

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 71/72 (1918)  
**Heft:** 22

## **Inhaltsverzeichnis**

### **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:** 23.02.2026

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

INHALT: Ueber Drehmoment- und Geschwindigkeits-Verluste am Radumfang von Eisenbahnfahrzeugen. — Die Erweiterung des Hauptbahnhofs Zürich. — Das Theater in Langenthal, Kanton Bern. — Die elektrische Solothurn-Bern-Bahn. — Miscellanea: Brandproben an Eisenbetonbauten. Regelung von ein- und mehrphasigen Wechselstrom-Kommutatormaschinen mittels Gleichstrom. Leitsätze für den Bau evangelischer Kirchen. Normenausschuss der deutschen Industrie. Das Basler Münster Photographien-Weik. Verein deutscher Ingenieure. — Nekrologie: F. Leiber. — Konkurrenzen: Schulhausbau und öffentliche Anlage auf dem Milchbuck in Zürich. — Literatur. — Vereinsnachrichten Zürcher Ingenieur- u. Architekten-Verein. Gesellschaft ehem. Studierender: Maschineningenieur-Gruppe; Stellenvermittlung.

Band 72.

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

Nr. 22.

## Ueber Drehmoment- und Geschwindigkeits-Verluste am Radumfang von Eisenbahnfahrzeugen.

Von Professor Dr. W. Kummer, Ingenieur, Zürich.

Zur rechnerischen Berücksichtigung der am Radumfang von Eisenbahnfahrzeugen auftretenden Energieverluste beschränkte man sich bisher auf die durch die sogenannte rollende Reibung hervorgerufenen Drehmoment-Verluste, für welche folgende Darstellung zweckmässig ist: Wird der Raddruck normal zum Geleise, d. h. der sogenannte Schienendruck mit  $G$ , in  $kg$ , bezeichnet, so tritt am Umfang des Rades ein Drehmoment  $G \cdot \delta$  der rollenden Reibung auf, dessen Arm  $\delta$  als Erfahrungskonstante in der Dimension einer Länge erscheint. Für Eisenbahnräder, von etwa 1 m Durchmesser, auf guten Schienen ist:

$$\delta = 0,0005 \text{ bis } 0,00055 \text{ m.}$$

Es soll hier auf die Streitfrage, ob  $\delta$  vom Radhalbmesser  $r$  unabhängig ist, oder ob  $\delta$  der Quadratwurzel aus dem Radhalbmesser proportional wächst, nicht eingetreten werden.<sup>1)</sup> Dreht sich der Radsatz mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ , so entspricht dem Reibungsmoment  $G \cdot \delta$  ein Reibungseffekt  $G \cdot \delta \cdot \omega$ , den wir von nun an als den Drehmoment-Verlust  $V_d$  am Radumfang auffassen und durch:

$$V_d = G \cdot \delta \cdot \omega$$

formulieren.

Dass bei der Arbeitsübertragung durch rollende Reibung auch Geschwindigkeitsverluste in Form von Gleitungen oder Schlüpfungen auftreten, ist erstmals 1875 durch O. Reynolds<sup>2)</sup> demonstriert worden. Zur rechnerischen Verwertung brauchbare Messungen sind aber erst 1918 durch J. Jahn<sup>3)</sup> bekannt gegeben worden. Obwohl Jahn, ebenso wie Reynolds, seine Messungen mehr nur zur mechanischen Erklärung des Wesens der rollenden Reibung verwendet wissen will, glauben wir doch, nachstehende Verallgemeinerungen, zum Zwecke rechnerischer Verwertung, aus den Versuchen Jahns folgern zu dürfen. Dazu scheint uns besonders die bemerkenswerten Übereinstimmung des aus den Versuchen Jahns sich ergebenden Zusammenhangs zwischen dem Adhäsionskoeffizienten und der Gleitgeschwindigkeit mit anderweitigen Darstellungen dieses Zusammenhangs, auf Grund älterer und neuerer Versuche über gleitende Reibung, die Berechtigung zu liefern. Es sollen also zunächst die Begriffe des Adhäsionskoeffizienten und der Gleitgeschwindigkeit festgelegt werden. Der Adhäsionskoeffizient, den wir in der Folge mit  $f$  bezeichnen, ist durch die Beziehung:

$$f = \frac{\text{Kraft am Radumfang in } kg}{\text{Schienendruck in } kg}$$

festgelegt. Andererseits ist die Gleitgeschwindigkeit oder Schlüpfung  $s$ , ausgedrückt als Zahl zwischen 0 und 1, wobei die Zahl 0 der Abwesenheit jeglichen Gleitens, die Zahl 1 dagegen dem reinen Gleiten bei Fehlen jeglicher Rollbewegung entspricht, als verhältnismässiger Unterschied zwischen dem Wege  $x$  eines bestimmten Punktes des Radumfangs in einer gewissen Zeit am Schienenrand gegenüber dem in derselben Zeit zurückgelegten Wege  $\omega \cdot r$  am Radumfang selbst zu definieren, also durch:

$$s = \frac{x - \omega \cdot r}{x}$$

Schlüpfungen  $s < 1$  bezeichnet Jahn als „scheinbare“. Trotzdem er in seinen Versuchen beim Abwärtsrollen und beim

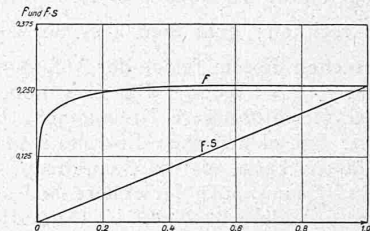
gelischer Kirchen. Normenausschuss der deutschen Industrie. Das Basler Münster Photographien-Weik. Verein deutscher Ingenieure. — Nekrologie: F. Leiber. — Konkurrenzen: Schulhausbau und öffentliche Anlage auf dem Milchbuck in Zürich. — Literatur. — Vereinsnachrichten Zürcher Ingenieur- u. Architekten-Verein. Gesellschaft ehem. Studierender: Maschineningenieur-Gruppe; Stellenvermittlung.

Aufwärtsrollen eines rund 110 kg schweren Rollkörpers auf schmaler eiserner Schienenbahn nicht dieselben Werte  $f$  und  $s$  feststellte, beschränken wir uns in der Folge auf die Wiedergabe der beim Abwärtsrollen gefundenen Werte, die uns aus verschiedenen Gründen, besonders auch wegen ihrer pessimistischeren Zahlenwerte, einer gewissen Verallgemeinerung fähig scheinen. Zu dieser Wiedergabe haben wir die folgende Abbildung gezeichnet, welche  $f$  als Funktion von  $s$  darstellt. Die betreffende Kurve:

$$f = F(s)$$

ist in der Tat von grundsätzlich übereinstimmendem Verlauf, wie die von Ch. Jacob<sup>1)</sup>

bekannt gegebenen Kurven des Koeffizienten der gleitenden Reibung in Abhängigkeit von kleinen Gleitgeschwindigkeiten. Obwohl es für den Zweck der vorliegenden Studie nicht unbedingt nötig wäre, aber zur Erläuterung der von verschiedenen Forschern vorgenommenen Messungen des Reibungskoeffizienten zwischen Rad und Schiene bei hohen Geschwindigkeiten dient, möge erwähnt werden, dass für sehr hohe Gleitgeschwindigkeiten, die also oberhalb der von Jahn untersuchten liegen, der Koeffizient  $f$  bei  $s = 1$  wieder abnimmt; dieses Verhalten des Reibungskoeffizienten bei hoher Geschwindigkeit kann nach F. Charron<sup>2)</sup> aus der schmierenden Wirkung stark bewegter, Rad und Schiene umgebender Luft erklärt werden. Auf Grund unserer Kurve:



$$f = F(s)$$

kann nun für jedes  $s$  punktweise auch der zugehörige Wert des Gleitverlustes, d. h. des Geschwindigkeitsverlustes am Radumfang dargestellt werden; dieser Verlust ist nämlich im Relativmass pro 1 kg Schienendruck ohne weiteres darstellbar durch das Produkt  $f \cdot s$ . In der Abbildung ist der Verlauf von  $f \cdot s$  über  $s$  ebenfalls dargestellt; es kann natürlich der Gleitverlust solange nicht in richtigen Effekteinheiten aufgetragen werden, als  $s$  selbst noch im Relativmass gegeben wird. Bei Vorliegen einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit des Zugs, die, in m/sek ausgedrückt, durch  $v = r \cdot \omega$  bezeichnet werden möge, folgt dann für den, dem Schienendruck  $G$  entsprechenden Gleit- oder Geschwindigkeitsverlust  $V_g$ :

$$V_g = G \cdot f \cdot s \cdot v = G \cdot f \cdot s \cdot r \cdot \omega.$$

Für die Zulässigkeit praktischer Anwendung dieser Beziehung ist nun entscheidend, ob der grundlegende Zusammenhang:

$$f = F(s),$$

für den unsere Abbildung vorläufig nur bei kleinen Werten von  $v$  einigermaßen zuverlässig ist, auch bei verhältnismässig hohen Werten von  $v$  noch gültig bleibt. Nach den Bemerkungen Jahns erscheint dies wahrscheinlich; es ist aber noch nicht ganz gewiss. Es möge hier die Annahme der Gewissheit lediglich deshalb gemacht werden, weil sonst überhaupt keine zahlenmässigen Grundlagen mehr bestehen. Unter dieser Annahme haben wir nunmehr grundsätzlich folgenden Gesamtverlust  $V$  am Radumfang von Eisenbahnfahrzeugen in Betracht zu ziehen:

$$V = V_d + V_g = G \cdot \omega \cdot (\delta + f \cdot s \cdot r).$$

Von dieser Verlustsumme tritt der Verlust  $V_d$  unter allen Umständen, und zwar anscheinend unabhängig von der Grösse der bei einem gegebenen Fahrzeuge ausgenützten

<sup>1)</sup> Die bezügliche Literatur findet man auf Seite 18—20 der Schrift Boedecker, Wirkungen zwischen Rad und Schiene, Hannover 1887, aufgeführt.

<sup>2)</sup> O. Reynolds, On rolling-friction, Philosophical Transactions, London 1876, Vol. 166, part I, page 155.

<sup>3)</sup> J. Jahn, Die Beziehungen zwischen Rad und Schiene, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1918, Seite 121, 145, 339.

<sup>1)</sup> Ch. Jacob, Ueber gleitende Reibung, Ann. der Physik, 1912, S. 126.

<sup>2)</sup> F. Charron, Rôle lubrifiant de l'air dans le frottement des solides, Comptes-Rendus, 1910, Tome 150, page 906.