
Messtechnik und Prüfstände für Verbrennungsmotoren

Kai Borgeest

Messtechnik und Prüfstände für Verbrennungsmotoren

Messungen am Motor, Abgasanalytik,
Prüfstände und Medienversorgung

3., überarbeitete und erweiterte Auflage

Kai Borgeest
Zentrum für Kfz-Elektronik und
Verbrennungsmotoren
Technische Hochschule Aschaffenburg
Aschaffenburg, Deutschland

Mit Beiträgen von
Georg Wegener
Fakultät Ingenieurwissenschaften
Technische Hochschule Aschaffenburg
Aschaffenburg, Deutschland

ISBN 978-3-658-43283-6 ISBN 978-3-658-43284-3 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-43284-3>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2016, 2020, 2024

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Reinhard Dapper

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Das Papier dieses Produkts ist recyclebar.

Vorwort zur 3. Auflage

In einigen Jahren werden unsere Autos elektrische Antriebe haben. Eine Neuauflage eines Buchs, das sich wesentlich mit Verbrennungsmotoren befasst, scheint nicht mehr zeitgemäß. Trotzdem gibt es drei gute Gründe:

1. Bei vielen Pkw-Herstellern wird es noch mindestens eine Generation von Verbrennungsmotoren geben. Dies werden vielleicht die besten Pkw-Motoren sein, die jemals gebaut wurden.
2. Neben Pkw gibt es zahlreiche andere Anwendungen. Bei Seeschiffen für lange Strecken z. B. ist eine Elektrifizierung des Antriebsstrangs noch nicht absehbar, dort wird man Verbrennungsmotoren mit anderen Kraftstoffen betreiben.
3. Ein großer Teil der Prüfstandstechnik für elektrische Fahrzeugantriebe ist mit jener aus dem Zeitalter der Verbrennungsmotoren identisch. Natürlich entfallen manche Dinge wie die Abgasmesstechnik oder die innermotorische Verbrennungsanalyse. Die Höchstdrehzahl elektrischer Belastungsmaschinen steigt schon seit längerer Zeit.

Eine Runderneuerung in Form dieser Auflage ist also sinnvoll. Einige, eher schleichende Veränderungen der Prüfstandstechnik aufgrund der Elektromobilität machen sich bereits in dieser Auflage bemerkbar; wahrscheinlich ist dies die letzte Auflage mit dem Titel „Messtechnik und Prüfstände für Verbrennungsmotoren“, aber nicht die letzten Auflage zur Mess- und Prüftechnik an Fahrzeugmotoren.

Neben diversen Erweiterungen wurde das Buch v. a. mit dieser Auflage wieder aktualisiert.

Ich danke Herrn Kielczyk (AVL Tippelmann GmbH) für die Bereitstellung der Abbildung eines Durchflussprüfstandes.

Aschaffenburg
September 2023

Kai Borgeest

Vorwort zur 2. Auflage

Die bewährte Struktur der ersten Auflage wurde beibehalten, ein Großteil der fast tausend Änderungen sind deshalb Aktualisierungen, die v. a. den Praktiker interessieren dürften, und redaktionelle Verbesserungen, von denen v. a. Studenten und andere Einsteiger in die Materie profitieren dürften.

Es gab aber neben kleineren Erweiterungen des Inhalts auch einige größere Erweiterungen: Während sich die erste Auflage auf Messungen am Motorenprüfstand konzentrierte, geht die zweite Auflage auch auf Messungen auf Rollenprüfständen und an Komponentenprüfständen ein. Der Abgasskandal beschleunigte Änderungen der Gesetzgebung in Europa, die sich neben dem technischen Fortschritt auf die Messtechnik auswirken, hier ist z. B. die Abgasmessung mit portablen Emissionsmesssystemen (PEMS) zu nennen. Da der Bruch einer Welle am Prüfstand ein gefährliches und teures Ärgernis ist, war es mir wichtig, den Abschnitt über Drehschwingungen auszubauen.

Herrn Wommer (Moehwald GmbH), Herrn Dr. Wytrykus (SMETEC GmbH), Frau Dr. Schläger (LaVision GmbH), Frau Brodt (Umicore), Frau Eisenhofer (Umicore) und Herrn Prof. Dr.-Ing. Vanhaelst (Ostfalia, Wolfsburg) danke ich für die Bereitstellung zusätzlicher Abbildungen in dieser Auflage.

Aschaffenburg
Januar 2020

Kai Borgeest

Vorwort

Wie werden Fahrzeugantriebe langfristig aussehen? Werden wir elektrisch fahren? Werden wir mit gasbetriebenen Verbrennungsmotoren fahren? Wird es weitere Antriebsalternativen geben?

Diese Fragen kann niemand beantworten, heute und in naher Zukunft dominiert aber sicher der Verbrennungsmotor. Angesichts rasanter Fortschritte in der Elektromobilität könnte man vermuten, dass in die Weiterentwicklung von Verbrennungsmotoren nicht mehr viel investiert werde. Tatsächlich wird aber mehr denn je an Verbrennungsmotoren geforscht und entwickelt, offenbar bieten diese immer noch erhebliche Optimierungspotenziale bei Leistung, Verbrauch, Emissionen und weiteren Eigenschaften.

Die zulässigen Emissionen und ihre Prüfvorschriften werden vom europäischen Gesetzgeber zunehmend verschärft, ehrgeizige Klimaziele veranlassen den Gesetzgeber, zulässige CO₂-Emissionen und damit auch den Kraftstoffverbrauch zu senken, der Fahrer möchte noch mehr Leistung aus einem kompakt bauenden Motor und die Kombination des Verbrennungsmotors mit Elektroantrieben in hybriden Antriebssträngen stellt wiederum neue Anforderungen an den Verbrennungsmotor.

Um diese Ziele zu erreichen, bedient man sich in Forschung und Entwicklung zweier Methoden, der Simulation und der Messung am realen Motor. Diese beiden Verfahren schließen einander nicht notwendigerweise aus, sondern können sich auch ergänzen.

Gegenstand dieses Buches sind Messungen an Motoren. Diese können im Fahrzeug auf der Straße oder auf dem Rollenprüfstand durchgeführt werden, meist wird aber der Motor ohne Fahrzeug auf einem Motorenprüfstand betrieben.

Das Buch richtet sich an die Planer und Betreiber von Prüfständen, an die Entwickler von Motoren, an die Entwickler der Elektronik im Antriebsstrang und v. a. an Studenten der Mechatronik, des Maschinenbaus oder der Elektrotechnik.

Ich freue mich besonders, dass ich an der Hochschule Aschaffenburg mit meinem Kollegen Georg Wegener einen Koautor gewinnen konnte, der seine Erfahrungen in der Messung von Drehmomenten einbringen konnte.

Für die Bereitstellung von Grafiken und Fotos danke ich Herrn Höldge von der Voith Turbo HighFlex GmbH & Co. KG, Herrn Mack von der Daimler AG, Herrn Martin

von D2T GmbH und Tony Guillou. Auch im Namen von Herrn Wegener danke ich den Herren Haller und Stock von der Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH und Herrn Lorenz von der Lorenz Messtechnik GmbH.

Aschaffenburg
März 2016

Kai Borgeest

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Verbrennungsmotoren	5
2.1	Gemischbildung und Verbrennung	6
2.1.1	Luftsystem	9
2.1.2	Kraftstoffsystm	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
3	Aufbau von Motorenprüfständen	35
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

4	Fahrzeug- und Komponentenprüfstände	55
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
5	Prüfstandsmechanik	75
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
6	Belastungsmaschinen	103
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
7	Messtechnik	135
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 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	Steuerung, Regelung und Automatisierung	275
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	Technische Gebäudeausrüstung, Projektierung, Bau und Betrieb des Prüfstandes	293
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
10	Sicherheit und Umwelt	313
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
	Literatur	333
	Stichwortverzeichnis	359

Abkürzungen und Symbole

Abkürzungen

Im allgemeinen Sprachgebrauch übliche Abkürzungen sind nicht gelistet.

AC	A lternating C urrent	Wechselstrom
ACI	A utomatic C alibration I nterface	Automatische Applikationsschnittstelle
AE		A nzeige e inheit
AFR	A ir F uel R atio	Luft/Kraftstoff-Verhältnis
AK		A rbeits k reis
Amd	A mmendment	Nachbesserung
ANSI	A merican N ational S tandards I nstitute	Normungsstelle der USA
ASAM	A ssociation for S tandardization of A utomation and M easurement S ystems	Gesellschaft zur Standardisierung von Automations- und Messsystemen
ASME	A merican S ociety of M echanical E ngineers	Amerikanische Gesellschaft der Maschinenbauingenieure
ASS		A bfüllschlauchsicherung
ASTM	A merican S ociety for T esting and M aterials	Amerikanische Gesellschaft für das Testen und für Materialien (veraltete Bedeutung)
AU		A bgas u ntersuchung (jetzt Teil der HU)
BAnz AT		B undes a nzeiger, a mtlicher T eil
BArbBl		B undes a rbeits b latt
BCI	B ulk C urrent I njection	Störstrominjektion in den Kabelbaum
BGBI		B undes g esetz b latt
B.I.C.E.R.A.	B ritish I nternal C ombustion E ngine R esearch A ssociation	Britische Gesellschaft zur Erforschung von Motoren mit innerer Verbrennung
BMEP	B rake M ean E ffective P ressure	Prüfstandsmitteldruck
CAN	C ontroller A rea N etwork	(Automobiles Bussystem)

CARS	Coherent Anti-Stokes Raman Scattering	Kohärente Anti-Stokes-Raman-Streuung
CCA	Constant Current Anemometry	Konstantstrom-Anemometrie
CEN	Comité Européen de Normalisation	Europäisches Komitee für Normung
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique	Europäisches Komitee für Normung (Elektrotechnik)
CF	Conformity Factor	Übereinstimmungsfaktor
CFD	Computational Fluid Dynamics	Numerische Strömungsberechnung
CFR	Code of Federal Regulations	(Sammlung von Verordnungen der USA)
CFR	Cooperative Fuel Research Committee of the SAE	Kooperativer Kraftstofforschungs-Ausschuß der SAE
CiA	„CAN in Automation“	„CAN in Automation“
CIFI	Cylinder Individual Fuel Injection	Zylinderindividuelle Kraftstoffeinspritzung
CLA	Chemoluminescence Analyzer	Chemolumineszenz-Analysator
CLD	Chemoluminescence Detector	Chemolumineszenz-Detektor
CNG	Compressed Natural Gas	Komprimiertes Erdgas
CoE	CAN over EtherCAT	CAN über EtherCAT
CPC	Condensation Particle Counter	Kondensationspartikelzähler
CPU	Central Processing Unit	Zentraleinheit einer SPS
CRT	Continuous Regeneration Trap	(Abgasnachbehandlungsverfahren)
CTA	Constant Temperature Anemometry	Konstanttemperatur-Anemometrie
CVS	Constant Volume Sampling	Konstantvolumen-Probennahme
DAkkS		Deutsche Akkreditierungsstelle
DC	Diffusion Charger	Diffusionsauflader
DEHS	Di-Ethyl-Hexyl-Sebacic-Acid-Ester	Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat
DGV	Doppler Global Velocimetry	Globale Doppler-Geschwindigkeitsmessung
DIN		Deutsches Institut für Normung e. V.
DMA	Differential Mobility Analyzer	Differenzieller Mobilitätsanalysator
DMPS	Differential Mobility Particle Sizer	(Gerät zur Partikelgrößenbestimmung)
DMS	Differential Mobility Spectrometer	Differenzielles Mobilitätsspektrometer
DMS	Strain Gauge	Dehnungsmessstreifen
DN	Diamètre Nominal	Nennweite
DoE	Design of Experiments	Statistische Versuchsplanung
DOHC	Double OHC	Doppelte oben liegende Nockenwelle
DP	Decentralized Peripherals	Dezentrale Peripherie

DTS	D raft T echnical S pecification	Entwurf einer technischen Spezifikation (ISO)
DUT	D evice u nder T est	Prüfling
Dy:YAG	D ysprosium-Doped Y trium A luminum G arnet	D ysprosium-dotierter Y trium-Aluminium-Granat
ECE	E conomic C ommission for E urope	Wirtschaftskommission für Europa
EFM	E xhaust G as F low M eter	Abgasmassendurchsatzmesser
EKA		E inlasskanal a bschaltung
ELPI	E lectrical L ow P ressure I mpactor	Elektrischer Niederdruckimpaktor
ELR	E uropean L oad R esponse	(Lastzyklus)
EMV		E lektromagnetische V erträglichkeit
EOBD	E lectronic O n- B oard- D iagnosis	Elektronische Borddiagnose
EoL	E nd of L ine	Bandende
EN	European Standard	E uropäische Norm
ESC	E uropean S tationary C ycle	(Stationärer Abgaszyklus)
ESD	E lectrostatic D ischarge	Elektrostatische Entladung
ETC	E uropean T ransient C ycle	(Transienter Abgaszyklus)
EU	E uropean U ion	E uropäische U ion
FCE	F araday C up E lectrometer	Faradaybecher-Elektrometer
FEM	F inite E lement M ethod	F inite- E lemente- M ethode
FSN	F ilter S moke N umber	Filter-Rauchzahl
FTIR	F ourier T ransform I nfrared S pectroscopy	F ourier- T ransformations- I nfrarot-Spektroskopie
FVV		F orschungsvereinigung V erbrennungskraftmaschinen
GCMS	G as C hromatography, M ass S pectrometry	G aschromatographie/ M assenspektroskopie
GMBI		G emeinsames M inisterial b latt
GPS	G lobal P ositioning S ystem	Globales Ortungssystem
GRPE	Working Party on P ollution and E nergy	(UN-Arbeitsgruppe)
HELS	H elmholtz E quation L east S quare	Helmholtz-Gleichung, kleinste Quadrate
HEPA	H igh- E fficiency P articulate A ir (... Filter)	Schwebstoff- (...Filter)
HFM	H ot F ilm air mass M eter	H eißfilm-Luftmassen-Messer
HFO	H eavy F uel O il	Schweröl
HiL	H ardware in the L oop	(Hardware in geschlossener Regelschleife)
HP	H orse P ower	Pferdestärke (PS)

Hrsg.		Herausgeber
HTL	H igh T hreshold L ogic	Hochschwellen-Logik
IEC	I nternational E lectrotechnical C ommission	(Internationale Normungsorganisation)
IP	I nternet P rotocol	Internetprotokoll
ISO	I nternational O rganization for S tandardization	(Internationale Normungsorganisation)
IT	I nformation T echnology	I nformationstechnik
JTC	J oint T echnical C ommittee	Gemeinsamer technischer Ausschuss
LDA	L aser D oppler A nomometry	L aser-Doppler-Anemometrie
LDSA	L ung D eposited S urface A rea	lungendeponierte Oberfläche
LDV	L aser D oppler V elocimetry	L aser-Doppler-Velocimetrie
LH2	liquid H ₂	flüssiger H ₂
Lkw		L ast k raft w agen
LIF	L aser I nduced F luorescence	L aserinduzierte F luoreszenz
LII	L aser I nduced I ncandescence	L aserinduzierte I nkandeszenz
LIP	L aser I nduced P hosphorescence	L aserinduzierte P hosphoreszenz
LNG	L iquefied N atural G as	Verflüssigtes Erdgas
LPG	L iquefied P etrol G as	Autogas (Flüssiggas)
LSB	L east S ignificant B it	Bit mit der geringsten Wertigkeit
MEG	M onoethylene G lycol	M onoethylenglykol
MOZ		M otor-Oktanzahl
MSB	M ost S ignificant B it	Bit mit der höchsten Wertigkeit
MVEG	M otor V ehicle E missions G roup C ycle	= NEFZ
NAH	N ear F ield A coustic H olography	Akustische Nahfeldholografie
NDIR	N on D ispersive I nfra r ed S pectroscopy	Nichtdispersive Infrarotspektroskopie
NDUV	N on D ispersive U ltraviolet S pectroscopy	Nichtdispersive U ltraviolett S pektroskopie
Nd:YAG	N eodymium D oped Y ttrium A luminum G arnet	N eodym-dotierter Y ttrium- A luminium- G ranat
NEDC	N ew E uropean D riving C ycle	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NEFZ		Neuer Europäischer Fahrzyklus
NMC	N on-Methane C utter	N icht-Methan-Cutter
NMHC	N on-Methane H ydrocarbons	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe
NTC	N egative T emperature C oefficient	(Heißeleiter)
NVH	N oise, V ibration, H arshness	(Fahrzeugakustik)
OATS	O pen A rea T est S ite	Freigelandetesteinrichtung
OHC	O verhead C amshaft	Oben liegende Nockenwelle

OT		O berer T otpunkt
PAK		P olyzyklische a romatische K ohlenwasserstoffe
PAS	P hoto A coustic S pectroscopy	Photoakustische Spektroskopie
PASS	P hoto A coustic S oot S pectrometry	Photoakustische Rußspektrometrie
PCRF	P article C oncentration R eduction F actor	Partikelkonzentrations- Reduktionsfaktor
PDV	P lanar D oppler V elocimetry	P lanare D oppler-Velocimetrie
PEMS	P ortable E mission M easurement S ystem	P ortables E missions-Messsystem
PFI	P ort F uel I njection	Saugrohreinspritzung
PIV	P article I mage V elocimetry	Partikelbild-Geschwindigkeitsmessung
PLIF	P lanar L I F	P lanare L I F
PLU		P ierburg L uftfahrt U nion GmbH
PMD	P ara m agnetic D etector	P aramagnetischer D etektor
PMP	P article M easurement P rogram	P artikel m essungs p rogramm
PTV	P article T racking V elocimetry	Partikelverfolgung- Geschwindigkeitsmessung
Pkw		P ersonen k raft w agen
PSP	P article/ P articulate S ampling P robe	Partikelentnahmesonde
PTC	P ositive T emperature C oefficient	(Kaltleiter)
PTFE	P olytetrafluoroethylene	P olytetrafluorethylen
PVDF	P olyvinylidene F luoride	P olyvinylidenfluorid
PWG		P edalwertgeber
PWM	P ulse W idth M odulation	P ulsweiten m odulation
QCL	Q uantum C ascade L aser	Quantenkaskadenlaser
QLS	Q uantitative L ight S ection	Q uantitativer L ichtschnitt
RDE	R eal D riving E missions	Emissionen bei realer Fahrt
ROZ		R esearch- O ktan z ahl
S.		S eite
SAE	S ociety of A utomotive E ngineers	Gesellschaft der Automobilingenieure (Historische Bezeichnung)
SAW	S urface A coustic W ave	Akustische Oberflächenwelle
SC	S ub c ommittee	Unterausschuss
SCR	S elective C atalytic R eduction	(Abgasnachbehandlungsverfahren)
SEFI	S erial F uel I njection	Serielle Kraftstoffeinspritzung
SHED	S ealed H ousing for E vaporative D etermination	(Prüfkammer für Verdunstungsemissionen)

SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer	(Gerät zur Partikelgrößenbestimmung)
SOF	Soluble Organic Fraction	Löslicher organischer Anteil
SPS		Speicherprogrammierbare Steuerung
SR		Systematische Rechtssammlung
SSI	Synchronous Serial Interface	Synchron-serielle Schnittstelle
SZ		Schwärzungszahl
TA		Technische Anleitung
TC	Technical Committee	Technischer Ausschuss
TCP	Transmission Control Protocol	Übertragungssteuerungsprotokoll
TEDS	Transducer Electronic Data Sheet	Elektronisches Sensordatenblatt
TEM	Transversal Electric Mode	Transversal-elektrischer Modus
TGA		Technische Gebäudeausrüstung
THC	Total Hydro carbons	Gesamt-Kohlenwasserstoffe
TiRe-LII	Time Resolved LII	Zeitaufgelöste LII
TOF	Time of Flight	Laufzeit
TR		Technische Regeln
TRbF		Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten
TRBS		Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGS		Technische Regeln für Gefahrstoffe
TRT	Total Reduced Sulfur	Gesamter reduzierter Schwefel
TRT		Technische Regeln für Tanks
TTL	Transistor Transistor Logic	Transistor-Transistor-Logik
TWC	Tubular Wave Coupler	Koaxialer Richtkoppler
UMA		Untersuchung des Motormanagements und Abgasreinigungssystems
UN	United Nations	Vereinte Nationen
USB	Universal Serial Bus	Universeller serieller Bus
UT		Unterer Totpunkt
UV	Ultra violet	Ultra violett
VDI		Verein Deutscher Ingenieure
VI	Viscosity Index	Viskositätsindex
Vol.	Volume	Volumen
VTG	Variable Turbine Geometry	Variable Turbinengeometrie
WHSC	World Harmonized Stationary Cycle	Weltharmonisierter stationärer Zyklus

WHTC	World Harmonized Transient Cycle	Weltharmonisierter transienter Zyklus
WLTC	Worldwide harmonized Light Duty Test Cycle	(Testzyklus in der WLTP)
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure	(Neue Abgastestprozedur)
WMTC	Worldwide harmonized Motorcycle Test Cycle	(Neuer Abgastestzyklus für Motorräder)

Symbole in Formeln und Naturkonstanten

Physikalische und mathematische Symbole

Ein Punkt über einem Symbol symbolisiert die Ableitung der Größe nach der Zeit, ein Unterstrich einen Vektor, ein vorangestelltes Δ eine Differenz und ein Zirkumflex (^) über einem Symbol einen Spitzenwert. Größen, die im Buch sowohl klein geschrieben (z. B. als zeitabhängige Größe) als auch groß geschrieben (z. B. als stationärer Wert oder Effektivwert) vorkommen, sind hier mit Großbuchstaben aufgeführt.

a	Abstand
A	Querschnittsfläche
A	Empirische Konstante
A_K	Wirksamer Kolbenquerschnitt
B	Magnetische Flussdichte
B	Empirische Konstante
b	Dämpfungskoeffizient
b	Versatz gegenüber liegender Zylinder beim Boxermotor
C_{met}	Meteorologische Korrektur des Schallpegels
c	Steifigkeit
c	Lichtgeschwindigkeit
c	Schallgeschwindigkeit
c	Strömungsgeschwindigkeit
c	Konzentration (Stoff durch Index angegeben)
c_i	Gewichtungsfaktor
c_u	Strömungsgeschwindigkeit in Umfangsrichtung
c_W	Widerstandsbeiwert
d	Bohrung

d	Breite
d	Durchmesser, Innendurchmesser
D	Außendurchmesser
D	Dämpfungsgrad (lehrsche Dämpfung)
$\mathbf{D}$	Dämpfungsmatrix
E	Elastizitätsmodul
E	Elektrische Feldstärke
f_0	Frequenz der Strahlungsquelle beim Doppler-Effekt
f_0	Eigenfrequenz
f_{ausg}	Ausgangsfrequenz
f_{max}	Frequenz, bei der die Vergrößerungsfunktion maximal ist
F	Kraft
F_{Antrieb}	Antriebskraft
F_{C}	Coriolis-Kraft
F_{Gas}	Gaskraft
F_{H}	Hangabtrieb
F_{L}	Luftwiderstand
F_{K}	Kolbenkraft
F_{M}	Massenkraft
F_{Mi}	Massenkraft i . Ordnung
F_{R}	Responsefaktor
F_{R}	Reibungskraft
F_{T}	Trägheitskraft
F_{W}	Fahrwiderstand
g	Erdbeschleunigung ($9,8 \text{ m/s}^2$)
G	Schubmodul
G	Wuchtgüte
h	Plancksches Wirkungsquantum ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$)
h	Umkehrspanne
H_{i}	(unterer) Heizwert
i	Thermodynamische Zyklen pro Kurbelwellenumdrehung
i	Zählindex
I	Elektrischer Strom
I	Intensität (Schall/Licht)
I_{A}	Ankerstrom
I_{E}	Erregerstrom
I_{p}	Polares Flächenträgheitsmoment

I_x	Strom durch Heizdraht
J_B	Bremsseitiges Trägheitsmoment
J_{ges}	Gesamtes Trägheitsmoment
J_i	Trägheitsmoment an Zylinder i
J_M	Motorseitiges Trägheitsmoment
J_{MS}	Trägheitsmoment des Motorschwungrades
J	Trägheits- oder Massenmatrix
k	Boltzmann-Konstante ($1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K)
k	Spezifische Absorption
k	Proportionalitätsfaktor eines Dehnungsmessstreifens
k	Torsionssteifigkeit
k	Anzahl
k_i	Torsionssteifigkeit einzelner Wellenabschnitte
K	Steifigkeitsmatrix
K_I	Schallpegelkorrektur für Impulshaltigkeit
K_R	Schallpegelkorrektur für Ruhezeiten
K_T	Schallpegelkorrektur für Tonhaltigkeit
l	Länge (ggf. präzisiert durch Index-Buchstaben)
L_{Aeq}	Mittelungspegel
$L_{\text{EX,8h}}$	über 8 Stunden gemittelter Schallpegel am Arbeitsplatz
$L_{\text{pC,peak}}$	Spitzenschallpegel am Arbeitsplatz
L_r	Beurteilungspegel nach TA Lärm
L_{xk}	Drehimpuls in x -Richtung
m	Faktor in Reaktionsgleichungen
m	Masse
m_{ein}	Bei einem Kolbenspiel einströmende Luftmasse
m_{Kolben}	Kolbenmasse
$m_{\text{Kraftstoff}}$	Kraftstoffmasse
$m_{\text{Luft(stöchiometrisch)}}$	(Stöchiometrische) Luftmasse
m_{th}	Theoretische Luftmasse
M	Drehmoment
M_{ab}	Abtriebsmoment
M_{an}	Antriebsmoment
M_D	Drehmoment
M_{kipp}	Kippmoment einer Asynchronmaschine
M_{Mot}	Motormoment (wo es aus dem Zusammenhang eindeutig ist, nur M genannt)

M_{Mi}	Moment aus Massenkräften n. Ordnung
M_{xi}	Momente in x -Richtung
$\underline{M}$	Momentenvektor
n	Faktor in Reaktionsgleichungen
n	Anzahl
n	Drehfrequenz (Drehzahl)
n	Empirische Konstante
n_s	Synchrondrehzahl
p	Polpaarzahl
p	Druck
p	Schalldruck
p_0	Atmosphärendruck
p_l	Ladedruck
p_m	(Indizierter) Mitteldruck
p_{max}	Maximaldruck
p_{min}	Minimaldruck
P	Leistung
P_{mech}	Mechanische Leistung
q	Elementarladung ($1,602 \cdot 10^{-19}$ As)
Q_{ab}	Abgeführte Wärme
Q_{zu}	Zugeführte Wärme
r	Radius, Kurbelradius
r	Tastverhältnis
R	Widerstand
R_ε	Dehnungsabhängige Widerstandskomponente
R_T	Temperaturabhängige Widerstandskomponente
R_x	Heizdrahtwiderstand
s	Hub
s	Schlupf
S	Strouhalzahl
S	Signal, allgemein, ggf. durch Index spezifiziert
t	Zeit
t	Mechanische Remanenz
t_r	Laufzeit rückwärts
t_v	Laufzeit vorwärts
T	Periodendauer
T	Temperatur

T_i	Temperatur, nach Zeit oder Ort indiziert, Medium (z. B. Luft) ggf. als zusätzlicher Index angegeben
T_i	Lärmbeitragszeit
TK_0	Temperaturkoeffizient für Nullsignal
TK_C	Temperaturkoeffizient für Kennwert
u	Stellgröße
u_f	Energiedichte (auf die Frequenz bezogen)
u_λ	Energiedichte (auf die Wellenlänge bezogen)
U	Innere Energie
U	Elektrische Spannung
U_0	Speisespannung
U_{aus}	Ausgangsspannung
$\ddot{u}$	Übersetzung
v	Geschwindigkeit
v_{max}	Höchstgeschwindigkeit
v	Schallschnelle
$V(f), V(\omega)$	Vergrößerungsfunktion
V_H	Hubvolumen des Motors
V_h	Hubvolumen eines Zylinders
W	Arbeit
W	Wangenbreite
x	Ortskoordinate (eindimensional oder zwei- oder dreidimensionaler Vektor)
x_i	Variablen allgemein
z	Zylinderzahl
z	Zielgröße
α	Knickwinkel
α	Steigungswinkel
α	Gaspedalstellung (als Winkel oder prozentual)
β	Pendelwinkel
ε	Dehnung
ε_0	Absolute Permittivität (elektrische Feldkonstante, Dielektrizitätskonstante)
ε_r	Relative Permittivität
η	Verhältnis der Frequenz zur (ungedämpften) Resonanzfrequenz (Abstimmungsverhältnis)
η_{eff}	Effektiver Wirkungsgrad
η_{th}	Thermischer Wirkungsgrad

$\theta(x,t)$	Torsionswinkel
λ	Kurbelverhältnis
λ	Luftzahl
λ	Wellenlänge
λ_a	Luftaufwand
$\lambda_{\max}$	Wellenlänge maximaler Emission
λ_0	Emittierte Wellenlänge
μ	Reibungskoeffizient
μ_0	Absolute Permeabilität (magnetische Feldkonstante, $4\pi \cdot 10^{-12} \text{ As / Vm}$)
μ_r	Relative Permeabilität
ν	Querkontraktionszahl (Poisson-Zahl)
ρ	Dichte (ggf. durch ergänzenden Indextext auf bestimmte Medien bezogen)
ρ	Spezifischer Widerstand
φ, ϕ	Winkel, allgemein
φ	Kurbelwinkel
φ_0	Anfangswert des Kurbelwinkels
Φ	Magnetischer Fluss
Ψ	Pleuelwinkel
Ψ_i	i -te Lösung der Helmholtzgleichung
ω	Winkelgeschwindigkeit $2\pi n$, Kreisfrequenz $2\pi f$
ω_{ab}	Abtriebswinkelgeschwindigkeit
ω_{an}	Antriebswinkelgeschwindigkeit
ω_s	Synchrondrehzahl
ω_0	Resonanzkreisfrequenz $2\pi f_0$ einer Schwingung
σ	Zugspannung
τ	Laufvariable für eine Integration über die Zeit

Chemische Symbole und Formeln

CH	Kohlenwasserstoff-Radikal
CH ₄	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
H ₂	Molekularer Wasserstoff
HC	Kurzschreibweise für C _m H _n (Kohlenwasserstoffe)
H ₂ S	Schwefelwasserstoff

NH_3	Ammoniak
NO	Stickstoffmonoxid
NO_2	Stickstoffdioxid
N_2	Molekularer Stickstoff
N_2O	Distickstoffoxid (Lachgas)
O_2	Molekularer Sauerstoff
O_3	Ozon
S	Schwefel
SO_2	Schwefeldioxid
SO_3	Schwefeltrioxid