Anwendung der PREFLEX-Bauweise im Eisenbahnbrückenbau am Beispiel der Straßenunterführung Waßmannsdorf

Dipl.-Ing. Georg Brusinsky
Ltd. Ingenieur für Brücken und konstruktiven Ingenieurbau,
DE Consult Berlin

1 Zur Bauweise

PREFLEX-Träger sind vorgespannte Verbundträger, die im Verbund stehenden Baustoffe sind Stahl und Beton. Im Querschnitt ähneln die auf diese Weise hergestellten Überbauten Walzträgern in Beton, im Unterschied zu dieser Regelbauweise sind die Stahlträger jedoch vorgepannt. Das Eintragen der Vorspannkraft erfolgt durch Vorbiegen, Preflektieren.

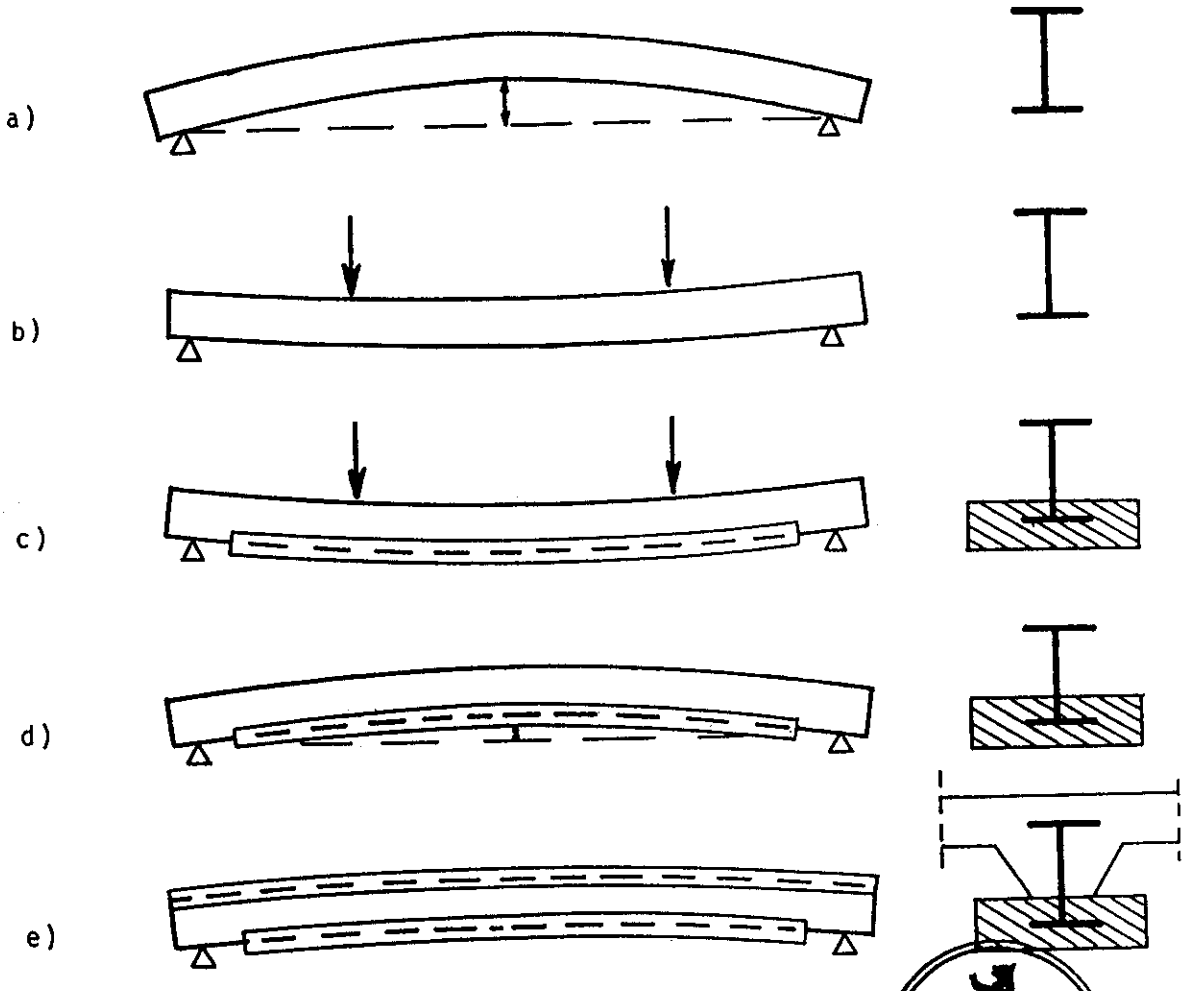
Dazu wird der Stahlträger - im Brückenbau meist ein I-Profil - in einer Montagevorrichtung im Herstellerwerk durch Pressen vorgedrückt, wodurch sich im Träger ein z.B. trapezförmiges Momentenbild erzeugen läßt (*Bild 1, a und b*). Im vorgebogenen Zustand, unter Pressenlast, wird ein Betonuntergurt um den Untergurt des Stahlträgers betoniert. Durch Verwendung hoher Betongüte reicht i.A. die erzielte 5-Tage-Festigkeit aus, um den Träger entlasten zu können. Der gedehnte Stahluntergurt versucht sich in seine Ursprungslage zurückzuverformen und erzeugt eine Druckkraft im Untergurt, die zu der gewollten Vorspannung des Trägers führt (*Bild 1, d*). Je nach vorher eingetragener Kraft erfährt der Träger eine entsprechende Aufbiegung nach oben. Diese ist zeitabhängig, wodurch zwischen Herstellung im Werk und Einbau auf der Baustelle ein bestimmtes Zeitregime einzuhalten ist. Auf der Baustelle werden die Träger nach Möglichkeit direkt am Einbauort abgesetzt. Nur die Stirn- und Seitenflächen müssen eingeschalt werden, eine Ortbetonplatte verbindet die vorgefertigten Träger zu einem einheitlichen Verbundquerschnitt aus Altbeton am Untergurt, Stahlträger und Neubeton im oberen Bereich (*Bild 1, e*).

Die Bauweise ist in Belgien entwickelt worden und findet überall dort Anwendung, wo infolge geringer Konstruktionshöhe gängige Massivlösungen versagen und Stahl allein aus Gründen der Korrosion, des Lärms oder der Brandgefahr nicht zweckmäßig ist. In Deutschland hat die Firma Christmann und Pfeiffer die Zulassung vom Institut für Bautechnik für die Herstellung solcher Träger, wie sie bei diesem Bauvorhaben zum Einsatz kamen.

2 Zum vorhandenen Bauwerk

Waßmannsdorf liegt unweit der westlichen Begrenzung des Flughafens Berlin-Schönefeld. Der südliche Außenring der Bahn überquert die Dorfstraße des Ortes. Damit mußte für die Baumaßnahme ständig Fußgänger- und Radverkehr unter der Brücke gewährleistet werden, für Kraftfahrzeuge gab es eine Umfahrungsmöglichkeit.

Überführt werden vier Gleise (*Bild 2, a*). Die Überbauten sind lt. Brückenbuch mit Ia - Id bezeichnet. Die Überbauten Ic und Id wurden ca. 1975 errichtet und bestehen aus Trägern der Einheitsserie Stahlüberbauten der Deutschen Reichsbahn (*Bild 2, c*). Die Einheitsserie hat in diesem Stützweitenbereich trogförmige Überbauten, deren Hauptträgerstegbleche zur optimalen Ausnutzung des Lichtraumprofiles geneigt sind. Die nördlichen Überbauten Ia und Ib wurden 1951 errichtet und bestehen aus wiederverwendeten älteren Trogbrücken mit offener Fahrbahn. Diese waren zu ersetzen.



Institut für Bautechnik in Berlin S

Herstellung des PREFLEX-Trägers

a) Vorgekrümmt hergestellter Stahlträger
b) Aufbringen der Preflexionsbelastung
c) Betonieren des Untergurtbetons und Erhärtung
d) Vorspannen des Untergurtbetons durch Entfernen der Preflexions= belastung. Der Träger wird in diesem Zustand zur Baustelle gebracht.
e) Ergänzung des PREFLEX-Trägers zum Doppelverbundträger. (Beispiel)

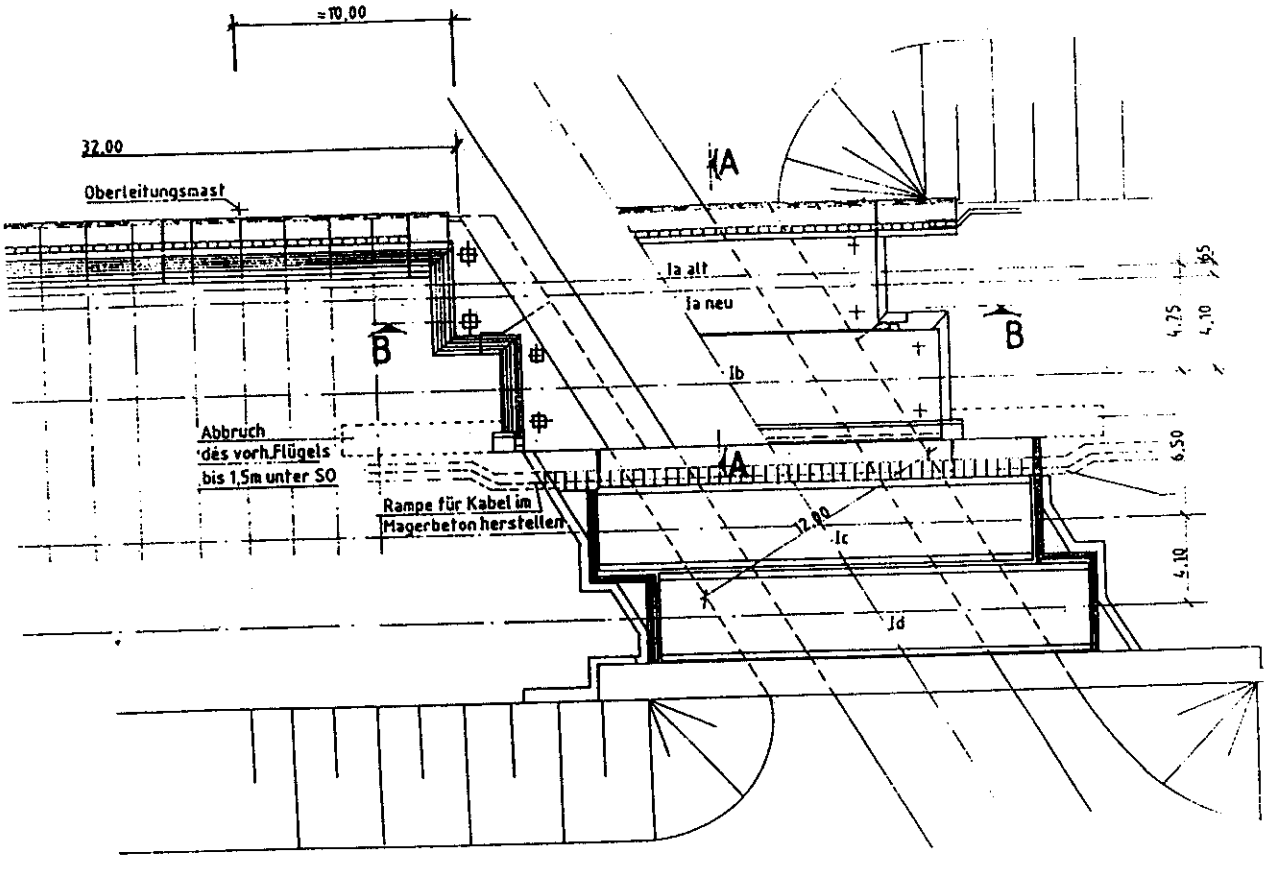
Bild 1, a bis e

3 Neuer Überbau

Die neuen Überbauten sollten einen Gleisabstand von 4,10 m ermöglichen, dem Lastbild UIC 71 bzw. SSW genügen und eine Streckengeschwindigkeit von 160 km/h erlauben.

Aufgrund dieser Forderungen kam nur eine Deckbrücke in Frage. Die Stützweite wurde von 18 m auf 17 m verringert, eine weitere Verringerung ließen die Unterbauten nicht zu, die unverändert erhalten bleiben sollten (*Bild 2, b*). Eine Lösung in Stahl war vom Auftraggeber ausgeschlossen worden. Maßgebend für die Dimensionierung wurde schließlich die nach DS 804 geforderte Durchbiegungsbegrenzung, die weder von einer Stahlbetonplatte noch von Walzträgern in Beton einzuhalten war, sofern man die Konstruktionshöhe von 0,61 m nicht vergrößerte. Das Verhältnis Stützweite zu Konstruktionshöhe ergab sich somit zu 28, bei der

sich daraus ableitenden Bauhöhe von 1,37 m folgt ein Verhältnis von 12,4. Die Erhöhung der Gleisgradiente um 0,25 m gegenüber der offenen Trogbrücke war für die Linienführung vertretbar.



Schnitt B

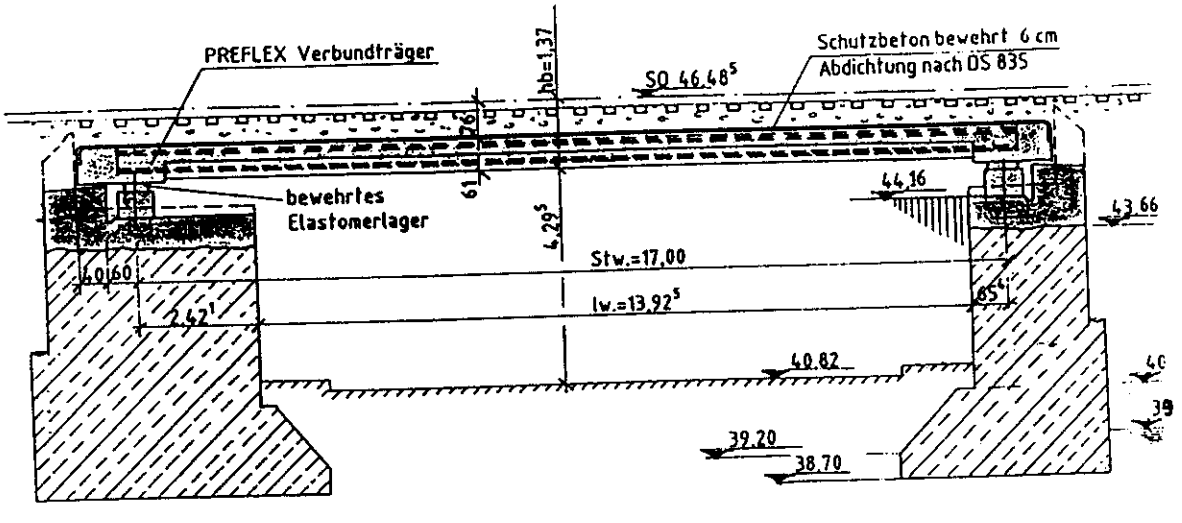


Bild 2: Straßenunterführung Waßmannsdorf a) Draufsicht b) Schnitt B

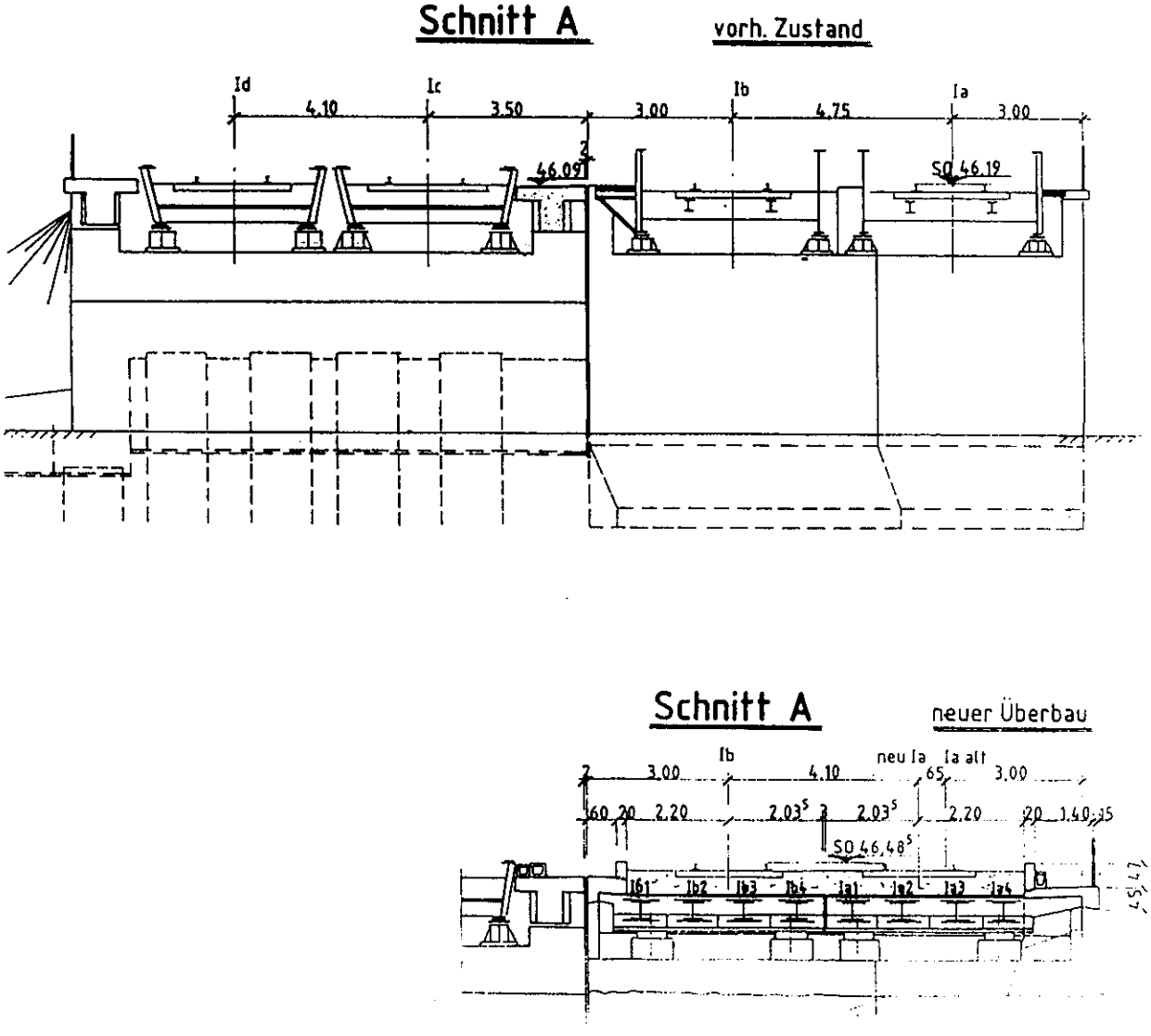


Bild 2 c): Schnitt A

4 Neuer Überbau

Die neuen Überbauten sollten einen Gleisabstand von 4,10 m ermöglichen, dem Lastbild UIC 71 bzw. SSW genügen und eine Streckengeschwindigkeit von 160 km/h erlauben.

Aufgrund dieser Forderungen kam nur eine Deckbrücke in Frage. Die Stützweite wurde von 18 m auf 17 m verringert, eine weitere Verringerung ließen die Unterbauten nicht zu, die unverändert erhalten bleiben sollten (*Bild 2, b*). Eine Lösung in Stahl war vom Auftraggeber ausgeschlossen worden. Maßgebend für die Dimensionierung wurde schließlich die nach DS 804 geforderte Durchbiegungsbegrenzung, die weder von einer Stahlbetonplatte noch von Walzträgern in Beton einzuhalten war, sofern man die Konstruktionshöhe von 0,61 m nicht vergrößerte. Das Verhältnis Stützweite zu Konstruktionshöhe ergab sich somit zu 28, bei der sich daraus ableitenden Bauhöhe von 1,37 m folgt ein Verhältnis von 12,4. Die Erhöhung der Gleisgradiente um 0,25 m gegenüber der offenen Trogbrücke war für die Linienführung vertretbar.

Um die Grundrißform der Auflagerbank weitgehend zu nutzen und auch auf die Brückenentwässerung hinter die Widerlager zurückgreifen zu können, wurden beide Überbauten entsprechend dem Kreuzungswinkel von ca. 60 Grad zueinander versetzt angeordnet. Durch diese Grundrißanordnung ergaben sich für den Fugenabschluß komplizierte Verhältnisse. Gelöst wurde das Problem durch eine räumlich mehrfach abgeknickte Fugenausbildung (*Bild 3*).

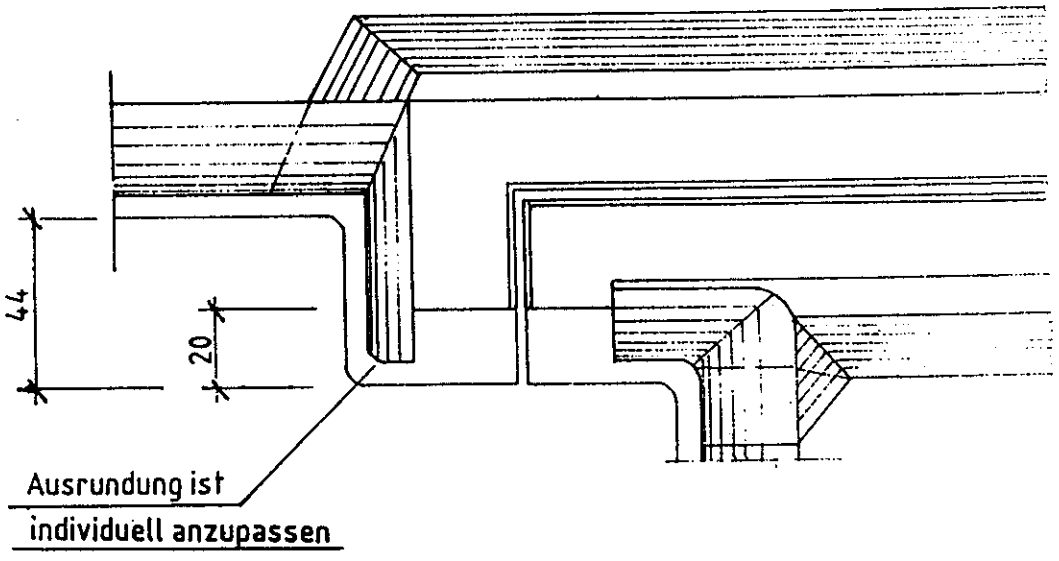


Bild 3: Längsfugendetail

Jeder Überbau wird durch 4 Preflexträger gebildet (*Bild 4*).

Den Grundquerschnitt des Stahlträgers bildet ein Profil IPBv 280 nach DIN 1025. Über Kehlnähte ist es mit den Gurten - Bleche 60 x 900 mm - verbunden. Die Gurte verjüngen sich auf 320 mm im Bereich des Endquerträgers, um dort eine einwandfreie Verbügelung zu ermöglichen. Mit dem im Werk aufgebrachten Stahlbetonuntergurt aus B 55 sind die Träger jeweils 1,12 m breit, ihre Montagemasse beträgt 27,5 t. Da die Durchbiegung die Bemessung bestimmt, ist die Spannungsabminderung für Blechdicken 40 mm ohne negative Auswirkung. Die Bewehrung der Ortbetonplatte wurde in Anlehnung zur Anlage 8 der DS 804 - Walzträger in Beton - ausgeführt. Gleiches gilt für den Endquerträger und die Art der Abführung des Oberflächenwassers hinter die Widerlager. Die Bauwerkslängsfuge zwischen den Überbauten mußte in einem Sockel untergebracht werden, um genügend Freiraum zur Obergurtlamelle zu haben.

5 Zur Berechnung des Überbaues

Es galten die Lastannahmen nach DS 804. Infolge der gegenüber der Plattenbreite unterschiedlichen Lastbandbreite war eine Annahme zur Verteilung der Lasten auf die Träger erforderlich. Es wurde dazu eine Trägerrostberechnung durchgeführt (*Bild 5*). Die Annahmen zur teilweisen Reduzierung der Biege- und Torsionssteifigkeit der Ersatzträger nach Anlage 8 der DS 804 wurden übernommen. Statt der dort geforderten zwei Elastizitätsmoduli wurde aufgrund von Vergleichsrechnungen mit dem Mittelwert gerechnet:

- für Biegung $nB = (7+18)/2 = 12{,}5$
- für Torsion $nT = (1+\mu b)/(1+\mu st) \cdot nB = 0{,}923 \cdot nB$.

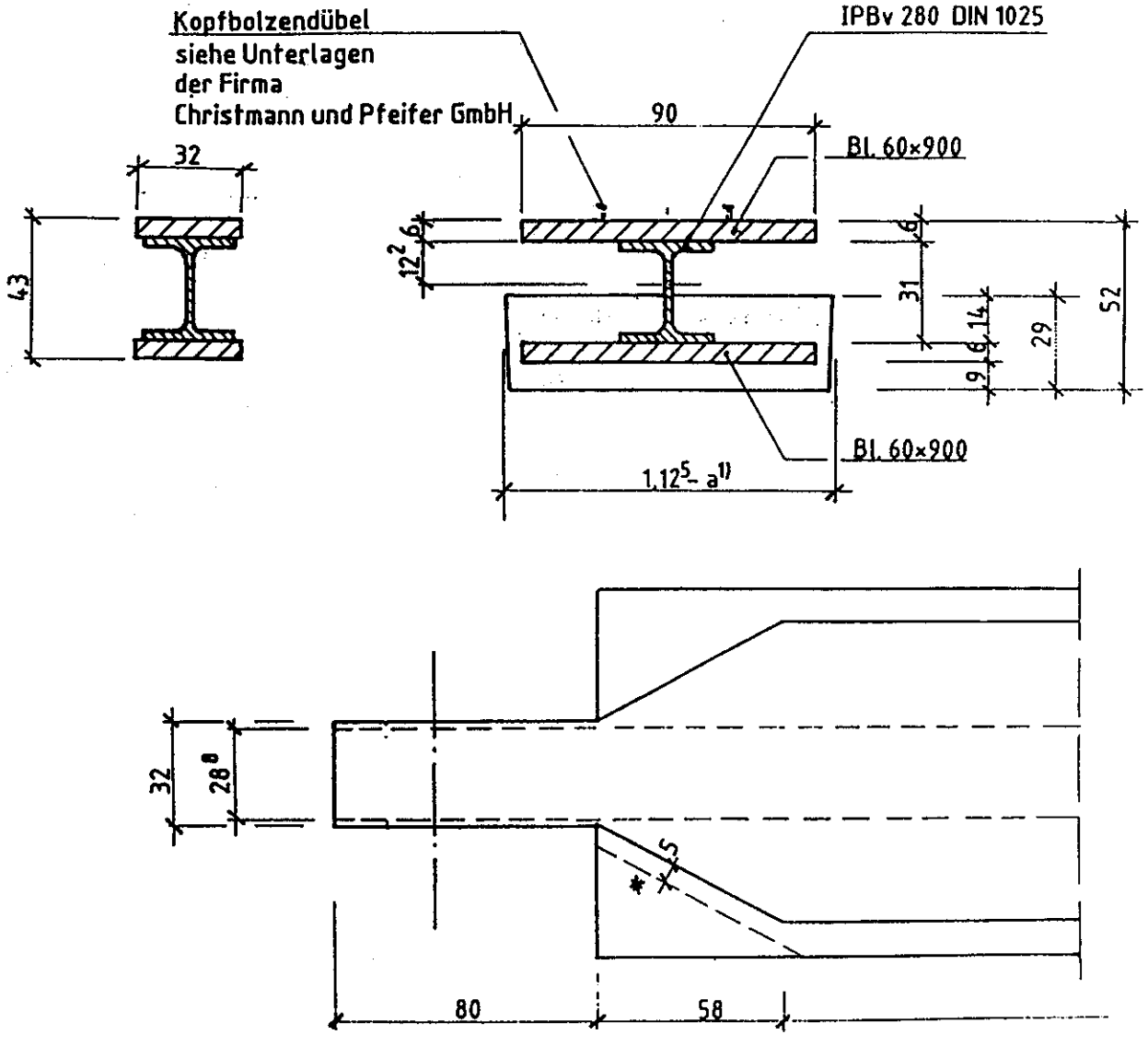


Bild 4: PREFLEX-Träger

Aus der Trägerrostberechnung ergab sich die Lastverteilung nach *Bild 6*. Diese Belastung wurde dann jeweils auf den Einzelträger angesetzt, der als Einfeldträger unter Berücksichtigung des Herstellungsprozesses und der Einflüsse aus Kriechen und Schwinden berechnet wurde. Dafür stand ein Rechenprogramm der Herstellerfirma zur Verfügung, das alle Nachweise für einen solchen Verbundträger beinhaltet.

Bei diesem Bauwerk ergab sich für die Preflexionskraft, jeweils in 0,3 und 0,7 L des Trägers, eine Kraftgröße von F = 628,5 kN. Dem entsprach eine Durchbiegung aus Preflexion von 10,3 cm. Die Überhöhung des Profils IBPv 280 war entsprechend dem Ergebnis der Statik für die mittleren Träger mit 5,8 cm, für den Randträger mit 7,3 cm festgelegt. Die notwendige Schweißnahtdicke betrug 6,5 mm. Im Nachweis waren gleichfalls die erforderliche Dübelgröße und Dübelanzahl erfaßt.

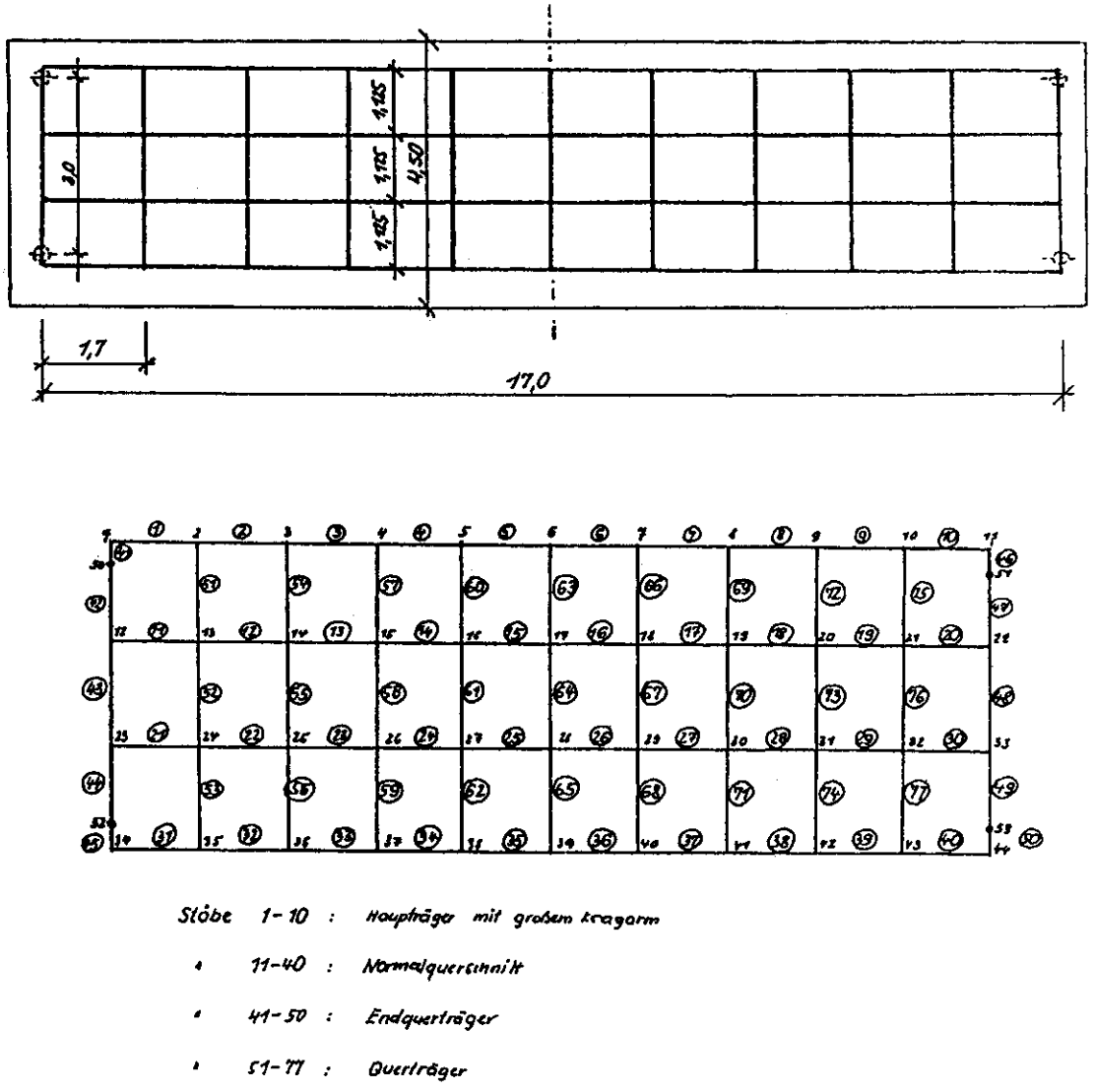


Bild 5: Ersatzträgerrost

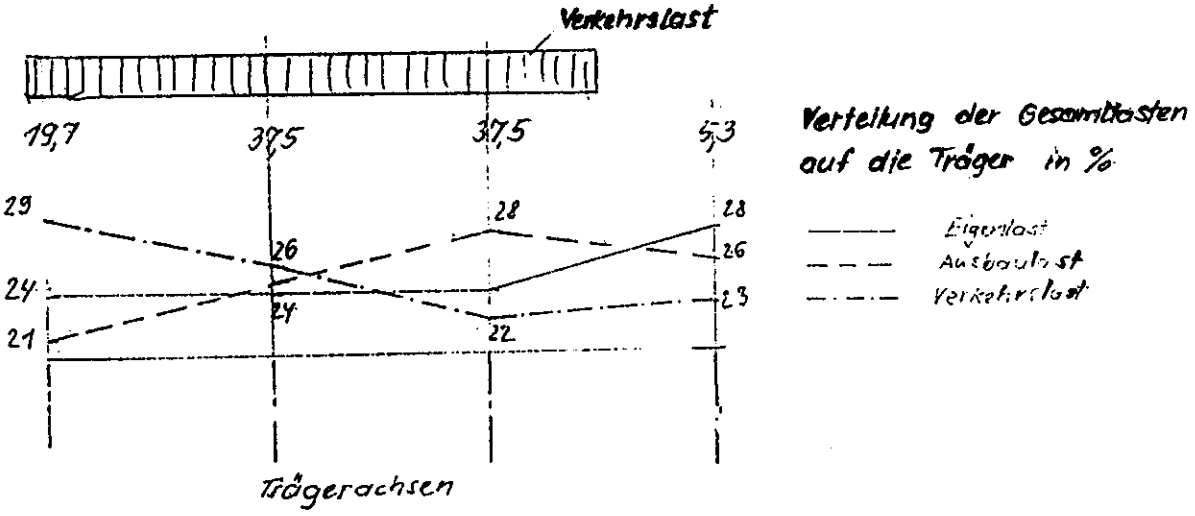


Bild 6: Lastverteilung

Die Überbauten sind schwimmend gelagert, die Horizontalkräfte in Längsrichtung des Überbaues können damit minimiert werden (*Bild 7*). Die weiteren Nachweise entsprachen den von WIB-Trägern.

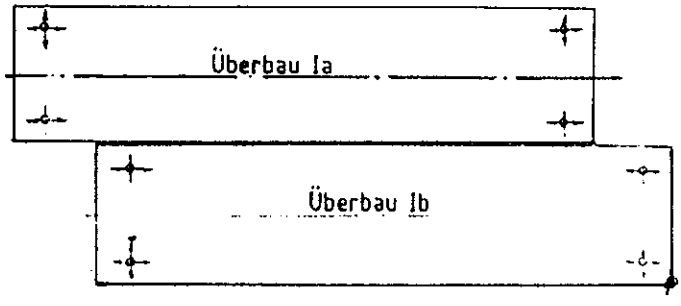


Bild 7: Lagerung des Überbaus

6 Unterbauten

Die Unterbauten - unbewehrte Schwergewichtswiderlager - konnten aufgrund der gewählten schwimmenden Lagerung als standsicher nachgewiesen werden. Die Differenzen zwischen alter und neuer Überbaugeometrie wurden durch Auflagerbänke ausgeglichen, die schalungstechnisch sehr gründlich durchzukonstruieren waren.

Die Unterbauten der Stahlüberbauten Ic und Id weisen eine Besonderheit auf, vor deren Nachahmung gewarnt werden soll. Die Unterbauten werden durch Bohrpfahlwände gebildet, deren zu große Kopfverschiebung eine obere Festhaltung erforderlich machte. Diese wurde durch Aussteifbalken gebildet, wobei Planung und Ausführung nicht beachteten, daß die zugrunde gelegte symmetrische Stützung nicht dem Bauwerk entsprach. Infolge des Versatzes der Erddruckresultierenden wird die gesamte Konstruktion durch ein Moment beansprucht, das eine Verdrehung bewirkt, die durch die gelenkig gelagerten Aussteifbalken nicht übernommen werden kann. Die bei Ansatz von fiktiven Lagern ermittelten Abstützkräfte waren wesentlich größer als die zulässigen Kräfte der bereits eingebauten Aussteifbalken (*Bild 8, a bis c*). Deshalb wurde eine strengere Berechnung unter Berücksichtigung der räumlichen elastischen Lagerung im Boden und einer Abstützung auf das Widerlager der Überbauten Ia und Ib durchgeführt (*Bild 8, d*). Die dabei ermittelten maximalen Abstützkräfte waren noch zulässig, im Falle einer wirksamen Abstützung auf das andere Widerlager traten bei Lastkombination sogar Zugkräfte in A2 auf. Bei Besichtigung des Bauwerks im Jahr 1992 waren an den Auflagerpunkten der Aussteifbalken Betonrisse zu erkennen, die bestätigten, daß die prognostizierte Verdrehung tatsächlich aufgetreten war, wenn auch nicht in der rechnerisch abgeschätzten absoluten Größe. Mit dieser Ergänzung sollte auf die Bedeutung sinnvoller statischer Modellbildung hingewiesen werden.

7 Bautechnologie

Das Bauwerk wurde in zwei Bauabschnitten errichtet (*Bild 9*). Nach Einbau von Hilfsbrücken am Überbau Ia alt und Ic wurde der Überbau Ib ausgehoben. Nach Herstellen des notwendigen Arbeitsraumes wurden die Auflagerbänke des Überbaues Ib herausgetrennt und die neuen, als Fertigteil hergestellten, Auflagerbänke eingebaut. Dann konnten auf dem hydraulisch verfahrbaren Hilfsgerüst die vier Träger des Überbaues Ib abgesetzt, justiert und bewehrt werden. Mit Abschluß der Erhärtung wurde der Überbau Ib beschottert, mit Oberbau versehen und durch einen Schotterverbau gesichert. Dann folgte analog der Überbau Ia.

Durch Verzögerungen am Bauwerk konnten die Träger hier erst drei Monate später als geplant eingebaut werden. Die zusätzliche Aufbiegung betrug ca. 3 mm, der Kraftverlust bewegte sich im Rahmen der Rechengenauigkeit.

Die anschließende Stützmauer mußte durch zwei Lagen Permanentanker gesichert werden. Beim Verpressen dieser Anker trat Zementsuspension in die Hohlräume der bereits fertiggestellten Widerlagerentwässerung ein, wodurch diese unbrauchbar wurde. Durch Anordnung von Folien über den Widerlagerbereich hinaus und Ausbildung einer neuen Querrinne konnte der Schaden beseitigt werden.

8 Zusammenfassung

Der Einsatz von PREFLEX-Trägern zum Erzielen einer minimierten Bauhöhe ist ähnlich einfach wie bei der anerkannten Bauweise "Walzträger in Beton". Durch die Reduzierung der Trägeranzahl je Gleis vermindert sich der Bewehrungsaufwand der Ortbetonplatte. Da keine Stahlflächen sichtbar bleiben, sind keine nachträglichen Korrosionsschutzmaßnahmen erforderlich. Die Bauweise liefert bei Eisenbahnbrücken größerer Stützweite deutlich höhere Effekte als im vorliegenden Fall. Als Empfehlung kann der Bereich zwischen 22 bis 35 m Einzelstützweite gelten. Auch durchlaufende Tragwerke sind möglich. Der PREFLEX-Träger stellt somit für den Eisenbahnbrückenbau eine wertvolle Ergänzung dar.

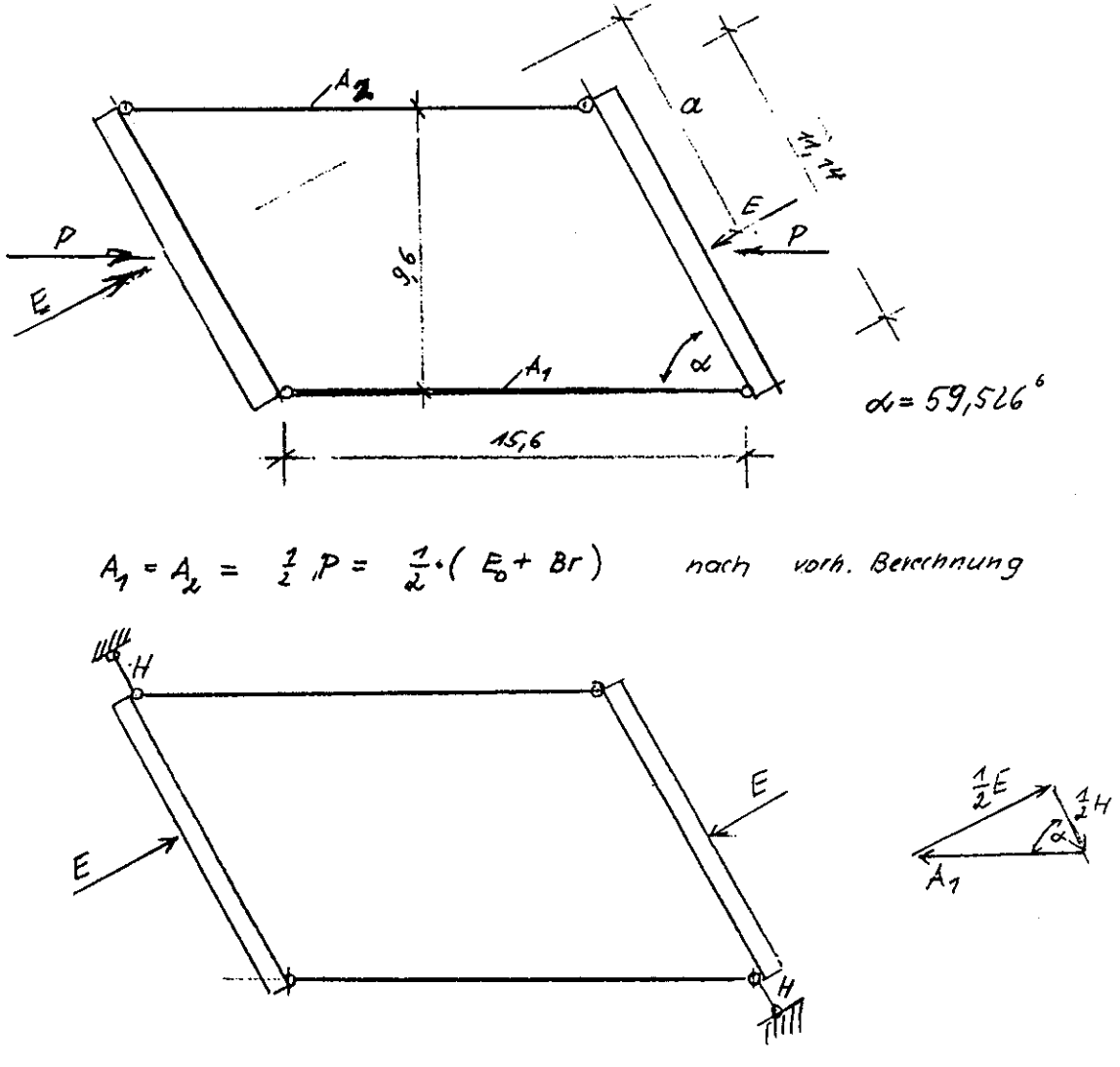
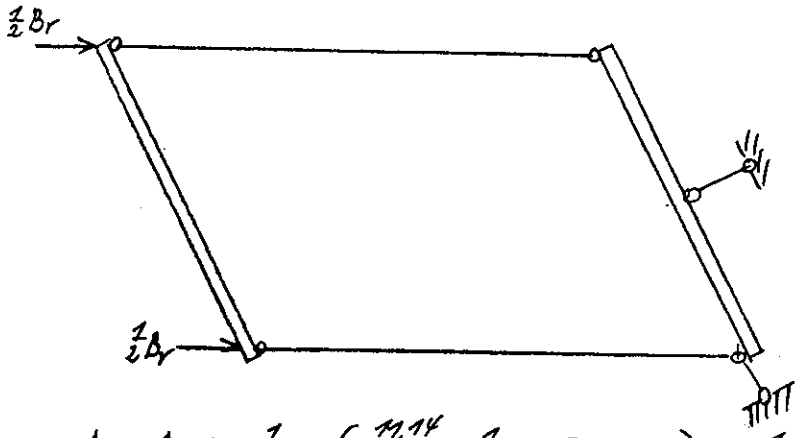
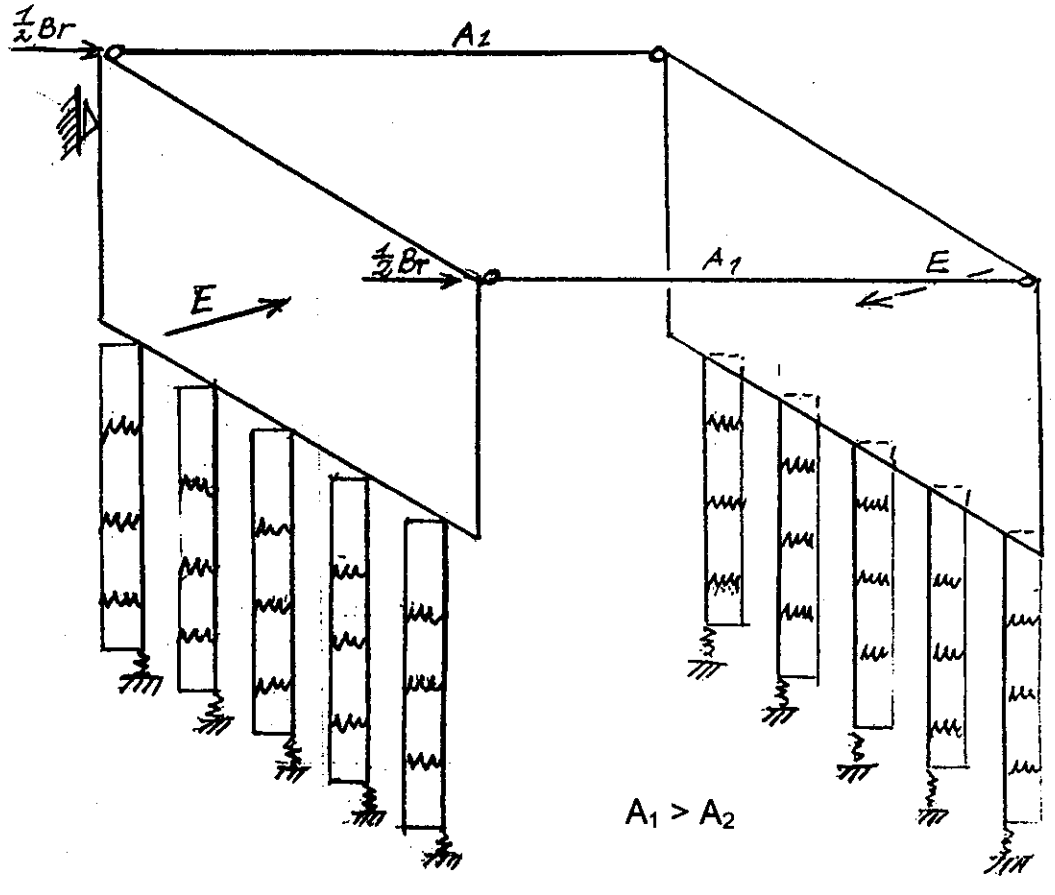


Bild 8 a und b



$$A_1 = A_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{11{,}14}{9{,}6} \cdot \frac{1}{\sin\alpha} \cdot E_0 + B_r \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(1{,}346 \cdot E_0 + B_r \right)$$

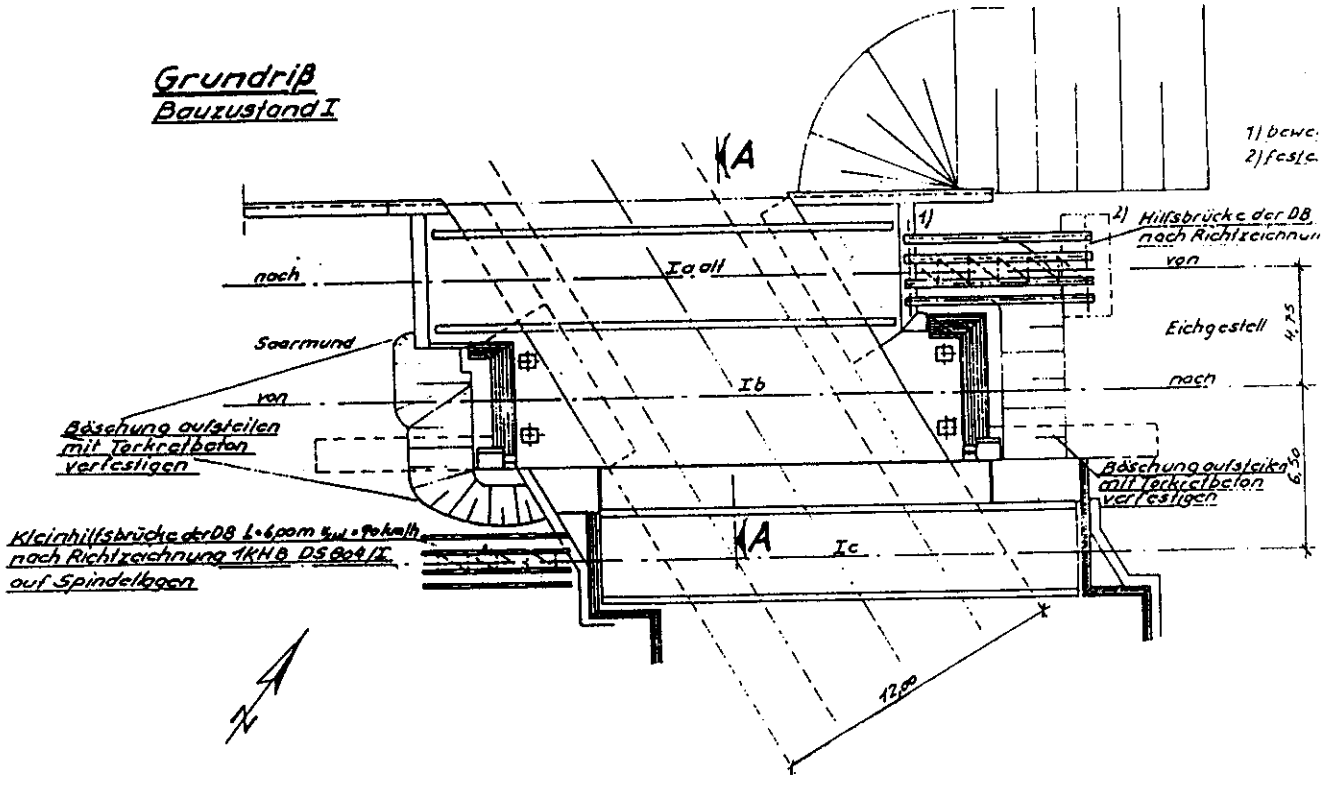
$A_1 >$ zul A_1 !



Zur Berechnung der Widerlager Ic und Id:

a) Ursprüngliche Berechnung
b) Ersatzsystem für Erddruck
c) Ersatzsystem für Bremsen
d) Räumliches System (Vereinfachte Darstellung)

Bild 8 c und d:



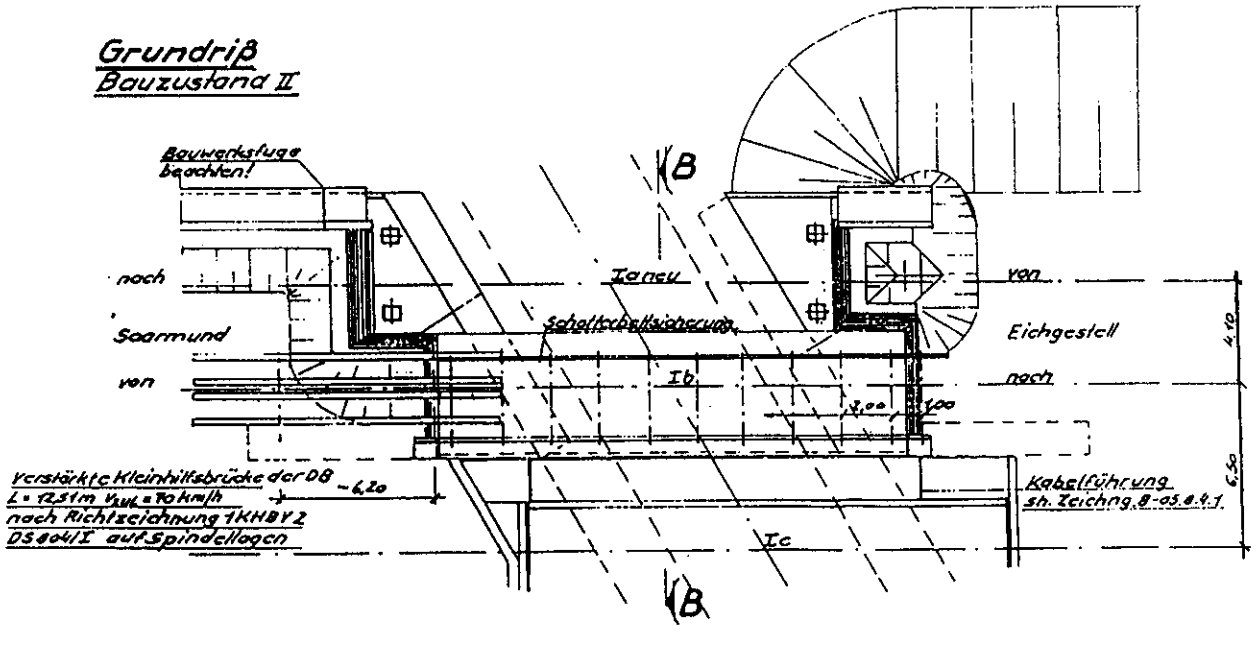


Bild 9: Bauzustände a) Bauzustand I b) Bauzustand II