

Fluidtechnik in Kraftfahrzeugen

Bearbeitet von
Norbert Gebhardt, Holger Kühne, Jens Morgenstern, Michael Ketting

1. Auflage 2010. Buch. x, 324 S. Hardcover

ISBN 978 3 642 05483 9

Format (B x L): 15,5 x 23,5 cm

Gewicht: 647 g

Weitere Fachgebiete > Physik, Astronomie > Mechanik > Kontinuumsmechanik,
Strömungslehre

Zu Inhaltsverzeichnis

schnell und portofrei erhältlich bei

The logo for beck-shop.de features the text "beck-shop.de" in a bold, red, sans-serif font. Above the "i" in "shop" are three red dots of increasing size. Below the main text, the words "DIE FACHBUCHHANDLUNG" are written in a smaller, red, all-caps, sans-serif font.

beck-shop.de
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

3 Personen- und Nutzfahrzeuge

Der Einsatz fluidtechnischer Komponenten stellt im Personen- und Nutzfahrzeugsektor gegenwärtig ein breites Spektrum dar. Neben den für die aktive Sicherheit maßgeblich verantwortlichen Brems-, Lenk- und Fahrdynamiksystemen findet man zunehmend im Komfortbereich hochentwickelte Hydraulikanwendungen. Auch sind unterstützende Funktionen innerhalb von Motor, Getriebe und Kupplung zu nennen, die sich trotz ihrer relativen Unscheinbarkeit bewährt haben und sich auf einem hohen technischen Niveau befinden. Nicht unerwähnt sollen die sich mittlerweile in nahezu allen Kraftfahrzeugen befindlichen Klimaanlage bleiben, in denen viel fluidtechnisches Know-how steckt.

Aufgrund der Vielfalt derartiger Systeme und Anwendungen sowie gewisse Firmenspezifika kann eine allumfassende Darstellung nicht gegeben werden. Wichtig erscheint deshalb die physikalische Betrachtung ausgewählter typischer Komponenten.

3.1 Lenksysteme

Seitdem sich der Mensch mit Fahrzeugen fortbewegt, ist die Lenkbarkeit von entscheidender Bedeutung. Die Lenkung dient der Richtungsbestimmung des Fahrzeuges. Sie hat demnach die Aufgabe, den Lenkbefehl des Fahrers (Drehen des Lenkrades) in eine Bewegung der gelenkten Räder umzusetzen. Es werden Forderungen nach leichtgängigem Einparken, präziser und sicherer Lenkbarkeit bei hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten sowie guter Dämpfung von Fahrbahnstößen gestellt. Zudem darf der Fahrer den „fühlbaren“ Kontakt zur Fahrbahn nicht verlieren. Weiterführende und detailliertere Ausführungen sind der einschlägigen Fachliteratur zu entnehmen (z. B. [3.1]).

Seit Georg Lankensperger im Jahr 1816 die Drehschemellenkung erfand, hat sich die Lenktechnologie im großen Maß kontinuierlich weiterentwickelt (Abb. 3.1). Mit Einbeziehung der Hydraulik und folgend der Elektrotechnik/Elektronik sind aus diesen vormals einfachen Lenkungen komplexe Lenksysteme entstanden, so dass mitunter bereits von „Faszination Lenken“ gesprochen wird.

Lenkanlagen sind besonderen Sicherheitsauflagen unterworfen. Der Hersteller hat zur Erlangung der allgemeinen Betriebserlaubnis des Fahrzeuges entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen einzuhalten. Hierbei ist für in Deutschland zugelassene Fahrzeuge der §38 der Deutschen Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) bindend: *„Die Lenkeinrichtung muss leichtes und sicheres Lenken des*

Fahrzeuges gewährleisten. Sie ist, wenn nötig, mit einer Lenkhilfe zu versehen. Bei Versagen der Lenkhilfe muss die Lenkbarkeit des Fahrzeuges erhalten bleiben“ [3.2]. Maximal zulässige Lenkbetätigungskräfte sind innerhalb der Europäischen Gemeinschaft u. a. in den Richtlinien EG-70/311/EWG bzw. ECE-R79 für unterschiedliche Fahrzeugklassen festgelegt. Beim Übergang eines Fahrzeuges von der Geradeausfahrt in eine definierte Kurvenfahrt dürfen die Betätigungskräfte in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse bei einer Lenkanlage mit Hilfskraft max. 150 N bis 250 N und bei einer gestörten Lenkanlage (z. B. Ausfall der Hilfskraft) max. 300 N bis 450 N betragen. Die Fahrzeughersteller unterschreiten diese Werte jedoch erheblich. Ausführlichere Angaben dazu sind in den bereits genannten ECE-Regeln enthalten. Seitens des Gesetzgebers ist weiterhin eine mechanische Verbindung vom Lenkrad zum gelenkten Rad vorgeschrieben, was einer vollen „Steer-by-Wire“-Funktionalität derzeit noch entgegensteht. Ausnahmen bilden nur Lenkanlagen für langsam fahrende Arbeitsmaschinen mit einer in Deutschland zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h bzw. 62 km/h bei Zwei-Kreis-Ausführung der Lenkung.

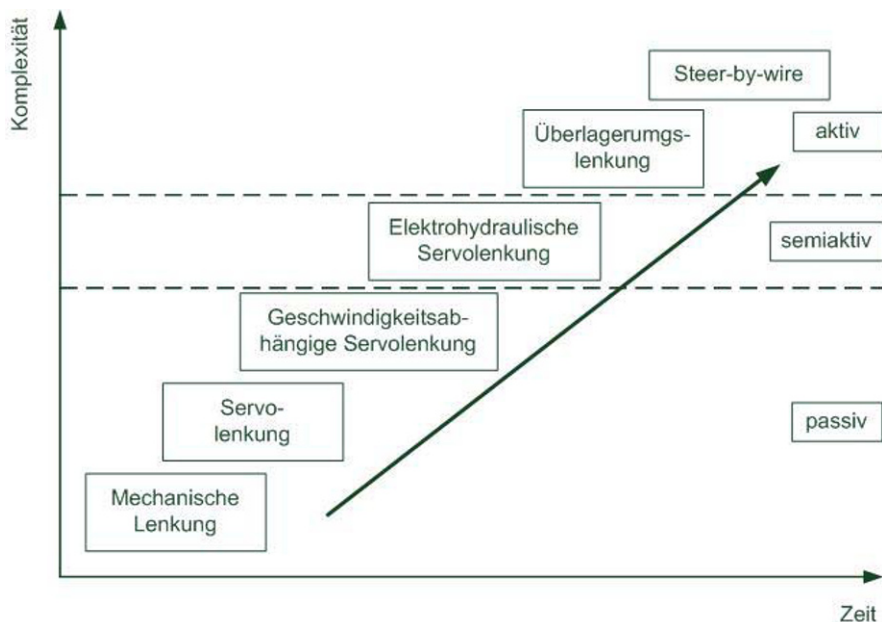


Abb. 3.1 Entwicklung der Lenksysteme

Eine eindeutige Einteilung der sich auf dem Markt befindlichen Lenksysteme gestaltet sich schwierig. Generell sind Lenkanlagen für Vorderachsen nach der Richtlinie EG-70/311/EWG folgendermaßen untergliedert:

- Muskelkraftlenkanlagen: Die Lenkkraft wird ausschließlich durch den Fahrer aufgebracht.

- Hilfskraftlenkanlagen: Die Lenkkraft wird durch den Fahrer und einer im Fahrzeug vorhandenen Energiequelle aufgebracht.
- Fremdkraftlenkanlagen: Die Lenkkraft wird ausschließlich von einer im Fahrzeug vorhandenen Energiequelle aufgebracht.

Nach Art der Lenkvorrichtung kann eine Fahrzeuglenkung in Drehschemel-, Achsschenkel- und Knicklenkung unterschieden werden, wobei die im Fahrzeugbau gebräuchliche Achsschenkellenkung als Vorderachs-, Hinterachs- oder Allradlenkung ausführbar ist.

Zur Anwendung kommen derzeit hauptsächlich die in Abb. 3.2 dargestellten Bauformen von Lenkgetrieben.

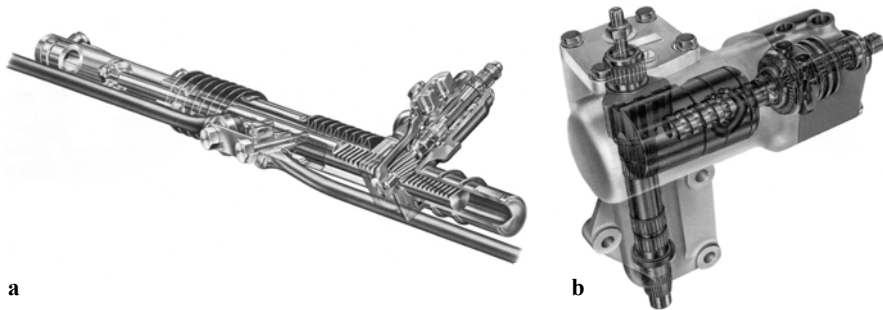


Abb. 3.2 Lenkgetriebebauformen [3.3]. **a** Zahnstangenlenkung **b** Kugelumlauf lenkung

Im PKW-Sektor wird fast ausnahmslos die Zahnstangenlenkung genutzt, wohingegen die Kugelumlauf lenkung vorrangig bei Nutzfahrzeugen anzutreffen ist. Die Zahnstangenlenkung setzt die Drehung des Lenkrades über ein Antriebsritzel in eine geradlinige Bewegung der Zahnstange um. Bei der Kugelumlauf lenkung ergibt sich eine Schwenkbewegung, die über eine Segmentwelle den Lenkstockhebel und das Lenkgestänge betätigt.

3.1.1 Lenksysteme im PKW- und Transporterbereich

Ziel der gegenwärtig eingesetzten Lenksysteme ist es, das vom Fahrer am Lenkrad aufzubringende Moment auf ein leicht zu handhabendes Maß zu reduzieren. Das kann sowohl hydromechanisch als auch elektromechanisch erfolgen. Die bereits erwähnte Zahnstangenlenkung soll als Basis für die weiteren Betrachtungen der unterschiedlichen Hilfskraftlenkanlagen herangezogen werden.

Eine wichtige Kenngröße bei der Beurteilung der Lenksysteme ist das sog. Verstärkungsverhältnis λ , das aus dem Quotienten der zum Radeinschlag nötigen Kraft F_S (Spurstangenkraft) und der am Lenkrad erforderlichen Betätigungskraft F_L (Lenkbetätigungskraft) bestimmt werden kann.

$$\lambda = \frac{F_S}{F_L} \quad (3.1)$$

Das Verstärkungsverhältnis nimmt demnach einen Wert größer 1 an und ist bei rein mechanischen Systemen aufgrund der Ritzel-Zahnstangenübersetzung konstant. Ausnahmen bilden variable Übersetzungen. Hilfskraftlenksysteme haben einen degressiven Kurvenverlauf (Abb. 3.3).

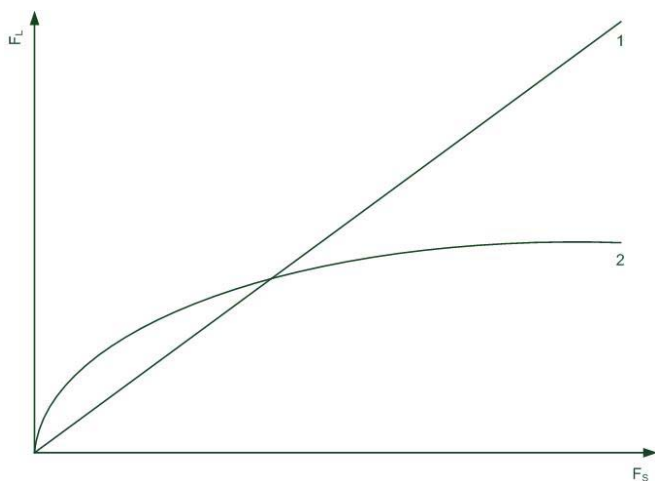


Abb. 3.3 Qualitativer Verlauf des Verstärkungsverhältnisses. 1 Mechanisches System, 2 Hilfskraftlenksystem

Die Spurstangenkraft ist dabei hauptsächlich von der Reifenhaftung, der Fahrzeugmasse und von Kräften, die während der Rotation auf das Rad wirken, abhängig. Ist die Spurstangenkraft hoch, was i. d. R. beim Lenken eines voll beladenen Fahrzeuges im Stand bzw. bei niedrigen Geschwindigkeiten auftritt, muss das Verstärkungsverhältnis hoch sein, um die Lenkkraft auf ein vertretbares Maß zu begrenzen. Diese hohen Kräfte an den Rädern sind dann vom Fahrer kaum oder gar nicht wahrnehmbar. Im Gegensatz dazu ist bei hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten das Gefühl für die Straße am Lenkrad erwünscht, was wiederum ein niedriges Verstärkungsverhältnis notwendig macht. Somit ergibt sich bei Hilfskraftlenksystemen die Forderung nach einem nicht konstanten Übersetzungsverhältnis.

3.1.1.1 Hydromechanische Servolenksysteme

Hydromechanische Lenksysteme, auch hydraulische Servolenkungen genannt, sind bereits seit den 1940er Jahren auf dem US-amerikanischen Markt und seit den 1950er Jahren in europäischen Fahrzeugen anzutreffen. Man spricht von einer hydraulischen Unterstützung des mechanischen Lenkgetriebes.

Das Antriebsritzel, welches über eine Evolventenverzahnung in die Zahnstange greift, ist über den Dreh- oder Torsionsstab sowie den Drehschieber mit der Lenkspindel und demzufolge mit dem Lenkrad verbunden. Somit ist die gesetzlich vor-

geschriebene mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und gelenktem Rad gegeben. Die Drehung des Ritzels bewirkt eine Verschiebung der Zahnstange, die die entsprechenden Kräfte mittels Spurstange auf die Radlenkhebel überträgt. Ein federbelastetes Druckstück, das die Zahnstange gegen das Antriebsritzel drückt, sorgt für einen spielfreien Zahneingriff. Als zusätzliche Baugruppen sind eine hydraulische Lenkpumpe mit integriertem Druck- und Stromregelventil, ein Lenkventil, ein Lenkzylinder sowie Ölbehälter und hydraulische Verbindungsleitungen erforderlich.

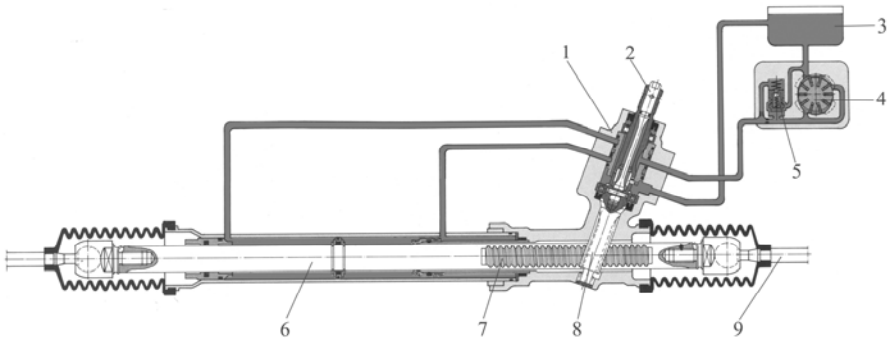


Abb. 3.4 Zahnstangen-Hydraulenkung mit Drehschieberventil [3.3]. 1 Lenkventil, 2 Drehstab, 3 Ölbehälter, 4 Hydraulikpumpe, 5 Strom- und Druckregelventil, 6 Lenkzylinder, 7 Zahnstange, 8 Antriebsritzel, 9 Spurstange

Dieses konventionelle Lenksystem arbeitet nach dem Open-Center-Prinzip („Offene Mitte“). Eine Hydraulikpumpe wird über einen Keilriemen vom Verbrennungsmotor des Fahrzeuges angetrieben und fördert drehzahlabhängig einen Ölvolu-
menstrom über das Lenkventil (mitunter auch Steuerventil genannt) zum Lenkzylinder bzw. in den Ölbehälter zurück. Die Bezeichnung „Offene Mitte“ ergibt sich daraus, dass das Fluid in der Neutralstellung des Ventils (keine Lenkunterstützung gewünscht) von der Pumpe kommend in den Ölbehälter zurückströmt (Abb. 3.5a). Nachteilig wirkt sich dabei ein geringer Leistungsverlust infolge einer Ventildruckdifferenz von ca. 1–3 bar aus. Positiv ist jedoch die Tatsache, dass das Ventil auf Öltemperatur gehalten wird.

Bekannt sind auch Lenksysteme, die nach dem Closed-Center-Prinzip („Geschlossene Mitte“) arbeiten, momentan jedoch wenig oder gar keine Anwendung finden. Das Hydraulikfluid strömt hierbei nur durch das Ventil, wenn es sich nicht in Neutralstellung befindet (Abb. 3.5b). So ist es theoretisch möglich, die Lenkpumpe bei Geradeausfahrt abzuschalten bzw. mit verminderter Drehzahl zu betreiben. Allerdings ist ein zusätzlicher Druckspeicher vorzusehen, um bei plötzlichen Lenkbewegungen bis zum Anlaufen und Druckaufbau der Pumpe ausreichend Öl bereitzustellen. Die Pumpe hat demnach hauptsächlich die Aufgabe des Aufladens des Speichers. Ein Einsatz ist bei elektrohydraulischen Lenksystemen sinnvoll (s. Abschn. 3.1.1.3), da hier eine Unabhängigkeit von der Verbrennungsmotordrehzahl gegeben ist.

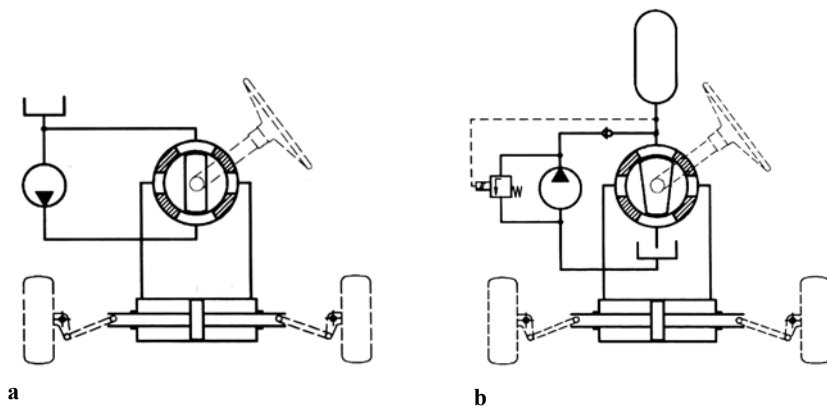


Abb. 3.5 Lenksysteme [3.3]. **a** System „Offene Mitte“ **b** System „Geschlossene Mitte“

Das am weitesten verbreitete Lenkventil ist das Drehschieberventil. Es zeichnet sich durch seinen relativ einfachen Aufbau aus. Grundsätzlich kann man von einem 4/3-Wege-Stetigventil sprechen (Schaltsymbol in Abb. 3.6 a). Für die Funktion wichtige Bauteile sind in Abb. 3.6 b dargestellt.

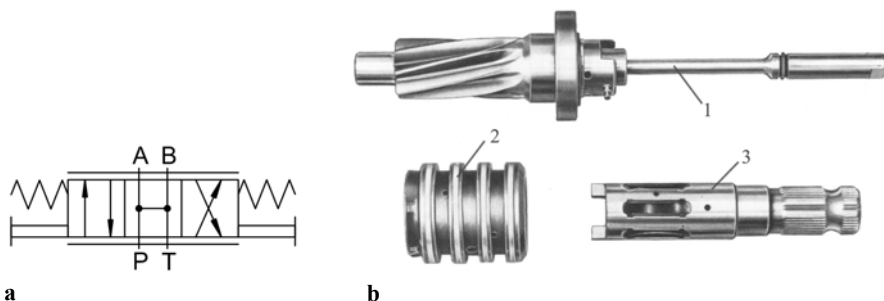


Abb. 3.6 Drehschieberventil. **a** Schaltzeichen **b** Bauteile [3.3] 1 Drehstab, 2 Steuerbuchse, 3 Drehschieber

Die Anschlüsse zum Lenkzylinder (A, B) dürfen aber nur gegeneinander geschlossen werden, wenn ein Moment am Lenkrad wirkt. Dazu muss z. B. das Gehäuse des Ventils (Steuerbuchse) dem Ventilschieber (Drehschieber) nachgeführt werden, so dass bei Beendigung des Lenkvorgangs die hydraulische Unterstützung abgeschaltet ist und sich die hydraulische Mitte wieder einstellt. In dieser Neutralstellung sind die Zylinderanschlüsse nun wieder miteinander verbunden. Dadurch sind äußere Kräfte, die am Rad wirken, am Lenkrad spürbar (Reaction-Lenkung). Auch eine Selbststrückstellung des Lenkrades ist gewährleistet. Diese Mittenzentrierung übernimmt der Drehstab, der auf der Lenksäulenseite mit dem Drehschieber und auf der Ritzelseite mit der Steuerbuchse mechanisch verbunden ist. Er-

folgt keine Lenkbewegung, sind alle Steuerkanten geöffnet, d. h. das von der Pumpe geförderte Öl wird durch das Lenkventil zum Ölbehälter zurückgeführt.

Um die Zahnstange gegen die wirkenden Spurstangenkräfte zu verschieben, muss der Fahrer während der Drehbewegung des Lenkrades ein Moment aufbringen. Hierbei werden Drehschieber und Steuerbuchse gegeneinander verdreht (Abb. 3.7).

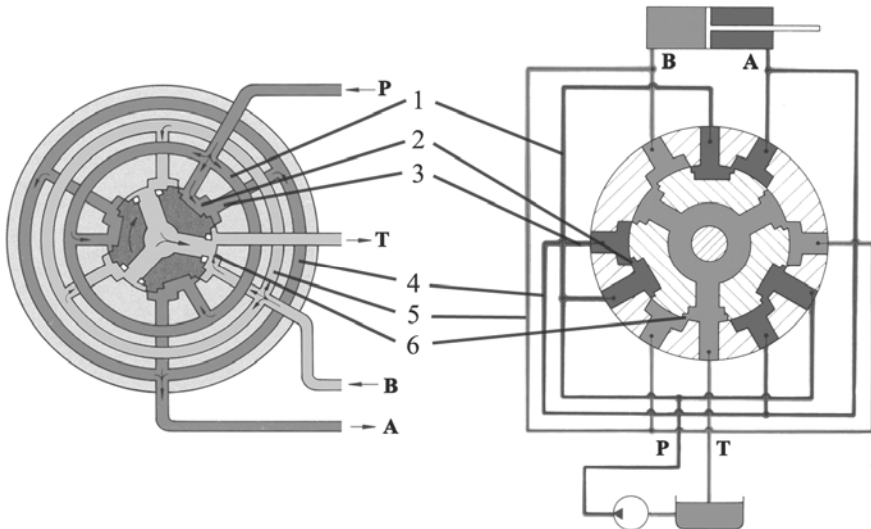


Abb. 3.7 Funktionsschema des Drehschieberventils [3.3]

Zum Einfahren des in Abb. 3.7 dargestellten Lenkzylinders, gelangt das von der Hydraulikpumpe geförderte Öl über die Zulauf-Radialnut 1 und die drei geöffneten Zulauf-Steuerkanten 2 in die drei zugehörigen Ablauf-Axialnuten 3 und weiter über die Ablauf-Radialnut 4 zum Lenkzylinderanschluss A. Nun baut sich ein Druck in der entsprechenden Zylinderkammer auf und unterstützt die mechanisch eingeleitete Zahnstangenbewegung. Das in der anderen Zylinderkammer verdrängte Öl gelangt zum Anschluss B des Lenkventils und weiter über eine Rücklauf-Radialnut 5 und die drei Rücklauf-Steuerkanten 6 des Drehschiebers zum Anschluss T und folgend zum Ölbehälter zurück. Analog verhält sich dieser Ölfluss bei entgegengesetztem Lenken. Zusammenfassend kann man feststellen, dass, solange sich der Torsionsstab verdreht, eine Nachführung der Steuerbuchse und demzufolge eine hydraulische Unterstützung erfolgt.

Die Ventilkennlinien, folglich auch das Lenkverhalten des Fahrzeuges, können durch die Steuerkantengeometrie, die Öffnungsquerschnitte und die Drehstabsteifigkeit beeinflusst werden. Die Form der Steuerkanten wirkt sich auf die Lenkkräfte und das Lenkgefühl während des Fahrbetriebes aus. Vor allem im Übergangs- oder Anlenkbereich (geringfügiges Öffnen der Steuerkanten) können durch eine spezielle Kantengestaltung Rattergeräusche vermieden werden. Über die Drehstabsteifigkeit, also maßgebend über den Drehstabdurchmesser bzw. Mitten-

versteifungen, wird bestimmt, wie groß das Lenkmoment sein muss, bis überhaupt die hydraulische Unterstützung im besagten Anlenkbereich einsetzt.

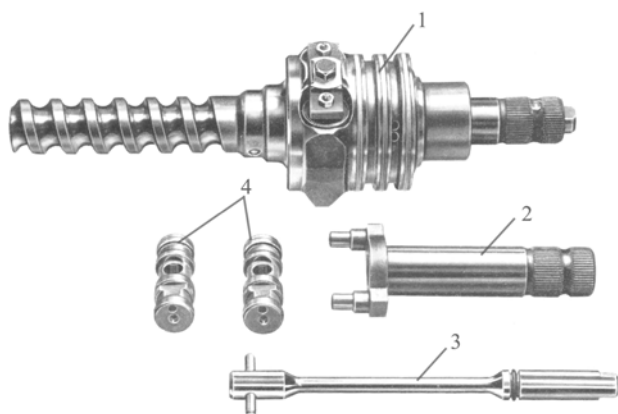


Abb. 3.8 Bauteile eines Drehkolbenventils für eine Kugelumlauflenkung [3.3]. 1 Ventilkörper, 2 Lenkspindel mit Zapfen, 3 Drehstab, 4 Steuerkolben

Neben dem beschriebenen Drehschieberventil findet auch das Drehkolbenventil in Verbindung mit Kugelumlauflenkungen Anwendung (Abb. 3.8 und Abb. 3.9). Das Herzstück bilden zwei Steuerkolben, die sich gegeneinander verschieben und den Pumpenvolumenstrom weiterleiten. Die Lenkspindel greift über zwei Zapfen in die Bohrung je eines Steuerkolbens. Die Spindel selbst ist mit dem Drehstab über einen Stift verbunden. Die andere Seite des Drehstabes bildet über einen weiteren Stift eine mechanische Verbindung mit dem Ventilkörper, der eine ähnliche Funktion wie die Steuerbuchse beim Drehschieberventil hat. Auch hier wird der Ventilkörper solange nachgeführt, bis sich die Steuerkolben wieder in der exakten hydraulischen Mitte befinden (Neutralstellung). Eine hohe Ansprechgeschwindigkeit zeichnet dieses Drehkolbenventil aus [3.3].

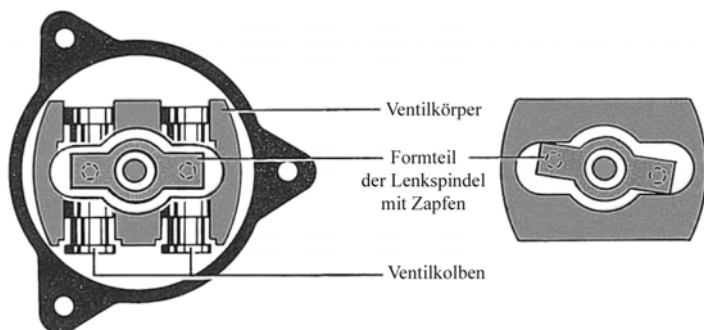


Abb. 3.9 Drehkolbenventil in Funktion [3.4]

Der Lenkpumpe, die die hydraulische Energie bereitstellen muss, kommt eine nicht unerhebliche Bedeutung zu. Sie wird, wie bereits erwähnt, meist über einen Riemen direkt vom Verbrennungsmotor angetrieben und hat die Aufgabe, das Fluid über das Lenkventil zum Lenkzylinder zu fördern und den entsprechenden Lenkdruck aufzubauen. In der Regel werden aus wirtschaftlichen Gründen Konstantpumpen eingesetzt, die allerdings einen drehzahlabhängigen Volumenstrom fördern. Aus diesem Grund wird der maximale Förderstrom am sog. Regelpunkt begrenzt. Ein Stromventil (meist 3-Wege-Stromregelventil) begrenzt den zuviel geförderten Volumenstrom und leitet diesen annähernd drucklos auf die Saugseite bzw. in den Ölbehälter zurück. Dieses System ist vergleichbar mit einem hydro-mechanischen Load-Sensing-System in Verbindung mit einer Konstantpumpe.

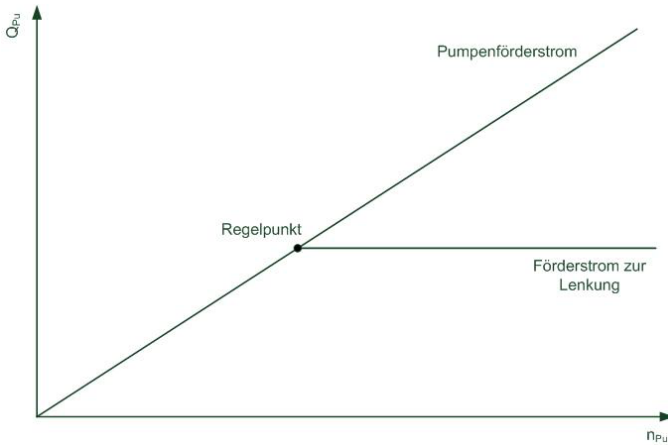


Abb. 3.10 Volumenstromkennlinie (theoretischer Verlauf)

Der Förderstrom zur Lenkung ist genau auf das Fahrverhalten des Fahrzeuges abgestimmt. Auch im niedrigen Drehzahlbereich bei schnellen Lenkmanövern (max. Lenkgeschwindigkeit ca. 500 °/s bis teilweise 800 °/s) muss ein ausreichender Volumenstrom zum Lenkzylinder gefördert werden. Geschieht das nicht, würde der Fahrer einen Lenkmomentanstieg in Form eines harten Punktes merken. Dieser Effekt wird „Catch the pump“ (Einfangen der Pumpe) genannt.

Mitunter werden bereits Proportionalmagnetventile anstelle der rein mechanischen Stromregelventile zur Volumenstromdosierung eingesetzt. So kann der Förderstrom zur Lenkung in Abhängigkeit der Fahrzeuggeschwindigkeit, des Lenkwinkels und der Lenkgeschwindigkeit angepasst werden (z. B. abfallende Kennlinie bei höheren Drehzahlen). Bei Lenkpumpenherstellern sind derartige Systeme unter den Namen EV² (Electrically Variable Volume flow) bzw. ECO (Electronically Controlled Orifice) bekannt. Es handelt sich dabei um sehr dynamische Systeme, die in die Fahrzeugsteuerung integriert sind und vor allem bei Geradeausfahrt den benötigten Lenkvolumenstrom stark absenken und bei Bedarf innerhalb kürzester Zeit (ca. 30 ms) auf ein Maximum erhöhen. Eine reduzierte

Leistungsaufnahme von bis zu einem Drittel einer herkömmlichen Lenkpumpe wird angegeben.

Ein zweites, meist in Kombination mit dem Förderstromregler eingebautes Ventil, ist das Druckbegrenzungsventil, welches auf den maximal zulässigen Lenkdruck fest eingestellt ist und unzulässig hohe Drücke, die zu Bauteilschädigungen führen können, vermeidet. Gegenwärtige PKW-Servolenkungen arbeiten mit einem Höchstdruck von ca. 120–140 bar (fahrzeugabhängig). Die Tendenz geht, vor allem im Transporterbereich, zu Drücken bis 180 bar. Hohe Drücke minimieren die Größe der Lenkzylinder, bringen allerdings Probleme bei den Bauteilfestigkeiten und beim volumetrischen Wirkungsgrad.

Die Lenkpumpen sind meist Flügelzellenpumpen in doppelhubiger Ausführung (Abb. 3.11).

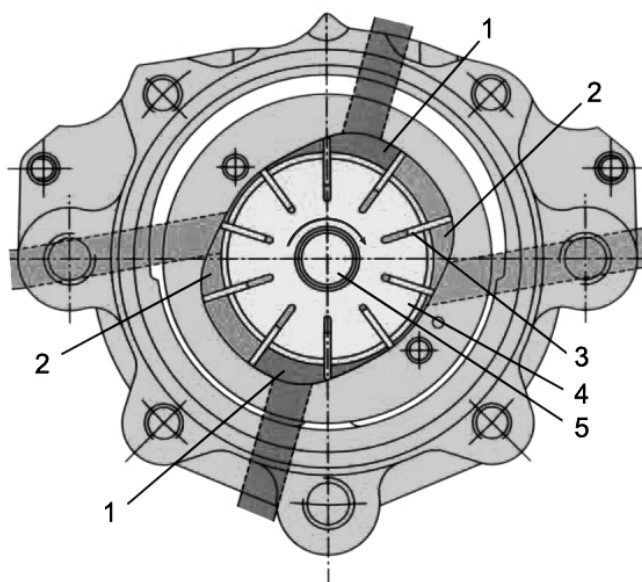


Abb. 3.11 Schema einer rechtsdrehenden doppelhubigen Flügelzellenpumpe [3.5]. 1 Saugzone, 2 Druckzone, 3 Flügel mit Druckbeaufschlagung, 4 Läufer, 5 Antriebswelle

Aufgrund der elliptischen Form des Kurvenringes, an dem die im Läufer befindlichen Flügel entlang gleiten, kommt es bei jeder Umdrehung zur Ausbildung von je zwei Saug- und Druckzonen.

Ein entscheidender Vorteil dieser Pumpenbauart ist, dass sich durch die symmetrische Anordnung der Saug- und Druckzonen die am Läufer wirksamen Radialkräfte nahezu aufheben, was zu einer kleineren Dimensionierung der Antriebswelle sowie geringeren Lagerbelastungen führt. Zur Minimierung der volumetrischen Verluste trägt ein axialer Spielausgleich (sog. Spaltkompensation) sowie das Anpressen der Flügel an den Kurvenring durch innere Druckbeaufschlagung bei. Geringe Pulsationsneigung, lange Lebensdauer sowie niedriger Preis sind weitere

Argumente für den Einsatz dieser Pumpen innerhalb der Fahrzeugtechnik. Um die Nachteile der zusätzlichen Förderstrombegrenzung zu vermeiden, werden vor allem in der oberen Mittelklasse bzw. Oberklasse zunehmend verstellbare Flügelzellenpumpen eingesetzt, die jedoch funktionsbedingt einhubig ausgeführt sein müssen und demzufolge kompakter sind. Hier reduziert sich aufgrund der Hubvolumenverstellung die Leistungsaufnahme gegenüber einer geregelten Konstantpumpe weiter.

Auch Radialkolbenpumpen finden vereinzelt als Lenkpumpen Verwendung. Mit ihnen kann das Druckniveau weiter angehoben werden (200 bar). Mit einer Saugregelung ist es möglich, den Volumenstrom trotz erhöhter Drehzahl konstant zu halten. Aufgrund der bei hohen Drehzahlen auftretenden Fliehkräfte erreichen die Kolben nicht mehr die Endlagen und saugen nur einen verminderten Volumenstrom an. Ein Stromregelventil kann entfallen.

Oft kombiniert man die Lenkpumpe mit einer zweiten Pumpe, die einen weiteren Hydraulikkreislauf versorgt (z. B. Wankstabilisierung, Kraftstoffvorförderung, Hydrolüfter). Beide Pumpen befinden sich auf einer Antriebswelle. Solche Systeme werden als Tandempumpe oder Doppelpumpe bezeichnet. Bei den verwendeten Radialkolbendoppelpumpen gibt es nur einen Sauganschluss und zwei Druckanschlüsse für die entsprechenden Kreisläufe.

Als Lenkzylinder genutzte Hydraulikzylinder sind meist doppeltwirkend mit einseitiger oder durchgehender Kolbenstange. Die Kolbenstange ist mit der Zahnstange verbunden. Somit kann die hydraulische Unterstützung direkt an diese weitergegeben werden. Eine Besonderheit stellen spezielle Verbindungsquerschnitte im Zylinderrohr dar (Abb. 3.12). Diese ermöglichen kurz vor Hubende ein Zurückströmen des Öles aus dem unter Hochdruck stehenden Zylinderraum in den durch den Kolben getrennten Rücklaufraum. Hierbei kommt es kurz vor dem Endanschlag zu einem Druckabbau, der die Lenkungsmechanik vor übermäßiger Belastung schützt. Die daraus reduzierte hydraulische Lenkunterstützung bemerkt der Fahrer durch ein erhöhtes Betätigungsmoment am Lenkrad. Er erhält demzufolge unmittelbar vor dem bevorstehenden Erreichen des maximalen Radeinschlag eine Rückmeldung.

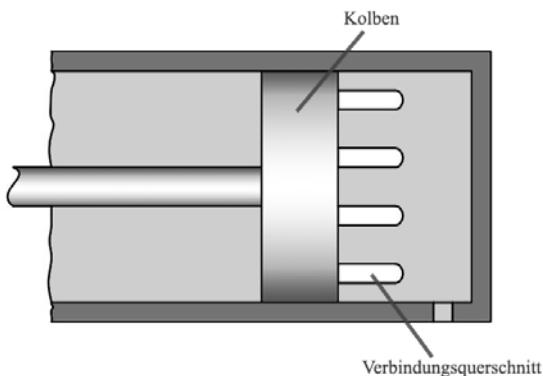


Abb. 3.12 Verbindungsquerschnitte im Lenkzylinder

Lenkungsstöße, die durch Fahrbahnunebenheiten entstehen können, versucht man auf hydraulischer Basis durch ein integriertes Ventil- und Blendensystem zu minimieren. Diese Blenden, die oftmals in die Hydraulikschlauchleitungen eingepasst sind, sollen Schwingungen, die zwangsläufig zu Geräuschen führen, vermindern. Eine Optimierung derartiger komplexer Vorgänge im Fahrzeug ist nur mit geeigneter Simulationssoftware bzw. praktischen Versuchen möglich.

In der Lenkhydraulik verwendete Fluide sind oft die so genannten ATF-Öle (Automatic Transmission Fluid), die sich durch eine gute Alterungsbeständigkeit und ein sehr gutes Viskositäts-Temperatur-Verhalten auszeichnen. An dieser Stelle sei auf Abschn. 2.2 verwiesen, in welchem die in Kraftfahrzeugen eingesetzten Fluide betrachtet werden.

3.1.1.2 Geschwindigkeitsabhängige Servolenksysteme

Um den Wunsch nach einem besseren Lenkcomfort gerecht zu werden, sind in der Vergangenheit spezielle geschwindigkeitsabhängige Lenksysteme entwickelt worden. In Verbindung mit Sensorik und elektronischen Steuergeräten sind diese Systeme in der Lage, das Lenkradmoment der jeweiligen Fahrsituation anzupassen.

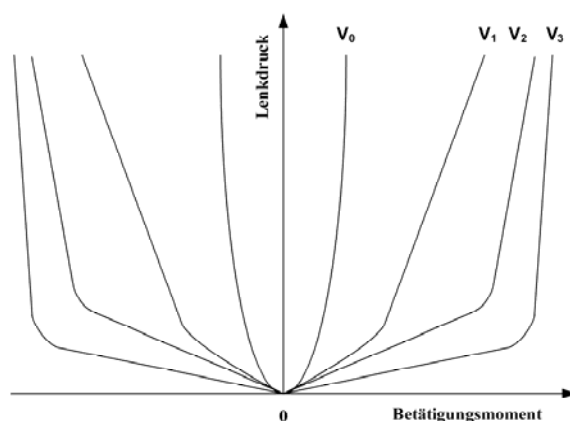


Abb. 3.13 Kennfeld einer geschwindigkeitsabhängigen Servolenkung. $v_0 = 0$ km/h, $v_1 = 20$ km/h, $v_2 = 80$ km/h, $v_3 = 200$ km/h

Die Basis bildet die im Abschn. 3.1.1.1 beschriebene klassische Servolenkung, die sich nunmehr infolge spezieller konstruktiver Änderungen durch ein leichtgängiges und komfortables Lenken beim Ein- und Ausparken sowie ein sicheres Fahrgefühl bei höheren Fahrgeschwindigkeiten auszeichnet. Anhand der Kennlinien in Abb. 3.13 ist ersichtlich, dass das Betätigungsmoment am Lenkrad beim Lenken im Stand (0 km/h) nahezu über dem gesamten Lastbereich konstant gering ist und vor allem bei sehr hohen Fahrgeschwindigkeiten (200 km/h) im fahrzustandsrelevanten niedrigen Lastbereich (geringer Lenkdruck) signifikant ansteigt. Öldruck

und Volumenstrom dürfen dabei zu keiner Zeit reduziert werden, so dass auch in Notsituationen (z. B. Ausweichmanöver) Sicherheit und Lenkpräzision gewährleistet sind.

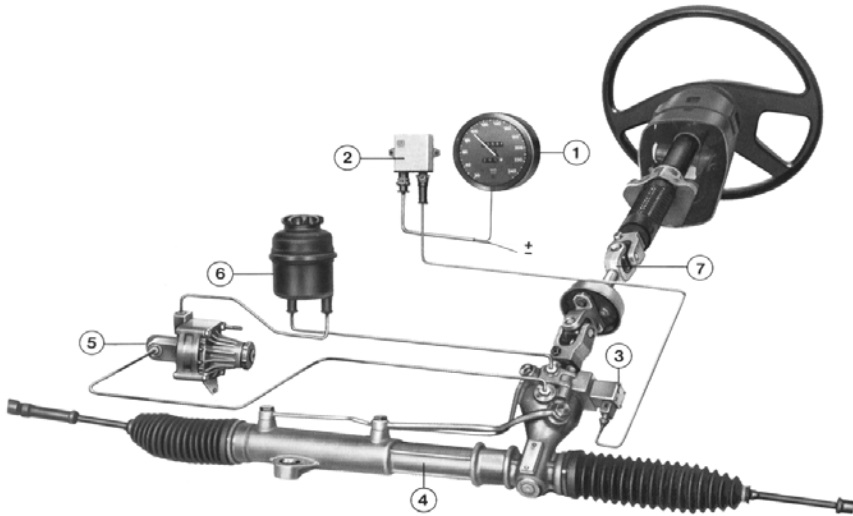


Abb. 3.14 Geschwindigkeitsabhängige Zahnstangen-Servolenkung [3.6]. 1 elektronischer Tachometer, 2 Steuergerät, 3 elektro-hydraulischer Wandler, 4 Zahnstangenlenkung, 5 Lenkpumpe, 6 Ölbehälter, 7 Lenksäule

Das Prinzip basiert auf einer direkten hydraulischen Rückwirkungskraft zusätzlich zum Verdrehwiderstand des Drehstabes. Die von einem elektronischen Tachometer gelieferten Geschwindigkeitssignale werden über ein Steuergerät an einen im Lenkventil integrierten elektro-hydraulischen Wandler gegeben, der die Funktion eines stetig verstellbaren Wegeventils hat und einen Durchflussquerschnitt zwischen Pumpendruck- und Rückwirkraum mehr oder weniger öffnet. Bei niedrigen Fahrzeuggeschwindigkeiten ist dieses Ventil geschlossen. Erhöht sich die Geschwindigkeit, reduziert sich der Steuerstrom für das Wandlerventil, das daraufhin weiter öffnet. Somit kann sich ein Druck auf einen Rückwirkkolben aufbauen, der die Beweglichkeit des Drehschiebers gegenüber der Steuerbuchse mindert und demnach ein höheres Betätigungsmoment aufgrund geringerer hydraulischer Unterstützung zur Folge hat. Ein fahrzeugspezifisch einzustellendes Druckabscheidventil begrenzt das höchste Betätigungsmoment.

Sollte das Wandlerventil nicht mehr bestromt werden (z. B. Ausfall des Bordnetzes), bleibt die Lenkung voll funktionsfähig und arbeitet auf der Basis der maximalen hydraulischen Rückwirkung, so dass vor allem bei hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten ein sicherer Lenkzustand gewährleistet ist.

Auch funktional einfachere Systeme können eine geschwindigkeitsabhängige Beeinflussung der hydraulischen Unterstützung mit sog. „Schwarz-Weiß-Zuständen“ realisieren. Man spricht vom City-Modus, wobei im niedrigen Ge-

schwindigkeitsbereich vom Fahrer eine Taste betätigt werden kann, die ein Ventil schaltet, welches den Rückwirkraum vom Pumpenraum trennt und eine erleichterte Lenkbewegung hervorruft. Bei höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten bzw. Ausfall des Systems stellen sich die üblichen servohydraulischen Eigenschaften wieder ein.

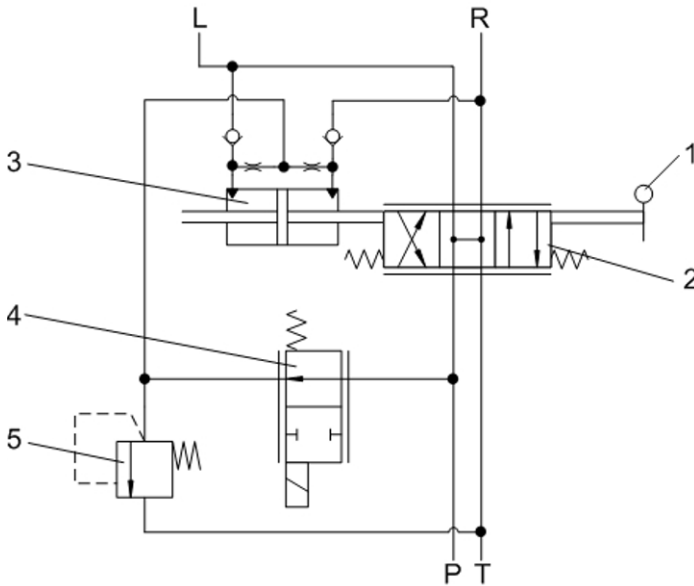


Abb. 3.15 Vereinfachter Schaltplan eines Lenkventils für ein geschwindigkeitsabhängiges Lenksystem. 1 Lenksäule mit Lenkrad, 2 Drehschieberventil, 3 Rückwirkeinrichtung, 4 elektro-hydraulischer Wandler, 5 Druckabscheidventil

3.1.1.3 Elektrohydraulische Servolenksysteme

Die bereits beschriebene Abhängigkeit des Pumpenförderstromes von der Verbrennungsmotorzahl kann durch elektrisch angetriebene Hydraulikpumpen vermieden werden. Diese mitunter auch als Powerpack bezeichneten Systeme bestehen aus einem Pumpenträger, an den die Lenkpumpe, der Hydrauliktank, notwendige Ventile sowie ein Elektromotor samt Steuergerät angebracht sind. Dieses Antriebssystem kann nun unabhängig vom Verbrennungsmotor variabel im Fahrzeug verbaut werden. Vorteile liegen in einem verbesserten Crashverhalten und in der Tatsache begründet, dass auch bei abgeschaltetem Fahrzeugmotor die volle Lenkunterstützung zur Verfügung steht. Durch die Steuerungselektronik ist es relativ einfach möglich, das Lenksystem auf das Fahrzeug abzustimmen und Faktoren wie Fahrzeuggeschwindigkeit und Lenkraddrehzahl effizienter mit einzubeziehen. In Verbindung mit einem Speicher kann das System „Geschlossene Mitte“ (s. Abschn. 3.1.1.1) eingesetzt werden, d.h. die Lenkpumpe wird hauptsächlich zum Füllen des Speichers genutzt.



Abb. 3.16 Komplettes elektrohydraulisches Lenksystem (EHPS) in Verbindung mit einer Zahnstangen-Hydrolenkung [3.7]

Es wird von Kraftstoffeinsparungen bis zu 0,3 l/100 km gegenüber konventionellen Servolenksystemen gesprochen. Grenzen liegen allerdings aufgrund des derzeitigen 12-V-Bordnetzes in der eingeschränkten Leistungsaufnahme, das einen Einsatz in größeren und schwereren Fahrzeugen mit höheren aufzubringenden Lenkkräften verhindert.

3.1.1.4 Elektromechanische Servolenksysteme

Gänzlich auf eine hydraulische Unterstützung verzichten diese Systeme, die vollständigkeitshalber erwähnt werden sollen.

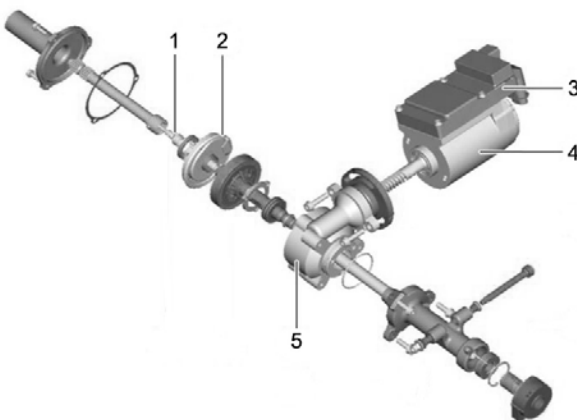


Abb. 3.17 Elektrische Unterstützung an der Lenksäule [3.8]. 1 Torsionsstab, 2 Drehmomentsensor, 3 Steuergerät, 4 Stellmotor, 5 Schneckengetriebe

Das unterstützende Moment bringt ein Stellmotor auf, der direkt an der Lenksäule (Abb. 3.17), am Lenkritzel bzw. zusätzlichen Doppelritzel oder achsparallel auf die Zahnstange wirkend angebaut sein kann. Ein im Torsionsstab eingebauter optoelektronischer oder magnetoresistiver Drehmomentsensor erfasst Lenkmoment und Lenkraddrehzahl sowie -winkel und gibt diese Information an ein Steuergerät weiter, welches in Abhängigkeit der Fahrzeuggeschwindigkeit das geforderte Unterstützungsmoment für den Stellmotor bestimmt.

Zu den im Abschn. 3.1.1.3 genannten Vorteilen elektrohydraulischer Systeme kommt nun auch noch der Verzicht auf sämtliche hydraulische Bauelemente zum Tragen. Allerdings bestimmen auch hier die maximale Stromstärke von ca. 80 Ampere bei 12-V-Bordnetzen sowie die Stellmotorgröße die Einsatzgrenzen.

3.1.1.5 Pneumatische Servolenksysteme

Um eine kostengünstige Alternative zu hydraulischen Hilfskraftlenkssystemen zu finden, wurden in den 1980er Jahren Entwicklungen bezüglich pneumatischer Hilfskraftlenkungen vorangetrieben.

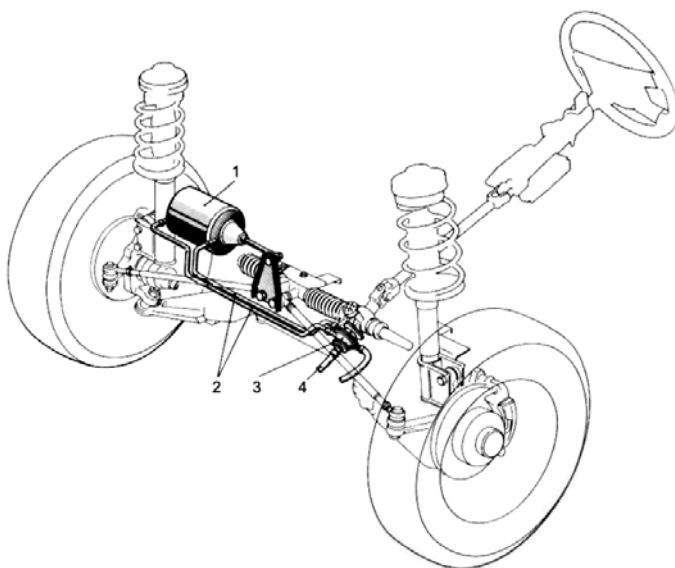


Abb. 3.18 Pneumatische Hilfskraftlenkung [3.9]. 1 Pneumatikzylinder, 2 Verbindungsleitungen, 3 Steuerventil, 4 Unterdruckleitung

Aufgrund der Tatsache, dass der für die Lenkunterstützung nötige pneumatische Arbeitszylinder auf Unterdruckbasis (Saugrohr, Unterdruckpumpe) zwar einfach, aber auch relativ großvolumig gebaut ist (Zylinderdurchmesser >120 mm), gab es in den Folgejahren keine innovativen Weiterentwicklungen. Bekannt geworden ist dieses System auch als Unterdruck-Servolenkung.

3.1.1.6 Überlagerungslenksysteme

Um den Lenkkomfort weiter zu verbessern, finden Überlagerungslenkungen, auch als Aktivlenkung bekannt, in Verbindung mit geschwindigkeitsabhängigen servo-hydraulischen Lenksystemen Anwendung. Hierbei wird zwischen Ritzel und Lenkventil ein zusätzliches Planetengetriebe eingefügt, welches die Aufgabe hat, je nach Fahrzeuggeschwindigkeit die Übersetzung zwischen Lenkrad und Zahnstangenritzel zu verändern. Durch Verdrehen des Planetenradträgers mit Hilfe eines Schneckenrades, das von einem Elektromotor angetrieben wird, ist es möglich, dem Lenkradwinkel einen Zusatzwinkel (Motorwinkel) hinzuzufügen oder abzuziehen. Bei langsamer Fahrt und vor allem beim Parken ist die Lenkung direkter, d. h. der Fahrer benötigt etwa nur eine Lenkraddrehung zum Aus- oder Einparken. Bei höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten wird dagegen die Übersetzung verringert, so dass eine Lenkraddrehung nur einen sehr kleinen Radeinschlag zur Folge hat. Das kommt wiederum der Fahrzeugsicherheit zugute. Sollte das Fahrzeug bei z. B. unterschiedlichen Fahrbahnzuständen zwischen linkem und rechtem Rad versuchen auszubrechen, ist es mit diesem System auch möglich, über den Stellmotor aktiv in die Lenkung einzugreifen. Man spricht von der Gieratenregelung.

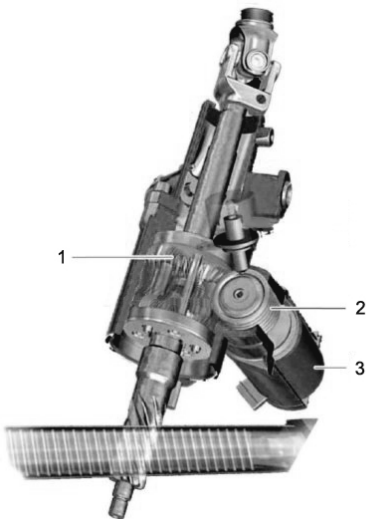


Abb. 3. 19 Aktivlenkung [3.8]. 1 Planetengetriebe, 2 Schneckenrad, 3 Elektromotor

Hohe Anforderungen werden an die hydraulische Unterstützung gestellt, denn beim Einparken kommt es aufgrund des niedrigen Übersetzungsverhältnisses zu großen Unterstützungskräften bei schnellen Zahnstangenbewegungen. Die Volumenstromregelung ist hier besonders gefordert, da vor allem im Niedrigdrehzahlbereich beim Parkieren ein ausreichend hoher Volumenstrom dem Lenkzylinder zur Verfügung stehen muss.

3.1.1.7 Steer-by-Wire-Lenksysteme

Die derzeit gesetzlich vorgeschriebene mechanische Rückfallebene entfällt bei diesen Systemen. Eine Weitergabe des Lenkbefehles erfolgt rein elektronisch. Vom im Lenkrad angebrachten Lenkradmodul werden Informationen über Lenkmoment, -winkel und -geschwindigkeit erfasst und über ein Steuergerät an einen Lenkmotor, der das Lenkgetriebe betätigt, weitergegeben. Die Rückmeldung des Lenkverhaltens des Fahrzeuges an den Fahrer erfolgt in umgekehrter Richtung an den im Lenkradmodul integrierten elektrischen Lenkradmotor. Eine zusätzliche Pufferbatterie stellt die Notversorgung bei Bordnetzausfall her. Mit einer mehrfachen Auslegung (Redundanz) der sich im Betrieb befindlichen Komponenten soll eine Steigerung der Systemzuverlässigkeit erzielt werden. Ein 42-V-Bordnetz ist ebenfalls Grundvoraussetzung.

Systeme der ersten Generation (Abb. 3.20) besitzen eine hydraulische Rückfallebene, die bei einem Fehler im elektrischen System die Lenkbarkeit des Fahrzeuges sichert. Eine im Lenkradmodul befindliche Handpumpe fördert mit Unterstützung eines aufgeladenen Druckspeichers einen Volumenstrom zu einem im Lenkgetriebe verbauten Hydraulikzylinder. Dieser hydraulische Notkreis wird bei Ausfall der elektrisch-elektronischen Komponenten über ein Umschaltventil freigegeben.

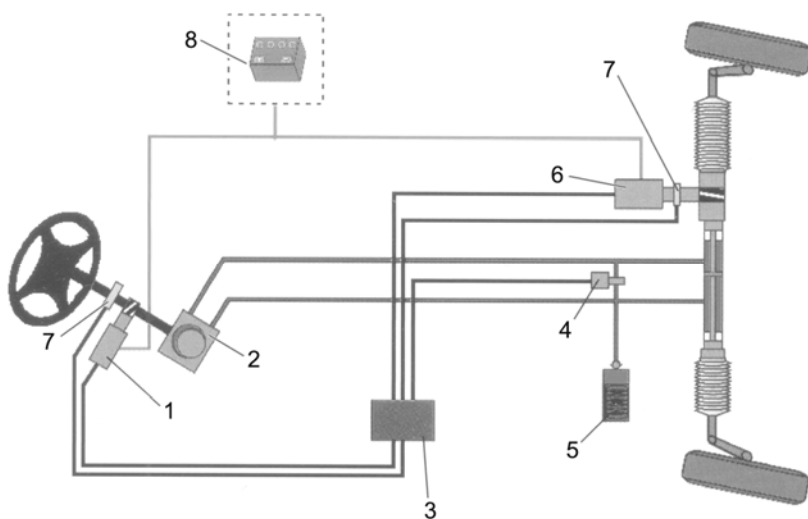


Abb. 3.20 Steer-by-Wire-Lenksystem [3.6]. 1 Lenkradmotor, 2 Handpumpe, 3 Steuergerät, 4 Umschaltventil, 5 Druckspeicher, 6 Lenkmotor, 7 Sensorik, 8 Bordnetz

Zukünftig werden elektronische Rückfallebenen geschaffen, die gemeinsam mit entsprechender Fehlersoftware diese Systeme sicherer machen. Inwieweit sie sich gemeinsam mit anderen elektronischen Systemen (Brake-by-Wire, Drive-by-Wire) durchsetzen und vom Kunden akzeptiert werden, bleibt abzuwarten.

3.1.2 Lenksysteme im Nutzfahrzeugbereich

Die im Nutzfahrzeugsektor am häufigsten eingesetzte Lenkgetriebebauform ist die Kugelumlauflenkung, die sich durch Robustheit und Einbauflexibilität auszeichnet. Aufgrund der mit ihrem Einbau verbundenen großen Bodenfreiheit ist sie vor allem für Baustellen- und Sonderfahrzeuge von entscheidender Bedeutung. Begründet durch begrenzte Lenkachslasten und höhere Bauraumforderungen spielt die Zahnstangenlenkung bei Nutzfahrzeugen derzeit noch eine eher untergeordnete Rolle (s. Abschn. 3.1.2.6).

3.1.2.1 Ein-Kreis-Lenksysteme

Der grundlegende funktionelle Aufbau einer hydraulisch unterstützten Nutzfahrzeuglenkung ähnelt der einer Pkw-Lenkung. In einem kompakten Gehäuse befindet sich das mechanische Lenkgetriebe, das Steuerventil und der Hydraulikzylinder. Eine Lenkpumpe stellt den entsprechenden Volumenstrom zur Verfügung.

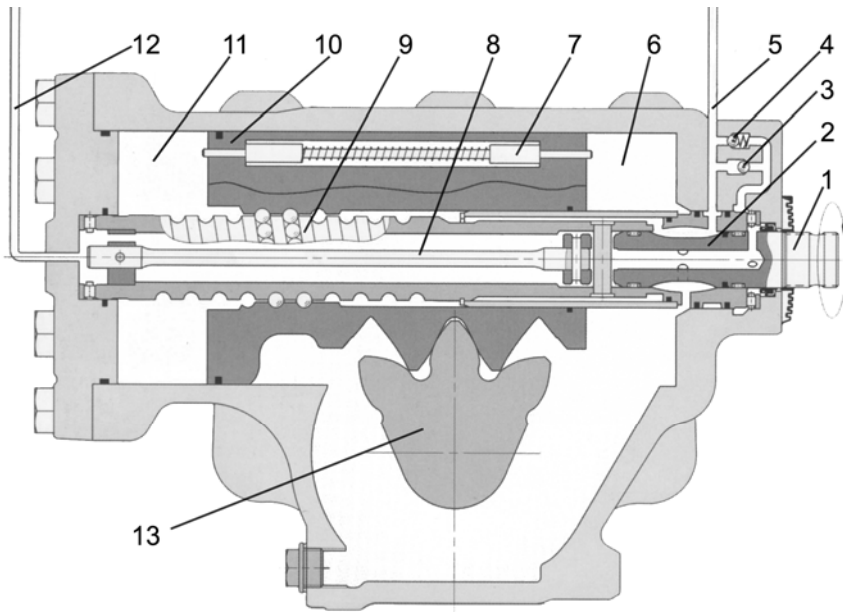


Abb. 3.21 Nfz-Lenkaggregat in Kugelumlaufbauart [3.10]. 1 Lenkwelle, 2 Ventilschieber, 3 Nachsaugventil, 4 Druckbegrenzungsventil, 5 Zulaufleitung, 6 rechter Zylinderraum, 7 Lenkbegrenzungsventil, 8 Drehstab, 9 Schnecke mit Kugelschnecke, 10 Arbeitskolben, 11 linker Zylinderraum, 12 Ablaufleitung, 13 Segmentwelle

Wird am Lenkrad eine Drehbewegung eingeleitet, überträgt diese sich auf den mit der Lenkwelle verbundenen Ventilschieber. Durch dessen Drehung bewegt sich die Schnecke. Über eine Kugelschnecke wird der Arbeitskolben axial verschoben, der

wiederum die Segmentwelle durch Zahneingriff schwenkt. Auf der Segmentwelle ist der Lenkstockhebel montiert, der daraufhin über ein Lenkgestänge den Lenkeinschlag der Räder bewirkt. Wie bereits erwähnt, erfüllt der Drehschieber die gleiche Funktion wie bei dem im Abschn. 3.1.1.1 ausführlich beschriebenen hydro-mechanischen Pkw-Servolenksystem. Der Unterschied besteht nur darin, dass sich beim Nfz-Lenkventil der Ventilschieber gegen die Schneckenventilbohrungen verdreht und den von der Pumpe kommenden Ölstrom zum jeweiligen Zylinderraum freigibt. Die Mittenzentrierung des Ventilschiebers erfolgt über den bekannten Drehstab, der die Verbindung zwischen Ventilschieber und Schnecke herstellt. Eine hydraulische Lenkbegrenzung schützt die Lenkpumpe vor übermäßiger Belastung bei Volleinschlag der Räder. Kurz vor Hubende des Arbeitskolbens wird dieses Lenkbegrenzungsventil durch einen einfahrenden Ventilstift geöffnet, was eine Verbindung der beiden Zylinderräume zur Folge hat. Durch den damit verbundenen Druckabfall lässt die hydraulische Unterstützung stark nach. Der Fahrer bemerkt einen erhöhten Kraftaufwand beim Weiterlenken. Den gleichen Effekt erzielen bei der Zahnstangen-Hydrolenkung die Entlastungsnuten am Lenkzylinderanschlag (Abb. 3.12). Jeweils ein Druckbegrenzungsventil und ein Nachsaugventil (erforderlich beim Lenken ohne hydraulische Unterstützung) sind im Lenkaggregat integriert. Das Förderstrombegrenzungsventil befindet sich in der Lenkpumpe. Auch kann die Lenkung geschwindigkeitsabhängig über einen elektrohydraulischen Wandler beeinflusst werden. Diese Funktion basiert auf einer hydraulischen Rückwirkung und ist ausführlich im Rahmen der geschwindigkeitsabhängigen Pkw-Servolenkung (s. Abschn. 3.1.1.2) beschrieben. Das Grundprinzip ist dabei gleich.

3.1.2.2 Zwei-Kreis-Lenkssysteme

Um gesetzliche Sicherheitskriterien einhalten zu können, werden Zwei-Kreis-Lenkssysteme bei allen Nutzfahrzeugen eingesetzt, wo sehr hohe Lenkachslasten und oftmals mehrere gelenkte Achsen vorhanden sind (Abb. 3.22). Es gibt dabei Ausführungen mit zwei oder drei Lenkpumpen, von denen immer eine Pumpe die Funktion der Notlenkpumpe besitzt. Das hohe Sicherheitspotenzial ergibt sich durch zwei völlig voneinander getrennte Lenkkreise. Die zusätzliche Lenkunterstützung erfolgt mit Hilfe von ein oder zwei am Lenkgestänge angebrachten externen Hydraulikzylindern. Die Notlenkpumpe ist eine fahrabhängige Pumpe (meist Radialkolbenpumpe), die im Normalbetrieb den geförderten Ölvolumenstrom nahezu drucklos wieder in den Tank zurück fördert. Sollte eine Notfallsituation auftreten (z. B. Motorstillstand, Leistungsminderung der motorgetriebenen Pumpe(n)), kommt ein sog. Umschaltventil zu Einsatz. Ist der Pumpendruck zu gering, bewirkt dies eine Zuschaltung der Notlenkpumpe bei gleichzeitigem Abschalten der externen Arbeitszylinder. Somit reicht die nun geringere Förderleistung für den sicheren Betrieb der Kugelumlauflenkung aus. Der Fahrer bemerkt diesen Zustand durch erhöhten Kraftaufwand sowie das Leuchten einer Kontrolllampe.

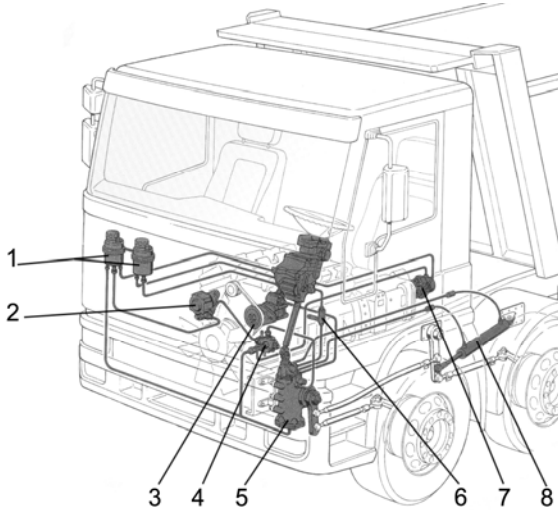


Abb. 3.22 Zwei-Kreis-Lenksystem [3.10]. 1 Ölbehälter, 2 Lenkpumpe 1, 3 Lenkpumpe 2, 4 Umschaltventil, 5 Lenkaggregat, 6 Durchflussanzeiger, 7 Notlenkpumpe, 8 externer Arbeitszylinder

3.1.2.3 Halbblock-Hydrolenksysteme

Sollten aufgrund sehr hoher Lenkachlasten die benötigten Lenkkräfte so groß werden, dass der Einsatz eines Lenkaggregates in Blockbauweise unwirtschaftlich wird, setzt man Halbblock-Hydrolenkaggregate ein.

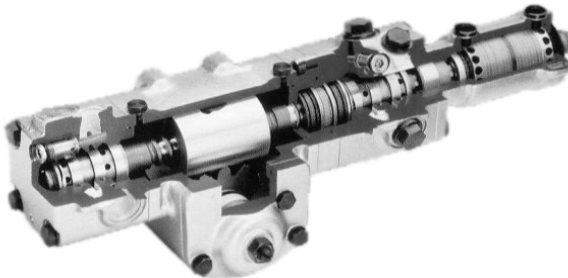


Abb. 3.23 Lenkaggregat einer Halbblock-Hydrolenkung in Zwei-Kreis-Ausführung [3.10]

Auch zu lange bzw. stark gekröpfte Lenkschubstangen sind nicht in der Lage, die benötigten Lenkkräfte zu übertragen. Im Lenkaggregat selbst ist nur noch das mechanische Lenkgetriebe zusammen mit dem hydraulischen Steuerteil vorhanden. Daher rührt auch die Bezeichnung „Halbblock“. Externe Lenkzylinder, die meist unmittelbar am Lenkhebel des Radträgers verbaut sind und sich am Fahrzeugrahmen

men abstützen, sind durch Schlauchleitungen mit dem Halbblock-Lenkaggregat verbunden. Das vom Fahrer aufzubringende Lenkmoment kann so bei maximal auftretenden Lenkkräften an den Achsen und erforderlichen Lenkgeschwindigkeiten minimal gehalten werden. Schwerstfahrzeuge mit Fahrgeschwindigkeiten über 62 km/h, wie z. B. mehrachsige Mobilkrane, besitzen häufig derartige Halbblock-Hydraulenksysteme in Zwei-Kreis-Ausführung.

3.1.2.4 Hinterachslenksysteme

In Nutzfahrzeugen kommen zur Verbesserung der Wendigkeit oftmals Systeme zum Einsatz, bei denen das eigentliche Lenksystem der Vorderachse durch ein Hilfslenksystem an der Hinterachse unterstützt wird. Hierbei lenken die Räder der Vorder- und Hinterachse gegensinnig, was zu einem reduzierten Wendekreisdurchmesser des Fahrzeuges, zu einer besseren Kurvenfahrt bei niedrigen Geschwindigkeiten und demzufolge zur Reduzierung des Reifenverschleißes beiträgt. Im Gegensatz zu den hydraulischen Zwangslenkssystemen (s. Abschn. 3.1.2.5) spricht man hier von aktiven Systemen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass entweder eine mechanische Verbindung zwischen Vorder- und Hinterachslenkung besteht oder aber Hydraulikzylinder bzw. -motoren an der Hinterachse angebracht werden, die ein hydraulisches oder elektrisches Stellsignal erhalten. Neben den bereits betrachteten allgemeinen gesetzlichen Anforderungen für herkömmliche Lenksysteme (s. Abschn. 3.1) gelten bei Hinterachslenksystemen spezielle Vorschriften für Fahrzeuge mit Allradlenkung. Der Ausfall der Hinterachslenkung darf nicht zu einer plötzlichen Veränderung des Fahrverhaltens führen. Zudem muss sich die Hinterachse in eine sichere Position überführen bzw. in dieser verriegeln lassen. Eine mechanische Verbindung vom Lenkrad zur gelenkten Hinterachse ist nicht vorgeschrieben.

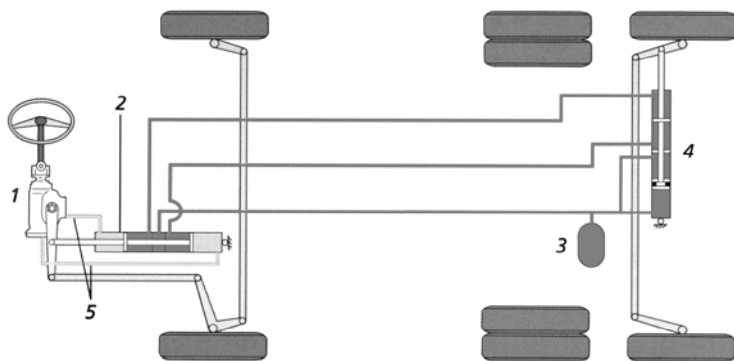


Abb. 3.24 Einfaches Hinterachslenksystem [3.10]. 1 Lenkgetriebe, 2 Geberzylinder, 3 Hydraulikspeicher, 4 Nehmerzylinder, 5 Verbindungsleitungen

Bei dem in Abb. 3.24 dargestellten Hinterachslenksystem erfolgt die Übertragung der Lenkkräfte mittels Hydraulikfluid. Durch den einfachen Aufbau ist es zudem

auch relativ kostengünstig. Rohr- und Schlauchleitungen verbinden einen Spezialzylinder mit zwei Kammern (Geberzylinder), welcher an der Vorderachse angebracht ist, mit einem Hydraulikzylinder an der Hinterachse (Nehmerzylinder), der wiederum über ein Schubgestänge die Hinterräder auslenkt. Um das System unter einem vordefinierten Druck zu halten, ist zusätzlich ein Druckspeicher verbaut. Druckänderungen durch Betätigung des Vorderachszyinders können aufgrund dieser Vorspannung so nahezu verzögerungsfrei an den Hinterachszyylinder weitergegeben werden. Zudem unterstützt der Speicher die Rückstellung in die Geradeaus-Position (Druckabfall im Geberzylinder), die er folgend festhält (Zentrierfunktion).

Zur Verbesserung des Fahrkomforts verfügt die Hinterachslenkung über eine automatische Synchronisation. Bei kleinen Lenkwinkeln ($<5^\circ$) spricht das System nicht an, da die beiden Zylinderräume des Geberzylinders kurzgeschlossen sind. Das Öl fließt innerhalb dieses vorgegebenen Lenkwinkelbereichs von einem Zylinderraum in den anderen, so dass die Hinterräder in Geradeausstellung verbleiben. Damit wird auch ausgeschlossen, dass sich geringe Leckagen im Geberzylinder auf ungewollte Lenkbewegungen seitens des Nehmerzylinders auswirken. Wird ein Lenkwinkel größer als der definierte Winkel eingestellt, erfolgt eine Abtrennung der einzelnen Zylinderkammern voneinander und die Lenkbewegungen können übertragen werden.

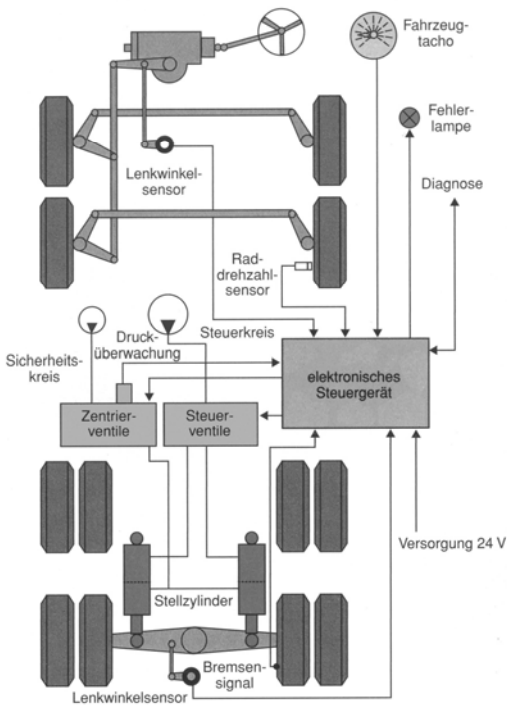


Abb. 3.25 Elektronisch geregelte Hinterachslenkung [3.6]

Elektronisch geregelte Hinterachslenksysteme (Abb. 3.25) bieten wesentlich mehr Komfort und Variabilität, da auch angetriebene Achsen gelenkt werden können und komplexe Regelstrategien mit Anpassung an die jeweilige Fahrsituation Anwendung finden. Hierbei gibt es keine hydraulische oder mechanische Verbindung zwischen Vorder- und Hinterachse, was sowohl ein elektronisches als auch hydraulisches Zwei-Kreis-System erforderlich macht.

Das Herzstück des elektronischen Systems bildet ein Steuergerät, welches Daten von Sensoren aufnimmt (Lenkwinkel von Vorder- und Hinterachse, Raddrehzahlen, Fahrzeuggeschwindigkeit, Bremsbetätigung) und über ein abgespeichertes Lenkwinkelkennfeld (Abb. 3.26) den optimalen Lenkwinkel für die Hinterachse in Abhängigkeit von Fahrzeuggeschwindigkeit und Vorderachslenkwinkel errechnet. Ein Soll-Ist-Abgleich des Hinterachslenkwinkels führt zur Signalweitergabe an das Regelventil des hydraulischen Systems. Die geforderte Redundanz ergibt sich, da zu diesem elektronischen Stellkreis noch ein Sicherheitskreis hinzukommt, der die gleichen Signale empfängt und verarbeitet.

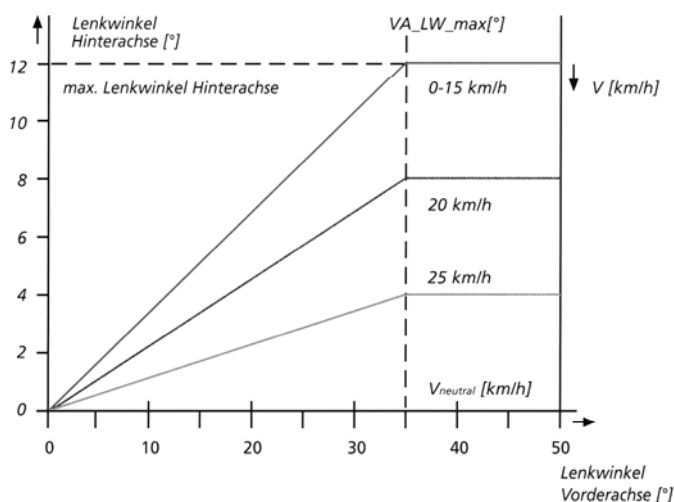


Abb. 3.26 Lenkwinkelkennfeld [3.10]

Sollten sich Differenzen beim Vergleich beider Ausgabesignale ergeben, kommt es zu einem Abschalten der Hinterachslenkung. Man spricht folglich vom Notfallmodus. Bei angetriebenen Hinterachsen wird das System in die Geradeausstellung bewegt und dort gehalten. Durch einen Druckaufbau erreicht man eine hydraulische Einspannung. Bei nicht angetriebenen Hinterachsen kommt es zu einem Abschalten des Servo-Systems (druckloses System). Dieser sog. „Achse-frei-Modus“ führt zum Verhalten einer nicht gelenkten Nachlaufachse. Das hydraulische Zwei-Kreis-System besteht aus dem Arbeitskreis für die Lenkfunktion und dem Zentrierkreis für die Notlauffunktion.

Eine elektrisch betriebene Hydraulikpumpe sorgt im Arbeitskreis für den Druckaufbau. Die Dosierung der Stellzylinder für die Hinterachse übernimmt ein Proportionalventil, welchen den von der Elektronik errechneten Stellwert umsetzt. Der Zentrierkreis hat eine eigene Hydraulikpumpe, die einen Hydraulikspeicher auf einem konstanten Druck hält. Im Fall eines Versagens des Arbeitskreises gelangt das im Speicher befindliche Fluid in die Stellzylinder, die daraufhin in Neutralstellung gehen und eine Geradeaus-Position der Hinterachse sichern.

Als ein sehr gutes Anwendungsbeispiel kann die elektro-hydraulische Hinterachslenkung eines Mobilkranes angesehen werden. Diese „All Terrain Crane“ müssen sowohl die Handling-Eigenschaften als Nutzfahrzeug für den öffentlichen Straßenverkehr als auch eine optimale Manövrierbarkeit bei beengten Ortsdurchfahrten (z. B. Kreisverkehr) oder im Baustellenbereich vorweisen können.

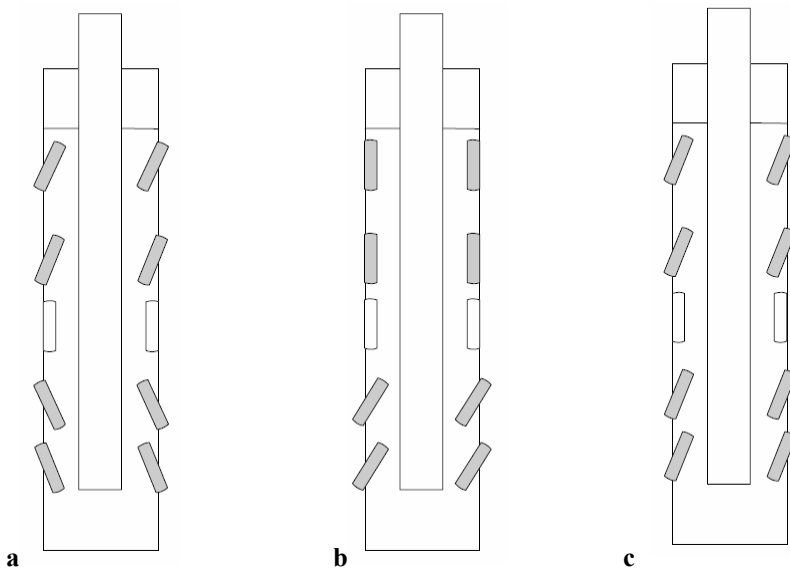


Abb. 3.27 Vordefinierte Lenkprogramme [3.11]. **a** Straßenfahrt **b** unabhängige Hinterachslenkung **c** Diagonallenkung

Hierbei werden alle Achsen bis auf die mittige Starrachse gelenkt. Die Lenkung der Vorderachsen erfolgt nach dem Prinzip eines hydromechanischen Zwei-Kreis-Lenksystems (s. Abschn. 3.1.2.2 und 3.1.2.3). Für die Hinterachslenkung kommt ein auf elektro-hydraulischer Funktionsweise basierendes mechatronisches System zum Einsatz. Es ist mechanisch unabhängig von der Vorderachslenkung, frei programmierbar und demnach als „Steer-by-Wire“-System anzusehen. Pro gelenkte Hinterachse findet je ein Steuergerät Anwendung. Die Lenkbewegung wird mittels hydraulischer Lenkzylinder realisiert, die über Verstell- oder Konstantpumpen

versorgt werden. Das Energiemanagement übernimmt ein Load-Sensing-Steuerblock.

Für die Straßenfahrt mit Fahrgeschwindigkeiten größer als 40 km/h erfolgt eine Verriegelung der Achsen in Geradeausstellung. Im Straßenbetrieb mit Geschwindigkeiten kleiner als 40 km/h werden die Hinterachsen gegensinnig zu den Vorderachsen gelenkt (Abb. 3.27 a). Spezielle Lenkprogramme (Abb. 3.27 b und Abb. 3.27 c) sind für Fahrgeschwindigkeiten kleiner als 20 km/h vom Fahrer wählbar. Nach ECE R79, Anhang 6, muss im Fall eines Systemfehlers die Beherrschbarkeit des Fahrzeuges gewährleistet sein. Fehler werden dem Fahrer angezeigt und im Fehlerspeicher abgelegt. Zudem erfolgt eine Systemreaktion, die die Hinterachse in einen sicheren Zustand bewegt. In der Entwicklungsphase sieht die Systemanalyse zahlreiche praktische Fahrversuche mit Fehlersimulationen vor.

3.1.2.5 Hydraulisches Zwangslenkssystem

Diese Lenksysteme finden bei Sattelaufiegern Anwendung, wenn durch deren Kombination mit einer Sattelzugmaschine eine Gesamtlänge von 16,5 m überschritten wird. Nur mit einer gelenkten Aufliegerachse ist es dann noch möglich, die Kreisfahrtvorschrift nach §70 StVZO zu erfüllen und dem Fahrer das Rangieren bzw. Passieren von Engstellen zu erleichtern (Abb. 3.28).



Abb. 3.28 Zwangsgelenkter Sattelaufieger (Foto: Firma Langendorf)

Beim Einlenken stellt sich zwischen der Zugmaschine und dem Sattelaufieger eine Winkeldifferenz ein, die von Geberzylinder auf Nehmerzylinder übertragen wird. Es ist kein eigenständig funktionierendes Lenksystem, sondern eher eine Übertragungseinrichtung, die nach dem Verdrängersystem arbeitet.

Um die Forderung nach einem redundanten System (§38 StVZO) zu erfüllen, werden generell mindestens zwei Geber- und Nehmerzylinder in je einem geschlossenen Hydraulikkreis angeordnet. Die Kraftübertragung zwischen den Zy-

lindern erfolgt rein hydraulisch. Ein externer Eingriff, wie er noch beschrieben werden soll, ist während des normalen Fahrbetriebes nicht zulässig.

Durch die Drehbewegung des Drehkranzes um den Königzapfen werden die beiden doppelwirkenden Geberzylinder ein- bzw. ausgefahren. Das verdrängte Öl setzt die beiden ebenfalls doppelwirkenden Nehmerzylinder in Bewegung, wodurch die Aufliegerachsen einlenken. Der Abstand zwischen Drehpunkt der Aufliegerlenkschwinge und der Spurstangenaufnahme vergrößert sich für die weiter hinten liegenden Achsen, so dass sich deren Lenkeinschlag erhöht (Abb. 3.29).

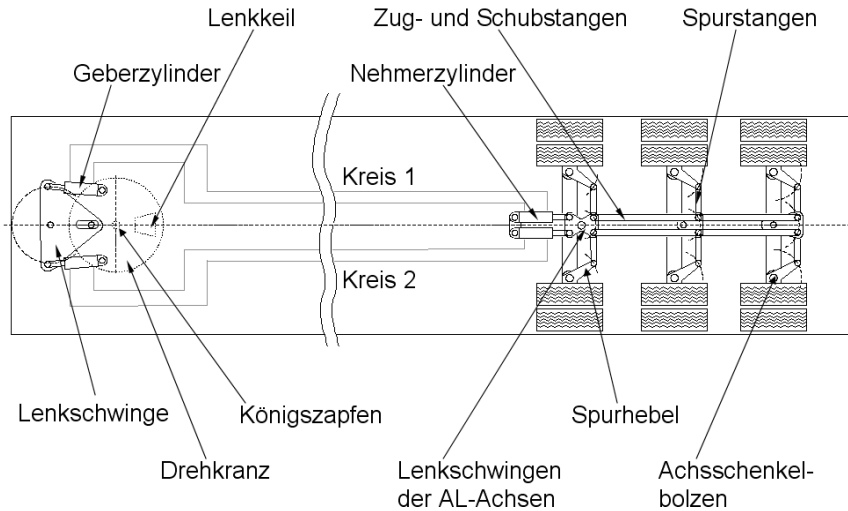


Abb. 3.29 Zwangslenksystem eines 3-Achs-Sattelauflegers

Für die ordnungsgemäße Funktion des Zwangslenksystems macht sich eine Zusatzlenkung erforderlich, die folgende Aufgaben hat:

- Nachspeisung von internen Leckölverlusten und Wiederherstellung des Vorspanndruckes,
- Realisierung eines Einspurvorgangs nach Nutzung der Zusatzlenkung und
- Ermöglichung von Rangiermanövern bei sehr beengten Platzverhältnissen.

Die Zusatzlenkung greift in die ansonsten geschlossenen Lenkkreise ein. Dabei wird unabhängig von den Geberzylindern ein zusätzlicher Volumenstrom von einer Hydraulikpumpe zur Verfügung gestellt, womit ein anderer (größerer) Radeinschlag als von den Geberzylindern vorgegeben realisiert werden kann (Abb. 3.30). Gerade bei Schwerlasttransporten ist das oftmals nötig. Allerdings darf diese Anwendung nur im Stand bzw. bei Schrittgeschwindigkeit erfolgen.

Durch ein Hauptventil werden beide Lenkkreise geöffnet. Der Pumpenvolumenstrom gelangt über ein 4/3-Wegeventil je nach gewünschter Lenkrichtung zu

den Nehmerzylindern und setzen diese in Bewegung. Die Hydraulikpumpe kann elektrisch mit einem 24-V-Motor, über einen Nebenantrieb oder auch manuell angetrieben werden. Die Rückschlagventile stellen zudem einen gewissen Vorspanndruck sicher, der während der Fahrt (vor allem bei schnellen Spurwechseln) ein Überspringen des Aufliegers minimieren soll.

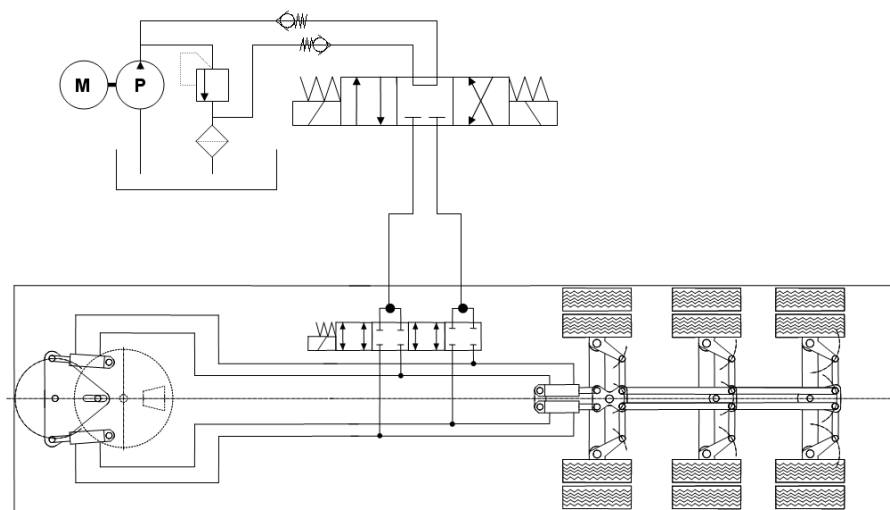


Abb. 3.30 Prinzipschaltplan einer Zusatzlenkung für ein Zwangslenkssystem

Der Gebrauch dieser Zusatzfunktion zieht einen sog. Einspurvorgang nach sich. Der Lastzug wird auf gerader Strecke auf eine Linie gebracht und die Räder des Aufliegers in Geradeausstellung gestellt. Nach Kontrolle und Korrektur eines evtl. Spurversatzes können die Zusatzlenkung abgeschaltet und die Lenkkreise wieder geschlossen werden.

3.1.2.6 Zahnstangenhydraulenkung für Nutzfahrzeuge

Seit einiger Zeit wird versucht, in Kombination mit Einzelradaufhängungen für Nutzfahrzeuge auch Zahnstangenlenkungen einzusetzen, was zu einer Verbesserung des Fahrkomforts und des Fahrzeughandlings führt.

Das von ZF Lenksysteme auf den Markt gebrachte System wird „Servoline“ genannt (Abb. 3.31). Es entfallen sämtliche bei herkömmlichen Kugelumlaufnlenkungen nötigen Umlenkhebel und Koppelstangen. Um den Kinematikanforderungen der Einzelradaufhängung bei Nutzfahrzeugen gerecht zu werden, sind der mechanische und der hydraulische Teil parallel angeordnet (Abb. 3.32). Mit diesem Konzept werden die gesetzlichen Anforderungen an die Notlenkeigenschaften einer Ein-Kreis-Lenkanlage erfüllt.

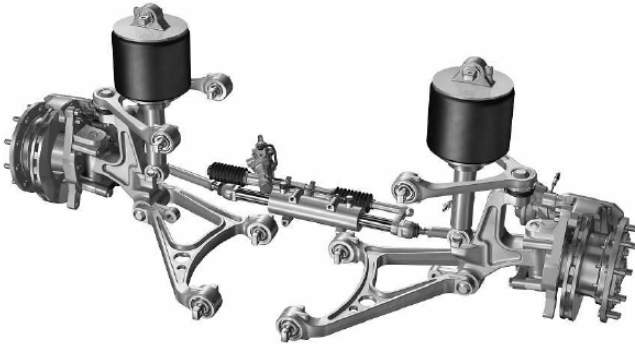


Abb. 3.31 Zahnstangenhydrolenkung „Servoline“ [3.12]

Durch die Trennung von Lenkgetriebe und Lenkzylinder ist es relativ einfach, das System durch Auswahl von unterschiedlichen Lenkzylindergrößen an verschiedene maximale Radlasten anzupassen.

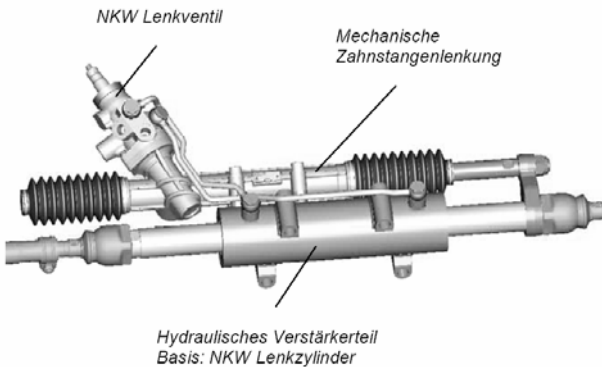


Abb. 3.32 Baugruppen der Zahnstangenhydrolenkung „Servoline“ [3.12]

3.1.2.7 Hydrostatische Lenksysteme

Da bei diesen Lenksystemen die durchgängige mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und gelenkten Rädern fehlt, spricht man von einem hydraulischen Fremdkraftlenksystem. Anstelle eines mechanischen Lenkgestänges übernehmen zwei in Verbindungsleitungen eingeschlossene Ölsäulen die Übertragung der Lenkkraft. Bei Versagen der Lenkhilfe muss jedoch die Lenkbarkeit des Fahrzeuges gewährleistet sein. Eingesetzt werden derartige Lenksysteme vorwiegend in Fahrzeugen mit hohen Achslasten, geringen Fahrzeuggeschwindigkeiten und bei denen sich eine mechanische Verbindung vom Lenkgetriebe zu den gelenkten Rädern

dern schwierig realisieren lässt. Die maximalen Fahrgeschwindigkeiten sind auf 50 km/h (62 km/h bei Zwei-Kreis-Ausführung) begrenzt. Hauptanwendungen sind in langsamfahrenden Land-, Forst- und Baumaschinen sowie Flurförderfahrzeugen wie z. B. Gabelstapler. Beim Fahren und Lenken im schweren Gelände kommt es dabei zu sehr hohen Lenkkräften, die nur hydraulische aufgebracht werden können.

In Abb. 3.33 ist der prinzipielle Aufbau am Beispiel einer Achsschenkellenkung zu sehen. Eine Hydraulikpumpe stellt den notwendigen Volumenstrom zur Verfügung, der über ein Lenkventil und Verbindungsleitungen zum Lenkzylinder gelangt. Als Lenkzylinder kommen Differential- oder Gleichgangzylinder, bei größeren und schwereren Fahrzeugen auch kreuzverbundene Differentialzylinder zum Einsatz.

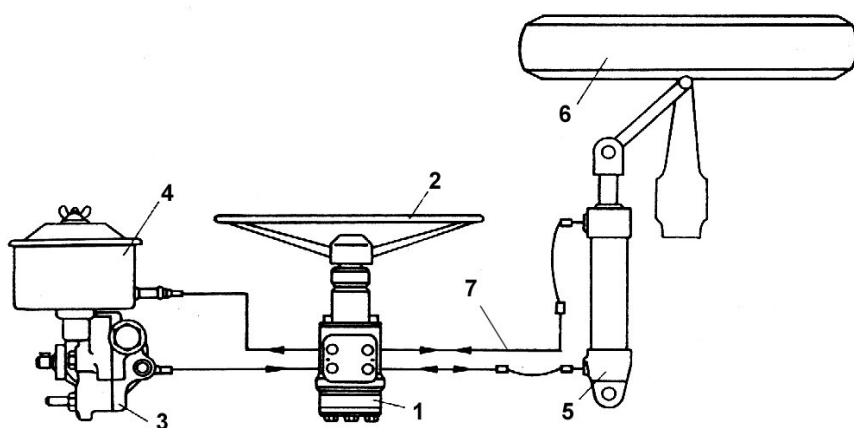


Abb. 3.33 Prinzipieller Aufbau eines hydrostatischen Lenksystems [3.13]. 1 Lenkventil, 2 Lenkrad, 3 Hydraulikpumpe, 4 Tank, 5 Lenkzylinder, 6 Rad, 7 Verbindungsleitungen

Das Lenkventil besteht aus dem für die Funktion notwendigen Steuerventil und einer Dosier- oder Rotorpumpe in Zahnringbauart. Der Rotor der Pumpe ist mechanisch mit der Lenksäule verbunden und hat zum einen die Aufgabe, den von der Hydraulikpumpe kommenden Volumenstrom zu dosieren und synchron zum Drehwinkel des Lenkrades an den Lenkzylinder weiter zu leiten und zum anderen den sog. Notlenkbetrieb bei Ausfall der Hydraulikpumpe sicherzustellen. Hierbei wird die Dosierpumpe zur Handpumpe und ein Nachsaugen aus der Tankleitung bei gleichzeitigem „manuellen“ Druckaufbau wird möglich. Am Lenkrad macht sich dieser Zustand in Form eines stark erhöhten Drehmomentanstieges bemerkbar.

$$M_{\text{Lenkrad}} = \frac{V_{H\text{Rotor}} \cdot \Delta p}{2 \cdot \pi} \quad (3.2)$$

Anhand Gl. (3.2) wird deutlich, dass das Lenkmoment vom Lenkdruck, der wiederum von der Spurstangenkraft beeinflusst wird, und von der Rotorgroße abhängt. Um das Lenkmoment im Notlenkbetrieb nicht über die vom Gesetzgeber vorgegebene Größe (120 Nm) anwachsen zu lassen, werden oftmals zwei oder drei Rotorsätze eingebaut, von denen einer bzw. zwei abschaltbar sind. Man erreicht damit eine Halbierung (Drittelung) des Lenkmomentes, allerdings aber auch eine Verdopplung (Verdreifachung) der Lenkradumdrehungen. Ein ähnliches Prinzip ist die Kammerabschaltung, d. h. im Notlenkbetrieb werden einzelne Verdrängerkammern im Rotorgehäuse abgeschaltet, die somit das Verdrängervolumen und daraus folgend auch das Lenkmoment minimieren. Auch gibt es elektrisch betriebene oder die in Abschn. 3.1.2.2 betrachteten fahrabhängigen Notlenkpumpen, die bei Druckabfall im System zugeschaltet werden und eine Ölversorgung der Lenkung gewährleisten.

Für eine ordnungsgemäße Funktion des hydrostatischen Lenksystems sind weitere zusätzliche Ventile im Lenkventil integriert (Abb. 3.34).

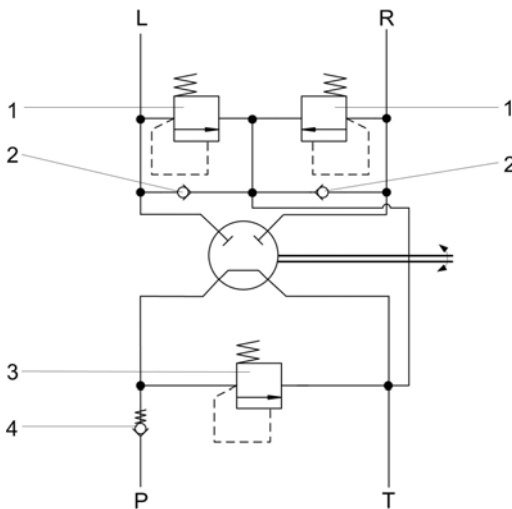


Abb. 3.34 Beispiel eines Lenkventils in Open-Center- und Non-Reaction-Ausführung [3.14]. 1 Schockventil, 2 Nachsaugventil, 3 Druckbegrenzungsventil, 4 Rückschlagventil

Die beiden Schockventile schützen die Lenkung vor Stößen durch äußere Kräfte auf den Lenkzylinder und begrenzen den maximalen Differenzdruck vom Zylinderanschluss (L oder R) zum Tankanschluss (T). Der Einstelldruck ist ca. 50 bar höher als der Druckbegrenzungsventildruck. Die Funktion der beiden Nachsaugventile liegt in der Vermeidung von Kavitationserscheinungen infolge ungünstiger Lenkverhältnisse (z. B. schnelle Lenkbewegungen, Notlenkverhalten). Für ein korrektes Nachsaugen ist allerdings ein Gegendruckventil in der Tankleitung nötig, welches für eine vorgespannte und demzufolge gefüllte Tankleitung sorgt. Das Druckbegrenzungsventil begrenzt das maximale Druckgefälle über dem Lenkven-

til. Sollte der Zylinderdruck höher als der Pumpendruck sein, verhindert ein Rückschlagventil am Pumpenanschluss das Zurückfließen des Öles durch das Lenkventil.

Lenkventile können in Open-Center-Bauart (Pumpe und Tank in Neutralstellung verbunden) oder Closed-Center-Bauart (Pumpe und Tank in Neutralstellung geschlossen) ausgeführt werden. Zudem gibt es je nach Verbindung der Arbeitsanschlüsse L und R die sog. Reaction-Lenkung (Verbindung der Arbeitsanschlüsse in Neutralstellung; äußere Kräfte am Lenkrad spürbar) bzw. die Non-Reaction-Lenkung (keine Verbindung der Arbeitsanschlüsse in Neutralstellung; äußere Kräfte am Lenkrad nicht spürbar).

Oftmals wird die Lenkhydraulik mit der Arbeitshydraulik von einer gemeinsamen Hydraulikpumpe versorgt (Abb. 3.35). Ein Prioritätsventil, welches der Lenkung Priorität zusichert, macht sich für diesen Zweck erforderlich. Die Steuerung des Prioritätsventils erfolgt über das Lastsignal (Anschluss LS – Load-Sensing) des Lenkventils. Wird nicht gelenkt, steht der Pumpenvolumenstrom der Arbeitshydraulik (Anschluss EF – Excess Flow) zur Verfügung. Kommt es zu einer Lenkbewegung, wird je nach Volumenstrombedarf das Lenkventil (Anschluss CF – Control Flow) versorgt. Das kann soweit führen, dass die Arbeitshydraulik vollständig abgeschaltet wird. Das Prioritätsventil arbeitet nach dem Prinzip eines 3-Wege-Stromregelventils, bei dem die Messblende (A_2) im Lenkventil angeordnet ist und die Regelblende (A_1) sich im Prioritätsventil befindet. Somit wird die Druckdifferenz über dem Lenkventil konstant gehalten, was einen entsprechend des Öffnungsquerschnittes lenkdruckunabhängigen konstanten Volumenstrom zum Lenkzylinder gewährleistet. Die zweite Regelblende (A_3) sichert die Druckunabhängigkeit bezüglich der Arbeitshydraulik. Dieses System ist in der Mobilhydraulik auch als Load-Sensing-Steuerung bekannt.

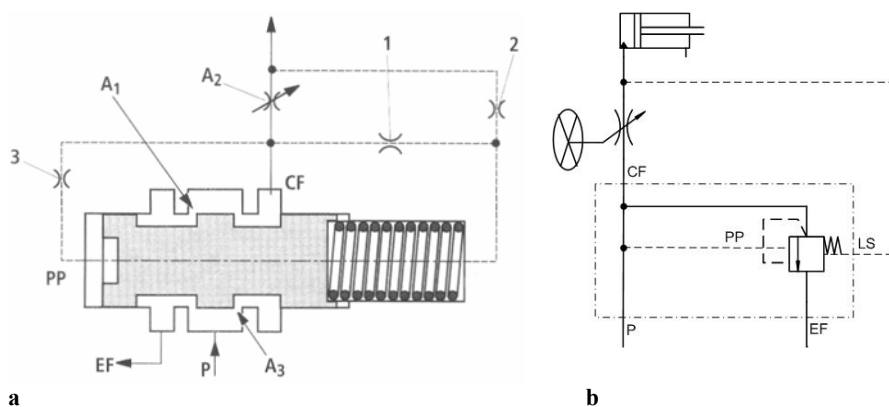


Abb. 3.35 Prioritätsventil **a** Prinzipdarstellung [3.15] **b** Einbindung im Lenkkreislauf. 1 LS-Dynamikdüse, 2 LS-Dämpfungsdüse, 3 PP-Dämpfungsdüse

Pumpe und Arbeitshydraulik müssen über ein separates Druckbegrenzungsventil abgesichert werden. Um die Dynamik zu erhöhen, verwendet man oft Lenkventile,

bei denen ständig ein geringer Steuervolumenstrom (ca. 0,5 l/min) in Neutralstellung das Ventil durchfließt. Das Lenkventil hat somit annähernd die gleiche Temperatur wie das Öl. Temperaturschocks werden weitgehend vermieden. Der sog. „harte Punkt“ beim Anlenken, auch bei Kaltstart, ist gewöhnlich nicht mehr spürbar.

Solange sich entsprechend der erforderlichen Lenkkraft ein Druck unterhalb des durch das Druckbegrenzungsventil vorgegebenen Maximaldrucks einstellen kann, muss der Fahrer ein achslastunabhängiges gleich bleibendes niedriges Lenkmoment aufbringen. Um auch entsprechend hohe Achslasten und schnelle Lenkbewegungen hydraulisch unterstützen zu können, ist eine ordnungsgemäße Auslegung des hydrostatischen Lenksystems erforderlich. Bei Achsschenkellenkungen kann zur Ermittlung der maximalen Zylinderkräfte die Gleichung nach Taborek herangezogen werden. Es handelt sich dabei um eine empirisch ermittelte Größengleichung (Gl. 3.3).

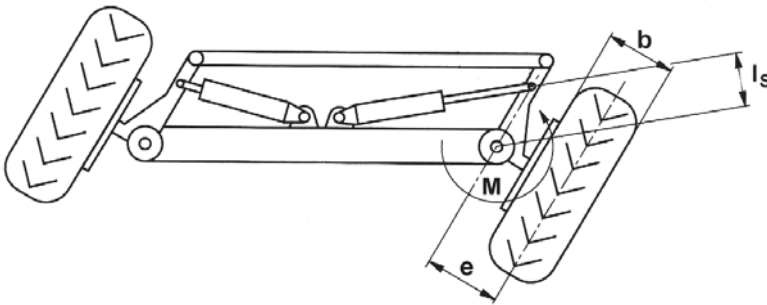


Abb. 3.36 Ermittlung der Zylinderkräfte an einer Achsschenkellenkung [3.14]

$$M = 0,05 \cdot F_A \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{e}{b}\right)} \cdot \frac{b}{200} \cdot \frac{\mu}{0,7} \quad (3.3)$$

$$F_{Zyl} = \frac{M}{l_s} \quad (3.4)$$

| | |
|------------------|--------------------------------------|
| M | Moment um Achsschenkelbolzen [Nm] |
| F _A | Achslast [N] |
| b | Reifenbreite [mm] |
| e | Lenkrollhalbmesser [mm] |
| μ | Reibwert Reifen-Fahrbahn [-] |
| l _s | kleinster wirksamer Lenkhebel [mm] |
| F _{Zyl} | erforderliche Lenkzylinderkraft [kN] |

Unter Kenntnis der Geometrien und äußeren Kräfte können entsprechenden Hydraulikzylinder und daraus folgend das Lenkventil und die Hydraulikpumpe ausgewählt werden. Man geht dabei vom ungünstigsten Anwendungsfall aus (Lenken

im Stand auf „griffigem“ Untergrund mit Reibwerten von $\mu \geq 1$ sowie voll eingeschlagenen Rädern). Bei der Auslegung der Pumpe werden eine maximale Lenkraddrehzahl von 100–150 U/min sowie ca. 3 bis 4 Lenkradumdrehungen beim Rechts-/Linkslenken empfohlen. Auch sollte im Notlenkbetrieb (Pumpenausfall) das vom Fahrer aufzubringende maximale Moment 120 Nm nicht überschreiten.

Um z. B. im sog. Y-Betrieb eines Radladers die Lenkradumdrehungen zu minimieren, werden Lenksysteme mit einem gerotorfreien Modus angeboten (System Versa SteerTM der Firma Eaton). Dieser Modus kann im Stand bzw. bei geringen Fahrzeuggeschwindigkeiten gewählt werden, so dass der Fahrer das Lenkrad nur noch eine Viertel Umdrehung zum Einschlagen der Räder aus der Geradeausstellung bewegen muss.

In landwirtschaftlichen Fahrzeugen finden verstärkt automatische Lenkkonzepte in Verbindung mit hydrostatischen Lenksystemen Anwendung. Um eine höhere Effizienz beim Maschineneinsatz zu erzielen, soll der Fahrer entlastet werden. Somit kann er sein Augenmerk verstärkt auf die Bedienung der Maschine mit ihren zahlreichen Funktionen richten. Den schematischen Aufbau eines solchen Lenkkonzeptes zeigt Abb. 3.37.

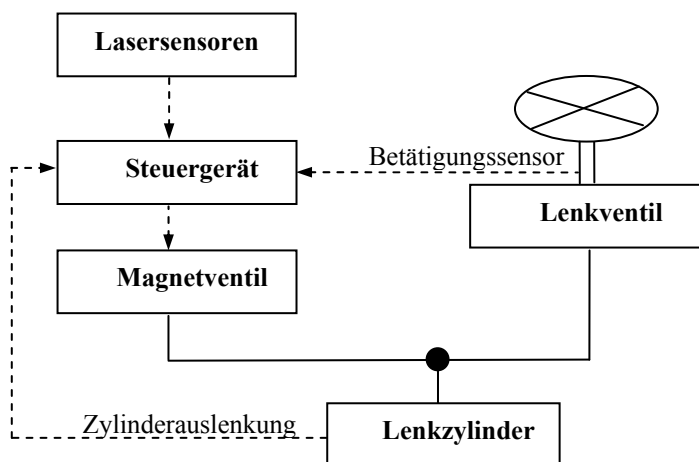


Abb. 3.37 Schematischer Aufbau eines automatischen Lenksystems mit Lasersensoren

Parallel zur hydrostatischen Lenkeinheit ist ein Magnetventil an den Lenkzylinder angeschlossen. Ein elektronisches Steuergerät berechnet aus den Signalen der Lasersensoren, welche an der Maschine angebracht sind, und der Auslenkung des Lenkzylinders die Stellsignale für das Magnetventil. Zusätzlich ist am Lenkrad ein Betätigungssensor angebracht, der die automatische Lenkung deaktiviert, wenn der Fahrer manuell weiterlenken möchte. Anstelle der Lasersensoren können auch Ultraschallsensoren bzw. weiterführend satellitengestützte Systeme (GPS) eingesetzt werden. Letzteres führt tendenziell zur fahrerlosen Maschine.