

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

Herausgegeben von Vizepräsident Ernst Harprecht, Berlin.

96. Jahrgang

15. April 1941

Heft 8

Normung und Entwicklung der Konstruktions- und Baustähle bei der Deutschen Reichsbahn und ihre Grenzen.

Von Oberreichsbahnrat Dr. Ing. R. Kühnel.

Inhaltsverzeichnis.

Beiträge der Reichsbahn zur Entwicklung der Werkzeugstähle. Die Steigerung der Zugfestigkeit von Handels- und Baustählen zur Erhöhung der Werkstoffleistung und der Abnutzungsbeständigkeit. Der Einfluß der Schweißtechnik. Die Gefährdung der Konstruktion durch ungünstigen Kraftlinienverlauf. Zusätzliche Gefährdung durch Rostangriff. Abhilfe durch zweckmäßige Formgebung.

Das anfänglich allein vorhandene Schweißisen machte am Ausgang des vorigen Jahrhunderts bald dem Flußeisen Platz, aber nur allmählich führte sich der neue Werkstoff ein, obwohl er infolge der praktisch fast vollkommenen Freiheit von Schlackeneinschlüssen wesentlich größere Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung mit sich brachte.

Inzwischen machte die Erzeugung des Stahls weitere Fortschritte. Neben dem Siemens-Martinstahl entwickelte sich der Thomas- und der Elektrostahl. Die physikalische Chemie und die Gefügeuntersuchung vermittelten die Kenntnisse über den Verlauf der Kristallisation des Stahls, über die Entstehung seines Aufbaues und die Möglichkeit der Steigerung seiner Gütewerte durch die Wärmebehandlung und den Zusatz gewisser Legierungsbestandteile. Die Werkstoffprüfung vervollkommnete sich in erstaunlichem Tempo und vermehrte das Vertrauen in die Gleichmäßigkeit der Gütewerte des Stahls. Schließlich brachte die Kriegs- und Nachkriegszeit den Anstoß zur Normung, die sich im dritten Jahrzehnt des neuen Jahrhunderts schnell fortentwickelte und dabei zur Unterscheidung von drei verschiedenen Stahlarten führte; dem Handelsstahl, der als Massenerzeugnis im gewalzten und geschmiedeten Zustand nach den DIN-Blättern 1611 und 1612 in verschiedenen Güten vom St 00 bis zum St 44 bzw. sogar bis zum St 50, St 60 und St 70 geliefert wurde, dem Baustahl, der als Einsatz- und Vergütungsstahl im DIN-Blatt 1661, als Nickel- und Chromnickelstahl in DIN 1662 und als Chrommolybdänstahl in dem DIN-Blatt 1663 erfaßt ist, und dem Werkzeugstahl, zu dessen Normung es bis heute trotz allen Drängens der Verbraucher noch nicht gekommen ist. Damit waren die Unterlagen zu einer weitgehenden Fortentwicklung der Konstruktion von Bauten, Schienen und Fahrzeugen gegeben. Wir wollen nun getrennt für Werkzeugstahl, Handelsstahl und Baustahl sowie Einsatzstahl verfolgen, welche Wege hier die Entwicklung genommen hat, um den immer gesteigerten Ansprüchen des Eisenbahnbetriebes gerecht zu werden, und wo sie schließlich ihre Grenzen gefunden hat.

Werkzeugstähle.

Hierbei stehen die Werkzeugstähle mehr am Rande der Betrachtung, weil sie mit der Haltbarkeit der Konstruktion an sich nichts zu tun haben, wohl aber ihre wirtschaftliche Herstellung gewährleisten. Man braucht nur das Wort Hartmetall zu nennen, um an die Spitzenleistung zu erinnern, zu denen die Entwicklung der Werkzeugstähle geführt hat. Die Reichsbahn hat sowohl durch Erprobung dieser Stähle in einer eigenen Werkstättenversuchsanstalt als auch durch Forschungsbeträge an Hochschulen für ihren Bereich die Entwicklung dieser Stähle gefördert.

Die Frage des sparsamen Verbrauchs der Werkzeugstähle, die gleichzeitig so zusammengesetzt sein müssen, daß sie möglichst wenig Sparstoffe bei großer Leistung enthalten, wird in einer besonderen Arbeitsgemeinschaft der Reichsbahn überwacht. Im Schleifstein ist dem Werkzeugstahl wieder ein Wettbewerber erwachsen und die Frage „Schleifen oder Drehen mit Hartmetall“ steht in den Werkstätten für die Bearbeitung der harten Radreifen zur Zeit zur Erörterung. Diese Hinweise mögen genügen, um den Stand der Entwicklung des Werkzeugstahls bei der Deutschen Reichsbahn anzudeuten.

Handels- und Baustähle.

Steigerung der Zugfestigkeit.

Ähnliche Fortschritte recht wesentlichen Umfangs, zu denen die Erfahrungen des Betriebes und die Untersuchungsergebnisse der mechanischen Versuchsanstalten in Berlin und München führten, verzeichnen wir beim Handels- und Baustahl.

Die genaue Unterscheidung von Handelsstahl und Baustahl ist an sich noch nicht durchgeführt. Für die vorliegenden Betrachtungen mag sie so gefaßt sein, daß man unter Handelsstahl die Erzeugnisse nach den DIN-Blättern 1611 und 1612 versteht, also Kohlenstoffstahl im gewalzten und geschmiedeten Zustand. Beginnen wir mit dem Kesselstahl, der ein Martinstahlerzeugnis ist. Hier zwang die Zusammenballung immer größerer Leistungen bei kleinstem Kesselgewicht zu härteren Baustählen und die Festigkeitssteigerung war ziemlich erheblich.

An Stelle des bisherigen St 34 trat ein Stahl mit 47 kg/mm² Mindestzugfestigkeit, bezeichnet St 47 K, einer oberen Zugfestigkeitsgrenze von 56 kg/mm², mit einer Warmstreckgrenze (225⁰) von 28 kg/mm² bis 18 mm, darüber 27 kg. Die Dehnung δ^{10} war längs 20 qmm 18%, bei den dickeren Blechen entsprechend 19 bzw. 17%. Als Kerbzähigkeit waren 8 mkg/cm² — kleine DVM-Probe — im gealterten Zustand 4,8 mkg/cm² vorgesehen. Auch ein Kaltversuch mit einem Biegewinkel von 180⁰ war vorgeschrieben; die chemische Zusammensetzung sollte mit Rücksicht auf die Schweißbarkeit betragen: C 0,20%, Si 0,6%, Mn 1%, P und S je 0,04%, zusammen 0,07%. Der Stahl wurde zunächst mit etwas Mo legiert geliefert. Bei Mo-freien Stählen wurde später eine Verringerung der Warmstreckgrenze auf 26 kg/mm² zugelassen und ein Mn-Gehalt bis 1,2%. Ein Stahl mit einer zwischen dem St 47 K und dem St 34 liegenden Zugfestigkeit wurde bislang nicht benötigt. In seiner Zusammensetzung liegt der neue Kesselstahl an der Grenze der Schwerschweißbarkeit. Dies bedingt besondere Behandlung beim Schweißen, um so mehr als aus verschiedenen Gründen geschweißte Fahrzeuge wie Brücken nach dem Schweißen nicht geglüht werden können. In den Vorschriften für geschweißte Fahrzeuge wie in den einschlägigen Brückenbauvorschriften ist daher vorgesehen, daß sowohl die Hüttenwerke, die solche Stähle liefern wollen, wie die Herstellerwerke der Brücken- und Fahrzeuge von der Reichsbahn nach entsprechenden Prüfungen des Werkstoffs und geschweißter Proben besonders zugelassen sein müssen, wobei auch noch festgestellt wird, ob die Einrichtungen für das

Schweißen und die Personen, die das Schweißen ausüben, Gewähr für einwandfreie Durchführung der Arbeiten geben*). Ein Schweißingenieur, für dessen Ausbildung Vorschriften bestehen und dessen Kenntnisse nachgeprüft werden, übernimmt die Verantwortung für die sachgemäße Ausführung der Schweißungen. Der Entwicklung der Stähle für geeignete Schweißdrähte hat die Reichsbahn ebenfalls ihr Augenmerk geschenkt und sie ist mit einschlägigen Liefervorschriften sogar der Normung und anderen Behörden vorausgegangen. Diese Vorschriften haben die Entwicklung der Schweißdrähte stark gefördert. Solche Anweisungen für die Herstellung geschweißter Fahrzeuge wären nun nicht vollkommen, wenn man nicht gleichzeitig an die Instandsetzung durch Schweißen dächte, wo ebenfalls Schwierigkeiten auftreten können, weil die neuen und wesentlich härteren Stähle ja den Werkstätten nicht geläufig sind. Daher ist in Parallele zur Vorschrift für geschweißte Fahrzeuge zur Zeit eine Vorschrift für das „Schweißen in der Werkstatt“ in der Entstehung, und schließlich hat sich die Reichsbahn veranlaßt gesehen, für die Klein- und Nebenbahnen, die ihrer Aufsicht unterstehen, ähnliche Vorschriften in Kraft zu setzen.

Neben dem Kessel war die Feuerbüchse ein Konstruktions- teil, der eine Weiterentwicklung des Werkstoffs verlangte. Kupfer schied als Werkstoff für alle neueren Feuerbüchsen aus, zumal da die gesteigerten Rostleistungen zu Erwärmungen der Innenwand führten, die allzu schnell in der Flammenzone das Kupfer abzehrten. An Stelle des St 34 traten zwei neue Stähle mit 40 und 45 kg/mm² Zugfestigkeit bei 22 und 30 kg/mm² Streckgrenze und 26 und 22 Dehnung δ^5 , mit einer Kerbzähigkeit von 8 mg/cm². Von einer Alterungskerbschlagprobe ist abgesehen, doch ist der Reinheitsgrad mit $P + S = 0,07\%$, einzeln zu 0,04% bestimmt. Die Eigenschaften nach der Warmverarbeitung, z. B. Kumpeln, werden nachgeprüft. Auch sind ähnlich wie beim Kesselstahl besondere Prüfungen für geschweißte Feuerbüchsen in der Vorschrift für geschweißte Fahrzeuge vorgesehen.

Eine ganz ähnliche Entwicklung haben die Stähle im Brückenbau genommen. Der übliche Werkstoff ist hier der St 37.12, ein weicher Kohlenstoffstahl, der sowohl im Martin- wie im Thomasstahlwerk erzeugt wird. Es liegt im Thomasverfahren begründet, daß dieser Stahl meist einen höheren Phosphor- und Stickstoffgehalt aufweist und daher kommt es, daß er bei gleicher Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung und Faltbarkeit gegenüber dem Martinstahl kerbempfindlicher ist und insbesondere bei Kaltbearbeitung, z. B. Richten, leicht altert, d. h. spröde wird. Der für manche Bleche und für Profile verwendete St 37.12 wird allermeist als Thomasstahl seit vielen Jahren geliefert. Bei dem Wiederaufbau der Eisenbahnen nach dem Weltkriege zwangen die höheren Achsdrücke der neuen Fahrzeuge den Brückenbau zu Neukonstruktionen, und der Rohstoffmangel Deutschlands drängte gleichzeitig zum Leichtbau. Eine Stahlart mit höherer Zugfestigkeit als St 37 mußte gesucht werden, und zwar versprach nur eine erhebliche Steigerung Erfolg. So ging man zunächst zu einem Kohlenstoffstahl über, dem St 48 mit 28 kg/mm² Streckgrenze, der sich aber nicht recht bewährte und bald durch den sogenannten Si-Stahl überholt wurde. Der kennzeichnende Bestandteil dieses Stahls war das Silizium, das die Streckgrenze wesentlich erhöht, aber die Walzbarkeit beeinträchtigt und die Schieferung vermehrt. Der Gehalt des Siliziums für diesen Stahl wurde zunächst bis 1% und darüber gewählt, gleichzeitig wurde auch der Kohlenstoffgehalt erhöht. Starke Schieferung, die sich in größerem Ausmaß bei diesem Stahl an einzelnen Bauwerken zeigte, erschütterten aber das Vertrauen zu diesem neuen Stahl, und so ging man dazu über, bei einer Mindest-

*) Für Kesselschweißungen sind besondere Prüfungen vorgesehen.

zugfestigkeit von 52 kg/mm² und 36 kg/mm² Streckgrenze den Stahlwerken die Wahl der Legierungsbestandteile selbst zu überlassen, und hier entwickelten sich nun nebeneinander für den St 52 ein Chromkupfer- und ein Mangansilizium- und ein Manganmolybdänstahl. Diese Stähle wurden bis jetzt fast nur als Martinstähle erzeugt. Bald zeigte sich noch, daß man diesen Stahl nicht mit Nieten gleicher Zusammensetzung verbinden durfte, weil diese zu sehr aufhärteten und so mußte hier ein Nietstahl St 44 entwickelt werden, dessen Legierungsbestandteile etwas weniger hoch lagen. Wesentlich weiter gespannte Bauwerke konnten nun entwickelt werden und als noch die Fortschritte der Schweißtechnik zu neuen Bauformen verhalfen, da schien es, als seien hier neue und zunächst erstaunlich weit gespannte Möglichkeiten zur Entwicklung viel leichter Bauwerke gegeben. Von zwei Richtungen her sollte dieser erheblichen Ausweitung der Konstruktionsmöglichkeiten jedoch bald eine fühlbare Einengung auferlegt werden. Versuche, die wir in der Mechanischen Versuchsanstalt des Reichsbahn-Zentralamts mit inzwischen entwickelten Dauerprüfmaschinen anstellten, und die auch an anderen Stellen vielfach durchgeführt wurden, belehrten uns, daß bei Dauerbeanspruchung durch Zug und Biegen die Schwellfestigkeit und

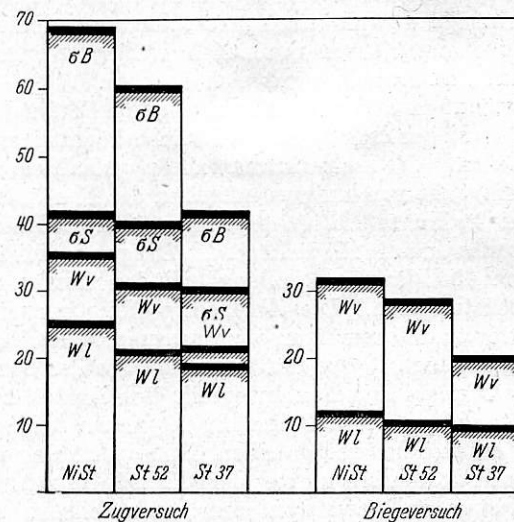


Bild 1. Herabsetzung der Dauerfestigkeit bei schwelender und wechselnder Belastung durch Kraftlinienumlenkung (Bohrloch) bei St 37, St 52 und Ni-Stahl.

Dauerbiegefestigkeit gegenüber der ruhenden Zugbelastung stark herabgesetzt wurde und daß diese ungünstige Beeinflussung sich noch viel stärker bemerkbar machte, wenn durch ungünstige Formgebung, z. B. Kerbe oder Bohrungen, Spannungsspitzen entstanden. Das Bild 1 zeigt an einem St 37, St 52 und Nickelstahl, wie weit Schwellfestigkeit und Dauerbiegefestigkeit dabei absinken, wenn Stäbe mit Bohrungen — mit l bezeichnet — geprüft werden, und wie stark die Überlegenheit der Zugfestigkeit und Streckgrenze des legierten Stahls eingeschränkt wird*). Diese Herabsetzung wird natürlich nur für den voll beanspruchten Querschnitt gefährlich. Ein praktisches Beispiel sollte uns bald belehren, wie richtig diese am Prüfstab gewonnene Erkenntnis war. An einem kleineren Überführungsbauwerk in einem Bahnhof hatte man, da die Brücke aus Chromnickelstahl bestand, ohne bauliche Änderung wesentlich höhere Belastungen durch schwerere Schnellzuglokomotive zugelassen. Eines Tages riß hier unter einem fahrenden D-Zug eine Diagonale in einem Nietanschluß, ohne daß jedoch eine Gefährdung des Zuges eintrat. Die Rechnung

*) σ_B Bruchfestigkeit, σ_S Streckgrenze.
 W_v Dauerfestigkeit des vollen Stabes.
 W_l Dauerfestigkeit des gelochten Stabes.

ergab, daß die aufgetretene Belastung die Schwellfestigkeit des gelochten Werkstoffs erreicht hatte.

Die zweite fühlbare Einengung an sich gegebener Konstruktionsmöglichkeiten brachte die Anwendung der Schweißtechnik bei dem St 52 mit sich. Während es anfänglich gelang, immer größere Brücken und Überführungen aus St 52 mit immer stärkeren Profilen ohne Anstand zu verschweißen, traten bei je einer ziemlich weit gespannten Eisenbahn- und Autobahnbrücke in und bei Berlin in den Jahren 1936 und 1938 Anrisse, bei der Autobahn sogar Durchrisse der Gurtungen ein. Werkstoffuntersuchungen, die im Zusammenhang damit angestellt wurden, sind in einem Aufsatz des Berichters in Stahl und Eisen 40, Heft 18/19, unter der Überschrift „Schweißbarkeit von Stahl“ beschrieben. Es zeigte sich, daß bei Schweißverbindungen von dicken Gurtungen aus härteren Stählen infolge der starken Aufhärtungen, denen die Nachbarzone der Verbindungsschweißnaht zwischen Steg und Gurt unterliegt, starke, mehr dimensionale Eigenspannungen auftraten, die von den dicken Gurten nicht abgebaut werden konnten, so daß verformungsloses Querdurchreißen der Schweißverbindung möglich war. Es ergab sich, daß von den gewählten Schweißverbindungen (Bild 2) das Wulstprofil am empfindlichsten ist und besondere schweißtechnische Erfahrungen voraussetzt. Man muß demnach damit rechnen, daß

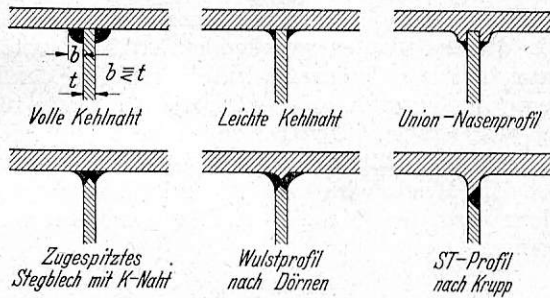


Bild 2. Schweißverbindungen vom Gurt zum Steg.

die an sich aus der Praxis schon bekannte Grenze der Schwerschweißbarkeit, die bei einer Zugfestigkeit von 60 kg/mm anzusetzen und durch die Aufhärtung vornehmlich bedingt ist, mit steigender Profildicke merklich absinkt.

In Rückwirkung der hier gewonnenen Erkenntnis, wonach selbst ein schwach legierter Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt bis höchstens 0,25% wie er für den St 52 zunächst vorgesehen war, noch ziemlich schweißempfindlich ist, sah sich die Reichsbahn veranlaßt, in ihren Lieferungsbedingungen die Höhe aller härtenden Bestandteile bei Kohlenstoff, Silizium und Mangan zu begrenzen, und bei Dicken über 30 mm ein Normalglühen des Stahls vorzuschreiben. Bemerkenswert muß noch werden, daß nur bei größeren Baulängen in den genannten Fällen Schwierigkeiten auftraten, während kürzere Überbauten und zahlreiche brückenähnliche Konstruktionen im Fahrzeugbau ohne Anstand bisher im Betrieb gewesen sind. Es ergab sich aber trotzdem gelegentlich auch beim Fahrzeugbau, daß die mehrdimensionale Beanspruchung beim Schweißen besonders beachtet werden muß, insbesondere dort, wo Schweißspannungen mehrerer Schweißnähte sich gegenseitig beeinflussen können, so daß sogar bei dem fast unempfindlichen weichen Baustahl St 37 verformungslose Brüche auftreten können, weil eben die mehrdimensionale Beanspruchung dem Werkstoff einen Abbau der Spannungen durch örtliche Verformung nicht erlaubt. Öfters zu Unrecht hat man in solchen Fällen dem Thomasstahl, wenn solcher gerade verwendet war, die Schuld an den verformungslosen Brüchen zugeschrieben. Es ergab sich hier aber, daß ohne eine Änderung der Konstruktion oder des Schweißverfahrens auch der Martinstahl in solchen Fällen nicht ausreichte. Außerdem hat man sich bemüht, die Verformungsfähigkeit auch der weichen Stähle

noch zu steigern, nachdem Versuche von Schönrock und anderen, die in dem genannten Aufsatz des Berichters beschrieben sind, erwiesen hatten, daß an Thomasstahl wie Martinstahl besondere zusätzliche Anforderungen zu stellen sind, wenn sie zum Schweißen in allen Fällen geeignet sein sollen. So blieb die Schweißtechnik nicht nur von Einfluß auf die Entwicklung des härteren St 52, sondern sie führte auch zu neuen Anforderungen an die chemische Zusammensetzung des St 37, die in den im vorigen Jahr erschienen abgeänderten Lieferbedingungen der Deutschen Reichsbahn für Formstahl, Stabstahl und Breitflachstahl sowie Bleche enthalten sind und denen ähnlich abgefaßte Normblätter bald folgen werden. Auf alle Fälle hat man, um ganz sicher zu gehen, Thomasstahl im Brückenbau für Profilstärken über 30 mm vorläufig für Schweißkonstruktionen ausgeschlossen. Auch im Fahrzeugbau wird für solche Abmessungen kein Thomasstahl geliefert.

Steigerung der Abnutzungsbeständigkeit.

Neben der gesteigerten Bruchfestigkeit war es die steigende Abnutzung, die zur Weiterentwicklung einzelner Stähle drängte. Vielfach ergeben sich bei der Konstruktion Teile, die aufeinander arbeiten, ohne daß es möglich ist, durch Schmierung die Reibung zu verringern. Reibung hat ja ihre Ursachen in einer, wenn auch vielleicht zeitlich zunächst kaum merkbaren Abnutzung. Sowohl in diesem Fall, wie auch dann, wenn die Reibungsabnutzung die ganze Oberfläche des Konstruktionsteils zerstörend bedroht, muß man versuchen, den Werkstoff möglichst abnutzungsbeständig zu machen. Es ist eine alte Erfahrung, daß harte Werkstoffe im allgemeinen auch abnutzungsbeständiger sind. Auf den Stahl übertragen, bedeutet das, daß man in Fällen starker Abnutzung, möglichst bis zum St 60, die Festigkeit des ausgewählten Stahls steigern muß. Vor dem St 70 macht man aber vielfach schon wegen der verringerten Dehnung Halt. Eine Fundgrube für Fragen der Abnutzung und ihre Behebung bietet das Buch: „Reibung und Verschleiß“, VDI-Verlag 1939. Besonders stark tritt die

Erscheinung des Abriebs, wie man die mechanische Abnutzung meist nennt, bei der Schiene in Erscheinung. In Kurven unter 500 m Radius wird die Innenseite der Außenschiene bekanntlich stark angegriffen. Daher hat man die ursprünglich auf 60 kg/mm² Mindestwert angesetzte Zugfestigkeit der Schienen schon seit vielen Jahren heraufgesetzt und es bestehen die Schienen heute aus einem Thomasstahl mit einer Mindestfestigkeit von 70 kg/mm² mit einem Streubereich bis zu 85 kg/mm². Die Steigerung der Festigkeit bis 100 kg/mm² ist an sich möglich, fordert aber schon eine besonders sorgfältige Abkühlungsbehandlung nach dem Walzen, und Martinstahl, wenn man die gefürchteten Innenrisse (Nierenbrüche) (Bild 3) vermeiden will. Auch durch Legierung, insbesondere mit Silizium und Mangan, läßt sich die Abriebbeständigkeit der Schiene steigern, aber nicht in dem Ausmaß wie durch Steigerung des Kohlenstoffgehalts.

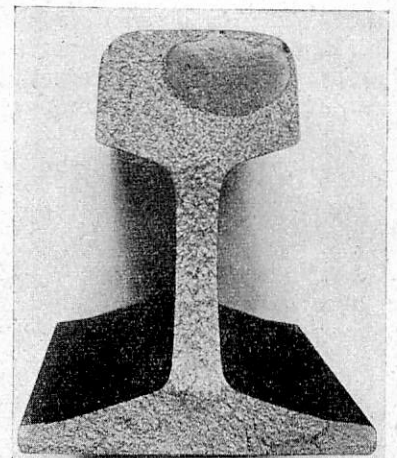


Bild 3. Innenbruch einer Schiene (Nierenbruch).

Nun kennen wir als Abnutzungserscheinung beim Stahl nicht nur den Abrieb, sondern auch ein Abblättern oder Abbröckeln. Diese Erscheinung der Abblättern macht besonders

an der Oberfläche des Rades Schwierigkeiten (Bild 4). Auch bei anderen Konstruktionsteilen, z. B. Zahnrädern, kennen wir ähnliche Erscheinungen (siehe Kruppsche Technische Berichte, Juni 1940, S. 42), ebenso bei Rollenlagerringen. Seit der immer zunehmenden Steigerung des Achsdruckes macht sich die Abblätterung sowohl bei Lokomotiv- wie bei Tenderrädern und Wagen bemerkbar, und die Wege zur Abhilfe werden bei allen

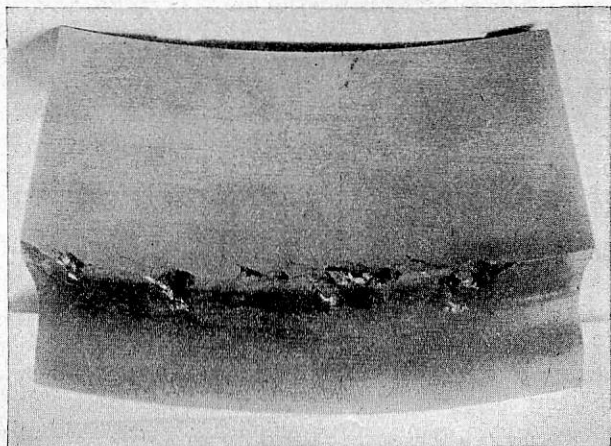


Bild 4. Abblätterung eines Radreifens, im Schnitt und Ansicht.

Eisenbahnen der Welt mit Eifer studiert. Vornehmlich sind es die Räder kleineren Durchmessers, die die Abblätterung zeigen (auch ungebremste Reifen). Die Ursache liegt hier in der durch das vorgesehene Profil bedingten Linienberührung von Rad und Schiene. Sie tritt besonders bei frisch abgedrehten Radreifen und neuen Schienen ein, wobei die Streckgrenze des Stahls weit überschritten wird. Die eintretende Verformung an der Berührungslinie führt dann zur Abblätterung der durch die Verformung aufgehärteten Zone. Bis zu einem gewissen Grade hilft hier die Steigerung der Festigkeit und wir sind bei Lokomotivrädern schon bei einer Zugfestigkeit von 100 bis 112 kg/mm² angekommen, die freilich nur noch durch legierte und vergütete Stähle zu erreichen ist, weil schon bei dem Kohlenstoffstahl mit 80 bis 92 kg/mm² Zugfestigkeit an der oberen Grenze gelegentlich Innenbrüche auftraten, die den Nierenbrüchen der Schiene ähnlich waren (Bild 5) und

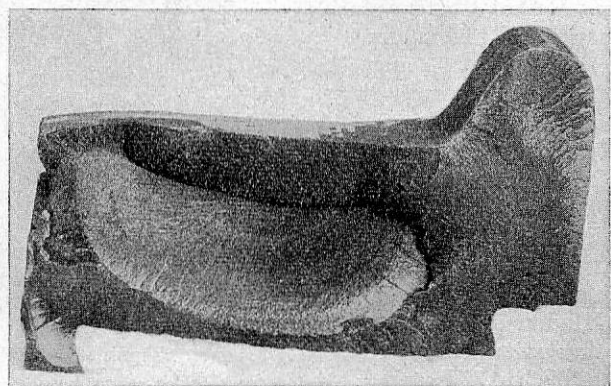


Bild 5. Innendauerbruch eines Radreifens.

ihre Ursache in Walzspannungsrissen haben. Je mehr man aber die Zugfestigkeit steigert, desto empfindlicher wird der Stahl gegen die zermürbende Wärmeeinwirkung des Bremsens, die zu dauernder Erwärmung und Wiederabkühlung der Reifenoberfläche führt. Kleine senkrechte Risse, die eine Ausdehnung von 10 bis 20 mm in der Breite und 1 bis 2 mm in der Tiefe haben, sind die Folge. Wenn auch diese Risse auf der Druckseite liegen und normalerweise, ebenso wie die manchmal schon recht groben Abblätterungen, im allgemeinen nicht zu einem

Bruch des Radreifens führen, so ist das nicht mehr sicher vorauszusetzen, wenn die Bremsbeanspruchung infolge der Steigerung der Geschwindigkeit immer mehr zunimmt und der Kohlenstoffstahl mit 80 bis 92 kg/mm² Zugfestigkeit hat sich, wie zu erwarten war, hier genau so empfindlich gezeigt, wie der legierte Stahl mit einer Höchstfestigkeit von 112 kg/mm². Hier tritt der Weiterentwicklung des Achsdrucks und der Geschwindigkeit ein ernstes Hindernis entgegen und trotz vielfacher Studien (siehe den Aufsatz des Berichters „Abblätterungen an Radreifen“, Stahl und Eisen 37, Heft 19) sind hier grundsätzliche Erfolge zunächst nicht eingetreten, wenn auch die Einführung des Stahls S 100 V für die Dampflokomotiven eine weitgehende Einschränkung der Abblätterung gebracht hat.

Es ist noch einiges über die Bezeichnung der Baustähle zu sagen. Genau genommen ist der St 52 zwar als Baustahl zu bezeichnen, denn er ist ein, wenn auch schwach legierter Kohlenstoffstahl. Die Bezeichnung St 52 verdient er eigentlich nicht, denn er ist noch nicht genormt, weil man der Entwicklung der chemischen Zusammensetzung, die ja einstweilen noch verschiedene Wege geht, nicht zu früh ein Hemmnis durch die Normung bereiten wollte. Auch der Stahl S 100 V ist als Baustahl zu bezeichnen, ebenso wie der Stahl mit 80 bis 92 kg/mm² Zugfestigkeit für Radreifen, der ebenfalls nicht im DIN-Blatt 1611 vorkommt. Schließlich ist der Schienenstahl auch kein Normstahl, da seine obere Grenze nicht bei 80 kg/mm² liegt, wie die des etwa entsprechenden St 70. Baustähle des DIN-Blatts 1662 als Chromnickelstähle sind bei der Reichsbahn wenig in Gebrauch, zahlreicher die des Blatts 1663, die Chrommolybdänstähle. Hier hat man neuerdings mit Erfolg das Molybdän nach Möglichkeit vermieden. Im wesentlichen blieb also die Reichsbahn bemüht, mit Kohlenstoffstählen allein oder mit schwach Mangan- und Siliziumlegierten Stählen auszukommen.

Einsatzstähle.

Aus dem DIN-Blatt 1661 müssen den Einsatzstählen noch einige Worte gewidmet werden. Sie sind mit Rücksicht auf die dem Aufkohlen folgende Härtung besonders reine Kohlenstoffstähle, deren Gehalt an P + S mit nicht mehr als 0,04%, zusammen 0,07% begrenzt ist. Durch die Abschreckung des auf 0,9% am Rande aufgekohlten Teils in Wasser oder Öl wird die Abriebfestigkeit stark gesteigert und zahlreiche Teile, die starker Abnutzung ausgesetzt sind, werden daher aus Einsatzstahl hergestellt. In der sogenannten Flammenhärtung, d. h. einer Oberflächenerwärmung mit nachfolgender Absprühung durch Wasserstrahl, ist der Einsatzhärtung ein starker Wettbewerber bei der Herstellung verschleißfester Teile entstanden. Sie bedingt Stähle, die einen höheren C-Gehalt aufweisen als die Einsatzstähle, dafür kann man hier von der unwirtschaftlichen Aufkohlung bzw. von der Erwärmung des vollen Stückes vor dem Härten absehen.

In den Rahmen dieser Bestrebungen zur Steigerung der Abriebfestigkeit des Stahls gehört noch das Abschrecken des Schienenkopfes aus der Walzhitze. Obwohl Thomasstahl wegen seines hohen Phosphorgehaltes kein sehr geeigneter Werkstoff für das Abschrecken ist, hat man mit der Herstellung von verschleißfesten Schienen nach diesem Verfahren Erfolge erzielt.

Grenzen der Werkstoffentwicklung*).

Neben der mechanischen Zerstörung der Oberfläche von Konstruktionsteilen wirkt nun noch die chemische und physikalische durch Rosten. Hier kennen wir drei Ursachen: Rein chemische Einflüsse, chemisch-physikalische Einflüsse und physikalisch-mechanische Einflüsse, im Zusammenwirken von Rosterscheinung und Dauerbeanspruchung. Der chemische

*) Siehe auch den Aufsatz „Grenzen der Werkstoffleistung“ in Glasers Ann. 1934, Heft 5/6.

Einfluß wird hauptsächlich veranlaßt durch Feuchtigkeit und Säuregehalt der Luft. Fahrzeuge, Gebäude und Brücken können hier weitgehend durch Anstriche und Schutzschichten geschützt werden. Von der Werkstoffseite her ist für Rostfestigkeit nicht viel zu erhoffen, da Legierungsbestandteile, z. B. Chrom oder Nickel, in einem solchen Ausmaß zugesetzt werden müßten, daß die Wirtschaftlichkeit des Betriebes leidet. Nur ein gewisser Kupferzusatz verspricht hier Erfolg, soweit Schwefel- oder schweflige Säure als Angriffsgas in Frage kommen. Aber auch hier empfiehlt sich sparsamer Gebrauch. Insbesondere sind es die Koks- und Düngemittelwagen und

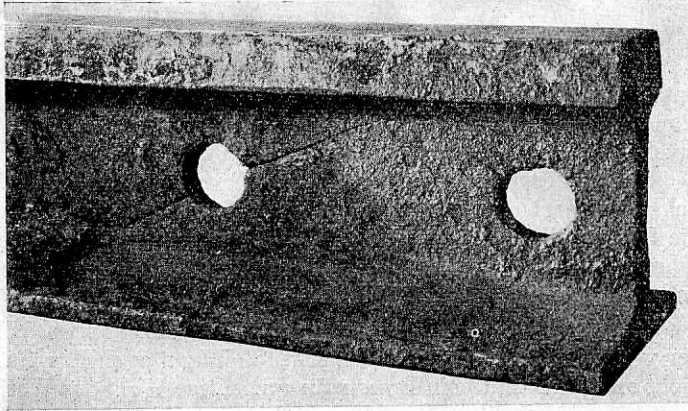


Bild 6. Kraftlinienrost am Laschenloch einer Schiene.

manche eiserne Schwellen, die dem Rostangriff ausgesetzt sind. Aber die Erörterung der Frage—eiserne oder hölzerne Schwelle—ist schon genügend weit an anderen Stellen durchgeführt, so daß eine Andeutung hier genügen möge (siehe auch den Aufsatz: „Das Rosten von Rippschwellen“ in Stahl und Eisen 24, Heft 7). Auch für die wasserführenden Fahrzeugteile, den Kessel, die Rohre und die Vorwärmer, kann von der Werkstoffseite her aus den verschiedensten Gründen zur Behebung der Rostzerstörung leider fast gar nichts getan werden, weil man auf diesem Wege den Ursachen des Angriffs nicht beikommt, die in der Anlagerung von Luftblasen oder Kesselstein und

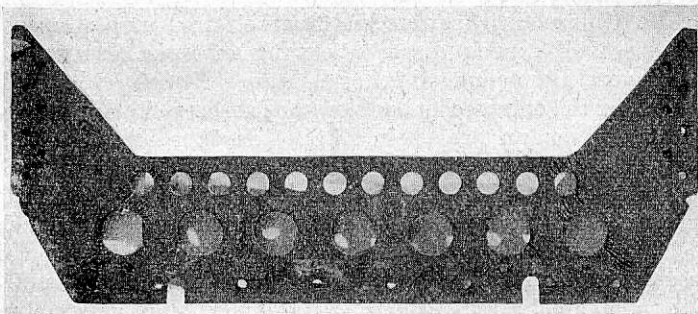


Bild 7. Kraftlinienrost an einem Ankerblech.

dem damit eintretenden Potentialunterschied gegenüber dem Rostangriff des Speisewassers zu suchen sind. Ähnlich ist es mit der dritten Art der Rostzerstörung, dem gleichzeitig wirkenden Einfluß von Rostangriff und Dauerbiege- oder Zugbeanspruchung. Die Hauptursache liegt hier in der mechanischen Beanspruchung und die Rostzerstörung wirkt hier nur fördernd und beschleunigend. Wir haben diesen gefährlichen Einfluß, der sich in einer starken Herabsetzung der Dauerhaftigkeit äußert, schon durch Bild 1 belegt. Das Abspringen des Walzzunders beweist, daß eine Überbelastung entlang von Kraftlinien bevorzugte Stellen des Querschnitts allein ergreift, während die Nachbarquerschnitte anscheinend ausgeschaltet bleiben. Der Werkstoff wird also zonenweise überlastet. Ob

nun das Abspringen der Zunderschichten der Korrosion hier bevorzugte Angriffsflächen eröffnet oder ob noch andere Gründe vorliegen; Tatsache ist, daß diese Kraftlinien, die man eigentlich als Linien eines Kräfteschaubildes darstellt, bei gleichzeitiger Einwirkung vom Rosteinfluß und Dauerbeanspruchung

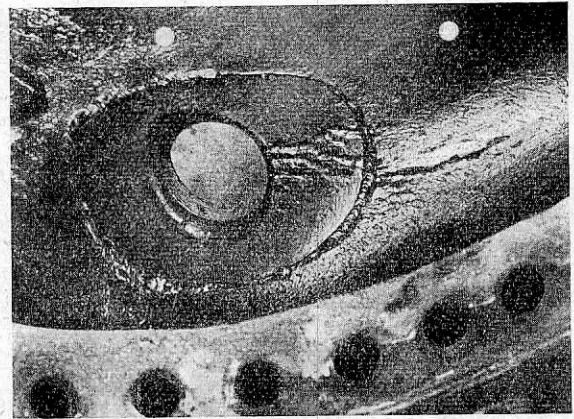


Bild 8. Erneut einsetzendes Kraftlinienrost an einer Einschweißstelle.

sich in sichtbaren Zerstörungslinien in den Werkstoff ein-graben. Die zerstörende Kraft ergreift hier gewissermaßen einen Zeichenstift und zeichnet dem Konstrukteur die Linien ihrer Einwirkung auf. Daher ist für die Erscheinung der Aus-druck Kraftlinienrost gewählt. Wir kennen aus der Eisen-bahntechnik hierfür sehr belehrende Beispiele. Das Bild 6 zeigt ein Rosten nach dem Kraftlinienverlauf beim Laschen-loch einer Schiene, die in Tunnelstrecken Rostangriff aus-gesetzt war. Eine Ausfasung des Lochrandes, wie sie neuer-dings vorgeschlagen ist, kann hier schon wirksam helfen. Ein sehr schönes Beispiel bilden Ankerbleche, die dem Angriff des Kesselwassers ausgesetzt sind (Bild 7). Hier ist der Mittelteil durch Löcher stark geschwächt. An der letzten Bohrung arbeitet das Ankerblech unter Biegebeanspruchung stark gegen

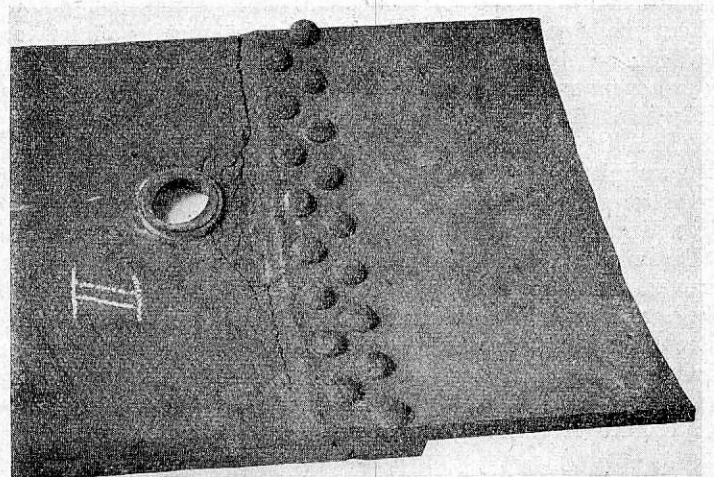


Bild 9. Erneut einsetzendes Kraftlinienrost an einer Stammkantenschweißung.

den nicht gelochten Randteil und hier zeichnet die Korrosion die Zerstörungskraftlinien ein und verlangt damit eine Ab-änderung der Form.

Versucht man derartige Korrosions-Kraftlinienschäden auszuschweißen, so ist der Schaden zwar zunächst geheilt, es dauert aber gar nicht lange, dann machen sich die zerstörenden Kräfte, die ja ohne Konstruktionsänderung nicht abzufangen sind, wieder bemerkbar (Bild 8). Die Stemm-kante der Kessel-schüsse ist aus ähnlichen Gründen stark gefährdet. Das Bild 9

zeigt einen Stemmkanterriß, der sich schon gefährlich weit entwickelt hat. Um ihn besser sichtbar zu machen, wurde die rechte Hälfte aufgebogen. Er war schon einmal verschweißt, und auch hier hat die durchgeführte Nachschweißung die Neubildung des Anrisses nicht verhindern können, sondern den Schaden nur für eine gewisse Zeit behoben.

Einige weitere Beispiele aus dem Maschinenbau seien hier noch genannt. Der Rahmen, der ja alle Kräfte des Triebwerks und der Fahrbewegungen verarbeiten muß, ist ein spannungstechnisch sehr gefährdeter Konstruktionsteil. Während er durch den Ansatz der Zylinder im vorderen Bereich erheblich verstärkt und versteift ist, geht dann fast rechtwinklig die Kraft auf einen anders geformten und biegsameren Rahmenteil über und hier besteht leicht die Gefahr der Rahmenbrüche. Aber auch die zahlreichen sonstigen Einbuchtungen oder Aushöhungen, die sich bei der Konstruktion nicht vermeiden lassen, schaffen leicht Stellen geringer Querschnittsdicke in unmittelbarem Anschluß an dickere oder versteifte Stellen. So ist der Rahmenbruch bei manchen Lokomotivgattungen

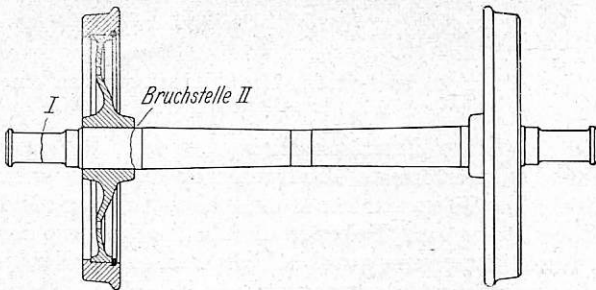


Bild 10. Bruchstellen am Übergang von der Nabe zur Achse.

eine leidige Begleiterscheinung, der man glücklicherweise durch Instandsetzungsschweißungen immer, wenn auch nicht grundsätzlich, beikommen kann. In manchen Umbügen der Feuerbüchsmäntel finden sich Stellen schneller Querschnittsverminderung, ähnliche Gefährdungsstellen, deren beginnende Anrisse immer wieder durch Schweißung geheilt werden müssen. Der Übergang der Achsnaben zum Bund (Bild 10, Bruchstelle II) bildet eine ähnliche Gefahrenstelle, und gerade hier hat die Reichsbahn nach der Geschwindigkeitserhöhung bei alten Ommwagen erhebliche Schwierigkeiten durch Steigerung der Zahl der sogenannten Nabenbrüche gehabt. Die Überleitung der Biegungskräfte vom verdickten Nabenquerschnitt auf die biegsame Achse wirkt hier um so gefährlicher, als der Anschlußquerschnitt der Achse in der Nabe durch den Preßsitz festgehalten wird und sich nicht elastisch an der Kraftübertragung beteiligen kann (siehe auch den Aufsatz des Berichters in Glasers Ann. 32, Heft 4/5 „Achsbüche von Eisenbahnfahrzeugen und ihre Ursachen“). Besonders mißlich ist, daß die beginnenden Dauerbrüchanrisse fast immer von der Nabe verdeckt sind und aus Gründen, die hier nicht erörtert werden sollen, einstweilen noch mit keinem Untersuchungsverfahren eindeutig festgestellt werden können. Verdickung der Nabe und gute Abrundung im Querschnittsübergang helfen bei

Neukonstruktionen Entlastungsumdrehungen bei vorhandenen Achsen, um dem Übel beizukommen. Beides wird zur Zeit in größerem Ausmaß versucht und verspricht nach Versuchsergebnissen auf einem Achsenprüfstand der Reichsbahn in Grunewald Erfolg. Der Stehbolzen ist am Ausschnitt aus der Feuerbüchswand ähnlich gefährdet.

Es brauchen nun nicht immer grobe Kerbe zu sein, die den Werkstoff bei Dauerbeanspruchung in einer Weise gefährden, daß Steigerung der Stahlgüte keinen Erfolg verspricht. Auch kleine Riefen sind gefährlich, wenn sie quer zur Krafrichtung liegen. Solche Riefen entstehen leicht, wenn Konstruktionsteile gegeneinander sich etwas oder sogar kräftig bewegen. Beim eben genannten Beispiel der Nabe wird die Oberfläche der Achse noch zusätzlich durch das Arbeiten der Nabe beschädigt. Der sogenannte Passungsrost ist hierfür ein unfehlbarer Augenzeuge. Ein weiteres Beispiel haben wir in dem Kolbenstangenkegel, der an der Keilanlage Oberflächenbeschädigungen erhält oder bei schlecht am Radkörper anliegenden Radreifen, besonders bei härterem Stahl und schließlich in schlecht aufeinander liegenden Federblättern, bei denen die Schabstellen deutlich erkennbar sind und zum Dauerbruch führen (siehe den Aufsatz des Berichters „Eisenbahnfedern und ihre Fertigung“ in Stahl und Eisen 34, Heft 2, S. 251).

Bei Treib- und Kuppelstangen zeigten sich bei etwa $\frac{1}{2}\%$ der verwendeten Stangen Dauerbrüche. Wenn auch ihre Zahl nicht erheblich und kein Beweis für unrichtige Wahl des Werkstoffs — hier St 50 — und Formgebung sein konnte, so war auch diese Bruchzahl für den Betrieb noch lästig. Abhilfe durch Wahl eines festeren Baustoffs bis zum St 70, führte nicht zum Ziel, und so mußte auch hier in der Formgebung durch Abbau der Spannungsspitzen, d. h. durch Vermeidung von scharfkantigen Bohrungen und Ausfräsungen oder durch ihre Verlegung an weniger gefährdete Querschnitte ein Ausweg gesucht werden. Lage und Höhe der Spannungsspitzen bei diesen Stangen wurden durch entsprechende Versuche im Materialprüfamt Berlin-Dahlem ermittelt und daraufhin Konstruktionsänderungen durchgeführt. Sie dürften zum Ziel führen; die Bewährungszeit ist aber noch zu kurz.

Soweit es also die Erfahrung zuließ, sind in der Nachkriegszeit fast durchgängig im Eisenbahnbetrieb wesentlich härtere Stähle mit Erfolg verwendet worden. Man kam damit an die Grenze der Schwerschweißbarkeit und mußte sowohl die Werkstoffe nach dieser Richtung in ihrer Zusammensetzung und Herstellung abändern, als auch die Schweißtechnik selber durch entsprechende Vorschriften zweckmäßiger gestalten. Es kann aber kein Zweifel darüber bestehen, daß nunmehr die Grenze der Werkstoffleistung so ziemlich überall erreicht ist. Das gilt besonders dort, wo ungünstiger Kraftlinienfluß den Werkstoff zusätzlich beeinflusst und womöglich noch in dieser gefährlichen Wirkung durch Korrosionsangriff unterstützt wird. Hier führt eine Steigerung der Werkstoffgüte nicht mehr zur Abhilfe, wohl aber kann geeignete Formgebung noch zur gesteigerten Haltbarkeit der Konstruktionsteile mit Erfolg angewendet werden.

Undichte Stehbolzen in kupfernen Feuerbüchsen.

Von Dr. J. Urbanek, Wien.

Die Ursache der Stehbolzenbrüche ist heute grundsätzlich geklärt, dagegen wissen wir über die Ursachen der Undichtheiten, welche namentlich an den in der Feuerzone liegenden Stehbolzen auftreten, verhältnismäßig wenig.

Die Stehbolzen werden beim Einbau in den Kesselwänden (wenn man vom Einschweißen absieht) bekanntlich dadurch abgedichtet, daß man durch Stauchen oder Aufdornen der Bolzenköpfe eine sehr erhebliche Montierungsspannung zwischen Bolzen und Lochwand erzeugt. Im neuen Zustande halten

sorgfältig hergestellte Verbindungen dieser Art selbst gegen Drücke dicht, die den Kesseldruck um ein Vielfaches übersteigen *).

Wird eine solche Verbindung im Laufe des Betriebes undicht, so zeigt dies zunächst ein Verschwinden der Mon-

*) Bei Laboratoriumsversuchen konnte der Verfasser mit ähnlichen Verbindungen Dichtheit gegen 400 at — dem höchsten, mit den vorhandenen Einrichtungen erreichbaren Druck — erzielen, wobei als Druckflüssigkeit Petroleum verwendet und der Druck mehrere Tage hindurch gehalten wurde.

tionungsspannung an. Ist die Undichtheit aber stark (wie häufig beobachtet werden kann), so muß zwischen Bolzenkopf und Lochwand sogar Spiel entstanden sein. Beide Erscheinungen können nur durch bleibende Formänderungen des Bolzens, des Loches oder beider Teile verursacht werden.

Diese, durch zahllose Erfahrungen bestätigte Tatsache wird verschieden erklärt. So sollen ungleiche Ausdehnungskoeffizienten des Bolzen- und des Feuerbüchsen-Werkstoffes oder aber das sogenannte Einspannmoment der Stehbolzen die Ursache sein.

Verschiedene Ausdehnungskoeffizienten können tatsächlich bei höherer Temperatur zur Bildung eines kleinen Spaltes zwischen Bolzen und Lochwand führen. In diesen Spalt dringt Wasser ein und hinterläßt Kesselstein, der beim Erkalten des Kessels wie ein Keil wirkt und den Spalt offen hält. Bei jedem Anheizen des Kessels wiederholt sich dieser Vorgang, bis die Kesselsteinablagerung zu einer Aufweitung des Loches und damit zu einer dauernden Undichtheit des Stehbolzens führt.

Das sogenannte Einspannmoment ist das Biegemoment, mit dem die Kesselwände auf die Stehbolzenköpfe wirken, um die Bolzen bei einer gegenseitigen Verschiebung der Wände zu der bekannten S-förmigen Verbiegung zu zwingen.

Das Einspannmoment verursacht neben anderen Spannungen an zwei gegenüberliegenden Stellen der Lochwand tangentielle Zugspannungen, die sich den beim Einbau der Bolzen erzeugten gleichartigen Spannungen überlagern. Überschreitet die Summenspannung die Elastizitätsgrenze, so werden die betreffenden Teile der Lochwand bleibend gedehnt, und das Loch selbst wird unrund.

Damit steht die bekannte Tatsache im Einklang, daß geringe Warmfestigkeit des Feuerbüchsenkupfers die Entstehung von Undichtheiten begünstigt.

Außer den angeführten Ursachen der Undichtheit gibt es aber noch eine, die bisher nur wenig beachtet wurde, deren Einfluß aber wesentlich größer sein kann, als der der anderen Ursachen. Sie soll im folgenden aufgezeigt und erörtert werden.

Wenn man eine ursprünglich ebene Blechtafel örtlich auf eine genügend hohe Temperatur erhitzt, so ist sie nach dem Abkühlen nicht mehr eben, sie hat sich „geworfen“, wie der Fachausdruck lautet. Da dieses Werfen aber eine bleibende Formänderung einzelner Tafelteile zur Voraussetzung hat, folgt aus der Tatsache des Werfens, daß durch die Erhitzung im Blech Spannungen erzeugt wurden, die über der Elastizitätsgrenze lagen.

Auch die Feuerbüchsenwände haben das Bestreben sich zu werfen, wenn sie — wie beim scharfen Feuern unvermeidlich — ungleichmäßig erhitzt werden. Sie können aber diesem Bestreben nicht frei folgen, weil sie durch die Stehbolzen mit den viel gleichmäßiger erwärmten, steifen Stehkesselwänden verbunden sind. Die Spannungen können sich daher nicht in einer Krümmung der Wand auswirken und so wenigstens teilweise ausgleichen, sondern müssen (natürlich erst bei einer gewissen Temperaturdifferenz) zu bleibenden Stauchungen oder Zerrungen einzelner Teile der Feuerbüchsenwand führen. Enthält nun der verformte Blechteil Löcher, so werden diese unrund, etwa elliptisch werden, wobei die große Achse der Ellipse bei Zug in die Zugrichtung fällt, während sie bei Druck senkrecht zur Druckrichtung liegt, wenn die Verformung der Löcher nicht durch eingebaute Teile behindert ist.

Bei dem üblichen Ausbohren undichter Stehbolzen ist es nicht möglich, etwaige Formänderungen der Löcher zu messen. Die in Bild 1 dargestellte (heute übrigens überholte) Stehbolzenbauart gestattet jedoch die Bolzen ohne Beschädigung der Wand auszubauen, so daß die Löcher leicht nachgemessen werden können.

In einer großen Lokomotive (Reihe 113 der ehem. österr.

Bundesbahnen) waren an der aus Bild 2 ersichtlichen Stelle, also in der Gegend der stärksten Hitzeeinwirkung, beiderseits 20 Stehbolzen der in Bild 1 dargestellten Konstruktion eingebaut. Die beiden Kesselwände sind durch ein biegsames Wellrohr verbunden, in dem ein Schraubenbolzen mit Kugelflächen an Kopf und Mutter biegsam gelagert ist. Einer gegenseitigen Verschiebung der Wände kann das Wellrohr

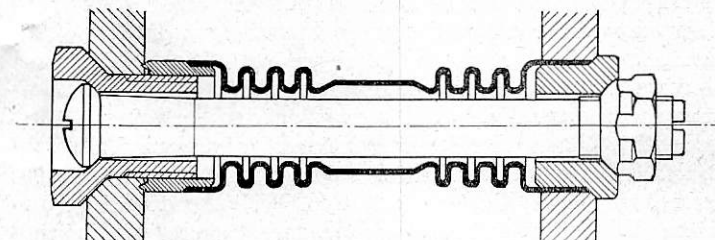


Bild 1.

durch seine Biegsamkeit folgen, während die Schraube seitlich ausschlägt. Zur Abdichtung trägt das Wellrohr auf der Feuerbüchsen-Seite eine hart angelötete Büchse, deren Ringschneide durch eine hohle Schraube in die Feuerbüchsenwand gepreßt wird. Im Stehkessel erfolgt die Abdichtung durch eine beim Einbau aufgedornete Büchse.

Nach kurzer Betriebszeit wurden die Bolzen in der Feuerbüchse undicht, konnten aber, wie beim Entwurf vorgesehen, durch einfaches Nachziehen der hohlen Zugschraube wieder in Ordnung gebracht werden. Die Undichtheit wiederholte

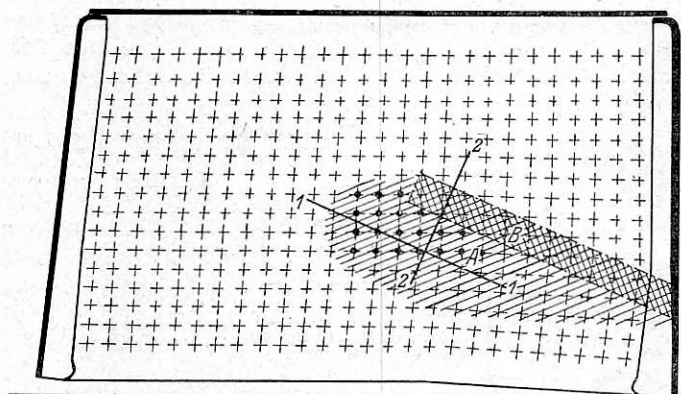


Bild 2.

sich mehrfach, das Nachdichten durch Anziehen der Hohl-schraube gelang aber immer schwerer und schließlich gar nicht mehr. Da diese Erscheinung weder durch Überlegung noch durch Augenschein befriedigend erklärt werden konnte, wurde ein Teil der Wellrohre ausgebaut. Dabei zeigte sich, daß die ursprünglich auf 26,6 mm Durchmesser ausgeriebenen Löcher durchwegs unrund geworden waren. Sie hatten die Form einer Ellipse, deren große Achse 27,5 bis 27,8 mm, und deren kleine Achse etwa 26,7 mm betrug. Die großen Achsen lagen alle in der gleichen Richtung, ungefähr parallel zum Feuergewölbe (Richtung 1-1 in Bild 2). In dieser Richtung waren also die Löcher um 0,9 bis 1,2 mm gewachsen. Fürwahr ein überraschendes Ergebnis!

Die Lage der großen Achse der Löcher etwa parallel zum Feuergewölbe ermöglicht eine einleuchtende Erklärung der beschriebenen Formänderung: Bei scharfem Heizen des Kessels, namentlich beim Anheizen, wird der unter dem Feuergewölbe liegende, streifenförmige (in Bild 2 durch einfache Schraffung angedeutete) Teil A der Feuerbüchsenwand stärker erhitzt als der darüber liegende, durch das Feuergewölbe gedeckte, und daher gegen die strahlende Hitze geschützte (in Bild 2 doppelt schraffierte) Teil B und natürlich auch stärker als der mit

dem Fußring verbundene unterste Teil C der Wand. Der Teil A ist daher bestrebt, sich stärker auszudehnen als die Teile B und C. In der Richtung 2-2 findet dieses Bestreben verhältnismäßig geringen Widerstand, weil die Feuerbüchse gegen die vordere, obere Ecke frei wachsen kann. In der Richtung 1-1 jedoch wird die Dehnung durch die kühleren Streifen B und C behindert. Im Teil A entstehen daher Druck-, in den Teilen B und C Zug-Spannungen. Bei genügender Temperaturdifferenz werden diese Spannungen die (durch die Erhitzung ohnehin stark herabgesetzte) Elastizitätsgrenze — soweit man bei Kupfer von einer solchen sprechen darf — überschreiten, und der Teil A wird in der Richtung 1-1 gestaucht. Wären die Stehbolzenlöcher in diesem Teil nicht ausgefüllt, so würden sie unrund werden, und zwar würde ihre große Achse in die Richtung 2-2 fallen. Weil aber die Löcher mit einem Werkstoff mit höherer Warmfestigkeit (Stehbolzenkupfer, bzw. Stahl) ausgefüllt sind, werden sie gegen die Stauchung unterstützt und bleiben rund, höchstens werden sie bei starker Stauchung in der Richtung 2-2 etwas breit gedrückt.

Beim Temperatúrausgleich (der schon während der Fahrt bei geringem Dampfverbrauch eintreten kann) kehrt sich der Vorgang um. Die Teile B und C werden wärmer und wachsen, der (gestauchte) Teil A wird kälter und ist bestrebt, sich zusammenzuziehen. Da er durch die Teile B und C daran gehindert wird, muß er sich in der Richtung 1-1 strecken. Jetzt finden aber die Löcher an den Stehbolzenköpfen keine Stütze mehr, sie werden daher in der Richtung 1-1 gedehnt und ergeben so das bei der Nachmessung festgestellte Bild.

Die erwähnte Formänderung ist jedenfalls nicht auf einmal entstanden, sondern stufenweise bei Belastungsstößen oder bei Überlastungen, denen die Lokomotive auf der Semme-

ringstrecke höchst wahrscheinlich ausgesetzt war. Dies ist aus folgender Beobachtung zu schließen: Bei einer Anzahl von Bolzen wurden die unrunderen Löcher auf 28 mm aufgerieben und Wellrohre mit entsprechend geänderten Köpfen eingezogen. Dabei wurde die Schneidendichtung durch eine Kupfer-Asbestdichtung ersetzt. Nach kurzer Betriebszeit waren aber auch diese Bolzen undicht. Nach dem Ausbau zeigte sich, daß die Löcher wieder in der Richtung 1-1 gestreckt waren, und zwar um 0,5 bis 0,6 mm.

Durch die Nachmessung der Löcher ist nicht nur die Ursache der eingangs erwähnten Undichtheiten einwandfrei erklärt, sondern auch der Grund dafür gefunden worden, weshalb an Stellen höchster thermischer Beanspruchung auch bei Aufdornstehbolzen nur das Verstemmen des Bolzenrandes und nicht das Nachdornen des Bolzenkopfes einigermaßen Abhilfe schafft.

Aus der geschilderten Beobachtung folgt aber weiter, daß (wenn man vom Einschweißen absieht) das wirksamste Mittel zur Bekämpfung der Undichtheiten die Verwendung eines Werkstoffes höherer Warmfestigkeit ist, wie er etwa im Kuproduer oder anderen warmfesten Kupferlegierungen zur Verfügung steht.

Nebenbei sei bemerkt, daß ähnliche Erscheinungen auch an stählernen Feuerbüchsen auftreten. Allerdings werden wegen der höheren Warmfestigkeit des Stahles mehr Spannungen und weniger Formänderungen entstehen. Daß diese Spannungen aber unter ungünstigen Umständen sogar die Bruchgrenze erreichen können, beweisen die während des Weltkrieges an den Feuerbüchsen einiger (österreichischen) Lokomotiven aufgetretenen mächtigen Risse, die (am kalten Kessel!) mit schußartigem Knall entstanden und bis zu 2 mm klafften.

Fehler bei den zeichnerischen Fahrzeitermittlungen.

Von Reichsbahnrat Dr. Ing. Gerhart Potthoff.

A. Die Fahrzeitermittlungsverfahren und ihre Fehler.

Die Verfahren der zeichnerischen oder rechnerischen Fahrzeitermittlung*) gehen von einer Darstellung aus, die zeigt, wie die Beschleunigung von der Geschwindigkeit abhängig ist, sei es, daß die Abhängigkeit durch die Beschleunigung b selbst dargestellt wird oder durch den Ansatz Zugkraft = Masse · Beschleunigung ($Z = m \cdot b$) oder durch die auf die Gewichtseinheit bezogene Zugkraft $s = \frac{m \cdot b}{G} = \frac{b}{g'}$, wo g' die Erdbeschleunigung unter Berücksichtigung der sich drehenden Massen bedeutet. Die bekannten Verfahren lassen sich in drei Gruppen einteilen:

1. Verfahren, die mit allgemeinen Integrationen arbeiten,
2. Verfahren, die Zeitschritte zugrunde legen (Δt -Verfahren),
3. Verfahren, die Geschwindigkeitsschritte zugrunde legen (Δv -Verfahren).

Die Verfahren der ersten Gruppe**) haben den theoretischen Vorteil, daß es bei ihnen möglich ist, Integrationsfehler zu vermeiden. Man erkaufte das durch den Nachteil, daß die Form der s-V-Linie einer integrierbaren Funktion angepaßt werden muß, was umständlich ist und zu neuen Fehlern und Ungenauigkeiten Anlaß geben kann. Die Hauptschwierigkeit bei der Anwendung

*) Zusammenstellungen bei Dittmann, Anweisungen für die Ermittlungen der Fahrzeiten der Züge nach den zeichnerischen Verfahren, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1924, S. 117 und bei Lubimoff, Über rechnerische und zeichnerische Ermittlungen der Fahrzeiten von Eisenbahnzügen 1932.

**) Raab, Über eine exakte Methode der Fahrzeitermittlung, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1933, S. 381 und Klein, Die Ermittlung der kürzesten Fahrzeit auf mech.-dyn. Grundlage, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1937, S. 77.

allgemeiner Integrationen liegt aber in den Unstetigkeiten der s-V-Linie. Bei Dampflokomotiven sind die Unstetigkeiten am Übergang von der Reibungs- zur Kesselleistungsgrenze bekannt, bei elektrischen Triebfahrzeugen die einzelnen Schaltstufen und bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren und mechanischem Getriebe die verschiedenen Gänge.

In der Praxis werden vorwiegend die Verfahren der zweiten und der dritten Gruppe angewandt, die sehr einfach im Aufbau

und in der Handhabung sind, aber den Nachteil haben, daß die angewandten Integrationen mit grundsätzlichen (systematischen) Fehlern behaftet sind. Einesteils entstehen solche Fehler bei dem Δt -Verfahren und dem Δv -Verfahren dadurch, daß die Wege sich aus den Ermittlungen ergeben und damit die Änderungen

der Beschleunigung an den Neigungswechseln, die an sich die Grundlagen der Ermittlungen bilden, erst als Ergebnis herauskommen und deshalb die vorher zu machenden Annahmen über die Zeit- oder Geschwindigkeitsschritte nicht notwendigerweise in den Wegen glatt aufgehen. Ein bestimmter Geschwindigkeitszuwachs Δv kann daher zum Teil in der Neigung s_1 , zum Teil in der Neigung s_2 liegen. Bei dem Δt -Verfahren kommt hinzu, daß die angenommene Einteilung der Zeitschritte Δt nicht mit den Unstetigkeiten der s-V-Linie übereinght. Die Fehler dieser Art kann man durch Verkleinerung der

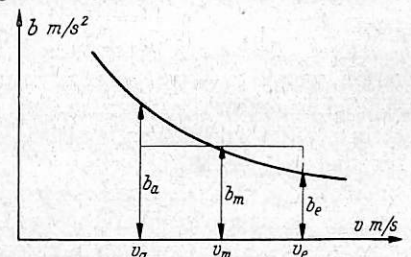


Bild 1. Gekrümmte b-v-Linie und Annahme einer mittleren Beschleunigung.

Schritte Δt oder Δv und durch Iterationen in erträglichen Grenzen halten. Von vornherein ungewisser sind die Fehler, die durch die Annahme mittlerer Beschleunigungen (Bild 1) während der Schritte Δt oder Δv entstehen*). Zweck der vorliegenden Abhandlung ist, die grundsätzlichen Fehler dieser Art klarzulegen und die verschiedenen Verfahren zu vergleichen.

B. Die Fehler bei einer geraden b-v-Linie.

1. Bei dem Δt -Verfahren.

a) *Ableitung der Näherungswerte.*

Das Müllersche Fahrzeitermittlungsverfahren**), das den Hauptvertreter der Verfahren darstellt, die eine Annahme über den Zeitschritt zugrunde legen, geht von einer gegebenen Anfangsgeschwindigkeit v_a aus und ergibt erstens die Endgeschwindigkeit v_e nach einem gegebenen Zeitabschnitt T und zweitens den Weg während dieser Zeit. Allgemein kann der Zeitabschnitt T in n gleiche Teile Δt geteilt werden:

1) $T = n\Delta t$, wobei $n = 1, 2, 3 \dots$ ist.
Dann ist der Geschwindigkeitszuwachs im ersten Zeitschritt Δt gleich $\Delta v_1 = v_1 - v_a$, im zweiten Zeitschritt: $\Delta v_2 = v_2 - v_1$ usw. und der gesamte Geschwindigkeitszuwachs:

2)
$$\sum_1^n \Delta v = v_e - v_a.$$

Die Wege sind $\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3$ usw. und der Gesamtweg $\sum_1^n \Delta l$.

Für den Gebrauch wählt man häufig $n = 1$. Die im folgenden für ein beliebig großes n abgeleiteten Formeln lassen sich leicht für diesen Sonderfall vereinfachen.

Wir untersuchen die Verhältnisse bei einer linearen b-v-Linie, die man durch die Gleichung $b = b_0 + qv$ darstellen kann. b_0 ist der Abschnitt der b-v-Linie auf der b-Achse, q ist die Neigung der b-v-Linie und meistens negativ.

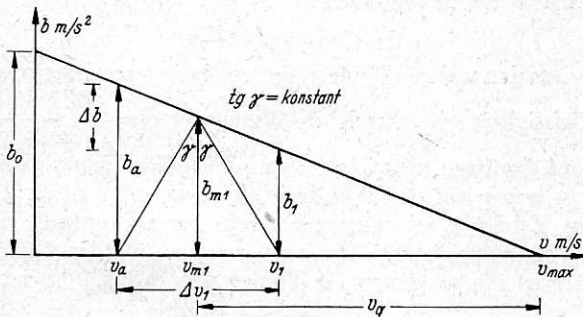


Bild 2. Fahrzeitermittlung nach dem Zeitwinkelverfahren.

Nach der von Müller angegebenen Konstruktion (Bild 2) kann man folgendes ableiten. Die für die Anwendung wichtigen Maßstäbe und ihre Berechnung spielen für unsere Untersuchung keine Rolle.

Während des ersten Zeitschrittes Δt ist die mittlere Geschwindigkeit:

3)
$$v_{m1} = v_a + \frac{\Delta v_1}{2}$$

und der Mittelwert der Beschleunigung:

4)
$$b_{m1} = b_a + \frac{q \Delta v_1}{2}$$

Nach den Grundregeln der Mechanik wird

$$\Delta v_1 = b_{m1} \Delta t$$

5)
$$\Delta v_1 = \frac{b_a \Delta t}{1 - \frac{q \Delta t}{2}}$$

*) Vgl. Mehmke, Leitfadens zum graphischen Rechnen 1924, S. 97.

**) Müller, Neuere Methoden für die Betriebsuntersuchungen der Bahnanlagen 1935.

Zu der nach Δt erreichten Geschwindigkeit $v_1 = v_a + \Delta v_1$ gehört eine Beschleunigung

6)
$$b_1 = b_0 + q(v_a + \Delta v_1) = b_a \frac{1 + \frac{q \Delta t}{2}}{1 - \frac{q \Delta t}{2}}$$

$$b_1 = \frac{2 + q \Delta t}{2 - q \Delta t} \cdot b_a.$$

Nach den getroffenen Vereinbarungen bleiben während des Zeitabschnittes T sowohl q wie Δt konstant, damit auch

7)
$$K = \frac{2 + q \Delta t}{2 - q \Delta t}.$$

Die Beschleunigung nach Δt wird also:

8)
$$b_1 = b_a K$$
 und die zugehörige Endgeschwindigkeit
$$v_1 = \frac{b_1 - b_0}{q}.$$

9)
$$v_1 = \frac{b_a K - b_0}{q}.$$

Durch den zweiten Schritt Δt ergibt sich ein Geschwindigkeitszuwachs

$$\Delta v_2 = \frac{b_1 \Delta t}{1 - \frac{q \Delta t}{2}}$$

Zur Geschwindigkeit v_2 gehört ein Beschleunigungswert b_2

10)
$$b_2 = b_1 K = b_a K^2$$

und die Geschwindigkeit v_2 selbst ist

$$v_2 = \frac{b_a K^2 - b_0}{q}.$$

Durch den n ten Schritt Δt wächst die Geschwindigkeit um

$$\Delta v_n = \frac{b_{n-1} \Delta t}{1 - \frac{q \Delta t}{2}}$$

Zu der Endgeschwindigkeit v_e gehört eine Beschleunigung

11)
$$b_e = b_a K^n$$
, und die Endgeschwindigkeit ist

12)
$$v_e = \frac{b_a K^n - b_0}{q}.$$

Der gesamte Geschwindigkeitszuwachs während des Abschnittes T ist

13)
$$V = \sum_1^n \Delta v = v_e - v_a = \frac{b_a}{q} (K^n - 1).$$

Weiter berechnen wir die Wege Δl , die während der einzelnen Zeitschritte Δt zurückgelegt werden. Bekanntlich ist $\Delta l = v_m \Delta t$, für den ersten Zeitschritt Δt ist also

$$\Delta l_1 = v_{m1} \Delta t$$

14)
$$\Delta l_1 = \left(\frac{b_a}{2} (1 + K) - b_0 \right) \frac{\Delta t}{q}.$$

Im zweiten Zeitschritt ist

$$\Delta l_2 = v_{m2} \Delta t$$

$$\Delta l_2 = \left(\frac{b_a}{2} (1 + K) K - b_0 \right) \frac{\Delta t}{q}.$$

Im n ten Zeitschritt ist der Weg

15)
$$\Delta l_n = \left(\frac{b_a}{2} (1 + K) K^{n-1} - b_0 \right) \frac{\Delta t}{q},$$

und der Gesamtweg während des Zeitabschnittes T wird

16)
$$\sum_1^n \Delta l = \left(\frac{b_a}{2} (1 + K) (1 + K + K^2 + \dots + K^{n-1}) - n b_0 \right) \frac{\Delta t}{q}.$$

Die Summe der geometrischen Reihe $1 + K + K^2 + \dots + K^{n-1}$ ist bekannt, und wir setzen

$$(1 + K) (1 + K + K^2 + \dots + K^{n-1}) = (1 + K) \frac{1 - K^n}{1 - K} = \frac{1 - K^n}{1 - K} (1 + K).$$

Damit wird der Gesamtweg

$$\sum_1^n \Delta l = \frac{1}{q} \left(\frac{b_a}{q} (K^n - 1) - n b_0 \Delta t \right)$$

und mit Benutzung der Gleichungen 13 und 1

$$17) \quad L = \sum_1^n \Delta l = \frac{1}{q} (V - b_0 T).$$

Den Ausdruck $q \Delta t$ (ohne Dimension) kann man im b-v-Bild (Bild 2) anschaulich darstellen. Bekanntlich ist $\frac{\Delta t}{2} = \frac{\Delta v/2}{b_m}$, nach Bild 2 ist weiterhin $q = \frac{b_m}{v_q}$, wenn man unter v_q die Differenz $v_{\max} - v_m$ versteht. Es folgt $q \Delta t = \frac{\Delta v}{v_q}$.

Hat man also eine Zeitwinkelermittlung durchgeführt, so findet man das Produkt $q \Delta t$ ohne weiteres gleich dem Verhältnis $\Delta v : v_q$, am einfachsten, wenn man Δv in den Zirkel nimmt und auszählt, wie oft man es in v_q auftragen kann. Die Dimensionen des b-v-Bildes (v in m/s oder km/h und b als Beschleunigung oder als Kraft s kg/t) spielen für diese Ermittlungen keine Rolle. Das Produkt $q \Delta t$ kann man daher auch aus den bei den üblichen Fahrzeitermittlungen gebrauchten s-V-Bildern gewinnen. Eine andere anschauliche Darstellung von $q \Delta t$ erhält man, wenn man $b_1 - b_a = \Delta b$ setzt. Es ist nach Abb. 2 $q = \Delta b : \Delta v$ und wie bekannt $\Delta t = \Delta v : b_m$, also $q \Delta t = \Delta b : b_m$. Das Verhältnis $\Delta b : b_m$ erhält man wieder am einfachsten mit dem Zirkel, wobei auch hier der Maßstab keine Rolle spielt, also auch das Verhältnis $q \Delta t = \Delta s : s_m$ (kg/t:kg/t) gebildet werden kann.

Der Ausdruck $q \Delta t$ hat bestimmte Grenzen. Sein Kleinstwert ist $q \Delta t = -2$. Nach Formel 6 wird dann nämlich mit einem Schritt Δt die Geschwindigkeit erreicht, bei der $b = 0$ ist. In der Zeitwinkelkonstruktion nach Prof. W. Müller bedeutet $q \Delta t = -2$, daß der abfallende Zeitwinkelschenkel und die b-v-Linie aufeinander fallen. Der Größtwert wird $q \Delta t = +2$. Nach Formel 6 und 9 wird dann mit einem Schritt eine unendlich große Endbeschleunigung und Endgeschwindigkeit erreicht. In der Zeitwindeldarstellung bedeutet $q \Delta t = +2$, daß der steigende Zeitwinkelschenkel und die b-v-Linie parallel laufen und sich nicht mehr schneiden. Bei dem Δt -Verfahren sind also die größten Zeitschritte, die man anwenden kann:

$$18) \quad \Delta t = \pm \frac{2}{q},$$

mit dem positiven Vorzeichen, wenn die b-v-Linie mit wachsendem v ansteigt, mit dem negativen, wenn sie fällt. Praktisch werden so große Δt -Werte nicht angewandt, da die Fehler dabei zu groß werden.

b) Ableitung der wahren Werte.

Die Ergebnisse der Gleichungen 13 und 17 muß man mit den wahren Werten des Geschwindigkeitszuwachses V' und des Weges L' vergleichen, die man bei einer Integration der b-v-Linie erhält. Es ist $d v = b dt$ und $d l = v dt$.

$$19) \quad \int_0^T dt = \int_{v_a}^{v_e'} \frac{d v}{b_0 + q v}$$

Damit wird die wahre Endgeschwindigkeit nach dem Zeitabschnitt T:

$$20) \quad v_e' = \frac{b_a e^{qT} - b_0}{q}$$

und der wahre Geschwindigkeitszuwachs

$$21) \quad V' = v_e' - v_a = \frac{b_a}{q} (e^{qT} - 1).$$

Der wahre Gesamtweg wird

$$22) \quad L' = \frac{1}{q} \left(\frac{b_a}{q} (e^{qT} - 1) - b_0 T \right)$$

oder

$$23) \quad L' = \frac{1}{q} (V' - b_0 T).$$

c) Die wahren Fehler.

Den Unterschied zwischen dem wahren oder genauen Wert der Geschwindigkeit oder des Weges und dem Näherungswert nach dem Δt -Verfahren nennen wir den wahren (absoluten) Fehler a_v bzw. a_l und schreiben ihn in der Dimension der Geschwindigkeit bzw. des Weges an. Aus der Gleichung 21 und 13 erhält man also:

$$a_v = V' - V = \frac{b_a}{q} (e^{qT} - 1) - \frac{b_a}{q} (K^n - 1)$$

$$24) \quad a_v = \frac{b_a}{q} (e^{qT} - K^n) \quad \text{oder, was dasselbe bedeutet:}$$

$$a_v = \frac{b_a}{q} \left[e^{n q \Delta t} - \left(\frac{2 + q \Delta t}{2 - q \Delta t} \right)^n \right].$$

In dem Klammerausdruck sind als Veränderliche nur n und das Produkt $q \Delta t$ enthalten, wobei $n = 1, 2, 3 \dots$ sein kann und $q \Delta t$ zwischen -2 und $+2$ liegt, wie oben abgeleitet wurde.

Hinsichtlich der Wege berechnen sich die wahren Fehler beim Δt -Verfahren aus Gleichung 23 und 17 zu:

$$a_l = L' - L = \frac{1}{q} (V' - V)$$

$$25) \quad a_l = \frac{a_v}{q}.$$

Der wahre Wegfehler unterscheidet sich also vom wahren Geschwindigkeitsfehler nur durch den konstanten Faktor q . Die Formeln 24 und 25 sind für den Sonderfall $n = 1$ in anderer Form schon bei Müller zu finden*).

d) Die bezogenen Fehler.

Neben den wahren Fehlern sind die bezogenen oder relativen von Wichtigkeit, die durch die Gleichung $c = \frac{\text{Wahrer Wert}}{\text{Näherungswert}}$ bestimmt sind und mit c_v in bezug auf die Geschwindigkeit und mit c_l in bezug auf den Weg bezeichnet werden. Statt der bezogenen Fehler c ist mitunter auch der prozentuale Fehler 100 $(c - 1)$ % wichtig. Einem bezogenen Fehler 1,025 entspricht also ein prozentualer Fehler von 2,5%. Es ist

$$c_v = \frac{V'}{V} = \frac{\frac{b_a}{q} (e^{qT} - 1)}{\frac{b_a}{q} (K^n - 1)}$$

$$26) \quad c_v = \frac{e^{n q \Delta t} - 1}{\left(\frac{2 + q \Delta t}{2 - q \Delta t} \right)^n - 1}$$

Der Fehler c_v ist nur von n und dem Produkt $q \Delta t$ abhängig und wird in Bild 3 über den Werten $n q \Delta t$ dargestellt.

Der Wegfehler c_l wird

$$c_l = \frac{L'}{L} = \frac{\frac{1}{q} \left(\frac{b_a}{q} (e^{qT} - 1) - b_0 T \right)}{\frac{1}{q} \left(\frac{b_a}{q} (K^n - 1) - b_0 T \right)}$$

$$27) \quad c_l = \frac{\frac{b_a}{b_0} (e^{n q \Delta t} - 1) - n q \Delta t}{\frac{b_a}{b_0} \left[\left(\frac{2 + q \Delta t}{2 - q \Delta t} \right)^n - 1 \right] - n q \Delta t}$$

*) Müller, Neuere Methoden, S. 19.

c_l ist also nur von $b_a : b_0$, n und $q \Delta t$ abhängig und wird in Bild 8 bis 11 für $n = 1$ und verschiedene Werte $b_a : b_0$ und in Bild 4 für $b_a : b_0 = 1$ und verschiedene Werte $n = 1, 2$ und 4 dargestellt. Das Verhältnis $b_a : b_0$ kann man leicht aus dem b-v-Bild ab-

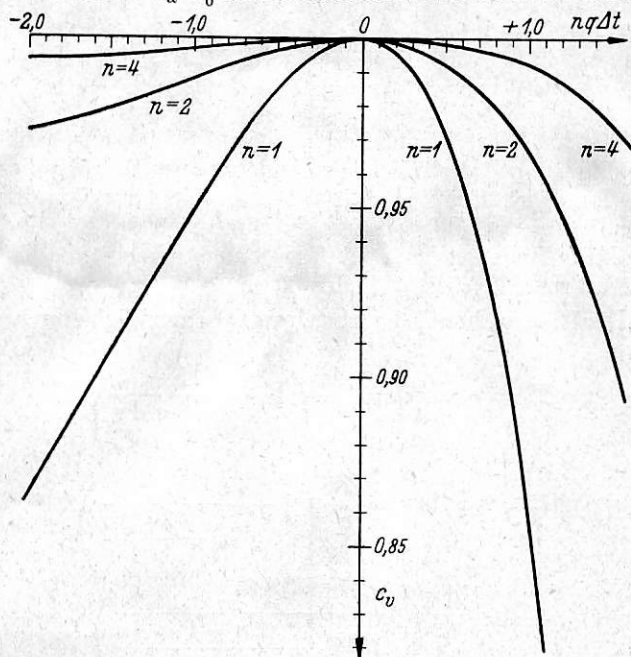


Bild 3. Fehler c_v bei dem Δt -Verfahren.

leiten, am einfachsten, wenn man b_a in den Zirkel nimmt und auszählt, wie oft man b_a in b_0 auftragen kann. $b_a : b_0$ ist natürlich unabhängig von der Dimension, man kann statt dessen ohne weiteres das Verhältnis $s_a : s_0$ bilden, wenn man mit den üblichen s-V-Bildern arbeitet.

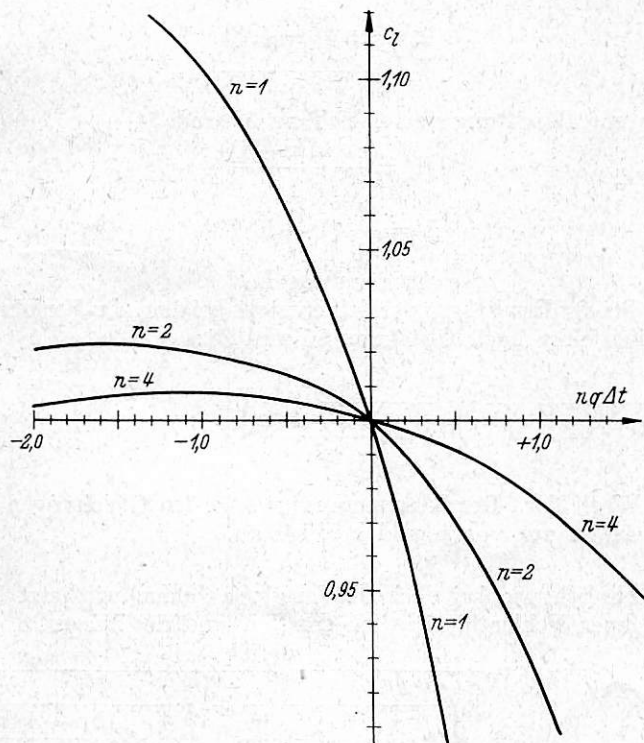


Bild 4. Fehler c_l mit $b_a : b_0 = 1$ bei dem Δt -Verfahren.

Der Fall $b_a : b_0 = 1$ entspricht einer Bewegung aus der Ruhelage ($v = 0$) heraus. Wie man sieht, ist dieser Fall immer der ungünstigste. Die Darstellungen der Abbildungen geben nur Beispiele für die entsprechenden Formeln. Im Einzelfall kann man sich die Fehler immer mit Hilfe der angeschriebenen Formeln ausrechnen.

Aus den Bildern 3, 4 und 8 bis 11 kann man leicht die Grenzen für die Größe des Zeitschrittes Δt bestimmen, wenn man einen bestimmten Fehler, z. B. 2% für zulässig hält. Diesem Fehler entspricht ein zulässiges $c_v = 0,98$ und $c_l = 1,02$ bzw. 0,98. Ist die Bestimmung des zulässigen Δt für den häufigsten Fall $n = 1$ und negatives q gefordert, so sieht man, daß $\Delta t = 0,6 : q$ mit Rücksicht auf den Geschwindigkeitsfehler werden darf, wenn $b_a : b_0 < 0,67$ ist. Für größere Werte von $b_a : b_0$ ist der Wegfehler nach den Bildern 8 bis 11 maßgebend, und zwar derart, daß für die Bewegung aus der Ruhelage ($b_a : b_0 = 1$) $\Delta t = 0,14 : q$ sein darf. Die beiden genannten Grenzen sind also weit von dem größten, überhaupt möglichen Wert $\Delta t = 2 : q$ entfernt, den wir oben abgeleitet haben.

2. Die Fehler bei dem Unreinschen Verfahren.

Der erste Schritt des Unreinschen Verfahrens, die Ermittlung der Geschwindigkeits-Weg-Linie, entspricht der oben gezeigten Ermittlung der Geschwindigkeiten bei dem Δt -Verfahren mit dem Unterschied, daß der Unreinsche Ausschwingewinkel α nicht unbedingt ein Vielfaches eines runden Zeitmaßes sein muß. Die Geschwindigkeitsfehler des Unreinschen Verfahrens sind dieselben, wie sie in den Gleichungen 24 und 26 angeschrieben wurden. Beim zweiten Schritt des Unreinschen Verfahrens, der Ermittlung der Zeiten und der zugehörigen Wege, geht man von einer als bekannt und fehlerlos vorausgesetzten Geschwindigkeits-Weg-Linie aus und wendet den Zeitwinkel für die Gleichung „ $\Delta t = \Delta l : v_m = \text{konstant}$ “ an. Soweit also die Geschwindigkeits-Weg-Linie während eines Zeitschrittes als Gerade vorausgesetzt werden kann, sind die Wege und ihre Fehler wiederum nach den Gleichungen 24 und 26 zu berechnen, wenn man in diesen Gleichungen b_a durch v_a ersetzt und q als Neigung der Geschwindigkeits-Weg-Linie auffaßt. Zwischen den beiden Schritten des Unreinschen Verfahrens besteht kein unmittelbarer Zusammenhang. Die wahren und bezogenen Fehler des Weges lassen sich deshalb nicht geschlossen darstellen, wie es bei dem Δt -Verfahren nach Müller möglich war.

3. Die Fehler bei den Δv -Verfahren.

Fahrzeitermittlungen, die einen Geschwindigkeitsschritt Δv zugrundelegen, sind in Deutschland unter den Namen Velte, Strahl und Caesar am bekanntesten. Es gibt aber darüber hinaus eine Unzahl von Verfahren, die sich die Einfachheit der Ableitungen dieses Verfahrens zunutze machen (vgl. besonders Lubimoff, a. a. O.).

a) Ableitung der Näherungswerte.

Es wird ein Geschwindigkeitsschritt Δv angenommen und aus dem b-v-Bild der zugehörige Schritt Δt bestimmt. Als zweite Stufe folgt die Ermittlung der Wege Δl (Bild 5).

Bei dem ersten Schritt Δv_1 ist der Mittelwert der Beschleunigung:

$$28) \quad b_{m1} = b_a + \frac{q \Delta v}{2}$$

Nach der Definition der Beschleunigung wird die Zunahme an Zeit:

$$29) \quad \Delta t_1 = \frac{\Delta v}{b_{m1}} = \frac{\Delta v}{b_a + \frac{q \Delta v}{2}}$$

Macht man einen weiteren gleichen Schritt Δv , so ist die mittlere Beschleunigung:

$$b_{m2} = b_a + \frac{3q \Delta v}{2}$$

und damit die Zeitzunahme

$$30) \quad \Delta t_2 = \frac{\Delta v}{b_a + \frac{3q \Delta v}{2}}$$

Allgemein wird der nte Zeitschritt:

$$31) \quad \Delta t_n = \frac{\Delta v}{b_a + \frac{(2n-1)q \Delta v}{2}}$$

Betrachtet man einen Geschwindigkeitsbereich v_a bis v_e , den man in n gleiche Teile Δv zerlegt, so daß

32) $n \Delta v = v_e - v_a = V$
wird, wobei $n = 1, 2, 3 \dots$ sein kann, so wird die Summe der Zeitschritte, die man braucht, um von v_a auf v_e zu kommen:

$$T = \sum_{i=1}^n \Delta t = \frac{\Delta v}{b_a + \frac{q \Delta v}{2}} + \frac{\Delta v}{b_a + \frac{3q \Delta v}{2}} + \dots + \frac{\Delta v}{b_a + \frac{(2n-1)q \Delta v}{2}}$$

$$33) \quad T = \frac{\Delta v}{b_a} \left(\frac{1}{1 + \frac{q \Delta v}{2 b_a}} + \frac{1}{1 + \frac{3q \Delta v}{2 b_a}} + \dots + \frac{1}{1 + \frac{(2n-1)q \Delta v}{2 b_a}} \right)$$

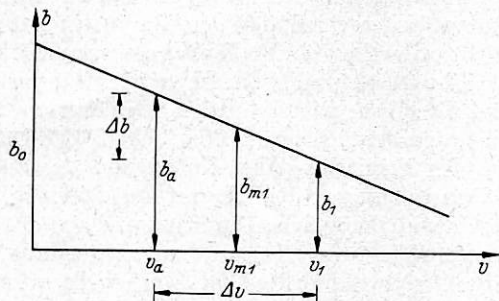


Bild 5. Fahrzeitermittlung nach dem Δv -Verfahren.

$$L = \sum_{i=1}^n \Delta l = \frac{n \Delta v}{q} - \frac{b_0 \Delta v}{b_a q} \left(\frac{1}{1 + \frac{q \Delta v}{2 b_a}} + \frac{1}{1 + \frac{3q \Delta v}{2 b_a}} + \dots + \frac{1}{1 + \frac{(2n-1)q \Delta v}{2 b_a}} \right)$$

$$36) \quad L = \frac{1}{q} (V - b_0 T)$$

oder nach Gleichung 34

$$37) \quad L = \frac{b_0}{q^2} \left[\frac{b_a}{b_0} n k - k \left(\frac{1}{1 + \frac{k}{2}} + \frac{1}{1 + \frac{3k}{2}} + \dots + \frac{1}{1 + \frac{(2n-1)k}{2}} \right) \right]$$

b) Ableitung der wahren Werte.

Die genauen Werte der zu ermittelnden Zeiten und Wege kann man ohne weiteres aus den Gleichungen 21 und 23 ableiten.

$$40) \quad a_t = T' - T = \frac{1}{q} \left[\ln(nk + 1) - k \left(\frac{1}{1 + \frac{k}{2}} + \frac{1}{1 + \frac{3k}{2}} + \dots + \frac{1}{1 + \frac{(2n-1)k}{2}} \right) \right]$$

Der Wegfehler wird nach Gleichung 36 und 39:

$$41) \quad a_l = L' - L = -\frac{b_0}{q} (T' - T)$$

$$42) \quad a_l = -\frac{b_0}{q} a_t$$

Die Gleichung 42 deckt beim Δv -Verfahren einen ähnlichen Zusammenhang zwischen Zeit- und Wegfehler auf wie die Gleichung 25 beim Δt -Verfahren zwischen Geschwindigkeits-

$$44) \quad e_l = \frac{L'}{L} = \frac{\frac{b_a}{b_0} n k - \ln(nk + 1)}{\frac{b_a}{b_0} n k - k \left(\frac{1}{1 + \frac{k}{2}} + \frac{1}{1 + \frac{3k}{2}} + \dots + \frac{1}{1 + \frac{(2n-1)k}{2}} \right)}$$

Setzt man

$$34) \quad k = \frac{q \Delta v}{b_a},$$

so wird

$$35) \quad T = \frac{k}{q} \left(\frac{1}{1 + \frac{k}{2}} + \frac{1}{1 + \frac{3k}{2}} + \dots + \frac{1}{1 + \frac{(2n-1)k}{2}} \right)$$

Für den Wert k findet man in Bild 5 eine anschauliche Darstellung. $q \Delta v$ ist gleich der Änderung der Beschleunigung Δb . Das Verhältnis $\Delta b : b_a$ kann man leicht mit dem Zirkel bilden, wobei der Maßstab und die Dimension der Beschleunigung keine Rolle spielen, so daß man auch aus einem s-V-Bild den Ausdruck $k = \Delta s : s_a$ finden kann.

Die Wege während der einzelnen Geschwindigkeitsschritte sind:

$$\Delta l_1 = v_{m1} \Delta t_1 = \frac{\Delta v}{q} \left(1 - \frac{b_0}{b_a + \frac{q \Delta v}{2}} \right)$$

$$\Delta l_2 = v_{m2} \Delta t_2 = \frac{\Delta v}{q} \left(1 - \frac{b_0}{b_a + \frac{3q \Delta v}{2}} \right)$$

$$\Delta l_n = \frac{\Delta v}{q} \left(1 - \frac{b_0}{b_a + \frac{(2n-1)q \Delta v}{2}} \right)$$

Die Summe der Wege ist:

$$T' = \frac{\ln \left(\frac{qV}{b_a} + 1 \right)}{q}$$

oder mit Beachtung von Gleichung 32 und 34

$$38) \quad T' = \frac{\ln(nk + 1)}{q}$$

$$39) \quad L' = \frac{1}{q} (V - b_0 T')$$

c) Die wahren Fehler.

Bei der Ermittlung der Zeit entsteht bei dem Δv -Verfahren ein Zeitfehler nach Gleichung 35 und 38:

und Wegfehler. Der Klammerausdruck in den Gleichungen 40 und 41 ist nur von n und k abhängig.

d) Die bezogenen Fehler.

Ähnlich wie bei dem Δt -Verfahren bilden wir jetzt die bezogenen Fehler hinsichtlich der Zeit und des Weges.

$$43) \quad c_t = \frac{T'}{T} = \frac{\ln(nk + 1)}{k \left(\frac{1}{1 + \frac{k}{2}} + \frac{1}{1 + \frac{3k}{2}} + \dots + \frac{1}{1 + \frac{(2n-1)k}{2}} \right)}$$

Die beiden letzten Gleichungen hat Ehrensberger für den Sonderfall $n = 1$ abgeleitet*). Man kann sich leicht überzeugen, daß die hier abgeleitete Gleichung 43 mit der Ehrensbergerschen Gleichung 10 und die hier abgeleitete Gleichung 44 mit der Ehrensbergerschen Gleichung 11a übereinstimmt, wenn man $n = 1$ und $k = \frac{b_e - b_a}{b_a}$ setzt. Die hier mitgeteilten Formeln sind umfassender als die Ehrensbergers, da sie die Möglichkeit geben, den Geschwindigkeitsschritt in n gleiche Teile zu zerlegen. Die Formel für c_l ist aber auch einfacher, da sie außer n nur 2 Veränderliche k und $b_a : b_0$ enthält, während Ehrensberger 3 Veränderliche anwendet.

Formel 43 ist in Bild 6 dargestellt, Formel 44 in den den Bildern 7 bis 11. Dabei gibt Bild 7 die Fehler c_l für

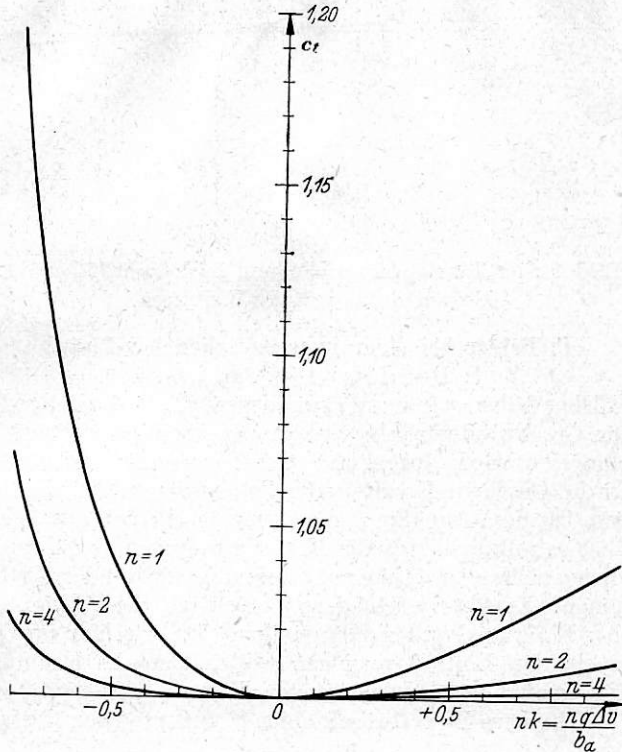


Bild 6. Fehler c_l nach dem Δv -Verfahren.

$b_a : b_0 = 1$ und verschiedene Werte n wieder, Bilder 8 bis 11 für $n = 1$ und verschiedene Werte $b_a : b_0$. Der Fall $b_a : b_0 = 1$ entspricht dem Beginn der Bewegung in der Ruhelage ($v = 0$). Die Fehler werden in diesem Fall immer am ungünstigsten. In den Bildern sind nur einzelne Beispiele dargestellt. Mit Hilfe der abgeleiteten Gleichungen kann man die Fehler in jedem Fall anschreiben.

4. Vergleich des Δt -Verfahrens mit dem Δv -Verfahren.

Es reizt, die für beide Verfahren ausführlich abgeleiteten Fehler miteinander zu vergleichen. Dabei muß man beachten, daß die Abszissen $nq \Delta t$ mit den Abszissen $\frac{nq \Delta v}{b_a}$ durch die Gleichung 38 verknüpft sind.

$$nq \Delta t = \ln \left(\frac{nq \Delta v}{b_a} + 1 \right).$$

Weiter kann man grundsätzlich die Geschwindigkeitsfehler des Δt -Verfahrens nicht mit den Zeitfehlern des Δv -Verfahrens vergleichen. Vergleichbar sind aber die Wegfehler bei beiden Ver-

*) Ehrensberger, Die Kosten einer Zugfahrt in Abhängigkeit von der Fahrweise und der Anstrengung des Triebfahrzeugs. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1931, Heft 21, Seite 432; Zuko, Dienstvorschrift der Deutschen Reichsbahn.

fahren. In den Bildern 8 bis 11 sind deshalb die Wegfehler c_l beim Δt -Verfahren und beim Δv -Verfahren für den Sonderfall $n = 1$ und verschiedene Werte $b_a : b_0$ gegenübergestellt. Dabei ist die erwähnte Verknüpfung der Abszissen beachtet worden. Man erkennt, daß die Wegfehler beim Δt -Verfahren im Bereich

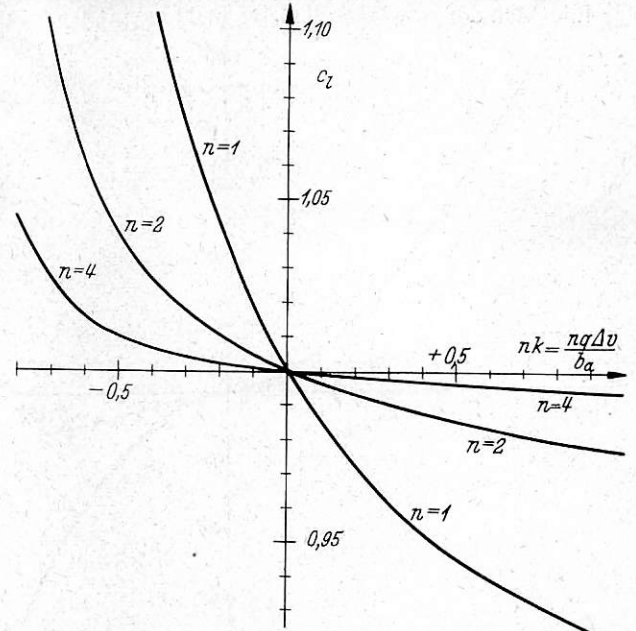


Bild 7. Fehler c_l mit $b_a : b_0 = 1$ nach dem Δv -Verfahren.

der negativen Werte von q immer kleiner sind als die Wegfehler beim Δv -Verfahren. Im Bereich der positiven Werte von q ist es umgekehrt. Ein Zahlenbeispiel soll die Überlegenheit des Δt -Verfahrens weiter beleuchten.

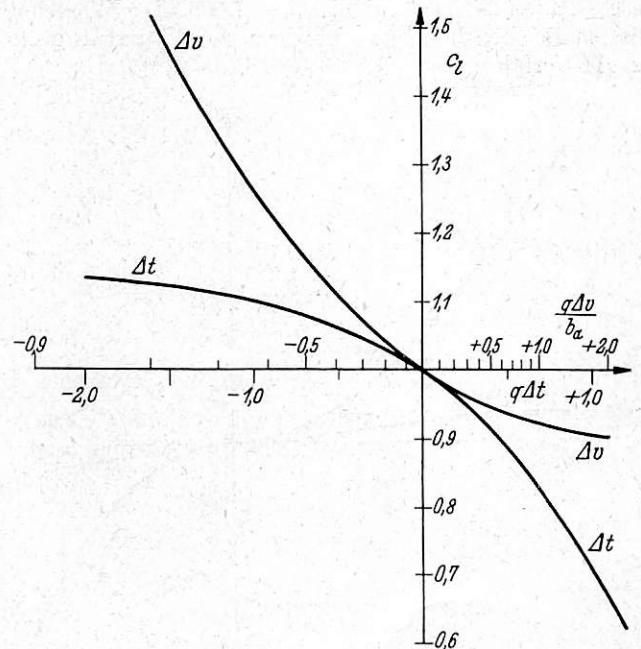


Bild 8. Fehler c_l mit $n = 1$ und $b_a : b_0 = 1$. Vergleich Δt - mit Δv -Verfahren.

Lubimoff (a. a. O. S 23) teilt eine Fahrzeitermittlung mit, aus der wir den 5. Schritt von $v_a = 11,11$ bis $v_e = 13,33$ m/s willkürlich herausgreifen. Aus den Kräften des Lubimoffschen Bildes 9 kann man abgreifen $b_a = 0,0373$ m/s² und $b_e = 0,0224$ m/s². In dem Geschwindigkeitsschritt $v_a = 11,11$ bis $v_e = 13,33$ kann man die b - v -Linie als Gerade mit der Gleichung $b = 0,1120 - 0,00672 v$ auffassen. Damit erhält

man $b_a : b_0 = 0,333$ und $\frac{q \Delta v}{b_a} = -0,400$. Aus Gleichung 43 ergibt sich bei $n = 1$ ein Zeitfehler $c_t = 1,021$ und aus Gleichung 44 ein Wegfehler $c_l = 1,029$. Will man das vorliegende Geschwindigkeitsintervall mit dem Δt -Verfahren durchmessen, so berechnet sich der zu wählende Zeitschritt nach Gleichung 38

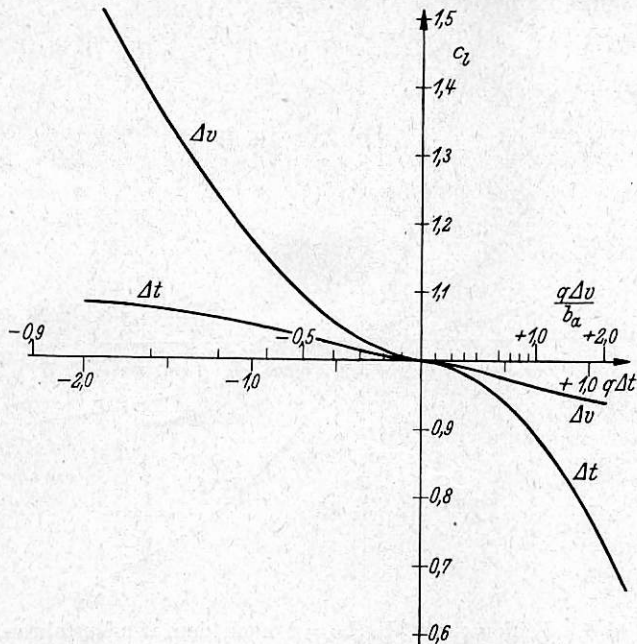


Bild 9. Fehler c_l mit $n = 1$ und $b_a : b_0 = 0,75$ bzw. $1,333$. Vergleich Δt mit Δv -Verfahren.

zu $\Delta t = 76$ sek. Der Wert $q \Delta t = -0,5106$, und damit wird nach Gleichung 26 der Geschwindigkeitsfehler $c_v = 0,983$ und nach Gleichung 27 der Wegfehler $c_l = 1,006$. Der Wegfehler ist in diesem Beispiel beim Δv -Verfahren rund 5mal so groß wie beim Δt -Verfahren!

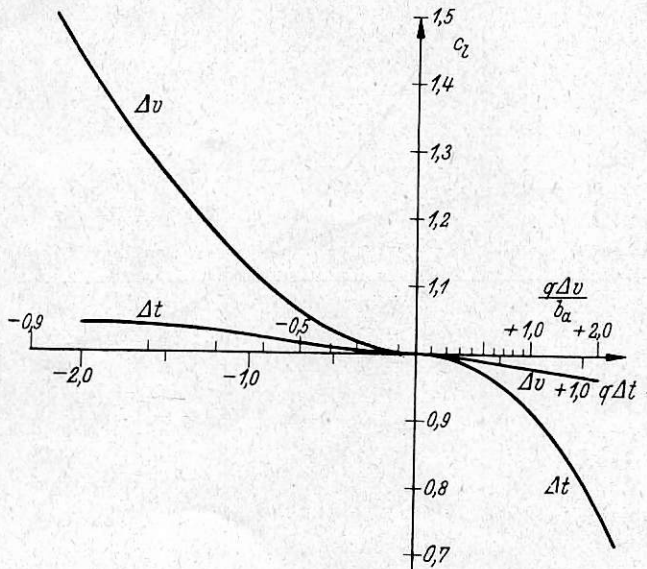


Bild 10. Fehler c_l mit $n = 1$ und $b_a : b_0 = 0,50$ bzw. 2 . Vergleich Δt - mit Δv -Verfahren.

Der Bereich der negativen q -Werte ist für die Anwendung der Fahrzeitermittlungsverfahren weitaus am bedeutendsten. Man kann deshalb im Hinblick auf die Bilder 8 bis 11 sagen, daß die Fahrzeitermittlung nach dem Δt -Verfahren dem Δv -Verfahren grundsätzlich wegen der geringeren Wegfehler überlegen ist. Diese Überlegenheit kann man sich auch derart zunutze machen, daß bei einer gleichen verlangten Genauigkeit

der Wege die Ermittlung nach dem Δt -Verfahren mit weniger Schritten möglich ist als eine Ermittlung nach dem Δv -Verfahren.

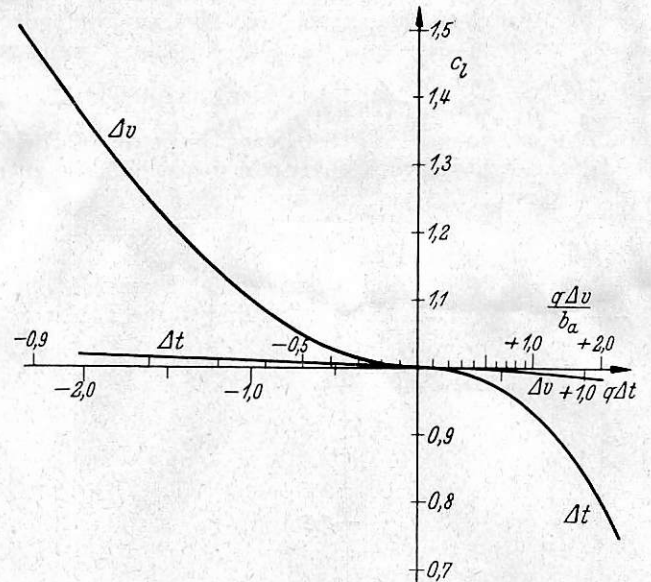


Bild 11. Fehler c_l mit $n = 1$ und $b_a : b_0 = 0,25$ bzw. 4 . Vergleich Δt - mit Δv -Verfahren.

C. Fehler bei einer hyperbolischen b-v-Linie.
1. Bei dem Δt -Verfahren.

Bisher haben wir immer vorausgesetzt, daß die b-v-Linie in dem Geschwindigkeitsbereich, der in einem oder n Schritten durchmessen wird, durch eine Gerade ersetzt werden kann. Wenn die Geschwindigkeits- oder Zeitschritte nicht allzu groß werden, ist diese Annahme im allgemeinen berechtigt. Gleichwohl ist es nützlich, sich die Fehler vor Augen zu führen, die durch den mehr oder weniger gekrümmten Verlauf der b-v-Linie entstehen. Es gibt verschiedene Vorschläge, diese Krümmung der b-v-Linie analytisch darzustellen. Da wir hier nur ganz allgemein den Einfluß verfolgen wollen, den die Krümmung ausübt, genügt es, den einfachsten Fall zu betrachten, wenn eine gleichseitige Hyperbel mit einer Konstanten gewählt wird:

45)
$$b = \frac{A}{v} \text{ (Bild 12).}$$

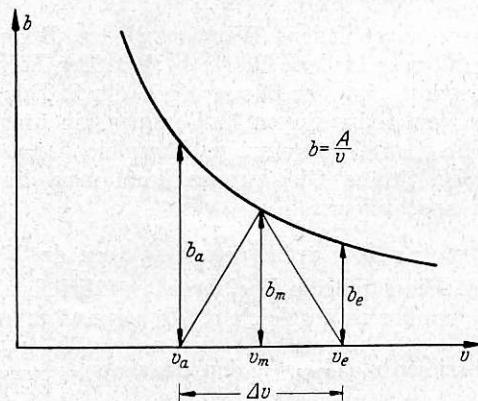


Bild 12. Fahrzeitermittlung bei einer hyperbolischen b-v-Linie.

Bei der Anwendung des Zeitwinkelverfahrens erhalten wir:

$$b_m = \frac{A}{v_a + \frac{\Delta v}{2}} \text{ und}$$

$$\Delta v = b_m \Delta t = \frac{A \Delta t}{v_a + \frac{\Delta v}{2}}$$

46)
$$\Delta v = -v_a \pm \sqrt{v_a^2 + 2 A \Delta t}.$$

Die Endgeschwindigkeit v_e wird

$$47) \quad v_e = \sqrt{v_a^2 + 2A \Delta t}.$$

Mit der mittleren Geschwindigkeit $v_m = \frac{v_a + v_e}{2}$ ergibt sich der Weg Δl :

$$48) \quad \Delta l = \frac{\Delta t}{2} (v_a \pm \sqrt{v_a^2 + 2A \Delta t}).$$

Die Integration der Bewegungsgleichung $b = \frac{A}{v}$ liefert folgende Ergebnisse:

$$49) \quad \begin{aligned} dv &= \frac{A dt}{v} \\ \int_{v_a}^{v_e} v dv &= \int_0^T A dt \\ \frac{v_e^2 - v_a^2}{2} &= AT. \end{aligned}$$

$$50) \quad \begin{aligned} L &= \int v dt = \int_{v_a}^{v_e} \frac{v^2 dv}{A} \\ L &= \frac{v_e^3 - v_a^3}{3A}. \end{aligned}$$

Die Gleichungen 47 und 49 sind gleich, d. h. das Δt -Verfahren liefert bei einer hyperbolischen b - v -Linie immer die genauen Endwerte der Geschwindigkeiten. Fehler a_v oder c_v treten in diesem Fall überhaupt nicht auf.

Die Fehler a_l und c_l lassen sich bequem anschreiben, wenn man zur Abkürzung die Zahl

$$51) \quad x = \frac{A \Delta t}{v_a^2} \text{ einführt.}$$

$$a_l = \frac{(v_a^2 + 2A \Delta t)^{\frac{3}{2}} - v_a^3}{3A} - \frac{\Delta t}{2} (v_a + (v_a^2 + 2A \Delta t)^{\frac{1}{2}}).$$

$$52) \quad a_l = \frac{v_a^3}{6A} [(2+x)(1+2x)^{\frac{1}{2}} - (2+3x)].$$

$$c_l = \frac{[(v_a^2 + 2A \Delta t)^{\frac{3}{2}} - v_a^3] 2}{3A \Delta t [v_a + (v_a^2 + 2A \Delta t)^{\frac{1}{2}}]}$$

$$53) \quad c_l = \frac{2[(1+2x)^{\frac{3}{2}} - 1]}{3x[1 + (1+2x)^{\frac{1}{2}}]}.$$

Die Wegfehler c_l sind also nur von der Zahl x abhängig, die alle Werte von 0 bis ∞ durchlaufen kann. In Bild 13 ist die Gleichung 53 über einem logarithmischen Abszissenmaßstab für x dargestellt. Da in der Praxis die x -Werte kaum über $x = 0,5$ hinausgehen, liegen die c_l -Fehler meist in erträglichen Grenzen.

2. Bei dem Δv -Verfahren.

Wenn die Anfangsgeschwindigkeit v_a und die Endgeschwindigkeit v_e und damit $\Delta v = v_e - v_a$ gegeben sind, ergibt sich die mittlere Beschleunigung zu $b_m = \frac{A}{v_a + \frac{\Delta v}{2}}$ und

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{b_m} = \frac{\Delta v (v_a + \frac{\Delta v}{2})}{A}.$$

Das gibt genau das Ergebnis der Gleichungen 46 und weiter 47 und 48. Das Δv -Verfahren liefert also bei einer hyperbolischen b - v -Linie genau dieselben Ergebnisse wie das Δt -Verfahren: d. h. keine Zeitfehler a_t oder c_t und die Wegfehler a_l nach Gleichung 52 und c_l nach Gleichung 53 (Bild 13).

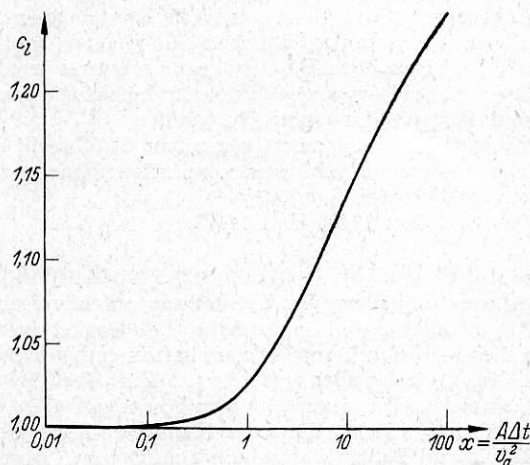


Bild 13. Fehler c_l bei einer hyperbolischen Fahrzeitermittlung.

D. Anwendungen der Fehleruntersuchungen.

Die vorstehenden Ausführungen haben die Genauigkeit der verschiedenen Fahrzeitermittlungsverfahren erkennen lassen. Insbesondere sollen die Fehleruntersuchungen dazu dienen, daß man aus einer für zulässig angesehenen Größe des Fehlers (z. B. 2%) über die dargestellten Fehlerkurven Schlüsse auf die zulässige Größe der Zeitschritte Δt bzw. der Geschwindigkeitschritte Δv zieht.

Die Fahrzeitermittlungsverfahren bilden ein Gebiet der technischen Mechanik, auf dem sich die Nützlichkeit und Zweckmäßigkeit der zeichnerischen Verfahren vielfach bewährt hat. Es gibt weite Gebiete (z. B. der Hydraulik der nichtstationären Flüssigkeitsbewegungen oder der Elektrotechnik), auf denen sich früher oder später Verfahren durchsetzen werden, die ähnlich aufgebaut sind wie die Fahrzeitermittlungen und für die die angestellten Fehleruntersuchungen ebenso gelten können.

Rundschau.

Die Festigkeit und Gewichtersparnis in Bezug auf St 52 bei auf Druck beanspruchten Elektronstäben.

Man könnte meinen, daß das weiche Elektron mit seiner geringen Festigkeit für Bauzwecke, besonders aber bei Knickstäben, mit Stahl überhaupt nicht in Wettbewerb treten könne. Es ist aber doch der Fall, wenn, wie im Flugzeugbau, auf geringstes Gewicht Wert gelegt wird und die Kostenfrage zurücktritt. Auch im Waggonbau werden heute Leichtmetalle verwendet, wenn auch unter etwas anderen Gesichtspunkten.

Zuerst mußte die Knickspannungslinie durch Versuch und Rechnung ermittelt werden. Die Versuche wurden bei der I. G.-Farbenindustrie A. G. durchgeführt, verwendet wurden Stäbe mit einem 64 mm hohen I-Querschnitt und einer Knetlegierung

Mg-Al 6 nach DIN 1717, ein zäher Werkstoff, der keine ausgeprägte Fließ- oder Quetschgrenze besitzt.

Bei den Versuchen wurden die Stäbe auf Kugeln, Schneiden oder Flächen gelagert. Aus Druckversuchen wurde die Knickspannungslinie für einen rechteckigen Querschnitt nach Engesser berechnet, wobei sich eine „praktische“ Quetschgrenze von 1600 kg/cm² ergab, die aber aus Sicherheitsgründen in die Vergleichsrechnung nur mit 1400 kg/cm² eingeführt wurde. Ge-rechnet wurde mit

	Elektron	St 52
Quetschgrenze	1400 kg/cm ²	3600 kg/cm ²
Elastizitätszahl	450 000 „	2 100 000 „
Spezifisches Gewicht	1,8 kg/dm ³	7,85 kg/dm ³

Die Knicklast im Eulerbereich beträgt $P = \frac{\pi^2 E J}{l^2}$. In dieser Gleichung sind nur E und J veränderlich. Soll mit beiden Metallen die gleiche Knicklast erreicht werden, so muß beim Elektron seinem geringeren E entsprechend das Trägheitsmoment J vier- bis fünfmal größer werden, was man selbstverständlich durch Verbreitern des Querschnittes und nicht durch Vergrößern der Wandstärke erzielen wird. Im plastischen Bereich, wo die Eulerformel nicht mehr gilt, ist ein Probieren nicht zu umgehen.

In der Vergleichsrechnung wurden Rechteck und Kreis, und zwar volle und hohle Querschnitte mit abnehmenden Wandstärken verwendet. Will man durch Elektron Gewicht sparen, so muß man den Querschnitt um mindestens 40 bis 50% verbreitern und erreicht dann 40% Mindergewicht. Die Gewichtsparsnis wird um so größer, je mehr man den Querschnitt verbreitert und erreicht schließlich rund 80% bei der doppelten Querschnittsbreite. Bei sehr dünnwandigen Querschnitten kommt man mit wesentlich geringeren Querschnittsverbreiterungen aus, muß aber dafür eine geringere Gewichtsparsnis in Kauf nehmen. Solche dünnwandigen Querschnitte können bei kleinen Schlankheitsgraden, also im plastischen Bereich, sogar schwerer werden, aber für sie müssen ohnehin gewisse Vorbehalte hinsichtlich vorzeitiger Wellen- und Faltenbildung gemacht werden.

Mit Elektron läßt sich somit gegenüber St 52 recht erheblich an Gewicht sparen, obwohl seine zulässige Knickspannungen viel kleiner als bei Stahl sind.

Kern.

Moheit, Stahlbau 1940, Heft 12/13.

Sonderstähle für die Bearbeitung von Kunstharzen.

Kunstharze finden bei der Umstellung auf heimische Werkstoffe in Deutschland und in anderen Ländern steigende Verwendung; dies wird durch gute Eigenschaften gewisser damit hergestellter Gegenstände noch gefördert. Zur Verarbeitung der Kunstharze werden Werkzeugstähle von besonderer Güte benötigt. Die Stahlformen zur Herstellung der Kunstharz-Preßteile müssen Polierfähigkeit und Politurbeständigkeit aufweisen. Deshalb muß man vom Stahl gute Einsatzfähigkeit, geringen Härteverzug, Unempfindlichkeit gegen Härterisse, ausreichende Druckfestigkeit

und hohen Verschleißwiderstand fordern. Da die Preßformen mitunter verwickelte Gestalt haben, ist auch hohe Zähigkeit und Kerbunempfindlichkeit, und da sie meist bearbeitet werden müssen, ist ein Stahl leichter Bearbeitung durch Spanabnahme zu verlangen. Endlich bedingen gewisse Kunstharze Formpressen aus Stahl von chemischer Beständigkeit.

Man verwendet Einsatzstähle, wobei die Einsatzhärtung nach Fertigstellung der Form in bekannter Weise erfolgt. Die Oberfläche wird glashart, während der Kern zähe ist und eine Festigkeit von 110 bis 140 kg/mm² aufweist. Nitrierstähle werden vergütet geliefert. Es empfiehlt sich, die auf Vormaße hergestellten Formen zur Beseitigung von Bearbeitungsspannungen bei etwa 550° C mit langsamer Ofenabkühlung zu glühen und dann fertig zu bearbeiten. Danach erfolgt die Nitrierung, wodurch die Form eine Oberflächenhärte bis zu 1000 Vickersseinheiten erhält, die durch kein anderes Härteverfahren erreicht werden kann. Nitrierte Preßformen zeichnen sich aus durch höchste Verschleißfestigkeit und Politurbeständigkeit. Sie sind gegenüber den normalerweise auftretenden Beanspruchungen bei Phenol-, Amino- und Thermoplasten chemisch beständig. Stähle für Ölhärtung bzw. Vergütung werden weich geglüht, naturhart oder vergütet geliefert. Im geglühten Zustand zeigt der Stahl beste Bearbeitbarkeit. Die korrosionsbeständigen Stähle für Formen zum Pressen harnstoffhaltiger Massen usw. werden weich geglüht. Bei sachgemäßer Härtung erhält man eine saubere, leicht auf Hochglanz polierbare Oberfläche. Stähle für Senkstempel bedürfen einer sehr hohen Druckfestigkeit bei ausreichender Zähigkeit und hoher Verschleißfestigkeit. Der eigenartige Aufbau der Kunstharze bewirkt eine sehr hohe Verschleißbeanspruchung der spanabhebenden Werkzeuge. Für eine spanabhebende Bearbeitung von Kunstharzen, die z. B. bei Anfertigung geringer Stückzahlen in Betracht kommt, werden Werkzeuge aus Hochleistungs-Schnelldrehstahl oder Krupp-Hartmetall „Widia“ verwendet. Einen zeitgemäßen Gesamtüberblick über Stähle für Preßformen und zur Verspannung mit ihren Festigkeits- und Härtewerten sowie die geeignete Warmbehandlung gibt ein von der Firma Fried. Krupp A. G., Essen, herausgegebenes Heft „Krupp-Sonderstähle für die Verarbeitung von Kunstharzen“.

Schneider.

Bücherschau.

Die wichtigsten Bestimmungen für das Entwerfen von Sicherungsanlagen. Von Wilhelm Körber. Leipzig 1940. Verlag Verkehrswissenschaftliche Lehrmittelgesellschaft Reinhold Rudolph. 28 Seiten. Preis 0,50 RM.

In knapper, dabei schon nach der Druckanordnung übersichtlicher Darstellung bringt die Schrift eine sehr brauchbare Übersicht über das Entwerfen von Sicherungsanlagen. Die Schrift ist in der Hauptsache zur ersten Einführung gedacht, wird jedoch auch dem Erfahrenen manches bieten, schon durch die zahlreichen praktischen Winke. Eine neu bearbeitete Auflage wird bereits in nächster Zeit erscheinen.

Dr. Bloss.

Die Grundlagen des Weichen- und Blockwärterdienstes bei der Deutschen Reichsbahn. Von Kurt Poley. Berlin 1940. Verlag Otto Elsner. 106 Seiten. Preis 1,80 RM.

Die Schrift stellt eine Art Katechismus für Weichen- und Blockwärter dar. Die klare Darstellung im Verein mit zahlreichen guten Abbildungen machen das Büchlein brauchbar und wertvoll für die Wärter, aber auch für Unterrichts- und Überwachungsbeamte. Der Verfasser gibt dem Büchlein den Wunsch auf den Weg, daß es zur Förderung der Sicherheit beitragen möge: ist tatsächlich zu hoffen.

Dr. Bloss.

Persönliches.

Geheimer Baurat Frießner †.

Am 12. Februar 1941 starb zu Dresden im Ruhestande Geheimer Baurat Karl Frießner. Am 24. Februar 1859 als Sohn eines Maschinenfabrikanten in Chemnitz geboren, war Frießner nach dem Studium an der Technischen Hochschule Dresden zunächst einige Zeit bei einer privaten Lokomotivfabrik tätig. Neigung und Begabung führten ihn aber bald in den Eisenbahndienst. Nachdem er sich auf eigenen Wunsch fast ein Jahr lang als Lokomotivführerlehrling in den Fahrdienst eingelebt hatte, wurde er 1885 zum Maschineningenieur, 1889 zum Regierungsbaumeister und 1898 zum Baurat ernannt. 1907 wurde er in die Generaldirektion der Sächsischen Staatseisenbahnen berufen und 1908 zum Oberbaurat, 1919 zum Geheimen Baurat befördert. Im Jahre

1924 trat er in den Ruhestand. In seiner ganzen Dienstzeit hat er sich im Werkstättenwesen und im Wagenbau reiche Verdienste erworben, ein führender Geist in der an ausgezeichneten Fachleuten stets reichen Sächsischen Eisenbahnverwaltung. Seine gediegenen Fachkenntnisse, sein klares Urteil, seine zielsichere Entschlußkraft wurden auch außerhalb seiner Verwaltung hoch geschätzt. Von 1911 bis 1923 war er Mitglied des Technischen Ausschusses im vormaligen Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen. Er hat stets anregend und fördernd an der technischen Fortentwicklung des Wagenwesens in einer Zeit stürmischen Aufschwunges mitgewirkt.

Sein Gedenken wird auch im V.M.E.V. ehrenvoll fortleben.

Dr. Bloss.

Der Wiederabdruck der in dem „Organ“ enthaltenen Originalaufsätze oder des Berichtes, mit oder ohne Quellenangabe, ist ohne Genehmigung des Verfassers, des Verlages und des Herausgebers nicht erlaubt und wird als Nachdruck verfolgt.