

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
Weitere Autoren .....	VII
Formelzeichen und Abkürzungen .....	XV
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Treiber in der Fahrzeugentwicklung .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Anforderungen an Mess- und Prüftechnik .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1 Entwicklungsmethodik in der Antriebsstrangentwicklung .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Einfluss der Entwicklungsmethodik .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.3 Vernetzte Entwicklungsumgebungen .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Aufbau des Buchs .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Prüfstandstypen .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Verbrennungsmotorenprüfstände .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.1 Anwendungsgebiete .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.2 Aufbau eines Prüfstandes für Verbrennungsmotoren .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.3 Stationäre Motorenprüfstände .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.4 Instationäre Motorenprüfstände .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.5 Forschungsprüfstände .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.6 Sondermotorenprüfstände .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Komponentenprüfstände .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1 Prüfstände für Verbrennungsmotorzusatzkomponenten .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.2 Prüfstände für Heißgaskomponenten .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.3 Prüfstände für Getriebekomponenten .....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.4 Startermotorenprüfstand .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.5 Elektromotorenprüfstand .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.6 Inverterprüfstand .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.7 Batterieprüfstand .....</b>	<b>49</b>
<b>2.2.8 Brennstoffzellenprüfstand .....</b>	<b>51</b>
<b>2.3 Steuergeräte-Prüfstände (HiL) .....</b>	<b>53</b>
<b>2.3.1 Einführung .....</b>	<b>53</b>
<b>2.3.2 Aufbau .....</b>	<b>54</b>

2.3.3	Steuergeräte-Komponententest .....	57
2.3.4	Steuergeräte-Verbundtest .....	61
2.3.5	Testautomatisierung .....	62
2.3.6	Modellbasierte Kalibrierung .....	62
2.4	Antriebsstrangprüfstände .....	64
2.4.1	Antriebsstrangprüfstände mit Verbrennungsmotor .....	64
2.4.2	Antriebsstrangprüfstände mit Prime Mover als Eintrieb .....	68
2.4.3	Hybridantriebsstrangprüfstände .....	74
2.5	Fahrzeugprüfstände .....	74
2.5.1	Rollenprüfstände für Emissionsentwicklung und -zertifizierung .....	77
2.5.2	Rollenprüfstände für Verbrauchs- und Leistungsmessungen .....	79
2.5.3	Rollenprüfstände für Dauerlauf und Dauerfestigkeit .....	82
2.5.4	Rollenprüfstände für NVH-Analysen .....	84
2.5.5	Rollenprüfstände für EMV-Analyse .....	86
2.5.6	Rollenprüfstände für erweiterte Applikationen .....	87
2.6	Rennsportprüfstände .....	89
2.6.1	Motorenprüfstände im Rennsport .....	90
2.6.2	Komponentenprüfstände im Rennsport .....	92
2.7	Abgasprüfstände .....	94
2.7.1	Übersicht Abgasprüfstände .....	94
2.7.2	Abgasprüfung für PKW am Rollenprüfstand .....	96
2.7.3	Abgasprüfung für Nutzfahrzeuge .....	105
2.7.4	Abgasprüfung für Non-Road Motoren .....	107
3	<b>Hardwaresicht</b> .....	109
3.1	Prüfstandsmechanik .....	111
3.1.1	Schwingfundament .....	113
3.1.2	Prüflingsaufspann- und Palettensysteme .....	116
3.1.3	Wellenverbindungen und Berührungsschutz .....	120
3.1.4	Wellenauslegung .....	122
3.2	Aktuatoren .....	124
3.2.1	Mechanische Belastungseinheiten .....	125
3.2.2	Weitere mechanische Belastungseinheiten .....	139
3.2.3	Elektrische Belastungseinheiten .....	141
3.2.4	Klimatische Belastungseinheiten .....	144
3.3	Messtechnik .....	154
3.3.1	Temperaturmessung .....	154
3.3.2	Messung elektrischer Größen .....	156
3.3.3	Dehnungsmessung .....	157
3.3.4	Kraft- und Druckmessung .....	157

3.3.5	Beschleunigungsmessung .....	159
3.3.6	Drehmomentenmessung .....	160
3.3.7	Drehzahlmessung .....	166
3.3.8	Kraftstoffmessung .....	168
3.3.9	Luftmengenmessung .....	174
3.3.10	Ölverbrauchsmessung .....	176
3.3.11	Zündwinkelmessung .....	178
3.3.12	Lambda sonden .....	179
3.3.13	Abgasmessung .....	180
3.3.14	Partikelmessung und Abgastrübung .....	204
3.3.15	Drall und Tumble .....	216
3.3.16	Indiziermesstechnik .....	238
3.3.17	Brennstoffzellenmesstechnik .....	238
3.4	Messfehler und Genauigkeit .....	246
3.4.1	Messkette .....	246
3.4.2	Einfluss des Sensoreinbauortes .....	247
3.4.3	Messunsicherheiten .....	248
3.4.4	Interpolationsfehler .....	248
3.4.5	Kalibrierung und Justierung .....	250
3.4.6	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) .....	250
3.5	Bussysteme .....	253
3.5.1	Übersicht .....	253
3.5.2	CAN .....	255
3.5.3	Profibus .....	259
3.5.4	Industrial Ethernet .....	262
3.5.5	Weitere Fahrzeugbusse .....	265
3.6	PC-Schnittstellen .....	266
3.6.1	RS232 .....	267
3.6.2	RS422 und RS485 .....	267
3.6.3	Ethernet, TCP/IP und UDP .....	268
3.6.4	USB .....	269
3.6.5	IEEE1394 .....	270
3.6.6	VXI, VISA, PXI .....	271
4	Softwaresicht – Prüfstand .....	273
4.1	Softwarestruktur und Schnittstellenstandards .....	273
4.1.1	Softwarestruktur .....	273
4.1.2	Schnittstellenstandards .....	275
4.2	Messdatenerfassung .....	282
4.2.1	Arten der Datenerfassung .....	282
4.2.2	Erfassungszeitpunkt .....	284

4.2.3	Synchronisierung .....	285
4.2.4	Modale Kriterien .....	286
4.2.5	Datenvorverarbeitung .....	287
4.3	Signalverarbeitung .....	288
4.3.1	Signalgeneratoren .....	288
4.3.2	Berechnung .....	289
4.3.3	Filterung .....	290
4.3.4	Grenzwertüberwachung .....	291
4.3.5	Allgemeine Regler .....	292
4.3.6	Bewertung und Plausibilität .....	298
4.4	Datenaufzeichnung .....	300
4.4.1	Stationärmessung .....	300
4.4.2	Kontinuierliche Aufzeichnung .....	301
4.4.3	Post-Mortem-Aufzeichnung .....	301
4.5	Prüfstandsregelung und Simulation .....	302
4.5.1	Regelung am Verbrennungsmotorprüfstand .....	302
4.5.2	Regler für Antriebsstrangprüfstände .....	309
4.5.3	Regelung am Rollenprüfstand .....	312
4.5.4	Einfache Fahrzeugsatzmodelle .....	314
4.5.5	Virtueller Fahrversuch .....	321
4.5.6	Virtuelle Fahrzeugintegration .....	331
4.5.7	Restbussimulation .....	335
4.6	Testautomatisierung .....	337
4.6.1	Prüfablauf .....	337
4.6.2	Prüfstandszustandssteuerung .....	340
4.6.3	Automatische Bedatung von Steuergeräten .....	340
4.7	Messdatenauswertung .....	350
4.7.1	Messdatenauswahl .....	350
4.7.2	Messdatendarstellung .....	353
4.7.3	Datensynchronisierung .....	357
4.7.4	Formeln und Berechnungen .....	360
4.7.5	Klassierungen .....	363
4.7.6	Effizienzsteigerung bei der Datenauswertung .....	365
4.8	Sicherheit .....	367
4.8.1	Gefährdungsanalyse und Risikobeurteilung .....	367
4.8.2	Gefährdungsanalyse an Prüfständen .....	368
4.8.3	Sicherheitsrelevante Systeme .....	370
4.8.4	Sicherheitsfunktionen .....	370
4.8.5	Sicherheitshardware .....	371
4.8.6	Aufbau der Sicherheitsfunktionen .....	372

Inhaltsverzeichnis	XIII
<b>5 Softwaresicht – Prüffeld .....</b>	<b>377</b>
<b>5.1 Einleitung Prüffeld .....</b>	<b>378</b>
<b>5.1.1 Einordnung .....</b>	<b>378</b>
<b>5.1.2 Herausforderungen .....</b>	<b>378</b>
<b>5.1.3 Prüffeldprozesse .....</b>	<b>379</b>
<b>5.2 Workflow Management .....</b>	<b>380</b>
<b>5.2.1 Aufgabenplanung im Prüffeld .....</b>	<b>380</b>
<b>5.2.2 Auslastungsoptimierung .....</b>	<b>382</b>
<b>5.2.3 Prüffeldzustandsüberwachung .....</b>	<b>384</b>
<b>5.3 Ressourcenmanagement .....</b>	<b>387</b>
<b>5.3.1 Anforderungen an die Prüfmittelverwaltung .....</b>	<b>387</b>
<b>5.3.2 Beispieldatenanwendung .....</b>	<b>388</b>
<b>5.3.3 Prüfmitteldaten .....</b>	<b>389</b>
<b>5.3.4 Wartung von Prüfmitteln .....</b>	<b>389</b>
<b>5.3.5 Sensorkalibrierdaten .....</b>	<b>389</b>
<b>5.4 Daten- und Informationsmanagement .....</b>	<b>391</b>
<b>5.4.1 Ergebnisdatenverwaltung .....</b>	<b>391</b>
<b>5.4.2 Applikationsdatenmanagement .....</b>	<b>394</b>
<b>5.4.3 Modellmanagement .....</b>	<b>397</b>
<b>5.4.4 Namensverwaltung im Prüffeld .....</b>	<b>398</b>
<b>5.4.5 Datenhaus .....</b>	<b>399</b>
<b>5.5 Datenmanagement in verteilten Prüffeldern .....</b>	<b>400</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>403</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>409</b>