

---

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b> .....                          | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Verbrennungsmotoren</b> .....                 | <b>5</b>  |
| 2.1      | Gemischbildung und Verbrennung .....             | 6         |
| 2.1.1    | Luftsystem .....                                 | 9         |
| 2.1.2    | Kraftstoffsystem .....                           | 15        |
| 2.2      | Thermodynamik .....                              | 21        |
| 2.3      | Kurbeltrieb .....                                | 24        |
| 2.3.1    | Gas- und Massenkräfte .....                      | 25        |
| 2.3.2    | Drehung der Kurbelwelle .....                    | 28        |
| 2.3.3    | Einzelkomponenten des Kurbeltriebs .....         | 29        |
| 2.4      | Abgasnachbehandlung .....                        | 30        |
| 2.5      | Kühlung .....                                    | 30        |
| 2.6      | Schmierung .....                                 | 31        |
| 2.7      | Motorelektrik .....                              | 32        |
| 2.8      | Forschungsmotoren .....                          | 33        |
| <b>3</b> | <b>Aufbau von Motorenprüfständen</b> .....       | <b>35</b> |
| 3.1      | Medienversorgung .....                           | 36        |
| 3.1.1    | Kraftstoffversorgung .....                       | 37        |
| 3.1.2    | Kühlmittelkonditionierung .....                  | 43        |
| 3.1.3    | Schmiermittelkonditionierung .....               | 44        |
| 3.1.4    | Verbrennungsluftkonditionierung .....            | 44        |
| 3.1.5    | Schnellkupplungen .....                          | 45        |
| 3.2      | Motorenprüfstände für besondere Aufgaben .....   | 45        |
| 3.2.1    | Schwenkprüfstände .....                          | 45        |
| 3.2.2    | Klimaprüfstände .....                            | 45        |
| 3.2.3    | NVH-Prüfstände .....                             | 46        |
| 3.2.4    | EMV-Prüfstände .....                             | 50        |
| 3.2.5    | Prüfstände für Hybrid- und Elektroantriebe ..... | 51        |
| 3.2.6    | Produktionsprüfstände .....                      | 52        |

|          |                                                       |            |
|----------|-------------------------------------------------------|------------|
| <b>4</b> | <b>Fahrzeug- und Komponentenprüfstände</b>            | <b>55</b>  |
| 4.1      | Antriebsstrangprüfstände                              | 55         |
| 4.2      | Fahrzeug-Rollenprüfstände                             | 57         |
| 4.3      | Teststrecken und Messungen im Straßenverkehr          | 59         |
| 4.4      | Komponentenprüfstände                                 | 60         |
| 4.4.1    | Durchflussprüfstände                                  | 60         |
| 4.4.2    | Turboladerprüfstände                                  | 61         |
| 4.4.3    | Einspritzprüfstände                                   | 64         |
| 4.4.4    | Pumpenprüfstände                                      | 64         |
| 4.4.5    | Nockenwellenprüfstände                                | 65         |
| 4.4.6    | Lagerprüfstände                                       | 66         |
| 4.4.7    | Riemenprüfstände                                      | 66         |
| 4.4.8    | Prüfstände für Abgaskomponenten                       | 67         |
| 4.4.9    | Steuergeräteprüfstände                                | 69         |
| 4.5      | Prüfstände für Betriebsstoffe                         | 70         |
| 4.5.1    | Untersuchungen an Kraftstoffen                        | 70         |
| 4.5.2    | Untersuchungen an Schmierölen                         | 71         |
| 4.5.3    | Untersuchungen an Kühlmitteln                         | 73         |
| <b>5</b> | <b>Prüfstandsmechanik</b>                             | <b>75</b>  |
| 5.1      | Schwingungen am Prüfstand                             | 76         |
| 5.1.1    | Lagerung der Grundplatte                              | 77         |
| 5.1.2    | Lagerung des Motors                                   | 80         |
| 5.2      | Grundplatte                                           | 82         |
| 5.3      | Austausch des Prüflings                               | 82         |
| 5.4      | Welle                                                 | 84         |
| 5.4.1    | Drehschwingungen der Welle                            | 86         |
| 5.4.2    | Biegeschwingungen der Welle                           | 98         |
| 5.4.3    | Wellenschutz                                          | 98         |
| 5.5      | Lagerung der Belastungsmaschine                       | 99         |
| 5.6      | Getriebe                                              | 100        |
| 5.7      | Motorkupplung                                         | 100        |
| <b>6</b> | <b>Belastungsmaschinen</b>                            | <b>103</b> |
| 6.1      | Hydraulische Bremsen                                  | 108        |
| 6.1.1    | Prinzip                                               | 108        |
| 6.1.2    | Technische Realisierung und Anwendung                 | 110        |
| 6.2      | Wirbelstrombremsen                                    | 114        |
| 6.2.1    | Prinzip: Wirbelströme in rotierender Scheibe          | 114        |
| 6.2.2    | Prinzip: Wirbelströme durch veränderliches Magnetfeld | 115        |
| 6.2.3    | Technische Realisierung und Anwendung                 | 117        |

|          |                                                                       |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.3      | Elektrische Belastungsmaschinen .....                                 | 120        |
| 6.3.1    | Gleichstrommaschinen .....                                            | 121        |
| 6.3.2    | Wechselstrommaschinen .....                                           | 124        |
| 6.3.3    | Drehstrommaschinen .....                                              | 124        |
| 6.3.4    | Fehler und Diagnose .....                                             | 131        |
| 6.4      | Hysteresebremsen .....                                                | 133        |
| 6.5      | Tandembremsen .....                                                   | 134        |
| 6.6      | Starten des Motors .....                                              | 134        |
| <b>7</b> | <b>Messtechnik .....</b>                                              | <b>135</b> |
| 7.1      | Durchflussmessung .....                                               | 136        |
| 7.1.1    | Kraftstoffverbrauch .....                                             | 137        |
| 7.1.2    | Luftverbrauch .....                                                   | 141        |
| 7.1.3    | Abgasmenge .....                                                      | 148        |
| 7.1.4    | Leckgas (Blow-By-Gas) .....                                           | 148        |
| 7.2      | Messung von Drehzahl und Kurbelwellenwinkel .....                     | 151        |
| 7.2.1    | Absolutwinkelgeber .....                                              | 153        |
| 7.2.2    | Inkrementalwinkelgeber .....                                          | 156        |
| 7.2.3    | Resolver .....                                                        | 157        |
| 7.2.4    | Tachogeneratoren .....                                                | 159        |
| 7.2.5    | Motorelektrik .....                                                   | 159        |
| 7.2.6    | Drehzahl des Turboladers .....                                        | 161        |
| 7.2.7    | Detektion des oberen Totpunktes .....                                 | 161        |
| 7.2.8    | Messung von Drehschwingungen .....                                    | 161        |
| 7.3      | Kraftmessung .....                                                    | 162        |
| 7.3.1    | Piezoelektrische Sensoren .....                                       | 162        |
| 7.3.2    | Kraftmessung durch Dehnungsmessung .....                              | 162        |
| 7.3.3    | Wägezellen .....                                                      | 168        |
| 7.4      | Drehmomentaufnehmer (Georg Wegener) .....                             | 169        |
| 7.4.1    | Grundlegende Klassifizierung der Messprinzipien .....                 | 169        |
| 7.4.2    | Dehnungsmessstreifen als Messprinzip für<br>Drehmomentaufnehmer ..... | 175        |
| 7.4.3    | Übertragung von Versorgung und Messsignal .....                       | 180        |
| 7.4.4    | Messgenauigkeit und konstruktive Einflussfaktoren .....               | 183        |
| 7.4.5    | Bauformen, Montage und Anschluss .....                                | 190        |
| 7.4.6    | Kalibrierung von Drehmomentaufnehmern .....                           | 193        |
| 7.5      | Leistung und Arbeit .....                                             | 201        |
| 7.6      | Akustische Messtechnik .....                                          | 202        |
| 7.6.1    | Messung von Luftschall .....                                          | 202        |
| 7.6.2    | Messung von Körperschall .....                                        | 204        |
| 7.7      | EMV-Messtechnik .....                                                 | 205        |
| 7.7.1    | Messung leitungsgeführter Störungen .....                             | 206        |

|        |                                                                                               |            |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.7.2  | Messung gestrahlter Störungen .....                                                           | 207        |
| 7.8    | Abgasmesstechnik .....                                                                        | 209        |
| 7.8.1  | Zyklen und rechtlicher Rahmen .....                                                           | 212        |
| 7.8.2  | Abgasbestandteile .....                                                                       | 217        |
| 7.8.3  | Messverfahren .....                                                                           | 223        |
| 7.8.4  | Probenahme .....                                                                              | 245        |
| 7.8.5  | Kalibrierung .....                                                                            | 247        |
| 7.8.6  | Realisierung von Messeinrichtungen .....                                                      | 248        |
| 7.9    | Messung thermodynamischer Zustandsgrößen .....                                                | 252        |
| 7.9.1  | Temperaturmessung .....                                                                       | 252        |
| 7.9.2  | Druckmessung .....                                                                            | 257        |
| 7.9.3  | Wetterstation .....                                                                           | 259        |
| 7.10   | Innermotorische Analytik .....                                                                | 260        |
| 7.10.1 | Physikalische Effekte .....                                                                   | 261        |
| 7.10.2 | Verfahren .....                                                                               | 267        |
| 8      | <b>Steuerung, Regelung und Automatisierung .....</b>                                          | <b>275</b> |
| 8.1    | Prüfstandregler und Betriebsmodi .....                                                        | 275        |
| 8.1.1  | Aufbau und Bedienung des Reglers .....                                                        | 276        |
| 8.1.2  | Betriebsmodi des Prüfstandes .....                                                            | 277        |
| 8.2    | Automatisierung der Gebäudetechnik .....                                                      | 284        |
| 8.3    | Automatisierung des Prüfstandes .....                                                         | 285        |
| 8.3.1  | Statistische Versuchsplanung (DoE) .....                                                      | 286        |
| 8.4    | Interne Vernetzung des Prüfstandes .....                                                      | 288        |
| 8.4.1  | AK-Protokoll .....                                                                            | 288        |
| 8.4.2  | Profibus .....                                                                                | 289        |
| 8.4.3  | CAN-Bus .....                                                                                 | 289        |
| 8.4.4  | Ethernet-basierte Kommunikation .....                                                         | 290        |
| 8.5    | Externe Anbindung des Prüfstandes .....                                                       | 291        |
| 9      | <b>Technische Gebäudeausrüstung, Projektierung, Bau<br/>und Betrieb des Prüfstandes .....</b> | <b>293</b> |
| 9.1    | Hochbau .....                                                                                 | 293        |
| 9.1.1  | Prüfstandsraum .....                                                                          | 295        |
| 9.1.2  | Warte .....                                                                                   | 296        |
| 9.1.3  | Technikräume .....                                                                            | 296        |
| 9.1.4  | Vorbereitungsraum .....                                                                       | 296        |
| 9.2    | Elektroinstallation .....                                                                     | 297        |
| 9.3    | Wasserversorgung und Kühlung .....                                                            | 297        |
| 9.4    | Druckluftversorgung .....                                                                     | 298        |
| 9.5    | Luftaustausch .....                                                                           | 299        |

|           |                                                       |            |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------|
| 9.6       | Abgas . . . . .                                       | 301        |
| 9.7       | Gaslager . . . . .                                    | 302        |
| 9.8       | Brand- und Explosionsschutz . . . . .                 | 303        |
| 9.8.1     | Baulicher Brand- und Explosionsschutz . . . . .       | 304        |
| 9.8.2     | Brandmelde- und Löschanlage . . . . .                 | 304        |
| 9.8.3     | Gaswarnanlage . . . . .                               | 306        |
| 9.9       | Projektierung eines Prüfstandes, Checkliste . . . . . | 307        |
| <b>10</b> | <b>Sicherheit und Umwelt . . . . .</b>                | <b>313</b> |
| 10.1      | Rechtsgrundlagen. . . . .                             | 314        |
| 10.1.1    | Rechtsgrundlagen der Arbeitssicherheit. . . . .       | 314        |
| 10.1.2    | Immissionsrecht . . . . .                             | 315        |
| 10.1.3    | Wasser- und Bodenrecht . . . . .                      | 318        |
| 10.1.4    | Baurecht . . . . .                                    | 318        |
| 10.2      | Wie ermittelt man Gefährdungen? . . . . .             | 319        |
| 10.3      | Gefährdungen durch rotierende Teile . . . . .         | 320        |
| 10.4      | Gefährdungen durch elektrische Einrichtungen. . . . . | 322        |
| 10.5      | Gefährdungen durch brennbare Flüssigkeiten . . . . .  | 323        |
| 10.6      | Gefährdungen durch Gase . . . . .                     | 323        |
| 10.6.1    | Wasserstoff ( $H_2$ ). . . . .                        | 323        |
| 10.6.2    | Stickstoff ( $N_2$ ) . . . . .                        | 324        |
| 10.6.3    | Luft. . . . .                                         | 324        |
| 10.6.4    | Sauerstoff ( $O_2$ ). . . . .                         | 324        |
| 10.6.5    | Kohlenmonoxid (CO). . . . .                           | 325        |
| 10.6.6    | Kohlendioxid ( $CO_2$ ). . . . .                      | 325        |
| 10.6.7    | Stickstoffmonoxid (NO). . . . .                       | 325        |
| 10.6.8    | Propan ( $C_3H_8$ ) . . . . .                         | 326        |
| 10.6.9    | Ammoniak ( $NH_3$ ). . . . .                          | 326        |
| 10.6.10   | Erdgas. . . . .                                       | 327        |
| 10.7      | Schutz vor Lärm und Vibrationen im Prüfstand. . . . . | 327        |
| 10.8      | Umweltgefährdung . . . . .                            | 328        |
| 10.9      | Umweltbelästigung . . . . .                           | 329        |
| 10.9.1    | Lärm. . . . .                                         | 329        |
| 10.9.2    | Abgas . . . . .                                       | 331        |
| 10.10     | Abschaltung . . . . .                                 | 332        |
|           | <b>Literatur. . . . .</b>                             | <b>333</b> |
|           | <b>Stichwortverzeichnis. . . . .</b>                  | <b>359</b> |