

# Zur Wirkungsweise der Schleuderschutz-Bremse elektrischer Triebfahrzeuge

Autor(en): **Pflanz, Karl**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **71 (1953)**

Heft 26

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-60578>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

sämtlichen Mörtelmauerwerks in Bruchstein mit Mörtel aus hydraulischem Kalk, 400 kg/m<sup>3</sup> Sand, auch in den Tunneln. Portland-Zement kam nur bei Gewölb über 20 m Spannweite (in Spitzstein- oder Schichtsteinmauerwerk) zur Verwendung, sowie bei nassen Tunnelstrecken. Beton wurde bei der ganzen Albulabahn überhaupt nicht verwendet! Soviel wie möglich wurde Trockenmauerwerk ausgeführt, bis zu grosser Mauerhöhe (z. B. 11 m Stützmauerhöhe bei der Station Tiefencastel).

Märchenhaft mögen den heute Bauenden die folgenden Tatsachen anmuten: Es gab keine Stundenlöhne; der normale Arbeitstag, der ohne Aufzählung um bis 2 Stunden erhöht werden konnte, hatte 11 Stunden. Der mittlere Taglohn aller Arbeitskategorien: Handlanger, Mineur, Maurer, Handwerker, betrug, auf die Gesamt-Bauausführung bezogen, Fr. 3.41 für den Arbeitstag von 11 bis 13 Stunden. Mit diesem Lohn lebten aber die Arbeiter gar nicht schlecht. So erinnert sich der Schreibende an Arbeitskompagnien (der Mannschaft ganzer italienischer Dörfer), die ihren eigenen Wein von Italien kommen liessen, bei gutem Essen (ein- bis zweimal Fleisch pro Tag mit Reis oder Teigwaren und einem Liter Wein pro Mann und Tag) für die Verköstigung (inkl. Wein) Fr. 1.— pro Tag ausgaben, wozu noch 25 bis 40 Rappen pro Tag für Logis kamen! Derartige Lohnverhältnisse erklären die folgenden Einheitspreise: Erd- und Fels-Bewegung inkl. alle Transporte im Mittel 1.50 bis 1.90 Fr./m<sup>3</sup>; Trockenmauerwerk (Steine aus Bruch) 6 Fr./m<sup>3</sup>; häuptiges Bruchsteinmauerwerk (in Mörtel) 18 Fr./m<sup>3</sup>.

Die Linie Reichenau-Ilanz, die unterste Strecke der Vorderrhein-Linie Reichenau-Disentis, eröffnet am 1. Juni 1903, wurde entgegen dringendstem Abraten der Geologen als die sog. Rheinlinie dem Rheinufer nach geführt, auf dem und teilweise durch den Fuss der Trümmerbreccie des prähistorischen Felsschlipfes von Flims (welche Trümmersmassen auf 5 Mio m<sup>3</sup> geschätzt wurden). Die Geologen bezeichneten den Bau einer Bahn auf diesem Trasse als mit den grössten Schwierigkeiten verbunden und deshalb fast undurchführbar; sie rieten deshalb zur Wahl einer der drei in Frage stehenden Varianten: 1. über Versam-Valendas nach Ilanz, mit Höhenverlust von 136 m und einer Maximalsteigung von 30 ‰; Mehrlänge gegenüber der Rheinlinie 2,15 km. 2. über Trins-Flims-Con nach Ilanz, mit Höhenverlust von 255 m und einer Maximalsteigung von 29 ‰; Mehrlänge 3,90 km. 3. über Trins-Flims/Waldhaus nach Ilanz mit einem Höhenverlust von 400 Meter, Maximalsteigung 45 ‰; Mehrlänge 5,7 km. Die grossen betriebstechnischen Nachteile dieser drei Bergvarianten gegenüber der eine Gesamthöhendifferenz von 92 m ohne Höhenverlust mit einer mittleren Steigung von 5 ‰ überwindenden Rheinlinie lagen auf der Hand. Es bedurfte aber auch hier des Mutes der projektierenden und bauenden Ingenieure, um trotz des geologischen Kassandrarufoes die Verantwortung für die Ausführung der Rheinlinie zu übernehmen. Die Tatsachen haben diesen Mut gerechtfertigt.

1. Juli 1953

Hans Studer

## Zur Wirkungsweise der Schleuderschutz-Bremse elektrischer Triebfahrzeuge

Von Prof. Dr. KARL PFLANZ, Linz (Oesterreich)

DK 621.335-592.52: 625.095

### 1. Einleitung

Das Durchschleudern der Triebäder bei schweren Anfahrten zählt zu den unangenehmsten Erscheinungen des Zuförderdienstes. Bisher wurde dieser Vorgang fast ausschliesslich durch Sandstreueinrichtungen bekämpft. Trotz Weiterbildung von der einfachsten Form mit handbedienter Schaufel bis zur Ausführung mit druckluftbetätigten Misch- und Förderdüsen, haben diese Einrichtungen bisher nicht voll befriedigt. Das Festbacken des Sandes durch die Rüttelbewegungen des Fahrzeuges, die Gewölbebildung beim Auslauf und schliesslich das Verlegen der Sandrohrmündungen über der Schiene durch Schnee und Eis bilden eine ständige Quelle von Störungen. Die Entwicklung der Einzelachsantriebe mit ihrem verstärkten Einfluss der Achsdruckverlagerungen durch das Zughakenmoment lassen die Frage des Schleuderschutzes besonders in den Vordergrund treten.

Die Brown-Boveri-Schleuderschutzbremse<sup>1)</sup> umgeht grundsätzlich die Verwendung von Sand und stellt nur eine Zusatzeinrichtung zur normalen Druckluft-Bremsausrüstung des Fahrzeuges dar. Mit Hilfe eines Druckübersetzers, der vom Führerstand über ein elektropneumatisches Ventil gesteuert wird, ist es möglich, die Bremsklötze innerhalb 0,5 bis 1 Sekunde mit etwa 0,9 bis 1,0 atü Zylinderdruck an die Räder zu legen und nach dem Auslassen des Druckknopfes ebenso rasch wieder zu lösen.

### 2. Haftvermögen an der Schiene

#### a) Grundsätzliche Zusammenhänge

Für die Entstehung der grösst erreichbaren Zugkraft gilt nach Bild 1 die bekannte Gleichung

$$(1) \quad Z = \mu_s Q$$

mit  $Q$  als Achsdruck und  $\mu_s$  als Haftreibungswert an der Schiene. Für gleichmässige Fahrt, d. h. nicht schleuderndes Rad, wird dem Radsatz vom Fahrmotor über den Antrieb das Moment  $M_a = Zr = \mu_s Qr$  aufgedrückt (Antriebsdrehmoment). Unter der gleichen Voraussetzung besteht im Aufstandspunkt A reines Rollen, also keine Gleitgeschwindigkeit zwischen Rad und Schiene. Tatsächlich dreht sich das Rad als Folge des Formänderungsschlupfes etwas schneller, als der Fahrgeschwindigkeit entspricht, doch soll diese Erscheinung hier ausser Betracht bleiben. Beginnt unter dem Einfluss abgesunkenen Haftvermögens an der Schiene oder erhöhten Antriebsdrehmomentes  $M_a$  der Radsatz zu schleudern, so vergrössert sich seine Umfangsgeschwindigkeit  $v_0$  (die gleich der Fahrgeschwin-

digkeit ist) um einen Betrag, der als Gleitgeschwindigkeit  $v_g$  am Radaufstandspunkt A in Erscheinung tritt. Im Punkte A besteht dann Rollen nach vorwärts mit der Fahrgeschwindigkeit  $v_0$  und gleichzeitig Gleiten nach rückwärts mit der Gleitgeschwindigkeit  $v_g$ . Wie später gezeigt werden wird, ist das Verhältnis zwischen  $v_0$  und  $v_g$  von wesentlichem Einfluss auf den Haftreibungswert  $\mu_s$  an der Schiene.

#### b) Neuere Forschungsergebnisse

Die einfache, früher viel verbreitete Auffassung, dass bei einem reinen Rollvorgang die «höhere» Haftreibung der Ruhe herrsche, welche dann bei Beginn eines auch nur geringen Gleitens in die «niedrigere» Gleitreibung übergeht, ist auf ein Eisenbahnrad nicht anwendbar. Schon der Längenunterschied der äusseren und inneren Schiene erzwingt in jedem Gleisbogen einen mehr oder minder starken Gleitvorgang, ohne dass ein in einen Bogen einfahrendes Triebfahrzeug merklich an Zugkraft verliert, wie die tägliche Praxis zeigt. Trotz dieser, zu Beginn des Eisenbahnwesens noch recht unklaren Vorstellungen wurde erst vergleichsweise spät, etwa gleichzeitig mit Beginn der Vollbahnelektrifikation grossen Ausmasses in Europa, der so grundlegend wichtige Reibungswert  $\mu_s$  planmässigen Forschungen unterzogen. Die ersten Untersuchungen von A. E. Müller<sup>2)</sup> zeigen ebenso wie nachfolgende Arbeiten wohl sehr grosse Streuungen untereinander, doch gemeinsam stark abfallende Tendenz des Wertes  $\mu_s$  mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit, während Metzkwow<sup>3)</sup> (1934) innerhalb eines Bandes von  $\mu_s = 0,17$  bis 0,23 und  $V = 10$  bis 100 (km/h) einen von der Fahrgeschwindigkeit unabhängigen Verlauf des Beiwertes  $\mu_s$  erhält. Kother<sup>4)</sup> hat 1940 alle bis dahin vorliegenden Ergebnisse in einem gemeinsamen Schaubild dargestellt. Trotz der grossen Streuungen legte Kother einen Mittelwert durch diese Ergebnisse und stellt hiefür die Gleichung auf

$$(2) \quad \mu_s = \frac{9}{\sqrt{V \text{ (km/h)} + 42}} + 0,116$$

Diese Gleichung zeigt — den genannten Ergebnissen folgend — ein ebenfalls stark fallendes  $\mu_s$  mit zunehmendem  $V$  (Bild 2). Die Sorgfalt der Versuchsdurchführung sowie die

<sup>2)</sup> A. E. Müller: Reibungsverhältnisse bei Gross-Elektrolokomotiven. «ETZ» 1928, S. 17 . . . 19.

<sup>3)</sup> Metzkwow: Untersuchungen der Haftung zwischen Rad und Schiene. «Organ» 1934, Heft 13.

<sup>4)</sup> Kother: Verlauf und Ausnutzung des Haftwertes zwischen Rad und Schiene bei elektrischen Triebfahrzeugen. «Elektrische Bahnen» 1940, Heft 12.

<sup>1)</sup> A. E. Müller: Ueber Schienenreibung und Schleuderschutz. «Brown-Boveri-Mitteilungen» Juli/August 1951.

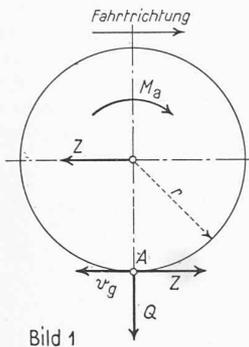


Bild 1

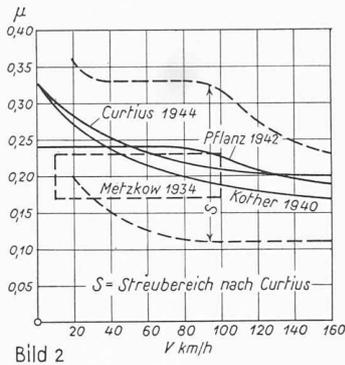


Bild 2

Anzahl der Einzelwerte, welche zu den verschiedenen  $\mu_s$ -Kurven geführt haben, wurde von Kother noch nicht besonders berücksichtigt. Es standen sich somit um diese Zeit einerseits die Kother'sche Gleichung mit absinkendem  $\mu_s$ , andererseits die Metzkwowschen Ergebnisse mit gleichbleibendem, also geschwindigkeitsunabhängigem  $\mu_s$  — letztere allerdings nur bis 100 (km/h) — gegenüber. Zur Aufklärung des Widerspruchs zwischen gleichbleibender oder absinkender Reibung wurde 1942 vom Verfasser die Auswertung der Metzkwowschen Versuche auf Grund der noch zur Verfügung stehenden Originalschaubilder fortgesetzt<sup>5)</sup>. Bei den Untersuchungen Metzkwows wurde ein zweiachsiger, mit einem Dynamometer versehener Messwagen ohne nachlaufenden Zug mit gleichbleibender Geschwindigkeit geschleppt und eine der beiden Achsen bis zu ihrem Stillstand gebremst. Noch ungebremst hat die Messachse eine konstante Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ . Mit zunehmender Bremswirkung dreht sie sich immer langsamer,  $\omega$  nimmt ab, während an der Schiene eine Gleitgeschwindigkeit  $v_g$  entsteht. Ist die Achse festgebremst, also  $\omega = 0$  geworden, so rutscht sie mit einer Gleitgeschwindigkeit, die gleich der — unverändert gebliebenen — Fahrgeschwindigkeit ist, über die Schienen. Den Verlauf der zugehörigen Zugkraft bzw. der aus der Beziehung  $\mu_s = Z/Q$  gewonnenen Reibungsziffer zeigt Bild 3. Bei  $V = 10$  (km/h) bleibt im Schlupfgebiet, d. h. von  $\omega = \text{const}$  bis  $\omega = 0$  entsprechend den Punkten A bis B der Wert  $\mu_s$  fast konstant, während bei  $V = 30$  (km/h) schon früher, nämlich bei Punkt C der Wert  $\mu_s$  abzusinken beginnt. Bei  $V = 100$  (km/h) beginnt aber schon bei Eintritt geringsten Gleitens (Punkt D) die Reibungsziffer abzusinken. In anderer Form ausgedrückt, lässt Bild 3 erkennen, dass der Reibungswert  $\mu_s$  nicht von der Fahr- oder, richtiger gesagt, Rollgeschwindigkeit  $v_0$  des Rades allein, sondern auch von seiner Gleitgeschwindigkeit  $v_g$  abhängt, und zwar in der Weise, dass das Rad umso «gleitempfindlicher» wird, je schneller es rollt. Bei kleiner Fahrgeschwindigkeit kann zusätzlich starkes Gleiten auftreten, ohne zu einem Absinken des Reibungswertes zu führen. Bei schnellerem Rollen beginnt schon bei kleinerem Gleiten das Absinken. Aus einer grösseren Anzahl der Originalschaubilder von Metzkwow wurde auf diese Weise Bild 4 gezeichnet. Aus ihm ersieht man beispielsweise, dass ein mit einer Fahrgeschwindigkeit von 60 km/h gleichmässig rollendes Rad, dessen Haftwert  $\mu_s = 0,244$  be-

<sup>5)</sup> Pflanz: Rad und Schiene als Reibungsgetriebe. «El. Bahnen» 1944, Heft 1—2.

trägt, zusätzlich mit  $v_g = 1,8$  m/s gleiten kann. Erst bei  $v_g > 1,8$  m/s beginnt  $\mu_s$  abzusinken. Jene Gleitgeschwindigkeit, bei der  $\mu_s$  abzusinken beginnt, sei als *Grenzgleitgeschwindigkeit*  $v'_g$  bezeichnet.

Bild 4 bezieht sich auf einen mittleren  $\mu_s$ -Wert von 0,244 und zeigt nur den grundsätzlichen Zusammenhang zwischen Fahrgeschwindigkeit, Gleitgeschwindigkeit und Reibungsziffer. Bei besonders günstigem Schienenzustand bei gleichbleibendem Antriebsdrehmoment das Haftungsangebot der Schiene absinkt, also ein den Radsatz beschleunigendes Ueberschussdrehmoment entsteht, oder durch Schalten auf die nächsthöhere Fahrstufe das vorher nicht ganz voll ausgenutzt gewesene Haftungsangebot der Schiene überschritten wird. Der erste Fall ist zweifellos der häufigere und insofern auch der unangenehmere, als er mehr oder minder überraschend auftritt und erst durch Sondermassnahmen — Betätigung des Sandstreuers oder der Schleuderschutzbremse — der normale Fahrzustand wieder hergestellt werden kann und nicht nur durch einfaches Rückdrehen des Fahr Schalters. Jedenfalls treten aber beim Schleudern Gleitgeschwindigkeiten in den Radaufstandspunkten auf und damit auch die Möglichkeit, dass sich ein durch abgesunkenes Haftungsangebot entstandener Schleudervorgang verstärkt und zwar durch Ueberschreiten der Grenzgleitgeschwindigkeit. *Den letztgenannten Fall näher zu prüfen, ist das Ziel der vorliegenden Untersuchung.*

Vorerst sei noch darauf hingewiesen, dass alle bisherigen Ergebnisse der Haftwertforschung — mit Ausnahme jener von Metzkwow — an *ziehenden*, die von Metzkwow aber an *gebremsten* Achsen gewonnen sind. Es wird also im vorliegenden Zusammenhang stillschweigend das Bestehen der Gleichung «Ziehen = Bremsen» vorausgesetzt. Besondere Untersuchungen über diese Frage liegen nicht vor. Die Erfahrung zeigt aber, dass grundlegende Unterschiede der Reibungswerte nicht zu bestehen scheinen.

**3. Berechnung des Schleudervorganges**

Der untersuchte Vorgang zerfällt in vier Perioden.

*Periode I:* Das Antriebsdrehmoment und das aus Achsdruck, Reibungsziffer und Radhalbmesser gebildete Gegendrehmoment sind gleich. Kein Schleudern. Die Periode bedarf keiner näheren Prüfung.

*Periode II:* Durch Verschlechterung des Schienenzustandes sinkt das Gegendrehmoment. Das zunächst grössere Antriebsdrehmoment beschleunigt den Radsatz. Durch die entstehende Drehzahlerhöhung sinkt das Antriebsdrehmoment ebenfalls ab, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand eingestellt hat. Am Ende schleudert die Achse mit gleichmässiger Ueberdrehzahl.

*Periode III:* So lange Schienenzustand und Fahrstufe sich nicht ändern, hält das gleichmässige Schleudern an.

*Periode IV:* Die Schleuderschutzbremse wird angelegt und erzeugt ein Gegendrehmoment. Die entstehende Drehzahlverminderung erhöht nun wieder das Antriebsdrehmoment. Dreht sich der Radsatz wieder der Fahrgeschwindigkeit entsprechend, so halten sich das Antriebsdrehmoment einerseits und die Gegendrehmomente aus Schienenreibung und Schleuderschutzbremse andererseits das Gleichgewicht.

Mit Ende der Periode IV ist das Abfangen des Schleudervorganges beendet. Die Schleuderschutzbremse kann gelöst werden. Hat sich der Schienenzustand unterdessen nicht gebessert, muss sie neuerdings betätigt werden.

Zur Beurteilung der *zweiten Periode* wird angenommen, dass der ursprünglich an der Schiene bestandene Reibungswert  $\mu_s$  auf  $\mu'_s$  abgesunken sei ( $\mu'_s < \mu_s$ ), während das Antriebsdrehmoment  $r Q \mu_{s,a}$  trotz der entstehenden Drehzahlerhöhung in einem kleinen Drehzahlintervall noch unverändert bleibe. Unter  $\mu_{s,a}$  ist bei dieser Annahme jener Reibungswert verstanden, mit dem das Haftungsvermögen an der Schiene vom Antrieb her in Anspruch genommen wird. Im Drehsinne wirkt nun nach Bild 5 das Antriebsdrehmoment  $r Q \mu_{s,a}$ . Entgegengesetzt wirkt das Gegendrehmoment  $r Q \mu'_s$  und der Trägheitswiderstand  $\gamma(\theta)$  mit  $\gamma$  ( $s^{-2}$ ) als Winkelbeschleunigung und  $\theta$  ( $kg \cdot m \cdot s^2$ ) als Trägheitsmoment des Radsatzes und der auf den Radsatz bezogenen Rotormasse.

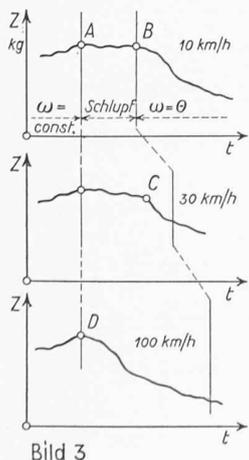


Bild 3

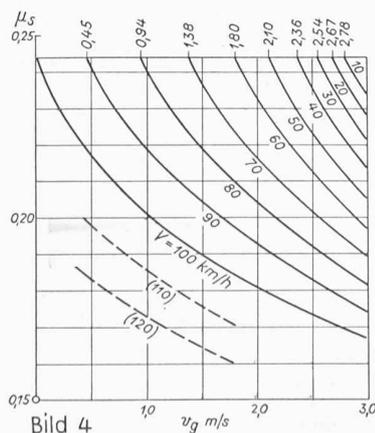


Bild 4

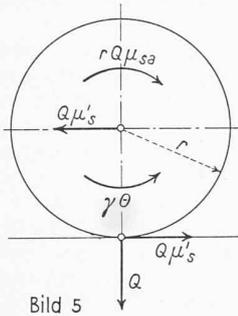


Bild 5

Es gilt somit

$$(3) \quad rQ\mu_{sa} - rQ\mu'_s - \gamma\theta = 0$$

Wird der Unterschied zwischen dem Reibungswert aus dem Antriebsdrehmoment ( $\mu_{sa}$ ) und jenem aus der abgesunkenen Schienenreibung ( $\mu'_s$ ) mit  $\Delta\mu_s$  bezeichnet, so ergibt sich  $\Delta\mu_s = \mu_{sa} - \mu'_s$  und man erhält aus Gleichung (3) für die Winkelbeschleunigung

$$(4) \quad \gamma = \frac{rQ\Delta\mu_s}{\theta}$$

Es sei ferner  $\omega_0$  die Winkelgeschwindigkeit des noch nicht schleudernden und  $\omega_1$  die des schleudernden Radsatzes nach der Zeit  $t$ . Die zugehörigen Umfangsgeschwindigkeiten seien  $v_0$  bzw.  $v_1$ . Es ergibt sich die Geschwindigkeitszunahme  $\omega_1 = \omega_0 + \gamma t$  und  $v_1/r = v_0/r + \gamma t$ , oder  $(v_1 - v_0)/r = \gamma t$ . Mit  $\Delta v = v_1 - v_0$  als Zunahme der Umfangsgeschwindigkeit erhält man  $\gamma = \Delta v/r t$  oder aus Gleichung (2)

$$(5) \quad t = \frac{\Delta v \theta}{3,6 r^2 Q \Delta \mu_s}$$

wenn ausserdem  $\Delta v$  (m/s)  $\cdot 3,6 = \Delta V$  (km/h) gesetzt wird. Die Gleichung (5) besagt also, welche Zeit verstreicht, wenn der Radsatz bei unverändert angenommenem Unterschied der Reibungsziffern seine Umfangsgeschwindigkeit um den Betrag  $\Delta V$  erhöht.

Als Beispiel ist in Bild 6 der Schleudervorgang eines mit 20 000 kg belasteten Radsatzes dargestellt. Es ist eine gleichmässige Fahrgeschwindigkeit von  $V = 20$  (km/h) angenommen und ausserdem vorausgesetzt, dass bei Schleuderbeginn im Punkte B der Strecke durch Verschlechterung des Schienenzustandes der Reibungswert an der Schiene von  $\mu_s = 0,285$  auf  $\mu'_s = 0,193$  absinkt (Punkte C, D). Für seinen weiteren Verlauf nach der Linie  $\mu'_s = f_1(t)$  ist die untere Grenze der Untersuchungen von Curtius und Kniffler<sup>6)</sup> gewählt. Die Linie  $\mu_{sa} = f_2(t)$  stellt den sich aus dem Antriebsdrehmoment ergebenden Reibungswert dar, und zwar ist für die Rechnung angenommen, dass innerhalb einer entstehenden Geschwindigkeitserhöhung des Rades um 1 (km/h) entsprechend  $\Delta V = 1$  (km/h) die Zugkraft  $Z$  bzw. der Reibungswert  $\mu_{sa}$  nicht absinken, sondern konstant bleiben, wie Bild 7 zeigt. Der Zusammenhang zwischen Zugkraft und Geschwindigkeit nach Bild 7 entspricht ungefähr der Fahrstufe 15 der Lokomotive Ae 4/4

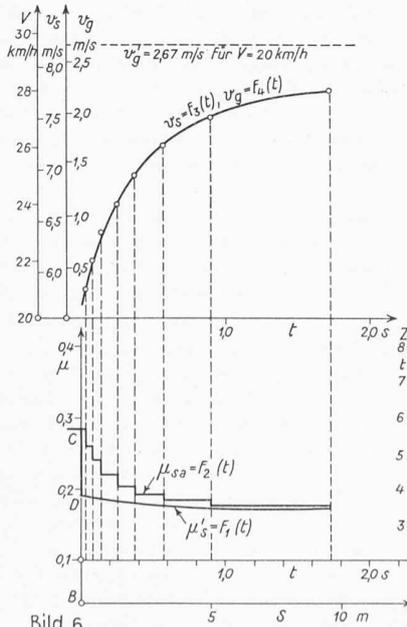


Bild 6

<sup>6)</sup> E. W. Curtius und A. Kniffler: Neue Erkenntnisse über die Haftung zwischen Triebrod und Schiene. «El. Bahnen» 1944, Nr. 1/2 und 3/4.

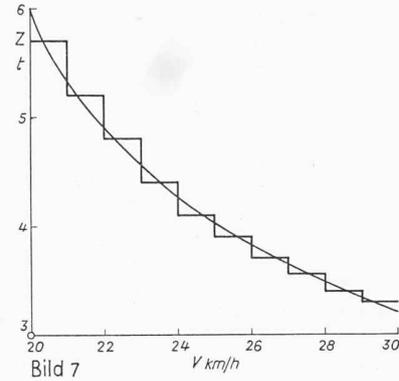


Bild 7

der Lötschbergbahn. Aus den Linien  $\mu_{sa} = f_2(t)$  und  $\mu'_s = f_1(t)$  (Bild 6) ergibt sich unmittelbar der Unterschied  $\Delta\mu_s$  der Reibungswerte. Für  $\Delta V = 1$  (km/h) und  $\Delta\mu_s$  aus Bild 6 ist nun die Zeit gerechnet worden, die verstreicht, wenn der Radsatz seine Umfangsgeschwindigkeit um jeweils 1 (km/h) erhöht. Auf diese Weise wurde die Linie  $v_s = f_3(t)$  erhalten. Sie stellt jene Fahrgeschwindigkeit dar, welche der Winkelgeschwindigkeit des schleudernden Radsatzes entspricht. Die  $v_s$ -Skala links lässt auch erkennen, dass in diesem Falle die nach rückwärts gerichtete Gleitgeschwindigkeit  $v_g$  (Bild 1) bei einem angenommenen Radhalbmesser  $r = 0,7$  m die Grösse 2,22 m erreicht. Bei  $t \approx 1,8$  s wird mit  $V = 28$  km/h der Gleichgewichtszustand zwischen Antriebsdrehmoment und Gegen-drehmoment erreicht, d. h. die zweite Periode ist beendet und die dritte beginnt.

Der Verlauf des Haftungsangebotes der Schiene nach Bild 6 — Linie  $\mu'_s = f_1(t)$  — ist wohl als der untere Grenzwert der Untersuchungen von Curtius und Kniffler begründet, kann aber nicht als allgemein gültig bezeichnet werden. Der wirkliche Verlauf als Funktion der Zeit und — bei  $V = \text{const}$  — auch als Funktion des zurückgelegten Weges ist unbekannt. Man weiss nur, dass bei Schleuderbeginn etwa entsprechend den Punkten  $S_1$  und  $S_2$  von Bild 8 der Wert  $\mu_s$  auf  $\mu'_s$  absinkt, wobei der Verlauf von  $\mu_s$  in Bild 8 völlig willkürlich angenommen ist. Wenn es auch für einen Einzelfall gelingen würde — vermutlich nur unter einem ungewöhnlich grossen Aufwand messtechnischer Mittel — den Wert  $\mu'_s$  für einzelne Schienenstellen zu erforschen, so dürfte diesem Ergebnis keine allgemeine Bedeutung zugeschrieben werden. Diese Unsicherheit entzieht einer genauen Berechnung den Boden und lässt es auch nicht vertretbar erscheinen, weitere Nebenumstände, wie den genauen Verlauf der Motorkehlennlinie, den Bremsgestängewirkungsgrad, den durch pneumatische Vorgänge bedingten Verlauf des Druckanstieges im Bremszylinder und dergleichen in die Betrachtungen besonders genau einzuführen.

Als Ergebnis der in Bild 6 durchgeführten Untersuchung sei nur festgehalten, dass bei plötzlichem Absinken des Haftungsangebotes der Schiene von seinem Höchstwert auf die untere Grenze in etwa 2 s die Drehzahl des Radsatzes — bezogen auf die Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h — auf etwa 28 km/h steigt. Sinkt  $\mu_s$  nicht so stark, so vergehen mehrere Sekunden bis zum Erreichen der erhöhten Drehzahl. Der unbekanntes Verlauf von  $\mu'_s$  kann aber auch diese Werte noch wesentlich ändern.

4. Annähernde Darstellung des Bremsvorganges

Zur Abbremsung des schleudernden Radsatzes wirkt der Drehung die Bremskraft  $\epsilon Q \mu_K$  entgegen (Bild 9). Der Beiwert  $\epsilon$  sei das Verhältnis des Klotzdruckes  $K$  zum Achsdruck  $Q$ , also  $\epsilon = K/Q$ . Für normale Bremsen ist  $\epsilon \approx 0,8$  zu setzen, bei Schnellbahnbremsen kann dieses Verhältnis bis etwa 1,6 betragen.

Bei Beginn der Periode IV, d. h. Beginn der Schleuderschutzbremsung, wirkt nach Bild 9 rechtsdrehend das Antriebsdrehmoment  $rQ\mu_{sa}$  und das Moment des Trägheitswiderstandes  $\gamma\theta$  linksdrehend das Bremsmoment (Gegendrehmoment)  $r\epsilon Q \mu_K$  mit  $\mu_K$  als Klotzreibungsziffer und das Moment  $rQ\mu'_s$  des Reibungswiderstandes an der Schiene. Es besteht somit die Gleichung

$$rQ\mu_{sa} + \gamma\theta - r\epsilon Q \mu_K - rQ\mu'_s = 0$$

Nach Umformung erhält man

$$(6) \quad rQ\mu'_s - rQ\mu_{sa} + r\epsilon Q \mu_K - \gamma\theta = 0$$

Aehnlich wie bei der Behandlung des Schleudervorganges sei wieder angenommen, dass das Antriebsdrehmoment  $rQ\mu_{sa}$  über kleine Geschwindigkeitsintervalle unveränderlich und

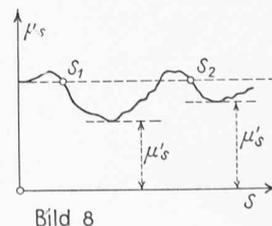


Bild 8

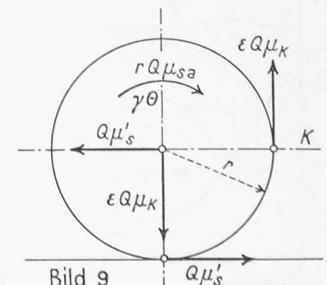


Bild 9



höhen kann, ohne dass es zu einem Ueberschreiten der Grenzgleitgeschwindigkeit kommt. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit sinkt allerdings die mögliche Ueberdrehzahl stark ab, doch ist in diesem Gebiet wegen der abnehmenden Zugkraft die Schleudergefahr auch nicht mehr gross.

Die in Bild 4 gestrichelt gezeichneten Linien sind extrapoliert und entstammen nicht unmittelbar den Versuchen von Metzkwow. Sie besagen, dass bei  $V > 100$  km/h auch ohne Berücksichtigung des Gleitens nurmehr kleinere Reibungswerte entstehen, wie auch Bild 4 zeigt. Da aber im hohen Geschwindigkeitsbereich die Schleudergefahr nur gering ist, wurde sie dort auch nicht näher untersucht.

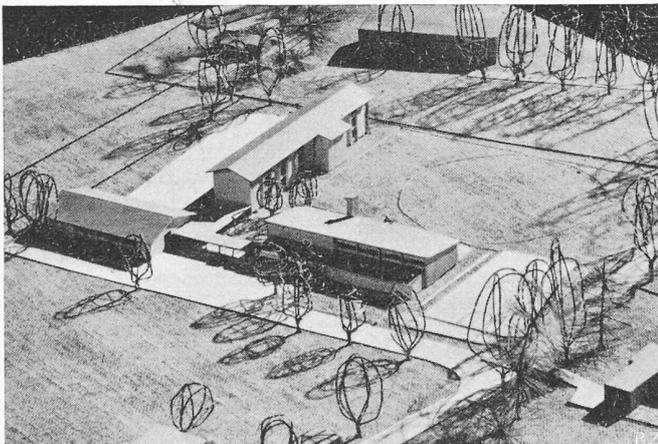
## 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Wenngleich die Bewegungsvorgänge bei der Schleuderschutzbremse grundsätzlich einfach sind, stellen sich der praktischen Beurteilung Schwierigkeiten entgegen. Sie sind im Umstand begründet, dass die wirkliche Grösse des Haftungsangebotes der Schiene unbekannt ist. Wir kennen von diesem, gewöhnlich als «nützliche Reibung» bezeichneten Haftwert wohl die obere und die untere Grenze (Bild 2, Streugebiet S) und auch seinen mittleren Verlauf als Funktion der Fahrgeschwindigkeit, doch versagt diese Kenntnis im Einzelfall. Wenngleich es vielleicht unter Verwendung besonderer, noch zu entwickelnder Messeinrichtungen möglich wäre, den augenblicklichen Schienenzustand einer Versuchsstrecke festzustellen, würde dieses Ergebnis keine allgemeine Gültigkeit besitzen. Es erscheint daher zulässig, in die Rechnung vereinfachende Annahmen einzuführen.

Unter diesen vereinfachenden Annahmen zeigt die Rechnung, dass grössenordnungsmässig im unteren Geschwindigkeitsbereich, d. h. bei hohem Motordrehmoment nach etwa 1 bis 2 s der Radsatz voll durchschleudert, sich also der neue Gleichgewichtszustand zwischen vermindertem Haftungsangebot der Schiene und abgesunkenem Antriebsdrehmoment einstellt. Aus diesem Grunde arbeiten die Schleuderschutz-einrichtungen auch in sehr kurzen Ansprechzeiten.

A. E. Müller vermutet, dass zwischen dem Verhalten eines «schleuderschutzgebremsten» Radsatzes und den Haftwerten von Metzkwow Zusammenhänge bestehen, deren Feststellung im Interesse der genauen Kenntnis des gesamten Schleuderschutzvorganges liegt. Aus den Versuchen Metzkwows lässt sich ableiten, dass bei gleichbleibendem Schienenzustand ein langsam rollender Radsatz an seinen Aufstandspunkten vergleichsweise grosse Gleitgeschwindigkeiten ohne Absinken der Reibungsziffer aufweisen kann. Erst nach Ueberschreiten einer bestimmten Grenzgleitgeschwindigkeit sinkt die Reibungsziffer — immer noch bei gleichbleibendem Schienenzustand — ab (Bild 4). Es wäre nun denkbar, dass ein Radsatz infolge abgesunkenem, aber in diesem Zustand gleichbleibendem Haftungsangebot der Schiene beim Schleudern seine Grenzgleitgeschwindigkeit überschreitet und sich der Schleudervorgang damit noch weiter verstärkt. In Bild 12 ist nun gezeigt, dass dies, zumindest bei kleinen Fahrgeschwindigkeiten, meist nicht der Fall sein wird. Beispielsweise kann bei  $V = 20$  km/h der Radsatz seine Drehzahl um fast 50 % erhöhen, ohne dass sich durch Ueberschreiten der Grenzgleitgeschwindigkeit der Schleudervorgang verstärkt. Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten wird der Radsatz wohl gleitempfindlicher; es genügen bei  $V = 60$  km/h schon 10 % Ueberdrehzahl, um in das gefährdete Gebiet zu kommen. Dieser Fall wird aber seltener auftreten, weil im oberen Geschwindigkeitsbereich das Haftungsangebot auch einer Schiene von ungünstigem Zustand vom Antriebsdrehmoment fast nie voll in Anspruch genommen wird.

Die vorstehende Abhandlung verwendet die Reibungsziffern von Metzkwow als Grundlage. Diese Werte stimmen gut mit dem bisher praktisch beobachteten Verhalten der Schleuderschutzbremse überein. Es wäre aber doch vorteilhaft, die gezeigten Zusammenhänge experimentell zu überprüfen. Bei derartigen Versuchen müssten nur Stromaufnahmen des Fahrmotors, Drehzahl des Radsatzes und Druckverlauf im Bremszylinder entsprechend genau registriert werden.



Modellansicht aus Nordosten

## Wettbewerb für ein Sekundarschulhaus mit Turnhalle in Bolligen

DK 727.1 (494.24)

### Aus dem Raumprogramm

Es sind unterzubringen:

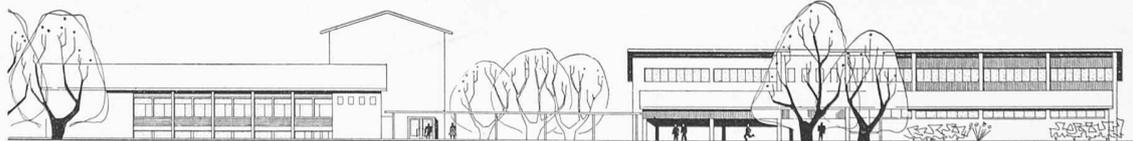
A. *Schulhaus*: 10 Klassenzimmer für maximal 36 Schüler, 1 Zeichnungssaal, 1 Materialraum dazu, 1 Physikzimmer, 1 Material- und Übungsraum, 2 Handarbeitszimmer für je 20 Schülerinnen, 1 Werkraum für Schreinerei und Cartonnage mit Materialraum und Sammlungszimmer, Bibliothek und Lehrmittel, Lehrerzimmer, Vorsteherzimmer, Schulküche, Theorie- und Essraum, Singsaal (Aula) mit Schulbühne und kleinem Operateurraum. Gedeckte Pausenhalle.

B. *Abwartwohnung* mit 4 Zimmern und Nebenräumen.

C. *Turnhalle* mit Nebenräumen.

D. *Freiflächen*: Pausenplatz, Hartturnplatz, Spielwiese, Schulgarten.

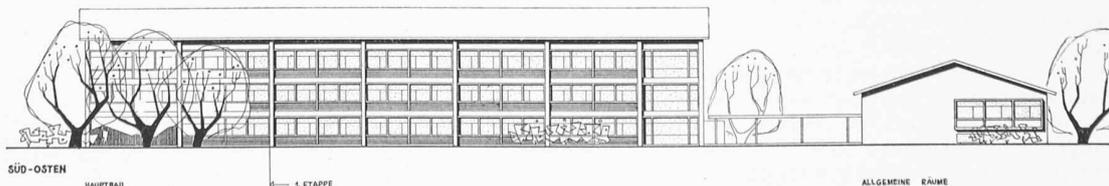
E. *Erweiterungsbau*: 5 Klassenzimmer und Nebenräume.



ALLGEMEINE RÄUME

TURNHALLE, AULA & ABNNT

Nordostansicht, Masstab 1:700



SÜD-OSTEN

HAUPTTRAB

1. ETAPPE

ALLGEMEINE RÄUME

Südostansicht, Masstab 1:700