Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 65 (1947)
Heft: 23

Artikel: Die Radaufhängung des geländegängigen Kraftfahrzeuges
Autor: Klanner, Rudolf
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-55890

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

65. Jahrgang
Nachdruck von Bild oder Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet
Nr. 23

Die Radaufhängung des geländegängigen Kraftfahrzeuges

DK 629.113.012.857

Von Dr. RUDOLF KLANNER, Dipl. Ing., Wien

(Schluss von Seite 294)

2,3. Kurvensteifigkeit

Die Kurvensteifigkeit ist, wie einleitend dargelegt wurde, durch die Neigung des Aufbaues unter Einwirkung der Fliehkraft gekennzeichnet. Berechnung und Vergleich der bei gegebener Fahrbahnkrümmung und Geschwindigkeit bei den verschiedenen Radaufhängungen auftretenden Neigungswinkel ist daher Aufgabe dieses Abschnittes.

Für die Grösse der Fliehkraft gilt die Beziehung

$$(21) \quad C = \frac{G}{g} \frac{v^2}{R}$$

Ihr wirksamer Hebelarm ist der senkrechte Abstand des Schwerpunktes vom Momentanzentrum der Kippbewegung, das graphisch oder rechnerisch zu ermitteln ist [14, S. 39 ff.]. Die von Vorder- und Hinterachse aufgenommenen Fliehkraftanteile lassen sich unter der Voraussetzung eines vollkommen steifen Rahmens bestimmen, weil dann die Neigung des Aufbaues über die ganze Fahrzeuglänge gleich sein muss.

$$(22) \quad \alpha_{cV} = \alpha_{cH} = \alpha_c$$

Die gesamte Fliehkraft ist die Summe der von Vorder- und Hinterachse aufgenommenen Anteile.

$$(23) \quad C = C_V + C_H$$

Der Berechnungsgang sei wieder am Beispiel der Starrachse erläutert. Wirksamer Hebelarm der Fliehkraft ist die senkrechte Komponente des Abstandes der Federhauptblattmitte vom Schwerpunkt. Für die Einzelachse gilt folgende Gleichgewichtsbedingung (Bild 6)

$$C\,(h - h_f) \cos \alpha_c + G\,(h - h_f) \sin \alpha_c = 2 \Delta P m$$

Da nach (1) $\sin \alpha_c = \Delta P / m c$ ist, ergibt sich mit der für kleine Winkel zulässigen Näherung $\cos \alpha_c = 1$, $\sin \alpha_c = \alpha_c$ folgende Beziehung:

$$\alpha_c = \frac{C\,(h - h_f)}{2\,m^2 c - G\,(h - h_f)}$$

Durch Einsetzen der Indices der Achsen lässt sich daraus mit Hilfe von (21), (22) und (23) und der in Abschnitt 2,2 abgeleiteten Beziehung zwischen c und φ die Gleichung für den Neigungswinkel des Gesamtfahrzeuges entwickeln.

Für die verschiedenen Arten der Einzelradaufhängung ist die Berechnung sinngemäss unter Berücksichtigung der aus Bild 6 ersichtlichen geometrischen Beziehungen durchzuführen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt, deren Auswertung die Bilder 7 und 8 zeigen. Die Schaubilder sind wieder für die Achsdruckverteilungen 1:1, 1:2 und 1:3 und unter der Annahme gleicher Aufhängung aller Räder ermittelt.

Bild 7 zeigt bei gleicher Federung der Vorder- und Hinterräder ($\varphi_V = \varphi_H = \varphi$) den Einfluss der Radaufhängung auf die Kurvensteifigkeit. Als Abszisse ist das Verhältnis der halben Federspur (Starrachse) bzw. der Schwingenlänge (Einzelradaufhängung) zur halben Radspur, als Ordinate der die Kurvensteifigkeit kennzeichnende Neigungswinkel α_c aufgetragen, also

$$\alpha_c = F\left(\frac{m}{s}\right) \text{ bzw. } \alpha_c = F\left(\frac{z}{s}\right)$$

Bild 8 zeigt den Einfluss verschieden harter Federung beider Achsen

$$\alpha_c = F\,(\varphi_V,\ \varphi_H)$$

Dabei ist ebenso wie für Bild 5 für φ_V, φ_H die Annahme getroffen, dass ihr Mittelwert dem bei gleicher Federung angenommenen Wert entspricht, also

$$\varphi = \frac{\varphi_V + \varphi_H}{2}$$

Aus den Gleichungen (Tabelle 2, S. 300) und Schaubildern ergeben sich zwischen Kurvensteifigkeit, Radaufhängung und Federung folgende Beziehungen.

1. Die Kurvensteifigkeit nimmt mit der Federhärte zu (24) bis (29).

2. Die Kurvensteifigkeit ist umso grösser, je kleiner der Abstand des Schwerpunktes vom Momentanzentrum der Kippbewegung ist. Liegt dieses in Schwerpunktshöhe, so tritt keine Kurvenneigung ein, liegt es höher, dann neigt sich der Aufbau nach innen [7].

3. Die Kurvensteifigkeit steigt bei der Starrachse mit zunehmender Federspur (24), bei der Pendelachse ist sie von der Federspur unabhängig und steigt mit abnehmender Schwingenlänge (26), bei Doppelpendel- und Kurbelschwingachse ist sie von der Federspur und der Schwingenlänge unabhängig (28).

4. Sind beide Achsen gleich hart oder im Verhältnis der Achsdrücke gefedert, dann ist die Kurvensteifigkeit von der Gewichtsverteilung unabhängig. Zwischen den beiden Werten liegt der Punkt geringster Kurvensteifigkeit (Bild 8).

2,4. Radführung

Wie schon einleitend dargelegt, ist die Radführung umso besser, in je geringerem Masse die Durchfederung eine Spuränderung und ein Kippen des Rades aus seiner Drehebene verursacht. Da die Verhältnisse auf Grund der geometrischen Beziehungen ohne weiteres erkennbar und ausserdem im Schrifttum [1, 2, 5, 13, 14] behandelt sind, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf eine kurze Zusammenfassung.

Bei der Starrachse treten Kippwinkel und Spuränderung weder bei gleichgrossen, gleichgerichteten Hubbewegungen beider Räder noch bei der Neigung des Fahrzeuges in der Kurve auf. Entgegengesetzte Hubbewegungen verursachen beide Erscheinungen.

Bei der Pendelschwingachse bedingen sowohl Hubbewegungen der Räder als auch die Kurvenneigung Kippen und Spuränderung, beide in umso grösserem Masse, je kürzer die Lenker sind. Nur für den Sonderfall, dass beide Schwingendrehpunkte zusammenfallen ($k = 0$), ist die Führung in der Kurve einwandfrei.

Die Doppelpendelschwingachse ergibt, genaue Parallelogrammführung vorausgesetzt, nur in der Kurve einen Winkelausschlag. Spuränderung tritt bei jeder Federbewegung und in umso grösserem Masse auf, je kürzer die Lenker sind. Um auch bei kleiner Lenkerlänge die Spuränderung in erträglichen Grenzen zu halten, verzichtet man vielfach auf genaue Parallelogrammführung, muss aber dann bei Hubbewegungen kleine Kippwinkel in Kauf nehmen [6].

Die Kurbelschwingachse verursacht bei gleich- und entgegengesetzt gerichteten Hubbewegungen weder Kippen noch Spuränderung, dagegen treten in der Kurve beide Erscheinungen auf.

2,5. Rechnungsergebnisse

Wie die bisherigen Berechnungen zeigen und auch durch Ueberlegung ohne weiteres verständlich wird, erfordern gute Geländeanpassung und hohe Kurvensteifigkeit überwiegend gegenteilige Massnahmen. Es ist daher, solange nicht von den üblichen Konstruktionen abgewichen wird, die Erfüllung beider Forderungen gleichzeitig nur in beschränktem Masse möglich.

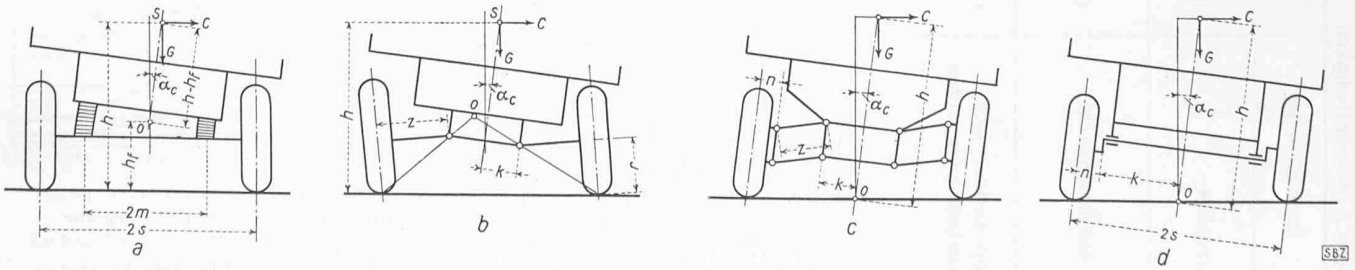


Bild 6. Verschränkbarkeit, Bezeichnungen. *a* Starrachse, *b* Pendelschwingachse, *c* Doppelpendelschwingachse, *d* Kurbelschwingachse

Tabelle 2. Kurvensteifigkeit

Bezeichnung	Neigungswinkel der Einzelachse unter Einwirkung der Fliehkraft C	Neigungswinkel des Fahrzeuges bei Kurvenhalbmesser R und der Fahrgeschwindigkeit v
Starrachse	(24) $\alpha_c = \dfrac{C\,(h - h_f)}{2\,m^2 c - G\,(h - h_f)}$	(25) $\alpha_c = \dfrac{(h - h_{fV})\,(h - h_{fH})}{(h - h_{fH})\,\dfrac{l_H}{l_V + l_H}\,\dfrac{m_V^2}{\varphi_V} + (h - h_{fV})\,\dfrac{l_V}{l_V + l_H}\,\dfrac{m_H^2}{\varphi_H} - (h - h_{fV})\,(h - h_{fH})}\,\dfrac{v^2}{g\,R}$
Pendelschwingachse	(26) $\alpha_c = \dfrac{C\left(h - \dfrac{s}{z}\,r\right)}{2\,\gamma\left(\dfrac{s}{z}\right)^2 - G\left(h - r + \dfrac{s}{r}\,k\right)}$	(27) $\alpha_c = \dfrac{\left(h - \dfrac{s_V}{z_V}\,r\right)\left(h - \dfrac{s_H}{z_H}\,r\right)}{\left[h - \dfrac{s_V}{z_V}\,r\right]\left[\dfrac{s_H^2}{\varphi_H} - \left(h - r + \dfrac{s_H}{r}\,k_H\right)\right]\dfrac{l_V}{l_V + l_H} + \left[h - \dfrac{s_H}{z_H}\,r\right]\left[\dfrac{s_V^2}{\varphi_V} - \left(h - r + \dfrac{s_V}{r}\,k_V\right)\right]\dfrac{l_H}{l_V + l_H}}\,\dfrac{v^2}{g\,R}$
Doppelpendel- und Kurbelschwingachse	(28) $\alpha_c = \dfrac{C\,h}{2\,\gamma\left(\dfrac{s}{z}\right)^2 - G\,h}$	(29) $\alpha_c = \dfrac{h}{\dfrac{l_V}{l_V + l_H}\,\dfrac{s_H^2}{\varphi_H} + \dfrac{l_H}{l_V + l_H}\,\dfrac{s_V^2}{\varphi_V} - h}\,\dfrac{v^2}{g\,R}$

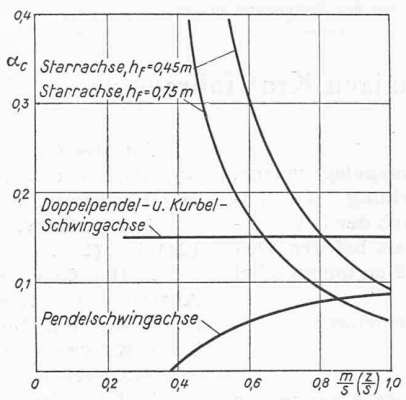


Bild 7. Kurvensteifigkeit für $s = 1{,}0$ m, $h_s = 1{,}3$, $\varphi_2 = 0{,}1$ m, $v^2/gR = 1{,}0$

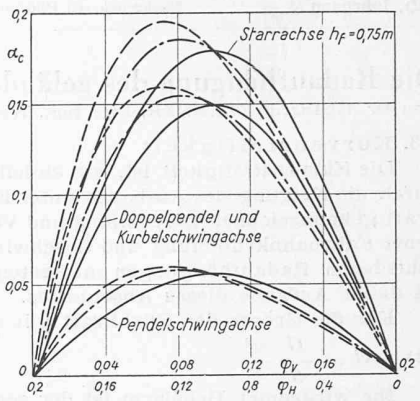


Bild 8. Kurvensteifigkeit in Abhängigkeit des Federungsverhältnisses für $s = 1{,}0$ m, $m = 0{,}6$, $z = 0{,}6$ m, $\varphi_V + \varphi_H = 0{,}2$, $v^2/gR = 1{,}0$

Gleiche Aufhängung aller Räder, gerade Federkennlinie.
Achsdruckverteilung bei Bild 8: ausgezogen 1 : 1, strichpunktiert 1 : 2, gestrichelt 1 : 3

Da die untersuchten Radaufhängungen erhebliche Unterschiede hinsichtlich des Fahrverhaltens erkennen lassen, ist auch ihre Eignung für Geländefahrzeuge nicht gleich. Die günstigsten Ausführungen können auf Grund der Rechnungsergebnisse ermittelt werden.

Die Tabellen und Bilder zeigen, dass ganz allgemein gute Verschränkbarkeit bei hoher Kurvensteifigkeit durch harte Federung der höher belasteten und besonders weiche Federung der weniger belasteten Achse erzielt werden kann (Bilder 5 und 8). Diese Massnahme hat jedoch den Nachteil grosser seitlicher Schwankungen des Fahrzeugaufbaues, der die Bewegungen der härter gefederten Achse nahezu voll mitmacht.

Eine Möglichkeit, die gestellte Bedingung bei einwandfreier Federung zu erfüllen, ist der Einbau von Pendelschwingachsen mit kurzen Lenkern, deren hohe Kurvensteifigkeit (Bild 7) die zum Erzielen guter Geländeanpassung erforderliche sehr weiche Federung gestattet. Die Verschränkbarkeit ist wegen des in dieser Hinsicht ungünstigen Verhaltens der Einzelradaufhängung trotzdem beschränkt (Bild 3), die Radführung wird mit abnehmender Lenkerlänge immer schlechter.

Die günstigste Lösung ergibt die hinsichtlich der Verschränkbarkeit der Einzelradaufhängung erheblich überlegene Starrachse, wenn durch hochliegende Federaufhängung besonders der höher belasteten Achse für gute Kurvensteifigkeit gesorgt wird. Diese Ausführung ist überall dort am Platz, wo mit einfachen Mitteln befriedigende Verhältnisse erzielt werden sollen und der Nachteil der grossen unabgefederten Massen der Starrachse nicht ins Gewicht fällt, also vor allem bei Lastkraftwagen. Infolge der gerade bei diesen Fahrzeugen auftretenden hohen Schwerpunktlage sind allerdings der Kurvensteifigkeit aus baulichen Gründen Grenzen gesetzt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass, wenn von der noch zu behandelnden Ausgleichsfederung abgesehen wird, die Starrachse die für das Geländefahrzeug günstigsten Verhältnisse ergibt. An zweiter Stelle steht die verkürzte Pendelschwingachse mit sehr weicher Federung. Doppelpendel- und Kurbelschwingachse, bei denen mit Rücksicht auf die Kurvensteifigkeit die zur Erzielung befriedigender Geländegängigkeit erforderliche sehr weiche Federung nicht angeordnet werden kann, sind für ein Fahrzeug, das hohe Verschränkbarkeit und gute Kurvenlage vereinen soll, nicht zu empfehlen.

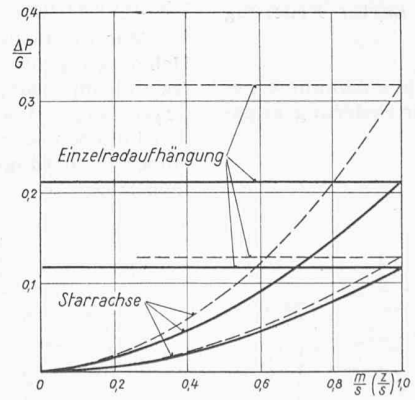


Bild 9. Verschränkbarkeit bei belastungs-unabhängiger Federung für $a = 0{,}5$ m, $s = 1{,}0$ m

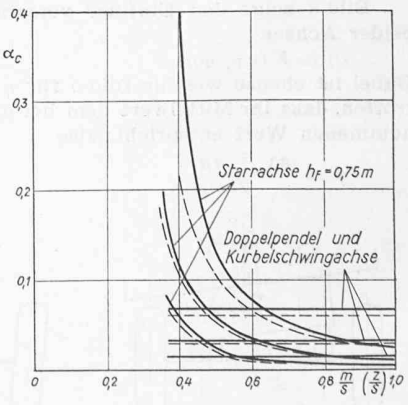


Bild 10. Kurvensteifigkeit bei belastungs-unabhängiger Federung für $s = 1{,}0$ m, $h_s = 1{,}3$ m. $v^2/gR = 0{,}1$, 0,2 und 0,4

Gleiche Aufhängung aller Räder. Ausgezogen = belastungs-unabhängige Federung, gestrichelt = gerade Federkennlinie

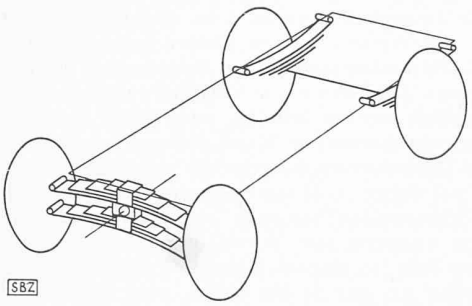
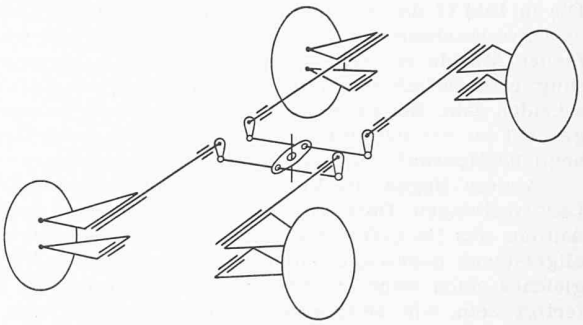


Bild 11 (links). Federungsausgleich einer Achse

Bild 12 (rechts). Vollkommener Federungsausgleich



III. Radaufhängung ohne Ausgleich. Belastungsunabhängige Federung

3,1. Voraussetzungen

Wie einleitend dargelegt, sind annähernd gleiche Federungseigenschaften und damit gleiche Eigenschwingungszahl bei belastetem und unbelastetem Fahrzeug anzustreben. Die Kennliniengleichung der dieser Bedingung genügenden Federung lässt sich leicht ermitteln [12]. Da die Kreisfrequenz der Eigenschwingung eines einfachen Schwingungssystems durch die Gleichung

$$\omega = \sqrt{\frac{c\,g}{G}}$$

gegeben und der Federkennwert durch die Beziehung $c = \frac{d\,G}{d\,f}$ bestimmt ist, ergibt sich für eine von der Belastung unabhängige Eigenschwingungszahl

$$(30) \quad \omega = \sqrt{\frac{g\,d\,G}{G\,d\,f}} = \text{konst.}$$

Die Auswertung dieser Differentialgleichung führt mit $\omega^2/g = \lambda$ zur Lösung

$$(31) \quad G = G_o\,e^{\lambda\,(f - f_0)}$$

Aus (30) ergibt sich für den Federkennwert

$$(32) \quad c = \frac{d\,G}{d\,f} = \lambda\,G$$

Während der Federkennwert bei gerader Kennlinie konstant ist, steigt er unter der Voraussetzung belastungsunabhängiger Federung linear mit dem abzufedernden Gewicht.

Für Drehstabfedern ergibt sich sinngemäss

$$(33) \quad M = M_o\,e^{\lambda\,z\,(\alpha - \alpha_0)}$$

$$(34) \quad \gamma = \frac{d\,M}{d\,\alpha} = \lambda\,z\,M$$

3,2. Rechnungsergebnisse

Für die Berechnung von Verschränkbarkeit und Kurvensteifigkeit gelten abgesehen vom Federgesetz die gleichen Voraussetzungen wie bei linearer Federung. Ihre Auswertung zeigen die Bilder 9 und 10, denen folgende, für Starrachse und Doppelpendelschwingachse bei gleicher Aufhängung aller Räder und Druckverteilung 1:1 ermittelte Gleichungen zu Grunde gelegt sind:

$$(8\,a) \quad \frac{\Delta P}{G} = \frac{1}{4}\,\frac{m}{s}\,\frac{e^{\frac{a\,m\,\lambda}{2\,s}} - 1}{e^{\frac{a\,m\,\lambda}{2\,s}} + 1}$$

$$(18\,a) \quad \frac{\Delta P}{G} = \frac{1}{4}\,\frac{e^{\frac{\lambda\,a}{2}} - 1}{e^{\frac{\lambda\,a}{2}} + 1}$$

$$(25\,a) \quad \alpha_c = \frac{1}{2\,m\,\lambda}\,ln\,\frac{m + (h - h_f)\left(\frac{v^2}{g\,R} + \alpha_c\right)}{m - (h - h_f)\left(\frac{v^2}{g\,R} + \alpha_c\right)}$$

$$(29\,a) \quad \alpha_c = \frac{1}{2\,s\,\lambda}\,ln\,\frac{s + h\left(\frac{v^2}{g\,R} + \alpha_c\right)}{s - h\left(\frac{v^2}{g\,R} + \alpha_c\right)}$$

Der Vergleich mit den entsprechenden Kurven für lineare Federung zeigt nur geringe Unterschiede. Bei grossen Abweichungen von der Normallage wird die Federung weicher und damit die Verschränkbarkeit besser, die Kurvensteifigkeit dagegen schlechter. Abheben eines Rades vom Boden tritt überhaupt nicht ein. Praktisch fallen diese Unterschiede gegenüber der linearen Federung kaum ins Gewicht, dagegen stellen die gleiche Federwirkung unabhängig von der Belastung und die günstigeren Schwingungseigenschaften [12] erhebliche Vorteile dar. Progressive Federung ist daher besonders für Fahrzeuge mit im Verhältnis zum Eigengewicht grosser Nutzlast, also für Lastkraftwagen und Omnibusse zu empfehlen. Das Schrifttum zeigt zahlreiche Ausführungsbeispiele [2, 4, 5, 10, 12, 15].

IV. Radaufhängung mit Ausgleich

Während die bisherigen Untersuchungen unabhängige Aufhängung der vier Federn des Fahrzeuges voraussetzten, soll nun der Einfluss eines Federausgleiches festgestellt werden. Bild 11 zeigt den vor allem im Schlepper- und Zugmaschinenbau verbreiteten Ausgleich einer Achse, der am einfachsten durch Anordnung einer querliegenden, drehbar gelagerten Blattfeder erfolgt. Diese Ausführung ergibt vollkommene Unabhängigkeit der Raddrücke von der Verschränkung, erkauft diesen Vorteil aber durch zwei Nachteile: Das Fahrzeug folgt bei langsamer Fahrt genau den durch die Fahrbahnunebenheiten verursachten Schwankungen der unausgeglichenen Achse und überdies wird, da diese Achse allein die seitliche Stabilisierung übernehmen muss, die Kurvensteifigkeit bei gleicher Federhärte schlechter als ohne Ausgleich.

Vollkommene Bodenanpassung ohne Verschlechterung anderer Fahreigenschaften tritt erst ein, wenn ein alle vier Räder beeinflussender Ausgleich angeordnet wird [3]. Bild 12 zeigt ein einfaches Ausführungsbeispiel. Die Federung erfolgt durch Längsdrehstäbe, die über Hebel und Zugstangen mit einem in Wagenmitte angebrachten Waagebalken verbunden sind. Das Gestänge bewirkt, dass bei Anheben eines Rades die gleiche Bewegung des diagonal gegenüberliegenden Rades und die entgegengesetzte Bewegung der beiden anderen Räder ohne Aenderung der Federbelastungen eintritt. Es ist somit wieder bei langsamer Fahrt vollkommene Anpassung an die Fahrbahnunebenheiten ohne Raddruckänderung gegeben. Kurvenlage und Fahrruhe entsprechen aber der Anordnung ohne Ausgleich. Der alle Räder beeinflussende Ausgleich ergibt somit vollkommene Geländeanpassung ohne Verschlechterung anderer Fahreigenschaften.

V. Praktische Folgerungen

Einleitend wurde darauf hingewiesen, dass die zahlreichen, im Geländefahrzeugbau üblichen Ausführungsformen der Fahrwerke den an sie gestellten Anforderungen nicht in gleicher Weise gerecht werden. Die Untersuchung bestätigt diese Behauptung und ermöglicht darüber hinaus eine vergleichende Bewertung der einzelnen Radaufhängungen und die Aufstellung von Richtlinien für ihre Anwendung.

Da zum Erzielen grösster Geländegängigkeit gegenüber dem normalen Fahrzeug zusätzliche, die Herstellung verteuernde Einrichtungen nicht zu vermeiden sind, wird sich die Wahl des Fahrwerkes darnach richten, ob grösste Geländegängigkeit oder einfachster Aufbau und billigste Fertigung im Vordergrund stehen. Es ist daher zwischen ausgesprochenen Geländefahrzeugen und geländegängigen Sonderausführungen normaler Wirtschaftsfahrzeuge zu unterscheiden.

Für das ausgesprochene Geländefahrzeug, das wohl grundsätzlich mit Allradantrieb, Allradlenkung und einfach bereiften, möglichst gleich belasteten Rädern ausgerüstet ist, empfiehlt sich die Anordnung eines vollkommenen Ausgleiches.

Die in Bild 12 dargestellte Ausführungsform mit Doppelpendelschwingachsen und Längsstabfedern zeigt, mit welch einfachen Mitteln er erzielt werden kann. Ob progressive Federung erforderlich ist, wird wohl von Fall zu Fall zu entscheiden sein. Bei im Verhältnis zur Nutzlast hohem Eigengewicht ist der dadurch bedingte, bei Drehstabfederung erhebliche Mehraufwand wohl kaum zu rechtfertigen.

Anders liegen die Verhältnisse beim allradgetriebenen Lastkraftwagen. Dort wird die Forderung nach einfachstem Aufbau das Bedürfnis nach höchster Geländegängigkeit im allgemeinen überwiegen und daher der Aufwand des Ausgleiches, auch wenn er nur gering ist, ebensowenig gerechtfertigt sein, wie beispielsweise die Anordnung der Allradlenkung. Auch für diesen Fall lässt sich auf Grund der vorliegenden Untersuchung die zweckmässigste Radaufhängung angeben. Hohe Verschränkbarkeit verlangt Vermeidung der Einzelradaufhängung, gute Kurvenlage bedingt geringen Fliehkrafthebelarm. Daher ergibt sich als günstigste Lösung die Starrachse mit möglichst hoch liegenden Federn. Da infolge der bei Lastkraftwagen üblichen Gewichtsverteilung der Vorderachsdruck sich mit der Belastung kaum ändert, ist zum Erzielen belastungsunabhängiger Fahreigenschaften progressive Federung nur für die Hinterachse erforderlich. Ihre Kennlinie soll innerhalb des praktisch vorkommenden Belastungsbereiches annähernd den in Abschnitt 3,1 abgeleiteten Verlauf haben.

VI. Zusammenfassung

Um die für das Geländefahrzeug günstigsten Radaufhängungen zu finden, werden Kennwerte ermittelt, die einen Vergleich der verschiedenen Ausführungsformen ermöglichen und rechnerisch erfassbar sind. Es sind dies Verschränkbarkeit, Kurvensteifigkeit, Radführung und Federung, vier Begriffe, die einleitend festgelegt werden. Die Untersuchung umfasst die verbreitetsten Radaufhängungen, nämlich Starrachse, Pendel-, Doppelpendel- und Kurbelschwingachse. Die Einflüsse der Gewichtsverteilung und des Verhältnisses der Federhärten der einzelnen Achsen auf die Fahreigenschaften werden ermittelt. Dabei zeigt sich, sofern auf Federungsausgleich verzichtet wird, dass mit der Starrachse die günstigsten Verhältnisse erreicht werden können. Die folgende Ermittlung des Einflusses der Federkennlinie auf die Fahreigenschaften veranschaulicht die Ueberlegenheit der progressiven über die lineare Federung. Den Abschluss bildet die Untersuchung der Wirkung eines Federungsausgleiches, der vollkommene Geländeanpassung des Fahrwerkes ermöglicht. Es wird gezeigt, dass damit die Vorteile der Einzelradaufhängung ausgenützt werden können, ohne ihren Nachteil der geringen Verschränkbarkeit in Kauf nehmen zu müssen.

Auf Grund der Untersuchungsergebnisse wird empfohlen, Sonderfahrzeuge, bei denen höchste Geländegängigkeit verlangt wird, mit Einzelradaufhängung und vollkommenem Federungsausgleich auszustatten, für den geländegängigen Lastkraftwagen, bei dem im allgemeinen die Forderung nach einfachster Fertigung an der Spitze steht, aber die billige und besonders für schwere Fahrzeuge bewährte Starrachse zu wählen und durch hoch liegende und progressiv wirkende Hinterfedern für gute Kurvenlage zu sorgen.

Schrifttumverzeichnis:

[1] *Buschmann-König:* Taschenbuch für den Autoingenieur. Stuttgart 1938, Frankh.
[2] *Bussien R.:* Kraftfahrtechnisches Handbuch. 14. Auflage. Berlin 1941, Krayn.
[3] *Droscha H.:* Neuartige Konstruktion eines Geländeausgleichs. DMZ Bd. 14 (1937), S. 148.
[4] *Irmer H.:* Luftfederung bei Flugzeugen und Kraftfahrzeugen. ZVDI Bd. 81 (1937), S. 1182.
[5] *Kamm W.:* Das Kraftfahrzeug. Berlin 1936, Springer.
[6] *Koessler P.* und *Klaue H.:* Die richtige Doppelpendelachse. ATZ Bd. 9 (1936), S. 487.
[7] *Kolbe J.:* Der Kurvenlegerwagen. ATZ Bd. 40 (1937), S. 146.
S. 1019.
[8] *Kühner K.:* Das Kraftfahrzeug im Gelände. ZVDI Bd. 79 (1935),
[9] *Kühner K.:* Geländefahrzeuge und Gelände. ZVDI Bd. 81 (1937), S. 161.
[10] *Langer-Baum-Hahn:* Wertung der Federung von Kraftomnibussen. Deutsche Kraftfahrtforschung Heft 9, Berlin 1938, VDI-Verlag.
[11] *Lehr E.:* Die Berechnung der Kraftwagenfederung auf schwingungstechnischer Grundlage. ATZ Bd. 40 (1937), S. 401.
[12] *Lehr E.:* Progressive Federung von Kraftwagen. Deutsche Kraftfahrtforschung Heft 58, Berlin 1941, VDI-Verlag.
[13] *Marquard E.:* Die Fahreigenschaften der Kraftfahrzeuge. München-Berlin 1939, Oldenbourg.
[14] *Maruhn H.:* Grundlagen der Federung von Automobilen. Berlin 1932, Krayn.
[15] *Müller H.:* Neue Federung für Omnibusse und Lastkraftwagen. NKZ 1938, S. 274 (1939), S. 878.
[16] *Schieferstein H.:* Die Abfederung von Fahrzeugen. Der Motorwagen Bd. 32 (1929), S. 49.
[17] *Venediger H. J.:* Laufwerkführung, Tragwerkfederung und Antriebanordnung bei Kraftwagen. ATZ Bd. 38 (1935), S. 374.
[18] *Wedemayer E. A.:* Fahrzeugfederung. ATZ Bd. 38 (1935), S. 272.
[19] *Wintergerst E.:* Die technische Physik des Kraftwagens. Berlin 1940, Springer.

Bemerkungen zum Projekt des neuen Zürcher Hauptbahnhofs

DK 725.31 (494.341)

Vor sechs Monaten ist dem Gemeinderat der Stadt Zürich vom Stadtrat ein Entwurf für den Ausbau des Bahnhofquai und des Leonhardplatzes, für die Verbreiterung der Bahnhofbrücke und für die Erstellung einer Strassenunterführung, alles zum Zwecke der Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in der Umgebung des Bahnhofes, vorgelegt worden. Der von der Gemeinde für diesen Umbau zu bewilligende Kredit wurde mit 10,2 Mio Fr. angegeben und beigefügt, dass der zu erwartende Umbau des Bahnhofs wesentliche Aenderungen der jetzt geplanten Anlage zur Folge haben werde. Gegen das Projekt sind mit Recht erhebliche Einwände erhoben worden. Einer der wichtigsten ist wohl, dass für die Aufstellung von Fahrzeugen aller Art, die der Bahnhofverkehr erfordert, und für die mehrere Tausend von Quadratmetern nötig sind, kein Platz vorgesehen werden konnte, weil beinahe die ganze verfügbare Fläche durch den Tramverkehr in Anspruch genommen würde. Wenn der Autor des Projektes den Beweis hätte erbringen wollen, dass die Lösung des Problems ohne Entfernen des Bahnhofgebäudes unmöglich ist, so wäre ihm dieser Beweis restlos gelungen.

Die reibungslose Bewältigung des Verkehrs, seine im Gegensatz zur heute bestehenden Massierung erforderliche Teilung (Kanalisierung) kann nur durch die *restlose Beseitigung des Bahnhofgebäudes* erreicht werden[1]). Die technischen Voraussetzungen dieses Eingriffs sind durch die (mit der Vermehrung der Zahl der Gleise verbundene) Verlegung des Kopfbahnsteiges gegen die Sihl gegeben, und dass auch die rechtliche Grundlage nicht fehlt, verdanken wir der Voraussicht unserer Urgrossväter, die bereits vor hundert Jahren — im Jahre 1847, als die Gemeinde der Bahngesellschaft das für die Erstellung des ersten Bahnhofs erforderliche Areal, auf dem der Bahnhof heute noch steht, schenkungsweise überliess — die folgende Bestimmung in einen Vertrag aufgenommen haben: «Wenn aus irgend welchen Ursachen die Erstellung der Bahn unterbleiben, oder die A. G., oder deren Rechtsnachfolger gutfinden sollten, den Bahnhof von dem laut diesem Vertrage hierfür abgetretenen Platz zu verlegen, so ist die Stadt berechtigt, denselben ohne Leistung von Entschädigungen wieder an sich zu ziehen; wogegen der A. G. oder ihrem Rechtsnachfolger unbenommen bleibt, ihn von den daraufstehenden Gebäulichkeiten zu räumen».

Wie der Stadtrat diese Bestimmungen interpretiert hat, geht aus seinem Bericht vom Februar 1895 hervor, den er anlässlich der Vorlage des ersten Projektes der Nordostbahn-Gesellschaft für die Erweiterung des Zürcher Bahnhofs veröffentlicht hat und in dem er die Verlegung des Bahnhofs auf das linke Sihlufer empfahl. Damals schrieb er: «Es soll aber nicht im Willen der Gesellschaft liegen können, aus finanziellen Gründen die Verlegung zu verweigern ..... und dies umso weniger, als die Gesellschaft sich das jetzige Bahnhofareal seinerzeit hat schenken lassen und seit nahezu fünfzig Jahren[2]) den Nutzen daraus gezogen hat». Dieses Vorgehen und diese Haltung unserer Väter verpflichtet auch uns, und unsere Generation sollte sich ihrer würdig erweisen. Im Hin-

1) Die Verkehrsorganisation der Strassenbahn wird wohl in absehbarer Zeit eine Reform erfahren müssen. Dass auf den meisten Linien aus einem Vorort durch das Stadtinnere in den andern Vorort gefahren wird, stellt an die Strassen des Zentrums stets grösser werdende Anforderungen, denen sie immer weniger zu genügen vermögen. Ob das Bedürfnis nach Durchfahren der innern Stadt bei einem grössern Teil der Benützer vorhanden ist, erscheint zweifelhaft, aber sicher ist, dass die meisten ihr Ziel in der innern Stadt selbst haben und von da wieder in ihr Wohnquartier zurückkehren wollen. In der Tat gibt es in Europa Grosstädte, deren Innenbezirke keinen Tramverkehr aufweisen. — Hier sei nur noch bemerkt, dass die Verbesserung des Leonhardsplatzes wesentlich vereinfacht würde, wenn die Seilergraben-Linie vom Leonhardsplatz bis zur Mühlegasse auf dem verbreiterten Limmatquai verkehren und erst durch die Mühlegasse in den Seilergraben geführt würde.

2) Heute sind es 100 Jahre!