

ATZ/MTZ-Fachbuch

Erich Hoepke
Stefan Breuer *Hrsg.*



Nutzfahrzeug- technik

Grundlagen · Systeme · Komponenten

8. Auflage

 Springer Vieweg

ATZ/MTZ-Fachbuch

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

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

Erich Hoepke · Stefan Breuer
Herausgeber

Nutzfahrzeugtechnik

Grundlagen, Systeme, Komponenten

8., überarbeitete und erweiterte Auflage

 Springer Vieweg

Herausgeber
Erich Hoepke
Nordrach, Deutschland

Stefan Breuer
Heiligenhaus, Deutschland

ATZ/MTZ-Fachbuch
ISBN 978-3-658-09536-9
DOI 10.1007/978-3-658-09537-6

ISBN 978-3-658-09537-6 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2013, 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Einbandabbildung: Daimler AG, Designstudie Neuer Actros

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Fachmedien Wiesbaden ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.de)

Vorwort „Nutzfahrzeugtechnik“ 8. Auflage

Nutzfahrzeuge sind aus dem heutigen gesellschaftlichen Leben nicht mehr wegzudenken. Sie spielen eine immer wichtigere Rolle im globalen Zusammenleben. Sichtbarstes Zeichen dafür sind die vielen Transporter die täglich mit gewöhnungsbedürftigen Parkgewohnheiten auf sich aufmerksam machen, da sie Individualwünsche, geordert im Internet, in Fristen von ca. einem Tag vom Hersteller oder Lager zum Kunden bringen müssen. Der für den Kunden erfreuliche Umstand „Lieferung kostenlos“ verdeckt aber, dass hinter all dem ein riesiger logistischer Aufwand steckt, in welchem Nutzfahrzeuge eine wichtige Rolle spielen. Und das sind nicht nur die bereits erwähnten (Aus-)Lieferwagen, sondern auch Fahrzeuge die große Massen oder Volumina zu den Verteilzentren bringen. Parallel dazu gibt es viele Fahrzeuge, die für den Bausektor, die Landwirtschaft, die Automobilindustrie, usw. einen reibungsfreien Austausch von Waren ermöglichen sollen. Hieraus lassen sich gut die Entwicklungsziele der Nutzfahrzeugtechnik ableiten: Zum einen sind es die Kosten, zum anderen der sichere Betrieb des Fahrzeugs auf der Straße. Bei den Kosten sind die Hersteller der Fahrzeuge um Effizienz bemüht, d. h. der Kraftstoffverbrauch wird minimiert, Leistungen von Nebenaggregaten verringert, es wird Leichtbau betrieben und die Aerodynamik verbessert. Zur Effizienz gehört aber auch, dass das Fahrzeug möglichst geringe Standzeiten hat. Dafür werden Wartungsintervalle ausgedehnt und die Wartung bedarfsorientiert, ggf. mit Fernwartung durchgeführt. Fahrerassistenzsysteme erleichtern dem Fahrer das Führen des Fahrzeugs und sorgen so für Effizienz und gleichzeitig für einen sicheren Betrieb auf der Straße. Denn Unfälle verursachen Staus und verlängern so die Fahrzeit, was sich in den Kosten niederschlägt. Neue Fahrzeugkonzepte, wie der vor Jahren vorgestellt Euro- oder Giga-Liner mit einer zulässigen Länge von 25,25 m sind noch im Erprobungsstatus und lassen auf sich warten.

Dieses Buch möchte in die Nutzfahrzeugtechnik einführen. Die Technik der Nutzfahrzeuge kann den ganzen Maschinenbau beinhalten, denn neben der Fahrzeugtechnik und der Transportaufgabe können Nutzfahrzeuge alle möglichen Aufgaben erhalten. Um das zu veranschaulichen sei hier nur auszugsweise dargestellt, für was Nutzfahrzeuge alles eingesetzt werden können: Müllsammler, Betonmischer und – Pumpen, Kanalreinigungsfahrzeuge, landwirtschaftliche Traktoren, Kehrmaschinen, Hubwagen, Feuerwehrfahrzeuge, Fahrzeuge zur Inspektion von Brücken, und vieles mehr. Die einzelnen Techniken können hier nicht beschrieben werden, das Buch behandelt die Module, die in nahezu

allen Nutzfahrzeugen vorhanden sind: Das Fahrwerk, den Aufbau, den Antrieb und die Elektronik. Das Zusammenspiel dieser Komponenten ist wichtig und wird im dem Kapitel Fahrmechanik beschrieben. Hier findet man Ausführungen zur Aerodynamik, die wiederum den Aufbau betreffen. Ein weiteres wichtiges Kapitel ist die Konzeption von Nutzfahrzeugen. Für die Transportaufgabe möchte man möglichst viel transportieren, hier hat aber der Gesetzgeber Restriktionen erlassen, um die Straßen zu schonen und den Verkehr sicher zu machen. 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 den 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 realisieren zu können.

Dieses Zusammenspiel aus Einsatzzweck, gesetzlichen Vorgaben, Fahrmechanik und der daraus folgenden Konzeption von Nutzfahrzeugen wird in Kap. 1 bis 3 beschrieben. Kap. 4 beschreibt das Nutzfahrzeug-Fahrgestell, hier wurde in der aktuellen Auflage der Sattelzugmaschine und dem Omnibus mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Es werden die Komponenten eines Nutzfahrzeuges bis auf den Antriebsstrang vorgestellt und analysiert. Kap. 5 befasst sich mit der Konstruktion von Nutzfahrzeugtragwerken und deren Aufbauten. Dem Motor ist das Kap. 6 und dem Getriebe das Kap. 7 gewidmet. Der wesentlichen und zunehmend wichtigen Rolle der Elektrik und Elektronik im Fahrzeug- und Motorenbau, sowie bei den Assistenzsystemen, wird im Kap. 8 Rechnung getragen.

Die 8. Auflage wurde ergänzt, neue Entwicklungen aufgenommen und hinsichtlich der geänderten Vorschriften aktualisiert. Das Team der Autoren besteht neben den Herausgebern aus Herrn Appel (Daimler AG), Herrn Dahlhaus (Freudenberg), Herrn Prof. Burger (HAW Hamburg), Herrn Prof. Esch (FH Aachen), Herrn Stefan 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.

Mein Dank gilt auch dem Engagement von Herrn Schmitt, Programmleiter Technik und Frau Elisabeth Lange, Lektorat Kraftfahrzeugtechnik, die das Erscheinen der 8. Auflage zur IAA Nutzfahrzeuge in Hannover im September 2016 möglich machen.

Herr Erich Hoepke, der Mitherausgeber, Autor und Initiator dieses Buches ist Anfang April dieses Jahres im Alter von 92 Jahren verstorben. Es war beeindruckend mitzuerleben wie engagiert sich Herr Hoepke auch im hohen Alter für die Nutzfahrzeugtechnik interessierte. Auf gemeinsamen Fahrten mit dem Auto war es bewundernswert, wie viel er über nahezu jeden Glieder- oder Sattelzug wusste, den wir überholten – sowohl über die verbaute Technik als auch über die Entwicklung von rechtlichen Randbedingungen, wel-

che zu der Konfiguration von einem solchen Fahrzeug führten. Seit 1967 schrieb er über 350 Veröffentlichungen für Fachzeitschriften in Österreich, der Schweiz, Deutschland und den USA. Die Leser der ATZ/MTZ kennen ihn als Fachkorrespondent für Nutzfahrzeugtechnik. Über 25 Jahre (1980–2006) informierte er die Leser über neueste Entwicklungen, wobei ihn alles am Nutzfahrzeug interessierte: vom Antrieb über das Fahrwerk bis zu den Fahrerassistenzsystemen. Seine besondere Vorliebe galt den Schwertransporten. Er war Herausgeber, Autor oder Mitautor von zwölf Büchern über Nutzfahrzeuge. Im Jahr 2000 gab er zum ersten Mal das ATZ/MTZ-Fachbuch „Nutzfahrzeugtechnik“ heraus, welches ihnen jetzt in der 8. Auflage vorliegt.

Velbert, im Juni 2016

Stefan Breuer

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 g/kWh	spezifischer Kraftstoffverbrauch
b_i mm, m	verschiedene, durch Index i unterschiedene Breiten
b_N mm, m	lichte Ladebreite

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

c, C

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

d, D

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

e, E

e mm	Abstand Resultierende der Flächenpressung von der Radmitte
e_i mm	verschiedene, durch Index i unterschiedene Randfaserabstände
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 Schräglaufräfte
F_{sm} N	vertikale Mittellast an der Zugöse
F_{Sp} N	Spannkraft (an der Bremse)
F_{St} N	Steigungswiderstand
F_{StA} N	Steigungswiderstand des Anhängers
F_{StZ} N	Steigungswiderstand des Zugfahrzeugs
$F_{St,i}$ N	verschiedene, durch Index i unterschiedene Stabkräfte
F_T N	Trägheitskraft
F_U N	Umfangskraft an der Bremse
F_v N	Vorspurwiderstand
F_v N	Achslast vorne
F_x N	Kraftkomponente in X-Richtung
F_y N	Kraftkomponente in Y-Richtung
F_z N	Kraftkomponente in Z-Richtung
ΔF N	Kraftänderung

g, G

g m/s ²	Erdbeschleunigung
G l/s	Grenzwert
G N/mm ²	Gleitmodul
G N	Gewicht
G_A kg	Aufbaugewicht
Δ_{G_A} N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Anhänger
G_{An} N	Gewicht des Anhängers
G_{bFG} kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrgestells
$G_{bFG,h}$ kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrgestells, hinten
$G_{bFG,v}$ kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrgestells, vorne
G_{bFZ} kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrzeuges
$G_{bFZ,h}$ kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrzeuges, hinten
$G_{bFZ,v}$ kg	Gewicht des betriebsfertigen Fahrzeuges, vorne

G_{FG} kg	Fahrgestellgewicht
$G_{FG,h}$ kg	Fahrgestellgewicht hinten
$G_{FG,v}$ kg	Fahrgestellgewicht vorne
G_G N	Gewicht des Solofahrzeugs
G_{GN} N	Normalkraft-Komponente des Gewichtes beim Solofahrzeug
G_h N	statische Hinterachslast beim Solofahrzeug
G_h kg	Achslast hinten
G_{hA} N	statische Hinterachslast beim Anhänger
$G_{h,i}$ kg	Achslastanteil hinten
$G_{h,res}$ kg	resultierende Achslast hinten
$G_{h,zul}$ kg	zulässige Achslast hinten
G_{h1}, G_{h2} kg	Achslast 1. Hinterachse, Achslast 2. Hinterachse
G_{hZ} N	statische Hinterachslast beim Zugfahrzeug
G_i kg	verschiedene, durch Index i unterschiedene Einzellasten
G_N kg	Nutzlast
G_N^* –	Nutzlastverhältnis
G'_N kg	Streckennutzlast
G''_N kg	Flächennutzlast
G_{NA} N	Normalkraft-Komponente des Anhängergewichtes
G_{Nh} N	Normalkraft-Komponente der Hinterachslast des Solofahrzeugs
G_{NhA} N	Normalkraft-Komponente der Hinterachslast des Anhängers
G_{NhZ} N	Normalkraft-Komponente der Hinterachslast des Zugfahrzeugs
$G_{N,max}$ kg	maximal mögliche Nutzlast
G_{Nv} N	Normalkraft-Komponente der Vorderachslast des Solofahrzeugs
G_{NvA} N	Normalkraft-Komponente der Vorderachslast des Anhängers
G_{NvZ} N	Normalkraft-Komponente der Vorderachslast des Zugfahrzeugs
G_{NZ} N	Normalkraft-Komponente des Gewichtes des Zugfahrzeugs
$G_{N,zul}$ kg	zulässige Nutzlast
G_{res} kg	resultierende Last
G_S N/kg	Sattellast, Stützlast
$G_{S,dyn}$ kg	dynamische Stützlast
$G_{S,stat}$ kg	statische Stützlast
G_v kg	Achslast vorne
G_{vA} N	Vorderachslast des Anhängers
$G_{v,i}$ kg	Achslastanteil vorne
$G_{v,zul}$ kg	zulässige Achslast vorne
G_{vZ} kg	Vorderachslast des Zugfahrzeugs
G_Z kg	Gewicht des Zugfahrzeugs
G' kg	Streckenlast
G'' kg	Flächenlast
GG kg	Gesamtgewicht
$GG_{An,kg}$ kg	Gesamtgewicht des Anhängers

$GG_{An,zul}$ kg	zulässiges Gesamtgewicht des Anhängers
GG_h kg	Gesamtgewicht hinten
$GG_{K,zul}$ kg	zulässiges Gesamtgewicht der Fahrzeugkombination
GG_v kg	Gesamtgewicht vorne
GG_Z kg	Gesamtgewicht des Zugfahrzeuges
GG_{zul} kg	zulässiges Gesamtgewicht
$GG_{Z,zul}$ kg	zulässiges Gesamtgewicht des Zugfahrzeuges
$\%G_{v,min}$ %	Mindestvorachslastanteil
$\%G_h$ %	Hinterachslastanteil
ΔG_A N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Anhänger
ΔG_G N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Solofahrzeug
ΔG_N N	dynamischer Anteil der Achslast beim Solofahrzeug auf Steigungen
ΔG_Z N	dynamischer Anteil des Achsgewichtes beim Zugfahrzeug

h, H

h_D mm	Höhe der Zuggabel
h_L mm	Höhe der resultierenden Luftwiderstandskraft über der Fahrbahn
h_{LA} mm	Höhe der resultierenden Luftwiderstandskraft des Anhängers über der Fahrbahn
h_{LZ} mm	Höhe der resultierenden Luftwiderstandskraft des 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 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 Aufbauhöhe
$l_{A,min}$ mm, m	minimale Aufbauhöhe
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
$L_{St} \frac{\text{kg}_{Luft}}{\text{kg}_{Kraftstoff}}$	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 Zugfahrzeuges
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/s	Kraftstoffmassenstrom
m_L g, kg	Luftmasse

\dot{m}_L kg/s	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
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 Aufiegers
R_a, R_i mm, m	Halmmesser 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_0 m	Teilabschnitt des Anhaltewegs
s_1 m	Teilabschnitt des Anhaltewegs
s_2 m	Teilabschnitt des Anhaltewegs
Δ_s m	Abstand zum vorausfahrenden Lkw

t, T

t K	Temperatur
t_e s	Beginn der Beschleunigung nach Beendigung des Kuppelns
t_K s	Zeitpunkt des Einkuppelns
t_{Kr} s, h	Kraftstoffdurchflusszeit
T Nm	Torsionsmoment
T K	Temperatur
T_0 K	Umgebungstemperatur
T_0 s	Teilzeit der Anhaltezeit
T_1 s	Teilzeit der Anhaltezeit
T_2 s	Teilzeit der Anhaltezeit
T_B s	Beschleunigungszeit
T_K s	Kuppelzeit
T_P Nm	Pumpenmoment
T_T Nm	Turbinenmoment
T_{\max} K	maximale Temperatur
T_{\min} K	minimale Temperatur
$\Delta t_{8/5}$ s	Abkühlzeit der Schweißraupe zwischen 800 und 500 °C

u, U

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

U kJ	innere Energie
U mm	Abrollumfang

v, V

v km/h, m/s	Geschwindigkeit
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 /s	Kühlmittelvolumenstrom
\dot{V}_{Kr} cm ³ /s	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
$W_{\text{theor.}}$ 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 $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	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
$\beta_{\text{K,N}}$ °	Knickwinkel zwischen Ladungslängs- und Nachläuferlängsachse
$\beta_{\text{K,S}}$ °	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
$\Delta\eta_u$ –	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 –	Grenzspannungsverhältnis
λ –	Luftverhältnis, Leistungsziffer
λ_a –	Luftaufwand
λ_L –	Liefergrad
λ –	Faktor zur Berücksichtigung der rotierenden Massen
μ –	Momentenwandlungsfaktor
μ_H –	Haftbeiwert
μ_R –	Reibbeiwert
π –	Kreiskonstante
ν_D –	Sicherheit gegen Dauerbruch
ν_F –	Sicherheit gegen Fließen
ν –	Drehzahlverhältnis
v cm ³ , dm ³	Volumen
ρ kg/m ³	Dichte
ρ_{Kr} g/cm ³	Kraftstoffdichte
ρ_{th} kg/m ³	theoretische Luftdichte
ρ kg/dm ³	Dichte
$\rho_{N,g}$ t/m ³	Grenz-Nutzlastdichte
σ N/mm ²	Normalspannung
σ_a N/mm ²	Ausschlagsspannung
σ_{bD} N/mm ²	Biegedauerfestigkeit
σ_{bF} N/mm ²	Biegefließgrenze
σ_D N/mm ²	Dauerfestigkeit
σ_F N/mm ²	Fließgrenze
σ_G N/mm ²	Gestaltfestigkeit
σ_m N/mm ²	ruhende Mittelspannung
σ_n N/mm ²	Nenn(normal)spannung
$\sigma_{n,i}$ N/mm ²	verschiedene, durch Index i unterschiedene Nenn(normal)spannungen
σ_o N/mm ²	Oberspannung
σ_{kr} N/mm ²	kritische Beulspannung
σ_u N/mm ²	Unterspannung
σ_v N/mm ²	Vergleichsspannung

σ_{zul} N/mm ²	zulässige Bauteil(nenn)spannung
τ_n N/mm ²	Nenn(schub)spannung
$\ddot{\varphi}$ °/s ²	Winkelbeschleunigung
$\dot{\varphi}_M$ °/s	Winkelgeschwindigkeit des Motors
$\dot{\varphi}_R$ °/s	Winkelgeschwindigkeit der Getriebeausgangswelle und der Kardanwelle
$\dot{\varphi}_{Rh}$ °/s	Winkelgeschwindigkeit der Hinterräder
φ °	Kreisbogenwinkel
φ_L °, rad	Verdrehwinkel des Längsträgers
φ_Q °, rad	Verdrehwinkel des Querträgers
ψ rad	Tangentendrehwinkel
σ kg/m ³	Luftdichte
η_e –	effektiver Wirkungsgrad, Gesamtwirkungsgrad
η_g –	Gütegrad
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/s	Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit
ω_P 1/s	Winkelgeschwindigkeit, Pumpe
ω_T 1/s	Winkelgeschwindigkeit, Turbine
ψ –	Drucksteigerungsverhältnis

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Nutzfahrzeugtechnik	1
	Erich Hoepke und Stefan Breuer	
2	Fahrmechanik	37
	Stefan Breuer und Stephan Kopp	
3	Konzeption von Nutzfahrzeugen	123
	Hans-Jürgen Burger	
4	Nutzfahrzeug-Fahrgestell	205
	Bernd Rhein	
5	Nutzfahrzeugtragwerke und deren Aufbauten	327
	Hans-Jürgen Burger	
6	Antrieb	403
	Thomas Esch und Ulrich Dahlhaus	
7	Getriebe	541
	Stefan Breuer und Thomas Esch	
8	Elektrik und Elektronik	583
	Wolfgang Appel	
	Sachverzeichnis	637

Autorenverzeichnis

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

Erich Hoepke und Stefan Breuer

1.1 Bedeutung der Nutzfahrzeugtechnik

Die Nutzfahrzeugtechnik entstand als eigenständiges Entwicklungsgebiet, als sich der Lastkraftwagen (LKW) vor mehr als hundert Jahren konstruktiv von den ersten Personenkraftwagen mit Verbrennungsmotor löste. Der LKW hat heute noch in der Regel vier Räder, den vorne eingebauten Motor und den Antrieb auf der Hinterachse. Dennoch ist der Umbruch der Technik bei allen Komponenten unverkennbar. Die Dieselmotoren der LKW-Hersteller haben den größten Anteil an Entwicklungsschritten und ein Einfluss auf die Entwicklung der Dieselmotoren der PKW ist gegeben. Der wassergekühlte Viertakt-Dieselmotor mit Hubkolbenantriebwerk ist weltweit noch die bevorzugte Antriebsquelle. Die Getriebe arbeiten meist vollautomatisch im Rahmen des Fahrzeugmanagements. Die Anpassung an die Performance der Motoren und die jeweiligen Arbeitsbedingungen des LKWs bürden für einen ökonomischen und ökologischen Betrieb. Für die Hersteller steht der Kundennutzen im Vordergrund und die Mittel und Wege zum Einhalten der gesetzlichen Rahmenbedingungen regen den Wettbewerb an.

Der heutige Stand der Nutzfahrzeugtechnik stellt sich so dar:

- Trotz Anstieg der durchschnittlich erzielbaren Geschwindigkeit durch die heute hohen Motorleistungen, die hochentwickelte Motoren- und Getriebetechnik und die verfeinerte Aerodynamik sank der Kraftstoffverbrauch stetig.
- Starre Lenk- und Antriebsachsen sind bei schweren LKW üblich, Scheibenbremsen und Luftfedersysteme sind bevorzugt.

E. Hoepke
Nordrach, Deutschland

S. Breuer (✉)
Mechatronik und Maschinenbau, Hochschule Bochum
Heiligenhaus, Deutschland
E-Mail: stefan.breuer@hs-bochum.de

- Vollautomatisierte Getriebe bewähren sich bei schweren LKW und verfügen je nach Anforderungen über 12 oder 16 Gangstufen; der Schaltmodus wird den Arbeitsbedingungen angepasst.
- Dieselmotoren mit Abgasturboladersystemen, Ladeluftkühlung, Abgasrückführung und hohem mittleren Arbeitsdruck erreichen zusammen mit Nachbehandlung der Abgase alle gesetzlichen Vorgaben nach Euro 6.
- Der Reihenmotor mit sechs Zylindern hat die V-Motoren weitgehend verdrängt.
- Die Fahrerhäuser sind den verschiedensten Bedürfnissen in der Größe angepasst. und bieten neben optimaler Ergonomie für den internationalen Fernverkehr höchsten Komfort.
- Die Anhängertechnik entspricht dem technischen Standard der Motorwagen.
- Ein erweitertes Fahrzeugmanagement und intelligente Assistenzsysteme beeinflussen zunehmend Fahr- und Verkehrssicherheit der Lastzüge.
- Die Telematik bietet ständige Kontakte mit dem Unternehmer, der Werkstatt und den Frachtbörsen und informiert den Fahrer über notwendige Wartungsarbeiten.

Die Erkenntnisse aus der Aerodynamik beeinflussen die Konturen der Lastkraftwagen. Selbst die StVZO lässt Ausnahmen in der Fahrzeuglänge zu, sofern sie aerodynamisch bedingt sind. Weitere Kraftstoff einsparung ergibt sich durch vorausschauende Assistenzsysteme verschiedener Art, die zu einer flüssigeren Fahrweise ohne Eingriff des Fahrers führen.

Großen Einfluss auf die Fahr- und Verkehrssicherheit haben die heutigen Bremssysteme. Die Längs- und Querdynamik der Lastzüge wird in kritischen Situationen überwacht und, sofern möglich, in Grenzen gehalten. Die Grundsteine für einen automatisierten Fahrbetrieb sind gelegt. Auf anderer Ebene stellt die Turbo-Retarder-Kupplung (TRK) von Voith eine Neuerung dar, die beachtliche Perspektiven zum Anfahren am Berg, Bremsen im Gefälle und zum Rangieren bietet.

Für die Zukunft hat die Nutzfahrzeugtechnik weitere Aufgaben:

- Perfektionierung des Dieselmotors durch Verbrennungsentwicklung ohne Nachbehandlung der Abgase. Veränderte Dieselmotoren hierfür gibt es zunächst nur in begrenzter Menge.
- Weiterentwicklung der Antriebssysteme mit Hybrid- und Brennstoffzellenantrieb (Zero Emission) für alle Nutzlastklassen.
- Im Zusammenhang damit Speichern der Bremsenergie.
- Weitere Entlastung des Fahrers und Einsparung von Kraftstoff durch vorausschauende Assistenzsysteme.
- Prüfung des Grades der Wachheit des immer mehr entlasteten Fahrers.
- Radierfrei abrollende Achsaggregate für lange Lastzüge (25,25 m) zur Schonung der Fahrwege.

1.1.1 Transportaufgabe

Der LKW in der Basisausführung ist ein Universalfahrzeug, eine Spezialisierung auf bestimmte Aufgaben, zum Beispiel Kühltransport, Trockenfracht und im Bereich Steine und Erden erfolgt durch einen entsprechenden Aufbau, für die Baubranche auch durch Verändern des Fahrwerks. Innerhalb der Vorgaben der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) und nach den Bedürfnissen der Wirtschaft und der Industrie ergibt sich diese Einteilung:

- Leichter und urbaner Verteilerverkehr mit Transportern.
- Schwerer Verteilerverkehr mit Solo-LKW und mittelschweren Sattelzügen.
- Nationaler Fernverkehr mit fünfsichtigen Sattelzügen für 40 t Gesamtgewicht, bevorzugte Motorleistung 330–400 kW (8,25–10,0 kW/t).
- Internationaler Fernverkehr mit fünfsichtigem Sattelzug mit 40 t Gesamtgewicht, Motorleistungen von 400–550 kW (10,0–13,8 kW/t). Die höchsten Motorleistungen werden bevorzugt in Schwerlastzugmaschinen eingesetzt.
- Kombiniertes Verkehr Straße/Schiene mit speziellen Waggons als „Rollende Landstraße“ für komplette Lastzüge oder Auflieger oder durch Umsetzen der Ladungsträger oder Container auf spezielle Waggons.

Zugenommen hat die Bedeutung von spezialisierten LKW für die Baubranche unter Verwendung von Komponenten aus dem Baukasten der Serien-LKW. Mit fünf- und siebenachsigen Fahrgestellen, ebenfalls Komponenten aus dem Baukasten, dringt der LKW in einen Bereich vor, der den spezialisierten Fahrwerken von Autokranen vorbehalten war.

Transport und Logistik sind die Stützen einer wachsenden Weltwirtschaft und zugleich Schrittmacher einer Globalisierung von Produktion und Wirtschaft. Das Nutzfahrzeug, selbst schon Objekt globalisierter Forschung, Entwicklung, und Produktion, spielt in der Logistik eine führende Rolle. Die Wahl des für eine Transportaufgabe geeigneten LKW oder Transportmittels ist vom Transportweg, der angestrebten Transportdauer, dem Ausbau des Transportwegesystems und den entstehenden Transportkosten abhängig. Gegenüber dem Schienenfahrzeug bietet der LKW eine direkte Distribution der Güter durch seine Flexibilität in der Fläche. Das Entfallen von Rangierbewegungen, Umladen und die Nutzung kurzer Transportwege verzeichnet der LKW eine geringere Umweltbelastung.

1.1.2 Kundennutzen

Der Kundennutzen ergibt sich aus diesen Fakten:

- Hohe aktive und passive Sicherheit.
- Hohe Verfügbarkeit (möglichst nur sechs Ausfalltage/Jahr), verbunden mit längeren Ölwechselintervallen im Fernverkehr.

- Hohe Wirtschaftlichkeit durch niedrigen Kraftstoffverbrauch (rangiert meist an erster Stelle).
- Optimale Schonung von Reifen, Ladung und Straße durch hochwertige Fahrwerkstechnik bei Motorwagen und Anhängern.

Ein Nutzfahrzeug hat einerseits die Aufgabe, dem Betreiber Nutzen zu bringen und muss andererseits im Rahmen der StVZO und anderer gesetzlicher Vorgaben sicher und zuverlässig arbeiten. Der Aufwand an hochwertigen Technologien trägt zur Erfüllung der oben genannten Punkte bei und amortisiert sich bei sinnvoller Anwendung. Die zunehmende Nutzung der Verkehrswege durch den Schwerverkehr stellt auch für die Betreiber eine Herausforderung dar und erfordert fahrzeugtechnischen Aufwand, um die Straßen-, Brücken- und Umweltbelastung zu minimieren. Prävention ist sinnvoller, als Schäden an Verkehrswegen nur durch höhere Gebühren und das Aufkommen aus Steuern zu reparieren.

High-Tech vermag Unfälle durch menschliches Versagen weitgehend auszuschalten. Es ist zu bedenken, dass auch die besten Systeme nicht von Nutzen sind, wenn nur ein Teil der verkehrenden LKW damit ausgerüstet sind.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Verkehrsfluss durch Maßnahmen außerhalb der Fahrzeugtechnik sicherer zu gestalten:

- Entzerren des PKW- und LKW-Verkehrs auf kritischen Strecken (kaum lösbar).
- Dreispuriger Ausbau der Fernstraßen und sinnvolle Fernwegeplanung.
- Automatisierter Betrieb aller Fahrzeuge (in absehbarer Zeit teilweise möglich?).
- Elektronische Spurführung von LKW und Omnibussen in Tunnelstrecken.
- Vermeiden langer Steigungs- und nachfolgender Gefällestrrecken für Lastzüge durch Untertunnelung.

Alle Lösungen sind mit hohen Kosten verbunden. Der Nutzen für Fuhrunternehmer besteht in der Vermeidung der hohen Unfallkosten und einem Zeitgewinn.

Fazit: Die Nutzfahrzeugtechnik auf allen Ebenen übt entscheidenden Einfluss auf das Transport- und Verkehrswesen der Zukunft aus. Kundennutzen und High-Tech schließen sich nicht gegenseitig aus.

1.2 Entwicklungsschritte des Nutzfahrzeugs

Der Lastkraftwagen blickt auf mehr als 100 Jahre Entwicklungszeit zurück [1]. Zunächst mussten Antriebskomponenten des Personenkraftwagens übernommen werden, bis eine eigenständige Lkw-Technik, vorläufig noch mit Antrieb durch einen Ottomotor, entstand. Karl Benz verfolgte in Gaggenau die Entwicklung eines Dieselmotors für Lastkraftwagen und konnte 1923 den ersten Lkw der Welt mit Vierzylinder-Dieselmotor vorstellen. Der Motor arbeitete nach dem von Prosper L'Orange entwickelten Trichtersystem für die Ein-

Abb. 1.1 Mercedes-Benz-Dieselmotor OM 471 als Reihensechszylinder mit Abgasturboladung und Ladeluftkühler wird in Deutschland, in den USA (Detroit Diesel) und Japan (Fuso) für schwere Lkw mit Zulassung nach Euro 6 gebaut. (Daimler AG)



spritzung des Kraftstoffs. Die MAN hatte 1923 auch schon einen leichten Dieselmotor fertig, aber erst 1924 stellte sie einen Lkw mit diesem Dieselmotor vor.

Nur mit dem wirtschaftlich arbeitenden Dieselmotor mit hoher Lebensdauer sind Lkw und Lastzüge als Stützen logistischer Systeme denkbar; er bietet immer noch Potenziale für weitere Fortschritte in der Verbrennungsentwicklung. Gegen die zahlreichen Varianten der Einspritzverfahren, zum Beispiel Vorkammervverfahren, Wälzkammer- und Luftspeicherverfahren setzte sich die von der MAN von Anfang an angewandte Direkteinspritzung durch.

Die Verbrennungsentwicklung, verbunden mit steigenden Einspritzdrücken bis 3000 bar, ermöglicht niedrigen Kraftstoffverbrauch mit immer geringerem CO₂-Ausstoß. Einige Hersteller bieten bereits Motoren nach Euro 6 an (Abb. 1.1).

Nachdem der Gesetzgeber den Lastkraftwagen mit vier Achsen und 32 t Gesamtgewicht (in Deutschland viel zu spät) zugelassen hatte, geht die Entwicklung vielachsiger Fahrgestelle für Sonderaufbauten weiter (Abb. 1.2). Mit derzeit sieben Achsen dürfte ein Maximum erreicht sein. Diese Fahrgestelle verwenden Komponenten aus der Serie und sind daher preiswert realisierbar. In einigen Fällen sind schwere Kranfahrgestelle ersetzbar und das „Baukastensystem“ heutiger Nutzfahrzeugtechnik lässt mehr Spielraum für individuelle Lösungen.

In gleichem Maß trifft das auch für Schwerlastzugmaschinen zu, die speziell in den Bauformen 6 × 4 und 8 × 4/4 dank der verfügbaren leistungsstarken Motoren und Getriebe nicht mehr als Sonderbauform gefragt sind.

Komfort und Sicherheit sind nicht trennbar und so mutierte die primitive Kabine zum komfortablen Fahrerhaus, das dank Telematik dem Fahrer überall eine Kommunikation mit der Zentrale, der Frachtbörse oder einer Werkstatt ermöglicht. Insgesamt werden an das heutige Nutzfahrzeug folgende Anforderungen gestellt:

- Hohe aktive und passive Sicherheit
- Hohe Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit



Abb. 1.2 Fünfachsiges Fahrwerk mit 5. Achse als gelenkte Nachlaufachse für Sonderaufbauten (Daimler AG)

- Ölwechselintervalle im Fernverkehr von mehr als 100.000 km und geringe Standzeiten durch Werkstattaufenthalte
- Konkurrenzfähigkeit im globalen Wettbewerb
- Optimale Schonung von Fahrwerk, Ladung und Straße
- Zuverlässigkeit in allen Klima- und Wetterbedingungen.

1.2.1 Einfluss von Rahmenbedingungen

Durch den Ausbau der Autobahnen zu einem zusammenhängenden Netz erstrebten die Transportunternehmer mehr Nutzlast und größere Länge, weil dadurch das Verhältnis von Nutzlast zu Eigengewicht verbessert und der Kraftstoffverbrauch relativ gesenkt werden kann. Der Gesetzgeber setzte aber im Interesse eines flüssigen Verkehrs aller Fahrzeugarten Grenzen. Der ursprüngliche Lastzug mit 35 t Gesamtgewicht und 22 m Länge (Abb. 1.3) entwickelte sich ab 1965 zum neuen Lastzug mit 38 t Gesamtgewicht und 18,75 m Länge mit Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h. Das später auf 40 t erhöhte Gesamtgewicht ist durch bessere Fahrwerke mit geringerer dynamischer Belastung der Straße, vor allem durch die bei Lastwagen und Anhängern vorwiegend verwendete Luftfederung, gerechtfertigt.



Abb. 1.3 Untermotorisierter Lastzug 1936 von Henschel/Kässbohrer mit 125-PS-Dieselmotor, 34 t Gesamtgewicht (3,7 PS/t) (Karl Kässbohrer GmbH)

Die Längenbegrenzung von 22,5 auf 18,75 m brachte einschneidende Änderungen:

- Der vorgebaute Motor wurde unter das Frontlenkerfahrerhaus verlegt
- Reihenmotoren waren nur beschränkt nutzbar, es entstanden für höhere Motorleistungen die kürzeren V-Motoren
- Der fünfsachsige Sattelzug löst zunehmend die Lastzüge mit Anhänger ab.

Das kippbare Fahrerhaus erlaubte den Zugang zum Motor. Der Standardlastzug mit zweiachsigem Motorwagen und dreiachsigem Anhänger wich international mehr und mehr dem Sattelzug mit zweiachsiger Zugmaschine und dreiachsigem Auflieger als betriebswirtschaftlich optimale Lösung; die Trennung von Antrieb und Nutzlast erhöht die Flexibilität des Fuhrparks, da die Zahl der Zugmaschinen niedriger sein konnte als die der Auflieger.

Die Zeit der untermotorisierten Lastzüge endete mit der Einführung der Formeln 6 PS/t und später 8 PS/t. Parallel zu dem Entstehen der Europäischen Union (EU) wurden Empfehlungen, Vorschriften und Gesetze verabschiedet, die für den grenzüberschreitenden Verkehr in Europa verbindlich sind. Sie betreffen nicht nur Maße und Gewichte, sondern auch Geräuschabstrahlung nach Außen einer Begrenzung gasförmiger und fester Emissionen und, beginnend mit Euro 0. Heute ist Euro 5 verbindlich und die Hersteller der Motoren sind bereits auf Euro 6 eingestellt.

1.2.2 Antrieb und Fahrleistung

In den 1930er Jahren standen für 35-t-Lastzüge Dieselmotoren mit 125–150 PS (92–110 kW) zur Verfügung; die spezifische Antriebsleistung betrug damit 3,6 bis 4,3 PS/t (Abb. 1.3). Die Höchstgeschwindigkeiten auf ebener Fahrbahn betragen für Lastzüge höchstens 60 km/h und auf leichten Steigungen trat bereits ein erheblicher Geschwindig-



Abb. 1.4 Schwerlastzugmaschine Actros-SLT (8×4/4) mit V8-Motor mit 480 kW. Zusatzkühlanlage hinter dem Fahrerhaus (E. Hoepke)

keitsverlust ein. Die Getriebe verfügten über nur vier Gänge und hatten allenfalls einen sogenannten Schnellgang zur Herabsetzung der Motordrehzahl bei hoher Dauergeschwindigkeit.

Da der Gemischtverkehr mit Personen- und Lastwagen ständig zunahm, wurde zunächst die Vorschrift 6 PS/t und bald 8 PS/t eingeführt. Für den 38-t-Lastzug waren damit Motorleistungen von 228 PS (168 kW) und 304 PS (224 kW) Voraussetzung. In dieser Zeit wuchs die Erkenntnis, dass der Drehmomentverlauf des Motors eine wichtigere Rolle spielte als die Motorleistung und das wiederum führte zu Lösungen mit Aufladung und Ladeluftkühlung einerseits und andererseits zur Entwicklung von Getrieben mit feiner Abstufung durch 12 bis 16 Gangstufen. Die vielstufigen Getriebe ließen dem Unternehmer die Wahl, entweder mit schwächerer Motorisierung aber viel Schaltarbeit wirtschaftlich zu fahren oder mit hoher Motorisierung und wenig Schaltarbeit kürzere Umlaufzeiten seiner Lastzüge zu erreichen. Der Gesetzgeber hat hier wiederum die Innovationen geweckt, die sonst aus Kostengründen erst später wirksam geworden wären.

Im Leistungsbereich bis ca. 400 kW werden nun durchweg Reihensechszylindermotoren verwendet, nur im höheren Bereich bis ca. 500 kW werden von MAN, Mercedes-Benz und Scania noch Motoren in V-Form gebaut (Abb. 1.4). Ganz aus der Reihe fällt der Sechszylindermotor von Volvo mit maximal 552 kW. Der Gewinn an Fahrleistung durch derart hohe Motorleistung ist bei den heutigen Belastungen der Fernstrecken umstritten, aber für den Schwerlastbereich sinnvoll.

Beachtlich ist die Auswirkung der stetigen Leistungssteigerung auf Durchschnittsgeschwindigkeit und Kraftstoffverbrauch bei den 38-t- und 40-t-Zügen auf gemischter

Rundstrecke, getestet durch das Magazin „lastauto omnibus“. 1966 lag der erzielbare Geschwindigkeitsdurchschnitt bei knapp unter 50 km/h bei einem Verbrauch von ca. 51 l/100 km. Die Geschwindigkeit erhöhte sich bis 1986 auf ca. 65 km/h bei gleichzeitig gesunkenem Verbrauch auf ca. 36 l/100 km. Der Trend setzte sich fort und nähert sich asymptotisch der Grenze von 70 km/h und einem Verbrauch von unter 30 l/100 km. Und das bei gesunkener physischer Belastung des Fahrers durch elastische Motoren und halbautomatische Getriebe.

Das Nutzfahrzeug hat aus dem Gedanken an Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umweltverträglichkeit heraus eine Rolle als Vorreiter für entsprechende Entwicklungen im Bau von Personenkraftwagen übernommen. Der Abgasturbolader mit Ladeluftkühlung bescherte dem Pkw-Dieselmotor bereits deutliche Fortschritte.

1.2.3 Elektronik gewinnt stetig an Bedeutung

Ebenso richtungweisend zeigt sich die elektronische Dieselregelung, die durch Abkoppeln des Gaspedals von dem Einspritzsystem ein Fahren im optimalen Bereich des Motorkennfeldes ermöglicht und zugleich unerwünschte Emissionen einschränkt. Durch gezielte Voreinspritzung des Kraftstoffs wird die Verbrennung verbessert und die Geräuschentwicklung vermindert. Elektronisch geregelte Aufladesysteme tragen zu besserem Drehmomentverlauf ebenso bei wie zu wirtschaftlicherer Fahrweise.

Die elektronischen Assistenzsysteme zur Entlastung des Fahrers und zur Steigerung der Sicherheit erreichten einen hohen Standard. Obwohl der Gewinn an aktiver Sicherheit hoch ist, finden die Systeme nur zögernd Eingang; der Gesetzgeber müsste europaweit die Einführung vorgeben, vor allem, um die mit hohem materiellem Schaden und oft mit Todesfolge verbundenen Auffahrunfälle zu vermeiden. Mit Hilfe des Spurassistenten wird das Fahrzeug auf Kurs gehalten.

Die Entwicklung weiterer Systeme ist noch im Gang. Dazu gehören Fußgängererkennung, Kommunikation der Fahrzeuge untereinander und weitere Verbesserungen des Fahrlichts und der Rundumbeleuchtung der Fahrzeuge bei Nacht. Versuche mit einer Kommunikation zwischen Verkehrsampeln und Fahrzeug mit automatischer Bremsung bei Rotlicht ist noch Zukunft. Ohne Erfolg blieben bisher Systeme, den Grad der Wachheit des Fahrers zu ergründen, aber selbst wenn es gelänge, der Fahrer wird immer das schwächste Glied in der Kette bleiben. Die Elektronik weist im Bau von Kraftfahrzeugen die größten Zuwachsraten auf und wird mehr und mehr Einfluss auf das Verkehrsgeschehen ermöglichen.

1.2.4 Ausblick

Der Dieselmotor hat immer noch Potenzial zur Weiterentwicklung. Später als noch vor wenigen Jahren angenommen, wird der emissionsfreie Antrieb mit einer Brennstoffzelle andere Antriebe ersetzen, vorausgesetzt, dass eine emissionsfreie Gewinnung des Brenn-



Abb. 1.5 Volumenzug „long truck“ von Kögel mit einer Länge von 25,25 m. Zunächst als Praxisversuch mit 40 t Gesamtgewicht zugelassen (Kögel)

stoffs hierfür realisiert ist. Hybridantriebe sind sicher eine Zwischenlösung; sie sind bereits auch für schweren Lkw anwendbar, das Kostenproblem ist noch im Vordergrund, vor allem durch die Batterie.

Frühere Versuche, die Bremsenergie durch Speichern von Hydrauliköl zurück zu gewinnen, werden wieder aus der Schublade geholt, um das Batterieproblem zu umgehen. Eine endgültige Lösung ist derzeit nicht zu sehen. In allen Fällen alternativer Antrieb kommt der Elektronik eine Schlüsselrolle zu.

Der Nutzen eines Lkw wird maßgeblich von den Kosten bestimmt. Die Anschaffungskosten betragen nur ca. 15 % der gesamten Betriebskosten, Sicherheitstechnische Fortschritte führen sich aber nur dann ein, wenn sie gesetzlich verankert werden. Ein Weg zur Minimierung der Kosten durch eine andere Betriebsweise liegt in der Bildung längerer Lastzüge mit einer Länge von 25,25 m, theoretisch mit Erhöhung des Gesamtgewichts auf 60 t. Der Gewinn liegt in der höheren Ladekapazität ohne eine proportionale Steigerung der Fahrwiderstände. Das Gesamtgewicht solcher Züge bleibt auf 40 t begrenzt (Abb. 1.5).

Die Investitionen sinken, da ein größerer Teil des Eigengewichts und der Ladekapazität auf Anhänger entfällt, ohne dass die Kosten des Lkw oder der Zugmaschine steigen. Noch ist diese Lastzugattung umstritten und in der StVZO noch nicht vorgesehen.

Der fahrerlose Betrieb von schweren Lkw für innerbetriebliche Zwecke, verbunden mit automatischer Be- und Entladung, ist Realität. Ein fahrerloser Betrieb auf öffentlichen Straßen ist nicht vorstellbar, aber eine Führung des Lkw durch Leitkabel in größeren Betriebshöfen und in Tunnelstrecken zur Erhöhung der Sicherheit ist denkbar.

Zusammenfassend betrachtet, werden der Lkw und der Lastzug der Zukunft diese Merkmale haben:

- Höchste Wirtschaftlichkeit durch hochentwickelte Dieselmotoren im Fernverkehr
- Größte Umweltverträglichkeit durch Hybridantriebe im Verteilerverkehr
- Große aktive Sicherheit durch Anwendung aller elektronischen Sicherheitssysteme



Abb. 1.6 Designstudie Aerotrailer spart im Jahr ca. 2000l Dieselkraftstoff und mehr als 5 t CO₂ (Daimler AG)

- Weitere Optimierung der Aerodynamik (Abb. 1.6), um den Verbrauch zu mindern
- Reibungsminimierung im Antriebsstrang und Minderung des Rollwiderstands durch neue Reifenkonzepte.

Alle diese Punkte gewinnen für die geplante Einführung längerer Lastzüge für Volumentransporte besondere Bedeutung, um mit den derzeitigen Motorleistungen gleiche Wirtschaftlichkeit ohne größere Umweltbelastung und größere Verkehrsgefährdung zu erreichen.

Für Einführung der Brennstoffzelle mit Elektroantrieb und Bremsenergieerückgewinnung kann trotz großer Fortschritte noch kein Zeitplan erstellt werden.

1.3 Rechtliche Grundlagen, Vorschriften, Normen

1.3.1 Rechtliche Grundlagen

Das Straßenverkehrsgesetz (StVG) bildet die Rechtsgrundlage für den Bau und den Betrieb von Kraftfahrzeugen. § 1 StVG bestimmt die Zuständigkeit für deren Zulassung. § 6 StVG ermächtigt den Bundesminister für Verkehr zum Erlass von Rechtsverordnungen und Verwaltungsvorschriften, welche deren Beschaffenheit, Ausrüstung, Prüfung und Kenntlichmachung betreffen.

Auf einer solchen Ermächtigung beruht die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO). Die §§ 16 bis 29 regeln Fragen der Zulassung und der regelmäßigen Untersuchung. Für den Fahrzeugkonstrukteur sind die in den §§ 30 bis 67 aufgeführten Bau- und Betriebsvorschriften besonders wichtig. Sie werden ständig dem aktuellen Stand der Technik angepasst. Ältere, bereits im Verkehr befindliche Fahrzeuge sind durch die in § 72 StVZO ausgeführten Übergangsvorschriften teilweise von der Anpassungspflicht auf die aktuelle Verordnungslage entbunden oder es wird eine angemessene Frist für eine entsprechende Umrüstung eingeräumt. In vielen Textstellen wird auf weitere, im Anhang aufgeführte Bestimmungen verwiesen. Diese sind ausnahmslos in verbindlich nationales Recht umgesetzte EU-Richtlinien.

Die Fahrzeugteilverordnung (FzTVO) beruht auf § 22a StVZO, wonach bestimmte Einrichtungen an Kraftfahrzeugen in einer amtlich genehmigten Bauart ausgeführt sein müssen.

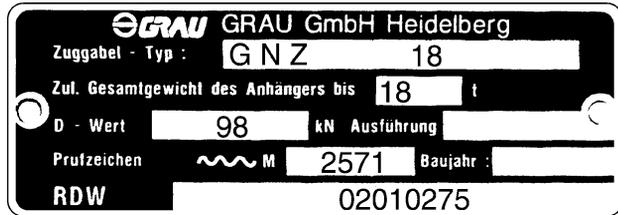
Allgemeine Grundsätze, insbesondere solche zur sicherheitstechnischen Gestaltung von Kraftfahrzeugen, werden in § 30 StVZO (*Beschaffenheit der Fahrzeuge*) formuliert:

- Niemand soll geschädigt oder mehr als unvermeidbar gefährdet, behindert oder belästigt werden.
- Die Insassen sollen insbesondere bei Unfällen vor Verletzungen möglichst geschützt sein und das Ausmaß und die Folgen von Verletzungen sollen möglichst gering bleiben.
- Fahrzeuge müssen in straßenschonender Bauweise hergestellt sein.
- Fahrzeugteile, die für die Verkehrs- und Betriebssicherheit wichtig sind und die besonders leicht abgenutzt oder beschädigt werden können, müssen einfach zu überprüfen und leicht auswechselbar sein.

Die in § 30 StVZO genannten allgemeinen Gestaltungsgrundsätze werden durch zahlreiche, im Verkehrsblatt (Amtsblatt des Bundesverkehrsministeriums) veröffentlichte Richtlinien und Merkblättern konkretisiert [7]. Auszugsweise seien hier genannt: Zulässige Messwertabweichungen bei Fahrzeugprüfungen (Toleranzkatalog); Richtlinien für die Verbindung zwischen Container und Fahrzeug; Richtlinie über die Gestaltung und Ausrüstung der Führerhäuser; Merkblatt über Aufbauten von Viehtransportfahrzeugen; Sicherung von hydraulisch wirkenden Kippeinrichtungen sowie von Hub- und sonstigen Arbeitsgeräten.

Fahrzeugteile, die für die Verkehrs- und Betriebssicherheit eines Fahrzeuges von besonderer Bedeutung sind, unterliegen nach § 22a StVZO der *Bauartgenehmigungspflicht*. Hierunter fallen unter anderem kraftstoffbetriebene Heizungen, Gleitschutzeinrichtungen, Scheiben aus Sicherheitsglas, Auflaufbremsen, Verbindungseinrichtungen zwischen Fahrzeugen, sämtliche lichttechnischen Einrichtungen, Fahrtschreiber und Sicherheitsgurte. Dabei ist es gleichgültig, ob diese Teile an zulassungspflichtigen oder zulassungsfreien Fahrzeugen verwendet werden und der Einbau vorgeschrieben ist oder freiwillig vorgenommen wurde (z. B. Einbau zusätzlicher Bremsleuchten).

Abb. 1.7 Prüfzeichen für Bauartgenehmigung durch das Kraftfahrt-Bundesamt (Grau GmbH)



Die Anforderungen, welche bauartgenehmigungspflichtige Teile erfüllen müssen, sind in den „Technischen Anforderungen an Fahrzeugteile bei der Bauartprüfung nach § 22a StVZO“ (veröffentlicht im Amtsblatt des Bundesverkehrsministeriums) enthalten. Die Fahrzeugteilverordnung (FzTVO), die das Verwaltungsverfahren über die Prüfung und Kennzeichnung bauartgenehmigungspflichtiger Fahrzeugteile regelt, unterscheidet:

- Allgemeine Bauartgenehmigung für die Bauart eines Typs für reihenweise zu fertigende Einrichtungen
- Bauartgenehmigung im Einzelfall für einzeln zu fertigende Einrichtungen.

Für die allgemeine Bauartgenehmigung ist ein Antrag beim Kraftfahrt-Bundesamt nötig, der vom Hersteller, einem vom Hersteller Beauftragten oder im Falle von Importfahrzeugteilen von einem Händler mit ausschließlicher Vertriebsberechtigung gestellt werden kann. Ein Doppel des Antrags, zwei Muster der zu prüfenden Einrichtung, eine Typenbezeichnung und Funktionsbeschreibung, eine maßstäbliche Zusammenstellungszeichnung, Angaben zu den zugeordneten Fahrzeuggewichten (z. B. bei Zugeinrichtungen) und über die verwendeten Werkstoffe sind der zuständigen Prüfstelle einzureichen. Nach Erstellung des Gutachtens durch die Prüfstelle entscheidet das Kraftfahrt-Bundesamt. Es erteilt die Bauartgenehmigung und vergibt das Prüfzeichen (Abb. 1.7), das aus einer Wellenlinie von drei Perioden, der Prüfnummer und einem vor dieser Nummer anzubringenden Unterscheidungsbuchstaben der Prüfstelle besteht.

Die Beantragung und Erteilung einer Bauartgenehmigung im Einzelfall ist wesentlich unkomplizierter. Sie wird unter Vorlage des Gutachtens eines amtlich anerkannten Sachverständigen für den Kraftfahrzeugverkehr bei der zuständigen Verwaltungsbehörde beantragt. Die Erteilung erfolgt durch den Vermerk „Einzelgenehmigung erteilt“ auf dem Gutachten.

Nach § 18 StVZO dürfen Kraftfahrzeuge mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von mehr als 6 km/h und deren Anhänger auf öffentlichen Straßen nur in Betrieb genommen werden, wenn sie durch Erteilung einer *Betriebserlaubnis* und durch Zuteilung eines amtlichen Kennzeichens von der Verwaltungsbehörde (Zulassungsstelle) zum Verkehr zugelassen sind.

Für reihenweise zu fertigende Fahrzeuge kann die Betriebserlaubnis dem Hersteller nach Antrag beim Kraftfahrt-Bundesamt und der Prüfung durch eine beauftragte Prüfstelle allgemein erteilt werden (§ 20 StVZO). Für einzeln zu fertigende Fahrzeuge muss der

Hersteller die Betriebserlaubnis bei der Verwaltungsbehörde beantragen und einen Fahrzeugbrief vorlegen, in dem ein amtlich anerkannter Sachverständiger bescheinigt haben muss, dass das Fahrzeug richtig beschrieben ist und den geltenden Vorschriften entspricht (§ 21 StVZO).

Im Fall von Veränderungen an einem bereits zugelassenen Fahrzeug erlischt die Betriebserlaubnis, wenn Teile des Fahrzeugs verändert werden, deren Beschaffenheit vorgeschrieben ist oder deren Betrieb eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer bedeuten kann (§19 StVZO). Beispielkataloge [7] beschreiben detailliert, welche Fahrzeugveränderungen zum Erlöschen der Betriebserlaubnis führen.

Mit dem 1. Januar 1993, der Verwirklichung des EG-Binnenmarktes, ist die Allgemeine Betriebserlaubnis für Fahrzeuge in allen EG-Mitgliedsstaaten auf eine neue rechtliche Grundlage gestellt worden. Die entsprechenden Richtlinien 92/53/EWG und 70/156/EWG gestatten außereuropäischen Fahrzeugherstellern den Verkauf von Fahrzeugen in allen Mitgliedsstaaten, wenn die EU-Betriebserlaubnis (Typengenehmigung) einer Genehmigungsbehörde in einem der Mitgliedsstaaten erteilt wurde.

1.3.2 Nationale Normen, Vorschriften und Richtlinien

Der Normenausschuss (FAKRA) im Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) führt für alle Kraftfahrzeuge nach DIN 70010 sowie deren Anhängern Normungsaufgaben bezüglich Vereinbarkeit, Austauschbarkeit und Sicherheit durch. Dabei ist es gleichgültig, ob diese mit Verbrennungsmotoren, Elektromotoren oder Hybridantrieben ausgerüstet sind. Weiter dazu gehört auch die Normung der gesamten Ausrüstungen vorstehend genannter Fahrzeuge und deren Aufbauten sowie von Containern. Das fünfbändige FAKRA-Handbuch [8] enthält über 700 DIN-Normen und Norm-Entwürfe, bei denen der Normenausschuss Kraftfahrzeuge Haupt- oder Mitträger ist:

- Band 1: Allgemeine Kfz-Technik
- Band 2: Motoren und Triebwerkteile
- Band 3: Räder und Reifen
- Band 4: Bremsausrüstungen
- Band 5: Elektrische Ausrüstung.

Auf der Rechtsgrundlage des siebten Sozialgesetzbuches (SGB VII) ist jeder Unternehmer Mitglied einer Berufsgenossenschaft, wobei die Zuordnung sich nach dem Produkt richtet, welches das Unternehmen herstellt. Für Fahrzeugbaubetriebe sind das in der Regel die Metallberufsgenossenschaften.

Entsprechend ihrer Aufgabe, mit allen geeigneten Mitteln für die Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren zu sorgen, sind die Berufsgenossenschaften ermächtigt, als autonomes Recht *Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit* (BG-Vorschriften) [9] zu erlassen und die Betriebe auf

derer Einhaltung hin zu überprüfen. Für den Fahrzeugbau sind relevant: BGV A1 (Allgemeine Vorschriften, früher VGB 1); BGV C27 (Müllbeseitigung, früher VBG 126); BGV D4 (Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen, früher VBG 20); BGV D6 (Krane, früher VBG 9); BGV D8 (Winden, Hub- und Zugeräte, früher VBG 8); BGV D29 (Fahrzeuge, früher VBG 12).

Relevante *Unfallverhütungsvorschriften*, welche überwiegend Beschaffenheitsanforderungen enthalten, sind VBG 5 (Kraftbetriebene Arbeitsmittel) sowie VBG 14 (Hebebühnen).

Weitere berufsgenossenschaftliche Schriften (früher ZH-1-Schriften) sind die so genannten *Berufsgenossenschaftlichen Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit* (BGR), einer Zusammenstellung von Inhalten aus staatlichen Arbeitsschutzvorschriften, BG-Vorschriften, technischen Spezifikationen oder berufsgenossenschaftlichem Erfahrungsgut sowie die *Berufsgenossenschaftlichen Informationen* (BGI) und die *Berufsgenossenschaftlichen Grundsätze* (BGG).

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat in Zusammenarbeit mit Fachleuten aus Industrie, Güterkraftverkehr, Berufsgenossenschaften und TÜV sowie Fahrzeug- und Aufbauherstellern *VDI-Richtlinien* zur Sicherung von Ladungen auf Straßenfahrzeugen erarbeitet (siehe Abschn. 5.5): Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen (Richtlinie VDI-2700), Zurrmittel (Richtlinie VDI-2701), Zurrkräfte (Richtlinie VDI-2702).

Der Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. ist Herausgeber zahlreicher Merkblätter [10] (*VdTÜV-Merkblätter*) zu Fragen der technischen Sicherheit. Die Merkblätter zum Kraftfahrwesen befassen sich unter anderem mit Verbindungseinrichtungen (Nr. 712), der Prüfung von Druckluftbremsanlagen (Nr. 742 und Nr. 754) und der Sicherung von Schraubenverbindungen (Nr. 1).

Von brennbaren Flüssigkeiten als auch unter Druck stehenden Gasen gehen besondere Gefahren aus. Wichtige Regelwerke, die sich mit den Anforderungen bezüglich Lagerung und Transport dieser Medien befassen, sind: Gerätesicherheitsgesetz (GSG), Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn (GGVSE), Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF), Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF), Druckbehälterverordnung (DruckbehV), Technische Regeln Druckbehälter (TRB).

1.3.3 Internationale Richtlinien

Der internationale Warenaustausch – hier der Export und Import Fahrzeugen und Fahrzeugteilen – wird immer dann schwierig sein, wenn innerhalb der in Handelskontakt stehenden Staaten Rechtsvorschriften mit unterschiedlichen Anforderungen bestehen. Mit dem wirtschaftlichen und politischen Zusammenwachsen Europas lag es nahe, die technischen Vorschriften für Kraftfahrzeuge und deren Anhänger anzugleichen und Verfahren zu entwickeln, die es ermöglichen, auf der Basis gemeinsam erarbeiteter Vorschriften Genehmigungen zu erteilen und diese gegenseitig anzuerkennen.

Regelung Nr. 13
Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge
hinsichtlich der **Bremsen**

Anwenderstaat	Datum	Zust. Behörde	Zust. Techn. Dienst
E 1 Deutschland	29.11.1980	1/A	1/F u. 1/S
E 2 Frankreich	21. 7.1980	2/C	2/C u. 2/E
E 3 Italien	1. 6.1970	3/A a u. b	3/B a bis h
E 4 Niederlande	1. 6.1970	4/A	4/A
E 5 Schweden	—	—	—
E 6 Belgien	11.10.1976	6/A	6/A
E 7 Ungarn	18.10.1976	7/A	7/C u. 7/F
E 8 Tschechoslowakei	18. 9.1982	8/A	8/C
E 9 Spanien	6. 2.1989	9/A	9/D
E 10 Jugoslawien	5. 1.1985	10/A	10/A
E 11 Vereinigtes Königreich	30.11.1979	11/A	11/A
E 12 Österreich	—	—	—
E 13 Luxemburg	1.10.1983	13/A	13/B b u. c
E 14 Schweiz	—	—	—
E 16 Norwegen	—	—	—
E 17 Finnland	—	—	—
E 18 Dänemark	—	—	—
E 19 Rumänien	5. 6.1981	19/A	19/E
E 20 Polen	—	—	—
E 21 Portugal	—	—	—
E 22 UdSSR	17. 2.1987	22/A	22/B

Abb. 1.8 Übersicht über die Vertragsparteien der ECE-Regelung Nr. 13 (aus [11])

Die zuständige Genehmigungsbehörde für die Bundesrepublik Deutschland ist das Kraftfahrt-Bundesamt in Flensburg (1/A), die zuständigen Technischen Dienste die Abgasprüfstelle beim Rheinisch-Westfälischen Technischen Überwachungsverein e.V. in Essen (1/F) und die Technische Prüfstelle beim Kraftfahrzeug-Überwachungsverein e.V. in Dresden (1/S).

Mit der Harmonisierung der Vorschriften für Fahrzeuge befassen sich die Wirtschafts-kommission der Vereinten Nationen für Europa (ECE) sowie die Europäische Union (EU), früher Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (EWG).

ECE-Regelungen enthalten Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen. Die nationale Inkraftsetzung dieser Regelungen ist den Vertragsstaaten freigestellt. Von diesen Regelungen hat das Bundesministerium für Verkehr im Rahmen der Ermächtigung des § 6 StVG bislang 126 durch Rechtsverordnung ohne Zustimmung des Bundesrates national in Kraft gesetzt (Abb. 1.8).

Das Prüfzeichen der nach ECE genehmigten Fahrzeugteile besteht aus einem Kreis, in dessen Innerem sich der Buchstabe „E“ und die Kennzahl des Staates befinden, der die Genehmigung erteilt hat sowie aus der Genehmigungsnummer in der Nähe dieses Kreises (Abb. 1.9).

Im nationalen Betriebserlaubnisverfahren sind ECE-Regelungen immer dann von Bedeutung, wenn sie national in Kraft gesetzt sind. § 21a StVZO führt dazu aus, dass im Verfahren auf Erteilung der Betriebserlaubnis Genehmigungen und Prüfzeichen anerkannt werden, die ein ausländischer Staat unter Beachtung der mit der Bundesrepublik Deutschland vereinbarten Bedingungen für Ausrüstungsgegenstände oder Fahrzeugteile erteilt hat.

EU-Richtlinien (EWG-Richtlinien) enthalten Vorschriften für den Bau und die Ausrüstung von Straßenfahrzeugen innerhalb der Mitgliedsstaaten. Sie müssen bis zu einem

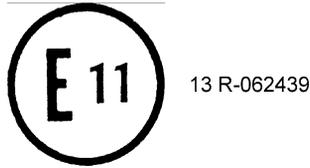
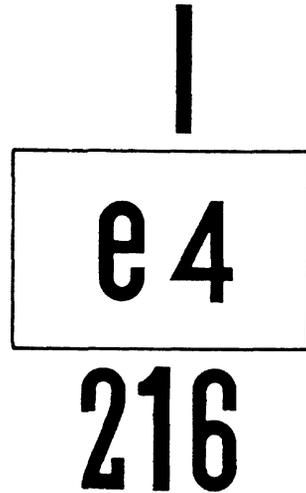


Abb. 1.9 ECE-Genehmigungszeichen (aus [11]). Das hier gezeigte, an einem Fahrzeug angebrachte Genehmigungskennzeichen bedeutet, dass dieser Fahrzeugtyp im Vereinigten Königreich (E11) nach der Regelung Nr. 13 unter der Nummer 062439 hinsichtlich der Bremsanlage genehmigt wurde.

Abb. 1.10 EU-Bauartgenehmigungszeichen (aus [11]). Der Rückstrahler mit dem dargestellten EU-Genehmigungszeichen ist ein Rückstrahler der Klasse I, für den in den Niederlanden (4) unter der Nummer 216 eine Bauartgenehmigung entsprechend Richtlinie 76/757/EWG erteilt wurde.



durch die jeweilige Richtlinie festgesetzten Zeitpunkt in das geltende nationale Recht übernommen werden. Für die Bundesrepublik Deutschland müsste demnach die StVZO so erweitert werden, dass in ihr die harmonisierten Vorschriften der EU enthalten sind. Da aber durch eine volltextliche Einbindung die StVZO auf ein Mehrfaches an Umfang anwachsen würde, wird zurzeit in den §§ der StVZO nur auf mit anzuwendende EU-Richtlinien verwiesen.

EU-Richtlinien dürfen, auch wenn sie noch nicht in nationale Vorschriften umgesetzt sind, anstelle der betreffenden Vorschriften der StVZO angewendet werden.

Für Fahrzeugteile kann auf Antrag des Herstellers eine EU-Bauartgenehmigung erteilt werden. Das entsprechende Prüfzeichen besteht aus einem Rechteck, in dessen Innerem sich der Buchstabe „e“ und die Kennzahl des Mitgliedstaates befinden, der die Genehmigung erteilt hat, sowie die Bauartgenehmigungsnummer (Abb. 1.10).

Der EG-Ministerrat hat im Jahr 1989 die Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen harmonisiert. Durch die Richtlinie 89/392/EWG (*Maschinenrichtlinie*) werden verbindliche Voraussetzungen zur Vereinheitlichung des sicherheitstechnischen Standards im Bereich der Europäischen Union geschaffen, die dem Schutz der Verbraucher und Arbeitnehmer, die mit diesen Maschinen arbeiten, dienen sollen. In Deutschland ist die

Abb. 1.11 CE-Zeichen

Maschinenrichtlinie durch eine Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (GSG) in nationales Recht umgesetzt worden und ab dem 1.1.1995 anzuwenden. Der Hersteller einer Maschine muss die Konformität mit den Bestimmungen formell erklären und diese Konformitätserklärung durch Anbringen des so genannten CE-Zeichens (CE = Communautés Européennes) (Abb. 1.11) bestätigen. Er versichert damit, dass die betreffende Maschine allen einschlägigen Richtlinien der EU entspricht.

Im Gegensatz zum CE-Zeichen ist das GS-Zeichen (Geprüfte Sicherheit) (Abb. 1.12) ein ausschließlich deutsches Sicherheitszeichen. Es darf nur von zugelassenen Institutionen (beispielsweise berufsgenossenschaftlichen Fachausschüssen) nach einer eingehenden sicherheitstechnischen Prüfung vergeben werden. Das CE-Zeichen kann es nicht ersetzen, sondern nur ergänzen.

Der Anwendungsbereich der Maschinenrichtlinie erstreckt sich, wie der Name schon sagt, in erster Linie auf Maschinen. Maschinenanlagen, auswechselbare Ausrüstungen und Sicherheitsteile sind dabei den Maschinen gleichgestellt. Unter einer Maschine wird nach Definition der Richtlinie die Gesamtheit von miteinander verbundenen Teilen oder Vorrichtungen verstanden, von denen mindestens eines beweglich ist. Maschinenanlagen werden als eine Gesamtheit von Maschinen beschrieben, die als Gesamtheit angeordnet sind und auch als Gesamtheit betätigt werden und funktionieren. Auswechselbare Ausrüstungen sind solche, welche die Funktion einer Maschine ändern und vom Bedienungspersonal selbst angebracht werden können. Als Sicherheitsteile gelten alle Teile, deren Ausfall oder Fehlfunktion die Sicherheit oder Gesundheit von Personen gefährdet.

Über die Anwendung der Maschinenrichtlinie auf Fahrzeuge und ihre Aufbauten bestehen gegenwärtig teilweise noch unterschiedliche Auffassungen. Grundsätzlich sind zunächst nach Artikel 1 Abs. 3 Fahrzeuge und dazugehörige Anhänger, die ausschließlich für den Transport von Gütern auf öffentlichen Straßen konzipiert sind, vom Anwendungs-

Abb. 1.12 GS-Zeichen (TÜV Süddeutschland)

bereich der Richtlinie ausgeschlossen. Dazu gehören z. B. hydraulisch betätigte Führerhauskippeinrichtungen, Ersatzradhebevorrichtungen und Sattelstützwinden.

Alle Fahrzeugteile, die jedoch nach Definition der Richtlinie Maschinen sind und nicht der Beförderung eines Gutes dienen, sondern dazu konzipiert sind, dieses Gut vor, während oder nach der Beförderung zu bewegen, zu bearbeiten oder zu behandeln, fallen unter den Anwendungsbereich der Richtlinie [12]:

- Ladekräne und Ladebordwände
- hydraulische Kippvorrichtungen
- Transportbetonaufbauten
- Kühlaggregate
- durch gespeicherte Energie betriebene Falttüren und Rolltore
- durch Hilfsenergie betriebene verschiebbare und klappbare Zwischenwände
- hydraulisch, elektromechanisch oder manuell verstellbare Zwischenböden
- Ausschubkabinen für Sonderfahrzeuge
- Hubdächer und Schiebeverdecke.

Für Fahrzeugaufbauten und deren Aggregate, die bereits den berufsgenossenschaftlichen Vorschriften entsprechen, ergeben sich durch die erforderliche Anwendung der Maschinenrichtlinie oft nur geringfügige konstruktive Änderungen. Allerdings verursacht das CE-Kennzeichnungsverfahren oft erhebliche Kosten für die erforderlichen technischen Dokumentationen wie Gefahrenanalyse, Bedienungsanleitungen und Gebrauchsanweisungen.

Bei der überwiegenden Zahl der technischen Produkte, die von der CE-Kennzeichnung betroffen sind, ist das Konformitätsverfahren nach Modul A anzuwenden. Hier genügt es, dass der Hersteller die erforderlichen technischen Unterlagen zur Verfügung der Behörden hält, die Konformität des Produktes mit den einschlägigen Richtlinien erklärt und das CE-Zeichen anbringt. Nur in bestimmten Fällen (gefährliche Maschinen im Sinne der Richtlinie) muss vor dem Inverkehrbringen das Produkt durch einen unabhängigen Dritten zertifiziert werden.

1.3.4 Fahrzeugbenennungen

DIN 70010 (Systematik der Straßenfahrzeuge) benennt und definiert in Übereinstimmung mit der internationalen Norm ISO 3833 bestimmte Straßenfahrzeuge nach deren technischen Merkmalen. Dabei wird nicht berücksichtigt, ob die benannten Fahrzeuge und Fahrzeugkombinationen amtlich zulassungsfähig sind oder nicht. Als Beispiele seien hier genannt:

- Lastkraftwagen, der entweder als Solo-Fahrzeug eingesetzt oder mit Gelenkdeichselanhänger oder Zentralachsanhänger zu einem Lastkraftwagenzug kombiniert wird.

- Sattelzugmaschine, die mit einem Sattelanhänger zu einem Sattelkraftfahrzeug oder mit einem Nachläufer und der verbindenden Ladung zu einem Brückenzug kombiniert wird.

1.3.5 Allgemeine Abmessungen

Entsprechend der Empfehlung ISO/R 612 der International Organisation for Standardization (ISO) sind in DIN 70020 Teil 1 die allgemeinen Abmessungen von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängerfahrzeugen benannt und definiert. Dabei wird von einem Fahrzeug ausgegangen, das sich auf einer horizontalen Standebene in Geradeauslaufstellung befindet und bei einem der Achslast angepasstem Reifenfülldruck bis zum zulässigen Gesamtgewicht belastet ist.

DIN 70020 definiert folgende Fahrzeugmaße (nicht vollständig). Die Nummern in Klammern entsprechen sowohl der Nummerierung in der Norm als auch der Abb. 1.13 bis 1.15:

Fahrzeugaußen- und Nutzmaße: Fahrzeuglänge (1.1), Fahrzeugbreite (1.2), Fahrzeughöhe (1.3), Radstand (1.4), Spurweite (1.5), Vordere Überhanglänge (1.6), Hintere Überhanglänge (1.7), Rahmehöhe (1.8), Rahmenlänge hinter Führerhaus (1.9), Größte Innenmaße des Laderaumes (1.10), Lichte Innenmaße des Laderaumes (1.11).

Fahrbetriebs- und Fahrwerksmaße: Bodenfreiheit vor, zwischen und hinter den Achsen (2.1.1), Bodenfreiheit unter einer Achse (2.1.2), Rampenwinkel (2.2), Vorderer Überhangwinkel (2.3), Hinterer Überhangwinkel (2.4), Kleinster Spurekreisdurchmesser (2.6), Kleinster Wendekreisdurchmesser (2.7).

Anhängebetriebsmaße: Frontabstand der Anhängerkupplung (3.1.1), Frontabstand der Sattelkupplung (3.1.2), Ausladung der Anhängerkupplung (3.2.1), Heckabstand der Anhängerkupplung (3.2.2), Höhe der Anhängerkupplung (3.2.3), Sattelvormmaß (3.2.4), Höhe der Sattelkupplung (3.2.5), Heckradius (3.3), Ausladung der Zuggabel (3.4), Länge der Zuggabel (3.5), Schwanenhalsfreiradius (3.6), Vorderer Überhangradius (3.7).

1.4 Lastkraftwagenangebot

Bedingt durch gesetzliche Rahmenbedingungen und einsatzspezifische Anforderungen haben sich bei den am Markt angebotenen Nutzfahrzeugen Klassen mit merkmalsprägenden Eigenschaften herausgebildet. Strukturierungsmerkmale für Solo-Fahrzeuge sind die Gewichtsklassen 3,5, 7,5, 12 und 18 t für 2-achsige, 26 t für 3-achsige und 32 t für 4-achsige Fahrzeuge. Für Fahrzeugkombinationen ergeben sich je nach Anzahl der Achsen und dem dadurch begrenzten Gesamtgewicht (§ 34 StVZO) 28 t, 36(38) t und 40 t. Daneben bestimmen Anzahl von angetriebenen wie auch gelenkten Rädern, die Art der Federung und die dem Fahrzeug-Gesamtgewicht zugeordnete Motorleistung das Fahrzeugkonzept. Meist werden Gruppen von Fahrzeugen bestimmter Gewichtsklassen oder

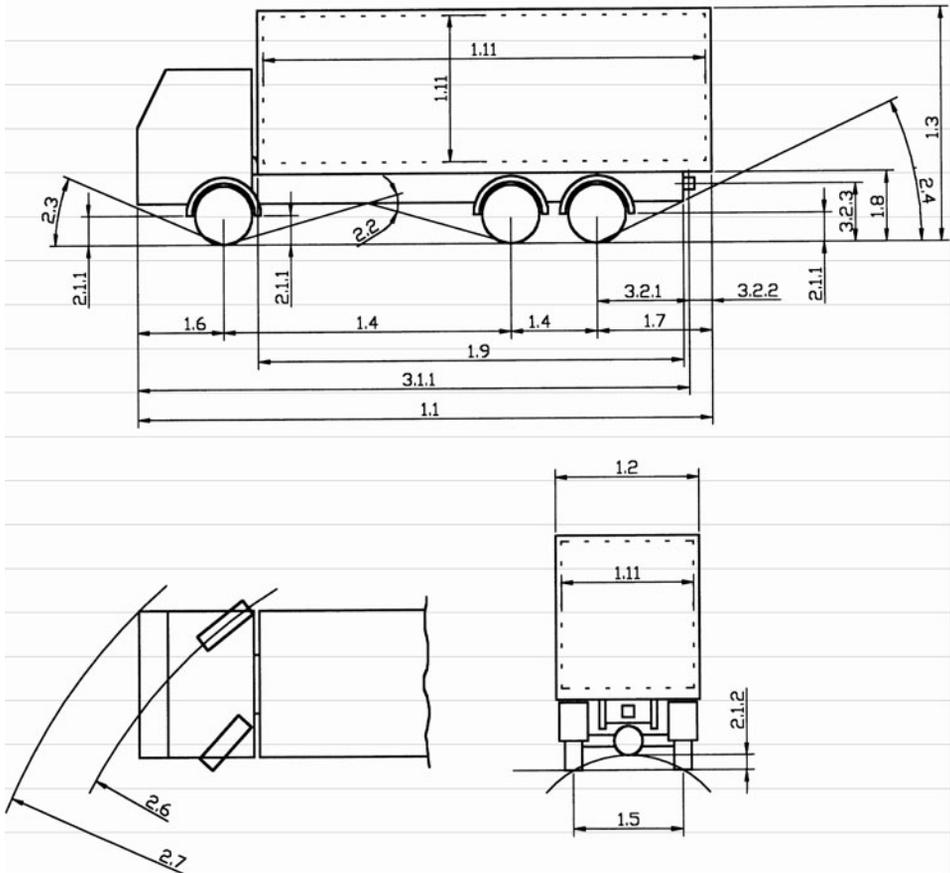


Abb. 1.13 Allgemeine Fahrzeugabmessungen entsprechend DIN 70020 (Lastkraftwagen)

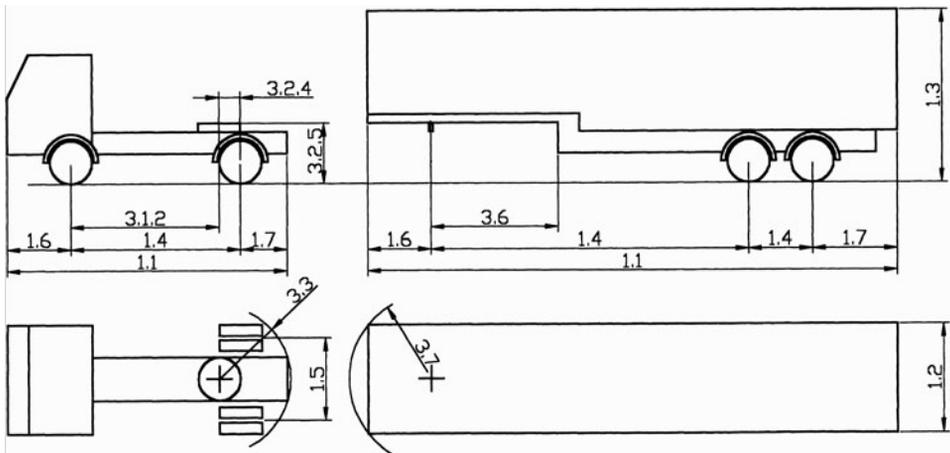


Abb. 1.14 Allgemeine Fahrzeugabmessungen entsprechend DIN 70020 (Sattelkraftfahrzeuge)

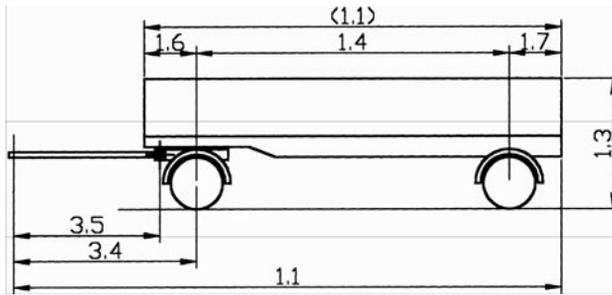


Abb. 1.15 Allgemeine Fahrzeugabmessungen entsprechend DIN 70020 (Gelenkdeichselanhänger)

für einen gemeinsamen Verwendungszweck als Baureihe mit Abstufungen von Gesamtgewichten, Radständen und Antriebsleistungen entwickelt. Sie erhalten zur Typisierung ein einheitliches Erscheinungsbild und einen eigenständigen Namen: IVECO (Daily, Eurocargo, Stralis, Trukker), MAN (TGL, TGM, TGS, TGX), Mercedes Benz (Citan, Vito, Sprinter, Atego, Antos, Arocs, Actros), DAF (LF, LF Construction, CF, CF Construction, XF), Volvo (FL, FE, FM, FMX, FH).

1.4.1 Typenbezeichnung von Lastkraftwagenfahrgerstellten

Zur Kennzeichnung der unterschiedlichen Lastkraftwagenfahrgerstellten sind von den Herstellern Typenbezeichnungen eingeführt worden, die am Fahrzeug im Bereich der Fahrerhauskabine angebracht werden. Sie entsprechen allerdings keiner einheitlichen Konvention und können in unterschiedlicher Verschlüsselung Angaben über Baureihe, Gesamtgewicht, Motorleistung, Verwendungszweck, Federung, Solo-/Anhängerversion wie auch Antriebs- und Fahrwerksart enthalten. Als Beispiele älterer Baureihen seien hier aufgeführt:

IVECO: MT 400 E 30 T/P (MT: Medium Truck = Mittelschwere Reihe; 400: 40 t zulässiges Zuggesamtgewicht; E: EURO-Generation; 30: 300 PS; T/P: Sattelzugmaschine, Luftfederung an der Hinterachse)

MAN: 18.224 MLC (18: 18 t zulässiges Gesamtgewicht; 22: 220 PS; 4: Baumuster Nr. 4; M: Baureihe M 2000; L: Blatt-/Luftfederung; C: Pritschenwagen/Chassis)

Die Bezeichnung der auf Abb. 1.16 beispielhaft dargestellten Antriebs- und Fahrwerkskonzepte erfolgt nach einem einheitlichen Schlüssel:

$N \times Z / L$ mit

N = Anzahl der Räder (Doppelbereifung zählt als ein Rad)

Z = Anzahl der angetriebenen Räder

L = Anzahl der gelenkten Räder, wobei $/L$ in eindeutigen Fällen weggelassen wird

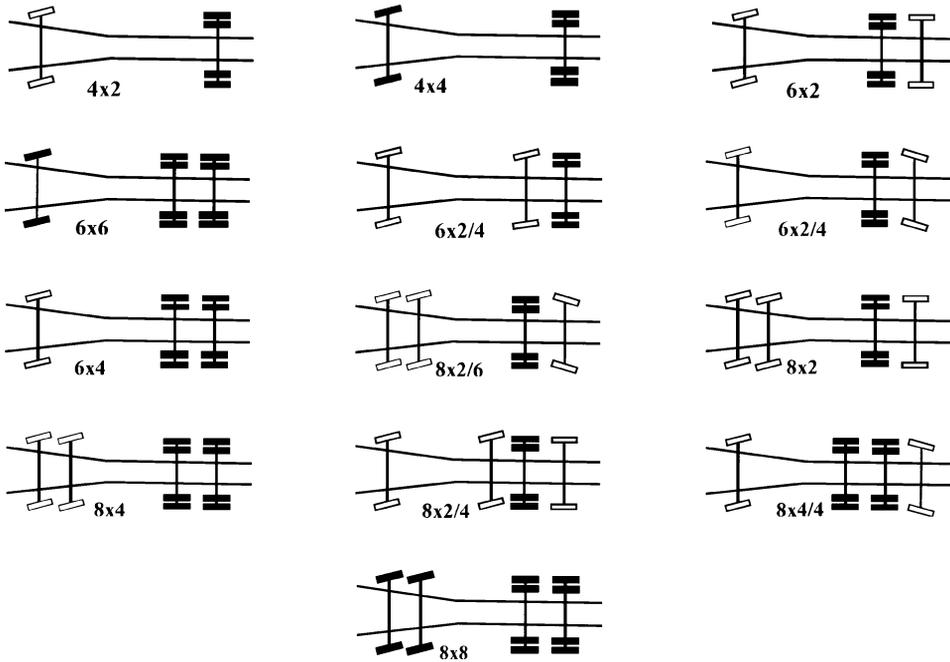


Abb. 1.16 Antriebs- und Fahrwerksarten (nach SCANIA)

Der klassische, nur hinterachsgetriebene Lastkraftwagen mit achsschenkelgelenkten Rädern an der Vorderachse wird demnach mit 4×2 und bei Allradantrieb mit 4×4 gekennzeichnet. Dreiachsfahrzeuge (6×2) für den Straßeneinsatz haben zusätzlich zur angetriebenen doppelbereiften Hinterachse eine einzelbereifte Vor- oder Nachlaufachse.

Wahlweise werden auch Dreiachsfahrzeuge mit liftbarer Nachlaufachse oder wegen der hervorragenden Kurvenläufigkeitseigenschaften $6 \times 2/4$ -Fahrzeuge mit zwangsgelenkter Vorlauf- oder Nachlaufachse angeboten. Sattelzugmaschinen für den Straßeneinsatz sind entweder 4×2 - oder $6 \times 2/4$ -Fahrzeuge. Im Baustellenverkehr werden zweiachsige 4×4 -, dreiachsige 6×4 - und 6×6 - bzw. vierachsige $8 \times 4/4$ -, $8 \times 6/4$ - und $8 \times 8/4$ -Fahrzeuge eingesetzt. Bau-Sattelzugmaschinen gibt es in der 4×4 -, 6×4 - und 6×6 -Version.

1.4.2 Motoranordnungen

Je nach Lage des Motors unterscheidet man die drei prinzipiell unterschiedlichen Anordnungs-konzepte Hauber, Frontlenker und Frontlenker in Unterflurbauweise (Abb. 1.17).

Beim *Hauber* (Haubenfahrzeug) sitzt der Fahrer hinter der Vorderachse. Der Motor ist vor der Achse angeordnet, wodurch die Innengeräusche minimiert werden. Fahrer und Beifahrer können mühelos einsteigen. Der Motorvorbau gewährt einen wirkungsvollen

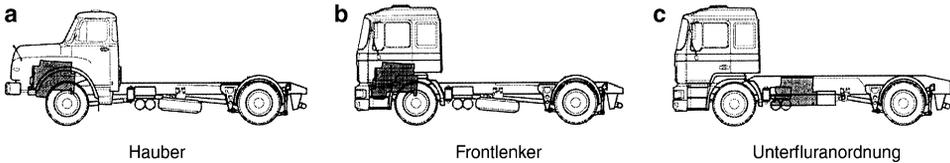


Abb. 1.17 Motoranordnungen: Hauber (a), Frontlenker (b) und Unterfluranordnung (c) (MAN)

Schutz in jeder Fahrsituation. Für den Einsatz auf der Baustelle ergibt der weit vorne liegende Schwerpunkt des Fahrgestells Sicherheit beim Kippbetrieb. Der lange Radstand sorgt für exzellente Geradeauslaufeigenschaften und bringt z. B. für Schneeräumfahrzeuge die nötige Richtungsstabilität. Der Motor ist ausgesprochen gut zugänglich. Alle Service- und Wartungsarbeiten können schnell und ohne Probleme durchgeführt werden. Hauber stellten bis in die 1950er Jahre hinein den Stand der Technik dar, wurden aber unter der Zielsetzung maximaler Ladelängen bei begrenzten Längenabmessungen für Solofahrzeuge wie für Fahrzeugkombinationen durch Frontlenkerfahrzeuge verdrängt. Ihr Einsatzgebiet beschränkt sich auf den außereuropäischen Markt (USA, Mittlerer Osten) und auf den Einsatz als Baustellen- und Schneeräumfahrzeug.

Beim *Frontlenkerfahrzeug* ist der Motor unter dem Fahrerhaus angeordnet. Hauptvorteil dieser Bauweise ist neben den möglichen großen Ladelängen die optimale Straßenübersicht für den Fahrer und der infolge des kürzeren Radstandes kleinere Wendekreis. Des Weiteren ermöglicht der tiefliegende Rahmen maximale Aufbauhöhen und somit großes Ladevolumen. Nachteilig sind die erforderliche besondere Geräuschkapselung des Motors und die aufwändige Konstruktion des kippbaren Fahrerhauses.

Frontlenkerfahrzeuge in Unterflurbauweise haben einen zwischen den Achsen eingebauten Motor. Das Fahrerhaus ist mit dem der reinen Frontlenker-Bauweise identisch, weist jedoch einen durchgehend ebenen Boden im Fußraum auf. Der tiefliegende Schwerpunkt und die gleichmäßige Achslastverteilung garantieren auch bei leerem oder teilbeladenem Fahrzeug eine gute Traktion und ein ausgewogenes Fahrverhalten. Durch den höherliegenden Rahmen und die schlechte Zugänglichkeit des Motors hat sich diese Konzeption nicht durchsetzen können. Sie wird derzeit nur als Fahrschulfahrzeug (MAN) angeboten.

1.4.3 Lastkraftwagenangebot nach Gewichtsklassen

Leichte Lieferwagen und Pick-Ups sind für viele Handwerker und Gewerbetreibende die preiswerte Alternative zum Transporter der 3,5-Tonnen-Klasse. Wenn nicht als Pick-Up-Variante vom Geländewagen abgeleitet, basieren diese Fahrzeuge auf Pkw-Karosserien, von denen die Frontpartien und Fahrerhäuser fast identisch übernommen sind (Abb. 1.18).

Transporter bis 2,8 t Gesamtgewicht waren bis zur Neuregelung der Vorschriften über Geschwindigkeitsbegrenzungen im September 1997 diejenigen Transporter, für die noch



Abb. 1.18 Volkswagen Caddy (Bild: Volkswagen)

Abb. 1.19 Volkswagen Crafter
(Bild: Volkswagen)



kein Tempolimit von 60 km/h auf Landstraßen und 80 km/h auf Autobahnen galt und dadurch sehr erfolgreich verkaufte Fahrzeuge.

Transporter bis 3,5 t Gesamtgewicht zeigen seit der Verschiebung des Tempolimits auf Gesamtgewichte jenseits der 3,5 t steigende Verkaufszahlen. Stark motorisierte Modelle mit bis zu 190 PS sorgen für flotte Fahrleistungen. Neben Kastenwagen (Abb. 1.19) werden auch verstärkt Lastkraftwagenfahrgerüste mit tragendem Leiterraum angeboten.

Schwere Transporter und leichte Lastkraftwagen teilen das Nutzfahrzeugangebot bis 7,5 t Gesamtgewicht. Zum einen sind das die teilweise noch selbsttragend gebauten Großraumkastenwagen (Abb. 1.20), zum anderen die Klein-Lastkraftwagen mit tragendem Leiterraum (Abb. 1.21).

Aufgrund der EU-Führerscheinregelung ist das Angebot in dieser Gewichtsklasse in den letzten Jahren kaum gewachsen, da der Pkw-Führerschein der Klasse B nur zum Fahren eines Fahrzeuges bis zu 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht ermächtigt. Für Füh-

Abb. 1.20 Mercedes-Benz Sprinter (Bild: Mercedes-Benz)



Abb. 1.21 DAF LF (Bild: DAF)



erscheininhaber der alten Klasse 3 bleibt der 7,5-Tonner nach wie vor ein interessantes Fahrzeug, da es mit Tandemanhänger und durchgehender Druckluftbremsanlage zu einem Lastkraftwagenzug mit bis zu 18,5 t Zug-Gesamtgewicht kombiniert werden darf.

Leichte Verteiler-Lastkraftwagen bis 12 t Gesamtgewicht (Abb. 1.22) waren eine Fahrzeugklasse, die nach der Einführung der Lkw-Maut in Deutschland von der noch bis zu dieser Gewichtsklasse hinauf kostenfreien Benutzung der Autobahnen profitieren. Hierfür sind speziell für den Solo-Einsatz ausgelegte Modelle entwickelt worden. Die Änderung der Mautpflicht für Fahrzeuge ab 7,5 t dürften dieser Klasse in Zukunft wieder eine größere Bedeutung zumessen.

Solo-Lastkraftwagen bis 18 t Gesamtgewicht sind auf geringes Eigengewicht und günstigen Anschaffungspreis hin konzipierte Fahrzeuge für den Verteilerverkehr. Für Gesamtgewichte bis 28 t bei insgesamt drei Achsen bietet als Fahrzeugkombination eine 18-t-Sattelzugmaschine mit einachsigen Auflieger und zwangsgelenkter 10-t-Achse (Abb. 1.23) viel Ladevolumen bei niedrigen Betriebskosten. Die Befreiung der Maut greift

Abb. 1.22 Mercedes-Benz Atego (Bild: Mercedes-Benz)



Abb. 1.23 MAN M 2000 (Verlag H. Vogel)



ab dem 01. Oktober 2015 nur noch für Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von unter 7,5 t, somit wird diese Klasse an Bedeutung verlieren.

Lastkraftwagen bis 18 t Gesamtgewicht für Anhängerbetrieb mit bis zu 36 t Gesamtgewicht werden sowohl als Solo-Fahrzeug im städtischen Verteilerverkehr als auch mit Anhänger auf der Überlandstrecke eingesetzt. Sie sind oft die Antwort auf eine der maximalen Nutzlast exakt angepasste Fahrzeugkonzeption. Während sich vierachsige Lastkraftwagenzüge (Gliederzüge) eher für den flexiblen Einsatz mit gelegentlichem Solo-Betrieb eignen, setzen sich im Lebensmittel-Verteilerverkehr dank gelenkter Aufliegerachsen rangierfreudige vierachsige *Sattelkraftfahrzeuge mit bis zu 38 t Gesamtgewicht* durch, da sie an der Rampe in einem Zug be- und entladen werden können.

Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen bis 18 t Gesamtgewicht für Anhänger- bzw. Aufliegerbetrieb im schweren Verteilerverkehr mit bis zu 40 t Gesamtgewicht sind Fahrzeuge für hohe Lasten auf kurzen Strecken. Gegenüber den schweren Langstreckenfahrzeugen bieten sie mehr Nutzlast bei sparsameren Triebwerken und günstigerem Anschaffungspreis. Sie werden meist mit einem für Einzelfahrer vielfach ausreichendem kurzen und schmalen Fahrerhaus ausgerüstet.

Abb. 1.24 MAN TGX (Bild: MAN)



Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen bis 18 t Gesamtgewicht für Anhänger- bzw. Aufliegerbetrieb im Fernverkehr mit bis zu 40 t Gesamtgewicht (Abb. 1.24) sind die Flaggschiffe im Fahrgestellangebot. Um mit einem gut ausgelasteten Zug durchschnittliche Fahrleistungen zwischen 76 und 78 km/h zu erreichen, sind Leistungsgewichte zwischen 8 und 12 PS/t erforderlich. Dies entspricht bei 40 t Gesamtgewicht einem Leistungsbedarf zwischen 320 und 480 PS. Das Leistungsgewicht von 8 PS/t orientiert sich an Flachlandstrecken und relativ niedrigen Aufbauten. 12 PS/t werden erforderlich, wenn es bergige Autobahnen und windreiche Strecken mit Großaufbauten zu überwinden gilt.

Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen für den Volumentransport sind auf niedrige Höhen der Fahrgestellrahmenoberkante hin konzipiert. Bei maximal 13,60 m Aufbaulänge lassen sich beim volumenoptimierten Sattelkraftfahrzeug 100 m³ und beim Lastkraftwagenzug mit maximal 15,65 m Aufbaulänge 120 m³ Ladevolumen erreichen. Daher kann sich, ganz im Gegensatz zum allgemeinen Trend, beim Volumentransport der Lastkraftwagenzug (Gliederzug) gegenüber dem Sattelkraftfahrzeug nach wie vor behaupten.

Der Volumentransport ist aufgrund der niedrigen Ladungsgewichte ganz klar eine Domäne der Mittelklasse-Lastkraftwagen. Gesamt-Zuggewichte, die selten über 30 t gehen, machen sowohl schwere Rahmenkonstruktionen als auch starke Motoren in den meisten Fällen überflüssig. Speziell bei Paketdiensten und Möbelspeditionen besteht Interesse nach Volumen-Gliederzügen für Wechselbrücken mit 1020 mm Abstellhöhe. Sollen mit diesen Fahrzeugen auch Standard-Wechselbrücken mit 1320 mm Abstellhöhe aufgenommen werden, sind entweder Hubschwingen oder hydraulisch anhebbare Tragegestelle erforderlich.

Dreiachsige Lastkraftwagen mit Lenk- und/oder Liftachsen sind Fahrzeuge, die sich durch hohe Nutzlast, gute Wendigkeit und geringen Reifenverschleiß auszeichnen. Da für den Wendekreis der Radstand zwischen der Vorderachse und der nichtgelenkten doppelbereiften Antriebsachse entscheidend ist, bieten sich hier gelenkte Nachlaufachsen mit Einzelbereifung an. Ist eine Nachlaufachse zusätzlich liftbar, kann sie auf verschneiter oder vereister Fahrbahn durch Anheben die Antriebsachse kurzzeitig höher belasten (Anfahr-

Abb. 1.25 DAF CF Construction (Bild: DAF)



hilfe gemäß Ausnahmeverordnung zu § 34 StVZO) und damit deren Traktion verbessern. Eher für den Fernverkehr geeignet ist die nichtgelenkte Liftachse, die bei Leerfahrten oder bei Teilbeladung angehoben werden kann. Fahrzeuge mit gelenkten Vorlaufachsen (siehe Abb. 4.18) verlieren gegenüber denen mit Nachlaufachsen an Wendigkeit, sind aber bei großen Hecklasten (Ladekran, Ladebordwand, Hecklade-Müllsammelfahrzeug, Zentralachsanhängerbetrieb) erforderlich.

Kipperfahrgestelle und Sattelzugmaschinen für den Einsatz am Bau glänzen nicht durch hohe Nutzlasten, sondern zeichnen sich durch soliden Fahrgestellrahmen, kurze Radstände, Blattfederung, mehrachsigen Antrieb und bei Bedarf Außenplanetenachsen und größere Bereifung aus. Sie garantieren im Geländeeinsatz hervorragende Traktion sowie ausreichende Bodenfreiheit bei großen Überhangwinkeln und großem Rampenwinkel. Das Marktsegment bis 7,5 t Gesamtgewicht war infolge der alten „Dreier“-Führerschein-Bestimmung ein interessantes Fahrzeug, das allerdings mit Kipperaufbau und Ladekran kaum mehr als 1,5 t Nutzlast bieten konnte. Vermutlich wird mit Einführung der neuen Fahr-Erlaubnisklassen die Entwicklung eher in Richtung 12 t Gesamtgewicht gehen. Der schwere 4×4-Zweiachser mit Dreiseitenkipper und 18 t Gesamtgewicht ist ein Fahrzeug für den universellen Einsatz. Im Solo-Betrieb sind Nutzlasten von acht bis neun Tonnen möglich und bei entsprechender Motorisierung können schwere Tiefladeanhänger gezogen werden. Dreiachsige 6×4- oder 6×6-Kipperfahrgestelle bieten deutlich mehr Nutzlast. Für hohe Transportleistungen bei variablem Einsatz werden sie gerne mit einem Zentralachshänger kombiniert. Im schweren Gelände ist allerdings der vierachsige 8×8/4-Kipper (Abb. 1.25) sowohl bezüglich der Nutzlast als auch Traktion unumstritten das leistungsfähigste Fahrzeug.

Schwere dreiachsige und vierachsige Fahrgestelle ohne Allradantrieb haben ihr Haupteinsatzgebiet als Träger von Betonmischer-Aufbauten. An der Schnittstelle zwischen Bau- und Straßenbetrieb hat maximale Nutzlast hier höhere Priorität als perfekte Geländegängigkeit. Der Fahrgestellrahmen ist daher gegenüber dem Kipperfahrgestell wesentlich filigraner.

Schwerlastzugmaschinen sind immer dann erforderlich, wenn es Gesamtgewichte von deutlich über 40t über große Entfernungen zu bewegen gilt. Spezielle Schwerlastversionen von Serienfahrzeugen werden dazu mit Motorleistungen mit bis zu 1000PS, Wandlerkupplung zum verschleißlosen Anfahren, Primär-Retarder (zwischen Motor und Getriebe angeordnet) sowie Zusatzkühlung für Motor und Getriebe ausgestattet. Da Schwerlastzugmaschinen extrem teuer sind und sich nur dann rentieren, wenn sie permanent im Einsatz sind, gehen viele Schwertransport-Spezialisten dazu über, zwei oder drei Standard-Zugmaschinen vor ihre Spezialanhänger zu spannen.

Eine umfassende Übersicht über das Lastkraftwagenangebot bietet [13].

1.5 Entwicklungsschwerpunkte und künftige Konzepte

Nutzfahrzeuge nehmen im Güterverkehr gegenüber anderen Verkehrsträgern eine deutlich führende Stellung ein. Von den insgesamt im Jahr 1997 in Deutschland transportierten Waren (3,9 Milliarden t) entfielen 60 % auf den Lkw-Nahverkehr und weitere 23 % auf den Fernverkehr. Der Anteil der Bahn betrug lediglich 8 % (Abb. 1.26 und 1.27). Beim Transport typischer Einzelhandelsgüter (Lebensmittel, Druckereierzeugnisse, Pharmaprodukte) beträgt der Anteil des Lkw-Transports sogar über 96 %. Hauptgrund für den Vorsprung der Nutzfahrzeuge ist ihre Flexibilität, die Ware in der Regel vom Absender bis zum Empfänger direkt, d. h. ohne umzuschlagen, transportieren zu können. Die Zahlen machen deutlich, dass die Straße allein aus Kapazitätsgründen (wenn man nur 10 % der transportierten Gütermenge auf die Bahn verlagern würde, müsste die Kapazität der Bahn verdoppelt werden) auf längere Sicht Verkehrsträger Nummer eins bleiben wird. Da es für den überwiegenden Teil des Straßentransports überdies praktisch keine Verlagerungsmöglichkeit auf andere Verkehrsträger gibt, müssen die zweifelsohne von ihm ausgehenden Beeinträchtigungen noch geringer werden. Nutzfahrzeuge müssen daher so wirtschaftlich, so umweltverträglich und so sicher sein, wie dies unter den gegebenen technischen Voraussetzungen möglich ist [14].

Abb. 1.26 Güterverkehr in Deutschland (aus [14])

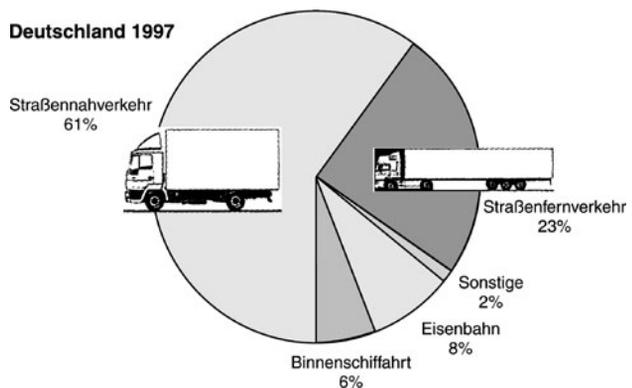
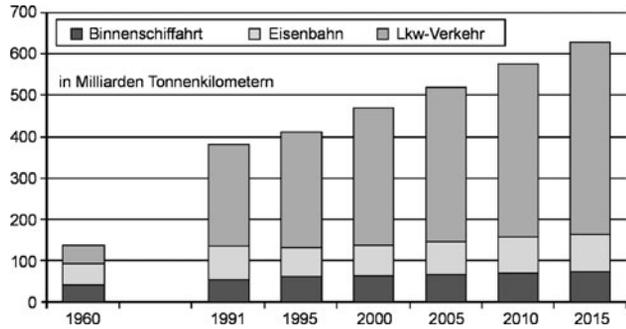


Abb. 1.27 Entwicklung der Güterverkehrsleistung nach Verkehrsarten (aus [14])

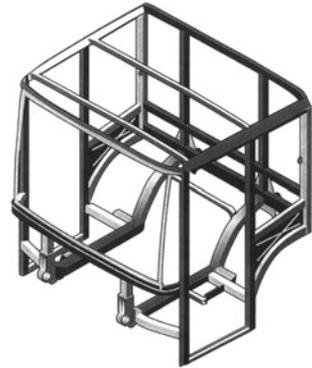


Für zukünftige Entwicklungen stecken Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Normen den entsprechenden Rahmen ab. Zu diesen Rahmenbedingungen gehören die zulässigen Abmessungen, Achslasten und Gesamtgewichte (siehe Abschn. 3.1). Hier scheinen mit der Anhebung der Gesamtlänge für den Lastkraftwagenzug von 18,35 auf 18,75 m bei einer unveränderten Systemlänge von 16,40 m und der Anhebung der Fahrzeugbreite von 2,50 auf 2,55 m auf längere Sicht unaufweichbare Grenzen gesteckt zu sein. Im Rahmen dieser Bedingungen gab und gibt es stets neue Bemühungen, die Ladevolumina zu vergrößern (Kurzkuppelsysteme, Zentralachsanhänger, Niederquerschnittsreifen, Low-Deck-Sattelzugmaschine, Hubdach). Als konstruktiv mögliche Obergrenze sind für Sattelaufleger etwa 110 m³ erreichbar. Der Versuch, durch konstruktive Maßnahmen Sattelkraftfahrzeugkonzepte auf die zulässige Gesamtlänge eines Gliederzuges abzustimmen und die Kurvenläufigkeit entsprechend zu verbessern (Swap-Trailer, Krone GmbH), scheiterten am Veto des Bundesverkehrsministeriums.

Im Zuge der Volumenoptimierung wurde für Sattelkraftfahrzeuge der Standard einer einheitlichen Sattelkupplungshöhe von 1250 mm aufgegeben. Auch für Wechselaufbauten sind neben der genormten Abstellhöhe von 1320 mm auch solche bis hinunter zu 1020 mm üblich.

Der Trend zu immer leichteren Fahrzeugen und einer damit verbundenen Steigerung der Nutzlast ist ungebrochen. Im Bereich des Motorwagens zeigen sich Gewichtseinsparungsmöglichkeiten durch den Ersatz des Stahl-Leiterrahmens durch eine Aluminiumkonstruktion, Achshäuse aus Stahlblech, Fahrerhäuser nach dem Space-Cage-Prinzip (Abb. 1.28) oder aus Faserverbundwerkstoffen (Abb. 1.29) sowie Super-Single-Bereifung für die Antriebsachse. Die Einsparungspotenziale bei Anhängern bzw. Auflegern betreffen den Einsatz hochfester Feinkornbaustähle oder warmausgehärteter Aluminiumwerkstoffe für den Rahmen, selbsttragende Böden aus stranggepressten Aluminiumprofilen sowie der Computerunterstützung in Konstruktion und Berechnung. Für das Sattelkraftfahrzeug mit 40 t Gesamtgewicht werden derzeit für den Schiebegardinen-Aufleger als unterster Grenzwert 5,2 t Leergewicht erzielt. Der als Sattelzugmaschine für die gewichtsensiblen Branchen (Tank-, Silo- und Kühlaufleger) konzipierte Axor von Mercedes-Benz erreicht als betriebsfertiges Fahrzeug 6,5 t.

Abb. 1.28 Fahrerhaus-Rohbaustruktur nach dem Space-Cage-Prinzip (aus: ATZ 100 (1998) Nr. 9)



Bei kleineren Fahrzeugen zeigen sich seit der veränderten Gesetzeslage deutliche Verschiebungen in den Gewichtsklassen. So liegen Transporter mit 3,5 t Gesamtgewicht (keine Geschwindigkeitsbegrenzung mehr) sowie die 12-Tonnen-Klasse (z. B. IVECO Eurocargo), für die in Zukunft auf deutschen Autobahnen noch keine Benutzungsgebühr entrichtet werden muss, voll im Trend; und mit der neuen EU-Führerschein-Regelung wird die 7,5-Tonnen-Klasse bald keine Rolle mehr spielen.

Neu- und Weiterentwicklungen im Bereich der Motoren konzentrieren sich neben der Steigerung der spezifischen Leistung (max. 30 kW je Liter Hubraum), des Wirkungsgrades und der damit verbundenen Senkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs (min. 190 g/kWh) verstärkt auf den Sektor der Abgasemission. 1992/93 wurden die zulässigen Abgasgrenzwerte durch die Richtlinie 91/542/EWG (EURO-1) erstmals festgeschrieben und seither stetig reduziert. Seit 2005/06 gilt EURO-5 nach Richtlinie 1999/96/EG mit einem gegenüber EURO-1 von 9 auf 3,5 g/kWh gesenkten zulässigen NO_x -Wert. Unabhängig davon werden für die sensiblen Innenstadtbereiche alternative Antriebe erprobt.

Abb. 1.29 Fahrerhaus des kleinen Unimog aus Kohlefaser-Verbundwerkstoff (aus: F+K 1/2000)



Dies sind der Erdgasmotor (CNG-Erdgasmotor von MAN), die Diesel-Elektro-Hybrid-Technik, der Gasturbinen-Elektro-Hybrid-Antrieb (Volvo Environment Concept Truck) und die Brennstoffzelle.

Die moderne Schaltgetriebetechnik basiert für schwere Nutzfahrzeuge auf bewährten mechanischen 16-Gang-Getrieben. Zur Entlastung des Fahrers und zur Optimierung von Fahrleistung und Kraftstoffverbrauch sind sie in der Lage, vollständig autonom zu schalten. Dazu erfasst eine intelligente Elektronik eine Vielzahl von Parametern (Fahrbahnsteigung oder -gefälle, Fahrzeuggewicht, Beladungszustand, Motorleistung, Fahrstil des Fahrers), errechnet durch eine Fuzzy-Logik die Schaltstrategie und steuert vollautomatisch die elektrohydraulisch betätigten Aktuatoren im Getriebe.

Die Erhöhung der aktiven Sicherheit durch leistungsfähigere Bremssysteme sind ohne Scheibenbremsen und EBS (elektronische Bremsensteuerung) nicht denkbar. Während ein Sattelkraftfahrzeug älterer Bauart mit Trommelbremsen zum Abbremsen aus 80 km/h bis zum Stillstand noch einen Bremsweg von etwa 60 m benötigt, vermindert sich dieser mit Scheibenbremsen an den Vorderrädern und einem auf 10 bar erhöhten Betriebsdruck auf 45 m, mit Scheibenbremsen rundum auf 42 m.

Als in die Zukunft gerichtete Entwicklung sind die Fahrdynamikregelung (FDR) und der abstandsgeregelte Tempomat (ACC) zu sehen. FDR ist in der Lage, durch gezielte Bremsenriffe der Schleuderbewegung (z. B. bei übersteuernder Zugmaschine und untersteuerndem Auflieger) entgegenzuwirken. ACC ist eine Erweiterung des konventionellen Tempomaten, der die zusätzliche Fähigkeit erhält, bei Annäherung auf vorausfahrende Fahrzeuge die Geschwindigkeit zu reduzieren und einen Sicherheitsabstand einzuregeln.

Mögliche Beiträge zur Steigerung der Sicherheit von Nutzfahrzeugen zeigte bereits das Tankfahrzeug TOPAS (Tankfahrzeug mit optimierten passiven und aktiven Sicherheitseinrichtungen). Aktuelle Maßnahmen zur Steigerung der passiven Sicherheit sind die Ausstattung der Fahrerhäuser mit Airbag und für den Kollisionsfall die Verbesserung der Kompatibilität des Nutzfahrzeuges zu anderen Verkehrsteilnehmern (Seitliche Schutzvorrichtung, Frontschutzsysteme, Plankenrahmen).

Die Entwicklung der Nutzfahrzeugelektronik ging zunächst in den 1980er Jahren von den überwiegend mechanischen Steuer- und Regelsystemen aus und ersetzte diese durch elektronische Stand-alone-Systeme. Der Anwendungsbereich beschränkte sich auf Funktionen des Antriebsmanagements. Seit der Einführung des CAN-Datenbus-Systems in Zweidraht-Technik am Anfang der 1990er Jahre ist es möglich geworden, Fahrzeugelektroniken zu vernetzen und somit Daten bzw. Informationen allen angeschlossenen Teilnehmern zur Verfügung zu stellen.

Einen „Welt-Lkw“ wird es durch die gravierenden Unterschiede in den Kontinenten nicht geben, aber das Beispiel Daimler-Truck Group mit Mitsubishi und Freightliner zeigt, dass eine Gleichteilstrategie und eine Bildung von Entwicklungszentren für Komponenten, z. B. Achsen und Motoren, erfolgreich sein kann. Generell sind zukünftige Entwicklungen ein Produkt aus Erfahrung, interdisziplinärer Forschung und intensiver Entwicklungs- und Konstruktionsaktivität. Die Zukunft baut sich daher durch schrittweise Weiterentwicklung des Stands der Technik auf.

Ein Beispiel für Weiterentwicklung ist der vierachsige Lkw, der nach jahrelanger Bewährung in der Schweiz 1985 endlich auch in Deutschland, zunächst mit 30 t zulässigem Gesamtgewicht, später mit 32 t, zugelassen wurde. Nachdem fünfachsiges Solo-Lkw für die Bauwirtschaft in den Niederlanden und ab 2006 auch in der Schweiz zugelassen sind, bahnt sich eine entsprechende Entwicklung auch in Deutschland an, bislang sind solche Fahrgestelle für Sonderzwecke, z. B. mit Aufbau einer Betonpumpe, Betonmischer und Hubmastsystemen mit Sondergenehmigung zugelassen.

Eine andere schon greifbare Entwicklung sind die in Skandinavien und den Niederlanden verkehrenden Lastzüge mit 25,25 m Länge und 60 t Gesamtgewicht. Einerseits ist es bestechend, solche Züge mit dreiachsigem Auflieger und zweiachsigem Tandemanhänger mit Langdeichsel zu bilden, andererseits sollten solche Züge über Lenksysteme verfügen, die straßenschonender sind als heute üblich. Schon 1936 gab es acht- und neunachsige Züge mit ca. 30 m Länge und bis 67 t Gesamtgewicht, bei denen in der Kurve alle Anhängerräder schräglaufwinkelfrei in der Spur der Zugmaschine liefen. Hier müsste noch Entwicklungsarbeit geleistet werden. In diesem Zusammenhang gewinnt der bei niedrigen Geschwindigkeiten zuschaltbare Antrieb der Vorderräder besondere Bedeutung; für die 60-t-Lastzüge müssen zwei Achsen angetrieben sein und der Hydro Drive vermeidet den permanenten Antrieb zweier Achsen.

Die Elektronik weist im Automobil allgemein die größte Zuwachsrate auf. Hier liegt für Nutzfahrzeuge noch ein großes Potenzial, um den Betrieb wirtschaftlicher ökologischer und sicherer zu gestalten. Mit der prognostizierten Zunahme des Straßengüterverkehrs in zweistelliger Höhe in den nächsten Jahren und in Anbetracht des zu schleppenden Ausbaus der Fernstraßen erreicht die Sicherheit den höchsten Stellenwert. Elektronische Bausteine und Systeme werden also den Stand der Technik von morgen bestimmen. Die Fahrerassistenzsysteme sollen wie ein aufmerksamer Beifahrer den Fahrer, der das schwächste Glied in der Kette bildet, unterstützen. Die aktuellste Sicherheitstechnik müsste in den geplanten 60-t-Zügen installiert sein (Abb. 1.30).

Die Assistenzsysteme werden nicht zu einem fahrerlosen Betrieb auf öffentlichen Straßen führen, aber im Werksgelände oder auf Betriebshöfen ist er bereits nach dem Muster fahrerloser Transportsysteme in automatisierten Produktionen realisiert. So werden in einem Baulogistikzentrum zwei dreiachsige Lkw im zweischichtigen, fahrerlosen Betrieb (Abb. 1.31) mit elektronischer Spurführung und vollautomatischer Be- und Entladefunktion eingesetzt. In 10.000 Fahrten zwischen Produktion und Lager werden ca. 14.000 t jährlich transportiert. Kollisionen werden durch Sensoren verhindert. Eine Anwendung des Systems in Autohöfen zum Umladen von Behältern oder Containern von Lastzügen auf Verteilerfahrzeuge oder zum Zwischenlagern ist denkbar.

Ein weiteres Beispiel ist die Entwicklung der Betriebsbremse – ohne gesetzliche Vorgaben – von der reinen Druckluftbremse über die elektrisch angesteuerte Druckluftbremse zur rein elektrischen Bremse (brake by wire), jeweils mit kürzerer Ansprechzeit und kürzerem Bremsweg. Parallel dazu führt der Ersatz mechanisch-hydraulischer Lenksysteme durch ein elektrisches Lenksystem (steer by wire) zu ganz neuen Perspektiven.



Abb. 1.30 Modellversuch 2006: Eco-Combi von Mercedes-Benz mit acht Achsen, 60 t Gesamtgewicht und 25,25 m Länge. Mercedes-Benz Actros mit 440-kW(598-PS)-Dieselmotor, ca. 10 PS/t (Daimler AG)



Abb. 1.31 Innerbetrieblicher fahrerloser Transport mit automatischem Materialumschlag mit dreiachsigem Mercedes-Benz Actros (Daimler AG)

Der Versuch liegt nahe, aus den nachvollziehbaren Entwicklungsschritten durch Extrapolation den Stand der Technik in der Zukunft zu fixieren. Wie aber die Erfahrung zeigt, ist das nur mit großem Vorbehalt möglich. Die prognostizierte Steigerung der Güterverkehrsleistung von 1997 bis 2015 um 60 % tritt offenbar ein und stellt für Verkehrsplaner, Straßenbauer und Fahrzeughersteller eine Herausforderung dar.

Literatur

1. Sievers, I.: 110 Jahre Daimler-Lastwagen. *Automobiltech. Z.* **09**, 720–723 (2006)
2. Hoepke, E.: Hundert Jahre Lastkraftwagen mit Verbrennungsmotor. *Automobiltech. Z.* **09**, 386–399 (1996)
3. Hoepke, E.: Hundert Jahre Verbrennungsmotor im Nutzfahrzeug. *Motortech. Z.* **09**, 470–475 (1990)
4. Hoepke, E.: Euro II – Ein Höhepunkt nach 70 Jahren Dieselmotor im Lastwagen. *Automobiltech. Z.* **07/08**, 418–426 (1994)
5. The emission legislation – challenge or opportunity? Vortrag von Prof. M. Schittler (Daimler AG) auf der Tagung der AVL List GmbH in Graz 2003, ICPC 2003-2.1
6. Demark, R., Groddeck, M. und Ruetz, G.: Die neue Dieselmotoren-Baureihe 890 von MTU. *Motortech. Z.* **02**, 80–86 (2006)
7. StVZO Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung, Loseblatt-Ausgabe. Kirschbaum, Bonn (2015)
8. FAKRA-Handbuch, Normen für den Kraftfahrzeugbau. Beuth, Berlin (2016)
9. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften: Berufsgenossenschaftliches Vorschriften- und Regelwerk. Carl Heymanns, Köln (2013)
10. Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V.: VdTÜV-Merkblätter. TÜV Rheinland, Köln (2008)
11. FEE Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Richtlinien der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft für Straßenfahrzeuge und Regelungen der Economic Commission for Europe für Kraftfahrzeuge und Anhänger, Loseblatt-Textsammlung. Kirschbaum, Bonn (2013)
12. Zentralverband Karosserie- und Fahrzeugtechnik: Einzelfragen zur Anwendung der EG-Maschinenrichtlinie auf bestimmte Anbauteile und Geräte. ZKF-Seminar 26.09.1995, Frankfurt (1995)
13. Nutzfahrzeug Katalog 1999/2000. Heinrich Vogel, München (1999)
14. Schubert, K.: Die Bedeutung des Nutzfahrzeuges heute und morgen. In: VDI-FVT-Jahrbuch 2000, Fahrzeug- und Verkehrstechnik. VDI, Düsseldorf (2000)

Stefan Breuer und Stephan Kopp

Die Fahrmechanik ist die Lehre der Kräfte und Bewegungen an einem Fahrzeug, sie setzt sich zusammen aus der Dynamik – der Lehre der Kräfte – und der Kinematik – der Lehre des räumlichen und zeitlichen Zusammenhangs von Bewegungen. Sie ist die Basis zum Verständnis des Gesamtfahrzeugs. Dieses ist gerade beim Nutzfahrzeug sehr wichtig, da es meistens von unterschiedlichen Gruppen konzipiert wird. Das Fahrgestell wird überwiegend getrennt von dem Nutzaufbau gefertigt.

Unterteilt wird die Fahrmechanik richtungsabhängig in die Längs-, Quer- und Vertikaldynamik, Definition der Richtungen siehe Abb. 2.1. Die Längsdynamik beschäftigt sich mit den Kräften in Längsrichtung (x -Richtung), also dem Fahrwiderstand, dem Kraft- und Leistungsbedarf, den Fahrgrenzen und dem Bremsen. Die Querdynamik analysiert die Kräfte in Querrichtung (y -Richtung), wie sie z. B. bei einer Kurvenfahrt auftreten, aber auch bei Geradeausfahrt mit Seitenwind. Die Vertikaldynamik beschreibt Kräfte und Bewegungen in vertikale Richtung (z -Richtung), die in Form von Schwingungen auf den Fahrer und das Ladegut einwirken. Das Bestimmen von Rad- und Achslasten fällt ebenfalls zur Vertikaldynamik. Die Drehbewegung um die Koordinatenachsen heißen Wanken, Nicken und Gieren.

In diesem Kapitel wird der Kraft- und Leistungsbedarf eines Nutzfahrzeugs analysiert, die Fahrgrenzen sowie statische und dynamische Achslasten beschrieben. Die Kennungswandlung, d. h. das Anpassen der Motorcharakteristik an den Bedarf, wird in Kap. 7 beschrieben.

S. Breuer
Mechatronik und Maschinenbau, Hochschule Bochum
Heiligenhaus, Deutschland
E-Mail: stefan.breuer@hs-bochum.de

S. Kopp (✉)
Abteilung EVPB, MAN Nutzfahrzeuge AG
München, Deutschland

Abb. 2.1 Koordinatensystem am Fahrzeug [1]

x – Längsrichtung;

y – Querrichtung;

z – Vertikale;

Bewegungen:

Translation:

1 – Treiben, Bremsen;

3 – Querschwingen;

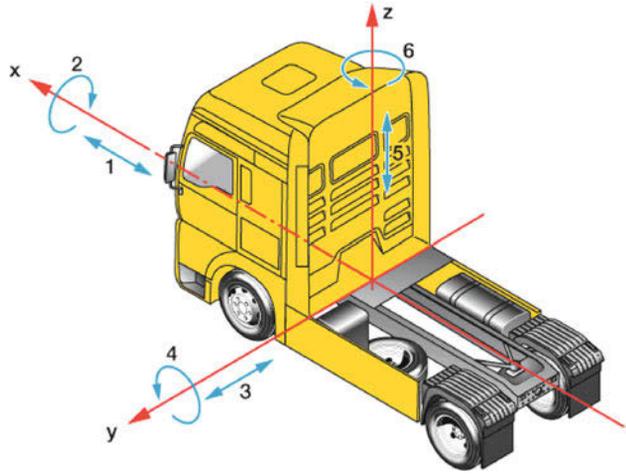
5 – Heben, Senken;

Rotation:

2 – Wanken;

4 – Nicken;

6 – Gieren (Schleudern)



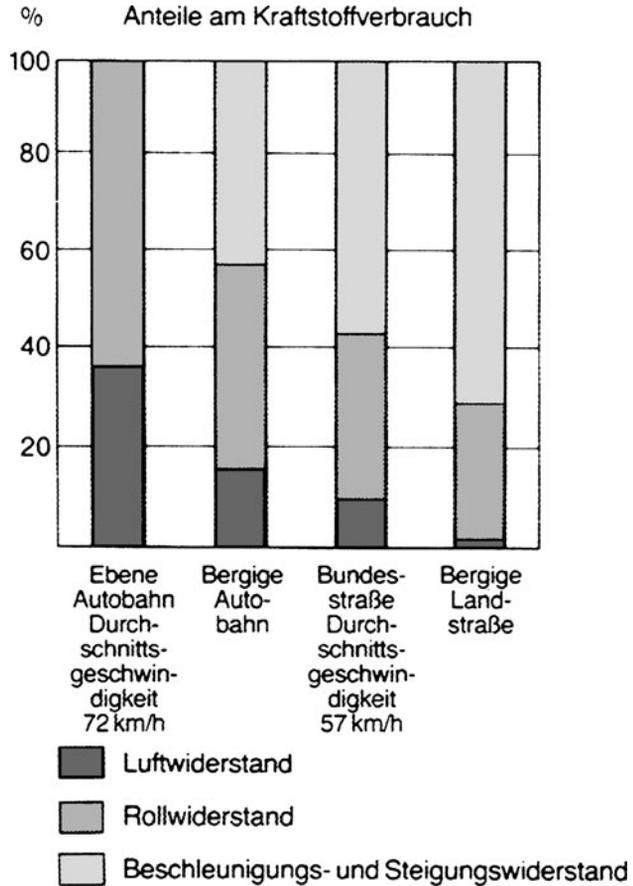
2.1 Kraftbedarf eines Nutzfahrzeugs

Der Kraftbedarf eines Fahrzeugs wird durch unterschiedliche Faktoren bestimmt. Neben dem fahrzeugspezifischen Rollwiderstand, der den Widerstand des Rades gegen eine gleichförmige Bewegung beschreibt, gibt es den fahrzeugspezifischen und vom Fahrzustand (Geschwindigkeit) abhängigen Luftwiderstand. Von der Topologie abhängig ist der Steigungswiderstand, den man braucht, um den Widerstand der Gewichtskraft des Fahrzeugs zu überwinden. Im umgekehrten Fall, im Gefälle, wird der Steigungswiderstand zur Hangabtriebskraft, da sich das Vorzeichen des Steigungswinkels ändert. Der Beschleunigungswiderstand wird über den Fahrzustand definiert.

$$F_{\text{An}} = mgf_R + \frac{1}{2}\rho_L c_w A v^2 + mg \sin(\alpha) + m\ddot{x} \quad (2.1)$$

Diese vier elementaren Fahrwiderstände lassen sich durch die Fahrwiderstandsgleichung (2.1) beschreiben. Darin bedeutet F_{An} die benötigte Antriebskraft, m die Masse des Fahrzeugs, g den Betrag der Erdbeschleunigung. \ddot{x} stellt die Beschleunigung in x -Richtung dar. Auf der linken Seite teilt das Additionszeichen die verschiedenen Widerstände. Der erste Summand stellt den Rollwiderstand dar. Er ist vom Gewicht des Fahrzeugs abhängig und vom Rollwiderstandsbeiwert f_R . Da dieser einen entscheidenden Beitrag zum Fahrwiderstand liefert, wird er im Abschn. 2.1.3 besonders betrachtet. Der zweite Term stellt den Luftwiderstand dar, er ist linear von der Dichte der Luft ρ_L , dem Luftwiderstandsbeiwert c_w und der Querschnittsfläche des Fahrzeugs A abhängig. Eine quadratische Abhängigkeit zeigt sich von der Geschwindigkeit der anströmenden Luft. Auch diese Thematik wird im Abschn. 2.1.4 vertieft. Der Steigungswiderstand wird aus dem Sinus des Hangwinkels α und der Gewichtskraft gebildet, der Beschleunigungswiderstand folgt aus dem 2. Newton'schen Grundgesetz: Kraft = Masse \times Beschleunigung. Während der

Abb. 2.2 Energiebedarf eines 40-t-Sattelzuges bei verschiedenen Einsatzarten [2]



Steigungswiderstand von der Topologie und der Bedarf an Beschleunigungskraft von der Verkehrssituation sowie der Fahrweise des Fahrers abhängig ist, sind Roll- und Luftwiderstand Größen, die vom Design des Fahrzeugs bzw. beim Rollwiderstand insbesondere von den Reifen abhängig sind. Die Größe des Steigungswiderstandes kann bei ausgelasteten Nutzfahrzeugen ein Mehrfaches des Roll- und Luftwiderstandes betragen. Andersherum bedeutet dies, dass im Fall einer Gefällefahrt die Hangabtriebskraft ein Mehrfaches des Widerstandes bei ebener Fahrt erreichen kann. Diesem Sachverhalt trägt das Nutzfahrzeug durch eine entsprechende Dauerbremseinrichtung Rechnung, denn die Reibungsbremsen können die aus dieser Bremsleistung resultierende Energie in Form von Wärme nicht ausreichend abführen.

Abb. 2.2 zeigt die Abhängigkeit des Energiebedarfs eines 40-t-Zuges bei unterschiedlichen Fahrprofilen. Die Fahrt in der Ebene zeigt eine Aufteilung von ca. 1/3 des Energieverbrauchs zur Überwindung des Luftwiderstandes zu 2/3 zur Überwindung des Rollwiderstandes. Das heißt eine Verbesserung des Luftwiderstandes wirkt sich nur mit dem Faktor

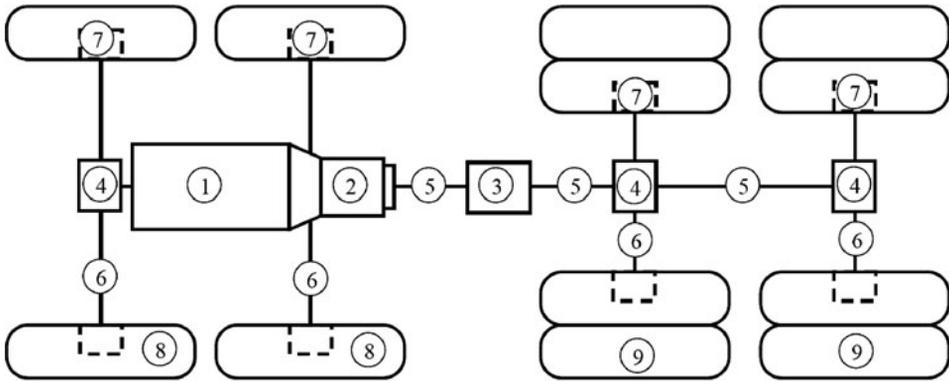


Abb. 2.3 Antriebsstrang eines 8×8-Nutzfahrzeuges. 1 – Motor; 2 – Getriebe; 3 – Verteilergetriebe; 4 – Ausgleichgetriebe; 5 – Kardanwellen; 6 – Antriebswellen; 7 – Radvorgelege; 8 – Vorderrad; 9 – Hinterrad

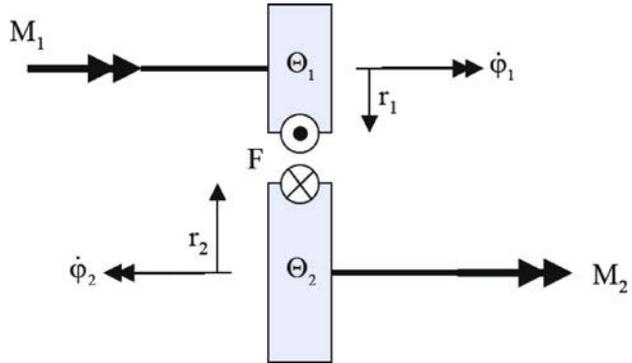
0,33 auf den Kraftstoffverbrauch aus, eine Verbesserung des Rollwiderstandes mit dem Faktor 0,66. Dabei ist der Rollwiderstand kaum geschwindigkeitsabhängig, also bleibt diese Größe absolut betrachtet bei allen Fahrstrecken gleich groß. Man sieht, dass auf bergiger Landstraße der Luftwiderstand durch die geringere Fahrgeschwindigkeit fast ganz verschwindet, der Rollwiderstand aber nur ca. 1/4 des Fahrwiderstandes beträgt, der Rest, also fast 3/4, werden für den Beschleunigungs- und Steigungswiderstand benötigt. Bei gleichbleibendem Rollwiderstand bedeutet dies eine Erhöhung des Kraftstoffverbrauches um das 2,6-fache. Der Beschleunigungswiderstand hängt in hohem Maße von der Fahrweise ab, d. h. schließt der Fahrer jede Lücke, wie oft setzt er die Bremse ein, etc. Aus dem besprochenen Diagramm kann man daher den Bedarf für Fahrerschulungen mit dieser Thematik ableiten.

Konstruktiv lässt sich der Roll- und Luftwiderstand am besten beeinflussen, daher wird diesen beiden Phänomenen in den kommenden Abschnitten besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

2.1.1 Beschleunigungswiderstand

Um ein Fahrzeug zu beschleunigen muss man eine Kraft aufbringen, die die Trägheit des zu beschleunigenden Körpers überwindet. Dieses gilt nicht nur für die eine translatorische Beschleunigung, sondern ebenfalls für eine rotatorische Beschleunigung, d. h. für drehende Teile, welche beschleunigt oder verzögert werden sollen. Hier ist es nicht die Masse alleine, die die Drehträgheit verursacht, sondern die Verteilung der Masse um die Drehachse, das so genannte Massenträgheitsmoment, abgekürzt mit dem Buchstaben Θ . Da es sich um eine Drehung handelt, wird hier das kinematische Gesetz, der Momentensatz, nicht in einer Kraftgleichung, sondern in einer Momentengleichung formuliert. Das zum

Abb. 2.4 Stark vereinfachter Abschnitt des Antriebsstranges zur Bestimmung des Abtriebsmoments M_2



Beschleunigen benötigte Moment ist gleich dem Massenträgheitsmoment mal der Winkelbeschleunigung:

$$M = \Theta_A \ddot{\varphi} \quad (2.2)$$

Hier gibt der Buchstabe A die Lage der Achse an, um die der Körper rotiert, φ ist der Winkel im Bogenmaß bzw. $\ddot{\varphi}$ seine 2. Ableitung nach der Zeit, also die Winkelbeschleunigung.

Betrachtet man ein Nutzfahrzeug, so kann der Trägheitsanteil der drehenden Teile erheblich sein, Abb. 2.3. Extrem wird es bei einem 8×8-Fahrzeug. Dieses Fahrzeug ist üblicherweise, um ausreichend Bodenfreiheit zu haben, mit großen Reifen ausgestattet, welche ein hohes Trägheitsmoment haben sowie Radnabengetrieben. An jeder Achse drehen sich Antriebswellen und Ausgleichgetriebe, es gibt mehrere Kardanwellen, ein Verteilergetriebe, das normale Getriebe und den Motor. Beschleunigt das Gesamtfahrzeug rein translatorisch, müssen alle Drehteile ihre Drehträgeit überwinden. Die Kraft, die man zum Beschleunigen braucht, kann daher deutlich größer sein, als die Kraft, welche man sich alleine aus dem 2. Newton'schen Gesetz bestimmen würde.

Stellt man für den Antriebsstrang den Momentensatz abschnittsweise auf, mit M_1 als geliefertem Motordrehmoment, M_2 als abgegebenes Abtriebsmoment an der Getriebeausgangswelle und F als Kontaktkraft an den Zahnflanken, so folgt aus der stark vereinfachten Darstellung in Abb. 2.4:

$$\begin{aligned} \Theta_1 \ddot{\varphi}_1 &= M_1 - F r_1 \\ \Theta_2 \ddot{\varphi}_2 &= -M_2 + F r_2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Eliminiert man aus diesen Gleichungen die unbekannte Kontaktkraft F erhält man für das Abtriebsmoment:

$$\begin{aligned} \Theta_1 \ddot{\varphi}_1 &= M_1 - \frac{r_1}{r_2} [M_2 + \Theta_2 \ddot{\varphi}_2] \\ M_2 &= \frac{r_2}{r_1} M_1 - \left[\frac{r_2}{r_1} \Theta_1 \ddot{\varphi}_1 + \Theta_2 \ddot{\varphi}_2 \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$

Das heißt, dass Abtriebsmoment ist gleich dem mit dem Übersetzungsverhältnis multiplizierten Antriebsmoment, abzüglich den aus beiden Massenträgheiten stammenden Momenten. Dabei ist der Trägheitsanteil der Antriebswelle ebenfalls mit dem Übersetzungsverhältnis zu multiplizieren. Jeder dieser Trägheitsterme wird durch seine Winkelbeschleunigung bestimmt. Diese Winkelbeschleunigungen sind aber nicht unabhängig, da die Tangentialgeschwindigkeit im Kontaktpunkt der Zahnräder gleich ist. Es gilt also:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_1 r_1 &= v = \dot{\varphi}_2 r_2 \\ \rightarrow \dot{\varphi}_1 &= \frac{r_2}{r_1} \dot{\varphi}_2 \rightarrow \ddot{\varphi}_1 = \frac{r_2}{r_1} \ddot{\varphi}_2\end{aligned}\quad (2.5)$$

Somit lässt sich das Massenträgheitsmoment der Antriebswelle auf die Drehzahl der Abtriebswelle umrechnen und für das Abtriebsmoment gilt:

$$M_2 = \frac{r_2}{r_1} M_1 - \left[\left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 \Theta_1 + \Theta_2 \right] \ddot{\varphi}_2 \quad (2.6)$$

Man spricht hier vom reduzierten Trägheitsmoment, da es auf einen Drehzahlparameter reduziert wurde. Dafür muss man das entsprechende Trägheitsmoment mit dem Quadrat des Übersetzungsverhältnisses i multiplizieren.

$$\Theta_{1,\text{Red}} = i_1^2 \Theta_1 \quad (2.7)$$

Mit dieser an dem sehr einfachen Beispiel gewonnenen Erkenntnis können wir den Antriebsstrang eines Nutzfahrzeuges deutlich vereinfachen, indem wir alle Trägheitsmomente auf die Raddrehzahl umrechnen. Dazu braucht man nur das entsprechende Übersetzungsverhältnis i zwischen dem betrachteten Drehkörper und dem Rad. Auf die Abb. 2.3 bezogen bedeutet das:

$$\begin{aligned}M_{\text{Rad}} &= i_1 M_1 \\ &- \left[i_1^2 \Theta_1 + i_2^2 \Theta_2 + i_3^2 \Theta_3 + i_4^2 \Theta_4 + i_5^2 \Theta_5 + i_6^2 \Theta_6 + i_7^2 \Theta_7 + \Theta_8 + \Theta_9 \right] \ddot{\varphi}_{\text{Rad}}\end{aligned}\quad (2.8)$$

Damit lässt sich die ganze Drehträgeit auf den Term in den Klammern reduzieren. Anzumerken ist hier noch, dass durch Ändern von Übersetzungsstufen z. B. im Schaltgetriebe, aber ggf. auch im Verteilergetriebe, sich das Übersetzungsverhältnis der nachgeschalteten Drehkörper ändert, somit hat man für jeden Gang ein anderes reduziertes Trägheitsmoment. Am größten ist das reduzierte Trägheitsmoment im kleinsten, also 1. Gang.

Mit diesen Vereinfachungen lässt sich leicht das Beschleunigungsverhalten eines Fahrzeuges analysieren. Betrachtet man in Abb. 2.5 die mittlere Darstellung des Fahrzeuges, so erhält man für die Beschleunigung aus dem Newton'schen Grundgesetz:

$$\ddot{x} = \frac{F_x}{m} \quad (2.9)$$