

Entwicklung und gegenwärtiger Stand der Schienenschweißung.

Von Ing. Max Reiter, Neuaubing bei München.

(Schluß.)

Hierzu Tafel 24 und 25.

IV. Das Normalglühen von geschweißten Schienenstößen.

Wie eingangs schon erwähnt, wurde ein Teil der Stöße normalgeglüht, um die Überhitzung in der Schiene zu beseitigen und eine teilweise Umkristallisation im Zwischenguß, soweit es bei dem verschiedenen Kohlenstoffgehalt möglich schien, zu erreichen. Zum besseren Verständnis seien der Wärmebehandlung einige Vorbemerkungen vorausgeschickt.

Will man einem Stahl bestimmte Festigkeitseigenschaften geben, ohne seine äußere Form zu verändern, so muß man ihn wärmebehandeln. Man könnte die Wärmebehandlung als eine Art innere Formgebung bezeichnen. Sie gründet sich auf die Kenntnis vom Kleingefüge der Stähle und auf die Anwendung der durch das Eisenkohlenstoffdiagramm wiedergegebenen Eigentümlichkeiten*).

Bevor man darangehen kann, einen Stahl seinen Zwecken gemäß zu behandeln, muß man sich von dem in ihm herrschenden Bestreben Kristalle zu bilden, ein richtiges Bild machen.

Der Stahl entsteht, entsprechend den verschiedenen Herstellungsverfahren, teils in größeren, teils in kleineren Mengen im flüssigen Zustand und gelangt noch flüssig in die Gußform, wo er erstarrt und entweder gleich zum Walzen, Schmieden, Glühen usw. gebracht wird oder langsam erkaltet, wie es auch bei dem aluminothermischen Schmelzgußverfahren der Fall ist. Man kann diesen Zustand, den der Stahl bei normaler Abkühlung einzunehmen bestrebt ist, als Urzustand des Stahles bezeichnen. In diesem Zustand ist sein Gefüge in der Hauptsache von der Abkühlung abhängig. Je nach den dabei auftretenden Verhältnissen entstehen folgende Gefügeanordnungen:

a) Die Struktur der großen Kristalle, der Dendriten oder Tannenbaumkristalle. Diese sind bei einer gewissen Mindestwandstärke im Kern immer zu finden und entsprechen der langsamen Erstarrung. In Abb. 36 und 37 sind diese Dendriten sehr deutlich zu sehen. Das Bild gibt das Gefüge im Innern eines Thermitgusses wieder, ein Zeichen dafür, daß wir es bei der Thermitgeschweißung, soweit im Zwischenverfahren geschweißt wird, mit einer wirklichen Gußstruktur zu tun haben. Diese Dendriten wachsen parallel zur Richtung des Wärmeflusses. Diese Erscheinung, die die Festigkeitseigenschaften des Stahles sehr stark beeinträchtigt, wird mit „Transkristallisation“ bezeichnet;

b) das Gefüge der kleinen Kristalle oder Globuliten, die größter Erstarrungsgeschwindigkeit entsprechen und meist am Rande von Gußstücken oder bei sehr geringer Wandstärke auftreten.

Die Bildung der Kristalle unter a und b wird, da sie bei der Erstarrung vor sich geht, als primäre Kristallisation bezeichnet zum Unterschied von der sekundären Kristallisation, die den Vorgang der Absonderung des Ferrits unterhalb der Ferritlinie und die Ausscheidung des Perlits bezeichnet. Zwischen der primären und sekundären Kristallisation liegt das Gebiet des Anwachsens und der Einformung

*) Oberhoffer, Das technische Eisen; Mars, Die Spezialstähle; Werkstoffhandbuch, Stahl und Eisen.

der Primärkristalle. Auch die Korngröße des sekundären Gefüges ist von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängig. Es entsteht also bei kleinster Wandstärke, somit sehr rascher Abkühlung, ein äußerst feinkörniges gleichmäßig verteiltes Ferrit-Perlitgemisch. Bei allmählicher Abkühlung entsteht

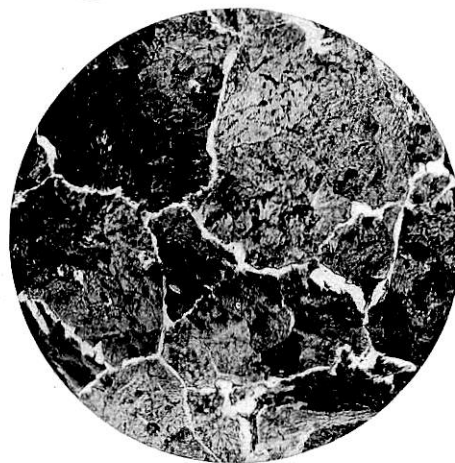


Abb. 12. Ferrit-Netzstruktur Ätzung. II, $\times 50$.

die normale Gußstruktur, auch Kornstruktur genannt. Bei größter Wandstärke und langsamster Abkühlung bildet sich dann das sogenannte Ferritnetzwerk (vergl. Abb. 12). Erfolgt die Abkühlung im Gebiet der Ferritausscheidung so rasch, daß sich der Ferrit nicht an den Kristallrändern absondern



Abb. 13. Widmannstätten-Struktur. Ätzung II, $\times 50$.

kann, sondern nur innerhalb der Kristalle, so entsteht die Widmannstättensche Struktur (vergl. Abb. 13). Abb. 23 zeigt den Übergang des Schmelzgusses zur Schiene. Der Gefügebau entspricht reiner Widmannstättenscher Struktur. Die beiden letzteren Gefügearten können auch durch Überhitzung hervorgerufen werden. Demnach sind Gußstruktur und die Struktur des überhitzten Stahles

identisch. Auf die Schienenschweißung angewandt, haben wir, soweit es sich um Schmelzschweißung handelt, Gußstruktur in der Schweißzone und überhitztes Korn in den angrenzenden Gebieten, oder bei reinen Druckschweißungen nur Überhitzung des Stahles. Beide Strukturen, die nach obigem identisch sind, können auf Grund der Zustandsänderungen durch eine richtige Glühbehandlung wieder beseitigt werden. Unter Glühen versteht man zweierlei Wärmebehandlungen, die verschiedenen Zwecken dienen und oft nicht auseinander gehalten werden, nämlich das Normalglühen bzw. Umkörnen und das Weichglühen. Ersteres will das grobe Gefüge, sei es durch Überhitzung oder durch langsame Abkühlung nach dem Gießen hervorgerufen, zerstören. Dies geschieht durch schnelles Erhitzen bis in das Gebiet der festen Lösung und durch nachfolgendes mehr oder weniger rasches Abkühlen, wodurch völlige Umkristallisation erzielt wird und Festigkeitseigenschaften, die denen des gewalzten Werkstoffes nahe kommen, erreicht werden. Hiermit besitzen wir also ein Verfahren, auch das grobe Korn, das bei Preß- und Schmelzschweißungen entsteht, zu beseitigen. Maßgebenden Einfluß auf den Erfolg des Glühens haben die Höhe der Glüh Temperatur, die Glühdauer, bzw. Form und Größe des Werkstückes, Abkühlungsgeschwindigkeit und eine etwaige Warmverformung.

In unserem Falle wurde die günstigste Glüh Temperatur und Glühdauer auf dem Versuchswege mit kombinierteschweißten Schienenstößen ermittelt. Auf Grund der metallographischen Prüfung des Schienenkopfes ergab sich eine zweckmäßige Temperatur von 830 bis 840°C und eine Glühzeit von etwa 30 Minuten einschließlich Anwärmen. Die Abkühlung erfolgte an Luft bei etwa + 20°. Nach diesen Angaben wurden die eigentlichen Versuchsstöße normalgeglüht und dann einer Festigkeitsprüfung unterzogen.

Bei den werkstattmäßigen Glühversuchen wurde ausschließlich mit solchen Hilfsmitteln gearbeitet, wie sie bei der Schweißung auf der Strecke zur Verfügung stehen und verwendet werden können. Der geschweißte Stoß wird in die bekannte Klemmvorrichtung gespannt. Um die Schweißstelle wird die zweiteilige Form gelegt, deren beide Hälften mit je einem Blasloch versehen sind. Die Formhälften selbst müssen ziemlich reichlich ausgespart werden, um einen genügend großen Glühraum und dadurch ein gleichmäßiges Umspülen der Schweißstelle durch die Flamme zu sichern. Die Form ersetzt also hier den Glühofen. Im Dauerbetrieb würde man vorteilhaft die Sandform durch eine zweiteilige Dauerform mit Schamotteauskleidung ersetzen. Als Wärmequelle dienen zwei Benzin-Hochdruckgebläse mit Vergasereinrichtung, wie sie beim Schweißen für die Vorwärmung benützt werden. Sie haben sich für diesen Zweck sehr gut bewährt. Durch die feine Regulierung der Brennstoffzufuhr ist es möglich, die Glüh Temperatur innerhalb eines Bereiches von $\pm 5^\circ$ während der ganzen Glühdauer konstant zu halten. Für die Temperaturmessung wurde das Gesamtstrahlungs-pyrometer „Pyro“ verwendet, womit die Temperatur hinreichend genau und zuverlässig, auch im Freien bei Sonnenbestrahlung, festgestellt werden konnte.

In welchem Maße wurde nun die Güte der Schweißung durch das Normalglühen gesteigert? Vorerst soll nur ein Vergleich in metallurgischer Hinsicht zwischen geglühten und ungeglühten Stößen gezogen werden.

Abb. 14 zeigt drei Bruchflächen von Schienen, und zwar ist:

Nr. 1 ungeschweißt;

Nr. 2 kombiniert-geschweißt und normalgeglüht;

Nr. 3 kombiniert-geschweißt, ungeglüht.

Es ist ohne weiteres zu erkennen, daß durch das Glühen eine ganz wesentliche Kornverfeinerung erreicht wurde. Die

Bruchfläche Nr. 2 (geschweißt und geglüht) ist sogar etwas feinkörniger als die der ungeschweißten Schiene (Nr. 1). Glüh Temperatur, Glühdauer und die Art der Abkühlung waren also richtig gewählt, was auch die Kleingefügebilder Abb. 18, 24, 30 und 31 beweisen. Leider konnte derselbe Erfolg bei den mechanischen Eigenschaften nicht festgestellt werden (s. später).

In den Abb. 15, 16, 19 bis 22 und 24 bis 28 sind mehrere Längsschnitte der nach verschiedenen Verfahren geschweißten Schienenstöße makroskopisch, ungeglüht und geglüht dargestellt. Die dazu gehörigen Gefügebilder geben den Grad der erreichten Kornverfeinerung im Schienenwerkstoff sehr deutlich wieder. Zum Vergleich ist auch das Gefüge der von der Schweißwärme unbeeinflussten Schiene wiedergegeben (Abb. 31). Die durch die Schweißung in der Schiene hervorgerufene Überhitzung ist fast durchwegs verschwunden. Teilweise ist im Steg und Fuß das Gefüge bereits wieder etwas grobkörnig geworden, ein Zeichen dafür, daß für diese Querschnitte die Glühdauer bereits zu reichlich war. Für die Festigkeitseigenschaften scheint aber der geringe Unterschied nicht ausschlaggebend zu sein, wie überhaupt das Normalglühen der überhitzten Schiene bei den Schmelzverfahren auf die Festigkeitseigenschaften der Schweißstelle selbst nicht von sehr großem Einfluß zu sein scheint.

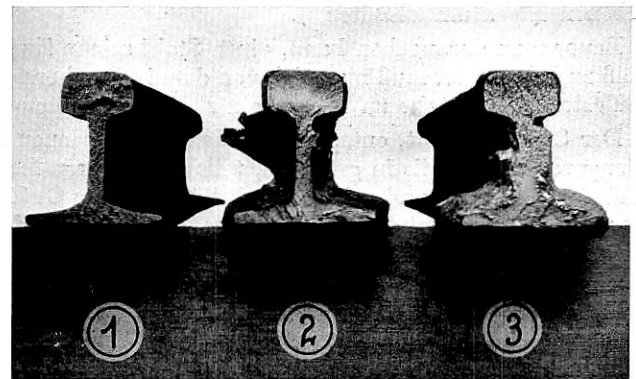


Abb. 14. 1 = ungeschweißt, 2 = geschweißt und normal geglüht, 3 = geschweißt, ungeglüht.

Auf den makroskopischen Bildern sind zu beiden Seiten der Schweißstelle in einiger Entfernung ausgeprägte Linien wahrzunehmen, die den Querschnitt entweder geradlinig oder in Kurvenform durchlaufen. Sie sind als Folge des Wärmeabflusses und als Stellen gleicher Vergütungstemperaturen zu betrachten. Für die Abb. 23 und 24 wurde 75fache Vergrößerung gewählt, da die Abb. 23 bei stärkerer Vergrößerung nicht mehr übersichtlich genug gewesen wäre. Die Makrobilder sind in $\frac{1}{3}$ natürlicher Größe dargestellt.

Zusammenfassend sei noch erwähnt, daß der Zweck des Normalglühens, eine weitgehende Kornverfeinerung, durchwegs erreicht wurde.

V. Ergebnisse der Festigkeitsprüfungen von geschweißten Schienenstößen.

Um für den Vergleich der einzelnen Schweißverfahren brauchbare Unterlagen zu gewinnen, wurde eine Reihe von Festigkeitsuntersuchungen durchgeführt. Die Schienenquerschnitte wurden der Abb. 32 entsprechend in Probestäbe aufgeteilt. Vorausgeschickt muß werden, daß es trotz der umfangreichen Untersuchungen nicht gelungen ist, eindeutige Folgerungen zu ziehen. Auch wenn die Probenzahl bedeutend erhöht worden wäre, hätte sich stets das gleiche Bild einer starken Streuung der Werte ergeben. Es ist somit nicht möglich, auf Grund der Ergebnisse dem einen oder anderen

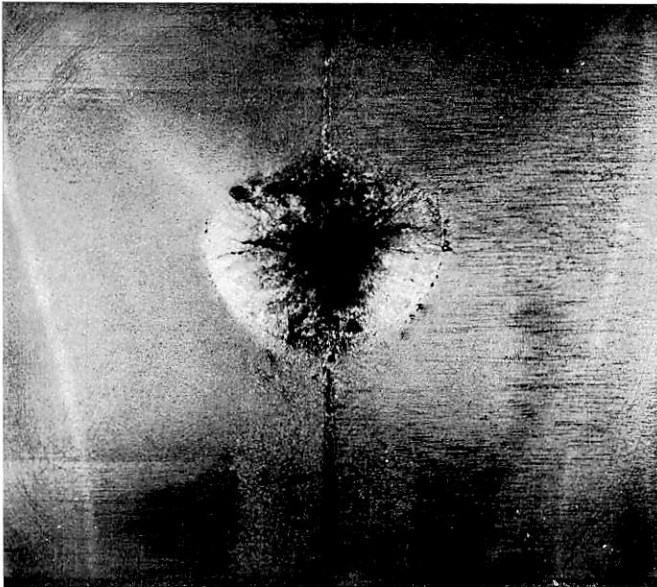


Abb. 15. Thermit-Stumpfschweißung, ungeglüht. Ätzung II.

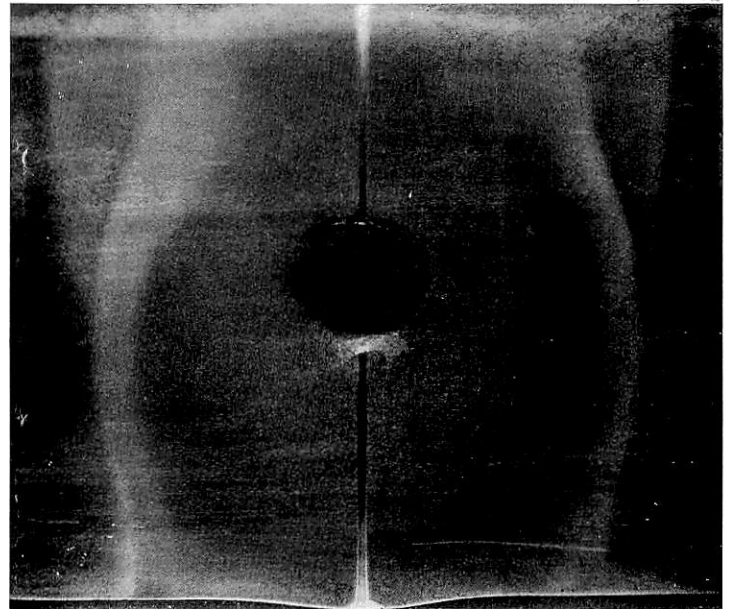


Abb. 16. Thermit-Stumpfschweißung, geglüht. Ätzung II.

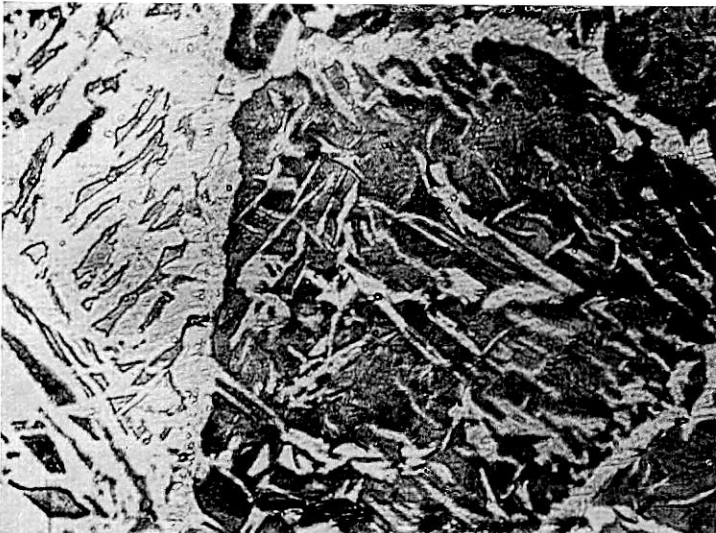


Abb. 17. Kleingefüge der Schweißstelle aus Abb. 15 oder 19 (Kopf), ungeglüht. Links Zwischenblech, rechts Schiene. Ätzung II, $\times 150$.

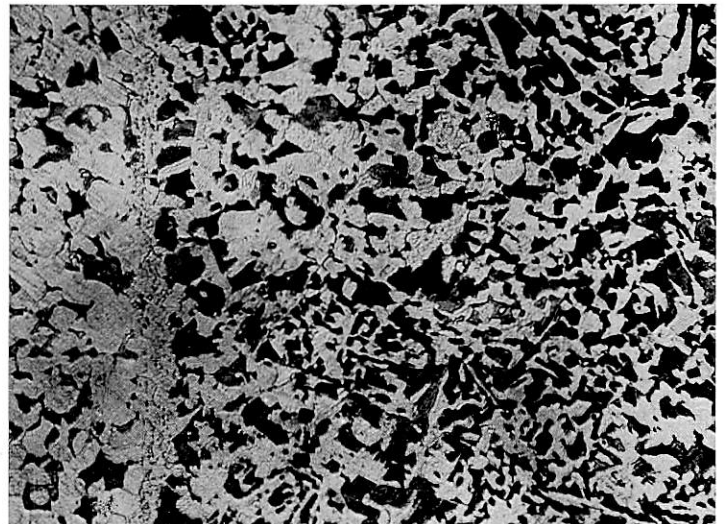


Abb. 18. Kleingefüge aus Abb. 16 oder 20 (Kopf), geglüht bei 830 bis 840° C; links Zwischenblech, rechts Schiene. Ätzung II, $\times 150$.



Abb. 19. Kombinierte Schweißung, ungeglüht. Ätzung II.

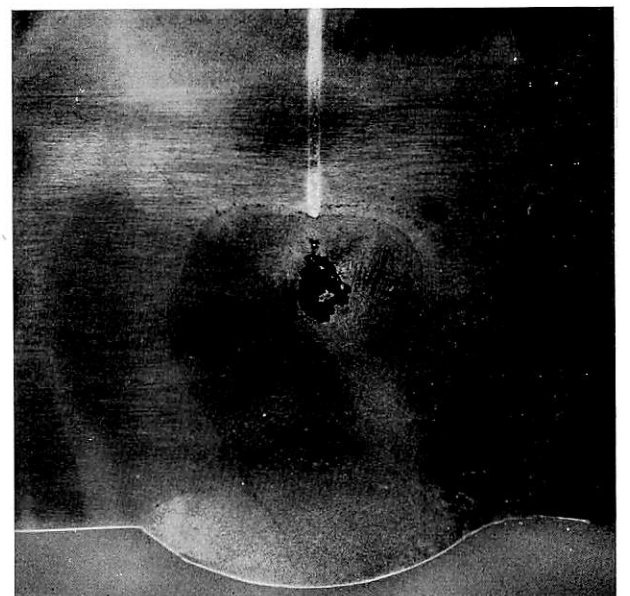


Abb. 20. Kombinierte Schweißung, geglüht. Ätzung II.

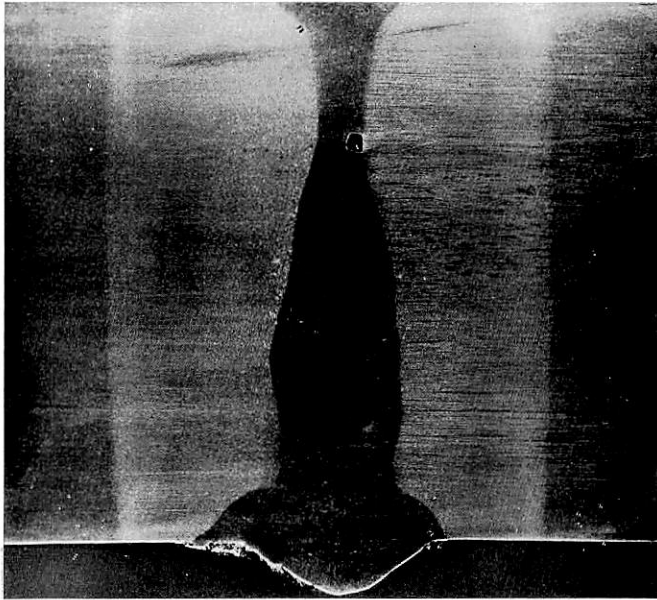


Abb. 21. Zwischengußschweißung ohne Stauchung, ungeglüht.
Ätzung II.

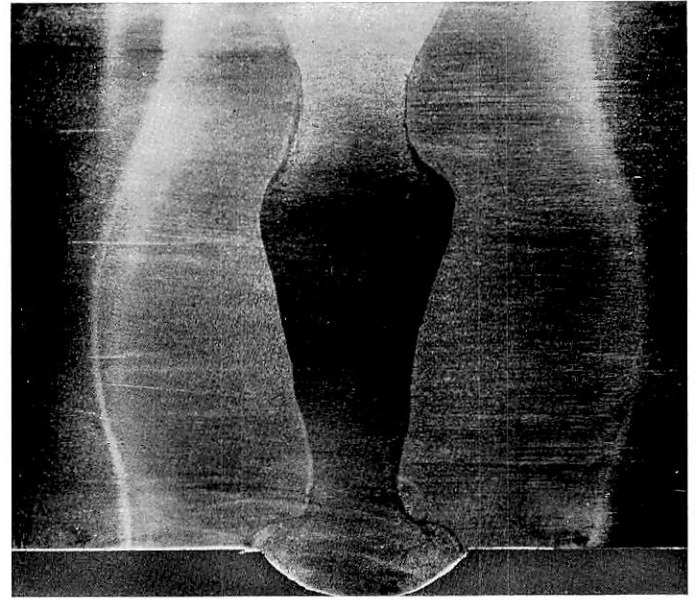


Abb. 22. Zwischengußschweißung ohne Stauchung, geglüht.
Ätzung II.

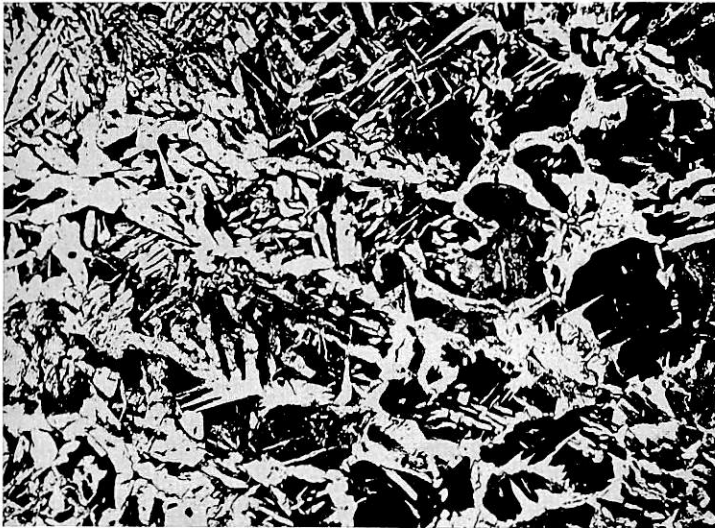


Abb. 23. Kleingefüge aus Abb. 19 (Zwischengußteil) und aus
Abb. 21 und 25, ungeglüht. Links „Thermit“-Eisen, rechts Schiene.
Ätzung II, $\times 75$.

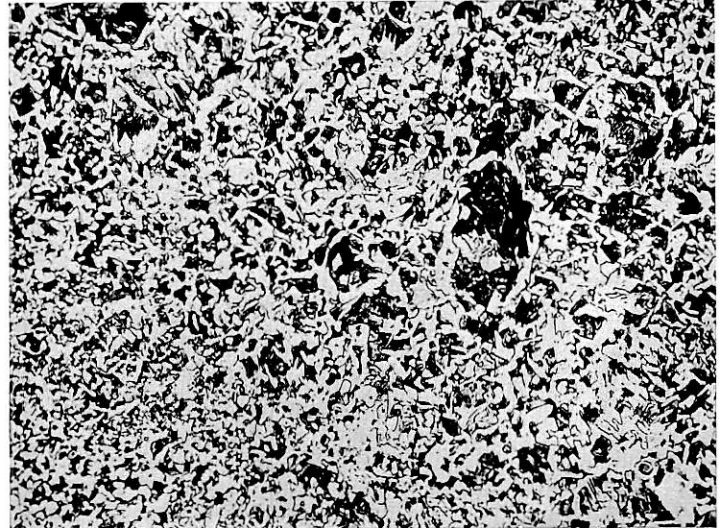


Abb. 24. Kleingefüge aus Abb. 20, 22 und 26, geglüht bei
830 bis 840° C. Ätzung II, $\times 75$.

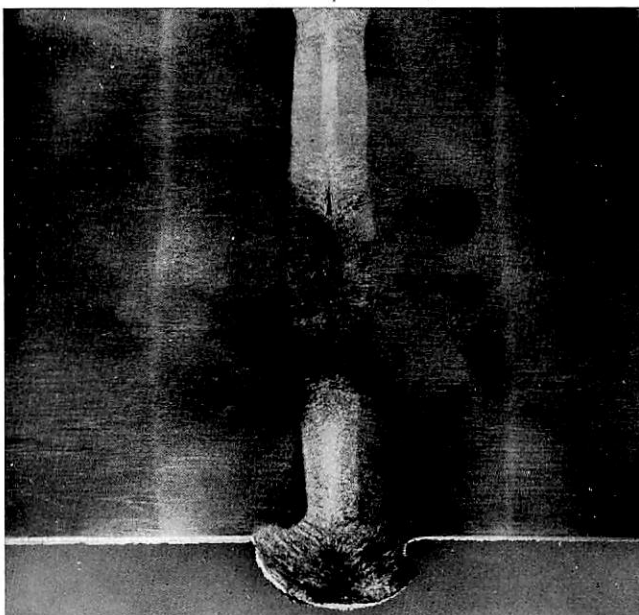


Abb. 25. Zwischengußschweißung mit Stauchung,
ungeglüht. Ätzung II.

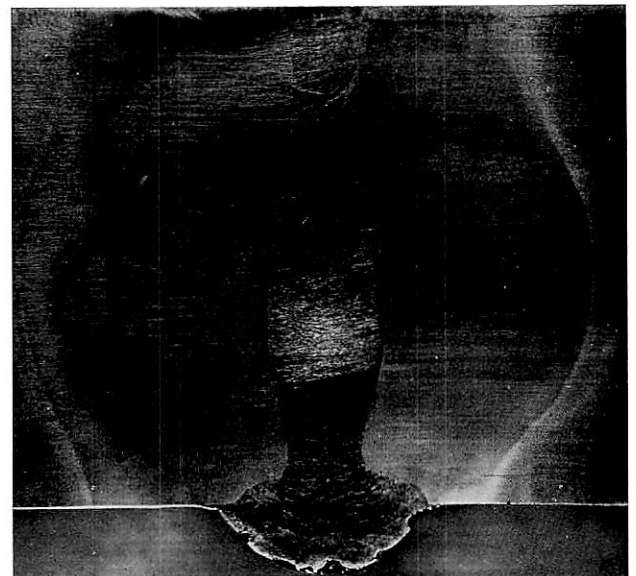


Abb. 26. Zwischengußschweißung mit Stauchung,
geglüht. Ätzung II.

Verfahren den Vorzug zu geben. Da aus den Festigkeitswerten allein keine Schlüsse gezogen werden können, sind auch die beiden Bruchflächen der einzelnen Probestäbe als Erläuterung zu den Ergebnissen dargestellt. Bei schlechten Festigkeitswerten gibt ein Vergleich mit den Bruchflächen die gewünschte Erklärung, so daß zu den Versuchen selbst einige kurze Bemerkungen genügen dürften.

1. Der Zerreißversuch.

Als Versuchsstab wurde der lange Normalstab mit 20 mm Durchmesser ($F=3,14 \text{ cm}^2$) verwendet. Die Ergebnisse sind aus Abb. 2, Taf. 25 und die Bruchflächen der Probestäbe aus Abb. 35 ersichtlich. Die Stäbe Nr. 3 und 82 können für die Beurteilung nicht verwendet werden, da sie nicht im mittleren Drittel der Meßlänge gebrochen sind. Der Bruch außerhalb der Schweißstelle könnte zu dem Schluß verleiten, die Schweißstelle besitze größere Festigkeitswerte als die Schiene. In Wirklichkeit sind diese Werte als Zufallsergebnisse zu betrachten. Außerdem stellen sie kein Maß für die Festigkeit der Schweißstelle dar. Sehr gleichmäßig verläuft die Linie der Streckgrenze gegenüber der Zugfestigkeitskurve, was ganz natürlich ist, da die aufgewendete Formänderungsarbeit bis

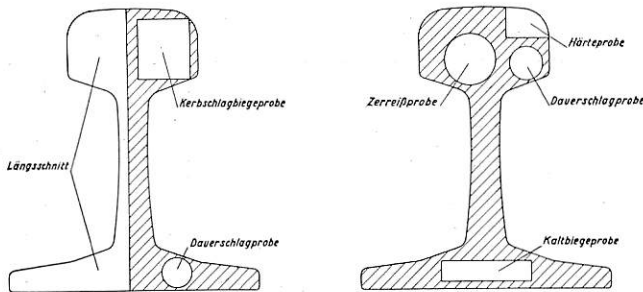


Abb. 32. Aufteilung des Schienenquerschnitts in Probestäbe.

zur Streckgrenze noch sehr gering ist. Die bleibende Verlängerung des Stabes beträgt etwa 0,2% der Meßlänge. Die Werte für Dehnung und Einschnürung, die ein Maß für die Formänderungsfähigkeit darstellen, sind der vorhandenen Gußstruktur entsprechend sehr niedrig. Die nach einzelnen Richtungen ausgeprägten Eigenschaften der Einzelkristalle treten sehr stark in Erscheinung, was auch in den Ergebnissen zum Ausdruck kommt. Sämtliche Stäbe der elektrisch geschweißten Schienen weisen Gasblaseneinschlüsse auf und dementsprechend auch niedrige Werte. Ein ausgesprochener Einfluß des Glühens ist nicht festzustellen, nur die geglühten Stäbe der im Zwischengußverfahren mit Stauchung geschweißten Schienen zeigen eine größere Einschnürung als die ungeglühten.

Auch an den Bruchflächen der elektrisch geschweißten Stäbe ist der Einfluß des Glühens zu erkennen. Dagegen besitzen die Stäbe der aluminothermischen Schweißungen meist einen grobkörnigen Bruch, auch im geglühten Zustand. Das kommt daher, daß die Glühentemperatur dem C-Gehalt der Schiene und nicht dem des „Thermit“-Eisens angepaßt war. Die Probestäbe Nr. 15, 21 und 39 weisen den sogenannten Schieferbruch auf, der meist auf Verunreinigungen, hier im Zwischenblech, zurückgeführt wird. Derartige Stäbe besitzen fast immer geringe Zugfestigkeit und Dehnung, wie dies auch hier der Fall ist*).

2. Kaltbiegeprobe.

Die Versuche wurden entsprechend DIN 1605/III durchgeführt. Bei dieser Prüfung erleidet der Probestab auf der Zugseite entsprechend dem erreichten Biegewinkel eine mehr oder weniger starke Dehnung, auf der Druckseite eine

Stauchung. Erwartungsgemäß ergaben die Thermitgeschweißten Proben einen sehr kleinen Biegewinkel, etwa 20°. Die Bruchflächen ließen fast durchwegs auf mangelhafte Schweißung schließen. Nur ein gut geschweißter Stab (Zwischenguß mit Stauchung) ließ sich um einen Winkel von 50° biegen. Dagegen erreichten die elektrisch geschweißten Proben im Durchschnitt einen Biegewinkel von etwa 50°, Zum Vergleich wurden auch ungeschweißte Proben gebogen, die bei etwa 85° die ersten Anrisse zeigten bzw. brachen.

3. Der Schlagbiegeversuch.

Als weitere Güteprüfung von geschweißten Schienen wurde in der Maxhütte, Rosenberg, der Schlagbiegeversuch durchgeführt. Die dabei erzielten Schlagarbeiten, Fallhöhen und Durchbiegungen sind in Taf. 24 zusammengestellt. Auch dieser Versuch lieferte derart verschiedene Werte, daß es nicht möglich ist, Schlüsse für die Güte des einzelnen Schweißverfahrens zu ziehen oder Vergleiche anzustellen.

Wie aus der bildlichen Darstellung zu ersehen ist, zeigt beim Thermitverfahren die kombinierte Schweißung mit gehärteten Schienen (Form S 49 Nr. 35_N, 36_N, 40_N und 41_N) teilweise bessere Ergebnisse als mit ungehärteten Schienen (Nr. 25_N, 26_N, 30_N und 31_N). Sämtliche für diesen Vergleich in Betracht kommende Stöße wurden im Reichsbahnausbesserungswerk Neuaubing angefertigt, und zwar von Leuten, die als sehr zuverlässig gelten, so daß der Unterschied nicht in ungleichmäßiger Ausführung zu suchen ist. Außerdem wurden nur Schweißportionen ein und derselben Lieferfirma verwendet. Die Ursache mußte also anderswo gesucht werden. In der Annahme, daß die gehärteten Schienen vielleicht eine größere Reinheit besitzen, wurde von sämtlichen S 49-Schienen die chemische Zusammensetzung bestimmt (s. Abb. 5, Taf. 25). Die Gehalte an Kohlenstoff, Silizium und Mangan schwanken unwesentlich und können daher als Ursache für die Unterschiede kaum in Betracht kommen. Auch aus der Schwefelanalyse ist nichts besonderes zu entnehmen. Dagegen zeigt die Phosphorlinie mit der Kurve der größten Fallhöhen sehr gute Übereinstimmung, und zwar insofern, als bei niedrigem Phosphorgehalt die Fallhöhe steigt und umgekehrt. Die schlechteren Ergebnisse der ungehärteten Schienen dürften also auf den höheren Phosphorgehalt zurückzuführen sein. Es ist ja bekannt, daß ein hoher Phosphorgehalt auf die Schweißbarkeit einen schädlichen Einfluß ausübt. Außerdem begünstigt Phosphor die Ausbildung der Dentriten, die je nach ihrer Anordnung die Formänderungsfähigkeit sehr stark beeinträchtigen. Bei den elektrisch geschweißten Stößen tritt diese Übereinstimmung zwischen Phosphorgehalt und Fallhöhe nicht in demselben Maß in Erscheinung. Es ist anzunehmen, daß hier der Einfluß des Phosphors von der schwankenden Güte der Schweißung überdeckt wird, wie überhaupt die Ergebnisse der elektrisch geschweißten Stöße große Streuungen aufweisen. Zwar erreichte Nr. 87_N die größte Fallhöhe und Durchbiegung von sämtlichen Versuchsstößen, um so niedriger waren aber die Werte der übrigen Proben. Die metallographischen Untersuchungen zeigten, daß dies nur auf Fehlschweißungen zurückzuführen ist. Man muß jedoch berücksichtigen, daß es die ersten Versuche der Firma Pfretzschner waren, Schienen nach dem Abschmelzverfahren zu verschweißen. Auf jeden Fall wird es der Widerstandsschweißung nach einer größeren Anzahl von Versuchen gelingen, wesentlich bessere Schlagleistungen zu erreichen.

Die geglühten Stöße der Zwischengußschweißung mit Stauchung brachten verhältnismäßig zufriedenstellende Ergebnisse. Besonders zeigten sie eine gute Durchbiegung, was auf gute Formänderungsfähigkeit schließen läßt. Dagegen weisen die Übergangsstöße durchwegs, gleichviel nach welchem Verfahren sie geschweißt waren, sehr niedrige Schlagergebnisse

*) Oberhofer, Das technische Eisen.

auf. Der Grund wird in der Hauptsache in dem plötzlichen Querschnittsübergang am Fuß zu suchen sein.

Zur Glühung ist zu sagen, daß sich ihr Einfluß bei dem einen oder anderen Stoß vorteilhaft auswirkte, jedoch ist die Formänderungsfähigkeit von geschweißten Schienen im allgemeinen nach wie vor sehr gering.

Gleichzeitig wurden noch Vergleichs-Schlagproben zwischen ungeschweißten und kombiniert geschweißten Schienen bei etwa -20°C durchgeführt. Da sämtliche Stahlarten bei niedrigen Temperaturen sehr spröde bzw. sehr empfindlich gegen Schlagwirkung sind, lag die Annahme nahe, die geschweißten und ungeschweißten Schienen würden beim Schlagversuch keine allzu großen Unterschiede aufweisen. Zwar zeigten die Proben Nr. 88_N, 89_N und 90_N größere Sprödigkeit, aber ihr Gesamtschlagmoment und ihre Durchbiegung liegt doch erheblich über den Werten der geschweißten Schienen*).

Die in Taf. 24 dargestellten Gesamtschlagmomente sind nicht mit den Arbeitsmomenten, wie sie bei Abnahmen von ungeschweißten Schienen verlangt werden, zu vergleichen. Während bei letzteren schon mit dem ersten Schlag ein Moment von 3000 bzw. 5000 mkg erreicht werden muß, ergab sich unser größtes erreichtes Arbeitsmoment von etwa 6000 mkg (Nr. 87_N) aus einer Reihe von Einzelschlägen. Bekanntlich ist Stahl bis zu einer gewissen Grenze elastisch. Bei einem Schlagmoment von bestimmter Größe, das mit einem einzigen Schlag erreicht wird, muß die elastische Formänderung nur einmal überwunden werden. Dagegen wird bei mehreren Einzelschlägen die Arbeit für die elastische Formänderung öfter geleistet. Letzteres Verfahren beeinflußt also die Ergebnisse im günstigen Sinne.

4. Der Kerbschlagbiegeversuch.

Der Wert der Kerbschlagprobe ist noch sehr umstritten. Die Oberflächenbeschaffenheit, sowie eine geringfügige Änderung der Versuchsbedingungen können die Ergebnisse ganz wesentlich beeinflussen. Es muß also hier mit einer großen Unsicherheit gerechnet werden. Schwankungen in der Güte der Schweißung kommen hier besonders stark zum Ausdruck. Dem zahlenmäßigen Ergebnis dieses Versuches (Abb. 1, Taf. 25) ist somit keine allzu große Bedeutung beizumessen. Während die Proben der kombinierten und elektrischen Schweißung körnigen (Trennungs-) Bruch ergaben (Abb. 33), sich also in der Tieflage der Kerbzähigkeit befinden, zeigen die Proben der Zwischengußschweißung m. St. Neigung zum Verformungsbruch (Hochlage der Kerbzähigkeit). Die Proben Nr. 8 und 11 liegen im Streugebiet. Dies darf aber nicht dahin ausgelegt werden, daß dem Zwischengußverfahren auf Grund dieser Ergebnisse der Vorzug zu geben sei. Bekanntlich besitzen diese Schweißungen gegenüber den übrigen eine mehr oder weniger breite Zone von „Thermit“-Eisen. Es wird also bei letzteren die zusätzliche Kerbbeanspruchung eigentlich nur vom kohlenstoffärmeren Thermitisen aufgenommen. Die Übergangsstelle selbst liegt hier je nach der Breite des Zwischengusses meist außerhalb des Kerbbereiches. Der erhaltene Wert stellt demnach nur die Kerbzähigkeit des „Thermit“-Eisens dar, aber nicht der Schweißverbindung. Wesentlich anders liegt der Fall bei der kombinierten und elektrischen Schweißung. Hier wird die Kerbe an der Übergangsstelle angesetzt. Könnte man bei den Zwischengußschweißungen die Kerbe genau in der Übergangsstelle anbringen, so würden sich ihre Ergebnisse von den übrigen kaum unterscheiden.

Ein ausgeprägter Einfluß der Glühbehandlung ist nicht zu beobachten. Lediglich die elektrisch geschweißten Stäbe zeigen im Bruchaussehen einen deutlichen Unterschied

zwischen ungeglüht und geglüht. Letztere sind sehr feinkörnig, ein Zeichen, daß die Wärmebehandlung richtig war. Aber trotzdem ist keine Steigerung der Kerbzähigkeit eingetreten. Die Erklärung hierfür soll im Abschnitt VI gegeben werden.

5. Die Dauerwechsellagprobe.

Diese Untersuchung der Probestäbe wurde im Kruppischen Dauerschlagwerk vorgenommen. Der Arbeitsinhalt eines Schlages betrug 12 emkg bei einer gleichzeitigen Drehung des Stabes um einen Winkel von 15° .

Hinsichtlich des Unterschiedes in der Materialbeanspruchung zwischen Schmelzguß und elektrischer Schweißung gilt das unter 4. Gesagte, jedoch sind die Wirkungen entgegengesetzt, was aus den Ergebnissen (Abb. 3, Taf. 25) hervorgeht. Beim Dauerschlagversuch entsteht der Bruch in der Weise, daß durch die Anhäufung von Materialspannungen im Kerbgrund kleine Risse hervorgerufen werden, die bei wachsender Schlagzahl sich zu einem konzentrischen Dauerbruch ausbilden und immer weiter fortschreiten, bis die Widerstandsfähigkeit des noch vorhandenen Kernes überschritten wird und der Bruch plötzlich erfolgt. Nun besteht bei Material von höherer Festigkeit, bei vergütetem oder eingesetztem Material die Wahrscheinlichkeit*), daß sich die Risse durch die harte Außenschicht nicht so rasch ausbilden können, als dies bei den weicheren Stahlarten der Fall ist. Daraus dürfte die größere Widerstandsfähigkeit der elektrisch geschweißten Stäbe und Nr. 101 K beim Dauerschlagversuch zu erklären sein. Die außerordentlich hohe Schlagzahl von Nr. 6 K wird jedenfalls ein Zufallsergebnis darstellen, zumal die Schlagzahlen der Thermit-geschweißten Stäbe im allgemeinen kaum $\frac{1}{3}$ der Schlagzahl von ungeschweißten Stäben erreichen.

Die normale Bruchfläche — am Rande Dauerbruch, im Kern Trennungsbruch — weisen nur die ungeschweißten und einige elektrisch geschweißte Stäbe auf (Abb. 34). Alle übrigen Bruchflächen zeigen Gasblaseneinschlüsse oder sonstige Fehlstellen, wodurch die entstehenden Risse meist nach kurzer Zeit zum sofortigen Trennungsbruch führten, ohne daß es zuerst zum normalen Dauerbruch gekommen wäre.

6. Die Kugeldruckprobe nach Brinell.

Die Probestäbe waren der Abb. 15 entsprechend dem Schienenkopf entnommen. Die Belastung der 10 mm Kugel betrug 30000 kg, die Belastungsdauer 30 Sek. Die erhaltenen Härteergebnisse sind aus Abb. 4, Taf. 25 ersichtlich. Auf Grund der Untersuchung der Probestäbe ist diesmal anzunehmen, daß die Ergebnisse nicht durch Fehlschweißungen beeinflusst sind, so daß es hier ausnahmsweise möglich ist, Vergleiche zu ziehen.

Im allgemeinen ist durch das Glühen eine Härtesteigerung eingetreten. Die gehärteten Schienen erleiden an der Schweißstelle einen großen Härteverlust, was aber keine nachteiligen Folgen zu haben scheint. Im kombinierten Verfahren verschweißte, gehärtete Schienen zeigen nach fast zweijähriger Liegedauer nicht die erwartete Schlaglochbildung. Es ist dies der kaltverfestigenden Wirkung der darüberrollenden Fahrzeuge zuzuschreiben. Hinsichtlich der erforderlichen Härte scheint also jedes Schweißverfahren den Anforderungen der Praxis zu entsprechen.

In einigen Worten zusammengefaßt, ist das Ergebnis der durchgeführten Festigkeitsversuche von geschweißten Schienen folgendes:

Die erhaltenen Werte der statischen Festigkeitsversuche können noch einigermaßen befriedigen. Dagegen ist die Formänderungsfähigkeit bzw. Zähigkeit im Vergleich zu ungeschweißten Schienen vollständig

*) Werkstoffhandbuch, Stahl und Eisen, Q 51 — 4.

*) Wawrzynick, Handbuch des Materialprüfungswesens, S. 189.



Abb. 27. Elektrische Widerstands-Abschmelzschweißung, ungeglüht. Ätzung II.

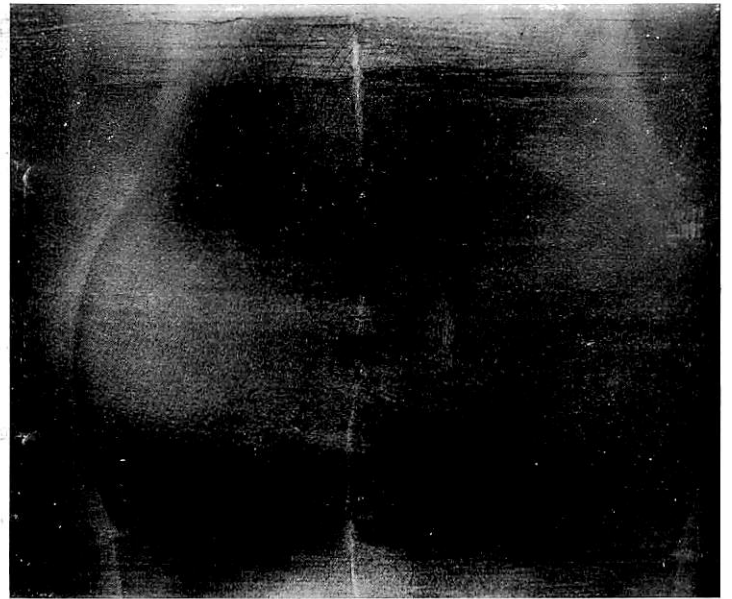


Abb. 28. Elektrische Widerstands-Abschmelzschweißung, geglüht. Ätzung II.

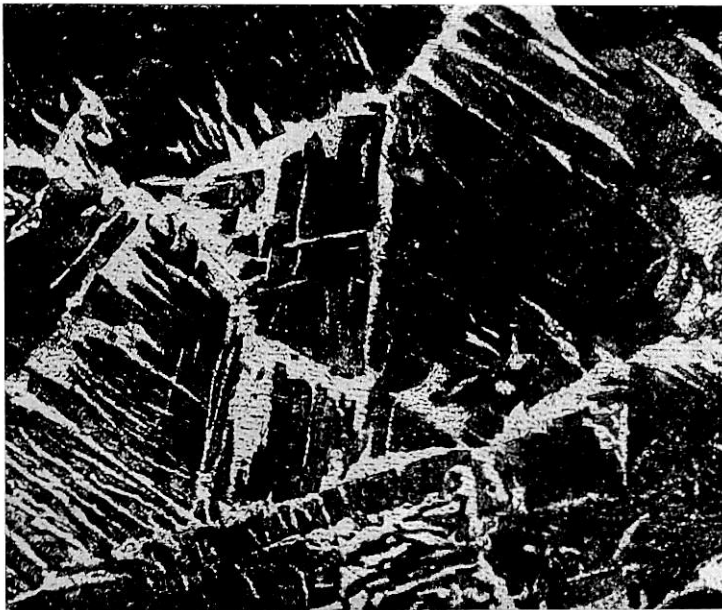


Abb. 29. Kleingefüge der Schweißstelle aus Abb. 27. ungeglüht. Ätzung II, $\times 150$.

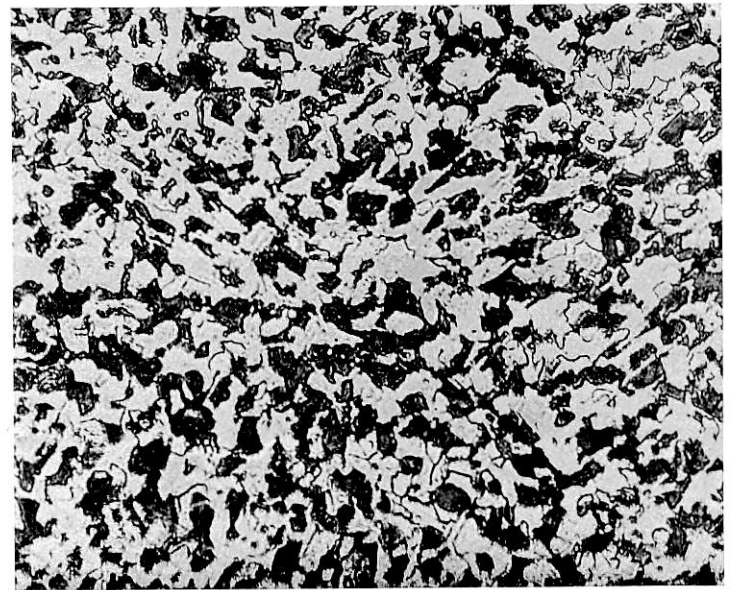
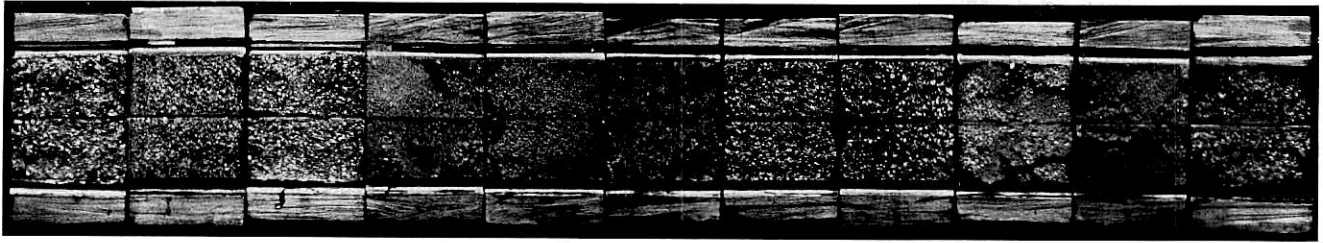


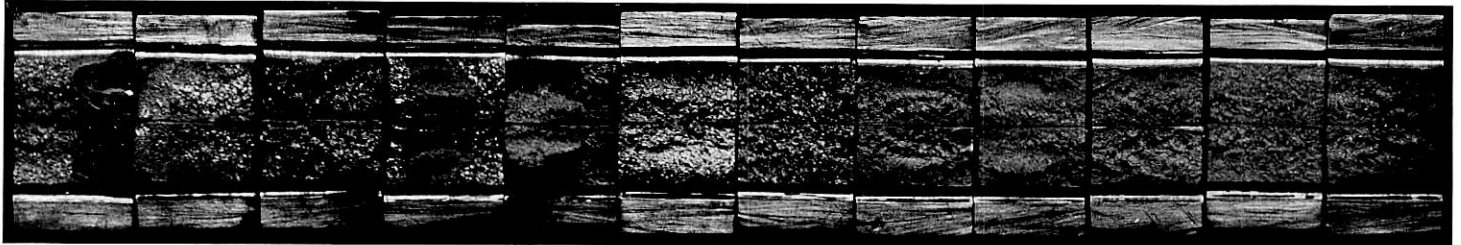
Abb. 30. Kleingefüge aus Abb. 28, geglüht bei 830 bis 840° C. Ätzung II, $\times 150$.



Abb. 31. Kleingefüge der Schiene, durch die Schweißung nicht beeinflusst. Ätzung II, $\times 150$.

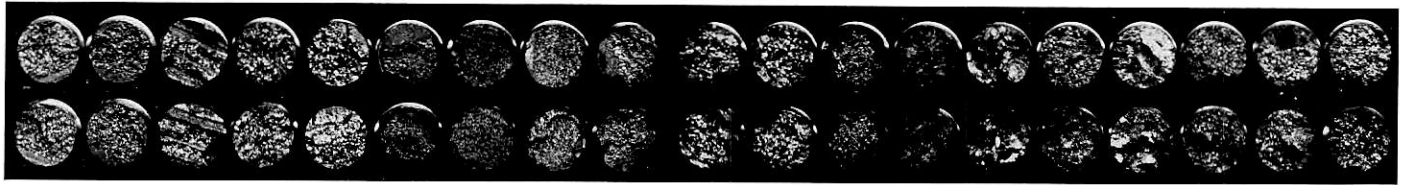


2 14 20 38 5 17 23 43 8 11 46

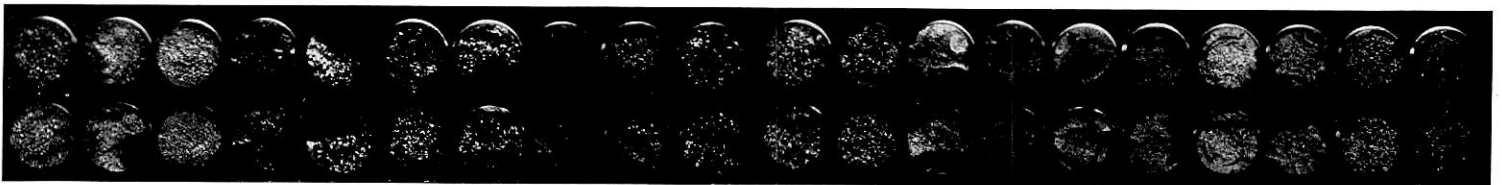


52 58 40 55 61 66 76 71 81 91 92 93

Abb. 33. Bruchflächen der Kerbschlagbiegeproben.

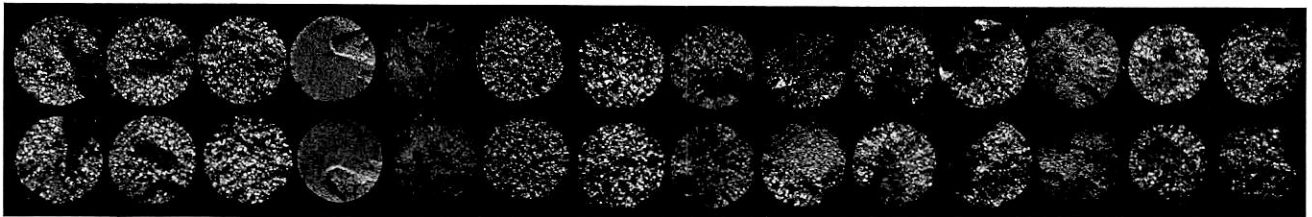


2F 3K 15K 21K 39K 5F 6K 18K 24K 44K 8F 9K 11F 12K 14F 20F 38F 53K 58F

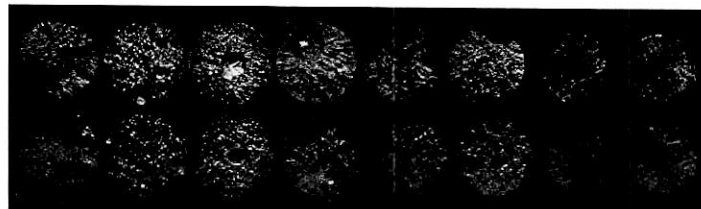


59K¹⁾ 17F²⁾ 23F 43F 50K 55F 56K 61F 62K 67K 76F 77K 71F 72K 81F 82K 98F 99F 100K 101K

Abb. 34. Bruchflächen der Dauerschlagproben.



15 21 39 6 18 24 44 9 12 47 53 59 50 56



62 67 77 72 94 95 96 97

Abb. 35. Bruchflächen der Zerreißproben.

¹⁾ = Probestab aus dem Schienenkopf. — ²⁾ = Probestab aus dem Schienenfuß.

Die Festigkeitswerte der einzelnen Proben (vergl. die Nummern!) sind aus Abb. 1 bis 3, Taf. 25 zu ersehen.

ungenügend. Auch die Beseitigung der Überhitzung, die in den Schienen durch die Schweißung hervorgerufen wird, bringt, in der Hauptsache bei den aluminothermischen Verfahren, keine wesentliche Verbesserung. Mehr Wert ist wohl auf das vollständige Umkristallisieren im Zwischenguß zu legen. In der Schiene kann eine schwache Kornvergrößerung ohne Bedenken in Kauf genommen werden. Bei dem elektrischen Verfahren ist bei einwandfreier Schweißung ein Glühen vorteilhaft.

Trotz allem zeigen thermitgeschweißte Stöße nach mehrjähriger Liegedauer keinerlei Zerstörungserscheinungen, ein Zeichen dafür, daß sie den Anforderungen des Betriebes genügen. Das hat aber seine Ursache nicht darin, daß Theorie und Praxis nicht übereinstimmen, sondern es ist vielmehr damit der Beweis erbracht, daß beim geschweißten Gleis nicht dieselben großen Beanspruchungen auftreten, als beim gelaschten Gleis. Es ist auch einleuchtend, daß mit der Beseitigung des gelaschten Stoßes die gefürchteten Schlagwirkungen verschwinden müssen, sofern sie durch die Laschenverbindung verursacht sind. Wird jedoch die Schlagbeanspruchung durch Lokomotivräder mit starken Schleifstellen hervorgerufen, so besteht selbstverständlich für die geschweißten Schienenstöße erhöhte Bruchgefahr, zumal auch ungeschweißte Schienen dabei sehr häufig brechen.

VI. Welche Folgerungen können aus den Versuchsergebnissen gezogen werden?

Vor allem haben die Versuche gezeigt, daß sämtliche Schweißverfahren für eine vollkommene Verbindung von Schienen noch sehr der Weiterentwicklung bedürfen. Außer den Mängeln, die durch das einzelne Verfahren an sich bedingt und z. T. nicht zu vermeiden sind, müssen unbedingt die Fehler, welche in falscher, unsachgemäßer Arbeitsweise begründet sind, behoben werden. Dazu ist aber ihre Kenntnis Voraussetzung. Zunächst seien die grundsätzlichen Mängel erwähnt, die mit dem aluminothermischen Schmelzgußverfahren verbunden sind. Meist wird nicht berücksichtigt, daß die Zwischengußschweißung einen gewöhnlichen Gußvorgang mit seinen Vor- und Nachteilen darstellt, die jedem Stahlmacher hinreichend bekannt sind.

Als wesentliche Fehler im erschmolzenen Stahl und somit auch im Schmelzguß sind vor allem die Schlackeneinschlüsse und andere Fremdkörper zu nennen. Beim Abstich kommt das Thermiteseisen, wenn auch nur kurze Zeit, in innige Berührung mit dem Luftsauerstoff, dem gefährlichsten Feind des Stahles. Ebenso werden beim Abstich mehr oder weniger große Sandteile aus der Form mitgerissen, die dann im fertigen Zwischenguß als unerwünschte Fremdkörper eingelagert sind. Weiter bilden sich beim Verschmelzen von Schiene und Thermiteseisen Oxydationsprodukte, die infolge der raschen Abkühlung der Übergangzone nicht mehr an die Oberfläche gelangen können. Abb. 38 zeigt eine Übergangsstelle der in Abb. 36 dargestellten Zwischenguß-Schweißung in etwa 50facher Vergrößerung. Beide Abbildungen sind mit dem Oberhofferschen Ätzmittel geätzt. Da durch dieses das Primärgefüge sichtbar wird, wurde die Ätzung von Oberhoffer als primäre bezeichnet zum Unterschied von der sekundären Ätzung, die das durch die sekundäre Kristallisation hervorgerufene Gefüge zeigt. Die Übergangzone ist gleichmäßig mit fein verteilter Schlacke durchsetzt.

Als weiterer Nachteil sind noch die in jedem Guß auftretenden Seigerungserscheinungen zu nennen. Die Übergangsstelle in Abb. 38 wird von einem hellen Streifen durchzogen. Bei der Primärätzung erscheinen phosphorreiche Stellen hell wie bei Abb. 38 und 40. Durch die senkrechte Beleuchtung bei Abb. 36, 37, 41 und 42 erscheinen sie dunkel. Die genannten Abbildungen lassen erkennen, daß die Übergangsstelle stark mit Phosphor angeseigt ist, während der Zwischen-

guß selbst eine gleichmäßige Verteilung aufweist. Bekanntlich tritt aber im allgemeinen die Seigerung im zuletzt erstarrenden Teil, im Kern auf. Die Seigerungserscheinungen in der Übergangsstelle können durch zwei verschiedene Umstände verursacht sein. Einmal kann durch Aluminiumrückstände im flüssigen Thermiteseisen das Wandern der seigerungsfähigen Bestandteile zum Kern verhindert werden oder, was am meisten Wahrscheinlichkeit für sich hat, die Erstarrung an der Übergangsstelle erfolgt so schnell, daß sämtliche Verunreinigungen, sowie der Phosphor der aufgeschmolzenen Schiene an der Übergangsstelle eingeschlossen werden. Durch die Seigerungen wird, je nach ihrer Lage zur Beanspruchungsrichtung, die Schlagfestigkeit stark beeinflusst. Die Ergebnisse der Schlagversuche mit geschweißten, gehärteten Schienen weisen darauf hin, für die Schweißung Schienen von besonderem Reinheitsgrad zu verwenden.

Als einer der gefährlichsten Feinde des Stahles ist auch die Lunkerung und Gasblasenbildung zu bezeichnen. Erstere ist weniger beim Schmelzguß von Bedeutung, da hier die Lunkerbildung außerhalb des Schienenquerschnitts stattfindet, also beim kombinierten Verfahren. Abb. 19 und 20 zeigen unmittelbar unter dem Schweißblech ausgeprägte Lunker. Da außerdem die vorhandenen Gase nach ihrer Ausscheidung das Bestreben besitzen, nach oben zu entweichen, sofern die Abkühlung langsam genug verläuft, bilden diese Hohlräume zugleich Sammelstellen für die Gase. Nun ist aber den Gasen der weitere Weg durch das Zwischenblech versperrt und sie bleiben somit im fertigen Zwischenguß eingeschlossen. Weit unangenehmer sind die Gasblaseneinschlüsse nach Abb. 39. Mit derartigen Gasblasen ist jede Übergangsstelle mehr oder weniger stark durchsetzt. Die Gegenwart solcher Hohlstellen wirkt sich auf die Gesamtfestigkeit sehr nachteilig aus, da an diesen Stellen der Materialzusammenhang fehlt. Hierzu kommt noch, daß an den Grenzen der Hohlräume sehr beträchtliche Spannungserhöhungen auftreten. Um eine weitgehende Entgasung zu erreichen, wäre ein mehrmaliges Erhitzen notwendig, das aber bei der Schienenschweißung praktisch nicht durchführbar ist.

Zu all den oben erwähnten Mängeln kommt noch der scharfe Unterschied im Gefügeaufbau (vergl. Abb. 36 und 37). Während die Schienen normales Zeilengefüge aufweisen, besitzt der Zwischenguß ausgesprochene Gußstruktur. Der Übergang von einem Gefüge zum anderen ist noch dazu durch Verunreinigungen aller Art gestört. Dem langsamen Abkühlungsvorgang nach der Schweißung entsprechend besteht das Gefüge in der Hauptsache aus Dentriten, die senkrecht zum Schienenquerschnitt angewachsen sind, also parallel zur Richtung des Wärmeabflusses. Da diese Erscheinung auch bei den sekundär geätzten Schliften (siehe Abb. 21 und 22) bei makroskopischer Betrachtung ersichtlich ist, wurde sie als eine Folge der Stauchung, wie sie bei dem Blockschen Patentverfahren angewendet wird, bezeichnet. Ein Vergleich der Abb. 36 und 37 ergibt aber, daß diese Erscheinung bei der einfachen Zwischengußschweißung ohne Stauchung noch wesentlich stärker ausgebildet ist. Dieses scheinbare Bild der Verformung ist sonach auf die Abkühlungsvorgänge während der primären Kristallisation zurückzuführen. Außer anderen Faktoren üben die Abkühlungsgeschwindigkeit und die Richtung des Wärmeabflusses einen maßgebenden Einfluß auf die Ausbildungsform des Primärkristalles aus. Wie bereits früher gesagt, entstehen bei schneller Abkühlung Globuliten (kleinstes Primärkorn), meist am Rande, dagegen bei langsamer Abkühlung, besonders in der Mitte Tannenbaumkristalle oder Dentriten. Letztere entstehen hauptsächlich bei der Zwischengußschweißung, da hier die Abkühlung sehr langsam verläuft.

Wie oben schon erwähnt, ist die Abkühlungsrichtung für die Ausbildung von Dentriten von großer Bedeutung. Nach

Czochralski*) wachsen die primären Kristalle mit ihrer Hauptachse parallel zur Richtung des Wärmeflusses. Die Erscheinung selbst, also das Entstehen langer Kristalle, die senkrecht zu den abkühlenden Flächen wachsen, nannte Czochralski Transkristallisation. Sie ist dem Tiegelstahlfachmann sehr gut bekannt und unangenehm, da sie keine gute Eigenschaft für ein Gußstück ist. Meist wird Transkristallisation nur bei kleinen Blöcken beobachtet. In unserem Fall erfolgte der Wärmeabfluß senkrecht zu beiden Schienenquerschnitten. Durch die verhältnismäßig geringe Zwischengußbreite sind die beiden Kristallrichtungen aneinander geprellt und die Kristalle haben sich wieder mit ihrer Hauptachse parallel zur Abkühlungsrichtung entweder zum Schienenkopf oder -fuß eingestellt.

Nun ist aber die Tannenbaumstruktur nur durch eine langwierige Wärmebehandlung bei hohen Temperaturen zu beseitigen. Oberhoffer**) gibt sogar an, daß das gesamte Primärgefüge durch keinerlei Wärmebehandlung zum Verschwinden zu bringen sei. Dies beweisen auch unsere Glühversuche. Die in Abb. 36 dargestellte Zwischengußschweißung wurde normalgeglüht. Das Dentrigengefüge ist unverändert erhalten geblieben. Es wäre vielleicht möglich, durch eine schnellere Abkühlung während der Erstarrung die Ausbildung der Dentrigen etwas zu behindern, aber mit Rücksicht auf eine gute Entgasung ist eine langsame Abkühlung erwünscht.

Allgemein nimmt man an, daß das dentritische Kristallgebilde nur durch eine mechanische Bearbeitung verändert werden kann. Eingangs wurde schon erwähnt, daß das Fehlen einer kräftigen Durchschmiedung der Schweißstelle als Hauptmangel bezeichnet werden muß. Erst die Vereinigung einer mechanischen Bearbeitung mit einer Wärmebehandlung gibt dem Stahl jene guten Festigkeitseigenschaften, die wir von ihm erwarten. Deshalb werden auch Gasschmelzschweißungen, die sehr großen Beanspruchungen ausgesetzt sind, eingehämmert.

Eine Verbesserung in dieser Hinsicht läßt Abb. 37 erkennen, die eine Zwischengußschweißung mit Stauchung darstellt. Durch diese wurde eine größere Ausbildung der Dentrigen unterbunden. Der Abstand der beiden Zeilengefüge ist wesentlich geringer als bei Abb. 36, aber immer noch breit genug, um die nachteiligen Folgen der Gußstruktur in Erscheinung treten zu lassen. Die Stauchung war also viel zu gering, um auf die mechanischen Eigenschaften einen erhöhenden Einfluß auszuüben. Jedenfalls ließen unsere Versuche eine Gütesteigerung nicht erkennen. Es wäre nicht ausgeschlossen, m. E. sogar wahrscheinlich, daß eine maschinelle Stauchung eher zum Ziele führen würde. Der Stauchdruck müßte derart hoch gewählt werden, daß zum mindesten Kopf und Fuß der beiden Schienenquerschnitte unmittelbar miteinander verschweißt werden können. Die Schweißverbindung würde dann im wesentlichen nur aus Schienenwerkstoff gebildet. Das Thermit wäre eigentlich nur mehr Wärmeträger und würde dann ausschließlich zum Erhitzen der beiden Schienenenden auf Schweißhitze dienen, eine Funktion, die bei der elektrischen Widerstandsschweißung der Strom übernimmt.

Die Stauchvorrichtung ließe sich vielleicht in der Weise durchbilden, daß die verlängerten Druckspindeln mit einer Stirnradübersetzung in Verbindung gebracht werden. Auf letztere hätte dann ein Motor mit dem nötigen Stauchdruck zu arbeiten, der nach einer bestimmten Stromaufnahme automatisch ausgeschaltet wird, ähnlich wie bei der beschriebenen Widerstandsschweißmaschine. Hierzu ist allerdings eine besondere Kraftquelle erforderlich, die die Einfachheit der Thermitschweißung ziemlich einschränken würde. Soll aber die Thermitschweißung höhere Festigkeiten, insbesondere gegen

Schlagbeanspruchungen aufweisen, so kann dies nur durch eine mechanische Warmbearbeitung u. U. unter Anwendung von sehr großen Stauchdrücken erreicht werden, ähnlich wie dies bei der Widerstandsschweißung der Fall ist.

Unter Berücksichtigung aller aufgeführten Mängel, die durch das Herstellungsverfahren bedingt sind und mit denen in jedem Zwischenguß mehr oder weniger stets gerechnet werden muß, kommt man ohne weiteres zu der Erkenntnis, daß normalerweise auch von einwandfrei geschweißten Thermitstößen nicht die gleichen Festigkeitseigenschaften verlangt werden können, wie von ungeschweißten Schienen. Beim geschweißten Stoß wird die Walzstruktur der Schienen durch ein unhomogenes Gußgefüge unterbrochen. Der Übergang erfolgt meist sehr schroff und die Homogenität ist an dieser Stelle durch Verunreinigung aller Art wie Gasblasen, Schlacken, Seigerungen usw. ganz empfindlich gestört. Diese Fremdkörper liegen natürlich stets in der gefährlichen Richtung zur Beanspruchung. Die Übergangsstelle wird deshalb immer die schwächste Stelle der Schweißverbindung dieser Art bleiben. Es darf aber nicht vergessen werden, daß durch die Beseitigung des Schienenstoßes die Schlagwirkungen sehr stark verringert werden. In Schnellzugstreckeneingebaute, geschweißte Schienen haben nach mehrjähriger Liegedauer den Beweis geliefert, daß sie den Anforderungen des Betriebes voll gewachsen sind. Die bei geschweißten Schienen beobachteten Brüche sind wohl nicht immer auf die obenerwähnten Mängel zurückzuführen. Wie unsere Versuche gezeigt haben, wird der weitaus größte Teil der Brüche durch Fehler verursacht, die in unsachgemäßer Ausführung infolge ungenügender Fachkenntnis der Arbeitskräfte begründet sind, also vermieden werden können. Auch die überaus starke Streuung der Versuchsergebnisse (vergl. Taf. 24 und 25) dürfte auf mangelhafte Ausführung zurückzuführen sein.

Typische Fehlschweißungen, die durch ungenügende Vorwärmung verursacht sind, zeigen Abb. 43 und 44. Im Steg und Fuß ist überhaupt keine Verbindung zustande gekommen, während sie im Kopf der Abb. 43 auch als sehr mangelhaft bezeichnet werden muß. Auch die starke Blasenbildung ist auf die niedrige Vorwärmung zurückzuführen. Es wird zweckmäßig sein, die für eine gute Schweißung günstigste Vorwärmtemperatur durch Versuche genau zu ermitteln. Eine Kontrolle der Temperatur mittels Pyrometer bei der Ausführung gibt dann Gewähr, daß derartige Fehlschweißungen in Zukunft vermieden werden. Voraussetzung ist dabei natürlich immer, daß die verwendete Thermitmasse von einwandfreier Zusammensetzung und Beschaffenheit ist. Außerdem müssen hierzu wie überhaupt bei jeder Schweißung, fachkundige und zuverlässige Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.

Die in Abb. 44 dargestellte Fehlschweißung (kombiniertes Verfahren) kann aber auch eine andere Ursache haben. Bei dieser Schweißung ist der Fuß mit einem sehr gasblasenhaltigen Wulst umgeben, während die Mitte des Steges nur ganz schwach verschmolzen ist, da an dieser Stelle die beiden Schienen vor der Schweißung etwas ausgespart werden, um einen Flammendurchgang beim Vorwärmen zu schaffen. Im Fuß selbst ist keinerlei Verbindung erfolgt. Wahrscheinlich war hier vor der Schweißung kein genügender Zwischenraum zwischen den beiden Schienen mehr vorhanden. Bei dem Schienenprofil F X (bayerische Form) beträgt normalerweise die Stärke des Zwischenbleches 4 mm. Nach Einlegen des Bleches werden die beiden Schienen etwas zusammengestaucht. Dabei zeigte sich, daß Steg und Fuß vollkommen geschlossen werden (vergl. Abb. 45). Beim Schweißvorgang wird das flüssige Thermitisen die Oberfläche des Steges zwar auflösen, aber nicht die beiden Schienen miteinander verschmelzen. Dagegen wird bei S 49 ein 6 mm starkes Zwischenblech verwendet, so daß hier auch bei übermäßiger Stauchung der für

*) Z. d. V. D. I. 1917, 348.

**) Stahl und Eisen, 1916, S. 798.

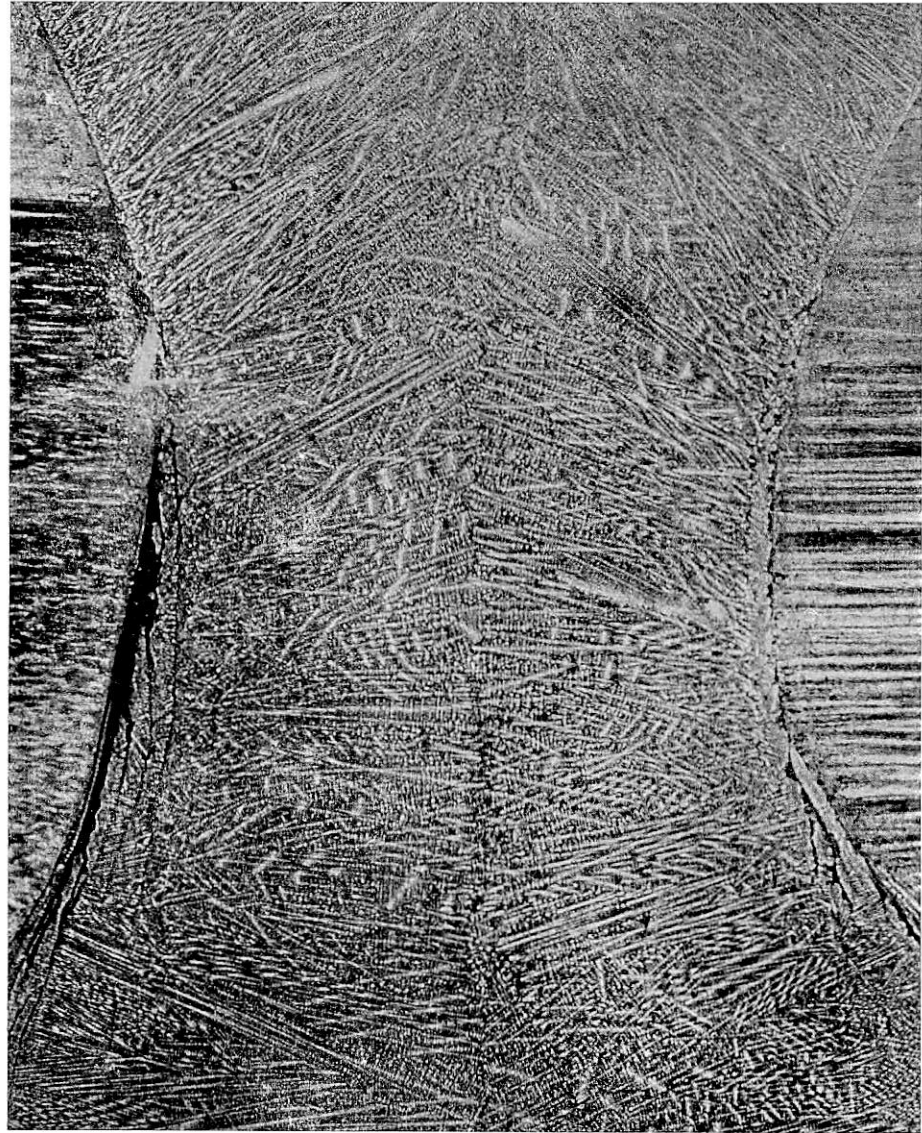


Abb. 36. Zwischengußschweißung ohne Stauchung, geglüht. Ätzung I, $\times 2,5$.

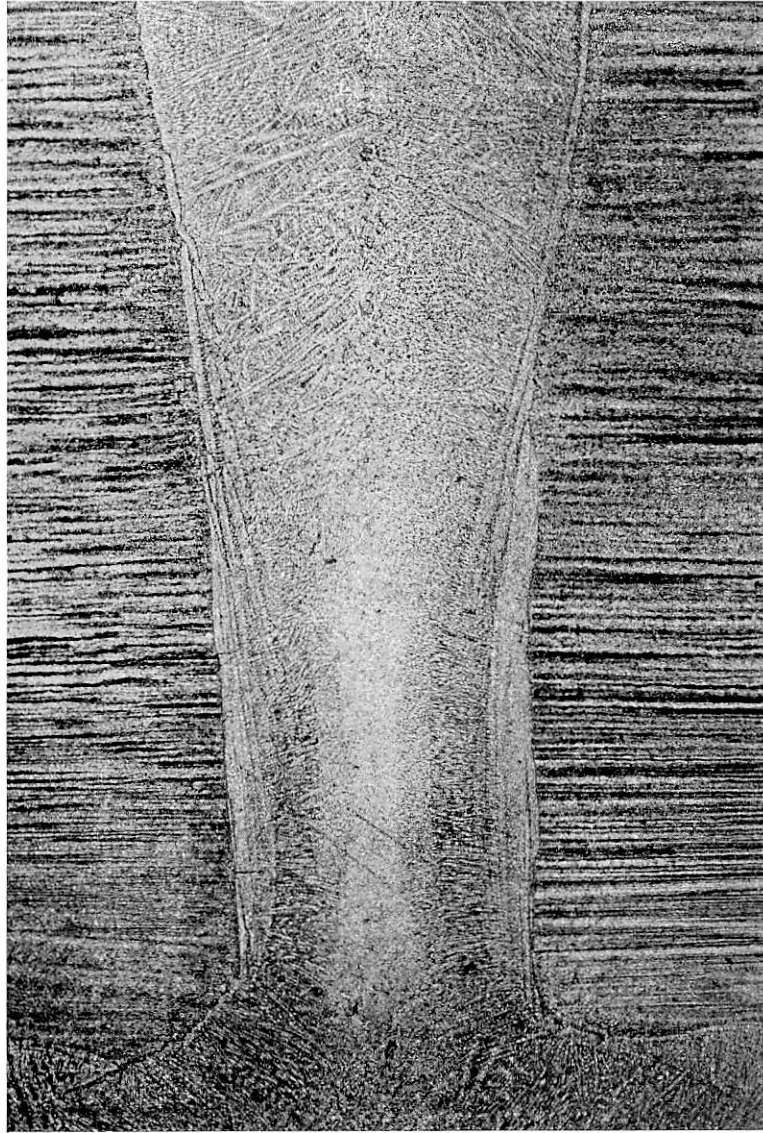


Abb. 37. Zwischengußschweißung mit Stauchung, ungeglüht. Ätzung I, $\times 2,5$.

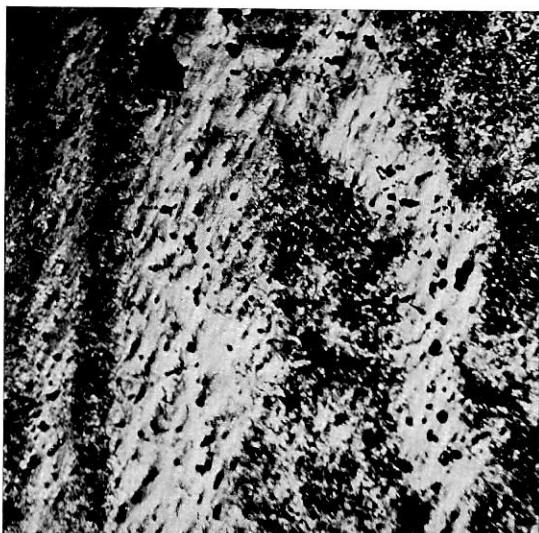


Abb. 38. Übergangsstelle aus Abb. 36 oder 37.
Ätzung I, $\times 50$.

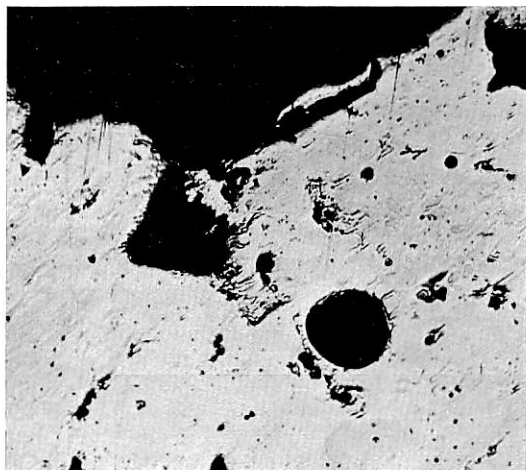


Abb. 39. Übergangsstelle aus Abb. 36 und 37.
Ungeätzt. $\times 75$.

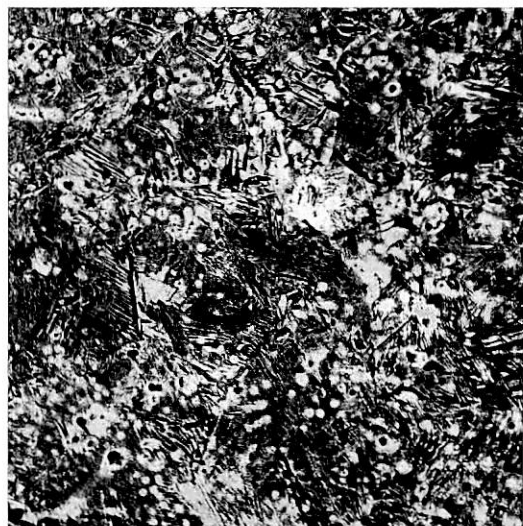


Abb. 40. Übergangsstelle aus Abb. 42.
Ätzung I, $\times 50$.

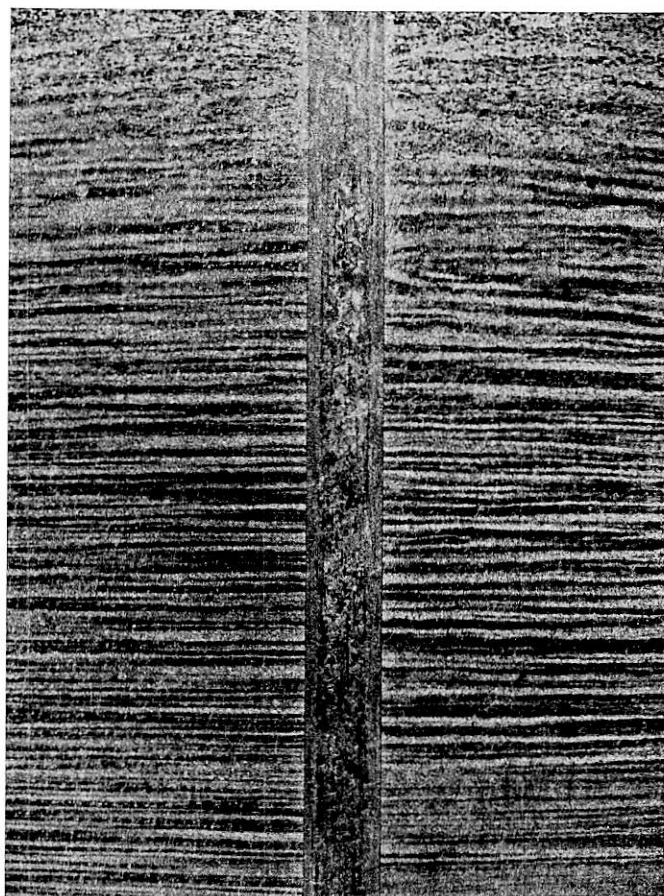


Abb. 41. Kombinierte Schweißung (Schienenkopf). Ätzung I $\times 2,5$.

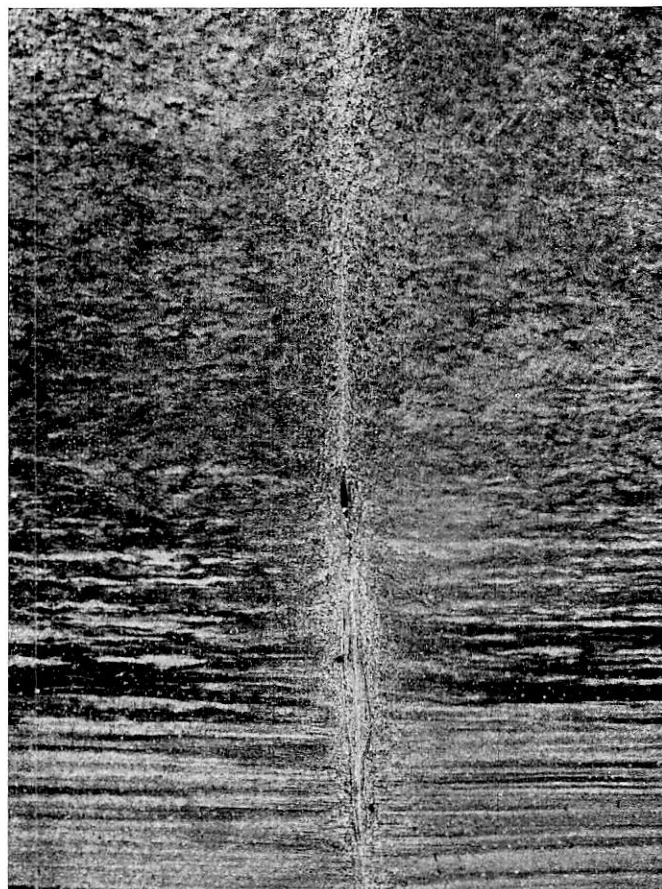


Abb. 42. Elektrische Widerstands-Abschmelzschweißung.
Ätzung I, $\times 2,5$.

das Zustandekommen eines Zwischengusses notwendige Spalt bestehen bleibt (vergl. Abb. 46 und Abb. 19 und 20). Durch Verstärkung des Schweißbleches ist solchen Fehlschweißungen sehr einfach vorzubeugen. Bekanntlich gelingt aber eine derartige Verbindung am besten bei einer Schweißblechstärke von höchstens 0,5 mm. Bei der kombinierten Schweißung

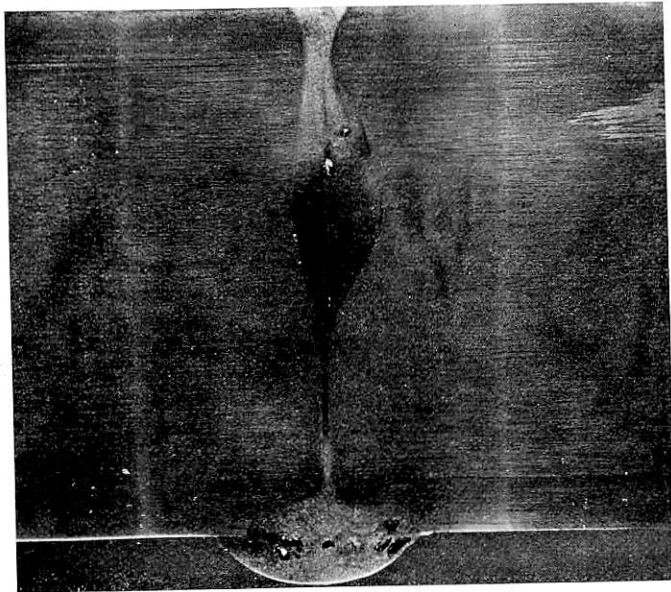


Abb. 43. Fehlschweißung durch ungenügende Vorwärmung (Zwischenguß mit Stauchung).

sind also zwei Verfahren vereinigt, die entgegengesetzte Bedingungen verlangen. Der Zwischenguß erfordert einen Mindestabstand der beiden Schienenquerschnitte, die Stumpfschweißung ein nicht zu breites Zwischenblech. Bereits bei 6 mm Stärke des Zwischenbleches tritt der Unterschied in der Richtung der Zeilenstruktur so stark in Erscheinung, daß

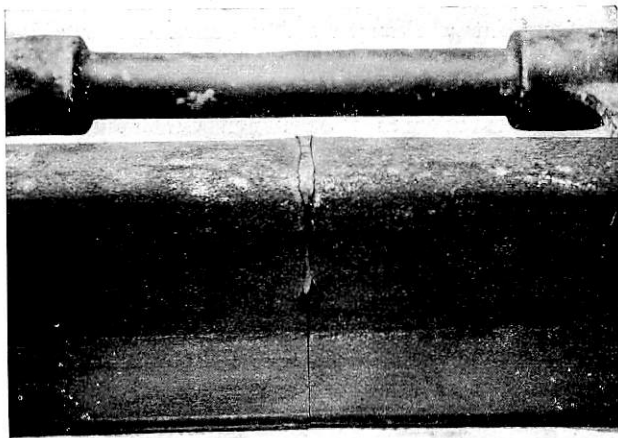


Abb. 45. Ein Stoß auf diese Art vorbereitet führt zur Fehlschweißung, da keine Schweißlücke im Steg und Fuß vorhanden. (Schienenform Bay. X).

überhaupt keine Verbindung mehr zustande kommt, wie Abb. 41 erkennen läßt. Die Faser liegt dann meist in der gefährlichen Richtung, was auch der größte Teil der Brüche von Probestäben (vergl. Abb. 33 bis 35, Stumpf- und kombinierte Schweißung) beweist. Demnach müßte also ein Schweißblech verwendet werden, dessen Primärzeile parallel zu der Schiene läuft. Der Idealfall einer Schweißverbindung wird aber auch dann nicht eintreten, da ja die mechanische Durcharbeitung der Schweißstelle immer noch fehlt. Trotzdem kann bei

genügender Vorsicht und fachgemäßer Ausführung mit Hilfe der Thermitschweißung eine Verbindung von gleichmäßiger Güte erreicht werden, die, von Ausnahmefällen abgesehen, im allgemeinen den Anforderungen gerecht wird.

Bei der elektrischen Schweißung liegen noch zu wenig Erfahrungen vor, um ein abschließendes Urteil abgeben zu

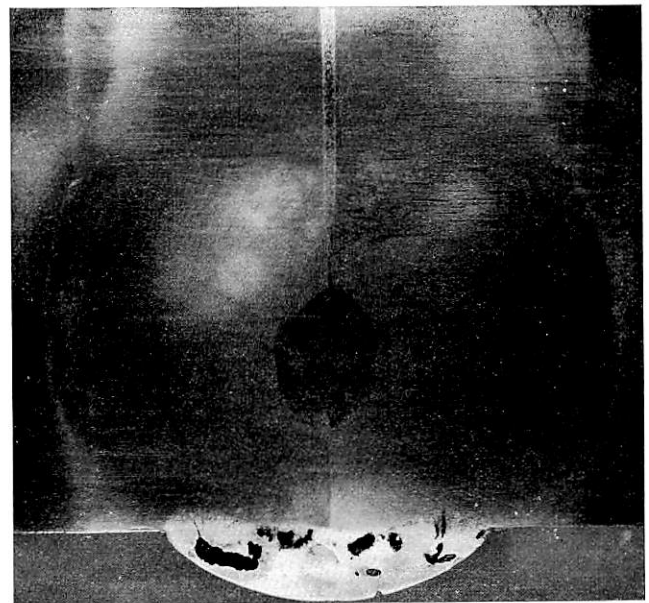


Abb. 44. Fehlschweißung durch ungenügende Vorwärmung und infolge Fehlens der Schweißlücke im Steg und Fuß. (Kombinierte Schweißung).

können. Vorerst müssen die Fertigkeitswerte noch als sehr niedrig, zum Teil als ungenügend, bezeichnet werden, obgleich aus einigen Proben zu erkennen ist, daß mit der Widerstandsschweißung, eine gute Ausführung vorausgesetzt, wesentlich

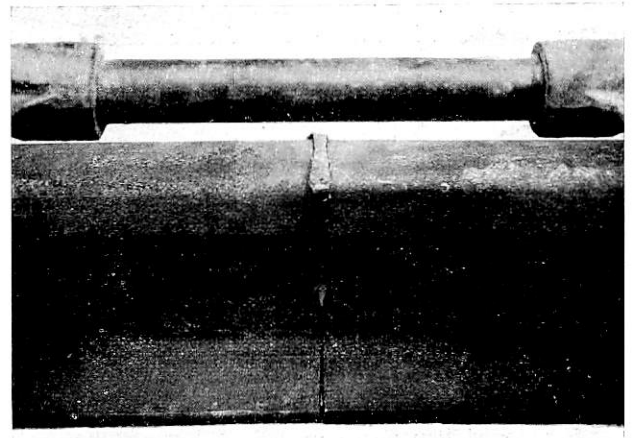


Abb. 46. Richtig vorbereiteter Stoß. (Schienenform S 49).

höhere Zähigkeitswerte erreicht werden können als mit der Thermitschweißung. Unsere Versuche haben gezeigt, daß bei den meisten Stößen die Stauchung unzureichend war, wie überhaupt bei der Widerstandsschweißung die Güte der Verbindung in der Hauptachse von der Stauchung abhängt. Abb. 40 gibt eine Schweißstelle aus Abb. 42 in 50facher Vergrößerung, primär geätzt, wieder. Auch hier ist eine, wenn auch schwache Dentritenbildung festzustellen. Ferner ist die Übergangsstelle mit Schlacken und Gasblasen, sowie Seigerungsstellen durchsetzt. In erster Linie müssen also durch Anwendung eines

genügend großen Stauchdruckes sämtliche Hohlräume verschweißt und die Verunreinigungen herausgepreßt werden. In diesem Fall wäre die größte Annäherung an das Ziel einer Schienenverbindung erreicht.

Zusammenfassung.

Die bisherigen Schienenschweißverfahren stellen noch keine nach allen Richtungen befriedigende Lösung dar.

Die nachträgliche Glühbehandlung bringt wohl eine durchgehende Kornverfeinerung des Sekundärgefüges der durch die Schweißung überhitzten Schiene, aber keine wesentliche Erhöhung der Festigkeitseigenschaften. Bei vollständiger Umkristallisation des Zwischengusses wird eine schwache Kornvergrößerung in der Schiene nicht zu umgehen sein, jedoch kann das Primärgefüge, wie unsere Versuche bewiesen, sehr schwer verändert werden. Dies ist nur durch eine mechanische Warmbearbeitung möglich, die aber beim Thermitschweißverfahren nicht durchführbar ist. Bei der Schmelzgußschweißung weisen die Grenzflächen von Schiene und Thermitisen im Primärgefüge sehr große Unterschiede im Strukturaufbau auf, demzufolge müssen auch die mechanischen Eigenschaften sehr verschieden sein. Die statischen Festigkeitsprüfungen ergaben einigermaßen zufriedenstellende Werte. Dagegen zeigten die Versuche, daß von der Thermitschweißung nur sehr geringe Form-

änderungsfähigkeit verlangt werden kann. Ein Teil der unbefriedigenden Ergebnisse ist auf Fehlschweißungen zurückzuführen.

Die elektrisch geschweißten Stöße ergaben teilweise ebenfalls geringe Festigkeitswerte, was ausschließlich auf ungenügende Stauchung zurückzuführen ist. Sollte es der Widerstandsschweißung gelingen, durch Anwendung genügend großer Stauchdrücke eine homogene Schweißverbindung zu erzielen, so kann sie ohne Bedenken als bestes Schienenschweißverfahren bezeichnet werden. Vorerst wird aber seine Anwendung nur auf die Werkstätten beschränkt bleiben zum Zusammenschweißen von Schienen von nicht allzu großer Länge. Auf der Strecke wird die Anwendung wegen des Transportes der dazu benötigten Maschinen noch zu große Schwierigkeiten machen.

Am Schluß der Untersuchungen fühle ich mich verpflichtet, allen jenen, die die Arbeit gefördert haben, insbesondere Herrn Direktor Gollwitzer und Herrn Reichsbahnrat Dr. Ing. Berchtenbreiter, München, der die Festigkeitsprüfungen durchführte, meinen besten Dank auszusprechen. Auch will ich nicht unterlassen, an dieser Stelle insbesondere Herrn Dr. Ing. von Schwartz, München, sowie Herrn Dr. Ing. Goldmann, Pasing bei München, die mir in entgegenkommender Weise mehrere Mikrobilder anfertigten, bestens zu danken.

Prüfung und Bewertung von Gleisbettungsstoffen.

Von Reichsbahnoberrat Stübel, Kassel.

Angesichts der für Bettungserneuerungen jährlich von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft aufzuwendenden großen Kosten von schätzungsweise 50 Millionen *R.M.* (Beschaffungs-, Beförderungs- und Einbaukosten) ist es von großer wirtschaftlicher Bedeutung, durch geeignete Maßnahmen für eine möglichst lange Lebensdauer der Bettung zu sorgen. Dazu gehört in erster Linie, daß nur solche Bettungsstoffe verwendet werden, die gegen die einwirkenden Kräfte möglichst widerstandsfähig, also dauerhaft sind. Wenn trotzdem bisher der Güte der Bettungsstoffe noch nicht allgemein die ihr zukommende Beachtung geschenkt worden ist, so ist der Grund darin zu suchen, daß sichere Anhaltspunkte für die Beurteilung der Eignung von Gesteinen zur Gleisbettung fehlten.

In dieser Erkenntnis hat die Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft vor 3½ Jahren eine Arbeitsgemeinschaft beauftragt, festzustellen, wie und mit welchen Mitteln die Prüfung und Bewertung von Gleisbettungsstoffen am zweckmäßigsten und einwandfrei durchgeführt werden könne. Es sollte dabei angestrebt werden, für die in den einzelnen Brüchen vorhandenen Gesteine auf Grund der Prüfungsergebnisse Gütezahlen festzustellen, um bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen, z. B. zum Vergleich von Angeboten, den Wert eines jeden Gesteins für Bettungszwecke zahlenmäßig beurteilen zu können.

Diese Arbeitsgemeinschaft, die aus den Vizepräsidenten Senst (Reichsbahndirektion Erfurt) und Eickemeyer (Reichsbahndirektion Ludwigshafen) sowie dem Verfasser bestand, hat ihre Arbeit nunmehr abgeschlossen. Auf ihren Vorschlag hat sich die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft veranlaßt gesehen, eine eigene Gesteinsprüfstelle bei der Reichsbahndirektion Kassel einzurichten. Diese Prüfstelle, die mit einem Geologen und einem technischen Prüfbeamten besetzt ist, wird künftig von Zeit zu Zeit Proben aus allen für die Reichsbahn liefernden Steinbrüchen nach den aufgestellten Richtlinien prüfen und den Beschaffungsdirektionen darüber Gutachten erstatten. Diese Richtlinien sehen eine Prüfung der Wetterbeständigkeit und der Festigkeit der Gesteine vor.

Die Wetterbeständigkeit wird nach den vom Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik (DVM) genormten Prüfverfahren geprüft und zwar:

durch eine petrographische Untersuchung nach DIN DVM 2101;

durch eine Untersuchung der Frostbeständigkeit nach DIN DVM 2104 und

durch eine Untersuchung auf Sonnenbrand bei allen Basalten. Durch diese Untersuchungen soll gewährleistet werden, daß nur genügend wetterbeständige Gesteine verwendet werden.

Die Prüfung der Festigkeit sowie die Bewertung der Gesteine erfolgt dagegen nach neuen Gesichtspunkten, die der Eigenart der Beanspruchung der Bettungsstoffe Rechnung tragen.

Aus den vielseitigen Anfragen zu schließen, besteht bei der Steinindustrie und auch bei den Materialprüfungsanstalten der rege Wunsch, näheres über die Art dieser Prüfung und der Bewertung der Gleisbettungsstoffe zu erfahren. Es soll daher die folgende Abhandlung soweit wie möglich darüber Aufschluß geben. Vor der Erörterung des von der Reichsbahn jetzt eingeführten Prüfverfahrens erscheint es erforderlich, zunächst über die früher von verschiedenen Seiten für die Prüfung der Festigkeit von Gleisbettungsstoffen gemachten Vorschläge einen Überblick zu geben.

1. Eisenbahndirektor Schubert hat wohl als erster vor 40 Jahren sehr beachtenswerte Versuche nach dieser Richtung hin vorgenommen und darüber in der „Zeitschrift für Bauwesen“, Jahrgang 1896, Seite 79 und 1897, Seite 207, berichtet. In einem eisernen Kasten wurde ein Schwellenstück eingebettet und mehrmals mit der Stopfhacke von Hand gestopft. Die Raummengen des hierbei zerkleinerten Bettungsstoffes von 0 bis 12 mm Durchmesser, von 0 bis 2 mm Durchmesser und von 0 bis ¾ mm Durchmesser, bezogen auf die Anzahl der Stopfschläge, dienten zum Vergleich der Haltbarkeit verschiedenartiger Bettungsstoffe. Das Ergebnis dieser Versuche war folgendes:

Gesteinsart	Anzahl der Stopfschläge, die entfielen auf 11 zerkleinerten Bettungsstoff der Korngröße von		
	0 bis 12 mm	0 bis 2 mm	0 bis 3/4 mm
Basalt	185	422	676
Grauwacke	240	444	606
Granit	105	175	249
Diorit	84	245	364
Quarzit	141	322	434
Hochofenschlacke	99	158	208

Diese Ergebnisse lassen die großen Unterschiede in der Haltbarkeit verschiedener Gesteine vergleichsweise erkennen; sie können selbstverständlich nicht als Durchschnittswerte für die angegebenen Gesteinsarten gelten, da Schubert von jeder Gesteinsart nur ein Gestein geprüft hat. Immerhin sind die Schubertschen Ergebnisse wertvoll, weil die Versuche unter Verhältnissen ausgeführt wurden, die sich der tatsächlichen Beanspruchung der Bettungsstoffe stark nähern. Auch bieten diese Ergebnisse wenigstens die Möglichkeit einer wenn auch nicht ganz einwandfreien Wertberechnung. Nach den obigen Versuchsergebnissen steht nämlich die Dauerhaftigkeit der geprüften Gesteine in folgendem Verhältnis, wenn die Haltbarkeit des Basaltes = 100 gesetzt wird:

Gesteinsart	Verhältniszahlen für die Dauerhaftigkeit			Mittel
Basalt	100	100	100	100
Grauwacke	130	105	90	108
Granit	57	42	37	44
Diorit	45	58	54	52
Quarzit	76	76	64	72
Hochofenschlacke	53	37	31	40

Ähnliche Stopfversuche hat in neuerer Zeit auch Prof. Dr. Ing. Pirath, Stuttgart, in Betriebsgleisen vorgenommen (siehe „Verkehrstechnische Woche“, Heft 20/1928). Leider hat er bisher nur die beim Stopfen mit Schotter aus verschiedenen Gesteinsarten anfallenden Trümmermengen angegeben, ohne sich darüber auszusprechen, welche Schlüsse man aus diesen Ergebnissen auf die Dauerhaftigkeit der einzelnen Gesteine ziehen muß. Ich werde auf diese Versuche später noch zurückkommen.

So wertvoll solche Versuche zur Erkenntnis der Eignung von Gesteinen für Bettungszwecke auch sind, so können sie begreiflicherweise doch eine maschinelle Festigkeitsprüfung der Gesteine nicht ersetzen.

2. Professor Rudloff hat 1897 erstmalig versucht, Bettungsstoffe auch maschinell in der Form zu prüfen, in der sie verwandt werden. Die Versuche erstreckten sich auf die Feststellung der Widerstandsfähigkeit

- a) gegen den Schlag mit der Stopfhacke, .
- b) gegen stoßweise wirkenden Druck und
- c) gegen stetig gesteigerten Druck.

Bei der Prüfung a) wurde der in einen Holzkasten eingebrachte Schotter (5 kg) unter einem Fallwerk mit 800 Schlägen eines 9,6 kg schweren Bären in Form des Beschlages einer Stopfhacke zertrümmert (Schlagarbeit = 1656 mkg).

Die Prüfung b) erfolgte in gleicher Weise, jedoch mit 2500 Schlägen eines Fallbären, der eine größere Aufschlagfläche und ein Gewicht von 15 kg hatte (Schlagarbeit = 7925 mkg).

Bei der Prüfung c) wurde der Schotter in einen eisernen Hohlzylinder von 12 cm Durchmesser i. L. 10 cm hoch eingerüttelt und mit einem Stempel bei einem Druck bis zu 20000 kg zerdrückt.

Bei allen drei Prüfungen wurden alsdann die Trümmermengen in den verschiedenen Korngrößen durch Absiebung auf mehreren Sieben festgestellt. Einen Maßstab für die Widerstandsfähigkeit der Gesteine sollte ergeben:

die Menge des übriggebliebenen Schotters und
 „ „ „ angefallenen Gruses (0 bis 6 mm Durchmesser).

Nähere Einzelheiten über diese Prüfungen sowie ihre Ergebnisse und Auswertung sind aus den „Mitteilungen der Technischen Versuchsanstalten“, Jahrgang 1897, Seite 279 bis 321, ferner aus einem Aufsatz von Prof. Burchartz und Dipl.-Ing. Saenger im „Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens“, Heft 16, 1927, zu ersehen. Ich sehe daher davon ab, hier noch näher darauf einzugehen, möchte aber noch auf folgendes hinweisen:

Bei der Prüfung a) und b) sind die Absplitterungen am Schotter trotz der vielen Schläge wegen des zu leichten Bärengewichtes zu gering und scheinen auch von Zufälligkeiten zu sehr abhängig zu sein. Es können daher aus den Ergebnissen keine einwandfreien Vergleichswerte für die Widerstandsfähigkeit der Gesteine gewonnen werden.

Dagegen ist dies bei der Prüfung c) bei Verwendung eines größeren Preßzylinders und einer größeren Probemenge (etwa 3 l) sowie bei zweckmäßiger Auswertung*) der Ergebnisse wohl möglich, so daß diese Prüfung einen guten Ersatz für die teure Druckprüfung an Würfeln darstellt.

3. Die Amerikaner A. T. Goldbeck und F. M. Jacksen haben auf dem 6. Kongreß des „Internationalen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik“ 1912 in New York vorgeschlagen, die Bettungsstoffe nach den Verfahren für Straßenschotter zu prüfen und zwar:

- auf Härte
- auf Widerstand gegen Abnutzung und
- auf Zähigkeit.

Zur Prüfung der Härte diente die Schleifscheibe nach Dorry**). Der Gewichtsverlust G der zylindrischen Probekörper nach 1000 Umdrehungen ergab den Härtegrad H nach der Formel: $H = 20 - \frac{1}{3} G$.

Zur Prüfung des Widerstandes gegen Abnutzung wurden 5 kg Schotter in der Deval-Trommel**) etwa eine halbe Stunde gekollert. Die dabei abgeriebene Menge von 0 bis 1,6 mm Korngröße in % des Gesamtgewichts stellte die Abnutzungszahl dar, zu der die Widerstandsfähigkeit im umgekehrten Verhältnis steht.

Zur Prüfung der Zähigkeit diente das Fallwerk von Page***) mit einem 2 kg schweren Hammer. Die Fallhöhe betrug beim ersten Schlag 1 cm und wurde bei jedem folgenden Schlag um 1 cm erhöht. Die Anzahl der zur Zerstörung der zylindrischen Probekörper (25 mm Durchmesser) erforderlichen Schläge ergab den Maßstab für die Zähigkeit.

Die nach diesen Verfahren an etwa 1500 Gesteinen vorgenommenen Prüfungen hatten folgendes Durchschnittsergebnis:

*) Die Prüfungsergebnisse müßten m. E. in derselben Weise ausgewertet werden, wie später bei dem Zähigkeitsprüfverfahren der Reichsbahn angegeben ist.

**) Siehe Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure Band 70 (1926) Heft Nr. 42, Seite 1371 und 1372.

***) Siehe Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 70 (1926) Heft Nr. 42, Seite 1371 und 1372.

Gesteinsart	Anzahl der Prüfungen	Härte	Abnutzung %	Zähigkeit
Basalt	150	17,3	2,9	18
Kalkstein	550	14,4	5,2	8
Sandstein	250	15,0	5,7	12
Granit	150	18,5	4,5	12
Andesit	50	17,1	3,8	18
Diabas	130	17,7	2,7	20
Diorit	15	18,2	3,3	16
Gabbro	25	17,8	3,0	15

Auch aus diesen Ergebnissen lassen sich für die einzelnen Eigenschaften der Gesteine annähernd richtige Wertzahlen errechnen. Setzt man die Werte beim Basalt = 100, so stehen die Durchschnittsfestigkeiten der untersuchten Gesteine in folgendem Verhältnis:

Gesteinsart	Verhältniszahlen für		
	Härte	Widerstand gegen Abnutzung	Zähigkeit
Basalt	100	100	100
Kalkstein	83	55	44
Sandstein	86	51	67
Granit	107	64	67
Andesit	99	75	100
Diabas	102	107	111
Diorit	105	88	90
Gabbro	103	97	83

Beachtenswert ist hierbei, welche großen Unterschiede die Werte für die Härte und die Zähigkeit aufweisen. Es ist daraus zu erkennen, von welcher Bedeutung es für die richtige Beurteilung der Eignung von Gesteinen für einen bestimmten Verwendungszweck ist, daß nur die hierfür ausschlaggebenden Eigenschaften bei der Wertbemessung berücksichtigt werden.

4. Professor Otto Ammann hat in der „Festschrift zur Jahrhundertfeier der Technischen Hochschule Karlsruhe“ 1925 vorgeschlagen, Bettungsstoffe zu prüfen auf:

Druckfestigkeit (an Würfeln);

Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung (mit dem Sandstrahlgebläse an zylindrischen Probekörpern);

Schlagfestigkeit.

Zur Ermittlung der Schlagfestigkeit wurden vorgenommen:

Bohrversuche mit einem 15 kg schweren Flottmannschen Bohrhammer und

eine besondere Stampfprobe, bei der der Probeschotter in einen eisernen Kasten mit einem Preßlufthammer eingestampft wurde.

Hierbei sollte als Maßstab für die Schlagfestigkeit verschiedener Gesteine gelten das Verhältnis der Stampfarbeit zu

der Hohlraumverminderung des Schotters,

der Menge des noch brauchbaren Schotters über 25 mm Durchmesser und zu

der Staubmenge unter 3 mm Durchmesser.

Auf Grund der Ergebnisse dieser Prüfungen an drei Gesteinen (Porphy, Granit und Kalkstein) hat Professor Ammann für ihre Festigkeiten nachstehende Verhältniszahlen ermittelt (die Werte des Porphy = 100 gesetzt):

Damit hat Professor Ammann anerkannter Weise wohl als erster versucht, auf Grund von Prüfungsergebnissen eine zahlenmäßige Bewertung von Bettungsstoffen einzuführen. Man vermißt jedoch bei seinen Vorschlägen einen Hinweis darauf, in welchem Verhältnis die von ihm für die einzelnen

	Porphy	Granit	Kalkstein
Druckfestigkeit	100	81	32
Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung	100	96	41
Schlagfestigkeit, ermittelt durch:			
Bohrversuche	100	100	40
Stampfproben und zwar beurteilt nach:			
der Hohlraumverminderung	100	106	47
der Menge des guten Schotters	100	194	55
der Staubmenge	100	137	68

Gesteinseigenschaften errechneten Wertzahlen bei der Bewertung der Bettungsstoffe in Betracht gezogen werden sollen. Die am Schlusse seiner Ausführungen angegebene mehr gefühlsmäßige Bewertung erscheint m. E. nicht hinreichend, um darauf die von ihm beabsichtigte Preisbemessung zu gründen. Auch die Auswertung der vorgeschlagenen Stampfprobe nach drei Gesichtspunkten ergibt so sehr voneinander abweichende Verhältniszahlen, daß daraus eine Wertzahl für die Schlagfestigkeit kaum zu ermitteln ist.

5. Professor Burchartz und Dipl.-Ing. Saenger halten in ihrem Aufsatz über „Versuche mit Hochofenstückschlacke als Gleisbettungsstoff“ im „Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens“, Heft 16, 1927, auf Grund ihrer Versuche im Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem folgende Prüfungen für Bettungsstoffe am zweckmäßigsten:

Prüfung auf Druckfestigkeit nach dem Rudloffschen Verfahren,

Prüfung auf Kanten- und Stoßfestigkeit mit einer Trommel (siehe DIN DVM 2106) als Ersatz für die Zähigkeitsprüfung.

Dieser Vorschlag beschränkt sich darauf, für die Zerkümmerung und Abnutzung des Schotters bei diesen Prüfungen zulässige Grenzwerte zu ermitteln, um unbrauchbare Stoffe auszuschneiden. Es wird aber darauf verzichtet, aus den Prüfungsergebnissen Wertzahlen für die Widerstandsfähigkeit der Gesteine zu gewinnen. Im übrigen erscheint es mir nicht angängig, den Trommelversuch als Ersatz für die Zähigkeitsprüfung anzusehen, weil die Beanspruchung des Schotters beim Kollern in der Trommel vorzugsweise auf Abschleifen oder Abnutzung gerichtet ist, während die Schlag- oder Stoßbeanspruchung selbst bei Verwendung von Stahlkugeln nur sehr gering ist. Es erweist sich daher ein sehr hartes, dabei aber sprödes Gestein bei dieser Prüfung besser als ein weiches und zähes Gestein. Auch bei der Normung ist wohl aus ähnlichen Überlegungen dieser Versuch nicht mehr wie bisher als Prüfung auf „Kanten und Stoßfestigkeit“ angesehen worden, sondern nur als „Kantenfestigkeitsprüfung“ (vergl. DIN DVM 2106). Aber auch diese Bezeichnung halte ich nicht für sehr glücklich, da die Kanten von Schotterstücken ebenso auf Druck wie auf Schlag oder Abschleifen beansprucht werden können. Die Bezeichnung „Kantenfestigkeit“ ist daher kein eindeutiger Begriff. M. E. sollte man überhaupt keine Prüfungen anwenden, die wie z. B. der Trommelversuch mehrere Eigenschaften des zu prüfenden Gesteins vermengen. Vielmehr sollte angestrebt werden, jede für einen bestimmten Verwendungszweck wichtige technische Eigenschaft eines Baustoffes herauszuschälen und möglichst rein und unverfälscht zu prüfen. Übrigens läßt sich aus den Ergebnissen der Trommelprüfung auch für die sogenannte Kantenfestigkeit eine Wertzahl nicht gewinnen. Diese Möglichkeit sollte m. E. aber bei allen Prüfungen angestrebt werden.

Die meisten der angeführten Vorschläge halten für Gleisbettungsstoffe eine Prüfung auf Druckfestigkeit, Härte,

Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung und auf Schlagfestigkeit (Zähigkeit) für notwendig. Diese Auffassung ist wohl darauf zurückzuführen, daß für Gleisschotter eine dem Straßenschotter gleichartige Beanspruchung auf Druck, Reibung und Stoß vorausgesetzt wurde. Von diesen Prüfungen hat die auf Schlagfestigkeit, also auf Zähigkeit bisher wenig Eingang in die Praxis gefunden, weil wohl dieser Prüfung keine große Bedeutung beigemessen wurde und noch kein einheitliches Prüfverfahren gefunden war. Infolgedessen hat sich die Prüfung von Gleisbettungsstoffen bisher meist auf die Feststellung der Druckfestigkeit, Härte oder Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung beschränkt. Es finden sich daher in den Prüfungszeugnissen der Materialprüfungsämter nur selten Werte für die Zähigkeit der Gesteine. Dies hat dazu geführt, daß in der Praxis bei der Beurteilung von Gesteinen auf ihre Eignung für Bettungszwecke die Zähigkeit meist ganz außer Betracht gelassen wurde. Daß aber gerade hierin eine vollständige Verkenntung der an Gleisbettungsstoffe zu stellenden Anforderungen lag, beweisen folgende Darlegungen:

Die Druckfestigkeit spielt für Gleisbettungsstoffe keine allzu große Rolle, weil der Druck der Verkehrslasten unter den



Abb. 1.

Geringe Abnutzung des Schotters durch den Druck der Schwellen.

Schwellen so gering ist, daß ihm alle Gesteine mit einer Druckfestigkeit über 1500 kg/cm^2 genügend Widerstand bieten. Zum Beweise dafür möchte ich nur darauf hinweisen, daß man beim Aufnehmen der Schwellen die Schottersteine, die unmittelbar als Auflager gedient haben, trotz Jahrzehnte langer Lagerung noch unversehrt vorfindet (siehe Abb. 1). Da somit eine Druckfestigkeit über 1500 kg/cm^2 in der Bettung nicht ausgenutzt wird, bedeutet eine Steigerung der Druckfestigkeit über dieses Maß hinaus keinen Wertzuwachs mehr für die Eignung eines Gesteins für Bettungszwecke. Bei der Feststellung von Gütezahlen für Gleisbettungsstoffe kann daher die Druckfestigkeit außer Betracht bleiben, da Gesteine mit einer Druckfestigkeit unter 1500 kg/cm^2 ohnehin für die Gleisbettung nicht verwendbar sind.

Noch weniger wichtig ist für Gleisbettungsstoffe die Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung und die Härte der Gesteine, da die Bettungsstoffe auf Reibung oder Abschleifen nicht beansprucht werden. Diese Eigenschaften scheiden daher für die Prüfung und Bewertung der Bettungsstoffe vollständig aus.

Die Schlagfestigkeit (Zähigkeit) der Gesteine ist dagegen für ihre Eignung zur Gleisbettung von ausschlag-

gebender Bedeutung, da die Bettungsstoffe durch die Schlagwirkungen beim Stopfen außerordentlich stark beansprucht werden. Dieser Beanspruchung bietet kein Gestein einen genügenden Widerstand. Vielmehr wird jedes Gestein durch die Stopfschläge mehr oder weniger zu Splitt, Grus und Staub zerkümmert. Wie Versuche ergeben haben, beträgt diese Trümmernmenge bei einer Stopfung je nach der Schlagfestigkeit des verwendeten Gesteins bis zu 5%. Eine Bettung kann daher bei Verwendung wenig schlagfesten Gesteins schon nach zehnmalem Stopfen unbrauchbar werden, da sie bei einem Anfall von etwa 50% Splitt, Grus und Staub nicht mehr wasserdurchlässig ist. Am schnellsten wird die Bettung an den Schienenstößen zerstört, weil die Stoßschwellen öfter und stärker gestopft werden müssen als die Mittelschwellen. Diese Zerstörung der Bettung beim Stopfen kann selbstverständlich durch die Einwirkung der Witterung noch unterstützt und schneller befördert werden, wenn das verwendete Gestein nicht wetterbeständig ist. Da jedoch nach den früheren Darlegungen nicht genügend wetterbeständige Gesteine von der Verwendung unbedingt ausgeschlossen werden, so kann man wohl sagen, daß die Lebensdauer der Gleisbettungsstoffe lediglich von ihrer Schlagfestigkeit abhängig ist. Die Eignung der Gesteine für Gleisbettungszwecke kann somit ausschließlich nach dem Grade ihrer Schlagfestigkeit, also ihrer Zähigkeit bewertet werden. Bei dieser Bewertung wird man zweckmäßig immer von dem Prüfungsergebnis eines bestimmten Gesteins, das als Normengestein die Gütezahl 100 erhalten hat, ausgehen. Man braucht also für jedes andere Gestein nur das Verhältnis seiner Zähigkeit zu der des Normengesteins zu ermitteln, um die Gütezahl für das betreffende Gestein zu erhalten.

Bei der Bedeutung, die hiernach der Zähigkeitsprüfung für die Bewertung von Gleisbettungsstoffen zukommt, kam es darauf an, für diese Prüfung ein ganz einwandfreies Verfahren zu finden, das folgenden Anforderungen genügen mußte:

Die Prüfungsergebnisse mußten einen zahlenmäßigen Vergleich des Zähigkeitsgrades verschiedener Gesteine ermöglichen.

Bei der Prüfung mehrerer Proben aus demselben Gestein durfte keine große Streuung auftreten. Die Prüfung mußte einfach und ohne große Kosten durchführbar sein.

Diesen Erfordernissen entsprachen die bereits beschriebenen Zähigkeitsprüfverfahren aus den dargelegten Gründen nicht oder nicht genügend. Noch weniger geeignet erschien die vom „Deutschen Verband für die Materialprüfungen der Technik (DVM)“ genormte Schlagfestigkeitsprüfungen (siehe DIN DVM 2107) nach dem Verfahren Föppl, weil bei dieser Prüfung das kostspielige Schneiden von Würfeln erforderlich wird, und die Streuung bekanntlich außerordentlich groß ist, besonders bei der Prüfung von Basalten. Mir liegt ein Prüfungszeugnis einer Staatlichen Materialprüfungsanstalt vor, nach dem bei einer solchen Prüfung zur Zerstörung von zehn Basaltwürfeln aus dem gleichen Steinbruch eine Schlagarbeit erforderlich war von 133, 279, 43, 11, 10, 154, 269, 53, 41 und 31 cmkg/cm^3 . Es ist klar, daß derartig stark voneinander abweichende Werte keinen zutreffenden Vergleich der Zähigkeit verschiedener Gesteine zulassen. M. E. beruht die große Streuung bei diesen Verfahren in der Hauptsache darauf, daß zufälligerweise in einzelnen Probewürfeln feine Haarrisse vorhanden sind, die von Zerklüftungen, Sprengungen im Steinbruch oder auch von dem gewaltsamen Zersägen herrühren können, und daß infolgedessen die normale Schlagfestigkeit stark herabgesetzt wird. Diese Zufälligkeiten wird man m. E. auch durch Verbesserung des Verfahrens nicht ausschließen können. Mit Rücksicht auf diese Nachteile mußte dieses und alle ähnliche Verfahren, wie z. B. das von Page, für die Prüfung von Bettungsstoffen abgelehnt werden.

Da somit keines der bisher angewandten Verfahren den gestellten Ansprüchen genüge, mußte ein neues Prüfverfahren ausgebildet werden.

Zu diesem Zweck wurde nach den Vorschlägen des Verfassers bereits 1927 ein Dauerfallwerk mit elektrischem Antrieb gebaut (siehe Abb. 2). Ein zylindrischer Fallbär von 19 cm Durchmesser im Gewicht von 50 kg wird mit einer doppelt angeordneten Gallschen Kette gehoben, die mit Nocken unter Mitnehmerbügel des Fallbären greift. Dieser fällt in einen Mörser von 20 cm Durchmesser, in dem sich das Prüfgut befindet. Der Fallbär hat fünf Zähne, die der Schneide einer Stopfhacke nachgebildet sind, so daß die Schläge denen der Stopfhacke nahezu gleichen. Nach jedem Schlag wird der Mörser durch eine von der Kette gesteuerte Klinke um 60° gedreht, damit die Zähne des Fallbären nicht immer in dieselbe Kerbe hauen. Der Mörser ruht auf einem schweren Amboß und dreht sich um einen Bolzen. Dieser kann durch einen Hebeldruck in den Amboß versenkt werden, um den Mörser

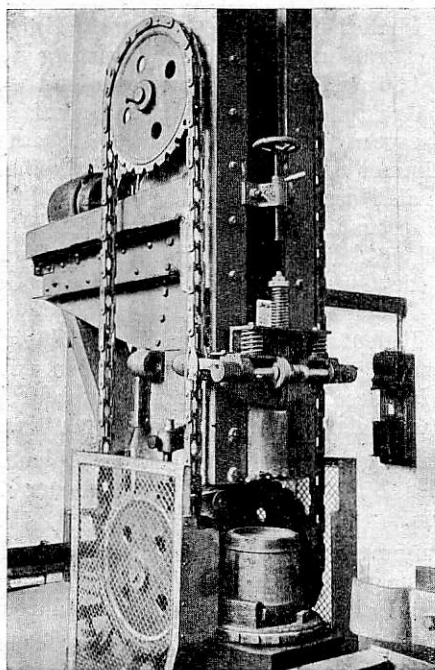


Abb. 2. Dauerfallwerk mit elektrischem Antrieb.

zur Füllung und Entleerung herausrücken zu können. Hierzu dient ein besonderer Wagen, der den Mörser mit einer Klemmvorrichtung fassen, seitwärts fahren und kippen kann.

Nach längeren Versuchen mit diesem Fallwerk und gemäß eingehenden Erwägungen hat sich das folgende Verfahren am zweckmäßigsten erwiesen:

Der Zähigkeitsgrad eines Gesteins wird bestimmt als Mittelwert aus mindestens zwei Prüfungen, die mit Probeshotter gleicher Korngröße und Kornzusammensetzung vorgenommen werden und zwar:

- im getrockneten Zustande (siehe DIN DVM 2102 unter a),
- im wassergetränkten Zustande (siehe DIN DVM 2103 unter b),
- im wassergetränkten Zustande nach dem Frostversuch (siehe DIN DVM 2104 unter c).

Zu jeder Prüfung werden 5 l Schotter verwendet, der je zur Hälfte aus den Kornklassen von 40—50 und 50—60 mm Durchmesser besteht.

(Diese und alle später angegebenen Korngrößen beziehen sich nicht auf die Größe der Steinstücke selbst, sondern auf den Durchmesser der Rundlochsiebe, durch welche die Korngröße

nach unten und oben begrenzt wird. So ist also z. B. die Kornklasse von 50—60 mm Durchmesser ein Siebgut, das durch ein Sieb mit 60 mm Lochdurchmesser durchfällt, aber auf einem Sieb mit 50 mm Lochdurchmesser noch liegen bleibt.)

Zur größeren Genauigkeit werden die Prüfgutmengen nicht abgemessen, sondern unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Schotterraumgewichts, das vorher in einem 10 l-Gefäß festgestellt wird, abgewogen. Das in den Mörser eingebrachte Prüfgut wird mit 50 Schlägen des Fallbären aus einer Fallhöhe von 50 cm zertrümmert. Die Schlagarbeit beträgt also bei jeder Prüfung 1250 mkg. Nach Absiebung des Prüfgutes auf fünf Sieben von 30, 20, 10, 7 und 2 mm Lochdurchmesser werden dann die Gewichtsmengen der Kornklassen von über 30, 20—30, 10—20, 7—10, 2—7 und 0—2 mm Durchmesser festgestellt.

Zum Vergleich dieser Prüfungsergebnisse kam es darauf an, eine Möglichkeit zu finden, alle Kornklassen, die sich bei der Zertrümmerung gebildet haben, in Betracht zu ziehen, um für den Zähigkeitsgrad verschiedener Gesteine einwandfreiere Vergleichswerte zu erhalten, als nach den Vorschlägen von Schubert, Rudloff und Ammann möglich gewesen wäre. Die Lösung dieser nicht leichten Aufgabe wurde durch Einführung eines Entwertungsfaktors für jede Kornklasse der Trümmermengen gefunden. Es war hierfür der Gesichtspunkt maßgebend, daß jede dieser Kornklassen den Gleisschotter mehr oder weniger entwertet. Diese Entwertung ist darin zu erblicken, daß die bei der Zertrümmerung anfallenden Kornklassen mehr oder weniger in den Hohlräumen des Schotters verschwinden und infolgedessen

einen Verlust an Raummenge und eine Hohlraumverminderung und damit eine Beeinträchtigung der Wasserdurchlässigkeit herbeiführen.

Diese Entwertung steht zu dem Raumgewicht und dem Dichtigkeitsgrad der Trümmermengen verschiedener Korngröße und Kornzusammensetzung in einem bestimmten Verhältnis und kann daher durch Versuche und Berechnungen, auf die ich hier nicht näher eingehen kann, zahlenmäßig ermittelt werden. Die sich hieraus ergebenden Entwertungsfaktoren betragen für die Kornklassen von:

über 30 mm Durchmesser	0
20—30 „ „	0,4
10—20 „ „	0,8
7—10 „ „	1,2
2—7 „ „	1,5
0—2 „ „	2,2

Vervielfältigt man die Gewichtsmengen der bei der Prüfung angefallenen Trümmermengen mit diesen Entwertungsfaktoren, so erhält man eine Reihe von Zahlen, deren Summe die Gesamtentwertung der geprüften Schottermenge darstellt. Aus dieser Gesamtentwertung ergibt sich dann durch Umrechnung die Entwertung in % bei jeder Prüfung, wie aus folgendem Beispiel zu ersehen ist.

Weitere Prüfungsergebnisse sowie ihre Auswertung sind in der Zusammenstellung 1 und 2 angegeben. Wie daraus ersichtlich, ist die Streuung bei den mit jedem Gestein vorgenommenen zwei Prüfungen außerordentlich gering (im Durchschnitt nur 4 %), ein Beweis, daß bei diesem Prüfverfahren alle Zufälligkeiten fast vollständig ausgeschaltet sind. Die für die geprüften Gesteine in Zusammenstellung 2 angegebene Entwertung in %, die sich in der oben angegebenen Weise errechnet, steht zu dem Zähigkeitsgrad der Gesteine im umgekehrten Verhältnis. Setzt man den Zähigkeitsgrad des Basaltes I (Normenbasalt) = 100, so ergibt sich also z. B. für den Diabas II der Zähigkeitsgrad Z_2 nach der Formel:

$$\frac{Z_2}{100} = \frac{23,4}{19,5}; \quad Z_2 = \frac{23,4 \cdot 100}{19,5} = 120.$$

Ergebnis der Zähigkeitsprüfung mit getrocknetem Probeschotter aus einem Basalt und ihre Auswertung.

Prüfung Nr.		1		2	
Probemenge 5 l		8204 g		8250 g	
Korngröße von	Entwertungsfaktor f	Trümmermengen M	Entwertung E = M · f	Trümmermengen M	Entwertung E = M · f
20—30 „ ø	0,4	668	267	986	394
10—20 „ ø	0,8	630	504	536	429
7—10 „ ø	1,2	196	235	212	254
2—7 „ ø	1,5	298	447	346	519
0—2 „ ø	2,2	178	392	182	400
Summe		8204	1845	8250	1996
Entwertung in % (E · 100): M =		22,5		24,2	

Die so errechneten und in Zusammenstellung 2 (letzte Spalte) angegebenen Verhältniszahlen für den Zähigkeitsgrad stellen nach den früheren Darlegungen gleichzeitig die Gütezahlen für die geprüften Gesteine dar. Die angegebenen Werte können selbstverständlich nicht als Durchschnittswerte für die angegebenen Gesteinsarten gelten, da die Zähigkeitsgrade von Gesteinen derselben Art sehr beträchtliche Unterschiede aufweisen können, wie aus den Prüfungsergebnissen beim Gestein I und IV sowie II und III ersichtlich ist. Es muß daher jedes Gestein besonders geprüft und bewertet werden. Es ist sogar erforderlich, diese Prüfung von Zeit zu Zeit zu wiederholen, weil die Beschaffenheit eines Gesteins in einem Steinbruch erfahrungsgemäß nicht immer gleich bleibt.

Zusammenstellung 1.

Ergebnisse von Zähigkeitsprüfungen mit getrocknetem Probeschotter. Probemenge je 5 l.

Nr.	Art	Prüf.-Nr.	Trümmermengen in g der Kornklasse von:						Summe
			> 30	20—30	10—20	7—10	2—7	0—2	
			mm ø	mm ø	mm ø	mm ø	mm ø	mm ø	
I	Basalt	1	6234	668	630	196	298	178	8204
		2	5988	986	536	212	346	182	8250
II	Diabas	1	6760	564	436	166	268	190	8384
		2	6560	744	510	152	254	190	8410
III	Diabas	1	6026	808	528	178	322	216	8078
		2	6114	640	520	192	352	230	8048
IV	Basalt	1	6192	590	672	264	424	228	8370
		2	6086	600	706	234	430	240	8296
V	Grauwacke	1	5626	438	646	214	372	242	7538
		2	5346	692	634	200	396	270	7538
VI	Melaphyr	1	5356	740	554	192	376	242	7460
		2	5420	684	500	220	378	276	7478
VII	Quarzporphyr	1	5378	606	624	232	444	348	7632
		2	5408	696	586	214	402	300	7606
VIII	Granit	1	4726	686	590	210	472	556	7240
		2	4730	664	642	198	464	534	7232
IX	Jurakalk	1	3676	798	902	324	770	666	7136
		2	3720	710	928	358	796	660	7172
X	Dolomit	1	3010	1056	1086	384	810	628	6974
		2	3496	852	986	362	742	552	6990

Zusammenstellung 2.

Auswertung der Prüfungsergebnisse aus Zusammenstellung 1.

Gesteins-Nr.	Prüf.-Nr.	Entwertung der Trümmermengen bei einem Entwertungsfaktor von:						Gesamtentwertung	Entwertung in %		Verhältnis d. Zähigkeit
		0	0,4	0,8	1,2	1,5	2,2		i. M.		
		0		0,4		0,8			1,2		
I	1	0	267	504	235	447	392	1845	22,5	23,4	100
	2	0	394	429	254	519	400	1996	24,2		
II	1	0	226	349	199	402	418	1594	19,0	19,5	120
	2	0	298	408	182	381	418	1687	20,0		
III	1	0	323	422	214	483	475	1917	23,7	23,9	98
	2	0	256	416	230	528	506	1936	24,1		
IV	1	0	236	538	317	636	502	2229	26,6	26,9	87
	2	0	240	565	281	645	528	2259	27,2		
V	1	0	175	517	257	558	532	2039	27,1	28,2	83
	2	0	277	507	240	594	594	2212	29,3		
VI	1	0	296	443	230	564	532	2065	27,6	27,9	84
	2	0	274	400	264	567	607	2112	28,2		
VII	1	0	242	491	278	666	766	2443	32,0	30,9	76
	2	0	278	469	257	603	660	2267	29,8		
VIII	1	0	274	472	252	708	1223	2929	40,4	40,2	58
	2	0	266	514	238	696	1175	2889	39,9		
IX	1	0	319	722	389	1155	1465	4050	56,8	56,1	42
	2	0	284	742	430	1194	1320	3970	55,4		
X	1	0	422	869	461	1215	1382	4349	62,3	59,0	40
	2	0	341	789	434	1113	1214	3891	55,6		

Zusammenstellung 3.

Ergebnisse der Stopfversuche von Prof. Pirath.

Nr.	Gesteins-Art	Trümmermengen in kg der Kornklasse von:							Summe
		> 30	20—30	12—20	7—12	3—7	1—3	0—1	
		mm ø	mm ø	mm ø	mm ø	mm ø	mm ø	mm ø	
1	Basalt . .	2573	19	20	10	7	3	8	2640
2	Porphyr .	2091	60	29	14	12	6	8	2220
3	Melaphyr	2052	36	18	12	10	4	8	2140
6	Jurakalk	2166	36	35	22	22	15	14	2310
7	Jurakalk	1990	112	62	39	33	16	18	2270
11	Muschelkalk .	2185	55	42	28	26	13	21	2370

Zusammenstellung 4.

Auswertung der Versuchsergebnisse aus Zusammenstellung 3.

Gesteins-Nr.	Entwertung der Trümmermengen bei einem Entwertungsfaktor von:							Gesamtentwertung	Entwertung in %	Verhältnis d. Zähigkeit
	0	0,40	0,75	1,15	1,45	1,80	2,20			
1	0,0	7,6	15,0	11,5	10,2	5,4	17,6	67,3	2,55	100
2	0,0	24,0	21,8	16,1	17,4	10,8	17,6	107,7	4,85	53
3	0,0	14,4	13,5	13,8	14,5	7,2	17,6	81,0	3,79	67
6	0,0	14,4	26,3	25,3	31,9	27,0	30,8	155,7	6,74	38
7	0,0	44,8	46,5	44,9	47,9	28,8	39,6	252,5	11,12	23
11	0,0	22,0	31,5	32,2	37,7	23,4	46,2	193,0	8,14	31

Zum Beweise, daß diese maschinelle Prüfung einwandfreie Vergleichswerte für die Schlagfestigkeit oder Zähigkeit liefert, sollen ihre Ergebnisse noch mit den Ergebnissen der bereits erwähnten Stopfversuche von Prof. Pirath verglichen werden (siehe „Verkehrstechnische Woche“, Heft 20, 1928). Zu diesem Zweck sind in Zusammenstellung 3 die Trümmermengen gegenübergestellt, die sich bei diesen Stopfversuchen von einer Schottermenge von 1 m³ nach 10000 Sekunden Handstopfung bei den Gesteinen Nr. 1, 2, 3, 6, 7 und 11 gebildet haben. Diese Versuchsergebnisse sind alsdann in Zusammenstellung 4 in der gleichen Weise wie die Ergebnisse der maschinellen Zähigkeitsprüfung (vergl. Zusammenstellung 2) ausgewertet worden, wobei die Entwertungsfaktoren den Pirathschen Kornklassen angepaßt sind. Die hiernach berechneten Verhältniszahlen für die Zähigkeit dieser Gesteine (bezogen auf den Basalt Nr. 1) lassen erkennen, daß die Pirathschen

Stopfversuche die gleichen Unterschiede zwischen guten und schlechten Gesteinen ergeben wie die maschinelle Zähigkeitsprüfung, ein Beweis, daß diese der tatsächlichen Beanspruchung der Bettungstoffe beim Stopfen in weitestgehendem Maße Rechnung trägt.

Damit dürfte erwiesen sein, daß die bei der Reichsbahn eingeführte Zähigkeitsprüfung so einwandfrei ist, daß ihre Ergebnisse die Grundlage für die Bewertung verschiedener Gesteine als Gleisbettungstoff bilden können. Wenn daher nach diesem Verfahren alle Gesteine aus den für die Reichsbahn liefernden Steinbrüchen geprüft und bewertet sind, so haben die Beschaffungsstellen der Reichsbahn eine Handhabe, um unter Berücksichtigung der Güte des Gesteins, des Preises und der Frachtlage das wirtschaftlich günstigste Angebot zu ermitteln. Damit wird die Voraussetzung für eine Auswahl der Bettungstoffe nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten gegeben sein.

Berichte.

Allgemeines.

Die Hudsonbai-Eisenbahn.

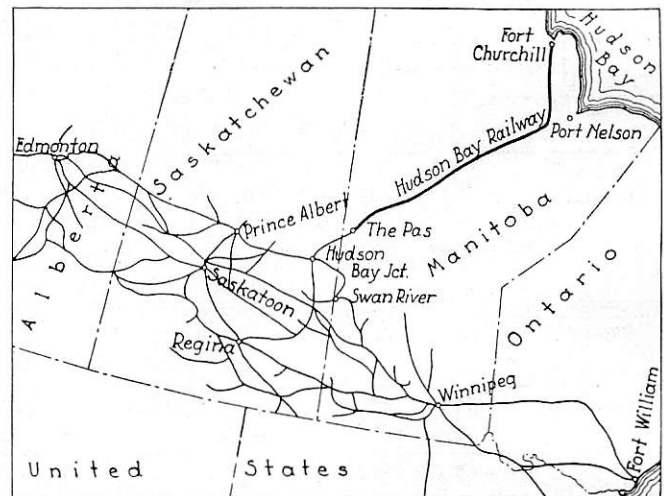
Der Schienenstrang nach der Hudsonbai zweigt von der nördlichen Strecke der Kanadischen Staatsbahnen, die Kanada von Ost nach West durchquert, zwischen Winnipeg und Alberta ab, wo der Bahnhof Hudson Bay Junction aus diesem Grunde seinen Namen führt. Die ersten 142 km bis The Pas werden aber nicht eigentlich zur Hudsonbai-Eisenbahn gerechnet, ihre Länge, 821 km, zählt vielmehr erst von The Pas an und reicht bis Fort Churchill an der Hudsonbai. Die Bahn führt durch Gelände, in welchem über dem Felsuntergrund auf weiten Strecken Moorboden lagert. Dieser ist bis auf eine Tiefe von etwa 4 m fest gefroren und taut im Sommer nur oberflächlich auf. Auf diesen Strecken mußte die Bahn auf einen Damm von solcher Fußbreite gelegt werden, daß der wieder getaute Boden die Last tragen konnte. Glücklicherweise fanden sich an der Strecke eine Anzahl Kieslager, die zur Dammschüttung, aber auch zum Verfüllen des Oberbaues ausgebeutet werden konnten. Die Richtung der Hudson-Eisenbahn folgt bis Amery, etwa 560 km vom Ausgangspunkt entfernt, ungefähr dem Verlauf des Nelsonflusses und durchquert dabei ein Gewirr von Seen und kleineren, sich in den Nelsonfluß ergießenden Wasserläufen. The Pas liegt auf 363 m Seehöhe; etwa 16 km davon entfernt erreicht die Eisenbahn mit 372 m ihren Höhepunkt, um dann, im wesentlichen fallend, aber auch mit Gegensteigungen bis zu 60 m, dem Endpunkt zuzustreben. Der Hauptverkehr geht in der Richtung auf die Hudsonbai, und es ist gelungen hier mit einer maßgebenden Steigung von 1:250 auszukommen. In der Gegenrichtung kommt eine Höchststeigung von 1:167 vor. Nur etwa ein Achtel der Strecke liegt in Krümmungen, der Mindesthalbmesser ist 250 m, aber schärfere Krümmungen als solche mit 580 m sind selten. An einer Stelle verläuft die Eisenbahn fast 30 km in der Geraden, fünfmal kommen Gerade von mindestens 15 km und 17mal solche von 8 km Länge vor. Zwischen Amery und Fort Churchill, eine Entfernung von rund 250 km, entfernt sich die Eisenbahn nicht mehr als 14,5 km von der Luftlinie.

An größeren Kunstbauten sind zu erwähnen die Brücke über den Saskatchewanfluß, 1,5 km von The Pas entfernt, mit vier Öffnungen von 45,75 m und einer Öffnung von 75 m, die von einer beweglichen Brücke überspannt wird, eine Brücke über die Manitou-Fälle des Nelsonflusses, bestehend aus einem Auslegerträger von insgesamt 185 m Länge, und eine Brücke über einen weiteren Wasserfall dieses Flusses mit den Öffnungen von 91,5 m, 122 m und 91,5 m Weite, über die ein durchlaufender Träger führt.

Die gesamte Anordnung der Hudsonbai-Eisenbahn und namentlich ihr Oberbau sind so gewählt, daß sie den Anforderungen entsprechen, die an eine Nebenbahn mit schwerem Verkehr gestellt werden müssen. Die Schienen wiegen 45 kg/m; sie liegen auf Zederholz- oder getränkten Weichholzschnellen. In durchschnittlichem Abstand von 13,5 km liegen 61 Kreuzungs- und Überholungsgeleise, die im allgemeinen 700 m lang sind. An 19 Stellen können die Lokomotiven mit Wasser versorgt werden,

zwei größere Lokomotivbahnhöfe sind schon jetzt vorhanden, und eine oder zwei Stellen zum Bekohlen der Lokomotiven sollen noch errichtet werden.

Als im Jahre 1918 der Bau der Hudsonbai-Eisenbahn nach neunjähriger, durch die Kriegsfolgen herbeigeführten Unterbrechung wieder aufgenommen wurde, mußten umfangreiche Arbeiten zur Instandsetzung der inzwischen stark heruntergekommenen Bauanlagen aus dem ersten Bauabschnitt, der nur bis Fort Amery reichte — der Beginn des Baues geht bis zum Jahre 1911 zurück —, vorgenommen werden. Erst nach Durchführung dieser Erneuerungsarbeiten war es möglich, an die Fortsetzung des eigentlichen Bahnbaues zu denken.



Die an den ersten Streckenabschnitt angeschlossene Strecke von Amery bis Fort Churchill verläuft in fast genau nördlicher Richtung. Sie beginnt auf 87 m Seehöhe, erhebt sich nochmals auf 130 m und fällt dann in sanften Neigungen bis ans Ende. Der Moorboden auf dem größten Teil dieser Strecke ist fast ungangbar, so lange er nicht gefroren ist. Die Baustellen sind also im Sommer geradezu unzugänglich. Alle Vorräte und Werkstoffe wurden daher in dem Winter 1927/28 und 1928/29 an Ort und Stelle niedergelegt. In je etwa 15 km Entfernung wurden Lager mit Räumen für die bauleitenden Beamten angelegt. Zur Beförderung der hierzu nötigen Stoffe dienten pferdebespannte Schlitten. Um den Verkehr im Sommer zu ermöglichen, wurden Bohlenbahnen verlegt. Im Winter wurden eine Anzahl Gerüstbrücken und hölzerne Durchlässe gebaut. Bei Beginn des Tauwetters wurde das Moos und die Erde, soweit sie aufgetaut waren, abgehoben, damit die darunterliegenden Schichten auch auftauen konnten; aus diesen Massen wurde der Damm geschüttet, was natürlich nur sehr langsam vor sich ging. Solche Dämme sind

nur sehr wenig fest, und es mußten besondere Maßnahmen getroffen werden, z. B. Einlegen von 10 m langen Hölzern, um die Last der Züge auf eine größere Fläche zu verteilen. Infolgedessen wurden auch ungeheure Mengen Kies zum Verfüllen des Gleises verbraucht. Auf einer Strecke von 24 km Länge wurden auf diese Art durchschnittlich 4560 m³ Kies auf 1 km verbraucht, und eine Strecke von einer (engl.) Meile (1,61 km) Länge verschlang 13750 m³ Kies. Auf einer Strecke von etwa über 110 km Länge wurde der Oberbau im Winter auf dem gefrorenen Boden verlegt und erst nachträglich, nachdem der Frost aufgehört hatte, durch Unterbringen von Kies der Damm hergestellt.

Bis auf zwei Ausnahmen wurden die zahlreichen Wasserläufe auf der Neubaustrecke auf hölzernen Gerüstbrücken überschnitten. Bei den beiden Ausnahmefällen handelte es sich namentlich darum, eine Gefährdung der Bauwerke durch Eisgang zu verhüten, und man wählte daher 30 und 45 m lange Fachwerkträger. Bei 30 m hätte man an sich noch einen Blechträger verwenden können, aber das Fachwerk hat den Vorteil, daß man seine Einzelteile bequemer an Ort und Stelle bringen kann, was bei der Lage der Hudsonbai-Eisenbahn in abgelegener Gegend dem Bau sehr zu statten kam.

Gleichzeitig mit der Eisenbahn nach Fort Churchill wurde, von einem an ihr gelegenen Punkt, 8 km von The Pas entfernt, die 142 km lange Flin-Flon-Eisenbahn, und zwar als private Anschlußbahn gebaut, so genannt nach den Bergwerksanlagen gleichen Namens. Diesen fehlte jede Verbindung mit der Eisenbahn, und die Verwertung ihrer Förderung war daher sehr erschwert. Die ersten 80 km führen durch flaches Sumpfgelände, wo weiter keine Arbeiten auszuführen waren, als einen Damm zu schütten, der die Last auf genügende Breite überträgt, aber auf dem Rest der Strecke, die am Hang hinführt, kamen zahlreiche Felseinschnitte vor. Die Länge der Bauzeit hing also von dem Fortschritt ab, den die Arbeiten auf diesem zweiten Teil der Strecke machen würde. Um zur Verkürzung der Gesamtbauzeit gleichzeitig auch diesen langwierigen Bauabschnitt in Angriff zu nehmen, wurde im Winter ein Gleis über den gefrorenen Boden vorgestreckt, auf dem die Geräte, sowie einige Prähme und Flöße zur Benutzung auf den an der Strecke liegenden Seen, an die Baustelle befördert wurden. Als dann im Frühjahr der Boden auftaute, wurden Seitenentnahmen geöffnet, das Gleis angehoben und der Damm von Bauzügen aus unter ihm geschüttet. 9 Monate, 21 Tage nach Abschluß des Vertrages wurde der Betrieb eröffnet. Die Schnelligkeit, mit der der Bau ausgeführt worden war, erregte in ganz Kanada berechtigtes Erstaunen.

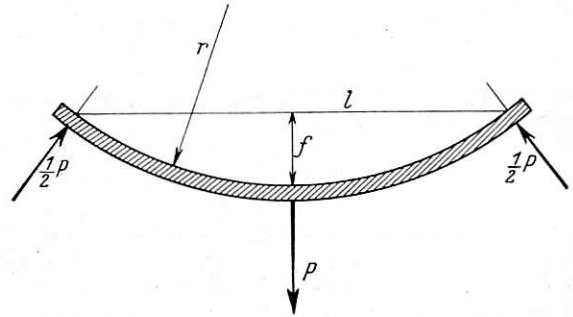
Der wesentliche Zweck, zu dem die Hudsonbai-Eisenbahn gebaut worden ist, ist, wie bei allen Eisenbahnen Kanadas, die Abförderung der kanadischen Weizenernte. Fort Churchill ist zwar von Liverpool ebenso weit entfernt wie Montreal und New York, von wo der Weizen jetzt nach Europa verfrachtet wird, aber es liegt viel näher an dem Gebiet, wo er erzeugt wird. Auf dem alten Weg muß der Weizen erst mit der Eisenbahn nach Fort William am Oberen See, dann über diesen See und entweder

wieder mit der Eisenbahn oder auch auf dem Wasser nach einem der beiden Seehäfen gebracht werden, ein Weg von etwa 1600 km, während die Hudsonbai-Eisenbahn ihren Ausgang im Weizengebiet hat, so daß also bei der Beförderung des Weizens außer den Zubringerstrecken nur ihre eigne Länge zu überwinden ist.

Wernekke.

Die Verladung von Schienen und Langeisen *).

Die Verladung von Eisenbahnschienen und Langeisen auf mehreren Wagen stellt zwar einen Ausnahmefall dar, der aber nicht so selten ist. Da jedoch in den Transportvorschriften darüber nichts enthalten ist, müssen von Fall zu Fall Erwägungen und Vereinbarungen unter den beteiligten Bahnen wegen der Zulässigkeit dieses Verfahrens getroffen werden. Es ist wichtig, die Wagen für solche Verladungen richtig auszuwählen, den Zustand der Zugvorrichtung und der Spurkränze zu prüfen, die Wagen an den Schluß des Zuges zu hängen und besonders beim Verschieben



Vorsicht walten zu lassen, jedenfalls Stöße zu vermeiden. Infolge der elastischen Formänderung langer Schienen oder Eisen bei der Fahrt durch Gleisbögen werden die Wagen am Ende gegen den äußeren, die innen fahrenden Wagen gegen den inneren Schienenstrang gedrängt. Die dabei auftretenden Kräfte P bzw. 1/2 P lassen sich aus der Formel berechnen:

$$P = \frac{48 \cdot E \cdot I}{r^2} \times \frac{f'}{l^3}$$

E ist der Elastizitätsmodul, I das Trägheitsmoment der gebogenen Stange, f' und l' die Werte von f und l für den Bogenhalbmesser 1. Die Bedeutung von r, l und f geht aus der Textabbildung hervor. Der erste Faktor in der Gleichung für P ist für einen gegebenen Schienen- oder Stangenquerschnitt und einen gegebenen Gleisbogenhalbmesser konstant. Der Wert f'/l³ kann für Winkel von 5° zu 5 Grad folgender Zusammenstellung entnommen werden:

Winkel	5°	10°	15°	20°	25°
f'/l ³	1,5	0,73	0,48	0,36	0,28

Notiziario tecn. 1930, Nr. 1.

Schn.

*) Vergl. Organ 1928 S. 212.

Bahnunterbau, Brücken und Tunnel; Bahnoberbau.

Stütz- und Futtermauern aus fabrikmäßig hergestellten Einzelteilen.

Diese (patentgeschützten) Mauern bestehen aus Winkelstützrahmen, auf deren rückwärtigen Schenkeln Lastplatten entsprechend der ungünstigsten Belastung der Mauer in geringerem oder größerem Abstände von der Vorderkante der Stütze gelagert werden (Abb. 1 bis 3).

Die Stützwand selbst kann aus einzelnen armierten Betonplatten und ganzen Tafeln hergestellt werden. Als Unterstützung erhalten die Winkelstützrahmen fabrikmäßig hergestellte oder an Ort und Stelle betonierte Fußplatten.

Die auf diese Weise hergestellten Stütz- und Futtermauern bieten den Vorteil einfachster und billigster Herstellung. Ein weiterer erheblicher Vorteil besteht darin, daß die Arbeiten auf der Baustelle wesentlich abgekürzt werden, da sie sich in der Hauptsache auf das Zusammenfügen der fertigen Einzelteile beschränken und die Abbindezeit auf der Baustelle fortfällt. Die Erdarbeiten gegenüber Mauern anderer Konstruktionen sind von geringem Umfange, weil nur einzelne verhältnismäßig kleine

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. LXVII. Band. 19. Heft 1930.

Patentierete Stütz- und Futtermauer.

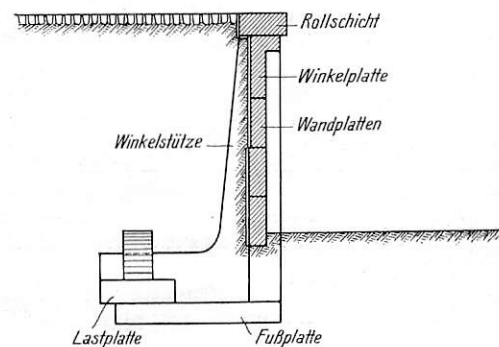


Abb. 1. Querschnitt.

Gruben für die Fußplatten auszuheben sind. Die Eigenart der Konstruktion bringt es mit sich, daß Überschüttungen die Stand-

sicherheit der Mauer günstig beeinflussen. Der sonst übliche Mauerfuß (Vorsprung vor der Mauerflucht) kann bei Mauern dieser Art fortfallen. Sie eignet sich deshalb ganz besonders für Bahnsteig-mauern, für Stützmauern neben Betriebsgleisen, Möbelrampen, Vieh- und Militärrampen usw. Gleisabfahrungen bei der Herstellung solcher Mauern erübrigen sich in der Regel, da nur Gruben von geringen Abmessungen und Tiefe zur Aufnahme der Fuß-platten herzustellen sind. Durch die Wiederverwendbarkeit der

Patentierete Stütz- und Futtermauer.

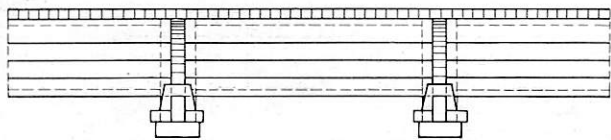


Abb. 2. Rückansicht.



Abb. 3. Grundriß.

Teile bei einem Abbruch solcher Mauern ergibt sich ein weiterer wirtschaftlicher Vorteil. Die Kostenersparnis gegenüber Mauern anderer Konstruktion beträgt bis zu 25 %.

Herstellerin der Mauer ist die Firma Dyckerhoff & Widmann, Berlin W 57, Frobenstraße 2.

Ausgeführt sind bis jetzt rund 2 km Mauern dieser Bauart, darunter auch solche mit Gleisen als Verkehrslast (Lastenzug „N“). Weitere Mauern sind in der Ausführung begriffen. Böttger.

Preßzange zur Unterstopfung von Holzschwellen.

In Rußland wird z. Zt. ein neues Gerät für Holzschwellen-unterstopfung erprobt, eine Preßzange. Sie besteht aus zwei gleichen Zangenarmen, die durch ein Paar Verbindungsplatten mit verstellbaren Gelenken zusammengehalten werden. Die Verstellbarkeit wird durch Anordnung verschiedener Löcher in den Verbindungsplatten erreicht und dient dazu, je nach der Schwellenbreite die Zangenarme weiter oder enger zu stellen. Oben an den Zangenarmen befinden sich Holzgriffe, 1,3 m lang, und unten auswechselbare Stopfer. Man kann je nach der Art der Stopfung verschiedene Stopfer einlegen, z. B. stärkere, wenn die Schwelle beim Stopfen zugleich angehoben werden soll, oder kleinere, wenn eine große Kraft ausgeübt werden soll. An jeder Preßzange stehen zwei Arbeiter einander gegenüber und drücken, im Takt arbeitend, den Bettungsstoff unter die Schwelle. Als Vorteile des Verfahrens gegenüber der Stopfhacke werden gerühmt:

a) Verdichtung der Bettung gleichzeitig von beiden Seiten, wodurch die Arbeit wirtschaftlicher wird; während die beider-seitige Verdichtung bei der Stopfhacke Übung voraussetzt, ist sie bei der Preßzange schon mit dem Grundgedanken des Gerätes verbunden.

b) Die die Bettung zusammendrückenden Kräfte laufen bei der Preßzange der Schwellenunterkante fast gleich, wogegen bei der Stopfhacke ein Winkel α entsteht (Abb. 2).

c) Die Preßzange gibt eine gleichmäßigere Dichtung des ganzen Schwellenauflegers, während die Verdichtung der Bettung in der Mitte der Schwellenbreite bei der Stopfhacke weniger gut ist als an den Schwellenkanten.

d) Die Schwelle wird mehr geschont und es werden nicht wie bei der Stopfhacke die Schwellenkanten abgeschlagen.

e) Wo zur Unterstopfung einer Schwelle mittels Stopfhacke reichlich zwölf Arbeitsminuten erforderlich sind, soll die Preßzange nur sechs verlangen, wie durch Versuche auf der Südwestbahn festgestellt wurde. Dabei waren aber die Arbeiter auf das neue Gerät noch nicht genügend eingearbeitet. Eine weitere Besserung der Leistung ist möglich.

f) Da nicht mit Schlag, sondern mehr mit Pressung gearbeitet wird, wird die Bettung weniger zermalmt.

g) Die Preßzange läßt geringere Schwellenentfernungen zu.

Die Schwellenpresse soll nur 7 bis 8 kg wiegen und daher leicht tragbar sein. Sie ist billig, man kann zu ihrer Herstellung alte Rohre verwenden. Dabei wird bei der Preßzange in aufrechter Haltung gearbeitet, nicht gebückt wie bei der Stopfhacke. Selbstverständlich müssen die Arbeiter an das Gerät gewöhnt sein, was aber schon nach 10 bis 20 Schwellen der Fall sein soll. Es muß im Takt gearbeitet werden, am zweckmäßigsten immer vier Geräte an einer Schwelle. Die russischen Eisenbahnen haben freilich fast nur Sandbettung. Wie sich die Preßzange bei Schotter bewährt,

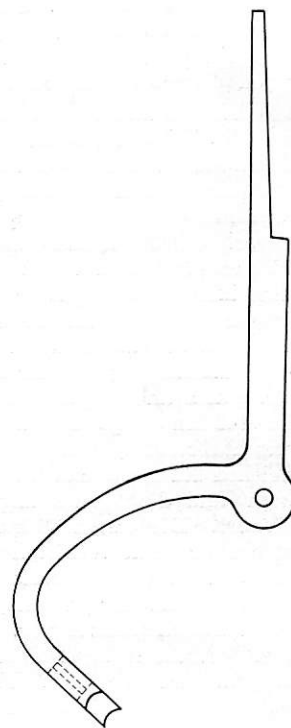


Abb. 1. Preßzange.

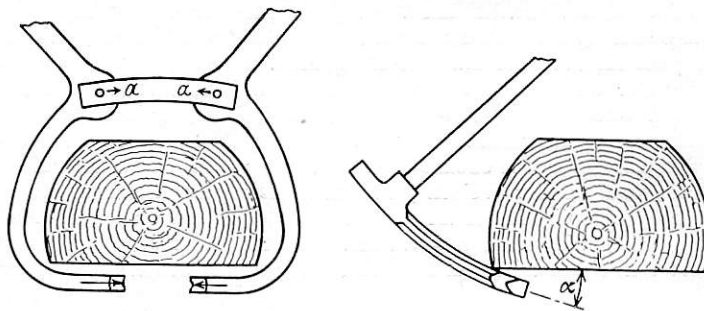


Abb. 2.

wäre durch Versuch festzustellen. Jedenfalls überrascht das Verfahren durch die Einfachheit seines Grundgedankens. Ein Versuch verursacht mindestens keine großen Kosten. Dr. S.

Berichtigungen.

In dem Aufsatz: Das neue Bahnbetriebswerk Fulda im Heft 15 des Organs sind folgende Fehler zu berichtigen:

Es muß heißen:

Seite 343, 1. Absatz, Fulda—Gersfeld statt Fulda—Hersfeld,
Seite 343, 9. Absatz, 7. Zeile, Betriebsstofflager statt Betriebsstoffhauptlager,

Seite 345, 1. Absatz, 12./13. Zeile, Elektromotor statt Elektrometer,
Seite 347. In Abb. 6 ist hinter Lokschuppen das Wort Stand einzufügen,

Seite 348, rechte Spalte, 2. Absatz, $W_1 = 17000 \cdot 0,11 \cdot 6 = 11220$ WE
 $W_2 = 5940 \cdot 6 \dots = 35640$ WE
 $W_3 = 640 (128 - 10) = 75520$ WE
122380 WE

Seite 348, rechte Spalte, 3. Absatz, $W_1 = 17000 \cdot 0,11 \cdot 23 = 43010$ WE,

Seite 349, linke Spalte, unter B. 1. 8320 *R.M.* statt 8310 *R.M.*,

Seite 349, linke Spalte, Summe von B. 1. 2. 3. 14680 *R.M.* statt 14980 *R.M.*,

Seite 349, linke Spalte, unter Gegenüberstellung: 13940 statt 14240 *R.M.*,

Seite 349, rechte Spalte, unter A. 1. 2. und B. 3. . . . lokomotiven statt . . . lokomotive.

Seite 350. In den Erläuterungen zu Abb. 10 Maschinenverzeichnis:
i Vorrichtung statt Vorrichten,
p Hammer statt Kammer.