

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kapitel, Beiträge und Mitarbeiter</b> .....	XXXI
<b>Firmen- und Hochschulverzeichnis</b> .....	XXXV
<b>Autorenverzeichnis</b> .....	XXXVII
<b>1 Einleitung</b> .....	1
Günter P. Merker	
1.1 Vorbemerkungen .....	1
1.2 Modellbildung und Simulation .....	3
1.3 Verbrennungsdiagnostik .....	6
1.4 Möglichkeiten und Grenzen von Simulationsverfahren .....	6
Literatur .....	8
<b>Teil I: Der Hubkolbenmotor</b>	
<b>2 Thermodynamische und chemische Grundlagen</b> .....	11
Günter P. Merker, Gerhard Haußmann, Peter Eckert, Sebastian Rakowski, Helmut Eichseder und Helmut Tschöke	
2.1 Energiewandlung .....	11
2.2 Kinematik des Kurbeltriebs .....	12
2.3 Kreisprozesse .....	17
2.3.1 Grundlagen .....	17
2.3.2 Geschlossene Kreisprozesse .....	22
2.3.3 Offene Vergleichsprozesse .....	29
2.4 Vom Ideal- zum Realprozess .....	31
2.4.1 Verlustteilung .....	31
2.4.2 Kenngrößen und Kennwerte .....	32
2.4.3 Motorprozesse .....	35
2.5 Festlegung der Hauptabmessungen .....	38
2.5.1 Auslegungskriterien .....	38

2.5.2	Pkw-Motoren	43
2.5.3	Formel 1-Rennmotoren	46
2.5.4	Nutzfahrzeugmotoren (Nfz-Motoren)	48
2.5.5	Schnelllaufende Hochleistungsdieselmotoren für Schiffsantriebe	51
2.5.6	Zusammenfassung	57
2.6	Konventionelle Brennstoffe	58
2.6.1	Kohlenwasserstoffe	58
2.6.2	Benzin und Ottobrennstoffe	63
2.6.3	Dieselsbrennstoffe	64
2.6.4	Brennstoffe für Marineanwendungen	65
2.7	Zukünftige Brennstoffe	66
2.7.1	Ottobrennstoffe	68
2.7.2	Dieselsbrennstoffe	76
	Literatur	86
<b>3</b>	<b>Funktionsweise von Verbrennungsmotoren</b>	<b>89</b>
	Günter P. Merker und Rüdiger Teichmann	
3.1	PKW-Ottomotoren	89
3.1.1	Gemischbildung	89
3.1.2	Zündung und Verbrennungsablauf	97
3.1.3	Irreguläre Verbrennungsphänomene	101
3.1.4	Rohemissionen und innermotorische Schadstoffreduktion	107
3.1.5	Potenziale des Ottomotors	119
3.2	Groß-Gasmotoren	122
3.2.1	Einteilung von Gasmotoren	124
3.2.2	Gasförmige Kraftstoffe	125
3.2.3	Brennverfahren und Regelung	130
3.2.4	Emissionen und Abgasgesetzgebung	141
3.2.5	Vergleich Groß-Gasmotor mit Groß-Dieselmotor	146
3.2.6	Anwendungen	148
3.2.7	Entwicklungsmethodik	150
3.3	Grundlagen der dieselmotorischen Verbrennung	151
3.3.1	Gemischbildung	152
3.3.2	Selbstzündung und Verbrennungsablauf	155
3.3.3	Rohemissionen des Dieselmotors	160
3.3.4	Potenzial des Dieselmotors	175
3.4	Pkw-Dieselmotoren	176
3.4.1	Gesetzgebung und technologische Meilensteine	176
3.4.2	Wege zum Erreichen der Emissions-, Verbrauchs- und Leistungsziele	180

3.5	Downsizing bei Pkw-Motoren . . . . .	196
3.5.1	Downsizing, Downspeeding und Rightsizing . . . . .	197
3.5.2	Schlüsseltechnologien beim Ottomotor . . . . .	205
3.5.3	Schlüsseltechnologien beim Dieselmotor . . . . .	210
3.6	Hybridantriebe und Range Extender . . . . .	216
3.6.1	Elektrifizierung des Antriebs . . . . .	216
3.6.2	Hybridantriebe . . . . .	219
3.6.3	Range Extender . . . . .	226
3.6.4	Auswirkungen auf den Verbrennungsmotor . . . . .	235
3.7	Nfz-Dieselmotoren . . . . .	239
3.7.1	Anforderungen an Nfz-Dieselmotoren und deren Einteilung . . . . .	239
3.7.2	Entwicklung der Nfz-Dieselmotoren seit 1970 . . . . .	240
3.7.3	Brennverfahren von Nfz-Dieselmotoren . . . . .	247
3.7.4	Kaltstartfähigkeit und Warmlaufverhalten . . . . .	256
3.7.5	Besonderheiten der Aufladung . . . . .	259
3.7.6	Mechanik des Nfz-Dieselmotors . . . . .	264
3.7.7	Motorbremssysteme . . . . .	266
3.7.8	Motorregelung . . . . .	270
3.7.9	Non-Road Mobile Machinery-Motoren . . . . .	271
3.7.10	Künftige Nfz-Antriebe . . . . .	273
3.8	Großdieselmotoren . . . . .	274
3.8.1	Einführung . . . . .	274
3.8.2	Schnelllaufende Viertakt Dieselmotoren . . . . .	284
3.8.3	Vier-Takt Mittelschnellläufer . . . . .	291
3.8.4	Zwei-Takt Langsamläufer . . . . .	309
	Autoren dieses Kapitels . . . . .	322
	Literatur . . . . .	323
<b>4</b>	<b>Einspritzsysteme . . . . .</b>	<b>331</b>
	Roger Busch, Jürgen Hammer, Ralph-Michael Schmidt, Hartmut Schneider, Peter Eckert und Sebastian Rakowski	
4.1	Benzineinspritzung . . . . .	331
4.1.1	Saugrohreinspritzung . . . . .	332
4.1.2	Direkteinspritzung . . . . .	343
4.2	Dieseinspritzung . . . . .	354
4.2.1	Grundfunktionen . . . . .	354
4.2.2	Bauarten . . . . .	355
4.2.3	Common Rail System . . . . .	358
4.2.4	Hochdruckpumpen . . . . .	362
4.2.5	Rail und Anbaukomponenten . . . . .	366
4.2.6	CR-Injektoren . . . . .	370
4.2.7	Zumessfunktionen . . . . .	379

4.3	Einspritzung für Großdieselmotoren .....	381
4.3.1	Geschichtlicher Rückblick .....	381
4.3.2	Pumpe-Leitung-Düse-Einspritzsysteme .....	384
4.3.3	Pumpe-Düse-Einspritzsysteme .....	387
4.3.4	Speicher-Einspritzsysteme .....	389
4.3.5	Derivate .....	396
4.4	Hydraulische Simulation .....	400
4.4.1	Modellierung der Grundkomponenten .....	400
4.4.2	Anwendungsbeispiel .....	404
	Literatur .....	405
<b>5</b>	<b>Aufladesysteme</b> .....	<b>407</b>
	Roland Baar	
5.1	Aufladeverfahren .....	408
5.1.1	Natürliche Aufladung .....	409
5.1.2	Druckwellenaufladung .....	410
5.1.3	Kompressoraufladung .....	410
5.1.4	Abgasturboaufladung .....	412
5.2	Aufbau und Funktion von Turboladern .....	413
5.3	Regelung .....	423
5.3.1	Kompressor .....	424
5.3.2	Turbolader mit Bypassregelung (Wastegate) .....	424
5.3.3	Turbolader mit Regelung über einen verstellbaren Düsenring (VTG) .....	425
5.4	Anpassung von Turboladern an Verbrennungsmotoren .....	426
5.4.1	Erweiterte Turboladermodellierung .....	433
5.5	Aufladesysteme .....	436
5.5.1	Zweistufig geregelte Aufladung aus zwei Abgasturboladern	436
5.5.2	Zweistufig geregelte Aufladung aus Abgasturbolader und Kompressor .....	437
5.5.3	Registeraufladung .....	438
5.5.4	Elektrisch unterstützte Aufladung .....	439
5.6	Sonstiges .....	439
5.6.1	Ladeluftkühlung .....	439
5.6.2	Abgasrückführung .....	439
5.6.3	Stau- und Stoßaufladung .....	440
5.6.4	Kennfeldstabilisierende Maßnahmen am Verdichter .....	442
5.6.5	Schubumluft .....	443
	Literatur .....	443

## Teil II: Verbrennungstechnik, Schadstoffbildung und -reduktion, Emissionsmesstechnik

<b>6</b>	<b>Reaktionskinetik</b> .....	447
	Gunnar Stiesch und Peter Eckert	
6.1	Grundlagen .....	447
6.1.1	Chemisches Gleichgewicht .....	447
6.1.2	Reaktionsgeschwindigkeit .....	451
6.1.3	Partielles Gleichgewicht und Quasi-Stationarität .....	452
6.2	Reaktionskinetik von Kohlenwasserstoffen .....	454
6.2.1	Oxidation von Kohlenwasserstoffen .....	454
6.2.2	Zündvorgänge .....	457
6.2.3	Reaktionskinetik in der motorischen Simulation .....	463
	Literatur .....	469
<b>7</b>	<b>Schadstoffbildung und -reduktion</b> .....	471
	Peter Eckert und Sebastian Rakowski	
7.1	Abgaszusammensetzung .....	471
7.2	Innermotorische Schadstoffbildung und -reduktion .....	472
7.2.1	Kohlenmonoxid (CO) .....	477
7.2.2	Unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) .....	478
7.2.3	Partikelemission beim Dieselmotor .....	486
7.2.4	Stickoxide .....	495
7.3	Nachmotorische Schadstoffreduktion .....	501
7.3.1	Oxidationskatalysatoren .....	502
7.3.2	Dreibegekatalysatoren .....	503
7.3.3	Selektive katalytische Reduktion (SCR) .....	506
7.3.4	NO <sub>x</sub> -Speicher-Katalysatoren .....	511
7.3.5	Partikelfilter .....	512
	Literatur .....	518
<b>8</b>	<b>Emissionsmesstechnik</b> .....	525
	Alexander Bergmann, Kurt Engeljehring und Rüdiger Teichmann	
8.1	Einführung .....	525
8.2	Messgasaufbereitung .....	526
8.2.1	Messgasaufbereitung für Abgas-Messanlagen (AMA) .....	526
8.2.2	Messgasaufbereitung durch Verdünnung .....	530
8.3	Messung gasförmiger Bestandteile .....	532
8.3.1	NDIR – Nichtdispersiver Infrarot Detektor .....	533
8.3.2	FID – Flame Ionisation Detektor .....	534
8.3.3	CLD – Chemolumineszenz Detektor .....	534
8.3.4	PMD – Paramagnetischer Detektor .....	536

8.3.5	FTIR – Fourier Transform Infrarot Spektroskopie . . . . .	536
8.3.6	LDS – Laser Dioden Spektroskopie . . . . .	538
8.4	Messung fester Bestandteile . . . . .	538
8.4.1	Messung der Partikel entsprechend gesetzlicher Vorgaben . . . . .	538
8.4.2	Bestimmung von Partikeleigenschaften im Abgas mit alternativen Verfahren . . . . .	541
	Literatur . . . . .	547
<b>9</b>	<b>Verbrennungsdiagnostik</b> . . . . .	<b>549</b>
	Rüdiger Teichmann, Andreas Wimmer und Ernst Winklhofer	
9.1	Druckindizierung . . . . .	550
9.1.1	Allgemeines . . . . .	550
9.1.2	Die Indiziermesskette . . . . .	553
9.1.3	Einflüsse auf die Messgenauigkeit . . . . .	571
9.1.4	Kennwerte infolge von äußeren Einflüssen auf den Sensor . . . . .	580
9.1.5	Varianten für die Sensoradaptierung . . . . .	585
9.1.6	Elektrische Drift am Ladungsverstärker . . . . .	591
9.1.7	Druckindizierung im Ein- und Auslasssystem . . . . .	592
9.2	Druckverlaufsanalyse . . . . .	595
9.2.1	Bestimmung des Brennverlaufes . . . . .	595
9.2.2	Verlustteilung . . . . .	599
9.2.3	Vergleich unterschiedlicher Brennverfahren . . . . .	602
9.3	Optische Messverfahren . . . . .	604
9.3.1	Einleitung . . . . .	604
9.3.2	Anwendungsgebiete optischer Methoden im tabellarischen Überblick . . . . .	605
9.3.3	Anwendungsbeispiele optischer Methoden . . . . .	606
9.3.4	Dieselmotoren . . . . .	607
9.3.5	Ottomotoren . . . . .	612
9.3.6	Lasermesstechniken . . . . .	625
9.4	Ausblick Verbrennungsdiagnostik . . . . .	626
	Literatur . . . . .	627
 <b>Teil III: 0D-, 1D- und phänomenologische Modelle</b>		
<b>10</b>	<b>Grundlagen der Motorprozessrechnung</b> . . . . .	<b>633</b>
	Franz Chmela, Gerhard Pirker und Andreas Wimmer	
10.1	Null- und quasidimensionale Modellierung . . . . .	634
10.1.1	Grundgleichungen . . . . .	634
10.1.2	Stoffwerte . . . . .	637
10.1.3	Ein- und Mehrzonenmodelle . . . . .	639

10.1.4	Chemisches Gleichgewicht	645
10.1.5	Ladungswechsel	648
10.1.6	Wärmeübergang	649
10.1.7	Plausibilisierung von Analyseergebnissen	661
10.1.8	Simulation durch Vorgabe des Brennverlaufs	668
10.1.9	Mittelwertmodelle	673
10.2	Modellierung des Ladungswechsels	675
10.2.1	Füll- und Entleermethode	676
10.2.2	Gasdynamische Betrachtung	677
10.3	Koppelung von Berechnungsmodellen	683
10.3.1	Koppelung eindimensionale Ladungswechselrechnung und Motorprozessrechnung	684
10.3.2	Koppelung eindimensionale Ladungswechselrechnung und 3D-CFD Berechnung	686
10.3.3	Koppelung eindimensionale Ladungswechselrechnung mit DoE-Methode am Beispiel eines Gasmotors	687
10.4	Transiente Simulation	688
10.5	Hydrauliksimulation	690
10.5.1	Aufbau eines Simulationsprogramms für hydraulische Systeme	690
10.5.2	Kavitation	694
10.6	Gesamtfahrzeugsimulation	696
10.6.1	Thermisches Motormodell	698
10.6.2	Wärmeeintragsmodell	699
10.6.3	Reibungsmodell	701
10.6.4	Prognosegenauigkeit	703
	Literatur	704
<b>11</b>	<b>Phänomenologische Verbrennungsmodelle</b>	<b>709</b>
	Gunnar Stiesch, Friedrich Dinkelacker, Peter Eckert, Sebastian Rakowski, Franz Chmela, Gerhard Pirker und Andreas Wimmer	
11.1	Dieselmotorische Verbrennung	711
11.1.1	Nulldimensionale Brennverlaufsfunction	711
11.1.2	Stationärer Gasstrahl	713
11.1.3	Paket-Modelle	717
11.1.4	Zeitskalen Modelle	725
11.2	Ottomotorische Verbrennung	729
11.2.1	Laminare und turbulente Flammengeschwindigkeit	730
11.2.2	Wärmefreisetzung	732
11.2.3	Zündung	735
11.2.4	Klopfen	735

11.3	Groß-Gasmotoren . . . . .	737
11.3.1	Zündverzug . . . . .	738
11.3.2	Brennrate beim Otto-Gasmotor mit offenem Brennraum . . . . .	739
11.3.3	Brennrate beim Otto-Gasmotor mit Vorkammer . . . . .	740
11.3.4	Klopfen . . . . .	743
11.3.5	NO <sub>x</sub> -Emissionen und Wärmeübergang . . . . .	745
	Literatur . . . . .	746
<b>12</b>	<b>Abgasnachbehandlungssysteme</b> . . . . .	<b>749</b>
	Reinhard Tatschl und Johann Wurzenberger	
12.1	Methoden der Abgasnachbehandlung . . . . .	749
12.2	Modellbildung und Simulation . . . . .	751
12.3	Abgaskatalysatoren . . . . .	752
12.3.1	Grundgleichungen . . . . .	752
12.3.2	Katalysator Typen . . . . .	756
12.4	Dieselpartikelfilter . . . . .	762
12.4.1	Grundgleichungen . . . . .	762
12.4.2	Beladung und Druckverlust . . . . .	766
12.4.3	Regeneration und Temperaturverteilung . . . . .	767
12.5	Dosiereinheiten . . . . .	769
12.6	Gesamtsystem . . . . .	770
12.7	Nomenklatur . . . . .	771
	Literatur . . . . .	773
<b>13</b>	<b>Beherrschung komplexer Entwicklungsprozesse</b> . . . . .	<b>775</b>
	Christian Beidl und Hans-Michael Koegeler	
13.1	Notwendigkeit von Optimierungsstrategien . . . . .	776
13.2	Modellstrukturierung . . . . .	778
13.3	Modellansätze für die Optimierung . . . . .	785
13.4	Anwendungsbeispiele für Optimierungsaufgaben . . . . .	787
13.4.1	Emissionsoptimierung Diesel Pkw . . . . .	787
13.4.2	Volllastoptimierung Ottomotor . . . . .	794
13.4.3	Variantenauslegung von Arbeitsmaschinen . . . . .	798
13.4.4	Optimierung des Energiemanagements von Hybridfahrzeugen in kritischen Zyklusabschnitten . . . . .	802
13.5	Funktionsbedatung . . . . .	806
13.6	Kaskadierte modellbasierte Optimierung und Funktionsbedatung . . . . .	811
13.6.1	Beherrschung mehrschichtiger Optimierungsprobleme in Realfahrzenarien . . . . .	812
13.6.2	Antriebsstrang Konzept mit MiL . . . . .	814
13.7	Zusammenfassung . . . . .	820
	Literatur . . . . .	821



**Teil IV: 3D-Simulation des Arbeitsprozesses**

<b>14</b>	<b>Dreidimensionale Strömungsfelder</b> .....	825
	Christian Krüger und Frank Otto	
14.1	Strömungsmechanische Grundgleichungen .....	828
14.1.1	Massen- und Impulstransport .....	828
14.1.2	Transport von innerer Energie und Spezies .....	831
14.1.3	Passive Skalare und Mischungsbruch .....	832
14.1.4	Konservative Formulierung der Transportgleichungen ..	833
14.2	Turbulenz und Turbulenzmodelle .....	834
14.2.1	Phänomenologie der Turbulenz .....	834
14.2.2	Modellierung der Turbulenz .....	836
14.2.3	Turbulentes Wandgesetz .....	838
14.2.4	Modellierung des turbulenten Mischungszustandes .....	841
14.2.5	Die Gültigkeit von Turbulenzmodellen; Alternativansätze .	844
14.3	Numerik .....	849
14.3.1	Finites-Volumen-Verfahren .....	849
14.3.2	Diskretisierung des Diffusionsterms – Zentrale Differenzen	850
14.3.3	Diskretisierung des Konvektionsterms – Aufwindschema .	851
14.3.4	Diskretisierung der Zeitableitung – Implizites Schema ...	853
14.3.5	Diskretisierung des Quellterms .....	854
14.3.6	Operator-Split-Verfahren .....	855
14.3.7	Diskretisierung und numerische Lösung der Impuls-Gleichung .....	856
14.4	Rechennetze .....	856
14.5	Beispiele .....	858
14.5.1	Simulation von Strömungsstrukturen im Zylinder: Ottomotor .....	859
14.5.2	Simulation von Strömungsstrukturen im Zylinder: Dieselmotor .....	860
14.5.3	Düseninnenströmung .....	862
	Literatur .....	866
<b>15</b>	<b>Simulation von Einspritzprozessen</b> .....	867
	Christian Krüger und Frank Otto	
15.1	Einzeltröpfenprozesse .....	867
15.1.1	Impulsaustausch .....	868
15.1.2	Massen- und Wärmeaustausch (Einkomponentenmodell) .	869
15.1.3	Massen- und Wärmeaustausch (Mehrkomponentenmodellierung) .....	872
15.1.4	Flashboiling .....	876
15.2	Strahlstatistik .....	877

15.2.1	Boltzmann-Williams-Gleichung . . . . .	878
15.2.2	Numerische Lösung der Boltzmann-Williams-Gleichung: Das Standardmodell (Lagrange-Formulierung) . . . . .	880
15.2.3	Exkurs: Numerische Bestimmung von Zufallszahlen . . . . .	882
15.2.4	Partikel-Startbedingungen am Düsenaustritt . . . . .	884
15.2.5	Modellierung von Zerfallsprozessen . . . . .	885
15.2.6	Modellierung von Stoßprozessen . . . . .	890
15.2.7	Modellierung der turbulenten Dispersion im Standard-Modell . . . . .	891
15.2.8	Beschreibung der turbulenten Dispersion mittels Fokker-Planck-Gleichung . . . . .	892
15.2.9	Die Diffusionsdarstellung der Fokker-Planck-Gleichung . . . . .	898
15.2.10	Probleme des Standard-Strahlmodells . . . . .	901
15.2.11	Benzindirekteinspritzung für Schichtladung mit nach außen öffnendem Piezo-Injektor . . . . .	905
15.3	Euler-Strahlmodelle . . . . .	908
15.3.1	Lokal homogene Strömung . . . . .	910
15.3.2	Einbettungen von 1D-Euler-Verfahren und anderen Ansätzen . . . . .	913
15.3.3	D-Euler-Verfahren . . . . .	916
	Literatur . . . . .	919
<b>16</b>	<b>Simulation der Verbrennung</b> . . . . .	<b>921</b>
	Christian Krüger und Frank Otto	
16.1	Verbrennungsregimes . . . . .	921
16.2	Allgemeines Vorgehen . . . . .	923
16.3	Diesel-Verbrennung . . . . .	926
16.3.1	Simulation der Wärmefreisetzung . . . . .	926
16.3.2	Zündung . . . . .	933
16.3.3	NO <sub>x</sub> -Bildung . . . . .	934
16.3.4	Rußbildung . . . . .	935
16.3.5	HC- und CO-Emissionen . . . . .	937
16.4	Homogener Benzinmotor (Vormischverbrennung) . . . . .	937
16.4.1	Zweiphasenproblematik . . . . .	938
16.4.2	Magnussen-Modell . . . . .	941
16.4.3	Flammenflächenmodelle (auch Coherent Flame Models) . . . . .	945
16.4.4	G-Gleichung . . . . .	949
16.4.5	Diffusive G-Gleichung . . . . .	952
16.4.6	Zündung . . . . .	953
16.4.7	Klopfen . . . . .	954
16.4.8	Schadstoffbildung . . . . .	954

16.5	Benzinmotor mit Ladungsschichtung (teilweise vorgemischte Flammen) . . . . .	955
16.6	Strömungsmechanische Simulation von Ladungswechsel, Gemischbildung und Verbrennung: Ausblick . . . . .	960
16.6.1	Netzbewegung . . . . .	961
16.6.2	Numerik . . . . .	962
16.6.3	Turbulenz . . . . .	962
16.6.4	Modellierung der Einspritzprozesse . . . . .	963
16.6.5	Modellierung der Verbrennung . . . . .	966
	Literatur . . . . .	967
<b>17</b>	<b>Simulation der Aufladung</b> . . . . .	<b>969</b>
	Roland Baar	
17.1	Allgemeines . . . . .	969
17.2	Interaktion von Laufrad und Gehäuse . . . . .	971
17.3	Grundlagen der Gittergenerierung für Turbomaschinen . . . . .	973
17.4	Netzaufbau, Netzqualität und Randbedingungen . . . . .	975
17.5	Auswertung . . . . .	978
17.6	Anwendungsbeispiel . . . . .	981
	Literatur . . . . .	983
 <b>Teil V: Systembetrachtungen und Ausblick</b>		
<b>18</b>	<b>Der Verbrennungsmotor als Teil des gesamten Antriebstrangs</b> . . . . .	<b>987</b>
	Günter Fraidl, Paul Kapus, Reinhard Tatschl und Johann Wurzenberger	
18.1	Zukünftige Entwicklungsziele der Verbrennungsmotoren . . . . .	987
18.1.1	Einführung . . . . .	987
18.1.2	Konfiguration des optimalen Antriebssystems . . . . .	990
18.1.3	Technologieelemente künftiger Antriebsstrang-Konfigurationen . . . . .	991
18.1.4	Vorauslegung . . . . .	994
18.1.5	Entwicklungsphase . . . . .	1000
18.1.6	Antriebsstrangkonfigurationen – Beispiele . . . . .	1003
18.2	Ansätze zur simulationsgestützten Motorauslegung . . . . .	1009
18.2.1	Simulation im Motorentwicklungsprozess . . . . .	1010
18.2.2	Skalierbare Motor- und Gesamtsystemmodellierung . . . . .	1013
18.2.3	Ausgewählte Anwendungen . . . . .	1020
18.2.4	Ausblick . . . . .	1026
	Literatur . . . . .	1027

---

<b>19</b>	<b>Zukunft des Verbrennungsmotors</b> .....	1031
	Ulrich Spicher und Helmut Eichlseder	
19.1	Einleitung .....	1031
19.2	Die Rolle der Verbrennungsmotoren für die Mobilität der Zukunft .	1032
19.2.1	Gesetzgebung und Emissionsvorschriften .....	1034
19.2.2	Objektive Beurteilung von Antriebskonzepten .....	1035
19.2.3	CO <sub>2</sub> -Effizienz bei Lebenszyklusbetrachtungen .....	1042
19.3	Verbrennungsmotoren – Gestern, Heute, Morgen .....	1044
19.3.1	Alternative Konzepte .....	1044
19.3.2	Entwicklungspotenzial des Verbrennungsmotors .....	1054
19.4	Zusammenfassung/Ausblick .....	1077
	Literatur .....	1079
<b>A1</b>	<b>3D-CFD Simulation mit dem kommerziellen Code AVL FIRE®</b> .....	1085
	Reinhard Tatschl	
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	1119



<http://www.springer.com/978-3-658-03194-7>

Grundlagen Verbrennungsmotoren

Funktionsweise, Simulation, Messtechnik

Merker, G.; Teichmann, R. (Hrsg.)

2014, XXXIX, 1132 S. 704 Abb., 429 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-658-03194-7