

Wissenschaftliche Reihe
Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart

RESEARCH

Katja Nording

Numerische Analyse der dieselmotorischen Gemisch- bildung, Verbrennung und Emissionsentstehung



Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart

Herausgegeben von

M. Bargende, Stuttgart, Deutschland

H.-C. Reuss, Stuttgart, Deutschland

J. Wiedemann, Stuttgart, Deutschland

Das Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) an der Universität Stuttgart erforscht, entwickelt, appliziert und erprobt, in enger Zusammenarbeit mit der Industrie, Elemente bzw. Technologien aus dem Bereich moderner Fahrzeugkonzepte. Das Institut gliedert sich in die drei Bereiche Kraftfahrwesen, Fahrzeugantriebe und Kraftfahrzeug-Mechatronik. Aufgabe dieser Bereiche ist die Ausarbeitung des Themengebietes im Prüfstandsbetrieb, in Theorie und Simulation.

Schwerpunkte des Kraftfahrwesens sind hierbei die Aerodynamik, Akustik (NVH), Fahrdynamik und Fahrermodellierung, Leichtbau, Sicherheit, Kraftübertragung sowie Energie und Thermomanagement – auch in Verbindung mit hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugkonzepten.

Der Bereich Fahrzeugantriebe widmet sich den Themen Brennverfahrensentwicklung einschließlich Regelungs- und Steuerungskonzeptionen bei zugleich minimierten Emissionen, komplexe Abgasnachbehandlung, Aufladesysteme und -strategien, Hybridsysteme und Betriebsstrategien sowie mechanisch-akustischen Fragestellungen.

Themen der Kraftfahrzeug-Mechatronik sind die Antriebsstrangregelung/Hybride, Elektromobilität, Bordnetz und Energiemanagement, Funktions- und Softwareentwicklung sowie Test und Diagnose.

Die Erfüllung dieser Aufgaben wird prüfstandsseitig neben vielem anderen unterstützt durch 19 Motorenprüfstände, zwei Rollenprüfstände, einen 1:1-Fahrsimulator, einen Antriebsstrangprüfstand, einen Thermowindkanal sowie einen 1:1-Aeroakustikwindkanal.

Die wissenschaftliche Reihe „Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart“ präsentiert über die am Institut entstandenen Promotionen die hervorragenden Arbeitsergebnisse der Forschungstätigkeiten am IVK.

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende
Lehrstuhl Fahrzeugantriebe,
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Jochen Wiedemann
Lehrstuhl Kraftfahrwesen,
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Reuss
Lehrstuhl Kraftfahrzeugmechatronik,
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Katja Nording

Numerische Analyse der dieselmotorischen Gemischbildung, Verbrennung und Emissionsentstehung

 Springer Vieweg

Katja Nording
Stuttgart, Deutschland

Zugl.: Dissertation Universität Stuttgart, 2016

D93

Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart
ISBN 978-3-658-17637-2 ISBN 978-3-658-17638-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-17638-9

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2017

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 Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

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.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

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

Vorwort

Die hier vorliegende Dissertation wurde bei der Daimler AG in Stuttgart Untertürkheim in der Abteilung RD/RPE erstellt und durch Herr Prof. Dr. Michael Bargende vom Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen der Universität Stuttgart betreut.

Herrn Prof. Dr. Michael Bargende danke ich für das Ermöglichten, die Unterstützung und Förderung dieser Arbeit sowie die Übernahme des Hauptreferates. Herrn Prof. Dr. Konstantinos Boulouchos danke ich für das entgegengebrachte Interesse an der Arbeit und die Übernahme des Koreferates.

Dem Teamleiter Herrn Dr. Christian Krüger und dem Abteilungsleiter Herrn Dr. Bernd Krutzsch bin ich sehr dankbar dafür, dass sie mir die Chance gaben, meine Dissertation in dieser Abteilung anzufertigen.

Den Herren Dr. Ulrich Michels, Dr. Galin Nakov und Paul Wenzel danke ich für die gute Einarbeitung zu Beginn meiner Promotionszeit, den Herren Dr. Martin Fritzsche, Dr. Johannes Ernst, Dr. Katsuyoshi Koyanagi und Dr. Matthias Blessing für die gute Zusammenarbeit und die zugrundeliegenden Messungen und Herrn Alexandros Hatzipanagiotou für die zielführenden Gespräche am Ende meiner Promotionszeit.

Besonderer Dank gilt natürlich meiner Familie und meinen Freunden für ihre Geduld und ihr Verständnis während der Anfertigung dieser Arbeit.

Ostfildern

Katja Nording

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
Nomenklatur	XXIII
Kurzfassung	XXVII
Abstract	XXIX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufbau der Arbeit	4
2 Phänomenologie der dieselmotorischen Verbrennung	5
2.1 Düseninnenströmung	5
2.2 Strahlausbreitung	8
2.3 Gemischbildung	17
2.4 Zündung und Verbrennung	20
2.5 Schadstoffbildung	23
3 Stand der Technik der dieselmotorischen Verbrennungssimulation	27
3.1 Strömungsmechanische Grundlagen	27
3.1.1 Erhaltungsgleichungen für turbulente Strömungen	27
3.1.2 Turbulenzmodellierung	31
3.1.3 Die gemittelten Erhaltungsgleichungen	34
3.2 Modellierung der Düseninnenströmung	35
3.2.1 Beschreibung von Mehrphasenströmungen	35
3.2.2 HRIC („High-Resolution Interface-Capturing“)	36
3.2.3 Kavitation	37
3.3 Strahlmodellierung	38
3.3.1 Beschreibung der Gasphase	38
3.3.2 Beschreibung der dispersen Phase	38
3.3.3 Lagrangesches Strahlmodell	39

3.3.4	3D-Euler-Modell	42
3.3.5	ICAS-Modell (1D-Euler-Modell)	43
3.3.6	Strahlausbreitung	45
3.4	Modellierung der Verbrennung und Schadstoffbildung	54
3.4.1	Modellierungsansätze	54
3.4.2	Erhaltungsgleichung des Mischungsbruchs und dessen Varianz	55
3.4.3	Selbstzündung	57
3.4.4	Verbrennung	60
3.4.5	Rußbildung und -oxidation	62
4	Analyse der Datenbasis	65
4.1	Experimentelle Datenbasis	65
4.1.1	Messungen in der Hochdruck-/ Hochtemperaturkammer	65
4.1.2	Strahlkraftmessungen	69
4.1.3	Messungen unter motorischen Randbedingungen	70
4.2	Numerische Analyse entsprechend bisherigem Stand der Technik	75
4.2.1	Ladungswechsel	75
4.2.2	Düseninnenströmung	77
4.2.3	Einspritzung, Verbrennung und Schadstoffbildung	79
5	Detaillierung der Randbedingungen	83
5.1	Diskretisierung des Brennraumes	83
5.1.1	Detaillierte Netze inklusive der Ventiltaschen und -rückstände	83
5.1.2	Einfluss der Netzfeinheit	85
5.2	Strömungsinitialisierung	93
5.2.1	Vorgehensweise zur Projektion des Ladungswechselergebnisses auf das Verbrennungsnetz	93
5.2.2	Einfluss der Strömungsinitialisierung auf Gemischbildung und Verbrennung	94
5.3	Kopplung von Düseninnenströmung und Einspritzstrahl	97
5.3.1	Funktionalität der Kopplungsschnittstelle	97
5.3.2	Analyse des Strahleindringverhaltens in der Hochdruck-/Hochtemperaturkammer	99
5.3.3	Einfluss lokaler Düseneffekte unter motorischen Randbedingungen	111

6 Ergebnisse der Analyse der dieselmotorischen	
Wirkmechanismen	115
6.1 Einfluss der Strömungsinitialisierung	115
6.2 Auswirkung von Düseneffekten auf den Einspritzstrahl	124
7 Zusammenfassung	137
8 Ausblick	141

Abbildungsverzeichnis

1.1	Einflussgrößen und Prozesse der dieselmotorischen Verbrennung.	2
2.1	Standardausprägungen von Sacklochdüsen.	6
2.2	Erläuterung der am Kavitationsprüfstand untersuchten Düseninnenströmung.	7
2.3	Dampfdruckkurve.	7
2.4	Schematische Darstellung von Düseninnenströmung, Strahlausbreitung und Strahl-Wand-Interaktion im Brennraum von Dieselmotoren mit Direkteinspritzung.	8
2.5	Vorstellungen des Primärzerfalls.	11
2.6	Aerodynamische Zerfallsmechanismen.	12
2.7	Konkurrierende Instabilitäten im Katastrophen-Zerfallsregime.	13
2.8	Mögliche Endzustände einer binären Tropfenkollision.	15
2.9	Kollisionsbereiche für binäre Tropfenkollisionen.	15
2.10	Turbulente Dispersionsregimes.	16
2.11	Prinzipbild der Tropfenverdampfung.	18
2.12	Strömungsstrukturen im dieselmotorischen Brennraum.	19
2.13	Exemplarischer Einspritz- und Brennverlauf im Dieselmotor.	21
2.14	Einspritz- und Brennverlauf bei früher und später Verbrennung.	22
2.15	Quellterme für die Rußbildungsprozesse bei $p = 50$ bar und 0% AGR in Abhängigkeit von Oxidatortemperatur und Mischungsbruch.	26
2.16	Quellterme für die Rußabbauprozesse bei $p = 50$ bar und 0% AGR in Abhängigkeit von Oxidatortemperatur und Mischungsbruch.	26
3.1	Diskretisierung von Mehrphasenströmungen am Beispiel der Düseninnenströmung.	36
3.2	Das Tropfenensemble wird durch eine statistische Verteilung beschrieben und durch stochastische Partikel diskretisiert.	40
3.3	Lagrange-Ansatz: Diskretisierung der Verteilungsfunktion.	43
3.4	Euler-Ansatz: Diskretisierung der Verteilungsfunktion.	43
3.5	Berechnungskonzept für die dieselmotorische Einspritzung.	44

3.6	Beispiel einer Gegenstrom-Diffusionsflamme, Projektion der Massenbrüche von Kraftstoff, Sauerstoff und Stickstoff in den Mischungsbruchraum bei Annahme einer nicht-reaktiven Strömung, Burke-Schumann-Lösung der Reaktanden im Mischungsbruchraum für eine reaktive Strömung.	56
3.7	Exemplarische Mischungstafel zur Bestimmung der Korrelation zwischen Temperatur und Mischungsbruch für das PDF-Zündmodell.	59
3.8	Gemischbehandlung beim Mixing-Timescale-Modell und 7-Spezies-PDF-Timescale-Modell.	62
4.1	Geometrie und Hydraulische Eigenschaften der verwendeten Sacklochdüse.	66
4.2	Kombination von Schlieren- und Streulichtmesstechnik an der Hochdruck-/Hochtemperaturkammer.	67
4.3	Auswertung der Schlieren-/Streulicht-Hochgeschwindigkeitsaufnahmen.	68
4.4	Eindringverhalten des Einspritzstrahls in der heißen Kammer bei Variation des Raildrucks.	68
4.5	Messprinzip der Strahlkraftmessung.	69
4.6	Einzyylinder-Forschungsmotor als CAD-Modell.	71
4.7	Einlasskanäle des OM651 mit Position der EKAS-Klappe.	73
4.8	Ergebnisse aus dem Strömungslabor: Drallzahl und Durchflusskennwert über dem EKAS-Klappenwinkel.	73
4.9	Messtechnik am Einzyylinder-Transparentmotor.	74
4.10	Simulationsergebnis des Drallzahlverlaufes während des Ladungswechsels.	76
4.11	Strömungsgeschwindigkeit im Brennraum während der Kompression bei geöffneter bzw. geschlossener Drallklappe.	77
4.12	Netztopologie zur Simulation der Düseninnenströmung.	78
4.13	Geschwindigkeit und turbulente Längenskala für die Sitzwinkelvarianten im Schnitt; Einspritzverlauf und Nadelhubverlauf der drei Sitzwinkelvarianten.	79
4.14	Sektornetz zur Simulation von Einspritzung, Verbrennung und Schadstoffbildung.	80
4.15	λ -Isoflächen während Einspritzung und Verbrennung.	81

5.1	Hexaedervollnetz zur Simulation von Einspritzung, Verbrennung und Schadstoffbildung.	83
5.2	Kombiniertes Hexaeder-/Polyedervollnetz zur Simulation von Einspritzung, Verbrennung und Schadstoffbildung.	84
5.3	Diskretisierungsnetze bei Variation des Aspect Ratio im Düsennahbereich.	85
5.4	Geschwindigkeit, Luftverhältnis, turbulente kinetische Energie und Dissipationsrate bei Variation des Aspect Ratio im Düsennahbereich.	88
5.5	Geschwindigkeit, Luftverhältnis, turbulente kinetische Energie und Dissipationsrate bei Variation der Gesamtparcelanzahl.	89
5.6	Druck und Wärmefreisetzung im Brennraum bei Variation des Aspect Ratio im Düsennahbereich.	90
5.7	Druck und Wärmefreisetzung im Brennraum bei Variation der Gesamtparcelanzahl.	90
5.8	Parcelanzahl pro Diskretisierungszelle bei Variation der Gesamtparcelanzahl.	90
5.9	Diskretisierungsnetze bei Variation der radialen und axialen Auflösung des strahlangepassten Bereiches.	91
5.10	Geschwindigkeit, Luftverhältnis, turbulente kinetische Energie und Dissipationsrate bei Variation der radialen und axialen Auflösung des strahlangepassten Bereiches.	92
5.11	Druck und Wärmefreisetzung im Brennraum bei Variation der radialen und axialen Auflösung des strahlangepassten Bereiches.	93
5.12	Verlauf der Drallzahl, turbulenten kinetischen Energie, Dissipationsrate, Diffusivität während Kompression und Verbrennung.	96
5.13	Druck, Wärmefreisetzung und Diffusivität im Brennraum.	96
5.14	Luftverhältnis λ auf der Schnittfläche A-A (siehe Abbildung 5.2).	96
5.15	Kraftstoffmassenbruch Y_{KS} auf der Schnittfläche A-A (siehe Abbildung 5.2).	96
5.16	Lage des Düsennetzes im Verhältnis zum Brennraumnetz.	97
5.17	Netze für die Simulation von Düsinnenströmung und Einspritzstrahl.	100

5.18	Strömungsgeschwindigkeit und Kavitationsgebiet in der Düse bei der Raildruckvariation des Basispunktes in der heißen Kammer.	101
5.19	Strömungsfeld am Düsenaustritt.	102
5.20	Einfluss der Parcelanzahl N auf die Anzahl der Parcel/Zelle.	104
5.21	Eindringverhalten des Einspritzstrahls in der heißen Kammer bei Variation der Parcelanzahl N	104
5.22	Eindringverhalten des Einspritzstrahls in der heißen Kammer bei Variation der Konstante C_{li}^*	105
5.23	Vergleich der Tropfengrößen bei Variation der Konstante C_{li}^*	105
5.24	Eindringverhalten des Einspritzstrahls in der heißen Kammer bei Variation des turbulenten Dispersionsmodells.	105
5.25	Vergleich der Einspritzstrahlen bei Variation des turbulenten Dispersionsmodells.	105
5.26	Eindringverhalten des Einspritzstrahls in der heißen Kammer bei Variation des Zerfallsmodells.	107
5.27	Vergleich der Einspritzstrahlen bei Variation des Zerfallsmodells.	107
5.28	Eindringverhalten des Einspritzstrahls in der kalten Kammer bei Variation des Raildrucks.	108
5.29	Eindringverhalten des Einspritzstrahls in der heißen Kammer bei Variation des Raildrucks.	108
5.30	Eindringverhalten des Einspritzstrahls in der heißen Kammer bei Variation der Kammertemperatur.	109
5.31	Eindringverhalten des Einspritzstrahls in der heißen Kammer bei Variation der Kammerdichte.	109
5.32	Vergleich des simulierten Strahls mit optischen Aufnahmen.	110
5.33	Einspritzstrahl bei Simulation mit 180°-Sektor.	110
5.34	Zeitlicher Verlauf der Tropfengrößenverteilung für zwei Positionen im Düsenaustritt.	112
5.35	Flüssigkeitsmassenbruch und Luftverhältnis λ während Vor- und Haupteinspritzung.	113
5.36	Druck und Wärmefreisetzung im Brennraum.	113
6.1	Kanalkonzept und Ventilsitzbearbeitung bei Serien- und Nulldrallzylinderkopf.	115
6.2	FSN-NO _x -Trade-Off sowie Druckverlaufsanalyse der Zylinderkopfvarianten.	116

6.3	Strömungsfeldauswertung durch Kreuzkorrelation zweier aufeinanderfolgender Transparentaggregataufnahmen bzw. Simulationsergebnis der Strömungsgeschwindigkeit für Serien- und Nulldrallzylinderkopf.	118
6.4	λ -Isoflächen während Haupt- und Nachverbrennung der Zylinderkopfvarianten.	119
6.5	Transparentaggregataufnahmen der Einspritzung der Zylinderkopfvariation.	120
6.6	Transparentaggregataufnahmen der Vorverbrennung der Zylinderkopfvariation.	120
6.7	Transparentaggregataufnahmen der Hauptverbrennung der Zylinderkopfvariation.	121
6.8	Stromlinien im OT als Resultat der Ladungswechselsimulationen der Zylinderkopfvarianten.	122
6.9	Rußbildungs- und Rußoxidationsrate eines Brennraumsektors der Zylinderkopfvarianten.	123
6.10	Rußbildungs- und Rußoxidationsrate der Zylinderkopfvarianten (als Brennraum-Integral).	123
6.11	Düsengeometrien der Sitzwinkelvarianten der 7-Loch-Injektoren.	124
6.12	Ruß und C_d (gespiegelt) über dem Sitzwinkel.	125
6.13	Transparentaggregatergebnisse der Sitzwinkelvariation der 7-Loch-Injektoren.	126
6.14	Transparentaggregataufnahmen (mit offener Blende) der Vor- und Haupteinspritzung der Sitzwinkelvariation der 7-Loch-Injektoren.	127
6.15	Kalt-Kammer-Aufnahmen der Haupteinspritzung der Sitzwinkelvariation der 7-Loch-Injektoren.	128
6.16	Aus Kalt-Kammer-Aufnahmen ermittelter Strahlkegelwinkel der Haupteinspritzung der Sitzwinkelvariation der 7-Loch-Injektoren.	128
6.17	Höhenwinkelvermessung der Sitzwinkelvariation der 7-Loch-Injektoren.	129
6.18	Einfluss des Höhenwinkels auf den Partikel- NO_x -Trade-Off.	129
6.19	Schnitt durch die CAD-Geometrien der „mittleren Düsenlöcher“ der Sitzwinkelvarianten.	130
6.20	λ -Isoflächen während Haupt- und Nachverbrennung der Sitzwinkelvarianten der 7-Loch-Injektoren.	132

6.21	Rußbildungs- und Rußoxidationsrate eines Brennraumsektors der Sitzwinkelvarianten der 7-Loch- Injektoren.	133
6.22	Simulierte Strahleindringtiefe der Sitzwinkelvarianten der 7-Loch-Injektoren.	134
6.23	Simulierter massengewichteter Höhenwinkel der Sitzwinkelvarianten der 7-Loch-Injektoren.	134
6.24	Schematische Darstellung der Zonenlambda-Definition.	135
6.25	Luftverhältnis der Sitzwinkelvarianten der 7-Loch- Injektoren in Mulde bzw. Quetschspalt.	135

Tabellenverzeichnis

3.1	Koeffizienten des Standard- k - ϵ -Turbulenzmodells.	32
4.1	Thermodynamische Zustände in der kalten und heißen Kammer zur Analyse des Einspritzstrahls.	66
4.2	Motordaten und hydraulische Eigenschaften der Mini- Sacklochdüse.	71
4.3	Versuchsbedingungen am Einzylindermotor.	72
4.4	An Einzylinder- und Transparentmotor eingestellter Betriebspunkt.	75
5.1	Netzvarianten zur Simulation von Einspritzung, Verbrennung und Schadstoffbildung.	86
5.2	Simulationsmatrix zur Validierung der Einspritzstrahlmodelle. .	100
5.3	Netze und entsprechende Auswahl von Zeitschritt und Parcelanzahl zur Analyse des Strahleindringverhaltens in der Hochdruck-/Hochtemperaturkammer.	103
6.1	Vergleich von gemessener und simulierter Rußemission der Zylinderkopfvarianten.	117
6.2	Analyse der CAD-Daten des „mittleren Düsenlochs“.	130
6.3	Vergleich von gemessener und simulierter Rußemission der Sitzwinkelvarianten der 7-Loch-Injektoren.	131

Abkürzungsverzeichnis

0D	nulldimensional
1D	eindimensional
2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
AGR	Abgasrückführung
BPF	Bandpassfilter
BR	Baureihe
BV	Brennverlauf
CAD	Computer-Aided Design (engl.)
CDM	Continuous Droplet Model (engl.)
CFD	Computational Fluid Dynamics (engl.)
CFL	Courant-Friedrichs-Lewy(-Bedingung)
chem.	chemisch
DDM	Discrete Droplet Model (engl.)
DIS	Düseninnenströmung
Disp.	Dispersion
DRS	Digital Rate Shaping (engl.)
DrzOT	Drallzahl im oberen Totpunkt
EKAS	Einlasskanalabschaltung
EV	Einspritzverlauf
FSN	Filter Smoke Number (engl.)
GGW	Gleichgewicht
H50	Lage des 50%-Umsatzpunktes (aus dem Heizverlauf)
HD	hydraulischer Durchfluss
HE	Haupteinspritzung; hydroerosiv
HRIC	High-Resolution Interface-Capturing (engl.)

ICAS	Interactive-Cross-Section-Averaged-Spray (engl.)
init.	initialisiert
KL	Laserextinktionsfaktor
konv.	konventionell
korr.	korrigiert
KW	Kurbelwinkel
L2F	Laser 2-Focus Velocimeter (engl.)
LA	Lochanzahl
lam.	laminar
LIEF	Laser-induced Exciplex Fluorescence (engl.)
LW	Ladungswechsel
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NFZ	Nutzfahrzeug
NIR	Infrarotlicht ("nahes Infrarot")
NSK	NO _x -Speicherkatalysator
OM651	Modellbezeichnung des Vierzylinder-Reihendieselmotors
OT	oberer Totpunkt
PDF	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (engl. "Probability Density Function")
physik.	physikalisch
PIV	Particle Image Velocimetry (engl.)
PKW	Personenkraftwagen
R.-D.	Reitz-Diwakar
RANS	Reynolds-averaged Navier-Stokes (engl.)
SB	Spritzbeginn
SCR	selektive katalytische Reduktion (engl. "Selective Catalytic Reduction")
SMD	Sauter Mean Diameter (engl.)
SMR	Sauter Mean Radius (engl.)