

Fragen tauchten in allen Kulturstaaten gleichzeitig auf und haben deshalb einige Jahre vor dem Weltkrieg zur wiederholten Abhaltung von internationalen Straßenkongressen behufs gemeinschaftlicher Beratung und Lösung der neuen Aufgaben durch Fachleute aller Staaten, sowie zur Bildung eines internationalen Verbands dieser Kongresse geführt. Eine weitere Steigerung des Kraftwagenverkehrs ist in sichere Aussicht zu nehmen. Es wird noch auf lange hinaus ernsthafter Arbeit bedürfen, bis wieder ein allseits befriedigender Zustand der Straßen erreicht ist.

## II. Fahrzeug und Straße.

### A. Allgemeine Gesichtspunkte.

Es sind vor allem die auf den Landstraßen regelmäßig verkehrenden Fahrzeuge, die der Straße ihr eigentümliches Gepräge geben: von der Bauart, den Abmessungen, dem Gewicht und der Anzahl der verkehrenden Fahrzeuge sind insbesondere abhängig die Breite der Fahrbahn, die Krümmungen der Straße, die lichte Höhe von Unterführungen sowie die Art und Weise, wie die Straßenfahrbahn befestigt und unterhalten werden muß. Dem Einfluß der Fahrzeuge gegenüber treten die Einwirkungen des sonstigen Verkehrs auf die Ausgestaltung der Landstraßen stark in den Hintergrund. Es läßt sich im allgemeinen sagen, daß auf der dem Fahrzeugverkehr dienenden Fahrbahn einer Landstraße auch Fußgänger, Radfahrer, Reiter, Viehherden usw. ohne weiteres sich bewegen können. Wo zu ihrer Sicherheit und Bequemlichkeit etwas besonderes geschehen soll, genügen in den meisten Fällen verhältnismäßig schmale Streifen neben der eigentlichen Fahrbahn, so vor allem Geh-, Radfahr- und Reitwege, die in der Regel mit einer leichten Oberflächenbefestigung versehen werden. Unter den eigentlichen Fahrzeugen sind es neuerdings die Kraftfahrzeuge, die vermöge ihrer Geschwindigkeit und Schwere je länger je mehr ganz besondere Anforderungen an Bau und Erhaltung der Landstraßen stellen.

Wenn so die Anlage und Unterhaltung der Straßen in wesentlichen Punkten stark beeinflußt werden durch die Straßenfahrzeuge, so sind andererseits auch dem Bau und Gebrauch der Fahrzeuge selbst zum Schutz der Straßen gewisse Schranken gezogen. Vor allem darf das Gesamtgewicht der Fahrzeuge (einschließlich Nutzlast), und bei schweren Kraftwagen auch die Fahrgeschwindigkeit, gewisse Höchstwerte nicht überschreiten, wenn nicht selbst die besten und teuersten Straßenbefestigungen in Zeitkürze der Zerstörung anheimfallen sollen. Bei Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern hat sich zur Schonung der Straßenoberfläche eine elastische Bereifung als dringend wünschenswert herausgestellt. Zugleich erleichtert diese Art der Bereifung die Fortbewegung der Kraftwagen bei glatter

oder steiler Bahn. Von den Abmessungen der Fahrzeuge unterliegt namentlich die Spurweite (Breite) im Interesse einer geordneten Abwicklung des Straßenverkehrs bestimmten Einschränkungen. Gesetze und Rechtsverordnungen sind zur Verwirklichung derartiger Anforderungen an die Straßenfahrzeuge notwendig und schon vielfach erlassen worden.

Aus dem Angeführten erhellt, daß die Kenntnis der Haupteigenschaften der Straßenfahrzeuge und ihrer Einwirkung auf die Straßen zum unentbehrlichen Rüstzeug jedes Ingenieurs gehört, der sich mit dem Bau und der Unterhaltung von Straßen zu befassen hat.

## B. Die Fahrzeuge.

1. **Einteilung und Bauart.** Die Einteilung der Fahrzeuge kann unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen, z. B. nach dem, was sie zu befördern haben, in Personen- und Lastwagen. Für unsere Zwecke ist es am natürlichsten, in erster Linie nach der Art der Kraft, die zur Fortbewegung verwendet wird, zu unterscheiden zwischen Fahrzeugen, die von Zugtieren und solchen, die durch Maschinenkraft bewegt werden (gewöhnliche Landfuhrwerke und Kraftfahrzeuge), weil dieses Unterscheidungsmerkmal wie für die Bauart der Fahrzeuge so auch für ihre Einwirkung auf die Straßen von einschneidender Bedeutung ist. Handwagen, Fahrräder und ähnliche Kleinfahrzeuge sowie Schlitten sind für unsere Untersuchungen nebensächlich und können aus den nachfolgenden Erörterungen deshalb füglich ausscheiden.

a) *Gewöhnliche Landfuhrwerke (Gespanne).* Nach der Anzahl der Achsen und Räder unterscheidet man den einachsigen oder zweiräderigen *Karren* von dem zweiachsigen oder vierräderigen *Wagen*. Der erstere, 15—25 % weniger Zugkraft erfordernd und leichter dreh- und lenkbar als der letztere, aber auch von geringerer Standfestigkeit, braucht uns hier nicht weiter zu beschäftigen, weil ihm gegenüber der vierräderige Wagen, dem eine gute Standfestigkeit und günstigere Lastverteilung zukommt und der deshalb bei weitem vorherrscht, für die Ausgestaltung der Straßen von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Bei allen Wagen, so mannigfaltig sie auf den ersten Anblick auch erscheinen, sind dieselben zwei Hauptbestandteile zu unterscheiden: das *Fahrgestell* oder *Untergestell* und der auf dieses aufgesetzte *Wagenkasten*. Für unsere Betrachtung ist vor allem das Fahrgestell, das zur Fortbewegung des Fuhrwerks dient, von Wichtigkeit. In Abb. 1 ist ein solches für ein weispänniges Fuhrwerk, wie es beim Durchfahren von Krümmungen eingestellt ist, unter Bezeichnung seiner einzelnen Teile dargestellt.

Das *Fahrgestell* zerfällt in das Hintergestell, bestehend aus dem Langbaum, auch Langwied genannt, mit dem die Hinterachse fest

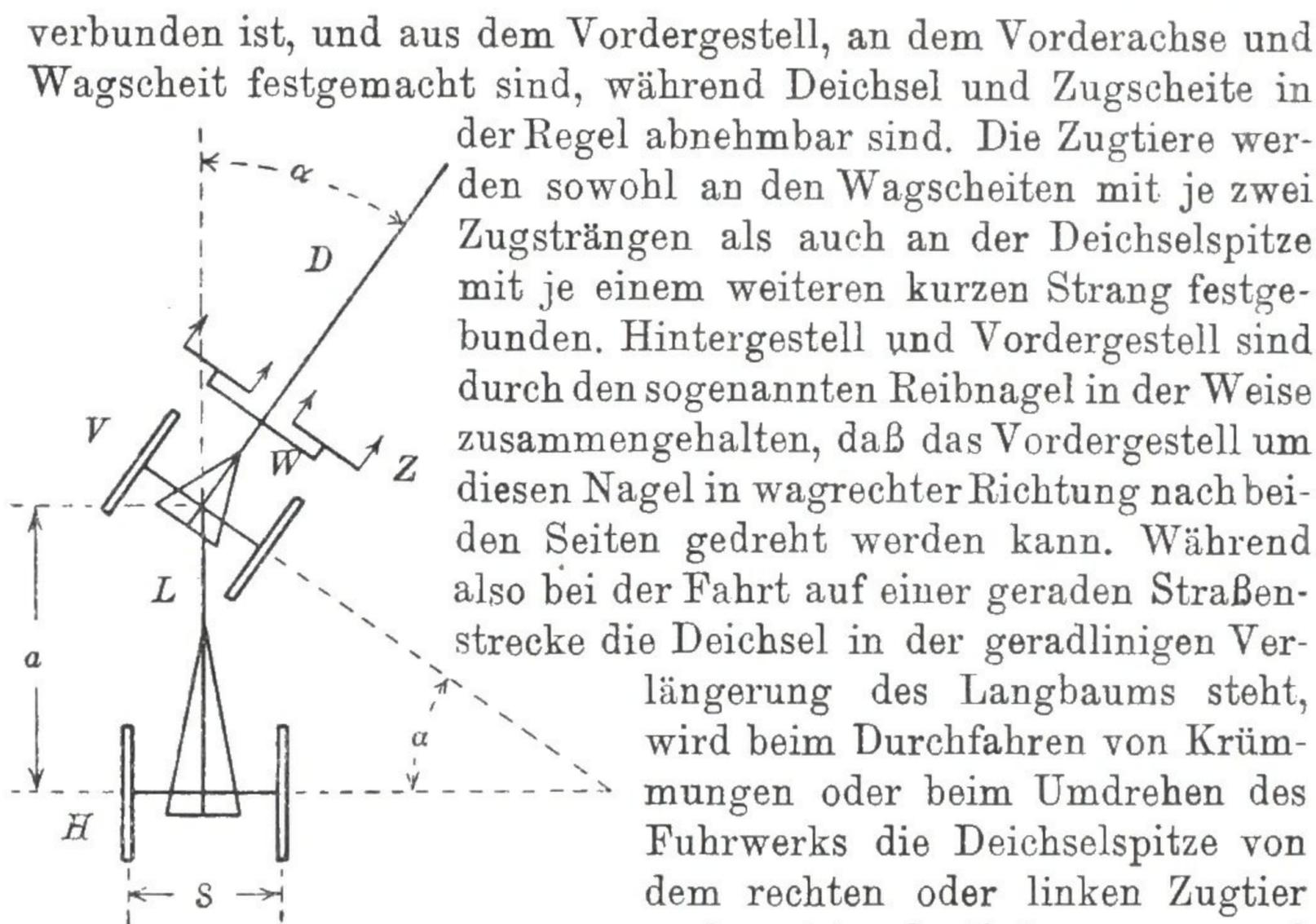


Abb. 1. Landfuhrwerk.

$D$  = Deichsel,  $L$  = Langbaum (-wied),  
 $V$  = Vorderrad,  $H$  = Hinterrad,  $W$  =  
Wagscheite,  $Z$  = Zugscheite,  $a$  = Achs-  
stand,  $S$  = Spurweite,  $\alpha$  = Drehwinkel.

verbunden ist, und aus dem Vordergestell, an dem Vorderachse und Wagscheite festgemacht sind, während Deichsel und Zugscheite in der Regel abnehmbar sind. Die Zugtiere werden sowohl an den Wagscheiten mit je zwei Zugsträngen als auch an der Deichsel Spitze mit je einem weiteren kurzen Strang festgebunden. Hintergestell und Vordergestell sind durch den sogenannten Reibnagel in der Weise zusammengehalten, daß das Vordergestell um diesen Nagel in wagrechter Richtung nach beiden Seiten gedreht werden kann. Während also bei der Fahrt auf einer geraden Straßenstrecke die Deichsel in der geradlinigen Verlängerung des Langbaums steht, wird beim Durchfahren von Krümmungen oder beim Umdrehen des Fuhrwerks die Deichsel Spitze von dem rechten oder linken Zugtier nach rechts oder links gezogen und hierdurch das Vordergestell so gedreht, daß sich die Vorderachse radial in die Krümmung einstellt.

Der auf dem Langbaum aufsitzende Wagenkasten verbleibt hierbei in der Richtung des Langbaums. Das Höchstmaß der Drehung des Vordergestells von der Mittellinie des Fuhrwerks nach jeder Seite schwankt bei den schweren Lastwagen je nach ihrer Bauart zwischen  $19$  und  $30^\circ$ , d. h. bis zu der Grenze, wo die Vorderräder an den Langbaum anstoßen. Bei den meisten Personenwagen und auch bei manchen leichten städtischen Lastwagen kann hingegen eine Drehung nach beiden Richtungen bis zu  $90^\circ$  erfolgen, wodurch die Beweglichkeit wesentlich erhöht wird. Im letzteren Fall muß zur Ermöglichung der weitgehenden Drehung der Langbaum so hoch liegen oder nach oben gekröpft werden, daß die Vorderräder noch unter ihm hindurchgehen können. Bei den Langholzfuhrwerken bilden das Vorder- und das Hintergestell zwei völlig voneinander getrennte Teile, die nur durch die aufgeladenen Langholzstämme zusammengehalten werden und die beide bis zu  $35^\circ$  gedreht werden können. Ein Vorgang, der als „Schwicken“ bezeichnet wird. Näheres hierüber auf S. 30 u. 31 (Abb. 14).

Besondere Beachtung verdient noch die Bauweise der *Räder*. Mittels der Nabe sind sie auf die Enden der fest mit den beiden Fahrgestellteilen verbundenen Achsen lose aufgesetzt, so daß sie sich frei um die Achsen drehen können. Von der Nabe gehen die Speichen strahlenförmig zum Umfang des Rads, dem Radkranz oder den Felgen, auf die der in der Regel aus Eisen bestehende Radreif

aufgezogen ist. Die Achsen sind entweder nur an den Enden oder schon von der Mitte ab etwas heruntergebogen, wodurch der sogenannte *Achsensturz* oder die *Unterachsung*  $\varphi$  entsteht. Die Speichen liegen nicht in der Ebene des Radkranzes, sondern sind etwas dagegen geneigt, so daß das Rad eine kegelförmige Gestalt besitzt. Diese Neigung der Speichen führt die Bezeichnung *Speichensturz*  $\alpha$ , der in der Regel um ein Geringes größer gemacht wird als der Achsensturz.

Zu vgl. Abb. 2.

Das heruntergebogene Achsenende drückt mit seinem Gewicht das Rad nach unten und innen und wirkt so einem Ablaufen des Rads von der Achse entgegen. Das ist der Haupt-

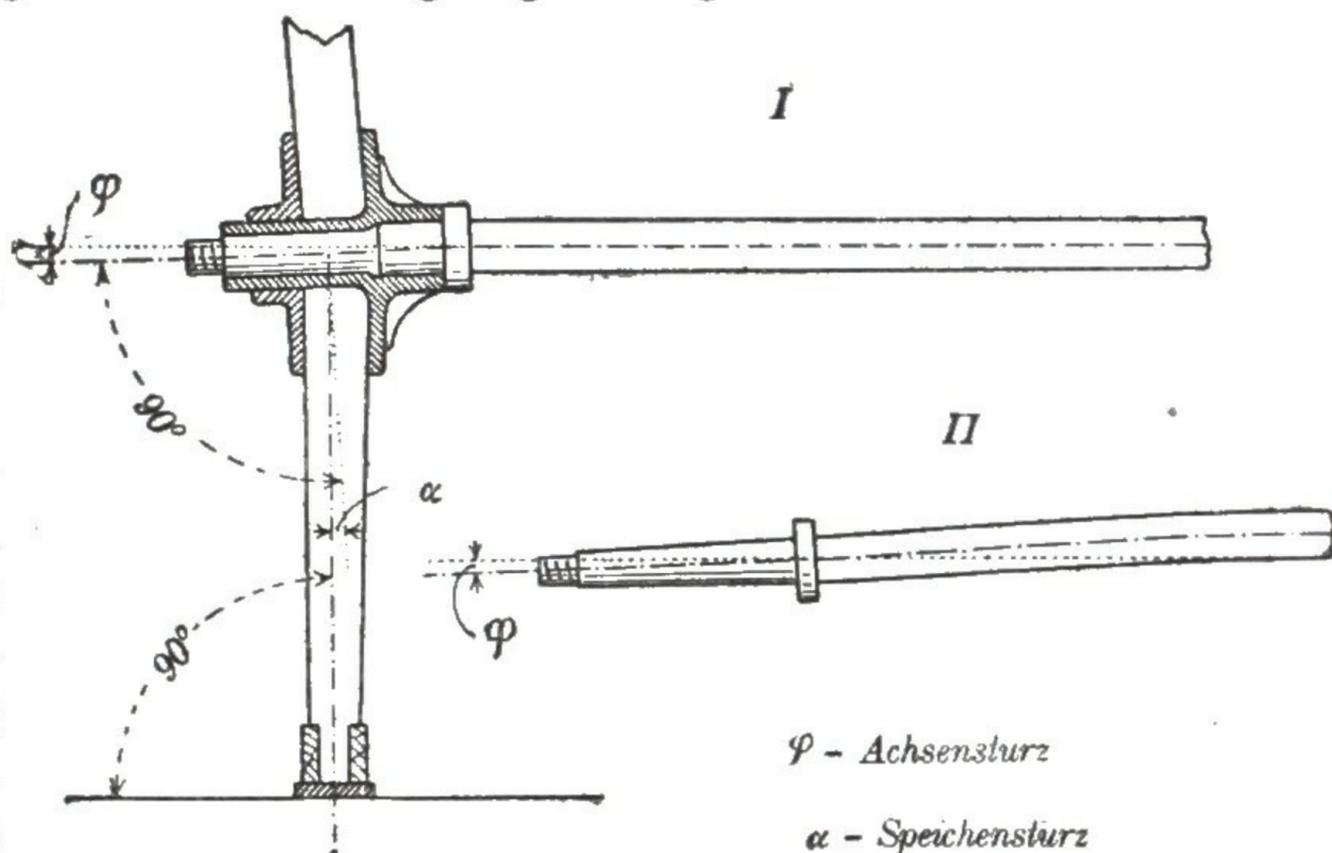


Abb. 2. Radquerschnitt.

zweck des Achsensturzes, mit dem noch die weiteren Vorteile verknüpft sind, daß durch die nach auswärts geneigte Stellung der Räder der für den Wagenkasten verfügbare Raum etwas erbreitert und der von den Rädern bei schmutziger Fahrbahn abfallende Kot mehr nach außen geschleudert wird. Der Speichensturz ergibt sich zunächst als unmittelbare Folge des Achsensturzes, weil die Speichen im Augenblick ihrer Belastung möglichst senkrecht stehen müssen, wenn das Rad unter der Last des Wagens günstig beansprucht sein soll. Die infolge des Speichensturzes kegelförmige Gestalt des Rades macht es außerdem elastisch und erhöht seine Widerstandsfähigkeit gegen die Seitenstöße des fahrenden Wagens.

Das Maß des Achsensturzes und des, wie bereits erwähnt, nahezu gleichgroßen Speichensturzes kann seiner Zweckbestimmung entsprechend um so niedriger genommen werden, je geringeren Stößen das Rad ausgesetzt ist, am kleinsten also bei städtischen Personenuhrwerken, die in der Regel nur auf ebenen und glatten Fahrbahnen verkehren. Manche Wagenbauer bevorzugen kleinere, andere größere Maße. Im allgemeinen beträgt der Sturz  $2-3\% = \frac{1}{50}$  bis  $\frac{1}{33}$ , d. h. die Winkel  $\varphi$  und  $\alpha$  schwanken etwa zwischen  $1^{\circ} 10'$  und  $1^{\circ} 40'$ . Doch kommen auch noch größere Maße vor. Ein allzu großer Sturz ist nachteilig.

b) *Kraftwagen*. Der für unsere Zwecke wichtigste Unterschied in der Bauart zwischen Gespannen und Kraftwagen besteht darin,

daß bei den letzteren zur Erhöhung der Betriebssicherheit die Lenkung in der Regel nicht mittels eines drehbaren Vordergestells, sondern zur Erzielung einer größeren Standfestigkeit der Wagen in der folgenden Weise vor sich geht. Die Achsen sind mit dem ein starres Ganzes bildenden Wagengestell unverschiebbar verbunden, und es werden lediglich die sogenannten *Lenkräder* (meist die Vorderräder) mit Hilfe wagrechter Zapfen (Achsschenkel), auf denen sie lagern, um senkrechte Achsen, die in der Nähe der Radebene

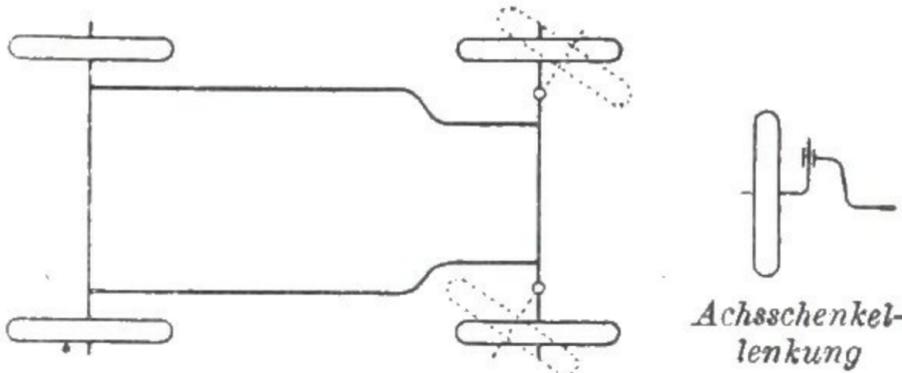


Abb. 3. Kraftwagen.

liegen, gedreht (*Achsschenkel-Lenkung*). Siehe Abb. 3. Die Drehung dieser Lenkräder erfolgt bekanntlich durch Vermittlung eines Verbindungsgestänges mit Hilfe eines neben dem Fahrersitz ange-

brachten Handrades. Um beim Durchfahren von Krümmungen das Schleifen eines der beiden Lenkräder zu verhindern, müssen sich die Verlängerungen der beiden Radzapfen der Vorderräder, d. h. die Senkrechten auf den Radebenen im Radmittelpunkt in einem Punkt  $M$  auf der verlängerten Hinterachse schneiden und die Drehwinkel  $\alpha$  und  $\beta$  der beiden Achsschenkel demnach etwas verschieden sein. Zu vgl. Abb. 13, S. 30. Ganz genau ist diese Forderung allerdings aus Gründen, die in der üblichen Bauart der Lenkgestänge liegen, nicht für alle Ausschläge der Räder erfüllbar; es müssen vielmehr kleine Abweichungen in den Kauf genommen werden. Die größten Ausschläge der Lenkräder betragen etwa  $35-45^\circ$ . Auf der drehbaren Triebachse (Hinterachse) müssen die Räder natürlich wie bei den Eisenbahnfahrzeugen festsitzen, um die Fortbewegung des Fahrzeugs mit Hilfe des Reibungswiderstands zwischen Radumfang und Straßenoberfläche zu ermöglichen. Die Lenkräder werden meist durch Neigung der Radzapfen etwas gestürzt, die Triebräder hingegen nicht. Zur Bereifung der Kraftwagen wird am besten Gummi verwendet, und zwar zu Personenwagen vorwiegend Luftgummi, zu Lastwagen Vollgummi.

Über die Bauart der *Dampfstraßenwalzen* ist in Abschnitt XI einiges zu finden. Ganz ähnlich gebaut sind die zur Beförderung schwerer Lastzüge (*Dampflastzüge*) dienenden *Straßenlokomotiven*. Ihre Verbreitung und Besonderheiten sind nicht so groß, daß sich ein näheres Eingehen auf sie an dieser Stelle rechtfertigen ließe.

**2. Abmessungen und Gewichte.** Abmessungen und Gewichte schwanken bei den Gespannen in mehr oder weniger weiten Grenzen, wobei sich auch der Einfluß der landesüblichen Bauweise bemerkbar macht. Bei den Kraftwagen haben sich einheitlichere Typen herausgebildet. Für den Straßenbau sind vielfach die Höchstwerte der Maße und Gewichte von besonderem Interesse. Achsstand und

Länge sind neben dem Drehwinkel des Vordergestells oder bei Kraftwagen der Lenkräder für die überhaupt zulässigen kleinsten Straßenkrümmungen maßgebend, während die Breite der Fuhrwerke mit den Fahrbahnbreiten in Wechselbeziehung steht und ihre Höhe für die lichte Höhe von Straßenunterführungen ebenso wie für die Lage von Leitungen aller Art, soweit sie die Fahrbahn überqueren, und für die Ausüstung der Straßenbäume ausschlaggebend ist. In manchen Ländern sind bestimmte Maße für die Straßenfuhrwerke gesetzlich festgelegt. Wegen der Bezeichnungen vgl. Abb. 1.

*Achsstand*, auch *Radstand* genannt, und *Wagenlänge* schwanken innerhalb viel weiterer Grenzen als die übrigen Abmessungen der Fahrzeuge, denen durch Rücksichten verschiedenster Art verhältnismäßig enge Schranken gezogen sind. Bei gewöhnlichem Personenuhrwerk sind, der Benützungsweise entsprechend, Achsstand und Länge im allgemeinen kleiner als bei Lastwagen. Beide Abmessungen sind bei Kraftwagen im allgemeinen größer als bei Gespannen. Die gebräuchlichsten Werte sind in der folgenden Tafel zusammengestellt.

Tafel 1.

Art des Fahrzeugs	Achsstand m	Länge ohne Deichsel m
Personenfuhrwerke . . . . .	1,50—2,25	2,50—4,00
Lastfuhrwerke . . . . .	2,00—4,00	2,50—6,00
Langholzwagen . . . . .	$\frac{2}{3}$ der Stammlänge	Stammlänge bis zu 30 m
Kraftwagen . . . . .	2,00—5,00	3,00—8,00

Für die Länge der Deichsel sind durchschnittlich etwa 4,2 m zuzuschlagen.

Der *Raddurchmesser* ist zur Erleichterung der Drehbarkeit des Vordergestells bei den Vorderrädern im allgemeinen etwas kleiner als bei den Hinterrädern. Er bewegt sich bei gewöhnlichem Landfuhrwerk bei den Vorderrädern zwischen 0,9—1,4 m und bei den Hinterrädern zwischen 1,1—1,5 m. Kraftwagen haben kleinere Räder von unter sich gleicher Größe mit etwa 0,70—0,90 m Durchmesser.

*Spurweite und Wagenbreite.* Als Spurweite soll in Übereinstimmung mit der gebräuchlichsten Bezeichnungsweise im folgenden der Abstand von Mitte zu Mitte der Radreifen der beiden Räder einer und derselben Achse gelten. Manche verstehen unter Spurweite abweichend hiervon den lichten Abstand zwischen diesen Rädern. Für die Spurweite, die für Vorder- und Hinterachse stets gleich ist, ist in einzelnen Ländern das zulässige Höchstmaß gesetzlich vorgeschrieben, in Preußen z. B. der Betrag von 1,52 m, neben dem jedoch geringere Werte bis herab zu etwa 1 m vielfach vorkommen. In Süddeutschland sind Spurweiten von 1,10—1,30 m gebräuchlich. Die Kraftwagen haben einheitlichere Spurweiten, die

bei den Personenwagen etwa zwischen 1,32 und 1,44 m, bei den Lastwagen zwischen 1,42 und 1,60 m liegen. Größte Wagenbreite 2 m, nur beladene Erntewagen mehr, etwa bis 3,8 m.

*Felgenbreite.* Eine hinreichende, dem Wagengewicht entsprechende Felgenbreite trägt sehr zur Schonung der Straßenfahrbahnen bei. Für Personenfurwerke sind Breiten von 4,5–6 cm gebräuchlich, für Lastwagen im allgemeinen solche von 7–9 cm, ausnahmsweise, namentlich bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen, die weichen Boden (Wiesen) befahren müssen, bis zu 12 und 16 cm. In vielen Ländern ist die Felgenbreite gesetzlich vorgeschrieben, so auch in Preußen, wobei als Maßstab meist der größte Raddruck auf 1 cm Felgenbreite dient, der bis zu 125 kg gehen darf.

Bei der in unbelastetem Zustand gewölbten Gummibereifung der Kraftwagen wird zweckmäßigerweise die größte Breite des Reifenquerschnitts in Betracht gezogen. Die tatsächlich auf der Fahrbahn aufliegende Lauffläche wird wegen der Zusammenpressung der Reifen nur unerheblich schmaler sein. Die größte Breite dieser Reifen beträgt im allgemeinen 90–140 mm. Bei den schweren Lastkraftwagen werden die Hinterräder meist mit zwei derartigen Reifen, die dicht nebeneinander liegen, versehen (Zwillingsreifen).

*Wagenhöhe.* Sie beträgt im allgemeinen 1,6–3,5 m. Die größte Höhe, bis zu 4,4 m, besitzen beladene Erntewagen. Die lichte Höhe von Straßenunterführungen, unter denen beladene Erntewagen durchfahren müssen, sollte deshalb möglichst nicht unter 4,5–5 m betragen. Elektrische Oberleitungen für Straßenbahnen liegen an der Stelle des größten Durchhangs am besten etwa 5–6 m über der Straße. Unter Straßenunterführungen kann dieses Maß jedoch je nach der Ausbildung des Stromabnehmers auf 3,9–4,2 m ermäßigt werden.

*Gewichte.* Für den Straßenbau sind die Kraftfahrzeuge wegen ihres namentlich bei Lastkraftwagen sehr beträchtlichen Gewichts von besonderer Bedeutung. Die Kraftwagen genießen bis zu einem Gesamtgewicht von 9 Tonnen (einschließlich Ladung), wovon etwa  $\frac{2}{3}$  auf die Triebachse (Hinterachse) entfallen, Verkehrsfreiheit nach Maßgabe der bestehenden Vorschriften. Die Gewichte der Gespanne bleiben hinter diesem Maß in den meisten Fällen erheblich zurück. Bei sehr schweren Kraftwagen, Straßenlokomotiven und Dampfwalzen kommen noch größere Gewichte vor, die z. B. bei Dampfwalzen, soweit sie nicht für gewisse Fälle besonders leicht gebaut sind, zwischen 12 und 26 Tonnen schwanken. Die Darstellung des Einflusses schwerer Verkehrslasten auf die Straßenbrücken bildet einen Gegenstand des Brückenbaues. Gewöhnliches Landfuhrwerk hat ein Eigengewicht, das sich etwa zwischen 1 und 1,3 Tonnen bewegt, wozu eine Nutzlast etwa bis zu 3 Tonnen kommt.

### C. Bewegungswiderstände und Zugkräfte.

Der Vorgang bei der Fortbewegung ist bei Fuhrwerken mit tierischem Zug (Gespannen) ein anderer als bei Kraftwagen, die durch einen in das Fahrzeug selbst eingebauten Motor fortbewegt werden. Die ersteren, wie auch die Anhängewagen oder Anhänger der Lastkraftwagen, haben nur gezogene Räder, wogegen bei den Kraftwagen auch Triebräder (ziehende Räder) vorhanden sind.

Der Fortbewegung eines Fahrzeugs auf der Straße stellen sich gewisse Widerstände hemmend entgegen, die durch die Zugkraft überwunden werden müssen. Zunächst ist der *Reibungswiderstand* anzuführen, der bei den Räderfuhrwerken, die uns hier allein interessieren, hervorgerufen wird einmal durch die Reibung zwischen den Rädern und der Fahrbahnoberfläche und sodann durch die Zapfenreibung der Räder. Bei Schlitten, auf deren eingehendere Behandlung angesichts ihrer geringen Bedeutung hier füglich verzichtet werden kann, kommt nur die gleitende Reibung zwischen den Kufen und der Schneebahn in Betracht. Zu dem Reibungswiderstand tritt auf ansteigenden Straßenstrecken noch der *Steigungswiderstand* und außerdem der *Luftwiderstand* hinzu, der jedoch nur bei sehr rasch fahrenden Kraftfahrzeugen eine merkliche Größe erreicht und in allen übrigen Fällen deshalb ganz außer Betracht bleiben kann. Während nun bei den auf Gleisen verkehrenden Fahrzeugen der Eisenbahnen und Straßenbahnen zu den soeben genannten drei Widerständen noch als eine weitere erhebliche Hemmung in Krümmungen der sogenannte Krümmungswiderstand hinzukommt, ist dieser bei den Straßenfahrzeugen so unbedeutend, daß er ohne Bedenken vernachlässigt werden kann. Der Grund hierfür besteht, wie leicht einzusehen ist, kurz gesagt, darin, daß alle bei den Bahnen aus der zwangsweisen Führung der Räder durch die Schienen entstehenden Reibungen und Klemmungen bei den Straßenfuhrwerken nicht auftreten. Überdies sitzen die Räder dieser letzteren Fuhrwerke mit Ausnahme der Triebräder der Kraftwagen lose auf den Achsen und können sich deshalb beim Durchfahren von Krümmungen genau nach den für die beiden Räder einer und derselben Achse verschieden großen Krümmungshalbmessern drehen. Zur Fortbewegung eines Fahrzeugs bedarf es einer Zugkraft, die größer ist als der aus der Summe der einzelnen Widerstände sich zusammensetzende Gesamtwiderstand des Fahrzeugs. Wirft man endlich noch die Frage auf, welche Bedeutung diesen Untersuchungen über die Fortbewegung der Fahrzeuge zukommt, so ist zu erwidern, daß sie weniger zu unmittelbarem praktischen Gebrauch, als zur Klärung der grundlegenden Begriffe und Anschauungen bestimmt sind. Wir wollen nun zunächst die drei Arten der Bewegungswiderstände und hierauf die Zugkräfte und die Arbeitsleistung einer näheren Betrachtung unterziehen.

1. **Bewegungswiderstände.** a) *Auf wagrechter Bahn (Reibungswiderstand).* Da bei Gespannen die Zugkraft  $Z$  an den Achsen angreift, so äußert sich der Widerstand des Fahrzeugs als eine gleichfalls auf die Achsen wirkende, der Zugkraft entgegengesetzte Kraft  $W$ , die von der Zugkraft überwunden werden muß. Bei den Kraftfahrzeugen hingegen, bei denen die Reibung zwischen den Triebrädern und der Fahrbahnoberfläche zur Fortbewegung benützt wird, ist die Zugkraft  $Z$  ebenso wie der ihr entgegenstehende Widerstand  $W$  als am Radumfang wirkend anzusehen.

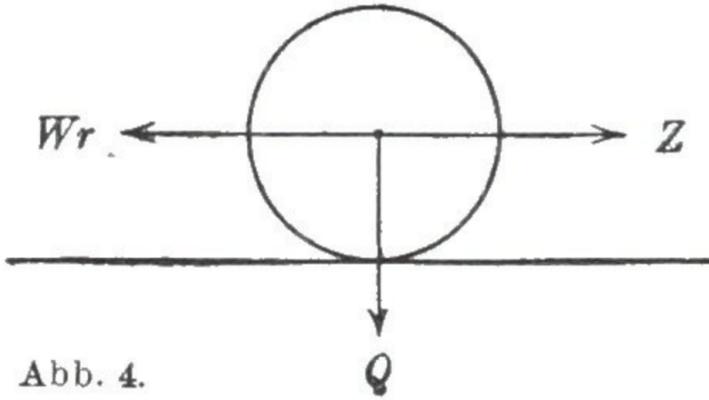


Abb. 4.

Erfahrungsgemäß läßt sich der bei wagrechter Bahn und langsamer Fahrt allein in Betracht kommende Reibungswiderstand  $W_r$ , wenn man sich nach Abb. 4 das Gesamtgewicht  $Q$  des Wagens, das aus Eigengewicht und Nutzlast besteht, auf ein einziges Rad vereinigt denkt, durch folgende einfache Beziehung zum Ausdruck bringen.

$$W_r = \mu Q \quad (1)$$

Hierin stellt  $\mu$  die sogenannte Reibungszahl dar, die den Einfluß der gesamten Reibung, d. h. der rollenden Reibung zwischen Rad und Fahrbahn sowohl als auch der Zapfenreibung in *einem* Zahlenwert zum Ausdruck bringt. Diese Reibungszahl läßt sich, wie ein Blick auf die obige Formel zeigt, für ein bestimmtes Wagengewicht durch Messung der notwendigen Zugkraft mittels Kraftmesser unschwer feststellen. Für  $\mu$  lassen sich nur Durchschnittswerte für jede Art der Fahrbahnbefestigung angeben, denn man müßte sich in recht überflüssige Untersuchungen verlieren, wollte man die mannigfachen Verhältnisse, die ihren Einfluß auf den Wert von  $\mu$  geltend machen, im einzelnen zahlenmäßig festlegen. Es sei nur soviel bemerkt, daß die rollende Reibung die Zapfenreibung bedeutend überwiegt, indem sie durchschnittlich etwa sechsmal so groß ist, und daß die rollende Reibung und die Zapfenreibung je für sich wieder großen Schwankungen unterliegen. Die erstere ist auch bei gleicher Art der Fahrbahnbefestigung und Bereifung der Räder (Eisen einerseits und elastische Bereifung andererseits) von den verschiedensten Umständen abhängig. Bei Schotterbahnen z. B. von der Beschaffenheit des Schotters, die im einzelnen sehr verschieden sein kann, dem Unterhaltungszustand der Straße und der Witterung, ferner von der Felgenbreite sowie dem Durchmesser der Räder, da mit zunehmendem Durchmesser die Reibung geringer wird. Die Größe der Zapfenreibung ist vor allem bedingt durch die Bauart der Achsen und Räder und z. B. bei einem mit Kugellagern versehenen Luxuswagen erheblich kleiner als bei einem einfachen Landfuhrwerk. Für die im Landstraßenbau üblichen Fahrbahn-

befestigungen gibt die folgende Tafel Durchschnittswerte der Reibungszahlen.

Tafel 2.

Art der Fahrbahn	Reibungszahlen, Durchschnittswerte
Trockener, fester Erdweg . . . . .	$\frac{1}{20} = 0,050$
Kotige Schotterbahn . . . . .	$\frac{1}{20} = 0,050$
Trockene, gute Schotterbahn . . . . .	$\frac{1}{35} = 0,030$
Bituminöse Fahrbahn . . . . .	$\frac{1}{50} = 0,020$
Fuhrwerksgleise aus Stahl . . . . .	$\frac{1}{200} = 0,005$

b) *Auf Steigungen (Steigungswiderstand)*. Auf Steigungen erhöht sich bei der Bergfahrt der Widerstand gegenüber demjenigen auf wagrechter Bahn um den in die Richtung der Straßenneigung fallenden Teil des gesamten Wagengewichts. Zu diesem tritt bei Gespannen noch ein ebenso großer Anteil des Zugtiergewichts hinzu, dessen Bergaufbeförderung die Kräfte der Tiere gleichfalls in vermehrter Weise in Anspruch nimmt. Bei der Talfahrt hingegen vermindern die entsprechenden Teile des Wagen- und Zugtiergewichts den Widerstand um dasselbe Maß. Die folgenden Beziehungen, die sich aus Abb. 5 leicht entnehmen lassen und bei denen von den Doppelvorzeichen das obere für Steigungen, das untere für Gefälle gilt, werden dies vollends klar machen.  $W$  bezeichnet den Gesamtwiderstand,  $Z$  die erforderliche Zugkraft,  $Q$  das gesamte Wagengewicht,  $G$  das gesamte Zugtiergewicht, worüber die Zusammenstellung auf S. 16 nähere Angaben enthält,  $\alpha$  den Winkel der Straßensteigung,  $s$  die gleiche Steigung in Hundertsteln, also  $\text{tg } \alpha = s$ . Damit ergibt sich

$$W = \mu Q \cos \alpha \pm (Q + G) \sin \alpha \quad (2)$$

Bei den geringen Steigungen, die für Landstraßen angängig sind,

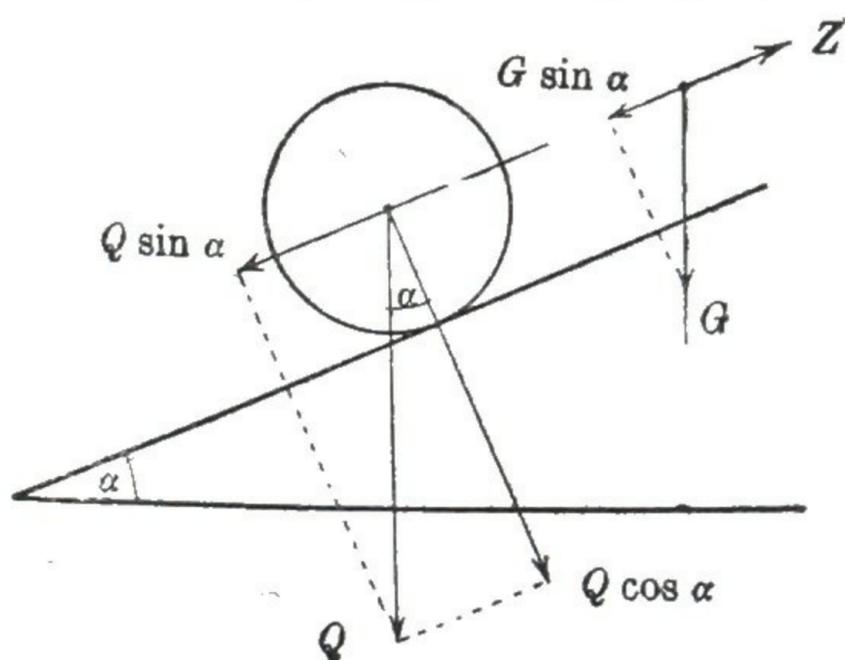


Abb. 5.

wird der Winkel  $\alpha$  stets klein bleiben. Es kann deshalb  $\cos \alpha = 1$  und  $\sin \alpha = \text{tg } \alpha$  gesetzt werden, zumal da auch für die Reibungszahlen  $\mu$  nur Durchschnittswerte ermittelt werden können. Hieraus ergibt sich die folgende einfache und übersichtliche Fassung:

$$\begin{aligned} W &= \mu Q \pm (Q + G) \text{tg } \alpha \\ &= \mu Q \pm (Q + G) s \leq Z \quad (3) \end{aligned}$$

oder für Kraftfahrzeuge, wo kein Zugtiergewicht in Betracht kommt:

$$W = \mu Q \pm Q s = (\mu \pm s) Q \leq Z \quad (4)$$

In beiden Fällen stellt das erste Glied der rechten Seite den reinen Reibungswiderstand dar, wie er nach Gleichung (1) auf wag-rechter Bahn vorhanden ist, während das zweite Glied den gesamten Einfluß der Steigung zum Ausdruck bringt. Die einzelnen Formeln besagen also, daß für ein und denselben Wagen auf einer Fahr-bahn von bestimmter Oberflächenbeschaffenheit und Steigung der durch die Zugkraft  $Z$  zu überwindende Widerstand  $W$  mit dem Gesamtgewicht des Wagens, also auch entsprechend der Nutzlast zu- und abnimmt. Hierzu kommt bei Gespannen in Steigungen noch der Einfluß des Zugtiergewichts. Wird der absolute Wert des zweiten Glieds der rechten Seite (des Steigungswiderstands) größer als der Wert des ersten Glieds (des Reibungswiderstands), was bei Vernachlässigung des Zugtiergewichts  $G$  eintritt, sobald  $s > \mu$ , so bewegt sich der Wagen von selbst bergab. Er muß deshalb bei der Tal-fahrt, sobald unzulässig große Geschwindigkeiten eintreten wollen, ge-bremst werden. Auf guter trockener Schotterbahn mit  $\mu = 1/35 = 0,03$  beginnt somit bei einem Gefäll von 3 % der Wagen sich von selbst bergab zu bewegen. Wenn Bremsen fehlen, wie dies bei Gespannen namentlich in vorwiegend ebenen Gegenden ab und zu vorkommt, muß in größeren Gefällen der Wagen durch die Zugtiere zurück-gehalten werden, was schwierig ist und eine ungünstige, vielfach an Mißhandlung grenzende Beanspruchung der Zugtiere bedeutet. Ebenso muß bei derartigen Gefällen, wenn der Wagen bei einem Halt während der Bergfahrt nicht von selbst in rückläufige Be-wegung talabwärts kommen und die Zugtiere entlastet werden sollen, der Wagen entweder gebremst oder seine Räder unterlegt werden. Es erhellt aus dem Angeführten auch, daß bei Kraftfahrzeugen, wo die Möglichkeit einer Hemmung des Fahrzeugs durch die Zug-tiere nicht besteht, eine sicher wirkende Bremse zu den unentbehr-lichen Ausrüstungsgegenständen gehört.

Die Gleichungen (3) und (4) zeigen auch, daß je besser, d. h. je glatter die Straßenbefestigung ist und je kleiner demnach  $\mu$  und damit der Reibungswiderstand wird, desto überwiegender bei zu-nehmender Steigung der Einfluß des Steigungswiderstands zur Gel-tung kommt. Dieser Umstand legt den Gedanken nahe, zur vollen Ausnützung der Vorzüge von Straßen mit glatter Fahrbahnbefesti-gung die Steigungen möglichst niedrig zu halten, doch kann diesem Gesichtspunkt im Landstraßenbau nur in beschränktem Umfang Rechnung getragen werden, weil, wie an anderer Stelle gezeigt werden wird, sowohl die Steigungen der Landstraßen als auch die Art ihrer Fahrbahnbefestigung überwiegend durch zwingende Rück-sichten anderer Art bestimmt werden.

Die Gleichung (4) ist auch für Lastkraftzüge brauchbar, und

zwar kann bei gleichartiger Bereifung der Räder des Kraftwagens und der Anhänger, d. h. bei gleichgroßer Reibungszahl  $\mu$  das Gesamtgewicht der Anhänger ohne weiteres dem Gesamtgewicht  $Q$  des Kraftwagens selbst zugeschlagen und somit das Gewicht aller Wagen durch eine einzige Zahl ausgedrückt werden. Ist die Bereifung der Wagen dagegen erheblich verschieden (etwa Eisen und Gummi), so können wenigstens die Wagen mit gleichartiger Bereifung in der gleichen Weise zusammengefaßt werden.

Dies sind die Widerstände, die für gewöhnlich allein in Betracht kommen. Nur bei rascher Fahrt von Kraftfahrzeugen tritt, wie wir gesehen haben, zu ihnen noch hinzu:

c) *Luftwiderstand*. Der Luftwiderstand entsteht im wesentlichen durch den Druck der Luft auf die Stirnfläche und ihre Saugwirkung auf die Hinterfläche des Fahrzeugs und wächst nach Versuchen mit dem Quadrat der Fahrgeschwindigkeit. Für seine Größe  $w$  in kg auf 1 qm des Wagenquerschnitts werden verschiedene Werte angegeben, die sich im allgemeinen zwischen

$$w = 0,005 V^2 \text{ bis } 0,007 V^2 \quad (5)$$

bewegen, wenn  $V$  die Geschwindigkeit in km in der Stunde ist. Bei Bemessung der Geschwindigkeit  $V$  wird, um auch einen etwaigen Gegenwind zu berücksichtigen, zur größten Fahrgeschwindigkeit zweckmäßigerweise noch ein Betrag von etwa 18—20 km für die Stunde hinzugeschlagen. Als von der Luft getroffener Wagenquerschnitt kann (nach Güldner) für allgemeine Berechnungen das Produkt aus Spurweite und größter Höhe des Wagens über der Vorderachse angenommen werden.

Im übrigen ist der Luftwiderstand ein Punkt, der weniger für den Straßenbau als für den Bau und Betrieb von Kraftfahrzeugen von Interesse ist und zwar nicht bloß deswegen, weil er, wie bereits angedeutet wurde, nur bei verhältnismäßig rascher Fahrt auf ein erhebliches Maß anschwillt, für die überwiegende Mehrzahl der Fahrzeuge also ausscheidet, sondern auch deshalb, weil er durch Maßnahmen des Straßenbaues in keiner Weise beeinflussbar ist. Umgekehrt aber hat es jeder Kraftwagenführer in der Hand, einen etwa lästig fallenden Luftwiderstand durch Verringerung der Fahrgeschwindigkeit zu ermäßigen oder so gut wie ganz auszuschalten. Angefügt sei hier noch die jedem Radfahrer bekannte Erfahrungstatsache, daß sich bei der Fortbewegung der Fahrräder schon ein einigermaßen kräftiger Gegenwind als empfindliche Hemmung fühlbar macht, während andererseits ein Rückenwind die Fahrt erleichtert.

**2. Zugkräfte und Arbeitsleistung.** a) *Tierische Zugkraft*. Die Leistungsfähigkeit eines Zugtieres ist selbstverständlich zunächst abhängig von der Tiergattung, der es angehört. Sie schwankt aber auch innerhalb der gleichen Gattung nach der individuellen Be-

schaffenheit und dem Lebensalter des Tieres, sowie nach seiner Ernährung und Pflege und der Geschicklichkeit des Fuhrmanns in der Lenkung des Tieres zwischen weiten Grenzen. Es liegt auf der Hand, wie schwierig es ist, alle diese Verhältnisse ebenso wie die Vorgänge im tierischen Organismus, die sich bei der Arbeitsleistung abspielen, in feste Zahlen und Formeln zu fassen, die uns eine klare Vorstellung von den betreffenden Vorgängen geben könnten. Man hat deshalb bei der Beurteilung des folgenden stets im Auge zu behalten, daß es sich um Dauerleistungen und Mittelwerte handelt, von denen die lebendige Wirklichkeit oft genug erheblich abweichen wird.

Die *tägliche Arbeitsleistung*  $A$  eines Zugtieres ist ausgedrückt durch die folgende Formel  $A = Z vt$  (6)

worin  $Z$  die Zugkraft,  $v$  die Ganggeschwindigkeit,  $t$  die tägliche Arbeitszeit bezeichnen. Alle diese drei Größen können zwar bei jedem einzelnen Tier recht verschiedene Werte annehmen, es gibt aber für jede Tiergattung doch bestimmte Normalwerte  $Z_0$ ,  $v_0$ ,  $t_0$  dieser drei Größen, die der Natur der betreffenden Tiere am besten entsprechen und deshalb die tägliche Arbeitsleistung zu einem Größtwert  $A_0$  machen, während jede Abweichung von diesen Werten die Arbeitsleistung herabdrückt. Die zweckmäßigste tägliche Arbeitszeit  $t_0$  allerdings ergibt sich aus den natürlichen Verhältnissen des Wechsels zwischen Tag und Nacht und den notwendigen Ruhe- und Fütterungspausen für alle Tiergattungen etwa zu acht Stunden, wogegen die günstigsten Werte von  $Z_0$  und  $v_0$  je nach der Gattung verschieden sind und überdies auch innerhalb jeder Gattung nach der Beschaffenheit der Tiere schwanken. Die folgende Zusammenstellung gibt hierüber näheren Aufschluß und enthält zugleich Angaben über das Gewicht der Tiere, wie sie zu Rechnungen mit Gleichung (2) und (3) S. 13 notwendig sind.

Tafel 3.

Tierart	Gewicht $G$ kg	$Z_0$ kg	$v_0$ m/Sek.
1. Pferde			
a) leicht . . . . .	250	60	1,25
b) mittelstark . . . . .	350	75	1,10
c) schwer . . . . .	450	90	0,80
2. Ochsen . . . . .	—	60	0,79
3. Esel . . . . .	—	40	0,79
4. Maultiere . . . . .	—	50	1,00

Die Normalzugkraft beträgt demnach bei Pferden etwa  $\frac{1}{5}$  des Eigengewichts der Tiere. Für kürzere Zeit, etwa auf Weglängen bis zu 600 m, kann aus den Zugtieren das Doppelte der normalen Zugkraft ohne Schädigung herausgeholt werden. Für den kurzen

Augenblick des Anziehens stillstehender Fuhrwerke hat es sogar nichts auf sich, wenn die Zugkraft auf ein Mehrfaches der normalen gesteigert wird.

Es ist eine altbekannte Tatsache, daß die mannigfachen Bedürfnisse des Verkehrs von den Zugtieren vielfach Dauerleistungen unter wesentlich anderen als den ihnen besonders zusagenden Bedingungen verlangen. So ist bei den Personenfuhrwerken eine wesentlich höhere Geschwindigkeit als die normale bei geringerer Zugkraft oder Arbeitszeit oder etwa bei schweren Lastwagen eine geringere Geschwindigkeit bei erhöhter Zugkraft und dergl. geboten. Wie sich die Verhältnisse in solchen Fällen gestalten, darüber gibt die *Mascheksche Kraftformel* Aufschluß, in der die Buchstaben  $Z, v, t$  die von den normalen Werten  $Z_0, v_0, t_0$  abweichenden Größen bezeichnen. Diese Formel lautet:

$$Z = Z_0 \left( 3 - \frac{v}{v_0} - \frac{t}{t_0} \right) \quad (7)$$

Die Mascheksche Kraftformel ist so lange anwendbar, als die verlangten Leistungen nicht allzusehr von den normalen abweichen, was ja bei den Dauerleistungen des praktischen Lebens auch in der Regel der Fall ist. Für die Grenzwerte  $v = 0$  und  $t = 0$  oder  $v = 2 v_0$  und  $t = t_0$  oder  $v = 3 v_0$  und  $t = 0$  verlieren ihre Ergebnisse die Brauchbarkeit.

Die in Tafel 3 auf S. 16 für die Zugkraft  $Z_0$  angegebenen Werte gelten nur für einzelne Zugtiere. Werden mehrere Zugtiere an ein Fuhrwerk zusammengespannt, so verringert sich wegen der Ungleichmäßigkeit des Zugs die Leistung jedes einzelnen Tieres etwa wie folgt:

	bei 2 Tieren auf	98 %
„ 4	„	80 %
„ 6	„	64 %

Von Interesse sind endlich noch Grenzwerte, zwischen denen sich die Geschwindigkeiten der Pferde im allgemeinen bewegen, sie betragen

im Schritt	0,4 — 1,6	m/Sek.
„ Trab	3 — 6	„
„ Galopp	7 — 12	„

In besonderen Fällen werden die oberen Grenzen noch erheblich überschritten.

b) *Maschinenkraft*. Durch Maschinenkraft bewegt werden vor allem die *eigentlichen Kraftwagen*, die bei ihrer großen Verbreitung auch für den Landstraßenbau von besonderer Bedeutung sind. Hierher gehören aber auch die *Straßenwalzen* (soweit sie nicht für Pferdezug eingerichtet sind) und die *Straßenlokomotiven*, von denen die ersteren, die in Abschnitt XI unter anderen Gesichtspunkten ihre Würdigung finden werden, als Verkehrsmittel nur ausnahmsweise, die letzteren nur für bestimmte Massenförderungen auf ver-

hältnismäßig kurze Strecken in Frage kommen. Die Betrachtung von Fahrzeugen, die an Bahngleise gebunden sind, fällt nicht in den Rahmen dieses Leitfadens. Wir können uns also hier, ohne daß etwas Wesentliches unberücksichtigt bliebe, auf die Besprechung der *eigentlichen Kraftwagen*, die in Personen- und Lastkraftwagen zerfallen, und auch hier wiederum auf das Allgemeinste beschränken. Die Erörterung von Einzelheiten ist Sache der Werke über Kraftwagenbau. Der Antrieb erfolgt in der Regel durch einen *Benzinmotor*, der auf die Hinterachse wirkt. Bei vereinzelt neueren Bauarten werden beide Achsen angetrieben. Der Vorgang besteht hierbei darin, daß ein vom Motor erzeugtes Drehmoment die Hinterachse samt den auf ihr festgekeilten Triebrädern in Drehung versetzt. Die von diesem Drehmoment herrührende Umfangskraft an den Triebrädern muß größer sein, als der nach Ziff. 1 Buchstabe a bis c S. 12—15 zu ermittelnde Gesamtwiderstand  $W$  des Wagens. Damit sich jedoch die Triebräder nicht unter dem stehenbleibenden Wagen drehen, sondern dessen Fortbewegung bewirken, muß die sogenannte Adhäsion, d. h. die gleichfalls am Umfang der Triebräder angreifende Gegenstützkraft der gleitenden Reibung größer sein, als die vom Drehmoment erzeugte Umfangskraft. Die Adhäsion entspricht bekanntlich dem Produkt aus dem Achsendruck (Reibungsgewicht) und der Reibungsziffer für die gleitende Reibung zwischen Radreifen und Fahrbahn. Bei Wagen mit Gummibereifung ist die Adhäsion in der Regel ohne weiteres mehr als genügend. Zur Erhöhung der Adhäsion bei glatter Fahrbahn, insbesondere also im Winter bei Eis und Schnee, dienen besondere Vorrichtungen, namentlich die sogenannten Gleitschutzdecken, die mit niedrigen flachköpfigen Stahlnieten besetzt sind. Eisenbereifte Triebräder werden zur Erzielung der erforderlichen Adhäsion, die namentlich im Winter bei Schnee- und Eisbahn ungenügend ist, häufig mit niederen Querrippen versehen (Riffelung), die aber auf die Fahrbahndecken leicht schädigend einwirken.

Die Stärke der Motoren kann sehr hohe Werte erreichen und schwankt zwischen weiten Grenzen, etwa von  $8/20$ — $82/200$  PS. Die Lastkraftwagen können auch zum Ziehen anderer Wagen, der sogenannten Anhänger, eingerichtet und benützt werden. Der Geschwindigkeit sind bei den Kraftwagen durch die Rücksichten auf die Sicherheit des Betriebs und die Schonung der Straßenfahrbahn Schranken gezogen. Es ist nicht nur die Größe der Zugkraft und Geschwindigkeit, sondern auch der Wegfall der Ruhepausen, die bei gewöhnlichen Fuhrwerken zur Erholung der Zugtiere in bestimmten Zeitabständen eingeschaltet werden müssen, was den Kraftwagen ihre große Überlegenheit verleiht.