6 Radaufhängungen

6.1 Einführung

6.1.1 Aufgaben

Die Radaufhängung stellt die bewegliche Verbindung zwischen Fahrzeugaufbau und Rädern her. Sie muss:

- hohe statische (Beladung und Eigengewicht) und dynamische Kräfte aufnehmen können,
- Verzögerungs- und Beschleunigungskräfte von den Achsen auf das Chassis übertragen,
- das Chassis von den Rad- bzw. Achsbewegungen isolieren (Fahrkomfort, Beladungsschutz),
- die Räder in der vorgegebenen Position und Ausrichtung halten,
- die Fahrstabilität gewährleisten,
- den Widerstand gegen Überschlagen erhöhen.

Die Kinematik und die Elastizität der Radaufhängung haben großen Einfluss auf das Fahrverhalten und damit auf Fahrsicherheit und Komfort. Die Auslegung ist ein Kompromiss je nach Einsatzzweck; z.B. ist ein Fahrwerk, das guten Schutz gegen Überschlag liefert, normalerweise sehr steif (was den Fahrkomfort senkt).

6.1.2 Theoretische Zusammenhänge und Definition von geometrischen Größen

6.1.2.1 Radsturz

Der Radsturz γ kennzeichnet die Neigung der Radebene zur Senkrechten auf der Fahrbahn. Der Radsturz ist positiv, wenn die Radebene vom Radaufstandspunkt vom Fahrzeug weg nach außen geneigt verläuft (Bild A.6.1).
Durch einen positiven Sturz wird die Seitenführungskraft des Reifens verringert, durch einen negativen verbessert. Bei positivem Sturz kommt es zu einer Axialkraft F_A, die das Rad gegen die Radaufhängung drückt. Dadurch können die Elastizität der Radaufhängung und eventuelle Verschleißzustände ausgeglichen werden. Nachteil des Radsturzes ist, dass die Reifen zum Kreislauf auf der Fahrbahn neigen und dabei eine Gleitbewegung innerhalb der Radaufstandsfläche auftritt. Der Radsturz sollte deswegen so gering wie möglich gehalten werden. Als Radsturzwinkel werden üblicherweise Werte zwischen 0,5° und 2° realisiert.
Der Sturz ist definiert durch die Schrägstellung des Rades, gemessen von oben nach innen (negativer Sturz) oder von oben nach außen (positiver Sturz).

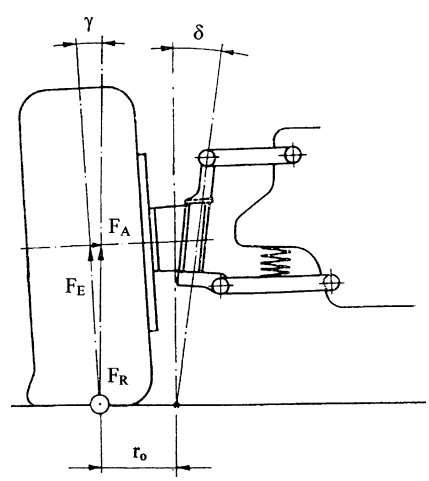


Bild A.6.1
Radsturz, Spreizung und Lenkrollhalbmesser
F_A Axialkraft, F_E Kraft in Radebene
F_R Kraft im Radaufstandspunkt
r_o Lenkrollhalbmesser
γ Radsturz
δ Spreizung

Leiter, Mißbach, Walden; Fahrwerk: Vogel Buchverlag: ISBN 978-3-8343-3001-7

Man unterscheidet zwischen

- negativem Sturz und
- positivem Sturz.

6.1.2.2 Spreizung

Die Spreizung δ ist die Neigung der Lenkachse zur Senkrechten auf der Fahrbahn in Richtung der Fahrzeugquerebene (Bild A.6.1).
Bei Einschlag der Vorderräder liegt der vom Radaufstandspunkt beschriebene Kreis nicht in der Fahrbahnebene. Es muss die gesamte Vorderachslast angehoben bzw. die entsprechende Federarbeit verrichtet werden. Daraus resultiert ein rückstellendes Moment, das das Rücklenken des Rades unterstützt.
Als Spreizungswinkel werden in der Praxis Werte zwischen 3° und 8° gewählt.
Die Spreizung bewirkt beim Einschlag der Lenkung ein Anheben des Wagenvorderteils, was zu einem geschwindigkeitsabhängigen Rückstellmoment führt. Dieses wird durch die Gewichtsverlagerung des Wagenvorderteils ermöglicht.
Sie ist definiert durch die Schrägstellung des Achsschenkelbolzens (Schwenkachse) von oben nach innen. Die Größenordnung liegt in der Regel zwischen 3° und 10°.

6.1.2.3 Lenkrollhalbmesser

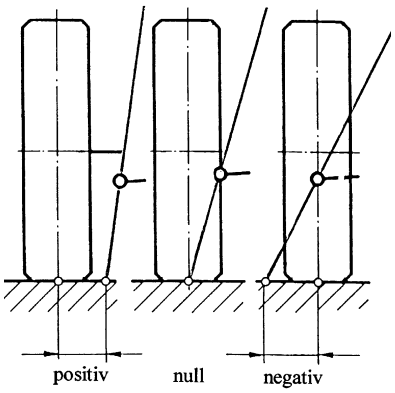


Bild A.6.2
Lenkrollhalbmesser

Als Lenkrollhalbmesser oder Lenkrollradius r_0 wird der Abstand des Mittelpunktes der Reifenaufstandsfläche vom Schnittpunkt der verlängerten Lenkdrehachse mit der Standebene bei Geradeausstellung der Räder bezeichnet (Bild A.6.2). Der Lenkrollhalbmesser wird also gemeinsam von Sturz und Spreizung gebildet. Je nach Lage des Schnittpunktes der verlängerten Lenkdrehachse innerhalb oder außerhalb der Reifenaufstandsflächen einer Achse spricht man von positivem (innerhalb) oder negativem (außerhalb) Lenkrollhalbmesser.
Der Lenkrollhalbmesser r_0 ist definiert als der Abstand zwischen den verlängerten Sturz- und Spreizungslinien auf der Fahrbahn.
Im Zusammenwirken mit dem Lenkrollhalbmesser erzeugen Kräfte am Radaufstandspunkt (z.B. Bremskräfte) Lenkbewegungen und Rückstellmomente am Lenkrad. Eine Verringerung des Lenkrollhalbmessers bedeutet eine Verkleinerung der aufzuwendenden Lenkkräfte. Ein Lenkrollhalbmesser gleich null bedeutet allerdings auch, dass die Räder beim Einschlagen nicht mehr rollen, sondern eine Zwängbewegung an der Reifenaufstandsfläche auftritt. Greift bei positivem Lenkrollhalbmesser eine einseitige Bremskraft bei etwaiger unterschiedlicher Reifenhaftung am Reifen an, so wird das besser haftende Rad nach außen geschwenkt – das Fahrzeug zieht schief. Bei negativem Lenkrollhalbmesser wird in diesem Fall das besser haftende Rad nach innen geschwenkt – es entsteht ein Moment, das dem Bestreben des Fahrzeuges, zur stärker gebremsten Seite hin auszubrechen, entgegenwirkt. Das Gleiche gilt natürlich für den Vorderradantrieb, so dass bei Fahrzeugen mit Frontantrieb generell negative Lenkrollradien zu finden sind. Die Verwendung von Rädern mit anderer

Einpresstiefe (Verschiebung des Mittelpunktes der Radaufstandsfläche und damit Änderung des Lenkrollhalbmessers) kann negative Folgen für das Fahrverhalten eines Fahrzeuges haben.
Konstruktive Folge eines negativen Lenkrollradius ist die Verwendung von Schwimmsattel-Scheibenbremsen, weil der Platz innerhalb der Felge für den zweiten Kolben einer Festsattelbremse nicht mehr zur Verfügung steht.

6.1.2.4 Vorspur

Die Vorspur ist die Differenz $l_2 - l_1$ aus den Abständen der Felgenhörner der symmetrisch zur Fahrzeuglängsachse stehenden Räder. Im Fall, dass $l_2 > l_1$, spricht man von positiver Vorspur, bei $l_2 < l_1$ gilt die Vorspur als negativ und wird auch als Nachspur bezeichnet (Bild A.6.3).
D.h., es wird unterschieden zwischen positiver Spur (vorne ist der Felgenhornabstand der Räder geringer als hinten – Hinterachsantrieb) und negativer Spur (vorne ist der Felgenhornabstand der Räder größer als hinten – Vorderachsantrieb). Bei Spur = 0 stehen die Räder parallel.
Durch die Vorspur werden Lenkungsteile (Lenktrapez) und Bereifung vorgespannt. Dadurch können sofort Seitenkräfte durch die Reifen übertragen werden, eine spielfreie Kraftübertragung vom einen auf das andere Rad senkt die Schwimmneigung des Fahrzeuges. Beim Abrollen des Rades tritt an der Reifenaufstandsfläche eine Längskraft in Form des Rollwiderstandes F_R auf. Diese bildet mit dem Lenkrollhalbmesser ein Moment um den Achsschenkelbolzen ($M_o = F_R \cdot r_o$), das das Rad nach hinten drückt, Ausgleich wird durch eine entsprechende Vorspur erreicht. Die Vorspur hebt teilweise die durch den Radsturz auftretende Verspannung in der Reifenaufstandsfläche wieder auf.

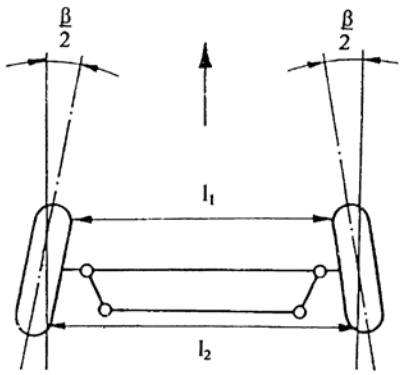


Bild A.6.3
Vorspur
l_1 Abstand der Felgenhörner vorn,
l_2 Abstand der Felgenhörner hinten
β Vorspur

6.1.2.5 Nachlauf

Der Nachlauf ε entsteht durch die Schrägstellung der Lenkdrehachse bzw. der Drehachse der Achsschenkellagerung zur Senkrechten in Fahrzeuglängsrichtung (Bild A.6.4). Der Nachlauf wird als Winkel in Grad oder als Strecke n in mm angegeben. Ist die Drehachse oben nach innen geneigt, ist der Nachlauf positiv.
Infolge der Neigung der Lenkdrehachse wird das Rad gezogen und stellt sich stets in Fahrtrichtung ein. Bei Kurvenfahrt bewirken die am Rad angreifenden Fahrbahnwiderstände ein Rückstellmoment. Bei positivem Nachlauf bewirken Bremskraft und Rollwiderstand ein stabiles Gleichgewicht, eine entgegengesetzt angreifende Antriebskraft (Motorbremsmoment) ein instabiles. Aus diesem Grund wird bei Fahrzeugen mit Vorderradantrieb ein Nachlauf gleich null oder geringfügig negativ realisiert.

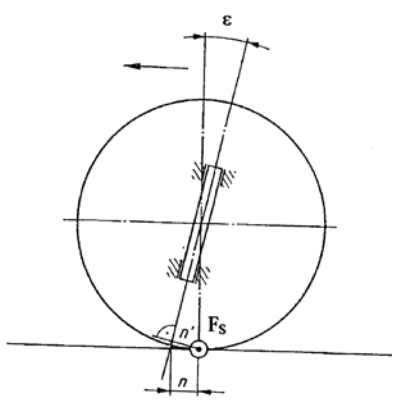


Bild A.6.4
Nachlauf
F_S Seitenkraft, ε Nachlauf

6.2 Kinematik und Elastokinematik der Radaufhängung

Die vorab beschriebenen geometrischen Größen einer Radaufhängung ändern sich, je nach Art der Radaufhängung, während des Fahrbetriebes ständig. Dies ist bedingt durch das Einfedern des Rades als auch durch die

an der Radaufhängung angreifenden Antriebs-, Brems-, Seiten-, Rollwiderstands- und Vertikalkräfte. Diese Kräfte bedingen eine Änderung der Radstellung aufgrund der Elastizitäten in der Radaufhängung. Man spricht deshalb von der Kinematik (Verhalten bei Bewegung) und Elastokinematik (Bewegung aufgrund vorhandener Elastizitäten) einer Radaufhängung. Moderne Achsaufhängungen nutzen die zwangsläufig vorhandene Elastokinematik, um mit dem resultierenden Lenkverhalten das Fahrverhalten zu optimieren. So können beispielsweise an der Hinterachse bei Seitenkräften am kurvenäußeren Rad Vorspurwinkel erzeugt werden, um einen «Mitlenkeffekt» der Hinterachse zu erreichen.
Zur Darstellung der Kinematik einer Radaufhängung wird deren räumliche Bewegung in die Radquerebene oder Front-/Heckansicht und in die Radmittellängsebene bzw. Seitenansicht projiziert.

6.2.1 Momentandrehpol und Momentanzentrum

Durch Errichten von Normalen auf die Bewegungsrichtung der jeweiligen Anlenkpunkte des Rades erhält man in der Heckansicht den so genannten Momentandrehpol. Dieser stellt das Zentrum der momentanen Drehbewegung des Rades relativ zum Aufbau dar. Am Schnittpunkt zweier Polstrahlen durch die Momentandrehpole und den Radaufstandspunkt liegt das Momentanzentrum (auch als Wank- oder Rollzentrum bezeichnet), um das sich der Aufbau dreht (Bild A.6.5).

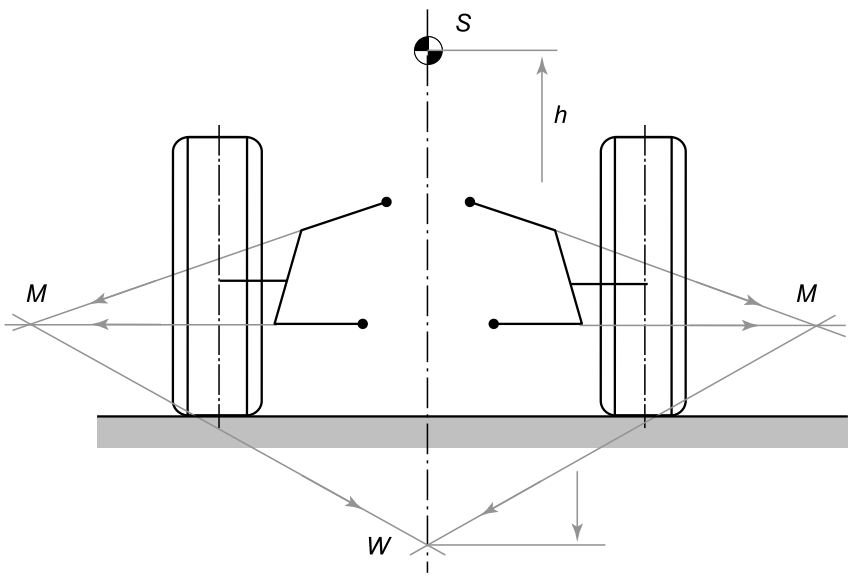


Bild A.6.5
Ermittlung des Wankzentrums
S Schwerpunkt
M Momentandrehpol
W Momentanzentrum – Wankzentrum
h Abstand Momentanzentrum – Schwerpunkt (wirksamer Hebelarm)

6.2.2 Wankzentrum

Verbindet man die Wankzentren von Vorder- und Hinterachse, erhält man die so genannte **W**anka**c**hse (WA; Bild A.6.6). Der Abstand der Wankachse zum Schwerpunkt ist der Hebelarm, mit dem eine Trägheitskraft angreift und das Wankmoment erzeugt. Die Abstützung des Wankmomentes erfolgt über die Federung. Liegt das Wankzentrum in Schwerpunktnähe, wird die Wankneigung des Aufbaus gering gehalten. Allerdings führt bei

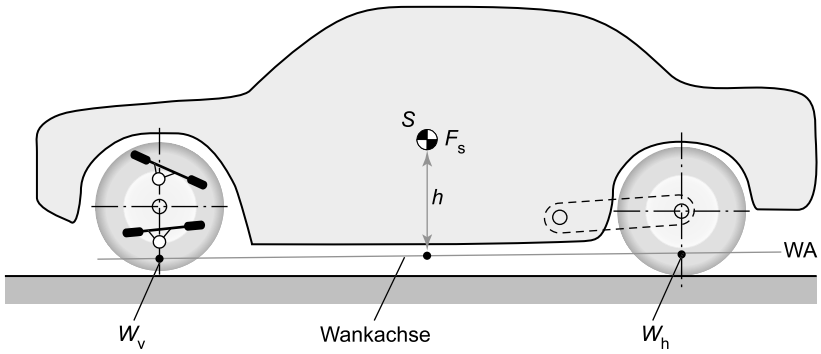


Bild A.6.6
Wankachse

Einzelradaufhängungen die Realisierung hoher Wankzentren zu großen Federwegen und damit zu entsprechenden Spurweitenänderungen. Damit ist Querschlupf am Radaufstandspunkt verbunden. Die Tendenz geht deshalb zu Wankzentren in Bodennähe (nicht höher als 150 mm). Durch die Neigung der Rollachse (bestimmt durch die Höhe der Wankzentren der Vorder- und Hinterachse) ist die Radlaständerung an den kurvenäußeren bzw. kurveninneren Rädern der Vorder- und Hinterachse beeinflussbar. Bei Lastkraftwagen wird meistens ein zur Fahrbahn paralleler Verlauf der Wankachse angestrebt. Damit wird eine übermäßige Verwindung des Rahmens verhindert. Bei Pkw fällt die Wankachse in der Regel nach vorn ab.

6.2.3 Nickzentrum

In der Radmittellängsebene bzw. Seitenansicht können ebenfalls Momentanzentren für die Vorder- und Hinterachsen dargestellt werden, um die sich die Achsen relativ zum Aufbau bewegen. Am Schnittpunkt der Polstrahlen durch die Momentanzentren und den Radaufstandspunkt liegt das Nickzentrum, um das sich der Aufbau relativ zur Fahrbahn dreht (Bild A.6.7). Das Nickmoment ergibt sich analog dem Wankmoment aus der im Schwerpunkt angreifenden Kraft (hauptsächlich Brems- und Beschleunigungskräfte) und dem Hebelarm, der aus dem Abstand des Nickzentrums zum Schwerpunkt ($h_S - h_N$) resultiert.

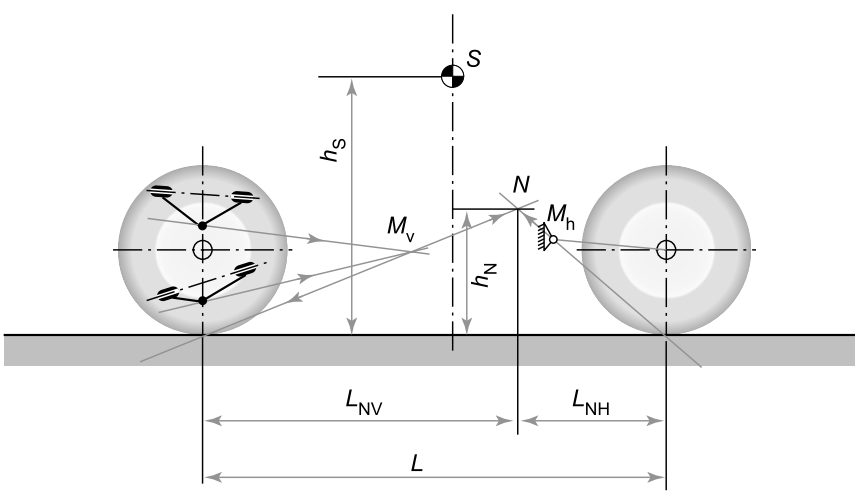


Bild A.6.7
Ermittlung des Nickzentrums
S Schwerpunkt
M_v Momentanzentrum vorn
M_h Momentanzentrum hinten
N Nickzentrum
h_S Höhe des Schwerpunktes
h_N Höhe des Nickzentrums
L_{NN} Abstand des Nickzentrums zur Vorderachse
L_{NH} Abstand des Nickzentrums zur Hinterachse
L Radstand

6.2.4 Eigenlenkverhalten

Der Begriff Eigenlenkverhalten beschreibt die Kursänderungen eines Fahrzeuges ohne einen Eingriff des Fahrers. Die drei wichtigsten auftretenden Fahrzeugzustände dabei sind das Gieren, Schwimmen oder Rollen. Beim **Gieren** des Fahrzeuges erfährt dieses eine Drehbewegung um die Hochachse, von **Schwimmen** spricht man, wenn das Fahrzeug eine Seitenverschiebung erfährt, und von **Rollen** im Fall einer Drehbewegung um die Längsachse, also eine Seitenneigung. Da diese Bewegungsformen sich überlagern, ist eine eindeutige Definition für das Eigenlenkverhalten schwierig.
In der Fahrwerkstechnik werden deshalb oft die Schräglaufwinkel an der Vorder- und Hinterachse verglichen.
Der **Schräglaufwinkel** beschreibt den Winkel zwischen dem Vektor der Abroll- oder Umfangsgeschwindigkeit in der Radebene und dem Vektor der Aufstandspunktgeschwindigkeit. Bei ungestörter Geradeausfahrt liegen diese Vektoren übereinander, der Schräglaufwinkel ist also 0. Lenkt der Fahrer in eine Kurve (oder unterliegt das Fahrzeug anders einem Kräfteeinfluss, zum Beispiel durch Seitenwind), entsteht ein Unterschied zwischen der Bewegungsrichtung (Vektor der Aufstandspunktgeschwindigkeit) und der Ausrichtung des Rades (Vektor der Abroll- oder Umfangsgeschwindigkeit). Am Reifen des Fahrzeuges entsteht also immer –

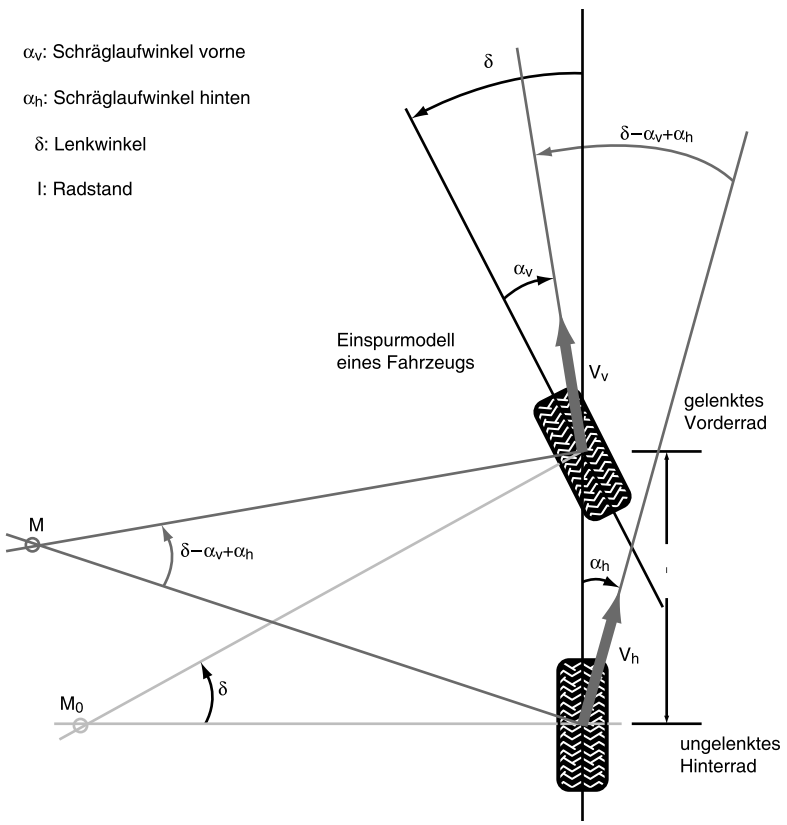


Bild A.6.8
Einspurmodell

zusätzlich zum Längsschlupf im Fall von Brems- und Antriebskräften – Querschlupf, sobald Seitenkräfte übertragen werden müssen.
Zur Definition des Eigenlenkverhaltens stellt man das Fahrzeug als Einspurmodell dar (Bild A.6.8). Man geht davon aus, dass bei nicht allzu großen Lenkwinkeln die Schräglaufwinkel beider Räder einer Achse nahezu gleich sind, und beschränkt die weiteren Betrachtungen auf eine Seite des Fahrzeuges. Zeichnerisch lassen sich nun der Momentanpol M als Mittelpunkt der Kreisbahn, auf der sich das Fahrzeug tatsächlich bewegt, und der Momentanpol M_0 als Mittelpunkt der Kreisbahn, auf der sich das Fahrzeug ohne Schräglaufwinkel an Vorder- und Hinterachse bewegen würde (wäre bei ganz geringer Geschwindigkeit der Fall), darstellen.

6.2.5 Kursstabilität

Je nach Lage der beiden Momentanpole und dem Radius R der Kreisbahn spricht man von neutralem, untersteuerndem oder übersteuerndem Fahrverhalten (Bild A.6.9). Vergrößert sich durch das Eigenlenkverhalten der gefahrene Kurvenradius, so spricht man vom **Untersteuern**, beim Verringern des Kurvenradius vom **Übersteuern**. Falls das Eigenlenkverhalten keine Kursänderung bewirkt, so verhält sich das Fahrzeug neutral.
Oder anders: Man spricht von Untersteuern bei einem Fahrzeug, wenn der Schräglaufwinkel der Vorderräder unverhältnismäßig größer als der Schräglaufwinkel der Hinterräder ist, das Fahrzeug schiebt also über die Vorderräder in einer Kurve nach außen. Im Gegensatz dazu spricht man von Übersteuern, wenn der Schräglaufwinkel der Hinterräder größer ist als der Schräglaufwinkel der Vorderräder, also das Heck des Fahrzeuges ausbricht.

6.2.6 Kräfte an Radaufhängungen

Die auf Radaufhängungen einwirkenden Kräfte haben ihre Ursache in der Berührung zwischen Reifen und Fahrbahn. Diese Kräfte werden von der Radaufhängung in den Aufbau bzw. Rahmen übertragen. Es handelt sich dabei um hohe statische Kräfte durch das Eigengewicht des Fahrzeuges und der möglichen Zuladung, aus denen wiederum hohe dynamische Kräfte bei Antriebs- und Bremsvorgängen sowie Kurvenfahrt resultieren. Je nach Hebelübersetzung der einzelnen Radaufhängungsteile werden die zwischen Reifen und Fahrbahn entstehenden Kräfte vergrößert oder verkleinert. So kann die dynamische Radlast bis zum Dreifachen der statischen Radlast betragen, aber auch ein komplettes Abheben des Rades während der Fahrt ist nicht ungewöhnlich.
Eine Berechnung der Kräfteverhältnisse in einer gewählten Radaufhängungskonstruktion kann nur teilweise erfolgen. In aller Regel sind zusätzlich entsprechende Prüfstands- und Fahrversuche erforderlich.

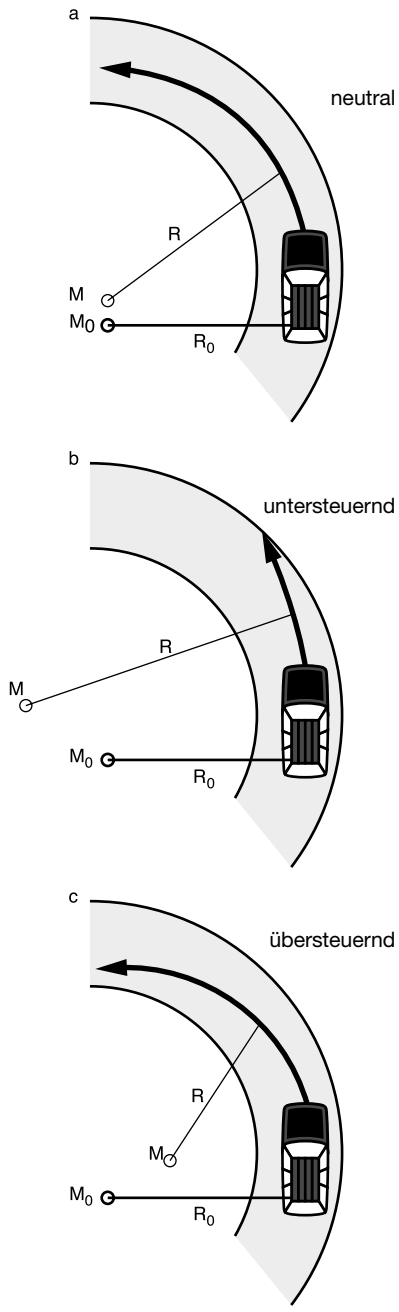


Bild A.6.9
Fahrverhalten

6.3 Bauformen von Radaufhängungen

Eine erste grobe Einteilung der unterschiedlichen Radaufhängungen (egal ob Vorder- oder Hinterachse) kann nach dem Freiheitsgrad der Achse bzw. Kopplung von linkem und rechtem Rad in

- Starrachsen,
- Halbstarrachsen und
- Einzelradaufhängungen

erfolgen [2].

Starrachsen
Eine Achsbrücke verbindet linkes und rechtes Rad (Bild A.6.10). Im einfachsten Fall erfolgt die Führung dieser Achsbrücke durch Blattfedern, bei sehr weicher Federauslegung werden die Seitenkräfte zusätzlich über einen so genannten **Panhardstab** abgestützt (nach französischen Automobilkonstrukteur Renè Panhard benannt, der diese Konstruktion bereits Ende des 19. Jahrhunderts entwickelte). Werden Schrauben- oder Luftfedern verwendet, erfolgt die Führung mittels Längslenkern, die Seitenkräfte zwischen Aufbau und Achse werden durch Panhardstab oder Wattgestänge (zwei Stäbe mit einem Gelenk in der Mitte, um den Seitenversatz zu reduzieren) übertragen. Starrachsen sind einfach und damit wirtschaftlich in der Herstellung. Beim Einfedern kommt es zu keiner Änderung der Spur-, Sturz- und Vorspurwerte (bei einseitigem Einfedern kommt es allerdings zur Schrägstellung der gesamten Achse und damit zur Änderung des Sturzes sowie zur Radlaständerung des anderen Rades). Nachteilig sind die großen ungefederten Massen und der große Raumbedarf der Achskonstruktion beim Durchfedern.

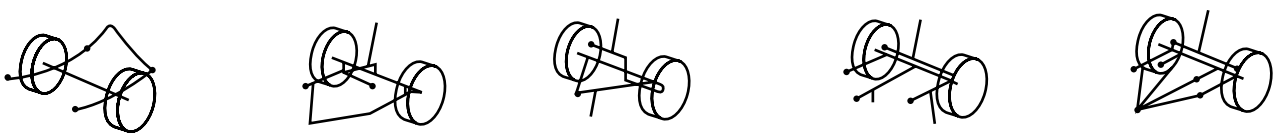


Bild A.6.10
Starrachsen [Bosch]

Halbstarrachsen
Sie bestehen aus zwei biege- und torsionssteifen Längsarmen oder Lenkern, die durch ein torsionsweiches Querprofil (Achsbrücke) miteinander verbunden sind. Halbstarrachsen verhalten sich bei gleichmäßigem Einfedern ähnlich Starrachsen, Vorspur und Sturz bleiben nahezu konstant. Ein weiterer Vorteil ist die einfache und kostengünstige Herstellung sowie einfache Montage an meist nur zwei Lagerstellen (Bild A.6.11).

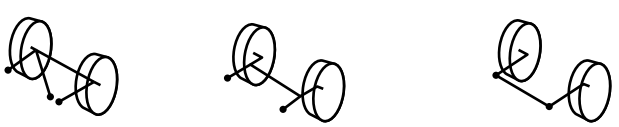


Bild A.6.11
Halbstarrachsen [Bosch]

Einzelradaufhängungen
Bei der Einzelradaufhängung beeinflussen sich die Räder einer Achse nicht. Von Vorteil sind der kleine Raumbedarf und das geringe Gewicht, wodurch auch die ungefederten Massen klein gehalten werden können

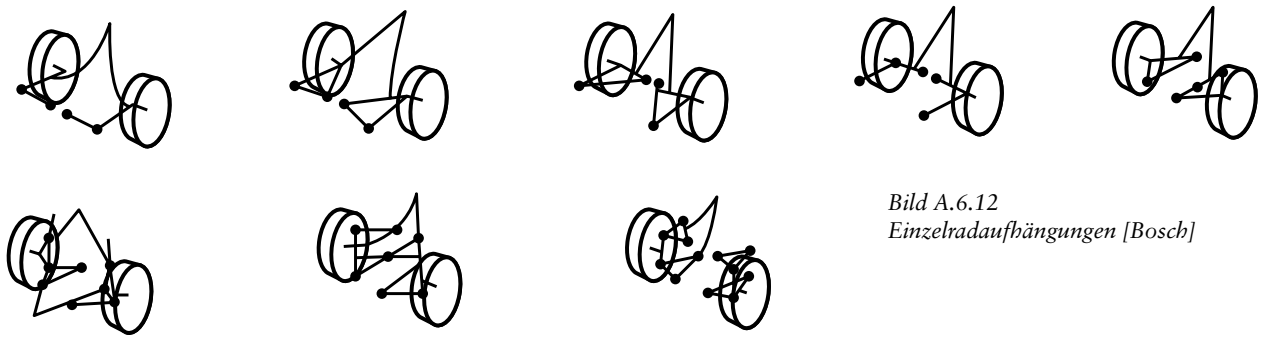


Bild A.6.12
Einzelradaufhängungen [Bosch]

(Bild A.6.12). Der kinematischen Auslegung sind bei der Einzelradaufhängung weniger Grenzen gesetzt. Einzelradaufhängungen können nach der Bewegungsgeometrie in Einzelradaufhängungen mit einer Lenkerebene (Rad und Radträger schwenken um eine feste Drehachse und führen damit eine Bewegung nur in einer Ebene aus) oder Einzelradaufhängungen mit mehr als einer Lenkerebene unterschieden werden. Typische Vertreter der Einzelradaufhängungen mit einer Lenkerebene sind Längslenker-, Schräglenker- und Querlenkerachsen (Pendel). Federbein- oder McPherson-Federbein sowie Dämpferbeinachsen, Doppelquerlenkerachsen und die so genannten Mehrlenkerachsen sind dagegen Einzelradaufhängungen mit mehr als einer Lenkerebene.

6.3.1 Vorderradaufhängungen von Pkw

Nach Angaben der Fa. ZF Lemförder Fahrwerktechnik AG kann man von einer Verteilung der Achskonzepte gemäß Tabelle A.6.1 ausgehen.

Tabelle A.6.1
Aufteilung der Achskonstruktionen [ZF Lemförder GmbH]

Fahrzeugsegmente	Vorderachstypen				Hinterachstypen					
	Federbein	Doppel-quer-lenker	Starr		Verbund-lenker u. Torsions-kurbel	Starr	Mehr-lenker	Längs-lenker u. Schräg-lenker	Doppel-quer-lenker	Federbein und restliche
Mini	5,6	–	–	5,6	2,8	0,8	0,5	1,2	–	0,3
Kleinwagen	17,7	–	–	17,7	11,9	1,1	0,3	4,2	–	0,1
Untere Mittelklasse	18,8	0,3	–	19,2	9,3	0,1	4,3	4,7	0,9	<0,1
Mittelklasse	9,9	4,3	–	14,2	4,5	<0,1	7,4	0,4	1,8	–
Obere Mittelklasse	5,7	3,2	–	8,8	0,9	0,5	5,7	0,3	0,6	0,8
Luxus und Sport	1,8	1,7	–	3,5	0,1	0,7	1,5	0,8	0,6	<0,1
Off-Road	3,6	6,5	1,3	11,4	0,1	6,3	2,8	0,1	2,1	–
MPV	6,4	0,8	–	7,2	2,2	2,5	1,5	0,7	0,1	0,1
Transporter	2,2	3	1,1	6,3	0,2	5,9	<0,1	0,1	0,1	–
Pick-Up	4,7	1,3	0,1	6,1	<0,1	5,7	0,2	0,1	–	–
	76,4	21,1	2,5	Summe	32	23,7	24,2	12,6	6,2	1,3

6.3.1.1 Federbeinachse – McPherson-Achse

Sowohl bei den angetriebenen wie auch den nicht angetriebenen Vorderachsen von Pkw kommt überwiegend die Federbeinachse zum Einsatz (Bilder A.6.13 und 14).
Das Federbein bzw. die Kolbenstange stellen bei der Federbeinachse die obere Radführung dar. Die untere Radführung erfolgt durch einen Querlenker. Dieser kann auch aus zwei Einzellenkern bestehen, wenn beispielsweise andere Bauteile und vorhandene Bauräume am Fahrzeug dazu zwingen. Um die durch Querkräfte entstehende hohe Dämpferreibung zu reduzieren, wird die Feder schräg zur Dämpfermittelachse angeordnet.

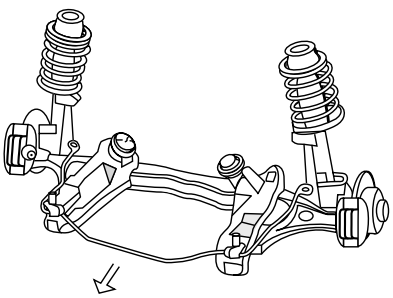
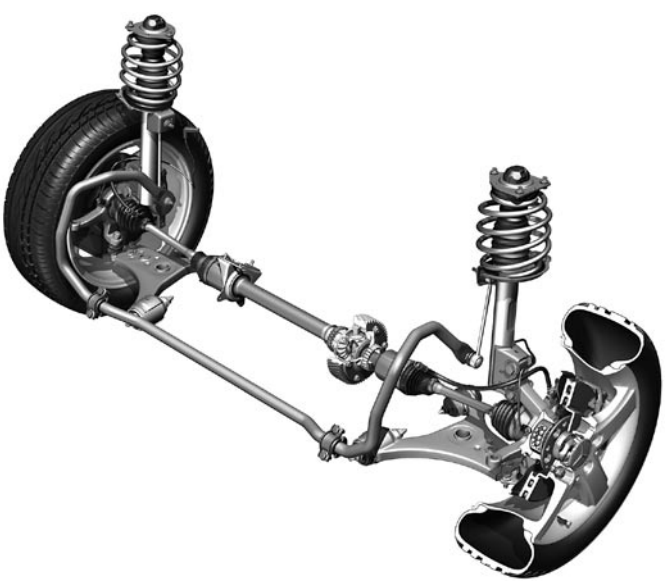


Bild A.6.13
Federbeinachse [Audi]



Bild A.6.14
Federbeinachse der Mercedes-Benz-B-Klasse [Daimler]



Leiter, Mißbach, Walden; Fahrwerk: Vogel Buchverlag: ISBN 978-3-8343-3001-7

Gegenüber anderen Einzelradaufhängungen, wie zum Beispiel den Doppelquerlenkerachsen, weist die Federbeinachse schlechtere kinematische Eigenschaften auf. Zwar ist die Vorspuränderung durch Länge und Höhenlage der Spurstange gut zu beeinflussen, Spurweiten und Sturzänderung beim Ein- und Ausfedern sind allerdings weniger beeinflussbar.
Größter Vorteil der Federbeinachse ist die Zusammenfassung von Radführung, Dämpfung und Federung in einem kompakten Bauteil. Der obere Anlenkpunkt an der Karosserie wird weit nach oben verschoben, so dass Bauraum für den Motor und lange Federwege zur Verfügung stehen.

6.3.1.2 Dämpferbeinachse

Einen geringen Anteil bilden bei den nicht angetriebenen Vorderachsen auch Dämpferbeinachsen (Bild A.6.15). Diese unterscheiden sich von den Federbeinachsen durch die Abstützung der Feder auf dem Querlenker und nicht auf dem Dämpferrohr.

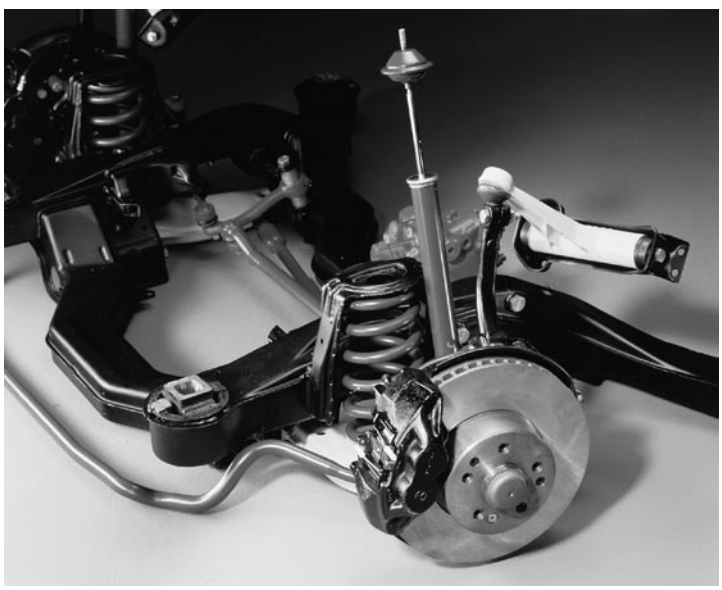


Bild A.6.15
Dämpferbeinachse [Daimler]

6.3.1.3 Doppelquerlenkerachse

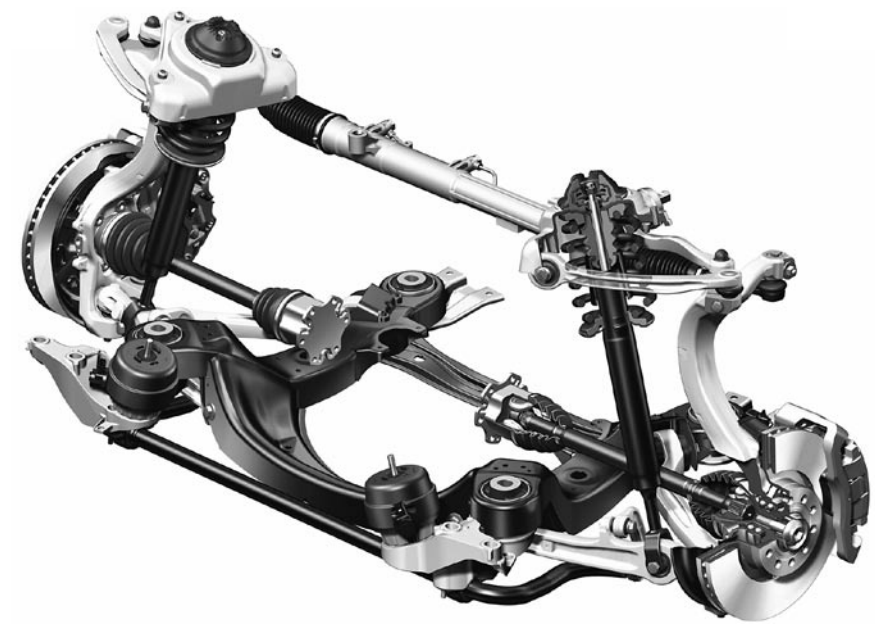
Der Anteil der Doppelquerlenkerachsen ist seit Mitte der 90er Jahre im Steigen begriffen. Dies gilt vor allem für nicht angetriebene Vorderachsen. Die Radführung erfolgt bei der Doppelquerlenkerachse über zwei übereinander liegende Querlenker (Bild A.6.16).
Gegenüber der Federbeinachse besitzt die Doppelquerlenkerachse Vorteile hinsichtlich der geometrischen Auslegungsmöglichkeiten und der Kinematik. Durch einen kurzen oberen Dreieckslenker ist es möglich, eine nur geringe Spurweitenänderung während des Ein- und Ausfedervorganges sowie einen Anstieg der negativen Sturzwerte während des Einfederns zu erreichen. Je nach Länge und Anbindung der Lenker kann die Lage des Wankzentrums und des Nickpols beeinflusst werden.

Leiter, Mißbach, Walden; Fahrwerk: Vogel Buchverlag: ISBN 978-3-8343-3001-7

Bild A.6.16
Doppelquerlenkerachse Audi Q7
[Audi]



Bild A.6.17
Vierlenker-Vorderachse des Audi A6
[Audi]



6.3.1.4 Mehrlenkerachse

Ersetzt man die Querlenker der Doppelquerlenkerachse durch einzelne Stablenker, sind die geometrischen Auslegungsgrößen nahezu frei wählbar. Beim Audi A8 und A4 wurde so die Drehachse des Radträgers in die Nähe des Radmittelpunktes gelegt, wodurch der Einfluss von Antriebskräften und Unwuchtanregungen wegen des nur sehr kleinen Störkrafthebelarms minimiert ist (Bilder A.6.17 bis A.6.19).

Leiter, Mißbach, Walden; Fahrwerk: Vogel Buchverlag: ISBN 978-3-8343-3001-7

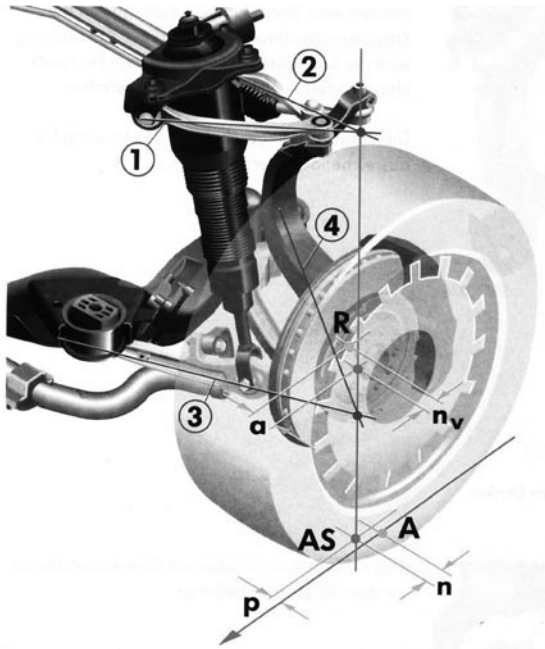


Bild A.6.18
Virtuelle Lenkachse der Vierlenker-Vorderachse des Audi A8
1 + 2 Verlängerungen der oberen Lenker
3 + 4 Verlängerungen der unteren Lenker
R Radmittelpunkt
A Radaufstandspunkt
n Nachlaufstrecke
n_v Nachlaufversatz
p Lenkrollradius
a Störkrafthebelarm

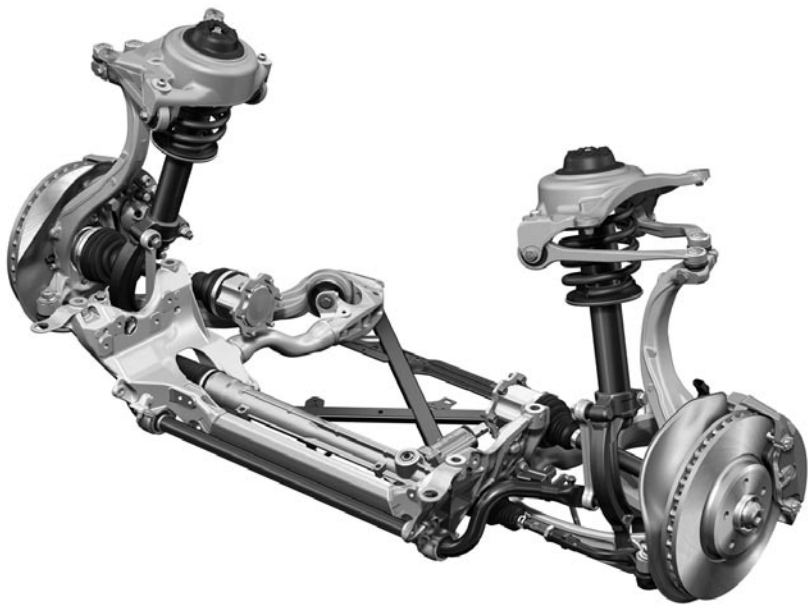


Bild A.6.19
Fünflenker-Vorderachse des Audi A4 [Audi]

6.3.2 Hinterradaufhängungen von Pkw

6.3.2.1 Starrachse

Beide Räder der Achse sind durch eine starre Achse miteinander verbunden. Bei gleichmäßigem beidseitigen Einfedern tritt keine Veränderung von Spur und Sturz auf, auch der Radstand bleibt im Normalfall unbeeinflusst. Dadurch wird der Reifenverschleiß vermindert. Kommt es allerdings zum einseitigen Einfedern, zum Beispiel bei Überfahrt über ein einseitiges Hindernis, beeinflussen sich die Räder der Achse, und es kommt zur Sturzänderung, da die gesamte Achse schräg gestellt wird. Von Nachteil sind auch die hohen ungefederten Massen der Starrachse und der da-

Bild A.6.20
Starrachse an Längsblattfedern



mit verbundene Fahrkomfort – Gründe, weshalb die Starrachse heute nur noch in Geländewagen und Kleintransportern in größerem Umfang verbaut wird. Unterschieden werden kann in Starrachsen mit integriertem Antrieb (Bild A.6.20) und Starrachsen mit getrenntem Antrieb. Letztere werden auch nach ihrem Erfinder Vicomte Albert de Dion als De-Dion-Achsen bezeichnet. Um die ungefederten Massen zu reduzieren, werden die Hinterräder achsunabhängig durch Doppelgelenkwellen angetrieben.

6.3.2.2 Längslenker

Längslenkerachsen werden vor allem in Kleinwagen und Pkw der unteren Mittelklasse in Verbindung mit Frontantrieb eingesetzt. Liegt die Lenkerdrehachse waagerecht, verändern sich bei Einfedern die kinematischen Kenngrößen Spur, Vorspur und Sturz nicht (Bild A.6.21).

Bild A.6.21
Längslenker-Hinterachse mit hydropneumatischer Federung [Citroën]

