

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

Nutzfahrzeugtechnik

**Handbuch Verbrennungsmotor**

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

**Lexikon Motorentechnik**

herausgegeben von R. van Basshuysen und F. Schäfer

**Ottomotor mit Direkteinspritzung**

herausgegeben von R. van Basshuysen

**Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik**

herausgegeben von H.-H. Braess und U. Seiffert

**Automobildesign und Technik**

herausgegeben von H.-H. Braess und U. Seiffert

**Bremsenhandbuch**

herausgegeben von B. Breuer und K. H. Bill

**Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik**

von H. Eichlseder und M. Klell

**Umweltschutz in der Automobilindustrie**

von D. Gruden

**Fahrwerkhandbuch**

herausgegeben von B. Heiing und M. Ersoy

**Verbrennungsmotoren**

von E. Khler und R. Flierl

**Automobilelektronik**

herausgegeben von K. Reif

**Automotive Software Engineering**

von J. Schuffele und T. Zurawka

**Virtuelle Produktentstehung fr Fahrzeug und Antrieb im Kfz**

herausgegeben von U. Seiffert und G. Rainer

**Motorradtechnik**

von J. Stoffregen

**Handbuch Kraftfahrzeugelektronik**

herausgegeben von H. Wallentowitz und K. Reif

**Bussysteme in der Fahrzeugtechnik**

von W. Zimmermann und R. Schmidgall

**Die BOSCH-Fachbuchreihe:**

- Ottomotor-Management
- Dieselmotor-Management
- Autoelektrik/Autoelektronik
- Sicherheits- und Komfortsysteme
- Fachwrterbuch Kraftfahrzeugtechnik
- Kraftfahrtechnisches Taschenbuch

herausgegeben von Robert Bosch GmbH

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

# Nutzfahrzeugtechnik

Grundlagen, Systeme, Komponenten

5., vollständig überarbeitete Auflage

Mit 579 Abbildungen und 35 Tabellen

PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch



**VIEWEG+**  
**TEUBNER**

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

1. Auflage November 2000
- 2., überarbeitete Auflage April 2002
- 3., überarbeitete und erweiterte Auflage September 2004
- 4., aktualisierte und ergänzte Auflage September 2006
- 5., vollständig überarbeitete Auflage 2008

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008

Lektorat: Ewald Schmitt | Gabriele McLemore

Vieweg+Teubner ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.  
[www.viewegteubner.de](http://www.viewegteubner.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, 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.

Umschlaggestaltung: Künkellopka Medienentwicklung, Heidelberg

Satz: FROMM MediaDesign, Selters/Ts.

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Krips b.v., Meppel

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in the Netherlands

ISBN 978-3-8348-0374-0

---

## Vorwort

Vor Ihnen liegt das Buch Nutzfahrzeugtechnik in seiner 5. Auflage. Ein Buch zu einem Thema, welches sehr wenig besetzt ist, die meisten Werke zum Thema Nutzfahrzeuge beziehen sich auf die Historie verschiedener Marken oder Fahrzeuge. Die Technik selbst wird kaum zusammenfassend behandelt. Dieses ist nicht trivial, da sich die Technik grundlegend von der in einem Pkw unterscheidet. Um sie zu verstehen, braucht man einiges Hintergrundwissen bezüglich des Einsatzzweckes, der Fahrphysik (Fahrmechanik) und der gesetzlichen Vorschriften. Der Einsatzzweck ist nahezu ausschließlich rational gesteuert, d. h., wie erfüllt man die gestellte Transportaufgabe am wirtschaftlichsten? Emotionale Beweggründe, wie „Freude am Fahren“, zählen beim Nutzfahrzeug nur sekundär.

Die Technik eines Nutzfahrzeuges hat eine wesentlich höhere Betriebsdauer. Nutzfahrzeugmotoren werden auf bis zu 1,7 Millionen km Lebensdauer ausgelegt. Hier macht sich komplexe Technik schnell bezahlt, wenn man damit für die ganze Lebensdauer Kraftstoff sparen kann. Die Einspritz- und Abgasreinigungssysteme moderner Nutzfahrzeugmotoren belegen dieses. Besonders wichtig dafür ist die Zuverlässigkeit, sonst steigen die Lifecycle-Kosten durch Reparaturen und Ausfallzeiten.

Die Fahrphysik basiert auf den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie beim Pkw, liefert hier aber andere Restriktionen, denn die Motivation für die Auslegung eines Antriebsstranges beim Nutzfahrzeug kann nicht die maximale Höchstgeschwindigkeit und das Beschleunigungsvermögen sein, sondern die Effizienz z. B. bei einer Autobahnfahrt bei 85 km/h. Das Effizienzpotential ist so groß, dass Hersteller unterschiedliche Achsübersetzungen für den gleichen Fahrzeugtyp anbieten, um so das Optimum für jeden Einsatzzweck darstellen zu können.

Achslasten und deren Verteilung werden weniger durch die Fahrdynamik als durch gesetzliche Vorgaben und technische Grenzen vorgegeben. Der Effizienz sind gesetzliche Grenzen hinsichtlich der Länge, des Volumens und der Masse gesetzt. Gerade die Ausführung der Längenbegrenzung zeigt sich in einer vollkommen unterschiedlichen Ausführung des Fahrerhauses in Europa und den Vereinigten Staaten. Während in Europa ca. 2,35 m Länge für ein Fahrerhaus ausreichen muss, gibt es diese Beschränkung in der USA nicht. Dort setzt man den Motor vor das Fahrerhaus, hat ausreichend Knautschzone, einen niedrigeren Einstieg und mehr Fahrkomfort, während man in Europa das Fahrerhaus über den Motor platziert, um die maximal gesetzlich vorgeschriebene Ladeflächenlänge zu realisieren.

Dieses Zusammenspiel aus Einsatzzweck, gesetzlichen Vorgaben, Fahrmechanik und der darausfolgenden Konzeption von Nutzfahrzeugen wird in Kapiteln 1 bis 3 beschrieben. Kapitel 4 beschreibt das Lastkraftwagen- und Anhängerfahrgerüst. Hier werden die Komponenten eines Nutzfahrzeuges bis auf den Antriebsstrang vorgestellt und analysiert. Dem Motor ist das Kapitel 6 und dem Getriebe das Kapitel 7 gewidmet. Die meisten Nutzfahrzeuge werden ohne ihren nutzbringenden Aufbau ausgeliefert. Dieser wird getrennt bei einem Aufbauhersteller gefertigt. Kapitel 5 befasst sich mit der Konstruktion von Nutzfahrzeugtragwerken und deren Aufbauten. Der wesentlichen und zunehmend wichtigen Rolle der Elektrik und Elektronik im Fahrzeug- und Motorenbau sowie bei den Assistenzsystemen wird im Kapitel 8 Rechnung getragen.

Das rege Interesse am vorliegenden Buch macht eine 5. Auflage nötig. Der Inhalt wurde ergänzt, neue Entwicklungen aufgenommen und hinsichtlich der geänderten Vorschriften aktualisiert. Die vollständige Neubearbeitung der Fahrdynamik insbesondere die dynamischen Wechselwirkungen bei der Aerodynamik kennzeichnen die Bearbeitung der 5. Auflage. Zwei neue Autoren, Herr Stefan Kopp (MAN Nutzfahrzeuge) und Herr Bernd Rhein (BPW – Bergische Achsen), bereichern dieses Buch mit aktuellen Beiträgen zur Nutzfahrzeugaerodynamik und Fahrwerkstechnik. Das Team der Autoren besteht neben den Herausgebern aus Herrn Appel (Daimler AG), Herrn Brähler (Technische Fachschule Fulda), Herrn Dahlhaus (Freudenberg), Herrn Prof. Esch (FH Aachen) und Herrn Prof. Gräfenstein (FH Dresden). Allen Autoren sei an dieser Stelle für ihre Mitarbeit gedankt, die neben ihrer zum Teil sehr hohen Belastung Zeit gefunden haben, zum Gelingen dieses Buches beizutragen.

Dieses Buch richtet sich an Ingenieure, Techniker sowie Lehrende, Forschende und Studierende im Bereich der Fahrzeugtechnik und technisches Personal, welche in der Konzeption, Konstruktion, Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Überwachung von Nutzfahrzeugen tätig sind.

Dank gilt auch dem Engagement von Herrn Schmitt, Programmleiter Technik, sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Verlages, die das Erscheinen der 5. Auflage zur IAA Nutzfahrzeuge in Hannover im September 2008 möglich machen. Dem Verlag und allen Autoren wünsche ich einen erfolgreichen Start in die 5. Auflage.

Köln und Weinheim, im März 2008

*Erich Hoepke und Stefan Breuer*

# Autorenverzeichnis

<b>1 Einführung in die Nutzfahrzeugtechnik</b>	E. Hoepke/H. Brähler
<b>2 Fahrmechanik</b>	S. Breuer/S. Kopp
<b>3 Konzeption von Nutzfahrzeugen</b>	H. Brähler
<b>4 Lastkraftwagen- und Anhängerfahrgestell</b>	H. Brähler/B. Rhein
<b>5 Nutzfahrzeugtragwerke und deren Aufbauten</b>	H. Brähler
<b>6 Motor</b>	T. Esch/U. Dahlhaus
<b>7 Getriebe</b>	S. Breuer
<b>8 Elektrik und Elektronik</b>	W. Appel

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
Autorenverzeichnis .....	VII
Formelverzeichnis .....	XVII
<b>1 Einführung in die Nutzfahrzeugtechnik .....</b>	<b>1</b>
1.1 Transportaufgabe .....	1
1.2 Die Entwicklung des Nutzfahrzeugs .....	3
1.2.1 Variationen des Dieselmotors .....	6
1.2.2 Entwicklung der Fahrleistungen .....	9
1.2.3 Entwicklung der Antriebstechnik .....	11
1.2.4 Gesetzliche Vorgaben und Innovationen .....	12
1.3 Rechtliche Grundlagen, Vorschriften, Normen .....	12
1.3.1 Rechtliche Grundlagen .....	12
1.3.2 Nationale Normen, Vorschriften und Richtlinien .....	14
1.3.3 Internationale Richtlinien .....	16
1.3.4 Fahrzeugbenennungen .....	19
1.3.5 Allgemeine Abmessungen .....	19
1.4 Lastkraftwagenangebot .....	21
1.4.1 Typenbezeichnung von Lastkraftwagenfahrgeräten .....	22
1.4.2 Motoranordnungen .....	23
1.4.3 Lastkraftwagenangebot nach Gewichtsklassen .....	24
1.5 Entwicklungsschwerpunkte und künftige Konzepte .....	27
Literaturverzeichnis .....	33
<b>2 Fahrmechanik .....</b>	<b>35</b>
2.1 Kraftbedarf eines Nutzfahrzeugs .....	35
2.1.1 Beschleunigungswiderstand .....	37
2.1.2 Steigungswiderstand .....	41
2.1.3 Rollwiderstand – Reifen .....	42
2.1.4 Luftwiderstand – Aerodynamik des Nutzfahrzeugs .....	48
2.1.4.1 Historie .....	48
2.1.4.2 Luftwiderstand .....	49
2.1.4.3 Zielgruppe .....	53
2.1.4.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen .....	55
2.1.4.5 Einfluss der Aerodynamik auf den Kraftstoffverbrauch .....	55
2.1.4.6 Prozesse und Methoden der Aerodynamikentwicklung .....	56
2.1.4.7 Bereiche der Aerodynamikoptimierung am Nutzfahrzeug .....	63

2.1.4.8	Motorkühlung .....	76
2.1.4.9	Innenraumklimatisierung .....	80
2.1.4.10	Aeroakustik .....	81
2.1.4.11	Seitenscheiben- und Eigenverschmutzung .....	83
2.1.4.12	Berücksichtigung von aerodynamischen Lastfällen bei der Festigkeitsauslegung von Komponenten .....	85
2.1.4.13	Funktionsaerodynamik .....	86
2.2	Leistungsbedarf .....	88
2.3	Fahrgrenzen .....	89
2.3.1	Achslasten .....	90
2.3.2	Freie Zugkraft .....	96
2.3.3	Bremsdynamik .....	98
2.3.4	Allradantrieb .....	101
	Literaturverzeichnis .....	104
<b>3</b>	<b>Konzeption von Nutzfahrzeugen .....</b>	<b>105</b>
3.1	Zulässige Abmessungen und Gewichte .....	105
3.1.1	Höchstzulässige Abmessungen .....	105
3.1.2	Höchstzulässige Achslasten .....	107
3.1.3	Höchstzulässige Gesamtgewichte .....	108
3.1.4	Anhänge- und Stützlasten .....	109
3.2	Fahrzeug- und Aufbaukonzept .....	110
3.2.1	Fahrzeugkonzept .....	111
3.2.1.1	Konzeptvarianten .....	111
3.2.1.2	Einsatzspezifische Anforderungen .....	115
3.2.2	Aufbaukonzept .....	119
3.2.2.1	Transportgut .....	119
3.2.2.2	Aufbauvarianten .....	122
3.2.2.3	Be- und Entladehilfen .....	126
3.2.3	Wechselaufbauten und Container .....	129
3.2.4	Gewichtskonzept .....	131
3.2.5	Maßkonzept .....	136
3.2.5.1	Hauptabmessungen und Teillängen .....	136
3.2.5.2	Beladeplan .....	139
3.2.5.3	Untersuchung der Durchlenkung zwischen Motorwagen und Anhänger .....	141
3.3	Achslasten, Aufbauhöhe und Nutzlastverteilung .....	144
3.3.1	Achslastberechnung .....	144
3.3.2	Aufbauhöhe und Nutzlastverteilung .....	148
3.4	Kurvenläufigkeit von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen .....	151
3.4.1	Schlepplenkung .....	151
3.4.2	Zwangslenkung .....	154
3.4.3	Verfahren zur Untersuchung der Kurvenläufigkeit .....	156
	Literaturverzeichnis .....	162

---

<b>4</b>	<b>Lastkraftwagen- und Anhängerfahrgestell</b>	163
4.1	Lastkraftwagenfahrgestell	163
4.1.1	Datenblatt und Fahrgestellzeichnung	163
4.1.2	Fahrgestellstruktur	166
4.1.3	Fahrgestellrahmen	167
4.1.4	Fahrwerk	169
4.1.4.1	Achsen	169
4.1.4.2	Federung und Achsführung	173
4.1.4.3	Wankbegrenzung und Schwingungsdämpfung	180
4.1.5	Fahrerhaus	181
4.2	Anhängerfahrgestell	184
4.2.1	Fahrgestellrahmen	184
4.2.2	Fahrwerk	186
4.2.2.1	Achsen	187
4.2.2.2	Federung	194
4.2.2.3	Lenkung	203
4.3	Reifen und Räder	209
4.3.1	Reifen	209
4.3.2	Räder	212
4.4	Bremsen	215
4.4.1	Bremsvorgang und Bremswirkung	216
4.4.2	Gesetzliche Rahmenbedingungen	217
4.4.3	Radbremsen	219
4.4.3.1	Trommelbremsen	220
4.4.3.2	Scheibenbremsen	222
4.4.4	Zweileitungs-Zweikreis-Druckluft-Bremsanlage	223
4.4.5	Dauerbremsen	225
4.5	Verbindungseinrichtungen	228
4.5.1	D-Wert-Berechnung	228
4.5.2	Zuggabeln	229
4.5.3	Starre Zugeinrichtungen	230
4.5.4	Kurzkuppelsysteme	233
4.5.5	Anhängekupplungen	234
4.5.6	Sattelkupplungen	235
4.6	Aktive und passive Sicherheit	238
	Literaturverzeichnis	242
<b>5</b>	<b>Nutzfahrzeugtragwerke und deren Aufbauten</b>	243
5.1	Werkstoffe und Halbzeuge	243
5.1.1	Eisenwerkstoffe	243
5.1.2	Aluminium-Knetlegierungen	249
5.1.3	Holz	252
5.1.4	Kunststoffe	254
5.1.5	Sandwichwerkstoffe	255
5.2	Gestaltung der Tragwerke	257
5.2.1	Tragsystem Fahrgestellrahmen	257
5.2.2	Gestaltung von Lkw-Fahrgestellrahmen	261
5.2.3	Gestaltung von Anhänger-Fahrgestellrahmen	263

5.3	Bemessung der Tragwerke .....	265
5.3.1	Belastungsfälle .....	266
5.3.2	Schnittgrößen .....	267
5.3.3	Q- und M-Linien am Balkenmodell .....	268
5.3.4	Fachwerke .....	271
5.3.5	Festigkeitsnachweis .....	273
5.3.5.1	Beanspruchungsarten und Bauteilnennspannung .....	273
5.3.5.2	Gestaltfestigkeit und Bauteilsicherheit .....	275
5.3.6	Elastische Biegeverformungen in Nutzfahrzeugtragwerken .....	279
5.4	Aufbauten .....	281
5.4.1	Aufbaurichtlinien und Aufbaugenehmigung .....	281
5.4.2	Hilfsrahmen und Aufbaubefestigung .....	282
5.4.3	Aufbauten ohne Hilfsrahmen .....	286
5.4.4	Hilfsrahmengestaltung .....	288
5.4.5	Böden von Pritschen- und Kofferaufbauten .....	291
5.4.6	Kofferaufbauten .....	295
5.5	Ladungssicherung .....	300
5.6	Korrosionsschutz .....	302
	Literaturverzeichnis .....	305
<b>6</b>	<b>Motor</b> .....	<b>307</b>
6.1	Lastenheftanforderungen für Nutzfahrzeugmotoren .....	308
6.1.1	Grundsatzüberlegungen .....	308
6.1.2	Auslegungskriterien .....	309
6.2	Thermodynamische Grundlagen des dieselmotorischen Arbeitsprozesses .....	311
6.2.1	Dieselmotor-Kreisprozess .....	312
6.2.2	Realprozess .....	314
6.3	Einspritzung, Gemischbildung und Verbrennung .....	315
6.3.1	Einspritzsysteme für Nutzfahrzeugmotoren .....	315
6.3.1.1	Reiheneinspritzpumpe (RE) .....	317
6.3.1.2	Verteilereinspritzpumpe (VE) .....	319
6.3.1.3	Pumpe-Düse-Einheit (PD) .....	321
6.3.1.4	Pumpe-Leitung-Düse (PLD) .....	323
6.3.1.5	Common-Rail (CRS) .....	324
6.3.2	Gemischbildungsverfahren .....	326
6.3.3	Verbrennung im Dieselmotor .....	330
6.4	Abgasschadstoffe .....	334
6.4.1	NO <sub>x</sub> , Partikel-, CO- und HC-Emissionen im Dieselmotor .....	334
6.4.1.1	Verbrennungsprodukte .....	334
6.4.1.2	Emissionen und Immissionen .....	336
6.4.1.3	Trade-Off zwischen Kraftstoffverbrauch und Emissionen .....	337
6.4.3	Vorschriften zur Emissionsbegrenzung von Nutzfahrzeugmotoren .....	339
6.4.3.1	13-Stufen-Test ESC (EURO-3, -4, -5) .....	340
6.4.3.2	ETC-Prüfzyklus (EURO-3, -4, -5) .....	341
6.4.3.3	ELR-Prüfzyklus (EURO-3, -4, -5) .....	343
6.4.3.4	Entwicklung der Emissionsgrenzwerte und Ausblick .....	344

6.5	Abgasreinigung beim Nutzfahrzeug-Dieselmotor .....	347
6.5.1	Interne, motorische Maßnahmen .....	347
6.5.2	Abgasnachbehandlungssysteme für Nutzfahrzeugmotoren .....	351
6.5.2.1	Gekühlte Abgasrückführung .....	352
6.5.2.2	Oxidationskatalysator und SCR-Technik .....	353
6.5.2.3	Partikelfilter-Systeme .....	358
6.5.2.4	Systemkombination .....	363
6.5.3	Zukünftige Brennverfahren für Nutzfahrzeugmotoren .....	364
6.6	Aufladung .....	364
6.6.1	Aufladeverfahren .....	365
6.6.2	Abgasturbolader (ATL) .....	366
6.6.3	Ladeluftkühlung .....	368
6.6.4	Variationen der Abgasturbolader-Anpassung an den Motor .....	369
6.6.5	Zukünftige Entwicklungen .....	372
6.7	Motorkonstruktion .....	373
6.7.1	Zylinderkurbelgehäuse .....	373
6.7.1.1	Zylinderkurbelgehäuse-Bauarten .....	374
6.7.1.2	Zylinderlaufflächen und Zylinderbuchsen .....	375
6.7.1.3	Verbindung Zylinderkurbelgehäuse/Zylinderkopf .....	376
6.7.2	Zylinderkopf und Zylinderkopf-Dichtung .....	377
6.7.3	Kurbeltrieb .....	379
6.7.3.1	Kurbelwelle .....	379
6.7.3.2	Kolben .....	381
6.7.3.3	Pleuel und Lager .....	383
6.7.4	Steuerung und Ventiltrieb .....	384
6.7.4.1	Nockenwelle .....	384
6.7.4.2	Antrieb .....	385
6.7.4.3	Ventil/Ventilfeder .....	386
6.7.5	Anordnung der Hilfsaggregate und deren Antrieb .....	387
6.8	Öl- und Kühlkreislauf .....	389
6.8.1	Ölkreislauf .....	389
6.8.1.1	Ölpumpe und Ölfilter .....	390
6.8.1.2	Ölkühler .....	392
6.8.2	Kühlarten .....	393
6.8.2.1	Luftkühlung .....	393
6.8.2.2	Wasserkühlung .....	393
6.8.2.3	Komponenten des Kühlkreislaufs .....	394
6.9	Luftversorgung, Ladeluft- und Abgasführung .....	396
6.9.1	Ladeluftkühler .....	397
6.9.2	Motorbremseinrichtungen .....	398
6.9.3	Ladedruckregelung .....	400
6.10	Kraft- und Schmierstoffe .....	402
6.10.1	Anforderungen an den Kraftstoff .....	402
6.10.1.1	Zündwilligkeit, Cetanzahl .....	402
6.10.1.2	Schwefelgehalt .....	402
6.10.1.3	Aromatengehalt .....	404
6.10.1.4	Biokraftstoffe .....	404
6.10.1.5	Cetanzahlverbesserer .....	405
6.10.2	Anforderungen an Motoröle .....	407

6.11 Kurbelwellendichtringe für Nutzfahrzeug- und Industriedieselmotoren .....	410
6.11.1 Betriebsweise des Dieselmotors .....	410
6.11.2 Dynamik der Kurbelwellen in Dieselmotoren .....	410
6.11.3 Anforderungsprofil für Kurbelwellendichtungen .....	411
6.11.4 DichtungsbaufORMen .....	412
6.11.4.1 Elastomer-Dichtungen .....	412
6.11.4.2 Dichtungen mit PTFE Dichtmanschetten .....	413
6.11.4.3 Kassettendichtungen als einbaufertiges Modul .....	414
6.11.4.4 Dichtsysteme mit Zusatzfunktionen und Trends .....	415
6.11.5 Ausfallursachen .....	416
6.11.5.1 Versagensarten .....	416
6.11.6 Zusammenfassung und Ausblick .....	417
Literaturverzeichnis .....	418
<b>7 Getriebe .....</b>	<b>421</b>
7.1 Leistungsangebot .....	421
7.2 Zusammenwirken von Motor und Komponenten des Antriebsstranges .....	423
7.2.1 Aufbau des Antriebsstranges .....	423
7.2.2 Drehzahlwandler .....	424
7.2.3 Drehmomentwandler .....	425
7.3 Hydrodynamische Kupplungen und Wandler .....	429
7.3.1 Hydrodynamische Kupplung .....	431
7.3.2 Hydromechanische Wandler .....	431
7.4 Kupplungen .....	434
7.4.1 Reibungskupplungen .....	434
7.4.1.1 Einscheibenkupplung (Schraubenfederprinzip) .....	434
7.4.1.2 Einscheibenkupplung (Membranfederprinzip) .....	435
7.4.1.3 Zweisheibenkupplung .....	436
7.4.1.4 Hydraulische Kupplungsbetätigung .....	436
7.5 Konstruktive Getriebegrundkonzepte .....	437
7.5.1 Bauform, Bauarten, Aufbau von Getrieben .....	437
7.5.1.1 Bauform und Bauart .....	438
7.5.1.2 Aufbau von Getrieben .....	438
7.5.1.3 Mechanische Schaltung .....	439
7.5.1.4 Gruppen-, Range- und Splitgetriebe .....	440
7.5.1.5 Automatisierte Schaltgetriebe .....	442
7.5.1.6 Automatische Getriebe .....	443
7.5.1.7 Vorgelegegetriebe mit Wandlerkupplung .....	444
7.5.2 Endantrieb .....	444
7.5.2.1 Verteilergetriebe .....	445
7.5.2.2 Ausgleichgetriebe .....	445
7.6 Ausgeführte Beispiele .....	446
7.6.1 Handschaltgetriebe .....	449
7.6.1.1 Daimler G211-16 .....	449
7.6.1.2 Eaton-Twin-Splitter-Getriebe .....	450
7.6.2 Automatisierte Getriebe .....	450
ZF-AS Tronic .....	450

7.6.3	Wandler-Schaltgetriebe .....	452
	ZF-TC Tronic .....	452
7.6.4	Automatgetriebe .....	453
	Allision Transmission – Serie 4500 .....	453
7.6.5	Nebenabtriebe .....	454
	7.6.5.1 Kupplungsabhängige Nebenabtriebe .....	454
	7.6.5.2 Motorabhängige Nebenabtriebe .....	455
	Literaturverzeichnis .....	456
<b>8</b>	<b>Elektrik und Elektronik .....</b>	<b>457</b>
8.1	Vorwort .....	457
8.2	Einführung .....	457
8.2.1	Begriffsdefinition .....	457
8.2.2	Grundsätzliches .....	458
	8.2.2.1 Historie .....	458
	8.2.2.2 Aufbau eines elektronisch gesteuerten Systems .....	460
	8.2.2.3 Entwicklungsprozess elektronischer Steuergeräte .....	462
8.2.3	Abgrenzung System – Fahrzeug .....	463
8.3	Funktionen .....	464
8.3.1	Basisfunktionen .....	464
	8.3.1.1 Signalisierungsfunktionen .....	464
	8.3.1.2 Scheibenreinigung .....	468
	8.3.1.3 Außenbeleuchtung .....	469
8.3.2	Standardfunktionen .....	472
	8.3.2.1 Innenbeleuchtung .....	472
	8.3.2.2 Heizung/Lüftung/Klima .....	472
	8.3.2.3 Schließenanlage .....	473
	8.3.2.4 Anhängerversorgung .....	474
8.3.3	Schnittstellenfunktionen .....	476
	8.3.3.1 Anhänger-/Aufbauerhersteller .....	476
	8.3.3.2 Flottenmanagement .....	477
8.4	Systeme .....	477
8.4.1	Antriebsstrangsysteme .....	477
	8.4.1.1 Motor .....	477
	8.4.1.2 Getriebe .....	479
	8.4.1.3 Retarder .....	481
8.4.2	Brems- und Fahrwerksysteme .....	481
	8.4.2.1 ABS ( <u>A</u> nti <u>B</u> lockier <u>S</u> ystem) .....	481
	8.4.2.2 ASR ( <u>A</u> ntriebs <u>S</u> chlupf <u>R</u> egelung) .....	482
	8.4.2.3 Übergang zur EBS ( <u>E</u> lektronischen <u>B</u> remsen <u>S</u> teuerung) .....	482
	8.4.2.4 FDR (Fahr <b>d</b> ynamik <b>r</b> egelung ) .....	483
	8.4.2.5 Niveauregulierung .....	484
	8.4.2.6 Stoßdämpferregelung .....	485
	8.4.2.7 Wankregelung .....	485
8.4.3	Bedien- und Anzeigesysteme .....	486
	8.4.3.1 Instrumentierung .....	486
	8.4.3.2 Multifunktionslenkrad .....	487

---

8.4.4	Assistenzsysteme .....	487
8.4.4.1	Abstandsregeltempomat .....	487
8.4.4.2	Spurassistent .....	488
8.5	Übergreifende Aspekte .....	489
8.5.1	Systemarchitektur .....	489
8.5.1.1	Elektrik/Elektronik-Architektur für das Gesamtsystem Fahrzeug .....	489
8.5.1.2	Software-Architektur in einem elektronischen Steuergerät .....	490
8.5.2	Energiebereitstellung und -verteilung .....	491
8.5.2.1	Komponenten des Bordnetzes .....	491
8.5.2.2	Zukünftige Entwicklungen für Bordnetze .....	494
8.5.3	Informationsübertragung/Netzwerke .....	495
8.5.4	Diagnose .....	496
8.5.5	Elektromagnetische Verträglichkeit .....	497
8.6	Ausblick .....	498
Literaturverzeichnis .....		499
 <b>Sachwortverzeichnis</b> .....		 501

# Formelzeichen

## a, A

$a$	m/s <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	Beschleunigung
$A$	mm <sup>2</sup> , m <sup>2</sup>	Fläche
$A$	cm <sup>2</sup> , mm <sup>2</sup>	Querschnittsfläche
$A$	m <sup>2</sup>	wirksame Querschnittsfläche
$A_{G'}$	m <sup>2</sup>	durch Flächenlast belastete Fläche
$A_N$	m <sup>2</sup>	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 Zugfahrzeuges
$B_{RvA}$	N	Bremskraft an der Vorderachse des Anhängers
$B_{RvZ}$	N	Bremskraft an der Vorderachse des Zugfahrzeuges
$\Delta B$	%	Kraftstoffmehrverbrauch

## c, C

$c$	N/m	Federsteifigkeit
$c_F$	N/m	Federsteifigkeit der Fahrwerksfeder
$c_P$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	spez. Wärme (bei konst. Druck)
$c_R$	N/m	Reifen-Federsteifigkeit

$c_T$	–	Tangentialkraftbeiwert
$c_v$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	spez. Wärme (bei konst. Volumen)
$c_w$	–	Luftwiderstandsbeiwert
$C$	–	Tabellenwert
$C^*$	–	Bremsenkennwert
$\Delta c_w$	–	Verkleinerung des Luftwiderstandsbeiwertes
<b>d, D</b>		
$d$	mm	Materialdicke
$d_S$	mm	Stautoleranz
$d_z$	mm, cm	Zylinderdurchmesser
$D$	m	Kreislauf-Durchmesser
$D$	N, kN	Deichselkraft, D-Wert
<b>e, E</b>		
$e$	mm	Abstand Resultierende der Flächenpressung von der Radmitte
$e_i$	mm	verschiedene, durch Index $i$ unterschiedene Randfaserabstände
$E$	N/mm <sup>2</sup>	Elastizitätsmodul
$ET$	mm	Einpresstiefe
<b>f, F</b>		
$f$	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
$F_{NvZ}$	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
$\Delta F$	N	Kraftänderung

**g, G**

$g$	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
$G$	Liter/sec	Grenzwert
$G$	N/mm <sup>2</sup>	Gleitmodul
$G$	N	Gewicht
$G_A$	kg	Aufbaugewicht

$\Delta_{GA}$	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	statisches 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 Zugfahrzeuges
$GG_{zul}$	kg	zulässiges Gesamtgewicht
$GG_{Z,zul}$	kg	zulässiges Gesamtgewicht des Zugfahrzeuges
$\%G_{v,min}$	%	Mindestvorachslastanteil
$\%G_h$	%	Hinterachslastanteil
$\Delta_{G_A}$	N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Anhänger
$\Delta_{G_G}$	N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Solofahrzeug
$\Delta_{G_N}$	N	dynamischer Anteil der Achslast beim Solofahrzeug auf Steigungen
$\Delta_{G_Z}$	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 Zugfahrzeuges über der Fahrbahn
$h_N$	mm, m	lichte Ladehöhe
$h_P$	mm	Querschnittshöhe
$h_S$	mm, m	Schwerpunkthöhe
$h_{sA}$	mm	Schwerpunkthöhe des Anhängers
$h_{sA}$	mm, m	Schwerpunkthöhe des Aufbaus
$h_{s,bFG}$	mm, m	Schwerpunkthöhe des betriebsfertigen Fahrgestells
$h_{s,ges}$	mm, m	Schwerpunkthöhe des Gesamtfahrzeuges
$h_{SK}$	mm	Höhe der waagerechten Komponente der Sattelkraft
$h_{s,N}$	mm, m	Schwerpunkthöhe der Nutzlast
$h_{sZ}$	mm	Schwerpunkthöhe des Zugfahrzeuges
$H$	–	Tabellenwert
$HB$	kp/mm <sup>2</sup>	Brinell-Härte
$H_i$	Torr	atmosphärischer Druck
$H_u$	kJ/kg	Heizwert
$H_o$	kJ/kg	Brennwert
$H_{Gem}$	kJ/m <sup>2</sup>	Gemischheizwert
$\Delta h$	m	Höhenunterschied zwischen zwei Punkten einer Strecke

**i, I**

$i$	–	Faktor
$i$	–	Übersetzungsverhältnis
$i_A$	–	Achsübersetzung
$i_G$	–	Getriebeübersetzung
$I_{ax}$	mm <sup>4</sup> , cm <sup>4</sup>	Axiales Flächenmoment 2. Grades
$I_{ax,i}$	mm <sup>4</sup> , cm <sup>4</sup>	verschiedene, durch Index $i$ unterschiedene axiale Flächenmomente 2. Grades

$I_p$	mm <sup>4</sup> , cm <sup>4</sup>	Polares Flächenmoment
$i_R$	–	Drehmoment-Steigerungsfaktor für Rangegruppe
$i_{Split}$	–	Drehmoment-Steigerungsfaktor für Splitgruppe
<b>j, J</b>		
$J_A$	kg m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment der Triebwerksteile
$J_M$	kg m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment des Motors
$J_R$	kg m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment
$J_{Rh}$	kg m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment der Hinterräder einschließlich der auf die Hinterräder umgerechneten Anteile des Triebwerksstranges
$J'_{Rh}$	kg m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment der Hinterräder
$J_{Rv}$	kg m <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment der Vorderräder
<b>k, K</b>		
$k$	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
<b>l, L</b>		
$l$	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 Zugfahrzeuges
$l_i$	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 Zugfahrzeugs
$l_{Zu}$	mm, m	Ausladung der Zuggabel
$l_1, l_2$	mm, m	1. Radstand, 2. Radstand
$L$	N	Längskraft
$\Delta l$	m	Abstand zwischen zwei Punkten in der Horizontalen
<b>m, M</b>		
$m$	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
<b>n, N</b>		
$n$	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
$n_{R,i}$	–	Anzahl der Reifen an der $i$ -ten Achse

**p, P**

$p$	bar, Pa	Druck
$p$	%	Steigung (Gefälle) der Fahrbahn
$p_{p0}, p_u$	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 <sup>2</sup>	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 Reifenhalmmesser
$r_{i,min}$	mm	kleinster zulässiger Biegeradius
$r_{K,h}$	mm, m	Schleppkurvenhalmmesser
$r_{K,v}$	mm, m	Führungskurvenhalmmesser
$r_{stat}$	mm	Statischer Reifenhalmmesser
$R_A$	mm, m	Wendekreishalmmesser des Aufliegers
$R_a, R_i$	mm, m	Halbmesser des BO-Kraft-Kreises
$R_e$	N/mm <sup>2</sup>	Streckgrenze
$R_m$	N/mm <sup>2</sup>	Bruchfestigkeit
$R_Z$	mm, m	Wendekreishalmmesser des Zugfahrzeuges
$R_z$	μm	gemittelte Rautiefe

**s, S**

$s$	mm, cm	Hubweg
$s$	–	Schlupf
$s$	mm	Schüsseldicke, Kolbenhub
$s$	%	Schlupf
$s^*$	–	Stoßfaktor
$s_o$	m	Teilabschnitt des Anhalteweges
$s_1$	m	Teilabschnitt des Anhalteweges
$s_2$	m	Teilabschnitt des Anhalteweges
$\Delta_s$	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 Schweißbraue 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
$v_{L,res}$	m/s	resultierende Luftgeschwindigkeit
$v_P$	m/s	Geschwindigkeit Pkw
$v_v$	m/s	Geschwindigkeit des Vorderrades
$V$	l, mm <sup>3</sup> , dm <sup>3</sup>	Hubraum des Motors, Brennraumvolumen
$V$	m <sup>3</sup>	Zylindervolumen
$V_{Gem}$	l, m <sup>3</sup>	Gemischvolumen
$V_H$	l, cm <sup>3</sup>	Hubraum des Motors
$V_h$	l, cm <sup>3</sup>	Zylinderhubvolumen
$V_k$	l, cm <sup>3</sup>	Kompressionsvolumen
$V_{Kr}$	l, cm <sup>3</sup>	Kraftstoffvolumen
$\dot{V}_K$	cm <sup>3</sup> /sec	Kühlmittelvolumenstrom
$\dot{V}_{Kr}$	cm <sup>3</sup> /sec	Volumenstrom des Kraftstoffes
$V_L$	l, cm <sup>3</sup>	Ladungsvolumen
$V_N$	m <sup>3</sup>	Ladevolumen
$\Delta v_L$	m/s	Geschwindigkeitsänderung Lkw
$\Delta v_P$	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 <sup>3</sup> , cm <sup>3</sup>	axiales Widerstandsmoment
$W_{ax,erf}$	mm <sup>3</sup> , cm <sup>3</sup>	erforderliches axiales Widerstandsmoment
$W_{Br}$	Nm/s, kW	Bremsarbeit
$W_i$	Nm	indizierte Arbeit
$W_{theor.}$	Nm	theoretische Arbeit
$W_p$	mm <sup>3</sup> , cm <sup>3</sup>	polares Widerstandsmoment

**x, X**

$\Delta x$	mm, m	Federweg
------------	-------	----------

**y, Y**

$\Delta y$	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

$\alpha$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$	Wärmeübergangskoeffizient
$\alpha_{an}$	°	Anströmwinkel
$\alpha_h$	°	Schräglaufwinkel, hinten
$\alpha_i$	°	verschiedene, durch Index $i$ unterschiedene Schräglaufwinkel
$\alpha_{St}$	°	Steigungswinkel
$\alpha_v$	°	Schräglaufwinkel, vorn
$\beta$	°	Winkel zwischen Fahrzeuglängsmittlebene und resultierender Luftgeschwindigkeit
$\beta_k$	–	Kerbwirkungszahl
$\beta_{K,N}$	°	Knickwinkel zwischen Ladungslängs- und Nachläuferlängsachse
$\beta_{K,S}$	°	Knickwinkel zwischen Zugmaschinen- und Aufliegerlängsachse
$\delta_v$	°	Radeinschlagwinkel
$\delta_v$	°	Lenkwinkel an der Vorderachse
$\delta_h$	°	Lenkwinkel an der Hinterachse
$\delta_A$	°	Lenkwinkel der Aufliegerachse
$\delta_N$	°	Lenkwinkel der Nachläufer-Vorderachse
$\Delta \eta_{bv}$	–	Wirkungsgradverlust durch nicht ideale Verbrennung
$\Delta \eta_u$	–	Wirkungsgradverlust durch Undichtheit
$\Delta \eta_k$	–	Wirkungsgradverlust durch Kühlung
$\Delta \eta_{lw}$	–	Wirkungsgradverlust durch Ladungswechsel
$\Delta \eta_r$	–	Wirkungsgradverlust durch Reibung
$\varepsilon$	–	Verdichtungsverhältnis
$\varepsilon$	–	Gütegrad der Bremsanlage
$\Phi$	–	Austauschgrad
$\varphi$	–/°	Gleichdruckverhältnis, Einspritzverhältnis, Kurbelwinkel
$\kappa$	–	Isentropenexponent
$\kappa$	–	Grenzspannungsverhältnis
$\lambda$	–	Luftverhältnis, Leistungsziffer
$\lambda_a$	–	Luftaufwand
$\lambda_L$	–	Liefergrad
$\lambda$	–	Faktor zur Berücksichtigung der rotierenden Massen
$\mu$	–	Momentenwandlungsfaktor
$\mu_H$	–	Haftbeiwert
$\mu_R$	–	Reibbeiwert
$\pi$	–	Kreiskonstante
$v_D$	–	Sicherheit gegen Dauerbruch
$v_F$	–	Sicherheit gegen Fließen
$v$	–	Drehzahlverhältnis
$v$	cm <sup>3</sup> , dm <sup>3</sup>	Volumen
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte
$\rho_{Kr}$	g/cm <sup>3</sup>	Kraftstoffdichte
$\rho_h$	kg/m <sup>3</sup>	theoretische Luftdichte
$\rho$	kg/dm <sup>3</sup>	Dichte
$\rho_{N,g}$	t/m <sup>3</sup>	Grenz-Nutzlastdichte
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	Normalspannung

$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	Ausschlagsspannung
$\sigma_{bD}$	N/mm <sup>2</sup>	Biegedauerfestigkeit
$\sigma_{bF}$	N/mm <sup>2</sup>	Biegefließgrenze
$\sigma_D$	N/mm <sup>2</sup>	Dauerfestigkeit
$\sigma_F$	N/mm <sup>2</sup>	Fließgrenze
$\sigma_G$	N/mm <sup>2</sup>	Gestaltfestigkeit
$\sigma_m$	N/mm <sup>2</sup>	ruhende Mittelspannung
$\sigma_n$	N/mm <sup>2</sup>	Nenn(normal)spannung
$\sigma_{n,i}$	N/mm <sup>2</sup>	verschiedene, durch Index $i$ unterschiedene Nenn(normal)spannungen
$\sigma_o$	N/mm <sup>2</sup>	Oberspannung
$\sigma_{kr}$	N/mm <sup>2</sup>	kritische Beulspannung
$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	Unterspannung
$\sigma_v$	N/mm <sup>2</sup>	Vergleichsspannung
$\sigma_{zul}$	N/mm <sup>2</sup>	zulässige Bauteil(nenn)spannung
$\tau_n$	N/mm <sup>2</sup>	Nenn(schub)spannung
$\ddot{\varphi}$	°/s <sup>2</sup>	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
$\varphi$	°	Kreisbogenwinkel
$\varphi_L$	°, rad	Verdrehwinkel des Längsträgers
$\varphi_Q$	°, rad	Verdrehwinkel des Querträgers
$\psi$	rad	Tangentendrehwinkel
$\sigma$	kg/m <sup>3</sup>	Luftdichte
$\eta_e$	–	effektiver Wirkungsgrad, Gesamtwirkungsgrad
$\eta_g$	–	Gütegrad
$\eta_i$	–	Innenwirkungsgrad
$\eta_{iHD}$	–	Hochdruckwirkungsgrad
$\eta_{hyd}$	–	hydraulischer Wirkungsgrad
$\eta_m$	–	mechanischer Wirkungsgrad
$\eta_{th}$	–	thermischer Wirkungsgrad
$\eta_{thCar}$	–	thermischer Wirkungsgrad, Carnot-Prozeß
$\eta_{thGd}$	–	thermischer Wirkungsgrad, Gleichdruckprozeß
$\eta_{thSeiliger}$	–	thermischer Wirkungsgrad, Seiligerprozeß
$\eta_v$	–	Wirkungsgrad der vollkommenen Motors
$\eta_T$	–	Triebwerkswirkungsgrad
$\omega$	1/sec.	Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit
$\omega_P$	1/sec.	Winkelgeschwindigkeit, Pumpe
$\omega_T$	1/sec.	Winkelgeschwindigkeit, Turbine
$\psi$	–	Drucksteigerungsverhältnis

---

# 1 Einführung in die Nutzfahrzeugtechnik

## 1.1 Transportaufgabe

Das Nutzfahrzeug als Lastkraftwagen oder Lastzug hat die Aufgabe, eine Nutzlast mit möglichst geringem Aufwand über kürzere oder längere Strecken von Haus zu Haus zu transportieren. Die Vorgaben des Gesetzgebers in Form der deutschen Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) und die Vorschriften der EU beziehen sich nicht nur auf die Abmessungen und Gewichte, sondern auch auf die Emissionen des Dieselmotors. Um allen Transportaufgaben gerecht zu werden, bieten die Hersteller Transporter, Lastkraftwagen, Zugmaschinen, Auflieger, Anhänger und branchengerechte Aufbauten in großer Vielfalt an. Die wesentlichste Transportaufgaben sind:

- leichter urbaner und regionaler Verteilerverkehr mit Transportern
- schwerer Verteilerverkehr mit Solo-Lkw und leichten Sattelzügen
- nationaler Fernverkehr mit Lastzügen mit mittlerer Motorleistung
- internationaler Fernverkehr mit 40-t-Sattelzügen mit hoher Motorleistung und Fahrerhäusern mit hohem Komfort und Kommunikationsmöglichkeiten über Satelliten; Gliederzüge spielen eine untergeordnete Rolle
- kombinierter Verkehr mit speziellen Waggons als „Rollende Landstraße“ (Rola) für komplette Lastzüge oder durch Umsetzen der Ladungsträger auf spezielle Waggons
- Baustellenfahrzeuge mit Kippaufbau oder z. B. Betonmischaufbauten mit zwei bis fünf Achsen als Solo-Fahrzeuge oder Lkw mit Tandemachsanhänger; für erschwerten Betrieb mit Antrieb auf mehrere Achsen

Das Fahrgestell eines Nutzfahrzeuges ist universell, erst durch branchen- oder ladungsgerechte Aufbauten und eventuell Ladeeinrichtungen wird es spezialisiert. Für den Vor- und Nachlauf zu den Terminals des kombinierten Verkehrs werden Containerchassis als Auflieger oder Anhänger für übliche Container bis 45' und für genormte Wechselaufbauten angeboten.

Transport und Logistik sind die Stützen einer wachsenden Weltwirtschaft und zugleich Schrittmacher einer fortschreitenden Globalisierung von Produktion und Wirtschaft. Das Nutzfahrzeug, selbst schon ein Produkt globalisierter Forschung, Entwicklung und Produktion, trägt und prägt den Globalisierungsprozess.

Bei allen Vorteilen, die der Güterverkehr auf der Schiene bieten kann, bleibt der grenzüberschreitende Verkehr durch mehrere Stromsysteme, verschiedene Spurweiten und unterschiedliche Sicherungssysteme gegenüber dem Lkw im Nachteil.

Am Transport der Güter des täglichen Bedarfs (Konsumgüter) wie auch der Investitionsgüter sind Fahrzeuge beteiligt, die sich zu Wasser, auf dem Land (Schiene und Straße) oder in der Luft bewegen. Die Wahl des für eine konkrete Transportaufgabe geeignetsten Verkehrsmittels ist vom Transportweg, der angestrebten Transportzeit, dem Ausbau des betreffenden Transportwegesystems, den Abmessungen und dem Gewicht des Transportgutes und vor allem den entstehenden Transportkosten abhängig. Unter Abwägung dieser Kriterien wählt der Auftraggeber oder der von diesem beauftragte Spediteur ein einzelnes oder eine Kombination aus mehreren Transportmitteln aus.

Für den Transport schwerer und großvolumiger Fracht über große Entfernungen sind aufgrund eines geringen spezifischen Energieverbrauchs wie auch niedriger spezifischer Transportkosten *Wasserfahrzeuge* am geeignetsten. Die niedrigen Transportgeschwindigkeiten erfordern allerdings erhebliche Frachtzeiten. Da die zur Verfügung stehenden Verkehrswege (Meere, Seen, große Flüsse, Kanäle) geographisch bedingt begrenzt sind, muss in der Regel auf andere Verkehrsmittel umgeschlagen werden.

*Schienenfahrzeuge* nutzen ein festes Gleiswegenetz, das aber nur für die wenigsten Transportaufgaben (Firmen mit Gleisanschluss) ausschließlich genutzt werden kann. Darüber hinaus sind ländliche Gebiete wie auch Gebirge selten durch die Bahn erschlossen. Die maßlichen Beschränkungen für das Transportgut ergeben sich durch das Bahn-Verladeprofil C22. Da die Bahn aus ökonomischen Gründen große Transporteinheiten (Züge) bildet, sind die Transportzeiten trotz der höheren Geschwindigkeiten größer als bei reinem Straßentransport, da durch Rangieraufgaben und den Umschlag auf Straßenfahrzeuge zeitliche Einbußen entstehen.

*Straßenfahrzeuge* profitieren in erster Linie vom weit und engmaschig ausgebauten Straßenverkehrsnetz. Kurze Transportzeiten und die Möglichkeit, „just in time“ zu liefern, sind das oft entscheidende Argument im Vergleich zum Transport auf der Schiene. Belastend auf Mensch und Umwelt wirken sich die insbesondere durch den gewerblichen Güterfernverkehr verursachte hohe Verkehrsdichte auf den Autobahnen und Bundesstraßen, Abgasbelastigung und Umweltschädigung wie auch der hohe Bedarf an Verkehrsflächen aus.



**Bild 1-1** „CargoRoo Trailer“ (ADtranz)

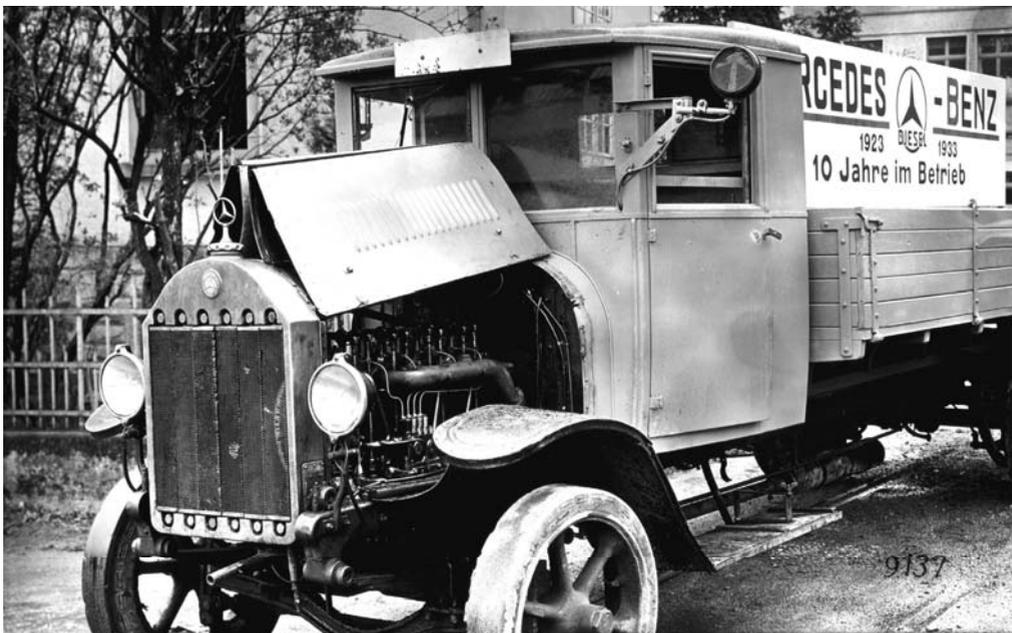
*Luftfahrzeuge* (Flugzeuge) sind bezüglich kürzester Transportzeiten über große Entfernungen unschlagbar. Sie werden allerdings nur dort eingesetzt, wo die hohen spezifischen Transportkosten in angemessener Relation zum Warenwert stehen oder leicht verderbliche Waren kurze Transportzeiten zwingend erfordern. Als attraktives Transportmittel für besonders schwere und großvolumigen Lasten sehen zukunftsweisende Konzepte das Luftschiff an.

*Straße-Schiene-Transportkonzepte* sind mit weniger als 10 % am Gütertransport in Deutschland beteiligt. Um den kombinierten Verkehr attraktiv zu machen, sind besondere technische und logistische Konzepte entwickelt worden. Bild 1-1 zeigt das mobile Umschlagsystem „CargoRoo Trailer“. Dieses basiert auf Eisenbahnwagen mit bordeigenen Lafetten als Umschlaganlagen und dem Sattelanhänger als einheitlichem Straßenfahrzeug. Statt Umschlaganlagen wird lediglich ein Gleis und beiderseits Fahrbahnen für die Sattelkraftfahrzeuge benötigt.

## 1.2 Die Entwicklung des Nutzfahrzeugs

Der Lastkraftwagen blickt auf mehr als 100 Jahre zurück [1-1]. Es lohnt sich, einige Stationen oder Schwerpunkte der Entwicklung bis zum heutigen Nutzfahrzeug kurz zu betrachten, um den gewaltigen technischen und wirtschaftlichen Fortschritt in den letzten Jahrzehnten zu erfassen und zu verstehen.

Das Nutzfahrzeug als Lkw oder Lastzug ist ein fester Bestandteil logistischer Systeme. Seine Konstruktion hat größten Kundennutzen als Zielvorgabe, in weitestem Sinn heißt das Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit, verbunden mit hoher aktiver und passiver Sicherheit und hoher Umweltverträglichkeit. Die Verfügbarkeit des Lkw soll durch maximal 10 Tage für Wartung und Reparatur eingeschränkt werden.



**Bild 1-2** 1923: Erster Lastwagen mit Dieselmotor vom Benz-Werk Gaggenau, 5 t Nutzlast, Vierzylinder-Motor mit 50 PS, entwickelt bei Benz & Cie. AG in Mannheim (Daimler AG)