

# Laserbasierte Untersuchung innermotorischer Prozesse

Vom Fachbereich Maschinenbau  
an der Technischen Universität Darmstadt

zur

Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

**Elias Baum, M.Sc.**

aus Arlesheim

Berichterstatter:	Prof. Dr. rer. nat. A. Dreizler
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. rer. nat. V. Sick
Tag der Einreichung:	22. August 2013
Tag der mündlichen Prüfung:	05. November 2013

Darmstadt 2013

D17

## **Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

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

### **Baum, Elias:**

Laserbasierte Untersuchung innermotorischer Prozesse

ISBN 978-3-86376-068-7

### **Alle Rechte vorbehalten**

1. Auflage 2013

© Optimus Verlag, Göttingen

URL: [www.optimus-verlag.de](http://www.optimus-verlag.de)

Printed in Germany

Papier ist FSC zertifiziert (holzfrei, chlorfrei und säurefrei,  
sowie alterungsbeständig nach ANSI 3948 und ISO 9706)

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes in Deutschland ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

# Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen meiner fünfjährigen Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Reaktive Strömungen und Messtechnik an der Technischen Universität Darmstadt.

Mein besonderer Dank gilt dem Fachgebietsleiter Herrn Prof. Dr. rer. nat. Andreas Dreizler für die Möglichkeit zur Promotion und das mir entgegengebrachte Vertrauen in den letzten Jahren. Neben den ausgezeichneten Rahmenbedingungen waren auch die zahlreichen Diskussionen, Ideen und Vorschläge immer eine Bereicherung. Letztendlich trug die uneingeschränkte Unterstützung in all den Jahren nicht unwesentlich zu dem Gelingen der Arbeit bei.

Weiterhin gilt mein aufrichtiger Dank Prof. Dr. rer. nat. Volker Sick von der University of Michigan für die Übernahme des Koreferats und das damit zum Ausdruck gebrachte Interesse an meiner Arbeit. Nicht oft ergibt sich die Möglichkeit, dass man über die gesamte Zeit der Arbeit in so engem Kontakt steht. Dies war eine Bereicherung.

Bei Herrn Dr. Christof Surrman und Herrn Dr. Dirk Michaelis von der LaVision GmbH möchte ich mich für die gemeinsame Arbeit bedanken. Manchmal sind es glückliche Fügungen, dass die richtigen Personen zur richtigen Zeit zusammenkommen. Die daraus entstandenen Weiterentwicklungen haben großes Potential für ein weiteres Verständnis der innermotorischen Prozesse. Gleiches gilt für Dr. Sven Grundmann (DDC, TU Darmstadt). Manchmal macht ein kurzer Nebensatz bei einem Bier den Unterschied.

Meinen Kollegen am Fachgebiet, genauer gesagt an den Fachgebieten RSM und EKT, möchte ich für die großartige Arbeitsatmosphäre danken. Neben meinen unzähligen Bürokollegen: Desislava Dimitrova, Frederik Fuest, Thilo Kissel, Norman Fuhrmann, Kai Aschmoneit und Werner Gumprich und den Kollegen aus erster Stunde Anja Ketelheun und Thomas Breitenberger möchte ich vor allem Philipp Trunk, Markus Mann und Jens Hermann danken, mit welchen ich auf dienstlichen und privaten Reisen viele tolle Erlebnisse verbinde. Andreas Ludwig und Simone Schönfelder danke ich für die Unterstützung im Labor. Stellvertretend für die Werkstatt danke ich Roland Berntheisel für die tolle Zeit, die Diskussionen und Reibereien, welche letztendlich nicht unwesentlich für den erfolgreichen und zügigen Aufbau des Prüfstands verantwortliche waren.

Ein besonderer Dank gilt Brian Peterson. Diese Arbeit ist in großen Stücken durch unseren gegenseitiges Streben nach einem Verständnis der innermotorischen Prozesse inspiriert. Ich hätte mir keinen besseren Weggefährten für diese Zeit, sowohl im Labor wie auch Privat, vorstellen können. Auch Guido Künne möchte ich als langjähriger Bürokollegen an dieser Stelle gesondert herausstellen. In beiden sehe ich nach der gemeinsam verbrachte Zeit mehr Freunde wie Kollegen.

Aus tiefstem Herzen danke ich meiner Familie und besonders meiner Mutter Sandra Baum-Meyer für die uneingeschränkte Unterstützung während meiner Schul- und Studienzeit und das mir entgegengebrachte Vertrauen in all den Jahren. Ohne sie wäre mir dieser Weg verwehrt geblieben.

Zum Abschluss gebührt der Dank meiner Freundin Sonja Morat, die in den letzten Jahren viele Entbehrungen still ertragen hat und während meiner Promotion eine unersätzbliche Stütze war.

Darmstadt, im August 2013

Elias Baum



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Stand der Forschung . . . . .	3
1.2.1	Geschwindigkeitsmessung . . . . .	3
1.2.2	Innermotorische Verbrennung . . . . .	5
1.3	Zielsetzung und Struktur der Arbeit . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>8</b>
2.1	Grundlagen des Verbrennungsmotors . . . . .	8
2.1.1	Hubkolbenmotor mit Fremdzündung . . . . .	9
2.1.2	Geometrische Eigenschaften . . . . .	11
2.1.3	Thermodynamik der innermotorischen Verbrennung . . . . .	12
2.2	Beschreibung turbulenter Strömungen . . . . .	14
2.2.1	Erhaltungsgleichungen . . . . .	14
2.2.2	Eigenschaften der Turbulenz . . . . .	15
2.3	Grundlagen turbulenter Verbrennung . . . . .	19
2.3.1	Reaktionskinetik . . . . .	19
2.3.2	Beschreibung laminarer Vormischflammen . . . . .	21
2.3.3	Struktur turbulenter Vormischflammen . . . . .	23
2.3.4	Propagation von Vormischflammen . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Motorprüfstand</b>	<b>28</b>
3.1	Prüfstand . . . . .	28
3.1.1	Antrieb . . . . .	28
3.1.2	Massenausgleich . . . . .	29
3.1.3	Zündung . . . . .	31
3.2	Medienversorgung . . . . .	31
3.2.1	Ansaugluftkonditionierung . . . . .	31
3.2.2	Kraftstoffversorgung . . . . .	32
3.2.3	Synthetische Abgasrückführung . . . . .	33
3.3	Instrumentierung . . . . .	35
3.4	Zylinderkopf . . . . .	37
3.5	Betriebspunkte . . . . .	38
<b>4</b>	<b>Messmethoden</b>	<b>39</b>
4.1	Particle Image Velocimetry . . . . .	39
4.1.1	Partikel . . . . .	40
4.1.2	Abbildung . . . . .	42

4.1.3	Stereoskopisches PIV . . . . .	43
4.1.4	Tomographisches PIV . . . . .	45
4.1.5	Gradientenbestimmung . . . . .	48
4.1.6	Identifikation von Strukturen . . . . .	50
4.2	Chemilumineszenz . . . . .	53
4.3	Laserinduzierte Fluoreszenz . . . . .	54
4.3.1	Grundlagen . . . . .	55
4.3.2	Anwendung unter motorischen Bedingungen . . . . .	56
<b>5</b>	<b>Strömungsfeldmessungen im Verbrennungsmotor</b>	<b>59</b>
5.1	Experimentelle Aufbauten und Versuchsdurchführung . . . . .	60
5.1.1	Allgemein . . . . .	60
5.1.2	Betriebspunkte . . . . .	61
5.1.3	Particle Image Velocimetry . . . . .	63
5.1.4	Stereoskopisches PIV . . . . .	66
5.1.5	Volumetrisches PIV . . . . .	67
5.1.6	Vektorberechnung . . . . .	68
5.1.7	Synchronisation und variables $\Delta t$ . . . . .	70
5.2	Verifikation der Ergebnisse . . . . .	72
5.2.1	Allgemeine Fehlerabschätzung . . . . .	72
5.2.2	Fehlerabschätzung Tomo-PIV . . . . .	74
5.2.3	Standardabweichung der Mittelwertschätzung . . . . .	80
5.2.4	Vergleichbarkeit der Geschwindigkeitsmessungen . . . . .	85
5.2.5	Gleichlaufschwankungen und zeitaufgelöstes PIV . . . . .	90
5.3	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	91
5.3.1	Mittleres Strömungsfeld . . . . .	92
5.3.2	Fluktuationen der Brennraumströmung . . . . .	97
5.3.3	Einfluss der Drehzahl . . . . .	102
5.3.4	Kurbelwinkel-aufgelöstes Geschwindigkeitsfeld . . . . .	107
5.3.5	Struktur der instantanen Brennraumströmung . . . . .	113
<b>6</b>	<b>Untersuchung der innermotorischen Flammenausbreitung</b>	<b>124</b>
6.1	Experimenteller Aufbau und Versuchsdurchführung . . . . .	125
6.1.1	Zeitaufgelöstes stereoskopisches PIV . . . . .	125
6.1.2	Zeitaufgelöste Zwei-Ebenen-OH-PLIF . . . . .	127
6.1.3	Zeitaufgelöstes Flammeneigenleuten . . . . .	130
6.1.4	Versuchsdurchführung . . . . .	130
6.1.5	Betriebspunkt . . . . .	132
6.2	Datenauswertung und Bestimmung der Flammenausbreitung . . . . .	134
6.2.1	Konvektionsgeschwindigkeit . . . . .	135
6.2.2	Datenaufbereitung der OH-PLIF-Aufnahmen . . . . .	135
6.2.3	Oberflächenrekonstruktion und Bestimmung des lokalen Normalen- vektors . . . . .	138
6.2.4	Ermittlung der Eigengeschwindigkeit im Raum . . . . .	138
6.2.5	Bestimmung der integralen Eigengeschwindigkeit . . . . .	140
6.3	Verifikation der Ergebnisse . . . . .	142

6.3.1	Verifikation des konvektiven Transports . . . . .	142
6.3.2	Einfluss der Detektion auf die Reaktionszone . . . . .	147
6.3.3	Einfluss der Krümmung . . . . .	150
6.3.4	Fehlerabschätzung der Eigengeschwindigkeit . . . . .	151
6.4	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	152
6.4.1	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit . . . . .	153
6.4.2	Mittlere Flammenposition . . . . .	154
6.4.3	Integrale Eigengeschwindigkeit . . . . .	154
6.4.4	Lokale Eigengeschwindigkeit . . . . .	157
6.5	Bewertung und Ausblick . . . . .	165
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>167</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>170</b>

# Nomenklatur

Große lateinische Buchstaben		Einheit
$A$	Fläche	$\text{m}^2$
	Präexponentieller Faktor des Arrhenius-Ansatzes	spezifisch
$\mathcal{A}$	Anregung allg.	–
$A_{ki}$	Einstein-Koeffizient für die spontane Emission	$\text{m}^2 \text{J}^{-1} \text{s}^{-2}$
$A_T$	Turbulente Flammenoberfläche	$\text{m}^2$
$B_{ik}$	Einstein-Koeffizient für die stimulierte Absorption	$\text{m}^2 \text{J}^{-1} \text{s}^{-2}$
$C_k$	Molare Konzentration der Spezies $k$	$\text{mol m}^{-3}$
$D$	Diffusionskoeffizient	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
	Durchmesser	$\text{m}$
$\mathcal{D}$	Detektion allg.	–
$E$	Energetischer Zustand	$\text{J}$
	Räumliche Intensitätsverteilung	–
$\mathcal{E}$	Emission allg.	–
$E_A$	Aktivierungsenergie	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
$F$	Akkumulierte Verteilungsfunktion	–
$F_f$	Detektierter Anteil der Fluoreszenz	–
$G$	Wahrscheinlichkeit	–
$G_\sigma$	Gaußscher Kernel	–
$H$	Enthalpie	$\text{J}$
$H_U$	Unterer Heizwert	$\text{J}$
$I$	Strom	$\text{A}$
	Intensität	–
$L$	Massenverhältnis	–
$\mathcal{L}$	Charakteristische Längenskala	$\text{m}$
$M$	Mittlere molare Masse	$\text{kg mol}^{-1}$
$M_k$	Molare Masse der Spezies $k$	$\text{kg mol}^{-1}$
$M_0$	Abbildungsmaßstab	–
$N$	Anzahl der Zyklen	–
	Anzahl der Kameras	–
	Anzahl der Teilchen	–
$N_g$	Anzahl der Geisterpartikel	–
$N_{\text{ppp}}$	Anzahl der Partikel pro Pixel	–
$N_R$	Anzahl der Elementarreaktionen	–
$N_p$	Anzahl der Partikel	–
$N_S$	Anzahl der Spezies	–
$P$	Leistung	$\text{W}$
	Druckterm	$\text{s}^{-1}$

$\mathcal{P}$	Produktionsterm allg.	spezifisch
$P_k$	Dissoziationskonstante der Spezies $k$	$s^{-1}$
$Q$	Wirbelkriterium ( $Q$ -Kriterium)	$s^{-2}$
$\dot{Q}$	Brennverlauf	$J \text{ rad}^{-1}$
$Q_k$	Quenching-Konstante der Spezies $k$	$s^{-1}$
$R$	Spezifische Gaskonstante	$J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$\mathcal{R}$	Universelle Gaskonstante	$J \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$R_{ij}$	Autokovarianz	–
$T$	Temperatur	K
$\mathcal{T}$	Transportterm allg.	spezifisch
$S_{ij}$	Deformationsgeschwindigkeitstensors	$s^{-1}$
$U$	Innere Energie	J
	Spannung	V
$\mathcal{U}$	Charakteristische Geschwindigkeit	$\text{m s}^{-1}$
$V$	Volumen	$\text{m}^3$
$ V $	Geschwindigkeitsmagnitude	$\text{m s}^{-1}$
$V_{k,i}$	Diffusionsgeschwindigkeit der Spezies $k$ in die Richtung $i$	$\text{m s}^{-1}$
$W$	Arbeit	W
$X_k$	Stoffmengenanteil der Spezies $k$	–
$Y_k$	Massenanteil der Spezies $k$	–

**Kleine lateinische Buchstaben**

**Einheit**

$b$	Bohrung	m
$\bar{c}$	Mittlere Kolbengeschwindigkeit	$\text{m s}^{-1}$
$c_v$	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen	$J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$c_p$	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	$J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$d_i$	Disparität in die Raumrichtung $i$	m
$f$	Brennweite	m
$f_B$	Boltzmann-Fraktion	–
$f_0$	Grenzfrequenz	$s^{-1}$
$f_{\#}$	Blendenzahl	–
$g_i$	Gravitation in die Richtung $i$	$\text{m s}^{-2}$
$h$	Hub	m
	Plancksches Wirkungsquantum	J s
$h_U$	Spezifischer Heizwert	$J \text{ kg}^{-1}$
$k$	Turbulente kinetische Energie	$\text{m}^2 \text{ s}^{-2}$
	Geschwindigkeitskoeffizient des Arrhenius-Ansatzes	–
	Krümmung	m
$l$	Pleuellänge	m
$l_{\eta}$	Kolmogorov-Länge	m
$l_0$	Integrale Länge	m
$m$	Masse	kg
$\dot{m}$	Massenstrom	$\text{kg s}^{-1}$
$n$	Drehzahl	$s^{-1}$
	Polytropenexponent	–
$n_i$	Anteil des Normalenvektors in die Richtung $i$	–

## Nomenklatur

$p$	Druck	bar
$p(\varphi)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Größe $\varphi$	inverse Einheit
$p_i$	Indizierter Mitteldruck	bar
$r$	Radius	m
	Pleuelradius	m
$r_j$	Reaktionsrate einer Elementarreaktion $j$	$\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$
$s$	Kolbenweg	m
$\dot{s}$	Kolbengeschwindigkeit	$\text{m s}^{-1}$
$s_a$	Absolute Flammengeschwindigkeit	$\text{m s}^{-1}$
$s_c$	Umsatzgeschwindigkeit	$\text{m s}^{-1}$
$s_d$	Versatzgeschwindigkeit	$\text{m s}^{-1}$
$s_{ij}$	Fluktuierender Anteil des Deformationsgeschwindigkeitstensors	$\text{s}^{-1}$
$s_L$	Laminare Flammengeschwindigkeit	$\text{m s}^{-1}$
$s_T$	Turbulente Flammengeschwindigkeit	$\text{m s}^{-1}$
$t$	Zeit	s
$u$	Spezifische innere Energie	$\text{J kg}^{-1}$
$u_i$	Geschwindigkeit (in Richtung $i$ )	$\text{m s}^{-1}$
$w_i$	Geschwindigkeit eines Punktes an der Flammenoberfläche $\Theta$	$\text{m s}^{-1}$
$w_{ij}$	Wichtungsfunktion	–
$x$	Umgesetzter Massenanteil	–
$x_i$	Kartesische Koordinaten $(x, y, z)$	m

### Große griechische Buchstaben Einheit

$\Gamma$	Spektrales Überlappungsintegral	–
$\Gamma_1$	Rotationskriterium	–
$\Delta_{\text{diff}}$	Abstand zwischen zwei Konturen in Normalenrichtung	m
$\Delta h_m$	Spezifische Reaktionswärme	$\text{J kg}^{-1}$
$\Delta \dot{m}$	Massendifferenz Kolben (Blow-By)	$\text{kg s}^{-1}$
$\Delta_n$	Abstand in Normalenrichtung	m
$\Delta p$	Druckdifferenz	bar
$\Delta t$	Zeitlicher Abstand	s
$\Delta u_i$	Geschwindigkeitsdifferenz in die Richtung $i$	$\text{m s}^{-1}$
$\Delta U$	Betrag der Geschwindigkeitsdifferenz	$\text{m s}^{-1}$
$\Delta x$	Abstand in eine Raumrichtung	m
$\Delta z$	Lichtschnittdicke	m
	Differenz in $z$ -Richtung	m
$\Theta$	Flammenoberfläche	$\text{m}^2$
$\Omega$	Raumwinkel	°
$\Omega_{ij}$	Rotationstensor	$\text{s}^{-1}$
$\Psi$	Wellenfunktion	–

### Kleine griechische Buchstaben Einheit

$\alpha$	Winkel	°
$\alpha_p$	Koeffizient der Druckabhängigkeit von $s_L$	–
$\alpha_T$	Koeffizient der Temperaturabhängigkeit von $s_L$	–
$\beta$	Winkel	°

$\delta$	Flammendicke	m
$\delta_{ij}$	Kronecker-Symbol	—
$\delta(z)$	Schärfentiefe	m
$\gamma$	Winkel	°
$\eta$	Umwandlungseffizienz	—
$\epsilon$	Kompressionsverhältnis	—
	Transmissionseffizienz	—
$\varepsilon$	Dissipation	W
$\varepsilon_{ijk}$	Alternierender Operator	—
$\gamma$	Verhältnis der spezifischen Wärme	—
$\kappa$	Isentropenexponent	—
$\lambda$	Brennstoff-Luft-Verhältnis	—
	Wärmeleitfähigkeit	W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
	Wellenlänge	nm
	Kontrastparameter	—
$\mu$	Dynamische Viskosität	kg s <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>
	Relaxationsparameter	—
	Reduzierte Masse	—
$\nu$	Kinematische Viskosität	m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
$\nu'_k$	Stöchiometrischer Koeffizient der Eduktspezies $k$	—
$\nu''_k$	Stöchiometrischer Koeffizient der Produktspezies $k$	—
$\sigma$	Standardabweichung	spezifisch
$\sigma_{km}$	Stoßquerschnitt	m <sup>2</sup>
$\theta$	Kurbelwinkel	°
$\rho$	Dichte	kg m <sup>-3</sup>
$\tau$	Zeitspanne	s
	Rotationsdauer	s
$\tau_\eta$	Rotationsdauer der Kolmogorov-Skalen	s
$\tau_{ij}$	Stress-Tensor	kg s <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>
$\tau_0$	Zeitkonstante	s
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit	rad s <sup>-1</sup>
$\omega_i$	Wirbelstärke um die Achse $i$	s <sup>-1</sup>
$\dot{\omega}_k$	Chemischer Quellterm einer Spezies $k$	kg m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup>
$\varphi$	Beliebige Größe	spezifisch

**Tiefgestellte Indizes**

A	Flächenbezogen
B	Brennstoff
b	Rückwärtsreaktion
C	Chemisch
c	Kompression
cr	Feuersteg
cyl	Brennraum
e	Elektronischer Zustand
eq	Gleichgewichtszustand
F	Flamme

f	Gefuerter Motorbetrieb
	Kontinuierliche Phase
f	Vorwärtsreaktion
<i>h</i>	Hub
ign	Zündung
in	Einlassseite
interp	Interpoliert
L	Luft
	Laminar
m	Geschleppter Motorbetrieb
max	Maximum
min	Minimum
norm	Normiert
out	Auslassseite
p	Disperse Phase
<i>r</i>	Rotatorischer Zustand
rel	Relativ
st	Stöchiometrie
T	Turbulent
th	Thermisch
<i>V</i>	Verlust
<i>v</i>	Vibronischer Zustand
zu	Zugeführt
0	Ausgangszustand
$\infty$	Umgebung

### Hochgestellte Indizes

---

b	Verbrannt
u	Unverbrannt
'	Ausgangszustand
	Ableitung
	Fluktuation
"	Endzustand

### Operatoren und Symbole

---

$\hat{H}$	Hamiltonoperator
$\hat{\cdot}$	Oberflächengemittelt
$\overline{\cdot}$	Zeitgemittelt
$\langle \cdot \rangle$	Phasengemittelt
$(\cdot)^*$	Übergangskomplex
$\tilde{\cdot}$	Approximiert
	Räumlich gefiltert
$ \cdot $	Betrag
$\ \cdot\ $	Frobeniusnorm

---

**Dimensionslose Kennzahlen**


---

<i>Da</i>	Damköhler-Zahl
<i>Ka</i>	Karlovitz-Zahl
<i>Le</i>	Lewis-Zahl
<i>Ma</i>	Mach-Zahl
<i>Re</i>	Reynolds-Zahl

**Abkürzungen**


---

AGR	Abgasrückführung
AÖ	Auslass öffnet
AS	Auslass schließt
CAD	Computer-Aided Design
CL	Chemilumineszenz
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
CNG	Compressed Natural Gas
DNS	Direkte Numerische Simulation
DZ	Diffusionszone
EÖ	Einlass öffnet
ES	Einlass schließt
ETU	Engine Timing Unit, Motorsteuergerät
FPGA	Field Programmable Gate Array
IRO	Intensified Relay Optic, dt.: Linsengekoppelter Bildverstärker
KV	Kontrollvolumen
KW	Kurbelwinkel
LIF	Laserinduzierte Fluoreszenz
LDA	Laser-Doppler-Anemometrie
LES	Large Eddy Simulation
HR-PIV	Hochauflösendes PIV
HS-PIV	Zeitaufgelöstes PIV
nZOT	Nach Zünd-OT
NURBS	Non-Uniform Rational B-Spline
OT	Oberer Totpunkt
OZ	Oxidationszone
PIV	Particle Image Velocimetry
PLIF	Planare Laserinduzierte Fluoreszenz
RANS	Reynolds Averaged Navier Stokes
RZ	Reaktionszone
Stereo-PIV	Stereoskopisches PIV
Tomo-PIV	Tomographisches PIV
UT	Unterer Totpunkt
UV	Ultraviolett
vZOT	Vor Zünd-OT
ZZP	Zündzeitpunkt