

Vom Deutschen Museum.

Naturwissenschaft und Technik sind ihrem ganzen Wesen nach auf Fortschritt gestimmt. Bei ihnen gibt es keine Dogmata und keinen Stillstand. Was heute noch letztes Ergebnis des Forschens und Grundlage des Schaffens bildete, kann morgen irrig oder unzureichend sein. So ehern die Naturgesetze an sich sind: ihre Erkenntnis, die den Inhalt der Naturwissenschaft bildet, und ihre praktische Auswertung, mit der sich die Technik befaßt, sind nirgends Endpunkte, sondern in jedem Bereiche nur Zwischenstationen auf einem Wege, dessen Fortsetzung sich im Dunkel der Zukunft verliert. Mag es auf anderen Gebieten geistiger und seelischer Betätigung wie Philosophie, Ethik, Kunst, Politik ein auf und ab, ein hin und her geben: Naturwissenschaft und Technik schreiten in gerader Linie, bald langsamer, bald schneller voran.

Diese Stetigkeit der Zielrichtung läßt den Blick ihrer Jünger immer nur streng nach vorwärts gerichtet halten, das Interesse an dem zurückgelegten Wege stark in den Hintergrund treten. Das gilt im besonderen Maße von der Technik. Diese hat sich immer mehr zum bedeutendsten Gliede der ganzen Wirtschaft entwickelt und damit ist sie unter die Herrschaft von Prinzipien geraten, die ihr die Erhaltung des geschichtlich Gewordenen um seiner selbst willen als unproduktive Handlung verbieten. In ihrem weiten Gebiete verschwindet tagtäglich Veraltetes, das vor Jahren oder Jahrzehnten als letzte Errungenschaft galt und nur ganz selten wird ihm Erinnerung gewidmet. So führt denn auch die »Geschichte« von Naturwissenschaft und Technik nur ein bescheidenes Dasein. Als Unterrichtsdisziplin an unseren Hochschulen steht sie ganz im Hintergrunde.

Die Selbstverständlichkeit, mit der die Menschen unserer Zeit die Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschungen und Errungenschaften der Technik benutzen, ist bei all denen, deren Gedanken sich über die nächsten Dinge des Alltags erheben, nur eine scheinbare. Ihr gesellt sich immer wieder das Bedürfnis, durch Verständnis der Umwelt, insbesondere der Technik, die Harmonie der Daseinsform zu erhalten. Diesem Drange kann am ehesten Rechnung getragen werden durch eine klare Darlegung der geschichtlichen Entwicklung der Technik — und damit ist eines der Ziele des »Deutschen Museums von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik« gekennzeichnet. Das ist ein stolzer Name, doch sagt er nicht zuviel. Denn jeder Zweig von Naturwissenschaft und Technik hat hier seine Berücksichtigung gefunden. Was jemals einen Anfang, einen Gipfel oder Endpunkt gebildet hat, ist hier enthalten. Die ganze Entwicklung zieht am Auge des Besuchers vorbei. Behörden, wissenschaftliche Institute, Industrie und Gewerbe von ganz Deutschland haben, in der Hauptsache durch Stiftungen, das Material beigebracht. Fachwissen und Erfahrung der Museumsverwaltung haben in liebevoller Kleinarbeit das ganze geordnet, durch eigene Darstellungen ergänzt und die riesige, in dieser Art von keinem anderen Institut der Erde erreichte Sammlung so geschickt gegliedert, geordnet, aufgestellt und erläutert, daß Schauen und Verständnis für jeden Besucher ein reiner Genuß werden.

Der Neubau des Museums, dessen Einweihung Anfang Mai festlich begangen wurde, wirkt schon von außen durch seine Mächtigkeit. Noch ist das Ganze nicht vollständig ausgebaut. Es fehlen noch der nördliche Trakt, der zur Aufnahme

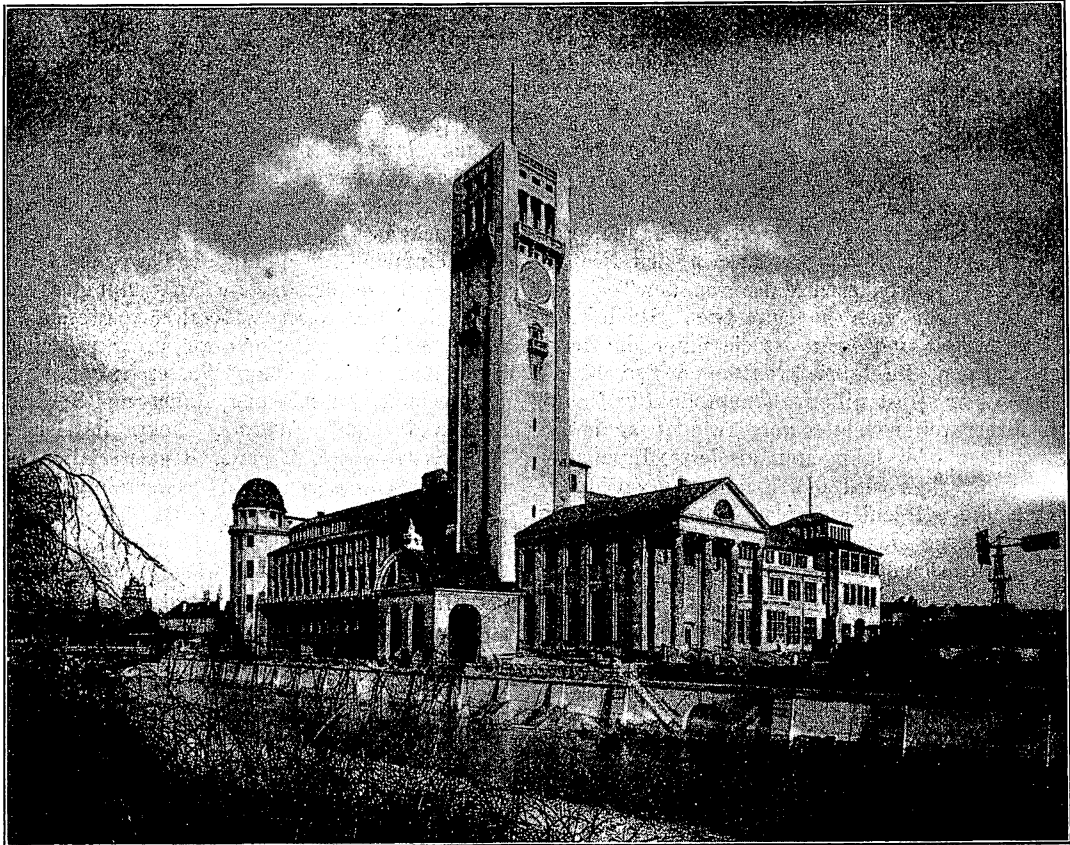
der Bibliothek von 100000 Bänden und der Plansammlung bestimmt ist, und die Flügelbauten, die ihn mit dem Hauptgebäude verbinden sollen. Dieses aber ist nun fertig und einen Maßstab von seinen Abmessungen geben folgende Ziffern: Der Bau bedeckt eine Grundfläche von über 10000 qm. Er ruht auf 5000 Betonpfählen, die tief unter den Isarspiegel reichen. Er enthält an die 400 Säle und Räume mit einem Flächenraum von über 30000 qm. Der normale Besuchsweg durch sämtliche Abteilungen des Museums hat eine Länge von ungefähr 14 km. Der Besucher braucht also annähernd drei Stunden, um ihn im Marschtempo abzulaufen. Man stelle sich hiernach die Zeit vor, die aufzuwenden ist, wenn man sich für einen einzelnen Raum besonders interessiert! Man müßte Tage und Wochen dort verbringen, wenn man sich näher mit den Sammlungsgegenständen vertraut machen wollte. So ist der erste Eindruck auf jeden Besucher der einer überwältigenden Größe. Eine einfache Aufzählung der Gruppen bietet einen Begriff von dem Umfange des in die Ausstellung einbezogenen Gebietes: Geologie, Bergwesen, Metallhüttenwesen, Metallbearbeitung, Kraftmaschinen, Verkehrswesen, Straßensbau, Eisenbahnbau, Tunnelbau, Brückenbau, Wasserstraßen, Hafenbau, Schiffsbau, Flugtechnik, Zeitmessung, Raum- und Gewichtsmessung, Mathematik, Mechanik, Wärme, Elektrizitätslehre, Optik, Akustik, Musikinstrumente, Chemie, Baumaterialien, Wohn- und Städtebau, Wasserversorgung, Abwasserreinigung, Heizung, Lüftung, Beleuchtungswesen, Gasttechnik, Elektrotechnik, Astronomie, Geodäsie, Textilindustrie, Papierfabrikation, Reproduktionstechnik, Landwirtschaft, Brauerei und Brennerei, Meteorologie.

Im Verfolge seiner Aufgabe, geschichtliche Überlieferung auf dem Gebiete von Naturwissenschaft und Technik zu pflegen, zeigt das Museum überall neben den Ergebnissen menschlichen Fortschrittstriebs auch die Wege, die die Forschung gegangen ist. Hierbei verlebendigt es das Gedenken an die Träger großer Namen durch pietätvolle Zurschaustellung von Geräten, mit denen die führenden Geister gearbeitet haben. An Namen der Wissenschaft, wie z. B. Tycho de Brahe, Kopernikus, Otto v. Guericke, Fraunhofer, Bunsen, Ampere, Robert Mayer, Liebig, Helmholtz, Röntgen, oder der Technik, wie z. B. Hargreaves, Jacquard, Watt, Stephenson, Bessemer, Laval, Diesel, Drais, Lilienthal, Zeppelin, knüpft sich die Erinnerung an die bedeutendsten Fortschritte in Form von Entdeckungen und Erfindungen. Das Deutsche Museum besitzt, um nur einiges zu nennen, die Luftpumpe und die kupfernen Halbkugeln, mit denen Otto v. Guericke, der berühmte Magdeburger Bürgermeister, schon vor Jahrhunderten den Luftdruck nachwies. Die Glasschiffe, mit denen Fraunhofer die nach ihm benannten Linien im Spektrum des Sonnenlichtes entdeckte — eigentlich wider Willen; er hielt diese dunklen Linien zunächst für Fehler des Materials, erkannte aber ihre Gesetzmäßigkeit, als sie bei jeder Materialzusammensetzung regelmäßig wiederkehrten. Den ersten Spektralapparat von Kirchhoff und Bunsen, mit dem diese die Entdeckung Fraunhofers zur Spektralanalyse, einer der wichtigsten Hilfsquellen von Physik und Astronomie, ausbauten. Den Versuchsapparat, mit welchem Robert Mayer, indem er die eine in die andere verwandelte, die Gleichwertigkeit von Arbeit und Wärme nachwies und das Gesetz von der Erhaltung der Energie fand. Watts erste Dampfmaschine, Stephensons

erste Lokomotive, beide in naturgetreuer Nachbildung; Lilienthals Flugzeug und, auf einem ganz anderen Gebiete, Mozarts Reiseklavier. Zahllos sind die Gegenstände, mit denen Naturgesetze gefunden, oder der Technik neue Bahnen gewiesen wurden. Nur mit Ehrfurcht oder — in Anbetracht ihrer Primitivität — mit Rührung kann man sie betrachten. Über sie hinweg reichen sich die Jahrhunderte die Hand.

Der Vermittlung des Verständnisses hat das Museum die größte Aufmerksamkeit zugewendet. So zeichnet sich die Art der Darbietung aus durch einen besonders hohen Grad von Naturtreue. Die ausgestellten Gegenstände sind überwiegend Originale; demnächst sorgfältige und meist gebrauchsfähige Nachbildungen in Naturgröße. Wo man zur Aufnahme von Verkleinerungen und Modellen gezwungen war, sind diese mit bewundernswerter Liebe und Sorgfalt maßstäblich mit allen

Es ist selbstverständlich, daß die Eisenbahntechnik, die mit ihren allumfassenden eisernen Schienenarmen als Grundlage für die Entwicklung von Industrie und Technik sich darstellt, wie sie andererseits mit ihren weitreichenden Bedürfnissen sich eng auf andere technische Zweige stützt, einen wichtigen Abschnitt im Museum bildet. Es hat daher auch der Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen, der Träger der Entwicklung und des Fortschrittes der Eisenbahnen im Herzen Europas, insbesondere in der Jugendzeit der Eisenbahnen, wo gegenseitiger Austausch der Erfahrungen, gegenseitige Ausgleichung der sich immer dichter zusammenschließenden Einzelnetze, notwendig war, lebhaften Anteil an der Gründung und Ausgestaltung des Deutschen Museums genommen. Er hat diesem Interesse ja dadurch Ausdruck verliehen, daß er eine Nachbildung der ersten erfolgreich verwendeten Lokomotive, der Puffing Billy, dem



Deutsches Museum von Westen.

Einzelheiten ausgeführt. Überall hat das Museum entweder Schnitte angebracht, die einen Einblick in das Innere gestatten, oder für völlige Gebrauchsfähigkeit gesorgt; manchmal auch beides miteinander vereinigt. So findet man kaum das sonst in Museen so beliebte Schild: »Bitte, nicht berühren!«, dagegen sehr häufig die Einladung: »Bitte, auf den Knopf drücken!«, — »Bitte, die Kurbel drehen!« usw. In der Abteilung Mechanik z. B. hat der Besucher Gelegenheit, Gesetze wie die Konstanz des Produktes von Masse und Geschwindigkeit, Wirkungen wie die des Massenausgleichs bei Mehrkurbelmaschinen oder begrifflich nicht ganz einfach liegende Erscheinungen, wie z. B. die Präzessionsbewegung des Kreisels an entsprechenden Apparaten selbst zu studieren. Wer unseren früheren Schul- und Hochschulbetrieb mit seiner Neigung zu abstrakter theoretischer Doktrin kennt, wird die pädagogischen Vorteile zu würdigen wissen, die in der Möglichkeit liegen, unsere Jugend Naturgesetze und Technik nicht ausschließlich zu lehren, sondern in Einzelercheinungen auch erfahren zu lassen. Denn alles Lernen ist doch schließlich nur ein notdürftiger Behelf für eigene Erfahrung.

Museum stiftete. Im Beirat des Museums ist der Verein bekanntlich durch ein Mitglied vertreten.

Was auf dem Gebiet des Verkehrswesens und Eisenbahnbaues im Museum vorgeführt ist, möge im folgenden kurz dargestellt werden.

Eine eigene große Halle von annähernd 1000 qm Größe ist den Eisenbahnfahrzeugen gewidmet. Die Gegenstände, Bilder usw. sind innerhalb ihrer technischen Gliederung nach Lokomotiven, Eisenbahnwagen, Straßenbahnwagen usw. nach ihrer geschichtlichen Entwicklung geordnet. So sehen wir die Kindheit des Eisenbahnbetriebs in einer Reihe zeitgenössischer Bilder der ältesten englischen Bahnen für Güter- und Personenbeförderung. Ihre Krönung finden diese Darstellungen in dem bekannten großen Gemälde von Prof. Heim von der Eröffnung der Ludwigseisenbahn, das den Augenblick darstellt, in welchem der Regierungspräsident von Stichauer im Namen König Ludwigs I. die Hauptförderer der Bahn Nürnberg—Fürth, der ersten Eisenbahn in Deutschland, begrüßt. Ein besonders hochwertiges Sammlungsstück ist die naturgetreue Nachbildung der ersten englischen Lokomotive »Puffing-Billy« aus dem

Jahre 1813 in Naturgröße. Das Original steht bekanntlich im Kensingtonmuseum zu London. Die Nachbildung im Deutschen Museum unterscheidet sich vom Original dadurch zu ihrem Vorteil, daß sie — mit Druckluft — betriebsfähig ist. Es gewährt einen eigenartigen Anblick, die Maschine arbeiten zu sehen; es sei nur nebenbei bemerkt, daß das Geräusch der unbeholfenen und mangelhaft gelagerten Zahnräder usw. so groß ist, daß es bei jeder Inbetriebsetzung die Besucher auch der benachbarten Räume herbeiruft. Die ihrerzeit erfolgreichste Lokomotive »Rocket« (1829) für die Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester, sowie die erste Lokomotive »Adler« der Ludwigseisenbahn, deren Urbild noch von Stephenson in England gebaut wurde, sind in Modellen dargestellt. In Naturgröße sehen wir eine der ersten deutschen Maschinen, die Lokomotive »Beuth« (1841) von Borsig. Es ist eine naturgetreue Nachbildung. Zeuge einer späteren Zeit ist die erste 1868 von der Lokomotivfabrik Kraufs in München gebaute zweiachsige Lokomotive mit Wasserkastenrahmen (Original).

Während die vorerwähnten Gegenstände mehr Individuen von geschichtlichem Reiz sind, folgen nunmehr Stücke typischen Charakters, die die Entwicklung der Lokomotiven und die allmähliche Ausgestaltung ihrer Konstruktion in allen Einzelheiten erkennen lassen. Es ist erstaunlich, zu sehen, bis in welche Tiefe der technischen Einzelheiten die Darstellung eingedrungen ist, ohne daß sie dabei das Ziel, auch dem Laien Verständnis zu vermitteln, aus dem Auge verloren hätte. Fragen von einer gewissen technischen Trockenheit, wie z. B. Verbundwirkung, Überhitzung, Lenkachsen und dergleichen mehr, sind an sehr schönen, bis in die feinsten Einzelheiten richtig ausgeführten Modellen so geschickt dargestellt, daß jeder, der sich für Fragen dieser Art interessiert, sich zum mindesten über das Wesen aller dieser Fragen Klarheit verschaffen kann. So sind im Modell zu sehen: die ältesten bayerischen Personen- und Güterzuglokomotiven; eine Cramptonsche Schnellzuglokomotive (um 1860); die erste Lokomotive mit Borriessteuerung der Hanomag (1897); eine neue bayerische Schnellzuglokomotive mit 4 Dampfzylindern von Maffei, München (1905); das Untergestell einer Güterzuglokomotive der Sächsischen Staatseisenbahn mit einstellbarer Hinterachse; das Untergestell einer bayerischen Vorortzugstenderlokomotive, bei der die Schrägstellung von Hinter- und Vordergestell, sowie die Seitenverschiebung der Kuppelachsen durch Anzeigevorrichtungen kenntlich gemacht sind; das Untergestell der ersten vierzylindrigen Schnellzugverbundlokomotive nach dem System v. Borries (1900); ein geschnittener Dampfkessel mit Schmidtschem Rauchkammerüberhitzer aus dem Jahre 1898 und dergleichen mehr. Den Gipfelpunkt erreicht diese Art der Darstellung im Original einer Schnellzuglokomotive von Maffei (1874), die einschließlic Tender der Länge nach aufgeschnitten ist, so daß die Innenteile offen liegen und ihr Zweck überall zu verstehen ist.

In ähnlicher Weise, allerdings unter Beschränkung auf Modelle, ist die Entwicklung der Eisenbahnwagen dargestellt. Den Beginn bilden Bilder der ersten altenglischen Wagen für Güterbeförderung. Es folgen solche für Personenbeförderung. Die allmähliche Entwicklung von Güter- und Personenwagen bis zu neuzeitlichen schweren Kohlentransportwagen, D-Zug- und Schlafwagen wird durch eine Reihe von Modellen vorgeführt. Auch hier vermitteln die Darstellungen nicht nur einen guten Überblick über den unmittelbaren Gebrauch; sie lassen den Beschauer auch tiefer in das Verständnis des Aufbaues der Wagen, ihrer baulichen und betriebstechnischen Einzelheiten eindringen. Namentlich die Bremsvorrichtungen sind berücksichtigt worden.

An Sonderfahrzeugen sind die Triebwagen durch verschiedene Modelle vertreten. Die Erinnerung an heute wieder

verlassene Konstruktionen, wie die pneumatischen und Taubahnen, wird durch das Original eines Zylinderstückes einer atmosphärischen Eisenbahn aus England (1846/49) und ein großes Wandgemälde wachgehalten. Der Entwicklung der elektrischen Lokomotiven ist besonders Rechnung getragen. Ein Schaustück von bedeutendem geschichtlichem Werte ist die erste elektrische Lokomotive, die, von Werner v. Siemens konstruiert, im Jahre 1879 auf der Berliner Gewerbeausstellung in Betrieb war. Modelle elektrischer Vollbahnwagen, Motorbahnwagen und Akkumulatordoppelwagen reihen sich an. Einen vorläufigen Abschluß bildet das Modell eines elektrischen Schnellbahnwagens, mit dem 1903 auf der Militäreisenbahnstrecke Marienfelde—Zossen die bekannten Schnellfahrversuche vorgenommen wurden. Daneben hat im Original eine neuzeitliche elektrische Lokomotive aus dem Jahre 1911 Aufstellung gefunden.

Den Abschluß der Gruppe bilden die Straßenbahnwagen, von denen im Original ein älterer Wagen der Stadt München zur Aufstellung gelangt ist. Auch hier sind die sämtlichen maschinellen Einrichtungen, wie Antriebsmotor, Schaltapparate, Bremsvorrichtungen usw. zum leichteren Verständnis aufgedeckt. Daneben finden sich eine Reihe von Modellen.

Besondere Räume sind der Darstellung von Untergrundbahnen, Hochbahnen, Schwebbahnen, Berg- und Hängebahnen gewidmet. Hier hat sich das Museum sehr bemüht, den Kreis des Dargestellten zu erweitern, sich nicht auf die Fahrzeuge und ihre technischen Einzelheiten zu beschränken, sondern zugleich auch den Bau des Bahnkörpers, die Linienführung und die Gesamtanlage zu verdeutlichen. Über Einzelheiten und geschichtliche Entwicklung von Eisenbahnschienen und ihren Bettungen, unter denen Originalstücke von hohem geschichtlichem Werte sich befinden, über Erinnerungen an Friedrich List und seine Bedeutung für die Entwicklung der Eisenbahnen, über statistische Tafeln und dergl. führt der Weg den Besucher zu Reliefdarstellungen von Gebirgsbahnen, die, wie z. B. das große Modell des Gotthardtahnstückes zwischen Waasen und dem Naxbergtunnel, wohl schon von manchem befahren, aber kaum jemals in ihrer ganzen Art erkannt worden sind. Der Tunnelbau selbst ist an einer Nachbildung des Simplontunnelquerschnitts (in Naturgröße) im Bauzustand und an einem Längsschnittmodell nebst den verwendeten Bohrgewerken, sowie an einer Reihe anderer Tunnelmodelle in verschiedener Ausführungsweise gezeigt. Auch die Entwicklung des Brückenbaues ist in einer Anzahl von Modellen dargestellt. Untergrundbahnen und Schwebbahnen werden in eindrucksvoller Darstellung unter gleichzeitiger Verwendung von Modellen, Reliefdarstellungen und Bildern vorgeführt.

Einen Raum für sich nehmen die Bergbahnen in Anspruch. Auch hier wirken Modelle, Reliefdarstellungen und Bilder zusammen, um das Verständnis für Bauart und Betriebsweise zu vermitteln. Zur Darstellung sind gelangt die Rigibahn, die Pilatusbahn, die Harzbahn von Blankenburg nach Tanne und die Jungfraubahn. Daß hierbei der Besucher ganz zwanglos die wichtigsten Arten der Zahnstangenformen: Leiterzahnstangen, Fischgrätenverzahnung, Lamellenzahnstangen und Keilkopffahnstangen, kennen lernt, sei als Beweis dafür erwähnt, wie sorgfältig das Museum in jedem Falle bei der Auswahl seiner Darbietungen vorgegangen ist. Seil- und Hängebahnen schließen diese Gruppe ab. Von aktuellem Interesse ist ein betriebsfähiges Modell der im Bau begriffenen Hängebahn auf die Zugspitze. Es zeigt die Antriebs- und Umlenkstation und gestattet, sich ein klares Bild von dem Betrieb auf dieser Bahn zu machen.

Um dem Laien schließlic das Verständnis für Streckenbetrieb und Signalwesen zu vermitteln, hat das Museum im Garten Gleisanlagen angelegt, denen Stellwerksanlagen von Bahnhöfen, sowie Signaleinrichtungen der freien Strecke an-

gegliedert sind. Alle diese Anlagen sind betriebsfähig eingerichtet. Die Stellwerksignale usw. können bedient werden, so daß jeder Besucher die Möglichkeit hat, sich auch über diesen Zweig des Eisenbahnbetriebes zu unterrichten.

Diese kurze Übersicht mag erkennen lassen, wie das Deutsche Museum seine Aufgabe angefaßt hat, in welchem Umfange dies geschehen ist und bis zu welcher Tiefe es dabei vorgegangen ist. Es ist eine Schöpfung, auf die Deutschland mit Recht stolz sein kann. Sein Gründungsgedanke entstand in der Zeit des technischen und industriellen Aufschwungs Deutschlands. Er wurde am 5. Mai 1903 durch Oskar von Miller einem Kreis hervorragender Zeitgenossen vortragen, fand allseitigen Anklang und es gelang, den Deutschen Kaiser, den Prinzregenten von Bayern und eine große Reihe einflußreicher Persönlichkeiten für seine Förderung zu gewinnen.

Die Stadt München stiftete den Platz auf der Kohleninsel, seither Museumsinsel genannt. 1906 erfolgte die feierliche Grundsteinlegung unter der Teilnahme des Deutschen Kaiserpaars. Bei Ausbruch des Krieges war der Rohbau gerade vollendet. Der unermüdeten Energie Oskar von Millers gelang es im Verein mit der trotz der Schwere der Zeit nicht erlahmenden Gebefreudigkeit der deutschen Industrie, die Mittel für die Vollendung des Baues und die Ausgestaltung der Sammlungen aufzubringen. Am 7. Mai fand die feierliche Eröffnung des Deutschen Museums statt. Es war dies der 70. Geburtstag Oskar von Millers, dessen Name untrennbar mit dem des Museums verknüpft ist.

Auch das Deutsche Museum wird dazu beitragen, dem deutschen Namen in der Welt wieder die Achtung zu verschaffen, die er verdient.
W. Richter.

Betriebswirtschaftliche Wertung der Strecken.

Von Reichsbahnoberrat Ehrensberger, München.

Hierzu Abb. 1--4 auf Tafel 22.

Wenn in einem Bahnnetz die Leitung eines Verkehrs zwischen zwei Knotenpunkten über mehrere Strecken möglich ist, so verlangt eine wirtschaftliche Betriebsführung die Kenntnis desjenigen Leitungsweges, der den kleinsten Aufwand an Beförderungskosten bedingt.

Die Durchschnittswerte der allgemeinen Statistik sind für die Lösung dieser Aufgabe nicht geeignet. Wahllose Anwendung solcher Werte, unvollständige oder ungenaue Rechnung müssen zu schwerwiegenden Trugschlüssen hinsichtlich der wirtschaftlichen Auswirkung betrieblicher Maßnahmen im Zugförderungsdienste führen. Im folgenden ist ein Verfahren*) für die betriebswirtschaftliche Wertung der Strecken entwickelt, das alle Kosten, die auf die Wirtschaftlichkeit der Zugförderung Einfluß haben, in ihrer Wechselwirkung mit der größten Genauigkeit, die zur Zeit nach dem Stande der Wissenschaft und Erfahrung möglich ist, berücksichtigt und das doch in seiner praktischen Anwendung nur einen verhältnismäßig geringen Zeitaufwand erfordert.

1. Teil.

Mafsgebende Kostenanteile

Die Kosten ($= K$ in Mark) für die Beförderung eines Wagenzuggewichtes ($= G_w$ in Tonnen) über eine Strecke von bestimmter Länge ($= L$ in Kilometern) setzen sich zusammen aus:

I. den Wegkosten ($= K_w$), das sind die Kosten, die vorwiegend abhängig sind von den Neigungs- und Krümmungsverhältnissen der Strecke und deren Länge, demnach die Kosten

a) für den Materialverbrauch (Kohle, Wasser, Öl) sowie für die Abnutzung und Instandhaltung der Lokomotive ($= K_1$ in Mark),

b) für die Instandhaltung und Abnutzung des Oberbaues ($= K_0$ in Mark);

II. den Zeitkosten ($= K_z$ in Mark), die überwiegend abhängen von der Reisezeit des Zuges (Fahrzeit und Zwischenaufenthalt), in der die Strecke L bei der den Wegkosten K_w entsprechenden Lokomotivanstrengung durchfahren werden kann. Die Zeitkosten setzen sich zusammen aus den Ausgaben für das Lokomotivpersonal, für das Zugbegleitpersonal, für Verzinsung und Abschreibung des Anschaffungswertes der Lokomotive und der Wagen, einschließlic der Ausgaben für die

*) Das Verfahren wurde für die Untersuchungen eines von der Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahngesellschaft mit der Aufstellung von Richtlinien für die betriebswirtschaftliche Wertung der Strecken beauftragten Ausschusses ausgearbeitet. Den Reichsbahnräten Dr. Gottschalk und Dr. Müller als Mitgliedern dieses Ausschusses und dem Reichsbahnbaumeister Wetzler möchte an dieser Stelle für die wertvolle Mitarbeit gebührender Dank ausgesprochen werden.

Vorbereitung (Vor- und Nacharbeit) der Lokomotive und des Wagenzuges zur Fahrt;

III. den festen Kosten ($= K_c$ in Mark), d. i. der auf das Wagenzuggewicht G_w treffende Anteil an den sonstigen in Ziffer I und II nicht enthaltenen und von der Beförderungsart und Verkehrsleitung nicht unmittelbar abhängigen Kosten des Eisenbahnbetriebes (Verwaltungs-, Abfertigungs-, Rangier-, Signaldienst, Unterhaltung der Hochbauten und des Unterbaues, Kapitaldienst usw.).

Die Grundgleichung für die Beförderungskosten K eines Wagenzuggewichtes G_w über die Strecke L lautet demnach:

$$K = K_w + K_z + K_c = K_1 + K_0 + K_z + K_c.$$

I. a) K_1 -Kosten.

Es bezeichnet:

- B den Brennstoffverbrauch in kg für die Fahrzeit unter Dampf,
 - W den entsprechenden Wasserverbrauch in kg,
 - T die Fahrzeit ohne Aufenthalte in Minuten,
 - T_0 die Fahrzeit ohne Aufenthalte in Minuten bei geschlossenem Regler,
 - A_1 die indizierte Lokomotivarbeit in mkg,
 - A_b die Bremsarbeit in mkg;
- (Sämtliche Größen sind zu berechnen für die Beförderung des Wagenzuggewichtes (Packwagen G_p + Nutzlast G_w) in t mit einer bestimmten Lokomotivgattung (G_1) in Tonnen. Ein Verfahren für die Berechnung dieser Größen ist im Anhang zum 1. Teil angegeben.)
- T_{st} die Stationsaufenthaltszeit in Minuten,
 - R die Rostfläche in qm,
 - k_b die Kosten für 1 kg Brennstoff (einschließlic eines mittleren Zuschlags für Fracht, Lagerung, Abgabe einschließlic der hierbei entstehenden Verluste),
 - k_w die Kosten für 1 kg Wasser (einschließlic etwaiger Kosten für Wasserreinigung),
 - $k_{öl}$ den Geldwert des Darfverbrauchsatzes an Öl für die Lokomotivgattung in \mathcal{M}/km .

Für die rechnerisch nicht erfafsaren Verluste beim Speisen und durch Abblasen der Ventile, sowie durch brennbare Rückstände in den Schlacken ist zu den errechneten Werten von B und W noch ein Zuschlag zu machen, der in den nachfolgenden Untersuchungen mit 5% eingesetzt ist.

Der Brennstoffverbrauch bei Fahrt mit geschlossenem Regler und beim Stillstand ist nach neueren amerikanischen Versuchen mit 0,6 kg für 1 qm der Rostfläche angenommen.

Es sind dann die

$$\text{Brennstoffkosten } K_b = [1,05 \cdot B + 0,6 \cdot R \cdot (T_o + T_{st})] \cdot k_b$$

$$\text{Wasserkosten } K_{wa} = 1,05 \cdot W \cdot k_w$$

$$\text{Ölkosten } K_{öl} = L \cdot k_{öl}$$

Die Abnutzung der Lokomotive und der dadurch veranlasste Aufwand für die Unterhaltung hängt (bei sonst gleich guter Beschaffenheit der Lokomotive und des Speisewassers) von den Streckenverhältnissen sowie von der Fahrzeit ab und wächst erfahrungsgemäß

a) beim Dampfkessel und dessen Ausrüstung hauptsächlich mit der Größe der auf die Zeiteinheit bezogenen Rostanstrengung, also mit der Geschwindigkeit und dem Füllungsgrad, da die für die Rostanstrengung maßgebende Leistung an Pferdestärken

$$N_i = \frac{Z_i \cdot V}{270} \text{ ist;}$$

b) beim Triebwerk hauptsächlich mit der Geschwindigkeit und der durchschnittlichen Höhe der Zylinderdrücke auf die Lager, also mit der Größe $\frac{A_1}{T - T_o}$ der auf die Zeiteinheit

treffenden Lokomotivarbeit. Für längere Leerfahrten vergrößert sich A_1 um den Betrag der Arbeit, welche die Lokomotive als Luftpumpe (wegen der Drosselung in der Luftausgleichsvorrichtung oder infolge Anwendung der Luftgedrucktremse) zu leisten hat;

c) bei den Radreifen mit der von den Triebrädern auf die Schienen zu übertragenden Lokomotivarbeit A_1 und der von den gebremsten Rädern zu leistenden Bremsarbeit A_b .

Zu Anteil a): Die Verbrennung der Brennstoffmenge B in einer Fahrzeit unter Dampf von $(T - T_o)$ Minuten erfordert eine durchschnittliche Rostanstrengung von

$$r = \frac{1,05 \cdot B \cdot 60}{R \cdot (T - T_o)} \text{ in kg/qm Std.}$$

Es bezeichnet

H_k die auf je 1000 t Brennstoffverbrauch während eines größeren Zeitraumes bezogene Zahl der Arbeitsstunden, die in diesem Zeitraume für die Unterhaltung der Kessel mit Ausrüstung aller Lokomotiven der Gattung erforderlich waren,

r_o die durchschnittliche Rostanstrengung der Lokomotivgattung in diesem Zeitraume.

k_{hk} den durchschnittlichen Geldbetrag für eine Arbeitsstunde einschliesslich des Wertes des durchschnittlich in einer Arbeitsstunde verbrauchten Materials und eines Zuschlags für soziale Lasten sowie Abnutzung des Werkzeuges und der Arbeitsmaschinen.

Wird angenommen, daß die Abnutzung im gleichen Verhältnis mit der Rostanstrengung wächst, dann berechnet sich der Unterhaltungskostenanteil nach Ziffer a) für den Kessel zu

$$K_{ku} = \frac{r}{r_o} \cdot \frac{1,05 \cdot B}{1000} \cdot H_k \cdot k_{hk} \\ = \frac{63 \cdot B^2 \cdot H_k \cdot k_{hk}}{1000 \cdot R \cdot (T - T_o) \cdot r_o}$$

in Mark für die ganze Strecke L .

Die Erfahrungswerte für r_o und H_k können aus der Lokomotiv- und Werkstättestatistik ermittelt werden.

Zu Anteil b): Es bezeichnet

H_t die Zahl der nach der Lokomotiv- und Werkstättestatistik für die Unterhaltung des Triebwerkes (ausschliesslich der Kosten für die Erneuerung der Radreifen) sämtlicher Lokomotiven der Gattung im Durchschnitt eines größeren Zeitraumes aufgewendeten Arbeitsstunden bezogen auf je 1000 Lokomotivkilometer.

k_{ht} den durchschnittlichen Geldbetrag für eine Arbeitsstunde einschliesslich des Wertes des in einer Stunde durchschnittlich verarbeiteten Werkstoffes nebst Zuschlag für

soziale Lasten sowie Abnutzung des Werkzeuges und der Arbeitsmaschinen,

Σa_1 die durchschnittlich in diesem Zeitraume auf die Einheit der Fahrzeit unter Dampf bezogene Arbeitsleistung der Lokomotiven dieser Gattung.

Wachsen e Hunderteile der Arbeiten am Triebwerk unmittelbar mit der Triebwerksanstrengung, so berechnet sich der Unterhaltungsanteil nach b) für das Triebwerk zu

$$K_{tu} = \left[1 - 0,01 \cdot e \cdot \left(1 - \frac{A_1}{(T - T_o) \cdot \Sigma a_1} \right) \right] \cdot \frac{H_t \cdot k_{ht} \cdot L}{1000}$$

in Mark für die ganze Strecke L .

Für die genaue Bestimmung der Erfahrungswerte H_t und Σa_1 gilt das für die Erfahrungswerte r_o und H_k unter Ziffer a) Gesagte.

Zu Anteil c): Zu der regelmässigen hauptsächlich nur vom Raddruck und der Härte des Baustoffes abhängigen Abnutzung aller Radreifen durch den Rollwiderstand kommt bei den Triebrädern und den gebremsten Rädern noch der Verschleiss durch die Zugkraftarbeit der Lokomotive (A_1) und die Bremsarbeit (A_b). Aus Zweckmässigkeitsgründen werden hier auch die Kosten für die Abnutzung der Wagenradreifen und der Bremsklötze mitbehandelt.

Die für den Verschleiss der Radreifen (und der Schiene) maßgebende Arbeit der Lokomotivzugkraft am Triebbradumfang ist um den Betrag der inneren Reibungsarbeit der Lokomotive kleiner als die bei der Berechnung ermittelte A_1 der indizierten Zugkraft. Für den vorliegenden Zweck ist es genügend genau, wenn die Reibungsarbeit der Triebräder im Mittel mit $0,95 \cdot A_1$ eingesetzt wird.

Es bezeichnet

T_{km} die durchschnittlich nach der Statistik von einem ungebremsten Rad bis zur Erneuerung des Radreifens geleisteten Tonnenkilometer,

Q_r die dabei eingetretene Gewichtsverminderung des Radreifens in Gramm,

q_t die Gewichtsverminderung in Gramm eines Triebbradreifens für je 1000 mkg geleistete Lokomotivarbeit,

q_r die Gewichtsverminderung in Gramm bezogen auf je 1000 mkg Bremsarbeit eines gebremsten Radreifens,

q_{br} die Gewichtsverminderung in Gramm eines Bremsklötzes bezogen auf 1000 mkg Bremsarbeit,

k_t die Kosten der Neubereifung eines Triebrades in Mark bezogen auf 1 g abnutzbares Gewicht (Material einschliesslich Zuschlag für Fracht und Abladen, Löhne einschliesslich Zuschlag für soziale Lasten, Zwischenabdrrehungen, Abnutzung der Arbeitsmaschinen und der Werkzeuge, abzüglich Schrottwert des zurückgewonnenen Materiales),

k_r die gleichen Kosten für Wagenradreifen,

k_{br} die gleichen Kosten für Bremsklötze.

Der Kostenanteil für die Abnutzung der Radreifen und der Bremsklötze nach Ziffer c) berechnet sich dann zu

$$K_{ra} = \frac{G \cdot L}{T_{km}} \cdot Q_r \cdot k_r + \frac{0,95 \cdot A_1 \cdot q_t \cdot k_t}{1000} + \\ + \frac{A_b}{1000} \cdot (q_r \cdot k_r + q_{br} \cdot k_{br})$$

in Mark für die ganze Strecke L .

Die Abnutzung der Triebräder durch den Rollwiderstand ist hierin der Einfachheit halber jener der Wagenräder gleichgesetzt. In der Gleichung für den Wert K_{ra} bringen die beiden letzten Glieder den Einfluss der Streckenverhältnisse zum Ausdruck. Der Kostenanteil K_{ra} kann hiernach also je nach den Neigungen der Strecken und je nach der Fahrzeit sehr verschieden sein.

Die in den Kostenanteilen a), b) und c) noch nicht enthaltenen Lokomotiv- und Wagenunterhaltungskosten für Anstrich, Verkleidungsbleche, Tenderkasten usw. sind ihrer

Natur nach zu den Zeitkosten zu rechnen und werden, da sie hauptsächlich von der GröÙe der Lokomotive abhängig sind, durch einen Zuschlag zu den Verzinsungs- und Abschreibungskosten berücksichtigt.

Die Gesamtkosten Ia sind sonach:

$$K_1 = K_b + K_{wa} + K_{ol} + K_{ku} + K_{tu} + K_{ru}.$$

Ib) K_o-Kosten.

Die Oberbaukosten lassen sich in zwei Hauptgruppen zerlegen:

1. In die Kosten der laufenden Unterhaltung für die Beseitigung der Schäden durch die Witterung und durch die darüber rollende Last = K_{on} ,

2. in die Kosten für die Erneuerung der Schienen, soweit sie eine Folge der Abnutzung des Schienenkopfes durch die darüber rollende Last und durch die gebremsten und angetriebenen Räder sind = K_{ou} .

Zu Anteil 1: Nach den Feststellungen des Unterausschusses IV des Dienststellenbewertungsausschusses (Diba) der Deutschen Reichsbahn wachsen die für die laufende Unterhaltung des Oberbaues notwendigen Tagewerke (= T_w) mit der Verkehrsbelastung (= V_B in Tonnen/Tag) und mit der Zahl (= n) der täglich über die Strecke laufenden Züge.

An Tagewerken für die Unterhaltung von 1 km Streckenlänge im Jahr sind hiernach notwendig:

für zweigleisige Flachland-Hauptbahnen mit schwerem Oberbau

$$T_w = 60 + \frac{n}{3} + 6 \cdot \sqrt[3]{V_B},$$

für eingleisige Flachland-Hauptbahnen mit schwerem Oberbau

$$T_w = 45 + \frac{2}{3} \cdot n + 6 \cdot \sqrt[3]{V_B},$$

für Nebenbahnen mit schwerem Oberbau

$$T_w = 30 + n + 6 \cdot \sqrt[3]{V_B}.$$

Die Diba berücksichtigt den Einfluss der Fahrgeschwindigkeit und der Krümmungen nur durch allgemeine Zuschläge. Im vorliegenden Falle müssen jedoch diese Einflüsse rechnerisch so genau wie möglich erfasst werden. Dies kann dadurch erreicht werden, dass das 3. Glied in der Gleichung des Diba mit einem Wert φ (Einfluss der Geschwindigkeit) und einem Wert γ (Einfluss der Krümmen) vervielfältigt wird.

Für die zweigleisige Bahn gilt dann:

$$T_w = 60 + \frac{n}{3} + 6 \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot \sqrt[3]{V_B}.$$

Nach den derzeit vorliegenden Ergebnissen theoretischer Untersuchungen und den Erfahrungen des Betriebes ist der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Unterhaltung des Oberbaues in der Hauptsache nur für das nicht abgefederte Gewicht des Zuges in Rechnung zu stellen. Da es sich hier um Stofs- und Fliehkräfte handelt, wird der Einfluss von V quadratisch anwachsen müssen. Er kann aus diesen Erwägungen heraus durch eine Gleichung von der allgemeinen Form

$$\varphi = c_1 + c_2 \cdot V^2$$

dargestellt werden. Für c_1 ist hierin das Verhältnis des abgefederten Gewichtes des Zuges zum gesamten Zuggewicht einzusetzen. Da der schädliche Einfluss der Geschwindigkeit von vielen rechnerisch nicht erfassbaren Umständen (Schlaglöcher, Bremslöcher, schlechte Schienenstöße usw.) abhängt, muß der Erfahrungswert c_2 aus der Statistik ermittelt werden. Hierbei ist zu beachten, dass bei der durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit, für welche die Diba-Formeln gelten, der Wert $\varphi = 1$ werden muß.

Die vom Krümmungshalbmesser (ρ in m) abhängigen Zuschläge (= f), welche nach bisherigen Erfahrungen zu der Schienenabnutzung auf gerader Strecke für Krümmungen zu

machen sind, können dem Schaubild Textabb. 1 entnommen werden.

Mit Hilfe dieses Schaubildes lassen sich auch die Zuschläge zu dem Aufwand an Tagewerken für die laufende Unterhaltung kurvenreicher Strecken ermitteln, da die gleichen Kräfte, welche die gröÙere Abnutzung der Schienen veranlassen, auch den gröÙeren Aufwand an laufender Unterhaltung der Kurven bestimmen.

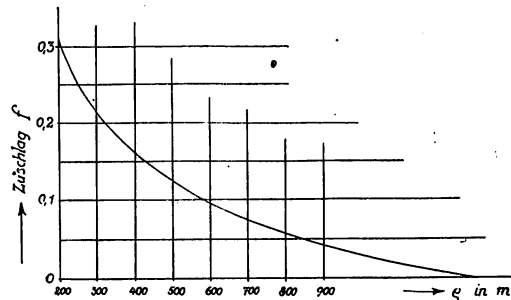


Abb. 1.

Bezeichnet

Σl_Q die Summe der Länge aller Kurven,
 f den auf die Länge Σl_Q umgerechneten Mittelwert der Zuschläge nach vorstehendem Schaubild,
dann wird

$$\gamma = 1 + \frac{\Sigma l_Q}{L} \cdot f.$$

(Für Tunnels unter 1000 m Länge ist erfahrungsgemäß ein Zuschlag von $f = 0,2$, für Tunnels über 2000 m Länge ein Zuschlag $f = 0,4$ zu nehmen.)

Die auf die Beförderung eines Wagenzuggewichtes G_w über die Strecke L in der Fahrzeit T treffenden Tagewerke für die Unterhaltung des Oberbaues sind dann

$$= (G_1 + G_w + G_p) \cdot L \cdot \frac{T_w}{365 \cdot V_B},$$

worin für T_w der Wert aus den Diba-Gleichungen einzusetzen ist.

Bezeichnet

k_{tw} den Geldwert eines Tagewerkes einschliesslich Zuschlag für soziale Lasten und Werkzeugabnutzung,
 ϵ das Verhältnis des Geldwertes des in einem Tagewerk verarbeiteten Materiales zu k_{tw} ,

dann berechnen sich die Kosten für die Unterhaltung zu

$$K_{ou} = G \cdot L \cdot \frac{T_w \cdot (1 + \epsilon) \cdot k_{tw}}{365 \cdot V_B},$$

also bei einer zweigleisigen Hauptbahn zu

$$K_{ou} = \frac{G \cdot L}{365 \cdot V_B} \cdot \left[60 + \frac{n}{3} + 6 \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot \sqrt[3]{V_B} \right] \cdot (1 + \epsilon) \cdot k_{tw}.$$

Hierin wäre die Einwirkung einer Tonne Lokomotivgewicht auf das Gleis der Einwirkung einer Tonne Wagengewicht gleichgesetzt. Dem widerspricht aber die durch die Erfahrung im Betriebe festgestellte Tatsache, die auch durch die theoretische Überlegung begründet ist, dass eine Tonne Lokomotivgewicht den Oberbau stärker schädigt als eine Tonne Wagengewicht. In der Gleichung für K_{ou} ist deshalb in dem von $\sqrt[3]{V_B}$ abhängigen Glied statt

$$G = G_1 + G_w + G_p,$$

einzusetzen

$$G' = a \cdot G_1 + G_w + G_p.$$

Der Beiwert a ist vom Raddruck, den überschüssigen Fliehkräften der Gegengewichte, von dem nicht ausgeglichenen Gewicht der hin- und hergehenden Massen, von der GröÙe der überhängenden Massen und vom Grad der Kurvenbeweglichkeit abhängig.

Da in den Diba-Werten die stärkere Einwirkung des Lokomotivgewichtes im großen Durchschnitt schon mitenthalten ist, muß der Wert $\alpha = x \cdot \sqrt{R_{d1}}$ für eine Lokomotive mit mittel-guten Verhältnissen $= 1$ werden. R_{d1} ist hierin der Raddruck der Triebäder und x ein Wert, der durch die Bauart der Lokomotivgattung bedingt ist, und der für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Lokomotivgattung hinsichtlich der eigenen Abnutzung und jener der Schiene von wesentlicher Bedeutung ist.

Der Kostenanteil K_{ou} nach Ziffer 1. wird demnach bei einer zweigleisigen Hauptbahn

$$\text{Ib 1.) } K_{ou} = \frac{(1 + \epsilon) \cdot k_{tw} \cdot L}{365 \cdot V_B} \cdot \left[G \cdot \left(60 + \frac{n}{3} \right) + (a \cdot G_1 + G_w + G_p) \cdot 6 \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot \sqrt[3]{V_B} \right]$$

In gleicher Weise sind die Diba-Formeln für die ein-gleisige Hauptbahn und die Nebenbahn zu ergänzen.

Zu Anteil 2): Die Abnutzung der Schiene wird haupt-sächlich von der Größe der darüber rollenden Last (V_B), von der auf den Reibungswiderstand sich abstützenden Triebarbeit der Lokomotive (A_1) und von der Bremsarbeit (A_b) veranlaßt. Nach der Schienenstatistik des V.D.E.V. steht der Schienen-verschleiß auf schwach geneigten Strecken, in denen nicht gebremst wird, in einem bestimmten gesetzmäßigen Verhältnis zu der darüber gerollten Bruttolast. Es kann im Mittel für 1 Million Bruttotonnenlast 1 qmm Abnutzung im Querschnitt*) gerechnet werden. Die Abnutzung von 1 qmm entspricht bei der z. Zt. üblichen Schienenform für 1 km Gleis einem Ge-wichtsverlust von rund 7,9 kg. Die nach der Erfahrung hierzu für Krümmungen zu machenden Zuschläge sind aus dem Schau-bild Textabb. 1 zu entnehmen.

Die größere Abnutzung in Steigungen ist eine Folge der größeren Lokomotivtriebarbeit und Bremsarbeit und muß bei der vorliegenden Aufgabe nach der tatsächlich zu leistenden Arbeit A_1 und A_b berechnet werden, da auf Strecken mit un-günstigen Neigungsverhältnissen diese Arbeit ein Vielfaches jener auf schwach geneigten Strecken sein kann.

Bezeichnet

T_{wh} die für die Auswechslung von 1 km Gleis auf der Haupt-bahn notwendigen Tagewerke bezogen auf 1 kg abnütz-bares Gewicht,

T_{wn} jene für die Auswechslung auf der Nebenbahn**),

λ und μ das Verhältnis zwischen Materialwert (abzüglich Alt-materialwert, einschließlichs Zuschlag für Fracht) und Lohn für die Hauptbahn bzw. Nebenbahn,

k_{tw} den Lohn für ein Tagewerk einschließlichs Zuschlag für soziale Lasten und Abnutzung der Werkzeuge, so erwachsen für die Beförderung eines Wagenzuggewichtes von G_w Tonnen über die Strecke L für Erneuerung des Gleises bei einer Abnutzung von q_s Gramm für 1000 mkg

$$\text{Ib 2) } K_{on} = [T_{wh} \cdot (1 + \lambda) + T_{wn} \cdot (1 + \mu)] \cdot k_{tw} \cdot \left\{ \left(1 + \frac{\sum 1 \varrho \cdot f}{L} \right) \cdot \frac{L \cdot (a \cdot G_1 + G_p + G_w)}{1000000} \cdot 7,9 + \frac{q_s}{1000} \cdot \left[\frac{0,95 \cdot A_1 + A_b}{1000} - 4,0 \cdot L \cdot (G_1 + G_p + G_w) \right] \right\}$$

Es bedeutet hierin der Ausdruck $4,0 \cdot L \cdot (G_1 + G_p + G_w)$ den Wert der Zugkraftarbeit in 1000 mkg, der auf ebener gerader Strecke von L m für dieses Zuggewicht aufzuwenden wäre und der abgezogen werden muß, weil die durch ihn ver-anlafte Abnutzung in dem von der Statistik angegebenen Ab-nützungsbetrag schon enthalten ist.

*) Siehe Schienenstatistik des V.D.E.V. und Röllsche Enzy-klopädie des Eisenbahnwesens 1917, S. 317.

**) Z. Zt. werden in der Regel die Schienen der Hauptbahn nach einer bestimmten Abnutzung noch auf einer Nebenbahn weiter-verwendet.

Es sind sonach die Oberbaukosten

$$K_o = K_{ou} + K_z$$

Nach den Angaben der Fachliteratur (Enzyklopädie des Eisenbahnwesens von Röll 1917, S. 317) wächst der Schienen-verschleiß proportional zur Quadratwurzel des Raddruckes. Die Diba-Formeln und die Schienenstatistik des V.D.E.V. gelten für einen durchschnittlichen Wagenraddruck $R_{d_w} \sim 4$ t. Für anders zusammengesetzte Züge ist der Einfluß des Raddruckes dadurch zu berücksichtigen, daß G_w in der Gleichung für K_{on} mit einem Wert $\psi = \frac{\sqrt{R_{d_w}}}{2}$ vervielfältigt wird.

II. Zeitkosten K_z .

Für die Ermittlung des Einflusses der Fahrzeit auf die Zeitkosten muß ein möglichst unabhängiger Maßstab gewählt werden. Es werden deshalb der Vergleichsrechnung die Zahl der im Jahresdurchschnitt eines größeren Bahnnetzes geleisteten Dienststunden zugrunde gelegt, die sich bei Lokomotiven und Wagen nach Abzug aller Stillstandsstunden (außer Vor- und Nacharbeitszeit), beim Personal nach Abzug der Urlaubs- und Krankentage und sonstiger anrechnungsfähiger Ruhepausen ergibt.

Es bezeichnet

K_{al} , K_{aw} , K_{ap} , K_{abr} den Anschaffungspreis der Lokomotive, eines Wagens, des Packwagens, einer Luftbremseinrichtung, K_{uw} , K_{up} , die durchschnittlichen jährlichen Unterhaltungs- und Schmierkosten eines Wagens, Packwagens, K_{ubr} die Unterhaltungskosten einer Luftbremseinrichtung,

v_1 , v_w , v_p , v_{br} den Hundertsatz für die Verzinsung und Abschreibung des Anschaffungswertes der Lokomotive, der Wagen, des Packwagens, der Luftbremseinrichtung,

F_{stl} , F_{stw} , F_{stp} , F_{stlp} , F_{stzf} , F_{stsch} , F_{stbr} die zum Durchfahren der L km langen Strecke notwendige Fahrstundenzahl, einschließlichs der Zwischenaufhalte und der Zeit für Vor- und Nacharbeit für Lokomotive, Wagen, Packwagen, Lokomotivpersonal, Zugführer, Schaffner und Bremser,

D_{stl} , D_{stp} , D_{stlp} , D_{stzf} , D_{stsch} , D_{stbr} die im Jahresdurchschnitt auf die Lokomotivgattung, den Packwagen, das Lokomotivpersonal, den Zugführer, den Schaffner, den Bremser fallenden wirklichen Dienststunden,

E_{lp} , E_{zf} , E_{sch} , E_{br} das durchschnittliche Jahreseinkommen des Lokomotivpersonals, des Zugführers, des Schaffners, des Bremers einschließlichs Fahrgelder und Zuschlag für Wohlfahrtskosten,

g das Durchschnittsgewicht eines Wagens,

g_{br} das bei Hand- oder Luftbremsung abgebremste Gewicht eines Wagens,

b_r die notwendigen Bremsprozente,

k_{lft} die Kosten des Luftverbrauches für 1 km,

p das Verhältnis der jährlichen durchschnittlichen Ausbesserungsstunden eines Wagens zu der Zahl 8760 (= 365 · 24).

Da der auf das Tonnenkilometer treffende Anteil an den Kosten für die Instandsetzung der Lokomotive im Bahnbetriebswerk (Kosten der Löhne und Stoffe für Putzen, Ausdrehen, Bekohlen, Entschlacken, Kesselwaschen, Beleuchten, Feuer-mannsdienst, des Kohlenverbrauches für Anfeuern, Reservefeuer und Fahrt vom und zum Zug) überwiegend von der Größe der Lokomotive (ausgedrückt durch den Anschaffungspreis) und der in der Reisezeit F_{stl} zurückgelegten Kilometerzahl abhängt, kann der Geldwert dieses Kostenanteils (einschließlichs eines Zuschlages für die als Zeitkosten zu rechnenden Unterhaltungskosten) als Hundertsatz (= m) der Verzinsungs- und Abschreibungsquote eingesetzt werden. Der Hundertsatz m kann nach den örtlichen Verhältnissen einer jeden Lokomotivwechselstation aus dem Beschaffungswert der dort verwendeten Lokomotiven, aus dem Jahresdurchschnitt der von ihnen geleisteten wirklichen Dienststunden und aus den Kosten des

Dienstes im Bahnbetriebswerk (Löhne und Stoffe) ermittelt werden (Diba-Untersuchung).

Damit ergeben sich die Kosten für Lokomotivverzinsung und Unterhaltung $K_{v1} = (1 + 0,01 \cdot m) \cdot 0,01 \cdot K_{al} \cdot v_1 \cdot \frac{F_{stl}}{D_{stl}}$,
Wagenverzinsung und Unterhaltung

$$K_{vw} = [K_{uw} + 0,01 \cdot v_w \cdot K_{aw}] \cdot (1 + 0,3 \cdot p) \cdot \frac{G_w}{g} \cdot \frac{F_{stw}}{8760}$$

$$\text{Lokomotivpersonal } K_{lp} = E_{lp} \cdot \frac{F_{stlp}}{D_{stlp}}$$

$$\text{Zugführer } K_{zf} = E_{zf} \cdot \frac{F_{stzf}}{D_{stzf}}$$

$$\text{Schaffner } K_{sch} = E_{sch} \cdot \frac{F_{stsch}}{D_{stsch}}$$

$$\text{Bremsler } K_{br} = E_{br} \cdot \frac{F_{stbr}}{D_{stbr}}$$

Verzinsung und Unterhaltung der Luftbremse

$$K_{br} = \frac{0,01 \cdot br \cdot (G_w + G_p)}{g_{br}} \cdot (1 + 0,3 \cdot p) \cdot (0,01 \cdot v_{br} \cdot K_{abr} + K_{ubr}) \cdot \frac{F_{stw}}{8760} + L \cdot k_{lft}$$

Verzinsung und Unterhaltung des Packwagens

$$K_{vp} = [K_{up} + 0,01 \cdot v_p \cdot K_{ap}] \cdot \frac{F_{stp}}{D_{stp}}$$

Die Gleichungen für K_{vw} und K_{br} sind auf dem Grundsatz aufgebaut, daß von dem Gesamtbetrag der Verzinsungs-, Abschreibungs- und Unterhaltungskosten der Güterwagen der Beförderung nur jener Teil aufgelastet werden darf, der dem Zeitaufwand für die Beförderung entspricht und daß angenähert 30% der Unterhaltungskosten durch die Bewegung verursacht werden oder während der Fahrt entstehen.

Es sind also die Zeitkosten

$$II) \dots K_z = K_{v1} + K_{vw} + K_{lp} + K_{zf} + K_{sch} + K_{br} + K_{vp}$$

III. Feste Kosten K_c .

Der Anteil K_c würde für jede Strecke nach dem auf sie nach der täglichen durchschnittlichen Verkehrsbelastung V_n treffenden Anteil an den allgemeinen Unkosten des Eisenbahnbetriebes, sowie aus dem Aufwand für Stations-, Rangier- und Bahnbewachungspersonal, sowie für die Unterhaltung der Stationseinrichtungen und Anlagen, der Hochbauten und des Unterbaues der Strecke L zu berechnen sein. Es werden aber sowohl die Summe der K_c -Kosten für alle zu vergleichenden Strecken als auch die K_c -Kosten der einzelnen Strecken in der Regel und innerhalb gewisser Grenzen sich nicht ändern, wenn auf der einen oder anderen Strecke einige Tausend Tonnen mehr oder weniger gefahren werden. Bei der vorliegenden Aufgabe, bei der in erster Linie die Zugförderungskosten und der Einfluß von Verkehrsleitungen auf sie, nicht aber die gesamten Kosten des Eisenbahnbetriebes festzustellen sind, braucht man den Wert von K_c nur insoweit zu berücksichtigen, als durch die zu prüfende Maßnahme eine Mehrung oder Minderung der K_c -Kosten der zu vergleichenden Strecken veranlaßt wird.

Anhang zum 1. Teil.

Ermittlung der Größen B , W , A_1 , A_b , T , T_0 .

Nach den Erläuterungen im 1. Teil sind für die Kosten einer Zugfahrt außer den vorgeschriebenen Größen (wie Wagengewicht und Lokomotivgattung) und den aus der Statistik erhältlichen Festwerten noch die nachstehenden für jede Zugfahrt besonders zu ermittelnden Werte bestimmend:

Brennstoffverbrauch	B kg	Wasserverbrauch	W kg
Fahrzeit	T min	Fahrzeit ohne Dampf T_0 min	
Lokomotivarbeit	A_1 mkg	Bremsarbeit	A_b mkg

Diese Größen können mit weitgehender Genauigkeit in folgender Weise ermittelt werden:

Zunächst sind für die in Frage kommenden Lokomotivgattungen Leistungs- und Brennstoffverbrauchstafeln zu entwerfen.

Sind von einer Lokomotive Dampfdiagramme vorhanden, so lassen sich aus diesen die mittleren indizierten Dampfdrücke p_i kg/qcm und damit die indizierten Zylinderzugkräfte Z_i kg für verschiedene Füllungsgrade $\varepsilon\%$ und Fahrgeschwindigkeiten V km/st entnehmen ($Z_i = f[\varepsilon, V]$).

Fehlen Dampfdiagramme, so kann $Z_i = f(\varepsilon, V)$ nach Formeln von Hrabak oder von Strahl (Einfluß der Steuerung auf Leistung der Heißdampflokomotiven) bestimmt werden. Ebenso kann der Dampfverbrauch δ_0 kg/sec für eine bestimmte Dampftemperatur t_{δ_0} (z. B. $t_{\delta_0} = 300^\circ \text{C}$) für dieselben Werte von ε und V festgestellt werden, d. h. $\delta_0 = f(\varepsilon, V)$. Da mit Füllungsgraden unter $\varepsilon = 20\%$ nicht gefahren werden soll, sind einige Werte von Z_i und δ_0 für $\varepsilon = 20$ und verminderte Schieberkastendrücke p_s kg/qcm zu berechnen.

Aus $Z_i = f(\varepsilon, V)$ und $\delta_0 = f(\varepsilon, V)$ läßt sich eine Funktion $\delta_0 = f(Z_i, V)$ ableiten (Taf. 22, Abb. 1, Schaubild a). Bezeichnet z die von der Rostanstrengung und der Kesselanstrengung, also auch von δ_0 abhängige Verdampfungsgröße ($z = f[\delta_0]$), so läßt sich

mittels einer Kurve $\beta_0 = \frac{\delta_0}{z} = f(\delta_0)$ für jeden Wert δ_0 der zugehörige Brennstoffverbrauch β_0 kg/sec bestimmen (Schaubild b, Taf. 22, Abb. 1).

Um nun den Brennstoffverbrauch β kg/sec bei der wirklichen Dampftemperatur t_{β} zu erhalten, ist noch eine Berichtigung notwendig. Ist die Abhängigkeit der Dampftemperatur t_{β} von der Rostanstrengung für die vorliegende oder eine ähnliche Lokomotive aus Versuchen gegeben ($t_{\beta} = f(r) = f\left(\frac{\beta \cdot 3600}{R}\right)$,

so ist t_{β} für jeden Punkt der Kurve $\beta = f(\delta_0)$ bekannt. Da erfahrungsgemäß gegenüber einer Dampftemperatur $t_{\beta_0} = 300^\circ$ für je 5° höhere Überhitzung eine Dampfersparnis von 1% eintritt, so ist der tatsächliche Dampfverbrauch

$$\delta = \delta_0 \cdot \left(1 + \frac{300 - t_{\beta}}{500}\right) \text{ und}$$

$$\beta = \frac{\delta}{z} = \frac{\delta_0 \cdot \left(1 + \frac{300 - t_{\beta}}{500}\right)}{z} = f(\delta_0)$$

Durch Wiederholung dieser Rechnung kann die Genauigkeit beliebig erhöht werden.

Legt man Schaubild a ($\delta_0 = f[Z_i, V]$) und Schaubild b ($\beta = f[\delta_0]$) zusammen, so erhält man das Schaubild der Abb. 2, Taf. 22: $\beta = f(Z_i, V)$.*

Für die Fahrt in der Beharrung müßte $Z_i = W = W_1 + W_w + (G_1 + G_p + G_w) \cdot i$ (wobei W den Gesamtwiderstand des Zuges bedeutet) für jede Neigung, jedes Wagengewicht und jede Geschwindigkeit neu berechnet werden. Um Wiederholungen dieser Berechnungen zu ersparen, wurde $Z_i = f(i, V)$ für mehrere bestimmte Wagenzuggewichte G_w berechnet und mit Hilfe von Schaubild Taf. 22, Abb. 2 ($\beta = f[Z_i, V]$) ein Schaubild Taf. 22, Abb. 3 u. 4, $\beta = f(i, V)$ und $Z_i = f(i, V)$ entworfen.

Die Fahrzeit und der Kohlenverbrauch für Streckenabschnitte, in denen eine Beschleunigung oder Verzögerung eintritt, kann in nachstehender Weise berechnet werden.

In Taf. 22, Abb. 2, ist die Grenze der noch wirtschaftlichen Rostanstrengung oder Kesselleistung durch die besonders gekennzeichnete Gerade angegeben. Es kann natürlich, wenn es

*) Diese Tafeln waren schon im Gebrauch, als durch den im Januar 1925 (Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1925, Seite 1) veröffentlichten Aufsatz des Oberbauingenieurs Dr. Nufsbaum bekannt wurde, daß auch bei den Österreichischen Bundesbahnen ähnliche Schaubilder für Dampflokomotiven verwendet werden.

wünschenswert erscheint, für die Berechnung der Fahrzeit auch eine beliebig kleinere Kesselleistung gewählt werden. Bezeichnet Z_{im} den Mittelwert der durch den Schnitt der Kohlenverbrauchskurven für die Geschwindigkeiten V_1 und V_2 mit der der gewählten Kesselanstrengung entsprechenden Lotrechten gegebenen Z_i -Werte für V_1 und V_2 , W_{1m} den Laufwiderstand der Lokomotive auf gerader ebener Strecke für die Geschwindigkeit $\frac{V_1 + V_2}{2}$, ferner W_{wm} jenen des Wagenzuges, so ist

$$\frac{Z_{im} - W_{1m} - W_{wm}}{G_1 + G_w + G_p} + i = + P_m$$

die in dieser Geschwindigkeitsstufe auf der Neigung i wirksame beschleunigende oder verzögernde Kraft in kg/t. Es läßt sich nachweisen, daß für Beschleunigung oder Verzögerung bei entsprechender Wahl der Geschwindigkeitsstufen die Fahrzeit und die darin zurückgelegten Wege mit den Annäherungsformeln

$$t = \frac{31 (V_2 - V_1)}{P_m} \quad \text{und} \quad l = \frac{4,2 (V_2^2 - V_1^2)}{P_m}$$

nahezu theoretisch genau berechnet werden können. $\beta \cdot t$ ist dann der Brennstoffverbrauch, $Z_{im} \cdot l$ die Lokomotivarbeit, t die Fahrzeit auf dem Streckenabschnitt l . In derselben Weise sind die übrigen Geschwindigkeitsstufen zu behandeln.

Für die Fahrt mit gleichbleibender Geschwindigkeit V in dem Abschnitt l mit dem Streckenwiderstand i läßt sich $+Z_i$ und β für das betrachtete Wagenzuggewicht G_w aus Taf. 22, Abb. 3 u. 4 direkt entnehmen.

Es ist $t = \frac{3,6 \cdot l}{V}$ sec, $b = \beta \cdot t$, Lokomotivarbeit = $+Z_i \cdot l$,

Bremsarbeit = $-Z_i \cdot l$.

Schließlich ist für die ganze Strecke $L = \sum l$, $B = \sum \beta \cdot t$, $T = \sum t$, $A_1 = \sum (+Z_i \cdot l)$, $A_b = \sum (-Z_i \cdot l)$.

Der Wasserverbrauch W könnte auf die gleiche Weise wie B bestimmt werden, es genügt jedoch bei seinem geringen Einfluß auf die Kosten ihn zu $B \cdot z_m$ anzunehmen, wobei z_m eine mittlere Verdampfungsziffer ist.

Die Fahrzeit ohne Dampf ist durch Zusammenzählen der Werte t für diejenigen Abschnitte l zu erhalten, auf welchen $\beta = 0$ ist.

Liegt eine Fahrzeitenberechnung bereits vor, so läßt sich Z_i für Geschwindigkeitsänderungen mit den Formeln für l und t rückwärts bestimmen und dafür β aus Taf. 22, Abb. 2 ablesen. Auf der Fahrt in der Beharrung kann wie bisher die Abb. 3 u. 4, Taf. 22 verwendet werden.

Diese genaue Berechnung ist notwendig, weil der Verbrauch an Kohle für die zu der Zugfahrt notwendigen Arbeitsleistung A_1 nicht nur von der Bauart der Lokomotive sondern ganz wesentlich auch davon abhängt, ob und inwieweit bei der Zusammensetzung der Strecke und dem dadurch bedingten Spiel der Kräfte die für die Leistung erforderlichen Zugkräfte in die günstigeren Arbeitsgebiete der Lokomotive fallen.

2. Teil.

Streckenwertziffern.

Aus den Erläuterungen im 1. Teil ist ersichtlich, daß die K_o -Kosten wesentlich von der Verkehrsbelastung V_B abhängen. Wenn also die Wertigkeit der Strecken nur hinsichtlich der durch ihre Streckenverhältnisse beeinflussten Kosten ohne Rücksicht auf ihre augenblickliche Verkehrsbelastung verglichen werden sollen, so sind deren K_o -Werte für den gleichen V_B -Wert zu berechnen.

Unter diesen Voraussetzungen kann die Länge der geraden ebenen Strecke (= L_v in Kilometern), auf der die Beförderung

des Wagenzuggewichtes G_w die gleichen Zugförderungskosten verursacht wie über die Strecke L , aus der Gleichung

$$L_v = 100 \cdot \frac{K}{K_v}$$

ermittelt werden. Hierbei sind K_v die Kosten für die Beförderung einer täglichen Verkehrsbelastung von V_B Tonnen auf einer 100 km langen ebenen geraden Strecke, K die Kosten für die Beförderung der gleichen Verkehrsbelastung auf der L km langen Vergleichsstrecke. In beiden Fällen sind Zugseinheit und Lokomotivgattung sowie zulässige Höchstgeschwindigkeit so zu wählen, daß K_v und K Mindestwerte werden. K_v und K sind nach den Formeln des 1. Teiles zu berechnen.

Der Wert L_v stellt dann die »virtuelle Länge« der Strecke L dar. Er ermöglicht einen raschen Vergleich der Wertigkeit der Strecken hinsichtlich der reinen Beförderungskosten unter der Voraussetzung, daß das Wagenzuggewicht, die verfügbare Lokomotivgattung und die augenblickliche Verkehrsbelastung den Grundlagen entspricht, die für die Berechnung des Wertes K gewählt sind.

Die einmal zu berechnenden L_v -Werte für die Strecken eines Netzes ermöglichen, in einer Karte neben den Strecken angeschrieben, eine rasche Beurteilung der Wertigkeit eines Leitungsweges, die man durch Zusammenzählen der einzelnen L_v -Werte dieses Leitungsweges erhält. In dieser Karte werden auch zweckmäßig die bei den einzelnen Verschiebebahnhöfen anfallenden mittels Teilung mit $0,01 \cdot K_v$ in virtuelle Längen umgewandelten Kosten, soweit sie der Durchleitungsverkehr verursacht, anzuschreiben sein, so daß auch deren Summe ($\sum L_{vr}$) für den Leitungsweg gebildet werden kann.

Werden zwei Leitungswege von der virtuellen Länge $\sum L_{v1}$ und $\sum L_{v2}$ mit einander verglichen, so ist $\sum L_{v2}$ der billigere Weg, wenn $(\sum L_{v2} + \sum L_{vr2}) < (\sum L_{v1} + \sum L_{vr1})$ ist.

3. Teil.

Beförderungskostentafeln.

Für genauere wirtschaftliche Untersuchungen sind, wie bereits gesagt, die in der Verkehrskarte angegebenen virtuellen Längen nur dann geeignet, wenn die angegebenen Voraussetzungen erfüllt sind. Ist dies nicht der Fall, so müssen für die Untersuchung Beförderungskostentafeln verwendet werden, aus denen für eine bestimmte Strecke und Lokomotivgattung die Kosten einer Zugfahrt für jedes beliebige Wagenzuggewicht und jede beliebige Fahrzeit und Verkehrsbelastung abgelesen werden können. Aufbau und Anwendung dieser Tafeln ist in folgendem Beispiel erläutert. Sind sie in zeichnerischer oder tabellarischer Form für alle Strecken und alle in Betracht kommenden Lokomotivgattungen einmal hergestellt, so ist auch für eine derartige streng wissenschaftliche Durchführung von wirtschaftlichen Untersuchungen auf dem Gebiete der Zugförderung oder Verkehrsleitung, gleichviel welcher Art, ebenfalls nur das Ablesen und Zusammenzählen der Einzelwerte erforderlich, eine Arbeit, die von jedem Betriebs- und Verkehrsbeamten leicht erlernt und rasch durchgeführt werden kann.

Beispiel.

Aufstellung von Beförderungskostentafeln für die Strecke München-Laim — Augsburg — Treuchtlingen ($L=137$ km) bei Verwendung der Lokomotivgattung G 12.

Die nach den Formeln im Anhang zum 1. Teil für zwei bis drei Wagenzuggewichte und drei Höchstgeschwindigkeiten berechneten von den Streckenverhältnissen und der Fahrzeit abhängigen Werte sind in nachstehender Übersicht 1 zusammengestellt:

Übersicht 1.

Höchstgeschwindigkeit	30				40		50			
	0	500	1000	1300	500	1300	0	500	1000	1300
Wagenzuggewicht										
Fahrzeit ohne Aufenthalte T Min.	280				228		187			
Mittlere Fahrgeschwindigkeit $V = \frac{60 \cdot L}{T}$	29,2				36		44			
Fahrt ohne Dampf T_0 Min.	26	43	65,5	74	35	55	10	27	33	31
Fahrt unter Dampf $(T-T_0)$ Min.	254	237	214,5	206	193	173	177	160	154	156
Kohlenverbrauch B kg	1530	1870	2240	2520	1920	2650	1550	1990	2460	2860
Wasserverbrauch W cbm	10,7	13,1	15,6	17,6	13,4	18,5	10,8	13,9	17,2	20,0
Lokomotivarbeit A_1 10 ⁶ mkg	120	298	452	456	325	590	138	355	538	644
Bremsarbeit A_b 10 ⁶ mkg	1,7	35	72	99	32	87	1,8	29	55	80

1. K_1 - Kosten.

Nach Gleichung I a) ist:

$$K_1 = K_b + K_{wa} + K_{bl} + K_{ku} + K_{tu} + K_{ru}$$

$$= [1,05 \cdot B + 0,6 \cdot R \cdot (T_0 + T_{st})] \cdot k_b + 1,05 \cdot W \cdot k_w + L \cdot k_{bl} + \frac{63 \cdot B^2 \cdot H_k \cdot k_{hk}}{1000 \cdot R \cdot (T - T_0) \cdot r_o} +$$

$$+ \left[1 - 0,01 \cdot e \cdot \left(1 - \frac{A_1}{(T - T_0) \cdot \Sigma a_1} \right) \right] \cdot \frac{H_t \cdot k_{ht}}{1000} + \frac{G \cdot L}{T_{km}} \cdot Q_r \cdot k_r + \frac{0,95 \cdot A_1 \cdot q_t \cdot k_t}{1000} + \frac{A_l}{1000} \cdot (q_r \cdot k_r + q_{br} \cdot k_{br}).$$

Der Kostenanteil $0,6 \cdot R \cdot T_{st} \cdot k_b$ für die Kosten des Brennstoffverbrauchs während des Stationsaufenthaltes wird zweckmäßiger in die Zeitkosten mit eingerechnet.

Es wurde eingesetzt für:

$$R = 3,9 \text{ qm} \quad k_{bl} = 0,004 \text{ M/km}$$

$$k_b = 0,027 \text{ M/kg} \quad e = 70 \%$$

$$k_w = 0,1 \text{ M/t}$$

Die Erfahrungswerte $H_k, k_{hk}, r_o, H_t, k_{ht}, \Sigma a_1$ wurden aus vorliegenden statistischen Unterlagen der Vorkriegszeit, wobei bei den Geldwerten die Teuerung berücksichtigt wurde, angenähert ermittelt zu:

$$H_k = 5 \text{ M/1000 kg} \quad H_t = 40 \text{ St/1000 km}$$

$$k_{hk} = 1,1 \quad k_{ht} = 1,3$$

$$r_o = 300 \quad \Sigma a_1 = 3000000.$$

Aus einer in einer bayerischen Räderwerkstatt geführten Statistik wurde festgestellt, daß ein ungebremstes Rad nach $T_{km} \sim 2000000$ tkm durchschnittlicher Leistung mit einem Kostenaufwand von 115 M für Wagenräder und 175 M für Triebräder (einschließlich 200 % Zuschlag) neu bereift werden mußte. Die Kosten für viermaliges Abdrehen sind hierin enthalten. Die gesamte Gewichtsverminderung eines Radreifens betrug im Durchschnitt $Q_r = 145000$ g. Es ist also:

$$Q_r = 145000 \text{ g} \quad k_t = \frac{175}{145000} = 0,0012 \text{ M/g}$$

$$k_r = \frac{115}{145000} = 0,0008 \text{ M/g} \quad T_{km} = 2000000 \text{ tkm.}$$

An der Purdue - Universität (Amerikan. Eng. Juli 1907) ist durch Versuche festgestellt worden, daß der Verschleiß der Bremsklötze unter sonst gleichen Voraussetzungen in einem bestimmten Verhältnis zu der vom Klotz übertragenen Bremsarbeit steht. Es ergab sich z. B. bei Radreifen aus Flußstahl, einer Umfangsgeschwindigkeit von 32 km/st und einem Bremsklotzdruck von 1264 kg die Gewichtsabnahme eines Bremsklotzes aus weichem Gußeisen zu 0,045 Gramm für je 1000 mkg, hartem Gußeisen zu 0,0145 Gramm für je 1000 mkg.

Ebenso muß die Gewichtsabnahme der Radreifen (und der Schiene) in einem bestimmten seiner Größe nach vom Verschleißwiderstand und Reibungswert des Materiales abhängigen Verhältnis zur übertragenen Reibungsarbeit stehen, weil auf Rad (und Schiene) die Reibungskräfte in gleicher Weise wie auf den Bremsklotz einwirken.

Es kann also eingesetzt werden:

$$q_r = 0,01 \text{ g/1000 mkg} \text{ bei Wagenradreifen aus Flußstahl mit } 50 \text{ bis } 60 \text{ kg Festigkeit,}$$

$$q_t = 0,005 \text{ g/1000 mkg} \text{ bei Triebradreifen aus Tiegelfußstahl mit } 70 \text{ bis } 80 \text{ kg Festigkeit,}$$

$$= (q_s)$$

$$q_{br} = 0,015 \text{ g/1000 mkg} \text{ für Bremsklötze aus Gußeisen der z. Zt. üblichen Härte.}$$

Das abnutzbare Gewicht eines Bremsklotzes kann im Durchschnitt mit 5,5 kg angenommen werden, die Kosten eines Bremsklotzes (einschließlich 100 % Zuschlag) betragen im Durchschnitt 2,2 M, also

$$k_{br} = 2,2 : 5500 = 0,0004 \text{ M/g.}$$

Die hiernach sich ergebenden Kostenanteile für K_1 sind in folgender Übersicht 2 zusammengestellt.

Mit diesen Werten wurde das Schaubild der Textabb. 2 aufgezeichnet.

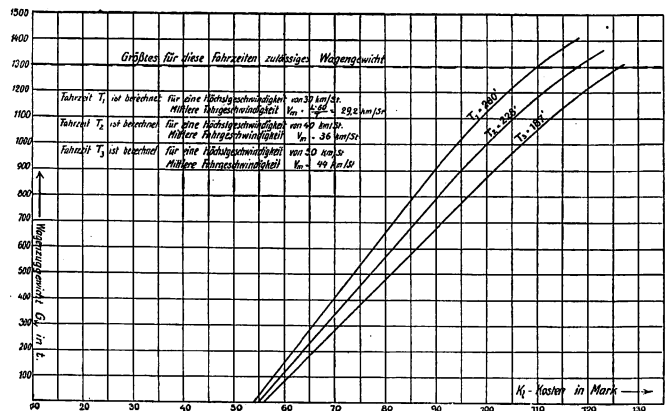


Abb. 2.

2. K_o - Kosten.

a) Nach Gleichung I b 1) ist:

$$K_{ou} = \frac{(1 + \epsilon) \cdot k_{tw}}{365 \cdot V_B} \cdot \left[G \cdot \left(60 + \frac{n}{3} \right) + (a \cdot G_1 + G_w + G_p) \cdot 6 \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot \sqrt[3]{V_B} \right]$$

wobei $\varphi = c_1 + c_2 \cdot V^2$.

Übersicht 2.

Höchstgeschwindigkeit	30				40		50				
	0	500	1000	1300	500	1300	0	500	1000	1300	
Wagenzuggewicht											
Brennstoffkosten $(1,05 \cdot B + 0,6 \cdot R \cdot T_0) \cdot k_b$	44,8	55,5	67,5	76	56,5	78,5	44,5	58	71,8	83	
Wasserkosten $1,05 \cdot W \cdot k_w$	1,1	1,4	1,65	1,85	1,4	1,9	1,1	1,45	1,8	2,1	
Kesselunterhaltung $K_{ku} = \frac{63 \cdot B^2 \cdot H_k \cdot kh_k}{1000 \cdot R \cdot (T - T_0) \cdot r_0}$	2,7	4,4	6,95	9,15	5,8	12,4	4,0	7,35	11,6	16	
Triebwerksunterhaltung $K_{tu} = \left(0,3 + 0,7 \cdot \frac{A_1}{(T - T_0) \cdot \Sigma a_1}\right) \cdot \frac{H_t \cdot kt \cdot L}{1000}$	2,9	4,2	5,6	6,5	5,0	8,0	3,4	5,8	7,9	8,9	
Radreifen- und Bremsklotzabnutzung $K_{ru} = \frac{G \cdot L}{T_{km}} \cdot Q_r \cdot k_r$	1,2	5,2	9,2	11,5	5,2	11,5	1,2	5,2	9,2	11,5	
+ $\frac{0,95 \cdot A_1 \cdot qt \cdot kt}{1000}$	0,7	1,7	2,6	3,1	1,9	3,35	0,8	2,0	3,2	3,65	
+ $\frac{A_1}{1000} \cdot (q_r \cdot k_r + q_{br} \cdot k_{br})$	0,02	0,5	1,0	1,4	0,45	1,2	0,02	0,4	0,8	1,0	
Ölkosten = $L \cdot k_{ol}$	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	
K_1 in Mark	54	73,45	94,05	110,05	76,8	117,45	55,6	80,75	106,85	126,65	

Diese Gleichung läßt sich in die für die bildliche Darstellung geeignete Form bringen:

$$K_{ou} = C \cdot \left[\frac{G \cdot 60}{V_B} + \frac{(a \cdot G_1 + G_p + G_w) \cdot 6 \cdot c_1 \cdot \gamma}{\sqrt[3]{V_B^2}} \right] + C \cdot \frac{G \cdot n}{3 \cdot V_B} + C \cdot \frac{(a \cdot G_1 + G_p + G_w) \cdot 6 \cdot c_2 \cdot V^2 \cdot \gamma}{\sqrt{V_B^2}}$$

Hierbei ist $C = \frac{(1 + \epsilon) \cdot k_{tw} \cdot L}{365}$

Für einen Güterzug mittlerer Zusammensetzung ist $c_1 = 0,83$ zu setzen. Nach einer überschlägigen Berechnung bestimmt sich die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit, für die der Beiwert $\varphi = 1$ werden muß, zu 42 km/st, also $c_1 + c_2 \cdot 42^2 = 1$

$$0,83 + c_2 \cdot 42^2 = 1, \quad c_2 = \frac{0,17}{42^2} \approx \frac{1}{10000}$$

Hiermit wird $\varphi = 0,83 + \frac{V^2}{10000}$, worin $V = \frac{60 \cdot L}{T}$ einzusetzen ist.

$$C = \frac{\epsilon \cdot k_{tw} \cdot L}{365} = \frac{(1 + 0,9) \cdot 4,4 \cdot 137}{365} = 3,14$$

$f = 0,07$ (festgestellt mit Hilfe von Textabb. 1).

$$\Sigma lq = 20 \text{ km}, \quad \gamma = \left(1 + \frac{20}{137} \cdot 0,07\right) = 1,01$$

Für den Faktor α ist, da die G 12-Lokomotive die für die Diba-Werte giltigen Laufeigenschaften besitzt, nur der Einfluß des hohen Triebdrucks in Rechnung zu setzen. Da der mittlere Triebdruck aller Lokomotiven bei 7 t liegt, muß für eine Lokomotive normaler Laufeigenschaften $\alpha = x \cdot \sqrt{7} = 1$ werden, demnach $x = \frac{1}{\sqrt{7}} = 0,38$.

Für die G 12-Lokomotive mit einem Triebdruck von 8,4 t wird $\alpha = 0,38 \cdot \sqrt{8,4} = 1,1$.

$$G = G_1 + G_p + G_w = 140 + 10 + G_w$$

$$K_{ou1} = 3,14 \cdot \frac{G \cdot 60}{V_B} + 3,14 \cdot \frac{(1,1 \cdot G_1 + G_p + G_w) \cdot 6 \cdot 0,83 \cdot 1,01}{\sqrt[3]{V_B^2}} = \frac{28200 + 188 \cdot G_w}{V_B} + \frac{2600 + 15,7 \cdot G_w}{\sqrt[3]{V_B^2}}$$

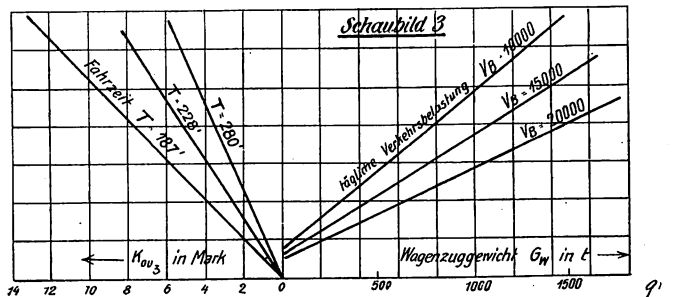
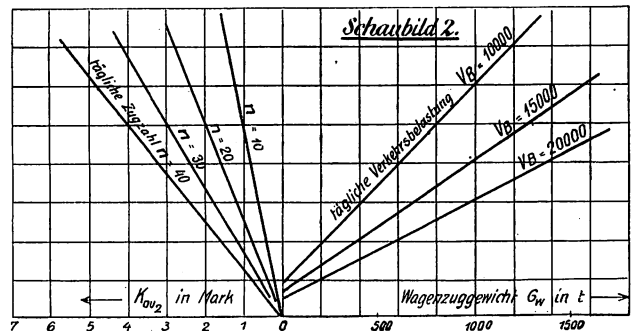
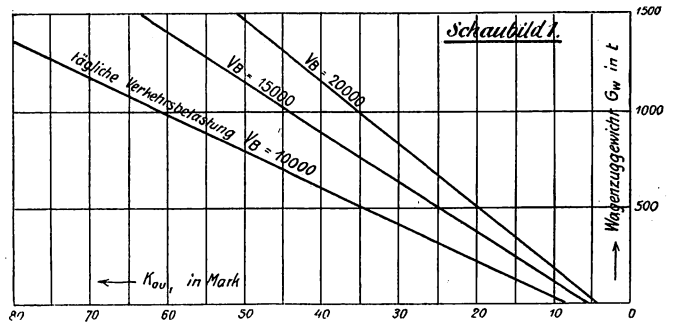


Abb. 3.

Diese Gleichung ist in Schaubild 1, Textabb. 3 dargestellt.

$$K_{ou2} = 3,14 \cdot \frac{G \cdot n}{3 \cdot V_B} = \frac{(157 + G_w) \cdot n}{V_B}$$

Schaubild 2 Textabb. 3.

$$K_{ou3} = 3,14 \cdot \frac{(1,1 \cdot G_1 + G_p + G_w) \cdot 6 \cdot 10000 \cdot 1,01}{\sqrt[3]{V_B^2}} = \frac{3140 + 19 \cdot G_w \cdot V^2}{\sqrt[3]{V_B^2} \cdot 10000}$$

Schaubild 3 Textabb. 3.

b) K_{on} .

Beträgt das abnutzbare Gewicht 3,7 t für 1 km Gleis auf der Hauptbahn und erfordert die Erneuerung von 1 km Gleis und Bettung 2835 Tagewerke, so wird $T_{wn} = \frac{2835}{3,7 \cdot 1000} = 0,766$.

Sind die Kosten für die Erneuerung von 1 km Gleis und Bettung 43 865 \mathcal{M} , der Altstoffwert 15 290 \mathcal{M} und ist der Geldwert der aufgewendeten Tagewerke = 2835 \cdot 4,4 = 12 400 \mathcal{M} , so wird $\lambda = \frac{43\,865 - 15\,290}{12\,400} = 2,3$.

Für Nebenbahnen ergeben sich in derselben Weise die Werte $T_{wn} = 0,722$ $q_s = 0,005$ g/1000 mkg $\mu = 3,3$.

Nach Gleichung Ib 2) wird

$$K_{on} = [0,766 \cdot (1 + 2,3) + 0,722 \cdot (1 + 3,3)] \cdot 4,4 \cdot \left\{ 1,01 \cdot \frac{137 \cdot (165 + G_w)}{1\,000\,000} \cdot 7,9 + \frac{0,005}{1000} \cdot \left[\frac{0,95 \cdot A_1 + A_b}{1000} - 4,0 \cdot 137 \cdot (150 + G_w) \right] \right\} = 0,124 \cdot \frac{0,95 \cdot A_1 + A_b}{1\,000\,000} - 38,8 \cdot \frac{G_w}{1000} - 6,0$$

Setzt man für A_1 und A_b die entsprechenden Werte aus der Zusammenstellung ein, so läßt sich das Schaubild Textabb. 4 aufstellen.

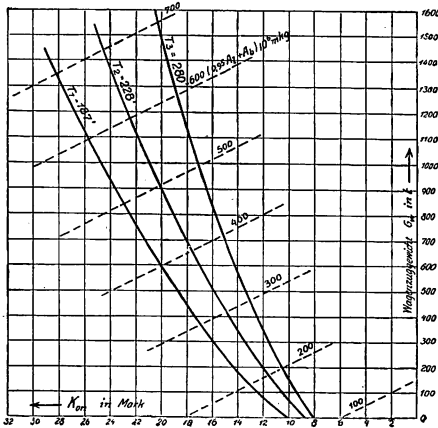


Abb. 4.

3. K_z -Kosten.

Lokomotive:

$$K_{v1} = (1 + 0,01 \cdot m) \cdot 0,01 \cdot v_1 \cdot K_{al} \cdot \frac{F_{stl}}{D_{stl}}$$

$$K_{al} = 160\,000 \mathcal{M}, \quad v_1 = 10\% / \text{h}$$

$$F_{stl} = \frac{\text{Fahrzeit} + \text{Vor- und Nacharbeit} + \text{Stationsaufenthalt}}{60}$$

$$= \frac{T + 185 + T_{st}}{60} \text{ Stunden.}$$

$$K_z = 35 + 0,19 \cdot T + (2,8 + 0,07 \cdot T) \cdot \frac{G_w}{1000} + (1,06 + 0,02 \cdot T) \cdot \frac{b_r}{100} \cdot \frac{G_w + 10}{1000} + \left(0,19 + 0,07 \cdot \frac{G_w}{1000} + 0,027 \cdot \frac{b_r}{100} \cdot \frac{G_w + 10}{1000} + 0,063 \right) \cdot T_{st}$$

$D_{stl} = 4800$ Stunden $m = 50\%$.

$$K_{v1} = \frac{(1 + 0,01 \cdot 50) \cdot 10 \cdot 160\,000}{4800 \cdot 60 \cdot 100} \cdot (T + 185 + T_{st}) = 15,4 + 0,083 \cdot (T + T_{st})$$

Personal:

$$K_{1p} = E_{1p} \cdot \frac{F_{stlp}}{D_{stlp}} \quad K_{zf} = E_{zf} \cdot \frac{F_{stzf}}{D_{stzf}} \quad K_{sch} = E_{sch} \cdot \frac{F_{stsch}}{D_{stsch}}$$

$$E_{1p} = 7600 \mathcal{M}, \quad E_{zf} = 3700 \mathcal{M}, \quad E_{sch} = 3000 \mathcal{M}$$

$$D_{stlp} = D_{stzf} = D_{stsch} = 2300 \text{ Stunden.}$$

$$K_{1p} + K_{zf} + K_{sch} = \frac{7600 + 3700 + 3000}{2300 \cdot 60} \cdot (T + 185 + T_{st}) = 19,2 + 0,104 \cdot (T + T_{st})$$

Bremse (luftgebremster Zug)

$$K_{br} = \frac{0,01 \cdot b_r \cdot (G_w + G_p)}{g_{br}} \cdot (1 + 0,3 \cdot p) \cdot (0,01 \cdot v_{br} \cdot K_{abr} + K_{ubr})$$

$$\cdot \frac{F_{stw}}{8760} + L \cdot K_{lft}$$

$$g_{br} = 14 \text{ t}$$

$$v_{br} = 10\%$$

$$p = 0,2$$

$$k_{lft} = 0,0015 \mathcal{M}/\text{km}$$

$$K_{ubr} = 58 \mathcal{M}$$

$$F_{tsw} = \frac{T + 40 + T_{st}}{60} \text{ Stunden.}$$

$$K_{abr} = 1250 \mathcal{M}$$

$$K_{br} = \frac{0,01 \cdot b_r \cdot (G_w + G_p) \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,2) \cdot (T + T_{st} + 40)}{14} + \frac{0,01 \cdot 10 \cdot 1250 + 58}{8760} + 137 \cdot 0,0015 = [1,06 + 0,0266 \cdot (T + T_{st})] \cdot \frac{b_r}{100} \cdot \frac{G_w + G_p}{1000} + 0,2$$

b_r ist durch die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit festgelegt. Wagen.

$$K_{vw} = [K_{uw} + 0,01 \cdot v_w \cdot K_{aw}] \cdot (1 + 0,3 \cdot p) \cdot \frac{G_w}{g} \cdot \frac{F_{stw}}{8760}$$

$$K_{uw} = 200 \mathcal{M}$$

$$K_{aw} = 3500 \mathcal{M}$$

$$v_w = 10\%$$

$$g = 16 \text{ t}$$

$$K_{vw} = \frac{(200 + 0,01 \cdot 10 \cdot 3500) \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,2) \cdot G_w \cdot (T + T_{st} + 40)}{16 \cdot 8760 \cdot 60} = [2,8 + 0,07 \cdot (T + T_{st})] \cdot \frac{G_w}{1000}$$

Packwagen.

$$K_{vp} = [K_{up} + 0,01 \cdot v_p \cdot K_{ap}] \cdot \frac{F_{stp}}{D_{stp}}$$

$$K_{up} = 200 \mathcal{M}$$

$$F_{stp} = F_{stw}$$

$$v_p = 10\%$$

$$D_{stp} = 4300$$

$$K_{ap} = 4400 \mathcal{M}$$

$$K_{vp} = [200 + 0,01 \cdot 10 \cdot 4400] \cdot \frac{(T + T_{st} + 40)}{4300} = 0,1 + 0,0025 \cdot (T + T_{st})$$

Das zu K_1 gehörige hier mitbehandelte Glied $0,6 \cdot R \cdot T_{st} \cdot k_b$ beträgt $0,6 \cdot 3,9 \cdot 0,027 \cdot T_{st} = 0,063 \cdot T_{st}$.

Zieht man die Gleichungen der einzelnen Kostenanteile zusammen, so erhält man:

Diese Gleichung wurde in Schaubild Textabb. 5 bildlich dargestellt. Hierbei wurde in der Gleichung für K_{z2} für b_r wegen des sehr geringen Einflusses dieser GröÙe ein Mittelwert eingesetzt.

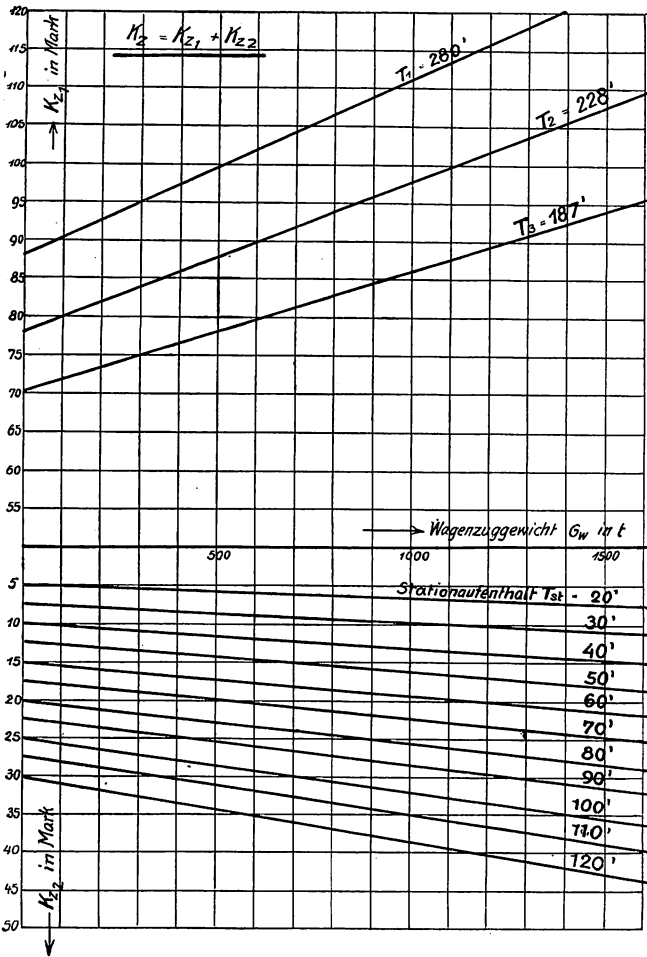


Abb. 5.

Die Beförderungskostentafeln nach Muster Textabb. 2 u. 4 werden auf der Grundlage des Laufwiderstandes

$$w = 2 + \frac{V^2}{2000}$$

eines Wagenzuges gemischter Zusammensetzung mit einem durchschnittlichen Gewicht eines Wagens von rund 16 t berechnet.

Die gleichen Tafeln können aber auch für Züge besonderer Zusammensetzung, deren Laufwiderstand einer beliebigen anderen Widerstandsformel ($c_1 + c_2 \cdot V^2$) entspricht, verwendet werden, wenn das Gewicht ($= G_{wb}$) dieses Zuges besonderer Zusammensetzung in das Gewicht eines Zuges gemischter Zusammensetzung umgerechnet wird, der den gleichen Laufwiderstand hat. Es muß also sein:

$$G_w \cdot \left(2 + \frac{V^2}{2000} + i_m \right) = G_{wb} \cdot (c_1 + c_2 \cdot V^2 + i_m).$$

$i_m \cdot L$ ist die außer der Laufwiderstandsarbeit für je eine Tonne Zuggewicht aufzuwendende Lokomotivarbeit. Aus den Ergebnissen der Streckendurchrechnung ergibt sich:

$$i_m = \frac{A_1}{L \cdot (G_1 + G_p + G_w)} - \frac{W_1 + W_p + W_w}{G_1 + G_p + G_w}.$$

Die Laufwiderstandssumme ($W_1 + W_p + W_w$) ist für die nach der Durchrechnung erhaltenen Fahrgeschwindigkeit V zu bestimmen.

Aus vorstehender Gleichung ergibt sich:

$$G_w = G_{wb} \cdot \frac{c_1 + c_2 \cdot V^2 + i_m}{2 + \frac{V^2}{2000} + i_m} = c_b \cdot G_{wb}.$$

Es wird z. B. bei $i_m = 0$

für einen Leerwagenzug ($w = 2 + \frac{V^2}{1000}$),

für $V = 40$ und $G_{wb} = 1200$: $G_w = 1,29 \cdot 1200 = 1548$ t,

für einen vollbeladenen Kohlenwagenzug ($w = 2 + \frac{V^2}{4000}$),

für $V = 40$ und $G_{wb} = 1200$: $G_w = 0,86 \cdot 1200 = 1030$ t, d. h. die Beförderungskosten des Leerwagenzuges $G_{wb} = 1200$ t sind aus den Schaulinien für $G_w = 1548$ t und die des Kohlenwagenzuges $G_{wb} = 1200$ t aus den Schaulinie für $G_w = 1030$ t abzulesen.

Diese Vergleichswerte können aus Schaubildern nach Textabb. 6 abgelesen werden.

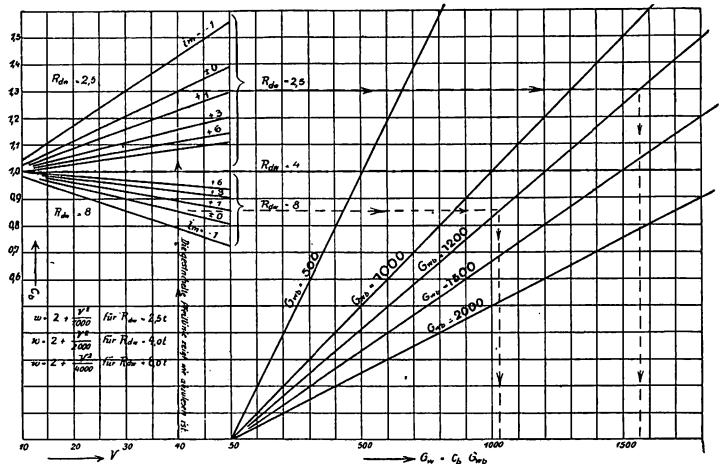


Abb. 6.

Anwendung der Beförderungskostentafeln für die Berechnung der virtuellen Länge.

Für die Beförderung einer Verkehrslast von 1300 t erwachsen bei einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/Std. auf der 100 km langen ebenen geraden Strecke Mindestbeförderungskosten von $K_v = 1950$ M (die Berechnung wurde nach dem gleichen Verfahren für ausgelastete Heißdampf-Zwillingslokomotiven der bayerischen Gattung G 3/4 durchgeführt).

Die Beförderung der gleichen Verkehrslast mit derselben Höchstgeschwindigkeit erfordert auf der 137 km langen Strecke München—Laim—Augsburg—Treuchtlingen nach den Textabb. 2, 3, 4, 5 unter Verwendung von Lokomotiven der Gattung G 12 ein $K = 3097$ M.

Die virtuelle Länge dieser Strecke ist demnach

$$L_v = 100 \cdot \frac{3097}{1950} = 159 \text{ km.}$$

Die Mehrkosten für etwaige Halte in Zwischenstationen können durch Zuschläge berücksichtigt werden.

Es bezeichnet

- l_b die Bremsstrecke in Metern,
- l_a die Anfahrstrecke in Metern, bis zu dem Punkte der Strecke, wo die Geschwindigkeit des durchfahrenden Zuges wieder erreicht wird,
- t_a und t_b die zugehörigen Fahrzeiten in Sekunden,
- t_d die Fahrzeit auf dem Streckenabschnitt ($l_a + l_b$) bei Durchfahrt,
- B_b den Brennstoffverbrauch auf dem Streckenabschnitt ($l_a + l_b$) bei Anhalten,

- B_d den Brennstoffverbrauch für die gleiche Strecke bei Durchfahrt,
 A_{1h} die Lokomotivarbeit auf dem Abschnitte ($l_a + l_b$) bei Anhalten,
 A_{1d} jene für Durchfahrt,
 A_{bh} die Bremsarbeit für das Anhalten,
 A_{bd} jene für Durchfahrt,
dann ist für diesen Halt

$$\begin{aligned} \text{der Kohlenmehrverbrauch} &= B_h - B_d, \\ \text{die Mehrarbeit der Lokomotive} &= A_{1h} - A_{1d}, \\ \text{die Mehrung an Bremsarbeit} &= A_{bh} - A_{bd}, \\ \text{die Mehrung an Fahrzeit} &= \frac{t_d - (t_a + t_b)}{60} \end{aligned}$$

in Minuten.

(Der Stationsaufenthalt T_{st} ist hier nicht einzusetzen.)

Der hiernach zu machende Zuschlag zu den Beförderungskosten kann aus Schaubildern nach Textabb. 7 abgelesen werden, wenn für drei verschiedene Wagenzuggewichte und Geschwindigkeiten die Werte berechnet werden.

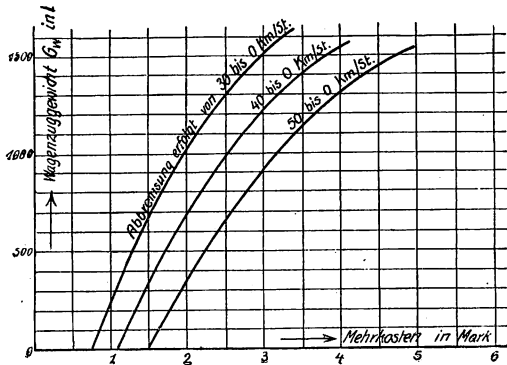


Abb. 7.

Die Zwischenhaltstellen mit ähnlichen Anfahrverhältnissen können in eine Gruppe zusammengefasst werden, so daß Schaubilder für die Kosten des Anhaltens nur für einige Gruppen und für die wichtigsten Lokomotivgattungen aufzuzeichnen sind.

Bei größeren Verkehrsverlegungen von längerer Dauer ist noch zu beachten, daß der Wert K_0 nicht nur für die auf der Strecke L_2 nach der Verlegung noch vorhandene Verkehrsbelastung V'_{B2} , sondern auch für die auf der Strecke L_1 noch verbleibende Verkehrsbelastung V'_{B1} bestimmt werden muß. In solchen Fällen müssen die gesamten Zugförderungskosten der beiden Strecken vor und nach der Verlegung miteinander verglichen werden, um den wirtschaftlichen Einfluß der Verlegung einwandfrei zu ermitteln.

Bezeichnet K_1 und K_2 die Kosten für die Beförderung von je 1000 Tonnen Wagenzuggewicht vor der Verlegung von ΔV_B Tonnen von der Strecke L_1 auf die Strecke L_2 , K'_1 und K'_2 die gleichen Kosten nach der Verlegung, so gibt der Unterschied der Beförderungskosten ΔK für die gesamte Verkehrsbelastung vor und nach der Verlegung den wirtschaftlichen Vorteil der Verkehrsverlegung an.

$$\Delta K = \left(\frac{V_{B2}}{1000} \cdot K_2 + \frac{V_{B1}}{1000} \cdot K_1 \right) - \left(\frac{V_{B2} + \Delta V_B}{1000} \cdot K'_2 + \frac{V_{B1} - \Delta V_B}{1000} \cdot K'_1 \right).$$

Die Werte K_1 , K_2 , K'_1 , K'_2 sind den Beförderungskosten tafeln für die zugehörigen Verkehrsbelastungen V_B , Lokomotivgattungen und Fahrzeiten zu entnehmen.

Sollten sich die K_c -Kostenanteile der Strecken L_1 und L_2 infolge der Verlegung von K_{c1} auf K'_{c1} und von K_{c2} auf K'_{c2} (z. B. durch Mehr- oder Minderbedarf an Abfertigungs- und Rangierpersonal oder Stilllegung von Verschiebehöfen oder Auflassung oder Vergrößerung von Maschinenhäusern usw.) ändern, so ist die vorstehende Gleichung noch zu ergänzen durch das Glied

$$+ (K_{c1} + K_{c2}) - (K'_{c1} + K'_{c2}).$$

Würde durch die Verlegung der Verkehrsbelastung ΔV_B eine wesentliche Verminderung der Zahl der Züge auf der Strecke L_1 und eine wesentliche Vermehrung auf der Strecke L_2 veranlaßt, so ist zu berücksichtigen, daß die Zahl der Wartestunden (= Zeit vom Bereitstellen der Wagen auf den Abfahrtsgleisen bis zur wirklichen Abfahrt des Zuges) für das Ansammeln in den Zugbildungsstationen sich ändert. Die hierdurch veranlaßte Änderung des Kostenanteiles K_{vw} muß dann ebenfalls mit in Rechnung gestellt werden. Die Gleichung ist in diesen Fällen noch zu ergänzen durch ein Glied, das zu bilden ist durch Vervielfältigung der Kosten einer Wartestunde (= k_{wst}) mit dem Unterschied der Zahl der Wartestunden:

$$+ k_{wst} \frac{n_1 \cdot V_{R1} + n_2 \cdot V_{R2} - n'_1 \cdot V'_{R1} - n'_2 \cdot V'_{R2}}{g},$$

worin

$$k_{wst} = \frac{K_{nw} + o \cdot K_{ubr} + 0,01 \cdot (v_v \cdot K_{aw} + o \cdot v_{br} \cdot K_{abr})}{365 \cdot 24},$$

Es bezeichnet darin

- n_1 und n_2 die Zahl der durchschnittlichen Wartestunden eines Wagens in den Zugbildungsstationen der Strecken L_1 und L_2 vor der Verlegung,
- n'_1 und n'_2 jene nach der Verlegung,
- o das Verhältnis der Zahl der Bremswagen zur Gesamtzahl der Wagen.

Übrige Bezeichnungen siehe 1. Teil.

Die Mehrung oder Minderung an Wartestunden wie überhaupt aller sonstigen Zeitkosten (Textabb. 5) übt selbstverständlich einen Einfluß auf die wirklichen Gesamtausgaben nur dann aus, wenn der anfallende Verkehr bei den Ausnutzungsziffern (D_{st1} , D_{st2} usw.), die den Maßstab für die Berechnung der Zeitkosten gebildet haben, mit dem vorhandenen Fahrpark und Personalstand nicht mehr bewältigt werden kann. Solange dagegen Fahrpark und Personal bei diesen Ausnutzungsziffern ausreicht oder nicht voll ausgenutzt ist, wirken die Zeitkosten als feste Kosten und es können lediglich bei den Wegkosten (Textabb. 2, 3, 4) die Gesamtausgaben für die Frachtbeförderung durch Fahrplanmaßnahmen beeinflusst werden. Bei einer Verkehrszunahme oder bei einem Verkehrsrückgang von längerer Dauer müssen deshalb auch die in den Fahrplänen angewendeten Fahrzeiten daraufhin nachgeprüft werden, ob sie den im vorliegenden Falle für die Wirtschaftlichkeit maßgebenden Gesichtspunkten noch entsprechen.

Bericht über die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

Bahnunterbau, Brücken und Tunnel; Bahnoberbau.

Vorschlag einer neuen Fassung der Vorschriften für die Gestaltung der Bettung auf neuen Bahnen in Rußland.

Der Gestaltung und Beschaffenheit der Bettung wurde in Rußland von allem Anfange des Bahnbaues her meist zu geringe Aufmerksamkeit gewidmet. Diese Vernachlässigung hatte auf einer bedeutenden Überzahl der russischen Bahnen, besonders auf den

Bahnen des mittleren, östlichen und teilweise auch des südlichen Rußlands zur Folge, daß hier eine sehr feine, vom Wind leicht verwehbare Bettung angewendet wurde, die keineswegs entspricht und in nicht geringem Grade zur Erhöhung der Unterhaltungskosten der Gleise und des Fahrparkes beiträgt. Um den schädlichen Einflüssen derartiger Bettung auf den Fahrpark entgegenzuwirken, aber auch die Bettung vor Verwehung durch den Wind und Auswaschen durch

Wassergüsse zu bewahren, decken manche russische Bahnen die feine Sandbettung mit einer dünnen Schotterdecke (von 0,03 bis 0,04 Saschen = 6,4 bis 8,5 cm Stärke) ab, eine halbe Maßnahme, die bei der Bahnunterhaltung viel Schwierigkeiten und bedeutende Kosten herbeiführt und doch ihrem Zwecke nicht gerecht wird.

Professor K. A. Oppenheim veröffentlicht in „Technika i Ekonomika Putej Soobschenja“ 1923 Nr. 11 einen Vorschlag einer neuen Fassung der Vorschrift für die Gestaltung und Beschaffenheit der Bettung, wie solche in § 55 der „Technischen Bedingungen für den Bau neuer Eisenbahnen“ in Rußland enthalten ist. Der Vorschlag faßt in seiner Begründung so viel Stoff aus dem technischen Schrifttume und den Erfahrungen aller Länder zusammen und gibt dabei so manche bedeutsame Hinweise auf russische eigentümliche Verhältnisse, daß er gewiß auch bei uns Aufmerksamkeit auf sich ziehen wird. Der § 55 der technischen Bedingungen für Planung und Bau von Hauptbahnen der (russischen) Regelspur soll nach dem Vorschlage lauten:

Bettungsschichte. Die Bettungsschichte auf Hauptbahnen soll aus Schotter bestehen, der aus natürlichem, hartem, nicht verwitterndem Stein (Basalt, Quarz, Diorit, Porphy, Grauwacke, Granit) hergestellt ist oder aus künstlichem Schotter aus gebranntem Ton, der den Schotter aus natürlichem Stein besonders erfolgreich bei nassem, feuchtem Bahnkörper ersetzt. Der Schotter soll in der Unterschichte das Maß nicht unter 3 cm und nicht über 6 cm haben, wobei es jedoch wünschenswert ist, daß die Schotterstücke in jedem einzelnen Falle unter einander sich um kein größeres Maß als 1 cm unterscheiden. In der oberen Schichte soll der Schotter zum Zwecke besserer Unterkrampfung der Schwellen kleinere Ausmaße haben und zwar 1,5 bis 3 cm. Bei der äußersten, aus örtlichen Verhältnissen entspringenden Schwierigkeit der Beschaffung der Bettung aus vorbezeichnet beschaffenen Stoffen kann, mit Ausnahme der Tunnels, in denen die Verwendung von Schotterbettung bindend ist, angewendet werden: Schotter aus hartem Sandstein der vorangegebenen Ausmaße, aus Gerölle, das durch ein Sieb von 8 cm Maschenweite geht, Kiessand mit 1 bis 3 cm Korngröße, der womöglich 12 bis 14 v. H. geschlagenes Geröll enthält und mit 20 bis 25 v. H. grobem Sand durchmischt ist, und schließlich gewöhnlicher grober Sand mit 0,5 bis 1 mm Korngröße, möglichst rein und jedenfalls nicht über 10 v. H. Lehm und erdige Bestandteile enthaltend.

Die Höhe der Bettungsschichte (bis zur Oberfläche der Schwellen) soll auf freier Strecke in Abhängigkeit von der Art der Bettung und der Beschaffenheit der Unterlage der nachfolgenden Zusammenstellung entnommen werden:

Beschaffenheit der Unterlage	Art der Bettung	Schotter	Geröll, Kies, grober Sand
		Höhe der Bettungsschichte in Metern	
gut	Gestein, Schotter, Geröll, Grobsand,	0,45	0,45
mittelgut	Mittel- oder Feinsand und Lehmsand		0,50
wenig entsprechend	lehmig, überhaupt bindend	0,55	0,60

In Stationen können bei allen diesen Höhen 5 cm in Abzug gebracht werden.

Die Breite der Bettung auf Schwellenoberkante ist auf freier Strecke anzuwenden: a) auf eingleisigen Bahnen: bei Schotterbettung

3 m, bei anderer Bettung 3,10 m; b) auf zweigleisigen Bahnen: bei Schotterbettung 6,8 m, bei anderer Bettung 6,9 m.

Die Böschung der Bettungsschichte ist bei Schotter einmalig und bei anderer Bettung anderthalbmalig anzulegen.

Die Bettung soll im allgemeinen über Schwellenoberkante nicht aufgehäuft werden; nur in Gegenden mit geringer Regenhöhe (nicht > 30 cm im Jahre) und mit ständigem Sonnenbrand ist es, sofern nur keine Gefahr der Verwehung der Schienen mit Sand oder Schnee besteht, zur Verhütung des Reifens der Schwellen zulässig, deren Oberfläche (zwischen und außerhalb der Schienen) mit 5 bis 6 cm Bettung abzudecken.

Die Breite der Anfüllung der Schwellenenden mit Bettung (Abstand der oberen Bettungskante vom Schwellenende) ist auf russischen Hauptbahnen, unabhängig von der verwendeten Bettung, zu 0,1 Saschen = 0,21 m festgesetzt.

Dr. Saller.

Vulkanisation von Buchenschwellen auf den transkaukasischen Bahnen.

In Rußland erregt seit einigen Jahren die Schwellentrückung nach dem Verfahren von Professor Gulenko auf den transkaukasischen Bahnen die größte Aufmerksamkeit und es dürften sich auch unsere Fachkreise für die Sache interessieren. Die Vulkanisation der Schwellen nach Gulenko besteht darin, daß die Schwelle auf dem Wege der Erhitzung bis zu einem bestimmten Wärmegrade aus sich selbst harzige Stoffe absondert, mit denen sich die Schwelle selbst tränkt oder besser gesagt selbst verharzt. Die neuesten Nachrichten besagen, daß im August vorigen Jahres auf den transkaukasischen Bahnen eine Fabrik für Vulkanisation von Buchenschwellen nach dem Verfahren von Professor Gulenko eröffnet wurde. Gegenwärtig leistet die Fabrik als Regel 400 Schwellen für den Arbeitstag in 2 Schichten. Die Fabrik ist aus einer früheren Schwellentrückungsanstalt umgebaut und hat daher viele Mängel, von denen sich ein Teil im Laufe der Zeit wird beseitigen lassen. Bei allen Mängeln der Fabrik, von denen die hauptsächlichsten das Fehlen guter Kleinwagen, der Mangel an Gleisen, ungenügende Motorkraft, Fehlen vieler mechanischer Hilfsmittel, die von Hand ersetzt werden müssen u. a. sind, stellen sich die Kosten der Vulkanisation einer Schwelle auf 31 Kopeken, während die Trückung einer Schwelle mit Chlorzink in der benachbarten Fabrik der Bahn 53 Kopeken kostet. Dieser Umstand spricht offenbar zugunsten der Vulkanisation, um so mehr als sich die Trückung mit Chlorzink auf Buchenschwellen nicht anwenden läßt und die Hauptmasse der transkaukasischen Wälder, soweit sie zur Herstellung von Schwellen geeignet sind, aus Buchen besteht. Augenblicklich bekommen die transkaukasischen Bahnen genügend vulkanisierte Schwellen. Sie haben daher Versuchsstrecken verlegt und es werden Beobachtungen im Betriebe gemacht. Wenn die Laboratoriumsversuche in Wirklichkeit bestätigt werden, so besteht volle Aussicht, daß die transkaukasischen Bahnen dank dem Verfahren von Professor Gulenko auf immer mit billigem Schwellenholz versorgt sein werden.

Derartigen Lobeserhebungen und Anpreisungen, denen die russische Fachpresse noch verschiedene ähnliche beigeweiht, stehen allerdings auch Presseäußerungen zur Seite, die die Sache sehr zweifelnd beurteilen. Die Versuche mit der Vulkanisation seien bisher noch viel zu bescheidenen Umfanges. Ob die Ausscheidung von eigenen Harzstoffen aus dem Buchenholz genügt, stehe noch keineswegs fest und es sei gegenüber solchen noch nicht genügend erprobten Verfahren doppelte Vorsicht nötig. Die Verharzung dringe auch nur 3 cm bei der Vulkanisation ein und die Frage, wie sich der innere Teil insbesondere beim Auftreten von Rissen verhalte, sei noch ungeklärt.

Dr. S.

Bücherbesprechungen.

Laminated Springs by T. H. Sanders, M. I. Mech. E., M. I. & S. I., Sheffield. Verlag: The Locomotive Publishing Co., Ltd. and Spon and Chamberlain, London and New York. 509 Seiten. Preis 25 sh.

Das Werk ist entstanden aus einer Reihe von Aufsätzen über Eisenbahnblattfedern in The Locomotive Railway Carriage and Wagon Review.

Nach einer kurzen Aufführung der hauptsächlichlichen Anordnungsformen wird mit einfachen Mitteln die Festigkeit des rhombischen und parabolischen Balkens entwickelt und die Durchbiegungsformel behandelt. Viel Raum wird den Fehlern gewidmet, die bei vereinfachten Annahmen auftreten können (senkrechte Durchbiegung

statt bogenförmige). Schließlich wird eine Hauptformel für die Einheitsdurchbiegung aus den beiden Grenzfällen Rechteck und Rhombus gewonnen, wonach die üblichen Verhältnisse zwischen Prüflast und Arbeitslast festgelegt werden. Der theoretische Teil schließt mit der Anführung der wichtigsten Formeln von Molesworth, Remington, Goodmann, Machinerys Handbook, Meyer sowie Leitzmann und von Borries, die alle denselben Hauptlinien folgen und sich hauptsächlich in der Berücksichtigung der gestreckten Bogenlänge unterscheiden. Der Vergleich wird dadurch etwas erschwert, daß die jeweiligen Urausdrücke beibehalten werden.

Weiter folgen Betrachtungen über die verschiedenen Stahlsorten und ein Vergleich der verschiedenen Beanspruchungen und Prüfmarten in England, Amerika und auf dem Festland. Die Schaulinien der Beanspruchung und biegenden Momente der Federn werden dann entsprechend der Ausführungsformen unter Berücksichtigung der Schlitz-, Führungswarzen, Zuspitzung der Enden durchgearbeitet, ferner das Arbeitsvermögen und Gewicht in ihren gegenseitigen Beziehungen und endlich die Eigenschwingungen.

Den Schluss des ersten Teils bilden Durchrechnungen der Durchfederung einer Reihe von Ausführungsformen, allgemeine konstruktive Bemerkungen über den Entwurf, Arbeitsgang, Gewichte, Kosten und endlich Schaulinien und Zusammenstellungen als Entwurfsbeihilfen.

Der zweite Hauptteil umfasst die praktischen Gesichtspunkte der Werkstatt bei der Herstellung. Zunächst Gewinnung und Zu-

sammensetzung der meist verwendeten Stahlsorten — entgegen dem Gefühl manches festländischen Ingenieurs tritt der Verfasser für den britischen sauren Bessemerstahl als den besten ein —, Querschnitte und Walzvorgang, Fehlergrenzen der Abmessungen. Sodann wird der Arbeitsvorgang der eigentlichen Federschmiede in ausführlicher Weise unter Berücksichtigung der verschiedenen Ausführungsarten, Hilfseinrichtungen, Maschinen usw. behandelt.

Das Werk gibt einen klaren Einblick in die hochentwickelte englische Feder-Industrie und dürfte wohl das einzige sein, das die Blattfedern nach Berechnung und Herstellung so eingehend behandelt. Wenn auch nach deutschen Anschauungen der rechnerische Teil, der sich nur auf die grundlegendsten Entwicklungen aufbaut, in einem so umfangreich angelegten Buch noch etwas tiefer behandelt sein könnte, so bietet doch die aus allen Teilen herausblickende ausgereifte Praxis andererseits eine völlige Entschädigung. *Wentzel.*

Zuschriften an die Schriftleitung.

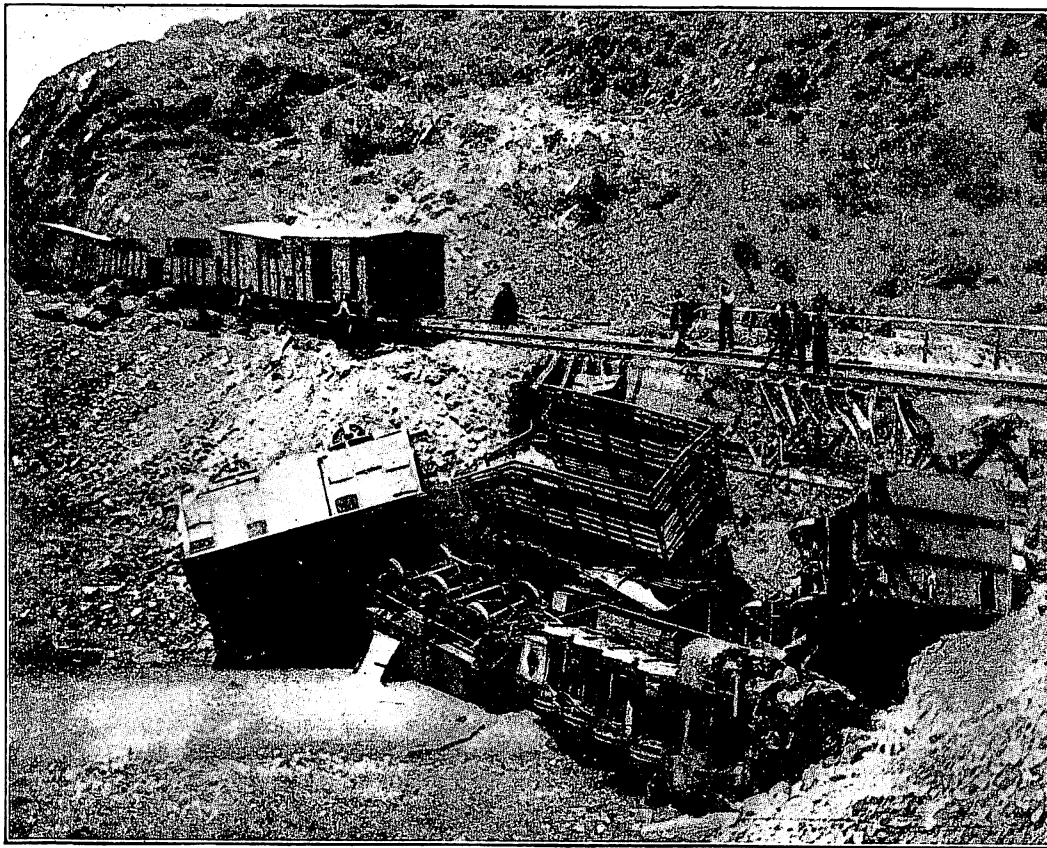
Im Organ Heft 17 vom 15. 12. 24 findet sich die Beschreibung eines eigenartigen Unfalles in der R. B. D. Oldenburg, dadurch entstanden, daß die Zuglokomotive in die noch nicht geschlossene Öffnung einer Flußdrehrbrücke fuhr.

Bei dem Lesen dieses Artikels fiel mir von den vielen Unfällen, die ich in zwanzigjähriger Eisenbahnpraxis in Deutschland und im nahen und fernen Orient, auch als Schiedsrichter und Experte gesehen und kennen gelernt habe, einer ein, der große Ähnlichkeit mit dem oben geschilderten hatte. Er spielte sich im Juni 1917

Die Strecke war durch die Leute vorschriftsmäßig mit rotem Signal gedeckt; außerdem waren Knallkapseln gelegt; wie sich später herausstellte, leider nicht in genügender Entfernung von der Arbeitsstelle. Die benachbarten Stationen waren von der aus türkischen und griechischen Arbeitern bestehenden Gruppe nicht benachrichtigt. Es wäre das auch mit großem Zeitverlust verbunden gewesen, weil die Entfernungen etwa 9 und 12 km betragen. Man hoffte, die Schiene in kürzerer Zeit auszuwechseln zu können. Die Arbeit war auch beinahe beendet, als der nächstfällige Zug in Talfahrt

sich näherte. Die Knallkapseln funktionierten, aber der Abstand um den Zug zum Stehen zu bringen war zu klein, vor allem auch, weil die Notbremssignale beim Getöse des langen Zuges in den Einschnitten nur von den ersten Bremsern gehört wurden. Beim Passieren der in der Fahrtrichtung rechts liegenden Unglücksschiene kippte diese um, wodurch die Maschine, neben den Schienen laufend, auf die Brücke kam. Die Maschine begann rechts von der Brücke abzugleiten, drehte sich im Falle und stieß mit gewaltiger Wucht gegen das talwärts gelegene Brückenfundament. Das Bild zeigt, wie der Tender eine von der Maschine abweichende Drehung vollführt hat, wie die Brückenschwellen unter der darübergleitenden Lokomotive sich abgebogen, und die Wagen sich aufgetürmt haben.

Daß das rote Deckungssignal von dem tüchtigen armenischen Führer und seinen beiden türkischen Heizern, die bei der Talfahrt nicht viel zu tun hatten, nicht bemerkt wurde, hatte folgenden Grund. Bei der Untersuchung des Falles, zwei Tage später, sah ich nämlich das Signal von der fahrenden Lokomotive aus auch nicht. Es war von einem der türkischen Streckenarbeiter in ordnungsmäßigem Abstände aufgestellt worden, zeichnete sich



Eisenbahnunfall auf der Anatolischen Bahn.

in Kleinasien ab. Vom Jahre 1915 ab bekamen die Anatolische und Bagdad Bahn in dem Maße, wie der ägyptische, syrische und Irak-Kriegsschauplatz an Bedeutung zunahm, nach und nach rund 130 deutsche D-Güterzuglokomotiven G 8. Mit einer dieser Maschinen passierte das folgende Unglück. Die Anatolische Bahn durchfährt ungefähr auf der Strecke zwischen Eskischehir und Konia ein wildes Bergland, wo sich die Linie fast ohne Unterbrechung in starken Krümmungen und Steigungen in tiefen Einschnitten, Brücken und Tunnels hinzieht. Kurz vor einer der vielen Brücken, dicht hinter einem Einschnitt war eine Schiene gebrochen. Eine der Streckenarbeitergruppen war dabei, diese zwischen zwei Zügen auszuwechseln.

aber vom hellen Hintergrunde gar nicht ab. Den Hintergrund bildete nämlich ein Abhang der zu jener Zeit dicht mit in voller Blüte stehenden Mohnblumen übersät war. Das rote Signal war auf diesem herrlichen roten Hintergrunde beinahe nicht zu entdecken.

Das Maschinenpersonal blieb bis zuletzt auf seinem Posten; die beiden links auf der Lokomotive stehenden Heizer wurden zwischen Führerhaus und Kessel eingeklemmt und ertranken. Der rechts stehende Führer konnte erst nach vieler Mühe, hauptsächlich durch die intelligente Hilfe einiger hinten im Zuge mitfahrenden deutschen Soldaten aus seiner Lage befreit werden; doch war ihm die linke Hand und ein Teil des Unterarmes verbrannt. *Widdecke.*