.5.2    | Einfluss der Umgebungstemperatur.....                                                               | 163        |
| 4.5.3    | Einfluss der Zahnriemenalterung.....                                                                | 167        |
| 4.5.4    | Einfluss von Fertigungsparametern .....                                                             | 168        |
| 4.6      | Lebensdauermodellierung von Zahnriemengetrieben .....                                               | 169        |
| 4.6.1    | Modell nach Childs .....                                                                            | 170        |
| 4.6.2    | Modell nach Campean.....                                                                            | 171        |
| 4.6.3    | Physics-of-Failure-Modelle .....                                                                    | 173        |
| 4.6.4    | Systemtheorie nach Boole.....                                                                       | 174        |
| 4.6.5    | Degradationsmodelle .....                                                                           | 176        |
| 4.6.6    | Box-Cox-Lebensdauermodell .....                                                                     | 182        |
| 4.6.7    | Verallgemeinertes logarithmisch-lineares Modell.....                                                | 185        |
| 4.6.8    | Fallbeispiele .....                                                                                 | 188        |
| 4.7      | Methodik zur anwendungsorientierten Auslegung von Zahnriemengetrieben.....                          | 190        |
|          | Literatur.....                                                                                      | 195        |
| <b>5</b> | <b>Testen von Zahnriemen .....</b>                                                                  | <b>199</b> |
| 5.1      | Lebensdauererprobung von Zahnriemengetrieben .....                                                  | 199        |
| 5.1.1    | Dauerlauftests .....                                                                                | 200        |
| 5.1.2    | Statistische Versuchsplanung in der Lebensdauererprobung .....                                      | 201        |
| 5.1.3    | Möglichkeiten zur Reduktion des Testaufwandes .....                                                 | 208        |
| 5.2      | Leitlinie zur Konzeption von Lebensdauertests .....                                                 | 226        |
|          | Literatur.....                                                                                      | 230        |
| <b>6</b> | <b>Praktische Optimierung von Zahnriemenantrieben .....</b>                                         | <b>233</b> |
| 6.1      | Positioniergenauigkeit .....                                                                        | 233        |
| 6.2      | Korrektur für Schwerlast-Hubantriebe .....                                                          | 234        |
| 6.3      | Geräuscentwicklung .....                                                                            | 235        |
| 6.4      | Bordscheibenanordnung .....                                                                         | 239        |
| 6.5      | Optimierung Füllerantrieb .....                                                                     | 241        |
|          | Literatur.....                                                                                      | 244        |

---

|          |                                                                               |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>7</b> | <b>Auslegung von Zahnriemenantrieben in der Praxis .....</b>                  | <b>245</b> |
| 7.1      | Stand der Technik .....                                                       | 245        |
| 7.2      | Softwareunterstützung .....                                                   | 248        |
| 7.2.1    | Derzeitige Lösungen auf dem Markt.....                                        | 248        |
| 7.2.2    | L.E.A.N. – Drive: Die Software zur Auslegung von<br>Zahnriemengetrieben ..... | 249        |
| 7.2.3    | L.E.A.N. – Drive: Praxisbeispiel .....                                        | 250        |
|          | Literatur.....                                                                | 251        |
|          | <b>Stichwortverzeichnis .....</b>                                             | <b>253</b> |