

# Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen

Schriftleitung: Dr. Ing. H. Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

85. Jahrgang

15. September 1930

Heft 18

Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen

## Preis Ausschreiben

Auf Beschluß des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen werden hiermit Geldpreise im Gesamtbetrage von 30 000 Mark zur allgemeinen Bewerbung öffentlich ausgeschrieben, und zwar:

- A. für Erfindungen und Verbesserungen, die für das Eisenbahnwesen von erheblichem Nutzen sind,
- B. für hervorragende schriftstellerische Arbeiten aus dem Gebiete des Eisenbahnwesens.

Für die einzelnen Bewerbungen werden Preise von 1500 Mark bis zu 7500 Mark verliehen.

Für den Wettbewerb gelten folgende Bedingungen:

1. Nur solche Erfindungen und Verbesserungen, die ihrer Ausführung oder Erprobung nach, und nur solche schriftstellerischen Werke, die ihrem Erscheinen nach in die Zeit

vom 1. April 1926 bis 31. März 1932

fallen, werden bei dem Wettbewerb zugelassen.

2. Jede Erfindung oder Verbesserung muß von einer zum Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen gehörigen Eisenbahn bereits vor der Anmeldung erprobt sein; der Antrag auf Erteilung eines Preises muß durch diese Verwaltung unterstützt sein. Gesuche um Begutachtung oder Erprobung von Erfindungen oder Verbesserungen sind nicht an die Geschäftsführende Verwaltung des Vereins, sondern unmittelbar an eine dem Verein angehörende Eisenbahnverwaltung zu richten.
3. Preise werden für Erfindungen und Verbesserungen nur dem Erfinder, nicht aber dem Zuerkann, der die Erfindung oder Verbesserung zum Zwecke der Verwertung erworben hat, und für schriftstellerische Arbeiten nur dem Verfasser, nicht aber dem Herausgeber eines Sammelwerkes.
4. Die Bewerbungen müssen in Druck- oder wenigstens in gut lesbarer Maschinenschrift eingesandt werden; sie sollen die Erfindungen oder Verbesserungen durch Beschreibung, Zeichnung, Modelle usw. übersichtlich so erläutern, daß über die Beschaffenheit, Ausführbarkeit und Wirkungsweise der Erfindungen oder Verbesserungen ein sicheres Urteil gefällt werden kann. Bewerbungen, die Mängel in dieser Richtung aufweisen oder Zweifel zulassen, können zurückgewiesen werden. Solchen Bewerbungen, die nicht in deutscher Sprache eingereicht werden, ist eine deutsche Übersetzung in doppelter Ausfertigung beizufügen. Die Beschreibungen, Zeichnungen und sonstige Anlagen gehen in das Eigentum des Vereins über.
5. Der Verein hat das Recht, die mit einem Preise bedachten Erfindungen oder Verbesserungen zu veröffentlichen.
6. Die Zuerkennung eines Preises schließt die Nachsuchung oder Ausnutzung eines Patentbesitzes durch den Erfinder nicht aus. Jeder Bewerber ist jedoch verpflichtet, die aus dem erworbenen Patente etwa herzuleitenden Bedingungen anzugeben, die er für die Anwendung der Erfindungen oder Verbesserungen durch die Vereinsverwaltungen beansprucht.
7. Die schriftstellerischen Arbeiten, für die ein Preis beansprucht wird, müssen in zwei Stücken eingereicht werden; sie gehen in das Eigentum des Vereins über.

In den Bewerbungen muß der Nachweis erbracht werden, daß die Erfindungen und Verbesserungen ihrer Ausführung oder Erprobung nach, die schriftstellerischen Arbeiten ihrem Erscheinen nach derjenigen Zeit angehören, die der Wettbewerb umfaßt.

Die Bewerbungen müssen während des Zeitraumes

vom 15. April 1931 bis 15. April 1932

postfrei an die Geschäftsführende Verwaltung des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen in Berlin W 9, Köthener Straße 28/29, eingereicht werden.

Die Prüfung der eingegangenen Bewerbungen, sowie die Entscheidung darüber, an welche Bewerber und in welcher Höhe Preise zu erteilen sind, erfolgt durch den Preis Ausschuß des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen im Laufe des Jahres 1933.

Berlin, im August 1930

W 9, Köthener Straße 28/29.

Geschäftsführende Verwaltung des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen.

## Entwicklung und gegenwärtiger Stand der Schienenschweißung.

Von Ing. Max Reiter, Neuaubing bei München.

- I. Das Schweißen von Schienen mittels des elektrischen Lichtbogens. 1. Als Stumpf- oder Verbindungsschweißung, 2. als Laschen-Nachtschweißung.
- II. Die aluminothermischen Verfahren. 1. Die Stumpfschweißung, 2. das Zwischengußverfahren ohne Stauchung, 3. das kombinierte Verfahren, 4. das Zwischengußverfahren mit Stauchung.
- III. Die elektrische Widerstands-Abschmelzschweißung.
- IV. Das Normalglühen von geschweißten Schienenstößen.
- V. Ergebnisse der Festigkeitsprüfungen von geschweißten Schienenstößen. 1. Der Zerreißversuch, 2. die Kaltbiegeprobe, 3. der Schlagbiegeversuch, 4. der Kerbschlagbiegeversuch, 5. die Dauerwechselschlagprobe, 6. die Kugeldruckprobe nach Brinell.
- VI. Welche Folgerungen können aus den Versuchsergebnissen gezogen werden?

Der Schienenstoß ist heute noch, trotz aller Verbesserungen, bis zu einem gewissen Grade eine schwache Stelle im Gleis. Die Beseitigung der zerstörenden Wirkungen des verlaschten Schienenstoßes war schon von jeher das Ziel der Gleistechniker. Verfolgt man die Bestrebungen zur Vermeidung der Mängel des Schienenstoßes, so zeigen sich zwei Richtlinien für die technische Lösung dieser Frage. Einerseits bemühten sich die Oberbaufachleute, den Schienenstoß immer mehr zu vervollkommen und andererseits waren sie bestrebt, die Zahl der Stöße im Gleis durch Anwendung immer längerer Schienen möglichst zu verringern. Die Entwicklung der Stoßverbindung dürfte durch die Einführung des Breitschwellenstoßes so gut wie abgeschlossen sein, da hierdurch der Schienenstoß wohl seine größtmögliche Vervollkommnung gegenüber allen anderen Ausführungen (ruhende und schwebende Stöße mit Flachlaschen, Winkellaschen, Keillaschen usw., Brückenstöße, Stoßfanglaschen und Blattstöße aller Art) erreicht hat. Andererseits hat der Schienenstoß durch seine weitgehende Ausschaltung nicht mehr dieselbe Bedeutung wie früher.

Bei den Bestrebungen, die Zahl der Stöße zu verringern, standen zwei Wege offen: entweder immer längere Schienen auszuwalzen oder kürzere Schienen auf der Strecke zu einer größeren Länge zusammenzuschweißen. Das erstere wird mit der 30 m-Schiene einen gewissen Abschluß gefunden haben, da weniger bei der Herstellung im Walzwerk — es soll schon möglich sein 90 m-Schienen auszuwalzen —, sondern vielmehr beim Transport von Schienen von mehr als 30 m Länge große Schwierigkeiten auftreten dürften. Beides ist aber als ein Verdienst der Schweißtechnik anzusehen, da ja bekanntlich die Herstellung der 30 m-Schiene auf die rasche Entwicklung der Schweißtechnik zurückzuführen ist. Im folgenden soll zunächst ein zusammenhängendes Bild der Schienenschweißung von ihren Anfängen bis zum jetzigen Stand der Entwicklung wiedergegeben werden. Anschließend sollen die Ergebnisse einer durchgeführten Versuchsreihe eingehend untersucht und die Folgerungen, die sich daraus für die künftige Entwicklung der Schienenschweißung ergeben, kurz erläutert werden.

Im Laufe der Jahre wurden als Schienenschweißverfahren sowohl reine Schmelz- und Preßschweißung, als auch beide Verfahren miteinander kombiniert mit wechselndem Erfolg angewandt. Neuerdings wurde auch versucht, Schienen nach dem elektrischen Widerstands-Abschmelzschweißverfahren zu verschweißen. Meines Wissens wurden derartige Versuche bereits von der A. E. G. Berlin durchgeführt, über deren Ergebnis bis jetzt nichts bekannt geworden ist. Bei allen erwähnten Schweißverfahren wird der Ausgangswerkstoff, die Schiene, in der Nähe der Schweißstelle mehr oder weniger überhitzt und dadurch spröder als zuvor. Die Wiederherstellung des Normalzustandes kann durch Ausglühen erreicht werden. Diese Art der Wärmebehandlung bezeichnet man mit „Normalglühen“, worauf später noch eingegangen werden soll.

Um nun ausreichende Aufschlüsse über die mechanischen Eigenschaften der nach den verschiedenen aluminothermischen,

sowie nach dem Widerstandsschweißverfahren geschweißten, teils ungeglühten, teils normalgeglühten Schienenstöße zu gewinnen, wurde vom Reichsbahnausbesserungswerk Neuaubing eine umfassende, vergleichende Versuchsreihe durchgeführt. Aus nachfolgender Zusammenstellung sind die einzelnen Schweißverfahren ersichtlich, nach denen die Versuchsstöße hergestellt waren.

Wie daraus hervorgeht, wurden die Stöße je zur Hälfte im ungeglühten und normalgeglühten Zustand untersucht. Zunächst seien die aufgeführten Verfahren einschließlich der Lichtbogenschweißung etwas näher erläutert. Die einzelnen Arten werden dabei nur vom schweißtechnischen bzw. technologischen Standpunkt aus beschrieben, also unter Ausschaltung der praktischen Ausführung\*). Da eine strenge Unterteilung in Preß- und Schmelzschweißung nicht immer durchführbar gewesen wäre wegen teilweiser Kombination beider Verfahren, so wurde im folgenden, soweit möglich, mehr oder weniger die Reihenfolge der Entwicklung eingehalten.

### I. Das Schweißen von Schienen mittels des elektrischen Lichtbogens.

#### 1. Die Stumpf- oder Verbindungsschweißung.

Die ersten praktischen Versuche mit der Verschweißung von Schienen mittels Lichtbogens reichen etwa in das Jahr 1906 zurück und wurden von der Akkumulatorenfabrik A. G. Berlin-Hagen bei der Straßenbahn Hagen vorgenommen. Das Verfahren bestand in der einfachen Stumpf- oder Verbindungsschweißung der beiden Schienenenden mittels eines zwischen Schiene und Elektrode gezogenen Lichtbogens. Die Erfolge schienen überraschend gut zu sein; denn nach einiger Zeit der Beobachtung zeigten die Stöße keinerlei Mängel oder Veränderungen.

Leider ließ man sich durch diese scheinbar günstigen Ergebnisse allzu früh dazu verführen, dieses Schweißverfahren in größerem Umfang anzuwenden, was wohl in der damaligen geringen Kenntnis der Schweißvorgänge und der Metallographie begründet lag. Erfahrungsgemäß treten aber die Nachteile dieses Verfahrens nicht sofort, sondern erst nach längerer Zeit in Erscheinung. Nachdem die Stöße einige Jahre hindurch gut gehalten hatten, zeigten sich die Fehler in schlimmstem Ausmaß. Bei den meisten Stößen löste sich das eingeschweißte Material von der Schiene ab und in verhältnismäßig kurzer Zeit war der Stoß vollkommen zerstört. Abb. 1 zeigt zwei nach diesem Verfahren geschweißte Schienenstöße. Die Abbröcklungen sind hier sehr deutlich zu sehen. Der Grund für diese Zerstörungerscheinungen ist ohne Zweifel in der raschen Abkühlung des Zusatzwerkstoffes und der damit verbundenen Verschiedenheit im Gefüge von Schiene und Schweißgut zu suchen\*\*). In der unten angeführten Abhandlung habe ich diese Abkühlungsvorgänge für Radreifen erläutert. Die Verhältnisse sind bei Schienen entsprechende, nur mit

\*) Schönberger, Schienenschweißung bei der Reichsbahndirektion Nürnberg. Organ, Heft 22, Jahrgang 1925; Heft 15, Jahrgang 1927; Heft 1, Jahrgang 1929.

\*\*\*) Reiter, Spurrandschweißung, Ergebnisse und Erfahrungen, Organ 1929, Heft 1.

Zusammenstellung der untersuchten, geschweißten Schienenstöße.

1	2	3	4	5	6		7		8	
					Anzahl der untersuchten Stöße im		Schienenform			
					ungeglühten	normalgeglühten	ungehärtet	gehärtet		
Aluminothermische Schweißung	1	Reine Stumpf- oder Preßschweißung	Im teigigen Zustand verschweißt mit Zwischenblech	Elektro-Thermit G. m. b. H., Berlin, Tempelhof	3	3	B <sup>1)</sup> X		Sämtliche Schienen ohne Abnutzung  mit Sparform  ohne Sparform	
	2	Zwischen- oder Schmelzguß ohne Stauchung	Schmelzguß im ganzen Querschnitt	Elektro-Thermit G. m. b. H., Berlin, Tempelhof	3	3	B X			
	3	Kombiniertes Verfahren	Schmelzguß in Fuß und Steg, Preßschweißung im Kopf	Elektro-Thermit G. m. b. H., Berlin, Tempelhof	3	3	B X			
				Gesellschaft für Aluminothermie Ingwer Block, Berlin	3	3	B X			
				Reichsbahn-ausbesserungswerk Neuaubing	5	5	S 49			
	4	Zwischen- oder Schmelzguß mit Stauchung	Schmelzguß im ganzen Querschnitt mit nachfolgender Stauchung	Gesellschaft für Aluminothermie Ingwer Block, Berlin	3	3	B X			
					3	3	B X			
				Elektro-Thermit G. m. b. H., Berlin, Tempelhof	3	3	B X			
	Elektrische Widerstands-Schweißung	5	Abschmelzverfahren	Elektrische Vorwärmung bis zum Schmelzen mit nachfolgender kräftiger Stauchung	Alfred Pretzschner G. m. b. H., Pasing bei München	5	5	S 49		
						5	5	S 49		

<sup>1)</sup> Bayerische Schienenform X.

dem Unterschied, daß hier nicht aufgeschweißt, sondern Material zwischen die beiden Schienenenden eingeschweißt wird.

Beim Lichtbogenschweißen wird je nach der Masse des Werkstückes die entstandene Wärme in einem mehr oder weniger steilen Gefälle abgeleitet und durch die rasche Abkühlung im Schweißgut nahezu ein Härtinggefüge, Abb. 2, erzeugt, während die Schiene ihr Walzgefüge, Abb. 3, beibehält. Der verschiedene Gefügebau von Schiene und Zusatzwerkstoff bedingt grundverschiedene mechanische Eigenschaften. Der Übergang von Schiene und Schweißgut erfolgt ganz plötzlich. Somit ist hier eine kritische Zone vorhanden, deren Bruchfestigkeit wesentlich niedriger liegt als die in den Wintermonaten auftretenden Zugbeanspruchungen, so daß sich das eingeschweißte Material von der Schiene ablöst. Diese Art der Bruchursache bei Lichtbogenverbindungs-schweißungen tritt hauptsächlich bei Ausgangswerkstoffen mit höherem Kohlenstoffgehalt in Erscheinung.

Trotz dieser Mißerfolge in der einfachen Stumpfschweißung versuchte man das Glück:

### 2. in der Laschen-Nachtschweißung.

Anfänglich wurde die Lasche nicht durchgehend, sondern nur an einzelnen Punkten mit der Schiene verschweißt. Auch

der Brücken-, Kopfspannungsstoß usw. bewährten sich nicht, bis sich als letzte Stufe die durchgehende Nahtschweißung herausbildete, bei der ein gewisser Ruhepunkt eingetreten zu sein scheint (vgl. Abb. 4). Hierbei werden die eben bearbeiteten Schienenenden ganz dicht zusammengestoßen und die beiden Laschen mit der Schiene am Kopf und Fuß durch Nähte verschweißt. Hiermit glaubte man nun ein Schienenschweißverfahren von dauerndem Erfolg geschaffen zu haben. Einerseits ließen die Werkstattversuche und die ersten Beobachtungen nichts zu wünschen übrig, andererseits wäre das Verfahren denkbar einfach und mit verhältnismäßig geringen Kosten verbunden gewesen.

Obwohl das Nahtschweißverfahren in den folgenden Jahren noch wesentlich verbessert wurde, hat es hinsichtlich der Güte und Lebensdauer ebenso enttäuscht, wie die Stumpfschweißung. Nach längerer Liegedauer der Stöße zeigten sich in den Schweißnähten Risse, die von der Stoßfuge aus beginnend nach dem Laschenende zu verliefen und zuerst in der Kopf-, später auch in der Fußnaht auftraten. Mit diesen Rissen verfällt ein Stoß langsam aber sicher der Zerstörung. Damals glaubte man die Ursache in der zerstörenden Wirkung der fortgesetzten Erschütterungen durch den Betrieb suchen zu müssen. In Wirklichkeit ist aber der Grund, ebenso wie

bei der Stumpfschweißung, in der raschen Abkühlung zu suchen, während der schon ganz feine Haarrisse entstehen, die nach längerer Zeit infolge der immer währenden Erschütterungen als Längsrisse in Erscheinung treten. Die Laschennahtschweißung eignet sich demnach nur für Nebengleise von untergeordneter Bedeutung, aber hier ist der Vorteil des geschweißten Stoßes gegenüber dem Laschenstoß nicht sehr groß, so daß sich also die Lichtbogenschweißung für das Verschweißen von Schienenstößen vorerst in der Praxis noch nicht bewährt hat. Neuerdings wird wieder eifrig daran gearbeitet, auch dieses Verfahren für die Schienenstoßschweißung verwendbar zu entwickeln. Die Beseitigung der oben erwähnten Mängel könnte wohl nur durch verzögerte Abkühlung des Schweißgutes erreicht werden, so daß die beiden Grenzflächen geringere Gefügeverschiedenheiten und damit auch geringere Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften aufweisen. Ein Fortschritt in dieser Richtung ist zweifellos durch den Schweißdraht mit Schlackenseele

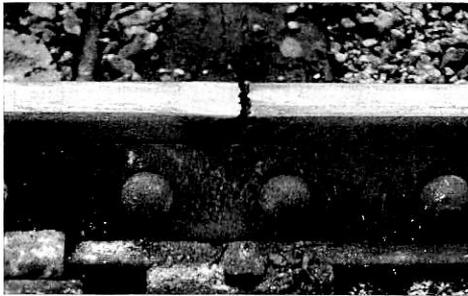
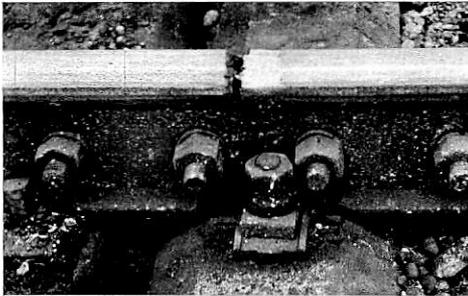


Abb. 1. Zwei gebrochene, im Lichtbogen geschweißte Schienenstöße. Bruch am Übergang von der Schiene zum Schweißgut.

erreicht worden. Die Schlacken gelangen während des Schmelzvorganges zum Teil an die Oberfläche der Schweißraupe und schützen diese bis zu einem gewissen Grade vor allzu rascher Abkühlung, die ja bekanntlich die Kristallisation in weitem Maße beeinflusst. Auch die Verwendung von umhüllten Elektroden verfolgt das gleiche Ziel.

Es ist richtig, daß mit derartigen Drähten schon wesentliche Verbesserungen auf diesem Gebiete erreicht worden sind, aber die Abschreckwirkung auf das Schweißgut, welche durch die rasche Wärmeableitung des Werkstückes (Schiene) hervorgerufen wird, kann dadurch nicht beseitigt werden. Auch die Abkühlung des Werkstückes scheint hierfür nicht geeignet zu sein. Ob es möglich sein wird, diese Abschreckwirkung überhaupt auszuschalten, werden weitere Versuche zeigen müssen. Für die weitere Entwicklung der Lichtbogenschweißung dürfte die Erreichung dieses Zieles von größter Bedeutung sein.

Einige Jahre früher, etwa um 1900 herum, versuchte man bereits Schienen

## II. nach dem aluminothermischen Verfahren

zu verschweißen. Der aluminothermische Prozeß ist schon seit Mitte vorigen Jahrhunderts bekannt und es ist ein Ver-

dienst von Prof. Dr. Hans Goldschmidt, dieses Verfahren für die Technik verwendbar entwickelt zu haben. Das Verfahren als solches darf als bekannt vorausgesetzt werden. Die aluminothermische Schweißtechnik stützt sich auf die Eigenschaft des Thermits, daß bei der Reaktion große Wärmemengen in ganz kurzer Zeit frei werden. Nach Goldschmidt\*) ist eine aluminothermische Reaktion eine solche, bei der ein reduzierendes Metall auf eine Metallverbindung derart einwirkt, daß das Gemisch, an einer Stelle zur Entzündung gebracht, von selbst weiter brennt, so daß sich unter völliger Oxydation des reduzierenden Elementes eine flüssige Schlacke

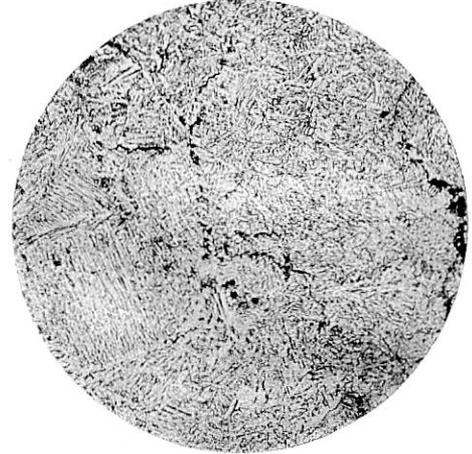


Abb. 2. Kleingefüge des Schweißgutes eines im Lichtbogen geschweißten Schienenstoßes. Martensitisches Gefüge. Ätzung II  $\times$  100.

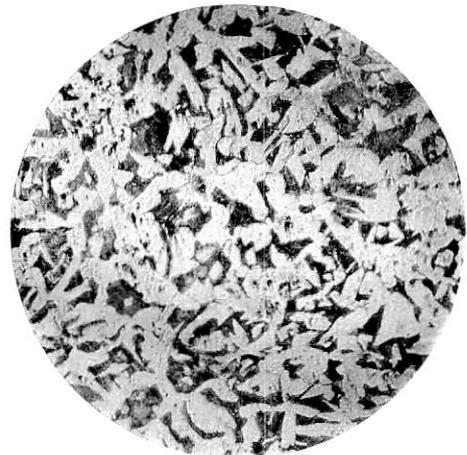


Abb. 3. Gefüge einer Schiene im Kopf. Ferrit-Perlit-Gemisch. Ätzung II  $\times$  100.

bildet und das reduzierte Metall sich als einheitlich geschmolzener Regulus abscheidet. In der Praxis wird das Mischungsverhältnis meist so gewählt, daß das erschmolzene aluminothermische Eisen, im folgenden kurz „Thermit“-Eisen genannt, etwa  $\frac{5}{10}$  bis 1 Prozent Aluminium enthält. Die bei der Reaktion freiwerdende Wärme wird für die Schweißung der Schienen ausgenützt. Das Verfahren wurde zuerst versuchsweise zum Verschweißen von Straßenbahnschienen angewandt und später in wachsendem Umfange und mit sehr gutem Erfolg durchgeführt. Heute findet das Verfahren nicht nur beim Verschweißen von eingebetteten Straßenbahnschienen, sondern auch von freiliegenden Vignolgleisen bei der Eisenbahn Anwendung.

\*) Goldschmidt „Aluminothermie“.

Als erstes Verfahren entstand

### 1. die sogenannte Stumpfschweißung.

In Abb. 5 ist das Verfahren wiedergegeben. Daraus ist zu ersehen, daß die „Stumpfschweißung“ in das Gebiet der reinen Preßschweißung gehört. Die beiden Schienenenden werden zuerst genau aufeinander passend bearbeitet und dann ganz dicht gegeneinander gestoßen. Hierauf wird die Stoßfuge mit einer zweiteiligen Sandform umgeben, in die aus einem Kipptiegel (also kein Spitztiegel) über den Sand hinweg die flüssige Thermitmasse gegossen wird. Die oben schwimmende

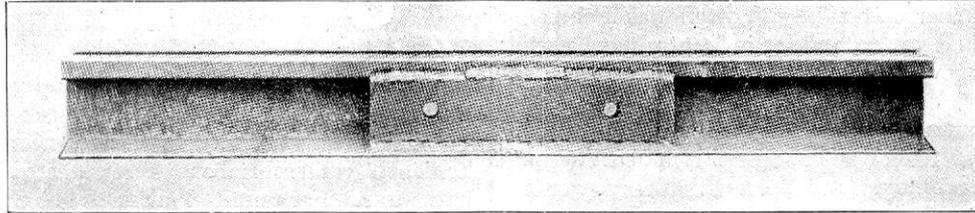


Abb. 4. Geschweißter Laschenstoß mit Flachlaschen.

leichte Schlacke fließt dadurch zuerst ab und umgibt das Werkstück mit einer Art Schutzschicht, die auch durch das nachfolgende Eisen nicht mehr aufgelöst wird. Ein Verschmelzen der beiden Schienenenden wird also dadurch verhindert. Nachdem die Schienenenden durch den Thermitguß genügend erwärmt und auf Schweißhitze gebracht sind, werden diese durch einen Klemmapparat zusammengestaucht und man will dadurch eine Schweißung nach Art der gewöhnlichen Feuerschweißung erreichen. Bei diesem Verfahren soll also

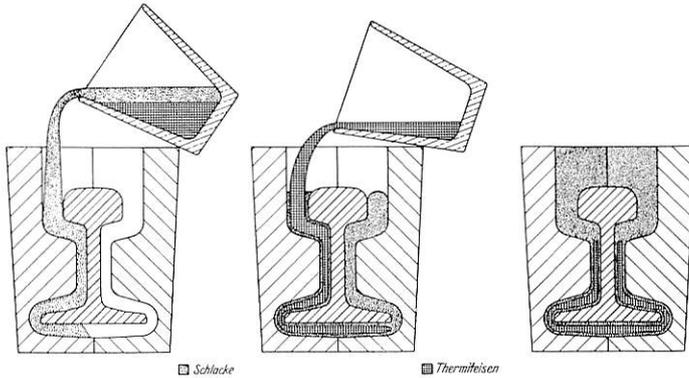


Abb. 5. Bildliche Darstellung einer Stumpfschweißung.

eine reine Druckschweißung zustande kommen. Die aus dem Thermit freiwerdende Wärme wird nur dazu benützt, die Schienenenden auf Weißglut zu erhitzen.

Wie nicht anders zu erwarten war, konnte sich dieses Verfahren auch späterhin trotz Verbesserungen nicht durchsetzen. Neben den Nachteilen der schwierigen Bearbeitung der Schienenstoßflächen auf der Strecke und des hohen Thermitverbrauches besitzt ein stumpfgeschweißter Stoß geringe mechanische Festigkeiten. Einmal wird, wie bei allen Schweißverfahren, und ganz besonders bei den aluminothermischen, durch die hohe Temperatur des Thermitesens (etwa 3000° C unmittelbar nach der Reaktion im Tiegel) in den Schienen eine sehr starke Kornvergrößerung hervorgerufen, die in der Nähe der Schweißstelle reine Widmannstättensche Struktur ergibt (vergl. Abb. 17\*), wodurch die mechanischen Eigenschaften, vor allem die spezifische Schlagfestigkeit, ungünstig beeinflusst werden. Weiter bewirkt die hohe Temperatur in den Schienenenden eine sehr starke

Randentkohlung. Überhitzter Stahl wird durch zweckmäßiges Glühen (vergl. Abschn. IV) wieder regeneriert, die Entkohlung kann aber natürlich nicht mehr rückgängig gemacht werden.

Nach Mars\*) ist die Schweißbarkeit die Eigenschaft der Stähle, sich im hochoverhitzten plastischen Zustand miteinander dermaßen verbinden zu lassen, daß vollkommene Adhäsion zwischen den Kristallen der zusammengeschweißten Teile eintritt, wobei er unter Adhäsion die Kräfte versteht, welche zwischen den sich berührenden Molekeln zweier nebeneinander stehender Kristalle herrschen. Die Schweißbarkeit ist also

nichts anderes, als der der Verschmelzung zweier flüssiger Stoffe entsprechende Vorgang für den plastischen Aggregatzustand. Die der Schweißung zugrunde liegende Kraft ist lediglich die bei der Schweißhitze gesteigerte Adhäsion beider Stahlteile ohne Zuhilfenahme eines Klebmittels oder Lotes. Die echte Schweißung wird in der Weise durchgeführt, daß beide Teile an den zu verschweißenden Stellen auf Weißglut erhitzt werden, darauf zusammengelegt und mit kräftigen Hammerschlägen bearbeitet werden. In der Regel gelingt eine gute Schweißung auf diese Weise nur bei den weichen Stahlsorten unter 0,5% Kohlenstoffgehalt, doch ist der C-Gehalt bei diesen Stählen kein genaues Maß für die Schweißbarkeit, weil bei der Schweißhitze eine sehr starke Oberflächenentkohlung eintritt, also in Wirklichkeit stets ein kohlenstoffärmeres Eisen verschweißt wird.

Bei der Schienenstumpfschweißung ist nun das kräftige mechanische Durcharbeiten der Schweißstelle, wodurch auch die Überhitzung zum Teil beseitigt werden könnte, durch die Stauchung ersetzt. Wie später noch gezeigt wird, kann aber auf keinen Fall angenommen werden, daß die Stauchung das Hämmern ersetzen kann. In Wirklichkeit werden, wie aus Abb. 17 ersichtlich ist, die Kristalle der beiden Schienenenden breitgedrückt und sozusagen aneinander geklebt.

Auf Grund der Tatsache, daß kohlenstoffärmeres Material leichter schweißbar ist, suchte man die Aufgabe dadurch zu lösen, daß man zwischen die beiden Schienenenden eine dünne Lage Weicheneisenblech von 4 bis 6 mm Stärke einlegte, das mit den Schienen schweißbar sein soll. Es fehlt hier aber ebenfalls die mechanische Durcharbeitung der Schweißstelle. Außerdem besitzt hier der Stoß statt einer gefährlichen Zone deren sogar zwei, was also eine Verschlechterung gegenüber früher bedeutet. Entsprechend dem verschiedenen Kohlenstoffgehalt sind, wie Abb. 17 zeigt, die Kristalle des Zwischenbleches nicht in dem Maß gewachsen, wie die der Schiene. Durch die Stauchung wurden zwar die Kristalle des Zwischenbleches etwas verdichtet, die der Schiene dagegen breitgedrückt. Zwischen beiden bleibt eine scharfe Trennungslinie bestehen. Bei guter Schweißung dürfte keinerlei Schweißnaht zu erkennen sein. Die neu entstandenen Adhäsionsflächen sollen sich vielmehr in keiner Weise von den Adhäsionsflächen im inneren Aufbau der beiden vorher getrennten Stücke unterscheiden.

Auf dem weiteren Entwicklungsgang der aluminothermischen Schienenschweißung wurde in Nordamerika

\*) Die Abb. 17 und folgende sind dem im nächstfolgenden Heft 19 erscheinenden Schluß des Aufsatzes beigegeben.

\*) Mars, Spezialstähle, 2. Auflage, S. 207.

## 2. das sogenannte Zwischengußverfahren

eingeführt, das der Stumpfschweißung gerade entgegengesetzt ist. Ein Vorläufer der Zwischengußschweißung war das von der Elektro-Thermit G. m. b. H. Berlin-Tempelhof versuchte „Umgebungsverfahren“, aus dem sich später das in Deutschland weit verbreitete „Kombinierte Verfahren“ entwickelte. Das Umgebungsverfahren benützte das durch die Reaktion abgeschiedene Thermitisen als Eisenguß, durch den die Schienen im Steg und Fuß miteinander vergossen und verschmolzen wurden, während im Schienenkopf keinerlei Schweißung hergestellt wurde. Es ist offensichtlich, daß ein derartiger Stoß keinerlei Beanspruchungen standzuhalten vermag. Die Amerikaner haben den Vorteil des Schmelzgusses sofort erkannt und griffen auf das in Deutschland wenig eingeführte Umgebungsverfahren zurück, haben es aber in der Weise ausgebildet, daß sie den Umguß auf das ganze Schienenprofil ausdehnten, wodurch sie einen vollwertigen Zwischenguß erreichten. Abb. 6 zeigt schematisch den Vorgang einer Zwischengußschweißung. Die beiden Schienen werden mit einer Lücke von etwa 10 mm zwischen den Stirnflächen verlegt. Die Gußform ist ähnlich wie bei der Stumpfschweißung, nur ist hier ein besonderer Einguß angeordnet, der im unteren Formteil mündet. Die Reaktion erfolgt hier im Spitztiegel, der

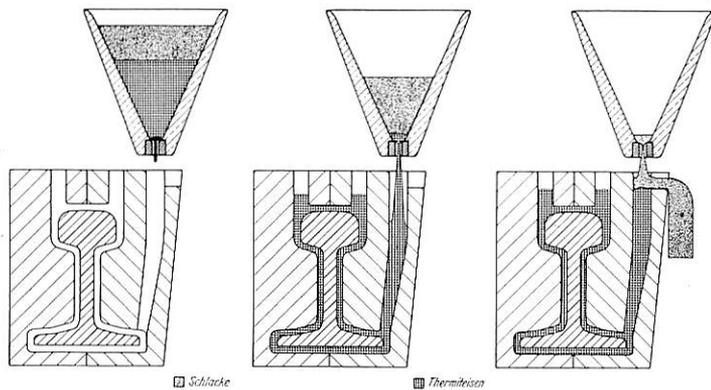


Abb. 6. Bildliche Darstellung einer Zwischengußschweißung.

unten abgestochen wird, so daß das Eisen zuerst abfließt und die beiden Schienen zu einem Ganzen verschmilzt. Die nachfließende Schlacke wird zur Nachwärmung der Steiger benützt, um eine Lunkerbildung im Guß zu vermeiden.

Schweißtechnisch betrachtet, stellt die Zwischengußschweißung einen bedeutenden Fortschritt in der Schienenschweißung dar. Ein Vergleich der Abb. 17 und 23 zeigt ohne weiteres, daß die Zwischengußschweißung dem Ideal einer Schweißung wesentlich näher kommt. An Stelle der scharfen Trennungslinie bei der Thermit-Stumpfschweißung ist hier ein allmählicher Übergang vom Zwischenguß zur Schiene zu erkennen. Aber auch hier weisen die beiden Grenzflächen dem verschiedenen C-Gehalt von Zwischenguß und Schiene entsprechend noch starke Gefügeunterschiede und damit auch verschiedene mechanische Eigenschaften auf. Wie die Versuche gezeigt haben, ist die Zwischengußschweißung noch nicht so vollkommen entwickelt, daß beim Schlagbiegeversuch befriedigende Durchschnittsergebnisse erreicht werden können. Daß nicht bei allen Zwischengußschweißungen die gleich gute Verschmelzung von Schiene und Zwischenguß eintritt, wie bei Abb. 23 läßt Abb. 7 erkennen. Infolge zu niedriger Vorwärmung erfolgte hier überhaupt keine Verschmelzung. Die Schweißstelle unterscheidet sich von der einer Stumpfschweißung in keiner Weise. Daraus dürften z. T. auch die großen Schwankungen in den Schlag-Ergebnissen zu erklären sein. Als Nachteil des Verfahrens wird angegeben, daß im Schienenkopf ein mehrere Zentimeter breiter Zwischenguß vorhanden ist, der infolge seines niedrigen Kohlenstoff-

gehaltes eine wesentlich geringere Härte besitzt als die Schiene und dadurch in Amerika in einigen Fällen Anlaß zu Schlaglochbildung gegeben haben soll. Soviel mir bekannt ist, sind diese Schlaglöcher nur bei geschweißten Straßenbahnschienen vorgekommen, die meist auf Betonschwellen ruhen, während die freiliegenden Vignolschienen auf einem elastischen Oberbau ruhen. Nach unseren Erfahrungen sind diese Befürchtungen unbegründet. Nach dem einfachen Zwischenguß verschweißte Herzstücke\*), die in Nürnberg Rbf. auf dem Ablaufrücken, also an einer stark befahrenen Stelle liegen, haben nach einer Liegedauer von etwa zwei Jahren nicht die geringsten Schlaglöcher gezeigt. Vorgenommene Festigkeitsprüfungen, ermittelt nach der Härte, ergaben:

	Herzstückspitze	Zwischenguß	Anschlußschiene
Herzstück Nr. 1	97 kg/mm <sup>2</sup>	66 kg/mm <sup>2</sup>	106 kg/mm <sup>2</sup>
Herzstück Nr. 2	106 „	70 „	98 „

Daraus ist ersichtlich, dass der Zwischenguß fast die für Schienen vorgeschriebene Festigkeit von 70 kg/mm<sup>2</sup> erreicht hat, während er unmittelbar nach der Schweißung eine Festig-

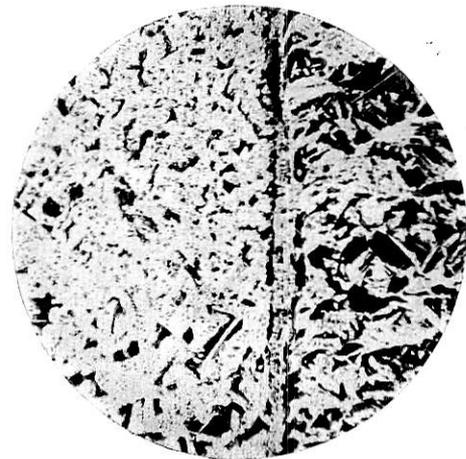


Abb. 7. Übergangsstelle einer Zwischengußschweißung. Keine Bindung von „Thermit“-Eisen und Schiene. Ätzung II  $\times$  50.

keit von etwa 50 kg/mm<sup>2</sup> aufwies. Diese Zunahme der Festigkeit wird wohl daraus zu erklären sein, daß durch das ununterbrochene Darüberrollen der Fahrzeuge im weichen Zwischenguß eine Oberflächenhärtung hervorgerufen wurde. Ebenso zeigen nach diesem Verfahren geschweißte Schienenstöße Form S 49 nach einjähriger Liegedauer keinerlei Schlaglochbildungen. Außerdem ergaben unsere Härteprüfungen (siehe Abb. 4, Taf. 25\*\*) und Abschnitt V, Ziffer 6) mit Ausnahme der gehärteten Schienen keine wesentlichen Härteunterschiede zwischen Schweißstelle und Schiene. Den Nachteil der Schlaglochbildung versuchten die Amerikaner dadurch zu beseitigen, daß sie in die Stoßfuge im Schienenkopf ein Stahlblech einsetzten und nun den Zwischenguß vornahmen, wodurch das Zwischenblech mit den Schienen verschmolzen werden sollte. Der Gedanke, den Zwischenguß in seiner chemischen Zusammensetzung auf diese Art der der Schienen anzugleichen, ist nicht von der Hand zu weisen. Nur liegt hier die Gefahr nahe, daß das Stahlblech mit der Schiene nicht richtig verschmolzen wird und der Zwischenguß dadurch eine Verschlechterung erfährt. Vielmehr müßte versucht werden, durch eine geeignete Legierung des Thermits in der Schiene wie im fertigen Zwischenguß annähernd die gleiche chemische Zusammensetzung zu erreichen.

Am meisten wurde bisher von den Straßen- und Eisenbahnen ein Schweißverfahren angewendet, das eine Kombi-

\*) Gollwitzer, Herzstückschweißung, Organ 1928, Heft 16.

\*\*) Die Tafeln 24 und 25 sind dem nächstfolgenden Heft 19 beigegeben.

nation zwischen Schmelz- und Stumpfschweißung darstellt und unter dem Namen

### 3. „Kombiniertes Verfahren“

bekannt ist. Abb. 8 zeigt den Schweißvorgang in den Grundzügen. Die Stirnflächen der zu verschweißenden Schienen werden in ihren Kopfteilen planparallel bearbeitet und unter Zwischenlegung eines Schweißbleches gegeneinander gestaucht, so daß im Kopf keine Lücke vorhanden ist, während im Steg und Fuß eine Lücke gleich der Schweißblechdicke bestehen bleiben soll. Um den Stoß wird nun eine zweiteilige Form gelegt, in die aus einem Spitztiegel das flüssige Thermitisen gegossen wird, dessen Menge so bemessen ist, daß das Thermitisen die Form nur bis etwas über die Stegmitte füllt. Im oberen Formteil, wo die Stoßlücke durch das Schweißblech geschlossen ist, steht die Schlacke. Nach dem Thermitguß werden die beiden Schienenenden mittels eines Klemmapparates gegeneinander gepreßt. Damit soll im Schienenkopf eine Druckschweißung herbeigeführt werden, nachdem schon vorher Steg und Fuß durch das Thermitisen zu einem Schmelzguß verbunden worden sind. In diesem Fall haben wir im Kopf eine Druckschweißung und im Steg und Fuß eine Schmelzschweißung. Es sind also die Nachteile der Stumpfschweißung mit den Vor-

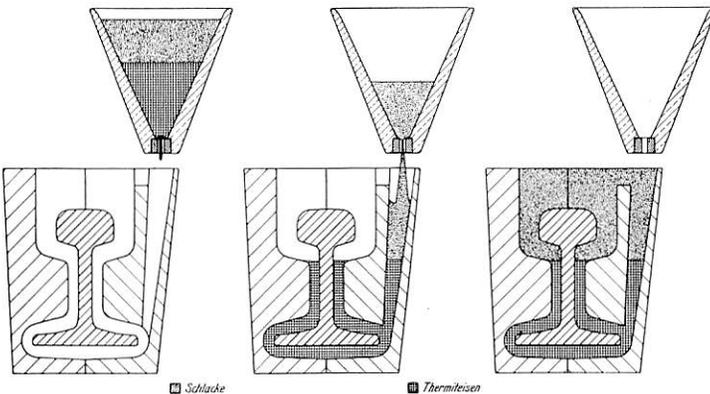


Abb. 8.

Bildliche Darstellung einer kombinierten Schweißung.

teilen des Zwischengußverfahrens hier vereinigt. Wie oben erwähnt, wird im Kopfteil der Schienen ein Schweißblech beigelegt. Dadurch soll im Steg und Fuß eine Lücke gleich dieser Blechstärke gesichert sein. Dies ist aber nach unseren Erfahrungen, besonders bei kleineren Schienen, nicht immer der Fall, da beim erstmaligen Stauchen trotz des Bleches die Schienenfüße ganz dicht aneinander kommen (s. später). Ein großer Teil der Brüche von „kombiniert“ geschweißten Schienenstößen dürfte darauf zurückzuführen sein.

Im allgemeinen scheint sich aber auf Grund der bis jetzt gesammelten Erfahrungen dieses Verfahren nicht schlecht bewährt zu haben. In Deutschland wurde die Thermit-Schienen-schweißung fast ausnahmslos als kombinierte Schweißung ausgeführt. Wie aus Abb. 8 ersichtlich ist, besitzt der geschweißte Stoß außer dem Zwischenguß einen sogenannten „Umguß“, der beim Bruch der Schweißung als eine Art Sicherheitslasche wirkt, so daß die beiden Schienenenden nicht aus ihrer achsialen Richtung abweichen können. Bereits zu Bruch gegangene Stöße haben dies bewiesen. In Zukunft wird sich auch im Schienenkopf eine wirklich einwandfreie Schweißung als unbedingt notwendig für die Haltbarkeit des Schweißstoßes erweisen. Es scheint aber, daß diese Aufgabe mittels des einfachen Zwischengußverfahrens bedeutend einfacher und besser zu lösen sein wird, als mit der kombinierten Schweißung. Der angebliche Nachteil der Schlaglochbildung bei der Zwischengußschweißung infolge des weichen Thermitisens soll

### 4. durch das Zwischengußverfahren mit Stauchung

beseitigt werden. Das patentamtlich geschützte Verfahren wurde erstmals im Jahre 1927 in Nürnberg Rgbf. \*) von der Gesellschaft für Aluminothermie, Ingwer-Block, Berlin, ausgeführt. Die Schweißung erfolgt in nachstehender Weise:

Die beiden Schienenenden werden derart in eine Klemm- vorrichtung gespannt, daß zwischen den beiden Stirnflächen noch eine Lücke von etwa 10 mm bestehen bleibt. Alsdann wird die Stoßfuge mit einer Form umkleidet und durch ein Benzolgebläse vorehitzt. Nachträglich sei noch bemerkt, daß diese Art der Vorwärmung auch bei den bereits angeführten Verfahren zwecks Einsparung von Thermit angewendet wird. Nach genügender Vorwärmung erfolgt der Zwischenguß in bekannter Weise. Sofort nach erfolgtem Guß, womöglich vor Erstarrung der Eisen-Umgußlasche, werden die beiden Schienenenden mittels einer Klemmvorrichtung von Hand stark gegeneinander gepreßt, wodurch das aluminothermische Metall herausgedrückt und die Schienen unmittelbar verschweißt werden sollen.

Erfahrungsgemäß kann auch nach diesem Verfahren, sachgemäße Ausführung vorausgesetzt, eine verhältnismäßig gute Schweißung erreicht werden. Ein Vergleich der Abb. 22 und 26 ergibt, daß die Breite des Fremdmaterials bei dem Block-Verfahren gegenüber dem einfachen Schmelzguß wesentlich verringert worden ist, was sicher als Vorteil hinsichtlich der Vermeidung von Schlaglöchern bezeichnet werden kann. Im übrigen ist aber zwischen beiden Verfahren kein nennenswerter Unterschied festzustellen. In den Abb. 36 und 37 sind die beiden Schweißstellen in Primär- ätzung dargestellt. Man sieht, daß der Gefügebau im Zwischenguß und im Übergang von der Schiene zum Thermit- eisen vollkommen gleich ist und jede Schweißung ausge- sprochene Gußgefüge aufweist. In beiden Fällen wird die Schweißung durch Verschmelzen des Thermitisens mit den Schienen erzeugt, während bei einer idealen Schweißung die Verbindung nur aus Schienenwerkstoff gebildet wird, ähnlich wie es bei der Widerstands-Abschmelzschweißung der Fall ist. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß bei letzterer Stauch- drücke bis zu 80 t und noch mehr zur Verfügung stehen, während bei dem Block-Verfahren die Stauchung ja von Hand erfolgt. Unsere Versuche haben gezeigt, daß es selbst bei der Widerstandsschweißung nicht immer möglich ist, die Schienen blasenfrei und vollkommen homogen zu verschweißen. Bei dem Block-Verfahren wird, wie oben schon erwähnt, durch die Stauchung lediglich eine Verringerung der Zwischenguß- breite erreicht, dagegen dürfte es nicht möglich sein, das Thermitisen ganz aus der Stoßlücke herauszupressen. Vor- handene Gasblasen oder Lunker können wohl zusammen- gestaucht, aber nicht beseitigt werden. Es gelingt nicht einmal bei der Stahlerzeugung, im Block vorhandene Gasblasen mit Sicherheit zu verschweißen, zumal wenn die Walztemperatur schon ziemlich niedrig ist.

Um die Wirtschaftlichkeit der aluminothermischen Schienenschweißung noch zu erhöhen, brachte die Gold- schmidt-Block A. G. eine Metallform auf den Markt \*\*). Das frühere Aluminiummodell, das zur Herstellung der Sandform diente, ist hier durch ein Blechmodell ersetzt. Dieses wird unmittelbar an die Schienen angelegt. In einem Abstand von 25 mm wird eine dreiteilige Kokille angelegt und der Zwischen- raum mit Formmasse ausgestampft. Es muß unbedingt zu- gegeben werden, daß diese Form gegenüber der früheren Sand- form große Vorteile besitzt. Vor allem ist die Gefahr, daß sich durch irgendwelche Erschütterungen Sandteile lösen und so unangenehme Schlackeneinschlüsse hervorrufen können, beseitigt. Nachteilig ist, daß das Blechmodell für jede

\*) Schönberger, Organ 1929, Heft 1.

\*\*) Schönberger, Organ 1929, Heft 1.

Schweißung erneuert werden muß, da es ja mitverschweißt wird. Eine Gefügeverbesserung der Schweißung durch die Anwendung der Metallform konnten wir bei unseren Untersuchungen nicht feststellen.

Das neuerdings von der Elektro-Thermit G. m. b. H., Berlin, ausgeführte Schmelzgußverfahren beruht im großen und ganzen auf derselben Grundlage und weicht nur in bezug auf die Gußform und Gießart ab. Das eine Verfahren benützt fallenden Guß, während die Elektro-Thermit steigenden Guß anwendet. Welcher Gießart in diesem Fall der Vorzug zu geben ist, ist schwer zu entscheiden. Beim Guß von oben, also fallend, gelangt das Thermiteseisen zuerst an den Schienenkopf und soll so eine sichere Auflösung des Schienenkopfes, des stärksten Teiles des Schienenquerschnittes, gewährleisten. Beim Guß von unten, also steigend, soll der Zwischenguß besonders dicht und der Lunker kleiner werden. Dies ist aber nicht allein von der Gießart abhängig. Bei unseren Versuchen wurden auch Schweißungen gefunden, die zwar von oben vergossen waren, aber im Querschnitt keine mit dem bloßen Auge wahrnehmbare Hohlstellen aufwiesen. Das sichere Auflösen des Schienenkopfes beim Guß von oben kann auch beim steigenden Guß durch einen Überlauf vom Einguß zum Kopf erreicht werden. Im großen und ganzen sprechen keine Gründe dafür, der einen oder anderen Gießart den Vorzug zu geben.

### III. Die elektrische Widerstands-Abschmelzschweißung.

Ein neueres, erstmalig von C. Thomsen angewandtes Preßschweißverfahren ist die elektrische Widerstands- oder Stumpfschweißung\*). Sie beruht bekanntlich darauf, daß ein vom Strom durchflossener, zu schwach bemessener Leiter sich stark erhitzt, ein sonst bei der Verlegung elektrischer Leiter höchst unwillkommener Umstand, der sich aber zu Schweißzwecken auf das vorteilhafteste ausnützen läßt, um die zu verbindenden Werkstücke in sehr kurzer Zeit auf Schweißhitze zu bringen. Aus diesem einfachen Stumpfschweißverfahren ist die elektrische Abschmelzschweißung hervorgegangen.

Dieses Verfahren hat sich nunmehr derart entwickelt, daß es hinsichtlich der Güte zweifellos Vorzüge vor allen Schmelz- und Preßschweißverfahren besitzt. Bei der Schienenschweißung wird wohl seine Anwendung auf der Strecke vorerst Schwierigkeiten machen wegen des Transportes der dazu benötigten Maschinen. Wenn auch nicht angenommen wird, daß in absehbarer Zeit ein Wechsel im Schweißverfahren bei der Schienenschweißung erfolgen wird, so erschien es doch notwendig vergleichende Versuche gegenüber der Thermiterschweißung vorzunehmen.

Da das bayerische Werk Adolf Pfretzschner G. m. b. H., Pasing bei München, dessen Inhaber wohl der älteste Pionier auf dem Gebiete der elektrischen Widerstands- und Abschmelzschweißung ist, gerade für die Schienenschweißung anscheinend aussichtsreiche Vorschläge gemacht hatte, wurden auf einer von dieser Firma gebauten Maschine, die bei der Firma Blödner in Gotha steht, Schienenschweißversuche nach dem Abschmelzverfahren vorgenommen.

Die benützte Maschine (vgl. Abb. 9) ist im Dauerbetrieb für eine Normalleistung von 400 kW bestimmt und wiegt etwa 8000 kg. Die Versuche haben gezeigt, daß die Leistung der Maschine für das Schienenprofil S 49 etwas zu groß ist. Die am besten geeignete Maschine ist eine Type mit 200 bis 250 kW (je nach Beanspruchung), welche eine genauere Einstellung der Sekundärspannung zulassen würde. Im rückwärtigen, kastenförmigen Aufbau ist der Transformator untergebracht. Auf der Vorderseite sind zwei Einspannböcke ersichtlich, die zur

Aufnahme der zu verschweißenden Werkstücke dienen. Einer davon besitzt ein bewegliches, feststellbares Widerlager, während die zweite Einspannvorrichtung durch das Handrad oder mittels Motor die Stauchbewegung ausführt. Bei dieser

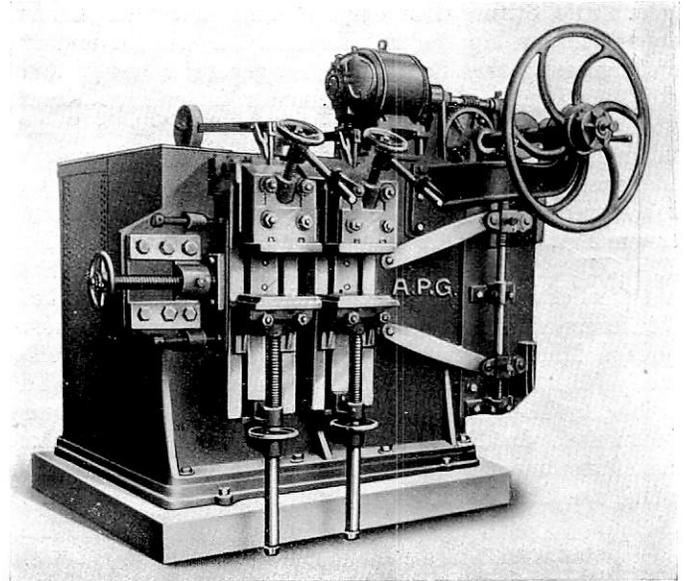


Abb. 9. Stumpfschweißmaschine mit motorischer Stauchung für 400 kW Schweißleistung.

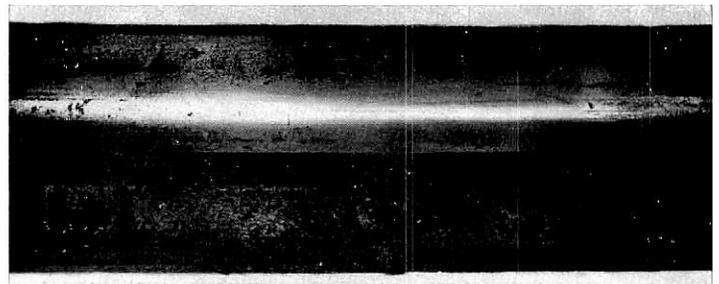


Abb. 10. Nach dem Widerstands-Abschmelzverfahren geschweißter Schienenstoß.

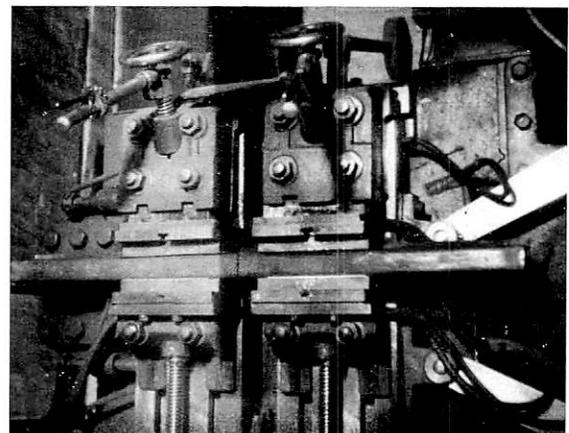


Abb. 11. Schienenstücke in der Maschine eingespannt. Fertig zum Schweißen.

\*) Bardtke, Gemeinfaßliche Darstellung der gesamten Schweißtechnik. Auflage 1927, S. 17 und 159.

Maschine wird außer den Einspannelektroden auch der Transformator mit Wasser gekühlt. Eine wirklich ausreichende Kühlung ist bei den gewaltigen Leistungen, vor allem bei den hohen Stromstärken in den Sekundärspulen von größter Be-

deutung, namentlich wenn es sich um Dauerbeanspruchung handelt. Elektrodenkühlung allein wäre hier ungenügend. Abb. 10 stellt einen nach diesem Verfahren geschweißten Schienenstoß dar. Das beim Abspritzen entstehende Eisenoxyd wird beim Stauchen durch den hohen Druck nach außen gepreßt und umgibt die Schweißfuge als perlartiger Wulst, der aber im warmen Zustand sehr leicht beseitigt werden kann.

Bei diesem Verfahren ist die Konstruktion der Einspannbacken sowie der dadurch bedingte Stromdurchgang von größter Bedeutung. Bereits im August 1928 in Gotha durchgeführte Versuche hatten erkennen lassen, daß sich mit gewöhnlicher stehender Einspannung über Kopf und unter Fuß keine voll befriedigenden Ergebnisse erzielen lassen. Die von der Firma vorgeschlagene und auch ausgeführte Einspannvorrichtung, die keilförmig, am Kopf und Fuß laschenförmig eingreifen sollte, wurde bei unseren Versuchen, Februar 1929, in Gotha ausprobiert und lieferte auch die erwarteten besseren Ergebnisse. Die hierbei gemachten Beobachtungen haben aber eine weitere Verbesserung der Einspannvorrichtung als wünschenswert erscheinen lassen, die bei den Versuchen wegen Mangel an Zeit noch nicht berücksichtigt werden konnte. Die Keilflächen müssen beweglich ausgeführt werden, um die Walztoleranzen der Schienen auszugleichen und dadurch ein gleichmäßiges Anliegen der Kontaktbacken an Kopf und Fuß sicher herbeizuführen. Als richtig erwies sich die vorgesehene horizontale Lage der Schienen (liegend, vergl. Abb. 11) mit Angriff der Kontaktbacken von oben und unten seitlich an der Schiene

unter Freilassung des dünnen Steges. Zunächst mußte aber versucht werden, ob die Lage, Kopf oder Fuß gegen die Maschine günstiger ist. Das letztere erwies sich bei den Vorversuchen als das unbedingt bessere, weil damit eine gleichmäßige Erhitzung des Gesamtquerschnittes erzielt wurde.

Die Sekundärspannung darf weder zum Vorwärmen noch zum Spritzen zu hoch genommen werden. Die Schweißung ginge damit allerdings rascher, doch werden durch die hohe Spannung beim Spritzen aus dem dünnen Ende des Schienenfußes manchmal größere Stücke herausgerissen, deren Lücken bei der Stauchung nicht mehr verschweißt werden können und so als Blasen zurückbleiben. Die Vorwärmzeit darf nicht zu gering bemessen werden, damit sich die Schweißenden genügend durchwärmen können.

Auf Grund der durchgeführten Versuche können folgende Werte für die Schienenschweißung als die günstigsten bezeichnet werden.

Reine Schweißzeit . . . . .	5—6 Min.
Stromverbrauch . . . . .	6—7 kWh
Sekundärspannung . . . . .	7,5—9 Volt
Sekundärstromstärke: etwa	26 000 Ampere.

Weiter muß die Einspannung unbedingt starr erfolgen, um den Stauchdruck von 60 t voll ausnützen zu können. Infolge des bei jeder Schweißung stattfindenden Längenverlustes von etwa 20 mm könnte dieses Verfahren nur bei frei beweglichen Schienen angewandt werden. (Schluß folgt.)

## Die Beurteilung von Betrieb und Verkehr in Personenbahnhöfen auf Grund der Weichenbelastung.

Von Reichsbahnrat Dr. Ing. Schachenmeier, Heidelberg.

Hierzu Tafel 22 und 23.

### I.

Den Begriff der Weichenbelastung einer Bahnhofgleisanlage habe ich in einer früheren Abhandlung\*) entwickelt und dabei gezeigt, wie die Weichenbelastung bei dem Tagesverkehr und bei dem Stundenspitzenverkehr gefunden und verwertet werden kann.

Die Gedankengänge der genannten Abhandlung\*) sollen hier in einigen Punkten weitergeführt werden mit dem Ziele, Betrieb und Verkehr auf den Gleisanlagen von Personenbahnhöfen durch Zahlenwerte zu kennzeichnen.

Wie bei der früheren Abhandlung\*), so wird auch bei der hier folgenden eine bestimmt umgrenzte Gleisanlage in den Kreis der Betrachtungen gezogen, deren Weichen in der Verschlussafel enthalten sind. Ein an den Personenbahnhof anschließender Abstellbahnhof wird also nur insoweit mitberücksichtigt, als die zu ihm überleitenden Weichen in der Verschlussafel des Personenbahnhofs enthalten sind.

Zunächst soll der Ausnutzungsgrad einer Bahnhofgleisanlage bei einem beliebigen Verkehr berechnet und alsdann festgestellt werden, welche Wirkungen Änderungen des Verkehrs und bauliche Änderungen der Gleisanlage eines Bahnhofs auf die Weichenbelastung haben.

Als Ausnutzungsgrad einer Bahnhofgleisanlage bezeichnen wir das Verhältnis einer tatsächlichen Leistung zu einer bestimmten Spitzenleistung.

Die Änderungen des Verkehrs können den Verkehrsumfang (die Zugzahl) betreffen, oder es kann bei gleichbleibendem Verkehrsumfang eine Änderung in der Verteilung der Zugfahrten auf die einzelnen Fahrstraßen eines Bahnhofs vorzunehmen sein, oder schließlich kann sich sowohl der Verkehrsumfang als auch die Verteilung der Züge auf die einzelnen Fahrstraßen ändern.

\*) Vergl. Verkehrstechnische Woche 1929, Hefte 40 und 41. „Die Weichenbelastung und ihre betriebliche Bedeutung in Personenbahnhöfen“.

Unter baulichen Änderungen der Gleisanlage verstehen wir hier solche, die in der Zahl oder in der Anordnung der Weichen eines Bahnhofs zum Ausdruck kommen.

### II.

#### Ausnutzungsgrad.

a) Allgemeines (Abb. 1, Taf. 22 und Taf. 23).

Den Grad der Ausnutzung einer Bahnhofgleisanlage können wir ausdrücken, wenn wir einen geeigneten Maßstab für ihre Leistungen finden. Als solcher soll eine auf Grund der früheren Abhandlung mittels des Weichenbelegungsplanes berechenbare Stundenspitzenleistung\*) dienen, die ohne weiteres verwertet werden kann, wenn der Ausnutzungsgrad bei einer Stundenleistung gesucht wird. Wenn der Ausnutzungsgrad bei einer Tagesleistung berechnet werden soll — wie in der Regel — so ist die Stundenspitzenleistung mit der Stundenzahl (24) zu vervielfachen, damit man eine Tagesspitzenleistung erhält. Diese nennen wir die „theoretische Tagesspitzenleistung“, weil sie nur in seltenen Fällen wirklich erreichbar sein wird; sie soll nur als Maßstab dienen.

Um an solchen Spitzenleistungen (in der Stunde oder im Tag) beliebige tatsächliche Leistungen messen zu können, bilden wir die Spitzenleistungen derart, dass sie aus dem Leistungsdurchschnitt entwickelt werden, also mit einer zu messenden tatsächlichen Leistung in innerem Zusammenhang stehen.

Als Hilfsmittel hierzu dient der Weichenbelegungsplan, in den zunächst ein Durchschnitt der zu untersuchenden Stunden- oder Tagesleistung unter Berücksichtigung des Verkehrsbedürfnisses eingetragen wird, und zwar so, daß alle Zug- und Verschiebefahrten so eng als möglich aneinandergereiht werden. Zu diesen Einträgen in den Weichenbelegungs-

\*) An Stelle des „Weichenbelegungsplanes“ (Verkehrstechn. Woche, Seite 569) kann der „Gleis- und Weichenbelegungsplan“ treten (Abb. 2).

plan werden dann — wiederum unter Berücksichtigung des Verkehrsbedürfnisses und durch möglichst enges Aneinanderreihen aller Fahrten — solange weitere Zug- und Verschiebefahrten hinzugefügt, bis der Weichenbelegungsplan für eine Stunde ganz ausgefüllt ist. Eine solche Stundenspitzenleistung ist z. B. in Taf. 23 für Bahnhof A (s. Abb. 1, Taf. 22) aus der Tagesdurchschnittsleistung entwickelt.

Bezeichnen wir die als Maßstab dienende Spitzenleistung mit  $L_m$ , die zu messende tatsächliche Leistung mit  $L_t$  und den Ausnutzungsgrad mit  $L_g$ , so gilt die Gleichung

$$L_g = \frac{L_t}{L_m}$$

Die Leistungen  $L_m$  und  $L_t$  können sowohl durch die Zugzahlen als auch durch die Weichenbelastungen ausgedrückt werden; letztere wieder sowohl nach der Dauer der Weichenbelegungen als auch nach der Zahl der Weichenbefahrungen.

Wir haben also die Möglichkeit, den Ausnutzungsgrad ( $L_g = \frac{L_t}{L_m}$ ) durch drei verschiedene Quotienten zu kennzeichnen.

#### b) Beispiele.

1. Im Bahnhof A mögen täglich 96 Züge in jeder Richtung verkehren, im ganzen also 384 Zugfahrten auszuführen sein (Abb. 1, Taf. 22 und Taf. 23).

Wie groß ist der Ausnutzungsgrad dieses Bahnhofs bei dem genannten Verkehr?

Man findet auf Grund des für Bahnhof A aufgestellten Weichenbelegungsplanes:

a) nach der Zugzahl eine Stundenspitzenleistung von 20 Zugfahrten\* (vergl. Taf. 23), also ist

$$L_m = 20 \cdot 24 = 480,$$

und da nach obiger Annahme  $L_t = 384$  (Zugfahrten),

$$\text{wird } L_g = \frac{L_t}{L_m} = \frac{384}{480} = \mathbf{0,800}$$

b) nach der Dauer der Weichenbelegungen eine Stundenspitzenleistung von 434 Weichenminuten (vergl. Taf. 23), also ist

$$L_m = 434 \cdot 24 = 10416,$$

und da  $L_t = 8980$  (Weichenminuten) (vergl. Abb. 1, Taf. 22).

$$\text{wird } L_g = \frac{8980}{10416} = \mathbf{0,862}$$

c) nach der Zahl der Weichenbefahrungen eine Stundenspitzenleistung von 40 Weichenbefahrungen (vergl. Taf. 23), also ist

$$L_m = 40 \cdot 24 = 960,$$

und da  $L_t = 852$  (Weichenbefahrungen) (vergl. Abb. 1, Taf. 22)

$$\text{wird } L_g = \frac{852}{960} = \mathbf{0,887}.$$

2. Der Bahnhof B, der sich von Bahnhof A dadurch unterscheidet, daß er in beiden Richtungen ein Überholungs-gleis besitzt, möge den gleichen Tagesverkehr (384 Zugfahrten) zu bewältigen haben.

Wie groß ist der Ausnutzungsgrad dieses Bahnhofs (B) bei dem genannten Verkehr von 384 Zugfahrten?

Man findet auf Grund des für Bahnhof B aufgestellten Weichenbelegungsplanes:

a) nach der Zugzahl eine Stundenspitzenleistung von 22 Zugfahrten, also ist

$$L_m = 22 \cdot 24 = 528,$$

und da nach obiger Annahme  $L_t = 384$  (Zugfahrten),

$$\text{wird } L_g = \frac{384}{528} = \mathbf{0,727}$$

b) nach der Dauer der Weichenbelegungen eine Stundenspitzenleistung von 412 Weichenminuten, also ist

$$L_m = 412 \cdot 24 = 9888,$$

und da  $L_t = 7496$  (Weichenminuten),

$$\text{wird } L_g = \frac{7496}{9888} = \mathbf{0,758}$$

c) nach der Zahl der Weichenbefahrungen eine Stundenspitzenleistung von 49 Weichenbefahrungen, also ist

$$L_m = 49 \cdot 24 = 1176,$$

und da  $L_t = 888$  (Weichenbefahrungen),

$$\text{wird } L_g = \frac{888}{1176} = \mathbf{0,755}.$$

Ein Vergleich der unter II b 1 und unter II b 2 gefundenen Zahlen ergibt, daß die verbesserte Anlage (B, mit zwei Überholungsgleisen) beim gleichen Tagesverkehr einen geringeren Grad der Ausnutzung aufweist, als die ursprüngliche (A, mit nur einem Überholungs-gleis).

Man erhält:

nach der Zugzahl . . . . .	0,727	gegen	0,800
„ „ Dauer der Weichenbelegungen . . . . .	0,758	„	0,862
„ „ Zahl der Weichenbefahrungen . . . . .	0,755	„	0,887.

Da hierdurch eine bekannte Tatsache bestätigt wird, ist damit gezeigt, daß mit dem entwickelten Verfahren richtige Ergebnisse erzielt werden. Durch die Ermittlung der Zahlenwerte lernt man das Maß der Ausnutzung kennen.

3. Der Bahnhof Heidelberg hatte im Sommerfahrplan 1914 einen Tagesverkehr von 386 Zugfahrten zu bewältigen (Abb. 2, Taf. 22).

Wie groß war sein Ausnutzungsgrad bei diesem Verkehr?

Man findet auf Grund des für Bahnhof Heidelberg aufgestellten Weichenbelegungsplanes folgende, aus dem genannten Tagesverkehr entwickelte Stundenspitzenleistung:

a) nach der Zugzahl: 25 Zugfahrten, also ist

$$L_m = 25 \cdot 24 = 600,$$

und da  $L_t = 386$  (Zugfahrten),

$$\text{wird } L_g = \frac{386}{600} = \mathbf{0,643}$$

b) nach der Dauer der Weichenbelegungen: 1934 Weichenminuten, also ist

$$L_m = 1934 \cdot 24 = 46416,$$

und da  $L_t = 31486$  (Weichenminuten),

$$\text{wird } L_g = \frac{31486}{46416} = \mathbf{0,678}$$

c) nach der Zahl der Weichenbefahrungen: 251 Weichenbefahrungen, also ist  $L_m = 251 \cdot 24 = 6024$ , und da  $L_t = 3695$  (Weichenbefahrungen),

$$\text{wird } L_g = \frac{3695}{6024} = \mathbf{0,613}.$$

4. Der Bahnhof Heidelberg hatte im Sommerfahrplan 1925 einen Tagesverkehr von 283 Zugfahrten zu bewältigen.

Wie groß war sein Ausnutzungsgrad bei diesem Verkehr?

Man findet auf Grund des für Bahnhof Heidelberg aufgestellten Weichenbelegungsplanes folgende, aus dem genannten Tagesverkehr entwickelte Stundenspitzenleistung:

a) nach der Zugzahl: 25 Zugfahrten, also ist

$$L_m = 25 \cdot 24 = 600,$$

und da  $L_t = 283$  (Zugfahrten),

$$\text{wird } L_g = \frac{283}{600} = \mathbf{0,472}$$

b) nach der Dauer der Weichenbelegungen: 1934 Weichenminuten, also wird

$$L_m = 1934 \cdot 24 = 46416,$$

und da  $L_t = 24214$  (Weichenminuten),

$$\text{wird } L_g = \frac{24214}{46416} = 0,521$$

c) nach der Zahl der Weichenbefahrungen: 251 Weichenbefahrungen, also wird

$$L_m = 251 \cdot 24 = 6024,$$

und da  $L_t = 2579$  (Weichenbefahrungen),

$$\text{wird } L_g = \frac{2759}{6024} = 0,458.$$

Ein Vergleich der unter II b 3 und unter II b 4 gefundenen Zahlen ergibt, daß der Bahnhof Heidelberg bei geringerem Verkehr (283 gegen 386 Zugfahrten) und gleichbleibenden Gleisanlagen auch einen geringeren Grad der Ausnutzung aufwies.

Man erhält:

nach der Zugzahl . . . . .	0,472	gegen	0,643
„ „ Dauer der Weichenbelegungen . . . . .	0,521	„	0,678
„ „ Zahl der Weichenbefahrungen . . . . .	0,458	„	0,613.

Im übrigen gilt auch hier das unter II b 2 (am Schluß) Gesagte.

### c) Zusammenfassung.

Die vorstehenden Betrachtungen lassen erkennen, wie der Ausnutzungsgrad einer Bahnhofgleisanlage bei beliebigem Verkehr auf Grund einer mittels des Weichenbelegungsplanes berechneten Stundenspitzenleistung gefunden und verwertet werden kann.

Wenn man die Werte des Ausnutzungsgrades für verschiedene bauliche Anordnungen der Gleisanlagen eines Bahnhofes bei gleichem Verkehr (siehe Beispiele II b 1 und II b 2) oder für verschiedene Verkehrsumfänge bei gleicher baulicher Anordnung der Gleisanlagen (siehe Beispiele II b 3 und II b 4) berechnet und einander gegenübergestellt, erkennt man, ob und durch welche Maßnahmen der Ausnutzungsgrad der Anlage erhöht werden könnte.

Der erreichbare Wert des Ausnutzungsgrades ist um so größer, je kleiner (einfacher) die Gleisanlage ist und umgekehrt (vergl. die Beispiele II b 1 bis 4):

Bahnhof A mit 17 Weichen,	Ausnutzungsgrad nach der Zugzahl	0,727—0,800
Bahnhof H mit 113 Weichen,	Ausnutzungsgrad nach der Zugzahl	(0,472—0,643).

Von den drei berechneten Werten für den Ausnutzungsgrad dient der aus der Zahl der Zugfahrten entwickelte zur Beurteilung eines gegebenen Verkehrsumfanges, während die beiden anderen Werte ergeben, in welchem Maße bei diesem Verkehrsumfang die Weichen ausgenutzt werden.

## III.

### Durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt.

#### a) Allgemeines (Abb. 1, Taf. 22).

Während im vorangehenden Abschnitt (II) gezeigt wurde, wie der Grad der Ausnutzung einer Bahnhofgleisanlage bei beliebigem Verkehr gekennzeichnet werden kann, soll im folgenden der Einfluß von Verkehrsänderungen (sowohl nach dem Verkehrsumfang als auch nach der Verteilung der Züge auf die einzelnen Fahrstraßen) auf die Weichenbelastung bei gleichbleibender Gleisanlage ermittelt werden.

Man kann die Weichenbelastung eines Bahnhofes bei jedem Verkehr dadurch kennzeichnen, daß man die durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt berechnet, und zwar sowohl nach der Dauer der Weichenbelegungen (aus-

gedrückt in Weichenminuten) als auch nach der Zahl der Weichenbefahrungen:

Nennen wir die Zahl der Zugfahrten in den Fahrstraßen a, b, c, . . . . h:  $x_1, x_2, x_3, \dots$  bzw.  $x_8$  und setzen die Gesamtzahl der Zugfahrten in allen Fahrstraßen  $x_1 + x_2 + \dots + x_8 = x$ , bezeichnen wir ferner die Zahl der Weichenminuten für eine Zugfahrt in den einzelnen Fahrstraßen mit  $k_1, k_2, k_3, \dots$  bzw. mit  $k_8$  und setzen die Gesamtzahl der Weichenminuten in allen Fahrstraßen  $k_1 \cdot x_1 + k_2 \cdot x_2 + k_3 \cdot x_3 + \dots + k_8 \cdot x_8 = y$ , so wird die an der Dauer der Weichenbelegungen gemessene durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt ausgedrückt durch die Verhältniszahl  $\frac{y}{x} = z$ . Diese Verhältniszahl ändert

sich sowohl mit den Zugzahlen  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_8$  der einzelnen Fahrstraßen als auch mit der Gesamtzugzahl  $x$ . Je kleiner die Verhältniszahl  $z$  wird, um so kleiner ist die an der Dauer der Weichenbelegungen gemessene durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt.

Bezeichnen wir die Zahl der Weichenbefahrungen für eine Zugfahrt in den einzelnen Fahrstraßen mit  $l_1, l_2, l_3, \dots$  bzw.  $l_8$ , und setzen die Gesamtzahl der Weichenbefahrungen in allen Fahrstraßen  $l_1 \cdot x_1 + l_2 \cdot x_2 + l_3 \cdot x_3 + \dots + l_8 \cdot x_8 = v$ , so wird die an der Zahl der Weichenbefahrungen gemessene durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt ausgedrückt

durch die Verhältniszahl  $\frac{v}{x} = w$ . Auch diese Verhältniszahl ( $w$ ) ändert sich sowohl mit den Zugzahlen  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_8$  der einzelnen Fahrstraßen als auch mit der Gesamtzugzahl  $x$ . Je kleiner die Verhältniszahl  $w$  wird, um so kleiner ist die nach der Zahl der Weichenbefahrungen beurteilte durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt.

Die Verhältniszahlen  $z$  und  $w$  werden um so kleiner, je weniger Weichen in den Fahrstraßen liegen (verschlossen werden).

Je weniger Weichen aber in den Fahrstraßen bei den Zugfahrten festgehalten (verschlossen) werden, um so mehr Weichen bleiben für Verschiebefahrten übrig. Diese Feststellung bedeutet, daß die im Bahnhof neben den Zugfahrten auszuführenden Verschiebefahrten um so reibungsloser ausführbar sind, je kleiner die Werte  $z$  und  $w$  werden. Demnach wird die Beanspruchung der Weichenanlage sowohl bei Zug- als auch bei Verschiebefahrten um so günstiger, je kleiner die Werte  $z$  und  $w$  werden.

#### b) Beispiele.

1. Im Bahnhof A sind für die Tagesleistung 96 Züge in jeder Richtung angenommen mit folgender Verteilung auf die einzelnen Fahrstraßen:  $x_1 = 60, x_2 = 36, x_3 = 60, x_4 = 36, x_5 = 60, x_6 = 36, x_7 = 60, x_8 = 36$ . Ferner sind die folgenden konstanten Werte der Weichenminuten berechnet:  $k_1 = 16, k_2 = 32, k_3 = 8, k_4 = 8, k_5 = 14, k_6 = 14, k_7 = 42, k_8 = 66$  sowie die konstanten Werte der Weichenbefahrungen:  $l_1 = 1, l_2 = 3, l_3 = 1, l_4 = 3, l_5 = 2, l_6 = 3, l_7 = 3, l_8 = 3$ . Man erhält somit  $x = 384, y = 8980, v = 852$ . Für den im Bahnhof A angenommenen Tagesverkehr von 96 Zugfahrten in jeder Richtung wird also die durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt in Weichenminuten  $z = \frac{y}{x} = 23,385$

und in Weichenbefahrungen  $w = \frac{v}{x} = 2,21$ .

2. Für den Fall, daß in einem neuen Fahrplan des Bahnhofes A einzelne Züge ganz ausfallen müssen, so daß also die Gesamtzugzahl verringert wird, sei angenommen, daß von den aus Osten kommenden Zügen drei über Gleis 1 und sechs über Gleis 3 verkehrende, im ganzen also  $9 \times 2 = 18$  Zugfahrten wegfallen. So erhält man  $x = 366, y = 8386, v = 804$ ,

$$\text{also } z = \frac{y}{x} = 22,912 \text{ (statt } 23,385)$$

$$\text{und } w = \frac{v}{x} = 2,19 \text{ (statt } 2,21).$$

Unter den genannten Voraussetzungen (bei 366 Zugfahrten) wird demnach die durchschnittliche Weichenbelastung sowohl nach der Dauer der Weichenbelegungen als auch nach der Zahl der Weichenbefahrungen niedriger als bei der ursprünglichen Annahme von 384 Zugfahrten.

Die Weichenbelastung ist also günstiger geworden, und zwar deswegen, weil die meisten der wegfallenden Züge in Fahrstraßen liegen, die hohe Weichenminutenzahlen und hohe Weichenbefahrungszahlen aufweisen (vergl. Taf. I und II der Abb. 1 auf Taf. 22).

Nimmt man dagegen an, dass alle neun ausfallenden Züge bisher von Osten über Gleis 1 gelaufen, also in einer Fahrstraße gelegen seien, deren Weichenminutenzahl und Weichenbefahrungszahl verhältnismäßig niedrig sind, so erhält man die Werte  $y = 8530$  und  $v = 816$ , also  $z = 23,306$  (statt 23,385) und  $w = 2,23$  (statt 2,21). Bei der letzten Annahme bleibt also  $z$  nahezu gleich und  $w$  wird größer als im Falle II b 1 (bei 384 Zugfahrten), obwohl neun Züge (18 Zugfahrten) weniger verkehren.

Man wird daher im vorliegenden Falle die über Gleis 3 verkehrenden Züge ausfallen lassen, wenn nicht andere Betriebsrücksichten entgegenstehen.

3. Nehmen wir an, daß in einem neuen Fahrplan des Bahnhofs A mit Rücksicht auf das Verkehrsbedürfnis in jeder Richtung zehn weitere Züge Bestandveränderungen vornehmen und deshalb über Gleis 3 (anstatt über Gleis 1 bzw. 2) fahren müssen, so ergibt sich bei gleicher Gesamtzugzahl folgende neue Verteilung der Zugfahrten auf die einzelnen Fahrstraßen:  $x_1 = 50$ ,  $x_2 = 46$ ,  $x_3 = 50$ ,  $x_4 = 46$ ,  $x_5 = 50$ ,  $x_6 = 46$ ,  $x_7 = 50$ ,  $x_8 = 46$ , und man erhält  $x = 384$ ,  $y = 9380$ , also wird die durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt in Weichen-

minuten  $z = \frac{y}{x} = 24,427$  (statt 23,385). Bei der veränderten Verteilung der Zugfahrten entsteht somit trotz gleichbleibender Gesamtzugzahl eine höhere durchschnittliche Weichenbelastung nach der Dauer der Weichenbelegungen.

Unter den gleichen Annahmen wird die Zahl der Weichenbefahrungen  $v = 902$  (statt 852), und man erhält  $w = \frac{v}{x} = 2,349$  (statt 2,21). Es entsteht also auch eine höhere durchschnittliche Weichenbelastung nach der Zahl der Weichenbefahrungen.

Höhere Weichenbelastungen waren zu erwarten, weil eine größere Zahl von Zügen in Fahrstraßen mit höheren Weichenminutenzahlen und mit höheren Weichenbefahrungszahlen verkehrt, als im Beispiel II b 1 (vergl. Taf. I und II der Abb. 1 auf Taf. 22).

Das Maß der Erhöhung der Weichenbelastungen ist durch die neuen Werte  $z$  und  $w$  ausgedrückt.

4. Das entwickelte Verfahren soll nun auch auf den Bahnhof Heidelberg angewendet werden. (Abb. 2, Taf. 22).

Dabei ergibt sich ein Beispiel für den Fall, daß zwei verschiedene Fahrpläne betrachtet werden, in denen sowohl der Verkehrsumfang (die Zugzahl) als auch die Verteilung der Züge auf die einzelnen Fahrstraßen voneinander verschieden sind.

Für die Tagesleistung im Sommerfahrplan 1914 bei  $x = 386$  Zugfahrten wird  $y = 31486$  und  $v = 3695$ , also ergibt sich die durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt in Weichenminuten  $z = \frac{y}{x} = 81,50$  und in Weichenbefahrungen

$w = \frac{v}{x} = 9,572$ . Für die Tagesleistung im Sommerfahrplan 1925 bei  $x = 283$  Zugfahrten wird  $y = 24214$  und  $v = 2759$ , also ergibt sich  $z = \frac{y}{x} = 85,588$  und  $w = \frac{v}{x} = 9,749$ . Demnach war

bei dem stärkeren Verkehr im Fahrplan 1914 die durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt sowohl nach der Dauer der Weichenbelegungen als auch nach der Zahl der Weichenbefahrungen niedriger als im Fahrplan 1925, bei dem schwächeren Verkehr.

Dieses Ergebnis ist durch den Umstand zu erklären, daß bei dem stärkeren Verkehr nahezu alle Fahrstraßen, also auch die mit den niedrigen Weichenminutenzahlen und Weichenbefahrungszahlen, häufiger benutzt werden mußten als beim schwächeren Verkehr, so daß die auf eine Zugfahrt entfallenden Durchschnittswerte beim stärkeren Verkehr kleiner wurden.

Ebenso erklärt sich das Ergebnis der durchschnittlichen Weichenbelegungsdauer in dem folgenden Vergleich zwischen Spitzen- und Tagesverkehr.

5. Für eine Stundenspitzenleistung im Bahnhof Heidelberg mit  $x = 23$  Zugfahrten wird  $y = 1856$  und  $v = 244$ , also ergibt sich die durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt in Weichenminuten  $z = \frac{y}{x} = 80,70$  und in Weichenbefahrungen

$w = \frac{v}{x} = 10,61$ . Bei dem gedrängten Verkehr einer Stundenspitzenleistung im Bahnhof Heidelberg war also die durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt nach der Dauer der Weichenbelegungen niedriger als bei den beiden betrachteten Tagesleistungen in den Fahrplänen 1914 und 1925 (80,70 gegenüber 81,50 bzw. 85,588 Weichenminuten).

Nach der Zahl der Weichenbefahrungen war hier die durchschnittliche Weichenbelastung höher (10,61 gegenüber 9,572 bzw. 9,749 Befahrungen). Bei dem Spitzenverkehr sind demnach mehr Fahrstraßen benutzt worden, deren Weichen vom Zuge selbst befahren wurden, als bei dem schwächeren Tagesverkehr.

#### e) Zusammenfassung.

Auf Grund der im Abschnitt III durchgeführten Untersuchung kann man allgemein sagen:

Jede durch einen bestimmten Zugverkehr verursachte Weichenbelastung eines Bahnhofs kann durch zwei Zahlenwerte ( $z$  und  $w$ ) gekennzeichnet werden, welche die durchschnittliche Weichenbelastung je Zugfahrt angeben, gemessen an der Dauer der Weichenbelegungen ( $z$ ) und an der Zahl der Weichenbefahrungen ( $w$ ).

Durch eine solche Untersuchung kann man die Wirkung jeder Verkehrsänderung auf die Weichenbelastung im voraus ermitteln und so die Entscheidung über etwa mögliche verschiedene Lösungen erleichtern.

#### IV.

##### Die „spezifische Weichenbelastung“.

###### a) Allgemeines.

Im vorangehenden Abschnitt (III) ist die Wirkung von Verkehrsänderungen auf die durchschnittliche Weichenbelastung eines Bahnhofs bei gleichbleibender Gleisanlage untersucht worden.

In gleicher Weise könnte man den Einfluß einer Änderung der Gleisanlage auf die durchschnittliche Weichenbelastung bei gleichbleibendem Verkehr ermitteln. In solchen Fällen, in denen zwei voneinander verschiedene bauliche Anlagen gegenübergestellt werden, eignet sich jedoch besser das folgende Verfahren:

Die Weichenbelastung wird so gekennzeichnet, daß der Verkehr keinen Einfluß auf die Kennzeichnung hat. Dies geschieht, indem man bei den bisherigen Berechnungen den Grenzfall annimmt, in welchem nur je ein Zug in jeder Fahrstraße verkehrt, daß also  $x_1 = x_2 = x_3 = \dots x_n = 1$  wird.

Da unter der genannten Voraussetzung die Zahl der Zugfahrten gleich der Zahl der Fahrstraßen ist, so bedeutet  $z = \frac{y}{x}$  das Verhältnis der Zahl der Weichenminuten (die entsteht, wenn in jeder Fahrstraße ein Zug verkehrt) zur Zahl der Fahrstraßen. Ebenso bedeutet  $w = \frac{v}{x}$  das Verhältnis der Zahl der Weichenbefahrungen zur Zahl der Fahrstraßen. Diese Verhältniszahlen ( $z$  und  $w$ ) sind vom Verkehr unabhängig. Sie drücken die Belastung aus, die durch die Zahl und Anordnung der in den einzelnen Fahrstraßen liegenden Weichen sowie durch die Lage der den Zeitbedarf der Züge bestimmenden Signale bedingt ist. Sie kennzeichnen also die Wirkungsweise eines Bahnhofs auf Grund seiner baulichen Anlage.

Man kann daher das Verhältnis zwischen der Zahl der Weichenminuten (Weichenbefahrungen) — die entsteht, wenn in jeder Fahrstraße ein Zug verkehrt — und der Zahl der Fahrstraßen die „spezifische Weichenbelastung“ eines Bahnhofs nennen. Sie ändert sich sowohl mit der Weichenminutenzahl (Weichenbefahrungszahl), als auch mit der Zahl der Fahrstraßen. Je kleiner die Verhältniszahl  $z$  oder  $w$  wird, um so kleiner wird die „spezifische Weichenbelastung“ nach der Dauer der Weichenbelegungen oder nach der Zahl der Weichenbefahrungen.

Da auch hier die Verhältniszahlen  $z$  und  $w$  um so kleiner werden, je weniger Weichen in den Fahrstraßen liegen (verschlossen werden), gilt ebenfalls das unter III a (am Schluß) Gesagte:

Die Beanspruchung der Weichenanlage wird sowohl bei Zug- als auch bei Verschiebefahrungen um so günstiger, je kleiner die Werte  $z$  und  $w$  werden.

#### b) Beispiele.

1. Im Bahnhof A ergeben sich für den Fall  $x_1 = x_2 = x_3 = \dots x_n = 1$  folgende Werte:  $x = 8$ ,  $y = 200$ ,  $v = 19$ , also wird die spezifische Weichenbelastung in Weichenminuten  $z = \frac{y}{x} = 25$  und in Weichenbefahrungen  $w = \frac{v}{x} = 2,375$ .

2. Denkt man sich den Bahnhof A dadurch verbessert, daß er für jede Richtung ein besonderes Überholungsgleis erhält, so daß also ein anderer Bahnhof (B) entsteht, und berechnet man für diesen Bahnhof B die Weichenbelastungen der Fahrstraßen unter den gleichen Voraussetzungen für den Zeitbedarf der Züge wie für den Bahnhof A, so erhält man für Bahnhof B:  $x = 8$ ,  $y = 166$ ,  $v = 20$ . Demnach wird die spezifische Weichenbelastung in Weichenminuten  $z = 20,75$  (gegenüber 25 im Bahnhof A), d. h. der Bahnhof B erleidet — unter der hier gemachten Voraussetzung, daß in jeder Fahrstraße nur ein Zug verkehrt — bei einer Zugfahrt durchschnittlich eine kleinere, an der Dauer der Weichenbelegungen gemessene Belastung der Weichen als der Bahnhof A. Die bauliche Anlage B ist also nicht nur leistungsfähiger — da sie in jeder Richtung ein Überholungsgleis aufweist — sondern auch in bezug auf die Dauer der Weichenbelegungen günstiger als die Anlage A. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Summe der verschlossenen Weichen aller Fahrstraßen im Bahnhof B kleiner ist (43) als im Bahnhof A (52).

Nach der Zahl der Weichenbefahrungen dagegen wird die spezifische Weichenbelastung im Bahnhof B ( $w = 2,5$ ) größer als im Bahnhof A ( $w = 2,375$ ), d. h. es werden im Bahnhof B

bei einer Zugfahrt durchschnittlich mehr Weichen befahren als im Bahnhof A.

Man wird im allgemeinen den Bahnhof B dem Bahnhof A vorziehen, da die günstigere spezifische Weichenbelastung nach der Dauer der Weichenbelegungen mehr ins Gewicht fällt als die ungünstigere nach der Zahl der Weichenbefahrungen.

3. Die spezifische Weichenbelastung soll im folgenden auch für den Bahnhof Heidelberg berechnet werden. Da dieser Bahnhof im Jahre 1928 umgebaut (erweitert) worden ist, bietet sich Gelegenheit, mittels der Berechnung der spezifischen Weichenbelastungen für die Anlagen vor und nach dem Umbau (für H 1914 und für H 1928, Abb. 2, Taf. 22) die Wirkung der baulichen Änderungen zu beurteilen.

Im wesentlichen bestehen diese Änderungen darin, daß zwei weitere Bahnsteiggleise (24 und 26) hinzukamen und ein Bahnsteiggleis (11) verlängert wurde. Von und nach diesen Gleisen sind zusammen 21 weitere Fahrstraßen eingerichtet worden. Die Zahl der in der Verschlussafel angegebenen Weichen beträgt 107 (gegenüber 110 vor dem Umbau); dazu kommen 17 (gegenüber 3) mit besonderen Hebeln bediente Gleissperrsignale. Diese Gleissperrsignale werden bei der Berechnung der Weichenbelegungsdauer als Weichen gezählt, weil sie ebenso wie die Weichen den Fahrbewegungen auf den Gleisen einen bestimmten Weg weisen (sperrn oder freigeben). Unter Einschluß dieser Gleissperrsignale ist die Zahl der Weichen 124 (gegenüber 113 vor dem Umbau).

Die Berechnung der spezifischen Weichenbelastungen ergibt folgendes:

Für die Gleisanlage des Bahnhofs Heidelberg vom Jahre 1914 (H 1914) erhält man in dem Grenzfall  $x_1 = x_2 = \dots x_n = 1$  folgende Werte:  $x = 44$ ,  $y = 4188$ ,  $v = 454$ , also die spezifische Weichenbelastung nach der Dauer der Weichenbelegung  $z = \frac{y}{x} = 95,18$  (Weichenminuten), nach der

Zahl der Weichenbefahrungen  $w = \frac{v}{x} = 10,318$  (Weichenbefahrungen).

Für die Gleisanlage des Bahnhofs Heidelberg vom Jahre 1928 (H 1928) erhält man in dem Grenzfall  $x_1 = x_2 = \dots x_n = 1$  folgende Werte:  $x = 65$ ,  $y = 6182$ ,  $v = 680$ , also die spezifische Weichenbelastung nach der Dauer der Weichenbelegung  $z = 95,10$  (Weichenminuten), nach der Zahl der Weichenbefahrungen  $w = 10,461$  (Weichenbefahrungen).

Nach dem Umbau ist demnach die spezifische Weichenbelastung im Bahnhof Heidelberg nahezu die gleiche wie vor dem Umbau, obwohl in dem umgebauten Bahnhof 11 Weichen und 21 Fahrstraßen mehr vorhanden sind als in dem Bahnhof vor dem Umbau. Daraus ist zu schließen, daß durch den Umbau die Anordnung der Weichen in den Fahrstraßen für die Weichenbelastung günstiger geworden ist; denn sonst wären bei der nicht unerheblichen Erweiterung der Anlagen die Werte für  $z$  und  $w$  größer geworden (vergl. die Ausführungen unter IV c). Diese Feststellung wird durch die folgende Überlegung bestätigt:

Vergleicht man die spezifischen Weichenbelastungen der Gleisanlagen H 1914 und H 1928 in der Weise, daß man die durch den Umbau hinzugekommenen 21 Fahrstraßen unberücksichtigt läßt, indem man also den Vergleich so anstellt, als ob auch in der erweiterten Anlage nur die früheren 44 Fahrstraßen vorhanden wären, so erhält man für H 1928 die Werte:  $x = 44$ ,  $y = 4036$ ,  $v = 442$ , also die spezifische Weichen-

belastung in Weichenminuten  $z = \frac{y}{x} = 91,727$  (gegenüber 95,18 vor dem Umbau); in Weichenbefahrungen  $w = \frac{v}{x} = 10,045$

(gegenüber 10,318 vor dem Umbau), mithin kleinere (günstigere) Werte als für die Anlage vor dem Umbau.

c) Folgerungen aus IV b 1 bis 3.

Eine Gegenüberstellung der spezifischen Weichenbelastungen der beiden nach ihrer Größe und Bedeutung sehr verschiedenen Bahnhöfe A (mit 17 Weichen) und H 1914 (mit 113 Weichen):  $z = 25$  bzw. 95,18 und  $w = 2,375$  bzw. 10,318 läßt erkennen, daß aus den Werten  $z$  und  $w$  auch der Rang jeder der beiden Bahnhofsgleisanlagen ersehen werden kann.

Bei einem solchen Vergleich verschiedener Bahnhöfe ist neben der Zahl der Weichen vor allem die Zahl der Fahrstraßen maßgebend; denn  $z$  gibt das Verhältnis der Weichenminutenzahl zur Zahl der Fahrstraßen,  $w$  das Verhältnis der Weichenbefahrungszahl zur Zahl der Fahrstraßen an. In den beiden Werten  $z$  und  $w$  kommt zum Ausdruck, welche Arbeit durchschnittlich bei der Ausführung einer Zugfahrt geleistet werden muß. So sind z. B. bei einer spezifischen Weichenbelastung von 95,18 Weichenminuten und 10,318 Weichenbefahrungen im Bahnhof H 1914 zu der betrieblichen Abwicklung einer Zugfahrt naturgemäß mehr Abhängigkeiten zu beachten und mehr Handhabungen auszuführen, als bei einer Belastung von 25 Weichenminuten und 2,375 Weichenbefahrungen im Bahnhof A.

Auf Grund der spezifischen Weichenbelastungszahlen ließe sich demnach eine Einteilung der Bahnhöfe in der Weise durchführen, daß alle diejenigen, deren Werte  $z$  und  $w$  innerhalb bestimmter Grenzen liegen, in eine bestimmte Gruppe eingereiht werden.

Die erste Gruppe könnte z. B. alle Bahnhöfe mit nur einer Weiche und solche mit einem oder zwei Überholungsgleisen (z. B. die Bahnhöfe A und B) umfassen, deren Werte  $z$  zwischen 0 und 25 und  $w$  zwischen 0 und 2,5 lägen. In weitere Gruppen wären die Bahnhöfe mit Abzweigungen, Kreuzungsbahnhöfe usw. einzureihen.

Durch eine derartige Gruppeneinteilung könnte z. B. auch die Beurteilung der Leistungen des Betriebspersonals auf den einzelnen Bahnhöfen erleichtert werden.

Über die im Abschnitt IV entwickelte „spezifische Weichenbelastung“ eines Bahnhofs läßt sich allgemein sagen:

Die spezifische Weichenbelastung gibt ein Mittel an die Hand, um verschiedene Gleisanlagen unabhängig vom Verkehr miteinander zu vergleichen. Ein solcher Vergleich kann besonders in den Fällen zweckmäßig sein, wenn es sich darum

handelt, die Wirkung baulicher Änderungen eines Bahnhofs auf die Weichenbelastung im voraus festzustellen.

Auf Grund der Werte  $z$  und  $w$  kann auch eine Einteilung der Bahnhöfe nach der Größe (dem Umfang) ihrer Gleisanlagen durchgeführt werden.

V.

Schlußbemerkung.

Aus den vorstehenden Betrachtungen unter II bis IV geht folgendes hervor:

1. Für jeden Verkehr eines Bahnhofs kann man den Ausnutzungsgrad der Gleisanlage angeben, indem man den tatsächlichen Verkehr an einem genau bestimmten Spitzenverkehr mißt.

2. Die durch einen bestimmten Verkehr verursachte Weichenbelastung eines Bahnhofs kann man durch zwei Zahlen kennzeichnen, welche die „durchschnittliche Weichenbelastung“ je Zugfahrt nach der Dauer der Weichenbelegungen und nach der Zahl der Weichenbefahrungen angeben. So läßt sich die Wirkung jeder Verkehrsänderung eines Bahnhofs auf die Weichenbelastung im voraus ermitteln, und das Ergebnis dieser Untersuchung kann bei der Entscheidung über Verkehrsänderungen verwertet werden.

3. Für jeden Bahnhof kann man eine vom Verkehr unabhängige „spezifische Weichenbelastung“ berechnen und auf Grund dieser die Wirkung jeder baulichen Änderung eines Bahnhofs auf die Weichenbelastung im voraus ermitteln. Das Ergebnis dieser Ermittlung läßt sich bei der Entscheidung über bauliche Änderungen berücksichtigen.

Auf Grund der für die Größen  $z$  und  $w$  berechneten Zahlen kann man die Bahnhöfe nach der Größe (dem Umfang) ihrer Gleisanlage einteilen.

Der Anwendungsbereich der vorstehenden sowie der früheren, hier mehrmals erwähnten Untersuchungen ist nicht auf Personenbahnhöfe beschränkt. Vielmehr können die Berechnungen der Weichenbelastung sinngemäß auch auf die Zug- und Verschiebefahrten in Güter- und Rangierbahnhöfen angewendet werden, soweit der Bahnbetrieb durch Stellwerkanlagen auf Grund von Verschlusftafeln geregelt ist. Außerdem können mit dem entwickelten Verfahren besondere Berechnungen über die durch Verschiebefahrten verursachten Weichenbelastungen in Güter- und Rangierbahnhöfen durchgeführt werden, wenn es wichtig erscheint, die Belegungsdauer und die Befahrungszahlen stark beanspruchter Weichen- und Weichengruppen genau kennen zu lernen (vergl. Verkehrstechn. Woche 1929, H. 41, S. 584).

## Die optische Aufnahme von Aschenerweichungsvorgängen.

Von Reichsbahnrat Ebert, Aschaffenburg.

Inhalt: Nach Hinweis auf die Wichtigkeit des Ascheverhaltens fester Brennstoffe wird ein neuartiges Verfahren zur Aufnahme von Aschenerweichungsvorgängen beschrieben. Das Verfahren beruht darauf, daß mit Hilfe eines neuen Gerätes die mit den Erhitzungstemperaturen sich verändernden Längen des Probekörpers optisch auf ein lichtempfindliches Papier übertragen werden und dort als Ordinaten zu den zugehörigen Temperaturen als Abszissen erscheinen. Das Gerät selbst wird beschrieben.

Es wird vorgeschlagen die gewonnenen Aschenerweichungskurven nach der Stetigkeit ihres Verlaufes, nach dem Verhältnis der Größe des Erweichungsintervalls zur Gesamtschmelztemperatur und nach der Steilheit des Kurvenabfalles im Erweichungsintervall zu kennzeichnen.

Die Wichtigkeit des Verhaltens der Asche in den festen Brennstoffen wird immer mehr erkannt. Gleichzeitig wird aber auch erkannt, daß dieses Verhalten durchaus kein einfaches ist und von einer Reihe von Umständen abhängt. Die Menge und die Art der Aschenbestandteile beeinflussen den brennstofftechnischen Wert, also die Güte, eines festen Brennstoffes. Mit zunehmendem Aschengehalt sinkt nicht nur der Heizwert, sondern in noch stärkerem Maße die wirtschaftliche Ausnutzung, weil aschereiche Brennstoffe meist nur unvollkommen verbrennen. Die chemische Zusammensetzung der Asche beeinflusst den kalorimetrischen Heizwert

insofern, als bei seiner exakten Bestimmung die Wärmetönungen für die Oxydation der Aschenbestandteile wie z. B. Schwefelkies oder Eisenoxydul in Abzug zu bringen wären. Das Verhalten der Asche beeinflusst auch den feuerungstechnischen Wert, die Eignung eines festen Brennstoffes.

Die offene Verfeuerung auf dem Rost, die Verkokung, die Vergasung, die Schwelung werden in ihrem gleichmäßigen Ablauf empfindlich gestört, wenn die weichgewordene Asche den Rost verklebt und ihn damit in seiner Funktion als Luftverteiler hindert. Es wird aber auch der Vorgang der Verbrennung selbst von der Aschezusammensetzung beeinflusst.

Nach den neuesten Forschungen übt die Aschebeschaffenheit einen starken Einfluß aus auf die Eigenschaften des Kokes, wie Verbrennlichkeit und Reaktionsfähigkeit, Festigkeit, Backvermögen, Entzündungspunkt. Es besteht anscheinend über den Koks als Verbrennungskörper eine Wechselwirkung zwischen Verbrennungsvorgang, seiner Temperatur und seiner Atmosphäre einerseits und der Aschebeschaffenheit andererseits insofern als die chemische Struktur der Asche die Art des sich bildenden Kokes neben anderen Umständen beeinflußt und die Verbrennung des bestimmt gearteten Kokes die Umwandlung der Aschebestandteile nach bestimmter Richtung bewirkt.

Ganz besonders wichtig ist das Verhalten der Asche bei Kohlenstaubfeuerungen. Hier kommt es vor, daß die Rohrwand oder die Gassen zwischen den vordersten Rohrreihen in kurzer Zeit so stark zugesezt werden, daß die Kesselleistung beträchtlich sinkt. Der Hauptgrund für diese Tatsache liegt darin, daß bei der Temperatur, mit der die Feuergase auftreten, die Asche sich bereits in erweichtem Zustand befindet und an der Heizfläche festklebt, besonders wenn der Gasstrom eine starke senkrechte Geschwindigkeit zur Heizfläche zeigt. Bei der Wahl des Brennstoffes für eine bestimmte Kesselbauart oder bei der Wahl der Kesselbauart für eine bestimmte Kohlenstaubsorte muß das Ascheverhalten von entscheidendem Einfluß sein.

Die Praxis drängt danach bei der Kohlenuntersuchung und der Kohlenauswahl die feuerungstechnische Eignung und zwar besonders die Frage der Schlackenbildung berücksichtigt zu sehen. Schon seit einiger Zeit begnügte man sich bei der laboratoriumsmäßigen Untersuchung nicht mehr nur, den Aschenschmelzpunkt nach dem Segerkegelverfahren zu bestimmen. Aus dem Gefühl heraus, daß diese subjektive Schmelzpunktbestimmung eines chemisch uneinheitlichen Körpers mit starken Fehlern behaftet sein mußte und noch mehr wegen der schlechten Übereinstimmung der laboratoriumsmäßigen Schmelzpunktbestimmungen mit den Beobachtungen der Praxis ging man dazu über zwischen Erweichungspunkt, Schmelzpunkt und Fließpunkt zu unterscheiden, wobei allerdings die Festlegung dieser Punkte nur nach persönlicher Anschauung geschehen konnte.

Es ist das besondere Verdienst der Untersuchungen von Bunte-Baum\*), daß darin erstmals ein objektives Verfahren zur Bestimmung des Aschenerweichungsvorganges angegeben wird, mit dessen Hilfe genauere Einblicke in den Verschlackungsvorgang erst möglich geworden sind. In Abb. 1 ist das Gerät in der zuletzt angegebenen Form dargestellt.

Es besteht aus dem Kohlegrießofen und der Übertragungsvorrichtung. Der Probekörper b steht auf dem unteren Graphitstempel a in dem Heizrohr g des Ofens. Das Zusammensinken des Probekörpers wird auf die in drei Stunden einmal umlaufende Registrieruhr e durch eine einfache Schreibvorrichtung in 4,8facher Vergrößerung übertragen.

Die Übertragungsvorrichtung ist um eine feste Achse schwenkbar angeordnet. Über zwei reibungslos gelagerte Rollen läuft das Übertragungsseil, das an einem Ende den Taststab c trägt, der durch sein Übergewicht gegenüber dem Gegengewicht d den Anschluß an den Probekörper während des Schmelzvorganges herstellt.

Die zylindrischen Probekörper haben 25 mm Höhe und Durchmesser und verbrauchen etwa 15 g Asche zu ihrer Herstellung. Der Abbrand des Taststabes sorgt für Aufrechterhaltung einer halbgedrückten Atmosphäre. Die Temperatur wird mittels Thermoelement im Taststab gemessen. Für Versuche bei künstlich geänderter Atmosphäre kann durch

eine durchbohrte Scheibe, die den Ofen unten abschließt, und durch einen anschließenden Rohreinsatz das gewünschte Gas in den Ofen geleitet werden.

Unabhängig von den Arbeiten Bunte-Baums und auf anderer Grundlage wurde seit einigen Jahren in der Kohlenuntersuchungsstelle beim Reichsbahnmaschinenamt Aschaffenburg\*) an der Entwicklung eines Verfahrens gearbeitet, das ebenfalls die objektive Untersuchung und Aufnahme der Aschenerweichungsvorgänge zum Ziele hatte. Das Bedürfnis nach einem solchen Verfahren kam insbesondere aus der Forderung des Lokomotivbetriebes, nur Kohlen zugeteilt zu erhalten, die bei den gegebenen Betriebsverhältnissen nicht zur Rostverschlackung mit den unangenehmen Folgen der Fahrtstörungen führen. Daß diese Forderung berechtigt ist, mag daraus hervorgehen, daß jährlich Tausende von kleineren oder größeren Fahrtstörungen auf die Verschlackung des Rostes und daraus folgender ungenügender Kesselleistung zurückgeführt werden müssen.

Dazu kam noch die besondere Beobachtung, daß selbst Kohlen gleicher Herkunft sich je nach den Betriebsverhältnissen hinsichtlich der Schlackenbildung verschieden verhielten. Hierin liegt übrigens ein Hinweis auf den Einfluß des

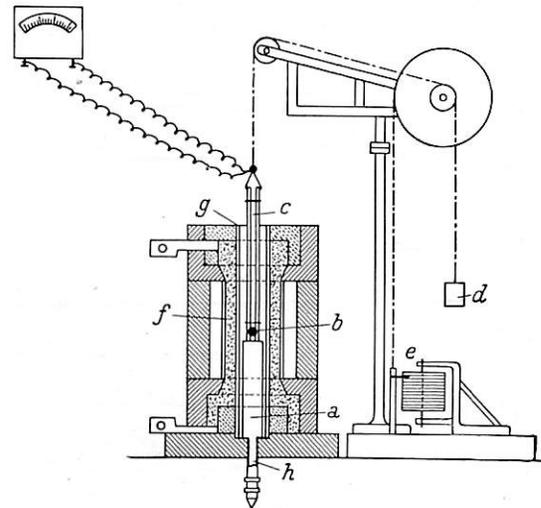


Abb. 1. Apparat nach Bunte-Baum.

Verbrennungsverlaufs auf die Aschenerweichung. Jedenfalls spielt gerade im Lokomotivbetrieb die Frage der Art und Form der Aschenerweichung eine entscheidende Rolle.

Es wurde sehr bald auch hier die von Bunte-Baum ausgesprochene Erkenntnis gewonnen, daß die Aschenerweichungskurve ein geeignetes Mittel zur Beurteilung des Aschenerweichungsvorganges ist. Zur Aufnahme der Aschenschmelzkurven wurde eine neuartige Apparatur entwickelt. Sie besteht darin, daß die Höhenveränderung eines Probekörpers, also das Erweichen und Niederschmelzen, optisch auf ein lichtempfindliches Papier übertragen wird, das genau im Verhältnis der Temperatursteigerungen am Lichtspalt vorbei bewegt wird, so daß über den Temperaturen als Abszissen unmittelbar die dazu gehörigen Höhen des Probekörpers auf dem Streifen erscheinen.

Einem für die besonderen Zwecke des Ascheschmelzens etwas abgeänderten Erhitzungsmikroskop nach Endell\*\*),

\*) Dem Reichsbahnmaschinenamt Aschaffenburg ist seit jeher die Übernahme und Verteilung der für das rechtsrheinisch-bayerische Netz eingehenden Lokomotivkohlen aus dem Ruhr- und Aachener Revier übertragen. Für die Untersuchung der Kohlen ist beim Amte eine Brennstoffuntersuchungsstelle eingerichtet, die in die Gesamtorganisation der Brennstoffwirtschaft bei der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft eingegliedert ist.

\*\*) Hergestellt von Leitz-Wetzlar.

\*) Bunte-Baum, das Gas- und Wasserfach, Nr. 5/6, 1928, Baum, Glückauf Nr. 52, 1928; Bunte-Reerink, das Gas- und Wasserfach, Nr. 34, 1929.

wird das eigentliche Aufnahmegerät, wie Abb. 2 zeigt, vor-  
gesetzt.

Auf dem Apparatetisch *a* ist eine Kamera auf einer  
höhen- und längsverstellbaren Sperrholzplatte aufgesetzt.  
An Stelle der Mattscheibe und Kassette der Kamera ist eine  
querverschiebbare Aufnahmeplatte *b* mit eingätzter Tem-  
peraturteilung angeordnet. Die Querverschiebung der Auf-  
nahmeplatte wird durch eine Vorschubspindel *c* bewirkt, die  
durch Hand oder durch einen Elektromotor mit regelbarem  
Übersetzungsverhältnis betätigt wird. Wegen der unvermeid-  
lichen Spannungsschwankungen und den Schwierigkeiten  
einer Feinreglung ist darauf verzichtet die Drehzahl der  
Vorschubspindel durch Regelung des Motors zu bestimmen.  
Der Motor treibt vielmehr ein Reibgetriebe an, dessen eine  
große Reibscheibe über eine Schneckenwelle vom Motor

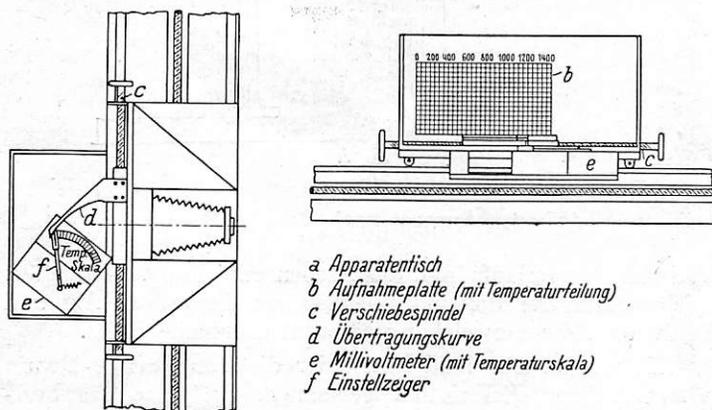
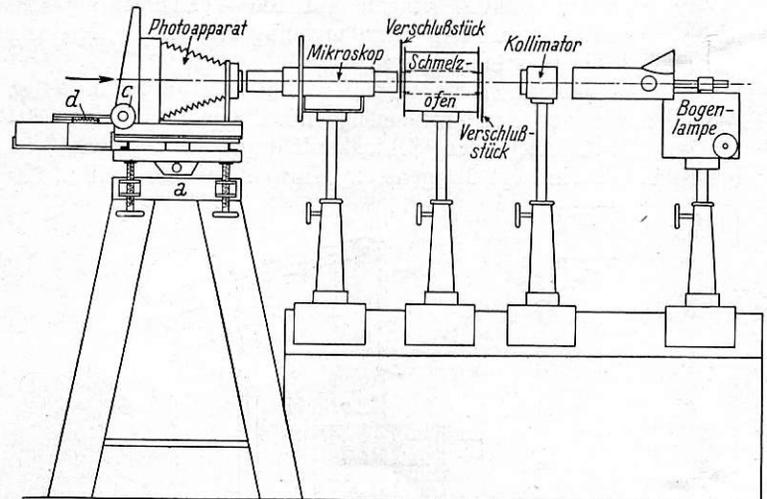


Abb. 2. Vorrichtung zur optischen Aufnahme der Ascheschmelzkurven.

angetrieben wird, während das kleinere senkrecht dazu  
stehende Rad nach Belieben auf jeden Durchmesser des großen  
Rades gestellt werden kann. Damit läßt sich eine ungemein  
feine Abstufung der Drehzahl der Vorschubspindel erreichen.  
Die Übereinstimmung des Ganges der Vorschubspindel mit  
dem Temperaturfortschritt im Ofen wird dadurch hergestellt,  
daß auf dem horizontal und schräg zur Aufnahmeplatte  
liegendem Millivoltmeter *e* mit Temperaturskala ein Einstell-  
zeiger *f* angeordnet ist, der durch die Übertragungskurve *d*  
bewegt wird. Dreht sich die Vorschubspindel, so bewegt  
sich die mit ihr durch eine Spindelmutter verbundene Über-  
tragungskurve seitwärts und schiebt den Einstellzeiger mit  
sich. Die Kurve ist so konstruiert, daß jeder Stellung der  
Spindelmutter ein Punkt der Temperaturskala des Millivolt-  
meters entspricht, sie ist also die Rollkurve, die die kreis-  
bogenförmige, aber nicht völlig gleich geteilte Temperaturskala  
des Millivoltmeters auf die Gerade der Verschiebe-

spindel und damit auf die gleichmäßig geteilte Abszissen-  
achse der Aufnahmeplatte überträgt. Der Beobachter hat bei  
einer Aufnahme lediglich Sorge zu tragen, daß der  
durch die Verschiebespindel über die Übertragungskurve  
bewegte Einstellzeiger sich mit dem durch das Thermo-  
element bewegten Zeiger des Millivoltmeters stets deckt. Der Spiegel-  
belag des Millivoltmeters gestattet das Übereinanderstehen  
der Zeiger sehr genau zu beobachten.

Da die Erwärmung des Probekörpers eine gleichmäßige,  
der Temperaturanstieg über der Zeit also geradlinig sein soll,  
so wird der Regler für die Ofenheizung gleichmäßig betätigt  
und die Drehzahl der Verschiebespindel mit Hilfe des Reib-  
etriebes unter Beobachtung des Einstellzeigers nach der  
Stellung des Millivoltmeterzeigers geregelt. Hält man für  
verschiedene Aufnahmen an einem einmal gewählten Tem-

peraturanstieg fest, so braucht die zugehörige Drehzahl  
der Verschiebespindel nicht oder nur soweit geregelt zu  
werden als der Temperaturanstieg etwa nicht streng  
geradlinig ist oder der Antriebsmotor Drehzahlschwankungen  
zeigt. Es besteht natürlich auch die technische  
Möglichkeit den Gang der Verschiebespindel unmittelbar  
vom Gange des Millivoltmeters aus über ein Relais, eine  
Selenzelle oder einen ähnlichen Übertrager zu betätigen.

Abb. 3 und 4 zeigen die Apparatur von der Seite  
und von oben gesehen.

Die Aufnahmeplatte enthält eine Temperaturteilung  
bis 1700° C. Ihr rechtes ungeätztes Ende dient als Matt-  
scheibe zur Einstellung, zur Beobachtung der Probe-  
körperveränderung mit dem freien Auge und zur Licht-  
bildaufnahme einzelner Erweichungszustände. Übrigens  
würde die Vorrichtung auch unschwer Filmaufnahmen  
der Erweichungsvorgänge erlauben.

Auf die Aufnahmeplatte und auf das gegen ihre  
Rückseite mit einer Rotglasplatte geklemmte licht-  
empfindliche Papier wird der Schatten des im Ofen  
stehenden Probekörpers geworfen. Ein feiner senkrechter  
Spalt im geschwärzten Objektiv des Erhitzungsmikroskops  
schneidet den mittleren Teil des Probekörpers aus, wie  
in Abb. 5 dargestellt ist.

Jede Höhenveränderung des Probekörpers erscheint  
scharf auf der Aufnahmeplatte und wird von dem licht-  
empfindlichen Papier (gewöhnliches Gaslichtpapier) auf-  
genommen. Da die Aufnahmeplatte mit dem licht-  
empfindlichen Papier im Gleichschritt mit der Temperatur-  
steigerung im Heizofen am Objektiv vorbeigezogen wird,  
erscheint auf dem entwickelten Streifen je eine zusamen-  
hängende Linie des Fußpunktes und des Kopfpunktes  
des Probekörpers, also die Höhenveränderungen des  
Probekörpers als Ordinaten über der Temperatur als  
Abszissen, das ist eben die Aschenerweichungskurve.

Da das Gerät mit 13,5facher Vergrößerung arbeitet,  
können die Abmessungen des Probekörpers sehr klein gewählt  
werden. Nach eingehenden Vorversuchen haben sich die  
Abmessungen des zylindrischen Probekörpers von 3 mm Höhe  
und Durchmesser als zweckmäßig erwiesen. Der Aschebedarf  
für einen Probekörper beträgt nur etwa 0,03 g. Der Strom-  
verbrauch des Heizofens ist wegen der geringen Größe des  
Probekörpers klein und schwankt bei 120 Volt Oberspannung  
zwischen 20 und 40 Ampere. Auch der Zeitbedarf von 30 bis  
40 Minuten für das Niederschmelzen des kleinen Probekörpers  
ist gering, selbst unter Beachtung des Umstandes, daß der  
Temperaturanstieg langsam erfolgen soll, und der Erkenntnis,  
daß die Zeit der Erwärmung von Einfluß auf den Erweichungs-  
vorgang ist.

Die Ascheschmelzkurven werden in folgender  
Weise aufgenommen:

Das lichtempfindliche Papier wird mit der Rotglasplatte

hinter die geätzte Aufnahmeplatte geklemmt und mittels der Verschiebespindel in raschem Gang am geöffneten, durch die Bogenlampe des Erhitzungsmikroskops beleuchteten Objektiv des Photoapparates vorbeigezogen. Die Temperaturteilung der Aufnahmeplatte wird dadurch auf das Papier übertragen. Sodann wird der Probekörper, auf einer kleinen Tonbrücke stehend, in das Heizrohr gestellt und zwar genau in Höhe der Lötstelle des Thermoelementes. Diese Stellung ist deshalb wichtig, damit die vom Thermoelement angezeigte Temperatur auch tatsächlich mit der am Probekörper herrschenden übereinstimmt.

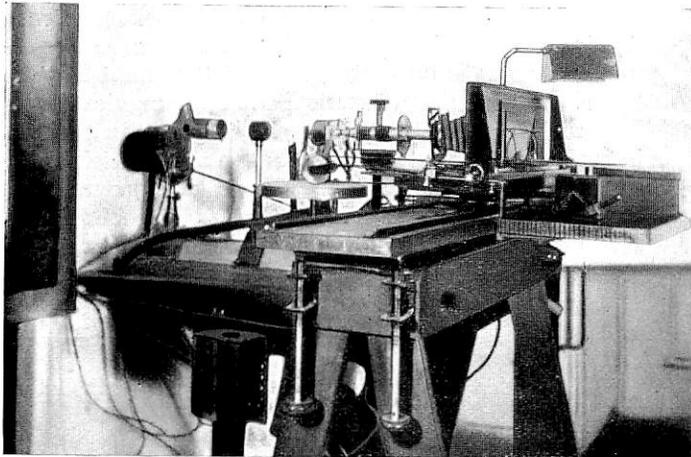


Abb. 3.

Endell-Erhitzungsmikroskop mit vorgesetztem Aufnahmegerät.

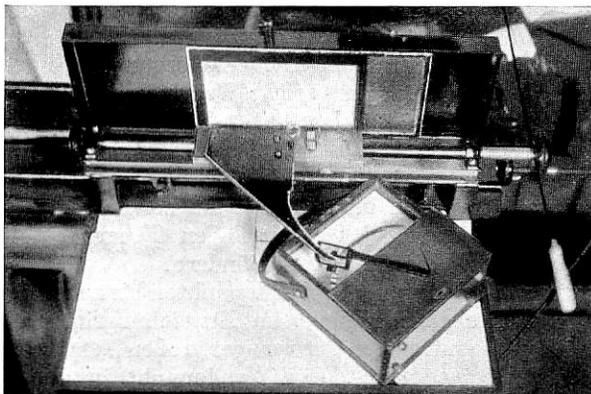


Abb. 4.

Aufnahmegerät von oben, Einstellzeiger mit Übertragungskurve.

Auf das Mikroskop wird das geschwärzte Objektiv mit dem eingeritzten Spalt gesetzt, die Aufnahmeplatte in die der Anfangstemperatur des Millivoltmeters entsprechende Stellung gebracht und der Ofen langsam angeheizt. Die Temperatur wird mit Hilfe eines fein regelbaren Wasserwiderstandes gleichmäßig gesteigert und die Aufnahmeplatte durch die motorisch angetriebene Verschiebespindel im Maße der Temperatursteigerung am geöffneten Objektiv des Photoapparates vorbeigeführt. Nach dem Niederschmelzen des Probekörpers, das an der auf die Rotglasplatte durchscheinenden Spaltveränderung auch deutlich mit dem Auge zu sehen ist, wird das Gaslichtpapier entwickelt und fixiert. Die Gesamtaufnahme beansprucht 40 bis 50 Minuten. In Abb. 6 ist als Beispiel die Aufnahme der Aschenerweichungskurve einer Kohle aus dem Aachener Revier wiedergegeben.

Die Brauchbarkeit der Einrichtung wurde nach verschiedenen Gesichtspunkten nachgeprüft. Die allerdings

nur geringfügige Durchbiegung des Heizrohres selbst, auf dem der Probekörper steht, kann auch bei gefederter, das Längenwachstum aufnehmender Aufhängung nicht restlos beseitigt werden. Sie ist aber ohne Einfluß, da Kopf- und Fußpunkt des Probekörpers aufgenommen werden und die Längenveränderung zwischen diesen beiden Punkten festgestellt wird.

Die Ofenatmosphäre ist bekanntlich von Einfluß auf den Aschenerweichungsvorgang. Es ist daher Vorsorge getroffen, daß die gewünschte Atmosphäre im Innern des Heizrohres hergestellt werden kann. Das waagrecht liegende Heizrohr aus Iridiumblech erhält an beiden Enden je ein

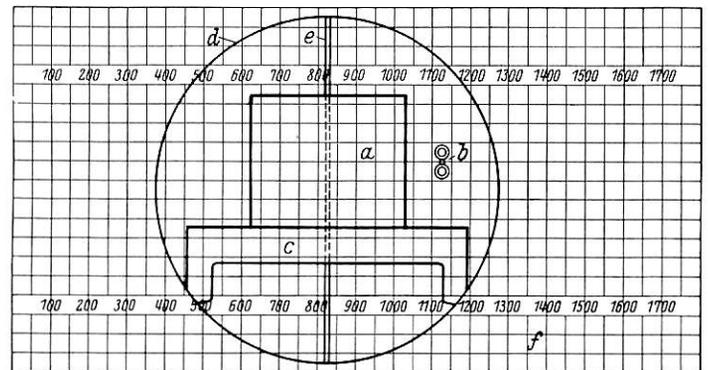


Abb. 5. Probekörper in Aufnahmestellung.

- a Probekörper
- b Thermoelement
- c Tonbrücke
- d Lichtkreis des Objektivs
- e Lichtspalt
- f Aufnahmeplatte.

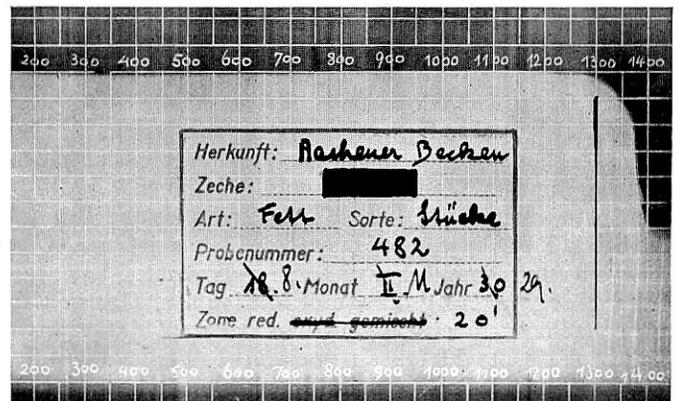


Abb. 6.

Aschenerweichungskurve einer Kohle aus dem Aachener Revier.

Verschlußstück aus Platin mit Glimmerfenster für den Lichtdurchgang und einen Rohransatz zum Einleiten von Gasen, wie z. B. Stickstoff oder Kohlendioxyd. Soll das Innere des Heizrohres nicht unter einem Gasstrom gehalten werden, so werden die Rohrenden verschlossen und etwas Graphitpulver in das Rohr eingestreut, mit der Folge, daß sich bei dem mangelhaften Luftzutritt eine halbreduzierende Atmosphäre einstellt. Soll die Aschenerweichung in oxydierender Zone vorgenommen werden, so werden die Verschlußstücke entfernt. Abb. 7 zeigt den Ofen mit den Verschlußstücken.

Der unter Strom stehende Heizofen und die zahlreichen stromdurchflossenen Drahtwindungen des Reglerwiderstandes bewirken in der unmittelbaren Umgebung ein magnetisches Feld, so daß besonders bei Verwendung von Gleichstrom die Gefahr von Falschanzeigen des Millivoltmeters besteht. Bei zu naher Aufstellung des Anzeigeelementes am Ofen und seinen Reglerwiderständen kann die Fehlanzeige bis zu

50° betragen. Das Instrument muß mindestens 1 m vom Ofen und Reglerwiderstand entfernt aufgestellt werden. Da die Temperatur im Innern des Heizrohres nicht gleichmäßig ist, sondern in Richtung der Längsachse gegen die beiden Heizrohrenden hin fällt, würden Fehlaufnahmen entstehen, wenn die Lötstelle des Thermoelementes nicht in unmittelbarer Nähe des Probekörpers stehen würde. Versuche haben gezeigt, daß z. B. die Fehlanzeige bereits etwa 30° C beträgt, wenn der Probekörper nur 5 mm von der Temperaturmeßstelle entfernt ist.

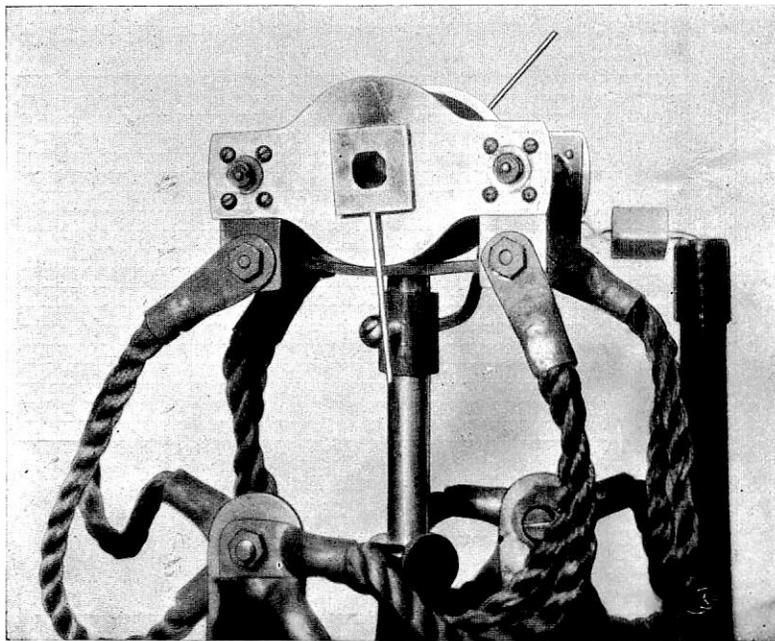


Abb. 7. Elektrischer Ofen mit Verschlussstücken.

Zur Eichung des Aufnahmeapparates wird ein chemisch einheitlicher Probekörper bekannten Schmelzpunktes niedergeschmolzen und die Schmelzkurve aufgenommen. In Abb. 8 ist die Schmelzkurve z. B. des Kupferoxyds, dessen Schmelzpunkt bei 1135° C liegt, wiedergegeben. Sie zeigt gute Übereinstimmung mit dem bekannten Schmelzpunkt.

Die Nachprüfung des mechanischen Ganges des Gerätes geschieht in einfacher Weise dadurch, daß man die Aufnahmeplatte am Lichtspalt vorbeikurbelt und dabei feststellt, ob der Einstellzeiger über jenen Temperaturgraden des Millivoltmeters steht, die der Lichtspalt auf der geätzten Aufnahmeplatte anleuchtet.

Es bestand auch Gelegenheit Vergleichsversuche mit dem Bunte-Baumapparat anzustellen. Für die Vergleichsaufnahmen in den beiden Geräten wurden selbstverständlich vollkommen gleiche Aschen, d. h. Aschen aus den gleichen Veraschungsproben verwendet. Über das Ergebnis der Vergleichsversuche wird in anderem Zusammenhang berichtet werden. Die Betrachtung der gewonnenen Kurven würde nämlich bereits dazu überleiten auf das Ascheverhalten selbst und seine Ursachen einzugehen. Es soll hier aber nur darauf hingewiesen werden, daß aus der bereits vorliegenden großen Zahl der Aufnahmen, wie nach den Untersuchungen Bunte-Baum-Reerink, sich deutlich drei Gruppen in den Aschenerweichungskurven feststellen lassen, die aber etwas anders als in den Untersuchungen Bunte-Baums zu charakterisieren wären. Es wird vorgeschlagen die Kurven einmal nach der Stetigkeit des Kurvenverlaufs, dann nach dem Verhältnis der Größe des Erweichungsintervalls zur Gesamtschmelztemperatur und nach dem Erweichungsgrad zu kennzeichnen.

Die Stetigkeit oder Unstetigkeit des Schmelzkurvenverlaufs läßt Schlüsse zu auf die Aschezusammensetzung und ihre Wandlung, hellt also mehr die chemische Seite des Ascheverhaltens auf, während das Verhältnis der Größe des Erweichungsintervalls zur Gesamtschmelztemperatur und der Erweichungsgrad auf die praktische Eignung schließen lassen und die physikalische Seite des Ascheverhaltens, das Erweichen, deutlich machen.

Nach der Stetigkeit des Kurvenverlaufs unterscheiden Bunte-Baum drei Gruppen von Schmelzkurven (Abb. 9).

Die erste Gruppe (A) enthält die Kurven, die nach geringer Ausdehnung und kurzem Erweichen des Probekörpers durch glatten Abfall einen Schmelzvorgang anzeigen, der als Schmelzpunkt der Asche angesprochen werden kann. Die zweite Gruppe (B) umfaßt Kurven komplizierteren Verlaufs. Die Formänderung des Probekörpers erfolgt langsam über ein längeres Temperaturintervall hin; sie ist in vielen Fällen nicht gleichmäßig, sondern weist Abschnitte rascheren und langsameren Erweichens auf. Die dritte Gruppe (C) bilden die Kurven, die nach teilweisem Erweichen und Zusammen-sinken des Probekörpers einen deutlichen Knick in der Kurve zu einem horizontalen Verlauf aufweisen, der sich über Temperaturintervalle von mehreren 100° erstrecken kann.

Nach der vorgeschlagenen Kennzeichnung lassen sich unterscheiden:

a) Nach der Stetigkeit.

Gruppe I: Kurven ohne Wendepunkte und Maxima oder Minima bis zum Schmelzabfall. Der Probekörper beginnt bei bestimmter Temperatur zu erweichen und sinkt gleichmäßig, schnell oder langsam zur Schmelze zusammen.

Diese Erweichungskurven kommen den Schmelzkurven chemisch einheitlicher Körper am nächsten.

Ein Beispiel für eine solche Erweichungskurve ist in Abb. 10 dargestellt. Kohlen mit solchem Ascheverhalten, werden in der Regel zu keiner Rostverschlackung führen, sofern nur der letzte Schmelzabfall hoch genug liegt. Wie bei anderer Gelegenheit dargetan werden soll, sind dies auch jene Aschen, die auch bei wechselnden Feuerungsbetriebsverhältnissen ihr Verhalten wenig ändern.

Gruppe II: Kurven mit Wendepunkten bis zum Schmelzabfall. Der Probekörper sinkt im Erweichungsintervall ungleichmäßig, also mit mehr oder weniger großen Verzögerungen, zur Schmelze zusammen. Ein Wendepunkt in der Kurve bedeutet ein Anhalten im Erweichungsvorgang, das entweder auf Seigerungsvorgänge oder chemische Umwandlungen von Aschebestandteilen zurückzuführen ist. Abb. 11 zeigt eine Erweichungskurve mit Wendepunkten.

Aschen mit solchem Verhalten können zur Rostverschlackung führen, wenn starke Erweichung frühzeitig eintritt, selbst dann wenn der endgültige Schmelzabfall hoch liegt. Diese Aschen ändern häufig ihr Verhalten nach den Feuerungsbetriebsverhältnissen.

Gruppe III: Kurven mit Wendepunkten und Maxima und Minima. Der Probekörper sinkt nicht nur ungleichmäßig mit einem oder öfteren Anhalten zusammen, sondern zeigt im Erweichungsintervall auch Wiederanwachsen seiner Länge. Das Wiederanwachsen des Probekörpers, das meist im letzten Teil des Erweichungsintervalls zu beobachten ist, hat mit der Längenausdehnung infolge Temperatursteigerung nichts zu tun. Es ist vielmehr ein mehr oder weniger starkes Aufblähen des Probekörpers, das sich oft über einen Bereich von 100° und 200° erstreckt und auf Verdampfungsvorgänge im Probekörper und Entweichen von Gasen zurückzuführen ist.

In Abb. 12 ist ein Beispiel für eine Erweichungskurve mit Wendepunkten und Maxima und Minima gezeigt.

Aschen mit solchem Verhalten treten sehr häufig auf. Sie wechseln ebenfalls häufig ihr Verhalten nach dem Feuerungs- betriebsverhältnissen.

b) Nach dem Verhältnis der Größe des Erweichungsintervalls zur Gesamtschmelztemperatur.

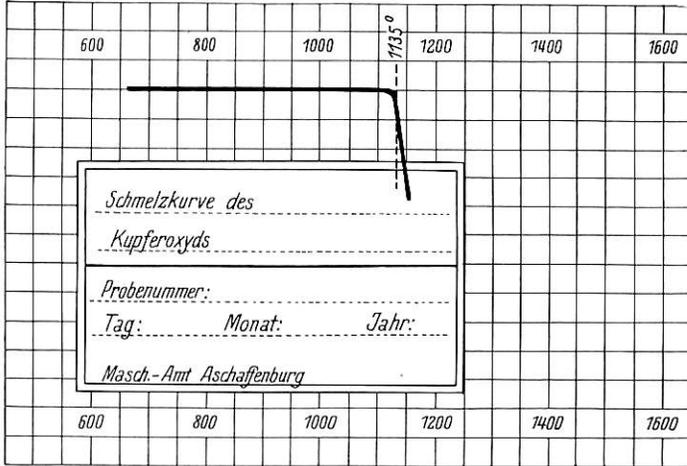


Abb. 8. Schmelzkurve des Kupferoxyds.

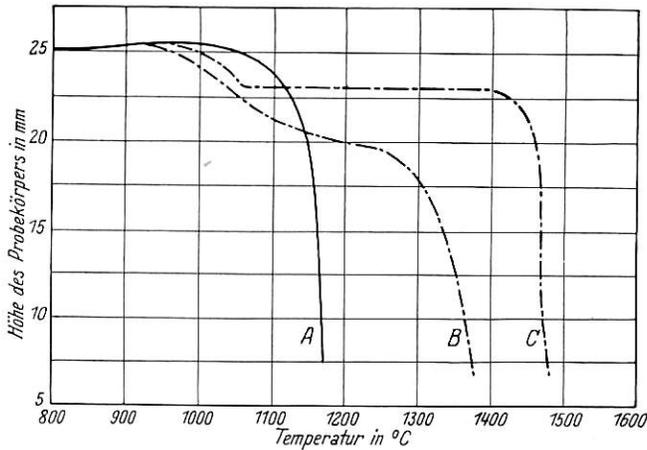


Abb. 9. Kurven nach Bunte-Baum.

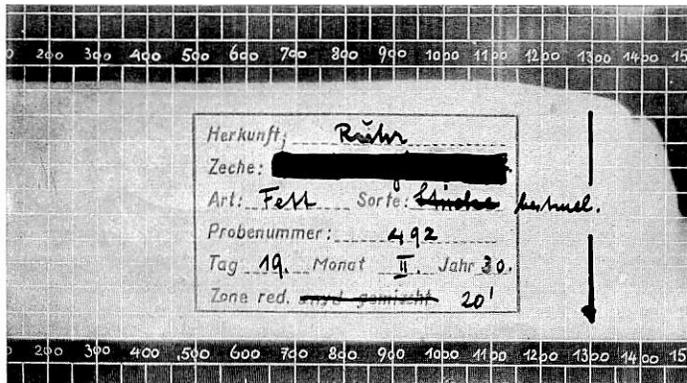


Abb. 10. Erweichungskurve ohne Wendepunkte.

Wird die Gesamtschmelztemperatur, also die Temperatur, bei der der Probekörper in die formlose flüssige Schmelze abgefallen ist mit  $t_g$  bezeichnet, und die Temperatur, bei der der Probekörper ins Erweichungsintervall eintritt, mit  $t_e$ , so lautet dieses Verhältnis:  $\frac{t_g - t_e}{t_g}$ . Die Zahlenwerte dieses Verhältnisses machen den Zusammenhang des endgültigen

Schmelzabfalles mit dem Erweichungsbeginn deutlich und liefern somit einen Bewertungspunkt für das Ascheverhalten.

c) Nach dem Erweichungsgrad. Als Maß für die Größe der im Erweichungsintervall vor dem letzten Schmelzabfall auftretenden Weichheit des Aschenkörpers kann das Maß des Abfalles der Erweichungskurve im Erweichungsintervall dienen. Je steiler die Kurve in das Erweichungs-

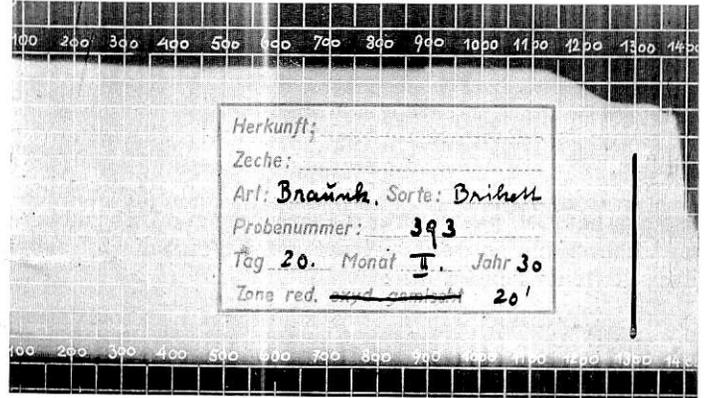


Abb. 11. Erweichungskurve mit Wendepunkten.

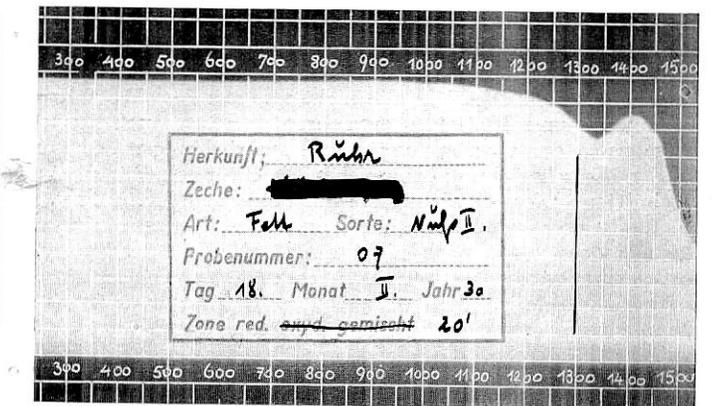


Abb. 12. Erweichungskurve mit Wendepunkten und Maximum und Minimum.

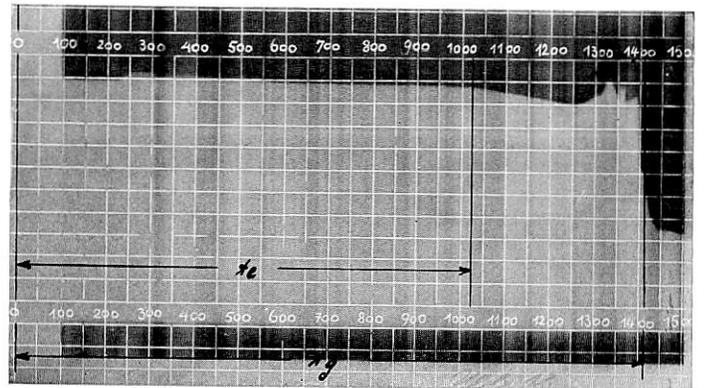


Abb. 13. Ascheschmelzkurve einer Ruhmkohl.

intervall abfällt, desto schneller geht die Erweichung des Aschenkörpers vor sich.

Die Erweichungskurve in Abb. 13, die das Verhalten der Asche einer Ruhmkohl darstellt, wäre nach diesen Grundsätzen wie folgt zu kennzeichnen:

Der Erweichungsvorgang ist unstetig, weil die Kurve Wendepunkte zeigt. Das Auftreten eines Minimums und

Maximums läßt erkennen, daß die Asche vor dem Zusammenschmelzen stark aufbläht. Das Verhältnis der Größe des Erweichungsintervalls zur Gesamtschmelztemperatur beträgt  $\frac{1410^0 - 1020^0}{1410^0}$ . Die Erweichung tritt also im Verhältnis

zum endgültigen Zusammenschmelzen früh ein. Der Abfall der Kurve in das Erweichungsintervall ist mäßig steil, das Erweichen geht also mäßig schnell vor sich.

Es soll einer weiteren Veröffentlichung vorbehalten sein die Ergebnisse einer planmäßig durchgeführten Untersuchung des Ascheverhaltens mit angeschlossenen Betriebsversuchen, insbesondere nach der Seite des Ascheverhaltens nach dem Verbrennungsverlauf, also den Betriebsverhältnissen darzustellen.

Das neue Gerät zur Aufnahme der Aschenerweichungsvorgänge hat sich nach längerer Erprobung für Untersuchung des Ascheverhaltens wohl geeignet gezeigt und die folgenden Eigenschaften nachgewiesen:

1. Die objektive Beobachtung läßt sich mit der subjektiven verbinden. Die Veränderungen des Probekörpers mit der Temperatur werden auf dem lichtempfindlichen Meßstreifen selbsttätig dargestellt, oder können durch die Mattscheibe auf durchsichtigem Ordinatenpapier von Hand eingetragen werden. Daneben können die Veränderungen des Probekörpers wegen der starken Vergrößerung bequem mit dem Auge beobachtet und die Sinter-, Bläh- und Schmelzvorgänge deutlich verfolgt werden. Die Form des Probekörpers kann bei jeder Temperatur im Lichtbild aufgenommen werden.

2. Aufzeichnungsfehler durch mögliche Fehler in den Übertragungsgliedern bleiben vermieden.

3. Der Aschenbedarf, der Zeitbedarf und der Strombedarf sind für die Kurvenaufnahmen wegen der kleinen Abmessungen des Probekörpers und damit des Ofens sehr gering.

4. Im Erhitzungssofen kann jede gewünschte Ofenatmosphäre eingestellt werden, weil er geschlossen oder offen oder unter einem Gasstrom (z. B.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) gehalten werden kann.

## Berichte.

### Bahnunterbau, Brücken und Tunnel; Bahnoberbau.

#### Schweißen von Stahlbauten.

Das Schweißen von Stahlbauten insbesondere mit Hilfe der elektrischen Schweißung hat sich wegen der mit diesem neuen Verfahren verbundenen Vorteile nunmehr in aller Welt Eingang verschafft. Über diese Vorteile berichtet ein Aufsatz im „Stahlbau“ 1930, Heft 11 und nennt insbesondere die Gewichtersparnisse gegenüber der Nietung, die nicht nur aus dem Wegfall der Knotenbleche und Nietköpfe erwachsen, sondern auch aus der Verminderung der Überlappungen und aus den wegen des Fortfalles der Nietschwächung entsprechend leichter gehaltenen Stabquerschnitten. Diese Gewichtersparnis beträgt im Mittel 18 v. H. Eine Kostenersparnis ist bisher wegen der Neuartigkeit und Seltenheit der Arbeit noch nicht erzielt worden, doch werden natürlich infolge des geringeren Eisengewichtes wenigstens die Fundamente leichter. Als weitere Vorteile sind angeführt die größere Starrheit und damit die geringere Durchbiegung geschweißter Bauwerke, die einfachere Unterhaltung durch die glatten Stabformen, die Geräuschlosigkeit der Bauarbeiten in bewohnten Gegenden, die in Amerika Anlaß gegeben hat, das Schweißen bei Stahlbauten an solchen Stellen vorzuschreiben, wo durch den Lärm der Nietung erhebliche Störungen zu befürchten sind. Außerdem sind genannt die Freiheit der Profilgebung, z. B. bei durchlaufenden und sich kreuzenden Deckenträgern, die Unabhängigkeit von der Werkstattarbeit, weil die Stabeisen unmittelbar vom Walzwerk richtig abgelängt und nötigenfalls mit dem Schneidbrenner nachgearbeitet zur Verwendung kommen, und endlich die Möglichkeit der Verwendung von Rohren und ähnlichen Querschnitten.

Dieser jüngsten Entwicklung des Stahlbaues tragen bereits verschiedene Staaten Rechnung. Kürzlich haben Deutschland und die Vereinigten Staaten von Nordamerika Entwürfe für Richtlinien zur Schweißung von Stahlbauten veröffentlicht und innerhalb der Fachwelt zur Diskussion gestellt. Sie sind im „Stahlbau“ 1930, Heft 9 und 10 wiedergegeben. Während der deutsche Entwurf die neue Herstellungsweise hauptsächlich mit den bisherigen Bestimmungen der Din zu verknüpfen sucht und einen knappen Rahmen baupolizeilicher Anforderungen geben will, ist der amerikanische Entwurf etwas reichlicher gehalten und sucht durch mehrfach eingefügte Ratschläge für den ausführenden Ingenieur die Güte der Arbeit sicherzustellen. Die technischen Einzelheiten sind ziemlich gleich. Behandelt sind die Werkstoffe, die Geräte, das Schweißverfahren, die Berechnung der Spannungen und die zulässige Beanspruchung. Die Eigenarten der Konstruktionsweise, die Schweißerprüfungen, die Güteprüfungen, das Brennschneiden, die Aufstellung und die Abnahme.

Über Versuche über das Zusammenwirken von Nietung und Schweißung, das häufig bei Verstärkungen von bestehenden Brücken von Bedeutung ist, ist im Heft 13 des Stahlbau berichtet. Die Versuche, die an der Technischen Hochschule Darmstadt

durchgeführt wurden, zeigen, daß auch das alte Schweißisen mit bestem Erfolg schweißbar ist, wenn die geeigneten Maßnahmen getroffen und besondere Schweißdrähte verwendet werden. Sie haben aber auch ergeben, daß wegen der verschiedenen Dehnungen die Tragkraft der Niete und der Schweißnähte nicht einfach zusammengezählt werden darf, sondern daß die zulässige Beanspruchung der Niete zweckmäßig mit  $850 \text{ kg/cm}^2$  anzunehmen ist, während die zulässige Beanspruchung der Schweißnähte mit  $750 \text{ kg/cm}^2$  wie in den Richtlinien angenommen werden kann.

Auch in der Praxis wurde das Schweißverfahren teils an Hochbauten, teils an Brücken erprobt. Über die erste geschweißte Brücke der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, über die vor einiger Zeit an dieser Stelle kurz berichtet wurde, ist nunmehr in der „Bautechnik“, Heft 22 ein Aufsatz erschienen. Es handelt sich um eine 10 m weit gestützte Blechträgerbrücke mit versenkter Fahrbahn, die ausschließlich im Schweißverfahren hergestellt ist. Als zulässige Beanspruchung der Schweißnähte ist hier  $800 \text{ kg/cm}^2$  zugrunde gelegt. Die Dicke der Nähte ist gleich der des schwächeren der zu verbindenden Teile. Die Brücke wurde ganz in der Werkstatt verschweißt; die Kosten blieben dabei so hoch wie bei einer genieteten Brücke.

Es wurden zwei Sorten von Schweißdraht verwendet, nämlich ein Normaldraht nach Reichsbahnvorschrift und ein Sonderdraht der Gutehoffnungshütte. Die Anschlüsse erfolgten zum Teil mit Hilfe von Knotenblechen. Der Baustoff der Brücke (St 37) wurde den üblichen Güteprüfungen unterworfen, ebenso die Schweißnähte, die in der Querrichtung eine Zugfestigkeit von  $3750 \text{ kg/cm}^2$  bei 9,25 % Dehnung und in der Längsrichtung von  $4610 \text{ kg/cm}^2$  bei 4 % Dehnung aufwiesen. Die Dauerfestigkeit ergab sich an einer Probe der Längsrichtung zu 24 % der Zugfestigkeit. Vor Inbetriebnahme erfolgte eine Röntgenuntersuchung der Brücke, die zur vollen Zufriedenheit ausfiel. Daraufhin wurde die statische Belastungsprobe vorgenommen, wobei die Durchbiegung 7 % hinter der errechneten zurückblieb. Die Spannungen entsprachen den theoretischen Werten. Nun folgten dynamische Versuche mit der Erschütterungsmaschine und mit schnellfahrenden Lokomotiven, die ebenfalls keine bleibenden Formänderungen hervorriefen. Endlich wurde nochmals eine Röntgenuntersuchung vorgenommen, die zeigte, daß keine Fehlstellen oder Lockerungen aufgetreten waren. Die Brücke soll nun in eine Hauptbahnstrecke eingebaut werden. Zu weiteren Brückenschweißungen wird die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft aber erst übergehen, wenn ein von ihr ins Leben gerufener Ausschuß Richtlinien für die Schweißung von Brücken aufgestellt haben wird. Sp.

#### Schienenschmierung.

Die Paris-Orléans Eisenbahngesellschaft hat in ihren Gebirgsstrecken zahlreiche Kurven kleinen Halbmessers liegen. Dem-

gemäß ist eine sehr starke Abnutzung der Radreifen von Lokomotiven und Wagen und auch der Schienen in den Kurven zu beobachten. Wegen der hohen Instandsetzungskosten ist man seit langem bemüht die Abnutzung durch Radreifenschmierung zu verringern. Die Bemühungen gingen zunächst dahin, Vorrichtungen zum Schmieren der Spurkränze zu finden. Trotz gut ausgebildeter Apparate blieb der Verbrauch an Radreifen und Schienen aber fast gleich hoch. Der Grund wurde nach eingehenden Beobachtungen darin gefunden, daß das Schmiermittel schon nach wenigen Umdrehungen des in die Kurve eingefahrenen Rades wegen des hohen Anpreßdruckes zwischen Spurkranz und Schiene herausgedrückt und damit unwirksam wurde. Versuche, den Spurkranz bei jeder Umdrehung zu schmieren, führten zu unwirtschaftlich großem Schmiermittelverbrauch.

Die Paris-Orléans Eisenbahngesellschaft verließ deshalb die Methode der Spurkranzschmierung und ging zur Schienenschmierung über. Sie bedient sich dazu eines Apparates, der auf dem Bisselgestell der Lokomotive sitzt. Der Schmierapparat besteht aus einem Ölbehälter, einem Zerstäuber und einem Dreiwegehahn. Im Zerstäuber wird das Öl mit Druckluft, die vom Luftbehälter der Lokomotive geliefert wird, fein verteilt und mit Luft gemischt. Der Ölnebel wird dann über den Dreiwegehahn durch ein Rohr entweder auf die rechte oder die linke Schiene gestäubt. Der Dreiwegehahn wird selbsttätig durch den Stellungswechsel des in die Rechts- oder Linkskurve einfahrenden Bisselgestells gesteuert. In der Fahrt auf der geraden Strecke bleibt der Hahn geschlossen.

Der Erfolg der Schienenschmierung besteht darin, daß die Spurkranzabnutzung um etwa 90 v. H. geringer geworden ist.

Während früher nach einer Laufleistung von 20000 km Radwechsel vorgenommen werden mußte, sind heute die Spurkränze nach der üblichen Gesamtleistung der Lokomotive von 70000 km noch nicht auf das zulässige Maß abgenützt. Der Ölverbrauch beträgt für einen Schmierapparat etwa 3 kg auf 100 km Schienenlänge. Es brauchen nicht alle Lokomotiven mit der Vorrichtung ausgerüstet zu werden, weil das Öl länger auf den Schienen haften bleibt. Es genügt, wenn jede achte Lokomotive ausgerüstet ist. Eb.

### Kautschuk als Schienenunterlage.

Während bisher als elastische Zwischenlage zwischen Schiene und Schwelle nur Plättchen aus Pappelholz, Filz, Leder, Kork oder Gewebe verwendet wurden, hat man neuerdings versucht Zwischenlagen aus Kautschuk herzustellen. Als besonderer Vorteil wird gerühmt, daß die neuen Zwischenlagen unempfindlich gegen Nässe sind und ihre größere bleibende Elastizität sowie ihre lange Haltbarkeit.

Bei den ersten Versuchen in Malakka (Hinterindien) wurden nichtvulkanisierte Kautschukplatten verwendet. Diese Versuche schlugen zunächst fehl. Daraufhin nahm die Rubber Growers Association die systematische Erforschung der Frage in die Hand und ließ zu diesem Zwecke im Laboratorium für Baustoffprüfung der Technischen Hochschule in Delft Versuche mit verschiedenen harten vulkanisierten Platten anstellen.

Die Versuche haben ergeben, daß eine Stärke von 4 bis 6 mm vollständig genügt, ferner, daß eine bleibende Formänderung der Zwischenlagen bei den in Frage stehenden Pressungen nicht eintritt, so daß ein Nachziehen der Befestigungsmittel nicht mehr notwendig sein dürfte. Zu den Versuchen wurden auch künstlich gealterte Platten verwendet, ohne daß die Ergebnisse wesentlich anders ausfielen. Auch Versuche über den Einfluß von Teeröl auf die obengenannten günstigen Eigenschaften fielen durchaus befriedigend aus.

Als günstigste Härte wurde 60 bis 70 „Shore“-Einheiten ermittelt.

Mit solchen Gummizwischenlagen sind praktische Versuche in Niederländisch Indien, Holland und England angestellt worden. Über die Versuchsstrecke in Holland, die vor etwa zehn Monaten verlegt wurde, urteilt Oberingenieur Maas Geesteranus der Niederländischen Eisenbahnverwaltung durchaus günstig. Insbesondere sei ein festes Ansaugen der Plättchen zu beobachten und damit ein Schutz gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und das Wandern der Schiene erzielt. Sp.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. LXVII. Band. 18. Heft 1930.

### Eigenschaften der Eisenbahnschienen bei hohen Kältegraden.

In Rußland spielt die Einwirkung der Kälte auf Schienen eine wichtigere Rolle als bei uns. Man hat gefunden, daß sich bei starker Kälte die Festigkeitseigenschaften der Schienen verschlechtern und daß darauf die Vermehrung der Schienenbrüche bei Kälte zurückzuführen ist. Vor allem ist es die Kerbzähigkeit, die schon bei mäßigen Kältegraden eine große Abminderung erfährt. Von der metallographischen Versuchsanstalt des Dneprowskiwerkes Dzerschinski werden einige Zahlen über Kerbzähigkeitsversuche bei verschiedenen Temperaturen für harte und weiche Schienen mitgeteilt, die allgemeine Beachtung verdienen.

Kerbzähigkeit in mkg/cm<sup>2</sup>.

	Versuchstemperatur	Versuch			
		1	2	3	Mittel
Weiche Schienen C—0,35	+ 20°	5,62	5,68	5,48	5,59
	0°	4,82	4,45	5,51	4,92
	— 20°	4,02	4,37	1,86	3,41
Harte Schienen C—0,40	+ 20°	2,31	2,50	3,80	3,10
	0°	1,58	2,46	1,33	1,79
	— 20°	0,96	1,18	0,94	1,03

Auch Stumper weist in Stahl und Eisen 1929, Heft 6, darauf hin, daß die Kerbzähigkeit der Eisenbahnschienen mit der Prüftemperatur erheblich abnimmt, und zwar schon in dem für uns praktisch in Betracht kommenden Temperaturbereich zwischen + 25° und — 10°.

Dr. S.

### Amerikanische Untersuchungen an eutektoidem Schienenstahl.

In den Jahren 1925 bis 1928 wurden von C. V. Greene (Carpenter Steel Co. Reading Pa) Untersuchungen an eutektoiden Stahlschienen angestellt, die in der Hauptsache der Beziehung zwischen dem Kleingefüge und den mechanischen Eigenschaften dienen sollten. Um einen möglichst genauen Vergleich zu erhalten, wurden 130 pounds-(59 kg/m) R. E. section-Schienen verwendet und an diesen auch nur die Schienenköpfe für die Untersuchungen in bezug auf Kleingefüge, Brinellhärte und Zerreißproben verwendet. Die chemische Analyse der untersuchten Schienen ergab Kohlenstoffgehalte zwischen 0,835 und 0,865%, Mangan-gehalte zwischen 0,70 und 0,81%, Silizium zwischen 0,16 und 0,27%, Phosphor zwischen 0,02 und 0,039%, und Schwefel zwischen 0,025 und 0,045%.

Bei den Versuchen wurde bei der Bestimmung des wahren Abstandes der Perlitlamellen die Erkenntnisse der Untersuchungen von Belaiew (Journal Iron and Steel Institut, 1922, No. 1, Vol. CV, S. 201 bis 227) verwendet, der den verschiedenen großen Abstand der Perlitlamellen im gleichen Probestück auf die verschiedenen Winkel zurückführt, mit denen diese Lamellen bei der Untersuchung geschnitten worden sind. Die Untersuchungen von Greene verwenden nun den geringsten Wert der gefundenen Abstände der einzelnen Lamellen als wahre Abstände  $\Delta_0$ . Eine gröbere oder feinere Ausbildung der Lamellen ließ sich auf die Walz-Endtemperatur, mit der die Schienen das Walzwerk verließen und auf die Abkühlungsgeschwindigkeit, mit der die Schienen den  $A_{r1}$ -Punkt durchliefen, zurückzuführen. Weiterhin ergab sich aus dem Vergleich der Brinellhärtezahlen  $H_{r1}$  (3000/10/30) mit dem wahren Abstand  $\Delta_0$ , daß zwischen beiden die Beziehung besteht:

$$H_{r1} \cdot \Delta_0 = 79,59$$

wobei  $\Delta_0$  in 1/1000 mm gemessen wird.

Da die Brinellhärte bekanntermaßen auch mit der Festigkeit in Zusammenhang steht, so läßt sich auch zwischen dieser und dem wahren Abstand der Perlitlamellen eine Formel aufstellen. Sie gilt jedoch nur für eutektoide Stähle.

Eine Beziehung zwischen der Größe der Perlitkörner und der Brinellhärte ließ sich nicht aufstellen. Ein Hinweis in der sich anschließenden Diskussion, ob zwischen Brinellhärte und demgemäß auch zwischen dem Abstand der Lamellen (bei eutektoiden Stählen) und dem Verschleiß der Schienen eine Beziehung bestehe, wurde in negativem Sinne beantwortet. Fink.

(Transactions of the American Society for Steel Treating, Vol. XVI, No. 1, Juli 1929.)

## Werkstätten; Stoffwesen.

### Die Nickelstähle Amerikas.

In einem Sonderdruck der Schriftenreihe des Nickelinformationsbüros in Frankfurt a. M. werden die Nickelstähle Amerikas eingehend besprochen. Die Verwendung legierter Stähle ist in Amerika ganz besonders verbreitet, wobei Nickel und Nickelchrom als Legierungsbestandteile eine große Rolle spielen. Durch die wesentlich verbesserten mechanischen Eigenschaften insbesondere bei verschiedenen Temperaturen, gelingt es bei gleicher oder auch größerer Sicherheit leichtere Konstruktionen herzustellen, so daß Nickelstahl namentlich im Flugzeug- und Automobilbau ausgedehnte Verwendung findet. Die verschiedenen Nickel- und Chrom-Nickelstähle hierfür sind von der S. A. E. (Society of Automotive Engineers) der Zusammensetzung nach genormt und mit Ziffern bezeichnet, ohne daß jedoch hierbei mechanische Gütewerte angegeben sind. Das Normenbuch der A. S. E. gibt zwar Mittelwerte der mechanischen Eigenschaften an, die jedoch für Abnahmezwecke nicht verwendet werden dürfen.

Auch im Lokomotivbau wird seit neuester Zeit in steigendem Maße Nickelstahl als Werkstoff verwendet. Schon vor ungefähr 25 bis 30 Jahren waren Kesselbleche aus Nickelstahl hergestellt worden. Da jedoch damals die Anforderungen noch nicht so hoch waren, hat die Verwendung von Nickelstahl keine weitere Verbreitung gefunden. Die Baldwinwerke hatten im Jahre 1904 eine C-Lokomotive mit Schleppender gebaut, von der Kesselbleche, Feuerbüchse und andere Teile aus Nickelstahl hergestellt waren. Die Kessel des Kreuzers „Chicago“, der heute nach 30 Jahren noch Dienst tut, sind ebenfalls aus Nickelstahl hergestellt.

Erst im Jahre 1921 wieder hat die Canadian National

Railway 3%igen Nickelstahl für Feuerbüchsen verwendet und hat in drei weiteren Lieferungen die Feuerbüchsen aus gleichem Werkstoff herstellen lassen. Seit 1927 führt die Gesellschaft Versuche an Kesseln mit Nickelstahl-Heizrohren durch, die sich durch höhere Korrosionsbeständigkeit gegenüber den gewöhnlichen Heizrohren auszeichnen.

Im Jahre 1926 hat nun die Canadian Pacific Ry in größerem Maße die Verwendung von Nickelstahl als Baustoff für Lokomotiven vorgeschrieben. An 24 2 C 1- und 20 1 D 1-Lokomotiven konnte ohne Vergrößerung der sonst üblichen Kesselblechstärken der Kesseldruck von 14 auf 17,5, also um 25% gesteigert werden. Die Feuerbüchsen wurden zunächst nicht aus Nickelstahl hergestellt, vielmehr will man hier die Ergebnisse der Canadian National Railway abwarten. Dagegen sind sämtliche Stehbolzen, Achsen, Schubstangen und Kolbenstangen aus 3%igem Nickelstahl, bei 22 Lokomotiven ist der Barrenrahmen aus Nickelstahlguß.

Bemerkenswert ist, daß auch die 1928 von den American Locomotive-Werken gebaute 1 D-Hochdrucklokomotive für die Delaware-Hudson Bahn einen Nickelstahlkessel besitzt.

Das Walzen der Nickelstahlbleche erfordert besondere Sorgfalt, um das Einwalzen von Oxydschichten, die viel fester auf der Oberfläche haften als bei gewöhnlichem Stahl, zu vermeiden. Zur Entfernung dieser Schichten werden während des Walzens Reinigungssalze auf die Oberfläche gestreut, die natürlich immer nur der Oberseite zu gut kommen. Die 22 mm starken Bleche werden nach dem Walzen ungefähr acht Stunden lang in Sand langsam abgekühlt. Bei Schmiedestücken aus Nickelstahl wird nach einem langsamen Abkühlen ohne weiteres die Weiterverarbeitung aufgenommen. Fk.

## Buchbesprechungen.

**Dr. Ing. O. Kommerell, Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung geschweißter Eisenbahnbrücken.** Berlin 1930, W. Ernst u. Sohn, geh. 1,30 *R.M.*, 17 Textseiten mit zahlreichen Abbildungen.

Nach einem allgemeinen Kapitel bespricht der Verfasser die Schweißnahtanordnungen und ihre Darstellung auf den Konstruktionszeichnungen und gibt Regeln für die Entwurfsbearbeitung. Dann behandelt er in je einem Kapitel die Berechnungsweise der Schweißnähte und die zulässigen Beanspruchungen. An neun Beispielen ist in anschaulicher Weise die praktische Anwendung der Berechnungsweise gezeigt. An diese Beispiele schließt sich noch ein Kapitel über Grundsätze für die bauliche Durchbildung, ein weiteres über die Ausführung an der Baustelle und schließlich eines über die Bauaufsicht und Abnahme.

Mit dem Aufsatz ist die, wie der Verfasser schreibt, bisher mehr handwerksmäßig behandelte Schweißung von Stahlbauten auf eine wissenschaftliche Berechnungsgrundlage gestellt. Daß dies ein allgemein empfundenes Bedürfnis war, zeigen die mehrfachen Ansätze hierzu, die sich im Schrifttum der Stahlbauschweißung eingestreut finden. Das Heft ist deshalb eine willkommene Ergänzung für die Konstruktionslehre des Brückenbaues und kann als solche sowohl den Ingenieuren der Praxis als auch der in der Ausbildung stehenden Ingenieurgeneration nur wärmstens empfohlen werden. Sp.

**Zur Frage der Bewertung von Holz- und Eisenschwellen von Reichsbahnrat Dr. Ing. A. Diehl.** Berlin 1930, VDI-Verlag G. m. b. H. DIN A 5, IV/58 Seiten mit 9 Abbildungen und 15 Zahlentafeln. Broschiert 3,50 *R.M.* (VDI-Mitglieder 3,15 *R.M.*).

Die vorliegende Arbeit will Klarheit über die Bewertung der Eisenschwelle gegenüber der Holzschwelle schaffen. Als wichtigster Vergleichsfaktor wird dabei ihre Lebensdauer herangezogen. Die Grundlage für das Werk geben die in großem Umfang mit einer zweckmäßig konstruierten Eisenschwelle gemachten Erfahrungen. Diese werden ausgewertet und den mit Holzschwellen gemachten Erfahrungen gegenübergestellt.

**Strassner, Berechnung statisch unbestimmter Systeme.** I. Band, zweite Auflage. Verlag von W. Ernst & Sohn, Berlin.

Der vorliegende erste Teil behandelt den fest und den elastisch eingespannten Balken und den durchlaufenden Träger in leicht faßlicher Form unter Zugrundelegung des Mohrschen Satzes von den aus den Momentenflächen abgeleiteten Formänderungen und des Ritterschen Verfahrens mit Hilfe der Festpunkte. Die klare und ausführliche Behandlung der Aufgabe dürfte die fehlerfreie Anwendung der vorgeführten Verfahren auch dem Anfänger ermöglichen und selbst dem geübten Statiker manche schätzenswerte Anregung bieten, so daß das Werkchen zur Anschaffung empfohlen werden kann. Karig.

**Rechenformeln von Prof. Dr. Ing. A. Kleinogel,** 6. vollkommen neu bearbeitete und wesentlich erweiterte Auflage. Berlin 1929. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

Die umfassende Verwendung biegungssteifer Stabzüge im Stahl- und Eisenbetonbau hat die bekannte Sammlung der Ergebnisse aus der statischen Untersuchung derartiger Tragwerke zu einem willkommenen, zuverlässigen und arbeitsparenden Hilfsmittel gemacht, das jedem Konstrukteur bekannt und in jedem Büro geschätzt ist. Die neue Auflage ist in mancher Beziehung erweitert und verbessert worden. Dies gilt teils der Bauform, teils den Belastungsfällen. In umfangreichem Maße sind auch die Einflußlinien für überzählige Größen und Schnittkräfte behandelt worden, so daß oft die statische Berechnung auch für veränderliche Belastungen wesentlich abgekürzt werden kann. Die Verwendung der Sammlung ist klar und übersichtlich durch zusammenfassende Angaben über die Bezeichnungen, Vorzeichenregeln und Voraussetzungen der Gültigkeit vorbereitet und durch ausführliche Zahlenbeispiele erläutert worden. Das Satzbild ist für die schnelle und sichere Anwendung vorbildlich, der Überblick wird durch zahlreiche ausgezeichnete Abbildungen erleichtert. Der Verfasser kann daher mit Sicherheit darauf rechnen, daß die Sammlung sich zu den vielen alten Freunden bald neue erwerben wird. Sie wird der Fachwelt bestens empfohlen. Dr. Beyer.