

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

Herausgegeben von Vizepräsident Ernst Harprecht, Berlin, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

96. Jahrgang

1. Juni 1941

Heft 11

Die Baugrubenaussteifung für Untergrundbahntunnel nach der Berliner Bauweise.

Von Oberreichsbahnrat Kuhnke, Berlin.

Hierzu Tafel 8 bis 15.

Die Berliner Untergrundbahnen sind bisher sämtlich nach derselben Bauweise ausgeführt worden. Auch in Großstädten des Auslandes, in denen ähnliche Boden- und Grundwasser-Verhältnisse vorliegen wie in Berlin, ist diese Bauweise angewendet worden. Zum Unterschied von anderen Bauweisen nennt man heute diese Bauart „Berliner Bauweise für den Untergrundbahnbau“.

Die besonderen Kennzeichen dieser Bauweise sind:

1. Die Herstellung einer Baugrube mit senkrechten Seitenwänden. Dabei wird diese oben entweder völlig oder auch teilweise derart abgedeckt, daß über die Baugrube hinweg der Straßen- und Straßenbahnverkehr geleitet werden kann, oder die Baugrube bleibt offen.

2. Der Grundwasserstand wird an den Baustellen während der Bauarbeiten soweit gesenkt, daß der Boden trocken ausgeschachtet und der Tunnelkörper im Trockenen eingebaut werden kann. Die Tunneldichtung, die den Tunnelkörper außen umschließt und den Tunnel bei später steigendem Grundwasser trocken hält, wird auf einer vorher hergestellten Schutzschicht auf der Sohle und an den Seitenwänden voran verlegt.

Nach dieser Bauweise ist auch der erste Tunnelbau der Deutschen Reichsbahn in Berlin, der Bau der Untergrundbahn vom Stettiner zum Anhalter Bahnhof, Nordsüd-S-Bahn genannt, ausgeführt worden.

Die Berliner Bauweise hat jedoch seit ihrer ersten Anwendung manche Veränderungen erfahren; denn im Laufe der Zeit sind Erfahrungen gesammelt, Verbesserungen in der Ausbildung dieser und jener Einzelbauteile erdacht und geprüft worden. Im folgenden werden daher die einzelnen Teile der Baugrubenaussteifung, wie sie heute am zweckmäßigsten auf Grund der Erfahrungen und Versuche gestaltet werden, und wie sie beim Bau der Nordsüd-S-Bahn auch schon ausgeführt worden sind, näher erläutert.

In Bild 1, Taf. 8, sind Querschnitt, Längsschnitt und Aufsicht einer offenen und einer abgedeckten Baugrube dargestellt; diese sind den weiteren Erörterungen zugrunde gelegt.

Die beiden senkrechten Seitenwände einer Baugrube (Rammträgerbohlwände) werden durch Steifen gegeneinander abgestützt. Bei Steifenstärken von 30 bis 40 cm sind ihre Längen mit etwa 7 m begrenzt. Daraus ergibt sich, daß Baugruben mit größerer Breite durch Mittelwände unterteilt werden müssen. Es entstehen dann zwei-, drei- und mehrschiffige Baugruben. Um den Einbau des Tunnelkörpers durch die Mittelwände nicht zu sehr zu behindern, werden die Wände aus Rammträgern und eisernen Verbänden hergestellt. Dazu werden in Höhe der jeweiligen Steifenlage U-Eisen seitlich an die Rammträger beiderseits angeschraubt, in die die einzelnen Streifen eingesetzt werden.

Berechnungsgrundlagen.

I. Für Holz:

Für die Abdeckungen der Baugruben, für Bohlwände, Steifen und sonstige vorübergehende Bauteile gelten folgende Spannungswerte:

$$\text{Auf Druck: } \sigma_{zul} = 80 + 20\% = 96 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\text{Auf Biegung: } \sigma_{zul} = 100 + 20\% = 120 \text{ kg/cm}^2.$$

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 96. Jg. (1941), Heft 11.

II. Für Eisen:

Für die Berechnung der Baugrubenabdeckung, der Außen- und Mittelrammträger und der sonstigen Eisenteile gilt $\sigma_{zul} = 1400 + 20\% = 1680 \text{ kg/cm}^2$. Die Durchbiegung unter der Verkehrslast darf dabei nicht größer sein als $f = \frac{1}{500}$ der Trägerstützweite. Bei der Berechnung der eisernen Ramm- und Fahrbahnabdeckungsträger ist im gezogenen Flansch ein Abzug von zwei Schraubenlöchern von je 26 mm Durchmesser zu berücksichtigen, um das Einziehen notwendig werdender Verbände an jeder Stelle ohne jede Überschreitung der zugelassenen Spannung zu ermöglichen.

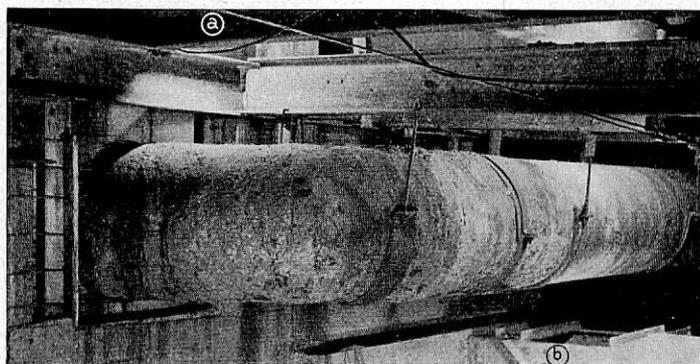


Bild 2. Einführung einer Rohrleitung in die Baugrube mit der Rohraufhängung.

a = Fahrbahnträger. b = Gurt des eisernen Querverbandes.

III. Für Schraubenverbindungen:

Für die Schraubenverbindung gilt

$$\tau_{zul} = 0,7 \cdot 1400 + 20\% = 1176 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\sigma_{l,zul} = 1,5 \cdot 1400 + 20\% = 2520 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\text{Auf Zug } \sigma_{z,zul} = 1000 + 20\% = 1200 \text{ kg/cm}^2.$$

Um die Zahl der verschiedenen Schrauben auf der Baustelle gering zu halten, sind vorzusehen:

Schrauben von 20 mm Durchmesser für Anschlüsse und Stoßdeckungen der Andreaskreuze, die zu den Längsverbänden gehören, und für die Anschlüsse der U-Eisen an die Rammträger.

Schrauben von 26 mm Durchmesser für die sonstigen eisernen Verbände und für die Fahrbahnträger.

Es werden rohe (schwarze) Schrauben verwendet, die jedoch in die Löcher gut hineinpassen müssen. Die Löcher sind maschinell mit scharfen Bohrern herzustellen. Es können auch Schweißverbindungen hergestellt werden.

Ramplan.

Vor Beginn der Bauarbeiten ist zunächst ein Ramplan aufzustellen; in diesen sind auch Kabel, Rohrleitungen usw. aufzunehmen, da ihre Lage für die Stellung der Rammträger wichtig ist (Bild 2). Dabei ist darauf zu achten, daß die Abstände der Rammträger der Außenwände nicht zu stark

voneinander abweichen. Wie aus Bild 3 ersichtlich ist, ist der auf den Rammträger 2 wirkende Erddruck aus dem Feld I kleiner als der aus Feld II; es könnte folglich eine Verdrehung des Trägers 2 eintreten. Diese würde sich besonders bei Verwendung von Regelprofilen für Außenrammträger nachteilig auswirken, da die Bohlenanlageflächen nicht so groß sind, wie bei breitflanschigen Formen.

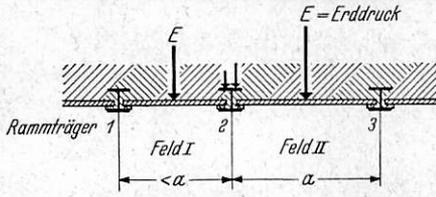


Bild 3. Rammung der Außenwandträger.

Bei den Rammarbeiten sind Rammträgerlisten zu führen, in denen außer den Angaben über die genaue Bezeichnung jedes Trägers, die Trägerlänge, die Höhen am Trägerkopf und Trägerfuß, auch alle Beobachtungen während des Rammvorgangs (leichtes oder schweres Eindringen, ruckweises Durchsacken und anderes) zu verzeichnen sind, damit ein Rückschluß auf die Beschaffenheit der durchrammten Bodenschichten und des abgerammten Trägers möglich ist.

Rammträger der Außenwände.

Die Träger der beiden Außenwände sind so zu rammen, daß die Steifen in gerader Linie und senkrecht zur mittleren Rammwand eingezogen werden können. Es soll dadurch erreicht werden, daß die Steifenkräfte die Mittelwand möglichst wenig beanspruchen. Wenn dabei die Steifen sich nicht rechtwinklig an die Außenwände anlegen, so ist das nicht von Bedeutung, da die waagrecht in der Längsrichtung der Außenwand auftretenden Steifenkräfte von der geschlossenen Außenrammträgerbohlwand ohne weiteres aufgenommen werden können.

Der Regelabstand der Außenrammträger ist 2,00 m. In gekrümmten Tunnelstrecken ist dieser Abstand an der Bogenaußenseite beizubehalten; an der Bogeninnenseite ist der Trägerabstand so zu verringern, daß die einzubauenden Steifen in radialer Richtung eingebracht werden können.

Für die Außenwände der Baugrube wurden früher fast ausschließlich I-Regelprofile verwendet; erst in den letzten Jahren werden allgemein nur breitflanschige Profile benutzt. Bei Verwendung von Regelprofilen besteht der Vorteil, daß sie sich leicht einrammen lassen und folglich keine so großen Bodenerschütterungen beim Rammen verursachen, wie es bei den breitflanschigen Trägern der Fall ist. Bei diesen wird der Boden zwischen den breiten Flanschen zusammengedrückt und setzt daher dem Eindringen der Träger größeren Widerstand entgegen. Die breitflanschigen Träger bringen dagegen den Vorteil, daß sie ein größeres Trägheitsmoment haben, deshalb bezüglich der y-Achse bei der Rammung nicht so leicht ausweichen und sich auch weniger verbiegen. Außerdem bieten sie mit ihren breiten Flanschen eine wesentlich größere Anlagefläche für die Bohlen und deren Verkeilung.

Die Länge der Träger richtet sich nach der Tiefe der Baugrube und der Einbindetiefe im Boden unterhalb der Baugrubensohle. Die Größe der Einbindung hängt nicht von den anfallenden senkrechten Lasten ab, also nicht vom Eigengewicht und von den Verkehrslasten, wenn die Baugrube abgedeckt und eine Fahraddeckung auf den Rammträgern aufgelagert ist, weil diese senkrechten Kräfte zum größten Teil von der Reibung zwischen der Trägerwand und dem Erdreich aufgenommen werden. Die einbindende Trägerlänge ist vielmehr abhängig von der Größe des waagrecht wirkenden Erddrucks, den nach vollständigem Bodenaushub der Baugrube der Trägerfuß auf den vor ihm liegenden Boden ausübt, also auch von der in dieser Richtung zulässigen Bodenbeanspruchung. Dabei ist zu berücksichtigen, daß diesem Boden infolge des Aushubs all-

mählich und bei Erreichung der endgültigen Baugrubensohle völlig seine Auflast genommen ist und folglich die in dieser Tiefe sonst zulässige Bodenbeanspruchung nicht eingesetzt werden darf. Demnach ist für die Größe der Einbindetiefe der Außenrammträger vor allem die Bodenart und die Bodenschichtung maßgebend. Bei regelrechtem Berliner Sandboden hat sich ein Maß von 1,5 m als völlig ausreichend erwiesen. Im Zweifelsfalle wird es sich empfehlen, einen Versuch durchzuführen.

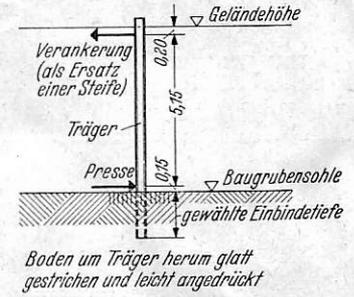


Bild 4. Proberammung.

Für den Bau der Berliner Nord-Süd-S-Bahn ist ein solcher in folgender Weise in einer Baugrube ausgeführt worden (Bild 4).

Vorhanden: Sand. Träger: IP 30. Trägerlänge: 7,00 m. Einbindetiefe: 1,50 m.

Druck an der Meßdose kg/cm ²	Druck in t	Verschiebung in mm		Bemerkungen
		oben	unten	
12	3	0	0	} Rißbildung in der angedrückten Fläche
20	5	1,0	1,0	
40	10	2,5	3,0	
60	15	6,0	6,5	
76	19	13,0	17,0	

Wird der Angriffspunkt des Erdwiderstandes etwa 0,75 m unter der ausgehobenen Baugrube angenommen, dann entfallen von dem Preßdruck auf die Zugkraft in der Verankerung:

$$Z = \frac{19,00 \cdot 0,9}{6,05} = \sim 2,8t.$$

Der von dem einbindenden Träger ausgeübte Druck ist also:

$$D = 19,00 - 2,80 = 16,2t.$$

Wird nur die vordere Trägerfläche als Druckfläche berücksichtigt, so ergibt sich als waagerechter Bodendruck:

$$\sigma = \frac{16 \cdot 200}{30 \cdot 150} = 3,6 \text{ kg/cm}^2,$$

der für den Berliner Sand in dieser Tiefe als zulässig angesehen werden kann.

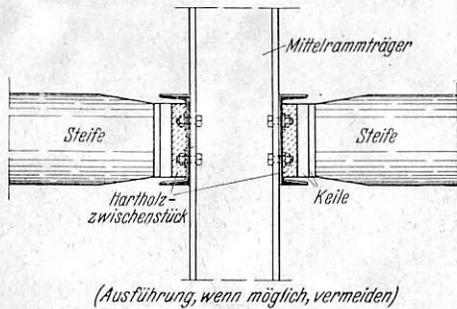
Rammträger der Mittelwände.

Um den Einbau des Tunnelbauwerks nicht durch allzu viele Stiele zu stören, werden die Rammträger der Mittelwände in einem größeren Abstand als die der Außenwände gerammt. Bewährt hat sich ein Abstand, der etwa dem dreifachen Regelabstand der Außenrammträger entspricht. Die Mittelrammträger werden also in höchstens 6,00 m Entfernung voneinander gerammt, und zwar so, daß sie nicht in der Verbindungslinie der Außenrammträger, sondern gegen diese versetzt stehen. Die Steifenzüge können dann an den Mittelrammträgern vorbeigeführt werden. Es ist dadurch möglich, in einfacher Weise unmittelbar die Steifen an die Bauteile der Mittelwand anzupressen (anzukeilen). Im anderen Falle, wenn die Steife auf einen Mittelrammträger stößt, muß ein Hartholzstück mit Löchern für die Schraubenverbindungen zwischengelegt werden, wie in Bild 5 dargestellt.

Werden bei schweren Auflasten wie z. B. bei Straßenbahnanlagen besonderer Art schwere Fahrbahnunterzüge nötig, die auf den Mittelrammträgern angeordnet werden, so ist es natürlich zweckmäßig, zur Ersparnis allzu hoher und schwerer Fahrbahnunterzüge den Abstand der Mittelrammträger geringer als 6,00 m zu wählen; auch in diesem Falle stellt man die Mittel-

rammträger so, daß die Steifen seitlich von ihnen eingesetzt werden können.

Für die Mittelrammträger werden heute ausschließlich breitflanschtige Träger benutzt; sie besitzen auch in der Längsrichtung der Mittelwand ein großes Trägheitsmoment. An ihren breiten Flanschen lassen sich außerdem die Verbände gut anschließen. Schließlich eignen sich für die Überleitung der Kräfte in den Boden die breitflanschtigen Träger mit ihrem großen Umfang und großen Querschnitt weit besser als die I-Regelprofile.



(Ausführung, wenn möglich, vermeiden)
Bild 5. Steifenverkeilung.

Bei dem normalen Berliner Sand kann eine Einbindetiefe von 3,00 m als ausreichend angesehen werden, bei der die Druck- und auch etwa auftretenden Zugkräfte mit Sicherheit von den Rammträgern aufgenommen werden.

Ein Versuch, in scharfem Sand ausgeführt, hatte folgendes Ergebnis:

- a) Untersuchung auf zulässige Druckbeanspruchung.
Rammträger: IP 30.
Trägerlänge: 7,00 m.
Einbindetiefe: 3,00 m.

Über dem Träger war auf besonderen Schwellenlagern ein Holzkasten aufgelagert worden, der zusammen mit dem eingefüllten Sandballast 72 t wog. Zwischen dieser Auflast und dem Träger wurden zwei Pressen eingesetzt. Bei dieser Last von 72 t konnte eine Eindringung von 6,65 mm festgestellt werden, die sich jedoch nach Beseitigung des Druckes um 1,9 mm verringerte, so daß eine Gesamteindringung von 4,75 mm zu verzeichnen war. Danach wurde der Träger ausgegraben; dabei zeigte sich, daß der Träger in durchgehend scharfem Sand stand. Hindernisse, die die außerordentlich hohe Tragfähigkeit des Trägers erklären konnten, wurden nicht vorgefunden. Der Widerstand ist demnach nur von der Mantelreibung und dem Spitzendruck geleistet worden.

Liegen ungünstigere Bodenverhältnisse vor oder sind die lotrechten Lasten einschließlich etwa auftretender Stöße außergewöhnlich groß, so daß die Druckkräfte nicht mehr mit Sicherheit von der Mantelreibung der im Boden stehenden Trägerenden aufgenommen werden können, so sind beiderseits eines jeden Mittelrammträgers zwei zusätzliche Stempel aufzustellen. Diese Maßnahme wird in Berlin überall ausreichen. Ob diese Stempel erst unterhalb der untersten oder bereits unterhalb der vorhergehenden (vorletzten) Steifenlage dem Fortschritt der Ausschachtung entsprechend aufgestellt werden müssen, läßt sich nur von Fall zu Fall bestimmen.

- b) Untersuchung auf Zug senkrecht nach oben.
(Für den Fall, daß die Steifen nicht völlig waagrecht, sondern etwas schräg nach oben eingesetzt worden sind.)

Rammträger: IP 30.
Trägerlänge: 7,00 m.
Einbindetiefe: 3,00 m.

Bis zu 25 at = 12,5 t Hubkraft hob sich der Träger nur sehr zögernd um 2,5 mm. Von da ab nahm das Hochgehen des Trägers der Steigerung der Hubkraft entsprechend ständig gleichmäßig zu. Bei 35 at = 17,5 t Hub wurde der Zugwiderstand überwunden. Nach Abzug des Eigengewichts von 1,5 t verbleibt demnach ein Zugwiderstand von 16 t.

Zum Vergleich wurde die Mantelreibung für IP 30 nach der Formel von Dörr berechnet. Der Zugversuch mit dem

gemessenen Zugwiderstand von 16 t ergab gegenüber dem errechneten Wert schon eine Sicherheit von 1,82.

Danach können auch in einer offenen Baugrube bei einer Einbindetiefe eines Mittelrammträgers von 3,00 m im Berliner Sand geringe Ausführungsmängel bei dem Einsetzen der Steifen (mit einer Neigung nach oben) niemals die Standsicherheit der Mittelrammträger beeinflussen.

Bohlen der Außenwände.

Zwischen den Rammträgern der Außenwände werden mit fortschreitendem Bodenaushub Bohlen eingezogen. Ihre Dicke ist so zu bemessen, daß die Bohlen die anfallenden Erddrücke

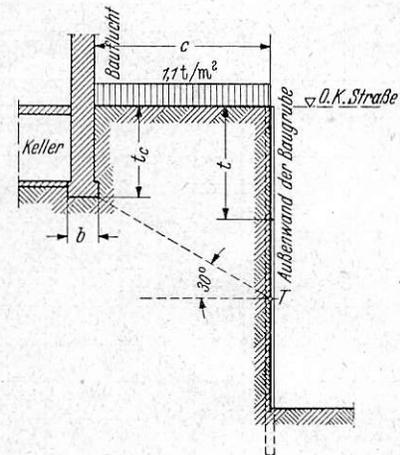


Bild 6a. Grundlagen für die Bemessungstafel B.

Annahmen:

- t_c = Hausfundamenttiefe = 2,50 m
 b = Fundamentbreite = 1,0 m
Bodendruck unter dem Hausfundament = 4,0 kg/cm²
Druckverteilung unter 30°
Auflast = 1,1 t/m²
= 0,61 m Erdüberschüttungshöhe
 T = Oberer Angriffspunkt des Hausdrucks.

auf die Träger übertragen können. Zur Bestimmung der erforderlichen Bohlendicke dienen die beistehenden Bemessungstafeln (Bild 6b). In der Tafel B ist ein etwa vorhandener Häuserdruck (Bild 6a) berücksichtigt. Die Benutzung der Tafeln ist durch folgende Beispiele erläutert.

1. Rammträgerentfernung = 2,0 m.

Kein Häuserdruck.

Bohlen	5 cm stark	von O.K.-Straße bis	—1,95 m	—3,00 m	—5,80 m	—9,30 m	—13,70 m	—18,85 m
6	„	„	„	„	„	„	„	„
8	„	„	„	„	„	„	„	„
10	„	„	„	„	„	„	„	„
12	„	„	„	„	„	„	„	„
14	„	„	„	„	„	„	„	„

2. Rammträgerentfernung = 1,50 m.

Kein Häuserdruck.

Bohlen	5 cm stark	von O.K.-Straße bis	—3,90 m	—6,00 m	—11,00 m	—17,70 m
6	„	„	„	„	„	„
8	„	„	„	„	„	„
10	„	„	„	„	„	„
12	„	„	„	„	„	„

3. Rammträgerentfernung = 2,00 m.

Hausentfernung 4,00 m.

Bohlen	5 cm stark	von O.K.-Straße bis	—1,95 m	—3,00 m	—4,80 m	—7,65 m	—12,00 m	—17,10 m
6	„	„	„	„	„	„	„	„
8	„	„	„	„	„	„	„	„
10	„	„	„	„	„	„	„	„
12	„	„	„	„	„	„	„	„
14	„	„	„	„	„	„	„	„

4. Rammträgerentfernung = 1,75 m.
Hausentfernung 3,00 m.

- a) Bohlen 5 cm stark von O.K.-Straße bis -2,70 m
- b) „ 6 „ „ „ -2,70 m „ -4,15 „
- c) „ 8 „ „ „ -4,15 „ „ -5,10 „
- d) „ 10 „ „ „ -5,10 „ „ -9,80 „
- e) „ 12 „ „ „ -9,80 „ „ -15,90 „
- f) „ 14 „ „ „ -15,90 „

nur, soweit unbedingt nötig, stichartig weggenommen werden. Die Bohlen müssen nach dem Einsetzen gut verkeilt werden, so daß sie dicht am Boden anliegen und Hohlräume zwischen Bohlen und Boden nicht vorhanden sind. Durch Abklopfen der Bohlen ist die sachgemäße Ausführung zu überwachen.

Die Verkeilung der Bohlen hinter den Trägerflanschen geschieht mit einfachen Keilen. Bei den Rammträgern aus Regelprofilen genügt ein gewöhnlicher Keil, da die Flanschen

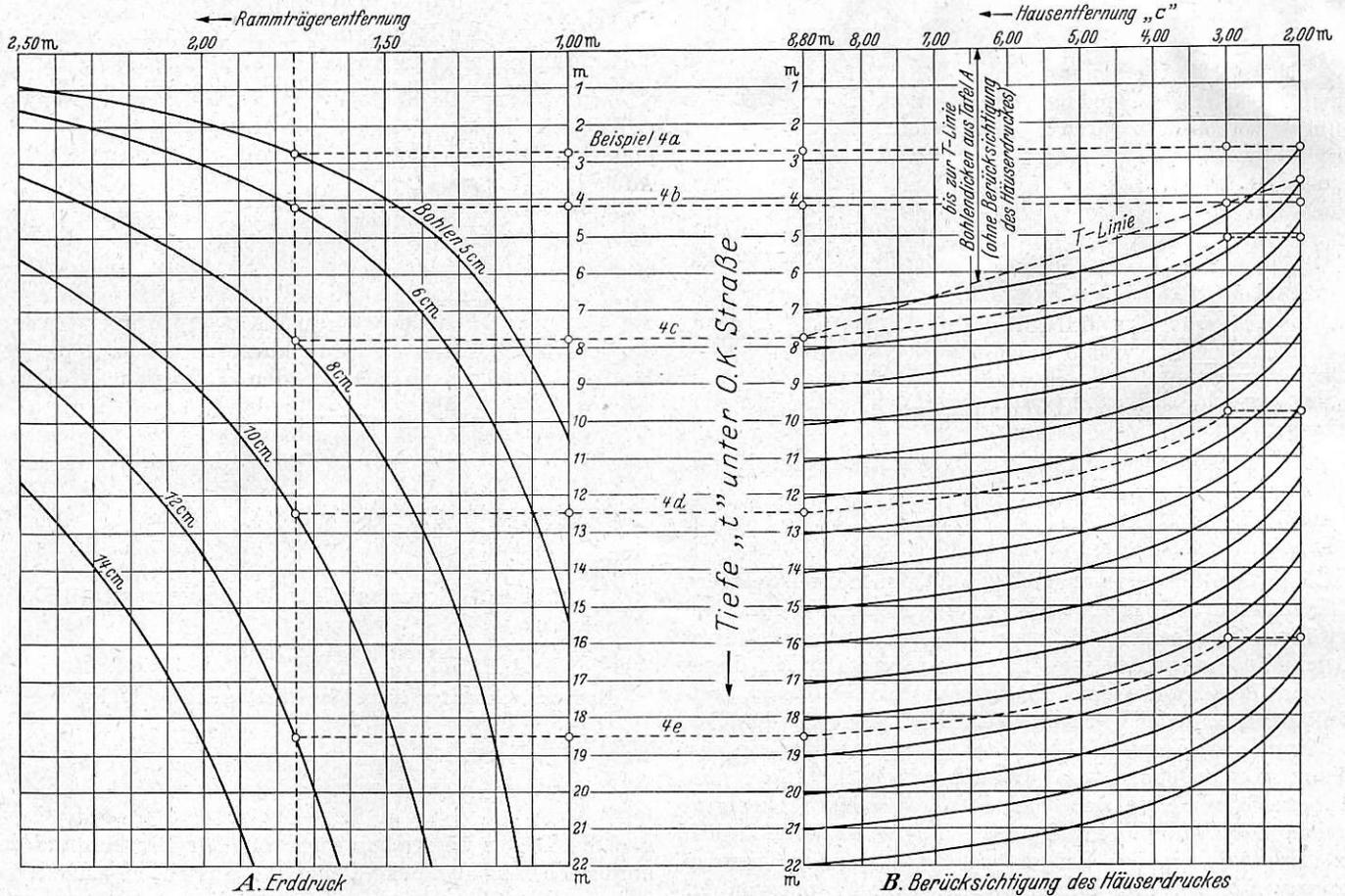


Bild 6 b*). Bemessungstabellen zur Ermittlung der Bohlendicken von Rammträger-Bohlwänden.

Annahmen: $\gamma_e = 1,80 \text{ t/m}^3$, $\alpha = \beta = \delta = 0$, $\varphi = 37^\circ$, $\lambda_a = 0,248$. Grundwasser nicht vorhanden, da abgesenkt. Auflast $1,1 \text{ t/m}^2 = 0,61 \text{ m}$ Erdüberschüttungshöhe. Holzbeanspruchung 120 kg/cm^2 .

Die Bohlen müssen mit besonderer Sorgfalt eingesetzt werden, damit das Erdreich hinter der Ausbohlung der Bau-

dieser Profile keilig sind. Werden Breitflanschträger als Rammträger verwendet, deren Flansche eine gleichbleibende Stärke haben, bei denen also der zur Verkeilung wünschenswerte natürliche Anzug fehlt, muß der Keil an der der Baugrube abgewendeten Seite flach abgeschrägt werden, damit er beim Eintreiben eine ausreichende Ankeilung der Bohlen gewährleistet.

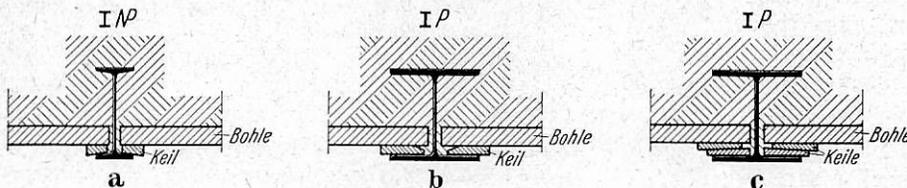


Bild 7. Ausbildung der Bohlenkeile.

a = mit einfachem Keil, b = mit abgeschrägtem Keil, c = mit Doppelkeil.

grube nicht nachgibt. Sonst können andere Bauten, besonders unter Druck stehende Leitungen, beschädigt werden. Bei Rohrbrüchen von Wasserleitungen kann der Boden hinter der Bohlwand derart ausgespült werden, daß abgesehen von der Straßendecke auch benachbarte Hausgrundmauern und die ausgesteifte Baugrube gefährdet sind. Zur Vermeidung solcher Schäden müssen daher die Bohlen zwischen den Rammträgern mit einer Vorspannung eingebracht werden. Der Boden darf

Anstatt eines solchen abgeschrägten Keils können für Breitflanschträger auch Doppelkeile verwendet werden. Mit Doppelkeilen wird der Vorteil der größeren Flanschbreite zwar besser ausgenutzt als bei einem abgeschrägten Keil; jedoch ist es schwierig, die beiden Keile in der richtigen Lage festzuhalten; außerdem pressen sie sich leicht fest oder werden zerschlagen (Bild 7).

Um die Bohlen überhaupt zwischen den Rammträgern einsetzen zu können, müssen sie etwas kürzer sein als der Abstand der beiden Stege benachbarter Außenrammträger. Es verbleibt also ein Hohlraum zwischen dem Bohlenende und dem Steg des Rammträgers. Dieser Hohlraum ist insofern nachteilig, als das dahinterliegende Erdreich durch

*) Vgl. „Beton und Eisen“, 39. Jahrgang, Heft 5, K. Lasanske, „Bohlendicken für Rammträger-Ausbohlungen“.

Nachrutschen sich lockern kann; er muß deshalb beim Einsetzen der Bohlen sogleich gefüllt werden. Am zweckmäßigsten geschieht dieses durch Holzkeile, die von unten hineingeschlagen werden, oder durch Beton.

Die Bohlen müssen dicht aneinander liegen, damit feinkörniger Boden durch die Fugen nicht hindurchdringen kann. Die neu einzusetzende Bohle ist daher an die obere, schon festgelegte Bohle anzutreiben. Handelt es sich um sehr feinen Sand, so ist außerdem die Fuge durch eine Leiste zu decken.

Steifen.

Zugleich mit den Rammplänen sind Steifenpläne anzufertigen. Auf diesen sind bei abgedeckten Baugruben die Öffnungen vorzusehen, durch die die Bodenaushubmassen abefördert und alle für die Aussteifung der Baugrube und den Bau des Tunnelkörpers erforderlichen Baustoffe eingebracht werden sollen. Die Öffnungen sind außerhalb der Mittelwände anzulegen, damit die Mittelwände durch den Einbau von Hubgeräten nicht unterbrochen werden. Auch der Standort von Großgerät und Lagerplätzen für Baustoffe ist auf diesen Plänen festzulegen. Es soll damit vermieden werden, daß aus solchen Anlässen die Steifen umgesetzt werden müssen. Die Höhenlage der Steifen ist so zu wählen, daß durch vorhandene Kabel und Leitungen eine Abweichung von der waagerechten Lage der Steifen nicht notwendig wird.

Im allgemeinen werden für die Steifen Kiefer- und Fichtenrundholzer, selten eiserne Spezialsteifen verwendet. In einem Falle wurde beim Bau der Berliner Nordsüd-S-Bahn lediglich die oberste Steifenlage aus Profileisen IP 20, die übrigen Steifen dagegen aus Rundhölzern hergestellt. Diese Aussteifungsart war durch die besonderen örtlichen Verhältnisse bedingt. Die Baugrube war breit und tief, die lichte Tunnelhöhe so groß, daß die Deckenträger nur wenig unter dem Gelände lagen. Es war daher einfacher und zweckmäßiger, besonders da die Zugänglichkeit zur Baugrube beschränkt war, die Eisenkonstruktionen, Stützen, Unterzüge und Deckenträger, von oben mittelst Kränen einzubringen. Dazu mußten die die Kranbahnen und Kräne tragenden Steifen aus Eisen ausgebildet werden, da Holzsteifen für diese Traglasten nicht mehr ausreichten. Die IP 20 wurden durchgehend von einer Außenwand über die Baugrubenmittelwände hinweg zur anderen Außenwand im üblichen Abstände von 2,00 m gestreckt, an den Stoßstellen über den Mittelwänden mittelst eiserner Platten fest angekeilt und dann an den Außenrammträgern und den obersten C-Eisen der Mittelwände angeschlossen. Aus der Anordnung von Eisensteifen in der obersten Lage und von Holzsteifen in den übrigen Lagen haben sich Nachteile auch bei Temperaturänderungen nicht gezeigt; bei steigender Wärme war natürlich ein Nachkeilen der hölzernen Steifen erforderlich.

Der Regelabstand der Steifen in waagerechter Richtung beträgt entsprechend dem Regelabstand der Außenrammträger 2,00 m. Die lotrechte Entfernung der Steifen voneinander soll zweckmäßig im Lichten etwa 3,00 m nicht überschreiten. Bei der Bemessung der Steifenstärke ist eine etwaige Belastung durch Teile der Baustelleneinrichtung wie z. B. durch Förderbahnen, Flaschenzüge, Transportbänder usw. zu berücksichtigen. Bei derart belasteten Steifen sind besondere Sicherungsmaßnahmen gegen Abgleiten zu treffen.

Die Steifen sind von vornherein auf richtige Längen zu schneiden. Das Zusammensetzen zweier Stücke einer Steife mittelst einer Stoßdeckung durch Profileisen ist unbedingt zu unterlassen. Die Steifen sind waagerecht einzusetzen und zu verkeilen. Läßt sich aus irgendeinem Grunde eine Steife nicht waagerecht einsetzen, so daß sie also ausweichen kann, so ist der Steifenkopf nach allen Richtungen durch Vorsetzen von Profileisen oder in sonst geeigneter Weise gegen Abgleiten zu sichern.

An den Mittelrammträgern lagern sämtliche Steifen in den C-Eisen, die zangenartig an den Rammträgern unmittelbar angeschraubt sind. An den Auflagerstellen der Steifen ist der Zwischenraum zwischen diesen beiden C-Eisen mit einem entsprechenden Rundholzstück auszufüttern, das gegen Herabfallen besonders zu befestigen ist.

An den Außenrammträgern ist die obere erste Steifenlage in ein durchgehendes C-Eisen zu lagern, das an die Rammträger angeschraubt ist. Damit die Steifenköpfe nicht durch Ausstemmen von Löchern für die Köpfe der Anschlußschrauben geschwächt werden, sind hier entsprechend hergerichtete Hartholzbretter zwischenzulegen. Das durchgehende C-Eisen hat den Zweck, den Abstand der Rammträger der Außenwand zu sichern, ein Verdrehen eines Außenrammträgers zu verhindern und den Erddruck gleichmäßiger auf die Steifen zu verteilen. Auch in der zweiten und dritten Steifenlage werden solche durchgehenden C-Eisen angeordnet. Die Steifen der zweiten und der dritten Steifenlage werden jedoch nicht in die C-Eisen eingesetzt, sondern der einfacheren Ausführung wegen auf diesen gelagert. Bei der vierten und den folgenden Steifenlagen können die durchgehenden C-Eisen entbehrt werden; sie würden ihrem Zweck doch nur kurze Zeit dienen, da sie mit Beginn der Betonarbeiten für den Tunnelkörper ausgebaut werden müssen. Es genügen für die Auflagerung der Steifen der vierten und folgenden Steifenlagen kurze, an den Außenrammträgern angeschraubte L- oder C-Eisenstücke. Die früher

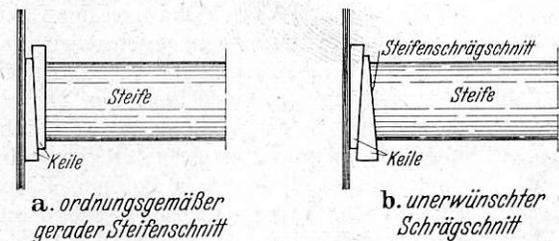


Bild 8. Ausbildung der Steifenkeile.

im Untergrundbahnbau üblichen Klammern für die Auflagerung der Steifen werden nicht mehr verwendet, da sie zur Kräfteaufnahme nicht sicher genug sind.

Die Verkeilung der Steifen ist für eine sachgemäße Ausführung der Baugrube von besonderer Wichtigkeit. Es sind Hartholzkeile von mindestens 3 cm mittlerer Stärke zu verwenden. Beim Einschlagen gespaltene Keile sind sogleich durch neue zu ersetzen. Buchenholzkeile spalten leicht; deshalb sind Eichenholzkeile vorzuziehen. Nicht immer werden die Steifen an ihren Enden senkrecht zu ihrer Achse, sondern manchmal schräg geschnitten sein. In diesem Falle müssen zur ordnungsmäßigen Verkeilung Keile verschiedener Neigung gegeneinander eingeschlagen werden (Bild 8).

Es ist versucht worden, die Steifen, statt sie mit Keilen anzuziehen, mit Wasserdruckpressen an die Außenrammträger anzupressen. Dieses Verfahren kommt jedoch nur für ein-, höchstens zweischiffige Baugruben in Betracht, da bei einem Steifenzug aus einer größeren Zahl von Steifen die Wirksamkeit der Pressung in der beabsichtigten Weise nicht gewährleistet wird und ohne eine vorübergehende Loslösung der Verbände in den Mittelwänden, die aber wiederum eine unzulässige Unsicherheit in der Aussteifung der Baugrube zur Folge haben würde, eine Pressung nicht möglich ist. Werden Wasserdruckpressen in schmalen Baugruben verwendet, so muß durch besondere Vorkehrungen dafür gesorgt werden, daß eine Nachpressung jederzeit möglich ist.

Ausbildung der Mittelwände.

In den Mittelwänden treten erstens senkrechte Kräfte auf, die aus dem Eigengewicht der Bauglieder der Aussteifung und,

falls es sich um eine abgedeckte Baugrube handelt, aus dem Eigengewicht der Fahrbahn und aus dem über die Baugrube geleiteten Straßen- und Straßenbahnverkehr herrühren. Zweitens haben die Mittelwände Horizontalkräfte in ihrer Längsrichtung aufzunehmen. Diese Kräfte kommen aus den Steifen; denn es ist ja praktisch unmöglich, einen Steifenzug genau gradlinig durchzuführen. Die Steifen werden auf einer Baustelle niemals völlig senkrecht zu ihrer Achse geschnitten und auch nicht senkrecht zur Mittelwand eingesetzt und angepreßt (verkeilt) werden können. Immer werden wenn auch geringe Knicke an den Mittelwänden in einem solchen Steifenzug vorhanden sein. Es muß also stets damit gerechnet werden, daß die Mittelwände in der Längsrichtung aus den Steifen kommende, waagrecht gerichtete Kräfte zu übernehmen haben. Außerdem sind bei einer abgedeckten Baugrube mit Straßen- und Straßenbahnverkehr die Brems- und Beschleunigungskräfte zu berücksichtigen, wenn solche in die Mittelwände gelangen. Diese sind folglich derart zu gestalten, daß sie alle diese Kräfte aufnehmen und nach unten in das Erdreich übertragen können.

Die Mittelwände bestehen aus den Mittelrammträgern, in 6 m Entfernung voneinander, und den Doppel-C-Eisen, die, in der Höhenlage jeder Steifenlage angeordnet, an den IP-Rammträgern angeschraubt sind. Durch die Rammträger und die sie verbindenden C-Eisenstangen werden also in der Mittelwand Vierecke geschaffen, deren Ecken nicht als derart starr angesehen werden können, daß Verschiebungen der Eckpunkte durch waagerechte Längskräfte nicht ausgeschlossen sind. Zur Sicherung gegen eine Verschiebung in der Längsrichtung müssen daher Verschwertungen zwischen den Mittelrammträgern eingebaut werden. Solche Verschwertungen behindern jedoch in hohem Maße die gesamten Arbeiten, besonders den Einbau des Tunnelkörpers. Teilweise z. B. beim Einbau der Deckenträger müßten die Verschwertungen schon beseitigt werden, bevor der Tunnel fertiggestellt ist. Diese Verschwertungen würden also nur vorübergehend und nicht dauernd, solange die Baugrube aussteift bleibt, dem ihnen zugewiesenen Zweck dienen. Daraus ergibt sich, daß für Verschwertungen in der Mittelwand hauptsächlich der Bereich oberhalb der Oberkante der künftigen Tunneldecke in Betracht kommt, in dem sie bis zur Fertigstellung des Tunnels erhalten bleiben können. Zur Überleitung der auftretenden Längskräfte aus den Verschwertungen im oberen Bereich der Mittelwand in den Boden müssen jedoch in Abständen Verschwertungen zwischen zwei Mittelrammträgern bis zur Bodenaushubsohle heruntergeführt werden. In Bild 1 (Längsschnitt), Taf. 8, ist diese Art der Verschwertung, wie sie im Untergrundbahnbau der Reichsbahn ausgeführt wird, dargestellt. Zwei Rammträger werden zwischen den C-Eisen der Steifenlagen bis Tunnelsohle-Unterkante durch Einziehen von Andreaskreuzen aus Profileisen zu steifen Jochen gestaltet. Diese Joche werden eingebaut auf geraden Strecken und in Krümmungen mit einem Halbmesser > 500 m in jedem vierten Mittelrammträgerfeld, in einer Krümmung < 500 m Halbmesser in jedem dritten Mittelrammträgerfeld, in einer Krümmung < 300 m Halbmesser in jedem zweiten Mittelrammträgerfeld.

Bei Erweiterung einer Baugrube, also beim Übergang von einer zu zwei oder von zwei bzw. drei zu mehr Mittelwänden sowie an den Stellen, wo die Mittelwände aus besonderen Gründen gegeneinander versetzt werden müssen, sind die jeweiligen Endfelder der betroffenen Mittelwände als Doppeljoche auszubilden. Bei größeren Ausrammungen von Mittelrammträgern, wenn diese also aus einem unvermeidlichen Grunde nicht in durchgehend gerader Richtung durchgerammt werden konnten, sind außerdem Zwischenjoche anzuordnen.

Das im untersten Feld liegende Andreaskreuz eines jeden Joches darf beim Betonieren der Sohle nicht herausgenommen

werden, da sonst die Standsicherheit der Mittelwand gefährdet wird. Diese Andreaskreuze sind einzubetonieren und später über der Betonsohle abzuschneiden.

Die Köpfe der so gebildeten Joche und Doppeljoche sind in allen Mittelrammträgerreihen möglichst zwischen den

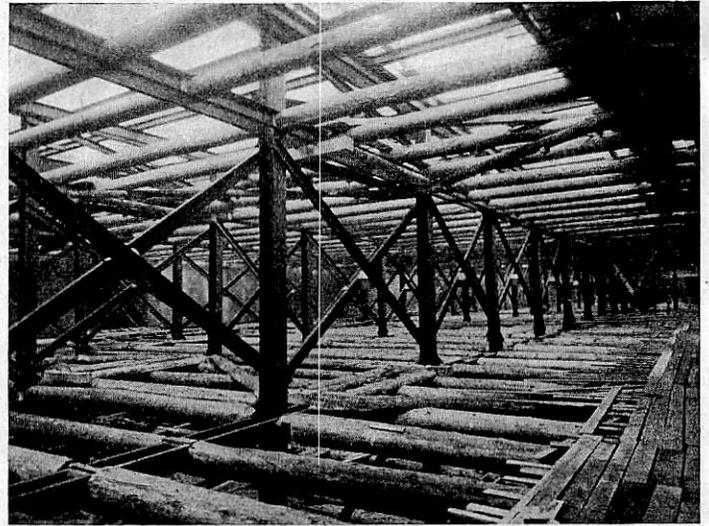


Bild 9. Verschwertung der Mittelrammträger zwischen der ersten und zweiten Steifenlage.

C-Eisen der beiden obersten Steifenlagen und über der künftigen Tunneldecke durch Andreaskreuz aus Profileisen zu verbinden (Bild 9).

Querverbände.

Um auch die Außenwände zur Aufnahme der in den Mittelwänden auftretenden waagerechten Längsschübe heranzuziehen, wird in jedem sechsten Mittelrammträgerfeld (also in einer Entfernung von etwa 30 m) in einer und bei tieferen Baugruben in zwei Steifenlagen je ein, von den Steifen unabhängiger Horizontalverband eingebaut. Diese Verbände werden zweckmäßig über der Tunneldecke angeordnet, damit sie die Tunnelbauarbeiten möglichst wenig behindern und bis zur Fertigstellung des Tunnels bestehen bleiben können. Bei einer zweischiffigen Baugrube besteht ein solcher waagerechter

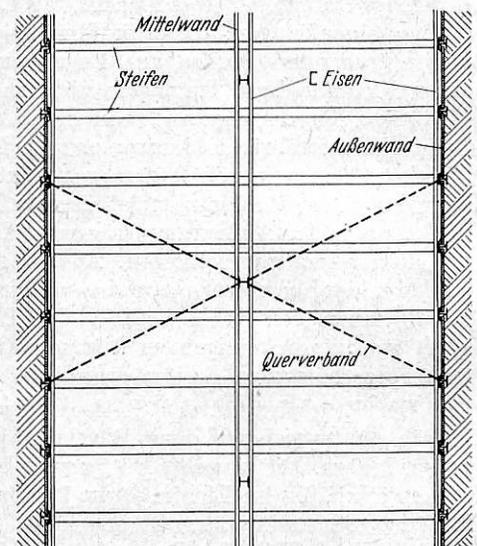


Bild 10. Grundriß einer zweischiffigen Baugrube mit kreuzförmigem waagrechtem Querverband.

Verband aus einem Kreuz (Bild 10); bei einer dreischiffigen Baugrube wird der Verband als Doppelsprengewerk ausgebildet. In Bild 11 ist ein solches Doppelsprengewerk aus Holz dargestellt.

Bei mehr als dreischiffigen Baugruben werden Fachwerkverbände aus Profileisen erforderlich. Ihre Ausbildung richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen und der Größe der aufzunehmenden Kräfte und kann also nur von Fall zu Fall be-

stimmt werden. Für einen solchen Querverband, der von Außen- zu Außenwand unabhängig von den Steifen wenn möglich über der Tunneldecke einzubauen ist, kommt den in Rechnung zu stellenden Verhältnissen entsprechend in Frage: ein einzelner horizontaler, eiserner Fachwerksverband, bei tieferen Baugruben zwei übereinander in verschiedener Höhenlage anzuordnende, eiserne Horizontal-Fachwerksverbände, die, falls die jeweiligen Verhältnisse es erfordern, durch Hinzufügung von Füllungsstäben in den lotrechten Ebenen zwischen ihren Gurtungen zu einem räumlichen Fachwerk gestaltet werden (Bild 12, Taf. 8).

In dem umstehenden Bild 13 und dem Bild 14 auf Taf. 9 sind Anordnung und Ausbildung solcher Verbände dargestellt, die in den tiefen und breiten Baugruben für die Tunnelbauten der Nordsüd-S-Bahn in Berlin eingebaut worden sind. Großer Wert ist auf ihre einfache Gestaltung zu legen, und zwar besonders mit Rücksicht auf eine leichte Wiederverwendung und eine leichte Arbeit in der engen Baugrube. Es ist daher die Verwendung möglichst wenig verschiedener Profile zu erstreben. Im allgemeinen werden zwei Profile ausreichen (Bild 14, Taf. 9). Ebenso müssen zwecks geringer Baustellenarbeit die Anschlüsse so einfach wie möglich gehalten werden; wenn sich die Anwendung von Knotenblechen nicht

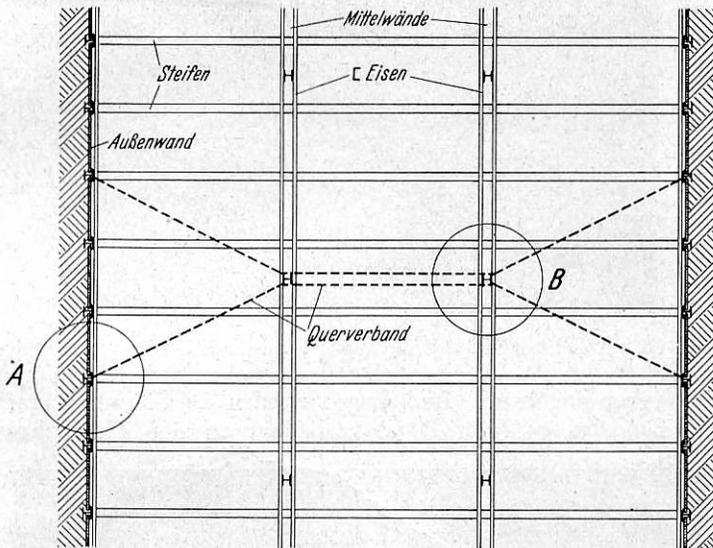


Bild 11. Grundriß einer dreischiffigen Baugrube mit einem waagerechten Querverband, als Doppelsprengewerk ausgebildet.

umgehen läßt, so werden Bleche von 10 mm Stärke eingebaut. Am zweckmäßigsten ist es natürlich, die Gurtstäbe eines Fachwerksverbandes unmittelbar an die Mittelrammträger anzuschließen; das wird aber nur in den seltensten Fällen möglich sein, da die Mittelrammträger fast niemals in solcher Flucht stehen, daß die geradlinig geführten Gurtungen unmittelbar an die Mittelrammträger angeschlossen werden können. Man wird daher meistens den Abstand der beiden Stäbe einer Gurtung vergrößern müssen, so daß die Rammträger zwischen ihnen stehen. Aber auch dann kann es vorkommen, daß ein völlig außerhalb der Flucht stehender Rammträger nicht erfaßt wird; man ist in solchen Fällen gezwungen, diesen Rammträger durch Profileisen an den Horizontal- oder den räumlichen Fachwerksverband besonders anzuschließen. Die Gurtungen werden an die Außenrammträger mit Brustträgern angeschlossen; denn die Außenrammträger werden selten in der gewählten Flucht der Gurtungen liegen und außerdem ist es zweckmäßig, die Kräfte auf mehrere Außenrammträger zu verteilen.

Fahrbahnabdeckung.

Die Fahrbahnträger lagern auf den obersten durchgehenden C-Eisen der Außenwände und sind mit diesen fest verschraubt.

Bei zwei- und mehrschiffigen Baugruben mit einer oder mehreren Baugrubenmittelwänden werden die Fahrbahnträger über den Mittelwänden geteilt, so daß jeder Träger einem Balken auf zwei Stützen entspricht (Bild 15).

Die Stützpunkte sind die C-Eisen der Außenwände und die Unterzüge der Mittelwände, über denen die Fahrbahnträger versetzt angeordnet werden. In Anbetracht der längeren Benutzungsdauer durch den Straßenverkehr sind die Anschlüsse der Fahrbahnträger an die Unterzüge und die Anschlüsse der Unterzüge an die Rammträger entsprechend denen einer Straßenbrücke auszubilden. Auf Bild 1, Taf. 8 und Bild 16 sind diese Verbindungen dargestellt.

Zur Übertragung der aus den Straßenfahrzeugen kommenden Bremskräfte in die Außenwände werden abgesehen von schmalen Baugruben, bei denen die Fahrbahndecke mit den durchgehenden Fahrbahnträgern die Bremskräfte unmittelbar in die Außenwände überträgt, in einem Abstand von rund 30 m besondere Bremsverbände angeordnet. Ihre Lage richtet sich nach der Örtlichkeit; z. B. werden die Bremsverbände zweckmäßig vor Straßenbahn- und Omnibushaltestellen angelegt, an denen die Bremswirkungen am häufigsten und regelmäßig auftreten. Diese Verbände bestehen aus L-Eisen, die zwischen zwei Fahrbahnträgern an deren oberen Flanschen angeschraubt werden, so daß die beiden Fahrbahnträger mit den Winkeleisen einen horizontalen Fachwerkträger bilden. Wird eine breite Baugrube durch besondere Querverbände zur Übertragung der in den Mittelwänden auftretenden Längskräfte in die Außenwände ausgesteift, so empfiehlt es sich, diese Verbände derart anzuordnen, daß sie auch die Übertragung der Bremskräfte in die Außenwände übernehmen, so daß dann besondere Bremsverbände entbehrt werden können.

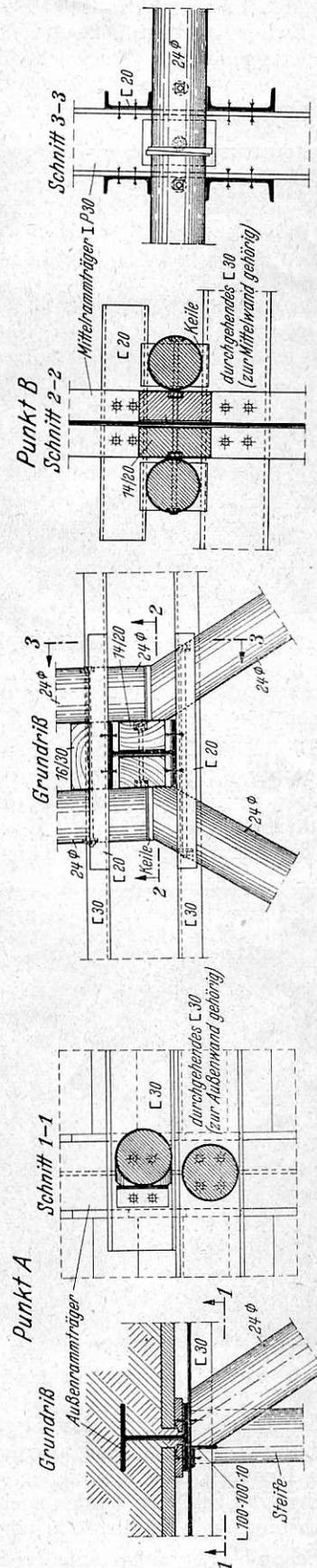


Bild 11 b.

Bild 11 a.

Die Fahrbahndecke besteht aus mindestens 16×16 cm starken kiefernen Kanthölzern und darüber gelegten 5 cm starken Bohlen. Die Kanthölzer werden in der Längsrichtung ohne Zwischenraum verlegt und alle 30 m durch L-Eisen gegen Wandern gesichert. Reicht die Baugrube unter die Bürgersteige, so sind die Kanthölzer, obgleich die gewöhnliche Belastung es nicht erfordert, auch unter diesen anzuordnen, damit

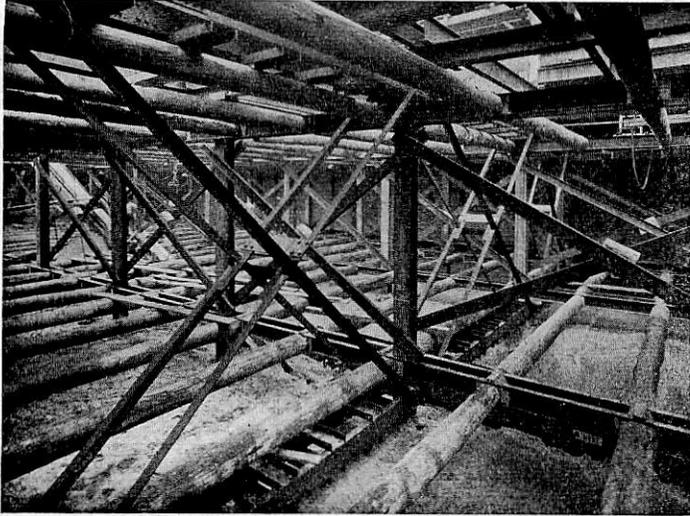


Bild 13. Eiserner Querverband (Teil eines räumlichen Fachwerks).

Fahrzeuge, die etwa die Bordkante überfahren, nicht durchbrechen können.

Die Gleise der Straßenbahnen werden auf Querschwellen verlegt; diese lagern auf Längsbalken, die zwischen den Fahrbahnträgern eingespannt werden und auf deren Unterflanschen aufruhem (Bild 17, Taf. 10). Es muß dafür gesorgt werden, daß die Schwellen auf den Längsbalken und diese wieder

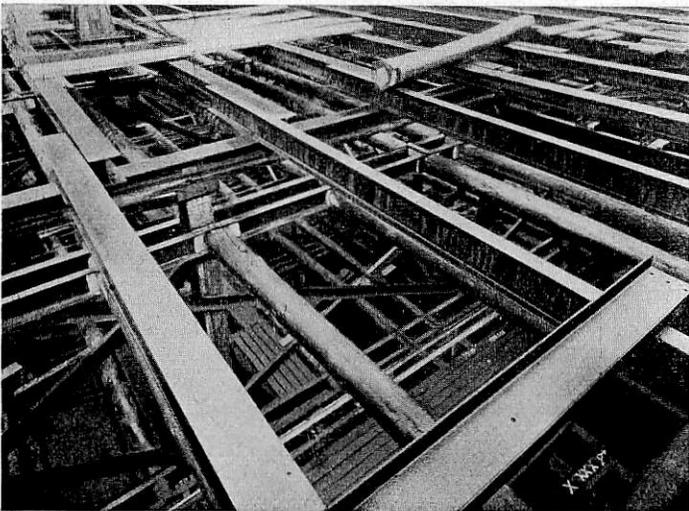


Bild 15. Einbau der Fahrbahnträger.

an den Fahrbahnträgern festgelegt werden, damit eine Verschiebung in jeder Richtung ausgeschlossen ist. Dies geschieht durch Knaggen, Rundholzsteifen und L-Eisen. Gegen das Wandern der Schienen werden noch besondere Wanderschellen im Abstände von 24 bis 30 m eingebaut.

Schon bei der Aufstellung des Entwurfs für den Tunnel ist bezüglich seiner Höhenlage darauf zu achten, daß für die in Bild 17, Taf. 10, dargestellte, normale Ausbildung der Fahrbahn eine ausreichende Höhe vorhanden ist. Das Einwinkeln der Fahrbahnträger in die Unterzüge, wie Bild 18, Taf. 10,

zeigt, soll einen Ausnahmefall bilden, da diese Ausführung wesentlich zeitraubender und auch kostspieliger ist. Um den Abstand der Fahrbahnträger zu sichern, sind hier Rund-

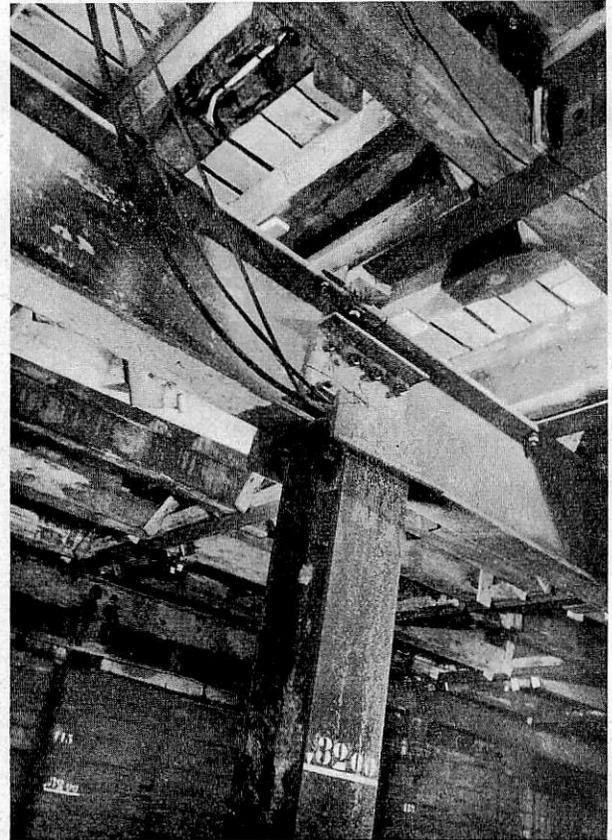


Bild 16. Anschluß eines Unterzuges an einen Mittelrammträger.

eisenanker eingebaut. Im übrigen werden die Schwellen auf den Längsbalken und die Längsbalken an den Fahrbahn-



Bild 20. Fahrbahnausbildung mit Straßenbahngleisen bei sehr beschränkter Bauhöhe.

trägern ähnlich wie oben beschrieben festgelegt, wenn dieses auf dem Bild auch nicht gezeichnet ist.

Schwierig gestaltet sich die Ausbildung der Fahrbahn der Straßenbahn, wenn das Straßenbahngleis die Fahrbahnträger schräg kreuzt und dabei die zur Verfügung stehende Bauhöhe äußerst knapp bemessen ist. Wie aus Bild 19, Taf. 10, ersicht-

lich, ist der Einbau von Längsbalken und Querschwellen für die Straßenbahngleise nicht immer möglich. Die Längsbalken hätten schräg zu den Fahrbahnträgern verlegt werden müssen; bei dieser Stützweite hätten sie eine nicht verfügbare Höhe beansprucht. Folglich wurden eiserne Längsschwellen aus IP 18 angeordnet, die auf den Fahrbahnträgern auflagerten (Bild 20). Aber auch bei dieser Ausbildung war ein Anheben der Straßenbahngleise über die Straßendecke hinaus unvermeidlich, so daß seitlich der Straßenbahngleise Rampen mit Neigungen 1:25 hergestellt werden mußten.

Kopframmwände.

Um den Bau einer längeren Untergrundbahnstrecke zu beschleunigen, wird die Gesamtstrecke in Lose eingeteilt und in mehreren Losen gleichzeitig mit den Arbeiten begonnen. Daraus ergibt sich manchmal ein Abschluß einer einzelnen Baugrube senkrecht zur Tunnelachse. Dieser Abschluß wird am zweckmäßigsten durch eine Böschung hergestellt. Senkrechte Abschlußwände aus Rammträgern mit dazwischen gesetzten Bohlen, sogenannte Kopframmwände, sind zu vermeiden. Ist bei ganz besonderen örtlichen Verhältnissen ihre Ausführung durchaus nicht zu umgehen, so muß dafür gesorgt werden, daß die in den Kopframmwänden aufkommenden Erd drücke mit den vorhandenen oder später zu erwartenden Auflasten nicht in die Mittelwände, sondern unmittelbar in die Außenwände geleitet werden. Es ist daher vor den Kopframmwänden in der Höhe jeder Steifenlage je ein Sprengewerk anzuordnen. In Bild 21, Taf. 11, ist die Ausbildung einer Kopframmwand mit Sprengewerken dargestellt. Das unterste Sprengewerk besteht aus IP-Trägern; die eisernen Streben dieses Sprengewerks werden nicht wieder herausgenommen, sondern in die Tunnelsohle mit einbetoniert, um die Rammträger der Kopframmwand an ihren Füßen dauernd bis zu ihrem Abbruch zu sichern. Ein Einbetonieren der Kopframmträger in die Tunnelsohle ist nicht möglich, da die Tunnelsohle wegen des späteren Anschlusses der Dichtung nicht bis zur Kopframmwand hergestellt werden kann.

Bei breiteren Baugruben müssen anstatt der Sprengewerke, ebenfalls in jeder Steifenlage, waagerechte Brustträger angeordnet werden; die Überleitung der Kräfte aus den Brustträgern in den Baugrund ist von Fall zu Fall zu bestimmen.

Abfangung der Mittelrammträger.

a) Auf der Tunnelsohle (Bild 22).

Beim Betonieren der Tunnelsohle müssen die Mittelrammträger ausgespart werden; es verbleibt um jeden Mittelrammträger ein Loch von 1,50.1,50 m. Diese Lochgröße ist erforderlich, um die Dichtung, aus vier Lagen bestehend, bei einer Überlappung von 10 cm je Dichtungslage, nach Abschneiden des Rammträgers ordnungsmäßig ausführen zu können. Nach Abbinden des Betons wird der Träger mittels zweier C-Eisen auf die fertige Tunnelsohle seitlich der Aussparung abgestützt und gleichzeitig in der Sohle verankert, damit der Träger gegen Ausweichen nach allen Richtungen festgelegt ist. Anschließend wird der Träger unterhalb der Schutzschicht und unterhalb der Abfangung abgeschnitten, dieser Trägerteil herausgenommen, die Schutzschicht, die Dichtung und die Rundeisenbewehrung in der Aussparung hergestellt und nach Anbringen einer Verankerung aus IP- oder C-Eisen an dem neu entstandenen Trägerfuß das Sohlenloch mit Beton geschlossen (Bild 23, Taf. 11). Die einstweilige Abfangung kann dann beseitigt werden.

b) Auf der Tunneldecke (Bild 24).

Bei der Herstellung der Tunneldecke wird zunächst an der Durchdringungsstelle eines jeden Mittelrammträgers in der Decke ein Loch gelassen, dann wird durch Profileisen jeder Rammträger einzeln abgefangen und auf Schwellenlager ab-

gestützt, die auf der fertig abgedichteten und mit der Betonschicht geschützten Tunneldecke aufgebaut werden. Der Mittelrammträger wird unterhalb der Abfangung abgeschnitten und der untere Trägerteil herausgenommen, die Decke an dieser Stelle geschlossen, abgedichtet und die Schutzschicht aufgebracht. Auf dieser wird sodann ein Klotz aufbetoniert,

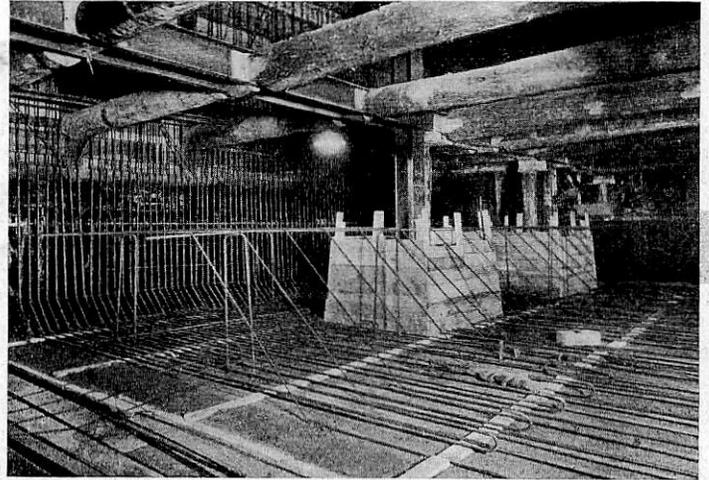


Bild 22. Abfangung der Mittelrammträger auf der Tunnelsohle.

dessen Grundfläche so groß zu wählen ist, daß die zulässige Druckpressung der Dichtung von 1 kg/cm² nicht überschritten wird. In diesen Betonklotz wird oben ein Schuh, aus Platte und Winkeleisen bestehend, für den Rammträger eingesetzt; der Schuh wird jedoch nicht mit dem Rammträger verschraubt,

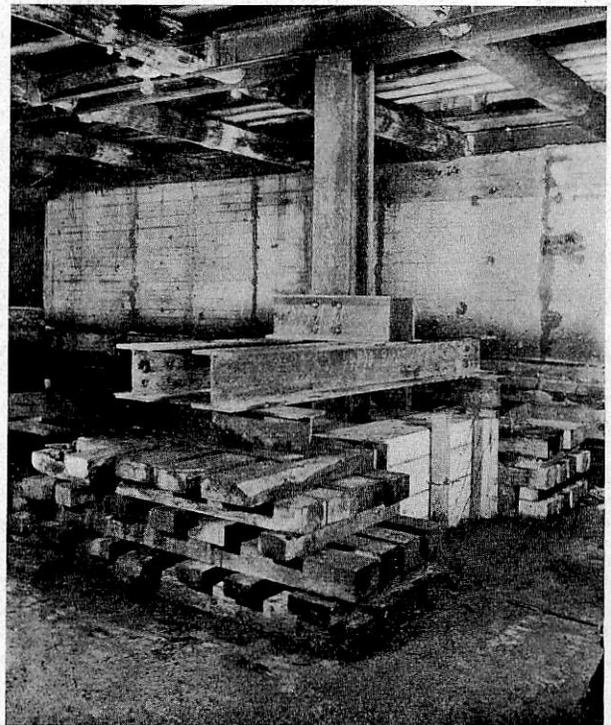


Bild 24. Abfangung eines Mittelrammträgers auf der Tunneldecke.

damit dieser herausgezogen werden kann, sobald die obere Baugrube mit Boden verfüllt ist (Bild 25, Taf. 11). Nach Fertigstellung dieser Arbeiten können Abfangekonstruktion und Schwellenlager wieder ausgebaut werden. Das Abfangen und Absockeln der Träger geschieht zweckmäßig nur in kleinen Abschnitten dem Fortschritt der Bodenverfüllung entsprechend. Ist der Höhenunterschied zwischen Tunneldecke

und Straßenoberkante jedoch groß (etwa $> 3,00$ m), so empfiehlt es sich, auch in einem Einzelabschnitt nicht alle Mittelrammträger gleichzeitig abzufangen und abzusockeln, sondern zunächst nur etwa jeden vierten Träger und anschließend die dazwischen liegenden Rammträger in der gleichen Reihenfolge vorübergehend abzustützen und dann auf Sockel zu setzen.

Zonenbauweise.

Bei allen Tiefbauten wird das Bestreben vorherrschen, nach dem Ausschachten der Baugrube anschließend sofort mit der Herstellung des endgültigen Bauwerks zu beginnen; denn jede Baugrubenaussteifung, für einen vorübergehenden Zustand namentlich bezüglich der Verbindungen hergestellt, unterliegt den Einflüssen der Witterung und den dynamischen Wirkungen der beweglichen Lasten in größerem Maße als es bei Bauwerken des Dauerbestandes der Fall ist. Folglich ist es auch beim Bau eines Untergrundbahntunnels richtig, dem Bodenaushub sogleich den Einbau des Tunnels anschließend folgen zu lassen, also eine Zonenbauweise anzuwenden. Um namentlich bei abgedeckten Tunnelbaugruben, über die der Straßen- und Straßenbahnverkehr hinwegführt, eine größere Bewegungsfreiheit bei den Arbeiten in der Baugrube, der Abbeförderung des Bodens und der Heranschaffung der Tunnelbaustoffe, zu haben, ist es nötig, den Raum unter der Straßendecke bis kurz unter die zweite Steifenlage auf eine große Strecke freizulegen. Die weiteren Ausschachtarbeiten unterhalb der zweiten Steifenlage werden in kleineren Abschnitten ausgeführt. Die Länge der einzelnen Zone ist natürlich abhängig von der Breite der Baugrube, der Leistungsfähigkeit der zur Verfügung stehenden Betonmaschinen und der Größe der Betonmasse, die als Tunnelsohlenbeton in durchgehender Arbeitsschicht verarbeitet werden soll. Die größte Zonenlänge darf das Maß von etwa 18,00 m nicht überschreiten. In Bild 26 ist eine solche Zonenbauweise bei einer Baugrubentiefe mit drei übereinander liegenden Steifen dargestellt, bei der der Grundgedanke durchgeführt ist, daß immer nur drei Zonen gleichzeitig in Arbeit sind.

Der Bauvorgang gestaltet sich folgendermaßen: Nachdem der Boden bis unterhalb der zweiten Steifenlage ausgeschachtet worden ist, wird in Zone 1 die Ausschachtung bis zur Unterkante der Sohlenschutzschicht vorgetrieben. Während in Zone 1 sodann anschließend die Sohlenschutzschicht und die Dichtung mit der oberen Schutzschicht eingebracht werden, ist der Bodenaushub in Zone 2 völlig beendet. In dem anschließenden Zeitraum werden in Zone 1 die Rundeisen verlegt und die Sohle wird betoniert, in Zone 2 die Sohlenschutzschicht, die Dichtung und die obere Betonschutzschicht hergestellt und gleichzeitig in Zone 3 der Boden völlig ausgehoben. Nach Fertigstellung der Eisenbetonsohle in Zone 1 wird anschließend in Zone 2 nach Verlegen der Rundeisen die Sohle betoniert, in Zone 3 die Schutzschichten mit der Dichtung eingebracht und die Zone 4 voll ausgeschachtet. Dementsprechend folgen die Arbeiten in den weiteren Zonen.

Bei einer Baugrubentiefe mit mehr als drei übereinander liegenden Steifenlagen beginnt die Zonenbauweise ebenfalls unterhalb der zweiten Steifenlage. Der Boden unterhalb der zweiten bis unterhalb der dritten Steifenlage kann dann um eine Zonenlänge über den oben beschriebenen Zonenbau hinaus vorwärts schreitend ausgehoben werden.

Ausbau der Baugrubenaussteifung und Verfüllung des Tunnels.

Grundsätzlich darf mit dem Ausbau der einzelnen Teile der Baugrubenaussteifung erst begonnen werden, wenn der Weiterbau des Tunnelbauwerks den Ausbau unbedingt erforderlich macht und die Aussteifungsteile wirklich entbehrt bzw. ihre Aufgaben vom fertigen Tunnel übernommen werden können.

Dem Aufbau des Tunnels entsprechend muß zunächst die unterste Steifenlage entfernt werden. Die bis zur untersten

Steife schon fertiggestellten Tunnelwände haben dann den entsprechenden Erddruck aufzunehmen. Für den Ausbau der höher gelegenen Steifenlage wird eine neue provisorische Aussteifung der fertigen Tunnelwände nötig, die bis zu dem Zeitpunkt bestehen bleiben muß, an dem die Decke mit den Deckenträgern einwandfrei die betreffenden Erddrücke auf die Seitenwände übernehmen kann.

Die C-Eisen und die Andreaskreuze der Mittelwände, die die sogenannten Joche bilden, müssen solange als irgend möglich erhalten bleiben. Sie dürfen also frühestens entfernt werden, wenn die Mittelrammträger in den Aussparungen der fertigen Tunneldecke durch Keile gegen waagerechte Verschiebungen festgelegt worden sind. Sollten die Andreaskreuze einer Mittelwand dem Verlegen der Deckenträger hinderlich sein, so ist

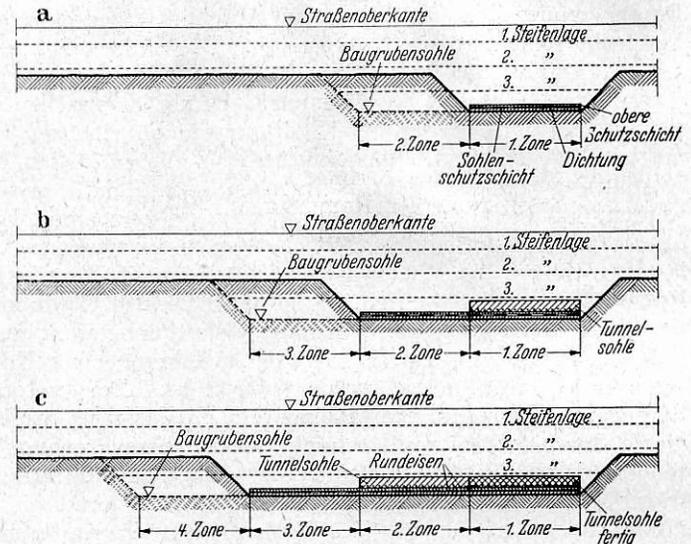


Bild 26. Zonenbauweise. Zonenlänge etwa 15 bis 18 m.

- Zu a: Gleichzeitige Arbeiten
 in Zone 1: Herstellung der Sohlenschutzschicht, der Dichtung und der oberen Schutzschicht;
 in Zone 2: Bodenaushub bis zur Baugrubensohle.
- Zu b: Gleichzeitige Arbeiten
 in Zone 1: Verlegen der Rundeisen und Betonieren der Tunnelsohle;
 in Zone 2: Herstellung der Sohlenschutzschicht, der Dichtung und der oberen Schutzschicht;
 in Zone 3: Bodenaushub bis zur Baugrubensohle.
- Zu c: Gleichzeitige Arbeiten
 in Zone 2: Verlegen der Rundeisen und Betonieren der Tunnelsohle;
 in Zone 3: Herstellung der Sohlenschutzschicht, der Dichtung und der oberen Schutzschicht;
 in Zone 4: Bodenaushub bis zur Baugrubensohle.

von Fall zu Fall zu überlegen, wie Ersatz geschaffen werden kann und wie die Standsicherheit der Mittelwand gewahrt bleibt. Da die durchgehenden Kreuzverbindungen der Mittelrammträger, die die oben erwähnten Joche miteinander verbinden, im allgemeinen oberhalb der Tunneldecke liegen, so kommt ihr Ausbau erst in Frage, wenn die Tunneldecke völlig fertig ist und der darüber liegende Teil der Tunnelbaugrube wieder mit Boden ausgefüllt wird.

Die Verfüllung geschieht in Lagen von 20 cm Stärke unter Nassen und Stampfen, damit die Sackungen des Bodens verringert werden. Der Auffüllboden ist über die ganze Tunnelbreite in Schichten aufzubringen; eine stufenweise Schüttung in der Richtung von Tunnelaußenwand zu Außenwand muß vermieden werden, weil dabei die Deckenschutzschicht erhebliche zusätzliche Zugkräfte aus den Erddrücken aufzunehmen hat, die zur Reißbildung und Verschiebung der Schutzschicht führen können. Durch ihre Bewegung kann die Dichtung beschädigt werden.

In der Regel wird von dem Ziehen der Außenrammträger abgesehen, da beim Ziehen der Träger, auch wenn nach Bild 27 zwischen Träger und Betonschutzschicht ein Trägerschutzblech gelegt wird, die Gefahr besteht, daß die Betonschutzschicht mit der Abdichtung gewaltsam losgerissen und der Tunnel dann undicht wird. Besonders ist dieses zu befürchten, wenn der Träger nicht völlig senkrecht steht.

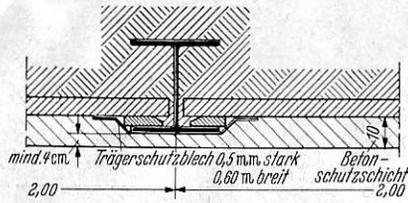


Bild 27.

Anordnung eines Trägerschutzbleches.

Bei solchen Trägern, bei denen bei Ausführung der Erdarbeiten Abweichungen von der senkrechten Stellung festgestellt worden sind, wird ein Ziehen der Träger demnach überhaupt nicht in Frage kommen. Gegen das Belassen der Rammträger in ihrer Gesamtlänge im Boden bestehen sonst keine Bedenken, vorausgesetzt, daß seitens der städtischen Behörden kein Einspruch erhoben wird. (Für die Berliner Untergrundbahnen hat die Stadt die Beseitigung der Rammträger bis auf 2,50 m von der Straßenoberkante ab gefordert.)

Die Bohlen zwischen den Außenrammträgern im Bereich von der Straßenoberkante bis zur Deckenschutzschicht müssen jedoch restlos ausgebaut werden. Beim Verbleib der Bohlen und der Außenrammträger im Erdreich können die Bohlwände durch den Erddruck mit etwa vorhandenen Auflasten nach der immerhin noch nicht völlig fest gelagerten Bodenauffüllung hin gebogen und demzufolge von der Seitenwand des Tunnelkörpers abgedrückt werden. Die Dichtung an der Seitenwand des Tunnels verliert dann den notwendigen Einpressungsdruck, verrottet allmählich und der Tunnel wird undicht.

Wird von dem Ziehen der Träger in ihrer Gesamtlänge Abstand genommen, so ist es am zweckmäßigsten, die Rammträger in Höhe der Oberkante Deckenschutzschicht abzuschneiden (Bild 28), und den oberen abgeschnittenen Träger teil nach Verfüllung der Baugrube herauszuziehen. Dadurch ist am sichersten jede Gefährdung ausgeschlossen, die durch stehenbleibende Bohlwände eintreten kann.

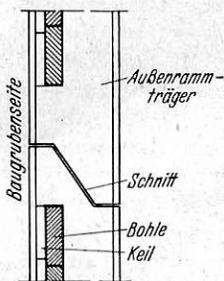


Bild 28.

Abschneiden der Außenrammträger.

Daß durch Belassung der über die Deckenoberkante hinausragenden Träger-Bohlwände im Erdreich im Zusammenhang mit einer unsachmäßigen Verfüllung der Baugrube Schäden an der Betonschutzschicht und an der Dichtungshaut entstehen können, hat die Erfahrung gezeigt. Die Beseitigung der in diesem Falle eingetretenen Schäden hat hohe Kosten verursacht.

Sonderausführungen beim Bau der Berliner Nordsüd-S-Bahn.

a) Chemische Verfestigung des Bodens hinter den Außenwänden.

Wie schon im Abschnitt „Bohlen der Außenwände“ gesagt, müssen die Bohlen zwischen den Außenrammträgern mit besonderer Sorgfalt eingesetzt werden; sie müssen dicht aneinander liegen, damit durch die Fugen feinkörniger Boden nicht hindurchdringen kann. Namentlich bei Brüchen von Wasserrohren kann durch Ausspülen des Bodens ein nicht unbedenklicher Zustand eintreten. Um einen solchen auszu-

schließen, ist daher an den Stellen, an denen hinter der Außenwand unter Druck stehende Rohrleitungen (besonders solche schon längerer Liegedauer) liegen, der Sandboden chemisch verfestigt worden.

Derartige Versteinerungen sind aber auch in anderen Fällen angewendet worden, gewissermaßen als Ersatz für andere Sicherungsmaßnahmen benachbarter Gebäude. Wie Bild 29, Taf. 12, zeigt, ragt eine Ecke eines einstöckigen Gebäudes bis 50 cm an die Außenwand der Baugrube heran. Von einer Untermauerung des Hausfundaments, die rund 11,00 m tief im Schachtbau hätte herunter geführt werden müssen, wurde Abstand genommen, dafür wurde der Boden hinter der Rammträgerwand in einer Stärke von 1,00 m verfestigt, und zwar auf die Länge des ganzen Hauses. Da sich der Abstand der Baugrubenwand vom Hausfundament allmählich vergrößert, so wurde die Oberkante des Verfestigungsblocks treppenförmig gestaltet, und zwar wurde diejenige Höhenordinate gewählt, die sich aus dem Schnittpunkt der Außenkante des Verfestigungsblocks mit der Druckverteilungslinie vom Hausfundament unter dem Winkel von 30° ergab (vergl. Schnitt A—A des Bildes 29, Taf. 12). Die Verfestigung ist bis auf die vorhandene Mergelschicht hinunter geführt worden. Bei Sand oder Kies hätte man natürlich die Verfestigung bis zur Baugrubensohle ausgeführt.

b) Seitenabschluß der Baugrube durch eine Eisenbetonwand.

Der senkrechte Seitenabschluß der Tunnelbaugrube ist beim Bau der Berliner Nordsüd-S-Bahn an mehreren Stellen nicht aus Rammträgern mit dazwischen gesetzten Bohlen, sondern aus einer Eisenbetonwand hergestellt worden, die allgemein „Schürze“ genannt wird. Die Gründe für die Wahl einer Schürze als Außenwand einer Baugrube sind verschiedener Art. In einem Falle will man vermeiden, daß die Erschütterungen beim Rammen der Träger einen ungünstigen Einfluß auf ein Gebäude ausüben, das nahe der Baugrube liegt, und dessen baulicher Zustand nicht völlig einwandfrei ist.

Im anderen Falle sollen durch eine solche Schürze die Kosten einer Untermauerung eines nahe der Baugrube liegenden Gebäudes erspart werden (besonders wenn es sich um verhältnismäßig hohe Forderungen des Hausbesitzers für Entschädigungen handelt, die z. B. durch die Bauarbeiten der Untermauerung verursacht werden). Aber auch andere Gründe können für die Anordnung einer Schürze maßgebend sein.

Die Stärke und Bewehrung der Schürze hängen natürlich von den jeweiligen Verhältnissen, der Schürzenbelastung und von der Aussteifung der Baugrube, ab. Die Mindeststärke beträgt 1,00 m, da zur ordnungsmäßigen Ausführung der Eisenbetonmauer im Schachtbau dieses Maß unbedingt erforderlich ist. Die Zahl und der Abstand der Schächte voneinander, mit deren Ausführung gleichzeitig begonnen werden kann, wird nach der zu beachtenden Standsicherheit des benachbarten Gebäudes bestimmt. Damit die in den einzelnen Schächten hergestellten Eisenbetonpfeiler eine durchgehende Mauer bilden und der einzelne Pfeiler sich nicht allein nach der Baugrube hin bewegen und sich allein auch nicht setzen kann, werden die Pfeiler sowohl in senkrechter, als auch waagerechter Richtung miteinander verzahnt. Außerdem werden aus dem gleichen Anlaß die Längsrundisen von Pfeiler zu Pfeiler durchgeführt. Bei den zuerst ausgeführten Pfeilern müssen daher diese Rundisen zunächst nach oben abgebogen werden. Die Schürze wird nur bis zu einer Höhe von 2,50 bis 3,00 m unter Straßenoberkante hergestellt, damit Leitungen, Kabel usw. über sie hinweg geführt werden können. Der Bereich oberhalb der Schürze wird als Trägerbohlwand in der üblichen Art ausgebildet; die Träger werden dabei in die Eisenbetonwand eingesetzt. Die

Unterkante der Schürze liegt 1,00 m unter Baugrubensohle, falls nicht die Bodenverhältnisse eine tiefere Gründung erfordern (Bild 30, Taf. 12).

e) Seitenabschluß der Baugrube durch vertiefte, durchgehende Fundamente von Gebäuden.

An manchen Stellen muß der Untergrundbahntunnel infolge der Gleisführung so dicht an die Gebäude gelegt werden, daß die Baugrubenaußenkante nur in ganz geringem Abstand von der Baufuchtlinie liegt. Eine Tieferführung der Gebäudefundamente wird erforderlich. Sie wird im Schachtbau vom Keller des Gebäudes aus oder, wenn der Keller für die Bauarbeiten nicht in Anspruch genommen werden kann, mit Vorschächten von der Straße aus ausgeführt (Bild 31, Taf. 13). Die Stärke der vertieften Mauer ist natürlich von der vorhandenen Fundamentstärke und der Baugrubenaussteifung, die Stärke des Mauerfußes von der zulässigen Bodenpressung abhängig. Die Ausführungsart entspricht derjenigen der im vorhergehenden Abschnitt b) beschriebenen Schürze. Nach Fertigstellung der vertieften Gründungsmauern werden dem Baugrubenaushub folgend die Steifen gegen diese Mauer gesetzt.

d) Seitenabschluß der Baugrube durch untermauerte Tragpfeiler von Gebäuden mit dazwischen gesetzter Ausbohlung.

Schwieriger in der Ausführung gestaltet sich der Seitenabschluß der Baugrube an Gebäuden, deren Fundamente nicht aus durchgehenden Banketten, sondern aus einzelnen Tragpfeilern bestehen, besonders wenn es sich, wie beim Europahaus in der Saarlandstraße in Berlin, um einen Stahlskelettbau eines Hochhauses handelt. Hier mußten die einzelnen Hauspfeiler zunächst abgefangen und erst dann konnten zwischen den Auflagerungen der Abfangungsträger die Pfeileruntermauerungen im Schachtbau ausgeführt werden. Die Abfangung geschah mit Hilfe von Stichträgern, Streichträgern und Unterzügen. Die Unterzüge wurden auf vier vorher hergestellte Hilfsgründungen (mittels Pressen zur Vermeidung späterer Pfeilersetzungen) abgesetzt (vergl. Bild 32 und 33, Taf. 13).

Um jeden Bodenverlust bei den Schachtarbeiten und auch später beim Bodenaushub für den Tunnelbau im Bereich der Pfeiler des Gebäudes und besonders der unmittelbar dahinter liegenden Hauptpfeiler des Stahlskelett-Hochhauses zu vermeiden, wurde der Sandboden hinter den zu vertiefenden Pfeilern durchgehend bis zum Geschiebemergel hinunter chemisch verfestigt.

Die Pfeilervertiefung sollte bis 3,00 m unter Tunnelsohle hinuntergeführt werden. Diese Tiefe war erforderlich, um einen Grundbruch zu verhindern, der in Anbetracht der hohen Belastung des Bodens hinter den Pfeilern durch die Hauptpfeiler des Hochhauses in Rechnung gestellt werden mußte. Bei der Ausführung ergab sich jedoch, daß ohne eine weitere Grundwassersenkung die Herstellung der Schächte bis zur geplanten Tiefe nicht möglich war. Diese zusätzliche Grundwasserabsenkung von 0,65 m, lediglich für die Pfeilervertiefungen erforderlich, hätte jedoch außer den mit der Grundwasserabsenkung allgemein verbundenen Nachteilen verhältnismäßig hohe Kosten verursacht. Es blieb daher nur übrig, den Schachtbau bis zu dem für den Tunnelbau gesenkten Grundwasserspiegel hinunterzuführen und dann in jedem Schacht 4 IP 20 mit einer Einzellänge von 2,00 m und einer Einbindetiefe von 1,20 m einzurammen, auf die sich die vertieften Mauerpfeiler aufsetzten. Der Pfeilerfuß mußte, um die Bodenpressung gering zu halten, verbreitert werden. Zu diesem Zweck wurden in diesem Bereich an Stelle der Schachtauszimierung Kanaldielen schräg eingerammt.

Zwischen den 2,5 m voneinander entfernten Pfeilervertiefungen wurde mit fortschreitendem Bodenaushub der Tunnel-Baugrube eine Bohlwand eingesetzt. Zwecks sicherer Anlage der Bohlen wurden in den Pfeilern Aussparungen gelassen. Diese wurden anfangs nach Bild 33, Taf. 13, Punkt A.1 ausgebildet. Das Einbringen des L-Eisens, der gleichmäßigeren Druckverteilung dienend, mit den Flacheisenankern bot jedoch in dem engen Schacht Schwierigkeiten. Man begnügte sich daher bei den zuletzt hergestellten Pfeilervertiefungen mit einer stärkeren Eisenbewehrung der 30 cm starken Pfeilernase (Bild 33, Taf. 13, Punkt A. 2). Nachteile bei dieser Ausführung beim Einschlagen der Keile zum Anpressen der Bohlen gegen das Erdreich haben sich nicht gezeigt.

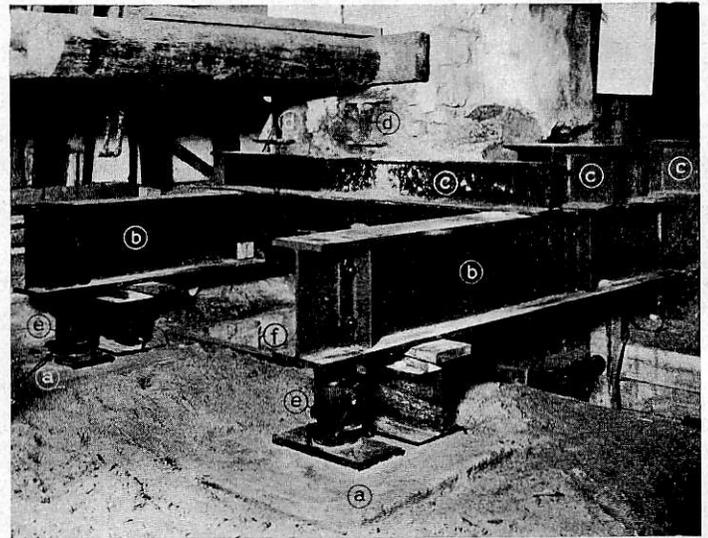


Abb. 32. Abfangung eines Tragpfeilers eines Hochhauses.
a = Hilfsfundamente. b = Unterzüge. c = Streichträger.
d = Stichträger. e = Pressen. f = Ausbohlung des Schachts für die Pfeileruntermauerung.

e) Steifen aus Profileisen.

Zur besonderen Sicherung des Stahlskeletthochhauses, dessen vertiefte Pfeiler mit den dazwischen gesetzten Bohlen, wie unter d) beschrieben, den Seitenabschluß der Tunnelbaugrube bildeten, wurde die zweite Steifenlage aus Profileisen hergestellt. Durch den Einbau von eisernen Steifen, die ja nicht so elastisch wie Holzsteifen sind, sollten Verformungen der Baugrube, durch die Kräfteinwirkungen hervorgerufen, auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden. Außerdem war es bei der Ausbildung der Steifen aus Eisen möglich, diese so stark zu dimensionieren, daß beim späteren Einbau des Tunnelkörpers die dritte und vierte Steifenlage ohne Ersatz wegfallen konnte (bei der Herstellung der vertieften Pfeiler war durch entsprechende Eisenbewehrung diese Maßnahme bereits berücksichtigt worden); dadurch wurde jede Umlagerung der auf die Baugrubenaussteifung wirkenden Kräfte vermieden, durch die leicht eine nicht unbedenkliche Verformung der Baugrubenwände verursacht werden kann.

Für jeden Pfeiler wurde eine eiserne Doppelsteife vorgesehen, die sich gegen einen durchgehenden Brustträger stützt. Durch diese Anordnung der Doppelsteifen und des Brustträgers, eines durchgehenden C-Eisens, sollte eine Verdrehung der Pfeiler verhindert werden. Außerdem waren in Abständen je zwei Doppelsteifen der Sicherheit halber gegen etwa in den Mittelwänden auftretende Längskräfte durch Andreaskreuze miteinander verbunden worden; denn in Anbetracht der Knicksicherheit konnten die eisernen Steifen nicht frei durchgeführt, sondern mußten an die C-Eisen der Mittelwände angeschlossen werden. Die Ausbildung der

eisernen Steifenlage geht aus dem Bild 34, Taf. 14, hervor. Da in einer abgedeckten Baugrube die auftretenden Temperaturunterschiede nicht groß sind, so ist hier auf eine besondere Maßnahme zwecks Berücksichtigung der Längenänderung der einzelnen eisernen Steife verzichtet worden. Nachteile haben sich hierbei nicht gezeigt.

f) Verbreiterung einer Baugrube.

Planänderungen können außer einer Vertiefung, wie im folgenden Abschnitt „Behelfsausführungen“ unter b erläutert, auch eine Verbreiterung einer bereits nach dem ursprünglichen Plan fertig ausgehobenen und völlig ausgesteiften Baugrube zur Folge haben. Beim Bau der Berliner Nord-Süd-S-Bahn lag ein solcher Fall beim Untergrundbahnhof „Anhalter Bahnhof“ vor. Mit den Eisenbetonarbeiten für den an dieser Stelle bis 30 m breiten Tunnel sollte begonnen werden, da wurde im Zusammenhang mit der Umgestaltung der Reichshauptstadt



Bild 36. Verbogener Rammträger.

die Einführung einer neuen zweigleisigen Untergrundbahn von dem Görlitzer Bahnhof in den Untergrundbahnhof „Anhalter Bahnhof“ beschlossen (vergl. Bild 35, Taf. 15). Für die Abzweigung des Gleises nach dem Görlitzer Bahnhof mußte nachträglich die Baugrube zum Teil keilförmig verbreitert werden. Von der Rammung von Trägern für die neue Abschlußwand der Baugrube wurde Abstand genommen, da sich die Baugrubenerweiterung auf eine Länge von rund 100 m erstreckte und gerade auf diesem Abschnitt beim Bodenausschacht große Steine vorgefunden worden waren, an denen sich die Träger beim Einrammen verformt hatten. Außerdem bestanden Bedenken, daß die Erschütterungen beim Einrammen der neuen Träger die in unmittelbarer Nähe bestehende Baugrubenaussteifung beeinflussen könnten. Zur Sicherung gegen solche Überraschungen wurden an Stelle von Rammträgern für die neue Außenwand der Baugrube Betonpfeiler gewählt, die im Schachtbau hergestellt und zwischen denen, wie bei der „Sonderausführung, Abschnitt d“, Bohlen eingesetzt wurden. An der Stelle der keilförmigen Verbreiterung wurde eine durchgehende Mauer hergestellt, die die Längskräfte aus den Steifen aufzunehmen hatte, die hier schräg an der neuen Abschluß-

wand angesetzt werden mußten. Auch die beiden letzten Abschlußpfeiler der neuen Baugrubenaußenwand, die in geringer Entfernung von der vorhandenen Außenrammträgerwand und parallel mit dieser läuft, sind zur Aufnahme aller etwa auftretenden Längskräfte als geschlossene Mauer ausgebildet worden. Diese Mauern dienen gleichzeitig als sichere Auflagerung der Abfangeträger der beiden Straßenbahngleise, die hier über die Baugrube führten. Für die Baugrubenerweiterung waren auch noch mehrere neue Mittelrammträger erforderlich. Um auch hier Erschütterungen durch Rammen völlig auszuschließen, wurden diese Träger nicht eingerammt, sondern in vorher eingebrachte Bohrröhre eingesetzt. Der Trägerfuß wurde im Rohr auf eine Länge von 3,00 m einbetoniert und das Rohr dann herausgezogen.

Zur Vermeidung von Bewegungen in der Aussteifung der vorhandenen Baugrube mußte die Baugrubenerweiterung zwischen der alten und neuen Baugrubengrenzung mit

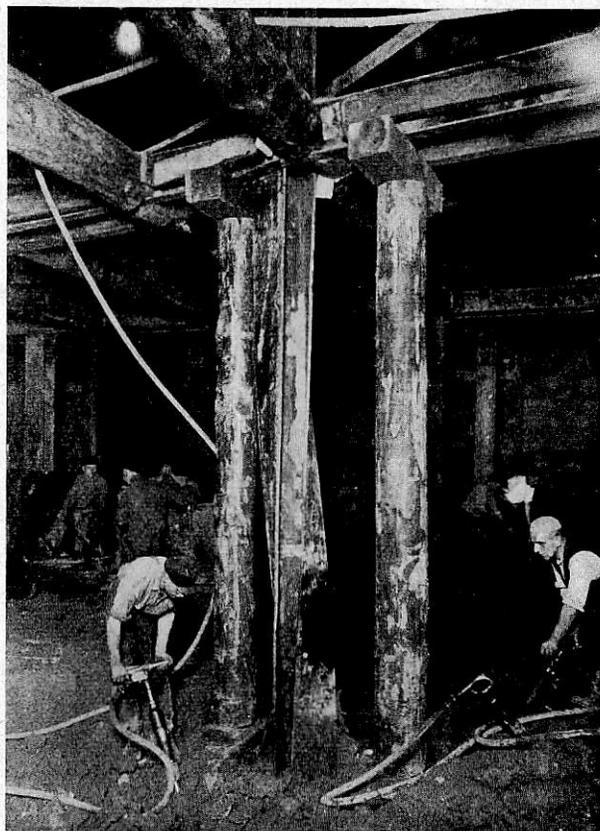


Bild 37. Verformter Rammträger.

besonders großer Sorgfalt ausgesteift werden. Da voran sowohl an den bisherigen Außenrammträgern als auch an den Betonpfeilern der neuen Außenwand die durchgehenden E-Eisen für die Auflagerung der Steifen angebracht werden mußten, so war die stets unerwünschte Einziehung einstweiliger Steifen hier unvermeidlich.

Behelfsausführungen beim Bau der Berliner Nord-Süd-S-Bahn.

a) Abfangung verformter Rammträger.

Im Zuge der Nord-Süd-S-Bahn, namentlich auf der Strecke „Unter den Linden—Anhalter Bahnhof“, wurden unter dem normalen Berliner Sand mehr oder weniger mächtige Mergelschichten vorgefunden, auf denen stellenweise Geröll, im Sand eingebettet, lagerte. Wie aus den Bildern 36 bis 38 ersichtlich, hatten die Steine hier und da einen großen Umfang, so daß sie den Trägern beim Einrammen erheblichen Widerstand entgegengesetzten. Einzelne Träger wurden dabei abgebogen, andere drehten sich um ihre senkrechte Achse nach Art eines Schrauben-

ziehers, andere spalteten sich auf, andere wieder rollten sich auf. Natürlich machte sich der Widerstand beim Einrammen bemerkbar; ein entsprechender Vermerk wurde in die Rammträgerliste aufgenommen, damit der Boden späterhin mit besonderer Vorsicht beim Freilegen dieser Träger ausgehoben und die Abfangekonstruktion eines solchen Trägers rechtzeitig eingebaut werden konnte.

In dem nebenstehenden Bild 39 und Bild 40, Taf. 15, dargestellten Fall handelte es sich um zwei benachbarte Mittelrammträger, die sich von Höhe + 23,50 ab (d. h. auf die untere Länge von rund 6,60 m) völlig verformt hatten und deshalb nicht mehr tragfähig waren. Als der Boden bis zu dieser Höhe ausgehoben war, wurden Schächte bis 1,75 m unter Tunnelsohle

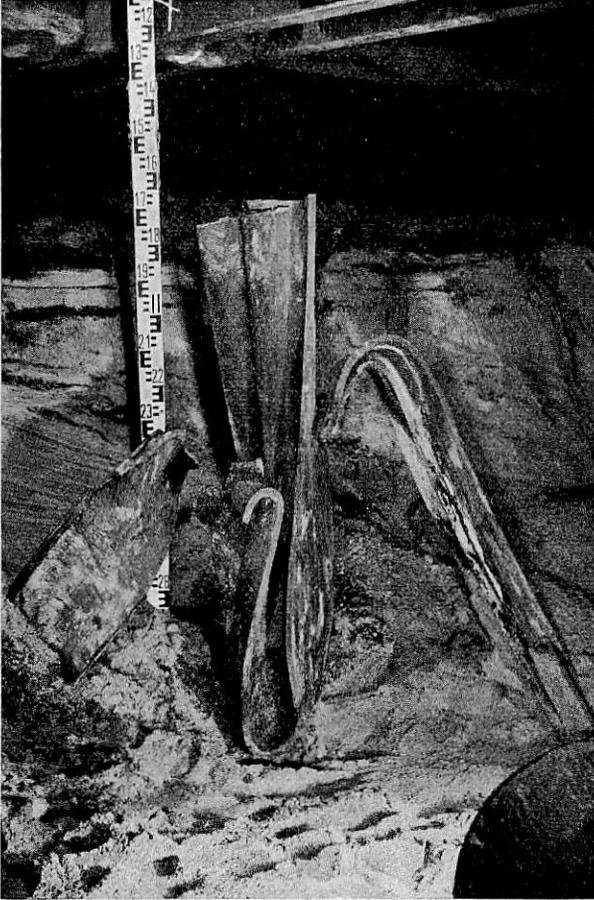


Bild 38. Verbogener Rammträger. Der Rammträger hat sich zunächst auf größere Länge verdreht; dann hat sich das Trägerende umgebogen und ist in zwei Teile gespalten. Beim weiteren Rammen sind die beiden Teile senkrecht nach oben zurückgegangen, haben sich wieder umgebogen und sind schließlich abgebrochen.

hinuntergeführt und in diesen 1,50 m starke Betonfundamente hergestellt, in die die Abfangeträger 1,00 m tief eingesetzt wurden. Die Oberkante dieser Betonfundamente war durch die Höhenlage der Tunnelsohle gegeben; damit der Tunnel bei etwaigem späteren Sacken sich nicht auf diese Fundamente aufsetzt, ist eine Sandschicht von 25 cm zwischen Fundamentoberkante und Tunnelsohle eingebracht worden. Für jeden Rammträger sind zwei Abfangeträger eingesetzt worden, die zu einem Joch verbunden wurden.

b) Besondere Maßnahmen bei zu geringer Einbindetiefe der Rammträger.

Solche Maßnahmen können erforderlich werden, wenn z. B. eine Planänderung zu einem Zeitpunkt, an dem die Rammträger bereits gerammt sind, eine Tieferlegung der ursprünglich geplanten Tunnelsohle zur Folge hat. Aber auch andere Gründe können maßgebend sein. In jedem Falle wird die Art dieser

Maßnahmen von den vorhandenen Bodenarten abhängen. In dem auf Bild 41, Taf. 15, dargestellten Fall handelte es sich um den normalen Berliner Sand. Im folgenden werden die in einem Querschnitt dargestellten vier Fälle erläutert.

α) Maßnahmen für einen Außenrammträger.

I. Fall. Steckt der Rammträger der Außenwand nur 1,00 bis 1,40 m tief im Boden unterhalb der Baugrubensohle, so ist es zweckmäßig, um den Fuß eines solchen Trägers herum einen Betonklotz im Schachtbau herzustellen.

II. Fall. Ist die Einbindetiefe des Außenrammträgers kleiner als 1,00 m, dann muß der Rammträger nach unten verlängert werden. Dies geschieht durch zwei Träger, die an den vorhandenen Rammträger angeschweißt werden. Ihre Länge ist so zu bemessen, daß sie als Außenrammträger eine Einbinde-

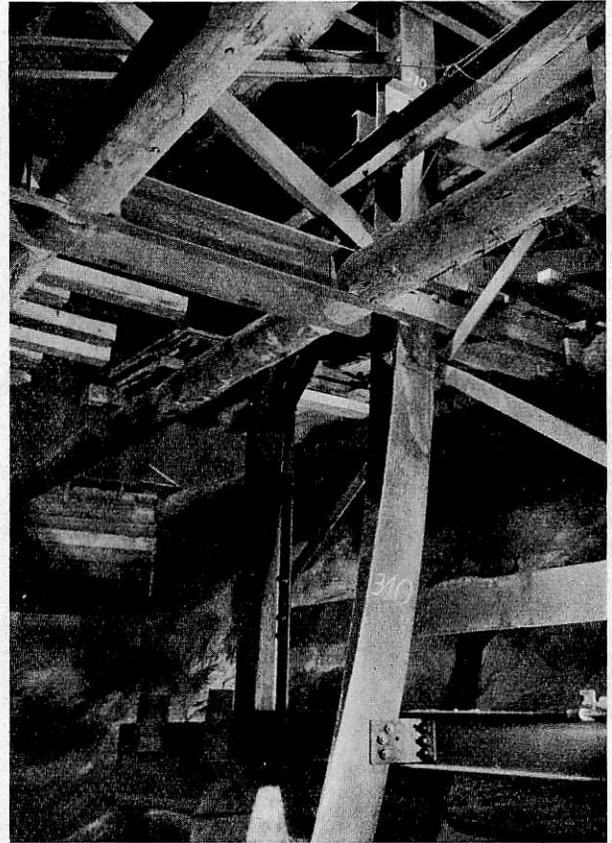


Bild 39. Abfangung eines verformten Rammträgers.

tiefe von mindestens 1,50 m haben. Die Anschweißlänge an den vorhandenen Träger beträgt ebenfalls mindestens 1,50 m. Der neue Trägerfuß erhält ein Betonfundament; die Seitenwand wird im Bereich der Ersatzträger anstatt aus Bohlen aus einer Eisenbetonwand hergestellt, die auf das Betonfundament gesetzt wird. Sind mehrere benachbarte Außenrammträger auf diese Art zu verlängern, so empfiehlt es sich, die Betonfundamente miteinander zu verzahnen und die Längsrundisen in der Eisenbetonwand durchzuführen.

In beiden Fällen I und II muß für eine vorübergehende Abstützung des vorhandenen Rammträgerfußes gegen das Erdreich während der Schacht- und Betonarbeiten gesorgt werden.

β) Maßnahmen für einen Mittelrammträger.

III. Fall. Beträgt die Einbindetiefe eines Mittelrammträgers noch 1,80 bis 2,50 m, so genügt es, den Boden um den gesamten Trägerfuß auf seine ganze Länge bis etwa 25 cm unter der Tunnelsohle chemisch zu verfestigen, so daß ein versteinertes Sandklotz mit einem Durchmesser von rund 1,20 m und einer Höhe von 1,80 m bzw. bis 2,50 m entsteht.

IV. Fall. Ist die Einbindetiefe eines Mittelrammträgers kleiner als 1,80 m, so wird der Träger abgefangen. Dazu werden vier Bohrlöcher hergestellt, in die je ein Träger eingesetzt und einbetoniert wird. Auf diese vier Träger, die durch Kreuze miteinander zu einem Bock verbunden werden, wird die Abfangkonstruktion, wie auf Bild 41, Taf. 15, dargestellt, aufgesetzt. An dem Mittelrammträger werden Verankerungs-E-Eisen angebracht, dann kann er unterhalb derselben abgeschnitten und der unterste Rammträgerteil herausgezogen werden. Die Abfangkonstruktion wird wieder beseitigt, wenn die Sohle des Tunnels betoniert und der Mittelrammträger in ihr mittelst der erwähnten E-Eisen verankert ist. Die Schließung der beiden Sohlensparungen von je 1,20.2,40 m Größe, die für je zwei Tragstützen der Abfangkonstruktion angeordnet werden, erfolgt nach Abbrennen der Träger unterhalb der Tunnelsohle.

(Erwähnt sei, daß im Falle IV auch die Ausführung nach Abschnitt a der Behelfsausführung für die Abfangung verformter Rammträger angewendet werden kann, wenn nur für ein oder zwei einzelne Mittelrammträger besondere Maßnahmen ergriffen werden müssen.)

Mit den Arbeiten für die Ausführungen I, II und IV muß bereits begonnen werden, wenn der Boden in der Baugrube noch soweit ansteht, daß ein Außenrammträger noch die vorgeschriebene Einbindetiefe von 1,50 m, ein Mittelrammträger diejenige von 3,00 m hat. Für die Ausführung III muß zwecks Herstellung einer einwandfreien Verfestigung des Bodens über derselben eine Bodenmasse von mindestens 2,00 m vorhanden sein.

Müssen eine größere Anzahl benachbarter Rammträger nach Art der Ausführungen I, II und IV verlängert werden, so dürfen diese Arbeiten nicht gleichzeitig in Angriff genommen werden. Zuerst müssen die Verlängerungen etwa eines jeden vierten Trägers beendet sein, dann erst kann mit den Arbeiten an den dazwischen liegenden Trägern in dem gleichen Abstände gleichzeitig begonnen werden.

c) Sicherung zu kurzer Rammträgerfüße der Außenwände durch eiserne Steifen.

Ist lediglich die Einbindetiefe der Außenrammträger zu gering, so kommt für die Sicherung der Rammträgerfüße der Außenwände auch der nachträgliche Einbau von eisernen Steifen in Frage. Wenn man die eisernen Steifen aus Sicherheitsgründen nicht unterhalb der Tunnelsohle, völlig getrennt von dieser, einsetzen kann, so ist ihre Höhenlage über der Baugrube so zu wählen, daß Sohlen-Schutzschicht, Dichtung und obere Schutzschicht unter den eisernen Steifen einwandfrei hergestellt und die Rundeisen verlegt werden können. Diese Steifen werden eingebaut, wenn der Boden über der Baugrubensohle nach etwa 1,5 m ansteht. Und zwar wird gleichzeitig nur jeder vierte Träger gesichert; die Schlitz für die zuerst einzubauenden Steifen werden also im Abstand von rund 8 m ausgehoben. Erst wenn diese Arbeiten der Sicherung eines jeden vierten Trägers beendet sind, wird der Einbau der weiteren Steifen im gleichen Abstände von 8 m vorzunehmen sein. Die eisernen Steifen werden in die Sohle einbetoniert und sind folglich verloren. Um die Dichtung an den Außenwänden durchführen zu können, müssen sie an den Außenwänden abgeschnitten werden; dazu ist eine entsprechende Aussparung beim Betonieren der Tunnelsohle vorzusehen. Da die Steifen bei breiten Baugruben mit Mittelwänden auf ihre ganze Länge nicht knicksicher ausgebildet werden können, so müssen sie an den Mittelwänden gestoßen und hier an E-Eisen befestigt werden, die an den Mittelrammträgern angeschraubt sind, und beim Betonieren der Tunnelsohle ebenfalls miteinbetoniert werden. Um die Mittelrammträger später beseitigen zu können, müssen die genannten E-Eisen von den Mittelrammträgern vor dem Schließen der Sohlensparungen für die Rammträger abgeschraubt und die Endstücke abgeschnitten werden.

Wichtige Aufgaben der Bauüberwachung.

1. Zur Erleichterung der Bauüberwachung ist es zweckmäßig,

a) die Nummern der Rammträger, mit denen sie in der Rammliste geführt werden, an den Trägern mit Ölfarbe anzuschreiben,

b) den Wechsel der Bohlenstärken an den Flanschen der Außenrammträger mit Ölfarbe zu kennzeichnen,

c) eine ausreichende Anzahl von Höhenmarken an geeigneten Stellen innerhalb der Baugrube anzubringen.

2. Bei gleichmäßigem, beiderseitigem Erddruck auf die Außenwände der Baugrube kann eine Verschiebung beider Baugrubenwände nach innen eintreten; bei einseitigem bzw. verschieden großem beiderseitigem Druck ist eine Verschiebung der betreffenden Außenwand mit der Aussteifung nach einer Seite hin möglich. An besonders gefährdeten und an wichtigen Stellen, wie z. B. an solchen, an denen über oder in der Nähe der Baugrube Straßen- oder Eisenbahngleise liegen, oder an denen stärkere Erschütterungen aus sonstigem Verkehr oder anderem Anlaß auftreten, muß durch fortlaufende Einmessungen die Lage der Rammträger bzw. ihre Verschiebung überwacht werden. Mit diesen Einmessungen ist bereits bei dem ersten Bodenaushub zu beginnen; sie sind mit dem Fortschritt der Bauarbeiten an von Fall zu Fall festzusetzenden Zeitpunkten zu wiederholen. Bei anhaltendem Regenwetter oder starkem Gewitter sind Zwischenmessungen einzuschalten.

3. Besonderes Augenmerk ist auf ein einwandfreies Verkeilen der Bohlen und Steifen zu richten und namentlich ist auf das völlig flächenmäßige Anliegen der Keile zu achten. Ein Verkeilen von Steifen, wie im Bild 42 dargestellt, so daß die Steife nur mit einer Kante an jedem Keil anliegt und zwischen den Keilen ein Luftraum vorhanden ist, ist unbedingt zu verwerfen.

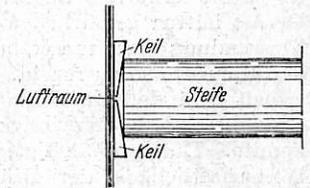


Bild 42.

Falsche Steifenverkeilung.

4. Die Ausschachtungsarbeiten sind gleichmäßig vorzutreiben und die Steifen bei zwei- und mehrschiffigen Baugruben über die ganze Breite der Baugrube von Außenrammträger zu Außenrammträger in einem zusammenhängenden Arbeitsvorgang einzuziehen. Bei nur teilweiser Absteifung werden die Mittelrammträger unzulässigerweise beansprucht.

5. In gewissen Zeitabständen, für deren Festsetzung die örtlichen Verhältnisse (z. B. Verkehrserschütterungen) und auch die Witterungsverhältnisse maßgebend sind, müssen die Bohlen der Außenwände und alle Aussteifungshölzer durch Abklopfen daraufhin geprüft werden, ob sie unter Spannung sind. Im allgemeinen, abgesehen von besonderen Einzelfällen, genügt für die Ausbohlung eine weniger häufige Untersuchung als für die Aussteifungshölzer. Das Ergebnis dieser regelmäßigen und außergewöhnlichen Untersuchungen ist in eine Liste einzutragen, damit man jederzeit auf frühere Wahrnehmungen zurückgreifen kann.

6. Werden bei den Nachprüfungen der Sicherheit der Baugrubenaussteifung unter Druck stehende Steifen gefunden, die schadhaft sind, oder die den statischen Forderungen nicht genügen, so sind diese nicht auszuwechseln, sondern durch zusätzliche Steifen zu entlasten.

7. Da die Baugrubenaussteifung nur einem vorübergehenden Zustand dient, so ist dafür zu sorgen, daß die Bauarbeiten ohne größere Unterbrechungen durchgeführt werden; dazu gehört auch, daß alle Baustoffe rechtzeitig an der Baustelle sind, die erforderliche Zahl von Arbeitskräften stets vorhanden ist und anderes.

Rundschau.

Ein ungewöhnlicher Zusammenbau einer Eisenbahnbrücke aus Beton.

Eine Eisenbahnbrücke über den Lualaba bei Kongolo in Belgisch-Kongo, die 1938/39 gebaut wurde, hat eine Gesamtlänge von 498 m verteilt auf 14 Öffnungen (Bild 1). Der Überbau besteht aus über je drei Öffnungen zusammenhängenden Trägern, während die beiden Endöffnungen zu je 15 m als Kragträger der nächsten Öffnung angehängt sind. Die Brücke besteht also, auf Bild 1 links

allen Anforderungen genügte. Das gleiche Verfahren wurde auch für den zusammenhängenden Träger Pfeiler 4 bis 7 angewendet.

Beim Bau des zusammenhängenden Trägers 34,3 + 70,0 + 34,3 m wurde zuerst der Überbau zwischen Pfeiler 7 und 8 auf die vorgehend beschriebene Weise hergestellt. Dann wurde die Hilfsbrücke auf 8 m Auskragung in die Öffnung von 70 m mit Hilfe des Schnabels vorgeschoben (Bild 3) und eine Auskragung in die große Mittelöffnung betoniert. Ebenso wurde dann die Öffnung 9 bis 10 betoniert und auch von ihr aus eine Auskragung

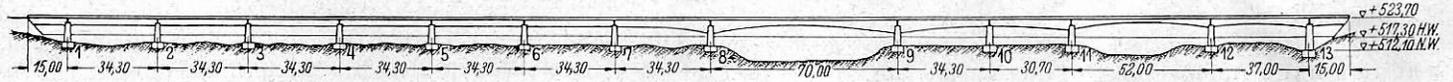


Bild 1.

beginnend, aus zwei Reihen zu je drei gleichen Öffnungen von 34,3 m, einer Reihe von 70 m Mittelöffnung mit zwei zugehörigen Seitenöffnungen zu je 34,3 m und einer Reihe von 52 m Mittelöffnung mit zugehörigen Seitenöffnungen von 30,7 und 37 m.

von 8 m von der anderen Seite in die große Öffnung von 70 m vorgestreckt. Dann wurde die vom Pfeiler 8 ausgehende Auskragung durch schrittweises Vorschieben der Hilfsbrücke auf 32 m verlängert (Bild 4). Dabei war es aber nötig, das andere Ende der



Bild 2.

Der Brückenbau wurde mit Hilfe eines verschiebbaren Montagegerüsts aus Stahl durchgeführt (Bild 2). Es war das eine regelmäßige Stahlbrücke, die nach dem Bau dieser Brücke als Tragwerk für eine andere Brücke verwendet wurde.

Auf diese Weise war es möglich, die lange Brücke ohne feste Rüstung zwischen den Pfeilern zusammenzubauen. Es war dies in diesem Falle auch notwendig, da der Fluß zahlreiche Pflanzen- und Baumteile mit sich führte, die einem festen Gerüst hätten gefährlich werden können. Außerdem war es bei Verwendung eines umsetzbaren Gerüsts möglich, die Verteilung der Momente so zu regeln, daß die Brücke ein leichtes Aussehen erhielt und daß man die großen Öffnungen von 70 und 52 m ohne besondere Schwierigkeiten als Balkenbrücken ausführen konnte. Durch diese Verteilung der Momente wurde auch die Wirtschaftlichkeit der Brücke bedeutend gebessert. Um das Versetzen der Montagebrücke zu erleichtern, wurde diese mit einem „Schnabel“ um 15 m verlängert (Bild 2).

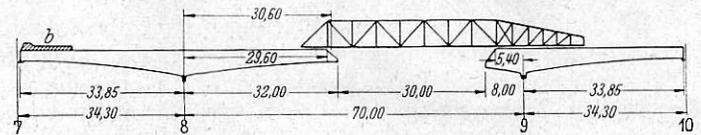


Bild 4.

fertigen Brücke 7 bis 8 mit einem Gegengewicht b zu beschweren (Bild 4). Es blieben dann von der großen Öffnung von 70 m nur mehr 30 m übrig. Diese überspannte die Hilfsbrücke und jetzt konnte die große Öffnung vollends geschlossen werden (Bild 5 und 6). Durch dieses Verfahren erzielte man einen ganz anderen Verlauf der Momentenkurven als sonst üblich. Besonders traten keine positiven Eigengewichtsmomente in der Mitte der großen Öffnung auf. Und bei einer richtigen Wahl der Stellung der Hilfsbrücke beim Zusammenbinden der Träger konnte man sogar dem Träger von vornherein eine solche Spannung geben, daß die von der bewegten Last herrührenden Momente an den Stellen, wo die

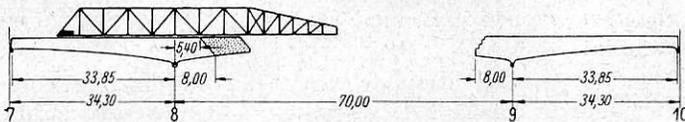


Bild 3.

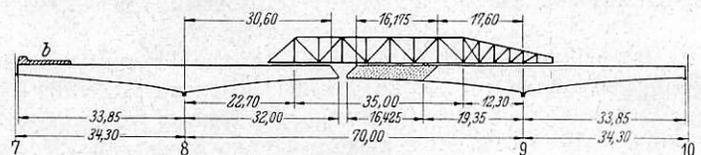


Bild 5.

Die Brücken von 34,3 m Spannweite wurden derart ausgeführt, daß zuerst die Hilfsbrücke (Bild 2) auf Pfeiler 1 und 2 aufgesetzt und von ihr aus mittels eines Hängegerüsts die Brücke

Abmessung die größten Schwierigkeiten machte (z. B. in der Mitte der großen Öffnung), verkleinert werden konnten. Die in Bild 6 gezeigte Stellung des Montagewagens ist eben so gewählt, daß die

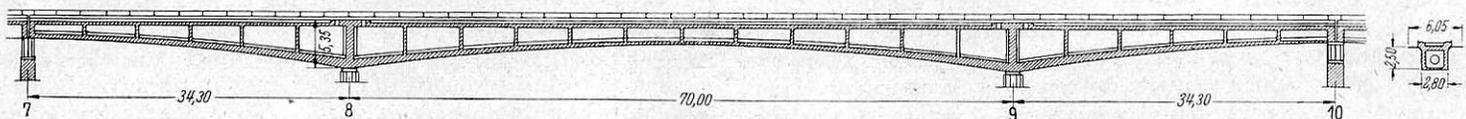


Bild 6.

betoniert wurde. Dann wurde das Hängegerüst wieder entfernt, die lange Hilfsbrücke auf dem Obergurt der fertigen Brücke 1 bis 2 auf die nächste Öffnung zwischen Pfeiler 2 und 3 verschoben und auch diese Öffnung betoniert usw. bis Pfeiler 4, wobei die Überbauten der Öffnungen untereinander verbunden wurden. Das Eigengewicht der Überbauten der fertigen Öffnungen wirkte also nach und nach auf den ganzen, über drei Öffnungen zusammenhängenden Träger, wobei die Verteilung der Momente bedeutend anders ausfiel, als bei zusammenhängenden Trägern, die in der üblichen Weise ausgeführt werden. Durch Hebung oder Senkung der Auflager hätte man die Momentenverteilung noch weiter verändern können, aber man sah davon ab, da die erreichte Ausführung

in der Mitte der Öffnung 8 bis 9 auftretenden Momente (Vorspannungen) so groß als möglich werden. Das von der bewegten Last herrührende Moment wird dann von 1987 tm auf 1689 tm, d. i. um 15% vermindert. Das Bauverfahren gibt also ein Mittel an die Hand, die Momente auf gleiche Weise zu beeinflussen, wie man sie sonst durch Hebung der Stützpunkte erreicht, aber weit billiger. Auf diese Weise war es möglich, die Konstruktionshöhe in der Mitte der großen Öffnung ebenso groß zu erhalten wie in den 34,3 m-Öffnungen (Bild 6). Bei den letzten drei zusammenhängenden Öffnungen 10 bis 13 mit der Mittelöffnung von 52 m war das Verfahren das gleiche.

Tek. Uk. 1940 Nr. 28.

Dr. Saller.

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