

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Fahrgestell	15
1.1 Fahrgestellstruktur Lastwagen	15
1.2 Fahrgestellrahmen	16
1.2.1 Belastungen des Fahrgestellrahmens	16
1.2.2 Ausführungsformen	18
1.3 Fahrwerk	21
1.3.1 Achsen	21
1.3.1.1 Vorderachse	23
1.3.1.2 Hinterachse	27
1.3.2 Achsführung und Federung	32
1.3.3 Wankbegrenzung und Schwingungsdämpfung	37
1.4 Neuentwicklungen Fahrwerksgeneration	38
1.5 Achsgeometrie	44
1.5.1 Radstand, Spurweite und Sturz	44
1.5.2 Spur und Spreizung	45
1.5.3 Lenkrollradius und Nachlauf	46
1.5.4 Spurdifferenzwinkel	47
1.6 Elektrohydraulisches Nachlaufachsenlenksystem	48
1.7 Anhängerfahrgestell	52
1.7.1 Fahrgestellrahmen	52
1.7.2 Fahrwerk	54
1.7.2.1 Lenkung	55
1.7.2.2 Nachlaufachsen	56
1.8 Verbindungseinrichtungen	58
1.8.1 Zuggabeln	59
1.8.2 Zugösen	60
1.8.3 Kurzkuppelsysteme	62
1.8.4 Starre Zugeinrichtungen	62
1.8.5 Anhängerkupplungen	63
1.8.6 Sattelkupplungen	65
1.8.7 Zugsattelzapfen	69
1.8.8 Stützvorrichtung	69
1.8.9 Verschiebe- und Hubeinrichtungen	70
1.9 Radformel	71
2 Lenkung	73
2.1 Achsschenkellenkungen	73
2.2 Kugelumlauf Lenkung	74
2.3 Hilfskraftlenksysteme	75
2.3.1 Hilfskraftlenksysteme in Zweikreisausführung	75
2.3.1.1 Hydrauliklenkung/Servolenkung	76

	2.3.1.2	Elektronisch gesteuerte Hydrauliklenkung	77
	2.3.1.3	Zahnstangen-Hydrauliklenkungen	79
2.4	Hinterachs-Lenkssysteme		80
2.5	Nachlaufachsenlenksysteme		82
3	Reifen und Räder		83
3.1	Reifen		83
	3.1.1	Anforderungen an einen Kraftfahrzeugreifen	83
	3.1.2	Aufbau	84
	3.1.3	Einsatzzweck	85
	3.1.4	Reifenkennzeichnung	87
	3.1.4.1	Reifenlabel	87
	3.1.4.2	Seitenwand-Kennzeichnung	88
	3.1.5	Reifendruck-Kontrollsysteme, RDKS	89
	3.1.6	Zwillings- und Breitreifen	92
	3.1.7	Bauarten von Reifen	93
3.2	Räder		94
	3.2.1	Aufbau	94
	3.2.2	Felgenformen	95
	3.2.3	Felgenbezeichnungen	96
	3.2.4	Radbefestigungen	97
4	Aufbauten		99
4.1	Einsatzzweck Nutzfahrzeug		99
4.2	Werkstoffe und Halbzeuge		100
	4.2.1	Eisenwerkstoffe	100
	4.2.2	Aluminium-Knetlegierungen	101
	4.2.3	Holz und Kunststoffe	101
	4.2.4	Sandwichwerkstoffe	102
4.3	Korrosionsschutz		103
4.4	Fahrerhaus		104
	4.4.1	Struktur des Fahrerhauses	105
	4.4.2	Aerodynamik des Fahrerhauses	107
	4.4.3	Innenraumgestaltung	108
4.5	Aufbauten für Transportlösungen		109
	4.5.1	Aufbau Richtlinien und Genehmigung	109
	4.5.2	Hilfsrahmen und Befestigungselemente	109
	4.5.3	Kippaufbau	112
	4.5.4	Ladungssicherung	113
	4.5.5	Ladeaufbauten	115
	4.5.6	Wechselbehälter	116
	4.5.7	Unterfahrschutz	117
	4.5.8	Kotflügel	119

5 Der Dieselmotor 121

5.1	Einspritzung und Gemischbildung	122
5.2	Das Einspritzsystem Common Rail	127
5.2.1	Niederdruckteil	128
5.2.2	Hochdruckteil	129
5.2.2.1	Hochdruckpumpe	129
5.2.2.2	Druckregelung	131
5.2.2.3	Aktoren der Druckregelung	133
5.2.2.4	Rail	133
5.2.2.5	Injektoren	134
5.3	Aufladung	137
5.4	Ladeluftkühlung	140
5.5	Ölkreislauf	142
5.5.1	Motorschmierung	142
5.5.2	Schmiersystem	142
5.6	Motorkühlung	145
5.6.1	Wasserkühlung	145
5.6.2	Lüfter	146
5.6.3	Kühler	147
5.6.4	Wasserpumpe und Thermostat	148
5.7	Starthilfen	149
5.8	Schmierstoffe	151
5.8.1	Reibung	151
5.8.2	Motoröle	152
5.8.3	Getriebeöle	154
5.8.4	Schmierfette und Festschmiermittel	155
5.9	Emissionsminderung im Nutzfahrzeugmotor	156
5.9.1	Abgasbestandteile bei der dieselmotorischen Verbrennung	156
5.9.2	Innermotorische Maßnahmen	159
5.9.3	Maßnahmen zur Abgasnachbehandlung	161

6 Antriebsstrang: Kupplung 169

6.1	Bauformen von Kupplungen	170
6.2	Reibkupplungen	171
6.3	Hydrodynamische Systeme: Kupplungen und Wandler	173
6.3.1	Hydrodynamische Kupplung	173
6.3.2	Hydrodynamischer Drehmomentwandler	174
6.3.3	Wandler-Überbrückungskupplung	175
6.3.4	Wandler-Schaltkupplung	176
6.3.5	Turbo Retarder Kupplung VIAB	177
6.4	Kupplungsbetätigung	179
6.4.1	Hydraulische Kupplungsbetätigung	180
6.4.2	Elektropneumatische Kupplungsbetätigung	180

7	Antriebsstrang: Getriebe	183
7.1	Wechselgetriebe	184
7.1.1	Bauformen	185
7.1.2	Schaltmuffengetriebe	186
7.1.3	Gruppengetriebe	187
7.1.4	Getriebeschaltung	188
7.2	Planetengetriebe	191
7.3	Automatikgetriebe	193
7.4	Nebenabtriebe	194
7.5	Gelenkwellen	195
7.6	Ausgleichsgetriebe/Differenzial	197
7.6.1	Funktion Ausgleichsgetriebe	197
7.6.2	Differenzialsperre	199
7.7	Verteilergetriebe	200
7.8	Antriebskonzepte	201
8	Hydraulische Bremsanlagen	203
8.1	Physikalische Grundlagen	204
8.1.1	Kräfte am Rad	204
8.1.2	Kraft- und Druckübersetzung im eingeschlossenen Medium	206
8.2	Druckluft-hydraulische Bremsanlage	208
8.2.1	Komponenten der Druckluft-hydraulischen Bremsanlage	209
8.2.1.1	Tandem-Hauptzylinder mit Vorspannzylinder	209
8.2.1.2	Bremsflüssigkeit	212
8.2.1.3	Bremsleitungen	214
9	Druckluftbremsanlage	217
9.1	Systemaufbau	218
9.2	Komponenten der Zweileitungs-Zweikreis-Druckluft-Bremsanlage mit ABS und ASR im Motorwagen	221
9.2.1	Kompressor	221
9.2.2	Druckregler	222
9.2.3	Lufttrockner und Frostschützer	224
9.2.4	Vierkreis-Schutzventil	225
9.2.4.1	Einfaches Vierkreis-Schutzventil	226
9.2.4.2	Vierkreis-Schutzventil mit erweiterter Funktion	229
9.2.4.3	Elektronisch gesteuertes Vierkreis-Schutzventil	229
9.2.5	Entwässerungsventil	231
9.2.6	Zweikreis-Motorwagen-Bremsventil	232
9.2.7	Handbremsventil	233
9.2.8	Standsicherheitsventil	234
9.2.9	Elektronisch betätigte Feststellbremse	234
9.2.10	Relaisventil	235
9.2.11	Automatisch lastabhängige Bremskraftregler (ALB-Regler)	236
9.2.12	Antiblockiersystem (ABS)	239
9.2.13	Antriebsschlupfregelung (ASR)	240

9.2.14	Brems- und Tristop-Zylinder sowie Gestängesteller	242
9.2.15	Radbremse	244
9.2.16	Weiterentwicklungen der Radbremse	247
9.2.17	Anhängersteuerventile und Zweileitungs-Kupplungsköpfe	249
9.3	Komponenten der Zweileitungs-Zweikreis-Druckluft-Bremsanlage mit ABS und ASR im Anhänger	251
9.3.1	Rohrleitungsfilter	251
9.3.2	Anhänger-Bremsventil	251
9.3.3	Anhänger-Löseventil	252
9.3.4	Schnellentlüftungsventil	253
9.3.5	Druckverhältnisventil	253
9.4	Komponenten der Zweileitungs-Zweikreis-Druckluft-Bremsanlage mit ABS und ASR im Bus	254
10	Elektronische Bremssysteme, EBS	255
10.1	Grundfunktionen und Bremsenmanagement	255
10.2	Erweiterte Funktion: Elektronische Stabilitätsregelung	259
10.3	Elektronisches Bremssystem in der Zugmaschine: Systemübersicht, Elemente, Funktionen	261
10.3.1	Systemübersicht	262
10.3.2	Bremswertgeber	263
10.3.3	Elemente an der Vorderachse im Normal- und Redundanzbetrieb	265
10.3.3.1	Proportional-Relaisventil	265
10.3.3.2	Magnetregelventil	266
10.3.3.3	Zentrale Bremseinheit	266
10.3.3.4	Hilfsbremsventile an der Vorderachse	266
10.3.3.5	Druckbegrenzung an der Vorderachse bei Sattelzugmaschinen	267
10.3.3.6	Hilfs- und Feststellbremse	268
10.3.3.7	Federspeicherbremsen an der Vorderachse	268
10.3.4	Elemente an der Hinterachse im Normal- und Redundanzbetrieb	268
10.3.4.1	Redundanzventile	268
10.3.4.2	Hinterachsmulator	271
10.3.4.3	Anhängersteuerventil	272
10.3.5	Weitere Regelfunktionen im EBS	273
10.3.6	Ausblick Motorwagen WABCO/Knorr	275
10.4	EBS im Anhäng-Fahrzeug	280
10.4.1	Übersicht	280
10.4.2	Park-Löse-Sicherheitsventil, PREV	281
10.4.3	EBS-Anhängermodulator	282
10.4.4	Aktuelle Generation Trailer EBS E	283
10.5	EBS WABCO im Omnibus	285
10.6	EBS Knorr	286
10.6.1	Knorr EBS 5 im Motorwagen und Omnibus	286
10.6.2	Knorr Trailer EBS G2	289
10.6.3	Wesentliche Komponente: Park-/Rangierventil mit Notlösefunktion	290

11	Elektrische Anlage	293
11.1	Batterie	293
11.1.1	Batterieaufbau	294
11.1.2	Elektrochemischer Prozess	295
11.1.3	Sulfatierung und Säureschichtung	296
11.1.4	Einbauort und Anschluss	297
11.2	Anlasser (Starter)	297
11.3	Generator	300
11.3.1	Generatorprinzip	300
11.3.2	Bauformen von Generatoren	301
11.4	Leitungen und Bauteile	302
11.4.1	Leitungen	303
11.4.2	Bauteile	304
11.4.3	Beleuchtungseinrichtung	305
11.4.3.1	Frontbeleuchtung	305
11.4.3.2	Weitere Beleuchtungseinrichtungen	310
12	Fahrerassistenzsysteme/Autonomes Fahren	313
12.1	Standardarchitektur	314
12.2	Sensorik für die elektronische Rundumsicht	315
12.2.1	Übersicht	315
12.2.2	Funktionsprinzip der einzelnen Sensoren	316
12.3	Anwendungsbeispiele in Nutzfahrzeugen	318
12.3.1	Adaptive Geschwindigkeitsregelung, ACC	318
12.3.2	Spurverlassenswarner/Spurhalteassistent	321
12.3.3	Notbremssystem	323
12.3.4	Umkippschutz	325
12.3.5	Abbiegeassistent für den Stadtverkehr	325
12.3.6	Rückraumüberwachungssystem mit automatischer Einbremsfunktion des Anhängers	326
12.3.7	Reifendrucküberwachungssystem	327
13	Busse	329
13.1	Bustypen	329
13.2	Aufbau	331
13.3	Achsbauformen	333
13.4	Motoranordnungen in Bussen	335
13.5	Brandschutzsysteme	336
14	Kraftstoffe	339
14.1	Kraftstoffe auf Erdölbasis, Beispiel Diesel-Kraftstoff	339
14.1.1	Anforderungen an Kraftstoffe	339
14.1.2	Anforderungen und Eigenschaften, Beispiel Diesel-Kraftstoff	340
14.2	Übersicht genutzter Kraftstoffe	342
14.3	„Alternative“ Kraftstoffe	345
14.3.1	Erdgas, CNG	345

14.3.2	Autogas, LPG	346
14.3.3	Wasserstoff	347
14.3.4	GtL aus Erdgas/Methan	348
14.3.5	GtL aus Kohle	349
14.3.6	Rapsöl	349
14.3.7	Rapsölmethylester, RME	350
14.3.8	Biogas	350
14.3.9	Bioethanol	351
14.3.10	BtL/Sunfuel/Biotrol	353
14.4	Gewinnung von Kraftstoff durch Umwandlung von überschüssiger elektrischer Energie	353
14.5	Zusammenfassung und Ausblick	355
15	Alternative Antriebe	357
15.1	Verbrennungsmotor mit Kraftstoff Erdgas	357
15.2	Elektrischer Antriebsstrang, zentrale Komponenten	360
15.2.1	Elektrische Energiespeicher	361
15.2.2	Elektrische Maschinen	366
15.3	Elektrischer Antriebsstrang, Variante Hybridantrieb	367
15.4	Elektrischer Antriebsstrang, Variante rein elektrischer Antrieb	372
15.5	Elektrischer Antriebsstrang, Variante Brennstoffzelle mit elektrischem Antrieb	379
15.5.1	Funktionsprinzip Brennstoffzelle	379
15.5.2	Brennstoffzellenstacks	381
15.5.3	Wasserstoffbereitstellung im Fahrzeug	383
16	Der Lkw im Mobilitätsgeschehen	385
16.1	Telematiksysteme	387
16.1.1	eCall	387
16.1.2	Systeme der Fahrzeughersteller	388
16.2	Transport und Mobilität	389
17	Vorschriften und Richtlinien	395
17.1	Inverkehrbringen eines Fahrzeugs	395
17.2	Fahrzeugklassen	397
17.3	Regelungen für die Zulassung von Nutzfahrzeugen	398
17.4	Vorschriften für den Betrieb von Nutzfahrzeugen	400
18	Prüfung und Diagnose	405
18.1	Überwachung im Fahrbetrieb	405
18.2	Steuergerätediagnose und Service-Informationssystem	407
19	Physikalische Grundlagen	411
Stichwortverzeichnis		425

1

Fahrgestell

Lastkraftwagen werden vom Hersteller in den meisten Fällen als Fahrgestell ausgeliefert. Ein Fahrgestell ist ein industriell hergestelltes, fahrbereites Fahrzeug. Es wird von einem – meist handwerklich organisierten – Betrieb mit einem Aufbau ausgerüstet, der von der späteren Nutzung abhängt. Gesamtmasse, Motorisierung und Radstand bestimmen im Wesentlichen die Auswahl des Fahrgestells. Ausführung und Ausstattung des Fahrerhauses, Nebenantriebe, Bereifung und Getriebeabstufungen richten sich meist nach individuellen Ausrüstungswünschen.

Ein Kraftfahrzeugzug besteht aus einem ziehenden und in der Regel einem gezogenen Fahrzeug. Das ziehende Fahrzeug – der Motorwagen – kann ein Lkw, ein Pkw oder bei landwirtschaftlichen Anwendungen ein Traktor sein. Das gezogene Fahrzeug wird als Anhänger oder im Fall eines Sattelzugs als Auflieger bezeichnet.

1.1 Fahrgestellstruktur Lastwagen

Lastwagenfahrgestelle gliedern sich in die Baugruppen

- Fahrgestellrahmen,
- Fahrerhaus,
- Fahrwerk und
- Antriebsstrang.

Der **Fahrgestellrahmen** ist die zentrale tragende Baugruppe des Fahrgestells, an dem der Aufbau und die anderen Baugruppen befestigt sind. Oberhalb der Rahmenoberkante befinden sich Fahrerhaus und Aufbau, unterhalb Triebstrang und Fahrwerk sowie weitere



Bild 1.2

Leiterrahmen mit Heckunterfahrschutz
[Bild: MAN]

Komponenten, wie z. B. Kraftstoffbehälter, Batterie, Druckluftbehälter, Werkzeugkasten, Ersatzrad, Abgasanlage, Unterfahrschutz, Anhängerkupplung sowie ggf. seitliche Schutzvorrichtungen.

Bei der heute vorherrschenden Frontlenkerbauart befindet sich das **Fahrerhaus** im vorderen Bereich. Es ist über zwei Lagerpunkte mit dem Fahrgestellrahmen verbunden und kann zu Wartungs- und Reparaturarbeiten am Motor nach vorne geschwenkt werden.

Achsen mit Radlagerung und Bremsen, Lenkung, Reifen und Räder, Federn, Stoßdämpfer, Achsführungselemente und Stabilisatoren bilden das **Fahrwerk**. Das Fahrwerk stellt die Bestimmung der Fahrtrichtung und Spurführung sicher, überträgt die Gewicht-, Spurführung-, Beschleunigungs- und Verzögerungskräfte und sorgt für den Ausgleich der Veränderungen von Abständen, Kräften und Bewegungen zwischen Fahrgestellrahmen und Fahrbahn, die während des Fahrbetriebs auftreten.

Der **Antriebsstrang** bringt die Motorleistung in allen Fahrzuständen über die Räder auf die Fahrbahn. Der Antriebsstrang besteht aus Motor, Schaltkupplung, Schaltgetriebe, Gelenkwellen, Verteilergetriebe (bei Allradantrieb) und Ausgleichsgetriebe. Zum Antrieb von Zusatzaggregaten wie Hydraulikpumpe, Kreiselpumpe, Fahrmischer etc. befinden sich die entsprechenden Nebenantriebe an der Motor-Schaltgetriebe-Einheit. Im Gelenkwellenstrang zwischen Schaltgetriebe und Ausgleichsgetriebe sind – falls vorhanden – Dauerbremsen (Retarder) angeordnet.

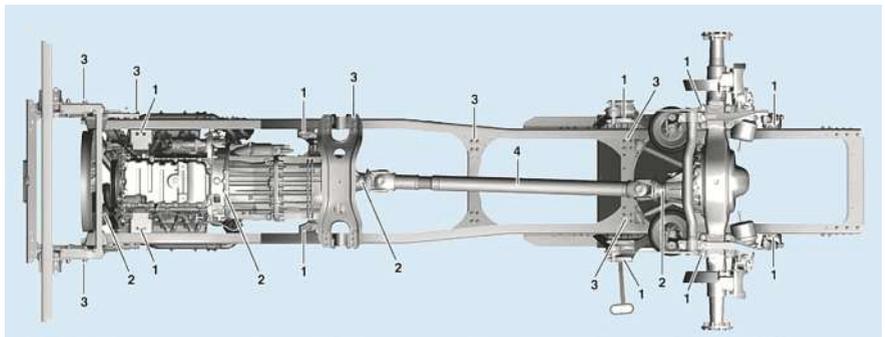
Gezogene Fahrzeuge verfügen über einen Aufbau mit einem Fahrgestell und einer Zugeinrichtung. Das auch als Chassis oder Rahmen bezeichnete Fahrgestell trägt den Aufbau. Die Zugeinrichtung koppelt das gezogene Fahrzeug an die Zugmaschine. Bilden das Fahrgestell und der Aufbau eine konstruktive Einheit, spricht man von einer selbsttragenden Bauweise.

Bild 1.2

Anordnung des Antriebsstrangs einer Sattelzugmaschine

[Bild: Mercedes-Benz]

- 1 und 3 Befestigungspunkte,
- 2 Antrieb,
- 4 Gelenkwelle



1.2 Fahrgestellrahmen

1.2.1 Belastungen des Fahrgestellrahmens

Der Fahrgestellrahmen ist sowohl statischen und quasistatischen als auch dynamischen Belastungen ausgesetzt.

Statische Vorlast bei ebener Aufstellung:

- Biege- und Torsionsbelastung aus Gewichtskräften

Quasistatische Zusatzbelastungen:

- Biege- und Torsionsbelastung infolge einseitiger Beladung, Fahrt auf seitlich geneigter Fahrbahn und Fahrt bei Seitenwind (vgl. Bild 1.3)
- Biegebelastung als Folge von Achslastverlagerungen durch Bodenunebenheiten in Fahrtrichtung bei Fahrzeugen mit mehr als zwei Achsen
- Biegebelastung aus Hangabtriebskräften an Steigungen oder Gefällen
- Torsionsbelastung infolge Radlastverlagerung aus diagonalen Bodenunebenheiten (vgl. Bild 1.4)
- Horizontalbiegung durch langsame Kurvenfahrt mit mehr als einer un gelenkten Achse (Bild 1.5)

Langsame dynamische Belastungen:

- Biege- und Torsionsbelastung infolge Kurvenfahrt, Wank- und Nickschwingungen
- Biegebelastung aus Beschleunigungs- und Bremskräften
- Horizontalbiegung aus seitlichen Komponenten eventueller Deichselkräfte

Schnelle dynamische Belastungen:

- Örtliche Biege- und Torsionsbelastungen aus kurzweiligen Fahrbahnstößen
- Stoß durch Querrillen auf der Fahrbahn auf beide Vorder- und Hinterräder
- Biegebelastungen aus eventuell auftretenden Schwingungen innerhalb des Fahrzeugs

Fahrgestelle von Anhängern und Aufliegern unterscheiden sich nicht nur wegen des fehlenden Antriebsstrangs deutlich von denen der Zugmaschinen. Folgende Eigenschaften sind charakteristisch:

- Hohe Achslast bei geringem Eigengewicht
- Auslegung auf hohe Querkräfte beim Rangieren von Fahrzeugen mit Mehrachs-fahrwerken

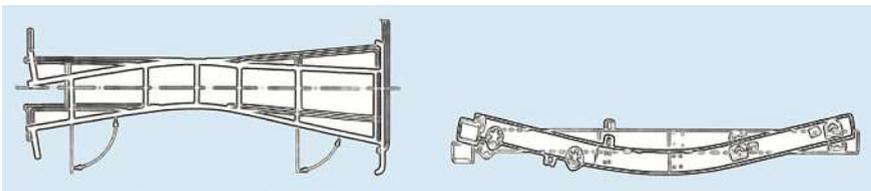


Bild 1.3
 Seitliche und senkrechte
 Verbiegung eines Fahr-
 gestellrahmens
 [Bild: Scania]

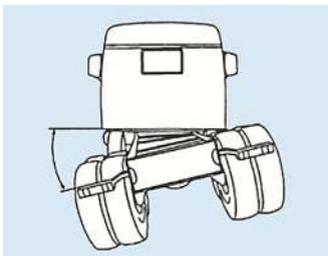


Bild 1.4 Torsion des Fahrgestellrah-
 mens
 [Bild: Scania]

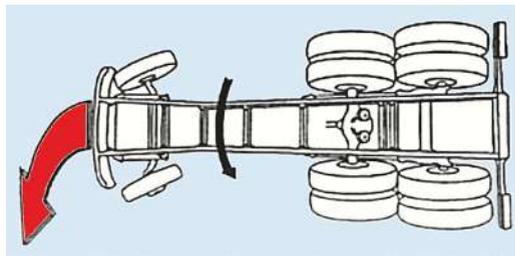


Bild 1.5 Fahrgestell mit Doppelachse bei Kurvenfahrt
 [Bild: Scania]

- Minimale Wartungs- und Reparaturkosten bei hoher Lebensdauer
- Achslastausgleich bei Mehrachsen sowie Wankstabilisierung bei großen Schwerpunkthöhen
- Wenige, wohl definierte Schnittstellen zum Fahrgestell durch modulare Bauweise
- Hohe Varianz aufgrund großer Bandbreite von Fahrzeugtypen und Einsatzbedingungen
- Signalgeber und Interaktionspartner für viele sicherheitsrelevante und ökonomische Fahrzeugfunktionen

Näheres siehe Abschnitt 1.7 Anhängerfahrgestell.

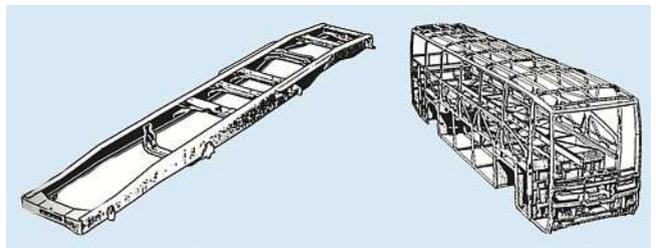
1.2.2 Ausführungsformen

Um den beschriebenen Belastungsfällen gerecht zu werden, gibt es zahlreiche Rahmen-Varianten. Man unterscheidet im Wesentlichen drei Ausführungsformen von Fahrgestellrahmen:

- Der Fahrgestellrahmen ist volltragend; der Aufbau bildet nur die Hülle für die Nutzlast.
- Fahrgestellrahmen und Aufbau tragen anteilig (mittragend).
- Der ohnehin vorhandene Aufbau ist selbsttragend und übernimmt alle auftretenden Kräfte; der Fahrgestellrahmen fehlt.

Bei Lastkraftwagen und Anhängern haben sich volltragende Fahrgestellrahmen durchgesetzt; Omnibusse und Pkw sind nahezu ausschließlich selbsttragend ausgeführt. Bild 1.6 zeigt einen typischen volltragenden Fahrgestellrahmen eines Lkws im Unterschied zu einem selbsttragenden Aufbau eines Kraftomnibusses.

Bild 1.6
Fahrgestellrahmen von
Lkw (links) und
Kraftomnibus (rechts)
[Bild: Mercedes Benz]



Lkw-Fahrerchassis sind Leiterrahmen, die aus zwei Längsträgern und mehreren Querträgern bestehen. Dabei bestimmt der jeweilige Einsatzzweck des Fahrzeugs Rahmengeometrie und Rahmenquerschnitt: Im Verteiler- und Fernverkehr braucht es zur besseren Fahrstabilität eine hohe Verbindungssteifigkeit; der Einsatz im Gelände erfordert einen verdrehweichen Rahmen mit hoher Verwindungselastizität.

Längs- und Querträger werden meist aus Feinkornbaustählen kaltgepresst. Je nach gewünschter Verbindungssteifigkeit werden sowohl offene Profile (U, Hut) als auch geschlossene Profile (Rohre) eingesetzt. Die Verdrehsteifigkeit des Fahrgerüstrahmens hängt entscheidend von der Querträgergestaltung ab. Je nach örtlicher Belastung variieren die Querschnittshöhen; dadurch ist die heute übliche „Fischbauförmung“ entstanden (Bild 1.7).



Bild 1.7
 Fahrgestellrahmen in
 „Fischbauform“
 [Bild: Mercedes Benz]

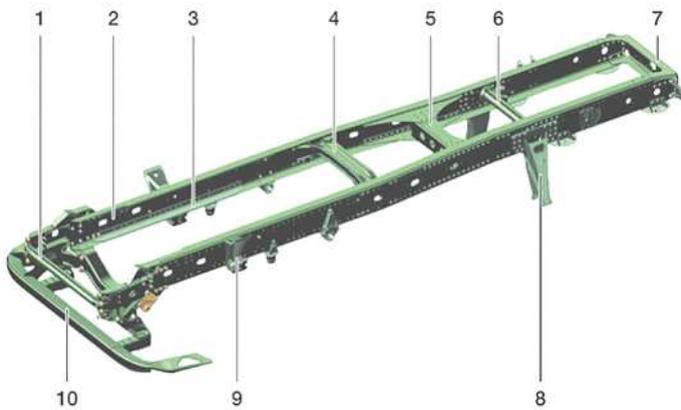


Bild 1.8
 Leiterrahmen einer Sattelzugmaschine
 [Bild: MAN]
 1 Frontend
 2 Längsträger (U.-Profil) mit Lochraster
 3 Längsträgereinlage (L-Profil)
 4 Querträger (Hutrofil)
 5 Hauptquerträger
 6 Querträger (Rohrprofil)
 7 Schlussquerträger (bei SZM)
 8 Längslenkerbock (bei Luftfederung)
 9 Stoßdämpferkonsole
 10 Frontunterfahrschulz



Bild 1.9 Rahmen mit Schlussquerträger
 [Bild: Foto Frantz].

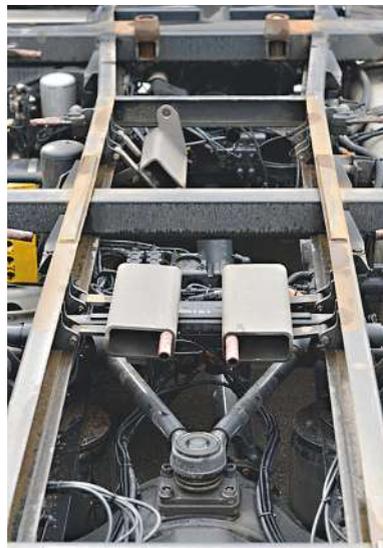


Bild 1.10 Rahmen mit Querträgern
 (Ausschnitt)
 [Bild: Foto Frantz]

Bild 1.11

Rahmen, nach Unfall verzogen
[Bild: Foto Frantz]



Die Bilder 1.7 bis 1.10 zeigen Ausführungsformen von Fahrgerstellrahmen.

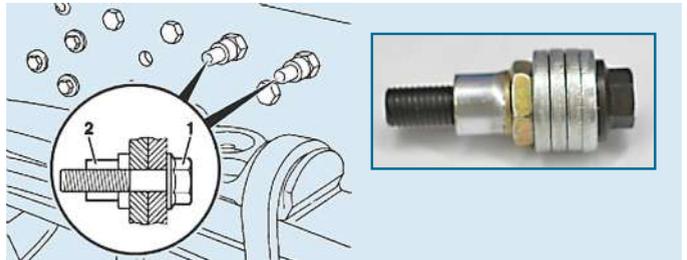
Als Verbindungselemente zwischen Quer- und Längsträgern kommen Niet- oder Schraubverbindungen zum Einsatz. Häufig werden auch Schließringbolzen anstelle von Schraubverbindungen verbaut, z. B. Huck-Spin-Verbindungen an stark belasteten Stellen. Eine Huck-Spin-Verbindung besteht aus einem schraubenähnlichen Bolzen (1) mit Rundgewinde und einer Hülse (2). Die Hülse wird auf den Bolzen geschraubt, mit einem Spezialwerkzeug verformt und in das Rundgewinde des Bolzens gedrückt (vgl. Bild 1.12).

Die Huck-Spin-Verbindung ist vibrationsfest und hoch kraftschlüssig ähnlich einer Nietverbindung; sie ist aber im Gegensatz zur Nietverbindung wieder lösbar. Eine einmal gelöste Huck-Spin-Verbindung darf nicht mehr wiederverwendet werden. Sie muss durch eine Schraubverbindung ersetzt werden.

Die folgenden Bilder zeigen typische mechanische Verbindungselemente im Nutzfahrzeug-Fahrwerk.

Bild 1.12

Huck-Spin-Verbindung
[Bild links: Mercedes-Benz,
Bild rechts: Foto Frantz]

**Bild 1.13**

Schraubverbindung
– Aufnahme Vertikal-
träger
[Bild: Foto Frantz]

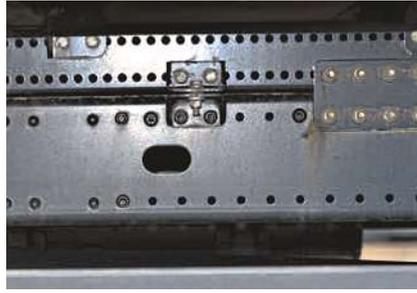
**Bild 1.14**

Schweiß- und Schraub-
verbindung – Rahmen-
längsträger
[Bild: Foto Frantz]

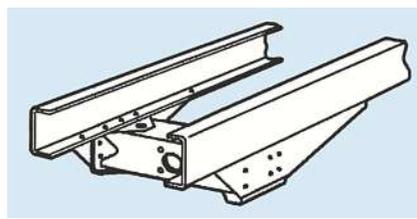
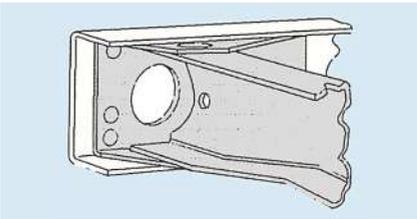


**Bild 1.15**

Klemm- und Schraubverbindung Briden
[Bild: Foto Frantz]

**Bild 1.16**

Verbindung Hilfsrahmen mit Hauptrahmen mittels Knotenblechen
[Bild: Foto Frantz]

**Bild 1.17**

Anschluss eines U-förmigen Querträgerprofils an einen Längsträger
[Bild: Scania]

Bild 1.18

Biegeversteifte Anbindung einer Zugtraverse
[Bild: Scania]

Schweißverbindungen zum Anschluss der Querträger haben sich nicht bewährt; sie werden daher geschraubt oder gebolzt. Bild 1.17 zeigt einen typischen Anschluss eines U-förmigen Querträgerprofils an einen Längsträger.

Um Schlingerbewegungen im Fahrbetrieb auszuschließen, werden Biegeversteifungen verwendet. Bild 1.18 zeigt beispielhaft die biegeversteifte Anbindung einer Zugtraverse.

1.3 Fahrwerk

1.3.1 Achsen

Zentrale Baugruppe eines jeden Fahrwerks ist die Achse. Zusammen mit den Achsführungselementen stellt sie die Verbindung zwischen Rädern und Fahrgestellrahmen her und bringt das Fahrzeug in die gewünschte Fahrtrichtung. Außerdem wirkt sie mit den Federungs- und Dämpfungselementen sowie den Stabilisatoren zusammen und beeinflusst damit wesentlich die Fahreigenschaften des Fahrzeugs.

Vordere und hintere Radaufhängungen sollen möglichst leicht sein, damit die ungefederten Massen gering bleiben. Allerdings sind sie so auszulegen, dass sie den auftretenden Kräften beim Bremsen, beim Antrieb der Räder sowie den Führungskräften (Reifen) standhalten und diese sicher in den Fahrzeugaufbau leiten.

Während sich bei Pkw und Kraftomnibussen die Einzelradaufhängung durchgesetzt hat, werden Lastkraftwagenräder fast ausnahmslos durch Starrachsen geführt. Beide haben Vor- und Nachteile. Vorteile bei Starrachsen sind die einfachere und billigere Herstellung, da sie außer der Anlenkung am Aufbau keine zusätzlichen Lenker benötigen. Ein weiterer Vorteil liegt z. B. bei starren Vorderachsen in der ungeteilten Spurstange.

cken sich heutzutage auf Zeiträume von bis zu acht Jahren. Für solch lange Zeitspannen müssen die Achsen resistent gegen widrige Umgebungsbedingungen wie Schmutz, Nässe, Hitze und Kälte sein, aber auch Überladungen aushalten können. Diesen Anforderungen steht die Notwendigkeit entgegen, das Gewicht des gesamten Fahrzeugs und damit auch des Fahrwerks zu minimieren. Denn bei gesetzlich limitiertem Fahrzeuggesamtgewicht erweitert ein geringeres Eigengewicht die Zuladung und erhöht damit die Wirtschaftlichkeit des Transports. Außerdem benötigen leichtere Fahrzeuge grundsätzlich weniger Kraftstoff.

Aus Gewichtsgründen verwendet man nach Möglichkeit hohle Achskörper. Bei den Achsrohrprofilen haben sich Vierkant- und Rundprofil durchgesetzt.

Vierkantprofile mit größerer Wandstärke in den Profilecken werden der überlagerten Biege- und Torsionsbeanspruchung besonders gut gerecht. Die verstärkten Profilecken nehmen die hohen Klemmkkräfte der Achseinbindung auf. Solche Achsrohre werden wegen der geforderten Maßhaltigkeit aus zwei U-Profilen stegseitig miteinander verschweißt. Bei anderen Profilformen, wie z. B. dem Rundprofil, besteht hingegen die Möglichkeit, ein in einem Stück gezogenes Rohr zu verwenden. Die Verbindung zu den Achslappen oder Längslenkern wird dann häufig geschweißt.

1.3.1.1 Vorderachse

Um gute Lenkeigenschaften und einen minimalen Reifenverschleiß zu gewährleisten, müssen die Vorderräder auf bestimmte Werte verschiedener Größen eingestellt sein. Dabei handelt es sich um die bekannten Größen Nachlauf, Sturz, Spreizung, Vorspur, Spurdifferenzwinkel und Lenkrollhalbmesser (vgl. hierzu Abschnitt 1.5 Achsgeometrie).

Wichtigste Komponenten der Vorderachse sind Achskörper (Achsträger) und Aufhängung mit Lenker und Streben.

Achskörper (Achsträger)

Die Struktur der Vorderachse besteht im Allgemeinen aus geschmiedetem, vergütetem, legiertem Stahl mit Doppel-T- oder I-Profil, an dessen Ende die Achsschenkel angelent sind (vgl. Bild 1.20).

Eine andere Ausführungsform ist die Einzelradaufhängung (vgl. Bild 1.21). Diese wird jedoch derzeit nur in Bussen verbaut. In Lkws, z. B. Volvo FH 4, wurde sie wegen man-

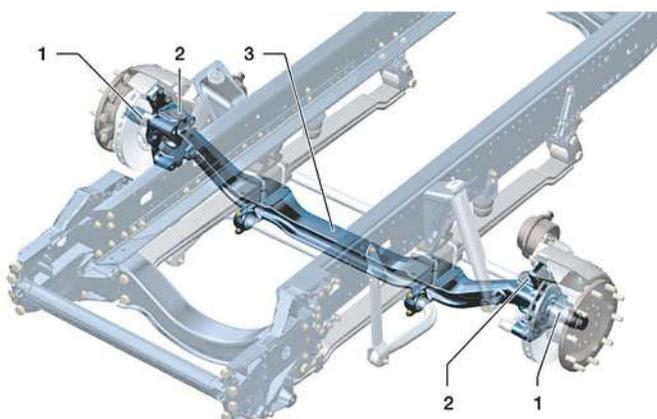


Bild 1.20

Vorderachsträger, gelenkt,

nicht angetrieben

[Bild: MAN]

1 Achsschenkel

2 Achsschenkelklau

3 Achskörper

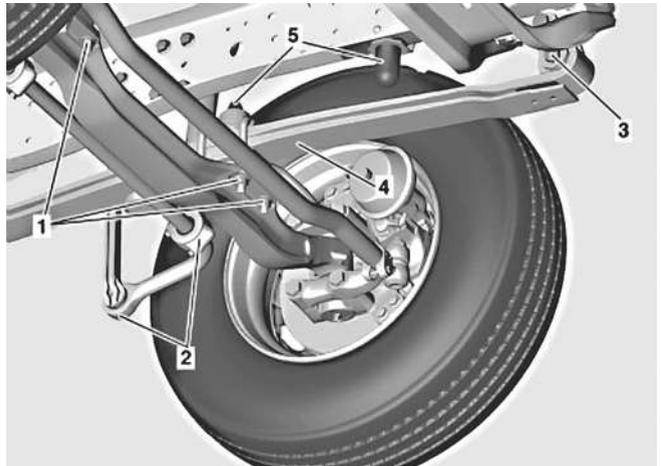
Bild 1.21

Einzelradaufhängung,
Einzeldarstellung
[Bild: ZF Friedrichshafen]

**Bild 1.22**

Typische Aufhängung einer blattgefederten
Lkw-Vorderachse

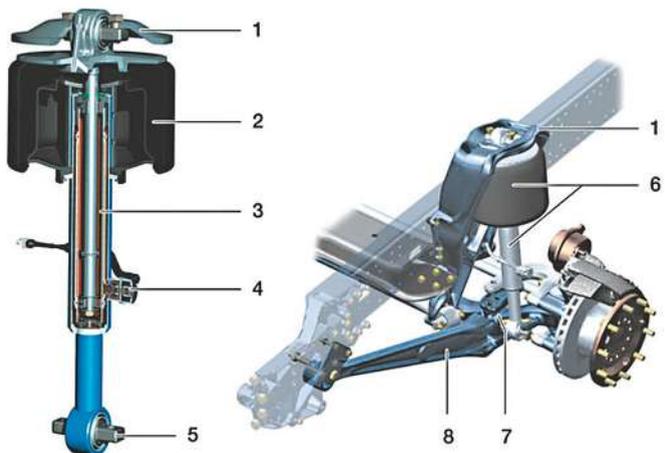
[Bild: Mercedes Benz]
1 Achsaufhängung
2 Lagerung Stabilisator
3 Befestigung Blattfeder
4 Blattfeder
5 Anschlaggummi

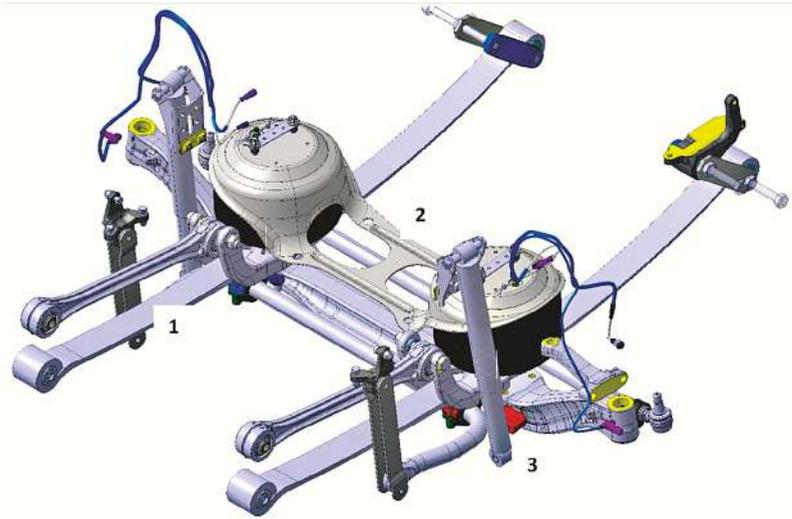
**Bild 1.23**

Radführung bei Luftfederung mit Luftfeder-Dämpfer-Modul, LD

[Bild: MAN]

1 Halterung am Rahmen
2 Luftfederbalg
3 Stoßdämpfer
4 Regeleinheit
5 Halterung an der Achse
6 Luftfeder-Dämpfer-Modul, LDM
7 Achskörper (als Torsionsfeder fest verbunden mit Längslenker)
8 Längslenker (fest verbunden mit Achskörper)



**Bild 1.23a**

Luftfederung Vorderachse
[Bild: Scania]

- 1 Luftfederstrebe (Stahlstange), nicht lasttragend, sondern dient als Stabilisator
- 2 Stabilisator (Querträger)
- 3 Verbesserter Zugang zu den Stoßdämpfern

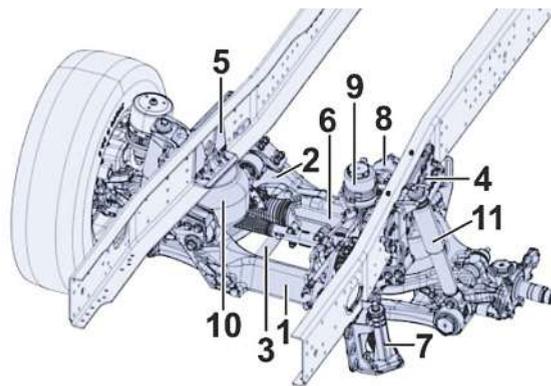
gelnder Nachfrage und zu hohem Aufpreis aus dem Programm genommen. Die Bilder 1.24 und 1.25 zeigen die Konfiguration aus Einzelradaufhängung mit Zahnstangenlenkung beim Volvo FH4.

Aufhängung

Die Aufhängung besteht im Allgemeinen aus Lenkgestänge, Streben und Achsschenkel einschließlich Kugelgelenk. Bild 1.22 zeigt die typische Aufhängung einer blattgefederten Lkw-Vorderachse am Beispiel Mercedes Benz; Bild 1.23 die Radführung einer luftgefederten Lkw-Vorderachse am Beispiel MAN.

Im Folgenden wird die Ausführung zur Radaufhängung einer luftgefederten Vorderachse beschrieben. Dabei ist die Lenkung in die Aufhängungseinheit integriert. Bild 1.24 zeigt zunächst die Radaufhängung aus der Frontansicht.

Die gezeigte Einzelradaufhängung an der Vorderachse ist an einem Hilfsrahmen angebaut; dieser besteht aus zwei U-förmigen Querträgern.

**Bild 1.24**

Radaufhängung Vorderachse mit Lenkung, Frontansicht [Bild: Volvo]

- 1 Unterrahmen, vorne
- 2 Unterrahmen, hinten
- 3 Federbein
- 4 Rahmenhalterung
- 5 Rahmenverstärkung
- 6 Zahnstangenlenkgetriebe (siehe auch Abschnitt 2.3.1.3)
- 7 Winkelgetriebe
- 8 Servolenkungspumpe (siehe auch Abschnitt 2.3.1.3)
- 9 Ölbehälter
- 10 Luftbalg
- 11 Stoßdämpfer

Die Dreiecksquerlenker sind an diesen beiden Querträgern sowie an den Achsschenkelträgern angelenkt und mit einem Achsschenkelbolzen am Achsschenkel verbunden. Lenkgetriebe und Querstabilisator sind ebenfalls am Unterrahmen befestigt. Die Enden des Querstabilisators sind an den Achsschenkelträgern angelenkt. Die beiden Streben zwischen den Querträgern verstärken den Unterrahmen.

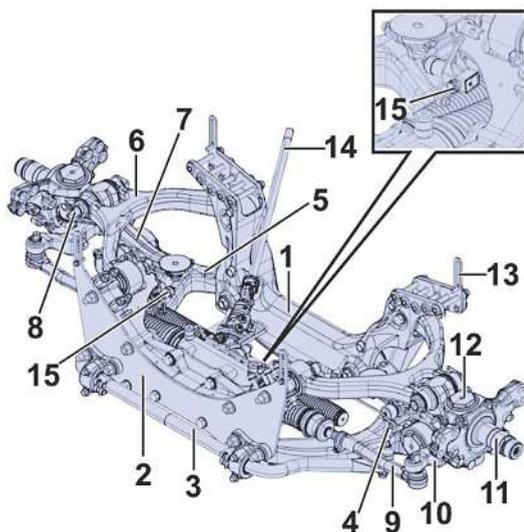
Zum besseren Verständnis wird in Bild 1.25 die gleiche Radaufhängung aus der Heckansicht gezeigt.

Die dargestellte Vorderradaufhängung ist mit doppelten Dreiecksquerlenkern ausgeführt. Die Vorderräder sind oben und unten jeweils an einem Dreiecksquerlenker befestigt; dies ermöglicht den Vorderrädern unabhängig voneinander eine Verlagerung in der Senkrechten. Außerdem verbessert es nach Herstellerangaben im Zusammenspiel mit der integrierten Zahnstangenlenkung die Lenkungspräzision, den Fahrkomfort und die Fahrzeugstabilität sowohl auf ebenen als auch unebenen Oberflächen. Auf die Niveausensoren wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen.

Bild 1.25

Radaufhängung Vorderachse mit Lenkung, Heckansicht
[Bild: Volvo]

- 1 Unterrahmen, vorne
- 2 Unterrahmen, hinten
- 3 Querstabilisator
- 4 Verbindungsstange, Querstabilisator
- 5 Dreiecksquerlenker, unten
- 6 Dreiecksquerlenker, oben
- 7 Achsschenkelträger
- 8 Welle für Sturzeinstellung
- 9 Spurstange
- 10 Spurstangenhebel
- 11 Achsschenkel
- 12 Achsschenkelbolzen
- 13 Führungsschlitz
- 14 Lenkspindel, unten
- 15 Niveausensoren



Die beschriebene Ausführung der Einzelradaufhängung mit Zahnstangenlenkung war z. B. im Volvo FH 4 verbaut. Wegen mangelnder Nachfrage und dem zu hohen Aufpreis wurde diese Konfiguration jedoch aus dem Programm genommen.

Die Systemdarstellung eines Kugelgelenks mit Achsschenkel und Achsschenkelbolzen zeigen die Bilder 1.26 und 1.27.

Im Allgemeinen sind Kugelgelenke dauergeschmiert und bedürfen keinerlei Wartung. Eine Schraubenfeder gleicht das durch Verschleiß entstehende Spiel aus, indem sie die Kugel gegen die obere Lagerfläche drückt.

Zur Überprüfung des Spiels wird bei geradestehenden Rädern das Kugelgelenk gegen die Schraubenfeder bis zum Anschlag gedrückt. Der dabei entstehende Weg ist identisch mit dem Spiel und darf ein Höchstmaß, z. B. 2 mm, nicht überschreiten.

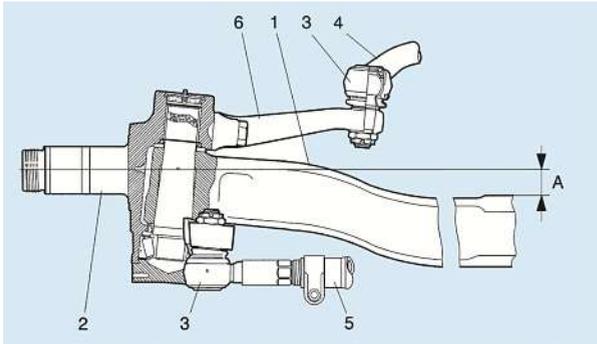


Bild 1.26 Vorderachse Radseite

[Bild: Scania]

- | | |
|--------------------------------|-----------------|
| 1 Vorderachsträger | 5 Spurstange |
| 2 Wellenzapfender Achsschenkel | 6 Lenkspurhebel |
| 3 Kugelgelenk | A Axialspiel |
| 4 Lenkschubstange | |



Bild 1.27 Kugelgelenk

[Bild: Foto Frantz]

Der Achsschenkelbolzen wird entweder aufgrund seiner konischen Form oder mithilfe einer von oben aufgeschraubten Kronenmutter im Achsschenkel festgehalten. Der obere Dichtring und der obere Lagerdeckel schützen das Kegelrollenlager gegen eindringenden Schmutz. Der Staubschutz für die untere Achsschenkelbolzenbuchse besteht aus einem unteren Dichtring und dem Lagerdeckel. Das Spiel zwischen Achsschenkel und Achskörper (Axialspiel) kann mittels Fühlerlehre überprüft werden.

1.3.1.2 Hinterachse

Die in Bild 1.28 erkennbaren Lenker und Stabilisatoren sind die wichtigsten Bauteile der Radaufhängung bei luftgefederten Achsen. Die Lenker verbinden die Rad- und Achsführung mit dem Rahmen und nehmen die Rad- und Achskräfte auf.

Längslenker werden häufig mit einem Dreieckslenker kombiniert. Diese nehmen die Längs- und Seitenkräfte auf und übernehmen in Verbindung mit zwei Längslenkern die gesamte Achsführung (vgl. Bild 1.29).

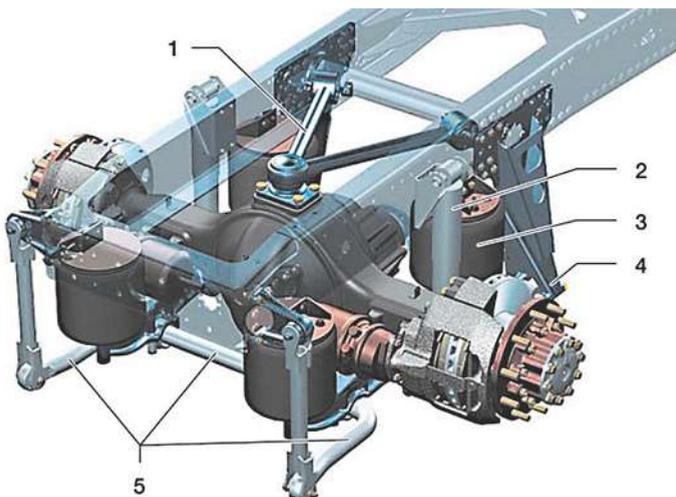


Bild 1.28

Hinterachse mit Dreieckslenker und Stabilisatoren

[Bild: MAN]

- | |
|-------------------|
| 1 Dreieckslenker |
| 2 Stoßdämpfer |
| 3 Luftfederbalg |
| 4 Längslenkerbock |
| 5 Stabilisator |

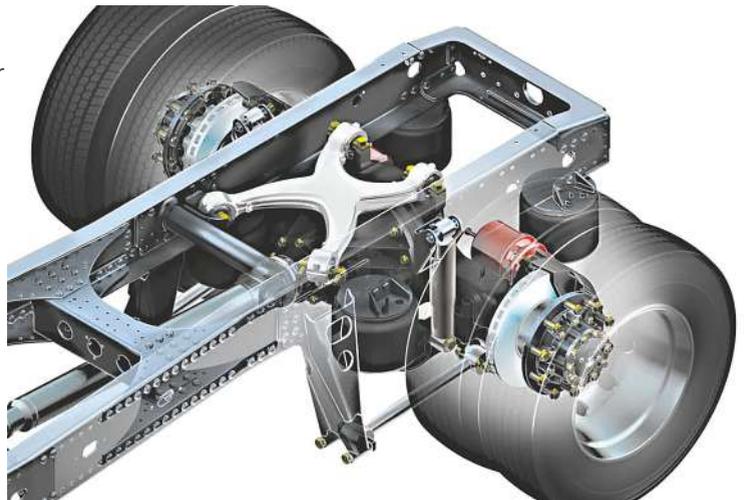
Bild 1.29
Dreieckslenker
[Bild: Foto Frantz]



Die in Bild 1.28 erkennbaren Stabilisatoren werden häufig in gebogener Ausführung aus rundem Federstahl verbaut. Sie sind mit ihren U-förmig gebogenen Enden am Rahmen oder an der Aufhängung befestigt. Im Mittelteil sind sie ein oder zweifach drehbar am Aufbau gelagert. Bei Kurvenfahrten kommt es durch die Wirkung einer Seitenkraft aufgrund der Querbeschleunigung zur Wankneigung des Fahrzeugs. Dieser unerwünschten Aufbauneigung wirkt der Stabilisator entgegen. Ebenso wirkt er der einseitigen Einfederung eines Rades entgegen, das über eine Straßenebenheit fährt.

Wegen ihrer beweglichen Lagerung am Fahrzeugrahmen und am Achskörper können Stabilisatoren keine Radführung übernehmen. Daher nutzt man seit einigen Jahren ein Bauteil, das die Funktion von Lenkern und Stabilisatoren kombiniert. Ein solches Bauteil ist der Vierpunkt-Lenker (vgl. Bilder 1.30 und 1.31).

Bild 1.30
Hinterachse mit
Vierpunkt-Lenker
[Bild: MAN]



**Bild 1.31**

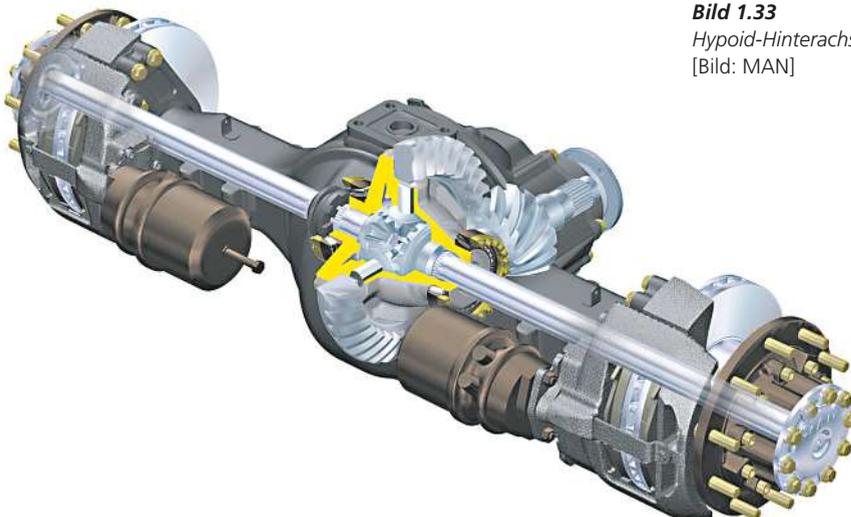
Vierpunkt-Lenker, Teilansicht Lagerung
[Bild: Foto Frantz]

In Nutzfahrzeugen werden meist angetriebene starre Hinterachsen mit Ausgleichsgetriebe eingesetzt. Übliche Bauformen sind Banjoachse und Trichter- oder Trompetenachse. Bei Banjoachsen kann der gesamte Achskopf mit Ausgleichsgetriebe als Baugruppe außerhalb des Achsgehäuses montiert und eingestellt werden. Bei der Trichter- oder Trompetenachse ist der Achskopf im Bereich des Ausgleichgetriebes in zwei Hälften geteilt (vgl. Bild 1.32).

**Bild 1.32**

Banjoachse (links)
und Trichter- oder
Trompetenachse
[Bild: MAN]

Im Achskopf der Hinterachse befindet sich das Ausgleichsgetriebe. Zwischen Kegel- und Tellerrad mit Hypoidverzahnung (= kugelförmig gekrümmte Zahnflanken mit Achsversatz zwischen Kegel- und Tellerrad) erfolgt die Reduzierung der Drehzahl. Derartige Hypoidgetriebe können sehr hohe Drehmomente übertragen und sind zudem sehr laufruhig,

**Bild 1.33**

Hypoid-Hinterachse
[Bild: MAN]

auch bei stoßartiger Belastung oder trampelnder Achse. Übliche Übersetzungen liegen zwischen $i = 3,5$ und 5 . Dadurch hat das Tellerrad einen großen Durchmesser, und das Hinterachsgehäuse ist entsprechend großvolumig. Um die Abmessungen des Hinterachsgehäuses zu reduzieren und damit mehr Bodenfreiheit zu gewinnen, werden bei geländegängigen Fahrzeugen Außenplanetenachsen verbaut. Diese haben in der Radnabe eine zusätzliche Übersetzungsstufe in Form eines Planetensatzes. Die Bilder 1.33 und 1.34 zeigen den Unterschied.

Bei mehreren hintereinander liegenden Antriebsachsen sind Durchtriebsachsen erforderlich.

Bild 1.37 zeigt in einer schematischen Darstellung den Unterschied zwischen Hypoidachse, Außenplanetenachse und Außenplanetenachse als Durchtriebsachse.

Als Beispiel für eine Hypoid-Hinterachse sei die RSS 1360 von Volvo vorgestellt (vgl. Bild 1.38). Auf die Achse wird in Abschnitt 7.6.2 näher eingegangen.

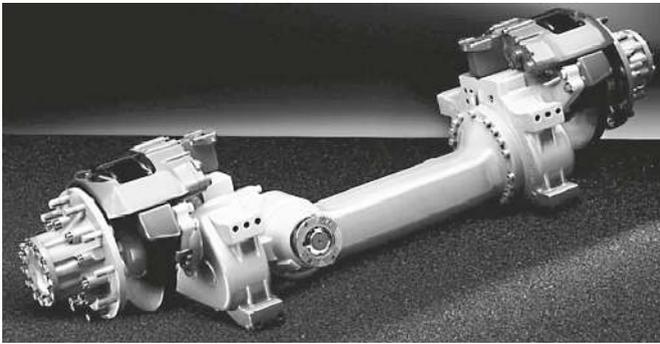
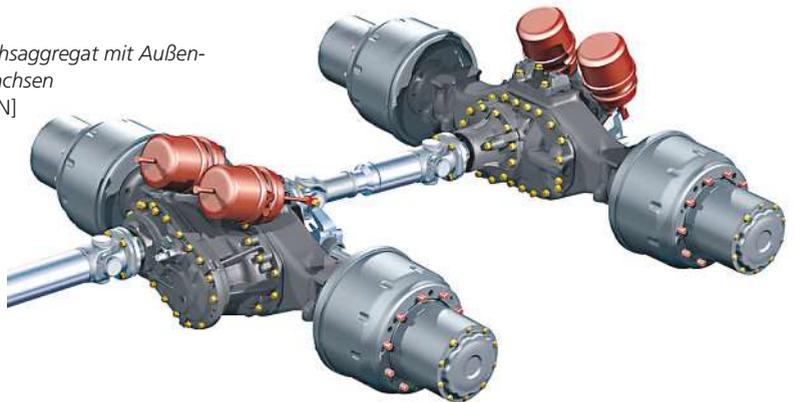


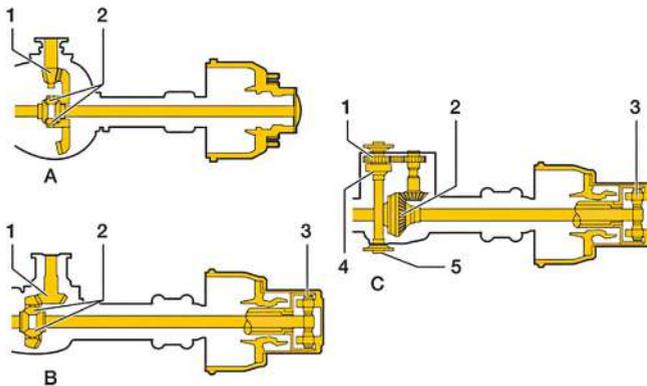
Bild 1.34 Außenplaneten-Hinterachse
[Bild: MAN]



Bild 1.35 Teil einer Außenplanetenachse
[Bild: MAN]

Bild 1.36
Doppelachsaggregat mit Außenplanetenachsen
[Bild: MAN]



**Bild 1.37**

Übersicht Hypoidachse, Außenplanetenachse und Außenplanetenachse als Durchtriebsachse (schematisch)

[Bild: MAN]

A Hypoidachse

B Außenplanetensatz

C Außenplanetenachse als Durchtriebsachse

1 Achsantrieb

2 Ausgleichsgetriebe (Differenzial)

3 Außenplanetensatz

4 Längsdifferenzial

5 Achsdurchtrieb

**Bild 1.38**

Hypoid-Hinterachse RSS 1369

[Bild: Volvo]

Sind bei Nutzfahrzeugen hohe Zuladungen erforderlich, so werden zweiachsige Fahrzeuge um eine zusätzliche, meist einfach bereifte und nicht angetriebene Achse erweitert. Dies kann entweder eine Vorlaufachse sein (in Fahrtrichtung vor der Antriebsachse angeordnet) oder eine Nachlaufachse (in Fahrtrichtung hinter der Antriebsachse angeordnet). Vorlauf- und Nachlaufachsen können wahlweise lenk- oder liftbar sein. Für Fahrzeuge mit großen Hecklasten sind folgende Ausführungsformen üblich:

- nicht liftbare Vorlaufachse
- selbstlenkende Nachlaufachse
- nicht gelenkte, liftbare Nachlaufachse

Gelenkte Vor- oder Nachlaufachsen vermeiden den Schräglauflauf; dadurch verringert sich der Reifenverschleiß deutlich. Gelenkte Nachlaufachsen verbessern zusätzlich entscheidend die Kurvenläufigkeit des Fahrzeugs und erhöhen den Lenkkomfort und die Manövrierbarkeit. Zu diesem Zweck erfasst, z. B. im Actros, ein Lenkwinkelsensor im Vorderachsbereich den Einschlagwinkel der Vorderräder. Die elektronisch gesteuerte Mehrachs-Lenkanlage überträgt diesen Einschlagwinkel exakt auf die Räder der Telligent®-Nachlaufachse. Bei Geschwindigkeiten ab 45 km/h wird sie nicht mehr gelenkt, sondern automatisch in Mittellage gebracht und hydraulisch verriegelt. Für längere Strecken kann sie geliftet werden.

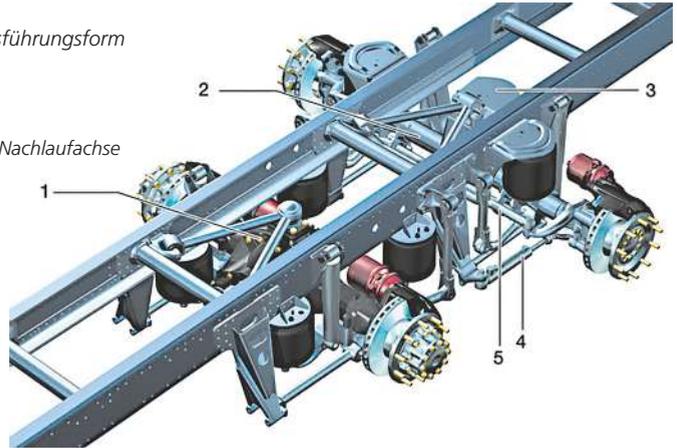
Liftachsen dürfen immer dann im Fahrbetrieb angehoben werden, wenn der Beladungszustand dies erlaubt und die zulässigen Achslasten nicht überschritten werden. Ein kurzfristiges Entlasten – selbst bei voller Beladung – ist bei schwierigen Straßenverhältnissen als Anfahrhilfe gemäß § 34 StVZO zulässig.

Bild 1.39

zeigt eine typische Ausführungsform einer Liftachse.

[Bild: MAN]

- 1 Antriebsachse
- 2 Gelenkte und liftbare Nachlaufachse
- 3 Liftsystem
- 4 Hydraulikzylinder
- 5 Spurstange



Bei Gelenkbussen werden auch Mittelachsen verbaut.

Bild 1.39 zeigt eine typische Ausführungsform einer Liftachse.

1.3.2 Achsführung und Federung

Wie die Bilder 1.28 und 1.30 zeigen, sind die Hinterachsen über den Fahrwerksrahmen mit V-Streben geführt. Diese nehmen die seitlich wirkenden Kräfte auf und halten die Achsen, ohne dass die Federn seitlich belastet werden. Die Längslenker führen die Achsen in Längsrichtung und übertragen sowohl das Anfahr- als auch das Bremsmoment von den Antriebsachsen auf den Fahrzeugrahmen.

Die beispielhafte Ausführung einer luftgefederten Hinterachse ist in Bild 1.40 dargestellt.

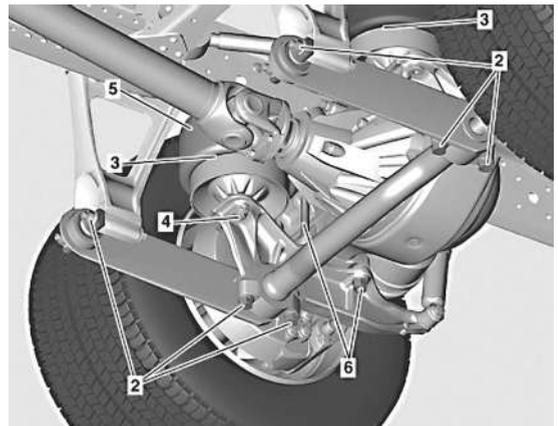
Wie beschrieben und in den Bildern 1.28 bis 1.31 dargestellt, werden für Achsseitenführung und Wankstabilisierung eines Nutzfahrzeugs zwei Bauteile, der Dreieckslenker und der Stabilisator, verwendet. Ein von ZF und MAN entwickelter, unter anderem im

Bild 1.40

Luftgefederte Hinterachse

[Bild: Mercedes Benz]

- 2 Befestigung Stabilisator
- 3 Walkbereich des Luftfederbalgs
- 4 Befestigung des Luftfedertellers
- 5 Luftfederbalg
- 6 Federbügel



MAN TGA TS und in allen zweiachsigen TGA-Sattelzugmaschinen eingesetzt, sogenannter Vierpunkt-Lenker vereint beide Funktionen. Der Vierpunkt-Lenker, der an sich schon leichter als bisherige mit Stabilisatoren versehene Dreipunkt-Lenker ist, benötigt keine verstärkte Schluss traverse. Der X-förmige Vierpunkt-Lenker aus Aluminium (vgl. Bild 1.31) bietet eine neue Radführung und vereint die Aufgaben von Momentanabstützung und Wankstabilisierung. Er wirkt mit seinem Verlauf der Rückstellkraft günstig auf die Wankstabilisierung und sorgt so für besseres Fahrverhalten. Durch die Einsparung des Stabilisators wird außerdem Gewicht reduziert.

„Herzstücke“ sind Kugelhülsen und Kugelstücke, die in Gummi einvulkanisiert sind (Einkomponentenbauweise). Damit ist keine Abdichtung mehr gegen Schmutz und Feuchtigkeit erforderlich. Die Folgen sind höhere Lebensdauer und bessere Geräuschdämpfung.

Die durch Unebenheiten der Fahrbahn verursachten Stöße müssen aufgefangen und gedämpft werden. Dies wird im Wesentlichen von zwei Baugruppen am Fahrzeug realisiert: dem Luftpolster der Reifen und den Feder-Dämpfungssystemen an Vorder- und Hinterachse.

Die Federung bewirkt, dass die Kräfte, die von den nicht gefederten Massen, z. B. Reifen, durch Fahrbahnebenheiten übertragen werden, durch die Energiespeicherung der Feder aufgenommen werden. Je nach Bauart der Feder wird durch deren Eigendämpfung ein Teil der Energie abgebaut. Somit werden die „harten“ Stöße gemindert, was zu einer Erhöhung des Fahrkomforts und einer Verbesserung der Fahrsicherheit führt. Außerdem werden Fahrzeug, Beladung und Straße geschont.

Die mit der Federung zwangsläufig verbundenen Schwingungen müssen durch Schwingungsdämpfer (Stoßdämpfer) weiter gedämpft werden.

Man unterscheidet zwischen Schraubenfederung, Blattfederung und Luftfederung. Schraubenfedern werden im Nutzfahrzeugsbereich nur bei leichten Nutzfahrzeugen eingesetzt. Schraubenfedern können nur vertikale Belastungskräfte aufnehmen. Brems- und Antriebskräfte können damit nicht übertragen werden, da diese vorwiegend horizontal wirken. Eine mit Schraubenfedern ausgerüstete Achse muss also zusätzlich mit Lenkern geführt werden.

Bei der Blattfederung unterscheidet man zwischen Trapezfedern und Parabelfedern (vgl. Bild 1.41).

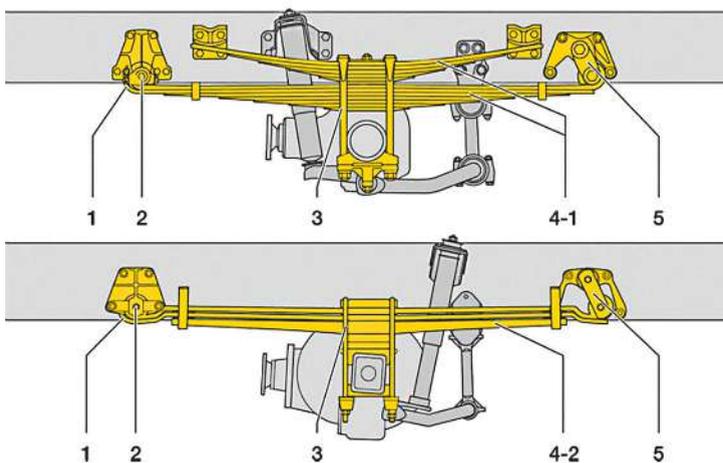


Bild 1.41

Trapezfeder und Parabelfeder

[Bild: MAN]

2 Sicherheitsumrollung

2 Federauge vorn

3 Federbügel (Federbriden)

4-1 Trapezstufenfeder: Hauptfeder (Federpaket unten); Zusatzfeder (Federpaket oben)

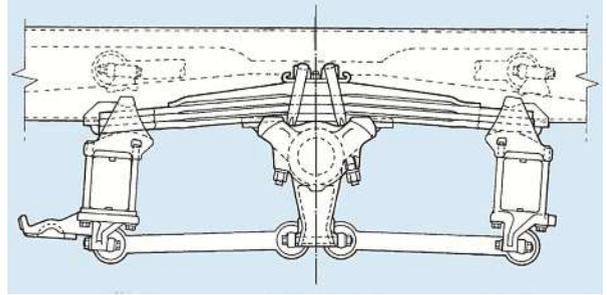
4-2 Parabelfeder (Federpaket)

5 Federlasche

Bild 1.42

Beispiel für eine Blattfeder-
aufhängung an der Hinter-
achse

[Bild: IVECO]



Blattfedern haben den Vorteil, dass sie die Achsführung mit übernehmen können und Lenker unter Umständen entbehrlich machen. Es gibt Ein-, Zwei- und Dreistufenfedern, wobei jede Stufe aus einem Federblatt oder mehreren Federblättern bestehen kann. Für die Anlenkung am Fahrzeugrahmen gibt es sehr viele unterschiedliche Konstruktionen. Eine Möglichkeit zeigt Bild 1.42. Dabei wird das gesamte Federpaket durch eine Mittelagerung zentriert und mit Federbriden an der Achse befestigt.

Bedingt durch die Reibung zwischen einzelnen Federblättern hat die Blattfederung eine Eigendämpfung. Diese hängt von der Bauart der Blattfederung ab. Die Materialstärke der einzelnen Blätter hängt von der Belastung ab und kann über die Länge variieren. Die einzelnen Blätter sind meist durch Zwischenlagen getrennt. Um eine bestimmte Federcharakteristik zu erreichen, werden oft Zweistufenfedern verbaut (vgl. Bild 1.41).

Fahrzeuge für den Einsatz im Gelände werden nach wie vor überwiegend mit den robusten Blattfedern in Trapez-Bauform ausgerüstet. Lkw für den „normalen“ Straßenverkehr verfügen hingegen über Parabelfedern bzw. Kombinationen aus Parabelfedern und Luftfedern.

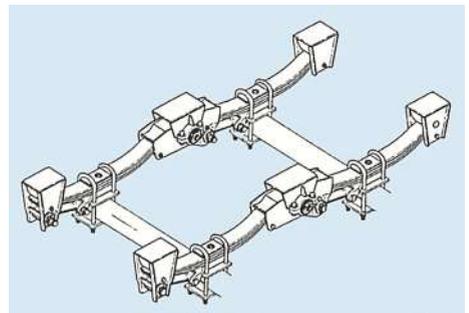
Mit dem Ziel, die hohen Gewichte der Trapezfedern zu verringern, wurde die Parabelfeder entwickelt. Sie besteht aus lediglich zwei bis vier Federblättern. Die Blätter zeigen über die Länge eine veränderliche Dicke; deren Verlauf folgt im federungswirksamen Bereich einer Parabel. Im Mittelteil haben die Federblätter eine über die Auflagelänge gezielt überhöhte Dicke und werden durch verzinkte Blechplatten auf Abstand gehalten. Die einzelnen Federblätter sind ca. 80 bis 100 mm breit; sie werden über einen mittig angeordneten Herzbolzen gegen gegenseitige Längsverschiebung gesichert und mittels Spannbügel (Briden) mit dem Achslappen verspannt. Die Lagerbuchsen für die Parabelfeder sind in der Regel als Stahl-Gummi-Buchsen (Gummi-Molekularlager) ausgeführt und wartungsfrei. Parabelfedern sind im Vergleich zu Trapezfedern geräuschärmer und bis zu 40 % leichter.

Bild 1.43 zeigt ein Doppel-Achsaggregat mit Parabelfedern.

Bild 1.43

Doppel-Achsaggregat mit Parabelfedern

[Bild: Trenkamp & Gehle]



Nutzfahrzeuge, bei denen das Ladegut hohe Anforderungen an die Federung stellt (gleichbleibender Federungskomfort und gleiche Ladungshöhe bei jedem Beladungszustand), werden mit Luftfederungen ausgestattet, häufig auch in Verbindung mit einer Niveauregulierung. Vorteile sind:

- stets gleiche Aufbau- und damit Ladehöhe, auch bei wechselnder Belastung
- gleiche Radstellung bei Einzelradaufhängung
- ständig richtige Scheinwerfereinstellung
- nur geringe Änderung des Fahrkomforts durch unterschiedliche Beladung

Luftfederungen in Verbindung mit einer Niveauregulierung ermöglichen darüber hinaus eine Absenkung des Aufbaus, z. B. beim Auf- oder Abladen von Wechselbehältern oder zur Erreichung gleicher Höhen an Laderampen.

Auch Kraftomnibusse verfügen über derartige Systeme.

Bild 1.44 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine Luftfederung.

Eine Schnittdarstellung von Luftbälgen zeigt Bild 1.45.

Bild 1.46 zeigt ein typisches Luftfedersystem mit Halterungen.

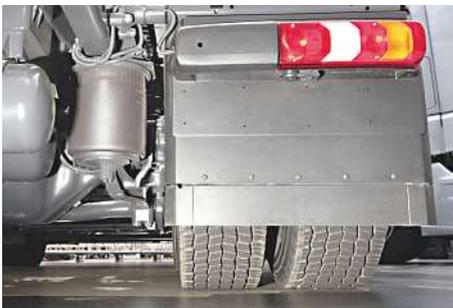


Bild 1.44

Luftfeder mit Aufnahme

[Bild: Foto Frantz]

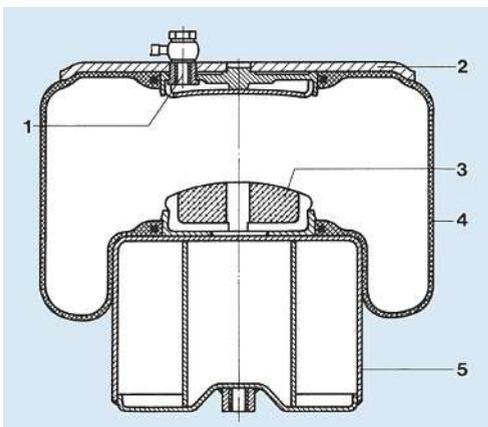


Bild 1.45

Schnitt durch einen Luftfederbalg

[Bild: Mercedes-Benz]

1 Druckluftanschluss

2 Platte

3 Gummipuffer

4 Luftfederbalg

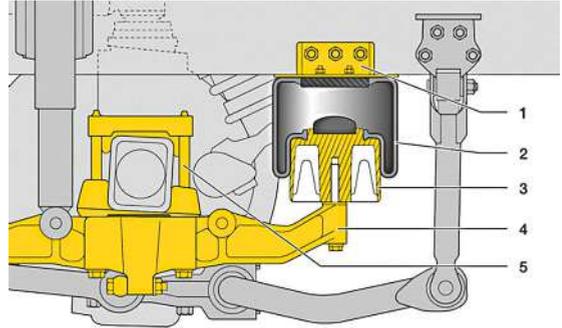
5 Kolben

Bild 1.46

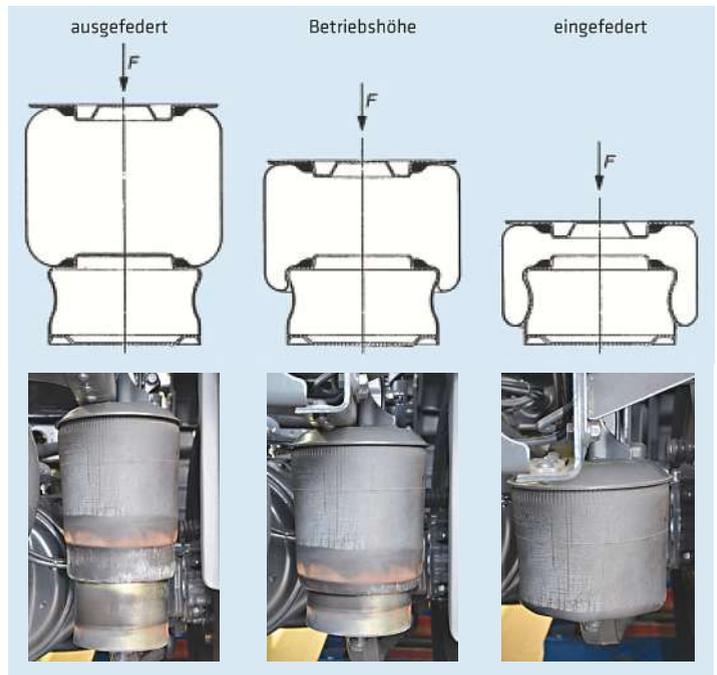
Typisches Luftfedersystem mit Halterungen

[Bild: MAN]

- 1 Halterung im Rahmen
- 2 Luftfederbalg (Schlauchrollbalg)
- 3 Abrollkolben
- 4 Federbalgträger
- 5 Halterung an der Achse

**Bild 1.47**

Luftfederbalg mit unterschiedlichen Niveauhöhen



Bei der Luftfederung wird die Kompressibilität der Luft zur Federwirkung ausgenutzt. Je nach Belastung und Luftfederbalg-Innendruck ergeben sich unterschiedliche Niveauhöhen (vgl. auch Bild 1.47).

Die Niveauregelung erfolgt bei luftgederten Fahrzeugen im Allgemeinen mit drei integrierten Systemen.

Bei einer automatischen Niveauregelung regeln die Niveauventile die Luft zu den Luftbälgen und halten dadurch den Fahrgerstellrahmen ständig in der gleichen Höhe, unabhängig von der Belastung des Fahrzeugs und dem Zustand der Fahrbahn. Hierzu messen elektronische Wegsensoren permanent die Rahmenhöhe und können so jeder Veränderung mit einer Be- und Entlüftung der Bälge begegnen.

Bei der manuell-elektropneumatischen Höhenregelung wird das Heben und Senken des Fahrzeugs über ein Schaltgerät beeinflusst, das an die Magnetventile für die Regelung der Druckluft zu den Luftbälgen angeschlossen ist.

Bei der manuell-mechanischen Höhenregelung befindet sich ein Schalthebel im Bereich der Hinterachse. Damit werden die Niveauventile über einen Seilzug oder ein Hebelgestänge betätigt, um das Fahrzeug anzuheben oder abzusenken.

1.3.3 Wankbegrenzung und Schwingungsdämpfung

Wie bereits ausgeführt, müssen die mit der Federung zwangsläufig verbundenen Schwingungen durch Schwingungsdämpfer (Stoßdämpfer) weiter gedämpft werden. Im Einzelnen übernimmt der Stoßdämpfer also die Aufgaben,

- Schwingungen des Aufbaus möglichst schnell abklingen zu lassen,
- ein Abheben der Räder von der Fahrbahn zu verhindern,
- die dynamischen Radlastschwankungen zu mindern,
- die Fahrwerk-Bauteile zu schonen.

Bei Nutzfahrzeugen kommen meist hydraulische Zweirohr-Teleskop-Schwingungsdämpfer zum Einsatz, weil sie im Vergleich zu Einrohrdämpfern eine geringere Einbaulänge haben. Bild 1.48 zeigt die prinzipielle Anordnung der Stoßdämpfer an einer Hinterachse mit Blattfeder. Die Anordnung mit Luftfeder und Dreieckslenker sowie zur Wankbegrenzung wurde bereits in den Bildern 1.28 und 1.30 dargestellt.

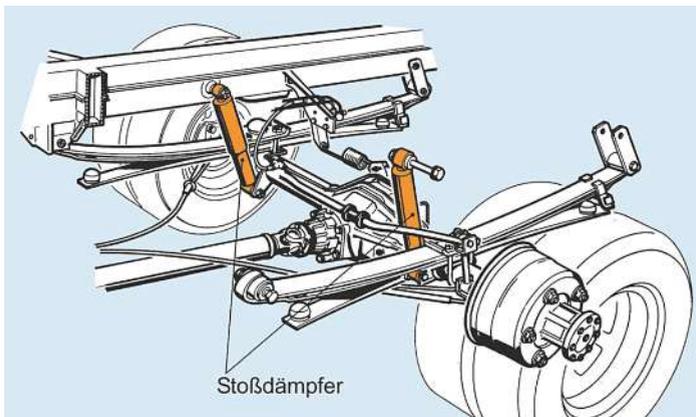


Bild 1.48
Prinzipielle Anordnung der Stoßdämpfer an einer Hinterachse [Bild: Mercedes Benz]

Bei Starrachsen und Einzelradaufhängung werden Stabilisatoren eingesetzt. Üblich ist dabei häufig der gebogene Stabilisator aus rundem Federstahl. Stabilisatoren sind mit ihren U-förmig gebogenen Enden am Rahmen bzw. an der Radaufhängung befestigt. Im Mittelteil sind sie ein- oder zweifach drehbar am Aufbau gelagert. Bei Kurvenfahrten kommt es durch die Wirkung einer Seitenkraft aufgrund der Querbewegung des Fahrzeugs zu einer Wankneigung. Dieser unerwünschten Aufbauneigung wirkt der Stabilisator entgegen. Ebenso wirkt er der einseitigen Einfederung des Rades entgegen, das über eine Straßenunebenheit fährt. Beim Anheben des Rades bzw. beim seitlichen Verdrehen

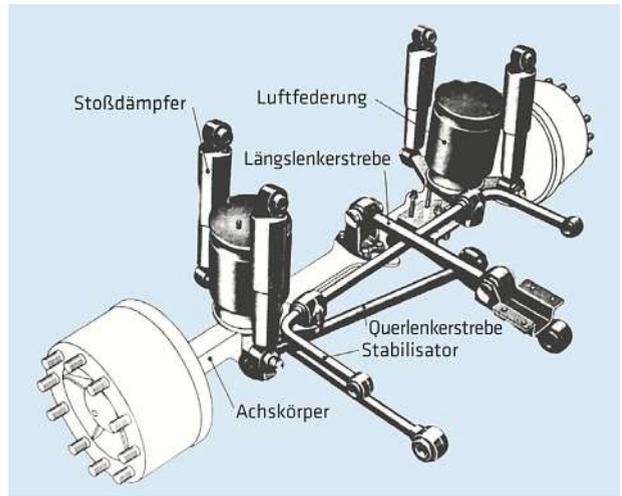
des Aufbaus gegenüber seiner normalen Lage wird der Torsionsstab im Mittelteil verdreht. Dabei entsteht ein Moment, dessen Reaktionszeit am Aufbau-Anlenkpunkt des Stabilisators der Wankneigung des Aufbaus entgegenwirkt. Bei gleichen Federwegen beider Räder hat der Stabilisator keine Funktion, da er sich beidseitig mitdreht.

Bild 1.49 zeigt beispielhaft die Anordnung eines Stabilisators an der luftgefederten Vorderachse eines Omnibusses.

Bild 1.49

Anordnung eines Stabilisators an der luftgefederten Vorderachse eines Omnibusses

[Bild: Mercedes Benz]



1.4 Neuentwicklungen Fahrwerksgeneration

Die von BPW Bergische Achsen vertriebene Fahrwerksgeneration ECO-Air wurde von Grund auf als digitalisiertes Gesamtsystem und als Baukasten weiterentwickelt. Nach Aussagen des Herstellers verschlankt das System nicht nur die Konfiguration, Konstruktion und Fertigung von Trailern, sondern eröffnet Fahrzeugherstellern eine neue Flexibilität und senkt Gewicht und Kosten erheblich. ECO-Air trägt – laut Hersteller – von der Bestellung an eine einzigartige digitale DNA in sich, die das Fahrwerk von der Fertigung bis zur Wartung ein Leben lang begleitet. Über den gesamten Lebenszyklus ermöglicht diese digitale DNA hocheffiziente Prozesse und intelligente Serviceleistungen.

Die modulare Architektur mit standardisierten, intelligenten Bauteilen erlaubt es – so der Hersteller –, Fahrwerke als Bausatz zu kaufen und selbst in der gewünschten Variante zu montieren. Bei der Herstellung setzt BPW auf ein patentiertes Hightech-Laserverfahren, das erstmals die BPW-typische geklemmte, modulare Luftfederungseinbindung mit runden Achskörpern kombiniert. Das sorgt – laut Hersteller – für größte Robustheit und eine Gewichtseinsparung von 27 kg bei einem 3-Achs-Aggregat. Nach wie vor wird ECO-Air als Allroad-Fahrwerk genutzt.

BPW bezeichnet On-Road als eine Straße, die über eine versiegelte und befestigte Oberfläche verfügt, das heißt eine asphaltierte oder betonierte Oberfläche. Befestigte Schotterstraßen werden als Off-Road bezeichnet. Off-Road-Einsatz besteht auch dann, wenn versiegelte Oberflächen nur kurzzeitig betriebsbereit verlassen werden.

Off-Road-Einsatz wird grundsätzlich bei Kippern und Fahrzeugen mit vergleichbarem Einsatz unterstellt.

Bild 1.50 zeigt zunächst den Aufbau des Gesamtsystems.

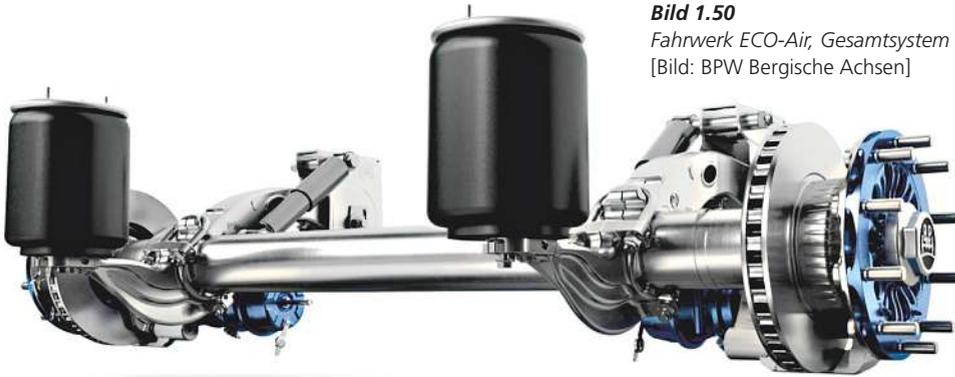


Bild 1.50

Fahrwerk ECO-Air, Gesamtsystem
[Bild: BPW Bergische Achsen]

In Bild 1.51 ist der modulare Aufbau zu erkennen.



Bild 1.51

*Fahrwerk ECO-Air, Klemmverbindung
des Achskörpers mit dem Balgträger
und dem Lenker*
[Bild: BPW Bergische Achsen]

Bild 1.52 zeigt die Klemmverbindung des Achskörpers mit dem Balgträger und dem Lenker.

Die Achsen sind über Führungslenker, Stützen und Luftfederbälge mit dem Fahrzeugrahmen verbunden. Die Lenker übernehmen die Spurführungskräfte sowie die Bremsreaktionskräfte. Der Verbund von Achskörper und Führungslenker wirkt als Stabilisator gegen die Seitenneigung des Aufbaus bei Querbeschleunigung. Die vertikalen Kräfte werden über die Stützen und die Rollbälge in den Fahrzeugrahmen eingeleitet. Die Querkräfte werden ausschließlich über die Stützen in den Rahmen eingeleitet. Zur Minimierung

Bild 1.52

Fahrwerk ECO-Air, Klemmverbindung des Achskörpers mit dem Balgträger und dem Lenker
[Bild: BPW Bergische Achsen]



der Torsionsbeanspruchung sind die Stützen der gängigen BPW Luftfederungen kurz und bieten somit den Querkräften einen kleinen Hebelarm.

Durch gut abgestimmte Schwingungsdämpfer und Führunglenker werden Seitenstabilität und Fahrkomfort positiv beeinflusst. Die Luftfederung hält starke Schwingungen vom Fahrgestell und von der Fahrbahn fern. Ein gleichmäßiger Bodendruck der Räder bleibt dadurch erhalten. Die Luftfederbälge sind über die Luftleitungsinstallation miteinander verbunden. Dadurch wird bei Achsaggregaten ein Achs- und Bremsenlastausgleich erreicht. Für das schnelle Aufnehmen und Absetzen von Wechselaufbauten oder die Anpassung an unterschiedliche Rampenhöhen kann das Fahrzeug durch ein Schaltventil/Drehschiebventil angehoben und abgesenkt werden.

Bestandteil des neuen Fahrwerksystems ist der ECO-Air-Lufttank (Bild 1.53). Er besteht aus glasfaserverstärktem Kunststoff GFK und ist damit vollständig korrosionsfrei. Der hochwertige Composite-Werkstoff, der in einem patentierten Produktionsprozess verarbeitet wird, führt bei den Lufttanks zu einem im Vergleich zu herkömmlichen Stahl-Lufttanks deutlich geringeren Gewicht. So lassen sich beispielsweise beim Einsatz von zwei 60-l-Lufttanks bis zu 60 % des Gewichts einsparen. Die Lufttanks sind in den gängigen Ausführungen von 30 bis 120 l erhältlich.

Der Lufttank wird mit einem Alu-Druckgusshalter mit Spannband befestigt; eine zusätzliche Gummierung ist nicht erforderlich. Das System befindet sich derzeit in der Erprobung.

Bild 1.53

Fahrwerk ECO-Air, Komponente GFK-Lufttank
[Bild: BPW Bergische Achsen]



Für die Fahrzeughersteller ermöglicht das Fahrwerk durch reduzierte Varianten und den damit geringeren Montageaufwand eine kostenoptimierte Trailer-Fertigung. Es kommt mit nur noch zwei Stützen, zwei Lenkern und drei Balgträgern aus. Die Folge sind mehr Flexibilität und zusätzlich reduzierte Lagerkosten. Darüber hinaus reduziert der neue Zwei-Seiten-Achslift den Montageaufwand um 50 % gegenüber bisherigen BPW-Luftfederungen.

Für spezielle Einsätze und höhere Achslasten von 9 bis 12 t im On-Road- und Off-Road-Einsatz hat BPW zwei luftgefederte Achskonfigurationen entwickelt: Airlight II und Luftfederung SL (Bild 1.54).

Airlight II ist ausgelegt für Achslasten von 9 bis 10 t im On-Road- und leichten Off-Road-Einsatz (Kipper Westeuropa); Luftfederung SL für Achslasten von 9 bis 12 t On-Road und Off-Road.

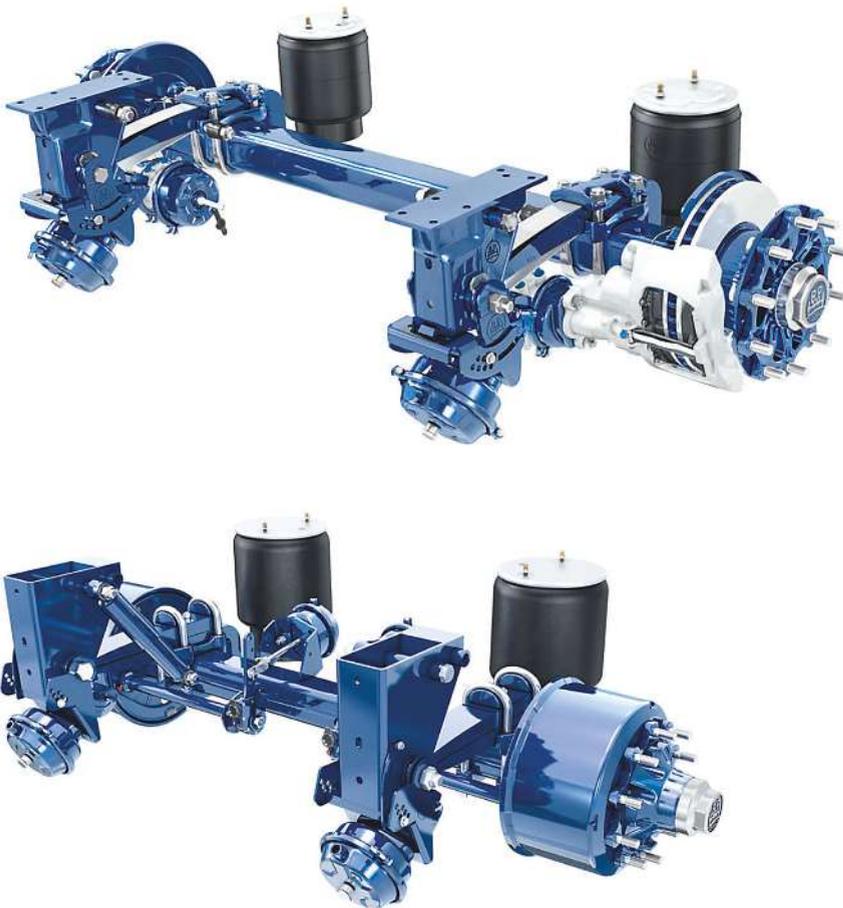


Bild 1.54 Airlight II (oben) und Luftfederung SL (unten)
[Bild: BPW Bergische Achsen]

Besondere Merkmale sind:

- Fahrhöhen von 220 mm bis 600 mm
- Aggregate mit Langhub-Luftfedern
- Heavy-Duty-Luftfederung mit 1- und/oder 2-Blatt-Lenkerfeder
- geschweißte Einbindung für Off-Road-Einsatz
- modularer Aufbau
- verbesserter Oberflächenschutz durch kathodische Elektro-Tauch-Lackierung mit Zinkphosphatierung
- Optionen u. a. für Nachlauf-Lenkachsen, Achslift, PDC-Dämpfer

PDC-Dämpfer (Pneumatic Damping Control) erkennen automatisch den Beladungszustand und passen sich entsprechend an. Nach Herstellerangaben bedeutet dies beste Dämpfung, verbessertes Fahrverhalten, mehr Sicherheit und weniger Wartungskosten.

Eine weitere Neuentwicklung aus dem Hause Volvo ist die bereits vorgestellte Solo-Hinterachse RSS 1360 ohne Nabenvorgelege (Bild 1.55).

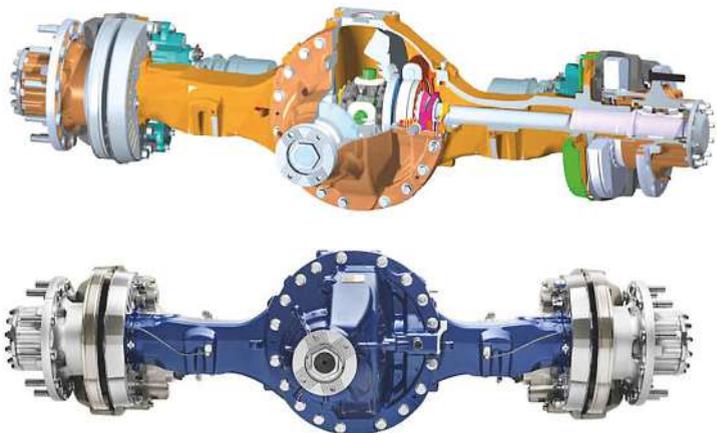


Bild 1.55 Einzelachse RSS 1360 mit Hypoidgetriebe-Einfachübersetzung, schematisch (oben) und Foto (unten)

[Bilder: Volvo]

Sie besitzt schnelle Übersetzungen und ist für den schnellen Fernverkehr vorgesehen. Die Achse ist robust und kompakt konstruiert, hat ein niedriges Gewicht, geringere Reibungsverluste als der Vorgänger und ist mit passend abgestimmten Übersetzungen erhältlich. Dies zusammengenommen senkt den Kraftstoffverbrauch. Das Hinterachsgehäuse besteht aus Gusseisen. Die Achse bietet eine ausreichende Bodenfreiheit.

Bei der Hinterachse mit einfacher Übersetzung wird die Drehzahl in einer einzigen Stufe im Achsantrieb reduziert; dadurch steigen jedoch die Anforderungen an die Bauteile. Daher besitzt die Hinterachse RSS 1360 ein Hypoidgetriebe. Wie bereits beschrieben ist dabei die Achse des Kegelrads zu der des Tellerrads versetzt. Durch diese Bauweise

wird erreicht, dass sich mehr Zähne gleichzeitig im Eingriff befinden, was zu einer robusten, leisen und zuverlässigen Antriebsachse führt.

Im Hypoidgetriebe erfolgt die gesamte Übersetzung zwischen Kegel- und Tellerrad. Wegen der dort herrschenden erheblichen Kräfte wird einsatzgehärteter Stahl mit einer besonders harten und verschleißfesten Oberfläche verwendet. Der Kern ist jedoch zäh und so elastisch, dass Stoßbelastungen aufgenommen werden können.

Die Lagerung des Kegelrads erfolgt in der sogenannten Kegelradpaket-Bauweise. Dabei ist das Kegelrad – von der Antriebsseite her gesehen – in zwei dicht hintereinander liegenden Kegelrollenlagern vor dem Kegelrad gelagert. Diese Lager nehmen sowohl die Axialkräfte als auch einen Teil der Radialkräfte auf. Hinter dem Kegelrad befindet sich ein Rollenlager, das auch Radialkräfte aufnimmt.

Das Differenzialgehäuse mit dem Tellerrad lagert in zwei Kegelrollenlagern, auf jeder Seite des Differenzials eines. Tellerrad und Differenzialgehäusehälften sind laserverschweißt, was zu einer ausgezeichneten Steifigkeit der gesamten Konstruktion führt.

Die Radlager sind wartungsfreie Universallager mit werksseitiger Dauerschmierung und wirkungsvollen Dichtringen. Die Radnabe wird zusammen mit den Lagern als Einheit an- und abgebaut, wodurch Reparaturarbeiten vereinfacht werden. So entfällt das Einstellen des Lagerspiels.

Die RSS 1360 ist mit einer Differenzialsperre ausgestattet, um die Traktion auf rutschigen Fahrbahnoberflächen zu verbessern. Dabei handelt es sich um eine Klauenkupplung. Ein Kupplungsstück mit Innenverzahnung aus gehärtetem Stahl sperrt die freie Antriebswelle mit dem Differenzialgehäuse (vgl. auch Abschnitt 7.6.2).

Die Differenzialsperre wird über einen Schalter im Kombiinstrument bedient. Dadurch wird ein Magnetventil aktiviert, über das Druckluft in einen Steuerzylinder in der Antriebsachse geleitet wird. Der aktivierte Zustand wird durch eine Kontrolllampe im Kombiinstrument angezeigt. Diese Lampe leuchtet nur bei aktivierter Differenzialsperre. Sie wird über einen Kontrollleuchten-Sensor geschaltet, der direkt mechanisch durch die Bewegung des Einrückhebels betätigt wird (vgl. Bild 1.56).

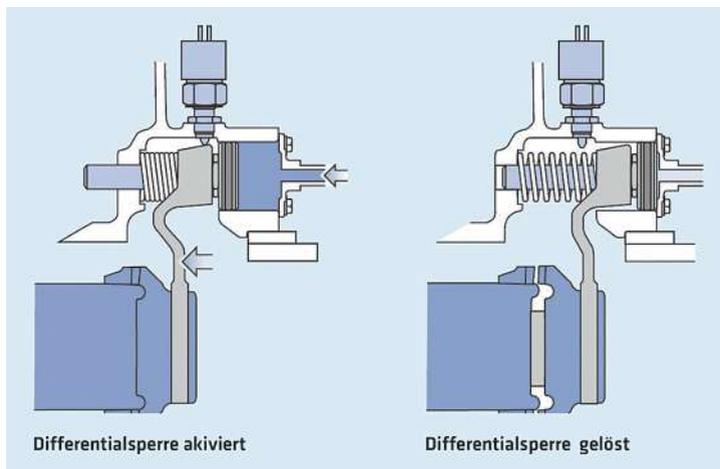


Bild 1.56

Einzelachse RSS 1360, Differenzialsperre aktiviert (links) und gelöst (rechts)

[Bild: Volvo]

1.5 Achsgeometrie

1.5.1 Radstand, Spurweite und Sturz

Die Achsgeometrie bestimmt die Stellung der Räder zueinander und zur Fahrbahn. Sie beeinflusst

- Parallellauf,
- stabilen Geradeauslauf,
- Kurvenfahrt,
- Lenkungsrückstellung,
- Ausgleich von Spielen in den Anlenkpunkten.

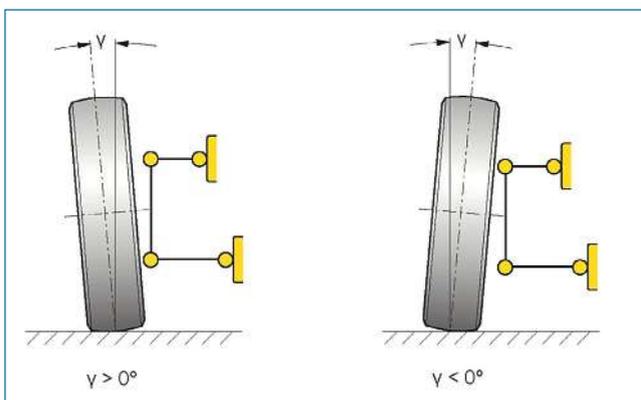
Die korrekte Stellung der Räder garantiert den optimalen Kompromiss zwischen Reifenverschleiß und Fahrstabilität.

Die wichtigsten Größen der Achsgeometrie sind:

- Radstand, das ist der Abstand zwischen den Radmittelpunkten zweier Achsen.
- Spurweite, das ist der gemessene Abstand zwischen den beiden Radaufstandspunkten (bei Einzelbereifung) oder den beiden Mittelebenen der Zwillingreifen einer Achse. Für jede Achse lässt sich eine eigene Spurweite bestimmen.
- Sturz, das ist die Neigung zwischen Radmittelebene und der Senkrechten zur Fahrbahnoberfläche; unterschieden wird nach positivem und negativem Sturz (vgl. Bild 1.57).

Bild 1.57

Positiver Sturz mit Sturzwinkel $\gamma > 0^\circ$ (links), negativer Sturz mit Sturzwinkel $\gamma < 0^\circ$ (rechts), $Y =$ Sturzwinkel [Bild: MAN]



Ein positiver Sturz ($\gamma > 0^\circ$) an der Vorderachse bewirkt einen verbesserten Geradeauslauf und verkleinert den Lenkrollradius (vgl. Bild 1.60). Nachteilig sind jedoch eine Verringerung der Seitenführungskräfte und ein erhöhter Reifenverschleiß der äußeren Lauffläche. Ein negativer Sturz ($\gamma < 0^\circ$) vergrößert den Lenkrollradius und verbessert die Seitenführung bei Kurvenfahrt. Nachteilig dabei ist allerdings ein erhöhter Reifenverschleiß der inneren Lauffläche.

Der Sturz bei Rädern an Nutzfahrzeug-Achsen ist gering positiv oder null. Vorderachsen werden meist mit positiven Sturzwinkeln ausgelegt ($\gamma = 1^\circ$). Bei Belastung der Vorderachse wird dann der Sturz eher neutral ($Y = 0^\circ$) und der Reifenverschleiß bleibt gering. Angetriebene Starrachsen haben konstruktionsbedingt einen positiven Sturzwinkel ($\gamma > 0^\circ$). Nicht angetriebene Hinterachsen werden ohne Sturz ($\gamma = 0^\circ$) verbaut.

1.5.2 Spur und Spreizung

Eigenschaften des Fahrwerks lassen sich beeinflussen. Damit kann das Fahrverhalten des Fahrzeugs verändert werden. Dies erreicht man durch eine Kombination verschiedener Werte der Achsgeometrie. So kann z. B. das Lenkspiel durch eine leichte Vorspannung des Lenkgestänges ausgeglichen werden; die Lenkung reagiert dann direkter.

Die Längendifferenz $l_2 - l_1$ zwischen den hinteren und vorderen Innenseiten der Räder in Fahrtrichtung bezeichnet man als Spur (vgl. Bild 1.58).

Die Längendifferenz $l_2 - l_1$ wird an den Innenseiten der Felgenhörner gemessen. Ist die Längendifferenz positiv, so handelt es sich um eine Vorspur. Hierbei kreuzen sich die Radmittelebenen vor dem Fahrzeug und sind um den Spurwinkel $\varepsilon/2$ gegen die Fahrtrichtung nach innen geschwenkt ($\varepsilon/2 > 0$). Ist die Längendifferenz negativ, so handelt es sich um eine Nachspur. Hierbei kreuzen sich die Radmittelebenen hinter dem Fahrzeug.

Die Neigung zwischen Lenkachse und der Senkrechten zur Fahrbahn bezeichnet man als Spreizung. Der Spreizungswinkel δ wird in Grad angegeben.

Bei nicht angetriebenen Vorderrädern sorgt eine Vorspur, kombiniert mit einem positiven Lenkrollradius (vgl. Bild 1.60) für einen guten Geradeauslauf ohne Flattern der Räder.

Die Spreizung sorgt bei einem positiven Lenkrollradius für das gewünschte Rückstellmoment beim Einschlagen der Räder, da der vordere Teil des Fahrzeugs gegen die Gewichtskraft angehoben werden muss. Dieses Rückstellmoment gewährleistet den Geradeauslauf des Fahrzeugs und verhindert ebenfalls das Flattern der Räder. Der Spreizungswinkel δ liegt üblicherweise zwischen 5° und 10° .

Angetriebene Vorderräder benötigen bei negativem Lenkrollradius ebenfalls eine Vorspur, weil die Räder durch den Antrieb nach außen schwenken wollen. Für einen guten Geradeauslauf muss dies durch einen positiven Vorspurwinkel ausgeglichen werden.

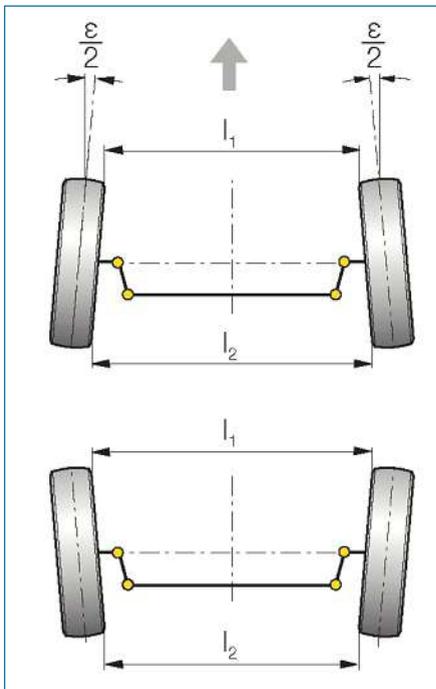


Bild 1.58 Systemdarstellung Spur, oben Vorspur ($l_2 - l_1 > 0$), unten Nachspur ($l_2 - l_1 < 0$), ε = Spurwinkel
[Bild: MAN]
 $l_2 - l_1$ = Längendifferenz zwischen den hinteren und vorderen Innenseiten der Räder in Fahrtrichtung

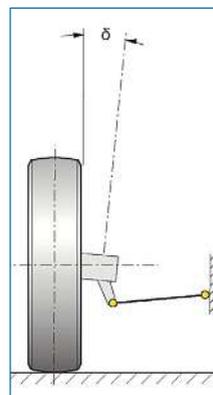


Bild 1.59
Spreizung, = Spreizungswinkel
[Bild: MAN]

1.5.3 Lenkrollradius und Nachlauf

Unter dem Lenkrollradius R_0 versteht man den seitlichen Abstand zwischen dem Radaufstandspunkt und dem Durchstoßpunkt der Lenkachse auf der Fahrbahn (vgl. Bild 1.60).

Bei einem positiven Lenkrollradius ($R_0 > 0$) liegt der Durchstoßpunkt der Lenkachse auf der Fahrbahn innerhalb der Spurweite (vgl. Bild 1.57). Auf unterschiedlich griffigen Fahrbahnoberflächen schwenkt das besser haftende Rad beim Bremsen nach außen, das Fahrzeug neigt zum Schiefziehen.

Kleine positive Werte für den Lenkrollradius begrenzen die Lenkkräfte und die Flatterneigung des Rades. Das Rückstellmoment vergrößert sich beim rollenden (nicht angetriebenen) Rad mit positiven Werten; beim angetriebenen Rad verringert es die Rückstellung.

Im Nutzfahrzeug sind positive Lenkrollradien üblich. Der untere Gelenkpunkt der Lenkachse liegt sehr weit innen.

Ein negativer Lenkrollradius ($R_0 < 0$) liegt vor, wenn der Durchstoßpunkt der Lenkachse auf der Fahrbahn außerhalb der Spurweite liegt. Das besser haftende Rad auf unterschiedlich griffigem Untergrund schwenkt beim Bremsen nach innen und stabilisiert das Fahrzeug gegen die Drehrichtung des möglichen Ausbrechens. Auch bei einem „Reifenplatzer“ vorn wird so das Fahrzeug sicher auf der Spur gehalten.

Ist der Lenkrollradius Null ($R_0 = 0$), dann liegt der Durchstoßpunkt der Lenkachse genau im Radaufstandspunkt, um den das gelenkte Rad schwenkt. Die Lenkkräfte sind durch die erhebliche Reibung sehr groß. Das gebremste Rad wird wie beim positiven Lenkrollradius nach außen geschwenkt, allerdings mit geringerem Drehmoment.

Der Nachlauf, auch Nachlaufstrecke genannt, bezeichnet den Abstand in Längsrichtung zwischen Spurpunkt (Durchstoßpunkt der Lenkungsachse auf der Fahrbahnfläche) und dem Radaufstandspunkt (vgl. Bild 1.61).

Bild 1.60

Lenkrollradius

$R_0 > 0$, positiv (oben);

$R_0 < 0$, negativ (unten),

[Bild: MAN]

1 Lenkachse

2 Radaufstandspunkt

Bild 1.61

Nachlauf; Nachlaufstrecke

und Nachlaufwinkel positiv

(positiver Nachlauf, oben),

Nachlaufversatz (unten),

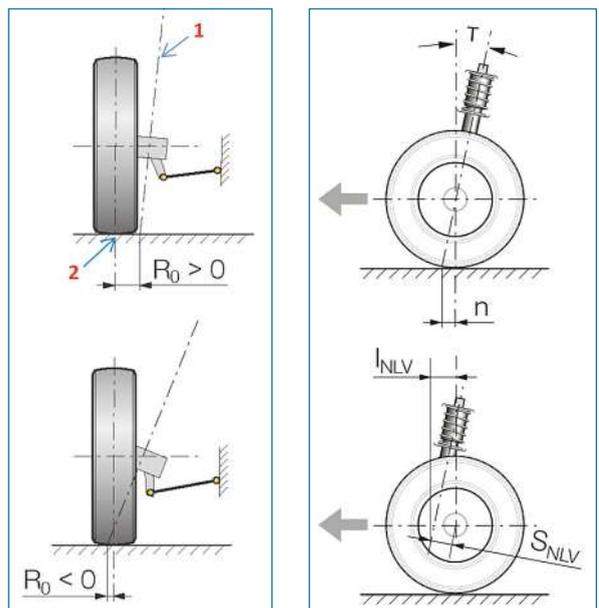
[Bild: MAN]

T = Nachlaufwinkel

n = Nachlaufstrecke

l_{NLV} = Nachlaufversatz

S_{NLV} = Sprung



Bei positivem Nachlauf liegt der Radaufstandspunkt in Fahrtrichtung hinter dem Spurpunkt, sodass das Rad der Lenkungsachse nachläuft (gezogen wird). Eine Spurstabilisierung ist die Folge.

Bei negativem Nachlauf liegt der Radaufstandspunkt vor dem Spurpunkt, sodass das Rad der Lenkungsachse vorläuft (wird geschoben). Das bewirkt zusammen mit der Spreizung das Rückstellen der Vorderräder nach Kurvenfahrt.

Der Nachlaufwinkel T (Bild 1.61, oben) wird positiv in Grad angegeben, wenn sich die Schwenkachse der Lenkung in Fahrtrichtung nach hinten neigt. Der Durchstoßpunkt der Lenkachse liegt dann vor dem Radaufstandspunkt (positiver Nachlauf). Liegt er dahinter, handelt es sich um einen negativen Nachlauf (Radvorlauf).

Stark unterschiedliche Nachlaufwinkel am linken und rechten Vorderrad können zum Schiefziehen führen. Zusammen mit dem Nachlaufversatz bestimmt der Nachlaufwinkel die Nachlaufstrecke.

Der horizontale Abstand des Radmittelpunktes von der Lenkachse in Fahrzeug-Längsebene heißt Nachlaufversatz (vgl. Bild 1.61, unten). Durch den Nachlaufversatz ist es möglich, Nachlauf (Nachlaufstrecke) und Nachlaufwinkel unabhängig voneinander einzustellen.

1.5.4 Spurdifferenzwinkel

Bei Kurvenfahrt rollt das innere Rad auf einem kleineren Radius ab als das kurvenäußere Rad. Die Schwenkwinkel müssen unterschiedlich groß sein, damit die Reifen nicht schräg über die Fahrbahn rollen und stärker als nötig verschleifen.

Der Spurdifferenzwinkel ist der Winkel, um den das kurveninnere Rad gegenüber dem kurvenäußeren Rad stärker eingeschlagen ist (vgl. Bild 1.62).

Man unterscheidet zwischen statischer und dynamischer Lenkungsauslegung. Bei der statischen Lenkungsauslegung wird der Spurdifferenzwinkel so gewählt, dass alle Räder

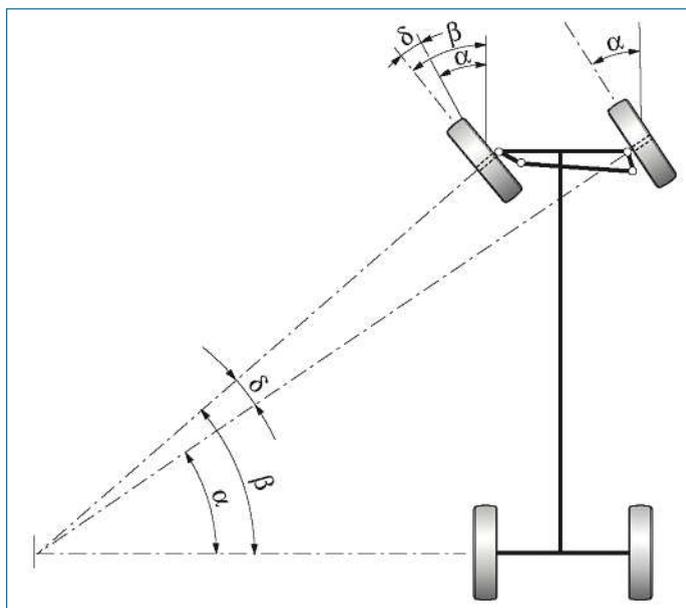


Bild 1.62

Spurdifferenzwinkel
unter Ackermann-Bedingung,
[Bild: MAN]

α = Lenkeinschlag

(Schwenkwinkel) des äußeren Rades

β = Lenkeinschlag

(Schwenkwinkel) des inneren Rades

δ = Spurdifferenzwinkel

(Spreizungswinkel)

ohne seitlichen Schlupf abrollen. Dabei gilt: $\delta = \beta - \alpha$. Dies hat zur Folge, dass sich die Senkrechten zu den Radmittelebenen in einem Punkt treffen (Ackermann-Bedingung, Bild 1.62).

Als Folge der Fliehkräfte bei der Kurvenfahrt rollen die Räder jedoch nicht gerade, sondern grundsätzlich unter Schräglaufwinkeln (Winkel zwischen Radmittelebene und Bewegungsrichtung des Rades) mit seitlichem Schlupf ab. Der seitliche Schlupf aufgrund der Schräglaufwinkel ist bei der Auslegung der Lenkinematik zu beachten und wird durch eine dynamische Lenkungsauslegung berücksichtigt. Diese Auslegung erfordert ein Abweichen von der Ackermann-Bedingung insofern, als die Räder eher parallel als mit zunehmender Nachspur eingeschlagen werden.

Der Spurdifferenzwinkel δ wird bei einem Schwenkwinkel β (Lenkeinschlag des inneren Rades) von 20° ermittelt. Gemäß der dynamischen Lenkungsauslegung wird dabei das höher belastete, kurvenäußere Rad etwas stärker eingeschlagen, da es mithilfe des dann größeren Schräglaufwinkels höhere Seitenführungskräfte aufbaut. Bei größeren Lenkwinkeln folgt man zunehmend der Ackermann-Bedingung, wie sie für die statische Lenkungsauslegung gilt.

1.6 Elektrohydraulisches Nachlaufachsenlenksystem

Die elektrohydraulischen Nachlaufachsenlenksysteme EST und ESTA ermöglichen nach Angaben des Herstellers Scania komfortables, situationsgerechtes Lenken und sorgen für einen kleineren Wendekreis sowie geringeren Reifenverschleiß. Sie sind verbaut in den Lkws der L-, P-, G-, R- und S-Serie ab dem Baujahr 2016.

Steuerung des Lenkwinkels

Es handelt sich um ein elektrohydraulisches Lenksystem, das die Nachlaufachse steuert. Bild 1.63 zeigt ein Systembild mit wesentlichen Komponenten.

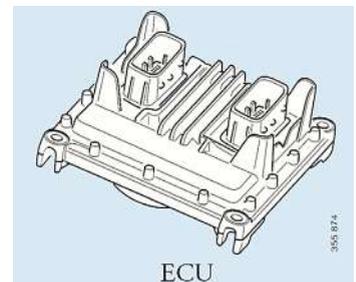
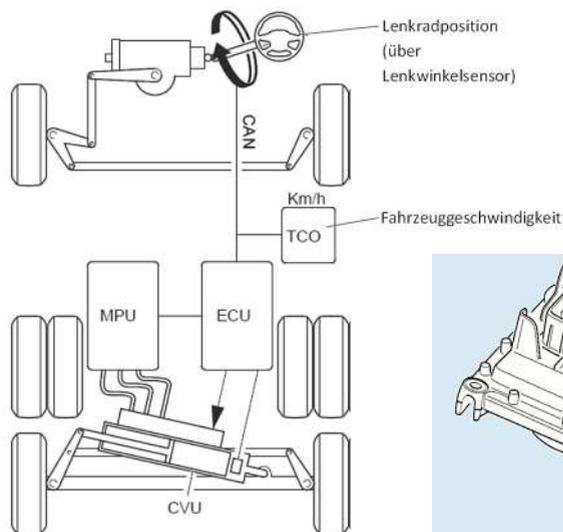
Bild 1.63

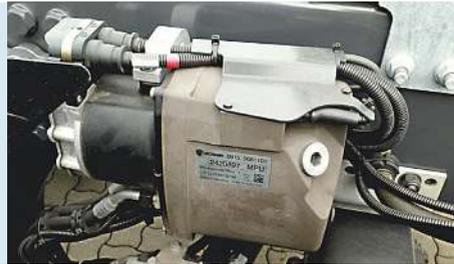
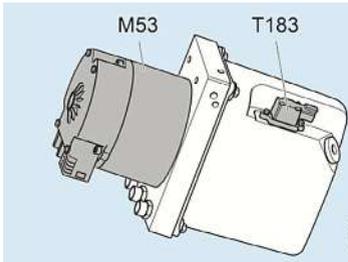
Systembild elektrohydraulisches Nachlaufachsenlenksystem mit wesentlichen Komponenten

ECU = Steuergerät

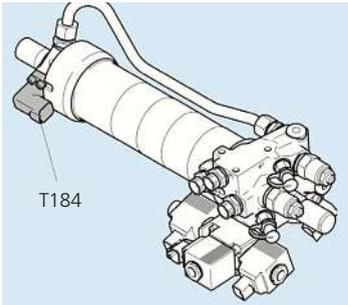
MPU = Motor Pump Unit

CVU = Cylinder Valve Unit



**MPU**

M53 = Elektromotor
T183 = Flüssigkeits-
niveauschalter

**CVU**

T184 = Kolbenpositions-
sensor

Damit der gewünschte Lenkwinkel für die Nachlaufachse berechnet werden kann, müssen Lenkradposition und Fahrzeuggeschwindigkeit im Steuergerät (ECU) abgelegt sein. Gleichzeitig empfängt das Steuergerät Informationen zum Ist-Lenkwinkel der Nachlaufachse. Das Regelsystem vergleicht Ist- und Soll-Lenkwinkel und stellt die Räder der Nachlaufachse anschließend auf den korrekten Winkel ein. Ein Hydroaggregat mit einem elektrisch betätigten Hydraulikpumpenbehälter (MPU) erzeugt einen Hydraulikstrom, der auf den Stellzylinder wirkt. Der Stellzylinder-Ventilblock (CVU) leitet den Druck an eine der beiden Kammern des Zylinders weiter. Dadurch kann der Lenkwinkel der Räder korrigiert werden.

Das Steuergerät (ECU) berechnet den Nachlaufachsenwinkel über die Kolbenposition im Hydraulikzylinder anhand der Informationen über Lenkwinkelsensor, Geschwindigkeit und geometrische Messungen, wie z. B. Achsstand, Doppelachsabstand und Lenkgeometrie (Bild 1.64 Positionen 1,2,3,4). Der berechnete Referenzwert wird als Eingangswert für die Motordrehzahlregulierung des Elektromotors (mit angekuppelter Hydraulikpumpe) verwendet. Der Ist-Nachlaufachsenwinkel wird vom Kolben-Positionssensor T 184, der sich in der Hydraulikzylindereinheit (CVU) befindet, an das Steuergerät des EST-Systems rückgemeldet.

Der Kolben-Positionssensor T184 erfasst die Position der Kolbenstange. Diese verfügt über einen begrenzten Kolbenhub. Bei voll ausgefahrener Kolbenstange ist der maximale Radeinschlag erreicht. In dieser Position der gelenkten Zusatzachse muss der Abstand zum mechanischen Anschlag und zur Einstellschraube für den maximalen Radeinschlag 4 mm betragen.

Die gelenkte Zusatzachse ist nicht direkt betroffen, wenn das Lenkrad aus der Geradeausstellung gedreht wird, da sie über einen freien Bereich verfügt (vgl. Bild 1.65).

Die Räder der gelenkten Zusatzachse werden nicht mit einem Ruck in die Geradeausstellung gebracht, wenn das Lenkrad in die Mittelstellung zurückkehrt, sondern sie folgen der Bewegung des Lenkrads, basierend auf den vom Lenkwinkel-Sensor empfangenen Informationen. Wenn das Lenkrad beispielsweise von rechts nach links gedreht wird,

Bild 1.64

Steuerung des Lenkwinkels,
T184 = Kolbenpositionssensor,
Systembild
[Bild: Scania]

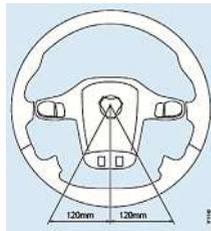
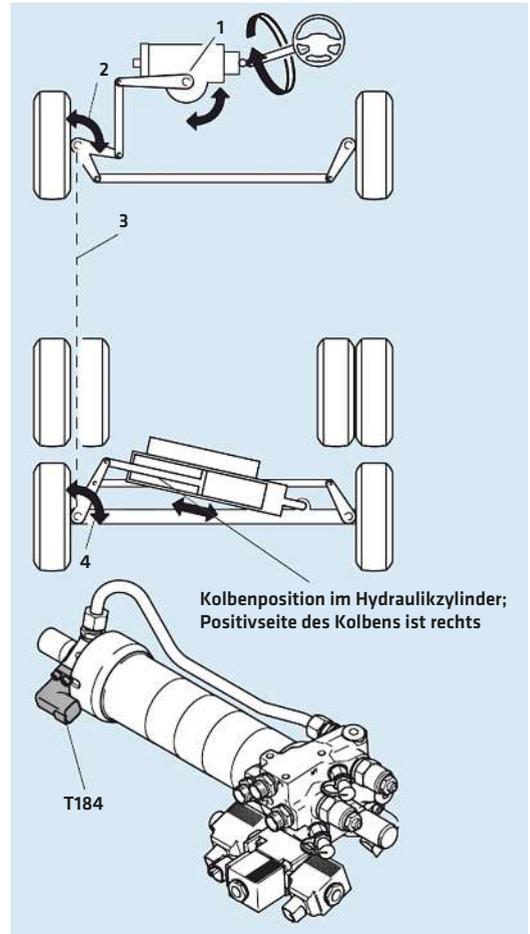


Bild 1.65 Freier Bereich Lenkrad
[Bild: Scania]



stoppen die Räder der Nachlaufachse nicht mitten in der Drehung, sondern folgen der Bewegung des Lenkrads.

Werden die Räder durch externe Einflüsse blockiert, wie z. B. durch einen Randstein, so drehen sich die Räder erst dann wieder, wenn der Randstein die Bewegung nicht mehr behindert.

Betriebsmodi

Das System verfügt über zwei Betriebsmodi: Normalbetriebsmodus und Handhabung von Fehlern zur Fehlerbehebung. Im Folgenden wird lediglich der Normalbetriebsmodus angesprochen.

Der Normalbetriebsmodus ist ausgelegt für eine Geschwindigkeit bis ca. 30 km/h und über ca. 30 km/h.