

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 89/90 (1927)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Bestimmung des ungefederten Gewichtes bei "Trammotoren"  
**Autor:** Furrer, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-41632>

#### 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:** 21.02.2026

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

INHALT: Bestimmung des ungefederten Gewichtes bei „Trammotoren.“ — Kraftwerk Tremorgio der Officine Elettriche Ticinesi S. A., Bodio. — Automobil und Eisenbahn. — Wettbewerb für eine evangelische Kirche mit Kirchgemeindehaus in Frauenfeld. — Mitteilungen: Eidgen Techn. Hochschule. Grosser Universal-Prüfungs-maschinen. Die Reussbrücke in Mellingen. Tragfähigkeit von Franki-Pfählen. Zum Teilspielhaus Altdorf. Internationaler Automobil-Salon Genf 1927. Ausstellung über Gartenanlagen im Gewerbemuseum Winterthur. Zum Einsturz der Oderbrücke bei

Gartz. Automobilstrasse Hamburg-Basel-Mailand. Neues Gaswerk für die Stadt Basel. Zur Einführung des Erfindungsschutzes in der Schweiz. Friedhofskunst-Ausstellung in Karlsruhe. Schweizer Mustermesse Basel 1927. Generalversammlung des S. E. V. und V. S. E. — Preisausschreiben zur Erlangung eines Spannungs- und Schwingungsmessers. — Wettbewerbe: Wandmosaik an der Kapelle im Friedhof Rosenberg in Winterthur. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 89. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 2

## Bestimmung des ungefederten Gewichtes bei „Trammotoren“.

Von A. FURRER, Oerlikon.

Die bekannte sogenannte Trammotor-Aufhängung wird bei elektrischen Triebfahrzeugen infolge ihrer Einfachheit gerne angewendet. Für gewisse Gebiete (mässige Geschwindigkeit, nicht zu grosse Leistung pro Radsatz) ist diese Art des Achsantriebes vielfach die vorteilhafteste. Bei der Prüfung, für welche maximale Geschwindigkeit ein solcher Antrieb noch zulässig sei, spielt die Grösse des ungefederten Gewichtes eine wichtige Rolle.

Während nun bei den meisten übrigen Antrieben, z. B. bei Gestellmotoren mit Stangen oder Einzelachs'antrieb, eine reinliche Trennung des gefederten und ungefederten Gewichtes leicht möglich ist, liegen die Verhältnisse beim Tramantrieb nicht so einfach. In der Fachliteratur ist dieses Gebiet etwas stiefmütterlich behandelt, wobei gelegentlich auch unrichtige Auffassungen zu finden sind (z. B. wird die Schwerpunktaufhängung als Mittel zur Reduktion des ungefederten Gewichtes empfohlen). Eingehend wurde dieses Problem meines Wissens von E. Brecht<sup>1)</sup>, Fred. W. Carter<sup>2)</sup> und A. Laternser<sup>3)</sup> behandelt.

Nachstehend wird eine Formel abgeleitet, die eine einfache Berechnung des ungefederten Gewichtes des Tram-Motors gestattet.

Abbildung 1 zeigt schematisch einen solchen Tram-Antrieb. Der Motor ist im Punkt *B* gelenkig mit dem Fahrzeughrahmen verbunden und stützt sich im Punkt *A* über die Tatzenlager auf die Triebachse 1 ab. Die Triebräder 2 sowie das grosse Zahnrad 3 sitzen fest auf der Triebachse 1.  $r_1$  ist der Radius des Motorritzels 4, das mit dem Zahnrad 3 in Eingriff steht. Beim Ueberfahren der Geleise-Unebenheit *h* werde dem Triebradsatz eine vertikale Beschleunigung  $a_1$  erteilt.

Hierdurch werden folgende Motorbewegungen verursacht: 1. eine Verschiebung des Motorschwerpunktes von *C* nach *C'*, 2. eine Drehung des Motorgehäuses um die Axe *C*, 3. eine Drehung des Ankers um die Axe *C*. Die gleichzeitig auftretende horizontale Verschiebung des Motors ist so klein, dass sie praktisch vernachlässigt werden kann.

Die den Bewegungen 1, 2 und 3 entsprechenden, auf den Punkt *A* reduzierten Stosskräfte (bei einer Beschleunigung  $a_1$  in *A*) bezeichnen wir mit  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$ .  $P_1$  und  $P_2$  werden durch die Motor- und Tatzenlager,  $P_3$  dagegen durch das Zahngetriebe, sowie auch die Motor- und Tatzenlager übertragen. Für die Ableitung der Formeln nehmen wir an, dass der Drehpunkt *B* während des Stosses in Ruhe bleibe, was sehr angenähert stimmt, wenn der Motor wenigstens in der Nähe des theoretisch günstigsten Punktes aufgehängt ist, weil dann eine allfällige Stossreaktion in diesem Punkt nur klein, und die Fahrzeugsasse, die sie aufnimmt, verhältnismässig gross ist.

Die Beschleunigung  $a_3$  des Punktes *C* ist

$$a_3 = a_1 \frac{x}{c+x}$$

<sup>1)</sup> „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen“, 1909, Heft 10, Seite 181.

<sup>2)</sup> Fred. William Carter: The Electric Locomotive, herausgegeben (1916) durch „The Institution of Civil Engineers“, London.

<sup>3)</sup> „S. B. Z.“, 1924, Band 84, Nr. 11, und 1925, Band 85, Nr. 9.

und der Trägheitswiderstand *W* im Punkt *C* bestimmt durch

$$W = \frac{G_1}{g} a_1 \frac{x}{c+x}$$

Somit ist

$$P_1 = \frac{G_1}{g} a_1 \frac{x}{c+x} \frac{x}{c+x} = \frac{G_1 a_1 x^2}{g(c+x)^2} \quad \dots \quad (1)$$

Hierbei bedeuten  $G_1$  das Motorgewicht und  $g$  die Erdbeschleunigung.

Für die erwähnte Drehung des Motorgehäuses um den Punkt *C* ist ein Drehmoment notwendig, das sich nach der bekannten Formel

$$M'_d = J \varepsilon_1$$

berechnet, worin  $J$  das Trägheitsmoment des Motorgehäuses bezogen auf die Axe *C* und  $\varepsilon_1$  die Winkelbeschleunigung

$$\varepsilon_1 = \frac{a_1}{c+x}$$

Somit ist dieser Drehmoment

$$M'_d = J \frac{a_1}{c+x}$$

Zwecks Bestimmung der Stosskraft  $P_2$  gehen wir von der Erwägung aus, dass bei Vernachlässigung der Reibungsverluste die für die Drehung des Motorgehäuses notwendige Leistung gleich sein muss der im Punkt *A* aufzuwendenden Leistung; also

$$P_2 v_1 = M'_d w_1$$

wobei  $v_1$  die der Beschleunigung  $a_1$  entsprechende Geschwindigkeit im Punkt *A* in einem bestimmten Moment,  $w_1$  die der Winkelbeschleunigung  $\varepsilon_1$  entsprechende Winkelgeschwindigkeit im gleichen Moment bedeutet.

Da  $w_1 = \frac{v_1}{c+x}$  ist, so ergibt sich

$$\frac{v_1}{w_1} = c+x$$

und man erhält

$$P_2 (c+x) = J \frac{a_1}{c+x}$$

$$P_2 = \frac{J a_1}{(c+x)^2} \quad \dots \quad (2)$$

Zur Berechnung der Stosskraft  $P_3$  müssen wir in erster Linie die Ankerbeschleunigung bestimmen. Bezeichnen wir mit  $a_2$  die Beschleunigung im Ritzelradius relativ zum Motorgehäuse, so ist die Winkelbeschleunigung  $\varepsilon_2$  des Ankers relativ zum Gehäuse

$$\varepsilon_2 = \frac{a_2}{r_1}$$

Um den Zusammenhang zwischen  $a_1$  und  $a_2$  zu bestimmen, denken wir uns die Triebachse 1 fest und drehen den Motor um den Punkt *A*, wobei sich das Ritzel auf dem grossen Zahnrad abwälzt. Die Beschleunigung  $a_1$  tritt nun im Punkt *B* und die Beschleunigung  $a_2$  im Punkt *D* des Ritzels auf. Bei einer vollen Umdrehung würde der Punkt *B* den Weg  $2\pi(c+x)$  und der Punkt *D* den Weg  $2\pi(c-r_1)$  relativ zum Gehäuse zurücklegen. Also ver-

hält sich  $\frac{a_2}{a_1} = \frac{c-r_1}{c+x}$ . Somit ist  $a_2 = a_1 \frac{c-r_1}{c+x}$  und

$$\varepsilon_2 = \frac{a_1 (c-r_1)}{r_1 (c+x)}$$

Die absolute Winkelbeschleunigung des Ankers ist

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \frac{a_1}{c+x} + \frac{a_1 (c-r_1)}{r_1 (c+x)} = \frac{a_1 c}{r_1 (c+x)}$$

Zur Berechnung von  $P_3$  gehen wir wieder von der Ueberlegung aus, dass

$$P_3 v_1 = M''_d w$$

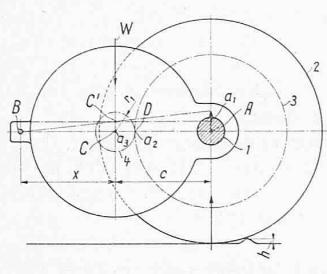


Abb. 1.

sein muss, wenn  $M''_d$  das für die absolute Ankerbeschleunigung  $\varepsilon$  nötige Drehmoment und  $w$  die der Winkelbeschleunigung  $\varepsilon$  entsprechende Winkelgeschwindigkeit im betrachteten Moment ist.

Hierbei verhält sich

$$\frac{v_1}{w} = \frac{a_1}{\varepsilon} = \frac{r_1(c+x)}{c}$$

Da  $M''_d = J_a \varepsilon$  ist, so ergibt sich

$$\begin{aligned} P_3 \frac{r_1(c+x)}{c} &= J_a \frac{a_1 c}{r_1(c+x)} \\ P_3 &= J_a \frac{a_1 c^2}{r_1^2(c+x)^2} \text{ oder da } \frac{c-r_1}{r_1} = \ddot{\imath} \\ P_3 &= \frac{J_a a_1 (\ddot{\imath} + 1)^2}{(c+x)^2} \quad \dots \quad (3) \end{aligned}$$

Der durch die Ankerbeschleunigung entstehende Zahndruck  $P'_3$  berechnet sich aus der Gleichung

$$P'_3 r_1 = M''_d = \frac{J_a a_1 c}{r_1(c+x)}$$

Folglich ist

$$P'_3 = \frac{J_a a_1 c}{r_1^2(c+x)} \quad \dots \quad (3a)$$

Würde der Motor vollständig ungedefedert auf der Triebachse sitzen, so wäre bei einer Beschleunigung  $a_1$  die von der Motormasse herrührende Stosskraft auf das Geleise

$$P = \frac{G_1}{g} a_1$$

Das ungedefederte Gewicht  $G_{u1}$  des Trammotors verhält sich zum totalen Motorgewicht  $G_1$

$$\frac{G_{u1}}{G_1} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P}$$

weil das ungedefederte Gewicht des Motors das Gewicht jener Masse ist, die, im Punkt A konzentriert gedacht, die gleichen Stosswirkungen auf das Geleise ausübt wie die wirkliche Motormasse.

Also ist

$$G_{u1} = \frac{G_1 P_1}{P} + \frac{G_1 P_2}{P} + \frac{G_1 P_3}{P}$$

Werden die Werte der Formeln (1), (2) und (3) eingesetzt, so ergibt sich für das ungedefederte Gewicht des Trammotors (bei ungefederten Zahnradern)

$$G_{u1} = G'_{u1} + G''_{u1} = \frac{G_1 x^2 + J_g}{(c+x)^2} + \frac{J_a g}{(c+x)^2} (\ddot{\imath} + 1)^2 \quad (4)$$

wobei  $G'_{u1}$  den Motorbewegungen 1) und 2),  $G''_{u1}$  dagegen der Motorbewegung 3) (Drehbeschleunigung des Ankers) entspricht.

Um das totale ungedefederte Gewicht pro Radsatz zu erhalten, ist selbstverständlich noch das Gewicht der gänzlich ungefederten Teile hinzuzuzählen (Radsatz, Achslager, grosses Zahnrad und Anteil der Zahnradverschalung und Tragfedern). Bezeichnen wir das Gewicht dieser Teile mit  $G_{u2}$ , so ist das totale ungedefederte Gewicht

$$G_u = G_{u1} + G_{u2}$$

Bei gefederten Zahnradern wird die dem letzten Glied der Formel (4) entsprechende Stosskraft von der Zahnrad-Federung aufgenommen. Somit ist in diesem Falle das ungedefederte Gewicht

$$G_{u1} = G'_{u1} = \frac{G_1 x^2 + J_g}{(c+x)^2} \quad \dots \quad (5)$$

Von besonderem Interesse ist nun noch die Lage des Aufhängepunktes, für die die Reaktion der Stosskraft in diesem Punkt gleich Null wird. Offensichtlich wird für diese Aufhängung auch das ungedefederte Gewicht ein Minimum. Gemäss Abbildung 1 wird die Reaktion im Punkt B gleich Null, wenn der im Schwerpunkt C des Motors wirkende Trägheitswiderstand  $W$  der Motormasse gleich ist der im Punkt A wirkenden Stosskraft ( $P_1 + P_2 + P_3$ ), weil dann die für das Gleichgewicht notwendige Bedingung, "Summe aller Vertikalkräfte gleich Null", erfüllt ist.

Für ungedefederte Zahnradern können wir also die Gleichung aufstellen

$$\frac{G_1}{g} a_3 = P_1 + P_2 + P_3$$

Die Werte der Formeln (1), (2) und (3) hier eingesetzt, erhalten wir

$$\begin{aligned} \frac{G_1}{g} a_1 \frac{x}{c+x} &= \frac{G_1 a_1 x^2}{g(c+x)^2} + \frac{J a_1}{(c+x)^2} + \frac{J_a a_1}{(c+x)^2} (\ddot{\imath} + 1)^2 \\ \frac{G_1}{g} x^2 + \frac{G_1}{g} c x &= \frac{G_1}{g} x^2 + J + J_a (\ddot{\imath} + 1)^2 \end{aligned}$$

Das ungedefederte Gewicht wird somit ein Minimum, wenn  $x = \frac{J_g + J_a g (\ddot{\imath} + 1)^2}{c G_1}$  (für ungedefederte Zahnräder) (6)

Sind die Zahnräder gefedert, so haben wir

$$\frac{G_1}{g} a_1 \frac{x}{c+x} = \frac{G_1 a_1 x^2}{g(c+x)^2} + \frac{J a_1}{(c+x)^2}$$

Daraus ergibt sich, dass bei gefederten Zahnräder das ungedefederte Gewicht ein Minimum wird<sup>1)</sup>, wenn

$$x = \frac{J_g}{c G_1} \quad \dots \quad (7)$$

Die Ergebnisse der von Carter angegebenen Formeln für das ungedefederte Gewicht (bei ungefederten Zahnräder) und für den zusätzlichen Zahndruck stimmen unter der Annahme, dass sich der Motor bei federnder Aufhängung in B im Moment des Stosses um den günstigsten Punkt drehe. Die Ableitung dieser Formeln ist aber nicht recht klar. Die Formeln von Brecht sind nur soweit richtig, als sie nicht die Stosskraft für die Ankerdrehbeschleunigung betreffen; für diese aber geben sie viel zu hohe Werte. Die Formeln von Laternser stimmen nicht ganz; für das ungedefederte Gewicht bei gefederten Zahnrädern geben sie zwar, wenn die dort gemachten vereinfachenden Annahmen zutreffen, annähernd richtige Resultate; aber für das der Ankerdrehbeschleunigung entsprechende ungedefederte Gewicht (bei ungefederten Zahnrädern) geben sie etwas zu kleine Werte.

Nachstehend sollen die abgeleiteten Formeln an einem praktischen Beispiel angewendet werden. Für einen 1500 V-Gleichstrommotor von rund 400 PS Stundenleistung sind folgende Daten gegeben:

Motorgewicht (ohne Zahnräder) . . .  $G_1 = 3720 \text{ kg}$   
Trägheitsmoment des Ankers . . .  $J_a = 6,4 \text{ mkg sek}^2$   
Trägheitsmoment des Motorgehäuses  $J = 38,6 \text{ mkg sek}^2$   
 $x = 0,565 \text{ m}$   $c = 0,576 \text{ m}$   $r_1 = 0,114 \text{ m}$   
somit Zahnradübersetzung . . .  $\ddot{\imath} = 4,05$

Bei federnden Zahnrädern beträgt (nach Formel 5) das ungedefederte Motorgewicht

$$G_{u1} = 1205 \text{ kg} \quad (= 32,5 \% \text{ von } G_1)$$

Da ungedefederte Aufhängung im Punkt B vorausgesetzt ist, tritt in diesem Punkt eine Stossreaktion auf von der Grösse

$$R_b = P_1 + P_2 - W$$

Wird eine Beschleunigung  $a_1 = g = 9,81 \text{ m/sec}^2$  angenommen, so ist

$$R_b = 1205 - 1840 = -635 \text{ kg}$$

(= 17,1 % von  $G_1$  oder 52,5 % von  $G_{u1}$ )

Die Stossreaktion im Aufhängepunkt B beträgt also in diesem Fall 52,5 % der Stosskraft  $P_1 + P_2$ . (Das negative Vorzeichen bedeutet, dass die Nase B des Motors durch diese nach unten gedrückt wird.)

Das kleinste ungedefederte Gewicht ergibt sich nach Formel (7) bei

$$x_{\min} = 0,177 \text{ m} \quad (= 0,307 c)$$

und beträgt nach Formel (5)

$$G_{u1\min} = 870 \text{ kg} \quad (= 23,4 \% \text{ von } G_1)$$

Bei ungefederten Zahnrädern beträgt das ungedefederte Motorgewicht nach Formel (4)

$$G_{u1} = 2440 \text{ kg} \quad (= 65,8 \% \text{ von } G_1)$$

Im Punkt B tritt (ungefederte Aufhängung vorausgesetzt) bei einem  $a_1 = 9,81 \text{ m/sec}^2$  eine Stossreaktion auf von der Grösse

$$R_b = 2440 - 1840 = +600 \text{ kg}$$

(= 24,5 % von  $P_1 + P_2 + P_3$ )

<sup>1)</sup> In der „S.B.Z.“, 1925, Band 85, Nr. 16, hat J. Basta eine ähnliche Formel angegeben, die er durch andere Ueberlegungen erhalten hat. Da Basta das ganze Motorträgheitsmoment statt nur das des Gehäuses einsetzt, berücksichtigt er nicht, dass der dem  $J_a$  entsprechende Anteil infolge der Zahnradfederung wegfällt.

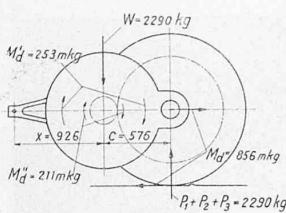


Abb. 2.

Das kleinste ungefederte Gewicht ergibt sich nach Formel (6) bei

$$x_{\min} = 0,926 \text{ m} (= 1,61 \cdot c)$$

und beträgt nach Formel (4)

$$G_{u1\min} = 1580 + 710 = 2290 \text{ kg}$$

$$= 61,7 \% \text{ von } G_1$$

Der zusätzliche Zahndruck beträgt nach Formel (3 a) bei  $a_1 = 9,81 \text{ m/sec}^2$

$$P_3' = 1850 \text{ kg}$$

$$= 80,7 \% \text{ von } P_1 + P_2 + P_3$$

Als Probe für die Richtigkeit der abgeleiteten Formeln soll noch untersucht werden, ob die drei Gleichgewichtsbedingungen: Summe aller Vertikalkräfte, aller Horizontalkräfte und aller Drehmomente je = 0, für das vorstehende Beispiel (ungefederte Zahnräder;  $x = 0,926 \text{ m}$ ) erfüllt sind.

Auf das Gebilde Motor + Radsatz wirken, wenn die Masse der gänzlich ungefederten Teile nicht berücksichtigt wird, bei einer Beschleunigung  $a_1 = 9,81 \text{ m/sec}^2$  die folgenden äusseren Kräfte und Drehmomente: die Stoßkräfte  $P_1 + P_2 + P_3 = 2290 \text{ kg}$ ; der Trägheitswiderstand im Motorschwerpunkt  $W = 2290 \text{ kg}$ ; das Reaktionsmoment (Trägheitswiderstand) der Drehbeschleunigung des Motorgehäuses  $M_d' = 253 \text{ mkg}$ ; das Reaktionsmoment der Ankerdrehbeschleunigung  $M_d'' = J_a \varepsilon = \frac{J_a a_1 c}{r_1(c+x)} = 211 \text{ mkg}$  und das Drehmoment, das sich bildet aus der Reibung zwischen Rad und Schiene und deren Reaktion im Achslager und bewirkt wird durch den Zahndruck  $P_3'$  und dessen Hebelarm ( $c - r_1$ ), im Werte von  $M_d = 856 \text{ mkg}$ .

Wie aus Abbildung 2 ohne weiteres ersichtlich ist, sind die zwei ersten Gleichgewichtsbedingungen erfüllt. Da ferner im Uhrzeigersinn die Drehmomente  $253 + 211 + 856 = 1320 \text{ mkg}$  wirken und diese Summe gleich ist dem Moment  $2290 \cdot 0,576 = 1320 \text{ mkg}$  im Gegenuhrzeigersinn, ist auch die dritte Bedingung erfüllt.

Bei ausgeführten Motoren können die Trägheitsmomente auf bekannte Art experimentell bestimmt werden<sup>1)</sup>.

Um noch den Einfluss der Lage des Aufhängepunktes  $B$  zu veranschaulichen, sind in Abbildung 3 die ungefederten Gewichte  $G_{u1}$ ,  $G_{u1}'$  und  $G_{u1}''$  in Prozenten des gesamten Motorgewichtes als Funktion von  $x$  für das vorstehend angeführte Beispiel aufgetragen.  $G_{u1}$  erreicht bei  $x = 0,177 \text{ m} = 0,307 \cdot c$  sein Minimum, während  $G_{u1}''$  mit wachsendem  $x$  beständig abnimmt.  $G_{u1} (= G_{u1} + G_{u1}')$  erreicht für die Uebersetzung 4,05 bei  $x = 0,926 = 1,61 \cdot c$  sein Minimum. Eine Änderung der Uebersetzung hat gemäss Formel (5) auf  $G_{u1}$  keinen Einfluss.  $G_{u1}''$  aber wird mit grösserer Uebersetzung entsprechend dem grösseren  $(\ddot{u} + 1)^2$  grösser. In der Abbildung 3 sind  $G_{u1}$  und  $G_{u1}''$  auch noch für die Uebersetzungen 1 : 3 und 1 : 5 eingetragen.

Da der Zahndruck  $P_3'$  ein Drehmoment  $P_3'(c - r_1)$  auf den Triebadelsatz ausübt, kann die Frage aufgeworfen werden, ob hierdurch die Triebräder nicht zum Gleiten gebracht werden und somit die Reibung zwischen Rad und Schiene die Grösse der Stoßkraft  $P_3$  begrenzt. Dabei darf aber nicht ausser acht gelassen werden, dass im Moment des Stosses entsprechend dem um die Stoßkraft vermehrten Raddruck auch diese Reibung grösser wird, und dass beim Gleiten statt des Ankers der Triebadelsatz eine Beschleunigung erfährt. Bezugliche Berechnungen zeigen, dass für die üblichen Ausführungen der Triebad-

satz durch den Stoss gewöhnlich nicht zum Gleiten gebracht wird und somit die dem ungefederten Gewicht  $G_{u1}''$  entsprechende Stoßkraft in der Regel voll auftritt.

Für die Ableitung der verschiedenen Formeln wurde vorausgesetzt, dass der Motor im Punkt  $B$  gelenkig, aber ungefedert am Fahrzeugrahmen aufgehängt, und somit dass dieser Punkt zugleich auch der Drehpunkt sei. In der Praxis

wird diese Aufhängung gewöhnlich federnd ausgebildet, weil die Federung dämpfend auf eine allfällige stoßweise Übertragung des Motordrehmomentes (z. B. bei Stromstössen) wirkt und sie bei schweren Anfahrten eine gewisse Drehung des Kollektors gestattet, bevor sich der Zug in Bewegung setzt. Da beim Ueberfahren von Geleise-Unebenheiten der Motor immer das Bestreben hat, sich um den theoretisch günstigsten Aufhängepunkt zu drehen, wird auch in jenen Fällen, wo der wirkliche Aufhängepunkt von diesem abweicht, die federnde Aufhängung infolge der Nachgiebigkeit der Federn im Moment des Stosses

die Drehung sehr angenähert um den theoretisch günstigsten Punkt erlauben, sodass sich dadurch auch das minimale ungefederte Gewicht ergibt. Dabei besteht allerdings, wenn, z. B. infolge theoretisch nicht richtiger Aufhängung, im Punkte  $B$  Reaktionen der Stoßkräfte in einem bestimmten Rhythmus auftreten sollten, die Gefahr einer Resonanz zwischen diesen Reaktionen und der Eigenschwingungszahl des Motors um die Triebachse, weshalb die Federung möglichst schwingungsdämpfend, d. h. energie-aufzehrend sein soll (geschichtete Blattfedern, Ringfedern).

Was die Verteilung der ungefederten Gewichte auf die beiden Triebräder betrifft, so herrscht vielfach die irrtümliche Ansicht, dass bei einseitigem Zahngtriebe das ungefederte Gewicht  $G_{u1}''$  grösstenteils auf das dem Zahngtriebe benachbarte Triebrad wirke. Die Unrichtigkeit dieser Auffassung wird uns klar, wenn wir untersuchen, welche äusseren Einzelkräfte auf das Gebilde Motor + Triebadelsatz wirken. Zu diesem Zwecke suchen wir die Reaktionen der Stoßkräfte, die vom Geleise her auf obiges Gebilde übertragen werden. Außer einer allfälligen Reaktion im Aufhängepunkt  $B$ , die aber bei theoretisch richtiger Aufhängung gleich Null wird, kommt einzig noch der Trägheitswiderstand der ungefederten Massen in Betracht. Da deren Schwerpunkt (in transversaler Richtung), sowie übrigens auch der Aufhängepunkt  $B$ , in der Regel ungefähr in Fahrzeugmitte liegt, verteilt sich auch bei einseitigem Zahngtriebe das ungefederte Gewicht ungefähr gleichmässig auf beide Triebräder<sup>1)</sup>.

Bei den vorstehenden Untersuchungen wurde angenommen, dass die Geleise-Unebenheit  $h$  gleichzeitig bei beiden Triebrädern auftrete. Tritt sie nur einseitig auf, so wird der Stoss auf das betreffende Triebrad im allgemeinen etwas kleiner als im ersten Fall, da die zwischen den Triebrädern liegenden ungefederten Massen eine kleinere Beschleunigung erfahren als bei beidseitiger Geleise-Unebenheit. Die hierbei infolge Schiefstellung der Triebachse auftretenden Kreiselwirkungen der rotierenden Massen sind in der Regel nicht von Bedeutung, weil sie eine Funktion der Verdrehungs-Winkelgeschwindigkeit (nicht der Beschleunigung) sind, und diese Winkelgeschwindigkeit selbst bei sehr heftigen Stössen, also grosser Beschleunigung, infolge der sehr kurzen Dauer des Stosses nicht gross werden kann. Da sich ferner beim Trambantrieb Anker und Triebadelsatz gegenläufig drehen, so heben sich die Kreiselwirkungen teilweise noch auf.

In einer späteren Abhandlung soll noch bei gegebener Geleise-Anlage der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit, des ungefederten Gewichtes und der Grösse des Triebadelsatzdurchmessers auf die Grösse der Stoßwirkungen zwischen Rad und Geleise untersucht werden.

<sup>1)</sup> Was die Achsdruck-Verteilung der übrigen auf den Radsatz wirkenden Kräfte betrifft, sei auf eine bezügliche Abhandlung von Ingenieur A. Laternser in der „S. B. Z.“, Band 87, 20. Februar 1926, verwiesen.

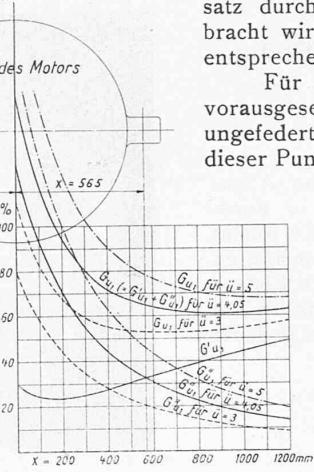


Abb. 3.

<sup>1)</sup> Siehe z. B. „E. T. Z.“, 1917, Heft 13.