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.

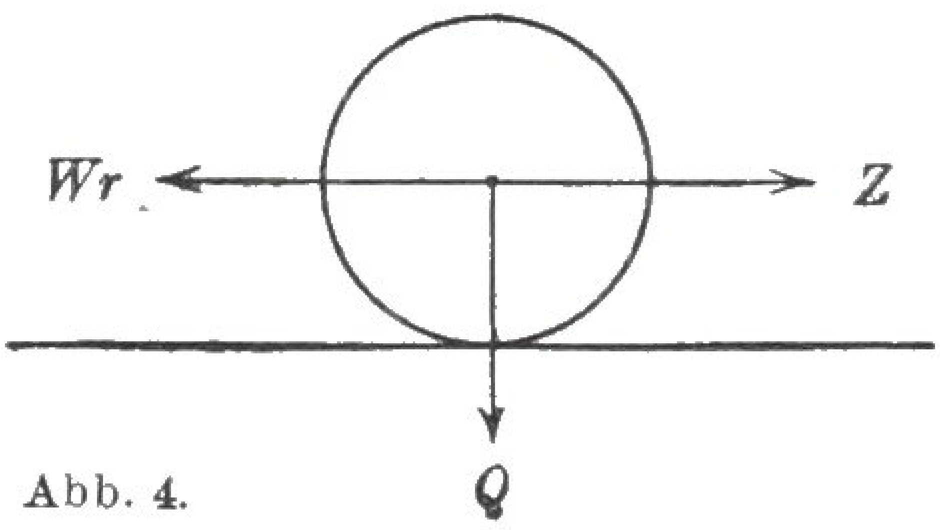

Abb. 4.

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.

$$W_r = \mu Q \tag{1}$$

Hierin stellt μ 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 μ 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 μ 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 anderseits) 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 Fahrbahnbefestigungen 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, α den Winkel der Straßensteigung, s die gleiche Steigung in Hundertsteln, also $\operatorname{tg} \alpha = s$. Damit ergibt sich

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

Bei den geringen Steigungen, die für Landstraßen angängig sind, wird der Winkel α stets klein bleiben. Es kann deshalb $\cos \alpha = 1$ und $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$ gesetzt werden, zumal da auch für die Reibungszahlen μ nur Durchschnittswerte ermittelt werden können. Hieraus ergibt sich die folgende einfache und übersichtliche Fassung:

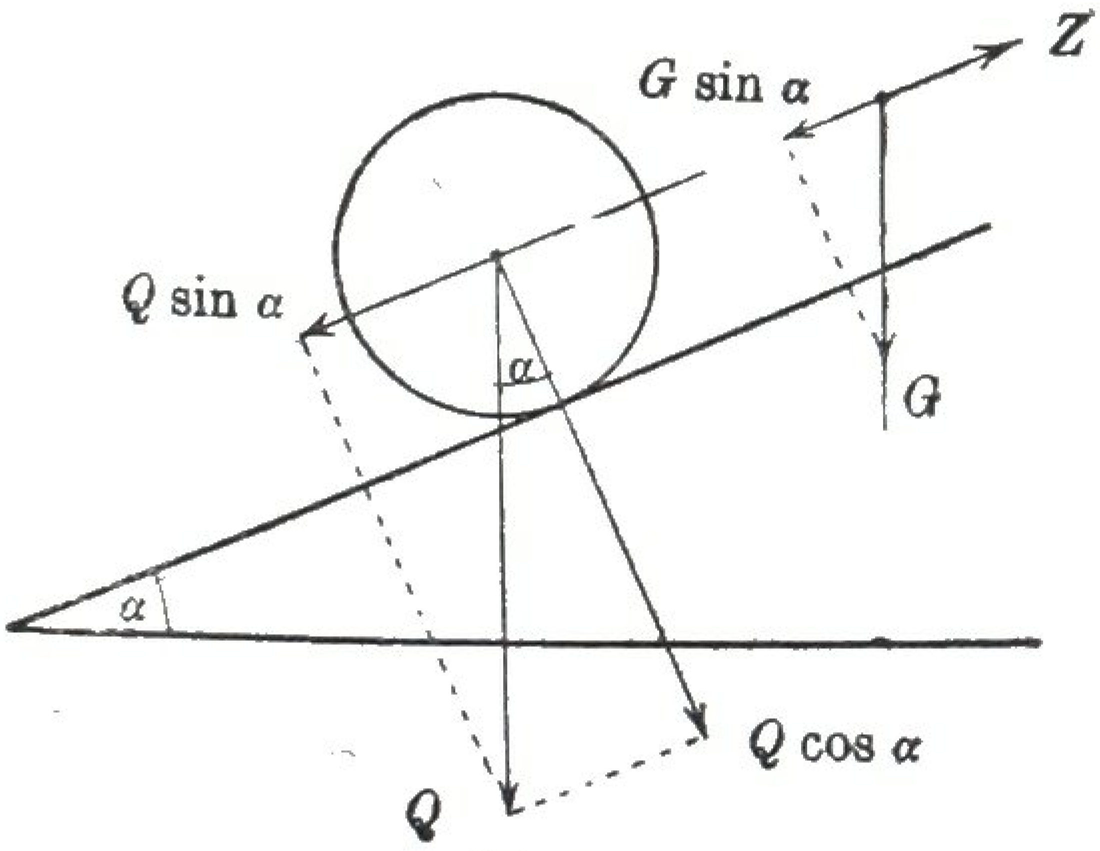

Abb. 5.

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