

**Prof. Dipl. Ing. K. H. Hoseus**

Lehrbeauftragter an der  
Pädagogischen Hochschule Köln

# Fahrzeug- lenkungen

Vorabdruck aus dem

**fischer**technik<sup>®</sup>

Experimentier- und  
Modellbuch

Band 2-5



Fischer-Werke  
Artur Fischer · 7241 Tumlingen

# Fahrzeuglenkungen

Ein Ausschnitt aus dem fischertechnik-Experimentier- und Modellbuch 2-5  
für die fischertechnik-Baukästen hobby 1 und hobby 2 bzw. u-t 1 und u-t 2

**von Prof. Dipl.-Ing. K. H. Hoseus**  
Lehrbeauftragter an der  
Pädagogischen Hochschule Köln

## Vorwort zum Sonderdruck

fischertechnik ist das System, aus dem man nie herauswächst. Hochpräzise, verschleiß- und bruchfeste, vielseitig verwendbare Bauelemente gestatten Anwendungen, die vom kindlichen Spiel bis zum Freizeitvergnügen und weiterbildenden Hobby einerseits und vom Vorschulbaukasten bis zum Medium im tertiären Schulbereich für die Berufsausbildung bis zur theoretisch-wissenschaftlichen Unterweisung andererseits reichen.

Ein Baukastensystem, das als hardware einen so breiten Anwendungsbereich umfaßt, benötigt eine auf den einzelnen Anwender abgestimmte software in Form von Anleitungsbüchern, die – vom reinen Spielzeugbaukasten einmal abgesehen – keine Modellsammlungen zum sklavischen Nachbauen anbieten, sondern den Benutzer nach Vermittlung der Grundkenntnisse der Fügetechnik an die selbständige Lösung einfacher und komplizierterer Probleme heranführen und ihm überdies ein möglichst großes Maß an technischer Bildung vermitteln. Aus dieser Überlegung entstanden die fischertechnik-hobby-Experimentier- und Modellbücher. Während die ersten Bände dieser Reihe dem Bau von Modellen noch einen breiten Raum verstatten, tritt bei den folgenden Bänden mit der Kennzeichnung „Oberstufe“ die Theorie in wachsendem Maße hinzu, die anhand der Modelle erläutert wird. Umgekehrt wird dadurch die Aussagekraft derselben gesteigert. Zu der Freude am gelungenen Werk tritt die Befriedigung über das Wissen um die Funktion. In diesem Sinne wird vor allen Dingen der technisch interessierte Laie und der hobby-Freund mit ernsthaftem

technischem Bildungsstreben angesprochen. Die Modelle sind durchweg als sogen. Funktionsmodelle konzipiert, d. h. auf wirklichkeitsgetreue Formgebung wurde zugunsten der klaren Herausarbeitung des Wirkungsprinzips weitgehend verzichtet. Es wurde versucht, die Funktion möglichst genau zu erfassen. Die theoretischen Ausführungen in den Büchern sollen das Verständnis vertiefen, auf Probleme hinweisen und auch zur rechnerischen oder zeichnerischen Durchdringung des behandelten Gebietes anregen.

Hierfür gibt dieser Sonderdruck aus dem Oberstufenband 2-5 ein Beispiel. Zum Bau der Modelle sind je ein Baukasten hobby 1 und hobby 2 oder die Lernbaukästen u-t-1 und u-t-2 erforderlich.

Moderner technischer Unterricht ist in besonderem Maße medienintensiv, wobei der Lernbaukasten (zur eigenen Erarbeitung technischer Sachverhalte in der Hand des Schülers) und der Lehrbaukasten (zu Demonstrationszwecken in der Hand des Lehrers) bereits seinen festen Platz hat. Für die Zwecke der Berufsausbildung sind Baukastenmodelle von besonderem Wert, weil durch die fertigungsbedingte oder vom Styling oder anderen Gesichtspunkten bestimmte Form der Maschinen und Geräte deren Funktion oft weitgehend verschleiert wird. Während für die unmittelbare Anschauung im allgemeinen Schnittmodelle oder Originalteile zu Demontagen zur Verfügung stehen, kann häufig die Wirkungsweise im Betriebszustand nicht gezeigt werden (Kfz-Getriebe, Wasserturbine). Hier leistet das funktions-

getreue Modell gute Dienste. Aufgrund der besonderen Fügeweise lassen sich an den fischertechnik-Modellen sehr leicht maßliche Veränderungen oder sonstige Variationen vornehmen und deren Einfluß studieren, was am Originalgerät nur mit hohem technischem und zeitlichem Aufwand – wenn überhaupt – durchführbar wäre.

Von besonderem Interesse sind die Experimentier- und Modellbücher aber auch für den Lehrer des Primär- und Sekundarschulbereiches, der sich vor die Aufgabe gestellt sieht, einen Technik-Unterricht aufzubauen. Sie vermitteln hier dem Lehrer die wichtige Sachinformation über die zu behandelnden Gegenstände und dies in einer Weise, wie er sie anschaulich, nach der jeweils gebotenen didaktischen Reduktion anhand der Modelle weitergeben kann. Hierbei ist allerdings kaum daran gedacht, die abgebildeten Modelle im Klassenverband nachbauen zu lassen. Die Modelle sollen in erster Linie zur eigenen Information und zum eigenen Verständnis des Lehrers und vielleicht als Demonstrationsobjekte dienen. Sie könnten auch in entsprechenden Arbeitsgemeinschaften angefertigt werden. In diesem Falle stehen als **L e r n** baukasten für die Hand des Schülers die fischertechnik-u-t-Kästen zur Verfügung. Ein Hinweis: Der Material-Inhalt der Kästen u-t 1, u-t 2, u-t S und u-t 3 ist praktisch identisch mit hobby 1-2-S und 3. Auf der letzten Seite ist eine Übersicht über den derzeitigen Aufbau der fischertechnik-hobby-Bibliothek zu finden.

Die fischertechnik Experimentier- und Modellbücher der „Oberstufe“ werden mit der Zeit alle wichtigen Themen aus

dem Maschinenbau, der Elektrotechnik und der Elektronik behandeln. Sie vermitteln naturgemäß keine vollständige ingenieurmäßige Ausbildung; aber sie bieten einen Einblick in das ingenieurmäßige Arbeiten und Denken, ohne den die Bewältigung des Phänomens Technik und die kritische Beurteilung ihrer Wirkungen auf alle Lebensbereiche nicht möglich ist.



# Inhaltsverzeichnis des hobby Experimentier- und Modellbuches 2-5

	Seite
<b>Viergelenkgetriebe</b>	4
Kurbelschwinge	6
Doppelschwinge erster Art	8
Doppelkurbel	9
Doppelschwinge zweiter Art	10
<b>Parallelkurbelgetriebe</b>	18
Antiparallelkurbelgetriebe	23
Kurbelversetzung	24
Blindwelle	26
<b>Scheibenwischergetriebe</b>	30
Pendelwischer	30
Zahnstangentrieb	32
Gegenlauf-Doppelwischer	33
Gleichlauf-Doppelwischer	33
Parallel-Wischer	36
<b>Dreirad-Fahrzeuge</b>	38
Wegausgleich bei Kurvenfahrt	38
Vorderradantrieb	40
Hinterradantrieb	40
Kipp-Verhalten	42
Lenk-Verhalten	47
Knicklenkung	50

	Seite
<b>Fahrzeuglenkungen</b>	53
Drehschemellenkung	53
Achsschenkellenkung	54
Vorderradlenkung	60
Hinterradlenkung	60
Allradlenkung	61
Lenktrapez	63
Spurstangen-Anordnung	64
Lenkgetriebe	66
Bemessungshinweise	72
Flattern der Räder	76
<b>Weitere hobby-Bücher</b>	80

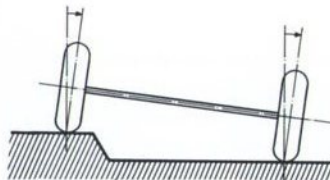
Sonderdruck

# Fahrzeuglenkungen

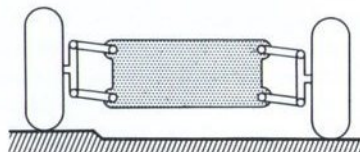
**Starrachse und Einzelradaufhängung** Von einer Starrachse spricht man, wenn die beiden Räder einer Achse durch einen Achskörper miteinander verbunden sind, so daß die Federungsbewegung eines Rades sich auf das andere auswirkt, wie Bild 53.1 zeigt. Bei der Einzelradaufhängung, die in Bild 53.2 dargestellt



53.1



53.2



ist, kann ein Rad unabhängig vom andern einfedern. Die Räder beeinflussen sich in dieser Hinsicht nicht.

**Starrachsen mit gelenkten Rädern**

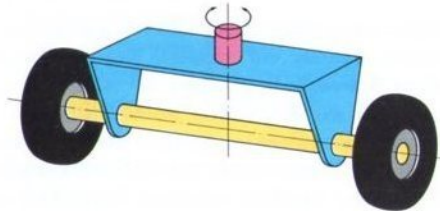
Die Räder einer Starrachse können gelenkt sein. Während in früheren Jahren die meisten Kraftfahrzeuge mit gelenkten Starrachsen ausgerüstet waren, sind heute aus Gründen, die wir uns später noch erarbeiten wollen, Starrachsen mit gelenkten Rädern beim Personenkraftwagen nicht mehr in Verwendung. An Nutzfahrzeugen (Lkws, Omnibusse) ist aber die gelenkte Starrachse nach wie vor in Gebrauch, so daß es sich durchaus lohnt, diese Bauart näher zu betrachten.

**Drehschemel- und Achsschenkel-Lenkung**

Man unterscheidet bei den Lenkungen grundsätzlich zwei Bauweisen: die Drehschemel- und die Achsschenkel-Lenkung. Zur experimentellen Untersuchung dieser beiden Lenksysteme fertigen Sie sich das eigenartige Modell nach Bild 55.1 und 55.2 an, einen Wagen, der am einen Ende Drehschemel-, am anderen Achsschenkel-Lenkung besitzt. Durch Verschieben der Winkelsteine a bzw. b in Pfeilrichtung lassen sich die Lenkmechanismen in Geradeaus-Stellung blockieren. Dadurch können Sie die Eigenschaften der beiden Systeme unter sonst unveränderten Umständen vergleichen.

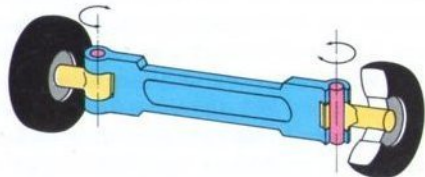
**Drehschemel-Lenkung**

Betrachten wir zunächst die Drehschemel-Lenkung. Dazu schieben Sie am Modell die beiden Winkelsteine „a“ nach außen, so daß die Achsschenkel-Lenkung blockiert ist. Bei der Drehschemel-Lenkung ist die gesamte Vorderachse um einen senkrechten Zapfen drehbar (Bild 54.1). Der Drehschemel bildet die Lagerung für die eigentliche Achse.



Drehschemel-Lenkung

54.1

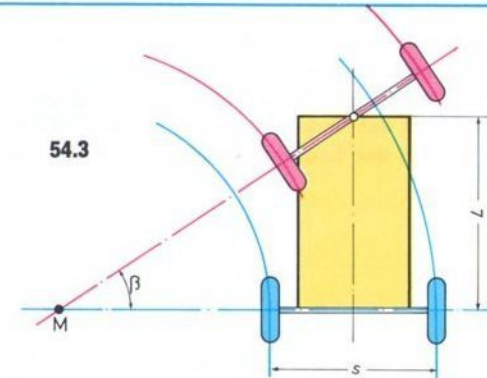


Achsschenkel-Lenkung

54.2

Dieses Lenksystem erfüllt, wie Sie in Bild 54.3 sehen, die Ihnen schon bekannte Bedingung für einwandfreies Rollen der Räder in der Kurve: Die Verlängerungen der Radachsen müssen sich in einem einzigen Punkt M schneiden (Lenkbedingung).

Für einwandfreies Rollen in der Kurve ist es ferner noch erforderlich, daß sich die beiden Räder einer Achse



unabhängig voneinander drehen können, damit bei der unterschiedlichen Länge der Wege am kurveninneren und kurvenäußeren Rad ein Ausgleich durch unterschiedliche Raddrehzahlen möglich ist und Gleiten vermieden wird. Sie kennen dies schon von der Achse des Dreiradfahrzeugs.

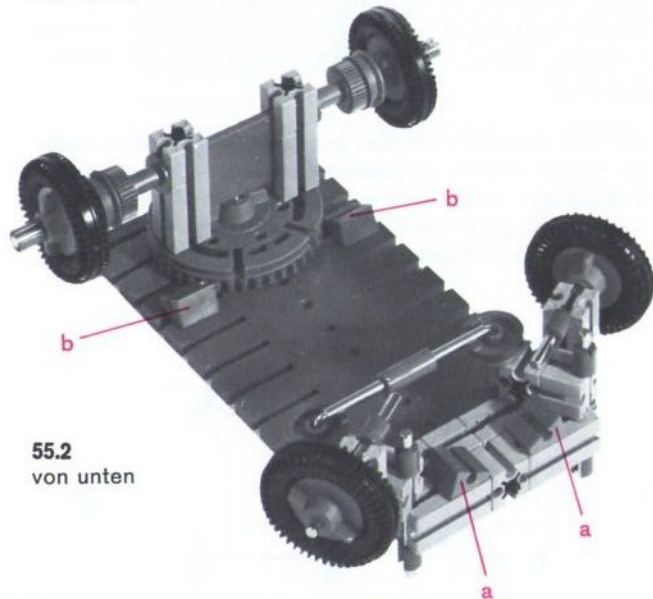
Die Drehschemel-Lenkung entstammt wie so manches am Kraftfahrzeug dem Kutschenbau. Als Gottlieb Daimler den Einbau seines Motors in ein Straßenfahrzeug plante, bestellte er nach den ersten Versuchen mit einem motorradähnlichen Zweirad kurzerhand einen Kutschwagen. Auch er wollte sich, wie Sie dies schon von Karl Benz gehört haben, nicht mit der Konstruktion einer einwandfreien Achsschenkel-Lenkung aufhalten.



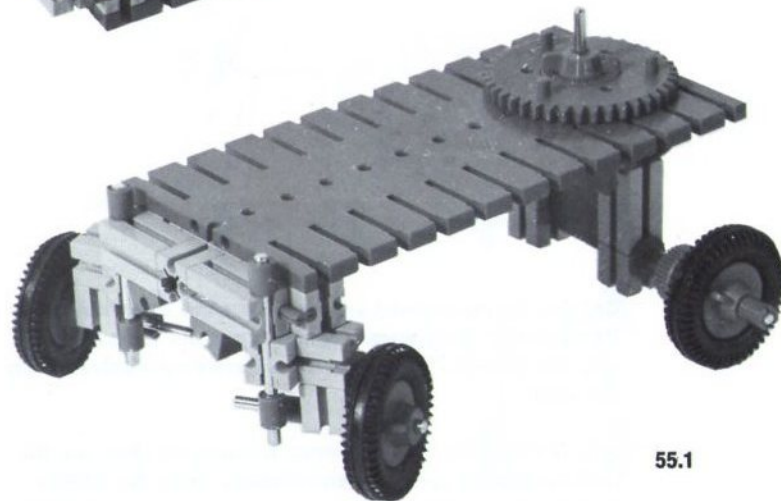
55.3  
Baustufe 1



55.4  
Baustufe 2



55.2  
von unten

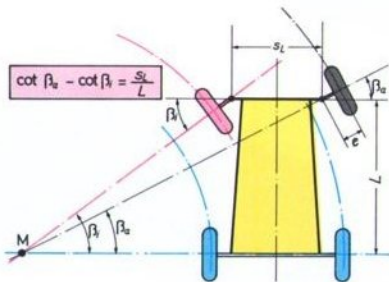


55.1



### Achsschenkel-Lenkung

Die Achsschenkel-Lenkung, ebenfalls aus dem Kutschenbau übernommen, wurde bereits 1816 von dem Münchner Hofwagenbauer Georg Lanckensperger erfunden, der auf diese Bauweise ein Privileg erhielt. Interessanterweise waren sowohl bei Daimler als auch bei Benz die späteren Fahrzeuge mit Achsschenkel-Lenkungen ausgerüstet. Vor allem Karl Benz hatte sich schließlich mit diesem Problem beschäftigt und ein Patent für eine solche Lenkung erworben.



56.1

Bei der Achsschenkel-Lenkung wird nicht mehr die ganze Vorderachse geschwenkt, sondern nur die Achsschenkel, die, wie Bild 54.2 zeigt, um die Achsschenkelbolzen drehbar sind.

Wie Sie aus Bild 56.1 erkennen können, ist aber nun die Lenkbedingung nur dann einzuhalten, wenn die beiden Räder der gelenkten Achse um verschieden große Winkel

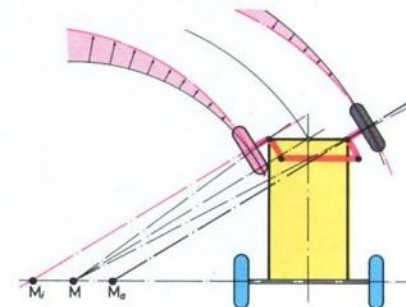
einschlagen, und zwar das kurveninnere Rad stärker als das kurvenäußere. Den Zusammenhang zwischen dem kurveninneren Einschlagwinkel  $\beta_i$  und dem kurvenäußeren  $\beta_a$  kennen Sie schon:

$$\cot \beta_a - \cot \beta_i = \frac{s_L}{L}$$

Diese Gleichung ist die mathematische Formulierung der Lenkbedingung und gilt für alle Vierradfahrzeuge mit einer gelenkten Achse, sowie für Dreiradfahrzeuge mit festem Einzelrad.

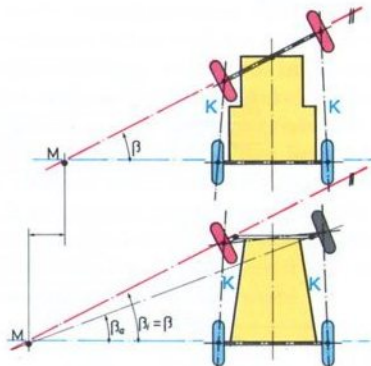
Gleicher Einschlagwinkel

Bild 56.2 soll andeuten, was geschieht, wenn beide Räder um gleiche Winkel eingeschlagen werden. Jedes Rad läuft für sich auf einem Kreis mit eigenem Mittelpunkt. Als Folge davon tritt eine seitliche Gleitbewegung des Rades senkrecht zur Rollrichtung auf, wie die Pfeile es zeigen.



56.2

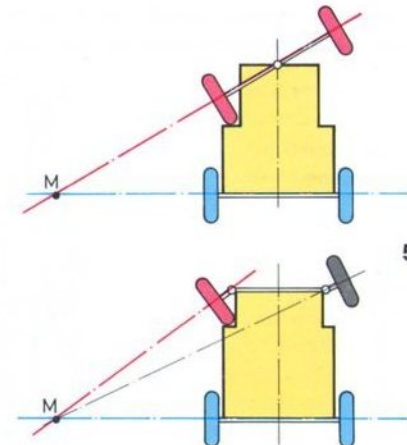
Wenn heute, hauptsächlich beim schnellen Pkw, von der Lenkbedingung bewußt abgewichen wird, so stellt diese dennoch die Grundlage für die Auslegung eines Lenksystems dar. Bei manchen Kraftwagen werden zur Verbesserung des Fahrverhaltens in Kurven oder unter Seitenwindeinfluß oder zur Verkleinerung des Wendekreises die Radeinschlagwinkel  $\beta_i$  und  $\beta_a$  nahezu gleichgroß, vereinzelt sogar  $\beta_a$  größer als  $\beta_i$  gemacht. Solche Abweichungen müssen aber stets durch sorgfältige Fahrversuche erprobt werden. Meist werden bei stärkerem Einschlagen der Räder die Winkel wieder den theoretischen Werten angenähert. – Wir wollen uns hier nur mit Lenkungen befassen, welche die Lenkbedingung zu erfüllen versuchen.



57.1

**Vergleich der Lenksysteme** Vorerst vergleichen wir einmal die beiden Hauptbauarten miteinander.

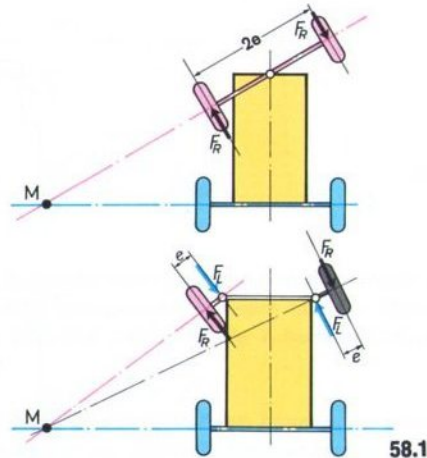
- Vorteile der Drehschemellenkung**
- Genaue Erfüllung der Lenkbedingung ohne die genannten Probleme, vergl. Bild 54.3.
  - Kleinerer Spurendurchmesser bei gleichem Radeinschlagwinkel gegenüber der Achsschenkel-Lenkung, dadurch größere Wendigkeit, s. Bild 57.1.



57.2

**Nachteile der Drehschemel-Lenkung**

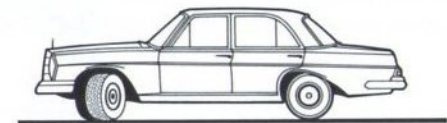
- Erhöhter Platzbedarf der eingeschlagenen Vorderachse, dadurch Beschränkungen für Motoreinbau und Fußraum, Bild 57.2.
- Beim Einschlagen gelenkter Räder ergibt sich eine Rollbewegung, wovon Sie sich am Modell leicht überzeugen können, und zwar bei beiden Lenkungsbauarten. Der Rollwiderstand greift, wie Bild 58.1 zeigt, bei der Drehschemel-Lenkung an einem größeren Hebelarm  $e$  an als bei der Achsschenkel-Lenkung, so daß die Betätigung größere Kräfte erfordert.



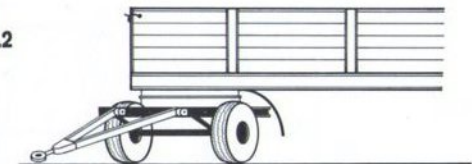
- Bei Fahrzeugen mit Drehschemel-Lenkung besteht eine um so größere Kippgefahr, je stärker die Achse geschwenkt ist. In Bild 57.1 sind die Kippkanten K bei gleichem Einschlagwinkel für Drehschemel und Achsschenkel-Lenkung eingezeichnet.

**Anwendung der Drehschemel-Lenkung**

Die Drehschemel-Lenkung wird heute nur noch bei Anhängern und Sonderfahrzeugen verwendet. Bei Anhängern kann die Lenkachse unter der Ladepritsche angeordnet werden und hat dort genügend Platz zum Schwenken. Die hohen Lenkkräfte können von der Deichsel als langem Hebelarm ohne weiteres aufgebracht werden (vgl. Bild 58.2, auf dem auch der unterschiedliche Raumbedarf gegenüber der Achsschenkel-Lenkung bei einem Pkw angedeutet ist).



58.2



**Vorteile der Achsschenkel-Lenkung**

Die Achsschenkel-Lenkung vermeidet alle Nachteile der Drehschemel-Lenkung. Sie hat geringeren Raumspruch, kleinere Lenkkräfte und minder große Kippgefahr aufzuweisen. Darüber hinaus bietet sie die Möglichkeit, durch geeignete Konstruktion eine selbsttätige Rückstellung in die Geradeausstellung nach beendeter Kurvenfahrt zu erzielen (Nachlauf, Spreizung).

**Nachteile der Achsschenkel-Lenkung**

Nachteilig ist, daß die Achsschenkel-Lenkung umständlicher Getriebe bedarf, so daß man sich in der Praxis mit einer näherungsweise Zuordnung der Radeinschlagwinkel durch ein einfaches Gestänge begnügt. Aber auch in dieser einfacheren Form ist der Aufbau komplizierter und teurer als derjenige der Drehschemel-Lenkung.

**Versuche**

Prüfen Sie anhand Ihres Modells die größere Wendigkeit des drehschemelgelenkten Fahrzeugs, indem Sie die Drehschemel-Achse und das kurveninnere Rad der Achsschenkel-Lenkung jeweils bei blockiertem anderem Lenksystem um den gleichen Winkel einschlagen, die Spur des Fahrzeuges in der beschriebenen Weise mit Linol-druckfarbe festhalten und den Spurbereich ausmessen.

**Spurkreis**

Man versteht unter dem kleinsten Spurbereichsdurchmesser den Durchmesser des Kreises, den die Reifenmitte des kurvenäußeren Vorderrades bei größtem Lenkeinschlag auf der Fahrbahn beschreibt. Nennt man nach Bild 56.1  $e$  den Rollradius, so ist die Spurweite

$$s = s_L + 2e$$

und man bekommt den Spurbereichradius  $r_a$  aus der Beziehung

$$r_a = \frac{L}{\sin\beta_a} + e = \sqrt{L^2 + (L \cot\beta_i + s_L)^2} + e$$

Die Formel zeigt dem mit Winkelfunktionen Vertrauten, daß für große Fahrzeuglängen  $L$  auch große Radeinschlagwinkel erforderlich sind. So kommt man bei Omnibussen auf Werte von  $\beta_i = 85^\circ$ .

Große Einschlagwinkel erfordern viel Raum zum Schwenken der Räder unter den Kotflügeln. Um den Fußraum nicht allzusehr zu beengen, kann man daher beim Pkw nur kleinere Einschlagwinkel zulassen (maximal  $45^\circ$ ). Da aber in diesem Fall auch die Fahrzeuglänge  $L$  kleiner ist, kommt man trotzdem zu ausreichenden Spurbereichsradien.



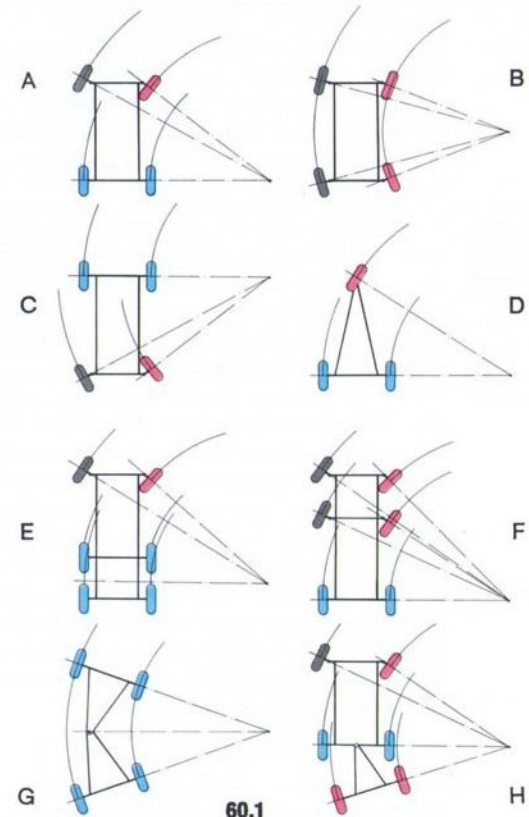
**Wendekreis** Der kleinste Wendekreis ist der Durchmesser des Kreises, den das am weitesten vorstehende Fahrzeugteil beim größten Lenkeinschlag beschreibt (Bild 59.1). Er ist in der Praxis von größerer Bedeutung als der Spurkreisdurchmesser, der, vermehrt um die Reifenbreite, als sogen. Bordsteinkreisdurchmesser für das Wenden auf der Straße interessant ist, wenn Karosserieteile noch auf den Gehweg ragen dürfen. Für das Rangieren von Fahrzeugen (Einparken) ist der kleinste Wendekreis maßgebend.

**Kippsicherheit** Mit einem gegenüber dem Modell aus dem Abschnitt „Dreiradlenkungen“ etwas abgeänderten Kipp-Prüfstand können Sie die Kippsicherheit in Abhängigkeit vom Einschlagwinkel bei Drehschemel- und Achsschenkel-Lenkung bestimmen. Verwenden Sie dabei immer das gleiche Fahrzeug, an dem Sie nach Bedarf das eine oder andere Lenksystem in Geradeausstellung blockieren.

**Lenkungs-rückstellung** Bei Fahrversuchen werden Sie auch bemerken, daß sich die Achsschenkel-Lenkung unseres Modells von selbst in die Geradeausstellung zurückbegibt. Die Gründe hierfür werden wir erst später kennenlernen.

**Lenkungs-anordnungen** Bild 60.1 gibt einen Überblick über die möglichen Anordnungen der gelenkten Achsen. Prinzipiell können Vorderräder, Hinterräder oder sämtliche Räder gelenkt sein, bei mehr als zweiachsigen Fahrzeugen entweder nur die Vorderachse oder mehrere Achsen.

**Vorderrad-lenkung** Am meisten ist die Lenkung der Vorderräder verbreitet (Bild A in 60.1). Sie ergibt die beste Übersicht über die



**Hinterrad-  
lenkung**

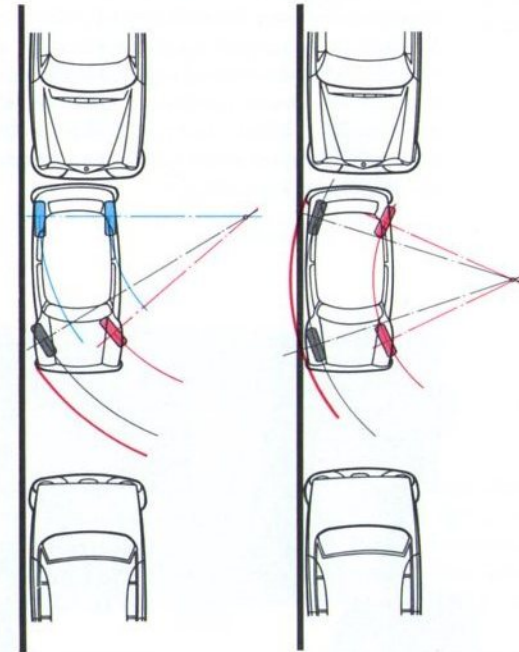
Reaktionen des Fahrzeugs. Wie Bild 59.1 zeigt, wird der größte Kreis bei Kurvenfahrt von der kurvenäußeren Vorderkante des Fahrzeuges beschrieben, die günstigerweise im Blickfeld des Fahrers liegt.

Hinterradlenkung nach Bild C in 60.1 macht den Wagen bei Vorwärtsfahrt wendiger. Deswegen fährt man rückwärts in Parklücken – dann hat man nämlich Hinterradlenkung! Jedoch liegt hier die kurvenäußere Hinterkante, die den größten Kreis beschreibt, nicht im Blickfeld des Fahrers (Bild 59.2), wodurch die Gefahr, hinten „anzuecken“, naturgemäß recht groß ist. Überdies neigen Fahrzeuge mit gelenkter Hinterachse bei schnellerer Fahrt zum seitlichen Ausbrechen des Hecks. (Anwendung bei Gabelstaplern, Mähdreschern und Baumaschinen.)

**Allrad-  
lenkung**

Allradlenkung nach Bild B in 60.1 und die schon früher erwähnte Knicklenkung in Bild G in 60.1 ergeben sehr kleine Wendekreise. Bei symmetrischer Gestaltung rollen die Hinterräder in der Spur der Vorderräder, was im Gelände bekanntlich ein Vorteil ist. Auf der Straße muß bei Allradlenkung die Hinterradlenkung blockiert werden, da sonst keine stabile Geradeausfahrt möglich ist. Bild 61.1 weist nach, daß es bei Fahrzeugen mit Allradlenkung nicht möglich ist, aus Parklücken ohne Überrollen des Bordsteins auszufahren. An Häuserwänden abgestellte Fahrzeuge mit Allradlenkung können aus Parklücken überhaupt nicht mehr herauskommen.

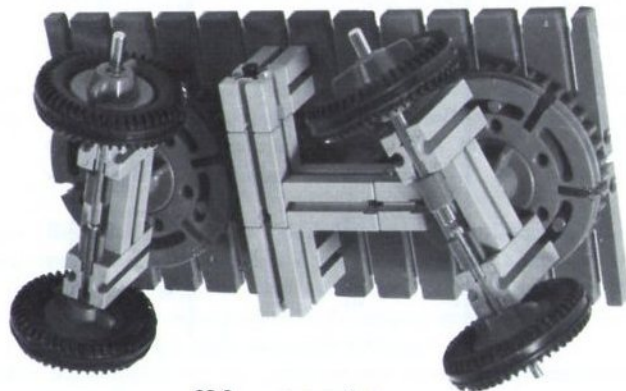
61.1



Zur Bestätigung bauen Sie sich das Modell nach Bild 62.1, das reine Funktionsmodell einer Allradlenkung. In der Praxis kuppelt man weder die Achsen durch Zahnräder, noch wendet man Drehschemel-Lenkung an. Zum Bau des Modells ist folgendes zu bemerken: Die auf der Unterseite angebrachten Bausteine sollen verhindern, daß die beiden Drehschemel beim Lenken zu stark einschlagen, so daß das Fahrzeug kippt. Wer zwei hobby-1-Kästen besitzt, kann auch zwei Achsschenkel-Lenkungen kombinieren und durch ein Gestänge koppeln.



62.3  
Baustufe 1



62.2 von unten



62.1

**Weitere Lenk-anordnungen**

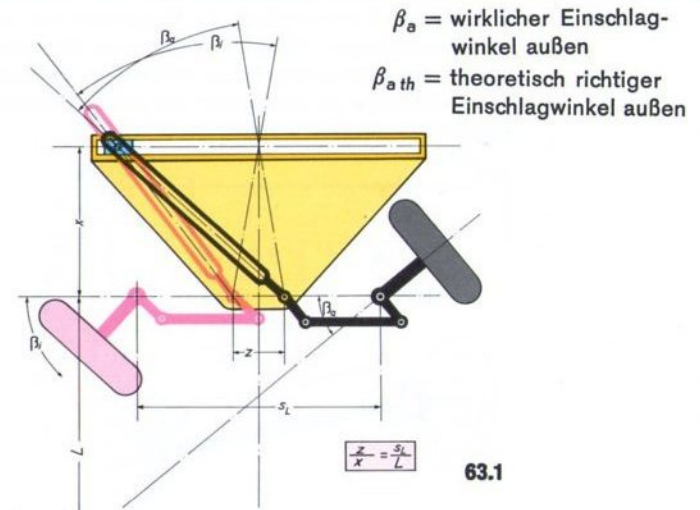
Beim Dreiaxser mit 2 festen Hinterachsen ist die Lenkbedingung nicht erfüllt. Kurvenfahrt ist nur bei gleitenden Rädern möglich. Die Verhältnisse sind um so günstiger, je näher die festen Achsen beieinanderliegen. Die Linie, auf der die verlängerten Radachsen der Vorderräder sich schneiden müssen, liegt nahe bei der hinteren Achse. Einwandfreie Rollverhältnisse ergeben sich bei zwei gelenkten Achsen (Bild F in 60.1) und bei selbststellender, nachgeschleppter 3. Achse, Bild H in 60.1.

**Lenktrapez**

Die Räder einer gelenkten Achse müssen so miteinander gekuppelt werden, daß die Winkelzuordnung der Lenkbedingung erfüllt ist. Ein Lenkparallelogramm wie in Bild 56.2 kann dies nicht bewirken; die Räder gleiten seitlich in der Kurve. Daher gibt man dem Lenkgestänge Trapezform, ohne indessen eine strenge Erfüllung der Lenkbedingung zu erreichen.

**Fehlerfreie Lenkgetriebe**

Es hat nicht an Erfindern gefehlt, die Mechanismen für die fehlerfreie Zuordnung der Radeinschlagwinkel im Sinne der Lenkbedingung ersannen. In Bild 63.1 ist ein solches Getriebe gezeigt. Vielleicht versuchen Sie sich einmal im Nachbau. Allerdings hat es keinen Zweck, allzuviel Mühe auf ein fehlerfreies Lenkgestänge zu verwenden, da die Fahrzeugindustrie aus praktischen Gründen an solchen Konstruktionen nicht sehr interessiert ist. Wegen der Eigenschaft des Luftreifens, stets etwas schräg zur Radebene zu laufen (Schräglaufwinkel), sind gewisse Abweichungen von den theoretischen Werten zulässig, manchmal sogar



gewollt. Man duldet bei den größten Einschlagwinkeln Abweichungen (Lenkfehler) von 1 bis 1,5°. Bei  $\beta_i = 20^\circ$  soll der Lenkfehler  $\beta_F = 0$  sein, der Spurdifferenzwinkel  $\Delta\beta$  also genau der Lenkbedingung entsprechen. Zwischen  $\beta_i = 0$  und  $20^\circ$  soll der Lenkfehler kleiner als  $0,5^\circ$  sein.

**Lenkfehler**

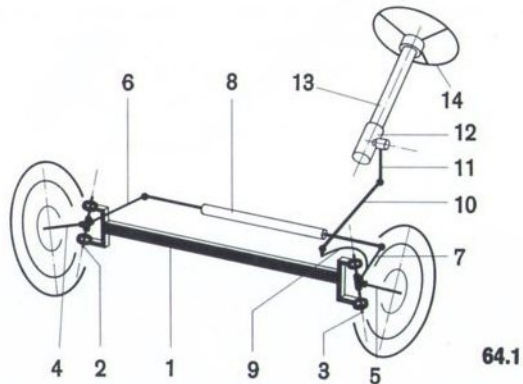
$$\beta_F = \beta_a - \beta_{ath}$$

**Spurdifferenzwinkel**

$$\Delta\beta = \beta_i - \beta_a$$



**Einzelteile** Bild 64.1 stellt schematisch die Einzelteile der Lenkung und ihre Benennungen dar. Im gezeichneten Beispiel liegen Spurstange und Lenkgetriebe hinter dem Vorderachskörper. Die Spurstange ist hier kürzer als die Lenkzapfen- oder Achsschenkelbolzen-Entfernung  $s_L$ .

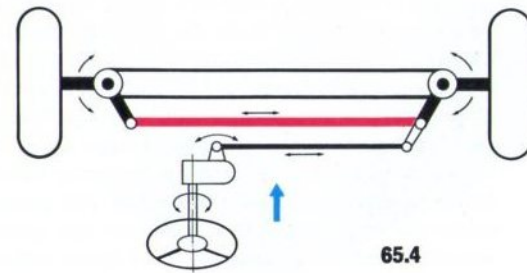
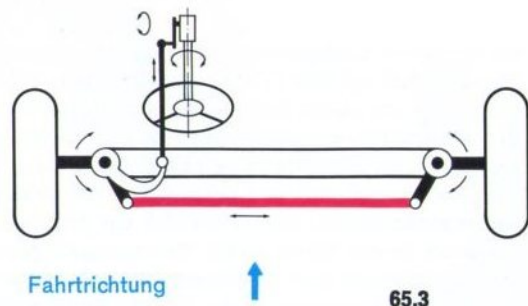
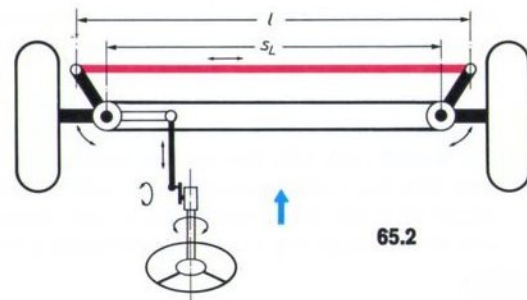
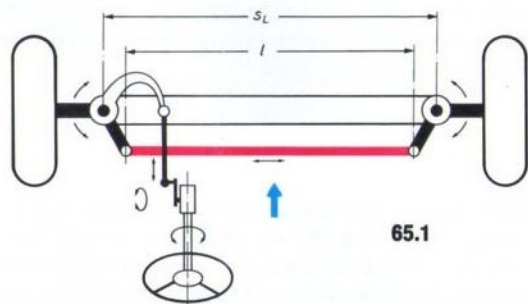


- |                             |                  |
|-----------------------------|------------------|
| ① Achskörper (Gabelachse)   | ⑧ Spurstange     |
| ② Achsschenkelbolzen rechts | ⑨ Lenkhebel      |
| ③ Achsschenkelbolzen links  | ⑩ Lenkstockhebel |
| ④ Achsschenkel rechts       | ⑪ Lenkgetriebe   |
| ⑤ Achsschenkel links        | ⑫ Lenksäule      |
| ⑥ Spurstangenhebel rechts   | ⑬ Lenkzapfen     |
| ⑦ Spurstangenhebel links    | ⑭ Lenkrad        |

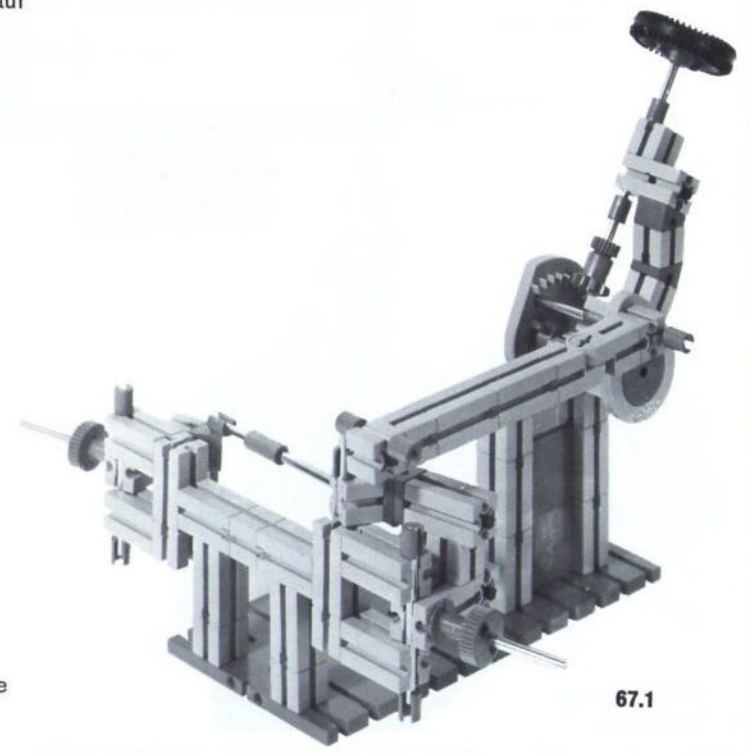
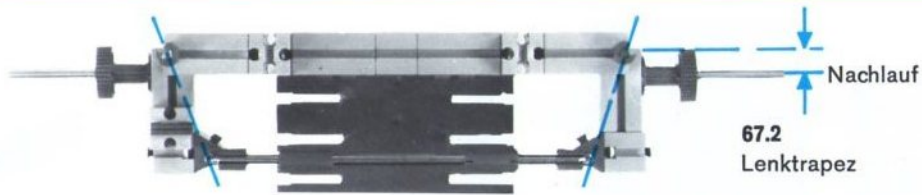
Bild 65.1 bis 65.4 zeigt die mögliche Zuordnung von Lenkrad, Spurstange und Vorderrädern. Man kann – wie in Bild 65.2 – die Spurstange auch vor den Achskörper legen, dann muß die Spurstange länger als  $s_L$  sein. Bei manchen Lkws und bei allen neueren Omnibussen liegt der Fahrersitz über bzw. vor der Vorderachse. Lenkrad und Lenkgetriebe kommen dabei ebenfalls vor die Vorderachse zu liegen (Bild 65.3).

**Vornliegende Spurstange** Bei vornliegender Spurstange (Bild 65.2) bleibt wenig Raum für die Spurstangenhebel und -gelenke. Während der Fahrt ist die vornliegende Spurstange auf Zug beansprucht, da die Vorderräder nach vorn auseinanderlaufen wollen (außer bei Vorderachsantrieb). Auch beim Anlaufen der Räder gegen Hindernisse erfährt die Spurstange Zugbeanspruchungen, was im Hinblick auf die Festigkeit günstig ist.

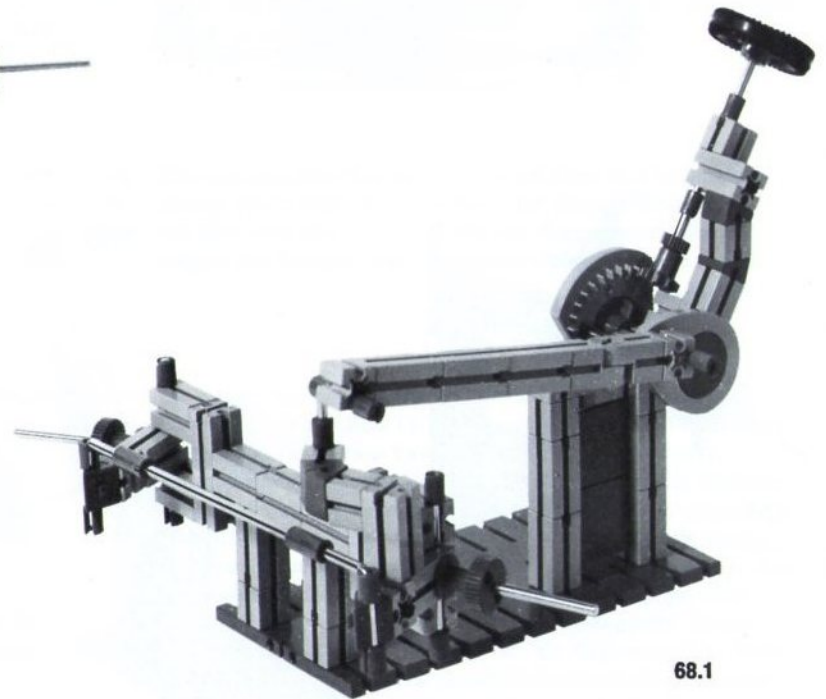
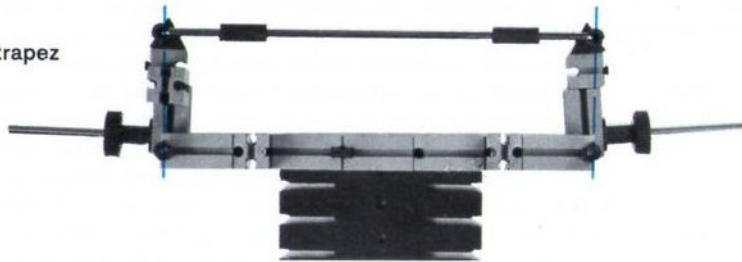
**Hintenliegende Spurstange** Die hintenliegende Spurstange (Bild 65.1–65.3–65.4) muß wegen der Motorölwanne meist sehr tief liegen und vermindert daher die Bodenfreiheit. Sie ist auch größerer Beschädigungsgefahr ausgesetzt. Beim Anfahren auf Hindernisse wird die Spurstange auf Druck beansprucht, sie kann ausknicken und muß daher stärker dimensioniert werden. Beide Bauarten sind gebräuchlich. Das Lenkgetriebe legt man aus Sicherheitsgründen gerne über oder hinter die Achse. Die Lenksäule wird als Sicherheitslenksäule zusammenschiebbar oder mit Kreuzgelenken unterteilt ausgeführt.



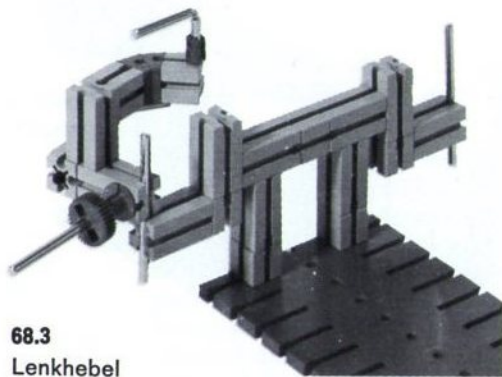
<p><b>Modelle von Lenkgestängen</b></p>	<p>Bild 67.1 stellt ein Modell mit hintenliegender Spurstange und hintenliegendem Lenkgetriebe dar. Beachten Sie, daß die Achsschenkel gegenüber den Achsschenkelbolzen etwas nach hinten verlagert sind. Diese Maßnahme (Nachlauf) bewirkt ein selbsttätiges Zurücklaufen der Lenkung in die Geradeausstellung, was sich an dem Modell natürlich nicht beobachten läßt. Sie werden sich aber daran erinnern, daß das Modell nach Bild 55.1 ebenso konstruiert war. Zum Bau des Lenkungsmodells ist noch anzufügen, daß die Achse 30 in der Segmentscheibe an den Bausteinen 15 und 30 anschlägt und so den Lenkeinschlag begrenzt.</p>	<p><b>Omnibuslenkung</b></p>	<p>Bild 69.1 zeigt das Modell einer Omnibuslenkung mit hintenliegender Spurstange, die nun wieder kürzer als <math>s_L</math> sein muß. Auch dieses Modell verlangt nur wenig Aufwand beim Umbau. Die Achsschenkel liegen wieder richtig hinter den Achsschenkelbolzen.</p>
<p><b>Nachlauf</b></p>		<p><b>Querliegende Lenkschubstange</b></p>	<p>Eine andere Anordnung von Lenkgetriebe und Lenkschubstange ist in Bild 70.1 zu sehen. Der Eingriff des Ritzels auf der Lenksäule in das Tellerrad (Segmentscheibe) ist wegen der Neigung der Lenksäule nicht ganz einwandfrei.</p>
<p><b>Vornliegende Spurstange</b></p>	<p>Bei dem Modell nach Bild 68.1 ist die Spurstange vor die Achse verlegt. Dazu muß die Achsschenkelbolzen-Entfernung <math>s_L</math> vergrößert werden (Stein 30 statt 15 in der Mitte des Achskörpers). Die Spurstangenhebel werden etwas umgebaut. Die Spurstange muß verlängert werden, da bei vornliegender Spurstange diese länger als <math>s_L</math> ist. Die Achsschenkel müßten jetzt strenggenommen hinter die Achsschenkelbolzen gerückt werden. Bei unserem Modell haben wir darauf verzichtet, um nicht den gesamten Achsschenkel ändern zu müssen. Sie können selbst eine entsprechende Lösung finden.</p>	<p><b>Zahnstangenlenkung</b></p>	<p>Ein modernes Lenkgetriebe, eine Zahnstangenlenkung, ist im Modell auf Bild 71.1 dargestellt. Hier kann allerdings nicht mehr von einem Lenktrapez gesprochen werden. Bei den wirklich ausgeführten Lenkungen sind als Gelenke Kugelgelenke erforderlich, denn die Achse ist ja gegenüber dem Aufbau gefedert und macht beim Überfahren von Bodenunebenheiten oder wenn sich der Aufbau infolge der Fliehkraft in der Kurve neigt, Bewegungen gegenüber dem Aufbau und dem in diesem fest gelagerten Lenkgetriebe. Übrigens verändern sich die Radeinschläge beim Einfedern der Achse, was praktisch berücksichtigt werden muß, hier aber nicht weiter verfolgt werden kann.</p>



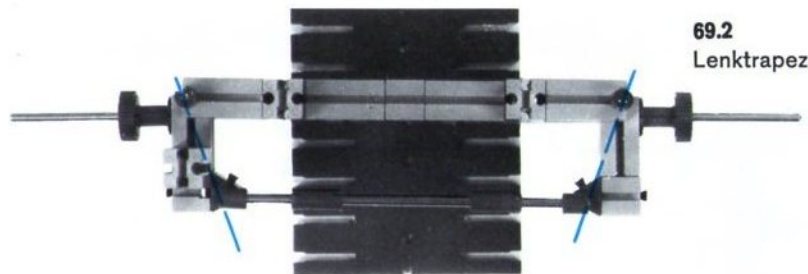
68.2  
Lenktrapez



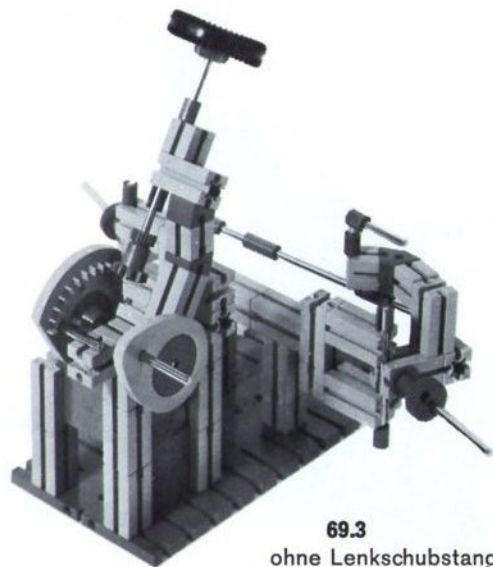
68.3  
Lenkhebel



68.1



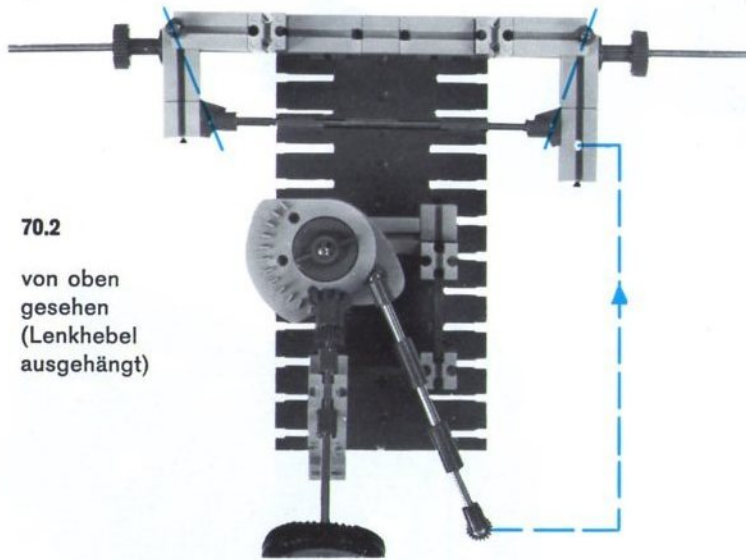
69.2  
Lenktrapez



69.3  
ohne Lenkschubstange

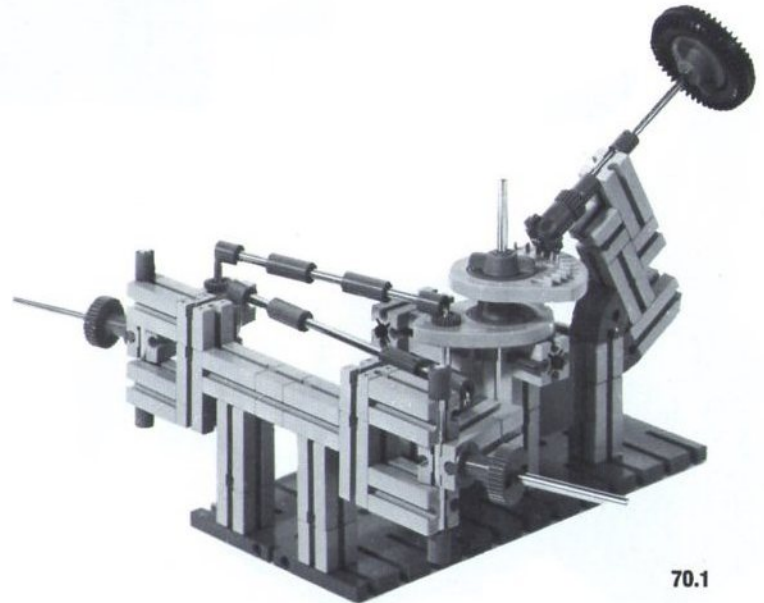


69.1

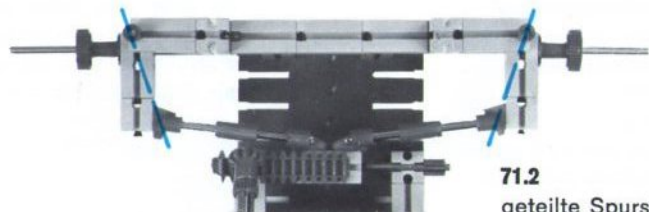


**70.2**

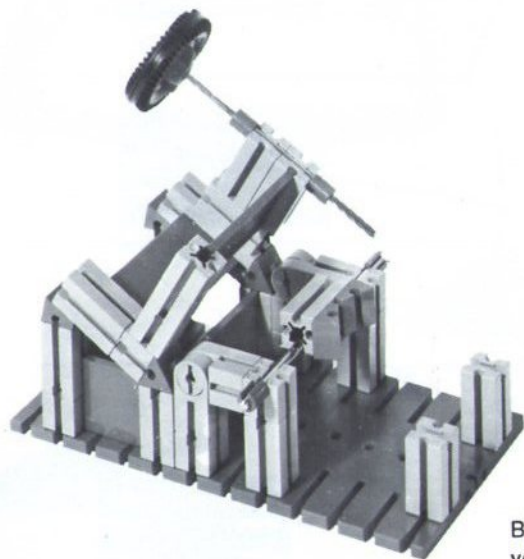
von oben  
gesehen  
(Lenkhebel  
ausgehängt)



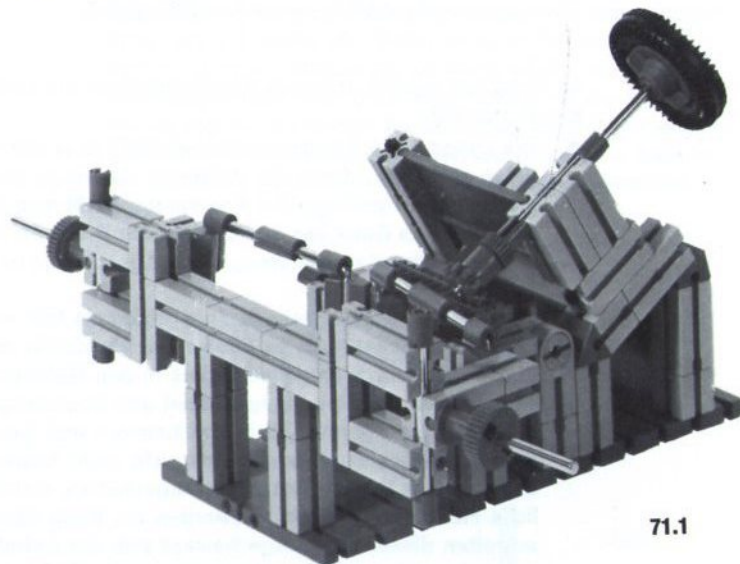
**70.1**



**71.2**  
geteilte Spurstange



**71.3**  
Baustufe 1  
von hinten



**71.1**



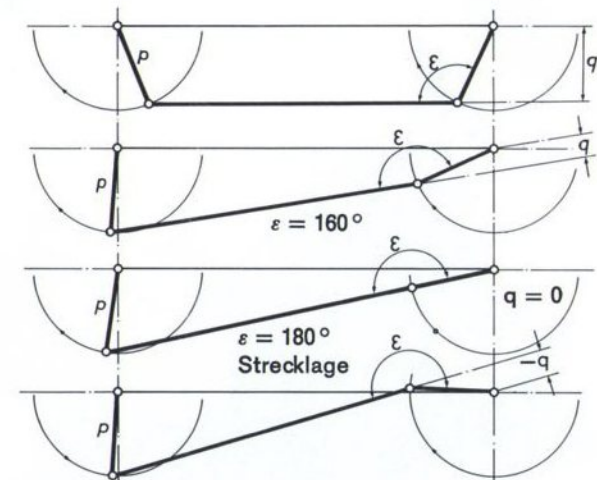
**Konstruktion und Untersuchung von Lenktrapezen** Aus den Modellen sehen wir, daß die Spurstangenhebel bei hinten liegender Spurstange nach hinten zusammen-, bei vornliegender Spurstange nach vorn auseinanderlaufen.

Für Länge und Stellung dieser Hebel gibt es nun eine ganze Reihe von Faustregeln, die darauf abzielen, eine möglichst gute Annäherung an die Lenkbedingungen zu erreichen. Eine genaue Verwirklichung ist ja nicht möglich.

Im einzelnen werden folgende Forderungen an ein Lenktrapez gestellt:

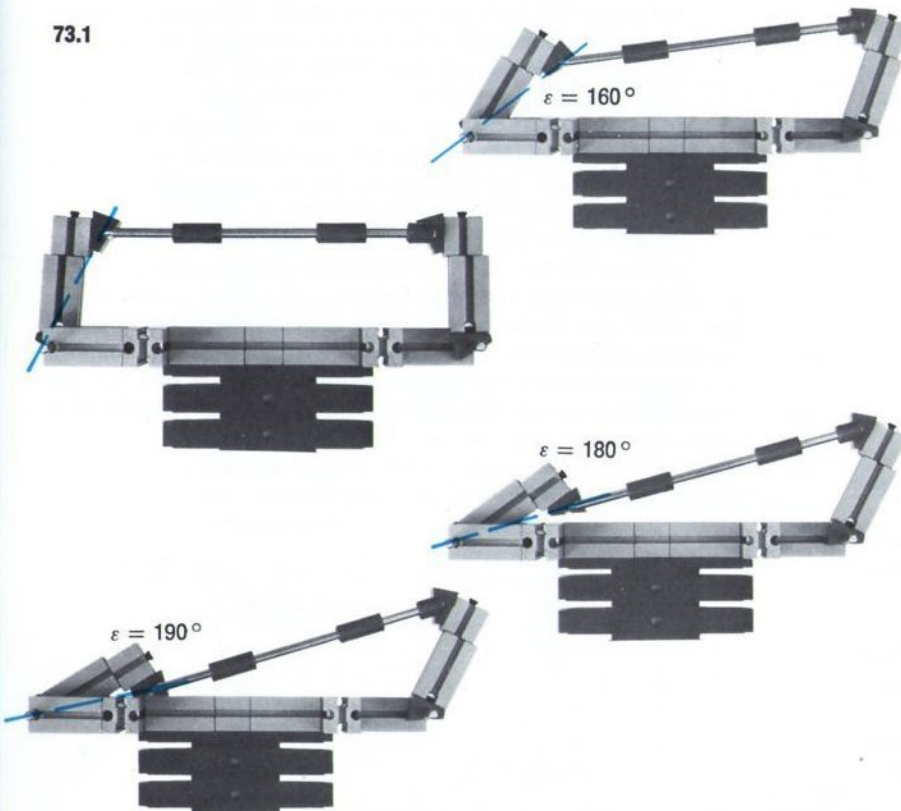
- Die Länge  $\rho$  der Spurstangenhebel (Bild 72.1) soll möglichst groß sein, damit die Kräfte im Gestänge klein bleiben. Bei vornliegender Spurstange gerät man jedoch dann mit den Gelenken in die Nähe der Bremsen, so daß dort die Länge der Spurstangenhebel beschränkt ist.
- Der Übertragungswinkel  $\varepsilon$  darf nie größer als  $160^\circ$  werden (Bild 72.1). Sonst kann es infolge der Elastizität des Gestänges und eventuellen Spiels in den Gelenken vorkommen, daß Spurstangenhebel und Spurstange in die Strecklage geraten, d. h. das Lenkrad und das ganze Lenkgestänge lassen sich nicht mehr bewegen, weil der zum Drehen des Spurstangenhebels erforderliche Hebelarm  $q$  zu Null geworden ist. Beim Überschreiten dieser Strecklage bewegt sich der betreffende Achsschenkel sogar in entgegengesetzter Richtung!

Es muß also unter allen Umständen verhindert werden, daß das Lenktrapez die Strecklage einnimmt,  $\varepsilon$  also  $180^\circ$  wird. Daher schreibt man sicherheitshalber als Größtwert für  $\varepsilon = 160^\circ$  vor.



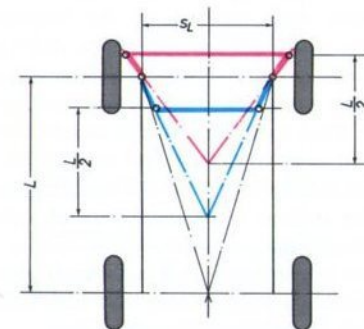
72.1

73.1

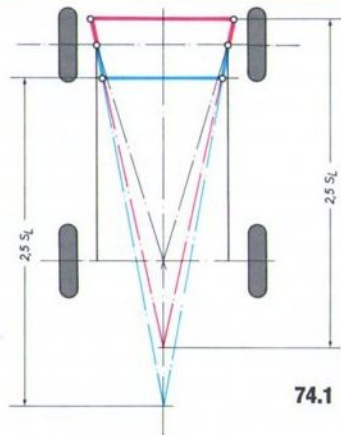


Sie können an den gebauten Modellen feststellen, daß die vorliegende Spurstange größere Radeinschlagwinkel erlaubt, ehe der Übertragungswinkel diesen Wert erreicht. Am Funktionsmodell nach Bild 73.1 können Sie verschieden große Übertragungswinkel einstellen und erproben.

Auf den Bildern 73.2 und 74.1 sind einige Faustregeln für die Bemessung der Spurstangenhebel angegeben. Nach Bild 73.2 sollen sich die Verlängerungen der Spurstangenhebel um  $L/2$  hinter der Spurstange in Fahrzeugmitte treffen. Eine so ausgelegte Lenkung ergibt bei kleineren Einschlagwinkeln eine gute Annäherung an die Lenkbedingung, bei stärkerem Radeinschlag vergrößern sich die Lenkfehler. Außerdem kommt das Gestänge sehr bald in die Nähe des Grenzwertes für den Übertragungswinkel.



73.2

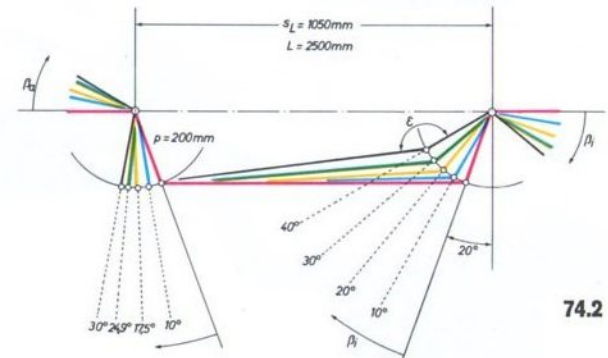


74.1

Für Fahrzeuge, die einen stärkeren Einschlagwinkel erfordern, wählt man besser die Auslegung nach Bild 74.1, nach der sich die Verlängerungen der Spurstäbe erst um die Strecke  $2,5 \cdot s_L$  hinter der Spurstange schneiden. Man muß dann bei geringeren Lenkeinschlägen etwas größere Fehler in Kauf nehmen, die mit zunehmendem Einschlagwinkel erst einmal kleiner und schließlich zu Null werden, um schließlich bei großen Einschlagwinkeln wieder anzuwachsen. Ein solches Lenktrapez kommt erst spät in die Nähe der Strecklage.

Als Kompromiß wird manchmal empfohlen, die Spurstangenhebel so anzuordnen, daß sich ihre Verlängerungen auf der Hinterachsmittle schneiden.

Auf jeden Fall muß das so konstruierte Getriebe auf den tatsächlich auftretenden Lenkfehler kontrolliert werden. Dies geschieht praktisch auf dem Reißbrett mit Hilfe einer Zeichnung des Lenktrapezes in Originalgröße. Die Bilder 74.2 - 75.1 bis 75.3 geben eine solche Untersuchung im Prinzip wieder. Man berechnet zunächst nach der Gleichung der Lenkbedingung die zu vorgegebenen Winkeln  $\beta_i$  gehörenden theoretischen  $\beta_a$ -Werte ( $\beta_{ath}$ ) (Bild 74.2 und 75.1). Dann ermittelt man zeichnerisch für die gleichen Werte  $\beta_i$  die sich tatsächlich einstellenden Winkel  $\beta_a$ . Trägt man den Lenkfehler  $\beta_F = \beta_a - \beta_{ath}$  über  $\beta_i$  auf, so erhält man die Lenkfehlerkurve.  $\beta_F$  kann positiv oder negativ sein, je nachdem ob der tatsächliche Winkel  $\beta_a$  größer oder kleiner als  $\beta_{ath}$  ausfällt. Trägt man, wie in Bild 75.2, die Winkel  $\beta_i$  von der Verbindungslinie der beiden Achsschenkel-



74.2

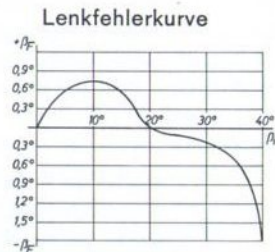
$\beta_i$  = Radeinschlagwinkel, innen  
 $\beta_{ath}$  = Radeinschlagwinkel, außen, aus Lenkbedingung:  
 $\cot \beta_{ath} = \cot \beta_i + \frac{S_L}{L}$  errechnet  
 $\beta_a$  = wirklicher Radeinschlagwinkel, außen, aus Zeichnung  
 $\beta_F = \beta_a - \beta_{ath}$  Lenkfehler  
 $\Delta \beta_{th} = \beta_i - \beta_{ath}$  Spurdifferenzwinkel, aus Rechnung  
 $\Delta \beta = \beta_i - \beta_a$  Spurdifferenzwinkel, wirklich

$\beta_i$	$\beta_{ath}$	$\beta_a$	$\beta_F$	$\Delta \beta_{th}$	$\Delta \beta$
0°	0°	0°	0°	0°	0°
10°	9,3°	10°	+0,7°	0,7°	0°
20°	17,5°	17,5°	±0°	2,5°	2,5°
30°	24,9°	24,7°	-0,2°	5,1°	5,3°
40°	31,8°	30°	-1,8°	8,2°	10°

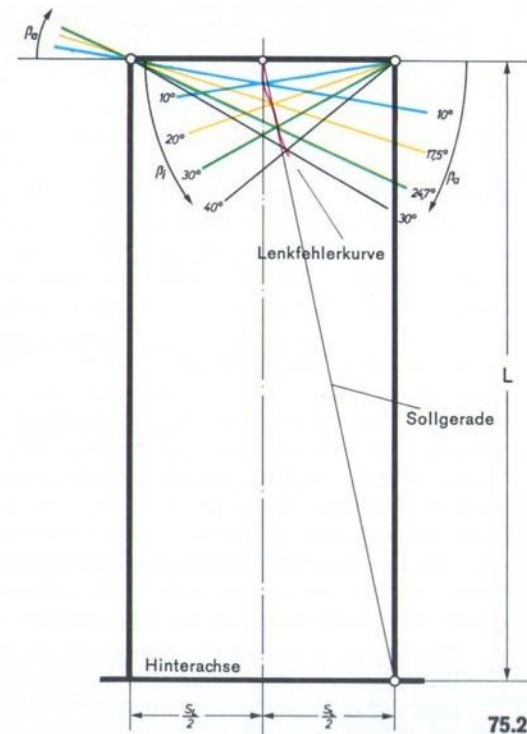
Den Lenkfehler erhält man auch aus:  $\beta_F = \Delta \beta_{th} - \Delta \beta$ .

75.1

**bolzen im gezeichneten Sinne ab, so schneiden sich die Schenkel von  $\beta_i$  und  $\beta_a$  in Punkten, die bei fehlerfreier Lenkung auf einer Geraden, der Sollgeraden liegen, deren Verlauf eingezeichnet ist. Bei fehlerbehafteter Lenkung ergeben sich Abweichungen von der Sollgeraden, die auf Bild 75.2 deutlich zu sehen sind. Die Schnittpunkte der Schenkel von  $\beta_i$  und  $\beta_a$  liegen dann auf der Fehlerkurve, die natürlich möglichst gut mit der Sollgeraden übereinstimmen muß.**



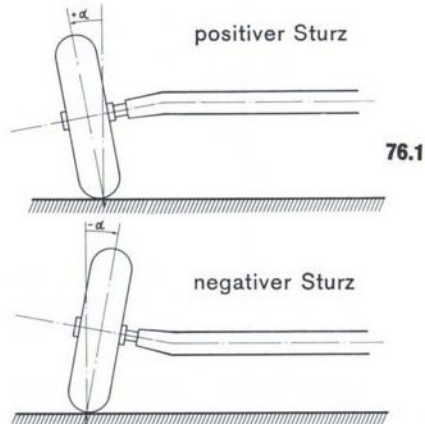
75.3



75.2

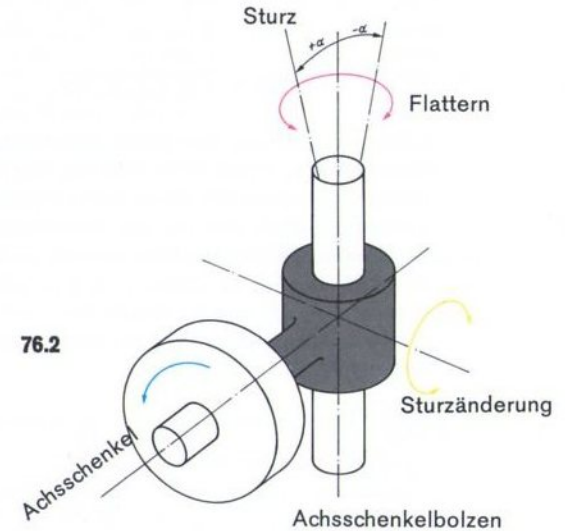
**Flattern der Vorderräder**

Nun soll die Frage erörtert werden, warum Starrachsen im Pkw nicht als gelenkte Achsen verwendet werden. Zunächst einmal beansprucht die Starrachse als Vorderachse viel Platz im Motorraum. Hinzu kommt noch folgender Gesichtspunkt:



Den Winkel  $\alpha$ , den die Radebene mit der Senkrechten auf die Fahrbahn bildet, nennt man den Sturzwinkel. Er wird nach außen positiv gezählt (Bild 76.1). Beim Überfahren von Bodenunebenheiten ändert sich dieser Sturzwinkel bei der Starrachse laufend.

Das sich drehende Vorderrad kann als ein Kreisel aufgefaßt werden, dessen Achse in etwa horizontal verläuft. Bei Sturzänderungen wird nun die Kreiselachse gekippt (Bild 76.2).



Nach den Kreiselgesetzen antwortet der Kreisel auf diese Kippbewegung seiner Achse, indem er senkrecht zur Kippachse ausweicht. Das bedeutet, daß das Rad durch die

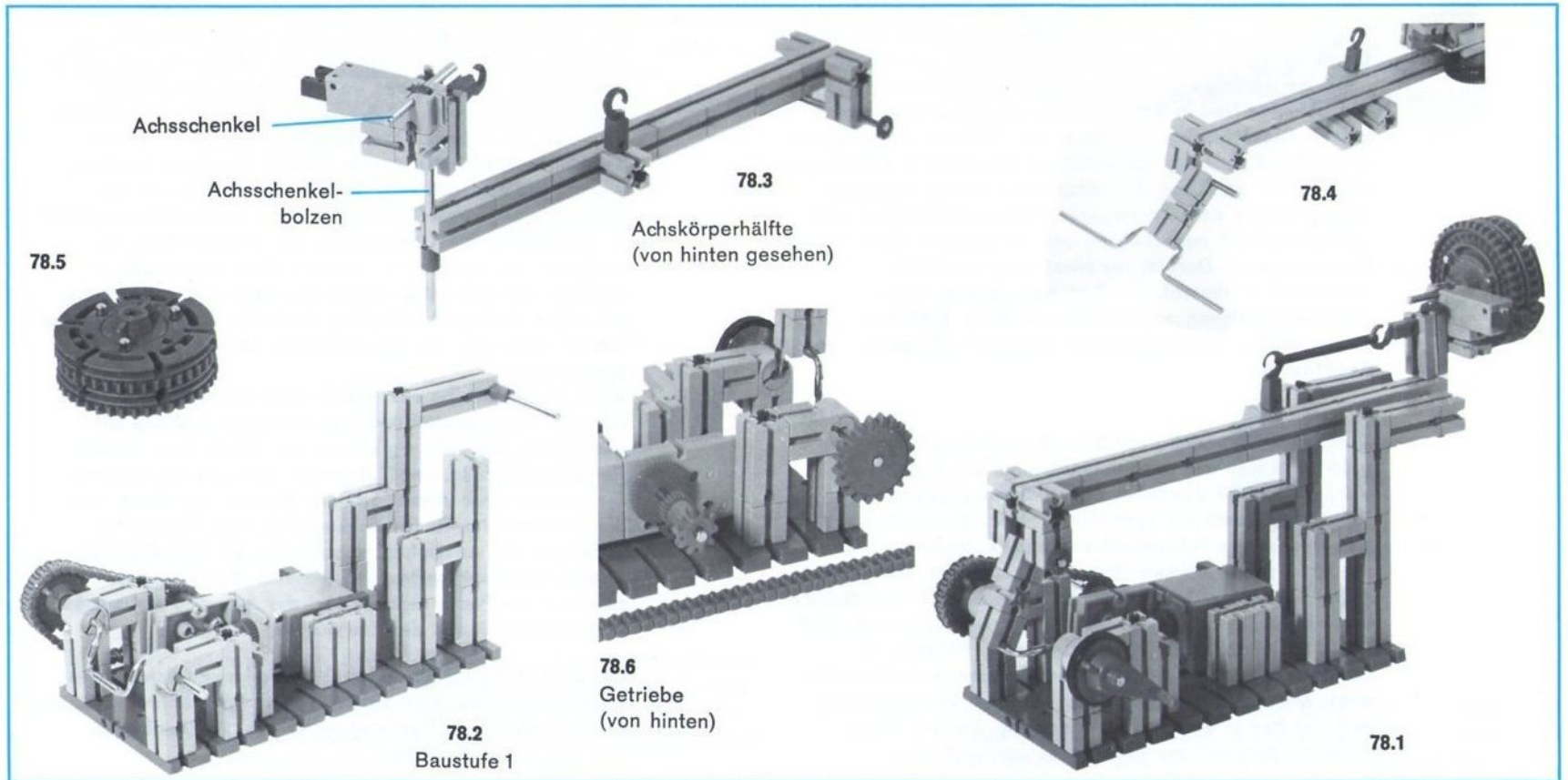
Kreiselkräfte um den Achsschenkelbolzen geschwenkt wird. Da durch die Bodenunebenheiten ständige, wenn auch meist geringfügige Sturzänderungen bewirkt werden, gerät das gelenkte Rad in Schwingungen um den Achsschenkelbolzen. Diese Erscheinung nennt man Flattern. Sie wirkt sich in unruhiger Lenkung und erhöhtem Verschleiß von Gelenken und Reifen aus. Diese Gesichtspunkte sind bei Nutzfahrzeugen wegen deren geringerer Fahrgeschwindigkeit und den minderen Ansprüchen an den Fahrkomfort nicht so bedeutungsvoll. Dort ist vor allem die große Stabilität der Starrachse erwünscht. Im Pkw sind jedoch solche Achskonstruktionen angebracht, die beim Einfedern nur unwesentliche Sturzänderungen aufweisen (Trapezlenker, Federbeine).

Das Funktionsmodell nach Bild 78.1 soll Ihnen, falls Sie glücklicher Besitzer des mini-mot. sind, das Flattern der Vorderräder bei Sturzänderungen demonstrieren. Das Modell stellt die eine Hälfte einer Vorderachse dar. Das Rad ist aus ft-Drehscheiben und -Zahnrädern Z 40 mit Hilfe von 3 Achsen 30 zusammengesetzt. Der Achsschenkel wird durch die Getriebeachse eines ft-mini-Motors dargestellt. Deshalb dreht sich das darauf aufgesetzte Rad. Der Achsschenkelbolzen ist durch eine ft-Achse 60 verwirklicht. Um ihn kann sich der Achsschenkel (Getriebeachse des mini-mots samt Motor) drehen. Ein Gummiring hält das Rad in der Geradeausrichtung. Der als Feder wirkende Ring soll nur ganz wenig gespannt sein.

Die Veränderung des Sturzes wird in der Versuchseinrichtung dadurch erreicht, daß der Achskörper auf und ab bewegt wird. Dazu ist das freie Ende des Achskörpers über eine Koppel an die ft-Kurbelwelle angelenkt. Zunächst bewirken Sie bitte die Sturzänderung nur durch Drehen der Handkurbel. Falls Sie ein zweites Netzgerät besitzen, können Sie auch mit Hilfe des Motors die Anzahl der Sturzänderungen pro Minute variieren. Andernfalls empfiehlt es sich später die Übersetzung des Kettentriebes zu variieren, um verschieden schnelle Sturzänderungen zu erzielen. Auf alle Fälle sollten Sie aber den mini-Motor mit einem Netzgerät betreiben, damit das Rad sich möglichst schnell dreht und die Flatterwirkung besonders deutlich herauskommt.

Zieht man die Nabe des Rades nicht fest, so sitzt es lose auf dem Achsschenkel und wird nur durch Reibung mitgenommen. Dadurch ergibt sich der Effekt einer Anlauf-Reibungskupplung. Der Motor wird nicht so stark belastet. Sie werden beobachten, daß das Flattern des Rades von der Drehzahl des Rades abhängig ist. Das Flattern ist außerdem um so stärker, je schneller die Sturzänderung erfolgt. Vielleicht beobachten Sie auch den Zusammenhang zwischen der Flatterrichtung und der Auf- und Abbewegung in Abhängigkeit von der Laufrichtung des Rades.

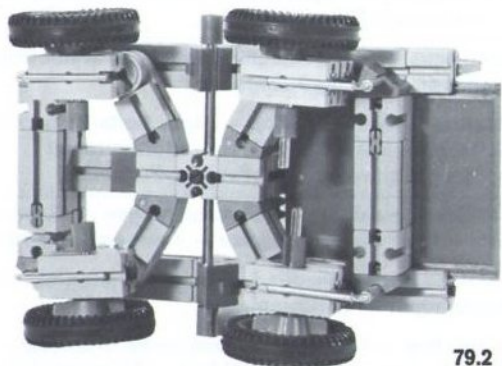
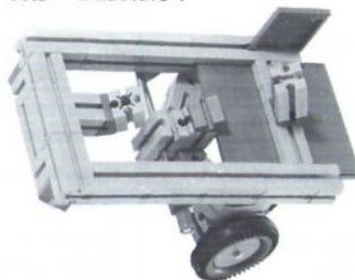
Das Bild 79.1 zeigt ein weiteres Modell eines Fahrzeuges mit Allradlenkung. Eine solche Konstruktion könnte z. B. als Baustellenfahrzeug Verwendung finden. Sie benötigen zum Bau 4 Gelenksteine.



79.4 Baustufe 2



79.3 Baustufe 1



79.2  
von unten



79.1



# Hobby-Bücher, Übersicht

Die aufgeführten Bände sind spätestens ab Mitte 1973 lieferbar. Weitere sind in Vorbereitung.

Band	für hobby		Inhalt
1 - 1	1	Maschinenkunde I	Kräfte – Hebel – Waagen – Flaschenzüge – Wellrad – Winden – Sperren – Schaltwerk – Zahnradgetriebe – Riemengetriebe – Hebezeuge
1 - 2	1	Steuerungen I	Bremsen – Hemmwerke – Uhren – ungleichförmig übersetzende Getriebe – Transporteinrichtungen – Turbinen
1 - 3	1+S	Statik I	Kräftezusammensetzung – Gleichgewicht – Lagerung von Körpern – Schwerpunkt – Fachwerke
1 - 4	1+S	Festigkeitslehre I	Beanspruchungsarten – Belastungsfälle – Spannungen und Dehnungen – Biegung – Knickung – Torsion
2 - 1	1+2	Maschinenkunde II	Motorisch angetriebene Maschinen – größere Getriebe – Werkzeugmaschinen – Transportmittel – Fördermittel
2 - 2	1+2	Maschinenkunde III	Kupplungen – Meßgeräte – Greifer – Greifergetriebe – Hebebühnen – Aufzüge – Werkzeugmaschinen
2 - 3	1+2	Oberstufe Physikalische Größen und Einheiten Kraftfahrzeugtechnik I	Definitionen der wichtigsten Maß-Einheiten der Mechanik – Kurbeltrieb des Hubkolbenmotors – Ventiltrieb (untenliegende Nockenwelle) – Kupplung – 3-Gang-Getriebe – Kreuzgelenke – homokinetische Gelenke
2 - 4	1+2+S	Hebezeuge I	Lauf-, Dreh-, Tor-, Wipp-, Kabelkrane – Verladebrücken
2 - 5	1+2	Oberstufe Kraftfahrzeugtechnik II	Viergelenkgetriebe – Parallelkurbelgetriebe – Scheibenwischer – Dreiradfahrzeuge – Fahrzeuglenkungen
3 - 1	1+2+3	Elektrische Grundschaltungen	Schaltmittel – Magnetismus – Elektromagnetismus – Thermobimetall – Relais – Relais-Schaltungen – Programmgeber
3 - 2	1+2+S+3	Elektrische Steuerungen und Logische Verknüpfungen	Fallklappe – Polarisiertes Relais – Flipflop – Sicherheits-Endabschalter – Steuerung einer Tablettenpresse – Portalkran – Bohrautomat Und-, Oder-, Nand-, Nor-, Äquivalenz-, Antivalenz-Funktion
4 - 1	1+2+3+4	Grundlagen der Steuerung mit Elektronik-Bausteinen	Steuerschaltungen – Lichtschranken – Alarmschaltungen – Sicherung von Mensch und Maschine – Operationsverstärker – Temperaturwächter
4 - 2	1+2+3+4	Elektronisch gesteuerte Maschinen und Anlagen I	Inverter – Taktgeber – Verzögerungsglied – Temperaturregler – Signalanlagen – Ablaufsteuerungen – Sortieranlagen
4 - 3	1+2+3+4+ Elektronikbausteine	Elektronisch gesteuerte Maschinen und Anlagen II	Logische Bausteine: Flipflop – Monoflop – And/Nand – Or/Nor – dyn. Und-Steuerungen mit mehreren Steuerfühlern – Folgeschaltungen