

ATZ/MTZ-Fachbuch

Erich Hoepke
Stefan Breuer *Hrsg.*



Nutzfahrzeug- technik

Grundlagen · Systeme · Komponenten

7. Auflage

 Springer Vieweg

ATZ/MTZ-Fachbuch

Die komplexe Technik heutiger Kraftfahrzeuge und Motoren machen einen immer größer werdenden Fundus an Informationen notwendig, um die Funktion und die Arbeitsweise von Komponenten oder Systemen zu verstehen. Den raschen und sicheren Zugriff auf diese Informationen bietet die regelmäßig aktualisierte Reihe ATZ/MTZ-Fachbuch, welche die zum Verständnis erforderlichen Grundlagen, Daten und Erklärungen anschaulich, systematisch und anwendungsorientiert zusammenstellt.

Die Reihe wendet sich an Fahrzeug- und Motoreningenieure sowie Studierende, die Nachschlagebedarf haben und im Zusammenhang Fragestellungen ihres Arbeitsfeldes verstehen müssen und an Professuren und Dozenten an Universitäten und Hochschulen mit Schwerpunkt Kraftfahrzeug- und Motorentechnik. Sie liefert gleichzeitig das theoretische Rüstzeug für das Verständnis wie auch die Anwendungen, wie sie für Gutachter, Forscher und Entwicklungsingenieure in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie bei Dienstleistern benötigt werden.

Erich Hoepke · Stefan Breuer (Hrsg.)
Wolfgang Appel · Hermann Brähler
Ulrich Dahlhaus · Thomas Esch
Stephan Kopp · Bernd Rhein

Nutzfahrzeugtechnik

Grundlagen, Systeme, Komponenten

7., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 579 Abbildungen und 35 Tabellen

PRAXIS

 Springer Vieweg

Herausgeber
Erich Hoepke
techn. Journalist und Fachautor
Weinheim
Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Stefan Breuer
Hochschule Bochum
Deutschland

ISBN 978-3-8348-1795-2
DOI 10.1007/978-3-8348-2224-6

ISBN 978-3-8348-2224-6 (eBook)

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

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2013

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.

Umschlagbild: Daimler AG, Designstudie Neuer Actros

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media www.springer-vieweg.de

Vorwort

Das vorliegende Buch versucht die ganze Nutzfahrzeugtechnik zusammenhängend in einem Buch darzustellen. Dabei steht das Verständnis des Gesamtfahrzeugs im Vordergrund. Der Leser soll über das Zusammenspiel von Einsatzzweck, gesetzlichen Vorgaben, Fahrphysik und den daraus folgenden Nutzfahrzeugkonzepten genauso informiert werden, wie über die Technik der einzelnen Komponenten mit welchen die geforderte Aufgabe dargestellt werden soll. Diese strategische Betrachtung gewinnt zunehmend an Bedeutung, da sich auch in der Nutzfahrzeugtechnik mehr und mehr ein modulares Fahrzeugdesign durchsetzt. Verschiedenste Fahrzeugtypen werden aus einem Basissystem zusammengesetzt, was eine sehr große Typenvielfalt ermöglicht, von einzelnen Baugruppen aber exakt definierte Eigenschaften fordert. Betrachtet man den Entstehungsprozess eines Nutzfahrzeugs, taucht eine zweite Schnittstelle auf, denn die meisten Nutzfahrzeuge verlassen als so genannte Fahrgestelle den Fahrzeughersteller und werden erst bei Spezialbetrieben mit dem nutzbringenden Aufbau versehen. Dabei ist es wichtig, dass der Nutzfahrzeughersteller über den späteren Verwendungszweck des Fahrzeugs informiert ist, genau so muss aber auch der Aufbauhersteller das Basisfahrzeug mit allen Eigenschaften kennen. Dieses bedingt klare Systemgrenzen und ein übergreifendes Verständnis der Fahrzeugtechnik. Das Betrachten des Gesamtfahrzeugs verursacht, dass an manchen Stellen Abgrenzungen getroffen werden müssen und der interessierte Leser auf tiefere Fachliteratur verwiesen wird.

Die Nutzfahrzeugtechnik basiert auf den gleichen physikalischen Gegebenheiten wie die Technik der Personenkraftwagen. Durch den unterschiedlichen Einsatzzweck unterscheidet sie sich heute aber grundlegend von der Technik im Pkw. Höhere Betriebsgewichte erfordern Fremdkraftbremsanlagen und Dauerbremseinrichtungen, der Forderung möglichst viel zu transportieren stehen gesetzliche Restriktionen entgegen, was das Aussehen von Nutzfahrzeugen maßgeblich beeinflusst. Pkws bleiben in ihren Abmessungen und Gewichten weit von diesen Beschränkungen entfernt und haben damit in der Formgebung wesentlich mehr Freiheitsgrade. Der Einsatzzweck ist nahezu ausnahmslos rational gesteuert, emotionale Argumente, wie zum Beispiel „Freude am Fahren“ zählen beim Nutzfahrzeug wenig. Eine hohe Verfügbarkeit und niedrige Betriebskosten zählen beim Nutzfahrzeug deutlich mehr. Fernverkehrs-Lastzüge können in einem Jahr bis zu 200.000 km zurücklegen. Gelingt es durch Innovationen in der Antriebstechnik einen Liter

Kraftstoff auf 100 km zu sparen, bedeutet das für einen solchen Lkw 2000 Liter Kraftstoff weniger Verbrauch. Das heißt, dass sich kostspielige Maßnahmen am Motor viel schneller amortisieren als bei einem PKW. Dieser Tatsache trägt die Antriebstechnik in der Nutzfahrzeugtechnik Rechnung, weshalb sich Triebwerke für ein Nutzfahrzeug deutlich von denen eines Pkws unterscheiden.

In diesem Buch wird in 8 Kapiteln die Nutzfahrzeugtechnik vorgestellt. Die ersten drei Kapitel beschäftigen sich mit den rechtlichen Vorgaben, der Fahrmechanik und der Konzeption von Nutzfahrzeugen. Ab dem vierten Kapitel werden die einzelnen Komponenten, wie das Fahrgestell, die Aufbauten, der Motor und das Getriebe vorgestellt. Das achte Kapitel behandelt die immer wichtiger werdende Elektrik und Elektronik.

Neben verschiedenen Aktualisierungen sind in dieser Auflage Erweiterungen zur Elektronik und der Themenbereich der alternativen Antriebe im Nutzfahrzeug aufgenommen worden.

Das Team der Autoren besteht aus Herrn Wolfgang Appel (Daimler AG), Herrn Hermann Brähler (Technische Fachschule Fulda), Herrn Ulrich Dahlhaus (Freudenberg), Herrn Prof. Thomas Esch (FH Aachen), Herrn Stephan Kopp (MAN Nutzfahrzeuge) und Herrn Bernd Rhein (BPW-Bergische Achsen), sowie den Herausgebern Herrn Erich Hoepke (Publizist) und Herrn Prof. Stefan Breuer (HS Bochum). Allen Autoren sei an dieser Stelle für ihre Mitarbeit gedankt. Weiterhin gilt unser Dank auch den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Verlags Springer Vieweg, die zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben.

Velbert und Weinheim, im Juli 2012

Stefan Breuer und Erich Hoepke

Inhaltsverzeichnis

Autorenverzeichnis	XV
Formelzeichen	XVII
1 Einführung in die Nutzfahrzeugtechnik	1
1.1 Transportaufgabe	1
1.2 Entwicklungsschritte des Nutzfahrzeugs	3
1.2.1 Einfluss von Rahmenbedingungen	5
1.2.2 Antrieb und Fahrleistung	7
1.2.3 Elektronik gewinnt stetig an Bedeutung	8
1.2.4 Ausblick	9
1.3 Rechtliche Grundlagen, Vorschriften, Normen	11
1.3.1 Rechtliche Grundlagen	11
1.3.2 Nationale Normen, Vorschriften und Richtlinien	13
1.3.3 Internationale Richtlinien	15
1.3.4 Fahrzeugbenennungen	19
1.3.5 Allgemeine Abmessungen	19
1.4 Lastkraftwagenangebot	21
1.4.1 Typenbezeichnung von Lastkraftwagenfahrgestellen	21
1.4.2 Motoranordnungen	23
1.4.3 Lastkraftwagenangebot nach Gewichtsklassen	24
1.5 Entwicklungsschwerpunkte und künftige Konzepte	29
Literaturverzeichnis	35

2	Fahrmechanik	37
2.1	Kraftbedarf eines Nutzfahrzeugs	37
2.1.1	Beschleunigungswiderstand	40
2.1.2	Steigungswiderstand	44
2.1.3	Rollwiderstand – Reifen	46
2.1.4	Luftwiderstand – Aerodynamik des Nutzfahrzeugs	52
2.2	Leistungsbedarf	92
2.3	Fahrgrenzen	96
2.3.1	Achslasten	97
2.3.2	Freie Zugkraft	103
2.3.3	Bremsdynamik	105
2.3.4	Allradantrieb	109
	Literaturverzeichnis	117
3	Konzeption von Nutzfahrzeugen	119
3.1	Zulässige Abmessungen und Gewichte	119
3.1.1	Höchstzulässige Abmessungen	119
3.1.2	Höchstzulässige Achslasten	121
3.1.3	Höchstzulässige Gesamtgewichte	122
3.1.4	Anhänge- und Stützlasten	124
3.2	Fahrzeug- und Aufbaukonzept	125
3.2.1	Fahrzeugkonzept	126
3.2.2	Aufbaukonzept	135
3.2.3	Wechselaufbauten und Container	150
3.2.4	Gewichtskonzept	153
3.2.5	Maßkonzept	159
3.3	Achslasten, Aufbauhöhe und Nutzlastverteilung	168
3.3.1	Achslastberechnung	168
3.3.2	Aufbauhöhe und Nutzlastverteilung	172
3.4	Kurvenläufigkeit von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen	175
3.4.1	Schlepplenkung	176
3.4.2	Zwangslenkung	179
3.4.3	Verfahren zur Untersuchung der Kurvenläufigkeit	183
	Literaturverzeichnis	188

4	Lastkraftwagen- und Anhängerfahrgestell	191
4.1	Lastkraftwagenfahrgestell	191
4.1.1	Datenblatt und Fahrgestellzeichnung	191
4.1.2	Fahrgestellstruktur	195
4.1.3	Fahrgestellrahmen	196
4.1.4	Fahrwerk	200
4.1.5	Fahrerhaus	215
4.2	Anhängerfahrgestell	220
4.2.1	Fahrgestellrahmen	220
4.2.2	Fahrwerk	223
4.3	Reifen und Räder	259
4.3.1	Reifen	260
4.3.2	Räder	263
4.4	Bremsen	267
4.4.1	Bremsvorgang und Bremswirkung	267
4.4.2	Gesetzliche Rahmenbedingungen	269
4.4.3	Radbremsen	271
4.4.4	Zweileitungs-Zweikreis-Druckluft-Bremsanlage	277
4.4.5	Dauerbremsen	279
4.5	Verbindungseinrichtungen	283
4.5.1	D-Wert-Berechnung	284
4.5.2	Zuggabeln	285
4.5.3	Starre Zugeinrichtungen	287
4.5.4	Kurzkuppelsysteme	290
4.5.5	Anhängekupplungen	292
4.5.6	Sattelkupplungen	293
4.6	Aktive und passive Sicherheit	297
	Literaturverzeichnis	300
5	Nutzfahrzeugtragwerke und deren Aufbauten	303
5.1	Werkstoffe und Halbzeuge	303
5.1.1	Eisenwerkstoffe	303
5.1.2	Aluminium-Knetlegierungen	309
5.1.3	Holz	312

5.1.4	Kunststoffe	314
5.1.5	Sandwichwerkstoffe	316
5.2	Gestaltung der Tragwerke	318
5.2.1	Tragsystem Fahrgestellrahmen	318
5.2.2	Gestaltung von Lkw-Fahrgestellrahmen	322
5.2.3	Gestaltung von Anhänger-Fahrgestellrahmen	325
5.3	Bemessung der Tragwerke	326
5.3.1	Belastungsfälle	327
5.3.2	Schnittgrößen	329
5.3.3	Q- und M-Linien am Balkenmodell	329
5.3.4	Fachwerke	334
5.3.5	Festigkeitsnachweis	336
5.3.6	Elastische Biegeverformungen in Nutzfahrzeugtragwerken	342
5.4	Aufbauten	344
5.4.1	Aufbaurichtlinien und Aufbaugenehmigung	344
5.4.2	Hilfsrahmen und Aufbaubefestigung	346
5.4.3	Aufbauten ohne Hilfsrahmen	350
5.4.4	Hilfsrahmengestaltung	352
5.4.5	Böden von Pritschen- und Kofferaufbauten	355
5.4.6	Kofferaufbauten	361
5.5	Ladungssicherung	364
5.6	Korrosionsschutz	369
	Literaturverzeichnis	372
6	Antrieb	375
6.1	Lastenheftanforderungen für Nutzfahrzeugmotoren	376
6.1.1	Grundsatzüberlegungen	377
6.1.2	Auslegungskriterien	377
6.2	Thermodynamische Grundlagen des dieselmotorischen Arbeitsprozesses	380
6.2.1	Dieselmotor-Kreisprozess	381
6.2.2	Realprozess	383
6.3	Einspritzung, Gemischbildung und Verbrennung	384
6.3.1	Einspritzsysteme für Nutzfahrzeugmotoren	384
6.3.2	Gemischbildungsverfahren	398
6.3.3	Verbrennung im Dieselmotor	403

6.4	Abgasschadstoffe	406
6.4.1	NO _x , Partikel-, CO- und HC-Emissionen im Dieselmotor	406
6.4.2	Vorschriften zur Emissionsbegrenzung von Nutzfahrzeugmotoren	412
6.5	Abgasreinigung beim Nutzfahrzeug-Dieselmotor	422
6.5.1	Interne, motorische Maßnahmen	422
6.5.2	Abgasnachbehandlungssysteme für Nutzfahrzeugmotoren	426
6.5.3	Zukünftige Brennverfahren für Nutzfahrzeugmotoren	439
6.6	Aufladung	440
6.6.1	Aufladeverfahren	440
6.6.2	Abgasturbolader (ATL)	441
6.6.3	Ladeluftkühlung	443
6.6.4	Variationen der Abgasturbolader-Anpassung an den Motor	445
6.6.5	Zukünftige Entwicklungen	449
6.7	Motorkonstruktion	449
6.7.1	Zylinderkurbelgehäuse	449
6.7.2	Zylinderkopf und Zylinderkopf-Dichtung	454
6.7.3	Kurbeltrieb	457
6.7.4	Steuerung und Ventiltrieb	463
6.7.5	Anordnung der Hilfsaggregate und deren Antrieb	467
6.8	Öl- und Kühlkreislauf	468
6.8.1	Ölkreislauf	468
6.8.2	Kühlarten	473
6.9	Luftversorgung, Ladeluft- und Abgasführung	476
6.9.1	Ladeluftkühler	478
6.9.2	Motorbremseinrichtungen	478
6.9.3	Ladedruckregelung	481
6.10	Kraft- und Schmierstoffe	483
6.10.1	Anforderungen an den Kraftstoff	483
6.10.2	Anforderungen an Motoröle	489
6.11	Kurbelwellendichtungen für Nutzfahrzeug- und Industriedieselmotoren	492
6.11.1	Betriebsweise des Dieselmotors	492
6.11.2	Dynamik der Kurbelwellen in Dieselmotoren	493
6.11.3	Anforderungsprofil für Kurbelwellendichtungen	494
6.11.4	Dichtungsbauformen	494

6.11.5 Ausfallursachen	498
6.11.6 Zusammenfassung und Ausblick	500
6.12 Alternative Antriebe im Nutzfahrzeugbereich	501
6.12.1 Antriebsvarianten	503
6.12.2 Einsparpotentiale durch Hybridisierung	505
6.12.3 Gesetzgebung und Rahmenbedingungen On-Road	508
Literaturverzeichnis	509
7 Getriebe	515
7.1 Leistungsangebot	515
7.2 Zusammenwirken von Motor und Komponenten des Antriebsstranges	518
7.2.1 Aufbau des Antriebsstranges	518
7.2.2 Drehzahlwandler	519
7.2.3 Drehmomentwandler	520
7.3 Hydrodynamische Kupplungen und Wandler	525
7.3.1 Hydrodynamische Kupplung	526
7.3.2 Hydromechanische Wandler	527
7.4 Kupplungen	530
7.4.1 Reibungskupplungen	530
7.5 Konstruktive Getriebegrundkonzepte	533
7.5.1 Bauform, Bauarten, Aufbau von Getrieben	533
7.5.2 Endantrieb	542
7.6 Ausgeführte Beispiele	544
7.6.1 Handschaltgetriebe	547
7.6.2 Automatisierte Getriebe	549
7.6.3 Wandler-Schaltgetriebe	550
7.6.4 Automatgetriebe	551
7.6.5 Nebenabtriebe	552
Literaturverzeichnis	555
8 Elektrik und Elektronik	557
8.1 Vorwort	557
8.2 Einführung	558
8.2.1 Begriffsdefinition	558
8.2.2 Grundsätzliches	559

8.2.3	Abgrenzung System – Fahrzeug	565
8.3	Funktionen	565
8.3.1	Basisfunktionen	566
8.3.2	Standardfunktionen	575
8.3.3	Schnittstellenfunktionen	580
8.4	Systeme	582
8.4.1	Antriebsstrangsysteme	582
8.4.2	Brems- und Fahrwerksysteme	588
8.4.3	Bedien- und Anzeigesysteme	593
8.4.4	Assistenzsysteme	595
8.5	Übergreifende Aspekte	598
8.5.1	Systemarchitektur	598
8.5.2	Energiebereitstellung und -verteilung	600
8.5.3	Informationsübertragung/Netzwerke	605
8.5.4	Diagnose	606
8.5.5	Wartung	608
8.5.6	Elektromagnetische Verträglichkeit	608
8.6	Ausblick	609
	Literaturverzeichnis	610
	Sachverzeichnis	611

Autorenverzeichnis

Ing. Erich Hoepke/ Dipl.-Ing. Hermann Brähler	1 Einführung in die Nutzfahrzeugtechnik
Prof. Dr.-Ing. Stefan Breuer/ Dipl.-Ing. Stephan Kopp	2 Fahrmechanik
Dipl.-Ing. Hermann Brähler	3 Konzeption von Nutzfahrzeugen
Dipl.-Ing. Hermann Brähler/ Dipl.-Ing. Bernd Rhein	4 Lastkraftwagen- und Anhängerfahrgestell
Dipl.-Ing. Hermann Brähler	5 Nutzfahrzeugtragwerke und deren Aufbauten
Prof. Dr.-Ing. Thomas Esch/ Dipl.-Ing. Ulrich Dahlhaus	6 Motor
Prof. Dr.-Ing. Stefan Breuer/ Prof. Dr.-Ing. Thomas Esch	7 Getriebe
Dipl.-Ing. Wolfgang Appel	8 Elektrik und Elektronik

Formelzeichen

a, A

a m/s ²	Beschleunigung, Verzögerung
$a_{A,g}$ mm, m	minimaler Abstand der Aufbauten in Geradeausfahrtstellung
$a_{A,min}$ mm, m	minimaler Abstand der Aufbauten beim Durchlenken
$a_{A,v}$ mm, m	Aufbaubeginn ab Vorderachse
a_F mm	Felgenmittenabstand
a_i mm, m	verschiedene, durch Index i unterschiedene Abstände
a_m m/s ²	Mittlere Verzögerung
a_Q mm, m	Querträgerabstand, Stützweite
$a_{S,A+N}$ mm, m	Abstand des Aufbau- und Nutzlastschwerpunktes von der Hinterachse
$a_{S,bFZ}$ mm, m	Schwerpunkt Abstand des betriebsfertigen Fahrzeuges von der Hinterachse
$a_{S,N}$ mm, m	Abstand des Nutzlastschwerpunktes von der Hinterachse
$a_{S,N,opt}$ mm, m	optimaler Abstand des Nutzlastschwerpunktes von der Hinterachse
a_x m/s ²	Beschleunigung
A mm ² , m ²	Fläche
A cm ² , mm ²	Querschnittsfläche
A m ²	wirksame Querschnittsfläche
$A_{G''}$ m ²	durch Flächenlast belastete Fläche
A_N m ²	Ladefläche
A_5 %	Bruchdehnung

b, B

b_A mm, m	Aufbaubreite
b_e gr/kWh	spezifischer Kraftstoffverbrauch
b_i mm, m	verschiedene, durch Index i unterschiedene Breiten

b_N mm, m	lichte Ladebreite
b_P mm	Querschnittsbreite
b_1 –	Oberflächenbeiwert
b_2 –	Größenbeiwert
b_P mm	Breite Palette
B kg/h	Kraftstoffverbrauch
B mm, m	Breite, Fahrzeugbreite
B_{RhA} N	Bremskraft an der Hinterachse des Anhängers
B_{RhZ} N	Bremskraft an der Hinterachse des Zugfahrzeugs
B_{RvA} N	Bremskraft an der Vorderachse des Anhängers
B_{RvZ} N	Bremskraft an der Vorderachse des Zugfahrzeugs
ΔB %	Kraftstoffmehrverbrauch

c, C

c N/m	Federsteifigkeit
c_F N/m	Federsteifigkeit der Fahrwerksfeder
$c_P \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$	spez. Wärme (bei konst. Druck)
c_R N/m	Reifen-Federsteifigkeit
c_T –	Tangentialkraftbeiwert
$c_v \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$	spez. Wärme (bei konst. Volumen)
c_w –	Luftwiderstandsbeiwert
C –	Tabellenwert
C^* –	Bremsenkennwert
Δc_w –	Verkleinerung des Luftwiderstandsbeiwertes

d, D

d mm	Materialdicke
d_S mm	Stautoleranz
d_z mm, cm	Zylinderdurchmesser
D m	Kreislauf-Durchmesser
D N, kN	Deichselkraft, D-Wert

e, E

e mm	Abstand Resultierende der Flächenpressung von der Radmitte
e_i mm	verschiedene, durch Index i unterschiedene Randfaserabstände
EN/mm^2	Elastizitätsmodul
ET mm	Einpresstiefe

f, F

f 1/s	Frequenz, Eigenfrequenz
f^* –	Beiwert für vertikale Lastamplitude an der Zugöse
f_A 1/s	Aufbaueigenfrequenz
f_{Ac} 1/s	Achseigenfrequenz
F –	Kennzahl
F_A N	Antriebskraft an der Hinterachse
F_{AV} N	Antriebskraft an der Vorderachse
F_B N	Beschleunigungswiderstand
F_{BA} N	Beschleunigungswiderstand des Anhängers
F_{BRh} N	Bremskraft an der Hinterachse
F_{BRv} N	Bremskraft an der Vorderachse
F_{Br} N	Bremskraft
$F_{Br,max}$ N	maximal übertragbare Bremskraft (= Haftungskraft)
F_{BZ} N	Beschleunigungswiderstand des Anhängers
F_c N	Fliehkraft
F_D N	Kraft in der Zuggabel
F_{ers} N	Ersatzkraft
F_F N	Fußkraft (Bremsbetätigung)
F_G N	Gewichtskraft
F_h N	Achslast hinten
F_H N	Handkraft (Bremsbetätigung)
F_i N	verschiedene, durch Index i unterschiedene Kräfte
F_L N	Luftwiderstand
F_{LA} N	Luftwiderstand des Anhängers
F_{LZ} N	Luftwiderstand des Zugfahrzeugs
F_N N	Normalkraft
F_N N	Normalkraft
F_{Nh} N	dynamische Achslast Hinterachse Solofahrzeug
F_{Nv} N	dynamische Achslast Vorderachse Solofahrzeug
F_{NhA} N	dynamische Achslast Hinterachse Anhänger
F_{NvA} N	dynamische Achslast Vorderachse Anhänger

F_{NhZ} N	dynamische Achslast Hinterachse Zugfahrzeug
F_{NhZ} N	dynamische Achslast Vorderachse Zugfahrzeug
F_N'' N	Flächen(nutz)last
F_R N	Rollwiderstand
F_R N	Gleitreibungskraft
F_{Rad} N	Radwiderstand
F_{Rh} N	Rollwiderstand an der Hinterachse (Solofahrzeug)
F_{RhA} N	Rollwiderstand an der Hinterachse des Anhängers
F_{RhZ} N	Rollwiderstand an der Hinterachse des Zugfahrzeugs
F_{Rv} N	Rollwiderstand an der Vorderachse (Solofahrzeug)
F_{RvA} N	Rollwiderstand an der Vorderachse des Anhängers
F_{RvZ} N	Rollwiderstand an der Vorderachse des Zugfahrzeugs
F_{res} N	Resultierende Kraft
F_s N	Seitenführungskraft
F_{sh} N	Seitenführungskraft an der Hinterachse
F_{sv} N	Seitenführungskraft an der Vorderachse
F_{St} N	Steigungswiderstand
F_{sa} N	vertikale Lastamplitude an der Zugöse
F_{Si} N	Sicherungskraft
$F_{S,i}$ N	verschiedene, durch Index i unterschiedene Schräglaufräfte
F_{sm} N	vertikale Mittellast an der Zugöse
F_{Sp} N	Spannkraft (an der Bremse)
F_{St} N	Steigungswiderstand
F_{StA} N	Steigungswiderstand des Anhängers
F_{StZ} N	Steigungswiderstand des Zugfahrzeugs
$F_{St,i}$ N	verschiedene, durch Index i unterschiedene Stabkräfte
F_T N	Trägheitskraft
F_U N	Umfangskraft an der Bremse
F_v N	Vorspurwiderstand
F_v N	Achslast vorne
F_x N	Kraftkomponente in X-Richtung
F_y N	Kraftkomponente in Y-Richtung
F_z N	Kraftkomponente in Z-Richtung
ΔF N	Kraftänderung

g, G

g m/s ²	Erdbeschleunigung
G Liter/sec	Grenzwert
G N/mm ²	Gleitmodul

G_N	Gewicht
G_A kg	Aufbaugewicht
ΔG_A N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Anhänger
G_{An} N	Gewicht des Anhängers
G_{bFG} kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrgestells
$G_{bFG,h}$ kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrgestells, hinten
$G_{bFG,v}$ kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrgestells, vorne
G_{bFZ} kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrzeuges
$G_{bFZ,h}$ kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrzeuges, hinten
$G_{bFZ,v}$ kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrzeuges, vorne
G_{FG} kg	Fahrgestellgewicht
$G_{FG,h}$ kg	Fahrgestellgewicht hinten
$G_{FG,v}$ kg	Fahrgestellgewicht vorne
G_G N	Gewicht des Solofahrzeugs
G_{GN} N	Normalkraft-Komponente des Gewichtes beim Solofahrzeug
G_h N	statische Hinterachslast beim Solofahrzeug
G_h kg	Achslast hinten
G_{hA} N	statische Hinterachslast beim Anhänger
$G_{h,i}$ kg	Achslastanteil hinten
$G_{h,res}$ kg	resultierende Achslast hinten
$G_{h,zul}$ kg	zulässige Achslast hinten
G_{h1}, G_{h2} kg	Achslast 1. Hinterachse, Achslast 2. Hinterachse
G_{hZ} N	statische Hinterachslast beim Zugfahrzeug
G_i kg	verschiedene, durch Index i unterschiedene Einzellasten
G_N kg	Nutzlast
G_N^* –	Nutzlastverhältnis
G_N' kg	Streckennutzlast
G_N'' kg	Flächennutzlast
G_{NA} N	Normalkraft-Komponente des Anhängergewichtes
G_{Nh} N	Normalkraft-Komponente der Hinterachslast des Solofahrzeugs
G_{NhA} N	Normalkraft-Komponente der Hinterachslast des Anhängers
G_{NhZ} N	Normalkraft-Komponente der Hinterachslast des Zugfahrzeugs
$G_{N,max}$ kg	maximal mögliche Nutzlast
G_{Nv} N	Normalkraft-Komponente der Vorderachslast des Solofahrzeugs
G_{NvA} N	Normalkraft-Komponente der Vorderachslast des Anhängers
G_{NvZ} N	Normalkraft-Komponente der Vorderachslast des Zugfahrzeugs
G_{NZ} N	Normalkraft-Komponente des Gewichtes des Zugfahrzeugs
$G_{N,zul}$ kg	zulässige Nutzlast
G_{res} kg	resultierende Last
G_S N/kg	Sattellast, Stützlast
$G_{S,dyn}$ kg	dynamische Stützlast

$G_{S,stat}$ kg	statische Stützlast
G_v kg	Achslast vorne
G_{vA} N	Vorderachslast des Anhängers
$G_{v,i}$ kg	Achslastanteil vorne
$G_{v,zul}$ kg	zulässige Achslast vorne
G_{vZ} kg	Vorderachslast des Zugfahrzeugs
G_Z kg	Gewicht des Zugfahrzeugs
G' kg	Streckenlast
G'' kg	Flächenlast
GG kg	Gesamtgewicht
$GG_{An,kg}$ kg	Gesamtgewicht des Anhängers
$GG_{An,zul}$ kg	zulässiges Gesamtgewicht des Anhängers
GG_h kg	Gesamtgewicht hinten
$GG_{K,zul}$ kg	zulässiges Gesamtgewicht der Fahrzeugkombination
GG_v kg	Gesamtgewicht vorne
GG_Z kg	Gesamtgewicht des Zugfahrzeugs
GG_{zul} kg	zulässiges Gesamtgewicht
$GG_{Z,zul}$ kg	zulässiges Gesamtgewicht des Zugfahrzeugs
$\%G_{v,min}$ %	Mindestvorderachslastanteil
$\%G_h$ %	Hinterachslastanteil
ΔG_A N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Anhänger
ΔG_G N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Solofahrzeug
ΔG_N N	dynamischer Anteil der Achslast beim Solofahrzeug auf Steigungen
ΔG_Z N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Zugfahrzeug

h, H

h_D mm	Höhe der Zuggabel
h_L mm	Höhe der resultierenden Luftwiderstandskraft über der Fahrbahn
h_{LA} mm	Höhe der resultierenden Luftwiderstandskraft des Anhängers über der Fahrbahn
h_{LZ} mm	Höhe der resultierenden Luftwiderstandskraft des Zugfahrzeugs über der Fahrbahn
h_N mm, m	lichte Ladehöhe
h_p mm	Querschnittshöhe
h_S mm, m	Schwerpunkthöhe
h_{sA} mm	Schwerpunkthöhe des Anhängers
$h_{s,A}$ mm, m	Schwerpunkthöhe des Aufbaus
$h_{s,bFG}$ mm, m	Schwerpunkthöhe des betriebsfertigen Fahrgestells
$h_{s,ges}$ mm, m	Schwerpunkthöhe des Gesamtfahrzeugs

h_{SK} mm	Höhe der waagerechten Komponente der Sattelkraft
$h_{S,N}$ mm, m	Schwerpunkthöhe der Nutzlast
h_{sZ} mm	Schwerpunkthöhe des Zugfahrzeugs
H –	Tabellenwert
HB kp/mm ²	Brinell-Härte
H_i Torr	atmosphärischer Druck
H_u kJ/kg	Heizwert
H_o kJ/kg	Brennwert
H_{Gem} kJ/m ²	Gemischheizwert
Δh m	Höhenunterschied zwischen zwei Punkten einer Strecke

i, I

i –	Faktor
i –	Übersetzungsverhältnis
i_A –	Achsübersetzung
i_G –	Getriebeübersetzung
I_{ax} mm ⁴ , cm ⁴	Axiales Flächenmoment 2. Grades
$I_{ax,i}$ mm ⁴ , cm ⁴	verschiedene, durch Index i unterschiedene axiale Flächenmomente 2. Grades
I_p mm ⁴ , cm ⁴	Polares Flächenmoment
i_R –	Drehmoment-Steigerungsfaktor für Rangegruppe
i_{Split} –	Drehmoment-Steigerungsfaktor für Splitgruppe

j, J

J_A kg m ²	Massenträgheitsmoment der Triebwerksteile
J_M kg m ²	Massenträgheitsmoment des Motors
J_R kg m ²	Massenträgheitsmoment
J_{Rh} kg m ²	Massenträgheitsmoment der Hinterräder einschließlich der auf die Hinterräder umgerechneten Anteile des Triebwerksstranges
J'_{Rh} kg m ²	Massenträgheitsmoment der Hinterräder
J_{Rv} kg m ²	Massenträgheitsmoment der Vorderräder

k, K

k 1/m	Absorptionskoeffizient
$k -$	Korrekturfaktor für Spurversatz in der Übergangskurve
$k_g -$	geometrischer Größeneinflussfaktor
$k_t -$	technologischer Größeneinflussfaktor
$k_\alpha -$	formzahlabhängiger Größeneinflussfaktor
$k^* -$	Beiwert für Biegeeigenfrequenz des Balkens
$k_R -$	Rollwiderstandsbeiwert
$k'_R -$	Rollwiderstandsbeiwert, bezogen auf Zwillingsbereifung

l, L

l mm, m	Radstand, Achsabstand
l_A mm, m	Aufbaulänge
l_{AK} mm, m	Ausladung der Anhängerkupplung
l_{An} mm, m	Radstand des Anhängers
$l_{A,max}$ mm, m	maximale Aufbaulänge
$l_{A,min}$ mm, m	minimale Aufbaulänge
l_B mm, m	Balkenlänge
$l_{D,w}$ mm, m	wirksame Deichsellänge
$l_{D,f}$ mm, m	freie Deichsellänge
l_{ers} mm, m	Ersatzradstand
$l_{G'}$ mm, m	Strecke mit Streckenlast
$l_{HA,Z}$ mm, m	Frontabstand der Hinterachse des Zugfahrzeuges
l_h mm	Abstand Schwerpunkt – Mitte Hinterachse
l_{hA} mm	Abstand Schwerpunkt – Mitte Hinterachse des Anhängers
l_{hZ} mm	Abstand Schwerpunkt – Mitte Hinterachse des Zugfahrzeugs
l_i mm, m	verschiedene, durch Index i unterschiedene Längen
l_L mm, m	Länge des Längsträgers
l_N mm, m	lichte Ladelänge
$l_{N,min}$ mm, m	Mindestladelänge
l_P mm, m	Länge Palette
l_Q mm, m	Länge des Querträgers
l_s mm	Abstand Mitte Vorderachse – Mitte Sattelkupplung
l_{SK} mm, m	Sattelvormaß
$L_{St} \frac{\text{kg}_{\text{Luft}}}{\text{kg}_{\text{Kraftstoff}}}$	Luftbedarf für stöchiometrische Verbrennung
l_{tech} mm, m	technischer Radstand
l_v mm	Abstand Mitte Vorderachse – Schwerpunkt
l_{vA} mm	Abstand Mitte Vorderachse – Schwerpunkt des Anhängers

l_{vZ} mm	Abstand Mitte Vorderachse – Schwerpunkt des Zugfahrzeugs
l_Z mm, m	Radstand des Zugfahrzeuges
l_{Zu} mm, m	Ausladung der Zuggabel
l_1, l_2 mm, m	1. Radstand, 2. Radstand
L N	Längskraft
Δl m	Abstand zwischen zwei Punkten in der Horizontalen

m, M

m kg	Masse
m_A kg	Masse Anhänger (= Gesamtgewicht)
m_g kg	Ladungseinsatz
m_g kg	gefederte Masse
m_{Kr} g, kg	Kraftstoffmasse
\dot{m}_{Kr} kg/sec	Kraftstoffmassenstrom
m_L g, kg	Luftmasse
\dot{m}_L kg/sec	Luftmassenstrom
m_L kg	Masse Lkw (= Gesamtgewicht)
m_{Motor} kg	Masse des Motors
M_P Nm	Pumpenmoment
m_P kg	Masse Pkw (= Gesamtgewicht)
m_S kg	Sattelmasse (= Sattellast)
m_u kg	„ungefederte“ Masse
m_Z kg	Masse Zugfahrzeug (= Gesamtgewicht)
M_{Nmm} , Nm	Biegemoment
$M_{(i)}$ Nmm, Nm	Moment einer Kraft bezüglich eines durch Index i gekennzeichneten Bezugspunktes
M, M' –	Kurvenmittelpunkt
M_{max} Nm	maximales Motormoment
M_{max} Nmm, Nm	maximales Biegemoment
M_{nenn} Nm	Motormoment bei maximaler Motorleistung
M_M Nm	Motormoment

n, N

n 1/min	Drehzahl
n_{Motmax} U/min	Motordrehzahl bei maximalem Motormoment
n_{max} U/min	maximale Motordrehzahl
n_{min} U/min	minimale Motordrehzahl

n_{nenn} U/min	Motordrehzahl bei maximaler Motorleistung
n_{p} –	Anzahl der Paletten
$n_{\text{R},i}$ –	Anzahl der Reifen an der i -ten Achse

p, P

p bar, Pa	Druck
p %	Steigung (Gefälle) der Fahrbahn
$p_0, p_u,$ bar, Pa	Umgebungsdruck
p_{atm}	
p_i bar, Pa	indizierter mittlerer Druck der vollkommenen Maschine
p_{me} bar, Pa	mittlerer effektiver Druck
p_{mi} bar, Pa	mittlerer indizierter Druck
p_{mr} bar, Pa	Reibmitteldruck
p_s kPa	trockener atmosphärischer Druck
p_v bar, Pa	Mitteldruck des vollkommenen Prozesses
p_z bar, Pa	Zylinderdruck
P kW	Leistung
P_{Br} W, kW	Bremsleistung
P_{P} kW	Pumpenleistung
P_{ges} kW	Summe aus Luft- und Rollwiderstand
P_{max} kW	maximale Motorleistung
P_i kW	indizierte, innere Leistung
P_{Max} kW	Motorleistung bei maximalem Drehmoment
p_{me} N/cm ²	effektiver Mitteldruck
P_r kW	Reibleistung
P_s kW	spezifische Leistung

q, Q

q N/m	Streckenlast
q %	Steigung (einer Fahrbahn)
q_{ab} kJ/kg	abgeführte Wärmemenge pro Gewichtseinheit
q_{zu_p} kJ/kg	zugeführte Wärmeenergie pro Gewichtseinheit bei konstantem Druck
q_{zu_v} kJ/kg	zugeführte Wärmeenergie pro Gewichtseinheit bei konst. Volumen
Q N	Querkraft
Q W	Wärmemenge
\dot{Q} W	Wärmestrom
Q_{ab} kJ	abgeführte Wärmemenge, Energie

Q_{Kr} kJ	Energiegehalt des Kraftstoffes
Q_{zu} kJ	zugeführte Wärmemenge, Energie

r, R

r_{dyn} mm	dynamischer Reifenhalbmesser
$r_{i,min}$ mm	kleinster zulässiger Biegeradius
$r_{K,h}$ mm, m	Schleppkurvenhalbmesser
$r_{K,v}$ mm, m	Führungskurvenhalbmesser
r_{stat} mm	Statischer Reifenhalbmesser
R_A mm, m	Wendekreishalbmesser des Aufliegers
R_a, R_i mm, m	Halbmesser des BO-Kraft-Kreises
R_e N/mm ²	Streckgrenze
R_m N/mm ²	Bruchfestigkeit
R_Z mm, m	Wendekreishalbmesser des Zugfahrzeuges
R_z μ m	gemittelte Rautiefe

s, S

s_{mm} , cm	Hubweg
s –	Schlupf
s mm	Schüsseldicke, Kolbenhub
s %	Schlupf
s^* –	Stoßfaktor
s_0 m	Teilabschnitt des Anhaltewegs
s_1 m	Teilabschnitt des Anhaltewegs
s_2 m	Teilabschnitt des Anhaltewegs
Δ_s m	Abstand zum vorausfahrenden Lkw

t, T

t K	Temperatur
t_e s	Beginn der Beschleunigung nach Beendigung des Kuppelns
t_K s	Zeitpunkt des Einkuppelns
t_{Kr} sec, h	Kraftstoffdurchflusszeit
T Nm	Torsionsmoment
T K	Temperatur

T_0 K	Umgebungstemperatur
T_0 s	Teilzeit der Anhaltezeit
T_1 s	Teilzeit der Anhaltezeit
T_2 s	Teilzeit der Anhaltezeit
T_B s	Beschleunigungszeit
T_K s	Kuppelzeit
T_P Nm	Pumpenmoment
T_T Nm	Turbinenmoment
T_{\max} K	maximale Temperatur
T_{\min} K	minimale Temperatur
$\Delta t_{8/5}$ s	Abkühlzeit der Schweißraupe zwischen 800 und 500 °C

u, U

u_i mm	verschiedene, durch Index i unterschiedene Schwerpunktabstände
$\ddot{u}_{An,v}$ mm, m	vordere Überhanglänge des Anhängers
\ddot{u}_Q mm, m	Querträgerüberhang
$\ddot{u}_{Z,h}$ mm, m	hintere Überhanglänge des Zugfahrzeuges
\ddot{u}^* –	Überlastfaktor
U kJ	innere Energie
U mm	Abrollumfang

v, V

v km/h	Geschwindigkeit
m/s	
v_R m/s	Relativgeschwindigkeit
v_0 m/s	Anfangsgeschwindigkeit
v_1 m/s	Geschwindigkeit bei Beginn der Vollverzögerung
v_1 m/s	Endgeschwindigkeit
v_F m/s	Fahrzeuggeschwindigkeit
v_h m/s	Geschwindigkeit des Hinterrades
v_L m/s	Geschwindigkeit Lkw
v_{Lres} m/s	resultierende Luftgeschwindigkeit
v_P m/s	Geschwindigkeit Pkw
v_v m/s	Geschwindigkeit des Vorderrades
V l, mm ³ , dm ³	Hubraum des Motors, Brennraumvolumen
V m ³	Zylindervolumen
V_{Gem} l, m ³	Gemischvolumen

V_H l, cm ³	Hubraum des Motors
V_h l, cm ³	Zylinderhubvolumen
V_k l, cm ³	Kompressionsvolumen
V_{Kr} l, cm ³	Kraftstoffvolumen
\dot{V}_K cm ³ /sec	Kühlmittelvolumenstrom
\dot{V}_{Kr} cm ³ /sec	Volumenstrom des Kraftstoffes
V_L l, cm ³	Ladungsvolumen
V_N m ³	Ladevolumen
Δv_L m/s	Geschwindigkeitsänderung Lkw
Δv_P m/s	Geschwindigkeitsänderung Pkw
v_w m/s	Windgeschwindigkeit
v_o m/s	Ausgangsgeschwindigkeit bei einer Stoppbremsung

w, W

w mm	Vertikalverschiebung, Durchbiegung
w_{max} mm	maximale Durchbiegung
W Nm	Arbeit
W_{ax} mm ³ , cm ³	axiales Widerstandsmoment
$W_{ax,erf}$ mm ³ , cm ³	erforderliches axiales Widerstandsmoment
W_{Br} Nm/s, kW	Bremsarbeit
W_i Nm	indizierte Arbeit
$W_{theor.}$ Nm	theoretische Arbeit
W_p mm ³ , cm ³	polares Widerstandsmoment

x, X

Δx mm, m	Federweg
------------------	----------

y, Y

Δy mm, m	Spurversatz
$\Delta y'$ mm, m	Spurversatz in der Übergangskurve

z, Z

z –	Anzahl der Zylinder
z –	Abbremsung
z_{\max} –	Maximal erzielbare Abbremsung
z_{\min} –	Mindestabbremsung

Griechische Formelzeichen

α $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	Wärmeübergangskoeffizient
α_{an}°	Anströmwinkel
α_{h}°	Schräglaufwinkel, hinten
α_i°	verschiedene, durch Index i unterschiedene Schräglaufwinkel
α_{St}°	Steigungswinkel
α_v°	Schräglaufwinkel, vorn
β°	Winkel zwischen Fahrzeuglängsmittlebene und resultierender Luftgeschwindigkeit
β_k –	Kerbwirkungszahl
$\beta_{K,N}^\circ$	Knickwinkel zwischen Ladungslängs- und Nachläuferlängsachse
$\beta_{K,S}^\circ$	Knickwinkel zwischen Zugmaschinen- und Aufliegerlängsachse
δ_v°	Radeinschlagwinkel
δ_v°	Lenkwinkel an der Vorderachse
δ_h°	Lenkwinkel an der Hinterachse
δ_A°	Lenkwinkel der Aufliegerachse
δ_N°	Lenkwinkel der Nachläufer-Vorderachse
$\Delta\eta_{\text{bv}}$ –	Wirkungsgradverlust durch nicht ideale Verbrennung
$\Delta\eta_u$ –	Wirkungsgradverlust durch Undichtheit
$\Delta\eta_k$ –	Wirkungsgradverlust durch Kühlung
$\Delta\eta_{\text{lw}}$ –	Wirkungsgradverlust durch Ladungswechsel
$\Delta\eta_r$ –	Wirkungsgradverlust durch Reibung
ε –	Verdichtungsverhältnis
ε –	Gütegrad der Bremsanlage
Φ –	Austauschgrad
φ –/°	Gleichdruckverhältnis, Einspritzverhältnis, Kurbelwinkel
κ –	Isentropenexponent
κ –	Grenzspanungsverhältnis
λ –	Luftverhältnis, Leistungsziffer
λ_a –	Luftaufwand
λ_L –	Liefergrad
λ –	Faktor zur Berücksichtigung der rotierenden Massen

μ –	Momentenwandlungsfaktor
μ_H –	Haftbeiwert
μ_R –	Reibbeiwert
π –	Kreiskonstante
ν_D –	Sicherheit gegen Dauerbruch
ν_F –	Sicherheit gegen Fließen
ν –	Drehzahlverhältnis
v cm ³ , dm ³	Volumen
ρ kg/m ³	Dichte
ρ_{Kr} g/cm ³	Kraftstoffdichte
ρ_{th} kg/m ³	theoretische Luftdichte
ρ kg/dm ³	Dichte
$\rho_{N,g}$ t/m ³	Grenz-Nutzlastdichte
σ N/mm ²	Normalspannung
σ_a N/mm ²	Ausschlagsspannung
σ_{bD} N/mm ²	Biegedauerfestigkeit
σ_{bF} N/mm ²	Biegefließgrenze
σ_D N/mm ²	Dauerfestigkeit
σ_F N/mm ²	Fließgrenze
σ_G N/mm ²	Gestaltfestigkeit
σ_m N/mm ²	ruhende Mittelspannung
σ_n N/mm ²	Nenn(normal)spannung
$\sigma_{n,i}$ N/mm ²	verschiedene, durch Index i unterschiedene Nenn(normal)spannungen
σ_o N/mm ²	Oberspannung
σ_{kr} N/mm ²	kritische Beulspannung
σ_u N/mm ²	Unterspannung
σ_v N/mm ²	Vergleichsspannung
σ_{zul} N/mm ²	zulässige Bauteil(nenn)spannung
τ_n N/mm ²	Nenn(schub)spannung
$\ddot{\varphi}$ °/s ²	Winkelbeschleunigung
$\dot{\varphi}_M$ °/s	Winkelgeschwindigkeit des Motors
$\dot{\varphi}_R$ °/s	Winkelgeschwindigkeit der Getriebeausgangswelle und der Kardanwelle
$\dot{\varphi}_{Rh}$ °/s	Winkelgeschwindigkeit der Hinterräder
φ °	Kreisbogenwinkel
φ_L °, rad	Verdrehwinkel des Längsträgers
φ_Q °, rad	Verdrehwinkel des Querträgers
ψ rad	Tangentendrehwinkel
σ kg/m ³	Luftdichte
η_e –	effektiver Wirkungsgrad, Gesamtwirkungsgrad
η_g –	Gütegrad