

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

Nutzfahrzeugtechnik

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

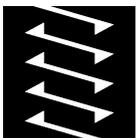
Nutzfahrzeugtechnik

Grundlagen, Systeme, Komponenten

6., 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.

Das Umschlagbild zeigt ein Sammelfahrzeug mit dieselelektrischem Hybridantrieb.

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
- 6., überarbeitete Auflage 2010

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2010

Lektorat: Ewald Schmitt | Gabriele McLemore

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

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: MercedesDruck, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0995-7

Vorwort

Die Nutzfahrzeugtechnik in einem Buch zu beschreiben ist ein gewagtes Unterfangen. Schaut man auf den Bereich der PKW-Technik findet man viele Bücher, welche Teilbereiche der Fahrzeugtechnik in großer Tiefe abbilden. Im vorliegenden Buch wird der Versuch unternommen, wie in den vorgehenden Ausgaben, die Nutzfahrzeugtechnik als Gesamtpaket zu vermitteln. Dadurch wird es an der ein oder anderen Stelle an Tiefgang fehlen, jedoch steht das Verständnis des Gesamtfahrzeugs hier im Mittelpunkt.

Gerade in der Nutzfahrzeugtechnik ist dieses ein wichtiger Punkt. Betrachtet man den Entstehungsprozess eines Nutzfahrzeugs so fällt auf, dass in den meisten Fällen das fertige Fahrzeug nicht von einem Hersteller kommt, sondern das Fahrgestell von einem der großen Nutzfahrzeugherstellern und durch einen Aufbau erst seine nutzbringenden Eigenschaften erhält. Dieses bedingt klare Systemgrenzen, aber auch das übergreifende Verständnis der Fahrzeugtechnik. Diese Technik unterscheidet sich grundlegend von der in einem PKW. Um sie zu verstehen, braucht man Hintergrundwissen bezüglich des Einsatzzweckes, der Fahrphysik (Fahrmechanik) und der gesetzlichen Vorschriften. Der Einsatzzweck ist nahezu ausschließlich rational gesteuert. Emotionale Beweggründe, wie „Freude am Fahren“, zählen beim Nutzfahrzeug wenig. Die Technik eines Nutzfahrzeuges hat eine wesentlich höhere Betriebsdauer. NFZ-Motoren 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. Elementar 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 zum Beispiel 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 Fahrodynamik 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 max. 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 Anhängerfahrgestell. Hier werden die Komponenten eines Nutzfahrzeuges bis auf den Antriebsstrang vorgestellt und analysiert. Kapitel 5 befasst sich mit der Konstruktion von Nutzfahrzeugtragwerken und deren Aufbauten. Dem Motor ist das Kapitel 6 und dem Getriebe das Kapitel 7 gewidmet. Der wesentlichen und zunehmend wichtigen Rolle der Elektrik und Elektronik im Fahrzeug- und Motorenbau sowie bei den Assistenzsystemen wird im Kapitel 8 Rechnung getragen.

Der Inhalt der 6. Auflage wurde ergänzt, neue Entwicklungen aufgenommen und hinsichtlich der geänderten Vorschriften auf den neuesten Stand gebracht. So wurde zum Beispiel eine Aktualisierung bei der Anzahl der ins nationale Recht übernommenen ECE Normen vorgenommen sowie die Emissionsvorschriften von EURO5 mit Ausblick auf EURO6 aktualisiert.

Das Team der Autoren besteht neben den Herausgebern 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). 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, welches in der Konzeption, Konstruktion, Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Überwachung von Nutzfahrzeugen tätig sind.

Unser Dank gilt auch dem Engagement der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Verlages Vieweg+Teubner, die das Erscheinen der 6. Auflage zur IAA Nutzfahrzeuge in Hannover im September 2010 möglich machen. Dem Verlag und allen Autoren wünschen wir einen erfolgreichen Start in die 6. Auflage.

Köln und Weinheim, im Juli 2010

Erich Hoepke und Stefan Breuer

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 Anhänger- fahrgestell
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

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Autorenverzeichnis	VII
Formelverzeichnis	XVII
1 Einführung in die Nutzfahrzeugtechnik	1
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
2 Fahrmechanik	35
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 Nutzfahrzeuges	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
3	Konzeption von Nutzfahrzeugen	105
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

4	Lastkraftwagen- und Anhängerfahrgestell	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
5	Nutzfahrzeugtragwerke und deren Aufbauten	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
6	Motor	307
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 _x , 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
7	Getriebe	421
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	Zweischeibenkupplung	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
8	Elektrik und Elektronik	457
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 Schließanlage	473
	8.3.2.4 Anhängerversorgung	474
8.3.3	Schnittstellenfunktionen	476
	8.3.3.1 Anhänger-/Aufbauhersteller	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 d ynamik r 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
	Sachwortverzeichnis	501

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 Zugfahrzeuges
B_{RvA}	N	Bremskraft an der Vorderachse des Anhängers
B_{RvZ}	N	Bremskraft an der Vorderachse des Zugfahrzeuges
ΔB	%	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	–	Tangentiale Kraftbeiwert
c_v	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	spez. Wärme (bei konst. Volumen)
c_w	–	Luftwiderstandsbeiwert
C	–	Tabellenwert
C^*	–	Bremsenkennwert
Δ_{c_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
E	N/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 Schräglaufkräfte
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

Δ_{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	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 Zugfahrzeuges
GG_{zul}	kg	zulässiges Gesamtgewicht
$GG_{Z,zul}$	kg	zulässiges Gesamtgewicht des Zugfahrzeuges
$\%G_{v,min}$	%	Mindestvorachslastanteil
$\%G_h$	%	Hinterachsslantanteil
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 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
$h_{s,A}$	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 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_α	–	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 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	Sattelvormmaß

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
$n_{R,i}$	–	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
\underline{Q}	N	Querkraft
\underline{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 ²	Streckgrenze
R_m	N/mm ²	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
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 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_{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 Stoppbremung

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
$\beta_{K,N}$	°	Knickwinkel zwischen Ladungslängs- und Nachläuferlängsachse
$\beta_{K,S}$	°	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
$\Delta \eta_{bv}$	–	Wirkungsgradverlust durch nicht ideale Verbrennung
$\Delta \eta_{ht}$	–	Wirkungsgradverlust durch Undichtheit
$\Delta \eta_k$	–	Wirkungsgradverlust durch Kühlung
$\Delta \eta_{lw}$	–	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_u	–	Luftaufwand
λ_L	–	Liefergrad
λ	–	Faktor zur Berücksichtigung der rotierenden Massen
μ	–	Momentenwandlungsfaktor
μ_H	–	Haftbeiwert
μ_R	–	Reibbeiwert
π	–	Kreiskonstante
v_D	–	Sicherheit gegen Dauerbruch
v_F	–	Sicherheit gegen Fließen
v	–	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
η_i	–	Innenwirkungsgrad
η_{iHD}	–	Hochdruckwirkungsgrad
η_{hyd}	–	hydraulischer Wirkungsgrad
η_m	–	mechanischer Wirkungsgrad
η_{th}	–	thermischer Wirkungsgrad
η_{thCar}	–	thermischer Wirkungsgrad, Carnot-Prozess
η_{thGd}	–	thermischer Wirkungsgrad, Gleichdruckprozess
$\eta_{thSeiliger}$	–	thermischer Wirkungsgrad, Seiligerprozess
η_v	–	Wirkungsgrad der vollkommenen Motors
η_T	–	Triebwerkswirkungsgrad
ω	1/sec.	Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit
ω_P	1/sec.	Winkelgeschwindigkeit, Pumpe
ω_T	1/sec.	Winkelgeschwindigkeit, Turbine
ψ	–	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 wesentlichen 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 Wechsellaufbauten 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 Straßenverkehrswegenetz. 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)

Lufffahrzeuge (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 Umschlag-einrichtungen und dem Sattelanhänger als einheitlichem Straßenfahrzeug. Statt Umschlaganlagen wird lediglich ein Gleis und beiderseits Fahrbahnen für die Sattelfahrzeuge 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.

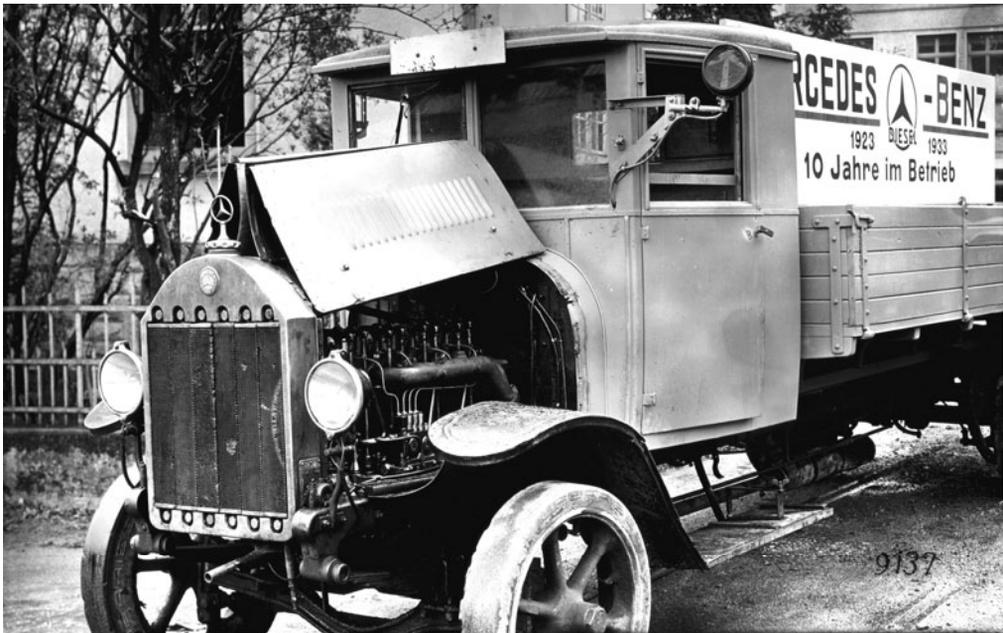


Bild 1-2 1923: Erster Lastwagen mit Dieselmotor vom Benz-Werk Gaggenau, 5 t Nutzlast, Vierzylinder-Motor mit 50 PS, entwickelt bei Benz & Cie. AG in Mannheim (Daimler AG)

Es war ein Traum von Rudolf Diesel, seinen Motor mit Kraftstoffeinspritzung und Selbstzündung für Kraftfahrzeuge verwenden zu können, aber es war ein langer Weg; erst 1923 konnte der erste Lkw mit Dieselmotor auf den Markt kommen [Bild 1-2]. Büssing stellte, ebenfalls 1923, einen so genannten Sechsradwalen mit besserem Verhältnis von Nutzlast zu Eigengewicht vor.

Diese markanten Entwicklungen setzten für die Nutzfahrzeugtechnik Maßstäbe für die nächsten Jahre [1-2]. Trotz schlechter wirtschaftlicher Lage wurde die Weiterentwicklung von allen Beteiligten zielstrebig in Richtung auf den wirtschaftlichen Lastkraftwagen betrieben. Kardantrieb statt Kette, Luftreifen und Druckluftbremse wurden Standard in schweren Lastwagen. Die Verwirklichung des alten Projekts einer Autobahn von Hamburg nach Basel in diesen 1930er Jahren beflügelte die Entwicklung in Richtung höherer Nutzlast durch Betrieb mit Anhängern und größerer Motorleistung. Gleichzeitig wurde der Lastwagen ein ernst zu nehmender Konkurrent der Eisenbahn, zumal er freizügig in der Fläche operieren kann. Durch Längen- und Gewichtsbeschränkung waren zunächst noch deutliche Grenzen gesetzt.

Die Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) von 1935 erlaubte Lastzüge bis 22 m Länge; ein dreiachsiger Lastwagen durfte 18,5 t wiegen und ein dreiachsiger Anhänger 16,5 t. Für einen Lastzug von 35 t Gesamtgewicht ergab sich bei der vorherrschenden Motorleistung von 150 PS eine spezifische Leistung von 4,3 PS/t (3,15 kW/t). Ein zweiachsiger Lkw konnte mit zwei Anhängern betrieben werden und erreicht $13\text{ t} + 11\text{ t} + 11\text{ t} = 35\text{ t}$ [Bild 1-3]. In den 1950er Jahren wurde der zweite Anhänger generell verboten. Die Höchstgeschwindigkeiten der Solo-Lkw betragen nur maximal 60 km/h. Die vorhandenen Straßen ließen keine höhere Geschwindigkeit zu, bis das Autobahnnetz zu wachsen begann. Für den zunehmenden Straßengüterverkehr entstanden um 1937 noch ein vierachsiger Lkw von Faun und mehrere Anhängerbauer stellten vierachsige Anhänger vor.



Bild 1-3 Untermotorisierter Lastzug 1936 von Henschel/Kässbohrer mit 125-PS-Dieselmotor, 34 t Gesamtgewicht (3,7 PS/t) (Karl Kässbohrer GmbH)

Die StVZO von 1965 begrenzte die Länge der Lastzüge auf 18 m, womit der Auslöser für die Einführung der Frontlenkerbauweise gegeben war. Dies zwang zu Motoren mit geringem Bauraum und möglichst kurzer Baulänge, obwohl die Motorleistungen ständig weiter stiegen. Die Fahrerhäuser wurden geräumiger, der Fahrerarbeitsplatz erhielt hohen Stellenwert. Im Kampf um hohe Verfügbarkeit und größere Wirtschaftlichkeit gewinnt nun der Sattelzug an Boden. Er