

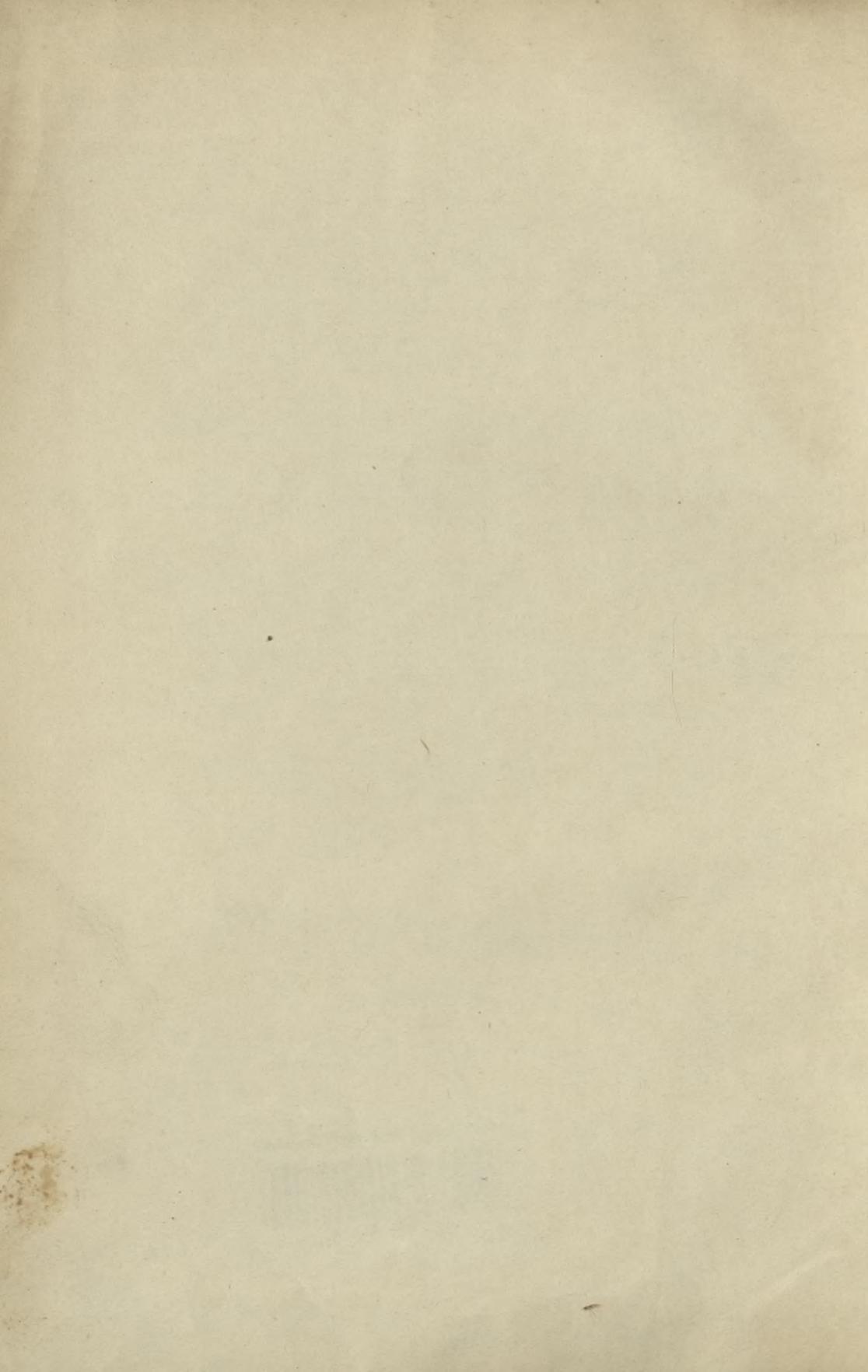


2,60

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297569



Der Brückenbau.

Nach Vorgang

erschienen in der Zeitschrift für Bauwesen, No. 12, 1874

Verlag von Joseph Neumann

Der Brückenbau.

~~F. N. 28699~~

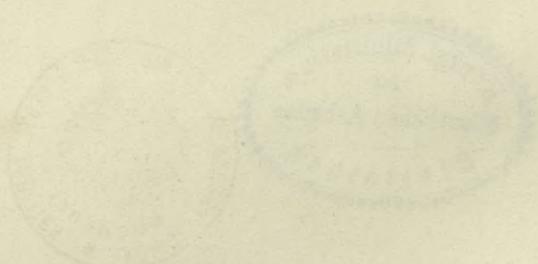


~~558~~
~~84~~

XXX
963

Der Brückenbau.

[Faint, illegible handwritten text]



Der Brückenbau.

Nach Vorträgen,

gehalten an der deutschen technischen Hochschule in Prag

von

Dpl. Ingenieur **Joseph Melan**

k. k. Hofrat, o. ö. Professor des Brückenbaues.

III. Band, 1. Hälfte.

Eiserne Brücken I. Teil.

Mit 484 Abbildungen im Text.

286991



LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1914.

~~458. 84~~

XXX
963



~~4879~~

I-349459

Copyright 1914 by Franz Deuticke, Leipzig und Wien.



Verlags-Nr. 1994.

K. u. k. Hofbuchdruckerel Carl Fromme in Wien.

Akc. Nr.

~~5048~~ 51

BPK-B 265/2017

Vorwort zur ersten Hälfte des dritten Bandes.

Die eisernen Brücken sind trotz des Aufschwunges, den der Bau der Stein-, Beton- und Eisenbetonbrücken in neuerer Zeit genommen hat, heute noch immer die wichtigsten, zahl- und formenreichsten und in ihren Einzelheiten am vollkommensten ausgebildeten Objekte des Brückenbaues. Ihre eingehendere Behandlung in den diese Disziplin umfassenden Vorträgen erscheint daher gerechtfertigt und geboten, wenn sie auch nur weit davon entfernt bleiben kann, vollständig und erschöpfend zu sein. Im übrigen waren auch bei Abfassung des in seiner ersten Hälfte vorliegenden dritten Bandes meiner Vorträge die gleichen Gesichtspunkte maßgebend, die in der Vorrede zum ersten Bande angeführt wurden.

Hiernach soll zunächst den Studierenden ein nicht allzu umfangreiches Lehrbuch an die Hand gegeben werden, das sie zu selbständigem Konstruieren anleitet, ihnen zur kritischen Beurteilung ausgeführter Bauwerke verhilft und auf Grund guter Ausführungsbeispiele die Grundsätze möglichst einwandfreier Konstruktionen vermittelt. Natürlich muß bei einer Einführung in den Eisenbrückenbau die Vertrautheit mit den Lehren der Baustatik und der Theorie der Brücken vorausgesetzt werden. Diese werden demnach in dem vorliegenden Werke auch nicht systematisch, sondern nur soweit als deren Resultate und ihre Anwendung in Betracht kommen, behandelt.

Für den modernen Eisenbrückenbau geben besonders die Ausführungen in Deutschland zahlreiche mustergiltige und vorbildliche Beispiele, die man im vorliegenden Werke auch vielfach benutzt findet. Neben ihnen haben auch die neueren Brücken in Österreich, namentlich die vom k. k. Arbeitsministerium projektierten, manche gute Vorbilder geliefert. Ältere Konstruktionen wurden nur soweit kurz berührt, als es wünschenswert schien, durch Andeutungen über die geschichtliche Entwicklung des Baues der eisernen Brücken den Studierenden das Verständnis für den Fortschritt unseres technischen Wissens und Könnens zu vermitteln und ihren Sinn für die Wertschätzung der Leistungen unserer Vorgänger zu wecken.

Um die Herausgabe, die sich durch die Anfertigung der Zeichnungen zu den Abbildungen bereits stark verzögerte, nicht allzusehr hinauszuschieben, werden die „Eisernen Brücken“ in zwei Teilen erscheinen. Der vorliegende erste Teil behandelt den Baustoff und dessen zulässige Inanspruchnahme, die Konstruktionselemente des Eisenbaues, die Fahrbahnkonstruktionen und die Hauptträger der Balkenbrücken mit den Einzelheiten, die sich überhaupt auf genietete und Fachwerksträger beziehen, schließlich auch die Brückenaufleger. Er umfaßt sonach das Wesentliche über die Konstruktion der Balkenbrücken, dem nur noch die Besprechung des Quer- und Windverbandes fehlt. Diese soll in dem zweiten, in Jahresfrist folgenden Teile nachgetragen werden, der auch die besonderen Konstruktionen der Ausleger- und durchgehenden Tragwerke, ferner der Bogen- und Hängebrücken, sowie Angaben über das Eigengewicht der eisernen Brücken enthalten wird.

Prag im Oktober 1913.

J. Melan.

Inhaltsverzeichnis

zur ersten Hälfte des dritten Bandes.

	Seite
I. Kapitel. Der Baustoff der eisernen Brücken, die Konstruktionselemente und Verbindungsmittel.	
§ 1. Der Baustoff	1
§ 2. Die Konstruktionselemente	15
§ 3. Die Verbindungsmittel	22
Nieten	22
Schraubenbolzen	28
Gelenkbolzen	28
II. Kapitel. Die zulässige Beanspruchung des Materiales der eisernen Brücken.	
§ 4. Allgemeine Grundsätze für die Wahl der zulässigen Inanspruchnahme	32
§ 5. Ursachen der Nichtübereinstimmung der berechneten und der wirklichen Spannungen	33
§ 6. Die zulässige Inanspruchnahme und die Methoden der Dimensionbestimmung bei eisernen Brücken	37
§ 7. Die zulässigen Beanspruchungen der eisernen Brücken nach den amtlichen Vorschriften und den Annahmen der Praxis	43
§ 8. Die Berechnung der auf Druck beanspruchten Glieder mit Sicherheit gegen Knickung	50
III. Kapitel. Nietverbindungen, genietete Stäbe und Blechträger.	
§ 9. Nietverbindungen und Stabanschlüsse	68
§ 10. Stoßverbindungen	80
§ 11. Die Vollwandträger oder Blechträger	89
IV. Kapitel. Die Fahrbahnkonstruktionen der eisernen Brücken.	
§ 12. Allgemeines	110
A. Fahrbahn der Straßenbrücken.	
§ 13. Die Fahrbahndecke	114
§ 14. Die Fahrbahntafel	
Belageisen	121
Buckelplatten	130
Hängebleche	135

	Seite
Flachbleche	139
Platten aus Stein oder Eisenbeton	141
Gewölbkappen aus Mauerwerk oder Eisenbeton	147
Entwässerung der Fahrbahn	154
B. Fahrbahn der Eisenbahnbrücken.	
§ 15. Gleisüberführung ohne Bettung	157
§ 16. Gleisüberführung auf Schotterbettung	165
§ 17. Schutzvorrichtungen gegen Entgleisen	175
§ 18. Endabschlüsse der Fahrbahn, Auszugsvorrichtungen	176
§ 19. Das Trägergerippe der Fahrbahn	186
A. Die Längsträger, Befestigung	192
" " Berechnung	208
B. Die Querträger, Befestigung	219
" " Berechnung	235
§ 20. Gewicht der Fahrbahnträger und günstigste Querträgerentfernung	239
§ 21. Anordnung des Fahrbahngerippes schiefer Brücken	245
§ 22. Eisenbahnbrücken in Gleiskrümmungen	252
§ 23. Fußwege und Geländer, Revisionsstege	260
V. Kapitel. Die Hauptträger.	
§ 24. Tragwerkssysteme	271
§ 25. Die Hauptträger der einfachen Balkenbrücken	
1. Träger mit vollen Wandungen	280
2. Gitter und Fachwerksträger	281
3. Rahmen- oder Vierendeelträger	301
§ 26. Die Methoden der Berechnung des ebenen Fachwerks	310
§ 27. Die Dimensionierung und die Querschnittsausbildung der Stäbe	324
§ 28. Die Verbindungen in den Knotenpunkten	342
Berechnung der Nebenspannungen	345
A. Bolzengelenkknoten	355
B. Genietete Knotenpunkte	357
§ 29. Stoßlage und Stoßdeckungen in den Gurtungen	380
§ 30. Die Auflager der Balkenträger	383
Nachtrag	412
Druckfehlerberichtigung	416

Eiserne Brücken.

I. Kapitel. Der Baustoff der eisernen Brücken, die Konstruktionselemente und Verbindungsmittel.

§ 1. Der Baustoff.

Das technisch verwendbare Eisen wird nach seiner Herstellungsart und nach der seine technischen Eigenschaften bedingenden Zusammensetzung, für die insbesondere der Gehalt an Kohlenstoff von Wichtigkeit ist, in Roh- oder Gußeisen, in Schmiedeeisen (Schweiß- und Flußeisen) und Stahl unterschieden.

1. Gußeisen ist durch Umschmelzen gereinigtes graues Roh-eisen. Es ist das kohlenstoffreichste Eisen und enthält 2-3% und mehr Kohlenstoff, überdies auch noch andere teils schädliche, teils unschädliche Beimengungen, wovon die wichtigsten Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel sind. Weiches graues Gußeisen soll höchstens $1\frac{1}{2}$ bis 3% Silizium und möglichst wenig Schwefel enthalten. Die Qualität läßt sich durch wiederholtes Umschmelzen und durch besondere Behandlung nach dem Gusse, insbesondere durch langsame Abkühlung verbessern. Bei der Formgebung der Gußstücke ist zu beachten, daß nicht allzu verschieden starke Teile vorkommen, da sonst infolge ungleicher Abkühlung innere Spannungen entstehen, die Sprödigkeit und Risse herbeiführen können.

Die Zugfestigkeit des Gußeisens beträgt im Mittel 1150 bis 1200 kg/cm^2 , seine Druckfestigkeit 5000 bis 7000 kg/cm^2 . Es existiert keine eigentliche Elastizitätsgrenze, der Elastizitätskoeffizient ist nicht konstant, sondern nimmt mit wachsender Beanspruchung ab; im Mittel kann dafür 1,000.000 kg/cm^2 gesetzt werden. Wegen der Sprödigkeit und geringen Zugfestigkeit des Gußeisens ist die zulässige Biegebungsbeanspruchung auf der Zugseite nicht höher als mit 200 bis 250 kg/cm^2 anzunehmen.

Das spezifische Gewicht des Gußeisens ist im Mittel 7·25.

Der Rohguß findet heute im Brückenbau nur zu Nebenteilen Anwendung, zu Geländern, dekorativen Verkleidungen etc., zu Auflagerplatten und Lagerstühlen. Für letztere, das ist für Auflagerkonstruktionen größerer Brückenträger wird aber jetzt in der Regel der festere Flußeisen- oder Stahlguß vorgezogen. Früher wurde Gußeisen auch zu den tragenden Teilen der Brücken verwendet. Die ersten eisernen Bogen- und Balkenbrücken waren ganz aus Gußeisen ausgeführt. (Siehe „Geschichtliche Entwicklung“.) Später wurde das Gußeisen zu den auf Druck beanspruchten Gliedern der Fachwerksträger, zu den Druckgurten und Druckstreben, verwendet und es wurden solche Systeme ausgebildet, welche auf einer weitgehenden Anwendung des Gußeisens beruhten und einen bequemen Zusammenbau gestatteten. (Eiserne Howeträger, Schifkornbrücken.) Man ist aber nun schon seit langem von der Verwendung des Gußeisens zu den tragenden Teilen einer Brücke gänzlich abgekommen und es ist diese Verwendung auch durch die bestehenden behördlichen Vorschriften untersagt. Hiezu haben, ungeachtet der sonstigen Vorzüge des Gußeisens (Billigkeit, leichte Formgebung) ungünstige Erfahrungen geführt (in Österreich der 1868 erfolgte Einsturz der Schifkornbrücke über den Pruth bei Czernowitz unter einem darüber fahrenden Güterzuge), welche mit diesem spröden, gegen dynamische Einwirkungen wenig widerstandsfähigem Baustoffe gemacht worden sind.

Das schmiedbare Eisen (Schmiedeeisen und Stahl) wird aus dem Roheisen durch Verminderung des Kohlenstoffgehaltes unter 1·6% bei gleichzeitiger Ausscheidung nicht gewünschter Beimengungen erhalten. Der Unterschied von Schmiedeeisen und Stahl ist hauptsächlich an den Kohlenstoffgehalt gebunden. Schmiedeeisen besitzt weniger als 0·5% Kohlenstoff, hat einen hohen Schmelzpunkt (über 1600° C), ist schmiedbar und schweißbar aber nicht merklich härtbar. Als Stahl bezeichnet man dagegen jenes schmiedbare Eisen, welches bei größerem Kohlenstoffgehalt (0·5 bis 1·6%) größere Festigkeit und die Eigenschaft der Härtbarkeit besitzt. Als Baustoff kommt im heutigen Eisenbau vornehmlich das weichere, nicht härtbare Schmiedeeisen in Betracht. Nach der Erzeugungsart, die auch einen verschiedenen Zustand am Ende des Herstellungsverfahrens zur Folge hat, wird dasselbe in Schweißisen und Flußeisen unterschieden.

2. Das Schweißisen wird aus dem Roheisen durch den Herdfrisch- oder Puddelprozeß gewonnen. Die Entkohlung wird dabei ziemlich weit getrieben, die Hitze aber nur soweit gesteigert, daß

das Endprodukt, die Schweißisenluppe, als teigige Masse erhalten wird. Diese wird unter dem Dampfhammer möglichst von der Schlacke befreit und dann zu Rohschienen ausgewalzt. Letztere werden in Stücke geschnitten, zu Bündeln vereinigt (pakettiert), in Schweißhitze gebracht und schließlich zu Blechen und Formeisen ausgewalzt. Das Schweißisen und die daraus hergestellten Walzfabrikate sind nie vollkommen schlackenfrei und es gibt die bündelartige Lagerung der Rohschienen Anlaß zu einer sehnigen Ausbildung, die sich bei den weicheren Sorten durch einen deutlich sehnigen Bruch kundgibt. Hiedurch unterscheidet sich das Schweißisen von dem später zu besprechenden Flußeisen, dessen allerweichste Sorten höchstens eine Andeutung sehnigen Gefüges zeigen. Die sehnige Struktur des Schweißeisens bedingt gewisse Eigentümlichkeiten seines mechanischen Verhaltens, insbesondere bedeutende Unterschiede der Festigkeit und Dehnung in der Längs- und Querrichtung eines Walzstückes. Gutes Schweißisen hat in der Längsrichtung eine Zerreißfestigkeit von 3300 bis 3600 kg/cm^2 , besonderes Qualitätseisen (für Niete) bis zu 3800 kg/cm^2 , die Dehnung beim Bruche beträgt 15 bis 10⁰/₀; quer zur Walzrichtung kann jedoch nur auf eine Festigkeit von 2400 bis 3000 kg/cm^2 bei einer Dehnung von 5 bis 3⁰/₀ gerechnet werden¹⁾. Die Elastizitätsgrenze liegt verhältnismäßig niedrig und beträgt bei den weicheren Sorten 1400 bis 1600 kg/cm^2 , bei den härteren Sorten mit über 3600 kg/cm^2 Festigkeit 1800 bis 2000 kg/cm^2 . Der Elastizitätskoeffizient ist im Mittel 2,000.000 kg/cm^2 . Das spezifische Gewicht beträgt im Mittel 7.8.

1) Zur Ermittlung der Festigkeitseigenschaften des Eisens dienen Zerreißproben, die mit Probestäben von durchschnittlich 5 cm^2 Querschnitt durchgeführt werden. Letztere sind aus den Blechen oder Walzeisen kalt herauszuschneiden und mittels Fräse- und Hobelmaschinen herzurichten, wobei die Walzhaut an den Breitseiten möglichst belassen wird. Die Längendehnung bei der Zerreißprobe wird zwischen vorgekörnten Marken gemessen, die bei einem Probestabe von rund 5 cm^2 Querschnitt 200 mm Abstand, sonst allgemein den Abstand $\sqrt{80 F}$ haben. Ist l die Meßlänge vor der Zerreißprobe, l' diese Länge, die an dem zerrissenen Stabe nach möglichst passendem Zusammenfügen der Bruchstücke gemessen wird, so gibt $\lambda_s = 100 \cdot \frac{l' - l}{l}$ die relative Verlängerung, Bruchdehnung in Prozenten.

Im allgemeinen nimmt bei den verschiedenen Eisensorten mit Zunahme der Festigkeit die Dehnbarkeit ab. Weiches Eisen mit niedriger Zerreißfestigkeit gibt größere Dehnungsprozente als härteres, festeres Eisen. Trägt man für einen der Zerreißprobe unterworfenen Eisenstab auf einem rechtwinkligen Achsenkreuz die Dehnungen λ als Abszissen und die zugehörigen Spannungen σ als Ordinaten auf, so erhält man das Dehnungsdiagramm, das im allgemeinen den in

Der Kohlenstoffgehalt des weichen Schweißeisens liegt unter 0.1%. Als schädliche, die Qualität jedes schmiedbaren Eisens sehr beeinträchtigende Beimengungen treten insbesondere Phosphor und Schwefel auf. Schon ein geringer Gehalt an Schwefel erzeugt Rotbruch, das Eisen wird in der Rotglühhitze brüchig und rissig. Ein größerer Gehalt an Phosphor macht das Eisen spröde und kaltbrüchig und gegen mechanische Bearbeitung im kalten Zustande sehr empfindlich. Zur Untersuchung auf Rotbruch werden warme Schmiedeproben gemacht; der Probestab wird flach geschmiedet, in das warme Stück werden Löcher gestanzt und erweitert, oder man schmiedet ein Vierkanteisen in rotglühendem Zustande in eine Spitze aus, die scharf bleiben muß und keine Fransen zeigen darf. Zur Untersuchung auf Kaltbruch dienen Kaltbiegeproben, Stäbe oder Blechstreifen müssen sich kalt in einer Rundung und um einen Winkel, der von der Dicke des Streifens abhängt, biegen lassen, ohne daß auf der äußeren Seite der Biegung Risse entstehen.

Bis vor etwas mehr als zwei Dezennien war das Schweißeisen

Abb. 1 dargestellten Verlauf zeigt. Die Dehnungen setzen sich aus elastischen und bleibenden Dehnungen zusammen. Letztere sind anfänglich verschwindend klein und bis zur Elastizitätsgrenze E nicht meßbar; darüber hinaus wachsen sie aber rasch und überragen die elastischen Dehnungen sehr beträchtlich. Dementsprechend ist das Dehnungsdiagramm bis zu einem in der Nähe von E gelegenen Punkte P , der Proportionalitätsgrenze, geradlinig, da die elastischen Dehnungen im gleichen Verhältnis wie die Spannungen, nach dem Hook-

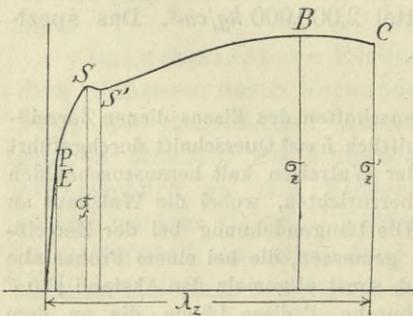


Abb. 1.

sehen Proportionalitätsgesetze $\lambda = \frac{\sigma}{E}$, zunehmen. Mit dem allmählichem Anwachsen der bleibenden Dehnung nimmt die Dehnungslinie eine stärkere Krümmung an, bis nach Erreichung der Streckgrenze S mit ziemlicher Plötzlichkeit eine rasche Dehnungszunahme folgt, so daß das Dehnungsdiagramm von diesem Punkte an einen flachen Verlauf erhält. Oft ist sogar mit der Über-

schreitung der Dehnung an der Streckgrenze anfänglich ein kleiner Spannungsabfall verbunden und es bildet sich eine untere Streck- oder Fließgrenze S' aus. Die größte Ordinate σ_z des Diagrammes gibt die Bruchspannung, nach deren Erreichung sich dann aber kein Gleichgewichtszustand mehr herstellt. Es tritt jetzt an der Bruchstelle eine zunehmende Einschnürung des Stabes auf, und die auf den ursprünglichen Stabquerschnitt bezogene Spannung nimmt etwa bis auf σ'_z ab, wo dann der Stab nach Erreichung der größten Dehnung λ_z zum Bruche kommt.

der ausschließliche Baustoff für die eisernen Brücken. Infolge der geänderten Produktionsverhältnisse und der Fortschritte in der Eisenerzeugung ist aber die Verwendung des Schweißeisens im Bauwesen immer mehr und mehr zurückgegangen und jetzt ist dasselbe schon seit geraumer Zeit auch im Bau der eisernen Brücken durch das Flußeisen gänzlich verdrängt worden. Die letzten großen Schweiß-eisenbrücken wurden in Deutschland 1892/94 über den Nordostsee-kanal (bei Grünental und Levensau) erbaut.

3. Das Flußeisen wird durch Frischprozesse aus Roheisen oder aus einem Schmelzgemenge von Roheisen und Eisenabfällen (Eisenschrot) gewonnen, welche so geführt werden, daß die Temperatur weit über dem Schmelzpunkt des gefrischten Eisens bleibt, dieses sonach als flüssige Masse erhalten wird. Man unterscheidet zwei Arten der Flußeisenbereitung:

a) Bei dem Birnen- oder Converterprozeß wird unter starkem Druck Luft von unten durch das in einer birnenförmigen Retorte befindliche flüssige Roheisenbad geblasen. Die dadurch bewirkte Verbrennung der Beimengungen, Silizium oder Phosphor etc. sowie die teilweise Oxydation des Kohlenstoffes liefern die zur Flüssig-haltung des Eisens erforderliche Wärmemenge. Das Futter der Birne wird der Hauptsache nach entweder aus Kieselerde (saurer oder Bessemerprozeß, von H. Bessemer 1855 erfunden) oder aus dolomitischen Kalke (basischer oder Thomasprozeß, 1879 von Thomas erfunden) hergestellt. Das erstere Verfahren ist nur für phosphorarmes Roheisen anwendbar, da die Ausscheidung des Phosphors an das Vorhandensein einer basischen Schlacke gebunden ist. Das so gewonnene Flußeisen wird als Bessemer-eisen bezeichnet. Gewöhnlich hat man es aber mit phosphorreicherem Roheisen zu tun und es muß für solches das basische Verfahren zur Anwendung kommen, um geeignetes, vom Phosphorgehalte möglichst befreites Flußeisen, Thomaseisen, zu gewinnen. Man hat es bei beiden Ver-fahren durch die Führung des Prozesses in der Hand, ein End-produkt von geringerem oder größerem Kohlenstoffgehalt, also weiches oder härteres Flußeisen oder Flußstahl zu erzeugen. Im letzteren Falle ist durch Zusätze von Spiegeleisen, Ferromangan, am Schlusse des Prozesses die entsprechende Rückkohlung zu be-wirken.

b) Die zweite Art der Flußeisenbereitung besteht in einem mischenden Schmelzen von Roheisen und Eisenschrot im Flamm-ofen mit Siemensscher Regenerativfeuerung, welche die zur Flüssig-haltung des Eisenbades erforderliche Wärmemenge zuführt. Das

Verfahren wurde zuerst von den Gebrüdern Martin in Sireuil mit einem von W. Siemens erbauten Ofen durchgeführt und wird nach den Erfindern als Siemens-Martinprozeß bezeichnet. Das Mischverfahren spielt dabei eine mehr oder weniger große Rolle und kann sich auch bis zum bloßen Umschmelzen schmiedbaren Eisens entwickeln. Durch entsprechende Ausfütterung des Flammofens kann der Prozeß entweder sauer oder basisch durchgeführt werden. Das gewonnene Eisen heißt Martinflußeisen. Auch dieses kann in verschiedenem Härtegrade — auf die härteren Sorten wenden wir wieder die Bezeichnung Stahl an — dargestellt werden.

Wegen des Phosphorgehaltes unserer Erze und des daraus erblasenen Roheisens kommen hauptsächlich die basischen Prozesse zur Durchführung und bilden Thomaseisen und Martineisen jetzt die Hauptprodukte der Eisenerzeugung.

Diese beiden Flußeisensorten sind hinsichtlich ihrer Eignung als Konstruktionsmaterial für Brücken lange Zeit als nicht ganz gleichwertig angesehen worden und man hat sich bei dem Ersatze des Schweißeisens durch Flußeisen anfänglich bloß auf die Verwendung von Martineisen beschränkt. Es ist zweifellos, daß im Flammofen, wenigstens vor der jetzigen allgemeinen Vervollkommnung der Flußeisenfabrikation, gutes gleichmäßiges Material von gewünschter Beschaffenheit leichter herzustellen ist als durch den Birnenprozeß. Im Martinofen geht das Einschmelzen und die Roh-eisentkohlung verhältnismäßig langsam vor sich und es wird eine Charge von etwa 20 bis 30 *t* in ungefähr 6 Stunden reif. Diese lange Dauer des Prozesses gestattet eine sorgfältige Regelung der chemischen Zusammensetzung des Eisenbades, so daß man Material von ganz bestimmter Qualität, und zwar ebenso gut ganze weiche Flußeisensorten wie auch harten Flußstahl herstellen kann. Dem steht der rapide Verlauf des Converterprozesses gegenüber. Bei diesem ist eine Charge von 20 *t* in durchschnittlich 20 Minuten abgeblasen; es findet eine heftige Gasentwicklung statt und diese dauert auch noch eine Zeit nach dem Abgusse fort. Finden die Gasblasen, hauptsächlich Kohlenoxyd und Wasserstoff, in dem zum Teil erstarrenden Ingot nicht mehr Zeit zum Entweichen, so kommt es zu Blasenbildungen. Ungleichförmigkeiten, infolge nicht genügend inniger Durchmischung des Eisenbades, können bei Thomaseisen, namentlich bei den härteren Sorten, eher vorkommen, als bei Martineisen.

Die reife Charge wird aus dem Martin-Ofen oder aus dem Converter in eine Gußpfanne und von dieser in eiserne Blockformen, die sogenannten Ingots gegossen, welche, damit sie nur allmählich

erstarren und abkühlen, bis zum Auswalzen in erwärmte Gruben eingesetzt werden.

Das Flußeisen hat, wie schon früher erwähnt, eine vom Schweißisen wesentlich verschiedene Struktur; auch die weichen Sorten zeigen keinen ausgesprochen sehnigen, sondern feinkörnigen milden Bruch. Es zeichnet sich aber vor dem Schweißisen bester Qualität dadurch aus, daß es bei größerer Festigkeit mindestens die gleiche oder größere Dehnbarkeit besitzt. Es sind auch die Festigkeiten längs und quer zur Walzrichtung viel weniger verschieden wie bei Schweißisen.

Für die normalen Eisen- und Brückenkonstruktionen beschränkt man sich auf die Anwendung weicherer Flußeisensorten mit einem Kohlenstoffgehalt bis etwa 0.15% und mit Festigkeiten, die zwischen den Grenzen von etwa 3700 bis 4400 kg/cm^2 liegen. Flußeisen, insbesondere Thomaseisen von höherer Festigkeit, hat meist nicht die gewünschte Zähigkeit und ist gegen mechanische Bearbeitung empfindlich.

Wie schon oben bemerkt wurde, datiert die allgemeine Verwendung des Flußeisens im Brückenbau aus neuerer Zeit.

In Österreich wurde durch eine ministerielle Verordnung im Jahre 1892 zunächst erst nur das weiche basische Martinflußeisen als für den Bau eiserner Brücken als zulässig erklärt. Dem Erlaß dieser Verordnung waren in den Jahren 1889/90 eine Reihe von Versuchen vorangegangen, welche vom österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereine mit Trägern aus verschiedenen Eisensorten angestellt worden sind¹⁾, und die insbesondere auch wichtige Aufschlüsse über den Einfluß der Anarbeitung einer genieteten Trägerkonstruktion auf deren Tragvermögen ergaben, worauf später noch zurückgekommen wird. Diese Versuche führten zunächst, wegen des weniger befriedigenden Verhaltens der aus Thomaseisen hergestellten Träger, zu einer Einschränkung des für Brücken als zulässig bezeichneten Flußeisenmaterials auf weiches Martineisen mit 3500 bis 4500 kg/cm^2 Zerreißfestigkeit bei einer Bruchdehnung von 28 bis 22%. Erst durch eine spätere im Jahre 1897 durchgeführte Versuchsreihe wurde das abfällige Urteil über das Thomaseisen dahin modifiziert, daß bei gleich guter Anarbeitung beide Baustoffe, Martin- und Thomaseisen, innerhalb der Festigkeitsgrenzen von 3500 bis 4300 kg/cm^2 als gleichwertig zu betrachten sind, daß hingegen härteres Thomas-

¹⁾ Bericht des Brückenmaterialkomitee. „Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines“, 1891.

eisen als solches mit etwa 4300 kg/cm^2 für genietete Konstruktionen nicht mehr den gleichen Grad der Zuverlässigkeit bietet, wie Martinflußeisen.

Demzufolge ist auch in der österreichischen Verordnung für eiserne Brücken vom Jahre 1904 hinsichtlich der Art des zu verwendenden Flußeisens keine Einschränkung gemacht und sowohl Martin- wie Thomaseisen als zulässig erklärt. Es wird nur verlangt, daß die Festigkeiten für Martineisen in den Grenzen zwischen 3600 bis 4500 kg/cm^2 , für Thomaseisen zwischen 3600 bis 4200 kg/cm^2 bleiben und daß die Tetmajersche Qualitätsziffer, d. i. das Produkt aus Zerreißfestigkeit in t/cm^2 und prozentueller Längendehnung beim Bruche in der Walzrichtung, mindestens 100, senkrecht dazu mindestens 90 beträgt. Für Niet- und Schraubeneisen wird eine Zugfestigkeit von 3500 bis 4000 kg/cm^2 verlangt und eine solche Dehnung, daß die Qualitätsziffer mindestens die Zahl 110 erreicht.

Auch in Deutschland wurde beim Übergang von Schweißeisen zum Flußeisen anfänglich das Martinflußeisen als Brckenkonstruktionsmaterial vor dem Thomaseisen bevorzugt und für wichtige Brückenbauten, so z. B. auch noch für den Umbau der großen Eisenbahnbrücken in Dirschau und Marienburg ausschließlich verwendet, da man in die Zuverlässigkeit und Gleichartigkeit des Thomaseisens damals noch Zweifel setzte¹⁾. Die 1891/93 erbaute Weichselbrücke bei Fordon wurde aber bereits gänzlich aus Thomaseisen hergestellt, nachdem die durchgeführten zahlreichen Versuche die Gleichwertigkeit dieses Baustoffes innerhalb der in Frage kommenden Festigkeitsgrenzen mit dem Martineisen ergeben hatten. Seither ist, entsprechend den Produktionsverhältnissen, das Thomaseisen für die Brückenbauten in Deutschland der nahezu ausschließlich verwendete Baustoff geworden. Die deutschen „Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenkonstruktionen“ setzen für das zu verwendende Flußeisen folgende Eigenschaften fest:

In der Längsrichtung Zerreißfestigkeit mindestens 3700 kg/cm^2 , höchstens 4400 kg/cm^2 , Bruchdehnung mindestens 20%;

in der Querrichtung Zerreißfestigkeit mindestens 3600 kg/cm^2 , höchstens 4500 kg/cm^2 , Bruchdehnung mindestens 17%;

für Nieten und Schrauben Zerreißfestigkeit mindestens 3600 , höchstens 4200 kg/cm^2 , Bruchdehnung mindestens 22%.

¹⁾ Um die Einführung des neuen Baustoffes an Stelle des Schweißeisens haben sich in Deutschland namentlich Kintzli und Mehrstens Verdienste erworben. Vergl. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 707 und 1892, S. 279.

Gewaltsame mechanische Bearbeitung im kalten Zustande ist dem Flußeisen, besonders den härteren Sorten, wenig zuträglich; es wird dabei leicht spröde und es können sich haarfeine, dem Auge nicht sichtbare Risse bilden, die bei einer Beanspruchung zu plötzlichem Bruche führen können. Kaltes Hämmern, Biegen, Lochen ist daher zu vermeiden. Besonders empfindlich ist das Flußeisen für eine Bearbeitung in der sogenannten Blauwärme (300° C), alle Schmiedearbeit: Biegen, Kröpfen von Winkeleisen etc. ist daher nur in heller Rotglut auszuführen. Kalte Scherenschnitte sind an den Kanten auf 2 bis 3 mm abzufräsen oder zu hobeln. Die oben erwähnten österreichischen Versuche vom Jahre 1889 haben deutlich den Einfluß einer mehr oder minder sorgfältigen Anarbeitung auf das Tragvermögen einer genieteten Flußeisenkonstruktion erkennen lassen. Von zwei Trägerpaaren von durchaus gleichen Abmessungen (Fachwerksträger von 10 m Stützweite) und aus gleichem Materiale (Martinflußeisen von 3800 kg/cm² Zerreißeftigkeit und 27% Bruchdehnung) wurde das eine mit durchwegs gebohrten Nietlöchern und mit sorgfältiger Anarbeitung, das andere nur mit gestanzten und nachgeriebenen Nietlöchern hergestellt. Der Bruch des ersteren Trägerpaares trat bei einer rechnermäßigen Spannung von 3300 kg/cm² (87%), jener des zweiten Paares bei einer solchen von 2800 kg/cm² (74%) ein. Ein ähnliches Verhalten zeigten auch bei den späteren Versuchen die Träger aus Thomaseisen. Versuche in Deutschland (Gutehoffnungshütte 1891) mit Blechträgern von 3 m Spannweite, von denen je einer schlecht gearbeitet war (gestanzte Nietlöcher, mit der Scheere geschnittene Kanten), der andere gut (Nietlöcher gebohrt, hydraulisch genietet) ergaben¹⁾:

		Bruchspannung : Zerreißeftigkeit
Träger aus weichem Flußeisen ($\sigma_z = 3841$),		
	schlecht gearbeitet	0·89
" " " "	gut " "	0·91
" " hartem " "	($\sigma_z = 4866$),	
	schlecht gearbeitet	0·66
" " " "	gut " "	0·83

Die jetzige Ausführungspraxis der eisernen Brücken trägt der Anforderung sorgfältiger Anarbeitung in ausreichendem Maße Rechnung.

¹⁾ Krohn, Verwendung des Flußeisens im Brückenbau. „Stahl und Eisen“, 1891.

Die Elastizitätsgrenze des weichen Flußeisens beträgt etwa die Hälfte seiner Zerreißfestigkeit; die Streckgrenze liegt durchschnittlich bei 2800 kg/cm^2 ; der Elastizitskoeffizient ist im Mittel $2,150.000 \text{ kg/cm}^2$, für die härteren Sorten $2,200.000 \text{ kg/cm}^2$. Das spezifische Gewicht beträgt 7.85.

Die verlangte Qualität des in einer Brückenkonstruktion zu verwendenden Eisens ist durch Proben sicherzustellen, die bei der Übernahme des Materiales im Werke durchzuführen sind. Man beschränkt sich gewöhnlich darauf, von jeder Charge 1 bis 2 Proben zu nehmen und von etwa 100 der zur Übernahme bestimmten Walzstücke je 5 Stück zur Erprobung auszuwählen. Entspricht hievon eine Probe den Bedingungen nicht, so werden aus demselben Satze, beziehungsweise aus derselben Walzeisensorte drei weitere Ergnzungsproben genommen und wird die Lieferung nur dann akzeptiert, wenn alle drei Ergnzungsproben vollkommen entsprechen.

Für das Abnahmeverfahren und die Prüfungsmethoden für das Material eiserner Brückenkonstruktionen werden vom sterreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein (1906) folgende Leitsätze aufgestellt:

1. Die Prüfung des Flußeisens hat sich auf alle für eine Konstruktion bestimmten Chargen zu erstrecken.

2. Die Auswahl der zu prüfenden Stücke hat gelegentlich der Walzung des Brckenmateriales zu erfolgen, wobei sie an jenen Stellen abzutrennen sind, welche den Kopfenden der Blöcke entsprechen.

3. Die Prüfung hat sich vornehmlich auf Walzeisen mit größeren Profilen zu erstrecken, wobei Stücke zu wählen sind, die wrmer, und solcher, die kälter fertiggewalzt wurden.

4. Die Probestäbe sind womöglich in der Stärke der zu prüfenden Walzeisen zu belassen; Längsstäbe sind nahe der Profilmitte, Querstäbe nicht zu nahe am Rande der Walzeisen zu wählen.

5. Zur Ermittlung der kleinsten Materialfestigkeit einer Charge ist ein Stab vom Rande eines stärkeren, wrmer fertiggewalzten Stückes zu prüfen.

6. Bei der Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit der Walzeisen ist den Flächen an den einspringenden Winkeln der Profile besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

7. Die Bestimmung der Materialfestigkeit und -zähigkeit hat im Wege des Zugversuches zu erfolgen, wobei die Streckgrenze, die Zugfestigkeit, die Einschnürung (Kontraktion) und die Gesamtdehnung zu ermitteln sind. Die Bestimmung der Materialfestigkeit kann durch Kugeldruckversuche ergänzt werden.

8. Zur Ermittlung der Bearbeitungsfhigkeit des Flußeisens im kalten Zustande sind Biegeversuche mit unverletzten, sowie auch mit scharf eingeschnittenen Stäben auszuführen. Die Einschnitte der letzteren sind unter einem Winkel von zirka 60° und auf mindestens $\frac{1}{10}$ der Stabdicke mittels der Hobelmaschine herzustellen.

9. Zur Feststellung einer etwa vorhandenen Rotbruchdisposition des Fluß-

eisens sind nahe den Profilmitten entnommene, den Kopfen der Blöcke entsprechende Stäbe bei dunkler Kirschrothitze zu prüfen. Die Stäbe sind hiebei auch quer und längs der Walzrichtung auf mindestens $\frac{1}{10}$ ihrer Dicke einzu-
meißeln und dann über das Horn des Ambosses zu biegen.

10. Das Grobgefüge ist im Wege von Ätzversuchen festzustellen, welchen hiebei die Rolle informativer Vorproben bezüglich Saigerungen, Lunker- und Blasenbildungen zufällt. Je nach dem Ausfall der Ätzprobe sind Anzahl und Umfang der technologischen Proben zu bemessen.

Schließlich wird als Kennzeichen eines zu Brückenkonstruktionen geeigneten Flußeisens die folgende Bestimmung empfohlen:

Bei scharf eingeschnittenen Längsstäben soll der Biegewinkel, wenn die Herstellung des Einschnittes, wie oben angegeben, und die Biegung um eine Rundung vom Durchmesser gleich der dreifachen Stabstärke erfolgt, mindestens 25° erreichen, ehe ein durchgreifender Querriß entsteht.

4. Der Stahl. Als Stahl bezeichnet man alle härtbaren Sorten des schmiedbaren Eisens. Die Härbarkeit ist an einen gewissen Kohlenstoffgehalt gebunden und tritt deutlich bei einem solchen von über 0.5% auf. Die weitaus wichtigste Rolle in der Produktion und Verwendung kommt wieder dem Flußstahl zu.¹⁾ Der gewöhnliche Flußstahl mit Festigkeiten von 4500 bis 6000 kg/cm^2 und Dehnungen von 20 bis 10% findet im Brückenbau hauptsächlich als Stahlguß zu Teilen, die keine weitere Bearbeitung erfahren, z. B. Lagerkörper, Verwendung, dann im bearbeiteten Zustande als Schmiedestahl, welcher zäher und gleichmäßiger ist als der unbearbeitete Stahlguß. Aus geschmiedetem Flußstahl werden höher beanspruchte Formstücke, wie Lagerrollen, Gelenkbolzen etc. hergestellt.

Als Baustoff für Träger- und sonstige zusammengesetzte Konstruktionen, die den Einwirkungen einer bewegten Last ausgesetzt sind, ist der gewöhnliche harte Flußstahl infolge seiner mit zunehmender Festigkeit verminderten Zähigkeit allerdings nicht gut geeignet. In besonderem Grade gilt dies für Tragwerke von kleiner und mittlerer Spannweite, bei welchen eine Verminderung des Eigengewichts durch Wahl eines festeren Materiales gar nicht erstrebenswert ist, wenn man nicht einen Baustoff zur Verfügung hat, der gleichzeitig die Eigenschaft großer Zähigkeit besitzt, wodurch er den sich hier besonders stark geltend machenden dynamischen Einwirkungen der bewegten Lasten gut zu widerstehen vermag. Anders verhält es sich bei großen Spannweiten. Bei diesen tritt die Wirkung der Verkehrslasten gegenüber jener des Eigengewichts mehr zurück

¹⁾ In Frankreich und England pflegt man alles Flußeisen schlechtweg als Stahl zu bezeichnen und es entspricht der *acier doux* oder *soft steel* unserem Flußeisen, dagegen der *acier dur*, beziehungsweise *medium steel* und *high steel* dem nach der deutschen Klassifikation als Flußstahl bezeichneten Baustoffe.

*acier
doux
steel*

und es erscheint auch aus wirtschaftlichen Gründen erwünscht, das Gewicht des eisernen Überbaues durch Wahl eines Baustoffes von größerer Festigkeit zu verringern, wobei es angesichts der verminderten dynamischen Beanspruchung des Bauwerkes zulässig ist, die Anforderungen hinsichtlich der Zähigkeit des Materiales herabzusetzen.

Wenn sonach die ersten Anwendungen eines stahlartigen harten Materiales auf Brückenüberbauten von kleiner und mittlerer Spannweite, welche über 40 Jahre zurückdatieren (Götha-Elfbrücke in Schweden 1866 u. a.) sich als verfehlt erwiesen haben und nicht entsprachen, so haben doch, unterstützt durch die seitherigen Fortschritte in der Stahlfabrikation, die Bestrebungen nach Einführung eines Baustoffes von großer Festigkeit bei möglichst hoher Dehnbarkeit bis heute nicht aufgehört und um so mehr Wichtigkeit gewonnen, je bedeutender die Aufgaben waren, die hinsichtlich der Bewältigung großer Spannweiten an den Brückenbau herangetreten sind.

So verwenden die Amerikaner schon seit lange neben ihrem weichen soft steel (Flußeißen) von 3650 bis 4360 kg/cm^2 Zerreißfestigkeit bei 25% Dehnung für die Druckglieder großer Träger ein härteres, durchwegs im Siemens-Martinofen erzeugtes Materiale, medium steel, von 4218 bis 4920 kg/cm^2 Zerreißfestigkeit und mindestens 22% Bruchdehnung.

Bei der Firth-of-Forth-Brücke in Schottland, welche 1882/90 erbaut, unter den derzeit bestehenden Brücken die größte Spannweite, 521 m besitzt, kam im Flammofen erzeugter Flußstahl von hoher Qualität in Anwendung, und zwar betrug

	die Zerreißfestigkeit,	die Bruchdehnung
für die Druckstäbe	5350 bis 5830 kg/cm^2	17%
für die Zugstäbe	4720 bis 5200 „	20%
für die Niete	4250 „	30%

Martinstahl von hoher Festigkeit hat auch zu den Kettengliedern großer Hängebrücken Verwendung gefunden, so bei der Schwurplatzbrücke über die Donau in Budapest (300 m Spannweite), deren Kettenglieder aus basischem Martinstahl von 5000 bis 5500 kg/cm^2 Festigkeit und 20% Dehnung hergestellt sind.

Einen vorzüglichen, durch Gleichmäßigkeit und Reinheit ausgezeichneten Baustoff für eiserne Brücken verspricht der im elektrisch geheizten Ofen hergestellte Flußstahl, Elektrostahl, zu liefern, der hohe Festigkeit mit großer Zähigkeit verbindet. Bei 6600 kg/cm^2

Festigkeit gibt derselbe noch bis 25⁰/₀ Bruchdehnung. Hinderlich für seine Anwendung im Brückenbau sind derzeit noch der beträchtlich höhere Preis und die beschränkte Erzeugung.

Tiegelflußstahl von sehr hoher Festigkeit findet in der Form von Draht zu den Kabeln der Hängebrücken Verwendung. Der Stahldraht hat bei 12.000 bis 15.000 kg/cm^2 Festigkeit eine hochgelegene Streckgrenze aber nur 3 bis 4⁰/₀ Dehnung. Trotz dieser geringen Bruchdehnung hat sich das Material in dieser Verwendungform, wo es nach dem Walzen keine weitere Bearbeitung erfährt, gut bewährt.

Gewisse Zusätze verleihen dem Stahl bei großer Festigkeit eine erhöhte Zähigkeit. Als solche Zusätze kommen insbesondere Nickel, Chrom, Vanadium und vielleicht auch Mangan und Titan in Betracht.

Chromstahl hat schon vor etwa 40 Jahren im Brückenbau Anwendung gefunden, und zwar wurden die röhrenförmigen Gurte der Bogenträger der von Eads erbauten Brücke über den Mississippi bei St. Louis (158 *m* Spannweite) aus einem Tiegelstahl hergestellt, der 1·5 bis 2⁰/₀ Chrom enthielt. Die Festigkeit dieses Stahles betrug rund 7000 kg/cm^2 , seine Streckgrenze etwa 4200 kg/cm^2 . Über die Dehnung liegen keine Angaben vor.

Die wichtigste Rolle unter diesen legierten Stahlarten dürfte aber, wenigstens soweit es den Brückenbau angeht, dem Nickelstahl zukommen¹⁾. Dieser neueste Baustoff, der zum erstenmale beim Bau der letzten zwei großen East-River-Brücken mit Spannweiten von 326 bis 450 *m*, der Blackwell-Inselbrücke und der Manhattanbrücke, zur Anwendung gelangte und nun auch für den Bau der Quebecbrücke (mit rund 536 *m* Spannweite) in Aussicht genommen ist, scheint alle Anforderungen zu erfüllen, die für Brückenbauzwecke an ein Material von hoher Festigkeit und genügender Zähigkeit zu stellen sind. Der in den amerikanischen Brücken zur Anwendung gelangte Nickelstahl enthält im Minimum 3·25⁰/₀ Nickel, höchstens 0·04 bis 0·06⁰/₀ Phosphor, höchstens 0·6⁰/₀ Mangan und 0·1⁰/₀ Silizium. Die Zerreißfestigkeit schwankt zwischen 5960 und 7030 kg/cm^2 , die Streckgrenze liegt zwischen 3370 und 3870 kg/cm^2 ; die Dehnung (auf 203 *mm* Markenlänge) beträgt je nach der Festigkeit 19 bis 15⁰/₀.

Neuestens haben auch die deutschen Werke, unter ihnen besonders die Gutehoffnungshütte in Oberhausen, angeregt durch die

¹⁾ F. Bohny, Über die Verwendung von Nickelstahl im Brückenbau. „Der Eisenbau“, 1911, Nr. 2.

erfolgreichen amerikanischen Ausführungen, dem Nickelstahl und dessen Anwendung im Brückenbau ihre Aufmerksamkeit zugewendet. Der von dem genannten Hüttenwerke seit 1908 produzierte und auf den Markt gebrachte Nickelstahl hat bei 2 bis 2·5% Nickelgehalt eine Festigkeit von 5600 bis 6500 kg/cm^2 , Streckgrenze 3500 kg/cm^2 , Bruchdehnung 20%. Die mit diesem Materiale durchgeführten amtlichen Versuche, die sich nicht nur auf reine Festigkeits- und Bearbeitungsproben, sondern auch auf die Erprobung ganzer genieteteter Konstruktionsteile und auf Knickversuche erstreckten, haben durchwegs günstige Ergebnisse geliefert. Vorerst sind aber nur einige kleine Brückenbauwerke (eine Eisenbahnbrücke von 31·5 m Stützweite auf der Linie Oberhausen—Dorsten, der 118 m lange Versteifungsträger der Schwebefähre über die Hafeneinfahrt zur Kieler Werft, zwei Bahnbrücken im Direktionsbezirk Altona von 27 und 30 m Stützweite und als größtes Objekt die zweigeleisige Hüttenbahnbrücke über den Rhein—Hernekanal bei Oberhausen mit 60·6 m Stützweite) in Nickelstahl zur Ausführung gekommen, doch nehmen viele der, bei den letzten großen Wettbewerben (Straßenbrücke in Köln) aufgestellten Entwürfe die Verwendung dieses Materiales in Aussicht, so daß man wohl nicht fehlgehen wird, ihm für die Zukunft noch eine große Bedeutung für den Brückenbau zu prophezeien.

Die Frage seiner Verwendung bei großen Brücken kann schon jetzt von vorwiegend wirtschaftlichen Gesichtspunkten beurteilt werden. Bei Stahl von den obigen Festigkeitseigenschaften wird man gegenüber dem gewöhnlichen Flußeisen eine etwa um 50% erhöhte Beanspruchung zulassen können. Wenn sonach das Gewicht der Hauptträger der Flußeisenbrücken von der Stützweite l nach einer allgemeinen Näherungsformel pro 1 m $g = \frac{(g_0 + p) l}{250 - l}$ gesetzt wird (worin $g_0 + p$ Fahrbahngewicht + Verkehrslast), so wäre jenes von Nickelstahlträgern bei den gleichen Konstruktionsverhältnissen $g' = \frac{(g_0 + p) l}{375 - l}$ und es verhalten sich diese Trägergewichte

$$g : g' = 375 - l : 250 - l.$$

Es ist sonach die Eisenbrücke

bei $l = 30 \quad 50 \quad 75 \quad 100 \quad 125 \quad 150 \quad 175 \quad 200 \quad 225 m$ um das
 $g : g' = 1\cdot568 \quad 1\cdot625 \quad 1\cdot714 \quad 1\cdot803 \quad 2\cdot000 \quad 2\cdot250 \quad 2\cdot666 \quad 3\cdot500 \quad 6\cdot000$ fache

schwerer als die Nickelstahlbrücke. Damit ist bei gegebenem Preisunterschiede der beiden Baustoffe auch die Spannweitengrenze bestimmt, von welcher an die Anwendung des Nickelstahles wirtschaftlich

verteilhaft wird. Ist beispielsweise die Nickelstahlkonstruktion pro 100 *kg* doppelt so teuer als eine Flußeisenkonstruktion, so wird sich erstere erst bei Spannweiten über 125 *m* als richtig erweisen, doch wird der ökonomische Gewinn mit wachsender Spannweite sehr rasch steigen.

Von anderen Zusätzen, welche dem Stahl hochwertige Eigenschaften verleihen, ist noch besonders Vanadium hervorzuheben. Wegen seines hohen Preises wird dieses Metall aber nur in geringer Menge und in Verbindung mit anderen Zusätzen (Nickel, Chrom) bei der Stahlbereitung zu verwenden sein. Der von einem amerikanischen Hüttenwerke für Brückenbauzwecke gelieferte Vanadiumstahl, der aber doppelt so teuer wie Nickelstahl kommen soll¹⁾, enthält 0·25% Kohlenstoff, 0·17% Vanadium, 1·45% Nickel und 1·2% Chrom. Er zeichnet sich, wie dies Versuche an ganzen Augenstäben ergeben haben, durch große Zerreißfestigkeit (6880 *kg/cm*²) und durch eine besonders hohe Streckgrenze (5700 *kg/cm*²), sowie durch große Bruchdehnung (30·3% auf 300 *mm* Länge) aus, wäre sonach ein ganz ausgezeichnetes Konstruktionsmateriale, wenn nicht der hohe Preis, sowie die Schwierigkeit, dieses Material bei seiner komplizierten chemischen Zusammensetzung durch Massenfabrikation in gewünschter Gleichmäßigkeit herzustellen, im Wege stände.

§ 2. Die Konstruktionselemente.

Der Überbau der eisernen Brücken setzt sich so wie jede Eisenkonstruktion aus stab- und bandförmigen Elementen zusammen, die durch besondere Verbindungsmittel (zumeist Niete, seltener Schraubenbolzen) zu Stäben oder Tragwerksteilen und diese wieder zum Tragwerke vereinigt werden. Die Konstruktionselemente sind nahezu ausschließlich durch den Walzproze hergestellte Walzeisen, deren Querschnittsformen meist sehr einfach sind und die in nur wenigen Arten, jedoch in den verschiedensten Abmessungen zur Anwendung gelangen.

Man unterscheidet: Bleche, Flacheisen, Winkel- und andere Formeisen (Profileisen).

Die Bleche sind Platten mit rechteckigen Querschnitte, die, auf den Blechwalzen durch zweiseitigen Walzdruck hergestellt, beim Verlassen der Walze keine geraden Kanten besitzen und daher beschnitten werden müssen. Man verwendet zu Tragkonstruktionen Bleche von 7 bis 20 *mm* Stärke, ausnahmsweise solche bis zu 30 *mm*

¹⁾ Bohny, siehe oben.

Stärke. Bleche mit Stärken unter 5 mm werden als Feinbleche bezeichnet, finden aber zu tragenden Teilen bei Brücken schon wegen der Gefahr des Durchrostens keine Anwendung. Die gangbarsten Stärken für die Konstruktionsbleche sind 8 bis 16 mm. Die Breite der Blechtafeln beträgt gewöhnlich bis 2 m, es werden aber auch breitere Bleche bis zu 2.5 und 3 m Breite verwendet und von den Walzwerken über besondere Bestellung gegen Preiszuschlag (Überpreise) geliefert¹⁾. Die normale Länge der Blechtafeln ist etwa 6 m, das normale Gewicht etwa 450 bis 500 kg, doch werden auch Bleche von größeren Dimensionen, bis zu etwa 12 bis 20 m² Fläche, und bis zu 2000 kg Gewicht und darüber zu Überpreisen geliefert. Beschränkt man sich auf Bleche von im Maximum 500 kg Gewicht, so ist bei der Breite b (in Meter), der Stärke δ (in Zentimeter) die Länge l (in Meter) = $\frac{6.37}{b \cdot \delta}$.

Die Bleche finden Anwendung zu den Stegen der Vollwandträger (Blechträger), zur Bildung der Gurte der Fachwerkträger, als Knotenbleche zu den Knotenpunktsanschlüssen usw.

Flacheisen und Universaleisen haben ebenfalls rechteckigen Querschnitt; erstere werden auf Kaliberwalzen bis zu einer Breite von etwa 200 mm und in verschiedener Stärke (bis etwa 40 mm), letztere auf Universalwalzen unter vierseitigem Walzdrucke gewalzt, so daß sie in der geforderten Breite (bis zu 1200 mm) mit reinen Kanten aus der Walze hervorgehen und keines Beschneidens bedürfen. Gewöhnlich werden Breiten von 50 bis 600 mm (um je 10 mm steigend) und Dicken von 7 bis 25 mm (um 1 mm steigend) verwendet. Breitere Flacheisen, auch Breiteisen genannt, werden auch aus Blechen geschnitten. Normallänge 6 bis 12 m, größte Länge bis etwa 20 m, entsprechend einem Blockgewichte bis zu 500 kg.

Man verwendet die Flach- und Universaleisen hauptsächlich zu den Gurtungsplatten der Vollwand- und Fachwerkträger und in Verbindung mit Formeisen zur Bildung von Zug- und Druckstreben.

Winkleisen sind die wichtigsten und häufigst verwendeten Formeisen. Sie haben zwei unter rechtem Winkel stehende Schenkel, die entweder gleich lang (gleichschenklige Winkel) oder ungleich lang (ungleichschenklige Winkleisen) sind. Die Innenflächen sind

¹⁾ Die Preisstellung für sämtliche Walzfabrikate erfolgt derart, daß, solange die Abmessungen, insbesondere die Länge, oder das Gewicht des Walzstückes gewisse normale Grenzen nicht überschreiten, ein Grundpreis gilt, zu dem bei abnormalen Maßen oder Gewichten Zuschläge, sogenannte Überpreise treten.

zu den Außenflächen parallel und an den Ecken abgerundet (Abb. 2). Der Abrundungsradius ist am Zusammenstoß der Schenkel $r_1 = \frac{1}{2}(d_{\min} + d_{\max})$, an den Schenkelenden $r_0 = \frac{1}{2}r_1$. Dabei bezeichnen d_{\min} und d_{\max} die Grenzwerte der Schenkelstärken für eine bestimmte Schenkellänge.

Die Walzwerke liefern bestimmte Normalprofile, deren Schenkellängen anfänglich um je 5 mm, bei größeren Kalibern um je 10 mm zunehmen. Zu jeder Schenkellänge gehören eine Anzahl, um je 1 mm verschiedener Stärken. Winkelleisen unter 60 mm Schenkelbreite werden im Brückenbau für gewöhnlich nicht verwendet; die größten von den österreichischen und deutschen Werken gewalzten Winkel haben 160 mm Schenkellänge. Bei den ungleichschenkligen Winkeln ist das Verhältnis der Schenkellängen meist (nach den österreichischen Normalprofilen) 1:1,5, doch werden in den Kaliberheften der Walzwerke auch davon abweichende Profile geführt. Die stärksten ungleichschenkligen Winkel der deutschen Walzwerke haben 100×180 mm Schenkelbreite und 18 mm Dicke.

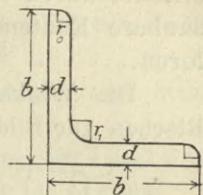


Abb. 2.

Man bezeichnet das Kaliber der Winkel mit $\frac{b:b}{d}$ oder $b.b.d$ und hat, von den schwächsten Profilen abgesehen, vornehmlich folgende Kaliber zur Verfügung:

Gleichschenklige Winkel:

$\frac{60.60}{6-10}$	$\frac{65.65}{6-10}$	$\frac{70.70}{6-12}$	$\frac{75.75}{7-14}$	$\frac{80.80}{7-14}$	$\frac{85.85}{7-14}$	$\frac{90.90}{8-16}$
$\frac{100.100}{9-16}$	$\frac{110.110}{9-16}$	$\frac{120.120}{10-16}$	$\frac{130.130}{12-16}$	$\frac{140.140}{13-16}$	$\frac{160.160}{14-16}$	

Ungleichschenklige Winkel:

$\frac{50.75}{6-8}$	$\frac{50.100}{8-12}$	$\frac{60.75}{6-10}$	$\frac{60.90}{7-13}$	$\frac{70.105}{8-14}$	$\frac{75.90}{8-10}$	$\frac{75.130}{9-13}$
$\frac{75.150}{9-13}$	$\frac{80.100}{8-14}$	$\frac{80.120}{9-14}$	$\frac{90.130}{9-16}$	$\frac{100.130}{9-14}$	$\frac{100.150}{9-15}$	$\frac{100.180}{15-18}$

Schiefe Winkel sind nur in einer ganz beschränkten Anzahl von Profilen mit 60° und 120° zu erhalten.

Die Normallänge ist für Winkel von unter 70 mm Schenkelbreite

8 m, für die stärkeren Winkel 10 m. Die größte Länge ist 16 bis 20 m.

Die Winkeleisen müssen wie alle Formeisen allen Anforderungen bezüglich Festigkeit und Zähigkeit entsprechen. Mechanische Bearbeitungsproben, welche mit kurzen Winkeleisenstücken angestellt werden, bestehen in einem Zusammenbiegen der Schenkel oder in Flachstrecken im kalten und warmen Zustande, wobei sich keine Risse zeigen dürfen. Winkel und Formeisen, die bereits zu sehr erkaltet durch das Vollendkaliber gingen (kalt gewalzt), zeigen zwar saubere Kanten und Oberflächen, haben jedoch an Zähigkeit verloren.

Die Winkeleisen dienen in Verbindung mit Flacheisen und Blechen zur Bildung zusammengesetzter Stabquerschnitte, überhaupt zum Anschlusse rechtwinklig zueinander stoßender Bauteile, und finden selbe im Eisenbau die ausgedehnteste Verwendung.

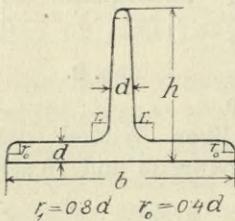


Abb. 3.

┐-Eisen (Abb. 3) stehen nur in einer beschränkten Zahl von Kalibern zur Verfügung und werden auch im Brückenbau verhältnismäßig wenig, etwa als Füllungsstäbe für kleinere Fachwerksträger, zu Windstreben anstatt doppelter Winkel etc. verwendet. Man unterscheidet breit-

füßige und hochstegige ┐-Eisen. Bei den ersteren ist die Fußbreite gleich der $1\frac{1}{2}$ fachen bis doppelten Steghöhe; bei den letzteren ungefähr gleich der Steghöhe. Die Seitenflächen des Steges sind unter 1:50 bis 1:25 geneigt, der Fuß ist parallellflächig. Die österreichischen Normalprofile für hochstegige ┐-Eisen haben folgende Verhältnisse: $h = 0.77 b$, $d = 0.1 b + 1 \text{ mm}$, Neigung der Seitenflächen 4%. Die Fußbreiten betragen, um je 10 und 20 mm wachsend, 60 bis 150 mm.

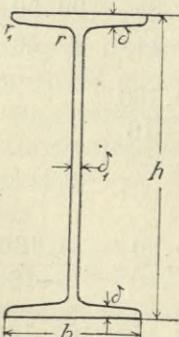


Abb. 4.

Hochstegige ┐-Profile lassen sich auch, wenn deren Verwendung zweckmäßig ist, durch Teilung von I-Eisen gewinnen.

I-Träger, Doppel-T-Eisen (Abb. 4). Die Querschnittsform dieser Walzeisen, aus einem Steg mit beiderseitigen Flanschen bestehend, entspricht der günstigsten Materialverteilung für Biegebungsanspruchung, daher auch ihre hauptsächlichste Verwendung zu Trägern und zwar zu Fahrbahnlängsträgern und Hauptträgern kleiner Brücken; zuweilen verwendet man sie aber auch für Ständer oder Druckstreben von Fachwerkskonstruktionen.

Bei den österreichischen Normalprofilen ist:

$$\begin{aligned} \text{für } h \leq 160 \text{ mm} & \quad b = 0.4 h + 20 \text{ mm} & \quad \delta_1 = 0.03 h + 1.6 \text{ mm} \\ \text{„ } h > 160 \text{ mm} & \quad b = 0.3 h + 36 \text{ mm} & \quad \delta_1 = 0.04 h \end{aligned}$$

$$\text{Flanschdicke } \delta = 1.5 \delta_1$$

$$\text{Abrundung } r = 1.2 \delta_1 \quad r_1 = 0.6 \delta$$

$$\text{Neigung der inneren Flanschenflächen in } \% = 0.02 h + 7.$$

Die Profile werden durch Nummern bezeichnet, welche die Profilhöhe in Zentimetern angeben. Es werden die Nummern 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 35, 40, 45 und 50 geliefert, außerdem noch 18_a, 22_a, 24_a und 28_a mit etwas größeren Flanschenbreiten (135, 135, 135, 150 mm).

Die deutschen Normalprofile haben bei gleicher Höhe und Fußbreite etwas kleinere Steg- und Flanschdicke. Es ist nämlich

$$\begin{aligned} \text{für } h \leq 250 \text{ mm} & \quad b = 0.4 h + 10 \text{ mm} & \quad \delta_1 = 0.03 h + 1.5 \text{ mm} & \quad \delta = 1.5 \delta_1 \\ \text{„ } h > 250 \text{ mm} & \quad b = 0.3 h + 35 \text{ mm} & \quad \delta_1 = 0.036 h \end{aligned}$$

Die Zahl der deutschen Profile, von denen viele aber auch in den Kaliberheften der österreichischen Werke geführt werden, ist eine größere. Sie gehen in der Höhe von

$$\begin{aligned} & 80—240 \text{ mm um je } 10 \text{ mm steigend} \\ & 240—400 \text{ mm } \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 20 \text{ mm } \quad \text{„} \\ & 400—550 \text{ mm } \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 25 \text{ mm } \quad \text{„} \end{aligned}$$

Gewicht und Tragvermögen der Träger nach den deutschen Normalprofilen sind um rund 10% geringer als jenes der gleich hohen Träger nach den österreichischen Typen.

Stellt man sich die Aufgabe, jene Profilanordnung eines I-Träger zu suchen, welche bei gegebenem Inhalte des Gesamtquerschnittes F das größte Widerstandsmoment W liefert, so findet man, falls die Stegdicke proportional der Höhe gesetzt wird, daß der Steg $= \frac{1}{2} F$ und jeder Flansch $= \frac{1}{4} F$ gemacht werden muß. Die beiden Flanschen sollen also zusammen ungefähr so viel Material enthalten wie der Steg¹⁾. Das Widerstandsmoment ist dann annähernd $W = \frac{1}{3} F h_0$, wenn h_0

¹⁾ Ist $f = \delta h$ die Stegfläche und f_1 die Querschnittsfläche einer Flansche, so ist das Widerstandsmoment angenähert $W = \frac{1}{6} f h + f_1 h$, sonach $f_1 = \frac{W}{h} - \frac{1}{6} f$, die Gesamtfläche daher $F = f + 2 f_1 = 2 \frac{W}{h} + \frac{2}{3} f$. Setzt man δ proportional der Höhe, also $\delta = \alpha h$ und $f = \alpha h^2$, so wäre $F = 2 \left(\frac{W}{h} + \frac{1}{3} \alpha h^2 \right)$

den Schwerpunktsabstand der Flanschenflächen bezeichnet. Die Normalprofile entsprechen annähernd dieser günstigsten Profilanordnung.

Abweichend von den Normalprofilen sind die breitflanschigen, nach dem Verfahren des amerikanischen Ingenieurs Grey gewalzten Träger der Differdinger Hütte (Grey-Träger) Abb. 5. Bei diesen ist

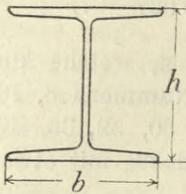


Abb. 5.

$$\begin{aligned} \text{für } h < 300 \text{ mm} & \quad b = h \\ \text{„ } h > 300 \text{ bis } 750 \text{ mm} & \quad b = 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Infolge der größeren Flanschenbreite haben diese Träger gegenüber den Normalprofilen bei gleicher Querschnittsfläche ein größeres Trägheitsmoment auf die vertikale Schwerachse, daher eine größere Steifigkeit gegen seitliches Ausbiegen. Sie eignen sich daher gut für Druckstäbe, wogegen die niedrigen Profile nur bei beschränkter Bauhöhe als Träger vorteilhaft sind.

Die Normallänge der I-Träger geht bis zu 10 m. Mit Überpreis sind Längen bis 18 m und auch darüber erhältlich.

[Eisen oder U-Eisen (Abb. 6) entsprechen in der Querschnittsform einem halben I-Träger. Bei den österreichischen Profilen ist

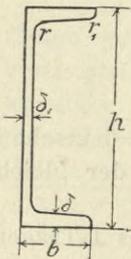


Abb. 6.

$$\begin{aligned} b = 0,25 h + 25 \text{ mm} & \quad \delta_1 = 0,025 h + 4 \text{ mm} \\ & \quad \delta = 1,5 \delta_1 \end{aligned}$$

Neigung der inneren Flanschenfläche $p\% = 0,01 h + 7$
Abrundung $r = 1,5 \delta_1$, $r_1 = 0,6 \delta_1$

Die Profile haben 6 bis 30 cm Höhe und sind je um 2 cm in der Höhe verschieden.

Die von den deutschen Werken gewalzten Profile haben bei gleicher Höhe und Flanschenbreite etwas geringere Steg- und Flanschenstärke.

Die [Eisen finden im Brückenbau häufige Verwendung sowohl zu kleineren Trägern (Seiten-Längsträger der Fahrbahn, Schotterabschluß) wie auch als Teile von Gurtungen und Druckstreben. Normallänge 4 bis 12 m.

nach h zu einem Minimum zu machen. Es gibt dies $-\frac{W}{h^2} + \frac{2}{3} \alpha h = 0$ oder $\frac{2}{3} \alpha h^2 - \frac{W}{h} = 0$ oder $\frac{2}{3} f = \frac{W}{h}$. Damit folgt aber $f_1 = \frac{2}{3} f - \frac{1}{6} f = \frac{1}{2} f$,
sohin $f = 2 f_1$ und $f_1 = \frac{1}{4} F$.

L-Eisen finden bei uns im Brückenbaue nur ausnahmsweise Anwendung, da sie von den Walzwerken nur in wenigen Kalibern erzeugt und wenig auf Lager gehalten werden. In amerikanischen Fachwerkskonstruktionen haben sie häufigere Verwendung gefunden. Für die Zusammensetzung zu steifen Druckquerschnitten könnten sie unter Umständen Vorteile bieten. Die bei uns gewalzten Profile haben $h = 80, 100, 180$ und 220 mm Höhe und $55, 50, 70$ und 80 mm Flanschenbreite.

Quadrant- und Sextanteisen (Abb. 7). Diese Walzeisen, deren Querschnitt aus dem vierten oder sechsten Teil eines Kreisringes mit angesetzten radialen Flanschen besteht, und die sich sonach zu röhrenförmigen Stäben zusammensetzen lassen, spielen gegenwärtig im Brückenbau keine Rolle, während sie früher namentlich bei amerikanischen Brücken (Phönixville- und Keystone-Bridge-Co.) eine ausgedehnte Anwendung fanden und um 1860 herum auch bei eini-

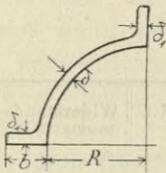


Abb. 7.

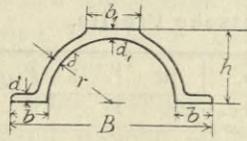


Abb. 8.

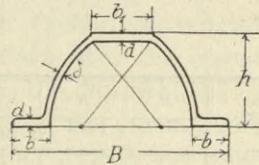


Abb. 9.

gen, von der österreichisch-ungarischen Staatsbahngesellschaft (unter Ruppert) erbauten Brücken angewendet wurden. Da sie kein regelmäßiges Erzeugnis der Walzwerke bilden, kann bei den normalen Konstruktionen mit diesen Walzformen nicht gerechnet werden. Die in den Kaliberheften geführten Profile haben $R = 50, 100, 125, 150$ mm $b = 0.2 R + 25$ mm, $\delta = 4$ bis 12 mm, $\delta_1 = 1.5 \delta$.

Belag- oder Zorèseisen dienen vornehmlich zur Herstellung der Brückentafel beschotterter oder gepflasterter Straßenbrücken. Ihr Querschnitt ist ein Halbkreis mit angesetzten Fußflanschen und einer Verstärkung im Kopfe (österreichisches Normalprofil Abb. 8) oder ein mehr überhöhter Bogen (deutsches Normalprofil Abb. 9).

Die Profilabmessungen sind in den umstehenden Tabellen angegeben.

Weitere Konstruktionselemente, welche im Baue der eisernen Brücken Anwendung finden, sind: Walzdraht für die Herstellung der Kabel der Hängebrücken, ferner die aus Blechtafeln durch Pressen oder Biegen erzeugten Wellbleche, Buckelplatten und Tonnenbleche. Diese werden bei ihren speziellen Anwendungen besprochen werden.

Zorèseisen.
Österreichische Profile.

Nr.	<i>B</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>b</i> ₁	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>δ</i>	Querschnitt in cm ²	Widerstands- moment <i>W_x</i>
	in Millimetern								
10	100	36	18	30	5	4	3	5·31	5·0
16	160	55	30	45	6	5	4	10·84	16·0
18	180	63	34	50	7	7	4	13·90	24·5
21	210	75	37·5	60	8·5	7·5	5	19·32	40·0
24	240	87	42	69	10	9	5·5	25·39	61·8
26	260	95	45	75	11	10	6	30·20	80·4
26a	260	125	45	70	10	10	6	31·16	110·6

Das Spezialprofil Nr. 26a für schwere Straßenbrücken hat keinen Halbkreis, sondern Segmente mit dem Radius 147 mm zur Begrenzung.

Deutsche Profile.

Nr.	<i>B</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>b</i> ₁	<i>d</i>	<i>δ</i>	Querschnitt in cm ²	Widerstands- moment <i>W_x</i>
	in Millimetern							
5	120	50	21	33	5	3	6·74	9·21
6	140	60	24	38	6	3·5	9·33	15·60
7 ¹ / ₂	170	75	28·5	45·5	7	4	13·20	28·10
9	200	90	33	53	8	4·5	17·90	46·10
11	240	110	39	63	9	5	24·20	75·90
12 ¹ / ₂	240	120	45	90	7	5·5	25·10	90·00

§ 3. Die Verbindungsmittel.

Die Vereinigung der Walzeisen und Bleche zu stabförmigen Gliedern und zu Trägern erfolgt durch Nietten, ausnahmsweise durch Schraubenbolzen. Die Verbindung der stabförmigen Glieder zu Fachwerken wird bei unseren Konstruktionen normal ebenfalls durch Nietung bewerkstelligt, bei der spezifisch amerikanischen Konstruktionsweise durch Gelenkbolzen.

1. Die Nietten sind aus Walzrundeisen hergestellte Bolzen, die an einem Ende einen bereits vorgebildeten Kopf, den Setzkopf, haben, wogegen der andere Kopf, der Schließkopf, erst nach Einführung des Nietbolzens in das Nietloch durch Stauchung und Formung des hervorragenden Schaftes erzeugt wird. Der an seinem

Ende hellglühend erhitzte, vom Zunder durch Abklopfen befreite Nietbolzen wird in das Nietloch eingesetzt, mittels eines Nietstockes (Nietwinde) oder Gegenhalters im Setzkopfe gestützt und an die zu vernietenden Teile angepreßt, worauf der vorstehende Nietschaft bei der Handnietung zunächst durch rasch geführte Hammerschläge mittels leichter Stauchhämmer gestaucht wird. Hierauf wird der Schließkopf durch Breithämmern des vorstehenden Schaftes mittels schwerer Zuschlaghämmer vorgebildet und unter einem aufgesetzten Kopfgesenke, dem Schelleisen, geformt. Die Handnietung wird in modern eingerichteten Werkstätten vielfach durch die bequemere und raschere Nietung mittels des Preßlufthammers ersetzt. Letzterer ist ein von einem Manne gehandhabtes transportables Werkzeug, dem mittels eines Schlauches die auf 6 bis 8 Atmosphären gepreßte Luft zugeführt wird, wodurch ein in dem Gehäuse befindlicher Kolben gegen einen lose eingesetzten Stempel (Döpfer) geschleudert wird und rasch aufeinanderfolgende Schläge ausübt. Dabei kann an Stelle des Nietstockes auch ein Preßluftgegenhalter in Verwendung kommen. Die beste Nietung liefern aber die eigentlichen Nietmaschinen, und zwar die Nietpressen, die den Schließkopf durch einen einzigen Druck erzeugen. Sie bestehen aus einem gabelförmigen Gestelle (Bügel), das am Ende des einen Armes ein festes Gesenk zur Stützung des Setzkopfes besitzt, während sich gegenüberstehend am anderen Bügelarme der unter Druck vorgetriebene Nietstempel befindet. Man unterscheidet hydraulische und pneumatische Nietmaschinen, je nachdem Wasser- oder Luftdruck zur Anwendung kommt. Erstere sind meist direkt wirkend, d. h. der Wasserdruck (100 bis 200 Atmosphäre) wirkt unmittelbar auf den Nietstempel (Döpfer), bei letzteren wird der Druck des Preßkolbens mittels Kniehebel auf den Nietstempel übertragen. In neuerer Zeit werden elektrische Nietmaschinen wegen des Wegfalles besonderer Installationsanlagen gerne und mit Vorteil verwendet. Der am Bügel der Maschine befestigte kleine Elektromotor wirkt entweder mit einer Schraubenspindel auf einen, den Nietstempel tragenden Hebel (Konstruktion der Maschinenfabrik Flohr in Berlin) oder er betätigt eine Druckpumpe, von welcher die Druckflüssigkeit (Glyzerin) auf den Kolben der Nietpresse geleitet wird (Maschinenfabrik Oerlikon bei Zürich¹⁾). Die Nietmaschinen können feststehend sein, meist sind sie aber an einem Krahnne hängend transportabel, so daß sie über die festliegenden Arbeitsstücke bewegt werden können.

¹⁾ K. Haberkalt, Über die Herstellung eiserner Tragwerke, „Österreich. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst“ 1910.

Der Vorteil der Maschinennietung liegt in der langsamen Stauchwirkung und Kopfbildung unter gleichbleibendem Drucke, der auch die zu vernietenden Teile zusammenpreßt und den man so lange einwirken lassen kann, bis der Niet auf schwache Rotglut abgekühlt ist, so daß eine Federung, wie sie bei Handschlag-nieten vorkommen kann, verhindert ist. Die Maschinennietung ist aber auf die Werkstätte und auf dafür zugängliche Niete beschränkt, wegen alle anderen Niete mit dem Preßlufthammer oder wie die auf der Baustelle (auf Montage) zu setzenden Niete mit der Hand geschlagen werden müssen.

Der Nietschaft erhält einen, im kalten Zustande um etwa 5% kleineren Durchmesser als das Nietloch. Ist t die Stärke der zu vernietenden Teile, d der Nietdurchmesser, so ist die zur Bildung des Schließkopfes erforderliche Nietschaftlänge $1.1(t + d)$. Für die Eisenkonstruktionen des Brückenbaues werden 16 bis 26 mm starke Niete verwendet, für ganz

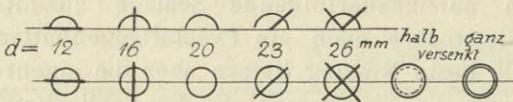


Abb. 10.

schwache Teile auch noch 12 mm starke Niete. Der „Verein deutscher Brücken- und Eisenbau-fabriken“ hat sich dar-

auf geeinigt, in Hinkunft nur Niete von 12, 16, 20, 23 und 26 mm Durchmesser zu verwenden. Zur Bezeichnung der Nietstärke in den Plänen wird ein Schema nach Abb. 10 vorgeschlagen.

Die Nietstärke ist entsprechend der Stärke der zu verbindenden Teile zu wählen. Für solche Niete, die nur den Zusammenschluß der Lamellen und Winkel stabförmiger Glieder bezwecken und sonach auch keine besonderen Kräfte aufzunehmen haben, die sogenannten Hafteniete, genügt ein kleinerer Durchmesser, der etwa nach $d = \sqrt{3.3\delta}$, worin δ die Dicke des schwächsten Teiles in Zentimetern bezeichnet, bestimmt werden kann. Für die eigentlichen Befestigungsniete — Kraftniete — wählt man, um ihre Anzahl zu verringern, etwas größeren Durchmesser, durchschnittlich $d = 2\delta$. Derselbe richtet sich bei Winkel- und Formeisen nach der Schenkel- oder Flanschenbreite und hat

bei 70 mm 80 mm 90 mm 100 mm und darüber Schenkelbreite höchstens 20 mm 23 mm 23 mm 26 mm zu betragen¹⁾.

Die Kopfform ist gewöhnlich ein Kugelabschnitt (Abb. 11);

¹⁾ Nach Vianello „Der Eisenbau“ soll d nicht größer als viermal die kleinste Stärke der zu verbindenden Teile und nicht kleiner das $1\frac{1}{2}$ -fache der größten gewählt werden.

ellipsoidische Köpfe (Abb. 12) eignen sich besser für Maschinen-nietung als für Handnietung. Der Kopf muß in der Verlängerung des Schaftmantels eine gewisse Höhe erhalten, um die durch das Zusammenziehen des Nietes beim Erkalten entstehende Längsspannung aufzunehmen. Man macht diese Höhe gleich dem halben Nietdurchmesser d , worin die Versenkung mit eingerechnet sein kann und dem Durchmesser des Nietkopfes mindestens $1.5 d$.

Der im Übergang zum Kopf angeordnete kegelförmige Schaftansatz, die sogenannte kleine Versenkung, ist seinerzeit auf Grund von Versuchen beim Bau der alten Weichselbrücke bei Dirschau als vorteilhaft für die Haltkraft der Niete erkannt und seither auch angewendet worden. Neuere, vom „Verein deutscher Brücken-

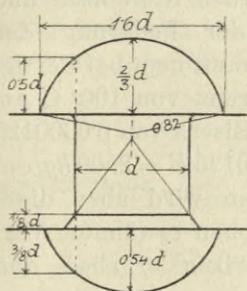


Abb. 11.

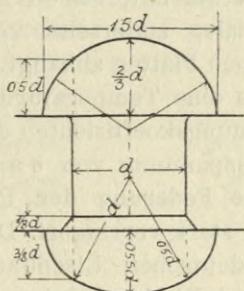


Abb. 12.

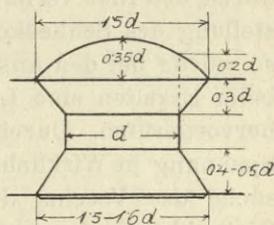


Abb. 13.

und Eisenbaufabriken", 1909 mit Flußeisennieten durchgeführte Versuche haben aber die Überlegenheit dieser klein versenkten Niete nicht bestätigt. Es ist überdies zu beachten, daß eine tadellose Ausführung der Versenkung beim fertigen Setzkopf in der Praxis kaum zu erreichen ist. Entweder wird der Konus im Nietloche zu klein oder zu groß ausgerieben, oft auch nicht ganz zentrisch. Für den Schließkopf hätte dies nichts zu bedeuten, wohl aber für den Setzkopf, der dann nicht richtig zum Aufsitzen kommt. Es ist daher jetzt in den Vorschriften der deutschen Behörden für die Ausführung der eisernen Brücken von der Anordnung des kegelförmigen Überganges Abstand genommen; die Niete werden unter dem Kopfe nur mit einer kleinen Ausrundung versehen, wie sie sich bei der Herstellung von selbst ergibt und es ist nur nötig, die Lochränder abzugraten. Man dürfte sich nun wohl auch anderwärts dieser Nietform anschließen.

Nieten, deren Schaftlänge zwischen den Köpfen gemessen den $4\frac{1}{2}$ - bis 5fachen Durchmesser übersteigt, lassen sich schwer stauchen und es ist namentlich die Handnietung nicht mehr gut ausführbar.

Durch Anwendung halb oder ganz versenkter Nieten (Abb. 13) kann die Nietschaftlänge allenfalls noch bis auf den $5\frac{1}{2}$ - bis 6fachen Durchmesser vergrößert werden. (Neue Rheinbrücken bei Köln.) Halb oder ganz versenkte Niete werden auch dort notwendig, wo die Köpfe nur wenig oder gar nicht über die Plattenoberfläche vortreten dürfen. Sonst beschränkt man ihre Anwendung wegen ihrer minderen Haltkraft auf die notwendigen Fälle. In den Plänen werden sie durch einen punktierten oder vollen Doppelkreis bezeichnet. Ist die Stärke der zu verbindenden Teile größer als 130 bis 150 mm, so ersetzt man die Niete durch Schraubenbolzen.

Durch die Zusammenziehung des Nietbolzens beim Erkalten entsteht eine nicht unbeträchtliche Längsspannung im Niet, welche einerseits von dem Temperaturunterschied zwischen Nietbolzen und dem umgebenden Materiale, andererseits von der Federung der durch den Niet verbundenen Platten abhängt. Nimmt man bei Fertigstellung des Schließkopfes eine Temperaturdifferenz von 100°C an, so würde bei den Ausdehnungskoeffizienten des Eisens von $0\cdot0000125$ beim Erkalten eine Längsspannung von $\sigma = 0\cdot00125 E = 2500\text{ kg/cm}^2$ hervorgerufen. Durch die Federung der Platten wird aber diese Spannung in Wirklichkeit stark verringert. Die oben erwähnten Versuche des Vereins der deutschen Eisenbaufabriken ergaben den Gleitwiderstand unter einer Nietkopffläche

bei Handnietung mit	500—800 kg	pro 1 cm ² Nietquerschnitt
bei Maschinennietung mit	1000—1100 kg	„ 1 cm ² „

Bei den weiter unten angeführten Versuchen Prof. Rudeloffs wurden etwas kleinere Gleitwiderstände gefunden.

Mit einem Reibungskoeffizienten = 0·4 würde dieser Gleitwiderstand einer Längsspannung im Niet von 1250 bis 2700 kg/cm entsprechen. Der Gleitwiderstand ist der Haltkraft der Niete günstig, da er die Nietbolzen zum Teil von der Scherspannung entlastet. Es ist jedoch nicht anzunehmen, daß die große Längskraft im Niet dauernd erhalten bleibt. Wiederholte Beanspruchungen vermindern oder vernichten den Gleitwiderstand und es wird derselbe bei der Berechnung der Nietverbände daher auch nicht weiter berücksichtigt, sondern angenommen, daß sich die auf Verschiebung wirkende Kraft gänzlich auf die Lochwandung überträgt, diese auf Druck und den Nietbolzen auf Abscheren beansprucht.

Eine, zu ihrer Längsspannung noch hinzutretende Beanspruchung der Niete auf Zug soll aber, da sie immer mit Lockerungen verbunden ist, möglichst vermieden werden.

Sehr wertvolle Aufschlüsse über den Einfluß des Nietverfahrens auf den Gleitwiderstand und die Bruchfestigkeit der Verbindung sind den neuestens veröffentlichten Versuchen von Rudeloff zu entnehmen¹⁾. Die Versuchsstücke waren 24 und 20 mm dicke Flacheisen mit beiderseitigem Laschenanschluß, und zwar war die Verbindung bewirkt

bei den Versuchsstäben	I	durch 3 doppelschnittige Niete	von 23 mm
" "	"	II " 3	" " 21 mm
" "	"	III " 2	" " 25 mm
" "	"	IV " 2	" " 27 mm

Die Belastungen, bei welchen der Beginn des Gleitens beobachtet wurde, ergaben, in Kilogramm auf 1 cm² Scherfläche der Niete berechnet, folgende Durchschnittswerte:

		bei Handnietung	Lufthammernietung	Maschinen- (Kniehebel)nietung
Versuchsstäbe	I	652	652	975
"	II	580	648	873
"	III	188	407	825
"	IV	320	427	787

Zwei Niete von größerem Durchmesser zeigten sonach einen geringeren Gleitwiderstand als drei Niete von kleinerem Durchmesser und es trat dieser Unterschied besonders auffallend bei der Handnietung hervor. Diese steht der Maschinennietung im allgemeinen, besonders aber bei starken Niete bedeutend nach. Im Durchschnitt aus allen Versuchszahlen lieferte die Lufthammernietung um 23⁰/₀, die Kniehebelnietung um rund 100⁰/₀ größere Gleitbelastungen als die Handnietung. Die Bruchbelastungen fanden sich jedoch durch die verschiedenen Nietverfahren unter sonst gleichen Versuchsbedingungen nicht beeinflußt. Der Bruch erfolgte entweder durch Reißen des Flacheisens bei einer Bruchspannung von im Mittel 4000 kg/cm² oder durch Abscheren der Niete unter einer Scherspannung von 2900 bis 3000 kg/cm². Bemerkenswert ist, daß die Zugfestigkeit der Flacheisen und die Scherfestigkeit der

¹⁾ Versuche mit Nietverbindungen und Brückenteilen, für den Verein deutscher Brücken- und Eisenbaufabriken ausgeführt im königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde von Geh. Regierungsrat Prof. Rudeloff. Berlin 1912.

Nieten weder durch die Art der Nietung noch durch die Unterschiede im Leibungsdrucke, der unter der Bruchlast für die 21 mm Nieten im Mittel 4200 kg/cm^2 , für die 27 mm Nieten 6100 kg/cm^2 betrug, beeinflusst wurde.

Über Anordnung, Beanspruchung und Berechnung der Nieten siehe Kapitel III.

2. Schraubenbolzen werden zur Befestigung von Gußteilen (Lagerkörper, Geländerteile etc.) wie auch zur Verbindung von Konstruktionsteilen dort verwendet, wo man wegen zu großer Schaftlänge oder schwieriger Zugänglichkeit keine Nietung anwenden kann oder wo, wie z. B. bei provisorischen Bauten, Kriegsbrücken etc., eine lösbare Verbindung geschaffen werden soll. Man verwendet zylindrische Bolzen mit angestauchtem sechskantigem Kopf und normaler Schraubenmutter oder besser, wo es auf genaues Ausfüllen des Loches ankommt, Bolzen ohne Kopf mit konisch abgedrehtem



Abb. 14.

Schaft, der ein festes Einziehen in das genau damit übereinstimmend aufgeriebene Loch gestattet (Abb. 14). Die Verjüngung des Schaftdurchmessers soll mindestens $\frac{1}{50}$ betragen. Es werden Bolzendurchmesser d von 16 bis 35 mm angewendet. Die Mutter erhält gewöhnlich eine Unterlagsscheibe von $0.16 d$ Dicke und $2.2 d$ Durchmesser.

Da aber auch durch festes Anziehen der Schraubenmutter keine so große Längsspannung im Bolzen, demnach auch keine so große Reibung zwischen den zu verbindenden Teilen hervorgerufen werden kann wie bei gut geschlagenen Nieten und namentlich bei zylindrischen Bolzen kein vollkommener Anschluß des Bolzens an das Bolzenloch zu erzielen ist, so muß im allgemeinen der Nietverbindung, welche zudem auch billiger als die Verschraubung ist, hinsichtlich der besseren Haltkraft der Vorzug gegeben werden.

3. Gelenkbolzen kommen zur Anwendung, wenn die Verbindung zweier oder mehrerer Konstruktionsteile durch einen einzigen Bolzen erfolgen soll, womit dann auch die Möglichkeit einer Drehung, also eine Gelenkwirkung verbunden ist. Gelenkbolzen sind hauptsächlich bei den Knotenpunktverbindungen der amerikanischen Fachwerkskonstruktionen in Gebrauch; bei uns beschränkt sich ihre Verwendung auf die Stabketten der Hängebrücken, auf die Gelenke bei Gerberträgern und Hängeträgern, und allenfalls auf die gelenkigen Anschlüsse der Fahrbahnträger.

Sie sind sorgfältig abgedrehte zylindrische Bolzen, welche ohne

Spielraum in die Löcher passen müssen¹⁾. Die Bolzen erhalten entweder an einem Ende einen Bund, am anderen ein Gewinde mit Mutter oder an beiden Enden Gewinde mit niedrigen Muttern. Es empfehlen sich Muttern, welche auf der Unterseite hohl sind, so daß sie auch, falls der Bolzen etwas zu lang ist, nicht auf diesem, sondern auf den zu verbindenden Stäben anliegen (Abb. 15). Die Muttern werden nicht übermäßig fest angezogen, um nicht durch zu große Reibung die Gelenkwirkung zu beeinträchtigen. Gegen Losdrehen werden sie durch einen vorgesteckten Splint oder durch einen Stift *S* gesichert, der in ein in der Achsenrichtung gebohrtes, je zur Hälfte in die Mutter und in die Spindel eingreifendes Loch eingetrieben wird. Starke Bolzen (etwa über 100 mm) erhalten besser aufgeschraubte Deckscheiben nach Abb. 16, oder sie werden ganz durchbohrt und

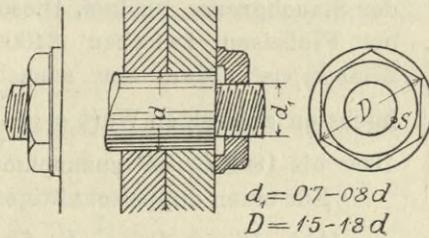


Abb. 15.

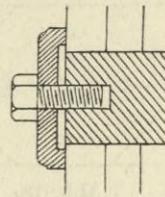


Abb. 16.

es werden dann die Deckscheiben auf einer durchgesteckten Rundstange aufgeschraubt.

Die Dimensionierung der Gelenkbolzen hat mit Rücksicht auf die Scherkräfte, auf den Druck in der Lochleibung und auf die allfällige Biegungsbeanspruchung zu erfolgen.

Ist Q die in einer Scherfläche des Bolzens wirkende Kraft, $F = \frac{\pi}{4} d^2$ der Querschnitt des Bolzens, so ist die größte Scherspannung im Kreisquerschnitte

$$\tau = \frac{4}{3} \frac{Q}{F}$$

Bezeichnet s_1 die mittlere Scherspannung $= \frac{Q}{F}$, so wird man s_1 mit $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ der Zugbeanspruchung als zulässig annehmen können und hat sonach

$$Q \leq F s_1.$$

¹⁾ Die amerikanische Ausführungspraxis setzt als größten zulässigen Spielraum bei Bolzen bis 90 mm Durchmesser 0.5 mm und bei Bolzen von über 150 mm Durchmesser 0.8 mm.

Der Leibungsdruck verteilt sich über den halben Umfang des Bolzens, jedoch nicht gleichmäßig. Man rechnet mit einem mittleren spezifischen Druck, den man erhält, wenn man die Kraft auf den in ihrer Richtung projizierten Bolzenumfang gleichmäßig verteilt. Ist sonach P die auf die Länge δ des Bolzens übertragene Kraft, s_2 dieser mittlere Leibungsdruck, so ist

$$P = d \delta s_2.$$

In der durch den Bolzenmittelpunkt gehenden Krafrichtung tritt der größte spezifische Druck auf; derselbe ist je nach der Annahme des Verteilungsgesetzes $\sigma_0 = 1.27$ bis $1.5 s_2$ ¹⁾. Soll keine Stauchung im Bolzenloche eintreten, so muß σ_0 unter der Stauchgrenze bleiben. Diese liegt bei Flußeisen zwischen 2400 und 2700 kg/cm^2 . Man hat sonach als höchsten zulässigen Wert $s_2 = \frac{2}{3} \sigma_0 = 1600$ bis $1800 kg/cm^2$ anzunehmen.

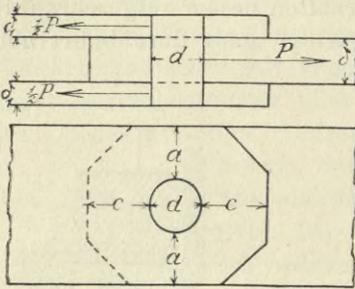


Abb. 18.

Für einen doppelschnittigen Bolzen (Abb. 18) ist $Q = \frac{1}{2} P$, demnach

auf Abscheren gerechnet die Tragkraft des Bolzens $P_1 = \frac{\pi}{2} d^2 s_1$
 auf Leibungsdruck " " " " " $P_2 = d \delta s_2$.

¹⁾ Man setzt den Druck im Bolzenloche unter dem Winkel α zur Krafrichtung gewöhnlich $\sigma = \sigma_0 \cos \alpha$; richtiger wäre es aber mit einer größeren Abnahme des Druckes zu rechnen und etwa $\sigma = \sigma_0 \cos^2 \alpha$ anzunehmen (Abb. 17).

Auf die Länge l des Bolzens wird alsdann die Summe der zur Krafrichtung parallelen Druckkomponenten

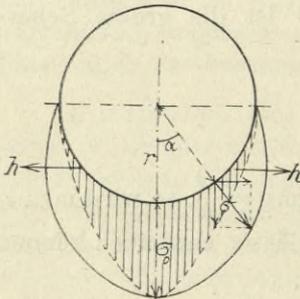


Abb. 17.

$$p = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sigma \cos \alpha ds = 2 \sigma_0 r \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3 \alpha d\alpha = \frac{4}{3} \sigma_0 r$$

und die Summe der dazu senkrechten Komponenten

$$h = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sigma_0 \cos^2 \alpha \sin \alpha ds = \frac{1}{3} \sigma_0 r = \frac{1}{4} p.$$

Mit dem mittleren Leibungsdrucke s_2 ist $p = 2 r s_2$, sonach $\sigma_0 = \frac{3}{2} s_2$.

Es ergibt sich $P_1 > P_2$, wenn

$$\frac{d}{\delta} > \frac{2}{\pi} \frac{s_2}{s_1}$$

oder

$$\frac{d}{\delta} > 0.636 \frac{s_2}{s_1}$$

und mit $s_2 = 1600 \text{ kg/cm}^2$, $s_1 = 700 \text{ kg/cm}^2$, wenn $\frac{d}{\delta} > 1.45$ ist.

In diesem Falle, der die Regel bildet, ist der Bolzen nach P_2 zu dimensionieren.

Soll der durch den Bolzen angeschlossene Stab die Kraft P_2 ohne Überanstrengung aufnehmen, so muß er im Umfange des Bolzenloches, im sogenannten Auge, eine entsprechende Breite erhalten. Der durch die Bolzenmitte geführte Querschnitt nimmt die Kraft

$$P = 2 a \delta \cdot s'$$

auf. Die Gleichsetzung mit P_2 ergibt $2 a s' = d s_2$ oder

$$a \geq \frac{1}{2} \frac{s_2}{s'} d.$$

Auch hier werden sich aber die Spannungen nicht gleichmäßig über den Querschnitt verteilen, sondern am Bolzenloche wesentlich größer sein als an den Stabrändern. Man muß daher für s' einen kleineren Wert als die zulässige Zuginanspruchnahme einsetzen, so daß bei nicht überdimensionierten Bolzen $\frac{s_2}{s'}$ jedenfalls > 2 , etwa mit 2.5 bis 3 anzunehmen ist. Hienach wird

$$a = 1.25 \text{ bis } 1.5 d.$$

Die Länge c mache man ebenfalls mindestens $= a$ oder um $\frac{1}{3} d$ größer.

Ist der Bolzen überdimensioniert, so ist die vom Stabe aufzunehmende Kraft $P = 2 a \delta s'$, worin s' mit etwa $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ der zulässigen Zuginanspruchnahme s des Stabes einzusetzen ist.

Kurze Bolzen sind nur auf Scherspannung und Leibungsdruck zu rechnen. Bei größerer Länge des Bolzens ist auch die Biegebbeanspruchung zu berücksichtigen. Für den durch Abb. 18 dargestellten Fall ergibt sich das größte Bolzenbiegemoment

$$M = \frac{1}{4} P (\delta + \delta_1) - P \frac{\delta}{8} = \frac{1}{4} \left(\delta_1 + \frac{\delta}{2} \right) P = \frac{\pi d^3}{32} s$$

woraus mit Einsetzung der zulässigen Biegungsspannung s die erforderliche Mindeststärke d des Bolzens zu rechnen ist. Hienach ergibt sich, daß die Biegungsbeanspruchung gegenüber dem Abscheren dann in Frage kommt, wenn die Bolzenlänge größer als der 1.5fache Durchmesser ist.

II. Kapitel. Die zulässige Beanspruchung des Materiales der eisernen Brücken.

§ 4. Allgemeine Grundsätze für die Wahl der zulässigen Inanspruchnahme.

Damit eine Konstruktion einer wiederholt auftretenden Belastung und allen anderen äußeren Einwirkungen auf die Dauer mit Sicherheit widersteht, genügt es nicht, daß die vorkommenden größten Spannungen bloß die Bruchspannung (Festigkeitsgrenze) des Materiales nicht erreichen, sie müssen vielmehr zumindest unter der Streckgrenze bleiben, da jede Überschreitung dieser Grenze große Formänderungen und bei wiederholtem Auftreten eine unausbleibliche Zerstörung herbeiführen würde. Aber auch dies ist noch nicht genügend, denn es ist eine erwiesene Tatsache (Versuche von Wöhler u. a.), daß auch Spannungen, die unter der Streckgrenze, aber entsprechend hoch über der Elastizitätsgrenze liegen, bei genügend oft wiederholtem Auftreten, das ist bei Wechsel mit einer niedrigeren Spannung, schließlich den Bruch herbeiführen können. Um sonach für alle Fälle ausreichende Sicherheit zu gewährleisten, dürfen die in einer Konstruktion auftretenden größten Spannungen die Elastizitätsgrenze nicht überschreiten, wobei allerdings für Stäbe, die stets in gleichem Sinne, d. i. entweder auf Zug oder auf Druck, beansprucht werden, der Umstand günstig ist, daß durch wiederholte, die anfängliche Elastizitätsgrenze etwas überschreitende Beanspruchung die Elastizitätsgrenze gehoben wird, was bei Stäben mit Beanspruchungen im entgegengesetzten Sinne nicht der Fall ist. Es erscheint sonach gerechtfertigt, für erstere eine höhere Beanspruchung zuzulassen als für letztere.

Dieser Überlegung zufolge könnte man wohl in allen Teilen einer eisernen Brücke mit der zulässigen Inanspruchnahme nahe bis an die Elastizitätsgrenze gehen, wenn, fehlerfreies, qualitäts-

mäßiges Material und gute Arbeit vorausgesetzt, auch dafür Bürgschaft bestünde, daß die in der Konstruktion auftretenden Kräfte in Wirklichkeit nicht größer werden können, als die berechneten. Diese Bedingung ist nun aber keineswegs erfüllt, vielmehr müssen wir eine durch verschiedene Umstände bewirkte Erhöhung der nach der üblichen Theorie berechneten Spannungen als unvermeidlich hinnehmen. Die aus den rechnerisch nachgewiesenen Kräften in den Gliedern einer eisernen Brücke sich ergebenden Beanspruchungen müssen daher in solchen Grenzen gehalten werden, daß auch die rechnerisch nicht nachgewiesenen oder nachzuweisenden Einwirkungen auf keinen Fall eine Erhöhung der Spannungen über die Elastizitätsgrenze verursachen.

§ 5. Ursachen der Nichtübereinstimmung der berechneten mit den wirklichen Spannungen.

Zunächst sind manche Voraussetzungen, die wir bei der Rechnung ihrer Vereinfachung wegen zu machen gezwungen sind, in Wirklichkeit nicht zutreffend; Voraussetzungen und Annahmen, die sowohl die Art der Konstruktion wie die Wirkungsweise der Belastung betreffen¹⁾.

So ergeben sich Abweichungen der auftretenden Kräfte von den berechneten, z. B. bei Fachwerken durch die Annahme gelenkiger Knotenpunkte, die bei der Ausführung durch feste Verbindungen ersetzt werden. Letztere rufen Biegungsbeanspruchungen in den Stäben des Fachwerks hervor, welche als Nebenspannungen zu den primären oder Grundspannungen hinzutreten. Solche Nebenspannungen ergeben sich aber weiters auch durch exzentrische, nicht in Achsenebene der Träger fallende Belastungen, durch einseitige Stabanschlüsse, durch die Wirkung der Querkonstruktionen auf die Hauptträger, durch belastende Kräfte zwischen den Knotenpunkten (Eigengewicht, Winddruck), durch Reibungswiderstände in den beweglich angenommenen Auflagern usw. Alle diese Nebenspannungen sind entweder nur durch mühsame Rechnungen in ungefährer Größe zu ermitteln oder sie entziehen sich, wie z. B. die Spannungen durch fehlerhafte Montierung bei statisch unbestimmten Systemen, überhaupt jeder genaueren Bewertung.

Aber auch dadurch, daß von den auf eine Brückenkonstruktion einwirkenden Kräften vor allem nur die Hauptkräfte (Eigengewicht,

¹⁾ Fr. Engesser, Die Zusatzkräfte und Nebenspannungen eiserner Fachwerkbrücken. Berlin, J. Springer 1892.

Verkehrslast, Winddruck und allenfalls Temperatureinwirkung) berücksichtigt, dagegen gewisse Zusatzkräfte (wie Bremskräfte, Fliehkräfte und Seitenstöße der Fahrzeuge) nur unvollkommen oder gar nicht in Rechnung gezogen werden, müssen sich Unterschiede in den berechneten Grundspannungen und tatsächlich auftretenden Spannungen herausstellen.

Aufgabe eines vorsichtigen Konstrukteurs ist es, diese Unterschiede möglichst einzuschränken. Es ist dies zu erzielen:

1. Durch möglichst vollständige Berücksichtigung aller einwirkenden Kräfte. Die erwähnten Zusatzkräfte sind, dort wo sie auftreten können, wenigstens in ihrer Hauptwirkung mit in Rechnung zu ziehen.

2. Durch geeignete konstruktive Anordnungen, welche die Nebenspannungen möglichst vermindern. Als solche seien, der späteren Behandlung des Gegenstandes vorgreifend, hier schon angeführt: Vermeidung exzentrischer Stabanschlüsse, Anordnung der Stabachsen in den Belastungsebenen, möglichst klare und bestimmte Lastübertragung in der Fahrbahn und von dieser auf die Hauptträger, Vermeidung allzugroßer Stabbreiten, namentlich bei kurzen Fachwerkstäben, richtige Knotenpunktausbildung usw.

Die Nebenspannungen werden bei normalen Konstruktionen nicht besonders berechnet, höchstens daß man diejenigen von ihnen in Rechnung stellt, welche im gegebenen Falle besondere Größe erreichen. Die übrigen müssen sonach durch entsprechend niedrige Wahl der zulässigen Beanspruchung berücksichtigt werden.

Es ist aber noch eine andere Ursache vorhanden, welche eine Vergrößerung der wirklichen Spannungen gegenüber den berechneten zur Folge hat. Den Berechnungen wird nämlich die Verkehrslast zwar als eine verschiebliche aber ruhend (statisch) wirkende Last zugrunde gelegt. Sie ist aber als bewegte Last mit dynamischen Einwirkungen verbunden, welche durch Erzeugung von Schwingungen in der Tragkonstruktion das Auftreten vergrößerter Spannungen hervorrufen¹⁾.

Bekanntlich nimmt jede aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachte Masse eine schwingende Bewegung an, wenn die stetig wirkenden Kräfte, welche dieselbe in ihre Gleichgewichtslage zurücktreiben, in ihrer Größe der Verschiebung dieser Masse proportional sind. Die Schwingung findet um die Ruhelage statt, und man nennt die größte Abweichung von der Ruhelage die Schwingungsweite, die Zeit, welche verfließt, bis sich die schwingende Masse wieder an demselben Orte in dem gleichen Bewegungszustande befindet, die Schwingungsdauer.

Die Molekularkräfte, welche die Elastizität der Körper hervorrufen, ent-

¹⁾ Man vergleiche Band I, Seite 46.

sprechen wenigstens innerhalb gewisser Grenzen der oberwähnten Bedingung der Proportionalität; es werden daher immer Schwingungserscheinungen an einem elastischen Körper auftreten, wenn die wirkenden äußeren Kräfte sich plötzlich oder mit einer gewissen Geschwindigkeit ändern. Es ist dies an einem einfachen Fall zu veranschaulichen: Ein aufgehängter oder auf zwei Stützen ruhender Stab, der nicht allmählich, sondern auf einmal mit einem Gewichte G belastet wird, nimmt eine schwingende Bewegung an. Die Ruhelage dieser Schwingung entspricht der Dehnung, beziehungsweise der Durchbiegung, welche eine gleich große aber allmählich einwirkende Last hervorrufen würde. Die Schwingungsweite wird hier hauptsächlich von der Größe und Schnelligkeit der hinzutretenden oder verschwindenden Kraft abhängen, die Schwingungsdauer dagegen von der Größe der schwingenden Masse.

Eine theoretische Betrachtung ergibt, daß für einen auf zwei Stützen liegenden Stab, also auch für einen massiven Träger und im weiteren Sinne für das Gesamtsystem, welches ein Brückenüberbau darstellt, die Schwingungsdauer der Quadratwurzel aus der Durchbiegung in der Ruhelage proportional ist. Tragkonstruktionen mit großer Durchbiegung, z. B. schwach versteifte Hängebrücken, schwingen sonach langsamer als steife Konstruktionen.

Zu den Schwingungen des Gesamtsystems treten aber auch Schwingungen der einzelnen Teile. In einem Fachwerke, welches unter dem Einflusse bewegter Last steht, wird jeder Stab durch den mit einer gewissen Geschwindigkeit vor sich gehenden Spannungswechsel in longitudinale Schwingungen versetzt. Die theoretische Behandlung dieser Schwingungserscheinungen an Fachwerken ist bisher nur unter bestimmten Näherungsannahmen und Beschränkungen versucht worden¹⁾. Die allgemeine strenge Lösung des Problems führt selbst für ganz einfache Anordnungen zu umfangreichen mathematischen Entwicklungen, welche keine übersichtliche Deutung zulassen²⁾.

Theoretisch kann auch eine sehr kleine, aber stoßweise wirkende Kraft einen elastischen Körper in Schwingungen von sehr kleiner Schwingungsweite, aber endlicher und feststehender Schwingungsdauer versetzen. Wiederholen sich diese Impulse, so kann unter Umständen eine Summierung ihrer Wirkungen eintreten. Dies findet bestimmt statt, wenn der Zeitraum zwischen zwei Impulsen der Schwingungsdauer gleichkommt, oder ein Vielfaches derselben beträgt. In diesem Falle können auch kleine Stoßkräfte durch entsprechend ofte Wiederholung den Körper allmählich in Schwingungen von großer Weite versetzen.

Auf einen Brückenträger angewandt, erscheint es sonach für die Inanspruchnahme der Konstruktion von Wichtigkeit, daß die Intervalle der Stoßwirkungen der Lasten nicht mit den Schwingungszeiten der in stehende Schwingungen versetzten Konstruktion übereinstimmen. Bei einer Eisenbahnbrücke kann ein Schienenstoß, über den die Räder rollen, oder können nicht vollkommen ausbalancierte Gegengewichte der Lokomotivräder Ursache von Schwingungserregungen werden, die sich summieren, wenn sich die Stöße in regelmäßigen Zeiträumen wiederholen und stets mit dem Ausschlagen des Brückenträgers zusammentreffen. Theoretisch wird hienach für jede Eisenbahn-

1) Melan, „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines“, 1893, Seite 203.

2) Dr. Ing. Reissner, „Zeitschrift für Bauwesen“, 1903, Seite 135.

brücke eine gefährliche Zugsgeschwindigkeit existieren, bei welcher eine Summierung der Impulse stattfindet, die schließlich bei genügender Zahl und Stärke auch den Ruin der Brücke herbeiführen könnten¹⁾. Man darf aber dieser Betrachtung zum Glück keine zu große praktische Wichtigkeit beimessen, da die erforderlichen Vorbedingungen bei richtig, das ist entsprechend steif konstruierten Brücken nicht vorhanden sind, indem die Lastimpulse entweder unregelmäßig oder zeitlich nicht zusammenstimmend und auch nicht in genügender Zahl und Stärke auf die Brücke einwirken.

Bei den Straßenbrücken sind es namentlich die taktmäßigen Schritte der Fußgänger, welche das Entstehen von sich allmählich vergrößernden Schwingungsbewegungen dann veranlassen können, wenn die durch die Konstruktionsverhältnisse der Brücke bedingte Schwingungsdauer gleich oder größer ist als die Schrittdauer, welche für den gewöhnlichen Marschschritt mit 0·5 bis 0·6 Sekunden angenommen werden kann. Ist nämlich die Schwingungsdauer der ganzen Konstruktion größer, so können durch Ausbildung von Schwingungsknoten stehende Schwingungen entstehen, die sich der Schrittdauer anpassen. Die Folge ist, daß durch allmähliche Summierung der lebendigen Kräfte Formänderungen bewirkt werden, die beträchtlich größer sind als jene, welche durch eine gleich große ruhende Last hervorgerufen wurden²⁾. Bei schwach versteiften Hängebrücken, deren Tragkonstruktion eine große Schwingungszeit besitzt, kann diese Erscheinung am auffallendsten beobachtet werden. Ein Regiment Soldaten, das über eine solche Brücke marschiert, kann dieselbe in starke, unter Umständen nicht mehr ungefährliche Schwingungen versetzen.

Aber auch von den direkten Stoßwirkungen und der Hervorrufung von Schwingungen abgesehen bewirkt eine schnell bewegte Last noch in anderer Weise Vergrößerungen in den Spannungen der Brückenkonstruktion. Wenn über die ursprünglich gerade Fahrbahn der Brücke ein Zug fährt, so biegt sich das Tragwerk durch und der Lastenschwerpunkt bewegt sich infolgedessen in einer Kurve, die im allgemeinen wenigstens im mittleren Teile nach unten konvex ist. Es entstehen dadurch Fliehkräfte, welche die Lastwirkung vergrößern und daher wieder eine Vergrößerung der Spannungen verursachen. Der Weg des Lastenschwerpunktes stimmt natürlich nicht mit der Durchbiegungslinie des Trägers für die Ruhelast überein, sondern muß für die bewegte und durch die Fliehkraft in ihrer Größe geänderte Last berechnet werden. Die darüber anzustellenden Untersuchungen³⁾ sind nicht einfacher Natur, sie zeigen aber, daß dieser Einfluß bei schnell bewegten Lasten (Eisenbahnbrücken) durchaus nicht allzu geringfügig ist.

Kurz zusammengefaßt ergibt sich:

Die durch die bewegte Last hervorgerufenen Spannungen sind größer als die für statische Lasteinwirkung berechneten:

¹⁾ Deslandres, Über den Einfluß rhythmisch wiederholter Stöße auf Schwingungserregungen. *Annales des ponts et chaussées*, 1892. — F. Steiner, „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines“, 1892, Seite 114.

²⁾ Interessante Beobachtungen hierüber an der Brücke J. F. Lepine in Paris. *Annales des ponts et chaussées*, 1899.

³⁾ Dr. H. Zimmermann, Die Schwingungen eines Trägers mit bewegter Last, Berlin, 1896.

1. Wegen der Geschwindigkeit der Lastbewegung, wodurch

a) auch der Spannungswechsel sich mit einer gewissen Geschwindigkeit vollzieht und Schwingungen sowohl der einzelnen Teile, wie des Gesamtsystems veranlaßt und

b) Änderungen der Schwerkkräfte, beziehungsweise verstärkte Lasteinwirkungen durch Fliehkräfte infolge der Durchbiegung der Bahn hervorgerufen werden;

2. Durch Stoßwirkung infolge der Unebenheiten der Fahrbahn, wodurch Schwingungsimpulse entstehen, die sich unter Umständen summieren können.

Nach dem Gesagten erscheint es aber außerordentlich schwierig, ja zum Teil ganz unmöglich, den Einfluß einer bewegten Verkehrslast auf eine Brückenkonstruktion rechnungsmäßig festzustellen. Es sind auch bloß abschätzende Beurteilungen, die sich zum Teil auf Beobachtungen stützen, versucht worden.

Jedenfalls steht fest, daß die Verkehrslast ungünstiger wirkt, als die ruhende Eigengewichtslast und daß, wenn wir die Spannungen durch die Verkehrslast auch nur nach statischen Gesichtspunkten bestimmen, dieselbe eigentlich vergrößert in Rechnung gestellt werden sollte.

§ 6. Die zulässige Beanspruchung und die Methoden der Dimensionenbestimmung bei eisernen Brücken.

Bei Festsetzung der zulässigen Beanspruchung und der daraus folgenden Querschnittsermittlung der Glieder einer eisernen Brücke können in der Hauptsache drei verschiedene Verfahren zur Anwendung kommen.

1. Man führt für alle Teile eines Tragwerkes die gleiche zulässige Beanspruchung ein, nimmt letztere aber bis zu einer gewissen Grenze mit der Stützweite wachsend an. Es ist damit wenigstens grundsätzlich dem Umstande Rechnung getragen, daß die Wirkungen der Verkehrslast auf Tragkonstruktionen von kleiner Stützweite wesentlich ungünstiger sind, als auf solche von größeren Spannweiten, bei welchen die größere Masse die dynamischen Einwirkungen der bewegten Last besser aufzunehmen imstande ist. Die Verkehrslast wird dabei nur in einfacher Größe eingeführt. Bei dieser Berechnungsart wird die Annahme einer Beanspruchung für Flußeisen je nach der Stützweite von 800 bis 1100 kg/cm^2 noch hinreichende Sicherheit dafür bieten, daß auch beim Hinzutreten aller Nebenspannungen und der dynamischen Einwirkungen die bei etwa 1800

bis 2000 kg/cm^2 gelegene Elastizitätsgrenze nicht überschritten wird. Als eine Unvollkommenheit dieses Verfahrens ist zu bezeichnen, daß für sämtliche Glieder eines Tragwerks die gleiche Inanspruchnahme gesetzt wird, während es keinem Zweifel unterliegt, daß sich dieselben gegenüber der Wirkung der Verkehrslast nicht in dem gleichen Verhältnisse befinden. Es findet dieses Dimensionierungsverfahren in der Praxis aber am häufigsten Anwendung und liegt dasselbe auch den Vorschriften der österreichischen Brückenverordnung (siehe Seite 43) sowie jenen der preußischen und reichsländischen Staatseisenbahnverwaltungen zugrunde. In ziemlich guter Übereinstimmung mit diesen Vorschriften empfiehlt Vianello¹⁾ für Flußeisenbrücken die folgenden Ziffern der zulässigen Inanspruchnahme:

Für Eisenbahnbrücken, bei Berücksichtigung
der Eigengewichtslast und der einfachen

$$\text{Verkehrslast (ohne Winddruck) } s = 850 + \frac{5}{4} L \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{mit Hinzurechnung des Winddruckes . . } s = 1000 + \frac{5}{4} L \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{für die Quer- und Fahrbahnlängsträger } s = 750 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{für Straßenbrücken mit schwerer Fahrbahn . } s = 1400 - \frac{8000}{L+4} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{„ „ „ leichter Fahrbahn . } s = 1300 - \frac{6000}{L+3} \text{ kg/cm}^2$$

2. Die Verkehrslast wird mit einem Stoßkoeffizienten $\mu > 1$ multipliziert in Rechnung gestellt, der richtig so zu bestimmen wäre, daß durch ihn für den betreffenden Konstruktionsteil das Verhältnis zwischen der dynamischen und statischen Einwirkung der Verkehrslast zum Ausdruck gebracht wird. Da man aber, wie schon bemerkt wurde, hinsichtlich der Beurteilung dieses Verhältnisses mehr oder weniger nur auf Schätzungen angewiesen ist, so sind auch die Annahmen über die Größe des Stoßkoeffizienten μ abweichend und nur zum Teil auf Beobachtungen oder theoretischen Betrachtungen beruhend.

Bezeichnet für einen Konstruktionsteil

S_g die durch die ständige Belastung (Eigengewicht)

S_p die größte durch die Verkehrslast bei statischer Einwirkung hervorgerufene Kraft, so ist bei diesem Verfahren der Dimensionierung die Kraft $S_i = S_g + \mu S_p$ und eine von der Stützweite des Trag-

¹⁾ Vianello, „Der Eisenbau“. München, R. Oldenbourg, 1905.

werks unabhängige konstante Inanspruchnahme s_0 zugrunde zu legen. Für s_0 ist eine höhere Ziffer zulässig, als bei der ersten Berechnungsmethode, wo die Verkehrslast nur mit dem einfachen Werte in Rechnung gestellt wird. Je nach der Höhe des gewählten Stoßkoeffizienten wird man für Flußeisen $s_0 = 1100 - 1300 \text{ kg/cm}^2$ annehmen können.

Gerber, der zuerst diese Dimensionierungsmethode bei Schweiß-eisenbrücken in Anwendung brachte¹⁾ setzte ziemlich hoch $\mu = 3$ und $s_0 = 1600 \text{ kg/cm}^2$; später $\mu = 1.5$ und $s_0 = 1200$.

Von den Annahmen anderer Autoren seien angeführt:

Winkler und Krohn: Für Eisenbahnbrücken $\mu = 1.3$, für Straßenbrücken $\mu = 1.2$.

Engesser: für Spannweiten über 20 m $\mu = 1.67$
 " " unter 20 m $\mu = 1.67 + 0.001(20 - l)^2$

Haeseler: $\mu = 1.2 + \frac{1}{n}$, worin $n =$ der Anzahl der für die fragliche Beanspruchung auf der Brücke befindlichen Achsen.

Vianello: $\mu = 1 + \frac{p}{p+g} \alpha$, worin p die Verkehrslast, g die ständige Belastung und α einen Koeffizienten bezeichnet, der bei glatter Bahn $= \frac{1}{2}$, bei unebener Bahn $= 1$ zu setzen ist.

Melan²⁾ $\mu = 1.2 + \frac{8}{x+10}$ für Eisenbahnbrücken, worin x die Belastungslänge in Metern, für welche sich die Maximalspannung des betreffenden Konstruktionsteiles ergibt. Für die Gurte eines Fachwerksträgers ist sonach $x =$ der Stützweite, für die Ausfachungsstäbe $x =$ der Länge der einseitigen Belastung, für die Fahrbahnträger $x =$ der Knotenweite zu setzen.

Die letzteren Annahmen sind insoferne als rationeller zu bezeichnen, als sie die Abhängigkeit der dynamischen Einwirkung der Verkehrslast von der Größe der Stützweite oder noch richtiger von der Länge der Belastungsstrecke zum Ausdruck bringen. Unter Einführung eines Stoßkoeffizienten von obiger Größe kann die zulässige Beanspruchung s_0 für Flußeisenbrücken mit etwa 1100 angenommen werden.

3. Die dritte Methode der Dimensionenberechnung geht gleich-

¹⁾ Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Mainz, 1863.

²⁾ „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines“, 1893, Seite 293.

falls von der Tatsache aus, daß die einzelnen Teile einer Tragkonstruktion sich den angreifenden Kräften gegenüber in verschieden ungünstigem Verhalten befinden, so daß zur Erzielung gleicher Sicherheit ihre zulässige Beanspruchung verschieden hoch anzusetzen ist. Diese Methode, deren Anwendung eine Zeitlang (etwa 1875 bis 1890) namentlich in Deutschland sehr verbreitet war, nimmt auf die wiederholten Beanspruchungen einer Brückenkonstruktion und den dadurch hervorgerufenen Spannungswechsel Rücksicht und wertet hierfür die Ergebnisse der Wöhlerschen Versuche aus.

Die Wöhlerschen Versuche (1860—1870) geben Aufschluß über die Wirkung sehr oft wiederholter Beanspruchung; sie haben erwiesen, daß ein Eisenstab durch wiederholte Inanspruchnahmen, die unter seiner Zerreißfestigkeit liegen, zum Bruche gebracht werden kann, wenn diese Inanspruchnahmen von wechselnder Stärke sind und sich der Spannungswechsel genügend oft wiederholt. Für die eintretende Zerstörung sind dabei die Differenzen der äußersten Spannungsgrenzen, welchen der Stab unterworfen ist, maßgebend. Die absolute Größe der Spannungen ist insoweit von Einfluß, als mit wachsender Spannung die Differenzen, welche den Bruch herbeiführen, sich verringern. Für solche Schwingungen, bei denen dieselbe Faser aus Zugspannung in Druckspannung übergeht und umgekehrt, werden die Zugspannungen als positiv, die Druckspannungen als negativ betrachtet, so daß also in diesem Falle die Differenz der äußersten Faserspannungen gleich der größten Zugspannung plus der größten Druckspannung ist.

Zu jeder Minimalbeanspruchung c gehört also eine Maximalbeanspruchung a , welche dadurch bestimmt ist, daß erst bei unendlich oft wiederholtem Wechsel der Inanspruchnahmen a und c der Bruch eintritt. Bleibt die obere Grenze der Beanspruchung nur um Weniges unter a , so hat auch eine unendlich ofte Wiederholung des Spannungswechsels keinen Bruch zur Folge. Mit zunehmenden c wird auch das a größer.

Wöhler nennt a die dem Spannungswechsel $a-c$ entsprechende Arbeitsfestigkeit.

Läßt man c wachsen, so wird es schließlich gleich a , d. h. der Bruch tritt ohne Spannungswechsel ein. Dieser Maximalwert von a ist offenbar mit der Zerreißfestigkeit identisch und wird mit z bezeichnet.

Für $c=0$ ergibt sich wieder ein gewisser Wert der Arbeitsfestigkeit, welcher erst bei unendlich oft wiederholtem Wechsel mit der Spannungslosigkeit den Bruch herbeiführt. Wöhler bezeichnet diese Spannung mit u und nennt sie Ursprungsfestigkeit.

Jene Zugspannung endlich, welche nach unendlich oft mit der gleichen Druckspannung alternierender Einwirkung den Stab zerstört, heißt nach Wöhler Schwingungsfestigkeit und wird mit s bezeichnet.

In dem beistehenden Diagramm (Abb. 19) ist die Minimalspannung c als Abszisse, die zugehörige Arbeitsfestigkeit a als Ordinate aufgetragen. Die Versuche lieferten für ein bestimmtes Materiale in diesem Diagramm eine Reihe von zerstreuten Punkten, zwischen welchen eine gemittelte Kurve eingezeichnet werden konnte.

Diese Wöhlerschen Versuche erregten bei ihrer Veröffentlichung großes Aufsehen, und es wurde daraus die Folgerung gezogen, daß alle Konstruktionen, deren Teile wechselnder Beanspruchung ausgesetzt sind, ungünstiger in Anspruch genommen sind als solche, die unter konstanter sich gleich bleibender Belastung stehen und zwar um so ungünstiger, je größer das Intervall zwischen der Maximal- und Minimalbeanspruchung des betreffenden Konstruktionsteiles ist. Demnach wäre auch die zulässige Inanspruchnahme solcher Konstruktionsteile kleiner und als ein Bruchteil der Arbeitsfestigkeit anzunehmen.

Die erste Anwendung dieser Berechnungsmethode im Brückenbau machte Gerber (1872) und entwickelte derselbe auf Grund des von ihm für das Wöhlersche Gesetz aufgestellten Ausdruckes

$$(a + c)^2 + \frac{2z^2}{s}(a - c) = 4z^2$$

ein besonderes Verfahren zur Bemessung der zulässigen Beanspruchungen, welches in Bayern für die staatlichen Brücken 1878 zur Vorschrift erhoben wurde, seither aber wieder verlassen worden ist. Andere Berechnungsformeln sind von Schäffer, Winkler, Landsberg, Krohn und Haeßler aufgestellt worden. Am verbreitetsten ist gegenwärtig noch die Formel von Launhardt—Weyrauch. Diese setzt die Abhängigkeit von c und a für Schweiß Eisen und weiches Flußeisen durch die Beziehung fest

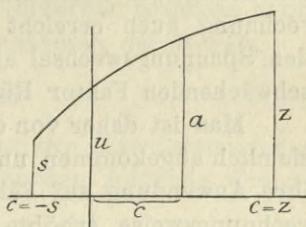


Abb. 19.

$$a = u \left(1 \pm \frac{1}{2} \frac{c}{a} \right)$$

worin c und a Absolutwerte sind und das obere Vorzeichen für Beanspruchungen in gleichem Sinne, das untere Vorzeichen für Beanspruchungen im entgegengesetzten Sinne (Zug und Druck) gilt. Sind S_{\min} und S_{\max} die in einem Konstruktionsteile auftretenden Grenzkraften (größte und kleinste Stabkraft oder größtes und kleinstes Biegemoment), und zwar auch wieder mit ihren Absolutwerten verstanden, und bezeichnet \bar{s} einen durch den Sicherheitsgrad bestimmten Bruchteil der Ursprungsfestigkeit des Materiales, so wird hienach die zulässige Beanspruchung des fraglichen Konstruktionsteiles

$$s = \bar{s} \left(1 \pm \frac{1}{2} \frac{S_{\min}}{S_{\max}} \right)$$

Für Flußeisen kann $\bar{s} = 800 \text{ kg/cm}^2$ angenommen werden, um für mittlere Verhältnisse Spannungszahlen zu erhalten, die mit den anderen Berechnungsarten annähernd übereinstimmen.

Gegen die in Formeln gekleidete Anwendung der Wöhlerschen Ergebnisse auf die Dimensionenberechnung der Eisenkonstruktionen sind jedoch (von Mohr u. a.) begründete Einwendungen erhoben worden. Zunächst ist geltend zu machen, daß nach den Versuchen Bauschingers ein Spannungswechsel dann ohne Bedeutung bleibt und, fehlerfreies Material vorausgesetzt, auch bei beliebig ofter Wiederholung niemals einen Bruch herbeiführt, wenn die wechselnden Spannungen ohne Richtungsänderung unter der Elastizitätsgrenze bleiben. Da nun bei den üblichen Annahmen für die zulässige Beanspruchung noch immer eine gewisse Sicherheit gegen die Überschreitung der Elastizitätsgrenze angestrebt und bei richtiger Berechnung auch erreicht wird, so besteht keine Notwendigkeit auf den Spannungswechsel als auf einen, den Widerstand des Materiales schwächenden Faktor Rücksicht zu nehmen.

Man ist daher von dieser Dimensionierungsmethode jetzt wieder ziemlich abgekommen und es beschränken vorsichtige Konstrukteure ihre Anwendung auf Fälle, wo sie gegenüber der gewöhnlichen Berechnungsweise erhöhte Sicherheit bietet, das ist auf Konstruktionsteile, die abwechselnd auf Zug und Druck beansprucht werden. Für diese liefert die Launhardt-Weyrauchsche Formel $s = \bar{s} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{S_{\min}}{S_{\max}} \right)$ eine verminderte zulässige Beanspruchung, was mit Rücksicht auf das Verhalten des Materiales im Sinne einer rationalen Dimensionierung gelegen erscheint.

Ist beispielsweise ein Stab eines Fachwerkträgers von 50 m Stützweite mit 100 t auf Zug und mit 40 t auf Druck in den ungünstigsten Belastungsfällen beansprucht, so könnte derselbe nach der österreichischen Brückenverordnung für die Zugspannung mit $s = 890 \text{ kg/cm}^2$ beansprucht werden. Die Launhardt-Weyrauchsche Formel gibt aber in diesem Falle nur $s = 890 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{40}{100} \right) = 712 \text{ kg/cm}^2$. Letztere erfordert sonach einen um 25% vergrößerten Querschnitt, welcher aus $F = \frac{100}{0.712} = 140 \text{ cm}^2$ folgt. Es wäre dann noch zu untersuchen, ob die bei dieser Querschnittsgröße sich ergebende Druckspannung von $\frac{40000}{140} = 286 \text{ kg/cm}^2$ mit Rücksicht auf die Knickgefahr zulässig ist, was in einem späteren Abschnitte behandelt wird.

Nach einer anderen, besonders in Amerika üblichen Regel zur Berechnung der abwechselnd auf Zug und Druck beanspruchten Teile werden die beiden Grenzspannungen numerisch summiert, also die Querschnittsflächen für die Spannung $S = S_{\max} + S_{\min}$ berechnet. Diese Regel trägt der Wirkung des Spannungswechsels noch in etwas höherem Maße Rechnung als die oben angegebene Launhardt-Weyrauchsche Formel. Es ergibt sich nämlich

	für $\frac{S_{\min}}{S_{\max}} = 0$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1
nach der Weyrauch'schen Formel	$s = 1$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2} \bar{s}$
„ „ amerikanische Regel	$s = 1$	$\frac{4}{5}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2} \bar{s}$

Der Stab ist für die Druckspannung immer auch auf Knickung noch besonders zu untersuchen.

§ 7. Die zulässigen Beanspruchungen der eisernen Brücken nach den amtlichen Vorschriften und den Annahmen der Praxis.

1. Eisenbahnbrücken.

1. In Österreich setzt die Verordnung des Eisenbahnministeriums vom 28. August 1904 für Flußeisenbrücken folgende Grenzwerte der zulässigen Beanspruchung fest.

	unter Zugrundelegung der normengemäßen Belastung ¹⁾		
	aber ausschließlich Wind- druck, Seitenpressungen der Fahrzeuge und Bremskräfte	bei Berücksichtigung aller Kräfte	
	Zug oder Druck		
bei Stützweiten von 0 bis 10 m . . .	750 + 5 l	}	1200
„ „ „ 10 „ 20 m . . .	760 + 4 l		
„ „ „ 20 „ 40 m . . .	800 + 2 l		
„ „ über 40 m	840 + l		
bis höchstens	1000		
Abscheren	600		700
Nieten auf Abscheren in nur einer Richtung	700	}	800
Nieten auf Abscheren in mehreren Richtungen	600		
Druck in der Nietlochleibung . . .	1600		1800

Es bedeutet l die Stützweite der Tragwerke in Meter; für Pfeiler ist l das Mittel aus den Stützweiten der angrenzenden Brückenfelder, für Quer- und Fahrbahnlängsträger die Stützweite dieser Träger.

2. Die Vorschriften der königl. preußischen Staatsbahnen vom Mai 1903 lauten:

¹⁾ Siehe Band I, Seite 43.

für Stützweiten bis zu . .	20	40	80	120	160	200 m
Beanspruchung ohne Rück- sicht auf Winddruck bis	850	900	950	1000	1050	1100 kg/cm ²
Beanspruchung mit Berück- sichtigung des Wind- druckes bis	1000	1050	1100	1150	1200	1250 kg/cm ²

Für vollwandige Hauptträger mit einer Stützweite bis zu 10 m wird eine Beanspruchung bis zu 800 kg/cm² zugelassen; für die Quer- und Längsträger der Fahrbahn die gleiche Beanspruchung jedoch nur dann, wenn ein volles Schotterbett über die Brücke geführt wird, sonst ist ihre Beanspruchung auf 750 kg/cm² zu ermäßigen, wenn die Querschwellen ohne Schotterbett auf den Längsträgern lagern, und auf 700 kg/cm², wenn die Schienen unmittelbar von den Längsträgern getragen werden.

3. Die königl. sächsischen Staatsbahnen (Vorschriften von 1895 und 1905) setzen unter Einführung eines Stoßkoeffizienten $\mu = 1.8$, wenn

F = Querschnittsfläche in Quadratcentimetern

S_0 = Kraft aus Eigengewicht allein in Kilogramm

S_1 = größte Kraft aus der Betriebslast von gleichem Vorzeichen wie S_0

S_2 = größte Kraft aus der Betriebslast von entgegengesetztem Vorzeichen wie S_0 ,

für Konstruktionsteile, welche nur auf Zug oder nur auf Druck beansprucht werden,

$$F = \frac{S_0 + 1.8 S_1}{1530};$$

für Konstruktionsteile, welche abwechselnd auf Zug und Druck beansprucht werden, für welche also $S_0 < 1.8 S_2$ ist, und zwar

$$\text{wenn } S_0 + 1.8 S_1 > 1.8 S_2 - S_0 \dots \dots F = \frac{S_0}{2295} + \frac{S_1}{850} + \frac{S_2}{2550}$$

$$\text{wenn } 1.8 S_2 - S_0 > S_0 + 1.8 S_1 \dots \dots F = -\frac{S_0}{2295} + \frac{S_1}{2550} + \frac{S_2}{850}$$

Für vollwandige Träger tritt für F das Widerstandsmoment W in Kubikcentimetern, für die S_0 , S_1 und S_2 treten die Biegemomente M in kg/cm vom Eigengewicht, beziehungsweise Betriebslast. Die Gesamtbeanspruchung durch Eigengewicht, einfache Betriebslast, Winddruck, Bremskräfte etc. darf 1530 kg/cm² nicht überschreiten.

4. Die königl. bayerischen Staatsbahnen (Vertragsbedin-

gungen für die Ausführung eiserner Brücken 1908) rechnen mit der Inanspruchnahme von 1200 kg/cm^2 unter Einführung eines Stoßkoeffizienten $\mu = 1.5$. Demnach ist unter Beibehaltung der Bezeichnung wie oben für Stäbe, die nur auf Zug oder auf Druck beansprucht werden,

$$F = \frac{S_0 + 1.5 S_1}{1200}.$$

Für Stäbe, die abwechselnd auf Zug und Druck beansprucht werden, sind die Spannungen aus der Verkehrslast ohne Rücksicht auf das Vorzeichen zu summieren und ist der Querschnitt zu rechnen aus

$$F = \frac{1.5 (S_1 + S_2)}{1200}.$$

In gleicher Weise ist für Vollwandträger das Widerstandsmoment aus den mit den Stoßkoeffizienten multiplizierten Biegemomenten zu berechnen. Bezeichnet Z die Zusatzkräfte infolge Winddruck, Bremswirkung, Reibungswiderstände in den Auflagern und Fliehkraft, so darf für die Gesamtkraft $S_0 + 1.5 S_1 + Z$ die Spannung nicht größer als 1600 kg/cm^2 werden.

5. Die Vorschriften der württembergischen Staatsbahnen für die Berechnung eiserner Brücken (von 1894 und Februar 1909) setzen folgende Beanspruchungen fest:

Für vollwandige Hauptträger mit versenkter

Fahrbahn und einer Stützweite bis $l = 15 \text{ m}$ $s = 600 + 10 l$

Für Fachwerkträger und Bogenträger . . . $s = 750 \left(1 \pm \frac{1}{2} \frac{S_{\min}}{S_{\max}} \right)$
jedoch nicht über 1000 kg/cm^2 .

Für Fahrbahn-Längs- und Querträger, desgleichen für vollwandige Hauptträger mit oben liegender Fahrbahn und zwar

wenn die Schienen mit hölzernen Querschwellen

auf den Trägern liegen $s = 600 + 10 l$

wenn die Schienen unmittelbar oder mittels eiser-

ner Querschwellen auf den Trägern liegen $s = 0.9 (600 + 10 l)$

wenn das Schotterbett über die Brücke geführt ist $s = 1.1 (600 + 10 l)$

Für den Horizontal- und Querverband bei einer Stützweite bis 15 m $s = 800 \text{ kg/cm}^2$, über 15 m Stützweite $s = 1000 \text{ kg/cm}^2$.

6. Die badischen Staatsbahnen (Vorschrift von 1903) wenden nachstehende Berechnungsformeln an:

Es bezeichnet A die größte Stabkraft oder das größte Angriffsmoment.

D den Unterschied zwischen der größten und kleinsten Stabkraft oder dem größten und kleinsten Angriffsmoment, und zwar algebraisch verstanden, so daß für Beanspruchung auf Zug und Druck D eine Summe darstellt.

Als zulässige Beanspruchung wird angenommen:

Für Hauptträger der Brücken ohne Einbau von Fahrbahnträgern, sowie für Fahrbahn-Längs- und Querträger . . . $s = \frac{1200}{1 + \frac{2}{3} \frac{D}{A}}$

für Hauptträger mit eisernem Einbau . . . $s = \frac{1200}{1 + 0.6 \frac{D}{A}}$

für Hauptträger mit Schotterbettüberführung $s = \frac{1200}{1 + 0.55 \frac{D}{A}}$

Bei Brücken von Stützweiten über 60 m, bei denen der Einfluß des Winddruckes auf die Abmessungen der Hauptträger zu berücksichtigen ist, dürfen die oben angegebenen Beanspruchungen um $(145 + 0.36 l)$ kg/cm² vergrößert werden.

Für Brücken in Nebenbahnen gelten die gleichen Formeln mit dem Koeffizienten 1500 anstatt 1200.

7. Für die Eisenbahnbrücken in Frankreich enthält das circulaire ministerielle vom 29. August 1891 die folgenden Bestimmungen:

Zulässige Beanspruchung für Flußeisen	
in den Längs- und Querträgern der Fahrbahn	750 kg/cm ²
in den Hauptträgern für stets in gleichem Sinne beanspruchte Glieder	850 kg/cm ²
für entgegengesetzt und annähernd gleich stark auf Zug und Druck beanspruchte Glieder	600 kg/cm ²

Bei Stützweiten über 30 m wird eine Erhöhung der Beanspruchung im Maximum bis auf 1150 kg/cm² zugelassen, etwa unter Anwendung der Formel $s = 800 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{S_{\min}}{S_{\max}} \right)$, doch wird diese Berechnungsweise nicht vorgeschrieben, sondern es kann von den Konstrukteuren auch nach anderen, als begründet nachzuweisenden Regeln vorgegangen werden.

8. Die Eisenbahnbrücken der Schweiz sind nach der Verordnung des schweizerischen Bundesrates vom 19. August 1892 auf Grund nachstehender zulässiger Beanspruchungen zu dimensionieren:

$$\text{Für Flußeisen } s = 800 + 250 \frac{S_{\min}}{S_{\max}}$$

worin S_{\min} und S_{\max} die kleinste und größte Stabkraft infolge aller einwirkenden Kräfte bezeichnet, welche je nach dem Zug oder Druck mit + oder — Vorzeichen einzusetzen ist.

Bei Hinzurechnung der Winddruckkräfte ist eine Erhöhung der Beanspruchung um 100 kg/cm^2 gestattet.

Für Stützweiten unter 15 m sind die Einwirkungen der Verkehrslast mit dem Koeffizienten $\mu = 1 + 0.02 (15 - l)$ zu multiplizieren.

Genietete Träger sind mit einer Biegungsinanspruchnahme $= 0.9 \left(800 + 250 \frac{M_{\min}}{M_{\max}} \right)$ zu berechnen.

9. In Amerika wird vielfach nach den, von der American Bridge Co. 1901 aufgestellten „Spezifikationen für Eisenbahnbrücken“ gerechnet, welche als zulässige Beanspruchungen angeben:

	Durch Eigengewicht und größte Verkehrslast unter Berücksichtigung der Stoßwirkung	Mit Hinzufügung der Spannung durch Winddruck, Fliehkräfte etc.
Für Flußeisen (soft steel) .	1054	1336 kg/cm^2
für mittelharten Flußstahl (medium steel)	1195	1476 kg/cm^2

Die von der Verkehrslast hervorgerufenen Spannungen sind zur Berücksichtigung der Stoßwirkung mit dem Koeffizienten

$$\mu = 1 + \frac{91}{L + 91}$$

zu multiplizieren, worin L die Länge der belasteten Strecke in Meter bezeichnet.

Für $L =$	0	10	20	30	50	100	150	200 m
ist $\mu =$	2.0	1.901	1.820	1.753	1.646	1.477	1.387	1.313

Teile, welche abwechselndem Zug und Druck unterworfen sind, haben eine Querschnittsfläche zu erhalten, die gleich ist der Summe aus den für den Zug und für den Druck erforderlichen Querschnittsflächen.

Zulässige Scherbeanspruchung der Nieten und Gelenkbolzen für weichen Flußstahl (Flußeisen) 773 kg/cm^2 , größter Druck auf die Lochleibung 1546 kg/cm^2 .

II. Straßenbrücken.

In Österreich setzt die Verordnung des k. k. Ministeriums des Innern von 1905 für die ärarischen Straßenbrücken mit eisernem

Tragwerk, desgleichen jene des Eisenbahnministeriums von 1904 für die Brücken in den Zufahrtsstraßen folgende zulässige Inanspruchnahmen (kg/cm^2) fest:

	unter Zugrundelegung der Belastung durch Eigengewicht und Ver- kehrslast	unter Hinzufügung des Winddruckes und Be- rücksichtigung aller Kräfte
Zug oder Druck	800 + 3 l bis höchstens 1060	1200
Abscheren	600	700
Nieten auf Abscheren		
in nur einer Richtung . .	700	}
in mehreren Richtungen .	600	
Druck auf die Nietlocheibung	1600	1800

In Preußen bestehen für Straßenbrücken keine einheitlichen Bestimmungen. Von den Annahmen, die hinsichtlich der zulässigen Beanspruchungen einigen neueren Ausführungen und Brückenwettbewerben zugrunde gelegt wurden, seien angeführt:

Straßenbrücke über den Rhein zwischen Ruhrort und Homberg (Stützweiten 128 m und 203 m). Zulässige Beanspruchung des Flußeisens ohne Berücksichtigung des Winddruckes 1150, mit Berücksichtigung des Winddruckes 1450 kg/cm^2 . Dabei wurden die Spannungen aus der Verkehrslast für die Hauptträger mit dem 1·2fachen, für die Fahrbahnträger mit dem 1·4fachen in Rechnung gebracht. Ohne diesem Beiwert von 1·4 war die Spannung in den Fahrbahnträgern auf 900 kg/cm^2 begrenzt. Für Glieder, die abwechselnd auf Zug und Druck beansprucht werden, war die der Querschnittsbemessung zugrunde zu legende Größtkraft aus $S = S_{max} + \frac{1}{2} S_{min}$ zu rechnen.

Dem Wettbewerb zum Baue der Rheinstraßenbrücke zu Köln (1911, Mittelöffnung über 200 m) lagen folgende Vorschriften über die zulässigen Beanspruchungen für Flußeisen zugrunde:

Fahrbahn und Fußwege	800 kg/cm^2
Bei Belastung der Fahrbahn durch die Dampfstraßenwalze	1100 kg/cm^2
Übertragende Überbauglieder (Hängesäulen)	1000 kg/cm^2
Desgleichen einschließlich Windbelastung	1350 kg/cm^2
Hauptträger unter Eigengewicht und Verkehr	1100 kg/cm^2
Desgleichen einschließlich Wind und Temperatur	1350 kg/cm^2
Windverbände	1000 kg/cm^2
Scherspannung der Nieten in den Hauptträgern	900 kg/cm^2
" " " " " der Fahrbahn	650 kg/cm^2
Lochwanddruck = der doppelten Scherspannung.	

Für die Brücken von mittlerer Stützweite findet man meist in den Hauptträgern unter Eigengewicht und Verkehrslast 1000 kg/cm^2 und mit Berücksichtigung des Winddruckes 1200 kg/cm^2 zugelassen; in den Fahrbahnträgern dagegen nur 750 kg/cm^2 .

In Württemberg werden die staatlichen Straßenbrücken mit folgenden zulässigen Beanspruchungen berechnet:

Für die Träger der Fahrbahn, dann für die Hauptträger
bei Stützweiten bis $l = 15 \text{ m}$ $s = 1.1 (600 + 10 l)$
bei Stützweiten über 15 m $s = 800 \left(1 \pm \frac{1}{2} \frac{S_{\text{min}}}{S_{\text{max}}} \right)$
jedoch nicht über 1000 kg/cm^2 .

In Baden steht, analog wie bei den Eisenbahnbrücken, als Berechnungsformel in Anwendung

$$s = \frac{1200}{1 + 0.5 \frac{D}{A}}$$

worin A die größte Stabkraft oder das Angriffsmoment und D den Unterschied zwischen dem Größt- und Kleinstwert bezeichnet.

Die sächsischen und bayerischen, ferner die französischen und die Schweizer Vorschriften setzen für die Straßenbrücken die gleichen zulässigen Beanspruchungen wie für die Eisenbahnbrücken fest.

Zulässige Beanspruchung für Gußeisen, Stahlguß, Flußstahl und hochwertige Stahlsorten:

Nach ziemlich übereinstimmenden Annahmen setzt man:

- | | |
|---|----------------------------|
| Für Gußeisen, Beanspruchung auf Druck | . 700—750 kg/cm^2 |
| " " Zug | 200—250 kg/cm^2 |
| " " Biegung | 250—300 kg/cm^2 |
| für Stahlguß, Beanspruchung auf Biegung | 1000 kg/cm^2 |
| " " Druck | 1200 kg/cm^2 |

Für den in der Firth of Forth-Brücke verwendeten Flußstahl (siehe Seite 12) wurde seitens des englischen Handelsamtes eine Beanspruchung bis zu $\frac{1}{4}$ der Bruchfestigkeit ohne Rücksicht auf Spannungswechsel zugelassen. Die entwerfenden Ingenieure Baker und Fowler haben jedoch folgende Ziffern der Berechnung zugrunde gelegt:

Für reine Zugglieder bei unveränderlicher
Belastung 1567 kg/cm^2

für reine Zugglieder bei wenig häufigem Spannungswechsel	1200 kg/cm ²
für reine Zugglieder bei häufigem Spannungs- wechsel	1033 kg/cm ²
für Zugglieder mit Spannungswechsel zwischen Zug und Druck, seltener Spannungswechsel	790 kg/cm ²
für Zugglieder mit Spannungswechsel zwischen Zug und Druck, häufiger Spannungswechsel	567 kg/cm ²

Für Nickelstahl wurde in den beiden großen amerikanischen Brücken, der Blackwell-Insel-Brücke und der Manhattan-Brücke (siehe Seite 13), wo dieses Material bisher zur Anwendung gekommen ist, eine ziemlich hohe Beanspruchung (bis zu 80% der Streckgrenze) zugelassen, wogegen man für den Neubau der Quebec-Brücke nur beträchtlich niedrigere Ziffern der Beanspruchung anwenden wird, wie aus der Zusammenstellung¹⁾ auf S. 51 ersichtlich ist.

In den Entwürfen für die Kölner Rheinstraßenbrücke wurde bei Verwendung von deutschem Nickelstahl eine um 60% höhere Beanspruchung wie für gewöhnliches Flußeisen angenommen.

§ 8. Die Berechnung der auf Druck beanspruchten Glieder mit Sicherheit gegen Knickung.

Die das Einknicken eines geraden Stabes hervorrufende Kraft (Knicklast) ist nach der Eulerschen Formel durch

$$P = \frac{\pi^2 EJ}{l^2} \dots \dots \dots 1)$$

bestimmt, worin $J = F i^2$ das kleinste Querschnitts-Trägheitsmoment und l die sogenannte freie Knicklänge bezeichnet. Bei drehbar gelagerten Enden (Spitzenlagerung) ist $l =$ der Stablänge, bei vollkommener Einspannung ist $l =$ der halben Stablänge.

Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Formel ist: 1. Vollkommen achsiale Belastung, 2. homogenes Material von durchaus gleichem elastischen Verhalten und 3. die aus der Knicklast berechnete Knickspannung $\sigma_k = P:F$ muß noch unter der Elastizitätsgrenze σ_g bleiben. Letztere Bedingung ist erfüllt, wenn

$$\sigma_k = \frac{P}{F} = \pi^2 E \left(\frac{i}{l} \right)^2 < \sigma_g \quad \text{oder} \quad \frac{l}{i} > \lambda_0 = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_g}}$$

¹⁾ Aus „Bohny, Über die Verwendung des Nickelstahles im Brückenbau“. „Der Eisenbau“, 1911, Heft 2.

	Blackwell-Island-Brücke		Manhattan-Brücke		Quebec-Brücke		
	Eigenlast und gewöhnlicher Verkehr oder Eigenlast und Wind	Eigenlast und dichter Verkehr	Eigenlast, dichter Verkehr und Temperatur oder Eigenlast, gewöhnlicher Verkehr, Temperatur und Wind	Verkehrslast	Eigenlast und Schnee oder alle Größtlasten und Kräfte, exklusive Sekundärkräfte	Alle Größtlasten, einschließlich der sekundären Kräfte	
Augenstäbe oder genietete Zugstäbe im Versteifungsträger oder Hauptträger	2210	2740	2810	980	1970	2170	
Zugstäbe der Hängestangen und solcher Glieder, die plötzliche Belastung erhalten können.				690	1380	1520	
Genietete Druckstäbe im Versteifungsträger oder Hauptträger*)	1400 — $6 \cdot 3 \frac{l}{i}$		2810 — $10 \cdot 5 \frac{l}{i}$	880 — $3 \cdot 5 \frac{l}{i}$	1760 — $7 \frac{l}{i}$	1930 — $7 \cdot 7 \frac{l}{i}$	
Gelenkbolzen auf Abscheren . . .	1410	1690	Nieten		—		
„ Lochwanddruck	2810	3370	1410		1760		
„ Biegung . . .	2810	3370	2460		2110		

*) Anmerkung. Es bezeichnet l die Knieklänge, i den kleinsten Trägheitshalbmesser (siehe den folgenden Paragraphen „Kniekung“).

ist. Für Flußeisen mit den Mittelwerten $E = 2,150.000 \text{ kg/cm}^2$ und $\sigma_g = 1900 \text{ kg/cm}^2$ ergibt sich sonach

$$\lambda_0 = 105$$

als Grenze des Anwendungsbereiches der Euler-Formel. Für weniger schlanke Stäbe, deren Knicklänge l kleiner als der 105fache kleinste Trägheitshalbmesser i ist, liefert die Euler-Formel eine zu große Knicklast, da mit dem Überschreiten der Elastizitätsgrenze die Formänderungen zunehmen und das Material den Verbiegungen einen kleineren Widerstand entgegengesetzt als innerhalb dieser

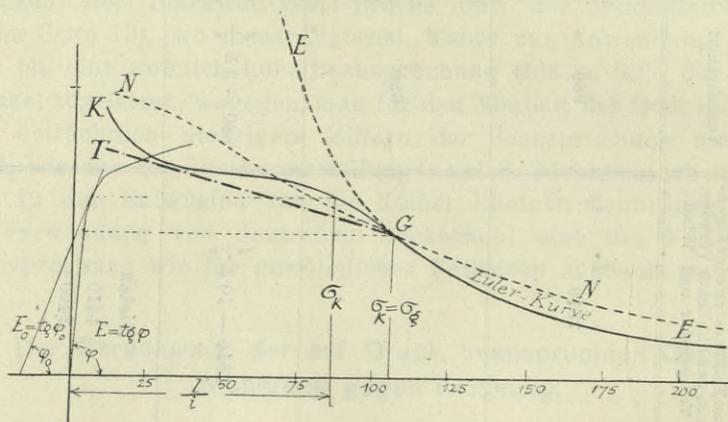


Abb. 20.

Grenze. Man hat daher für solche Stäbe die Euler-Formel durch andere Formeln zu ersetzen, welche sich dem wahren Werte der Knickfestigkeit besser anschließen.

Trägt man das Längenverhältnis $\lambda = \frac{l}{i}$ in einem Diagramm (Abb. 20) als Abszissen und die aus Versuchsreihen gemittelten Werte der Knickfestigkeit als Ordinaten auf, so ergibt sich eine Kurve KGE , welche nur für $\lambda > \lambda_0$ mit der kubischen Hyperbel der Euler-Formel übereinstimmt, für kleinere Werte von λ aber darunter bleibt. Über die Form dieser Knickspannungskurve geben die Versuche Tetmajers mit Schweißeisen- und Flußeisenstäben, namentlich aber die neueren Versuche v. Karmans¹⁾ mit Stäben aus Martinstahl mit rechteckigem Querschnitt von $5,4$ und 10 cm^2 und Längenverhältnissen $\lambda = 22$ bis 175 guten Aufschluß. Hienach

¹⁾ „Mitteilungen über Forschungsarbeiten“, herausgegeben vom Verein Deutscher Ingenieure, 1909.

zweigt dieselbe für Flußeisen bei $\lambda_0 = 105$, für Stahl bei $\lambda_0 = 92$ von der Euler-Kurve ab, erreicht zwischen $\lambda = 30$ und 50 die Streckgrenze, um sich dann mit rascherem Ansteigen der Bruchgrenze σ_a zu nähern.

Engesser¹⁾ verallgemeinert mit theoretisch richtiger Begründung die Eulersche Formel und setzt die Knicklast

$$P = \frac{\pi^2 T J}{l^2} \dots \dots \dots 2)$$

oder die Knickfestigkeit

$$\sigma_k = \pi^2 T \left(\frac{i}{l} \right)^2$$

worin T , der Knickmodul, eine von der Querschnittsgestalt annähernd unabhängige Größe ist, die zwischen dem innerhab der Elastizitätsgrenze geltenden Elastizitätskoeffizienten E und dem Formänderungskoeffizienten E_0 für den Spannungszustand σ_k des Materiales (und zwar näher zu letzterem Werte) gelegen ist. So lange σ_k unter der Elastizitätsgrenze bleibt, ergibt sich hienach mit $T = E$ Übereinstimmung mit der Euler-Formel. Für höhere Werte von σ_k wird $T < E$; da aber die Abhängigkeit dieser Größe von σ_k sich theoretisch nicht in einfacher Weise angeben läßt, sondern nur auf empirischem Wege durch Auswertung der Versuchsergebnisse zu bestimmen wäre, so ist es zweckmäßiger, einfacher gebaute empirische Formeln in Anwendung zu bringen.

v. Tetmajer²⁾ setzt auf Grund seiner Knickversuche für die über der Elastizitätsgrenze gelegene Knickfestigkeit

$$\sigma_k = a - b \left(\frac{l}{i} \right).$$

Er nimmt sonach lineare Abhängigkeit an und ersetzt die kubische Hyperbel der Euler-Formel durch eine Gerade (TG in Abb. 20).

Für Flußeisen mit einer mittleren Druckfestigkeit $\sigma_a = 3800 \text{ kg/cm}^2$ findet er

$$\begin{array}{l} \sigma_k = 3100 - 11.4 \frac{l}{i} \quad \text{so lange } \frac{l}{i} < 105 \\ \text{und} \quad \sigma_k = 21220000 \left(\frac{i}{l} \right)^2 \quad \text{wenn } \frac{l}{i} > 105. \end{array} \left. \dots \dots \dots \right\} 3)$$

¹⁾ „Schweizer Bauzeitung“ 1895, „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure“ 1896, „Der Eisenbau“ 1911, Nr. 10.

²⁾ L. v. Tetmajer, „Die Gesetze der Knickungs- und der zusammengesetzten Druckfestigkeit“, 3. Auflage, Wien 1903.

Bei der Querschnittsfläche F des Druckstabes ist $P = F \cdot \sigma_k$ die Knicklast und bei Einhaltung m facher Sicherheit die zulässige Belastung

$$S = \frac{1}{m} P = F \cdot \frac{\sigma_k}{m} = F \cdot s_k.$$

Es ist sonach die zulässige Knickspannung $s_k = \frac{1}{m} \sigma_k$ und unter Zugrundelegung der gleichen Sicherheit, wie für die auf Normalfestigkeit beanspruchten Glieder, also mit $s_d = \frac{1}{m} \sigma_d$, folgt

$$s_k = \frac{\sigma_k}{\sigma_d} s_d = \eta \cdot s_d \quad \dots \dots \dots 4)$$

Die zulässige Knickspannung wird sonach erhalten, wenn man die zulässige Beanspruchung auf reinen Druck mit einem Koeffizienten $\eta = \frac{\sigma_k}{\sigma_d}$, dem Abminderungskoeffizienten für Knickung, multipliziert. Für letzteren ergeben die Formeln nach Tetmajer für Flußeisen (mit $\sigma_d = 3800$)

$$\left. \begin{aligned} \eta &= 0.816 - 0.003 \frac{l}{i} && \text{für } \frac{l}{i} < 105 \\ \eta &= 5584 \left(\frac{i}{l}\right)^2 && \text{„ } \frac{l}{i} > 105 \end{aligned} \right\} \dots \dots 5)$$

$\frac{l}{i}$	η	$\frac{l}{i}$	η	$\frac{l}{i}$	η	$\frac{l}{i}$	η
10	0.786	60	0.636	110	0.462	160	0.218
15	0.771	65	0.621	115	0.423	165	0.205
20	0.756	70	0.606	120	0.388	170	0.193
25	0.741	75	0.591	125	0.357	175	0.182
30	0.726	80	0.576	130	0.331	180	0.171
35	0.711	85	0.561	135	0.307	185	0.163
40	0.696	90	0.546	140	0.285	190	0.155
45	0.681	95	0.531	145	0.266	195	0.147
50	0.666	100	0.516	150	0.248	200	0.140
55	0.651	105	0.501	155	0.232		

Die Tetmajerschen Formeln stehen in Österreich, in der Schweiz, bei den badischen Staatsbahnen u. a. in Anwendung. Die Brückenverordnung der Schweiz setzt die Abminderungskoeffizienten etwas abgerundet

$$\eta = 0.800 - 0.003 \frac{l}{i} \quad \text{für } \frac{l}{i} = 10 \text{ bis } 100$$

und $\eta = 5500 \left(\frac{i}{l}\right)^2$ „ $\frac{l}{i} > 100$.

Die badischen Staatsbahnen rechnen mit der zulässigen Knickspannung $s_k = \frac{1}{n} \sigma_k$, worin σ_k nach den Formeln 3) und n der Sicherheitsgrad mit $n = 3 + 0.01 \lambda$ für $\lambda < 100$ und mit $n = 4$ für $\lambda > 100$ anzunehmen ist.

Die Verordnung des preußischen Arbeitsministeriums verlangt, ohne die Gültigkeitsgrenze der Euler-Formel zu beschränken, daß für die Druckglieder nach dieser Formel mindestens eine fünffache Sicherheit nachgewiesen wird. Nach dem oben Gesagten kann aber die ausschließliche Anwendung der Euler-Formel nicht als einwandfrei bezeichnet werden.

Die lineare Form der Tetmajer'schen Gleichung liegt auch den amerikanischen Formeln, welche zur Berechnung der Druckstäbe der Blackwell-Island-Brücke, der Manhattan- und Quebec-Brücke und zwar für alle Längenverhältnisse $l:i$ angewendet wurden (siehe Tabelle auf Seite 51), zugrunde. Dieselben setzen aber eine hohe Materialfestigkeit (Nickelstahl) voraus.

Eine ältere, von Navier herrührende und von Schwarz und Laissle-Schübler in den Brückenbau eingeführte und früher häufig angewandte Formel für die Knickfestigkeit lautet:

$$\sigma_k = \frac{\sigma_d}{1 + \alpha \left(\frac{l}{i}\right)^2} \dots \dots \dots 6)$$

worin für Flußeisen $\alpha = 0.00008$ bis 0.0001 gesetzt wurde. Die Werte dieser Formel (mit $\alpha = 0.0001$) sind in der Kurve NN (Abb. 20) dargestellt. Wie man sieht, werden sie für die kleinen Längenverhältnisse $l:i$ zu groß erhalten.

Die aus der theoretischen Knicklast abgeleiteten Formeln setzen vollkommen axiale Belastung voraus, welche in Wirklichkeit kaum jemals vorhanden ist. Man hat daher auch den Weg eingeschlagen, die zulässige Belastung eines Druckstabes aus der Biegungsdruckspannung zu bestimmen, welche unter Annahme einer gewissen Exzentrizität der Stabkraft, oder eines gewissen anfänglichen Biegunspfeiles f_0 des Stabes in der Stabmitte auftritt. Allerdings unterliegt die Annahme dieser Exzentrizität sowie der Größe der zulässigen Spannung einer willkürlichen Schätzung.

Müller-Breslau¹⁾ empfiehlt, alle Druckstäbe darauf zu prüfen, daß bei einer Exzentrizität $f_0 = \frac{1}{200}$ und bei einer auf das doppelte gesteigerten Belastung $2P$ die Biegungsdruckspannung noch unter der Streckgrenze bleibt. Ist δ die Ausbiegung des Stabes unter dieser Belastung, W das in Frage kommende Widerstandsmoment, so soll hienach

$$\frac{2P}{F} + \frac{2P(f_0 + \delta)}{W} < 2400 \text{ kg/cm}^2 \quad \dots \dots \dots 7)$$

sein. Mit $\frac{2P}{F} = \sigma_0$ rechnet sich $(f_0 + \delta)$ aus

$$f_0 + \delta = f_0 : \left[1 - \frac{1}{2} \frac{\sigma_0}{E} \left(\frac{l}{i} \right)^2 + \frac{1}{24} \left(\frac{\sigma_0}{E} \right)^2 \left(\frac{l}{i} \right)^4 - \dots \right]$$

oder mit Einführung der Eulerschen Knicklast $R = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}$

$$f_0 + \delta = f_0 : \left[1 - \frac{\pi^2 P}{4R} + \frac{\pi^4 P^2}{96R^2} - \dots \right] \quad \dots \dots \dots 8)$$

H. Kayser²⁾ nimmt für die ursprüngliche Verbiegung der Stabachse den Mittelwert $f_0 = \frac{1}{150} l$ an und stellt die Regel auf, daß unter der einfachen Nutzlast P die Biegungsdruckspannung

$$\sigma = \frac{1}{2} \left(\frac{P}{F} + \sigma_g \right) \text{ und höchstens } = \frac{3}{4} \sigma_g \quad \dots \dots \dots 9)$$

erreichen darf, worin σ_g die Spannung an der Elastizitätsgrenze für Flußeisen (= 2000 kg/cm²) bezeichnet. Die Ausbiegung berechnet er nach der von Föppl gegebenen Näherungsformel

$$f_0 + \delta = \frac{R}{R - P} f_0$$

sonach σ aus

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{R}{R - P} f_0 \frac{P}{W} \quad \dots \dots \dots 10)$$

Die Formeln für die Knickbeanspruchung ermöglichen keine direkte Querschnittsbestimmung; es ist vielmehr der Querschnitt des Druckstabes versuchsweise anzunehmen und dafür die zulässige Knickbeanspruchung zu rechnen, welche von der gegebenen Be-

1) „Der Eisenbau“ 1911, Heft 9.

2) „Zentralblatt der Bauverwaltung“ 1912, Nr. 19.

lastung des Stabes nicht überschritten werden darf. Zur Erzielung günstiger Materialausnutzung mit hoher zulässiger Knickspannung sind Querschnittsformen mit großem Trägheitshalbmesser von Vorteil.

Beispiel. Im Überbau einer Eisenbahnbrücke von 40 m Stützweite hat eine Strebe von 650 cm freier Knicklänge einen Druck von 30 t aufzunehmen. Die zulässige Beanspruchung auf reinen Druck s_d beträgt nach der österreichischen Brückenverordnung $840 + l = 880 \text{ kg/cm}^2$.

Wir bilden den Querschnitt (Abb. 21) aus vier Winkeleisen und einem dazwischen eingeschobenen Stehblech von $300 \times 10 \text{ mm}$ und versuchen das Winkeleisenkaliber $\frac{80 \times 120}{10}$. Für diesen Querschnitt ist ohne Nietabzug

$$F = 106 \text{ cm}^2$$

$$J_{\min} = 2637 \text{ cm}^4$$

sohin $i = 4.99 \text{ cm}$, demnach $\frac{l}{i} = \frac{650}{4.99} = 130$.

Mit diesem Längenverhältnis, folgt der Tetmajersche Abminderungskoeffizient (siehe Tabelle auf Seite 54) $\eta = 0.331$ und die zulässige Knickspannung $s_k = 0.331 \cdot 880 = 291 \text{ kg/cm}^2$. Die wirkliche Beanspruchung des Stabes beträgt ohne Nietabzug $\frac{30000}{106} = 283 \text{ kg/cm}^2$, mit halbem Nietabzug (6 cm^2) 300 kg/cm^2 ; die gewählten Abmessungen sind sonach ausreichend.

Die Prüfung des Stabes nach Müller—Breslau ergibt: Mit Annahme von $f_0 = \frac{1}{200} \cdot 650 = 3.25 \text{ cm}$ und mit $R = \frac{\pi^2 EJ}{l^2} = 135.52 t$ und $P = 30 t$ folgt aus Gleichung 8)

$$f_0 + \delta = \frac{f_0}{0.5035} = 6.45 \text{ cm}$$

und damit die Beanspruchung unter der doppelten, um f_0 exzentrisch wirkenden Belastung aus Gleichung 7) bei dem Widerstandsmomente $W = 211$

$$\frac{60000}{106} + \frac{60000 \cdot 6.45}{211} = 2400 \text{ kg/cm}^2,$$

was der gestellten Forderung entspricht.

Nach Kayser wäre zu setzen: $f_0 = \frac{1}{150} \cdot 650 = 4.33 \text{ cm}$ und $f_0 + \delta = \frac{135.5}{135.5 - 30} \cdot 4.33 = 5.564 \text{ cm}$, sohin nach Gleichung 10)

$$\sigma = \frac{30000}{106} + \frac{30000 \cdot 5.564}{211} = 1054 \text{ kg/cm}^2.$$

Zulässig ersiene nach Gleichung 9)

$$\sigma = \frac{1}{2} \left(\frac{30000}{106} + 2000 \right) = 1141 \text{ kg/cm}^2,$$

so daß der Stab auch nach dieser Berechnung genügt.

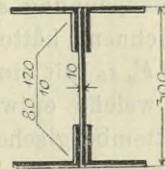


Abb. 21.

Die Nietverschwächung bei den aus Walzeisen zusammengesetzten Druckstäben hat nach den Versuchen Tetmajers keinen merklichen Einfluß auf die Knicklast. Es wird daher vielfach der Nietlochabzug bei den Druckstäben nicht berücksichtigt. (Bayerische und österreichische Vorschriften.) Da es aber doch nicht ausgeschlossen ist, daß bei hohen Knickspannungen und mangelhafter Ausfüllung der Nietlöcher eine nennenswerte Spannungserhöhung in dem geschwächten Querschnitte eintritt, so dürfte sich eine wenigstens teilweise Berücksichtigung der Nietverschwächung empfehlen. Man kann jedoch das Trägheitsmoment und daraus die zulässige Knickspannung $s_k = \eta s$ immer für den vollen (Brutto-)Querschnitt berechnen, hätte dann aber die zulässige Belastung der Strebe $S = F_n s_k$ mit einer nutzbaren Querschnittsfläche F_n zu bestimmen, für welche entweder die volle Nietschwächung (Vorschriften der württembergischen und der reichsländischen Eisenbahnen) oder wenigstens die halbe Nietschwächung (Vorschlag Engesser) in Abzug zu bringen ist.

Die freie Knicklänge l ist bei einem, an den Enden oder in zwei Punkten drehbar festgehaltenen Stabe gleich der Länge L des Stabes zwischen den beiden festgehaltenen Punkten. Ist die Festhaltung mit einer teilweisen Einspannung, das ist mit einer Verhinderung der Drehung verbunden, so tritt eine Verringerung der freien Knicklänge ein, welche dem Verhältnisse des Einzelfalles entsprechend abzuschätzen ist. Einer vollkommenen Einspannung, auf welche aber bei den gegliederten Konstruktionen auch bei festem Nietanschluß nicht zu rechnen ist, würde eine Verminderung der Knicklänge auf die halbe Stablänge entsprechen. Man wird nur in günstigen Fällen, bei großer Steifheit der Anschlußstäbe, $l = 0.6$ bis $0.7 L$ annehmen können, sonst aber mit einer Knicklänge nahe gleich der Stablänge rechnen. Die Beurteilung dieser Verhältnisse bei Fachwerkträgern wird später noch nähere Besprechung finden.

Geteilte Druckstäbe oder Rahmenstäbe nennen wir jene, welche keinen geschlossenen, kompakten Querschnitt haben, sondern aus Einzelstäben bestehen, die durch Querbleche oder Gitterwerk verbunden sind. Die Erfahrung lehrt, daß solche Stäbe bei gleicher Fläche und gleichem Trägheitsmoment des Querschnittes eine geringere Knickfestigkeit besitzen als Vollstäbe, auch dann, wenn die Querbleche oder Querverbindungen hinreichend nahe sind, um den Stab im ganzen und nicht in seinen Teilen ausknicken zu lassen.

Es sei (Abb. 22) der Stab aus zwei gleichen Einzelstäben vom Querschnitt $\frac{F}{2}$ bestehend mit Verbindungen durch Querstege im

Abstände c . Es komme das Ausknicken um die freie Achse AA in Frage. Das Trägheitsmoment des Gesamtquerschnitts auf AA bezogen sei J , der Trägheitshalbmesser i , dann wäre für einen Vollstab bei der Knicklänge l die zulässige Belastung

$$P_0 = F \eta s$$

wenn η der dem Längenverhältnis $\lambda = \frac{l}{i}$ entsprechende Abminderungskoeffizient ist.

Würden die Querstege jedem Einzelstab eine vollkommene Stütze bieten, so wäre dessen Knicklänge c und bei dem auf seine Schwerachse bezogenen Trägheitsmomente J_1 und Trägheitshalbmesser i_1 , dem Längenverhältnis $\frac{c}{i_1}$ und der zugehörigen Abminderungsziffer η_1 , die zulässige Belastung des Einzelstabes

$$P_1 = \frac{F}{2} \eta_1 s$$

sohin jene des Gesamtstabes

$$2 P_1 = F \eta_1 s.$$

Letztere würde gleich jener des Vollstabes wenn $\eta = \eta_1$, also auch wenn $\frac{l}{i} = \frac{c}{i_1}$.

Da aber die Querstege die Einzelstäbe nicht unverrückbar festhalten, so wird deren wahre Knicklänge immer größer als c , ihre Tragkraft sohin kleiner als P_1 sein. Die Verminderung der Tragkraft wird um so beträchtlicher, je schwächer die Querstege und je geringer ihre Steifigkeit ist. Denken wir sie uns nur aus dünnem Blech hergestellt, so werden sie ausbiegen und selbst bei naher Stellung das unabhängige Knicken der Einzelstäbe nicht verhindern. Will man daher mit der Tragkraft des Rahmenstabes jener des Vollstabes nahe kommen, so muß auf entsprechend steife Querverbindungen gesehen und

$$\frac{c}{i_1} < \frac{l}{i} \dots \dots \dots 11)$$

gemacht werden.

Eine richtige theoretische Knickformel für Rahmenstäbe, welche alle Einfluß nehmenden Faktoren berücksichtigt, ist bisher noch

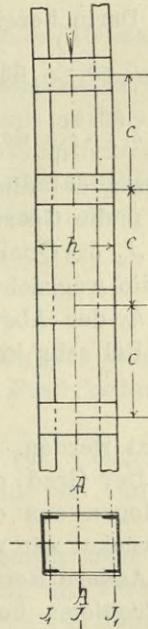


Abb. 22.

nicht gefunden worden. Am eingehendsten wurde das schwierige Problem von Engesser¹⁾ und von Müller—Breslau²⁾ behandelt. Ersterer kommt auf Grund seiner Entwicklungen zu nachstehender, praktisch angenäherten Berechnungsregel:

Man berechne die zulässige Knickspannung eines Rahmenstabes wie für einen Vollstab unter Einführung eines ideellen Längenverhältnisses λ' und nehme davon 90 bis 95⁰/₀.

λ' bestimmt sich aus

$$\lambda'^2 = \lambda^2 + \lambda_1^2 + \frac{c h_0 F}{J_2} \dots \dots \dots 12)$$

Darin bezeichnet

$\lambda = \frac{l}{i}$ das Längenverhältnis des Gesamtstabes,

$\lambda_1 = \frac{c}{i_1}$ das Längenverhältnis des Einzelstabes vom Trägheitsradius i_1 auf die Knotenweite c bezogen,

F die Gesamtquerschnittsfläche des Stabes,

J_2 das Querschnitts-Trägheitsmoment eines Querbleches, bezogen auf die wagrechte Schwerachse,

h_0 den Abstand der Schwerachsen der Einzelstäbe.

Bei sehr kräftigen Querblechen kann ohne großen Fehler

$$\lambda'^2 = \lambda^2 + \lambda_1^2 \dots \dots \dots 12 a)$$

gesetzt werden.

Der Grad der Steifigkeit der Querstege gegen ein seitliches Ausbiegen aus der Stabebene kommt hierin allerdings nicht zum Ausdruck; wir müssen dieselbe als ausreichend groß voraussetzen.

Andere Betrachtungen³⁾, die allerdings auf strenge Behandlung des Problems keinen Anspruch erheben können, führen zu Ergebnissen, die sich übereinstimmend durch die Formel ausdrücken lassen:

$$s_k = 1.226 \eta \eta_1 s \dots \dots \dots 13)$$

1) „Zentralblatt der Bauverwaltung“, 1909.

2) „Der Eisenbau“, 1911, Heft 9, 11 und 12.

3) Krohn, Zentralblatt der Bauverwaltung 1908. Die dort abgeleitete Formel

$$P = 2 P_1 \left(1 - \frac{1}{136} \frac{h_0}{l} \right),$$

worin P die Knicklast des Rahmenstabes, P_1 die nach der Tetmayer-Formel gerechnete Knicklast des Einzelstabes und h_0 den Schwerpunktsabstand der Einzelstäbe bezeichnet, stimmt mit Formel 13) völlig überein.

Dr. R. Saliger, „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines“, 1912, Nr. 1.

Es bezeichnet darin

s_k die zulässige Knickbeanspruchung des Rahmenstabes,

η den Abminderungskoeffizienten entsprechend dem Längenverhältnis $\frac{l}{i}$ des Gesamtstabes,

η_1 den Abminderungskoeffizienten entsprechend dem Längenverhältnis $\frac{c}{i_1}$ des Einzelstabes.

Für obige Formel läßt sich folgende kurze Herleitung geben. Die Knickfestigkeit des Einzelstabes ist $\sigma_{k_1} = \eta_1 \sigma_d$, jene des Gesamtstabes, als Vollstab gerechnet, wäre $\sigma_{k_0} = \eta \sigma_d$. Letztere nimmt nach der Tetmajer-Formel (für $\frac{l}{i} = 0$) den Höchstwert $\sigma_0 = 3100$ an, für den Rahmenstab darf dieselbe aber den Knickfestigkeitswert des Einzelstabes σ_{k_1} nicht überschreiten. Der Rahmenstab verhält sich sonach zu dem Vollstabe so, als ob dessen Materialfestigkeit von σ_0 auf σ_{k_1} herabgesetzt wäre, demnach kann auch seine Knickfestigkeit als im gleichen Verhältnis reduziert angenommen werden, d. i.

$$\sigma_k = \sigma_{k_0} \frac{\sigma_{k_1}}{\sigma_0} = \eta \eta_1 \frac{\sigma_d}{\sigma_0} \sigma_d.$$

Mit $\sigma_d = 3800$, $\sigma_0 = 3100$ ergibt sich $\sigma_k = 1.226 \eta \eta_1 \sigma_d$, was mit obiger Formel 13) übereinstimmt, wenn anstatt der Festigkeiten die zulässigen Spannungen gesetzt werden.

Bei der Bestimmung von η_1 ist es zulässig, für c nicht den Achsabstand der Querstege, sondern den Abstand der zunächst stehenden Nieten einzuführen.

Die Formel gibt, obwohl ihr nur ein mehr empirischer Charakter beizumessen ist, ziemlich gute Übereinstimmung mit Versuchswerten¹⁾, die allerdings bisher noch wenig umfassend sind. Ähnliches gilt auch für die Berechnungsweise nach Engesser (nach Gleichung 12), doch können erst weitere systematische Versuche mit Rahmenstäben verschiedener Konstruktion in die wichtige Frage ihrer richtigen Dimensionierung volle Klarheit bringen.

Die Querverbindungen werden durch die Querkräfte beansprucht, die infolge der Ausbiegung des Stabes auftreten. Wir

¹⁾ Versuche mit Rahmenstäben wurden durchgeführt: Vom „Conservatoire national des arts et metiers“ in Paris 1908 (Krohn, „Zentralblatt der Bauverwaltung“, 1908); von Dr. F. v. Emperger („Beton und Eisen“, 1908, Heft 3 bis 6); in Phönixville, Amerika, 1910, anlässlich des Neubaues der Quebecbrücke („Der Eisenbau“, 1911, Seite 309); von der Gutehoffnungshütte mit Druckstäben aus Nickelstahl („Stahl und Eisen“, 1911, Seite 189).

rechnen diese Querkräfte für die Knicklast, können dann aber die Querverbindungen für eine Inanspruchnahme gleich der Streckgrenze (für Flußeisen 3000 kg/cm^2) dimensionieren. Ist die Ausbiegung, welche unter der Knicklast P eintritt, im Abstände x von der Stabmitte δ_x , so wirkt daselbst ein Moment $P\delta_x$ und eine Querkraft

$$Q = \frac{dM}{dx} = P \frac{d\delta_x}{dx}.$$

Nimmt man für die elastische Linie die Gleichung $\delta_x = \delta \cos \frac{\pi x}{l}$ an, worin δ die größte Ausbiegung in der Stabmitte ist, so wird $Q = \frac{\pi \delta}{l} \sin \frac{\pi x}{l} \cdot P$ und der Größtwert von Q bei $x = \frac{l}{2}$ wird $Q_{\max} = \frac{\pi \delta}{l} P$. Die Ausbiegung δ ruft eine Randdruckspannung hervor, welche für den Knickzustand gleich der reduzierten Materialfestigkeit des Rahmenstabes $\sigma_{k_1} = \eta_1 \sigma_d$ zu setzen ist und sich aus $\sigma_{k_1} = \frac{P}{F} + \frac{P\delta}{Wh}$ berechnet. Man hat sonach, wenn h die Breite des Stabes,

$$\sigma_k = \eta_1 \sigma_d = \frac{P}{F} \left(1 + \frac{\delta}{i^2} \frac{h}{2} \right)$$

und daraus

$$\delta = \left(\frac{\eta_1 F \sigma_d}{P} - 1 \right) \frac{2 i^2}{h}$$

womit sich ergibt

$$Q_{\max} = \frac{2 \pi i^2}{h l} (\eta_1 F \sigma_d - P).$$

Setzt man hierin nach dem obigen $P = \frac{\sigma_d}{\sigma_0} \eta_1 F \sigma_d$, so wird

$$Q_{\max} = \frac{2 \pi i^2}{h l} \eta_1 F \sigma_d \left(1 - \frac{\sigma_d}{\sigma_0} \eta \right)$$

oder mit der Tetmajerschen Knickziffer

$$1 - \frac{\sigma_d}{\sigma_0} \eta = 0.003678 \frac{l}{i}$$

$$Q_{\max} = 0.007356 \pi \sigma_d \frac{i}{h} \eta_1 F = 87.80 \frac{i}{h} \eta_1 F \dots \dots 14)$$

Rechnet man mit dem Größtwert von $\eta_1 = 0.816$ und setzt man näherungsweise $i = \frac{1}{2} h$, so gibt obige Gleichung

$$Q_{\max} = 35.8 F kg \text{ oder } \frac{F}{28} \text{ Tonnen}^1).$$

Gegen die Stabmitte nimmt die Querkraft ab; wir wollen sie aber zur Sicherheit gleich groß annehmen, die Querverbindungen durchwegs gleichmachen und nach dieser größten Querkraft dimensionieren.

Besteht die Verbindung aus Querblechen im Abstände c (Abb. 23), so entfällt auf ein Querblech die Scherkraft $T = Q \frac{c}{h_1}$ und ein Biegemoment im Nietanschlußquerschnitt $= T h_1$, womit sich die notwendigen Abmessungen der Bleche und der Nietanschlüsse ergeben. Wird die Verbindung durch Gitterwerk hergestellt (Abb. 24),

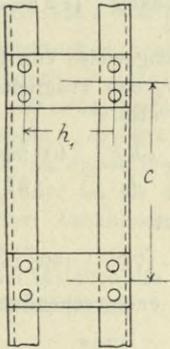


Abb. 23.

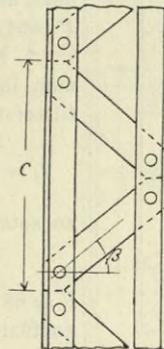


Abb. 24.

so sind die Querschnitte der Gitterstäbe aus $Q \sec \beta$ mit Rücksicht auf Knicksicherheit zu bemessen.

1. Beispiel. Es ist die zulässige Belastung eines Druckstabes mit den in Abb. 25 dargestellten Abmessungen zu berechnen. Die freie Knicklänge für

die Ausbiegung \perp zur Achse AA sei 650 cm

„ „ \perp „ „ BB „ 455 cm.

Es ist die Querschnittsfläche $F = 90.4 \text{ cm}^2$

das Trägheitsmoment auf die Achse AA

$$J = 15.607 \text{ cm}^4$$

sohin

$$i = 13.14 \text{ cm}$$

das Längenverhältnis des Vollstabes $\lambda = \frac{650}{13.14} = 49.5$.

¹⁾ Dieser Wert wird von Krohn angegeben. Er ist etwas zu groß, was aber im Interesse der sicheren Dimensionierung der Querverbindungen nicht unerwünscht ist.

Diesem entspricht nach der Tabelle (S. 54) ein Abminderungskoeffizient

$$\eta = 0.667.$$

Für den Halbstab ist auf seine zu AA parallele Schwerachse bezogen

$$J_1 = 233.9, \text{ sohin } i_1 = 2.27 \text{ cm,}$$

bei dem Abstände $c = 40 \text{ cm}$ das Längenverhältnis daher

$$\eta_1 = \frac{40}{2 \cdot 2.27} = 17.6$$

und dementsprechend nach der Tabelle $\eta_1 = 0.763$.

Mit $s = 880 \text{ kg/cm}^2$ wäre sonach die zulässige Beanspruchung des Stabes nach Formel 13)

$$s_k = 1.226 \cdot 0.667 \cdot 0.763 \cdot 880 = 549 \text{ kg/cm}^2$$

und die aufzunehmende Druckkraft mit Berücksichtigung der halben Nietschwächung ($2.2 \text{ cm} \cdot 2.4 \text{ cm} = 5.3 \text{ cm}^2$)
 $P = 549 \cdot 85.1 = 46.720 \text{ kg}$.

Nach der Berechnungsweise von Engesser hätte man in Formel 12) für J_2 das Trägheitsmoment zweier Gitterstäbe ($70 \times 10 \text{ mm}$), also

$$J_2 = \frac{1}{6} 7^3 = 57.2 \text{ und } \frac{c h F}{J_2} = \frac{40 \cdot 30 \cdot 90.4}{57.2} = 1896$$

zu setzen, erhalte sonach

$$\lambda'^2 = 49.5^2 + 17.6^2 + 1896 = 4656$$

$\lambda' = 68.2$ und dafür den entsprechenden Abminderungskoeffizienten $\eta' = 0.611$.

Mit dem Beiwerte 0.95 würde sonach die aufzunehmende Druckkraft

$$P = 0.95 \cdot 0.611 \cdot 880 \cdot 85.1 \text{ cm}^2 = 44.070 \text{ kg}$$

was mit dem oben berechneten Werte ziemlich übereinstimmt.

Untersucht man noch die Steifigkeit \perp zur Achse BB , so ergibt sich: Trägheitsmoment $J_B = 3168$, sonach $i = 5.92 \text{ cm}$. Knicklänge $l = 455$, daher

$\frac{l}{i} = 76.8$, wofür der Abminderungskoeffizient $\eta = 0.586$ ist. Damit ergäbe sich die zulässige Belastung $P' = 0.586 \cdot 880 \cdot 85.1 = 43.884 \text{ kg}$, sonach kleiner als P , es kommt daher das Ausknicken nach der Achse BB' in Frage.

2. Beispiel. Der in Abb. 26 dargestellte Druckstab habe nach beiden Achsenrichtungen eine freie Knicklänge $l = 600 \text{ cm}$. Auf die Achse AA bezogen ist

$$J = 28583,$$

daher bei der Querschnittsfläche $F = 131 \text{ cm}^2$

$$i = 14.77 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{600}{14.77} = 40.6,$$

wofür

$$\eta = 0.694.$$

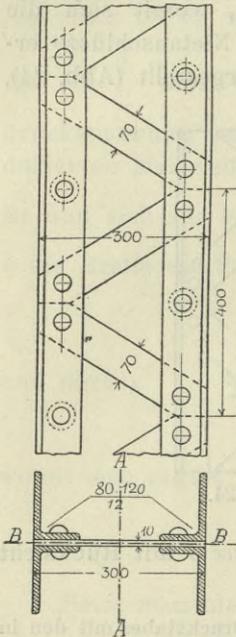


Abb. 25.

Der Halbstab gibt auf seine zu AA parallele Schwerachse

$$J_1 = 34845,$$

$$i_1 = 2303 \text{ cm}$$

und bei einem Abstände der Querbleche $c = 50 \text{ cm}$

$$\lambda_1 = \frac{50}{2303} = 21.7,$$

wofür

$$\eta_1 = 0.751.$$

Mit $s = 880 \text{ kg/cm}^2$ wird sonach die zulässige Knickspannung nach Formel 13)

$$s_k = 1.226 \cdot 0.694 \cdot 0.751 \cdot 880 = 563 \text{ kg/cm}^2.$$

Der nutzbare Querschnitt ist mit Abzug zweier Nietlöcher 122.2 cm^2 , sohin die zulässige Belastung der Strebe

$$P = 563 \cdot 122.2 = 68790 \text{ kg}.$$

Für das Ausknicken senkrecht zur Achse BB ist zu rechnen: $J = 16123$, $i = 11.09 \text{ cm}$, daher $\lambda = 600 : 11.09 = 54$; hierfür ist nach der Tabelle $\eta = 0.654$, sohin $s_k = 0.654 \cdot 880 = 577 \text{ kg/cm}^2$. Es kommt sonach, da dieser Wert der zulässigen Knickspannung größer ist als der der oben berechnete, nur das Ausknicken senkrecht zur Achse AA in Frage.

Nach Formel 14) wird die größte Querkraft im Moment des Ausknickens

$$Q = 87.82 \cdot 0.751 \cdot \frac{14.77}{43} 131 = 2976 \text{ kg},$$

demnach die auf ein Querblech entfallende Schubkraft

$$T = \frac{1}{2} Q \frac{c}{h_1} = \frac{1}{2} 2976 \cdot \frac{50}{35} = 2126 \text{ kg}.$$

Auf eine der beiden im Abstände $a = 9 \text{ cm}$ stehenden Anschlußnieten kommt eine Kraft

$$N = \frac{1}{2} T \frac{h_1}{a} = 4133 \text{ kg},$$

was bei 20 mm Nietdurchmesser eine Scherbeanspruchung von 1320 kg/cm^2 und einen Lochleibungsdruck von 2067 kg/cm^2 ergäbe. Diese Zahlen liegen unter den Festigkeitsziffern, die Abmessungen der Querbleche sind demnach ausreichend.

Druckstäbe mit veränderlichem, von den Enden gegen die Stabmitte zunehmenden Trägheitsmomente können angenähert mit Einführung eines Trägheitsmomentes J berechnet werden, das sich aus $J_{\text{mittel}} + \frac{1}{20} J_{\text{max}}$ bestimmt. J_{mittel} erhält man, wenn man die Kurve der über der Stablängsachse aufgetragenen Trägheits-

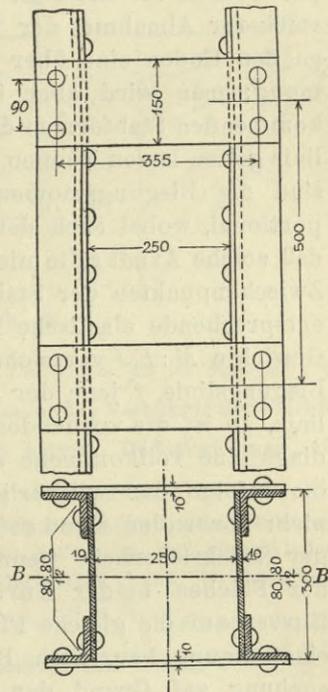


Abb. 26.

momente in ein flächengleiches Rechteck verwandelt. Besteht der Stab aus zwei an den Enden aneinanderliegenden, in der Stabmitte auseinandergebogenen Formeisen, so kann für J' das Trägheitsmoment im Viertel der Stablänge gesetzt werden.

Allgemeiner und exakter ist nachstehender Berechnungsvorgang (nach Vianello¹⁾ und Engesser²⁾: Man nimmt nach Gutdünken eine (verzerrt gezeichnete) Kurve als Linie der Ausbiegung des Stabes an. Es ist diesbezüglich zu beachten, daß sich ein Stab von konstantem Trägheitsmomente nach einer Sinuslinie, ein Stab, dessen Querschnitts-Trägheitsmoment von der Stabmitte gegen die Enden parabolisch bis auf Null abnimmt, nach einer Parabel ausbiegt. Bei stärkerer Abnahme der Trägheitsmomente erhält die Biegungslinie an den Enden eine über die Parabel hinausliegende stärkere Krümmung; man wird aber im allgemeinen bei den hier in Betracht kommenden Stabformen die Parabel als erste Annahme der Biegungslinie gelten lassen können. Für die in der Stabachse wirkenden Kräfte sind die Biegemomente den Ordinaten der Biegungslinie proportional, wobei auch der allgemeinere Fall behandelt werden kann, daß solche Axialkräfte nicht nur an den Stabenden, sondern auch an Zwischenpunkten der Stabachse angreifen. Die diesen Momenten M entsprechende elastische Linie läßt sich aber als Seilkurve für die Gewichte $M: EJ$ verzeichnen. Ist f_0 die Pfeilhöhe der angenommenen Biegungslinie, f jene der aus den Momenten konstruierten Biegungslinie, so ist die vorhandene Knicksicherheit $n = f_0 : f$. Dabei ist allerdings eine vollkommene Affinität der beiden Kurven vorausgesetzt, die infolge der willkürlichen Annahme der ersten Biegungslinie nicht vorhanden sein kann. Man erhält einen etwas richtigeren Wert der Knicksicherheit, wenn für das Verhältnis der Pfeilhöhen jenes der Flächen beider Kurven gesetzt wird. Reduziert man beide Kurven auf die gleiche Pfeilhöhe, so läßt sich der Grad ihrer Übereinstimmung beurteilen. Bei größerer Abweichung wäre die Untersuchung auf Grund der ermittelten Biegungslinie zu wiederholen, doch wird dies meist entbehrlich sein.

Beispiel. Es ist die Tragkraft des in Abb. 27 dargestellten Stabes zu ermitteln. Länge 8 m, gelenkige Lagerung der Enden. Trägheitsmomente in den Querschnitten

	0	1	2	3	4
$J = 13.029$		11.513	7.536	2.897	1.184
$\frac{J_0}{J} =$	1	1.132	1.729	4.50	11.00

¹⁾ Vianello, Der Eisenbau, 1905.

²⁾ Engesser, Über Knickfestigkeit von Stäben veränderlichen Trägheitsmomentes. „Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines“, 1909.

Wir nehmen als Biegelinie eine Parabel an mit der Pfeilhöhe $f_0 = 1\text{ m}$ und ermitteln die Ordinaten der Belastungsfläche aus $y \frac{J_0}{J}$ (Abb. 28). Für diese Belastungsfläche wurde mit einer Polweite $p = 5\text{ m}^2$ die Seilkurve gezeichnet.

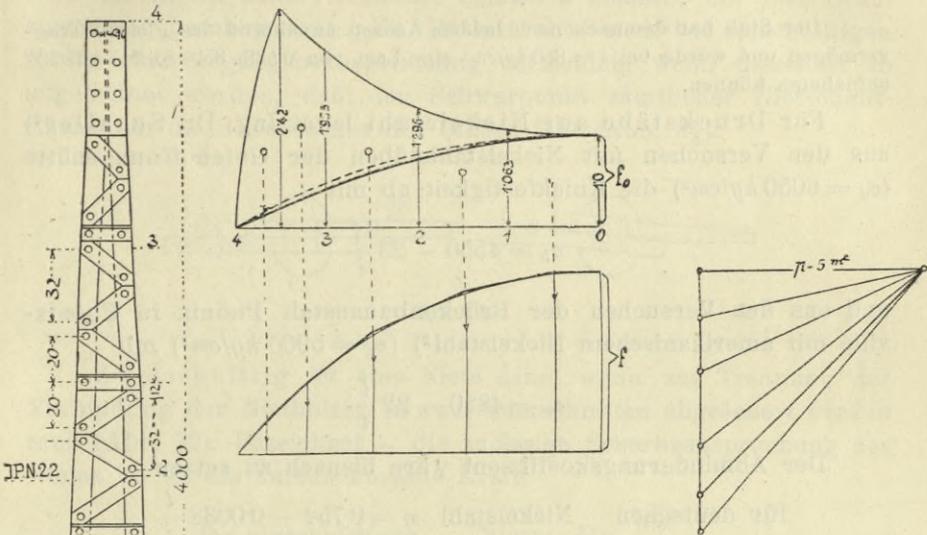


Abb. 28.

Ihre Pfeilhöhe ergibt sich mit $f = 1.99\text{ m}$. Es ist sonach $\frac{f_0}{f} = \frac{1}{1.99} = 0.502$, wofür wir aber besser das Verhältnis der Flächen beider Kurven $\frac{5.333}{11.00} = 0.485$ setzen. Reduziert man die

Pfeilhöhe der Seilkurve auf 1 m , so erkennt man die Abweichung von der ursprünglich parabolisch angenommenen Biegelinie, welche jedoch so gering ist, daß eine Wiederholung der Untersuchung unterbleiben kann. Es berechnet

sich sonach die Knicklast mit $P = \frac{E J_0 f_0}{p f}$ oder mit Einführung eines mittleren Trägheitsmomentes J' mit $P = \frac{\pi^2 E J'}{l^2}$.

Daraus folgt

$$J' = \frac{1}{\pi^2} \frac{l^2 f_0}{p f} J_0 = \frac{64}{9.87.5} \cdot 0.485 \cdot J_0 = 0.628 J_0 = 8182$$

also nur um weniges größer als das Trägheitsmoment J_2 im Viertel der Stablänge. Mit $F = 81.28\text{ cm}^2$ folgt $i = \sqrt{\frac{J'}{F}} = 10.03$, daher $\frac{l}{i} = \frac{800}{10} = 80$ wofür der Abminderungskoeffizient $\eta =$

0.576 . Für das einzelne [-Eisen ist $J = 245.7$, $i = 2.46$, die freie Knicklänge rund 40 cm , daher $\frac{l}{i} = 15$, wofür $\eta_1 = 0.771$. Es beträgt sonach die zulässige Beanspruchung des Rahmenstabes nach Gleichung 13)

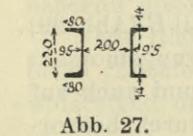


Abb. 27.

$$s_k = 1.226 \eta \eta_1 s = 1.226 \cdot 0.576 \cdot 0.771 \cdot s = 0.544 s.$$

Nach der zweiten Achse ist $i = 8.5$, daher $\frac{l}{i} = \frac{800}{8.5} = 94$, wofür $\eta = 0.538$,
sohin $s_k = 0.538 s$.

Der Stab hat demnach nach beiden Achsen annähernd das gleiche Tragvermögen und würde bei $s = 850 \text{ kg/cm}^2$ eine Last von $0.538 \cdot 850 \cdot 81.28 = 37.12 t$ aufnehmen können.

Für Druckstäbe aus Nickelstahl leitet Ing. Dr. Schaller¹⁾ aus den Versuchen mit Nickelstahlstäben der Gutehoffnungshütte ($\sigma_d = 6050 \text{ kg/cm}^2$) die Knickfestigkeit ab mit

$$\sigma_k = 4550 - 23 \frac{l}{i}$$

und aus den Versuchen der Brückenbauanstalt Phönix in Phönixville mit amerikanischem Nickelstahl²⁾ ($\sigma_d = 5900 \text{ kg/cm}^2$) mit

$$\sigma_k = 4820 - 22 \frac{l}{i}.$$

Der Abminderungskoeffizient wäre hienach zu setzen

$$\text{für deutschen Nickelstahl } \eta = 0.752 - 0.0038 \frac{l}{i}$$

$$\text{„ amerikanischen „ } \eta = 0.816 - 0.0037 \frac{l}{i}.$$

Die Knickfestigkeit von Rahmenstäben aus deutschem Nickelstahl wäre dementsprechend nach der Formel

$$\sigma_k = 1.33 \eta \eta_1 \sigma_d$$

zu berechnen.

III. Kapitel. Nietverbindungen, genietet Stäbe und Blechträger.

§ 9. Nietverbindungen und Stabanschlüsse.

Bei einseitigem Anschlusse eines Stabes *A* an den Teil *B* (Abb. 29) durch sogenannte einschnittige Nieten tritt ein Biegemoment auf, welches die verbundenen Teile abzubiegen sucht und auch auf die Haltkraft der Nieten ungünstig wirkt, da der dadurch hervorgerufene Druck auf die Nietköpfe eine Lockerung der Nieten herbei-

¹⁾ „Eisenbau“, 1912, Nr. 5.

²⁾ Homann, Druckversuche an ganzen Probestäben aus Nickelstahl für die neue Quebec-Brücke, „Zentralblatt der Bauverwaltung“, 1911, Nr. 14.

führen kann. Mit der größeren Dicke der vernieteten Teile oder bei einer sie trennenden Zwischenplatte (Abb. 30), also überhaupt mit der Länge des Nietbolzens nimmt diese Wirkung zu; man wird die Zahl der Nieten dann reichlicher bemessen müssen, um ihre Beanspruchung herabzusetzen. Es läßt sich aber auch bei einschnittigen Nieten eine Biegungsbeanspruchung vermeiden, wenn dieselben so angeordnet werden, daß der Schwerpunkt sämtlicher Nietenflächen in die Schwerachse des Stabes fällt (Abb. 31).

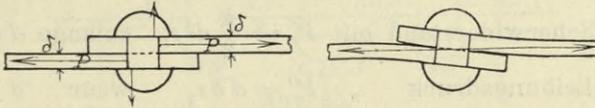


Abb. 29.

Zweischnittig ist eine Niete dann, wenn zur Trennung der Verbindung der Nietbolzen in zwei Querschnitten abgeschert werden muß (Abb. 32). Bezeichnet s_1 die zulässige Scherbeanspruchung des Niertes, so ist die aufzunehmende Kraft

$$\begin{aligned} \text{des einschnittigen Niertes} \quad P &= \frac{\pi d^2}{4} s_1 \\ \text{„ doppelschnittigen „} \quad P &= \frac{\pi d^2}{2} s_1 \end{aligned}$$

Letztere Gleichung gilt allerdings mit der Einschränkung, daß

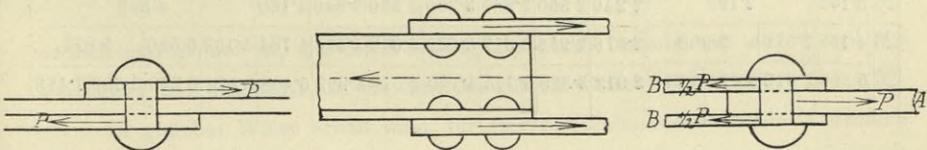


Abb. 30.

Abb. 31.

Abb. 32.

beide Teile des Stabes B den gleichen Widerstand leisten, also annähernd gleich stark sind.

Mit Rücksicht auf die zulässige Druckbeanspruchung s_2 im Nietloche (Lochleibungsdruck) muß aber auch $P \leq d \delta s_2$ sein; der Scherwiderstand der Nieten kommt sonach nur zur Ausnützung, wenn

$$\begin{aligned} \text{bei einschnittigen Nieten} \quad \frac{d}{\delta} &\leq \frac{4}{\pi} \frac{s_2}{s_1} \\ \text{„ zweischchnittigen „} \quad \frac{d}{\delta} &\leq \frac{2}{\pi} \frac{s_2}{s_1} \end{aligned}$$

Mit $s_1 = 700 \text{ kg/cm}^2$, $s_2 = 1600 \text{ kg/cm}^2$ ergibt sich hiernach, daß die Tragkraft der Niete zu rechnen ist:

einschnittig

aus dem Scherwiderstand mit $P' = \frac{\pi}{4} d^2 s_1$ solange $d < 2.91 \delta$

„ „ Leibungsdruck „ $P'' = d \delta s_2$ wenn $d > 2.91 \delta$

doppelschnittig

aus dem Scherwiderstand mit $P' = \frac{\pi}{2} d^2 s_1$ solange $d < 1.46 \delta$

„ „ Leibungsdruck „ $P'' = d \delta s_2$ wenn $d > 1.46 \delta$

In nachstehender Tabelle ist für die verschiedenen Nietdurchmesser d und Blechstärken δ die Tragkraft eines Nietes mit $s_1 = 700 \text{ kg/cm}^2$ und $s_2 = 1600 \text{ kg/cm}^2$ berechnet.

Tragkraft P einer Niete in Tonnen.

d	f cm^2	einschnittig			doppelschnittig												
		$\delta=7$	8	≥ 9	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	≥ 18		
12	1.131	0.792			1.344	1.536	1.583										
16	2.011	1.407			1.792	2.048	2.304	2.560	2.815								
18	2.545	1.781			2.016	2.304	2.592	2.880	3.168	3.456	3.563						
20	3.142	2.199			2.240	2.560	2.880	3.200	3.520	3.840	4.160	4.399					
23	4.155	2.576	2.908		2.576	2.944	3.312	3.680	4.048	4.416	4.784	5.152	5.520	5.817			
26	5.309	2.912	3.328	3.716	2.912	3.328	3.744	4.160	4.576	4.992	5.408	5.824	6.240	6.656	7.433		

Ist S die von den Niete aufzunehmende Stabkraft und P die aus obiger Tabelle folgende Tragkraft eines Nietes, so ist unter Annahme gleichmäßiger Verteilung der Kraft auf sämtliche Niete, deren Anzahl aus

$$n = \frac{S}{P} \dots \dots \dots 15)$$

zu bestimmen. Die Annahme der gleichen Kraftverteilung ist aber im allgemeinen nicht begründet und bei mehreren, in der Kraft- richtung hintereinander stehenden Niete (Abb. 33) auch gewiß nicht erfüllt. Denken wir uns die Nietbolzen als vollkommen starr, so werden überhaupt nur die äußersten Nietreihen allein tragen und die dazwischen liegenden Niete keine Kraft aufnehmen. Infolge

der Formänderung der Nieten tritt allerdings ein teilweiser Ausgleich ein.

Es sei (Abb. 33) bei drei Nietreihen αS der auf die äußeren Reihen entfallende Kraftanteil, dann kommt auf die mittlere Nietreihe $(1-2\alpha) S$. In dem oberen Stab wirkt zwischen der Nietreihe I und II die Kraft $(1-\alpha) S$, in dem unteren Stab die Kraft αS . Diese Kräfte verursachen Längenänderungen, die bei gleichem Querschnitte der beiden Stäbe im Verhältnis der Kräfte stehen und gleich $k(1-\alpha) S$, beziehungsweise $k \cdot \alpha S$ gesetzt werden können. Aber auch die

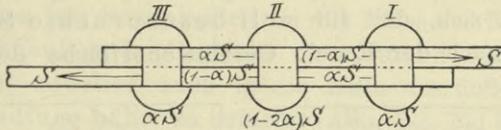


Abb. 33.

Nieten werden Verschiebungen erfahren, die den auf sie einwirkenden Kräften proportional sind, also $k_1 \alpha S$, beziehungsweise $k_1 (1-2\alpha) S$. Der Unterschied in der Verschiebung der Nieten muß dem Unterschied in den Längenänderungen der Stabteile I II entsprechen, daher $k(1-\alpha) S - k \alpha S = k_1 \alpha S - k_1 (1-2\alpha) S$, woraus sich ergibt

$$\alpha = \frac{k + k_1}{2k + 3k_1}.$$

Für $k_1 = k$ würde $\alpha = \frac{2}{5}$, die Nietkräfte werden sonach $\frac{2}{5} S$, $\frac{1}{5} S$, $\frac{2}{5} S$.

Nur für $k_1 = \infty$ oder $k = 0$, d. h. wenn die Verschiebung der Nieten un-

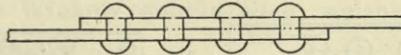


Abb. 34.

endlich mal größer ist, als die Dehnung der Stäbe, würde mit $\alpha = \frac{1}{3}$ gleiche Verteilung der Stabkraft auf die drei Nietreihen eintreten.

In gleicher Weise erhält man für vier hintereinanderstehende Nietreihen (Abb. 34)

$$\alpha = \frac{2k + k_1}{4(k + k_1)}$$

demnach für $k = k_1$ $\alpha = \frac{3}{8}$; es hätte sonach die erste Nietreihe die Kraft $\frac{3}{8} S$, die zweite bloß $\frac{1}{8} S$ aufzunehmen.

Die Ungleichmäßigkeit in der Beanspruchung der Nieten ist um so größer, je mehr Nietreihen hintereinander stehen. Man soll daher tunlichst die Regel beobachten, zur Festhaltung eines Stabes nicht mehr als fünf Nietreihen hintereinander anzuordnen, besonders wenn die Nieten nicht versetzt werden.

Die Kraftverteilung in den Nietverbindungen ist durch Versuche

noch nicht hinreichend klargelegt¹⁾. Wie aber die Erfahrung lehrt, ist es praktisch zulässig, die Nietverbindungen unter der Annahme gleicher Kraftverteilung zu berechnen, nur wird es sich empfehlen, die darnach (nach Formel 15) bestimmte Nietzahl bei wichtigen Stabanschlüssen um etliche Nieten bis zu etwa 10% zu vergrößern.

Da die Scherfestigkeit der Nieten zu etwa $\frac{4}{5}$ der Zugfestigkeit des Flußeisens, demnach auch die zulässige Scherbeanspruchung in gleichem Verhältnis der Zugbeanspruchung angenommen werden kann, so ergibt sich, daß für voll beanspruchte Stäbe der Nietanschluß auch nach der Regel: Gesamtscherfläche der Nieten = $\frac{5}{4}$

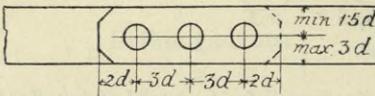


Abb. 35.

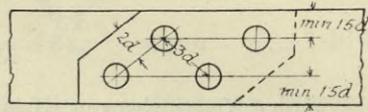


Abb. 36.

Nutzquerschnitt des Stabes bemessen werden kann. Voraussetzung dabei ist, daß der Leibungsdruck nicht in Frage kommt, daß also der Nietdurchmesser bei einschnittigen Nieten kleiner als die rund 3fache, bei doppelschnittigen Nieten kleiner als die rund 1,5fache Stabdicke ist.

Die Nieten erhalten bei dem Durchmesser d einen Mindestabstand von $3d$, im Notfalle von $2\frac{1}{2}d$. Die zur Endbefestigung

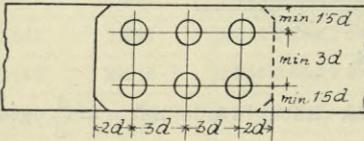


Abb. 37.

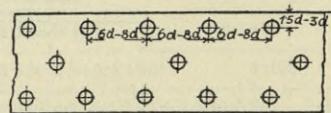


Abb. 38.

eines Stabes dienenden Kraftnieten werden in der Regel mit dem Abstände von 3 bis $4d$ ausgeteilt, um die Anschlußstelle möglichst kurz zu bekommen. Der Abstand vom Blechrande soll in der Krafrichtung nicht unter $2d$, senkrecht zur Krafrichtung nicht unter $1,5d$ betragen. Der Randabstand soll aber auch nicht größer als $3d$ sein, wenn man einen dichten Randschluß erzielen will. Stäbe, deren Breite größer als 5 bis $6d$ ist, haben daher versetzte oder mehrreihige Nieten zu erhalten (Abb. 36, 37).

¹⁾ Theoretische Untersuchungen hierüber liefert Ing. Arnovlevic: Kraftverteilung in genieteten Stäben. „Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst“, 1908. Inanspruchnahme der Anschlußnieten elastischer Stäbe. „Zeitschrift für Architektur und Ingenieure“, 1909. Hannover.

Heftnieten erhalten in Druckgliedern einen Abstand von 6 bis $8 d$, bei gezogenen Stäben von 10 bis $12 d$. Man kann diesen Abstand auch von der Blechstärke δ abhängig machen und für Druckstäbe etwa 12 bis 15δ , für Zugstäbe 20δ annehmen; bei steifen Profilen auch noch um die Hälfte bis aufs Doppelte größer. Es brauchen auch nur die Nieten der Randreihen zur Erzielung eines dichten Fugenschlusses so nahe gesetzt zu werden, die Nieten der mittleren Reihen können weitere Abstände erhalten (Abb. 38).

Winkelleisen mit Schenkelbreiten bis 120 mm erhalten eine Nietreihe, die gewöhnlich in die Mitte des inneren Schenkels gesetzt wird (Abb. 39), zuweilen auch in die Mitte des äußeren Schenkels, um sie der Randfuge näher zu bringen (Abb. 40). Bei Schenkelbreiten über 120 mm werden in zwei Reihen versetzte Nieten angeordnet (Abb. 41). Ihr Abstand vom Rande, sowie von der inneren Schenkelfläche soll nicht unter $1\frac{1}{2} d$ sein. In der Praxis sind gewisse Streich-

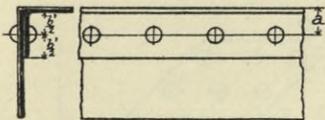


Abb. 39.

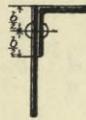


Abb. 40.

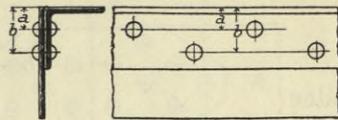


Abb. 41.

maße oder Wurzelmaße, das sind Abstände der Nietreihen vom äußeren Scheitelpunkte des Winkels gebräuchlich, welche in nachstehender Tabelle angegeben sind.

	Schenkelbreite													
	60	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	
Größter Nietdurchmesser . .	16	20	20	23	23	23	26	26	26	26	26	26	26	
Streichmaß {	a	33	35	40	43	45	50	55	60	45	50	50	60	60
	b	—	—	—	—	—	—	—	—	80	90	100	110	115

Bei der Austeilung der Kraftnieten, die zur Befestigung eines Stabes dienen, sind folgende Regeln zu beachten:

1. Man gruppriere die Nieten so, daß ihr Schwerpunkt möglichst in die Schwerachse des Stabes fällt. Dies wird erreicht, wenn sie symmetrisch oder wenigstens in gleicher Zahl zu beiden Seiten der Stabachse angeordnet werden. Eine Abweichung von dieser Regel würde eine ungleiche Spannungsverteilung im Querschnitt des Stabes zur Folge haben.

2. Es ist unzweckmäßig, in der Kraftrichtung mehr als 5 Nieten hintereinander zu stellen.

3. Man stelle in die erste Reihe wenig Nieten, um die Schwächung des Stabes gering zu erhalten, vergrößere aber die Nietzahl in den folgenden Reihen nur um je einen Niet. Der Nutzquerschnitt eines Zugstabes ergibt sich dann aus dem Vollquerschnitt des Stabes mit Abzug der in der ersten Reihe liegenden Nietlöcher.

Ist S die Stabkraft, welche wir über n Nieten gleichmäßig verteilt denken, so daß ein Niet die Kraft $P = \frac{1}{n} S$ aufnimmt, ist ferner n_1 die Zahl der Nieten in der ersten Reihe, n_2 jene der zweiten Reihe (Abb. 42), so wird die Spannung

$$\begin{array}{l} \text{im Querschnitt I} \dots S : (b - n_1 d) \delta \\ \text{'' '' II} \dots (S - n_1 P) : (b - n_2 d) \delta \end{array}$$

und es muß, um I als nutzbaren Querschnitt annehmen zu können,

$$\frac{S}{b - n_1 d} > \frac{S - n_1 P}{b - n_2 d}$$

oder

$$n_2 - n_1 < \frac{n_1}{n} \left(\frac{b}{d} - n_1 \right)$$

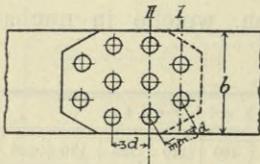


Abb. 42.

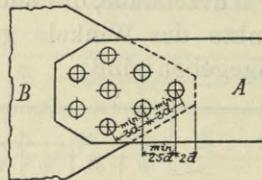


Abb. 43.

sein. Für $n_2 - n_1 = 1$ ist diese Ungleichung in allen praktischen Fällen erfüllt, und es ist dann der Nutzquerschnitt des Stabes aus seiner vollen Breite mit Abzug der in der ersten Reihe stehenden Nietlöcher zu berechnen. Die geringste Schwächung erhält man, wenn in die erste Reihe nur ein Niet gesetzt wird (Abb. 43), was zur Erzielung zweckmäßiger Gruppierung auch veranlassen kann, einen oder zwei Nieten zuzugeben. Hat der Teil B, an den der Stab A anschließt, in der letzten Nietreihe einen größeren Querschnitt als A, so kann er auch eine größere Schwächung erleiden, es können sonach auch mehr Nieten in diese Reihe gesetzt werden.

Natürlich darf aber ein durch die erste Nietreihe gelegter schiefer Schnitt keine kleinere nutzbare Querschnittsfläche ergeben,

als der normal zur Stabachse geführte Schnitt, was insbesondere bei Anschlüssen nach Art der Abb. 44 zu berücksichtigen kommt.

Wie bereits bemerkt wurde, ist eine gleichmäßige Verteilung der Stabkraft über sämtliche Befestigungsnieten in Wirklichkeit nicht zu erreichen; die Endnieten werden immer stärker beansprucht, als die mittleren Nieten. Man erzielt aber eine gleichmäßigere Beanspruchung, wenn der Querschnitt des Stabendes nach Maßgabe seiner Festhaltung durch die Nieten verjüngt wird. Flachstäbe werden daher an ihren Enden abgeschrägt.

Liegen die zu verbindenden Teile bündig, so erfolgt der Anschluß durch beiderseitige Laschen (Abb. 45). Diese haben zusammen mindestens die gleiche Querschnittsfläche zu erhalten, wie der angeschlossene Stab *A*; in der Regel ist sie aber etwas größer, so daß im gefährlichen Querschnitt (II) der Lasche auch mehr Nieten stehen können als in jenem (I) des Stabes.

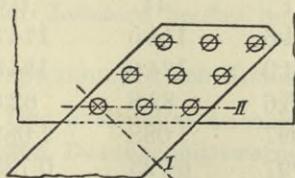


Abb. 44.

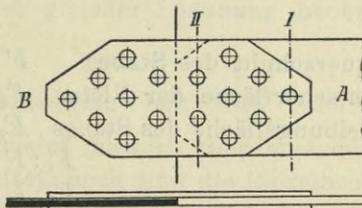


Abb. 45.

Neuestens ist man durch systematische, in entsprechend großem Maßstabe durchgeführte Versuche bemüht, die Frage der Festigkeit der Nietanschlüsse auf eine sicherere Erfahrungsbasis zu stellen und die dafür in Anwendung stehenden Regeln zu überprüfen. In dieser Beziehung sind die bereits oben (Seite 27) erwähnten, vom Verein der deutschen Brücken- und Eisenbaufabriken veranlaßten Versuche hervorzuheben, welche in der Materialprüfungsanstalt zu Groß-Lichterfelde durchgeführt wurden. Eine Serie dieser Versuche betraf die Feststellung des Einflusses verschiedener Anordnungen der Nietgruppen auf den Gleitwiderstand und die Festigkeit der Verbindung. Die Versuchsstücke waren Universaleisen von 500 mm Breite und 24 mm Dicke, deren Enden an doppelte, je 15 mm starke Laschen mit je 15 Nieten angeschlossen waren. Die Nieten waren (nach Abb. 46, 47 und 48) entweder rechteckig, dreieckig oder rautenförmig gruppiert. Bei der rechteckigen Nietgruppe wurden 21 mm starke Nieten, bei den beiden anderen Nietgruppen 23 mm starke Nieten verwendet. Für den Nutzquerschnitt des Universal eisens kamen bei der ersten Anordnung fünf Nietlöcher, bei den an-

deren nur ein Nietloch in Abzug. Bei den Laschen waren überall fünf Nietlöcher in Abzug zu bringen, sie waren jedoch überdimensioniert, so daß ihre Festigkeit nicht in Frage kam. Es betrug

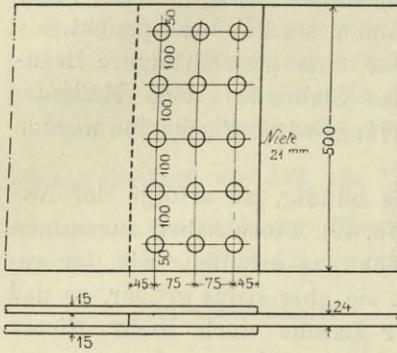


Abb. 46.

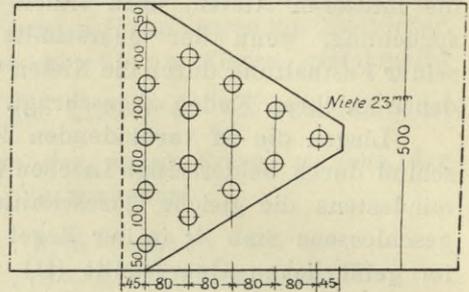


Abb. 47.

		I	II	III
Nutzquerschnitt des Stabes	F	94·8	114·5	114·5 cm^2
Gesamtscherfläche der Nieten	F_1	104·0	124·6	124·6 cm^2
Lochleibungsfläche des Stabes	F_2	75·6	82·8	82·8 cm^2
	$F_1 : F$	1·097	1·088	1·088 cm^2
	$F_2 : F$	0·797	0·723	0·723 cm^2

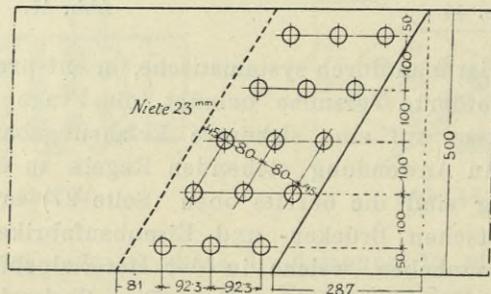


Abb. 48.

Es erscheint sonach die Regel $F_1 = \frac{5}{4} F$ hier nicht eingehalten und es war daher von vorneherein anzunehmen, daß sich die Festigkeit der Nieten geringer herausstellen mußte, als die Festigkeit des Stabes. Tatsächlich sind sämtliche neun Probestäbe durch Abscheren der Nieten zum Bruche gekommen, wobei Form und Art des Anschlusses keinen nennenswerten Einfluß auf die Festigkeit der Verbindung ergeben hat. Die Mittelwerte der aus der Bruchlast gerechneten Spannungen betragen bei

	I	II	III
Scherspannung der Niete	3000	2830	2930 kg/cm^2
Spannung im Stabe (Nutzquerschnitt) .	3280	3060	3190 kg/cm^2

Die Zerreißfestigkeit des Universaleisens wurde an daraus gefertigten Probestäben mit im Mittel $3620 kg/cm^2$ bei 35% Dehnung erhoben, womit die Tatsache, daß in den Stäben selbst kein Bruch

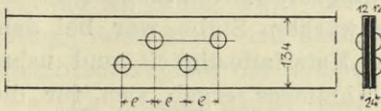


Abb. 49.

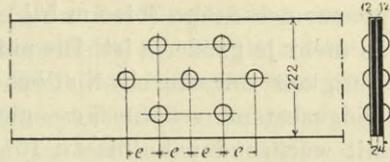


Abb. 50.

erfolgte, im Einklange steht. Auch der Gleitbeginn konnte bei allen drei Stabanschlüssen bei annähernd gleicher Spannung beobachtet werden. Letztere betrug im Mittel:

	I	II	III
Scherspannung in den Nieten bei Gleitbeginn .	620	523	593 kg/cm^2

Der dreieckige Anschluß erscheint hienach allerdings mit den kleinsten Durchschnittswerten behaftet, doch sind die Einzelbeobachtungen ziemlich weit auseinander liegend und zum Teile beträchtlich

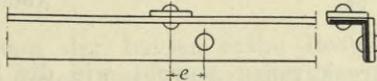


Abb. 51.

höher, so daß sich die Frage, ob der Dreiecksanschlu in der vorliegenden Anordnung tatsächlich einen etwas geringeren Widerstand gegen Gleiten bietet, danach mit Sicherheit nicht beantworten läßt.

Bei Zugstäben, welche aus mehreren durch Heftnieten verbundenen Teilen bestehen, bestimmt sich der nutzbare Querschnitt, falls nicht die Endbefestigung oder Stoßdeckung eine größere Schwächung bedingt, durch den Abzug der Nietlöcher in dem die meisten Nieten enthaltenden Querschnitte. Die darauf bezüglichen Versuche Professor Rudeloffs haben aber ergeben, daß der Abstand der versetzten Nieten auf die Zugfestigkeit der Flacheisen und Winkel-eisen nicht ohne Einfluß ist. Die geprüften Versuchsstäbe sind in ihrem mittleren Teile in den Abb. 49, 50, 51 dargestellt. Der Längs-abstand e der durchwegs $23 mm$ starken Nieten betrug bei den Stäben mit vier Nieten 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8 cm , bei jenen mit sieben Nieten

4, 5, 6, 7, 8 cm und die gleiche Verschiedenheit in den Längsabständen wurde auch den Nieten in den Winkeleisen gegeben. Es ergab sich, daß die Streckgrenze der Stäbe innerhalb des durch die eingezogenen Niete geschwächten Teiles (bis zu 10%) geringer ist als die Streckgrenze des Materiales, sofern der Längsabstand e der Nietmitten unter 6 cm beträgt. Wird derselbe aber größer als 6 cm gewählt, so steigt die auf den geschwächten Querschnitt bezogene Streckgrenze der Stäbe (bis um 5%) über die des Materiales und zwar um so mehr je größer e ist. Die auf den Nutzquerschnitt bezogene Bruchfestigkeit der durch Nietlöcher geschwächten Stäbe war bei dem Längsabstand $e = 5-6$ cm gleich der Materialfestigkeit und nahm mit wachsenden e (bis zu 15%) zu. Ähnliches ergab sich für die Winkelstäbe mit offenen oder mit durch Nietbolzen ausgefüllten

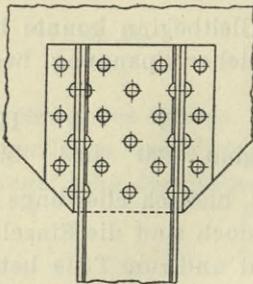


Abb. 52.

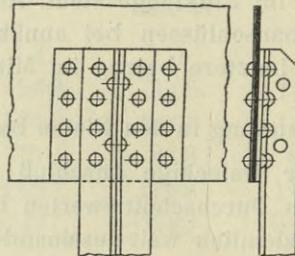


Abb. 53.

Nietlöchern. Die Streckgrenze sowohl wie die Bruchfestigkeit des Winkelstabes lag bei dem Längsabstand e der Lochmitten bis 5,5 cm unter, bei den größeren Längsabständen etwas über den gleichartigen Werten für das Material.

Man kann hieraus die Regel folgern, daß auch bei versetzten Nieten der Längsabstand der Lochmitten nicht unter $2\frac{1}{2}$ Nietdurchmesser oder unter der fünffachen Stabdicke gewählt werden soll.

Für Druckstäbe braucht die Nietschwächung nicht in Rücksicht gezogen zu werden, wenn eine volle Ausfüllung der Nietlöcher durch die Nietbolzen angenommen wird. Wie aber schon oben (Seite 58) bei Berechnung der Stäbe auf Knickung angegeben wurde, empfiehlt es sich, die Nietschwächung wenigstens teilweise, etwa mit der Hälfte, von dem tragenden Querschnitt in Abzug zu bringen. Die Regel, in die erste Reihe der Befestigungsnieten möglichst wenige zu stellen, ist hier nicht so unbedingt zu beobachten; von besonderer Wichtigkeit ist aber für Druckstäbe eine zur Stabachse symmetrische Gruppierung der Niete, um exzentrische Beanspruchungen zu vermeiden.

Winkel- oder [-Eisen mit voll ausgenütztem Querschnitt sollen womöglich mit beiden Flanschen angeschlossen werden, wozu Hilfswinkel dienen (Abb. 52), die mit soviel Nieten festzuhalten sind, als es die auf die Flansche entfallende Kraft erfordert.

Werden bei Zugstäben diese Hilfswinkel weggelassen und wird nur ein Flansch angenietet, so ist der abstehende Flansch nicht voll, sondern höchstens zur Hälfte in den nutzbaren Querschnitt des Stabes einzurechnen. Bei Druckstäben kommt für die Knickung zwar der volle Querschnitt in der Stabmitte in Frage, doch kann sich auch hier zur Erzielung besserer zentrischer Kraftübertragung die Anbringung solcher Anschlußwinkel empfehlen.

Es kommt häufig vor, daß die zu verbindenden Teile nicht unmittelbar aufeinander liegen, sondern einen Zwischenraum von einer Blechstärke haben, der durch ein Futterblech ausgefüllt wird. Wird in diesem Falle nicht das Futterblech durch besondere

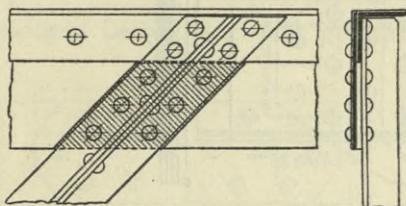


Abb. 54.

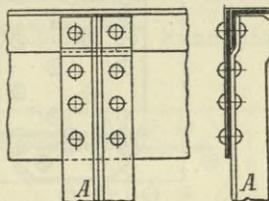


Abb. 55.

Vernietung an einem der beiden Stäbe festgehalten (Abb. 53), so müssen außer den durch das Futterblech gehenden Anschlußnieten noch genügend Nieten vorhanden sein, welche die beiden Stäbe direkt verbinden (Abb. 54), da sonst die Befestigungsnieten Biegungsspannungen aufzunehmen hätten. Futterbleche werden notwendig, wenn der Teil *B*, an den der Stab *A* anzuschließen ist, eine durch Bleche oder Winkeleisen abgesetzte Fläche hat. Wollte man sie ersparen, so müßte der Stab *A* abgebogen, gekröpft, werden (Abb. 55). Solche Kröpfungen sind in hellrot warmen Zustande durch Pressen oder unter dem Dampfhammer über einem entsprechenden Gesenke herzustellen. Die in der Nähe der Kröpfung stehenden Nieten werden aber immer ungünstig beansprucht und man wird bei gekröpften Eisen daher stets einen größeren Nietzuschlag geben. Bei Flacheisen hat das Kröpfen überhaupt keinen großen Wert, stärkere Formeisen erleiden dadurch leicht schädliche Spannungen und es ist im allgemeinen ratsam, Kröpfungen bei Stabanschlüssen nach Möglichkeit zu vermeiden.

Besteht der anzuschließende Stab aus mehreren übereinander

liegenden Blechen oder aus Blechen und Formeisen, so empfiehlt es sich, den Stab nicht in seiner ganzen Stärke bis ans Ende zu führen, da hierbei auf keine auch nur einigermaßen gleiche Verteilung der Kraft auf sämtliche Niete gerechnet werden könnte und diese wegen der großen Nietschaftlänge auch stark auf Biegung beansprucht würden. Man soll in diesem Falle den Stabquerschnitt womöglich absetzen und jeden Teil des Stabes durch die auf seinen Querschnitt entfallende Nietzahl festhalten.

Der in Abb. 56 dargestellte Zugstab hat bei 136.6 cm^2 voller, 118.1 cm^2 nutzbarer Fläche eine Kraft von 95 t aufzunehmen. Zu seiner Festhaltung sind $\frac{95}{3.716} = 26$ einschnittige Niete von 26 mm Durchmesser erforderlich. Hievon entfallen nach den Querschnittsflächen je 7 Niete auf die beiden Bleche

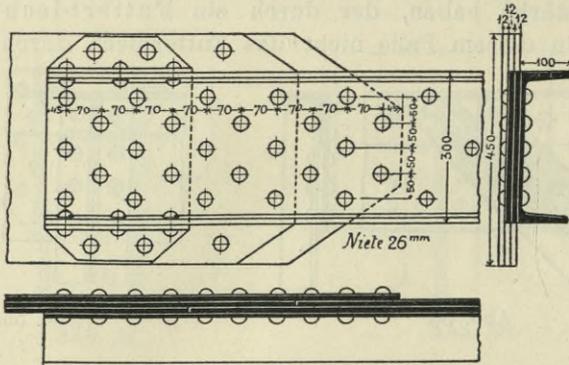


Abb. 56.

und 12 Niete auf das C-Eisen. Der Anschluß ist an drei 12 mm starke Bleche von 450 mm Breite, sonach bei Abzug von drei Nietlöchern von 133.9 cm^2 nutzbarer Fläche, durchgeführt.

§ 10. Stoßverbindungen.

Die Stoßverbindungen und Stoßdeckungen von Stäben und von den sie zusammensetzenden Blechen und Formeisen erfolgen in der Regel durch Flacheisen oder Blechlaschen, die womöglich zu beiden Seiten des gestoßenen Teiles anzubringen sind. Für die Stoßdeckung von Winkelleisen werden häufig auch Winkelleisenlaschen verwendet. Als Regel gilt die direkte Stoßdeckung, bei der die Lasche unmittelbar über dem gestoßenen Teile liegt, doch ist man häufig auch zur indirekten Stoßdeckung genötigt, wo die Decklasche von dem gestoßenen Bleche durch Zwischenplatten getrennt ist.

Die Stoßlaschen haben mindestens den gleichen nutzbaren Querschnitt zu erhalten, wie der gestoßene Stab.

Die einseitige Deckung (Abb. 57) ist ungünstig und nach Möglichkeit zu vermeiden, da durch die Verschiebung der Schwerachsen von Stab und Lasche ein Moment auftritt, welches die Lasche oder die Niete auf Biegung beansprucht. Sie läßt sich aber nicht umgehen, wenn das gestoßene Blech auf anderen durchgehenden Stabteilen aufliegt, wie dies bei den Gurtplatten der Blechträger und der Gurtungen der Fachwerksträger der Fall ist. Die Niete sind einschnittig, wogegen sie bei der beiderseitigen Verlaschung (Abb. 58) zweischnittig sind.

Die Nietanzahl rechnet sich aus der Stabkraft S und der Tragkraft P eines Nietes, welche letztere der Tabelle auf Seite 70 zu entnehmen ist, mit $n = \frac{S}{P}$.

Ist der Stab so hoch beansprucht, daß seine Spannung gleich $\frac{5}{4}$ der zulässigen Scherspannung der Niete oder der Hälfte des zulässigen Leibungsdruckes gesetzt werden kann, so kann die Zahl

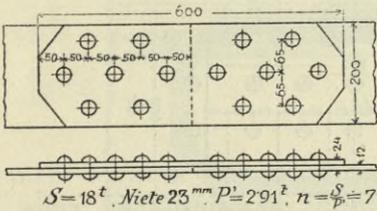


Abb. 57.

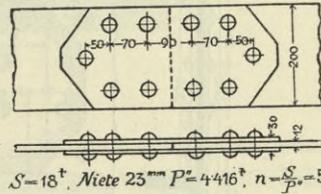


Abb. 58.

n der Niete auf einer Seite des Stoßes auch nach der Regel bestimmt werden:

Bei einschnittigen Niete: Summe der Nietquerschnitte gleich $\frac{5}{4}$ der nutzbaren Fläche F_n des gestoßenen Stabes

$$n f = \frac{5}{4} F_n, \dots \dots \dots 16)$$

bei zweischnittigen Niete, für welche der Leibungsdruck in Frage kommt, sobald der Nietdurchmesser $d > 1,46 \delta$ (wenn δ die Stärke des gestoßenen Bleches)

$$n = \frac{F_n}{2 d \delta} \dots \dots \dots 17)$$

Hinsichtlich der Gruppierung der Niete, der Nietabstände und der Verjüngung der Stab- und Laschenenden gilt das oben für die Nietverbände im allgemeinen Gesagte.

Es kann vorkommen, daß die beiden Laschen nicht gleiche Querschnittsfläche erhalten können. Ist F_1 die Fläche der einen, F_2 jene der anderen Lasche, S die Stabkraft, n die Zahl der durch beide Laschen hindurchgehenden zweischnittigen Niete, n_1 die Zahl der einschnittigen Niete in der Lasche I, n_2 jene in der Lasche II, bezeichnet ferner P'' die Tragkraft einer zweischnittigen, P' jene einer einschnittigen Niete, so dienen zur Berechnung der notwendigen Nietanzahl die Gleichungen

$$\frac{1}{2} P'' n + P' n_1 = \frac{F_1}{F_1 + F_2} S$$

$$\frac{1}{2} P'' n + P' n_2 = \frac{F_2}{F_1 + F_2} S.$$

In dem Beispiele der Abb. 59 hat die gestoßene Gurtplatte $600 \times 12 \text{ mm} = 72 \text{ cm}^2$. Die aufzunehmende Kraft ist $S = 61 \text{ t}$. Die Deckung erfolgt durch ein

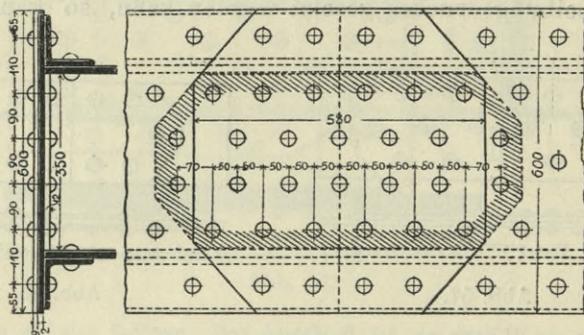


Abb. 59.

oberes Stoßblech von $600 \times 9 \text{ mm}$, mit $F_1 = 54 \text{ cm}^2$, und ein unteres Blech von $350 \times 12 \text{ mm}$ mit $F_2 = 42 \text{ cm}^2$. Vernietung mit 23 mm Niete, für welche nach der Tabelle (Seite 70) $P' = 2.91$ und $P'' = 4.416 \text{ t}$ ist. Es sind zehn durch beide Laschen gehende, zweischnittige Niete angeordnet. Auf die obere Lasche entfällt eine Kraft von $\frac{54}{96} \cdot 61 = 34.3 \text{ t}$, auf die untere eine solche von 26.7 t . Demnach ist

$$P' n_1 = 34.3 - 5 \cdot 4.416 = 12.2 \text{ t}, \quad \text{sonach } n_1 = \frac{12.2}{2.91} \doteq 4$$

$$P' n_2 = 26.7 - 5 \cdot 4.416 = 4.6 \text{ t}, \quad \text{sonach } n_2 = \frac{4.6}{2.91} \doteq 2.$$

Dementsprechend sind noch vier, beziehungsweise zwei einschnittige Niete anzuordnen.

Bei der indirekten Deckung werden die Stoßnieten um so ungünstiger beansprucht, je mehr trennende Zwischenplatten vorhanden und je stärker diese sind. Es tritt infolge des vergrößerten

Abstandes der scherenen Kräfte ein Moment auf, welches die Niete auf Biegung beansprucht (Abb. 60).

Wollte man dies vermeiden, so müßten auch die Zwischenplatten gestoßen, die Stoßstellen aber so weit auseinander gerückt werden, daß zwischen ihnen die zur Kraftübertragung von dem unteren in

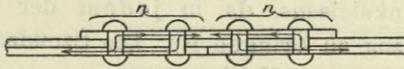


Abb. 60.

das obere Blech erforderliche Anzahl Niete untergebracht werden kann (Abb. 61).

Jede Zwischenplatte erhielte dann je zwei symmetrisch liegende Stöße und zur Deckung dient eine gemeinsame Lasche, deren Querschnitt natürlich dem Querschnitt des stärksten der gestoßenen Bleche entsprechen müßte. Die Stöße in den Zwischenplatten brauchen

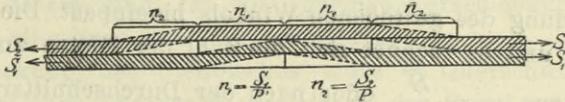


Abb. 61.

aber nicht wirklich vorhanden zu sein, sie können auch bloß gedacht sein, wenn nur beiderseits des Stoßes die dem Gesamtquerschnitt der Bleche entsprechende Nietanzahl vorhanden ist.

In der Praxis wird aber diese überreich bemessene und wegen der großen Laschenlänge unwirtschaftliche Stoßdeckung nicht ausgeführt. Man legt aber gerne und mit Vorteil die Stöße der Bleche



Abb. 62.

zusammen und versetzt sie so weit, daß sie durch eine gemeinsame Lasche gedeckt werden können (Abb. 62). Über den Stoß des untersten Bleches hinaus werden hier nicht so viele $(n_1 + n_2 + n_3 \dots)$ Niete gegeben, wie vor diesem Stoß, jedenfalls aber mehr als für die unmittelbare Stoßdeckung dieses Bleches (n_1) erforderlich wären. Es empfiehlt sich die Zahl dieser Niete von der Anzahl m der Zwischenplatten (in Abb. 62 ist $m = 2$) abhängig und $= (1 + \alpha)n_1$ zu machen. Für α wäre etwa die Annahme

$$\alpha = \frac{2m}{3+m}$$

als passend zu bezeichnen.

Die Stöße in Winkeleisen werden entweder mittels zweier Flacheisen (Abb. 63) oder mittels Winkeleisen (Abb. 64) gedeckt. Der Querschnitt der Flacheisen ist etwas größer zu halten als der des gestoßenen Winkeleisens, da in jedem der beiden Flacheisen ein Nietloch in Abzug zu bringen ist. Die Stoßdeckwinkeln sind entweder von dem gleichen Kaliber wie der gestoßene Winkel, oder man verwendet, um die vorstehenden Ränder zu vermeiden, das

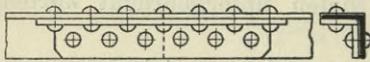


Abb. 63.



Abb. 64.

nächst kleinere Profil mit entsprechend größerer Schenkelstärke. Die scharfe Ecke des Deckwinkels ist zu bearbeiten, so daß sie in die Ausrundung des gestoßenen Winkels hineinpaßt. Die Niete sind einschnittig und es rechnet sich die Zahl der Niete auf einer Seite des Stoßes aus $n = \frac{S}{P'}$ oder nach der Durchschnittsregel

$$n f = \frac{5}{4} F.$$

Sind zwei Winkel zu stoßen, so können entweder beide Stöße in denselben Querschnitt gelegt oder es können die Stöße soweit

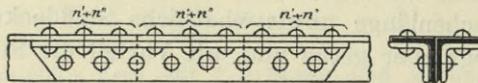


Abb. 65.

versetzt werden, daß jeder Stoß durch die beiderseitigen Stoßdeckwinkeln gedeckt ist (Abb. 65). Die Niete sind alsdann zum Teil zweiseitig, ihre Anzahl in jedem Laschenabschnitt berechnet sich aus $n' P' + n'' P'' = S$ oder bei der nutzbaren Fläche F_n eines Winkels und der Schenkeldicke δ aus $F_n = \frac{4}{5} n' f + n'' 2 d \delta$. Wegen der zum Teil indirekten Stoßdeckung wird man 1 oder 2 Niete zugeben. Die Stoßdeckwinkeln können hier ein schwächeres Kaliber erhalten, da beide zusammen den Querschnitt des gestoßenen Winkels ersetzen.

Bei Stößen in zusammengesetzten Stäben achtet man darauf, daß durch die Stoßlage und die Stoßdeckungen die Schwer-

achse des Stabes nicht allzusehr verschoben wird, da dies größere Biegungsspannungen im Stabe zur Folge hätte. Es empfiehlt sich daher, die symmetrisch zur Stabachse gelegenen Teile im selben Querschnitt zu stoßen. Beim Π Querschnitt ist es besser, die beiden Winkel an derselben Stelle zu stoßen, als ihre Stöße zu versetzen; bei einem Querschnitt nach Abb. 66 lege man die Stöße der äußeren Winkelisen a , ebenso jene der inneren Winkel i in denselben

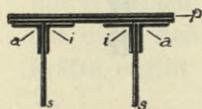


Abb. 66.

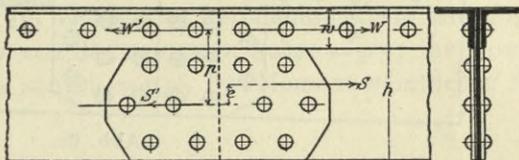


Abb. 67.

Querschnitt; letztere können ihren Stoß gegen a versetzt und nach Abb. 65 gedeckt haben. Desgleichen sind die beiden Stehbleche s im gleichen Querschnitte zu stoßen. Bei den Gurtblechen p , die nur einseitig zu decken sind, ist eine geringe Verschiebung der Stabschwerachse allerdings nicht zu vermeiden.

Die Deckung des Stehbleches eines Π Querschnittes erfolgt durch beiderseitige Laschenbleche, die in der Regel nur bis an die Winkelisen reichen und demnach auch eine Verschiebung der Schwerachse bewirken (Abb. 67). Damit ist eine Erhöhung der Winkelisenspannung im Stoßquerschnitt verbunden, welche die

$$\text{Größe } W' - W = \frac{e}{r} S = \frac{w}{h} S \text{ an}$$

nimmt, wenn S die im Stehblech wirkende Kraft, w die Winkel-

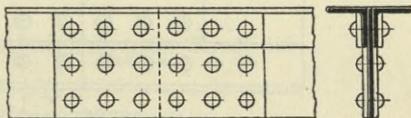


Abb. 68.

erhöhte Beanspruchung der Winkel

läßt sich durch zugelegte Flach-

eisen vermeiden (Abb. 68); weniger empfehlenswert ist es, die Laschenbleche über die Winkelisen zu kröpfen, obwohl man dies auch selbst bei neueren Brücken zuweilen ausgeführt findet. (Straßen- und Wehrbrücke über die Moldau bei Mieřowitz.)

Eine einwandfreie Stoßdeckung läßt sich erzielen, wenn man mit dem Stehblech auch zugleich die Winkelisen unterbricht und einen sogenannten Universalstoß anordnet (Abb. 69). Die beiderseitigen Decklaschen des Stehbleches können dann über dessen ganze Breite reichen; die Winkel sind auf die Länge dieser Laschenbleche unterbrochen und durch darüber genietete Stoßwinkel gedeckt.

Zur Vermeidung von Kröpfungen müssen die Laschenbleche die gleiche Stärke wie die Winkelschenkel erhalten. Liegt auf den Winkeln noch ein Kopfblech, so kann auch dieses im gleichen Querschnitt mit dem Stehblech gestoßen werden; zur Deckung dient eine obere Decklasche, sowie ein unteres Blech, welches den Zwischen-

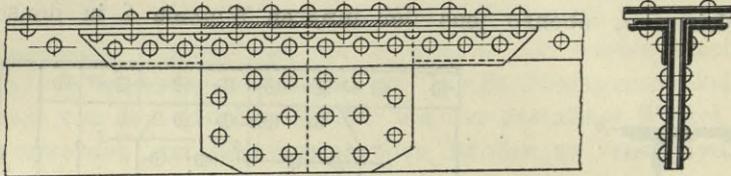
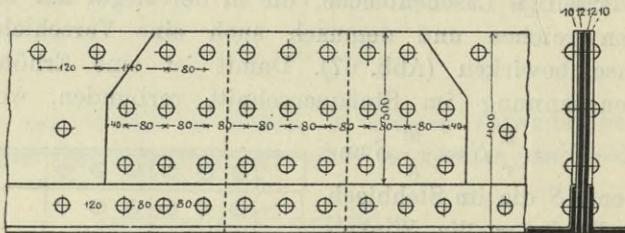


Abb. 69.

raum zwischen Kopfplatte und Stoßwinkel ausfüllt. Letztere Zwischenlagen sind natürlich auch dann notwendig, wenn das Kopfblech nicht gestoßen wird.

Besteht das Stehblech aus zwei Blechen, so können entweder beide in einem Querschnitt gestoßen und durch beiderseitige Laschenbleche von mindestens gleicher Querschnittsfläche wie beide Stehbleche zusammen, gedeckt werden, oder man versetzt die beiden Stehblechstöße so weit, daß zwischen ihnen die für die einfache



$$\text{Niete } 23^{\text{mm}} \quad F_n = 411 \text{ cm}^2, \quad n = \frac{F_n}{2d\delta} = \frac{411}{2 \cdot 23 \cdot 12} = 8$$

Abb. 70.

Deckung erforderlichen zweischnittigen Nietens Platz finden (Abb. 70). Man kommt in diesem Falle mit etwas schwächeren Laschen aus, doch wird ihre Länge größer.

Nach den gleichen Grundsätzen ist auch die Stoßdeckung anders gestalteter Querschnitte, wie sie Abb. 71 zeigt, durchzuführen und werden dafür im weiteren bei der konstruktiven Durchbildung der Fachwerkträger noch Beispiele gegeben werden.

Die bisher behandelten Stabanschlüsse und Stoßdeckungen betreffen Stäbe mit reiner Axialbeanspruchung oder auch solche Nietanschlüsse, bei welchen eine gleichmäßige Verteilung der Kraft

über den Querschnitt des Stabes angenommen werden kann. Ist aber im Stoßquerschnitt ein Moment wirksam, so ist diese Annahme nicht mehr richtig, die Kraft verteilt sich ungleichmäßig, sie nimmt mit dem Abstände von der neutralen Achse zu.

Es sei ein Flacheisen zu stoßen (Abb. 72), auf welches im Stoßquerschnitt ein Biegemoment M einwirkt. In den zum Stoß parallelen Nietreihen stehen je n Nieten in gleichen Abständen e . Es seien auf einer Seite des Stoßes m Reihen vorhanden, also im ganzen mn Nieten. Die auf einen Niet entfallende Kraft ist proportional seinem Abstände y von der neutralen Achse $= py$; ihr Moment auf diese Achse bezogen sonach $= py^2$. Das Moment sämtlicher Nietkräfte ergibt

$$M = 2m \sum_0^{\frac{n-1}{2}e} p y^2 = 2mp \left(1 + 2^2 + \dots + \left(\frac{n-1}{2} \right)^2 \right) e^2 = \frac{1}{12} mn(n^2 - 1) e^2 p.$$

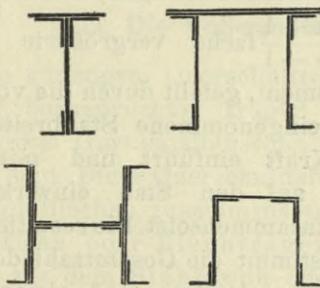


Abb. 71.

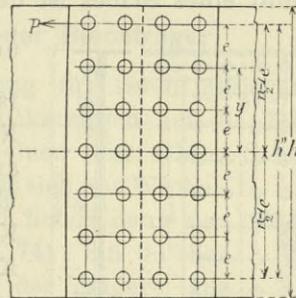


Abb. 72.

Die von einem Randniet aufzunehmende Kraft ist

$$P = p \frac{n-1}{2} e$$

oder in Verbindung mit der vorhergehenden Gleichung

$$P = \frac{6M}{mn(n+1)e}.$$

Setzt man $(n+1)e = h'$, wobei $h' = \frac{n+1}{n-1} h''$ oder näherungsweise $h' = h$ angenommen werden kann, so wird

$$P = \frac{1}{mn} \frac{6M}{h'} \dots \dots \dots 18)$$

Daraus ergibt sich, wenn für P die Tragkraft eines Nietes

gesetzt wird, die erforderliche Anzahl mn der auf einer Seite des Stoßes stehenden Niete.

Wirkt auf den Stab auch eine axiale Kraft S , die man über sämtliche Niete gleichmäßig verteilt annehmen kann, so ist

$$P = \frac{1}{mn} \left(S + 6 \frac{M}{h'} \right) \dots \dots \dots 19)$$

Hat der Stoßquerschnitt ein Moment M und eine Querkraft Q aufzunehmen, so wird bei gleichmäßiger Verteilung der letzteren über sämtliche Anschlußniete die größte Nietkraft

$$P = \frac{1}{mn} \sqrt{Q^2 + \left(\frac{6M}{h'} \right)^2} \dots \dots \dots 20)$$

Allgemein ergibt sich die Regel:

Die Wirkung eines Biegemomentes im Anschluß- oder Stoßquerschnitt eines Stabes ist derart zu berücksichtigen, daß man das

um das $\frac{n+1}{n-1}$ fache vergrößerte sechs-

fache Moment, geteilt durch die von den Niete eingenommene Stabbreite, als axiale Kraft einführt und mit den übrigen auf den Stab einwirkenden Kräften zusammensetzt. Die resultierende Kraft bestimmt die Gesamtzahl der Anschlußniete; letztere sind gleichmäßig über die Stabbreite zu verteilen.

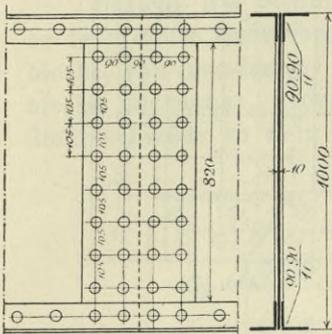


Abb. 73.

Beispiel. Der in Abb. 73 dargestellte Konstruktionsteil soll einen Stehblechstoß erhalten in einem Querschnitte, auf welchen eine

Querkraft $Q = 25 t$ und ein Biegemoment $M = 20 tm$ einwirkt.

Es handelt sich hier zunächst darum, jenen Teil der Querkraft und des Momentes zu bestimmen, den das Stehblech aufzunehmen hat. Das Moment verteilt sich im Verhältnis der auf die gemeinsame Schwerachse bezogenen Trägheitsmomente der Querschnittsflächen der verbundenen Teile. Es ist das

Trägheitsmoment des Stehbleches $J_1 = \frac{1}{12} 100^3 \cdot 1 = 83333$, das Trägheitsmoment des Gesamtquerschnittes $J = 250585$. Es entfällt sohin auf das Stehblech ein

$$\text{Moment } M_1 = \frac{J_1}{J} M = 6.65 tm.$$

Von der Querkraft nehmen die Randwinkel nur einen sehr geringen Teil auf, der Hauptanteil entfällt auf das hohe Stehblech. Man kann letzteren bei der

Winkelschenkelbreite w und der Stehblechhöhe h beiläufig mit $Q' = \left(1 - \frac{w}{2h} \right) Q$ annehmen und erhält im vorliegenden Falle $Q' = 0.95 \quad Q = 23.75 t$.

Werden die in den Winkeleisen stehenden Niete zur Stoßdeckung nicht mitgerechnet, so ist in die obige Formel 20) zunächst angenähert $h' = 82 \text{ cm}$ einzusetzen und man erhält

$$P = \frac{1}{m n} \sqrt{(23 \cdot 75)^2 + \left(6 \cdot \frac{665}{82}\right)^2} = \frac{1}{m n} 54 \cdot 2 \text{ t.}$$

Bei Anwendung von 20 mm Niete (doppelschnittig bei 10 mm Stehblechstärke) ist nach der Tabelle (S. 70) $P = 3 \cdot 20 \text{ t}$, sohin folgt die Nietzahl

$$m n = \frac{54 \cdot 2}{3 \cdot 2} = 18.$$

Die Niete werden in zwei Reihen angeordnet. Führt man sonach mit $n = 9$ den verbesserten Wert $h' = \frac{n+1}{n} h = \frac{10}{9} 82 = 91 \text{ cm}$ in Formel 20) ein, so ergibt sich $P = \frac{1}{m n} \cdot 49 \cdot 8$, mithin $m n = 16$, so daß auch zwei Reihen zu je 8 Niete genügen. Ihr lotrechter Abstand wird $10 \cdot 5 \text{ cm}$.

§ 11. Die Vollwandträger oder Blechträger.

Die günstigste Querschnittsgestaltung für einen massiven, auf Biegung beanspruchten Träger führt bekanntlich auf die I-Form, bei der zwei Gurtungsflanschen durch einen senkrechten Steg verbunden sind. Diese Querschnittsform läßt sich aus Winkelleisen und Blechen zusammensetzen und liefert dann den vollwandigen oder Blechträger (Abb. 74). Ein solcher besteht aus dem Stehblech oder Steg des Trägers, aus den diesen Steg säumenden Gurtwinkeln und nach Erfordernis auch noch aus Horizontalblechen, Lamellen oder Gurtplatten (Kopf- und Fußblechen), welche auf die Schenkel der Winkel genietet werden.

Vollwandige Balkenträger, oder Blechträger schlechtweg, erhalten einen zur horizontalen Schwerachse symmetrischen Querschnitt, also beide Gurtungen gleich dimensioniert. Bei Blechbogen ist diese Symmetrie nicht durchwegs vorhanden; hier können sich aus der Beanspruchung oben und unten verschieden starke Gurtplatten ergeben.

Im nachstehenden wird zunächst nur der für die Anwendung wichtigere Blechbalken behandelt. Dieser kommt für die Fahrbahnträger (Quer- und Längsträger) der eisernen Brücken fast ausschließlich, dann aber auch für die Hauptträger von Brücken bis zu etwa 20 m Spannweite, den sogenannten Blechbrücken, zur Verwendung. Er hat gegenüber den Gitter- oder Fachwerkträgern den Vorteil größerer Einfachheit in der Herstellung und demzufolge

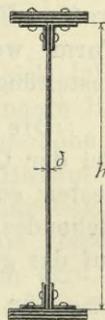


Abb. 74.

billigeren Preises der Gewichtseinheit, und sein geschlossener Querschnitt ist auch für die Aufnahme der Stoßwirkungen und für die Erhaltung günstiger. Die amerikanischen Ingenieure bevorzugen daher auch den Vollwandträger bis zu 30 m Spannweite, doch ist etwa 20 bis 23 m die Grenze, von welcher an ein Fachwerkträger bereits wirtschaftlich vorteilhafter wird. Man ist an diese Grenze der Blechträgerspannweiten, beziehungsweise an eine Maximalhöhe der Träger von 2 bis 2,5 m auch durch die ohne zu große Überpreise erhältlichen Blechtafelbreiten gebunden.

Früher, in den Anfängen des Baues der schmiedeisernen Brücken und vor Erfindung der Gitter- und Fachwerkträger sind Vollwandträger auch mit bedeutend größeren Spannweiten zur Ausführung gekommen. Die Blechwand mußte dann auch der Höhe nach aus Tafeln gestoßen werden. Es kamen Träger mit zellenförmigen Obergurten und Kastenträger zur Anwendung und in den Stephenson'schen Röhrenbrücken wurde der ganze Brückenüberbau als geschlossene, rechteckige Röhre ausgebildet.

Die Blechbalken werden in der Regel als Parallelträger, das ist mit durchaus gleicher Höhe ausgeführt. Bei größeren Spannweiten kann eine Verminderung der Trägerhöhe an den Enden durch parabolische oder eckige Führung eines Gurtes nicht unzweckmäßig sein, doch wird die dadurch erzielte Materialersparnis durch die Mehrkosten der Arbeit zum größeren Teile aufgewogen oder übertroffen. Für die Querträger breiter Brücken kann sich aber oft diese Form wegen der Gewichtsverminderung und wegen der Ausgestaltung des Anschlusses an die Hauptträger empfehlen.

Die Berechnung und Dimensionierung der Blechträger. Bei der Querschnittsbestimmung eines Blechträgers geht man am besten so vor, daß man ein aus Stehblech und Winkeleisen bestehendes Grundprofil passend annimmt und die zur Verstärkung auf das geforderte Tragmoment notwendigen Gurtbleche berechnet.

Für die Wahl des Grundprofils gelten folgende Regeln:

Die Höhe h wird für einfache Träger mit $\frac{1}{11}$ bis $\frac{1}{9}l$, durchschnittlich mit $\frac{1}{10}l$, für kontinuierliche Träger mit $\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{10}l$ angenommen.

Bei der Festsetzung der Trägerhöhe kann auch von der Bedingung ausgegangen werden, daß die größte Durchbiegung δ des Trägers ein gewisses Maß etwa $\frac{1}{1200}$ bis $\frac{1}{1500}l$ nicht überschreiten soll. Die Durchbiegung eines gleichmäßig mit q pro Längeneinheit belasteten frei aufliegenden Balkens von konstantem Querschnitt rechnet sich

aus $\delta = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{E J}$ oder mit Einführung der Maximalspannung σ , die in der Trägermitte auftritt und durch $\sigma = \frac{1}{8} \frac{q l^2}{J} \frac{h}{2}$ bestimmt ist, aus $\delta = \frac{5}{24} \frac{l^2}{h} \frac{\sigma}{E}$. Für einen Träger mit konstanter Höhe aber so veränderlichen Gurtquerschnitt, daß in jedem Querschnitt die Maximalspannung σ erreicht wird, wäre $\delta = \frac{1}{4} \frac{l^2}{h} \frac{\sigma}{E}$. Ein Blechträger mit abgesetzten Gurtlamellen nähert sich dem Träger konstanter Spannung und man kann für ihn etwa den Mittelwert

$$\delta = 0.23 \frac{l^2}{h} \frac{\sigma}{E}$$

annehmen. Hieraus ergibt sich

$$\frac{h}{l} = 0.23 \frac{\sigma}{E} \frac{l}{\delta}$$

Mit $\sigma = 800$, $E = 2250000$ folgt $\frac{h}{l} = 0.000082 \frac{l}{\delta}$; es wäre so nach, wenn

$$\delta = \frac{1}{1200} l \text{ verlangt ist, } h = 0.098 l \text{ oder rund } \frac{1}{10} l$$

$$\delta = \frac{1}{1500} \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad h = 0.123 l \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \frac{1}{8} l$$

zu machen. Für den kontinuierlichen Träger ergäbe sich infolge der verminderten Durchbiegung eine entsprechend geringere Höhe.

In richtiger Weise müßte aber eigentlich die Trägerhöhe auf Grund der kleinsten Materialmenge bestimmt werden. Hierauf soll später (Seite 100) noch näher eingegangen und hier nur bemerkt werden, daß sich aus dieser Bedingung die Trägerhöhe abhängig von der Größe der Belastung ergibt. Wie gezeigt werden wird, entspricht für die normalen Belastungen der Hauptträger der Brücken die Durchchnittsregel $h = \frac{1}{10} l$ auch ziemlich gut der Bedingung des

Materialminimums; für die stärker belasteten Fahrbahnträger wird sich aber im allgemeinen eine größere Höhe als zweckmäßig erweisen.

Die Stehblechdicke wäre zur Erzielung tunlichst geringen Gewichtes möglichst klein anzunehmen, doch erfordert sowohl der Leibungsdruck in den Nietlöchern, wie auch die Scherbeanspruchung des Stehbleches und die in ihm auftretenden Hauptspannungen eine gewisse Mindeststärke. Man wähle etwa

$$\delta \text{ mm} = 8 + 2h \quad (h = \text{Trägerhöhe in Meter})$$

für sehr schwer belastete Träger

$$\delta \text{ mm} = 9 + 2,5 h$$

abgerundet auf ganze Millimeter; bei schwach belasteten niedrigen Trägern (Fahrbahnlängsträger leichter Straßenbrücken) im Minimum $\delta = 7 \text{ mm}$.

Die Winkeleisen richten sich in ihren Abmessungen nach den sonstigen Stärkeverhältnissen, nach der erforderlichen Gurtfläche und nach der Trägerhöhe. Eine beiläufige Regel ist

Winkelschenkelbreite . $b \text{ mm} = 60 + 25 h$ (h = Trägerhöhe in Meter)

Schenkelstärke $\delta_1 \text{ mm} = \delta$ bis $1,2 \delta$.

Zur Erzielung größerer Gurtbreiten kann sich die Verwendung ungleichschenkliger Winkel empfehlen.

Die Gurtplatten werden so breit gemacht, daß sie die Winkel-eisenränder etwas übergreifen. Ihr Rand soll aber um nicht mehr als die 6 bis 7fache Plattendicke oder um den $2\frac{1}{2}$ bis 3fachen

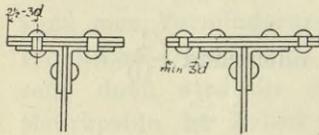


Fig. 75.

Nietdurchmesser von der Mitte der sie mit den Winkeln verbindenden Nietreihe abstehen, da sonst die Plattenfugen klaffen. Werden ausnahmsweise breitere Platten gegeben, so sind sie außerhalb der Winkel durch Randnieten zu verbinden (Abb. 75). Bei mehrfachen Platten

soll die Stärke derselben untereinander gleich oder nach außen abnehmend sein.

Die Gurtplatten beginnen erst da, wo das Biegemoment es erfordert. Die Trägerenden können daher ohne Gurtplatten gelassen werden, man wird aber die Fugen zwischen Winkeleisen und Stehblech gegen das Eindringen von Feuchtigkeit möglichst sichern. Bei unmittelbar auf den Hauptträgern gelagerten Querschwellen empfiehlt sich immer die Anordnung einer bis ans Trägerende reichenden Kopfplatte oder wenigstens die Anordnung von Platten unter den Schwellen, damit nicht der innere Gurtwinkel auf Abbiegen beansprucht wird.

Nach Annahme des Grundquerschnittes hat man zunächst dessen Trägheitsmoment J_0 zu rechnen. Hierbei ist die Nietschwächung zu berücksichtigen. Dies geschieht durch Abzug je eines Nietloches in jedem wagrechten Winkelschenkel. (Bei einem Träger ohne Gurtplatten ist natürlich der horizontale Niet abzurechnen.) Da es aber auch leicht vorkommen kann, daß in dem durch die Gurtnieten gelegten Querschnitt eine senkrechte Nietreihe im Stehbleche (für

dessen Stoßdeckung oder für den Anschluß der Steifen) zu stehen kommt, so ist auch die dadurch herbeigeführte Schwächung des Stehbleches in Rücksicht zu ziehen. Genauere Berechnungen ergeben, daß diese Schwächung das Trägheitsmoment des Stehbleches um etwa 15% vermindert, so daß bei einer Stehblechdicke δ diese mit 0.85δ in die Rechnung einzusetzen ist. Mit den aus Abb. 76 ersichtlichen Bezeichnungen ($b = 2(w - d) + 0.85 \delta$, $\frac{1}{2} b_1 = w - \delta_1 - d$, $\frac{1}{2} b_2 = \delta_1$)

folgt
$$J_0 = \frac{1}{12} (b h^3 - b_1 h_1^3 - b_2 h_2^3).$$

Durch Hinzufügung von Gurtplatten von der nutzbaren Breite $b_0 = B - 2d$ und der Dicke p vergrößert sich das Trägheitsmoment in

$$J = J_0 + \frac{1}{12} b_0 [(h + 2p)^3 - h^3] = J_0 + \frac{1}{12} b_0 [6 h^2 p + 12 h p^2 + 8 p^3].$$

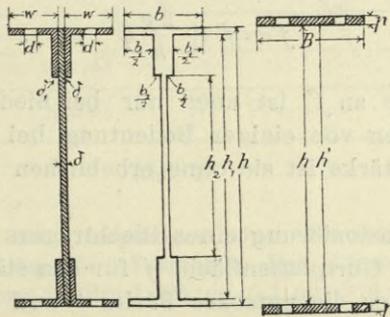


Abb. 76.

Mit Vernachlässigung des kleinen Gliedes $8 p^3$ und mit Einführung der nutzbaren Plattenquerschnittsfläche $f = b_0 p$ wird

$$J = J_0 + \frac{1}{2} f h (h + 2p) = J_0 + \frac{1}{2} f h h'$$

und das Widerstandsmoment des Gesamtquerschnitts

$$W = \frac{2J}{h'} = \frac{2J_0}{h'} + f h.$$

Ist M das auf den Querschnitt wirkende Biegemoment, so ist bei der zulässigen Beanspruchung s das erforderliche Widerstandsmoment

$$W = \frac{M}{s} = \frac{2J_0}{h'} + f h,$$

woraus sich die Gurtplattenfläche ergibt

$$f = \frac{M}{h s} - \frac{2 J_0}{h h'}$$

Da $h' = h + 2p$ von der erst zu bestimmenden Dicke der Platten abhängt, so setzen wir zunächst als Näherungswert $h' = h$ und erhalten

$$f' = \frac{M}{h s} - \frac{2 J_0}{h^2} = \frac{M}{h s} - \varphi \dots \dots \dots 21)$$

Hierin ist $\varphi = \frac{2 J_0}{h^2}$ die auf den Rand der Winkel reduzierte Fläche des Grundquerschnittes. Hat man aus f' beiläufig die Plattenstärke p bestimmt, so läßt sich dann auch der Näherungswert verbessern. Es ist nämlich

$$f - f' = \frac{2 J_0}{h^2} - \frac{2 J_0}{h h'} = \frac{2 J_0}{h^2} \left(1 - \frac{h}{h'}\right) = \varphi \frac{2 p}{h}$$
$$f = f' + \frac{2 p}{h} \varphi \dots \dots \dots 22)$$

Die Korrektur an f' ist aber nur bei niedrigen Trägern und starken Gurtlamellen von einiger Bedeutung, bei hohen Trägern und geringer Lamellenstärke ist sie ohne erheblichen Fehler zu vernachlässigen.

Bei der Dimensionierung eines Blechträgers geht man so vor, daß man zuerst die Gurtplattenfläche f für den stärksten Querschnitt bestimmt und danach die nutzbare Breite b und die Gesamtdicke p der Platten entsprechend wählt. Letztere wird, wenn sie sich größer als 16 mm herausstellt, in die einzelnen Lamellen, welche mit der Minderstärke von 8 mm und untereinander gleich stark oder um 1 bis 2 mm verschieden anzunehmen sind, unterteilt. Diese Lamellen sind nur so weit zu führen, als sie für die Aufnahme des Biegemomentes erforderlich sind. Man erhält ihre notwendige Länge leicht zeichnerisch aus der Kurve der Maximalmomente.

Wir tragen uns zu diesem Zwecke die Werte $\frac{M}{h s} (cm^2)$ als Ordinaten auf. Hat der Träger durchwegs gleiche Höhe, ist sonach $h s$ konstant, so kann unmittelbar die Kurve der Maximalmomente verwendet werden, in dem man deren Ordinaten nach einem Maßstabe mißt, dessen Einheit = der $h s$ -fachen Einheit des Momentenmaßstabes gemacht wird¹⁾. Trägt man nach diesem Maßstabe die reduzierte

¹⁾ Entspricht der Momentenlinie der Maßstab $1 kg/cm = a cm$, so ist der Flächenmaßstab der Materialverteilung $1 cm^2 = h s \cdot a cm$ (worin h in cm , s in kg/cm^2)

Fläche des Grundquerschnittes $\varphi = \frac{2 J_0}{h^2}$ ein, so bestimmen die restlichen Ordinaten der Momentenlinie die angenäherten Gurtplattenflächen f' (Abb. 77). Man kann diese nach Annahme von p um $\frac{2p}{h} \varphi$ verbessern und teilt dann die Lamellen so aus, daß sie die Momentenfläche vollständig überdecken. Die Schnittpunkte $a_1 a_2 \dots$ geben die theoretischen Enden der Lamellen, doch führt man sie zur Festhaltung darüber noch um etwa eine Nietreihe hinaus. Die volle Beanspruchung einer Lamelle tritt erst in dem Querschnitte auf, wo die nächste Lamelle hinzugefügt ist; es verteilt sich daher die Lamellenspannung über sämtliche zwischen a_1 und a_2 stehende Nieten.

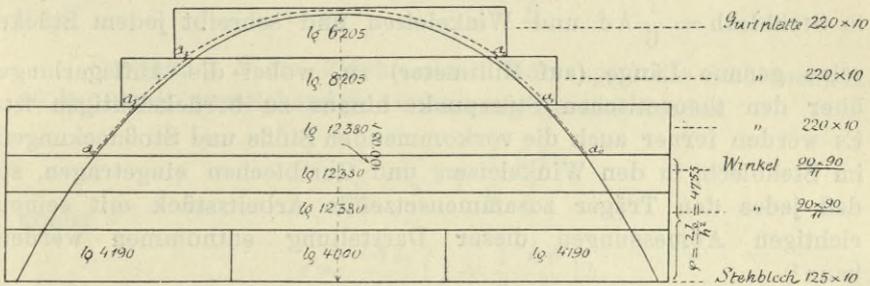


Abb. 77.

Abb. 77 betrifft den Hauptträger einer Eisenbahnbrücke von 12 m Stützweite mit oben liegender Fahrbahn. Das Eigengewicht kann mit $g = 880 + 54 l = 1'52 t$ pro 1 m Brückenlänge, d. i. mit 0'76 t pro 1 m Träger angenommen werden. Hiemit folgt das Moment in der Trägermitte $\frac{1}{8} 0'76 \cdot 12^2 = 13'68 tm$. Das Moment der Verkehrslasten wird nach der Tabelle der österreichischen Brückenverordnung (siehe Band I, S. 247) in der Trägermitte für einen Hauptträger $M_p = 86'4 tm$; mithin das Gesamtmoment $M = 100'08 tm$. In Abb. 77 ist die Linie der Maximalmomente im Maßstabe $1 tm = 0'036 cm$ eingetragen. Für den Träger wird als Grundquerschnitt gewählt (Abb. 78): Stahlblech $125 cm \times 10 mm$, Gurtwinkel $90 \cdot 90 \cdot 11$. Mit Abzug je eines 20 mm Nietloches in den horizontalen Winkelschenkeln und von 15% Stahlblechstärke berechnet sich $J_0 = 371460 cm^4$ und $\varphi = \frac{2 J_0}{h^2} = 47'55 cm^2$.

Setzt man die zulässige Beanspruchung $s = 800 kg/cm^2$, so ist $h s = 125 \cdot 800 = 100.000$ und mithin die Einheit des Flächenmaßstabes der Abb. 77) ... $1 cm^2 = 0'036 cm$. Trägt man nach diesem Maßstabe φ ein, so bleiben in der Mitte noch $100'08 - 47'55 = 52'53 cm^2$ durch Lamellen zu decken. Es erfordert dies Lamellen von zirka 3 cm Stärke, so daß die anzubringende Korrektur

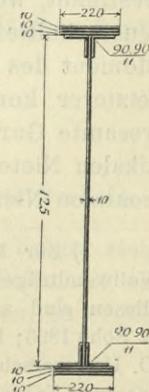


Abb. 78.

$\frac{2p}{h} \varphi = \frac{6}{125} 47.55 = 2.3 \text{ cm}^2$ beträgt. Ordnet man 3 Gurtbleche von je 10 mm Stärke an, so sind auf die Länge einer jeden Lamelle die Ordinaten der theoretischen Materialkurve (Momentenlinie) um je $\frac{1}{3}$ des berechneten Korrekturwertes zu vergrößern. Die nutzbare Breite der Gurtbleche ergibt sich aus $3b = 52.5 + 2.3$ mit rund $b = 18 \text{ cm}$, die totale Breite mit 4 cm Nietlochzuschlag sonach mit $B = 220 \text{ mm}$. Die erste Lamelle wird am Obergurt in der ganzen Trägerlänge durchgeführt; die Längen der übrigen Lamellen ergeben sich durch die Schnittpunkte a_1, a_2 .

Um die vollständige Materialverteilung eines Blechträgers zu erhalten, wird obige Darstellung auch auf den Untergurt ausgedehnt, was bei symmetrischer Ausbildung des Trägers nur eine symmetrische Übertragung erfordert. Die Fläche φ unterteilt man in Stehblech $= \frac{1}{6} h \delta$ und Winkeleisen und schreibt jedem Stücke seine genaue Länge (auf Millimeter) zu, wobei die Auflagerlänge über den theoretischen Stützpunkt hinaus zu berücksichtigen ist. Es werden ferner auch die vorkommenden Stöße und Stoßdeckungen im Stehblech, in den Winkeleisen und Gurtblechen eingetragen, so daß jedes den Träger zusammensetzende Arbeitsstück mit seinen richtigen Abmessungen dieser Darstellung entnommen werden kann¹⁾.

Die Vernietung der Gurtungen. Zwischen den Winkeleisen und dem Stehbleche, sowie zwischen den Winkeleisen und Gurtungsblechen treten Schubkräfte auf, welche von den Nieten aufzunehmen sind. Die Schubkraft \mathfrak{S} pro Länge 1 des Trägers an irgend einer Stelle ist durch

$$\mathfrak{S} = \frac{Q \Sigma}{J}$$

bestimmt, worin Q die Querkraft, J das Trägheitsmoment des ganzen Querschnittes und Σ das auf die Schwerachse bezogene statische Moment des angeschlossenen Querschnittsflächenteiles bezeichnet. Als letzterer kommt für die horizontalen Nietten des Blechträgers der gesamte Gurtquerschnitt (Winkeleisen und Gurtbleche), für die vertikalen Nietten nur die Fläche der Gurtplatten in Betracht. Die horizontalen Nietten haben sohin die größeren Schubkräfte aufzunehmen

¹⁾ Zur Berechnung der Trägheits- und Widerstandsmomente genieteteter Vollwandträger können mit Vorteil auch Tabellenwerke benutzt werden. Von diesen sind anzuführen: Zimmermann, genietete Träger, Berlin W. Ernst & Sohn 1893; Böhm & John, Berlin O. Springer 1895; C. Scharowsky, Hagen, O. Hammerschmidt 1898; Stöckl & Hauser, Hilfstabellen f. d. Berechnung eiserner Träger Wien 1898; H. Nitzsche, Graphische Hilfstafeln zur Ermittlung der Trägheitsmomente genieteteter Träger, Leipzig W. Engelmann 1907.

und ist danach ihr Abstand, die Nietteilung e , zu berechnen. Es wird die auf einen Niet entfallende Kraft

$$P = \frac{Q \Sigma}{J} e.$$

Da die Nieten zweischnittig sind und wohl immer $d > 1.46 \delta$ ist, so kommt für den Widerstand des Nietes der Lochleibungsdruck in Frage und es ist

$$P = d \delta s_2$$

worin δ = Nietdurchmesser, δ = Stehblechdicke, $s_2 = 1600 \text{ kg/cm}^2$. Es ergibt sich daher

$$e = \frac{d \delta s_2}{Q} \frac{J}{\Sigma}$$

Bezeichnet F die Fläche einer Gurtung, h die Stehblechhöhe, so kann mit ausreichender Annäherung gesetzt werden

$$\frac{J}{\Sigma} = \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h \delta}{F}\right) h$$

womit

$$e = \frac{d \delta s_2}{Q} \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h \delta}{F}\right) h \dots \dots \dots 23)$$

Der kleinste Nietabstand berechnet sich hienach für das Trägerende, woselbst die Querkraft am größten, gleich dem Auflagerdrucke A wird. Allerdings wird durch Hinzufügung von Gurtblechen (Vergrößerung von F) in der Trägermitte der Faktor $\frac{J}{\Sigma}$ kleiner, aber nicht in dem Maße, als Q gegen die Trägermitte abnimmt. Es genügt daher, den Nietabstand bei Trägern mit konstanter Höhe bloß für das Trägerende aus der größten Querkraft $Q = A$ nach der Formel

$$e = \frac{1600 d \delta}{A} \left(1 + \frac{h \delta}{6 F}\right) h \dots \dots \dots 24)$$

zu berechnen.

Der Faktor $\left(1 + \frac{h \delta}{6 F}\right)$ liegt für niedrige Träger mit verhältnismäßig starken Gurtwinkeln zwischen 1.1 und 1.3, für hohe Träger steigt er bis auf etwa 1.6. Nimmt man ihn, um erhöhte Sicherheit und gleichzeitig eine einfache Regel zu erhalten, gleich 1 an, so ergäbe sich

$$e = \frac{1600 d \delta}{A} h \text{ oder } A = 1600 d \delta \cdot \frac{h}{e} \dots \dots \dots 25)$$

$h:e$ bestimmt die Anzahl Nieten, die in einer Länge gleich der Trägerhöhe stehen, so daß sich hieraus die reichliche Sicherheit bietende Regel ableitet: „Man setze am Trägerende in einer Länge gleich der Trägerhöhe in jeden Gurt soviel horizontale Niete, als zur Aufnahme der Auflagerkraft A notwendig sind.“

Für den oben berechneten Blechträger der Eisenbahnbrücke von 12 m

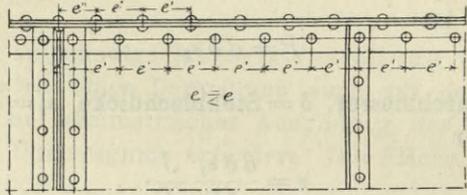


Abb. 79.

Stützweite berechnet sich der größte Auflagerdruck $A = 37.0 t$. Es liefert sohin die Näherungsformel 25)

$$e = \frac{1600 \cdot 2 \cdot 1}{37000} \cdot 125 = 10.8 \text{ cm.}$$

Der Gurt besteht aus zwei Winkeleisen und einer Lamelle mit der Querschnittsfläche $F = 59.2 \text{ cm}^2$, sohin ist der Korrektionsfaktor

$$1 + \frac{h \delta}{6 F} = 1 + \frac{125}{355} = 1.35$$

und es ergibt sich nach Gleichung 24)

$$e = 10.8 \cdot 1.35 = 14.6 \text{ cm}$$

als ausreichender Nietabstand.

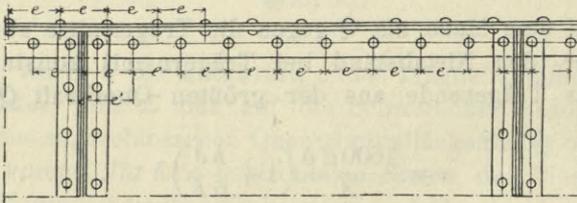


Abb. 80.

In der Ausführung geht man mit dem Nietabstande wegen des dichten Schlusses nicht über $6 d$, höchstens $7 d$. Ergibt sich e für das Trägerende größer, so führt man die Nieteteilung $e = 6 d$ in der ganzen Trägerlänge durch. Sonst kann die Nieteteilung streckenweise geändert und gegen die Trägermitte auf 6 bis $7 d$ vergrößert werden. Doch wird der Vereinfachung wegen die konstante Teilung auch dann noch durchgeführt, wenn sich $e > 4\frac{1}{2}$ bis $5 d$ ergibt.

Durch die lotrechten Absteifungswinkel oder die Querträgeranschlüsse sind bestimmte Niete am Hauptträger festgelegt und es sind die Zwischenniete so auszuteilen, daß die errechnete Nietdistanz e nicht überschritten wird. Man teilt dann die Zwischenniete entweder gleichmäßig aus (Abb. 79) oder man gibt ihnen den gerechneten (auf Millimetern abgerundeten) Nietabstand e und schaltet zum Ausgleich einen oder zwei ungleiche Nietweiten $< e$ ein (Abb. 80).

Für die lotrechten Niete wäre mit Rücksicht auf die kleineren Schubkräfte ein größerer Nietabstand zulässig. Der Gleichmäßigkeit wegen führt man aber die gleiche Nietteilung durch und stellt die lotrechten Niete zwischen die horizontalen Niete (Abb. 79 und 80). Winkel mit Schenkelbreiten von 120 mm und darüber erhalten zweireihig gestellte Niete; die lotrechten Niete sind gegen die wagrechten versetzt (Abb. 81) oder es fallen je zwei lotrechte Niete

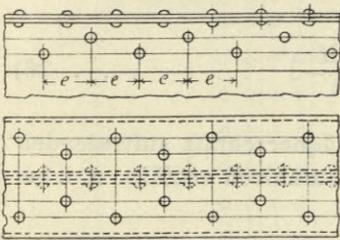


Abb. 81.

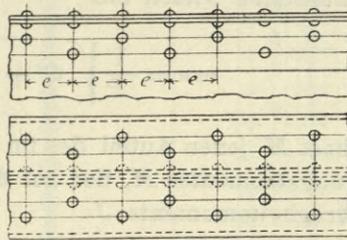
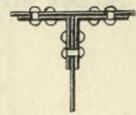


Abb. 82.



der äußeren, beziehungsweise inneren Reihe mit je einem horizontalen Niet der oberen, beziehungsweise unteren Reihe in einen Querschnitt (Abb. 82). In letzterem Falle ist die Schwächung des Gurtquerschnittes durch drei Niete zu berücksichtigen.

Stoßdeckungen. Die Länge der den Steg der Blechträger bildenden Blechtafeln ist durch die größte Walzlänge (12 m und darüber) begrenzt, jedoch wird man sich in der Regel auf Längen beschränken, für welche noch kein zu hoher Überpreis gefordert wird (normal etwa 6 m oder Blechtafeln bis zu 500 kg Gewicht) und für welche auch die Handhabung der Stücke keine zu schwierige ist. Es ergeben sich demnach bei jedem größeren Blechträger Stöße im Stehblech, welche durch beiderseitige Laschenbleche gedeckt werden. Diese sollen mindestens das gleiche Trägheitsmoment geben wie das Stehblech, jedenfalls mache man sie nicht unter 8 mm stark, häufig erhalten sie dieselbe Stärke wie das Stehblech oder auch wie die Winkelschenkel. Für gewöhnlich reichen diese Laschen nur über die von den Gurtwinkeln frei gelassene Höhe des Stehbleches

(Abb. 73), wodurch allerdings in die Winkel an der Stoßstelle eine gewisse Spannungserhöhung eintritt. Will man diese vermeiden (bei im Verhältnis zur Winkelschenkelbreite niedrigen Trägern), so sind auch auf die Winkelschenkel über dem Stoße besondere Flacheisenlaschen zu nieten (Abb. 83). Dagegen ist eine Verkröpfung der Stehblechlaschen über die Gurtwinkel, wie sie zuweilen angewandt wurde, wegen der leicht mangelhaften Ausführung nicht zu empfehlen. Eine gute Stoßdeckung erzielt man durch eine Anordnung nach Abb. 69, bei welcher der Stoß der Gurtwinkel mit jenem des Stehbleches vereinigt wird, so daß die Stoßlaschen über die ganze Höhe des Stehbleches reichen, während die Gurtwinkel durch darübergelagerte Stoßwinkel gedeckt sind.

Für die Vernietung der Stehblechstoße gilt das in § 10 auf Seite 87 Gesagte. Man rechnet die Anzahl der auf einer Seite des Stoßes erforderlichen Niete aus

$$m n = \frac{1}{P} \sqrt{Q^2 + \left(\frac{6M'}{h'}\right)^2} \dots \dots \dots 26)$$

Darin bezeichnet M' jenen Anteil des im Stoßquerschnitt auftretenden größten Biegemomentes M , der auf das Stehblech entfällt, d. i. bei dem Gesamtträgheitsmomente J

$$M' = \frac{\delta h^3}{12 J} M,$$

ferner Q die Querkraft im Stoßquerschnitt, P die Tragkraft einer Niete und $h' = \frac{n+1}{n-1} h''$, wenn $h'' =$ dem Abstände zwischen der obersten und untersten Nietreihe und n die Zahl der Niete in einer lotrechten Reihe. Näherungsweise kann $h' = h_0 =$ der Höhe der Stoßbleche gesetzt werden. (Siehe das Beispiel auf Seite 88.)

Die Niete werden gewöhnlich in zwei Reihen gesetzt ($m = 2$). Stellt sich aber dabei der lotrechte Nietabstand e zu klein, kleiner als $4 d$ heraus, so gibt man, um die Schwächung des Stehbleches zu vermindern, besser drei Reihen. Die Niete werden in den Reihen entweder versetzt (Abb. 84) oder gleichgestellt, was vorzuziehen ist, um die Niete näher an den oberen und unteren Rand zu bringen. Abstand der Nietereihen $3 d$ bis $3\frac{1}{2} d$, Abstand von den Rändern des Stehbleches und der Stoßlaschen $2 d$. Der lotrechte Nietabstand e wird in der Regel in der ganzen Höhe gleichgemacht, was auch in der Berechnung der Nietenzahl vorausgesetzt wurde. Man könnte die Zahl der Niete etwas verringern, wenn man ihren Abstand am oberen und unteren

Rande kleiner, in der Mitte größer macht, doch wird diese ungleiche Nietenteilung selten durchgeführt. Dagegen findet man in Amerika häufig die Stoßdeckungen nach Abb. 85 angeordnet. Die zulässig größte Nietentfernung im mittleren Teile bei einreihiger Vernietung bestimmt sich dann aus $e_0 = \frac{d \delta h s_2}{Q}$ (worin $s_2 = 1600$). Liegt der Stoß unter einem Querträgeranschlusse (Abb. 84) und ist D der größte Auflagerdruck des Querträgers, so sind zu der nach Formel 26) berechneten Nietzahl noch auf jeder Seite des Stoßes $\frac{1}{2} \frac{D}{d \delta s_2}$ Nieten zuzugeben.

Hinsichtlich der Stöße und Stoßdeckungen in den Gurtungswinkeln und Gurtplatten gilt das in § 10 Gesagte.

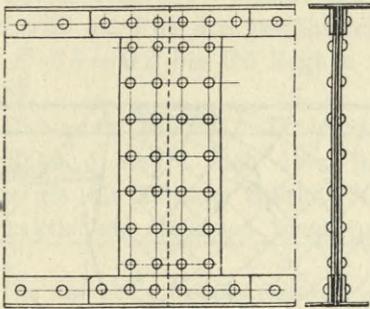


Abb. 83.

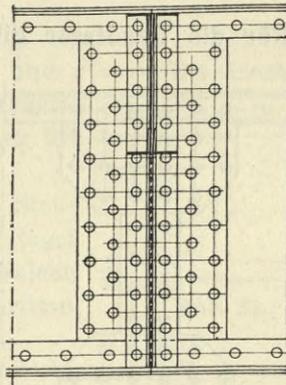


Abb. 84.

Beanspruchung und Aussteifung des Stehbleches. Wie die Biegungstheorie lehrt, treten in einem zur Längsachse senkrechten Querschnitte eines gebogenen Balkens sowohl Normal- als auch Schubspannungen auf und dies gilt auch für jede andere Schnitttrichtung. Für zwei bestimmte Schnitttrichtungen, die aufeinander senkrecht stehen, werden aber für eine gegebene Querschnittsstelle die Schubkräfte Null und man kann sich sonach ein nach diesen Schnitttrichtungen liegendes elementares Parallelopiped denken, auf dessen Seitenflächen nur Normalspannungen einwirken. Die eine dieser Spannungen ist Druck, die andere Zug. Man bezeichnet sie als Hauptspannungen. Sie geben gegenüber allen anderen in diesem Punkte geführten Schnitttrichtungen das Maximum von Zug oder Druck (Abb. 86). Bestimmt man in jedem Punkte des ebenen Trägerlängsschnittes die Richtungen der beiden Hauptspannungen, so erhält man zwei Scharen von sich rechtwinklig kreuzenden Linien, die

sogenannten Spannungstrajektorien, die in ihrer Tangentenrichtung in jedem Punkte die Richtungen der Hauptspannungen, also des größten Zuges oder Druckes angeben. Die Richtungslinie des größten Druckes verläuft bei einem nach abwärts gebogenen Balken zur oberen Randfaser asymptotisch und schneidet die untere Randfaser senkrecht; bei der Zuglinie ist das Umgekehrte der Fall. In der neutralen Faser sind beide Hauptspannungsrichtungen unter 45° geneigt.

Ist in dem senkrecht zur Längsachse geführten Querschnitte in einem bestimmten Querschnittspunkte σ die Normalspannung, τ die Schubspannung, so folgen daselbst die Hauptspannungen aus

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{2} \sigma + \sqrt{\frac{1}{4} \sigma^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{1}{2} \sigma - \sqrt{\frac{1}{4} \sigma^2 + \tau^2}$$

Für die Randfaser gibt die Normalspannung gleichzeitig die

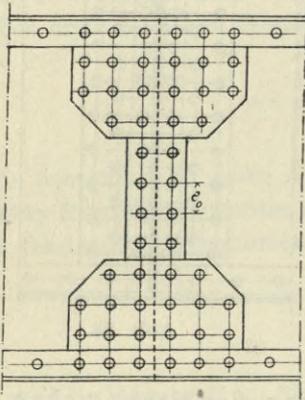


Abb. 85.

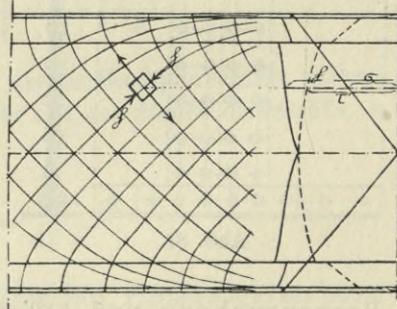


Abb. 86.

Hauptspannung, in der neutralen Achse ist die Hauptspannung gleich der Schubspannung. Es ist sonach die Beanspruchung des Stehbleches in den Querschnitten in der Nähe der Trägermitte an den Rändern am größten und durch die Biegungsspannung bestimmt, wogegen an den Trägerenden die größte Beanspruchung durch die Schubkraft in der neutralen Achse auftritt. Für zwischenliegende Querschnitte kann die Hauptspannung auch ihren Größtwert am inneren Rande der Winkeleisen erreichen (Abb. 86).

Zur Bestimmung der Stärke des Stehbleches wird es aber nicht notwendig sein auf die Berechnung dieser Hauptspannungen näher einzugehen, da die Beanspruchung durch die Scherkraft am Auflager die maßgebende ist.

Ist Q_0 die größte Querkraft am Auflager (Auflagerdruck des freiaufliegenden Trägers), J das Trägheitsmoment des Querschnittes am Auflager, Σ das statische Moment der Querschnittshälfte auf die neutrale Achse bezogen, so ist die Schubspannung daselbst $\tau = \frac{Q_0 \Sigma}{J \delta}$. Man kann diese mit $\frac{4}{5}$ der Zuginanspruchnahme s als zulässig annehmen und ferner für $\frac{\Sigma}{J}$ den Näherungswert einführen $\frac{\Sigma}{J} = \frac{3}{2} \frac{\delta h + 4F}{\delta h + 6F} \cdot \frac{1}{h} = \frac{3}{2} \alpha \cdot \frac{1}{h}$, worin F die Fläche einer Gurtung bezeichnet. Man erhält damit

$$\delta h = \alpha \frac{15}{8} \frac{Q_0}{s} \dots \dots \dots 27)$$

Der Koeffizient α nimmt für $F=0$ und $F=\infty$ die Grenzwerte 1 und 0.67 an. Für die gewöhnlichen Verhältnisse $F:\delta h=0.2$ bis 0.6 liegt α zwischen 0.8 und 0.7.

Die nach Formel 27) berechnete Stehblechdicke δ ergibt sich aber in der Regel kleiner als die kleinste Stärke (8 mm), welche aus praktischen Gründen nicht unterschritten wird.

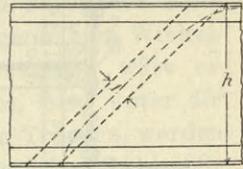


Abb. 87.

Für das obige Beispiel (Seite 95) eines Blechträgers einer Eisenbahnbrücke von 12 m Stützweite ist $Q_0 = 37000 \text{ kg}$, $h = 125 \text{ cm}$, $s = 800 \text{ kg/cm}^2$, so daß mit $\alpha = 0.8$ sich ergeben würde $\delta = 1.5 \frac{37000}{800 \cdot 125} = 0.56 \text{ cm}$. Das Stehblech ist sonach mit $\delta = 1 \text{ cm}$ für die Scherkräfte reichlich stark bemessen.

Alsungünstigste Beanspruchung des Stehbleches kommt aber nicht das Abscheren, sondern die Beanspruchung auf Druck und Knickung in Frage. Die unter 45° zur Längsachse wirkende Hauptdruckspannung ist in der neutralen Achse

$$k = \tau = \frac{3}{2} \alpha \frac{Q}{h \delta}$$

Dieselbe kann in der Höhe des Stehbleches nahezu konstant und mit dem Mittelwerte $k = 1.2 \frac{Q}{h \delta}$ angenommen werden. Auf den unter 45° geneigten Blechwandstreifen (Abb. 87) von der Breite 1 wirkt sonach eine Druckkraft $k \delta = 1.2 \frac{Q}{h}$. Die Knicklast des an den Enden eingespannten Streifens rechnet sich mit

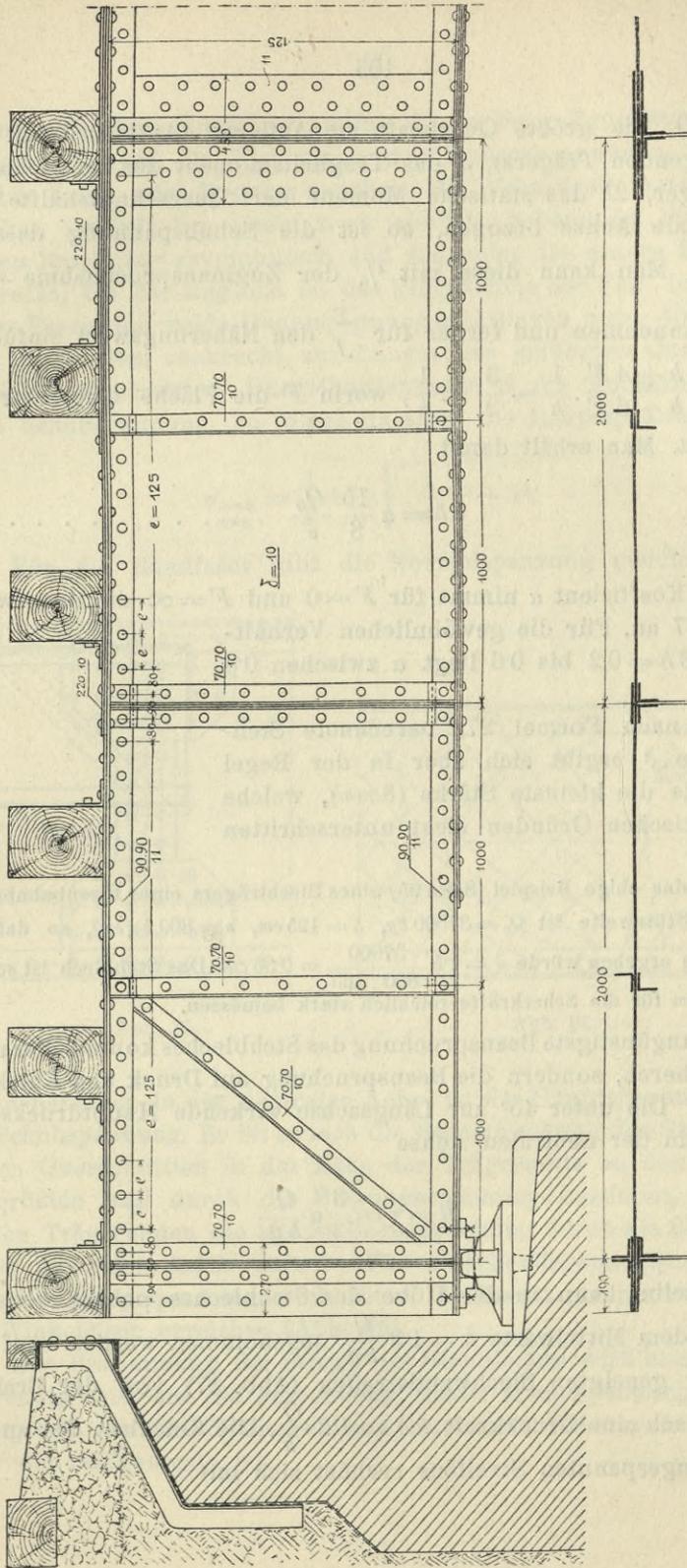


Abb. 88. Eisenbahn-Blechbrücke mit oben liegender Fahrbahn von 12 m Stützweite.

$$P = 2 \frac{\pi^2 EJ}{h^2} = \frac{1}{6} \frac{\pi^2 E \delta^3}{h^2} = 1.6 \frac{E \delta^3}{h^2}.$$

Bei n facher Sicherheit gegen Ausknicken müßte sonach sein

$$n \cdot 1.2 \frac{Q}{h} = 1.6 \frac{E \delta^3}{h^2},$$

wonach der Sicherheitsgrad sich bestimmt mit

$$n = \frac{4}{3} \frac{E \delta^3}{Q h} = 3,000,000 \frac{\delta^3}{Q h} \dots \dots \dots 28)$$

Die ausgeführten Wandstärken der Blechträger erweisen sich hienach für die Knicksicherheit als durchaus unzureichend.

Für den berechneten Träger (S. 95) ergäbe sich $n = 3,000,000 \frac{1}{37000 \cdot 125} = 0.65$.

Es ist daher notwendig, das Stehblech durch besondere Aussteifungen in Form von an die Trägerwandung genieteten Winkel- oder anderen Formeisen zu verstärken. Am günstigsten wäre es, diese Steifen in der Richtung des größten Druckes, also unter 45° steigend anzuordnen. Zuweilen, besonders bei hohen Trägern, werden auch an den Trägerenden solche schräge Steifen gegeben (Abb. 88), gewöhnlich stellt man sie aber durchwegs lotrecht und benützt sie dann auch zum Anschluß der Querträger und Querverbindungen. Man bildet die Steifen aus einem oder zwei Winkelleisen, seltener aus \perp -Eisen oder \lrcorner -Eisen, die entweder einseitig oder beiderseitig des Stehbleches angenietet werden.

Was die Austeilung der Steifen betrifft, so ist vor allem eine kräftige Steife über dem Auflager des Trägers anzubringen und für den vollen Auflagerdruck zu dimensionieren. Im allgemeinen wäre die Regel einzuhalten, daß, sobald die freie Höhe des Stehbleches zwischen den Gurtwinkeln mehr als die 60fache Stehblechdicke und der Auflagerdruck mehr als $20 t$ beträgt, die Steifen in der Nähe der Trägerenden in Abständen ungefähr gleich der Trägerhöhe, keinesfalls aber weiter als etwa $1.6 m$ anzuordnen sind. In der Trägermitte können die Abstände vergrößert oder die Steifen schwächer gehalten werden. Liegen bei Eisenbahnbrücken die Querschwellen unmittelbar auf den Hauptträgern, so sind die Steifen durchwegs, wenn auch nicht unter jeder Schwelle, aber nicht in größeren Abständen als etwa 1 bis $1.6 m$ anzubringen (Abb. 88). Bei zwischen den Hauptträgern liegender Fahrbahn dienen die Anschlußwinkel der Querträger gleichzeitig als Aussteifungen für die

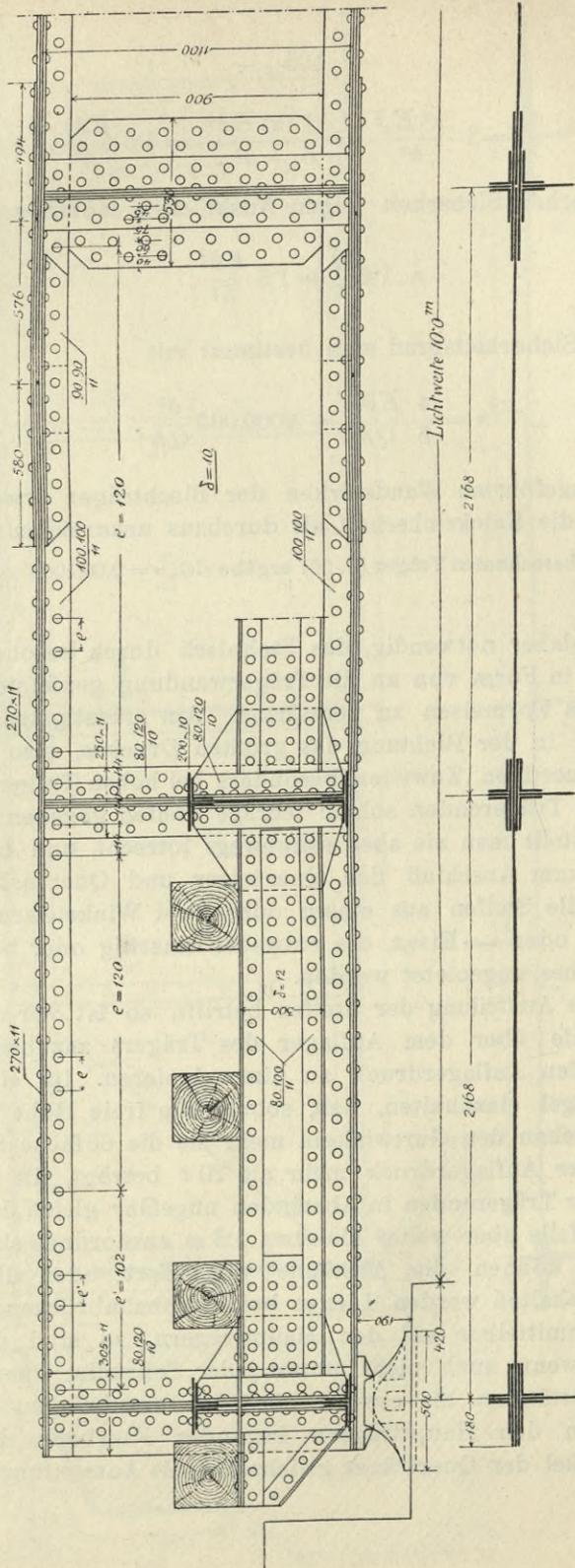


Abb. 89. Eisenbahn-Blechbrücke mit unten liegender Fahrbahn von 1084 m Stützweite.

Trägerwand. Dieselben genügen, wenn ihr Abstand nicht viel über 2 m und die Trägerhöhe nicht über 1·2 m beträgt (Abb. 89). Bei größerem Abstand der Querträger oder größerer Trägerhöhe wird man in den seitlichen Feldern gegen die Auflager zu aber wohl noch je eine senkrechte oder schräge Zwischensteife anbringen.

Eine Berechnung der Steifen kann nur sehr näherungsweise erfolgen. Als aufzunehmender Druck wäre für die Endsteifen die größte Auflagerkraft, für die Zwischensteifen bei dem Abstände a derselben und bei unten liegender Fahrbahn etwa $Q \frac{a}{h}$, wo Q die größte Querkraft am Ort der Steife, einzuführen. Bei oben liegender Fahrbahn müßte dieser Druck für jede der Steifen, welche in den unmittelbar belasteten Punkten oder in etwas größeren Abständen anzuordnen sind, zumindest gleich dem größten durch die Fahrbahn übertragenen Drucke gesetzt werden. Von diesem Drucke kann jene Kraft P abgerechnet werden, welche das Stehblech durch seine eigene Steifigkeit aufnimmt, das ist bei Annahme vollkommener Einspannung und vierfacher Sicherheit $P = \frac{\pi^2 E \delta^3 a}{12 h^2} = 1850 \frac{\delta^3 a}{h^2}$ Tonnen. Bei konzentriert auf den Obergurt übertragenen Drücken (Fahrbahn oben) wäre hierin höchstens $a = 30 \delta$, sonst a gleich dem Steifenabstand zu setzen.

Ist der Steifenquerschnitt zur Wandebene symmetrisch, die Steife sonach beiderseits der Wand angebracht, so bestimmt sich ihre zulässige Belastung aus $D = F s_k$ nach den Regeln der Knickbeanspruchung, worin als Knicklänge etwa $\frac{3}{4}$ der Trägerhöhe angenommen werden kann. Bei einseitig angeschlossenen Steifen käme dagegen die exzentrische Kraftwirkung zu berücksichtigen. Ist e der Schwerpunktsabstand des Steifenquerschnittes von der Wandmitte, e_1 vom Rande der Steife, so wird in diesem Falle $s = \frac{D}{F} + \frac{D e e_1}{J}$.

Für den Träger der Abb. 78 u. 88 ist der Auflagerdruck 37 t. Das Stehblech vermag in der Breite von 30 cm eine Kraft $P = 1850 \cdot \frac{1 \cdot 30}{125^2} = 355$ t aufzunehmen; folglich entfällt auf die Endsteife ein Druck 37 — 355 = 33·45 t. Der Querschnitt dieser Endsteife (Abb. 90) ergibt $F = 95 \cdot 2 \text{ cm}^2$. $J = 1342 \cdot 3$, $i = 3 \cdot 76 \text{ cm}$, Knicklänge $l = 0 \cdot 75 h = 94 \text{ cm}$, $l : i = 25$, sohin zulässige Beanspruchung $s_k = 0 \cdot 741 \cdot s = 593 \text{ kg/cm}^2$. Da die Beanspruchung nur $\frac{D}{F} = \frac{33450}{95 \cdot 2} = 350 \text{ kg/cm}^2$ beträgt, so ist die Steife ausreichend bemessen.

An der ersten Zwischensteife beträgt die max. Querkraft $Q = 32 \text{ t}$ und $Q \frac{a}{h} = 32 \frac{100}{125} = 25 \cdot 6 \text{ t}$. Hievon kann die vom Stehblech in der Breite $a = 100 \text{ cm}$

aufzunehmende Kraft $P = 1850 \frac{100}{125^2} = 11.8 t$ abgezogen werden, so daß auf die Steife ein Druck $D = 25.6 - 11.8 = 13.8 t$ entfällt. Dieser Druck ist noch immer größer als der von einer Schwelle unmittelbar übertragene Druck (bei 20 t Achslast $D = 10 - 3.55 = 6.45 t$). Für den ausgeführten Querschnitt (Abb. 91) ist $F = 26, i = 3.36 cm, l : i = 28, s_k = 0.732 \cdot 800 = 585 kg/cm^2 \frac{D}{F} = \frac{13800}{26} = 530 kg/cm^2$, sonach kleiner als die zulässige Beanspruchung s_k .

Die Querkraft an der nächsten Steife ist $Q = 29 t$, der auf die Steife entfallende Druck $Q \frac{a}{h} - P = 22.4 - 11.8 = 10.6 t$. Für den unsymmetrischen Querschnitt (Abb. 92) ist $F = 42.5 cm^2, J = 190 cm^2, e = 1.20, e' = 6.30 cm$; es berechnet sich sonach die Druckspannung in der Steife mit $\frac{10600}{47.5} + \frac{10600 \cdot 1.2 \cdot 6.3}{190} = 671 kg/cm^2$, so daß dieselbe ausreichend dimensioniert erscheint. Das gleiche gilt von den übrigen Steifen, die durchwegs geringere Druckkräfte aufzunehmen haben.

Die Steifen sind immer auch mit den Gurtungswinkel zu vernieten. Sie müssen daher entweder über diese gekröpft werden,

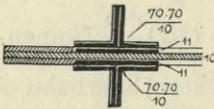


Abb. 90.

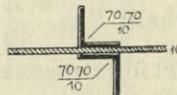


Abb. 91.

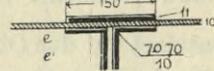


Abb. 92.

(Abb. 93) oder es ist ein Futterblech von der Stärke des Winkelchenkels unterzulegen (Abb. 94). Kröpfungen sollen nur in heller Rotglut durch Pressen oder unter dem Dampfhammer ausgeführt werden (S. 7). Die Mehrarbeit des Kröpfens lohnt sich nur bei längeren Winkeleisen, d. i. bei Trägerhöhen von mehr als 60 bis 80 cm. Bei niedrigen Trägern kommen Futterbleche billiger.

Gewicht und günstigste Höhe der Blechträger.

Es bezeichnet in den nachstehenden Entwicklungen:

g das Gewicht des Blechträgers in Kilogramm pro Meter.

M_v das mittlere Moment der Belastung, ausschließlich Eigengewicht des Trägers in $kg \cdot cm$.

$M = M_v + \frac{100}{12} g l^2$ das mittlere Gesamtmoment in $kg \cdot cm$, wo-

bei l die Stützweite in Meter

F den mittleren nutzbaren Querschnitt des Trägers

$W = \frac{1}{2} F \cdot h'$ dessen Widerstandsmoment, wenn $h' =$ Abstand

der Kernpunkte, wofür bei der Stegdicke δ näherungsweise

$$h' = \left(1 - \frac{2}{3} \frac{\delta h}{F}\right) h$$

zu setzen ist. Die Bedingung $M = W_s$ führt zu

$$F = \frac{2 M_v}{h s} + \frac{100 g l^2}{6 h s} + \frac{2}{3} \delta h.$$

Um hieraus das wirkliche Trägervolumen zu erhalten, muß mit Rücksicht auf die Nietschwächung, auf die Überdimensionierung an den Trägerenden, auf die Mehrlängen der Gurtbleche und auf die Nietköpfe die theoretische mittlere Querschnittsfläche mit einem Konstruktionskoeffizienten $C > 1$ multipliziert werden. Nach Ausführungen ist $C = 1.2 - 1.4$, im Mittel $= 1.3$ anzunehmen. Überdies

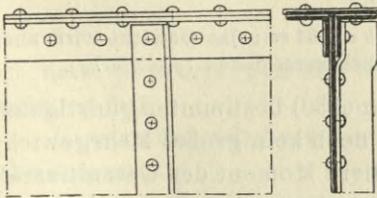


Abb. 93.

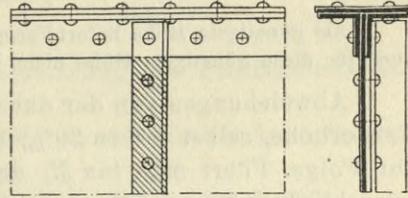


Abb. 94.

ist noch das Volumen der Steifen und Stoßdeckbleche zuzuschlagen. Rechnet man für die Steifen und Anschlußwinkel der Querverbindungen oder Querträger auf 1 m Trägerlänge 20 cm^2 , für die Stoßdeckungen des Stehbleches etwa 15 cm^2 Querschnitt, sohin bei der Trägerhöhe h (in Zentimeter) zusammen $0.35 h \text{ (cm}^2 \times \text{m)}$, so erhält man für das Gewicht des Trägers in Kilogramm pro Meter

$$g = (1.3 F + 0.35 h) \gamma,$$

worin $\gamma = 0.785$ das Gewicht eines Stabes von 1 cm^2 Querschnitt und 1 m Länge ist. Die Einsetzung von F liefert

$$g = \frac{2.04 M_v}{h s} + 17 \frac{g l^2}{h s} + 0.68 \delta h + 0.275 h$$

$$g = 0.68 \cdot \frac{3 M_v + (\delta + 0.4) h^2 s}{h s - 17 l^2} \dots \dots \dots 29)$$

Hierin ist h und δ in cm , l in m , s in kg/cm^2 , M_v in $\text{kg} \cdot \text{cm}$ einzusetzen. Das mittlere Moment M_v kann mit $\frac{2}{3}$ bis 0.7 des Maximalmomentes angenommen werden.

Bestimmt man hienach jene Trägerhöhe, für welche sich der Kleinstwert von g ergibt, so erhält man durch Differentiation von 29) nach h

$$h = \frac{17 l^2}{s} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{3 M_v s}{(\delta + 0.4) (17 l^2)^2}} \right]$$

oder mit großer Annäherung

$$h = \sqrt{\frac{3 M_v}{(\delta + 0.4) s}} \dots \dots \dots 30)$$

Für den in Abb. 88 dargestellten Träger ist das Maximalmoment $100.08 tm$, abzüglich des Träger-Eigengewichtes rund $96 tm$; sonach $M_v = \frac{2}{3} 96 = 64 tm = 6,400.000 kg/cm$. Mit $h = 125$, $\delta = 1$, $s = 800$, $l = 12$ ergibt die Formel 29)

$$g = 256 kg/m.$$

Als günstigste Höhe liefert Formel 30) $h = 131 cm$; das Gewicht wird aber auch für diese günstigste Höhe nicht wesentlich verschieden ($g = 255 kg$).

Abweichungen von der durch Formel 30) bestimmten günstigsten Trägerhöhe, selbst bis zu 20% , haben noch kein großes Mehrgewicht zur Folge. Führt man für M_v das mittlere Moment der Gesamtlasten (einschließlich Träger-Eigengewicht) ein, so kann man ohne merklichen Fehler auch setzen

$$g = \frac{2 M}{h s} + 0.7 (\delta + 0.4) h \dots \dots \dots 31)$$

Für eine angenäherte Gewichtsveranschlagung genügt auch die Formel

$$g = 18 \frac{M}{l} + 9 l \dots kg/m \dots \dots \dots 32)$$

worin M das größte Moment in Tonnenmeter, l die Stützweite in Meter bezeichnet.

IV. Kapitel. Die Fahrbahnkonstruktionen der eisernen Brücken.

§ 12. Allgemeines.

An dem Überbau einer eisernen Brücke lassen sich im allgemeinen drei Hauptteile unterscheiden:

1. die in lotrechten (ausnahmsweise in schwach geneigten) Ebenen liegenden Hauptträger,

2. die von diesen getragene, eine mehr oder weniger wagrechte Fläche einnehmende Fahrbahn und

3. die Querverbände zwischen den Hauptträgern.

Es soll zunächst die Konstruktion der Fahrbahn besprochen werden, da auch die Detailbearbeitung eines jeden Brückenprojektes

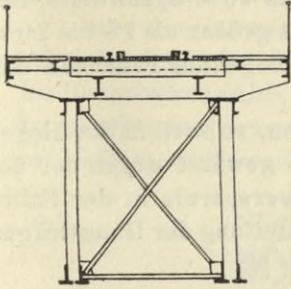


Abb. 95.

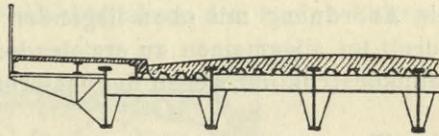


Abb. 96.

mit dem Entwurfe und der Dimensionierung der Fahrbahntheile zu beginnen hat.

Hinsichtlich der Lage der Fahrbahn zu den Hauptträgern unterscheidet man:

1. Brücken mit obenliegender Fahrbahn (Abb. 95, 96),

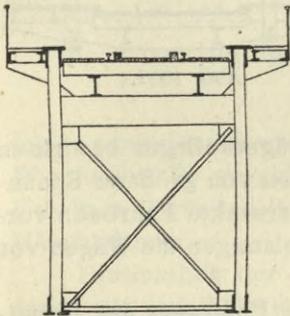


Abb. 97.

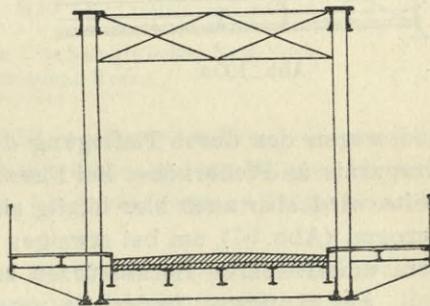


Abb. 98.

2. Brücken mit versenkter Fahrbahn (Abb. 97),

3. " " untenliegender Fahrbahn (Abb. 98, 99),

4. " " angehängter Fahrbahn (Abb. 100).

Die Wahl der einen oder anderen Anordnung hängt vor allem von der zur Verfügung stehenden Bauhöhe, d. i. von dem Höhenabstande zwischen Fahrbahnnivellette und Unterkante des Brückenüberbaues, dann aber auch von der Stützweite und dem Tragwerkssysteme der Hauptträger ab. Die oben liegende Fahrbahn gestattet

ein Näherlegen der Hauptträger oder die Anordnung von mehr als zwei Hauptträgern (Abb. 96), wodurch die Querträger der Fahrbahn leichter gehalten werden können. Bei kleinen Spannweiten mit entsprechend nahe liegenden Hauptträgern kann sogar das ganze Fahrbahnträgergerippe erspart und die Fahrbahn unmittelbar auf die Hauptträger gelagert werden. Brücken mit mehr als 20 m Spannweite, bei denen auch der Abstand der Hauptträger stets größer als 1·8 bis 2·0 m gemacht wird, erfordern aber auch bei oben liegender Fahrbahn die Anordnung von Querträgern.

Ist eine ausreichende Bauhöhe vorhanden, so wird in der Regel die Anordnung mit oben liegender Fahrbahn gewählt wegen der dadurch im allgemeinen zu erzielenden Gewichtsersparnis in der Fahrbahnkonstruktion, wegen der besseren Querabsteifung der Hauptträger

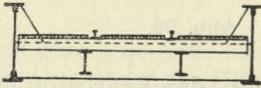


Abb. 99.

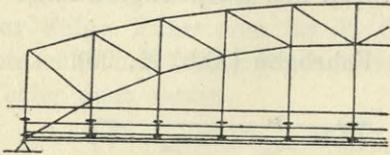


Abb. 100a.

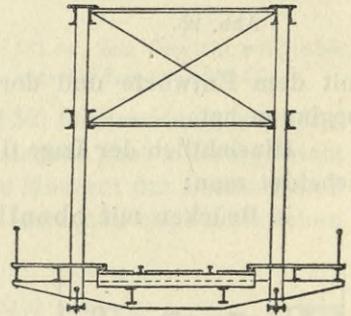


Abb. 100b.

und wegen der durch Tieflagerung der Hauptträgerauflager bewirkten Ersparnis an Pfeilerhöhe. Bei Eisenbahnbrücken von größerer Spannweite wird aber auch hier häufig eine etwas versenkte Fahrbahn vorgezogen (Abb. 97), um bei etwaigen Zugsentgleisungen die Wagen vor dem unmittelbaren Herabstürzen zu sichern.

Am häufigsten findet die unten, d. i. am Untergurt der Hauptträger liegende Fahrbahnordnung Anwendung, da die Bauhöhe meist durch örtliche Verhältnisse beschränkt ist und eine Höherlegung der Nivellette der Brückenbahn sich mit Rücksicht auf die Kosten und die zulässigen Steigungen verbietet. Die Hauptträger ragen in diesem Falle in ihrer ganzen Höhe über die Fahrbahn und es ist ihre Zahl auf zwei beschränkt, wenn eine Unterteilung der Fahrbahn, die nur bei mehrgleisigen Eisenbahn- oder ausnahmsweise breiten Straßenbrücken zulässig erscheint, vermieden werden soll. Die Fußwege der Straßenbrücken legt man gewöhnlich außerhalb der Hauptträger (Abb. 98), um deren Abstand und damit auch das Gewicht der Querträger

zu vermindern; nur bei schmalen Fahrbahnen kann die Innenlage der Fußwege die einfachere Anordnung ergeben, da in diesem Falle die Gesamtbreite der Brückenbahn bei wenig frequenten Brücken etwas reduziert werden kann. (Man vergleiche Bd. I, § 8, und die dort gegebenen Breitenmaße für Straßenbrücken I., II. u. III. Klasse nach den österreichischen Vorschriften.)

Sind die Untergurte der Hauptträger nicht gerade, so ergibt sich bei tiefer Lage der Fahrbahn die Notwendigkeit ihrer Anhängung an die Hauptträger (Abb. 100). Bei außenliegenden Fußwegen bietet diese Tragwerksanordnung den Vorteil des erleichterten Querverkehres auf der Brücke, doch muß hier für die Aufnahme der in der Fahrbahn-

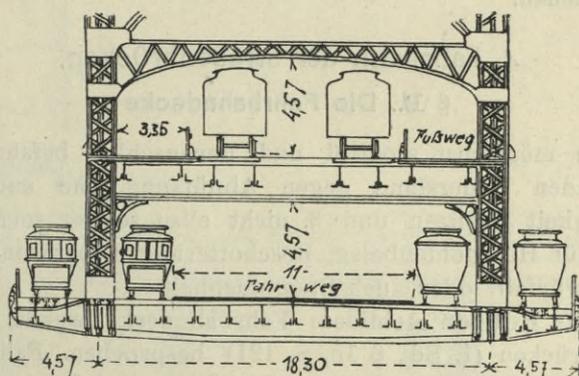


Abb. 101. Querschnitt der Blackwellbrücke, New-York.
(Nach Engineering News.)

fläche angreifenden wagrechten Kräfte entsprechend vorgesorgt werden. Wir finden die angehängte Fahrbahn insbesondere bei den über der Fahrbahn liegenden Bogenträgern, bei linsenförmigen Trägern und bei Hängeträgern.

Hinsichtlich der Anordnung zweigeschossiger Fahrbahnen, von denen die eine für Straßen-, die andere für Eisenbahnverkehr dient, wird auf Bd. I, S. 38, hingewiesen. Den dort gegebenen Beispielen von Brücken mit besonders großen mehrfachen Verkehrsbahnen wird in Abb. 101 noch der Querschnitt der Blackwellbrücke in New-York angefügt.

An der Fahrbahnkonstruktion einer Brücke lassen sich im allgemeinen drei Teile unterscheiden:

1. die Fahrbahndecke, auf der unmittelbar der Verkehr stattfindet,

2. die Fahrbahntafel, d. i. die zusammenhängende tragende Unterlage der Fahrbahndecke und

3. das Trägergerippe der Fahrbahn, auf welchem die Fahrbahntafel aufliegt und das aus Quer- und Längsträgern gebildet wird. Bei den Straßenfahrbahnen sind diese Teile immer vorhanden, bei den Eisenbahnbrücken nur dann, wenn das Gleis in ein durchgehendes Kies- oder Schotterbett gelagert ist. Diese Anordnung bildet aber die Ausnahme, gewöhnlich ist das Gleis ohne Kiesbettung unmittelbar auf den Fahrbahnträgern liegend und es ist dann keine Fahrbahntafel vorhanden.

Bei der Fahrbahnherstellung sind weiters noch die Anlagen für die Entwässerung, für die Längsausdehnung (Auszugs- oder Dilatationsvorrichtungen) und der Anschluß an die Widerlager in Betracht zu ziehen.

4. Fahrbahn der Straßenbrücken.

§ 13. Die Fahrbahndecke

soll 1. sich möglichst stoßfrei und geräuschlos befahren lassen, 2. genügenden Widerstand gegen Abnutzung und entsprechende Dauerhaftigkeit besitzen und 3. nicht allzu schwer sein. Man verwendet dafür Holzbohlenbelag, Beschotterung, Pflasterung mit Holz- oder Steinwürfeln oder auch Stampfasphalt.

Die aus Bohlen gebildete Fahrbahndecke wurde bereits bei den Holzbrücken (I. Bd., § 15, S. 121) besprochen. Fahrbahndecke und Fahrbahntafel sind hier entweder in einem Bohlenbelage vereinigt oder, was vorzuziehen ist, es liegt auf dem unteren, die Fahrbahntafel bildenden stärkeren Belage ein schwächerer (5 bis 7 cm starker) Schutzbelag, für welchen Eichen- oder Buchenholz, bei geringerem Verkehr auch Kiefer- oder Lärchenholz verwendet wird. Zum Zwecke der Entwässerung der Fahrbahn hat man dem Bohlenbelage ein Quergefälle von 1:30 bis 1:40 zu geben, was durch Höherlegung der mittleren Fahrbahnlängsträger oder durch Auflage verschieden hoher Längsbalken auf den Fahrbahnlängsträgern, sowie durch einen durchgehenden Stoß der Bohlen in der Mitte der Fahrbahn zu erzielen ist. Der Stoß kann durch ein aufgeschraubtes Flacheisen überdeckt werden. Die Bohlen werden durch an der Unterseite eingeschlagene Hakennägel an den Trägerflantschen befestigt.

Diese Holzfahrbahn ist wohl sehr leicht aber wenig dauerhaft und bei stärkerem Verkehr einer raschen Abnutzung unterworfen.

Das Gewicht eines Bohlenbelages von der Stärke d in Zentimetern beträgt für durchnächsten Zustand

$$g_0 = 9d \text{ bis } 10d \text{ kg/m}^2$$

Die Schotterdecke wird bei Brücken in Landstraßen mit gleicher Befestigung des Straßenkörpers gerne und häufig angewendet, da sie eine einheitliche und einfache Erhaltung zuläßt und durch die Straßenwärter immer leicht instand gehalten werden kann (Abb. 102). Die durch die Schotterdecke bewirkte Verteilung der Rad-drücke ist auch für die Fahrbahntafel günstig. Das Gewicht ist allerdings recht beträchtlich und man wird daher die Stärke der Schotter-

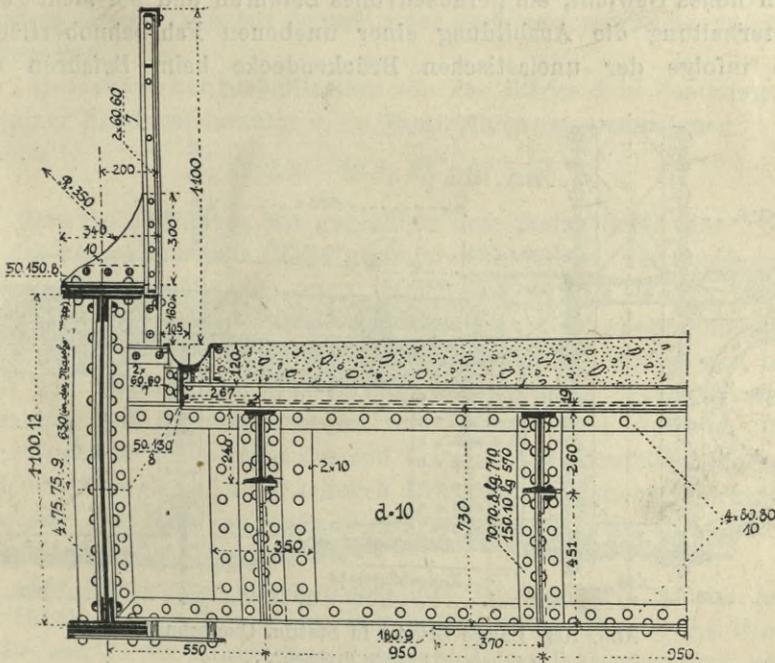


Abb. 102. Querschnitt einer Straßenbrücke mit Schotterdecke.

(Nach Plänen des österreichischen Arbeitsministeriums.)

decke nicht unnötig groß machen. Eine durchschnittliche Stärke von 20 cm kann als genügend angesehen werden, an den Rändern der Fahrbahn soll sie nicht unter 12 bis 15 cm betragen. Der Oberfläche wird der Entwässerung wegen ein Quergefälle von $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{30}$ gegeben; man erzielt dasselbe dadurch, daß man die Schotterdecke in der Straßenmitte auf etwa 25 bis 30 cm verstärkt oder bei breiteren Brücken besser dadurch, daß man der Fahrbahntafel selbst ein Quergefälle gibt. Es ist nur Schlegelschotter (Steinschlag) aus hartem, wetterbeständigen Gestein mit einer Korngröße von 3 bis 6 cm zu verwenden. Zur Festigung des Zusammenhanges empfiehlt sich das Abwalzen mit einer entsprechend schweren Straßenwalze.

Das Gewicht der Schotterdecke kann bei der Stärke d in Zentimetern mit

$$g_0 = 19 d \text{ bis } 20 d \text{ kg pro } 1 \text{ m}^2$$

angenommen werden.

Steinpflaster als Fahrbahndecke auf Brücken eignet sich für besonders schweren und lebhaften Verkehr und findet daher bei städtischen Brücken häufig Verwendung (Abb. 103). Nachteile sind sein hohes Gewicht, ein geräuschvolles Befahren und bei nicht guter Unterhaltung die Ausbildung einer unebenen Fahrbahnoberfläche die infolge der unelastischen Brückendecke beim Befahren mit

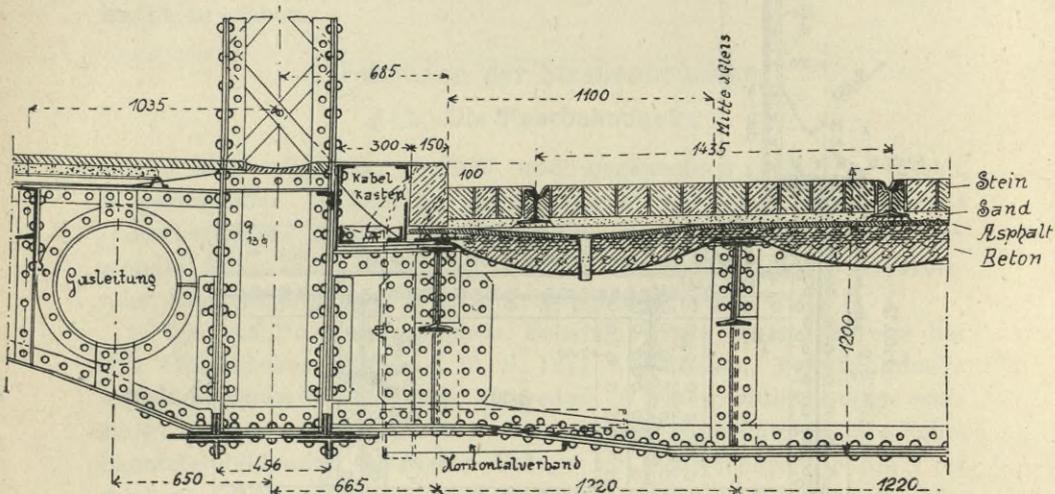


Abb. 103. Lange Brücke in Stettin. Querschnitt.

(Aus Schaper, „Eiserne Brücken“, S. 344.)

schweren Wagen starke Stöße und Erschütterungen des eisernen Tragwerkes hervorruft. Die zur Pflasterung verwendeten würfelförmigen Steine sind 15 bis 25 cm lang, 10 bis 20 cm breit, 10 bis 18 cm hoch. Sie werden in Querreihen mit versetzten Fugen auf einer 2 bis 6 cm hohen Sandschichte verlegt. Letztere findet ihre Unterlage entweder auf einer Kiesschichte, die in einer Stärke von 8 bis 12 cm die Oberkante der Fahrbahntafel überdeckt, oder besser auf einer, die Fahrbahntafel um 6 bis 8 cm überdeckenden Schichte von Magerbeton, die zweckmäßig eine wasserdichte Abdeckung aus Asphalt, Asphaltfilzplatten, Tektolith oder Ähnlichem erhält. Zur Verminderung des Gewichtes empfiehlt es sich, niedere Würfel zu verwenden und erweist sich ein Pflaster aus hartem Stein (Granit) von bloß 10 cm Stärke auch für schweren Verkehr als vollkommen

ausreichend widerstandsfähig. Bei Anordnung einer Betonunterlage genügt für dieses Pflaster eine Sandunterbettung von 2 bis 4 *cm*.

Der Oberfläche des Pflasters gibt man ein Quergefälle von 2 bis 3% oder eine Wölbung von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{70}$ Pfeil. Bei breiteren Brücken wird diese Querneigung wieder in der Fahrbahn tafel auszubilden sein, um nicht die Brückendecke in der Fahrbahnmitte zu sehr verstärken zu müssen. Die Fugen des Pflasters, die übrigens möglichst eng zu halten sind, werden zur besseren Wasserabhaltung in ihrem oberen Teile mit Asphalt oder auch nur mit Zementmörtel ausgegossen.

Als Gewicht des Steinpflasters von der Stärke *d* in Zentimetern mit einer Sandunterbettung *d*₁ in Zentimetern ist anzunehmen

$$g_0 = 25d + 19d_1 \text{ kg pro } 1 \text{ m}^2$$

Das Holzpflaster hat gegenüber dem Steinpflaster den Vorteil des um mehr als die Hälfte geringeren Gewichtes, der elastischen Milderung der Stöße, die auch infolge der ebenen glatten Oberfläche in vermindertem Maße auftreten, und des geräuschloseren Befahrens; dagegen ist es mehr der Abnützung unterworfen und bei nicht ganz sachgemäßer Ausführung können durch Feuchtigkeitsaufnahme leicht Formänderungen und Verwerfungen eintreten, die das Pflaster in einen üblen Zustand bringen. Die Herstellungskosten sind ungefähr gleich, die jährlichen Erhaltungskosten bei stärkerer Frequenz aber etwa anderthalb mal so groß als jene eines guten Steinpflasters.

Zur Pflasterung dienen Holzklötze (Holzstöckel), welche auf das Hirnholz gestellt werden, gewöhnlich 13 *cm* Höhe, 8 bis 10 *cm* Breite und 20 bis 25 *cm* Länge besitzen. Es muß ausgesuchtes, ast- und splintfreies, gut ausgetrocknetes Holz verwendet werden. Eine Tränkung mit Kreosot oder anderen Imprägnierstoffen erweist sich für die Haltbarkeit und die Verminderung des Quellens und Schwindens vorteilhaft. Meist werden mit Kreosot getränkte Kiefernholzstöckel verwendet, zuweilen auch amerikanische oder australische Holzarten; auch für Eichenholz (gut getrocknet und nicht imprägniert) liegen gute Erfahrungen vor.

Die Stöckel werden mit ihrer Längsrichtung in Querreihen senkrecht zur Brückenlängsachse ohne Zwischenraum verlegt, nachdem man sie zuvor in eine heiße Klebmasse aus Teer, Asphalt oder Pech getaucht hat. Gegen die Bordschwelle der Fahrbahn schließen diese Querreihen mit einer oder zwei Längsreihen ab, welche von der Bordschwelle durch eine 5 *cm* weite Fuge zu trennen sind (Abb. 104). Letztere wird im unteren Teile mit Sand, darüber mit Ton

ausgefüllt, wodurch die seitliche Ausdehnung möglich gemacht wird. Zwischen den Querreihen können 3 bis 6 mm weite Fugen gegeben werden, in die man Teerpappe oder Asphaltfilzstreifen einlegt, um auch die Ausdehnung nach der Längsrichtung nicht zu behindern. Die Unterlage der Stöckel muß eben und unnachgiebig sein. Man hat hierzu einen mit Teerpappe belegten schwachen Bohlenbelag verwendet oder besser die Stöckel unmittelbar auf eine Betonschichte, welche mit Zementmörtel abzugleichen ist, verlegt. Um die Feuchtigkeit von der Fahrbahnplatte abzuhalten, gibt man dieser Betonschichte, für welche ein Mischungsverhältnis von 1:6 bis 1:8

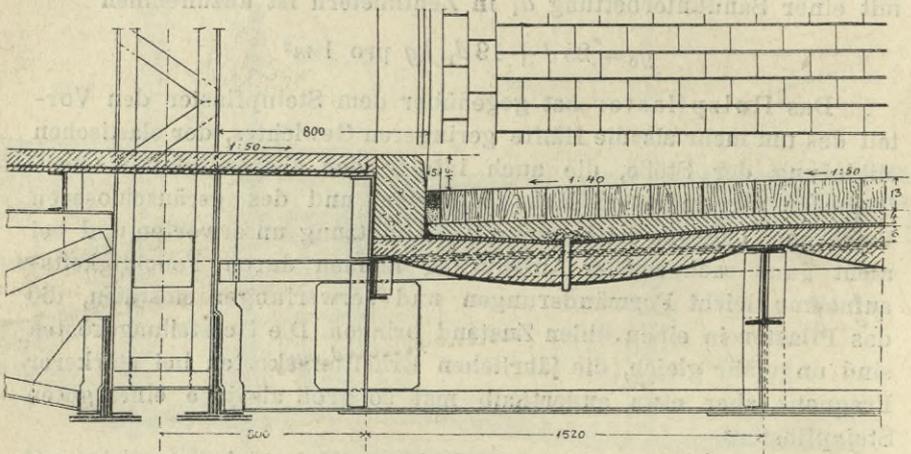


Abb. 104.

genommen werden kann und welche die Fahrbahntafel um mindestens 6 cm überdeckt, eine wasserdichte Abdeckung (Naturasphalt, Tektolit, Ruberoid, Zuffersche Platten etc.), schützt aber diese noch durch eine darüber aufgebrachte, etwa 3 bis 5 cm starke Zement-Grobmörtelschichte (Mischung 1:4). Man hat auch die ganze untere Betonlage wasserdicht, nämlich aus Asphaltbeton (7 Gewichtsteile Kies, 1 Sand, 5 Asphalt und 1½ Goudron) hergestellt und diesen mit einer 5 cm starken Zementbetonschichte überdeckt, auf welchen die Holzstöckel verlegt werden. Der Asphaltbeton ist aber teuer und trägt nicht wie der Zementbeton zur Erhöhung des Tragvermögens der Fahrbahntafel bei.

Der Oberfläche des Pflasters ist ein gegen die Bordschwellen verstärktes Quergefälle zu geben; am besten empfiehlt sich eine Parabel mit $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{80}$ Pfeil. Das fertige Pflaster wird mit einer

dünnen Schichte von harten Kies oder Gesteinsgrus bestreut; diese Bestreuung ist bei stärkerem Verkehr etwa alljährlich zu erneuern.

Das Gewicht des Holzstöckelpflasters von der Stärke d in Zentimetern ist

$$g_0 = 10 d \text{ kg pro } 1 \text{ m}^2.$$

Stampfasphalt als Fahrbahndecke gibt eine glatte, gut zu entwässernde, staub- und schmutzfreie Fahrbahn; unter Umständen kann auch die geringe Bauhöhe von Vorteil sein. Der Stampfasphalt wird in einer Stärke von etwa 5 cm auf einer Betonunterlage aufgebracht, der man in diesem Falle wohl eine etwas größere Stärke, 9 bis 12 cm über der Oberkante der Fahrbahntafel zu geben hat, um eine entsprechende Druckverteilung zu erzielen. Eine besondere wasserdichte Abdeckung ist hier nicht erforderlich, da der Stampfasphalt selbst wasserundurchlässig ist. Wegen der Glätte der Fahrbahn wird man aber dessen Anwendung auf Steigungen unter 1.5% beschränken.

Gewicht des Stampfasphalts von der Dicke d in Zentimetern

$$g_0 = 20 d \text{ kg pro } 1 \text{ m}^2.$$

Beim Vergleich der Kosten der verschiedenen Fahrbahndecken auf Brücken kommen nicht bloß die Herstellungskosten pro Quadratmeter in Frage, sondern auch das durch das Gewicht der Fahrbahn beeinflusste Gewicht der Tragkonstruktion. Man kann letzteres näherungsweise im geraden Verhältnis mit der Gesamtbelastung und mit der Stützweite l wachsend annehmen, also setzen

$$g = \alpha [g + (g_0 + p) b] l$$

worin g das Eigengewicht der Tragkonstruktion (gesamtes Eisengewicht) pro Längengemeter, g_0 das Gewicht der Fahrbahndecke und p die Verkehrsbelastung pro Quadratmeter, b die Brückenbreite und α einen Koeffizienten bezeichnet. Es folgt daraus

$$g = \frac{\alpha (g_0 + p) b}{1 - \alpha l} \cdot l.$$

Für ein geändertes Gewicht der Brückendecke g_0' würde für das gleiche Tragwerkssystem

$$g' = \frac{\alpha (g_0' + p) b}{1 - \alpha l} l$$

mithin die relative Änderung des Gewichtes der Tragkonstruktion

$$\frac{g' - g}{g} = \frac{g_0' - g_0}{g_0 + p}$$

Das Gewicht der Fahrbahndecke samt Unterbettung, aber ausschließlich der Fahrbahntafel beträgt bei Holzbohlenbelag 70 bis 90, bei Beschotterung 400 bis 600, bei Steinpflaster 600 bis 800, bei Holzpflaster 450 bis 550, bei Stampfasphalt 400 bis 450 *kg* pro 1 *m*², Auf eine 400 *kg* schwere Fahrbahndecke als Vergleichsbasis bezogen ergeben sich nach obiger Formel folgende Verhältniszahlen für das Gewicht der Tragkonstruktion:

Verhältnis des Gewichtes der Tragkonstruktion für
verschieden schwere Fahrbahndecken

Gewicht der Fahrbahndecke <i>g</i> ₀ in <i>kg/cm</i> ²		Verkehrslast <i>p</i> in <i>kg/cm</i> ²			
		400	600	800	1000
Holzbelag	{ 70	0·59	0·67	0·73	0·76
	{ 100	0·63	0·70	0·75	0·79
Stampfasphalt	{ 400	1	1	1	1
Beschotterung	{ 450	1·06	1·05	1·04	1·04
	{ 500	1·12	1·10	1·08	1·07
Holzstöckelpflaster	{ 550	1·19	1·15	1·12	1·11
	{ 600	1·25	1·20	1·17	1·14
Steinpflaster	{ 700	1·37	1·30	1·25	1·21
	{ 800	1·50	1·40	1·33	1·29

Die Decke der Fußwege wird häufig nur durch Holzbohlen gebildet, die auf Längs- oder Querbalken aufliegen. Wegen der Entwässerung erhalten die Bohlen Zwischenräume von 1 bis 1½ *cm* und abgefaßte Kanten. Man gibt auch den Fußwegen eine schwache Neigung (1:50) nach innen zu. Die Längslage der Bohlen ist des besseren Begehens wegen vorzuziehen. Gegen die Fahrbahn ist der Bohlenrand durch eine Bordschwelle zu begrenzen oder durch Eiseneinfassung zu schützen. Dauerhafter und von besserem Aussehen ist ein Estrich aus Gußasphalt von 25 *mm* Stärke, der auf einer Betonunterlage aufliegt, die entweder selbst tragend ist (bewehrte Betonplatte) oder ihre Unterstützung auf einer leichten Fahrbahntafel aus Belageisen, Buckelplatten o. a. findet. Auch Zementestriche (20 *mm*) werden angewendet; dieselben sind aber gegen die tragende Unterlage wasserdicht zu isolieren und zur Verhinderung des Reißens mit einer Drahtnetzeinlage zu versehen. Am solidesten, aber auch am schwersten ist ein Belag aus entsprechend großen 12 bis 15 *cm* starken Granitplatten, wie er bei manchen städtischen Brücken Anwendung gefunden hat.

§ 14. Die Fahrbahntafel.

Diese besteht entweder aus Holz, aus Eisen, aus Stein oder aus einer bewehrten Betonkonstruktion.

Die hölzerne, aus Bohlen bestehende Fahrbahntafel findet jetzt wohl nur dann Anwendung, wenn sie gleichzeitig Fahrbahn ist oder bloß einen Fahrbohlenbelag trägt. Für beschotterte oder gepflasterte Fahrbahnen wird man immer eine dauerhaftere, weniger Reparatur und Erneuerung bedürftige Fahrbahntafel aus Eisen oder Beton vorziehen. Bezüglich der Anordnung des Bohlenbelages und dessen Stärkeberechnung wird auf Bd. I, S. 121, verwiesen.

Zur Konstruktion einer eisernen Fahrbahntafel werden Belageisen, Buckelplatten, Hängebleche, Tonnenbleche oder auch Flachbleche verwendet. Wellblech findet wegen der schwierigen Entwässerung und des leichten Durchrostens der dünnen Bleche für Brückenbeläge jetzt wenig Anwendung und auch die in Amerika vielfach üblichen mit den gleichen Nachteilen behafteten, aus Blechen und Formeisen zusammengesetzten wellenförmigen Trogbleche werden neuerdings gerne durch Eisenbeton-Konstruktionen ersetzt.

1. Als Belageisen kommen jetzt hauptsächlich nur Zorèseisen nach den österreichischen oder deutschen Profiltypen (siehe S. 22) und ein Trapezeisenprofil der Burbacher Hütte (Abb. 105) zur Verwendung. Letzteres hat bei einem Gewicht von $19,7 \text{ kg}$ pro 1 m ein Widerstandsmoment $W = 90 \text{ cm}^3$, übertrifft sonach das annähernd gleich schwere Zorèseisenprofil Nr. 24 noch an Tragfähigkeit.

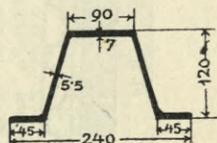


Abb. 105.

Die Belageisen werden entweder quer zur Brückenlängsachse oder dazu parallel angeordnet. Im ersteren Falle liegen sie auf den Fahrbahn längsträgern, im zweiten Falle auf den Querträgern. Die Längslage (Abb. 106) bietet den Vorteil, daß die Fahrbahntafel in der Mitte der Brückenbahn, ihrer Wölbung entsprechend höher gelegt und dadurch eine gleichmäßigere Stärke der Fahrbahndecke erhalten werden kann. Sie erfordert aber naheliegende Querträger oder die Einschaltung von sekundären, auf die Längsträger gelagerten Zwischenquerträgern. Man findet daher häufiger die Querlage durchgeführt (Abb. 102, 107), bei der dann allerdings, da die Zorèseisen nicht gebogen werden können, sich in der Fahrbahnmittle eine größere Deckenstärke ergibt. Um aber bei breiten Fahrbahnen das Gewicht der Fahrbahndecke dadurch nicht allzusehr zu vergrößern, empfiehlt es sich, die Belageisen in der Brücken-

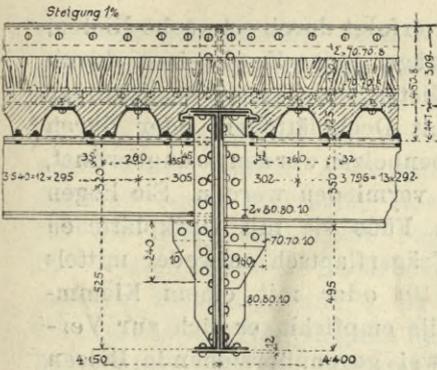


Abb. 107b. Längsschnitt durch die Fahrbahn.

achse zu stoßen und ihnen eine dachförmige Neigung zu geben (Abb. 107).

Die Zorèseisen werden nicht dicht gelegt, sondern mit einem Zwischenraum von 2 bis 3 cm, erstlich wegen der besseren Entwässerung der darüber liegenden Decke und dann auch um an Zahl der Eisen zu sparen. Für geringere Belastungen (Fußwege) hat man die Zorèseisen weiter, mit 10 bis 15 cm Zwischenraum verlegt. Die schmalen Spalten sind mit Kieselsteinen, die breiteren mit Ziegeln, Dachziegeln oder

Betonsteinen (zur Erzielung geringeren Gewichtes wurde hiezu auch Bimssteinbeton verwendet) zu überdecken (Abb. 108); bei Ausfüllung mit Stampfbeton ist eine untere Schalung erforderlich.

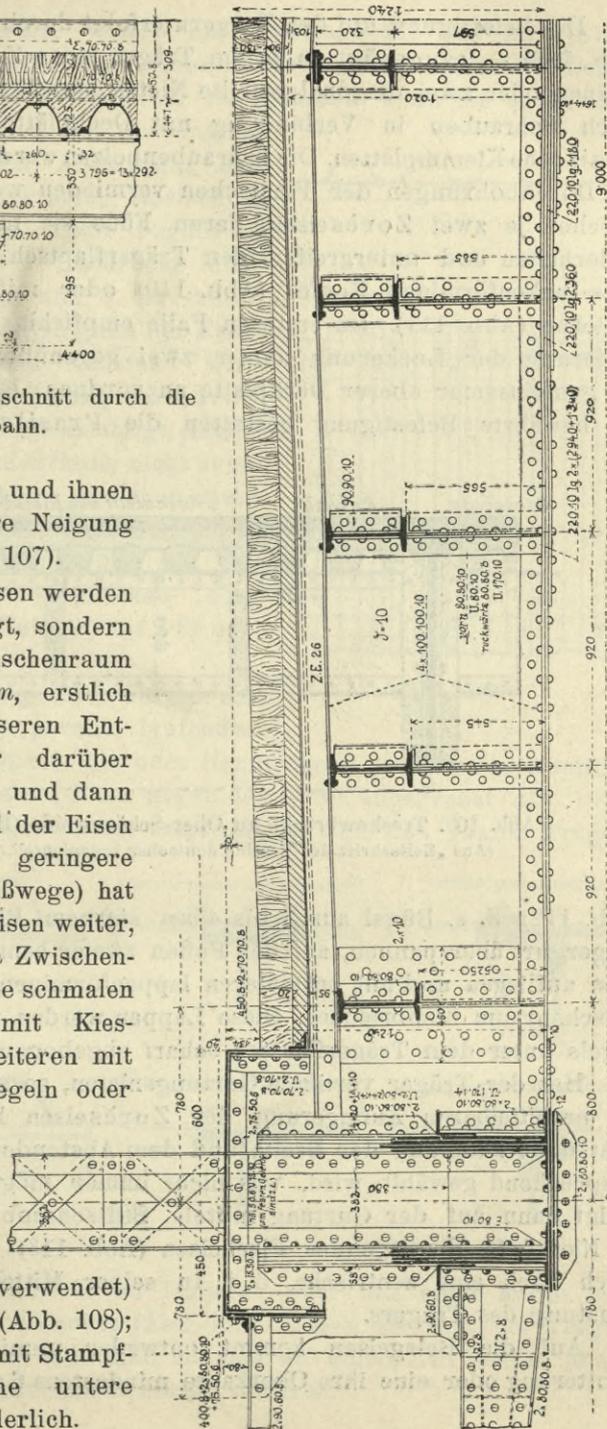


Abb. 107a. Querschnitt einer Straßenbrücke. (Nach Plänen des österreichischen Arbeitsministeriums.)

Die Befestigung auf den Trägern erfolgt durch schwache Nieten, (Abb. 109) — es genügt an jedem Träger jedes Zorèseisen durch je einen oder zwei diagonalgestellte Nieten festzuhalten —, häufiger durch Schrauben in Verbindung mit Deckplättchen oder durch Prasil'sche Klemmplatten. Die Schraubenbolzen werden so angeordnet, daß Durchbohrungen der Flantschen vermieden werden. Sie liegen zwischen je zwei Zorèseisen, deren FüÙe sie mit Deckplättchen niederhalten und untergreifen den Trägerflantsch entweder mittels eines hakenförmigen Kopfes (Abb. 110) oder mit einem Klemmplättchen (Abb. 111). Im ersteren Falle empfiehlt es sich zur Verhinderung der Lockerung immer zwei gegenüberstehende Bolzen mit gemeinsamer oberer Deckplatte anzuordnen. Eine einfache und gut bewährte Befestigung gestatten die Prasil'schen Klammern

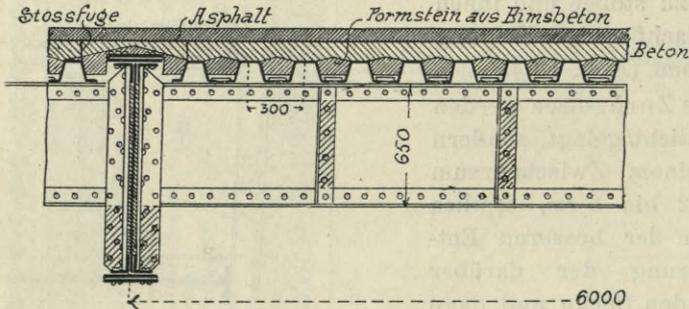


Abb. 108. Treskowbrücke zu Ober-Schöneweide (Bernhard).

(Aus „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure“, 1905.)

(Abb. 112), d. s. Bügel aus 3 bis 4 mm starkem Blech, welche den Trägergurt überspannen, auf den FüÙen zweier benachbarter Zorèseisen aufliegen und mit schmälern lappenförmigen Ansätzen in den Zwischenraum hinabreichen. Diese Lappen werden nach Auflage des Bügels unter dem Trägerflantsch scharf abgebogen.

Hat der Träger vertikale Gurtungsneten, so sind deren Köpfe der unmittelbaren Auflagerung der Zorèseisen hinderlich, wenn nicht die Nietteilung der Breite und dem Abstände der Zorèseisen entsprechend gewählt wird, was nicht immer möglich ist. Man befestigt dann auf der Gurtung mittels Stiftschrauben ein schmales, die Nietköpfe überragendes Flacheisen (Abb. 113) und erreicht dadurch auch eine zentrische, d. i. in seiner Mittelebene wirkende Belastung des Trägers.

Auf die Belageisen kommt entweder unmittelbar die Beschotterung oder eine ihre Oberkante mindestens 6 cm überdeckende

Schichte Stampfbeton, welche die Unterlage für die im vorhergehenden Paragraphe besprochene Fahrbahndecke bildet. Die Betondecke hat mehrfache Vorteile: 1. sie gestattet, wenn sie auch selbst nicht wasserdicht ist, die Anbringung einer wasserdichten Abdeckung und dadurch einen wirksamen Rostschutz für die Belageisen, 2. sie begünstigt die Verteilung der Raddrücke über mehrere Belageisen und 3. sie erhöht auch etwas die Tragfähigkeit der Fahrbahnplatte. Letzterer Umstand wird jedoch bei der Berechnung der Zorèseisen nicht weiter berücksichtigt, da eine eigentliche Verbundwirkung nicht angenommen werden kann und man meist nur ziemlich mageren Füllbeton (1:6), zuweilen zur Verminderung des Gewichtes auch bloß Schlacken- oder Bimsbeton (spez. Gew. 1·0 bis 1·3) verwendet.

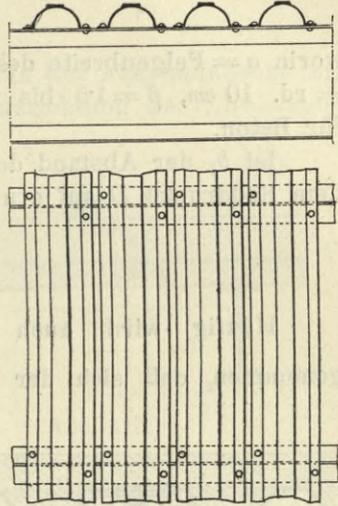


Abb. 109.

Die höher liegenden Gurten der zu den Zorèseisen parallel laufenden Fahrbahnträger (Querträger oder Hauptträger) werden durch seitlich liegende Winkel- oder [-Eisen gegen den Beton abgegrenzt (Abb. 107*b*, 114). Bei Schotterbedeckung empfiehlt es sich, den ganzen Träger-

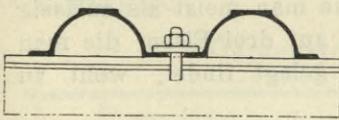


Abb. 110.

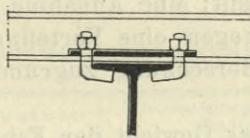


Abb. 111.

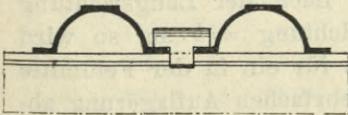
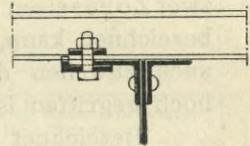


Abb. 112.

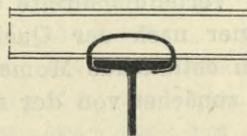


Abb. 113.

gurt gegen den Schotter zu isolieren oder mit einer Kappe aus Asphaltbeton zu überdecken (Abb. 115). Liegen die Gurte der Träger in gleicher Höhe, so kann man sie auch mit einem Zorèseisen überdecken und so gegen den Schotter isolieren.

Der Lastverteilung durch die Fahrbahndecke wird die übliche Annahme zugrunde gelegt, daß man der Aufstandsfläche a der Last ein Mehrfaches der verglichenen Stärke z der unter dem Pflaster befindlichen Decke zuschlägt. Man setzt

$$b = a + \beta z$$

worin a = Felgenbreite des Rades oder Breite eines Pflasterwürfels = rd. 10 cm, $\beta = 1.5$ bis 2 für Schotterüberdeckung, = 2 bis 2.5 für Beton.

Ist b_1 der Abstand der Belageisen (Abb. 116), so kommt von dem Raddrucke D auf ein Belageisen der Druck

$$D_1 = \frac{b_1}{b} D.$$

Häufig wird auch nur einfach $\frac{b_1}{b} = \frac{1}{2}$ gesetzt, also angenommen, daß sich der Raddruck durch die Brückendecke auf

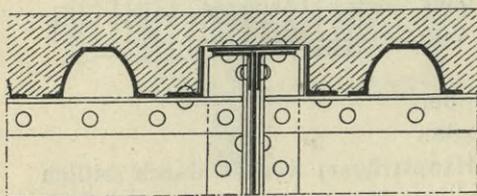


Abb. 114.

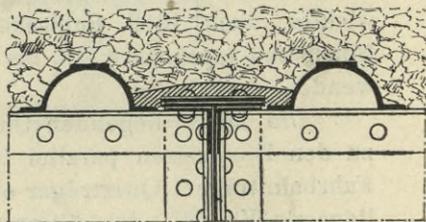


Abb. 115.

zwei Zorèseisen verteilt; eine Annahme, die man meist als zulässig bezeichnen kann, wogegen eine Verteilung auf drei Eisen, die man auch zuweilen der Berechnung zugrunde gelegt findet, wohl zu hoch gegriffen ist.

Bezeichnet g_0 das Gewicht der Fahrbahn (Fahrbahndecke und Tafel) pro $1 m^2$, c die Stützweite der Belageisen in Metern (Abb. 117) und nimmt man die Verteilungsbreite b_2 nach der Längsrichtung der Eisen, gleich jener nach der Querrichtung = b an, so wird das auf ein Belageisen entfallende Moment für ein in der Feldmitte stehendes Rad, wenn zunächst von der mehrfachen Auflagerung abgesehen wird:

$$M = \frac{1}{8} g_0 b_1 c^2 + \frac{1}{4} D \frac{b_1}{b} \left(c - \frac{b}{2} \right).$$

Faßt man die Belageisen als kontinuierliche Träger auf, berücksichtigt aber schätzungsweise die Nachgiebigkeit der Stützpunkte, so kann (nach Winkler) gesetzt werden:

$$M = \left[0.1 g_0 c^2 + 0.23 D \frac{c}{b} - 0.134 D \right] b_1 \dots \dots \dots 32)$$

Damit ergibt sich das erforderliche Widerstandsmoment eines Belageisens mit $W = \frac{M}{s}$

Rechnet man für eine mittlere Stärke der Fahrbahndecke mit einer Verteilungsbreite b_2 nach der Längsrichtung der Zorèseisen

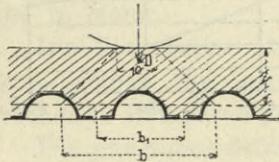


Abb. 116.

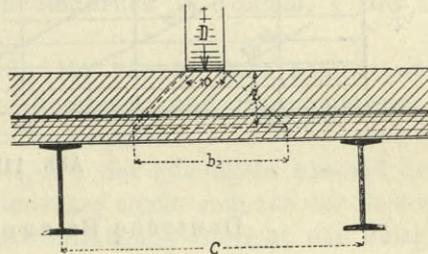


Abb. 117.

von rund 0.5 m, nach der Querrichtung aber mit einer Druckverteilung auf etwa zwei Zorèseisen, nimmt man ferner das Gewicht der Fahrbahndecke g_0 im Mittel mit 450 bis 500 kg/cm^2 an, und setzt man den Abstand b_1 der Zorèseisen gleich ihrer Breite + 2 cm, so ergeben sich bei einer Inanspruchnahme von $s = 750 kg/cm^2$ für die österreichischen und deutschen Belageisenprofile die in den nachstehenden Tabellen angegebenen Grenzwerte der Stützweiten und Raddrücke:

Österreichische Zorèseisenprofile.

Profil Nr.	Breite des Profils mm	Höhe	Widerstands-moment cm^3	Gewicht kg		Größte Stützweite c in Meter bei einem Raddrucke D in Tonnen						
				pro m	pro m^2 1)	D=0.75	2	3	4	5	6	
10	100	36	4.96	4.20	35.0	0.78						
16	160	55	16.00	8.46	47.0	1.12	0.79					
18	180	63	24.50	10.88	54.4	1.51	1.10	0.8				
21	210	75	40.00	15.07	65.5	1.96	1.50	1.15	0.88	0.70	0.60	
24	240	87	61.80	19.81	76.2	—	1.91	1.52	1.20	1.00	0.89	
26	260	95	80.40	23.56	84.2	—	2.20	1.74	1.38	1.15	1.03	
26 a	260	125	110.60	24.5	87.5	—	—	2.16	1.77	1.50	1.31	

1) Ohne Befestigungsmittel und bei einem Zwischenraum der Zorèseisen von 2 cm.

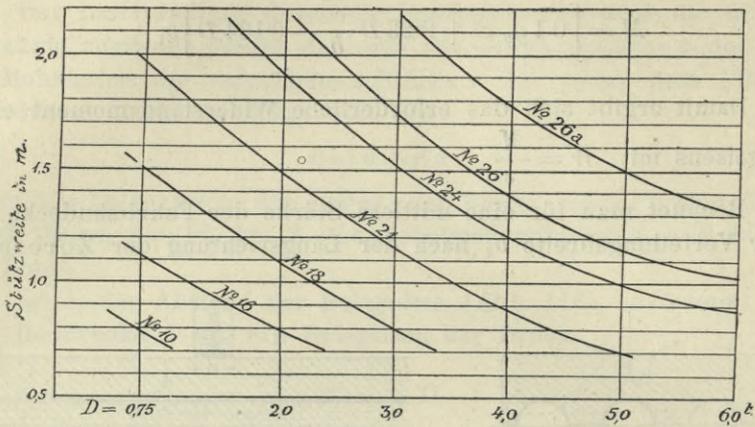


Abb. 118.

Deutsche Belageisenprofile.

Profil Nr.	Breite des Profils mm	Höhe mm	Wider- stands- moment mm ³	Gewicht kg		Größte Stützweite c in Metern bei einem Raddrucke D in Tonnen						
				pro m	pro m ² 1)	$D=0.75$	2	3	4	5	6	
5	120	50	9.21	5.29	37.8	1.18	0.70	—	—	—	—	—
6	140	60	15.6	7.32	45.7	1.60	1.05	0.73	—	—	—	—
7 1/2	170	75	28.1	10.36	54.5	1.85	1.30	1.00	0.77	—	—	—
9	200	90	46.1	14.05	63.9	—	1.75	1.35	1.06	0.89	0.80	—
11	240	110	75.9	19.00	73.1	—	2.18	1.75	1.40	1.18	1.02	—
120	240	120	90.0	19.70	75.8	—	—	1.98	1.60	1.33	1.18	—
140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1) Ohne Befestigungsmittel und bei einem Zwischenraum der Zoréisen von 2 cm.

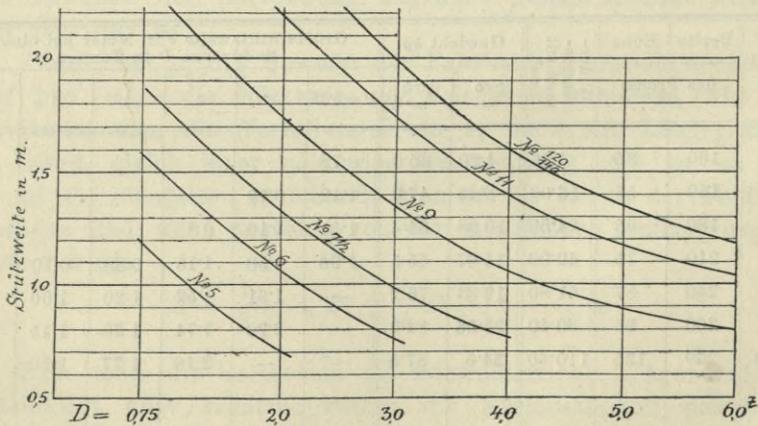


Abb. 119.

Man kann hienach für das Gewicht des Zorèseisenbelages, unter Zuschlag von 5 bis 8 kg pro 1 m² für die Befestigungsmittel, etwa setzen:

$$\left. \begin{array}{l} \text{unter Verwendung österreichischer} \\ \text{Profile } g' = 35 + (10 + 7.5 D)c \text{ kg/m}^2 \\ \text{unter Verwendung deutscher} \\ \text{Profile } g' = 31 + (12 + 6 D)c \text{ kg/m}^2 \end{array} \right\} 33)$$

Hierin bezeichnet D den Raddruck in Tonnen, c die Stützweite in Meter.

Die Diagramme (Abb. 118, 119) können dazu benützt werden, um denselben für gegebenen Raddruck und Stützweite das entsprechende Belageisenprofil zu entnehmen.

Die günstigste Stützweite c , d. i. der günstigste Abstand der die Zorèseisen tragenden Fahrbahnträger ergibt sich aus der Bedingung, daß für denselben das auf 1 m² entfallende Gewicht der Belageisen und Fahrbahnträger den Kleinstwert annehmen soll. Ist g das Gewicht eines Fahrbahnträgers pro Längeneinheit, g' das Gewicht der Fahrbahntafel pro Flächeneinheit, so soll hiernach

$$g' + \frac{g}{c}$$

zu einem Minimum gemacht werden.

Sind die Fahrbahnlängsträger Walzträger, so gilt für deren Gewicht annähernd

$$g = 17 + 0.06 \frac{M}{s} = 17 + 8 M$$

wenn $s = 750 \text{ kg/cm}^2$ gesetzt wird und M das Maximalmoment in tm bezeichnet. Letzteres ist bei dem Gewichte g_0 der Fahrbahn in t/m^2 und dem Raddrucke D

$$M = \frac{1}{8} g_0 c l^2 + \frac{1}{4} D l$$

sohin wird

$$g = 17 + g_0 c l^2 + 2 D l.$$

Damit und mit den Werten für g' nach den Gleichungen 33) liefert die obige Bedingung für das Minimum

$$\left. \begin{array}{l} c = \sqrt{\frac{17 + 2 D l}{10 + 7.5 D}} \text{ für österreich. Zorèseisen} \\ \text{oder } c = \sqrt{\frac{17 + 2 D l}{12 + 6 D}} \text{ „ deutsche „} \end{array} \right\} \dots 34)$$

Sind die Fahrbahnlängsträger als Blechträger ausgeführt, deren Gewicht nach Gl. 31) mit

$$g = 18 \frac{M}{l} + 9l$$

angenommen werden kann, so ergibt sich in gleicher Weise das Mindestgewicht für

$$\left. \begin{aligned} c &= \sqrt{\frac{4.5 D + 9l}{10 + 7.5 D}} \text{ für österreich. Zorès eisen} \\ c &= \sqrt{\frac{4.5 D + 9l}{12 + 6 D}} \text{ „ deutsche „} \end{aligned} \right\} \dots 34a)$$

Es ist hierin D in Tonnen, l die Stützweite der Fahrbahnlängsträger in Meter einzusetzen.

2. Die aus Buckelplatten hergestellte Fahrbahntafel hat insbesondere bei den in Deutschland erbauten Brücken eine häufige

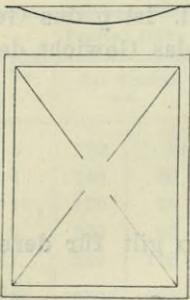


Abb. 120.

Anwendung gefunden. Die Buckelplatten¹⁾ sind, nach Art eines flachen Kloostergewölbes mit scharfen oder abgerundeten Graten ausgebauchte Blechtafeln mit einem ringsherum laufenden ebenen Rande (Abb. 120). Die Grundrißform ist in der Regel ein Rechteck oder Quadrat, doch kommen bei schiefen Brücken auch trapezförmige und dreieckige Tafeln zur Anwendung. Die Herstellung erfolgt in der Weise, daß glühend gemachte Bleche mit hydraulischen Pressen in entsprechende Matrizen gepreßt werden. Die gewöhnliche Tafelgröße bewegt sich zwischen $1 m^2$ und $3.0 m^2$, die

Seitenlängen liegen zwischen $0.5 m$ und $2 m$; übliche Abmessungen sind für rechteckige Tafeln ungefähr 0.7×1.2 , 1.0×1.5 , $1.5 \times 1.8 m$; ausnahmsweise werden auch noch größere Tafeln bis $1.8 \times 2.5 m$ verwendet, doch sind diese nicht mehr recht handlich und fassen auch in der Wölbung viel Ausfüllungsmaterial. Der ebene Rand erhält eine Breite von 50 bis $70 mm$ und erfolgt die Befestigung auf den unterstützenden Trägern mittels Nieten von 13 bis $18 mm$ Durchmesser. Die Pfeilhöhe des Buckels beträgt $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$ der kleineren Seitenlänge oder etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{15}$ des Mittels aus den beiden Seitenlängen.

Die Platten erhalten 6.5 bis $11 mm$ Stärke. Schwächere Bleche als solche von $6 mm$ wird man wegen der durch Abrosten eintretenden Schwächung nicht verwenden.

1) Etwa 1860 von dem englischen Ingenieur Mallet erfunden.

Der Buckelplattenbelag erfordert die Anordnung eines Fahr-
bahnträgergerippes mit Feldern gleich der Plattengröße. Bei einem
kleinen Bedarf von Platten wird man sich an vorhandene Normal-
abmessungen halten, da die Anfertigung besonderer Matrizen für
abweichende Plattengrößen sich nur bei größeren Bestellungen lohnt.
Der Plattengröße entsprechend enthält sonach das Trägergerippe
der Fahrbahn nebst den Querträgern und Fahrbahnlängsträgern
noch sekundäre, auf die Längsträger gelagerte Zwischenquerträger.
Die oberen Gurtflantschen aller dieser Träger müssen gleich hoch
liegen, um den Buckelplatten ein ebenes Auflager zu bieten.

Die Buckelplatten werden gewöhnlich hängend, d. i. mit dem
Buckel nach abwärts (Abb. 103, 104), selten stehend angeordnet.
Die erstere Lage ist für die Entwässerung günstiger und gibt eine
kleinere Bauhöhe; hinsichtlich der Tragfähigkeit sind beide An-
ordnungen ziemlich gleichwertig.

Genietetete Träger, auf welche Buckelplatten aufliegen, sollen

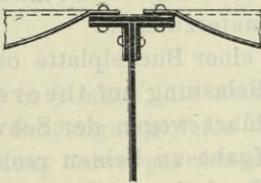


Abb. 121.

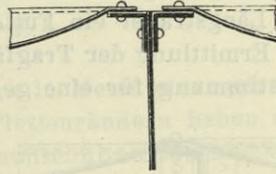


Abb. 122.

stets eine durchgehende obere Kopfplatte erhalten (Abb. 121), da
bei einer bloßen Auflagerung auf den Gurtwinkeln (Abb. 122) die
horizontalen Nieten sehr ungünstig auf Abreißen beansprucht würden.
Man könnte die Ränder der Buckelplatten auch zwischen die Winkel
und die erste durchgehende Kopfplatte einklemmen (Abb. 123), was
für deren Befestigung wohl vorteilhaft wäre und auch gestatten
würde, daß nach Erfordernis weitere, nicht über die ganze Träger-
länge reichende Gurtplatten aufgenietet werden könnten. Es bedingt
diese Befestigungsweise aber entsprechend breite Ränder der Buckel-
platten, damit die für den Träger erforderlichen stärkeren Nieten
durchgezogen werden können, und sie hat den Nachteil, daß die
Träger erst an der Baustelle fertig genietet werden können; auch
ist eine Auswechslung von Platten sehr erschwert. Am zweck-
mäßigsten ist es, bei Trägern mit mehrfachen Gurtplatten die unterste,
über die ganze Trägerlänge durchgehende Platte um die Breite der
Buckelplattenränder breiter zu halten (Abb. 124); die Träger können
dann in der Werkstatt fertig genietet werden und man ist bei der

Nietung der Buckelplatten von der Nietteilung und Nietstärke der Träger ganz unabhängig.

Als sekundäre Querträger genügen in der Regel schwächere Walzträger, die aber doch mindestens eine Flantschenbreite von 10 cm haben müssen, um die Buckelplatten aufnieten zu können. An Stelle schwächerer Träger als Profil Nr. 22 empfiehlt sich daher die Verwendung von [-Eisen (Abb. 125), auf deren Flansch die

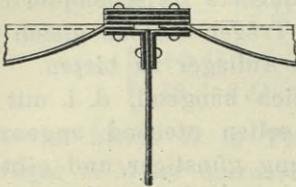


Abb. 123.

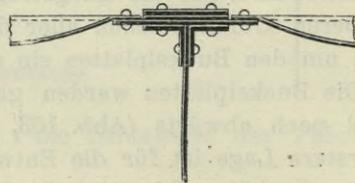


Abb. 124.

Ränder der Buckelplatten sich übergreifen und durch eine Nietreihe gemeinsam befestigt sind. Unter der höher liegenden Platte ist dann auf dem Längsträger ein Futterblech unterzulegen.

Die Ermittlung der Tragfähigkeit einer Buckelplatte oder deren Stärkebestimmung für eine gegebene Belastung auf theoretischem

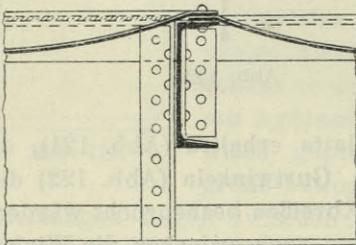


Abb. 125.

Wege führt wegen der Schwierigkeit der Aufgabe zu keinen recht brauchbaren Ergebnissen. Es liegen darüber aber hinreichende Erfahrungen vor, aus denen sich empirische Regeln ableiten ließen.

Bezeichnet

h die Höhe des Buckels in Zentimetern,

a die größere, b die kleinere Seitenlänge der Platte in Zentimetern

δ die Blechstärke in Zentimetern,

D die konzentrierte Last (Raddruck) in Tonnen,

G das Gewicht der Platte mit Füllung und Fahrbahndecke in Tonnen (zirka 0.6 t pro 1 m²), so lautet eine theoretische Formel nach Winkler

$$0.8 h \delta = \left[0.3 D \left(1 + 0.1 \frac{h}{\delta} \right) + 0.05 G \right] \frac{b}{a} \frac{a^4}{a^4 + b^4};$$

nach Haeseler

$$D = 2.64 \left(1 + \frac{b^4}{a^4} \right) \frac{a}{b} \delta^2.$$

Bauschinger fand auf Grund von Versuchen mit stehenden Buckelplatten von 1 m Seitenlänge, 7·8 cm Pfeilhöhe und 1 cm Stärke, die konzentrierte Belastung mit 2·2facher Sicherheit gegen Durchschlagen

$$D = 60 \frac{h \delta}{a},$$

wofür bei hängenden Platten und mit Rücksicht auf die Verteilung der Belastung wohl gesetzt werden kann

$$D = 100 \frac{h \delta}{a}.$$

In der Ausführung findet man die Regel eingehalten, daß für Platten bis zu 2 m² Größe und für Raddrücke von 3 bis 6 t Plattenstärken von 6 bis 8 mm, für größere Platten solche von 10 mm angewendet werden. Es entspricht dies etwa der Gleichung

$$\delta^{cm} = \frac{15}{28 - D a} \dots \dots \dots 35)$$

worin *D* in Tonnen, die Seitenlänge *a* in Meter einzusetzen ist.

Die Befestigungsrieten an den Plattenrändern haben den durch die Belastung hervorgerufenen Horizontalschub aufzunehmen. Letzterer ist in der Seite *a* annähernd

$$H = \left(\frac{1}{5} D + \frac{1}{8} G \right) \frac{b}{h} \frac{a^4}{a^4 + b^4},$$

oder pro Längeneinheit, wenn in der Plattenmitte wegen der voraussichtlich ungleichförmigen Verteilung mit dem doppelten Werte gerechnet wird,

$$\frac{2 H}{a} = (0·4 D + 0·25 G) \frac{b}{h} \frac{a^3}{a^4 + b^4}.$$

Bei dem Nietabstande *e*, dem Nietdurchmesser *d* und der Scheerbeanspruchung 0·7 t/cm² müßte sonach sein

$$0·7 \frac{\pi d^2}{4} = \frac{2 H}{a} e$$

woraus

$$e = \frac{0·55 d^2}{0·4 D + 0·25 G} \frac{h (a^4 + b^4)}{b a^3}$$

oder mit dem Durchschnittswerte $0.4 D + 0.25 G = 0.5 D$ und mit $a = b$

$$e \leq 2.2 \frac{d^2 h}{D} \dots \dots \dots 36).$$

Man mache e nicht größer als $6d$, wodurch in der Regel auch der obigen Gleichung entsprochen wird.

Auf die aus den Buckelplatten gebildete Fahrbahntafel kommt wieder entweder unmittelbar die Schotterdecke der Fahrbahn oder eine Zementbetonlage, welche an der schwächsten Stelle die Oberkante der Fahrbahntafel um mindestens 4 cm zu überdecken hat. Es ist dafür zu sorgen, daß das durch die Fahrbahn eindringende Wasser von dem Eisentragwerk möglichst abgehalten und abgeleitet wird. Bei Schotterbedeckung und hängender Lage der Buckelplatten erhält jede Platte in ihrer Mitte ein 3 bis 5 cm



Abb. 126.

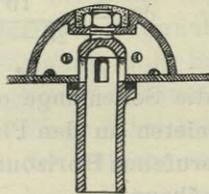


Abb. 127.

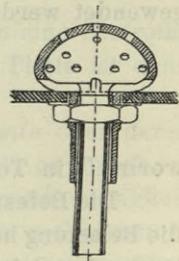


Abb. 128.

weites Loch, über welches eine durchlöchernte gußeiserne Haube gestülpt wird. Die Lochränder werden entweder nach unten etwas aufgetrieben, um das Abtropfen des Wassers zu begünstigen (Abb. 126) oder es wird ein Abflußrohr (Gasrohr) mittels eines Gewindes eingeschraubt oder mit einem Winkeleisenflansch angeietet. Besser ist eine solche Anordnung, bei der die Kieshaube gegen Verschiebung gesichert und mit dem Abflußrohr (Tropftülle) direkt verbunden ist (Abb. 127 u. 128). Letzteres kann durch ein Gasrohr verlängert werden, welches in die erwärmte Haube eingeschoben wird und dadurch festsetzt.

Darf das Wasser in den Raum unter der Brücke nicht frei abtropfen, so sind unter den Tropftüllen Längsrinnen anzubringen, die man unter die Fahrbahnquerträger legt und an diese anhängt, oder auch durch deren Stege durchführt (Abb. 161). Hiefür eignen sich verzinkte Walzeisen, \perp -Eisen Profil Nr. 12 oder Zorès-eisen, Prof. Nr. 16. Sie erhalten 0.01 Gefälle und münden an den Pfeilern oder Widerlagern in Querrinnen, die das Wasser an Abfall-

rohre aus Zinklech abgeben. Die Buckelplatten werden zum Schutze gegen Rost verzinkt oder wenigstens an der Innenseite mit einem heißen Asphaltanstrich versehen. Die Ränder überklebt man, um sie wasserdicht zu machen, mit einer Mischung aus Asphalt und feinem Kies (Abb. 129). Wird über die Platten eine Betonlage gegeben, was wohl das empfehlenswerteste ist, so kann die Einzelentwässerung einer jeden Buckelplatte entfallen, wenn die Betonoberfläche ein entsprechendes Gefälle und eine gute wasserdichte Abdeckung (Asphalt, Asphaltfilzplatten, Tektolith etc.) erhält, die man in geeigneter Weise durch Abfallrohre in der an den Fahrbahn-rändern liegenden Buckelplattenreihe entwässert (Abb. 103, 104).

Das Gewicht des Buckelplattenbelages pro $1 m^2$ kann etwa mit

$$g' = 40 + 2 D a \text{ kg} \dots\dots\dots 37)$$

angenommen werden. Es bezeichnet D den Raddruck in Tonnen, a die Plattenlänge in Metern.

Die Fahrbahntafel aus Buckelplatten ist bei großer Tragfähigkeit verhältnismäßig leicht, sie erfordert geringe Bauhöhe und besitzt eine große horizontale Steifigkeit. Diesen Vorzügen stehen als Nachteile die ausgedehnte Nietarbeit und die Notwendigkeit eines engmaschigen Trägergerippes gegenüber.

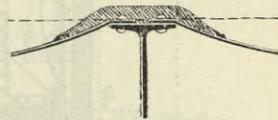


Abb. 129.

3. Hängebleche und Tonnenbleche sind zylindrisch gebogene Bleche, welche mit den flachen Längsrändern auf die Fahrbahnträger genietet sind. Sie liegen meist parallel zur Brückenlängsachse auf den Fahrbahnlängsträgern (Abb. 130) oder bei nahe liegenden Hauptträgern auf diesen selbst, oder sie liegen quer zur Brückenlängsachse und werden von entsprechend nahe angeordneten Querträgern getragen, wo dann die Längsträger unter der Fahrbahn entfallen können. Man führt sie in Längen bis zu 8 bis 9 m aus und mit Spannweiten bis etwa 2 m . Die Pfeilhöhe des Bogens beträgt rund $\frac{1}{10}$ der Spannweite, die Blechdicke wählt man nicht unter 7 mm . Das Biegen der Bleche erfolgt in einem mit drei Walzen versehenen Richtwalzwerk in kaltem Zustande; die 5 bis 8 cm breiten Ränder werden warm angebogen. Die Enden der Zylinderbleche, welche gegen Träger stoßen, werden entweder mittels Winkeleisen an die Trägerstege angeschlossen oder besser mittels halber Buckelplatten aufgelagert (Abb. 131).

Die Entwässerung bietet einige Schwierigkeiten. Man hat durch Vergrößerung der Pfeilhöhe gegen das Ende der Platte, also durch die Verwendung schwach konischer Bleche, die Sohle in ein Gefälle

(von etwa 1:100) gelegt und an den tiefsten Punkten Tropfzüllen angebracht, erzielt aber damit bei größerer Länge der Bleche doch keine genügend rasche Wasserabführung. Am meisten empfiehlt sich die Ausfüllung der Mulden mit Beton bis 6 cm über Trägerober-

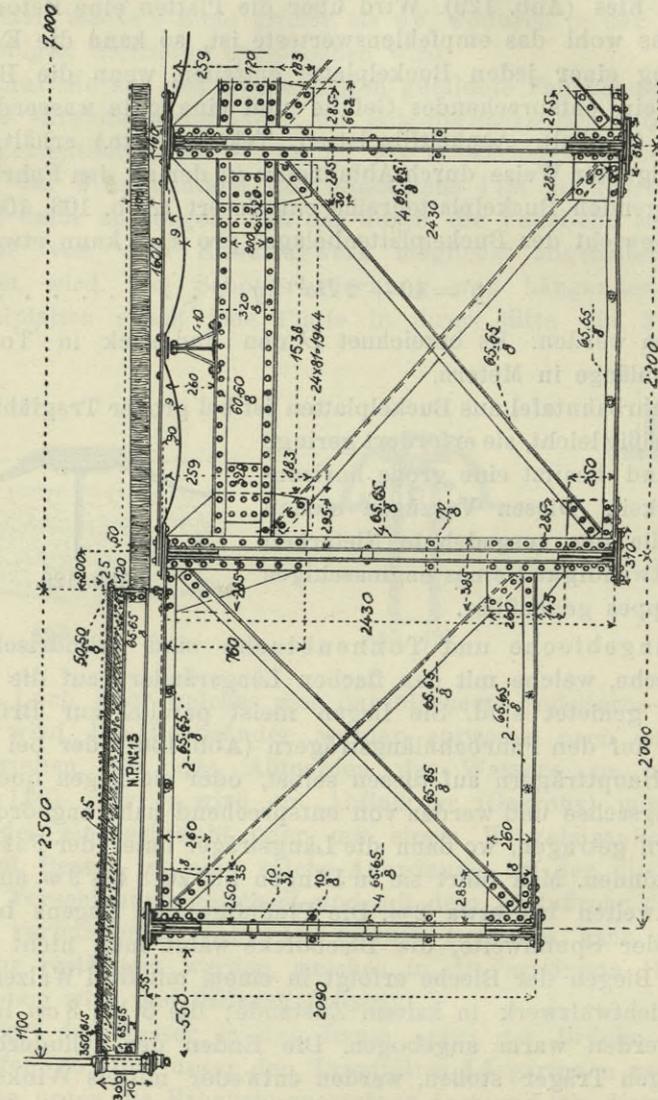


Abb. 130. Querschnitt der Radetzky-Brücke über die Mur in Graz.
(Aus „Fenster, Neuere Brückenbauten in Österreich-Ungarn“.)

kante und Aufbringung einer wasserdichten Abdeckung, der nach den Entwässerungsstellen hin ein Gefälle zu geben ist. Die Ausfüllung mit Beton, wozu Magerbeton genügt, bildet auch eine wirk- same Aussteifung der Hängebleche.

Es ist bei den Fahrbahnträgern auf den von den Hängeblechen ausgeübten Horizontalzug Rücksicht zu nehmen und sind insbesondere die Endträger, an die nur ein einseitiger Anschluß von Hängeblechen stattfindet, dagegen auszusteifen. Man hat zu diesem Zwecke die Träger durch aufgenietete Flacheisen (Abb. 130) oder \perp -Eisen (Abb. 131), die aber wegen des Abrostens nicht im Schotter, sondern in der Betondecke liegen sollen, verbunden. Besser ist es, sie durch Riegel abzusteifen, die unter den Hängeblechen liegen. Bei einem Querträgerabstande von 5 bis 6 m wird es ausreichen, die mittleren Längsträger durch je

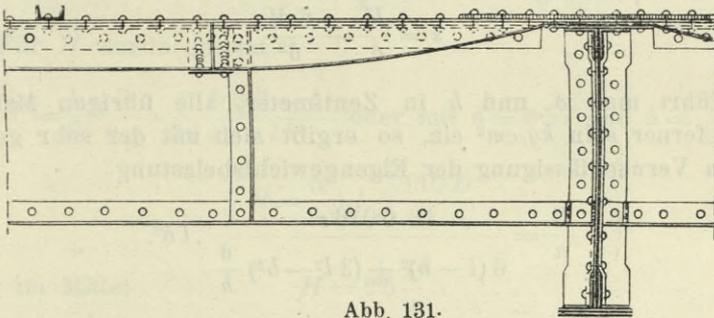


Abb. 131.

einen in der Mitte zwischen zwei Querträgern liegenden Blechträgerriegel zu verbinden; in den Seitenfeldern können, um die Horizontalbeanspruchung der seitlichen Träger zu vermindern, noch Zwischenriegel notwendig werden.

Die Berechnung der Tragfähigkeit der Hängebleche muß, wie jene der Buckelplatten von zum Teil willkürlichen Annahmen, besonders hinsichtlich der Lastverteilung, ausgehen und kann daher nur ungefähre Dimensionierungsregeln liefern.

Es bezeichne (Abb. 132) l die Stützweite des Hängebleches,

h dessen Pfeilhöhe,

δ die Blechstärke,

g_0 das Gewicht der Fahrbahn pro $1 m^2$ in Tonnen,

D die Einzellast (Raddruck) in Tonnen,

a die Breite, über welche sich diese Einzellast nach der Längsrichtung der Hängebleche verteilt,

b diese Verteilungsbreite nach der Querrichtung der Bleche,

s die zulässige Beanspruchung des Bleches.

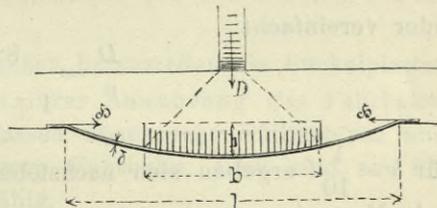


Abb. 132.

Faßt man das Hängeblech als einen elastischen, gelenkig gelagerten Bogen auf, so rechnet sich näherungsweise der Horizontal-schub für die Länge l des Bleches

$$H = \frac{1}{8} \frac{g_0 l^2}{h} + \frac{1}{16} \frac{D}{a} \frac{3l^2 - b^2}{lh}$$

und das Moment im Scheitelquerschnitt

$$M = \frac{1}{16} \frac{D}{a} \frac{(l-b)^2}{l}$$

womit die Spannung

$$s = \frac{H}{\delta} + \frac{6M}{\delta^2}$$

Führt man δ und h in Zentimeter, alle übrigen Maße in Meter, ferner s in kg/cm^2 ein, so ergibt sich mit der sehr geringfügigen Vernachlässigung der Eigengewichtsbelastung

$$\frac{D}{a} = \frac{0.016 s}{6(l-b)^2 + (3l^2 - b^2) \frac{\delta}{h}} \cdot l \delta^2.$$

Die Verteilungsbreite b wird man infolge der aussteifenden Wirkung der Betonüberdeckung ziemlich groß und im Verhältnis zur Stützweite, mit der infolge des größeren Bogenpfeiles auch die Stärke der Betondecke wächst, annehmen können. Wir setzen $b = \frac{1}{2} l$, ferner $s = 800 kg/cm^2$ und erhalten

$$\frac{D}{a} = \frac{51.2}{6 + 11 \frac{\delta}{h}} \frac{\delta^2}{l}$$

oder vereinfacht

$$\frac{D}{a} = \frac{8.6}{1 + 2 \frac{\delta}{h}} \frac{\delta^2}{l} \dots \dots \dots 38)$$

für $h = \frac{1}{10} l$ ergeben sich nachstehende Werte von $\frac{D}{a}$ (D in Tonnen, a in Metern).

$\frac{D}{a}$	$\delta = 0.7$	0.8	0.9	1.0 cm
$l = 1.0 m$	3.70	4.74	5.90	7.17
1.25	3.03	3.90	4.87	5.82
1.50	2.57	3.32	4.15	5.06
1.75	2.23	2.88	3.61	4.41
2.0	1.97	2.55	3.20	3.91

Die Verteilungsbreite a nach der Längsrichtung der Bleche darf mit mindestens der doppelten bis $2\frac{1}{2}$ fachen Stärke der Brückendecke, von dem tiefsten Punkte der Hängebleche bis Fahrbahnoberfläche gerechnet, angenommen werden.

Hinsichtlich der Befestigung der Hängebleche gelten ähnliche Grundsätze wie bei den Buckelplatten. Der Nietabstand e rechnet sich bei dem Nietdurchmesser d (cm) und der Scheeranspruchnahme von $0.7t/cm^2$ aus

$$He = 0.7 \frac{\pi d^2}{4} = 0.55 d^2.$$

Für H wurde gesetzt

$$H = \frac{1}{8} \frac{g_0 l^2}{h} + \frac{1}{16} \frac{D 3 l^2 - b^2}{a l h} \text{ oder mit } b = 0.5 l \text{ und } h = \frac{1}{10} l$$

$$H = \frac{5}{4} g_0 l + \frac{110 D}{64 a},$$

wofür im Mittel $H = 2.5 \frac{D}{a}$

angenommen werden kann. Damit folgt

$$e = 0.22 \frac{a}{D} d^2 \dots \dots \dots 39)$$

Hierin ist D in Tonnen, e , a und d in cm auszudrücken.

Das Gewicht der Hängebleche kann in kg pro $1 m^2$ ungefähr mit

$$g = 35 + 10 D \dots \dots \dots 40)$$

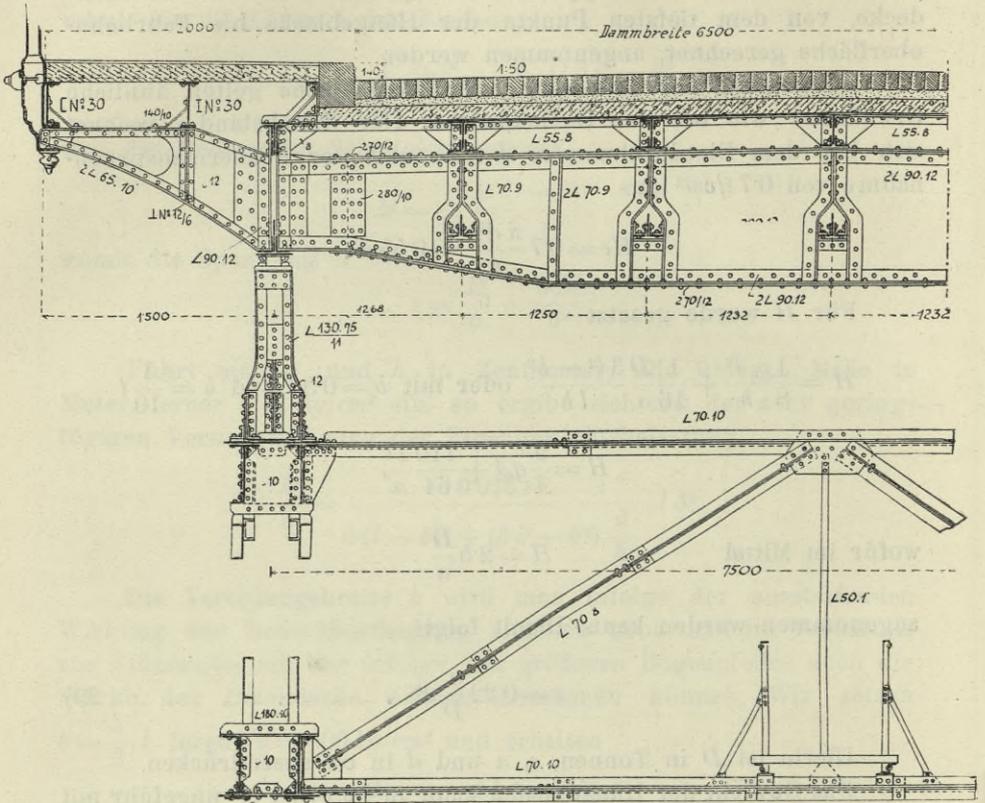
angenommen werden.

Die Hängebleche sind einfacher herzustellen als Buckelplatten und daher billiger, auch ist bei ihrer Anwendung das Fahrbahnträgergerippe vereinfacht. Sie fassen aber mehr Füllmaterial und geben infolgedessen eine schwerere Fahrbahn, auch sind sie für große Einzellasten weniger tragfähig.

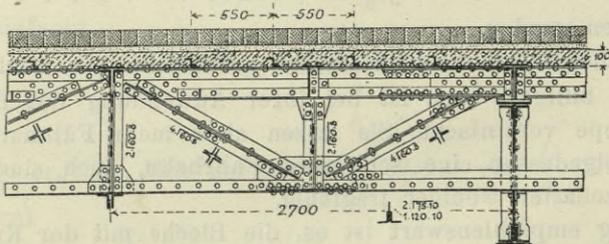
Wenig empfehlenswert ist es, die Bleche mit der Krümmung nach oben als Tonnen- oder Wölbbbleche anzuordnen. Ohne Betonüberdeckung ist diese Anordnung für die Entwässerung sehr ungünstig, die Bauhöhe ist vergrößert und es erfordern die Wölbbbleche besondere Aussteifungen, wenn nicht auf das Mittragen der darüber liegenden Betondecke, die aber mit der Blechhaut keine Verbundwirkung eingeht, gerechnet wird.

4. Fahrbahntafel aus Flachblechen. An Stelle von Buckel-

platten hat man in neuerer Zeit, namentlich bei Eisenbahnbrücken mit durchgeführtem Schotterbett, auch ebene Blechtafeln verwendet.



a) Halber Querschnitt.



b) Längsschnitt durch die Fahrbahn.

Abb. 133. Straßenbrücke über den Rhein bei Worms.
(Maschinen-Aktiengesellschaft Nürnberg.)

Diese sind im Preise billiger, erfordern dafür aber eine bedeutend engere Stellung der Fahrbahnträger. Sie werden bei 8 bis 9 mm Stärke auf die Querträger und auf Längsträger, die nicht über

80 bis 90 *cm* abstehen, genietet. Bei entsprechender Druckverteilung durch die Brückendecke oder das Schotterbett reicht diese Stärke erfahrungsgemäß für Raddrücke bis zu etwa 4 Tonnen oder für die Überführung eines Hauptbahngleises aus. Behufs Entwässerung erhält diese Fahrbahntafel ein Quergefälle von 1:30 entweder dachförmig nach beiden Seiten (Abb. 166) oder gegen die Mitte zu, woselbst eine aus \perp -Eisen gebildete Rinne mit einem Längsgefälle von 1:100 das Wasser gegen die Widerlager oder Ablaufstellen abführt.

Solche Flachblech-Fahrbahntafeln sind zuerst von Ingenieur Johann in Hamburg in Vorschlag gebracht und von der königl. Eisenbahndirektion Altona zur Überbrückung städtischer Straßen in Hamburg, weiters auf der Berliner Hochbahn, dann von den bayerischen Staatsbahnen ausgeführt worden. Die sächsischen Staatsbahnen verwenden anstatt der dachförmigen Flachbleche Tonnenbleche, welche auf den bogenförmigen Obergurten der Querträger und auf radial gestellten Längsträgern aufliegen (Abb. 167). Diese Bleche sind mit zwei Lagen Asphaltfilz überklebt und letzterer gegen den Schotter durch eine 3 *cm* starke Schichte von magerem Zementmörtel geschützt. Zum Wasserabzug dient ein in den seitlichen Ecken liegendes durchlöcherter gußeisernes Rohr.

Liegen die Fahrbahnträger in größerem Abstände als 80 bis 90 *cm*, so sind die Flachbleche abzusteifen.

Bei der von der Maschinenfabrik Nürnberg 1897 erbauten Straßenbrücke über den Rhein bei Worms besteht die Fahrbahntafel aus 8 *mm* starken Flachblechen, welche auf die in 1.25 *m* Abstand liegenden Längsträger genietet sind. Die so gebildete Blechhaut ist durch 6 *cm* hohe \perp -Eisen verstärkt, die in Abständen von 60 *cm* quer zur Brückenachse aufgenietet sind und von einer 10 *cm* hohen Betonlage umhüllt werden (Abb. 133). Diese Konstruktion wirkt sonach bereits als eine Art Verbundplatte von Beton und Eisen und hat gegenüber einer Fahrbahn auf Buckelplatten wegen des Wegfalls der Zwischenquerträger den Vorteil etwas geringeren Gewichtes und besserer Entwässerung. Die Tragfähigkeit wurde durch Versuche nachgewiesen. Noch ist zu bemerken, daß die Blechhaut nach der Fahrbahnoberfläche leicht gewölbt ist und daß die Betonschichte unmittelbar das in Asphalt gelegte Holzstöckelpflaster trägt.

5. Plattenförmige Fahrbahntafeln aus Stein- oder Eisenbeton. Die Anwendung von Platten aus natürlichem Stein zur Überdeckung der rechteckigen oder quadratischen Felder des Fahrbahnträgergerippes ist nur auf vereinzelte ältere Ausführungen beschränkt geblieben. Die im allgemeinen niedrige Biegezugfestigkeit der Steine

und ihr geringer Widerstand gegen Stoßwirkungen lassen Stein ebenso wie Gußeisen für plattenförmige Überdeckungen wenig geeignet erscheinen. Nur für die Abdeckung der Fußwege städtischer Straßenbrücken finden Platten aus hartem Stein, Granit oder Gneis auch jetzt noch Anwendung. So sind bei vielen Berliner Brücken die Gehsteige durch Granitplatten von rund 13 cm Stärke gebildet, die auf rund 1·3 m Weite frei aufliegen.

Eine Konstruktion neuerer Art ist die Fahrbahntafel aus Eisenbeton. Sie besteht aus einer bewehrten Betonplatte, welche auf einer zwischen den Fahrbahnträgern angebrachten Schalung gestampft wird. Je nachdem die Längsträger über den Querträgern oder mit ihnen in gleicher Höhe liegen, oder aber zwischen denselben versenkt sind, bildet die Platte entweder eine in der ganzen Brückenfläche zusammenhängende Tafel (Abb. 134) oder einzelne durch die Querträger getrennte Querstreifen (Abb. 135). Da die Platte in allen Fällen über den Längsträgern kontinuierlich durchgeht, so müssen die Eiseneinlagen dem Wechsel der Zugzone entsprechend, d. i. an den Stützen oben und zwischen den Stützen unten angeordnet werden. Dies wird zumeist in der Art erzielt, daß ein Teil der Eisen abgebogen, ein Teil hingegen, gewöhnlich jeder dritte Stab, gerade belassen, dafür aber doppelt, nämlich am oberen und unteren Plattenrande eingelegt wird. Diese quer zu den Fahrbahnlängsträgern laufenden Tragstäbe werden durch in etwa 15 cm Abstand liegende, 6 bis 7 mm starke Verteilungsstäbe zu einem Netz verbunden. Die oberen Flantschen der Längsträger werden gewöhnlich etwas in die Platte versenkt. Es ist ein gutes Betonmischungsverhältnis etwa 1 : 3, d. i. 470 kg Zement auf 1 m³ Gemenge von Sand und Kies, anzuwenden.

Bei der in Abb. 134 dargestellten Brücke¹⁾, einer Straßenbrücke I. Klasse, tragen die durchlaufenden, in 1·10 cm Abstand liegenden Längsträger eine 18 cm starke Monierplatte, welche mit 20 mm Gußasphalt wasserdicht abgedeckt ist. Darauf liegt mit 4 cm Sandunterbettung das 14 cm hohe Steinpflaster. Das seitliche Quergefälle ist durch die trapezförmig ansteigende Obergürtung der Querträger und durch verschieden hohe Längsträger erzielt.

Die in Abb. 135 dargestellte Straßenbrücke zeigt die Monierplatte zwischen die Querträger versenkt und gegen dieselbe durch auf die Längsträger genietete Winkeleisen abgeschlossen. Die Ränder

¹⁾ Die Abb. 134 und 135 und die darauf bezüglichen Daten sind einer Mitteilung des k. k. Baurat G. Hermann in „Wochenschrift f. d. öffentlichen Baudienst“ 1907 entnommen.

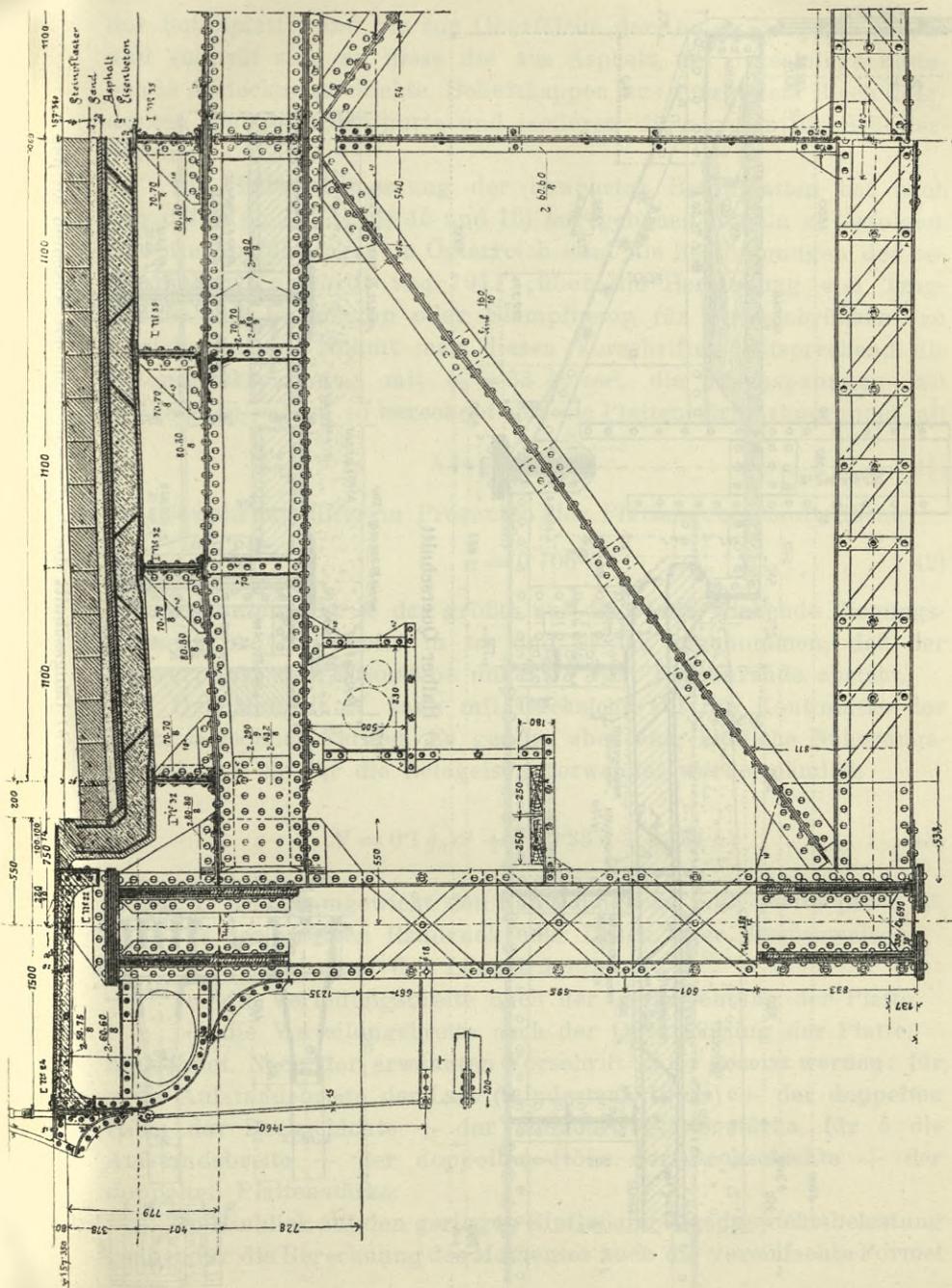


Abb. 134. Straßenbrücke mit oben liegender Fahrbahn. (Nach Plänen des österreichischen Arbeitsministeriums.)

der Betonplatte sind bis zur Oberfläche der Querträgergurte erhöht und schließt sich an diese die aus Asphalt mit Juteeinlage bestehende Abdeckungsschichte. Schutzkappen aus verzinktem Blech überdecken die Querträgergurte und isolieren diese gegen die Schotterbettung.

Die Stärkenbemessung der bewehrten Betonplatten hat nach den dafür (in Bd. II, §§ 15 und 16) angegebenen Regeln zu erfolgen. Für die Ausführungen in Österreich sind die Bestimmungen der behördlichen Vorschrift von 1911 „über die Herstellung von Tragwerken aus Eisenbeton oder Stampfbeton für Straßenbrücken“ zu berücksichtigen. Nimmt man diesen Vorschriften entsprechend die Betondruckspannung mit $\sigma_b = 33 \text{ kg/cm}^2$, die Eisenspannung mit $\sigma_c = 800 \text{ kg/cm}^2$ an, so berechnet sich die Plattenstärke abgerundet mit

$$h \text{ cm} = 15 \sqrt{M^{t/m}} \dots\dots\dots 41)$$

die Bewehrungsziffer in Prozenten der Plattenquerschnittsfläche

$$\alpha = 0.706\% \dots\dots\dots 42)$$

Es bezeichnet M das größte auf die Platte wirkende Biegemoment pro 1 m Breite in tm und es ist angenommen, daß der Schwerpunkt der Eisenstäbe um $0.1 h$ vom Plattenrande absteht.

Das Moment M kann mit Rücksicht auf die Kontinuität der Platte berechnet werden. Es genügt aber eine ähnliche Näherungsformel, wie sie für die Belageisen verwendet wurde, nämlich

$$M = 0.1 g_0 c^2 + \frac{D}{a} (0.23 c - 0.134 b) \dots\dots\dots 43)$$

worin g_0 das Eigengewicht der Fahrbahndecke und -platte pro 1 m^2 ,
 D den größten Raddruck oder Druck einer Straßenwalze,
 c den Abstand der Längsträger,
 a die Verteilungsbreite nach der Längsrichtung der Platte,
 b die Verteilungsbreite nach der Querrichtung der Platte,
bezeichnet. Nach der erwähnten Vorschrift kann gesetzt werden: für a die Aufstandsweite der Last (mindestens 10 cm) + der doppelten Höhe der Deckschichte + der einfachen Plattenstärke, für b die Aufstandsweite + der doppelten Höhe der Deckschichte + der doppelten Plattenstärke.

Im Hinblick auf den geringen Einfluß der Eisengewichtsbelastung genügt für die Berechnung des Momentes auch die vereinfachte Formel

$$M = \frac{D}{a} (0.24 c - 0.13 b) \dots\dots\dots 44)$$

Liegt die Fahrbahnplatte sowohl auf den Längs- wie auch auf den Querträgern auf und beträgt der Querträgerabstand weniger als das anderthalbfache des Längsträgerabstandes, so kann bei kreuzweiser Armierung der Platte diese als vierseitig aufgelagert nach den (in Bd. II, S. 127) angegebenen Regeln berechnet werden.

Die massive Fahrbahntafel hat gegenüber jener aus Eisen den großen Vorteil, daß die Erhaltung, die bei letzterer durch den Rostangriff gefährdet sein kann, eine bessere ist. Die manchen Orts gehegten Bedenken, daß die elastischen Bewegungen und Erschütterungen des eisernen Brückentragwerks auf das Gefüge der Betonplatte ungünstig einwirken und mit der Zeit zu Rissen führen können, scheinen nach den bisherigen Erfahrungen unbegründet zu sein.

Was den Kostenvergleich zwischen einer eisernen und einer massiven Fahrbahntafel betrifft, so stellt sich bei kleinen und mittleren Spannweiten annähernd Kostengleichheit heraus, bei größeren Spannweiten wird aber die massive Fahrbahntafel infolge des erhöhten Gewichtes der Tragkonstruktion erheblich teurer. Man kann nach den Ausführungen bei Brücken die Kosten der bewehrten Betonplatte samt wasserdichter Abdeckung mit etwa 18 bis 22 *K* pro 1 *m*² annehmen. Ein Zorèseisenbelag, der pro 1 *m*² 85 bis 90 *kg* wiegt, stellt sich etwa auf 36 bis 40 *K*, so daß dessen Mehrkosten mit durchschnittlich 18 *K* pro 1 *m*² veranschlagt werden können. Die massive Fahrbahntafel erhöht aber das Gewicht der Fahrbahn um mindestens 200, im Mittel etwa um 300 *kg* pro 1 *m*². Hiedurch wird das Gewicht der Eisenkonstruktion, nach einer schon früher gebrauchten Näherungsformel, pro 1 *m*² um $\Delta g = \frac{300}{250 - l} \cdot l$ vergrößert. Rechnet man 100 *kg* Eisenkonstruktion zu 50 *K*, so betragen die Mehrkosten der Eisenkonstruktion $\frac{150 l}{250 - l}$ *K* oder

für <i>l</i> =	20	30	40	50	75	100 <i>m</i>
	13	20	28·5	37·5	64	100 <i>K</i> .

Zieht man hievon die Ersparnis von 18 *K* ab, so bleiben als Mehrkosten der Anordnung einer massiven Fahrbahntafel

— 5	+ 2	10·5	19·5	46	82 <i>K</i> pro 1 <i>m</i> ² .
-----	-----	------	------	----	---

Diese Aufstellung kann natürlich nur als eine ganz beiläufige gelten. Es geht aber daraus hervor, daß die Eisenbetontafel für Spannweiten bis gegen 30 *m* auch einen wirtschaftlichen Gewinn bringt und daher für diese um so mehr empfohlen zu werden verdient, als

hier im allgemeinen eine Vergrößerung des Eigengewichtes auch wegen der besseren Aufnahme der Stoßkräfte erwünscht erscheint.

6. Fahrbahn auf Gewölbkappen aus Mauerwerk oder Eisenbeton. Für kleinere Straßenbrücken ist besonders häufig in Frankreich die Fahrbahn auf Ziegelgewölbe gelagert worden, welche zwischen naheliegende Querträger oder bei ganz kleinen Weiten, wo das Tragwerk nur aus parallel liegenden Längsträgern besteht, zwischen diese gespannt wurden. Die Stärke der Gewölbe beträgt bis etwa 1 m Spannweite $\frac{1}{2}$ Stein, bis 1.3 m Weite 1 Stein; die Pfeilhöhe $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$ der Spannweite. Der Schub der Gewölbe wird durch die Träger verbindende Rund-eisenschließen aufgenommen. Die Gewölbzwickel füllt man mit Beton oder Mauerwerk aus und gibt darüber eine wasserdichte Abdeckungsschichte.

Obwohl die Ziegelgewölbe im Preise billig sind, ersetzt man sie jetzt doch auch bei kleinen Brücken gerne

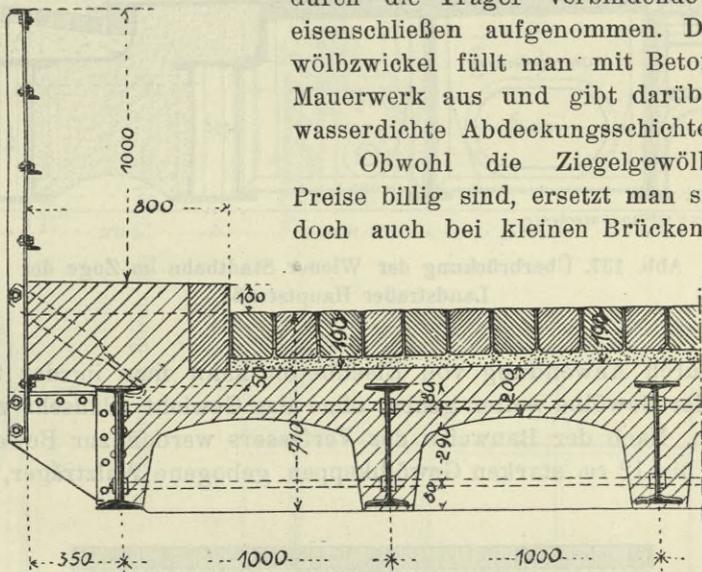


Abb. 136.

durch Gewölbe aus Stampfbeton und erreicht dadurch eine vollständigere und dichtere Umhüllung der Träger. Abb. 136 und 137 geben Beispiele dieser Anordnung, bei welcher zwischen entsprechend nahe gelegten, vollwandigen Hauptträgern Stampfbetonplatten gespannt sind, welche die Träger vollständig umhüllen. Die sehr schwere Tragkonstruktion der Abb. 137 betrifft eine städtische Straßenbrücke mit hoher Verkehrsbelastung. Stampfbetongewölbe mit größeren Stützweiten geben allerdings eine noch immer ziemlich schwere Fahrbahn. Ein Beispiel ihrer Anwendung bietet die Hackerbrücke über den Zentralbahnhof München (Abb. 138). Zwischen die in 2.04 m Abstand liegenden Querträger dieser Brücke sind 20 cm starke Stampfbetongewölbe gespannt, die auf der aus Magerbeton bestehenden Zwickelausfüllung das 12 cm

hohe Holzstöckelpflaster tragen und auch unter die auf Konsolen ausgekragten Fußwege fortgesetzt sind. Man entschied sich im vorliegenden Falle für diese Brückentafel trotz ihres großen Gewichtes (zirka 700 kg pro 1 m²), weil dadurch erreicht wurde, daß möglichst wenig Eisenteile der Fahrbahn den schädlichen Einflüssen der Rauchgase des Rangierbahnhofes ausgesetzt sind.

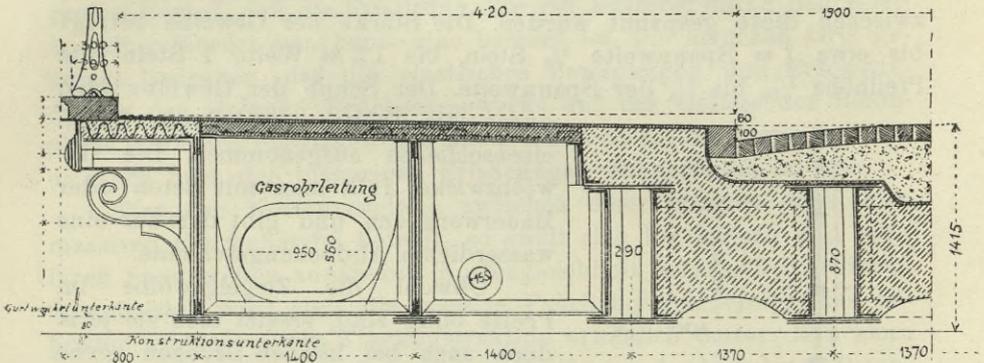


Abb. 137. Überbrückung der Wiener Stadtbahn im Zuge der Landstraßer Hauptstraße.

Durch Anwendung von Eisenbeton kann man in der Spannweite der Gewölbe weiter gehen, ohne das Gewicht allzusehr zu vergrößern. Nach der Bauweise des Verfassers werden zur Bewehrung der 10 bis 12 cm starken Gewölbkappen gebogene Walzträger, Profil

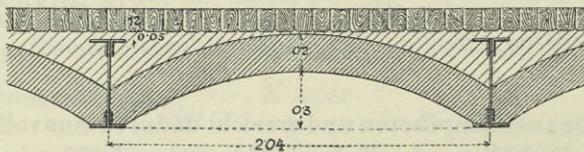
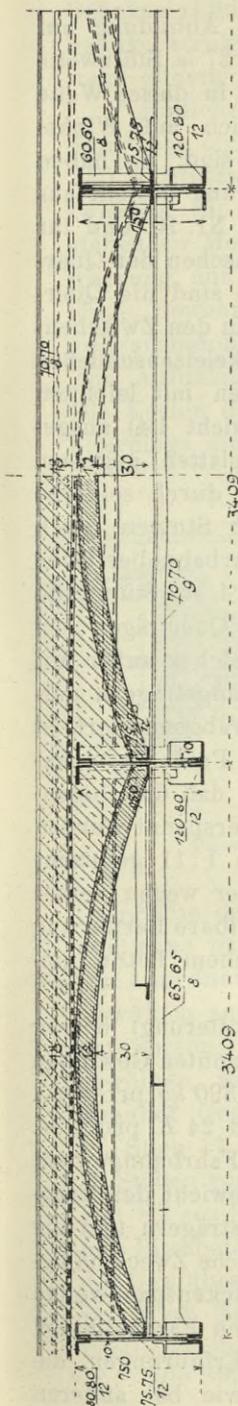
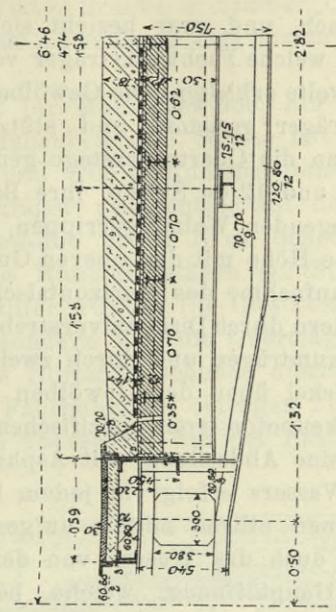


Abb. 138. Hackerbrücke über den Bahnhof in München.

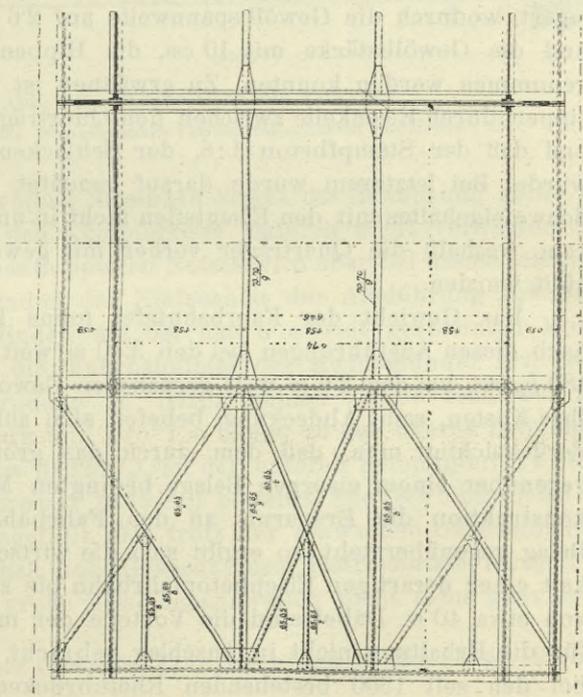
Nr. 8 bis 10, verwendet, die in 0.70 bis 1.00 m Abstand liegen und auf den Flanschen der Fahrbahnträger oder auf an deren Stege genieteten Winkleisen aufstehen. Die steife Bewehrung bietet hier besondere Vorteile, da sie nicht speziell im Eisenbetonbau geschulte Arbeiter verlangt, eine korrekte Ausführung gewährleistet und auch die Möglichkeit bietet, die Schalung durch Anhängung an die Bogenrippen zu vereinfachen. Abb. 139 zeigt die Anwendung dieser Fahrbahntafel bei den beiden Brücken über den Vorarlberger Rhein-



a) Längsschnitt durch die Fahrbahn. 1:45



b) Halber Querschnitt.



c) Grundriß am Brückende. 1:90

Abb. 139. Fahrbahnkonstruktion der Rheinbrücke zu Fussach. 1:45
(Nach Entwurf des Verfassers.)

durchstich bei Fussach, und zwar bezieht sich die Abbildung auf die Seitenöffnungen, welche Fachwerksträger von 27·27 m Stützweite und 3·409 m Knotenweite erhielten. Die Gewölbe sind in dieser Weite zwischen die Querträger gespannt und stützen sich auf Winkel (75.75.12), welche an die Querträgerstege genietet sind. Sie haben nur 30 cm Pfeilhöhe und 12 cm Stärke, ihre Bewehrung besteht aus in 70 cm Abstand liegenden Walzträgerrippen, Prof. Nr. 10, und ihr Scheitel ist in gleiche Höhe mit den oberen Gurtflanschen der Querträger gelegt. Zur Aufnahme des Horizontalschubes sind die Querträger in den Endfeldern durch Diagonalverstrebung, in den Zwischenfeldern durch die Saumträger und durch zwei Winkeleisenschließen verbunden. Die Zwickel über den Gewölben wurden mit leichtem Beton (Kohlenschlackenbeton vom spezifischen Gewicht 1·4) ausgefüllt und darüber eine Abdeckung mit Asphaltfilzplatten gegeben. Die Ableitung des Wassers erfolgt in jedem Felde durch seitliche Abfallrohre, von denen etliche mittels aufgesetzter Stützen (nach Art der Abb. 135 c) auch das Wasser von der Fahrbahnoberfläche abführen. In der Hauptöffnung, welche bei 84·4 m Stützweite 5 m Knotenweite erhielt, ist zwischen je zwei Querträger ein Zwischenträger (Walzträger Nr. 20) eingeschaltet, welcher außer auf den Saumträgern der Fahrbahn auf zwei mittleren Längsträgern auflagert, wodurch die Gewölbspannweite auf 2·6 m herabgemindert ist und die Gewölbstärke mit 10 cm, die Rippen mit Prof. Nr. 8 angenommen werden konnten. Zu erwähnen ist noch, daß die Bogenrippen durch Eisenkeile zwischen den Querträgern verspannt wurden und daß der Stampfbeton 1:6, der Schlackenbeton 1:11 gemischt wurde. Bei letzterem wurde darauf geachtet, daß er wegen seines Schwefelgehaltes mit den Eisenteilen nicht in unmittelbare Berührung kam, weshalb die Querträger vorher mit gewöhnlichem Beton umhüllt wurden.

Das Gewicht der Fahrbahntafel (ohne Beschotterung) betrug nach diesen Ausführungen bei den 3·40 m weit gespannten Gewölben 480 kg/m², bei den 2·6 m weit gespannten Gewölben 390 kg pro 1 m². Ihre Kosten, samt Abdeckung, beliefen sich auf rund 24 K pro 1 m². Berücksichtigt man, daß dem durch das größere Fahrbahngewicht gegenüber einem eisernen Belage bedingten Mehrgewicht der Tragkonstruktion die Ersparnis an den Fahrbahn­längsträgern und am Belag gegenübersteht, so ergibt sich die wirtschaftliche Zweckmäßigkeit einer derartigen Eisenbetonfahrbahn bis zu Brückenspannweiten von etwa 40 m. Dabei sind die Vorteile der massiven Fahrbahntafel für die Erhaltung nicht in Anschlag gebracht. Die Erfahrungen, die bei den seit 1900 bestehenden Rheinbrücken, sowie bei anderen

Brücken (Ludwig Viktor-Brücke in Salzburg), bei denen diese Fahr-
bahnkonstruktion zur Anwendung kam, gemacht wurden, sind durch-
wegs günstig.

Ähnliches gilt für Moniergewölbe. Ein Beispiel ihrer Anwen-
dung bei einer Straßenbrücke I. Klasse mit Fachwerkträgern von
245 m Stützweite und 3·06 m Knotenabstand zeigt Abb. 140. Die
zwischen die Querträger gespannten, auf deren Fußflanschen auf-
stehenden Moniergewölbe haben 10 cm Scheitelstärke und eine Be-
wehrung aus 10 mm Rundeisenstäben (12 Stück pro 1 m Gewölbs-
länge, Bewehrungsziffer 0·94‰). Die Gewölbszwickel sind hier nicht
voll ausbetoniert, sondern nur die Querträger mit Beton umhüllt.
Zur Aufnahme des Horizontalschubes dienen Winkeleisenschließen.
Die Kosten dieser Fahrbahntafel betragen 21·12 K pro 1 m². Es ist
allerdings nicht zu übersehen, daß bei Einlage bloß eines an der

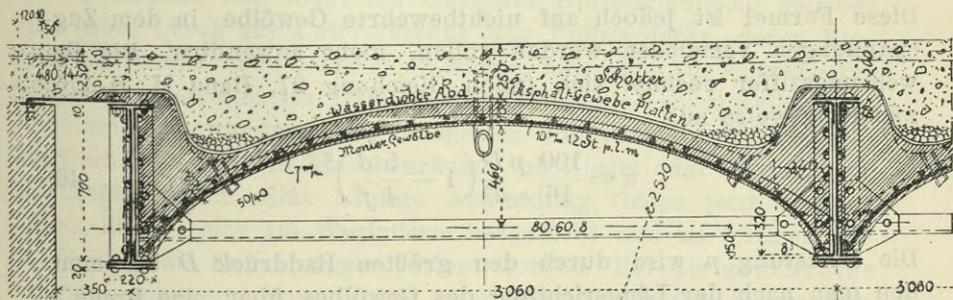


Abb. 140. Brücke über den Lohbach.

(„Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst“, 1907.)

Unterseite des Gewölbes liegenden Netzes die Bewehrung keine voll-
kommene ist und daß Kämpferisse dadurch nicht verhindert sind.
Die Anordnung eines doppelten Netzes wird aber bei diesen schwachen
Gewölben aus Gründen der Einfachheit der Ausführung gewöhnlich
unterlassen. Wir finden sie bei den 6 m weit gespannten Monier-
gewölben, welche die Fahrbahntafel der Swinemünder Brücke am
Bahnhof Gesundbrunnen in Berlin bilden. Diese sind bei zirka
 $\frac{1}{10}$ Stich 17 cm stark und pro 1 m Länge an der oberen Leibung mit
10 Stäben von 7 mm (0·226‰), an der unteren Leibung mit 14 Stäben
von 8·2 mm Durchmesser (0·494‰) bewehrt. Die Gewölbszwickel sind
mit Bimsbeton ausgefüllt. Das trotz der schwachen Dimensionierung
des Gewölbes ziemlich hohe Gewicht dieser Fahrbahntafel (zirka 800 kg
pro 1 m²) läßt so große Gewölbspennweiten nicht mehr ganz zweck-
mäßig erscheinen.

Die Stärke der Gewölbe kann nach den in Bd. II, §§ 19 und 20

gegebenen Regeln bemessen werden. Vereinfacht man die dort entwickelten Gleichungen 18, beziehungsweise 25, indem mit Vernachlässigung des Eigengewichtes $w = \frac{1}{2} p$ gesetzt und auch $\gamma \varrho_0$ gegen s vernachlässigt wird, so erhält man $d = \frac{1}{4s} [p \varrho_0 + \sqrt{(p \varrho_0)^2 + p l^2 s}]$ oder mit genügender Annäherung

$$d = \frac{1}{4} \left(\varrho \frac{p}{s} + l \sqrt{\frac{p}{s}} \right) \dots \dots \dots 45)$$

Es bezeichnet darin l die Spannweite, ϱ den Scheitelkrümmungshalbmesser des Gewölbes, s die zulässige größte Druckbeanspruchung und p die dem Raddrucke entsprechende gleichförmig verteilte Belastung; alle Maße auf die gleiche Einheit (*ton* und *m*) bezogen. Diese Formel ist jedoch auf nichtbewehrte Gewölbe, in dem Zugspannungen vermieden werden sollen, nicht anwendbar. Die Bewehrungsziffer rechnet sich (nach Gleichung 27, Band II, S. 176) näherungsweise aus

$$\alpha = \frac{100}{16} \frac{p l^2}{s_e d^2} \left(1 - \frac{5}{4} \frac{d}{f} \right)^2 \dots \dots \dots 46)$$

Die Belastung p wird durch den größten Raddruck D bestimmt, den man nach der Längsrichtung des Gewölbes über eine Breite a (im Mittel etwa 0·5 *m*), nach der Querrichtung über eine Breite b verteilt annehmen kann. Für die Bestimmung dieser Verteilungsbreiten können unter Zugrundelegung der mittleren Überdeckungshöhe des Gewölbes die gleichen Annahmen gelten, wie sie oben für Platten angegeben wurden. Es verteilt sich sonach der Raddruck über eine Grundfläche ab und man kann nach der Bogenträgertheorie die damit gleichwertige, über die halbe Spannweite gleichförmig verteilte Belastung p ungefähr setzen

$$p = 2 \frac{D}{a l} \left(2 - 3 \frac{b}{l} \right) \dots \dots \dots 47)$$

Führt man in Gleichung 45) $s = 310 \text{ t/m}^2$ und bei $\frac{1}{10}$ Stich $\varrho = 1\cdot25 l$ ein, so erhält man schließlich mit einer kleinen Ziffernabrundung

$$d \text{ (in cm)} = (0\cdot1 p + \sqrt{2 p}) l \text{ (in m)} \dots \dots \dots 48)$$

Die Gleichungen 47), 48) und 46) (letztere mit $s_e = 8000 \text{ t/m}^2$ und $f = 0\cdot1 l$) liefern nachstehende Zahlenwerte:

Angenommene Druckverteilungsbreite $a = 0.5 \text{ m}$, $b = 0.75 \text{ m}$

$l =$	2.5	3	4	5	6 m
$p =$	1.76	1.666	1.438	1.240	1.083 · D

für $D = 3 \text{ t}$:

$d =$	9.5	11.0	13.5	15.5	17.2 cm
$\alpha =$	0.79	0.85	0.99	1.13	1.26 ‰

für $D = 4 \text{ t}$:

$d =$	11.1	13.0	15.9	18.2	20.3 cm
$\alpha =$	0.55	0.58	0.72	0.87	0.98 ‰

7. Für die Fußwege der Straßenbrücken und für Fußgängerbrücken kommt, falls nicht ein einfacher Holzbohlenbelag gegeben wird (Abb. 135 a), zur Unterstützung der Fußwegdecke, deren Konstruktion bereits oben besprochen wurde, eine Tafel aus schwächeren Belageisen, Buckelplatten, Hänge- oder Tonnenblechen, zuweilen auch Wellblech in Anwendung. Die Belageisen können hier größeren Abstand erhalten und die Zwischenräume mit Ziegel oder Betonsteinen überdeckt werden. Eine häufige Anwendung finden jetzt Monierplatten, die für sich am Werkplatze hergestellt und im fertigen Zustande über die Fußwegträger verlegt werden. Für die gewöhnliche Unterstützungsweite von 1.0 bis 1.5 m genügen Plattenstärken von 8 bis 10 cm mit 0.5 bis 0.6 ‰ Bewehrung.

Wenn die Füllungsstäbe der Hauptträger den Fußweg durchschneiden, so läßt man die Fußwegdecke entweder nur bis an die Hauptträger reichen und überdeckt den von letzteren eingenommenen Spalt mit Riffelblechen (Abb. 107 a) oder man bildet in der durchgehenden Fußwegplatte rechteckige Aussparungen aus, durch welche die Füllungsstäbe der Hauptträger hindurchgehen und unterstützt daselbst die Platte oder Belageisen durch Winkeleisenrahmen, die auf die benachbarten Fußwegträger gelagert sind (Abb. 141).

Die Fußwege werden gegen die Fahrbahn in der Regel durch Bordsteine oder eine Bordschwelle aus Beton abgegrenzt, welche die Fahrbahn um 10 bis 18 cm überragt. In den so gebildeten seitlichen Rinnen sammelt sich das Niederschlagswasser von der Fahrbahn und von den nach innen geneigten Fußwegen und wird von hier bei nicht zu langen Brücken durch das Längsgefälle, bei längeren Brücken oder solchen von geringem Längsgefälle an einzelnen Stellen durch Abfallrohre nach unten abgeführt. Die Ausbildung einer eigenen vertieften Rinne ist, wenigstens bei gepflasterten oder sonst gut

befestigten Fahrbahnen, nicht notwendig. Bei beschotterten Fahrbahnen hat man solche Rinnen aus Stein oder durch umgekehrte Zorèseisen hergestellt (Abb. 102); sie haben aber, wenn sie nicht

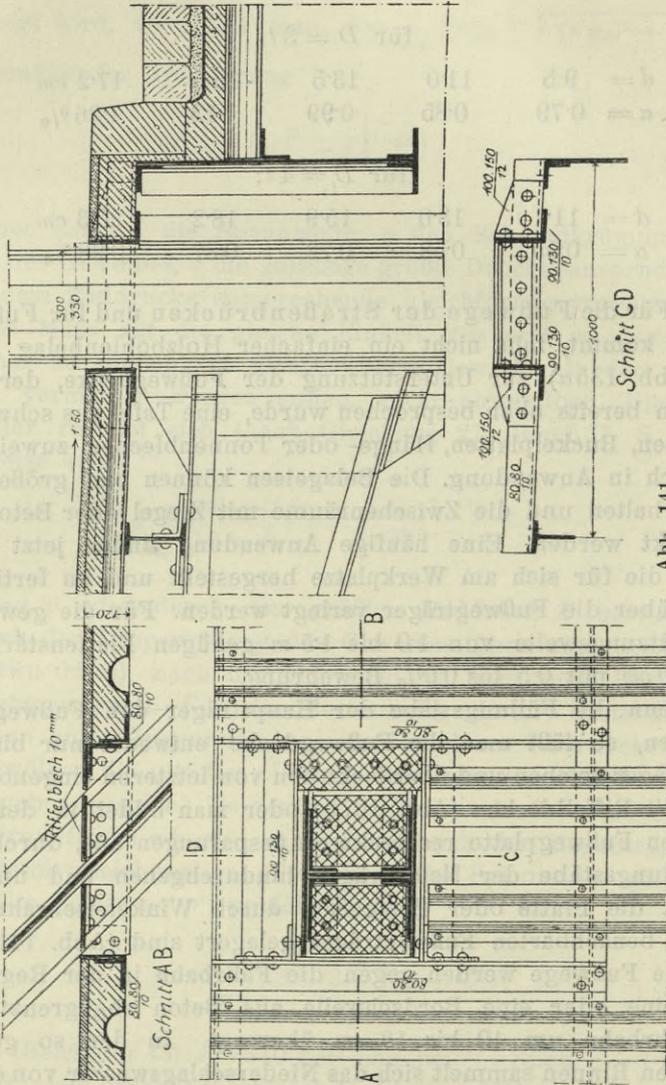


Abb. 141.

entsprechend flach sind, den Nachteil, daß Wagenräder, die in sie hineingelangen, schwer herausfahren können.

Zur Ableitung des Wassers dienen gußeiserne Entwässerungskästen (Gullys), welche sich in Abfallrohre fortsetzen und entweder

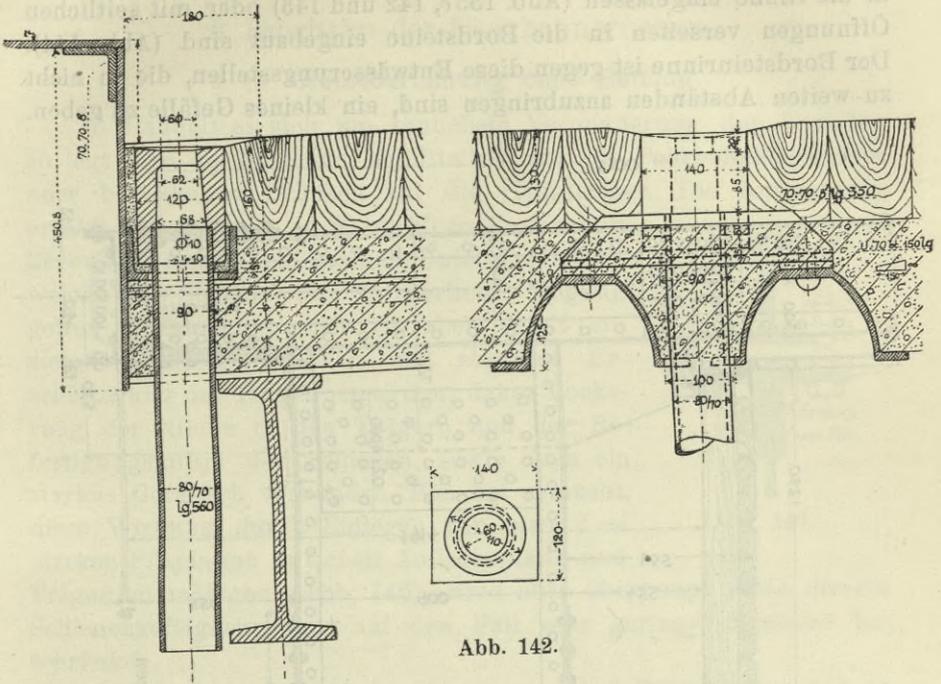


Abb. 142.

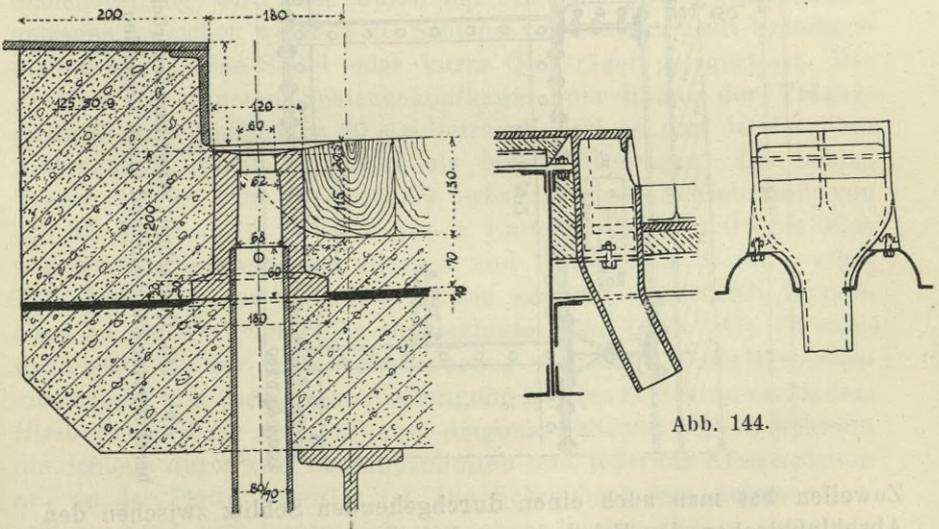


Abb. 143.

Abb. 144.

B. Fahrbahn der Eisenbahnbrücken.

§ 15. Gleisüberführung ohne Bettung.

1. Handelt es sich um tunlichste Verminderung der Bauhöhe, so legt man die Schienen unmittelbar auf die Fahrbahnlängsträger oder bei kleinen Brücken auf die Hauptträger. Die Auflagerung erfolgt auf eisernen, in 60 bis 80 cm Entfernung liegenden, etwas keilförmigen Unterlagsplatten, welche der Schiene die erforderliche Neigung geben. Erfahrungsgemäß ist aber damit ein ziemlich hartes Befahren und stärkere Erschütterung der Tragkonstruktion, daher Lockerung der Nieten in den Trägern und der Befestigungsmittel der Schienen, sowie auch ein starkes Geräusch verbunden. Man hat versucht, diese Wirkung durch Einlegen von etwa 2 cm starken Filzplatten zwischen Auflagerplatte und Träger zu mäßigen (Abb. 146), wird aber überhaupt diese direkte Schienenaullagerung nur auf den Fall sehr geringer Bauhöhe beschränken.

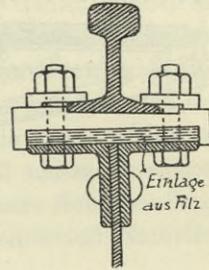


Abb. 146.

Die kleinste Bauhöhe erreicht man bei Spannweiten bis zu 6 bis 7 m durch Anwendung sogenannter Zwillingssträger. Jeder Schienenstrang wird hier durch ein Paar gekuppelter Hauptträger getragen, zwischen welchen die Schiene versenkt und mit Unterlagsplatten auf eiserne Sättel oder kurze Querträger gelagert ist. Der Abstand der inneren Schienenkopfkante vom Rande der Trägergurtung muß mindestens 80 mm betragen und es darf letztere den Schienenkopf nicht um mehr als 50 mm überragen. Die beiden Träger (Walz- oder Blechträger) erhalten einen Achsabstand von 400 bis 500 mm; die Sättel liegen in Entfernungen von 0.6 bis 0.7 m und werden entweder aus Blechen und Winkeleisen in Form eines I-Trägers oder aus doppelten J-Eisen gebildet, die mittels Winkeleisen an die Zwillingssträger angeschlossen sind (Abb. 147). Es empfiehlt sich, die zur Schienenaullagerung dienenden Unterlagsplatten unabhängig von der Schienenbefestigung mit den Sätteln zu verbinden. Hierzu dienen (nach Abb. 148) zwei diagonal stehende Niete, während die Schiene durch zwei Schraubenbolzen und federnde Klemmplatten nur an der Platte befestigt ist. Die Schraubenbolzen haben rechteckigen Kopf und lassen sich von oben in das ebenso gestaltete Loch der Platte einsetzen, dann um 90° drehen und in dieser Lage durch das Füllstück *F* festhalten. Gegen das Losdrehen der Schraubenmuttern infolge der Erschütterungen sind Sicherungen anzubringen

Die beiden Zwillingsträgerpaare sind durch steife Querriegel, am einfachsten aus [-Eisen, und durch eine Horizontalverstrebung zu verbinden. Die außerhalb des Gleises liegende Bedielung, welche von der Gleisachse gemessen eine Breite von 2,15 m zu erhalten

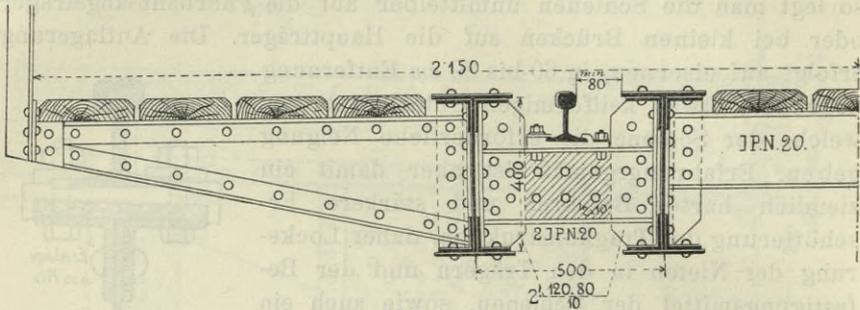


Abb. 147.

hat, wird entweder von, mit den Querriegeln korrespondierenden Blechkonsolen getragen (Abb. 147) oder durch einen besonderen Randträger gestützt.

2. Die Auflagerung des Gleises mittels hölzerner Querschwellen auf den Fahrbahnlängsträgern (Schwellenträgern) oder bei

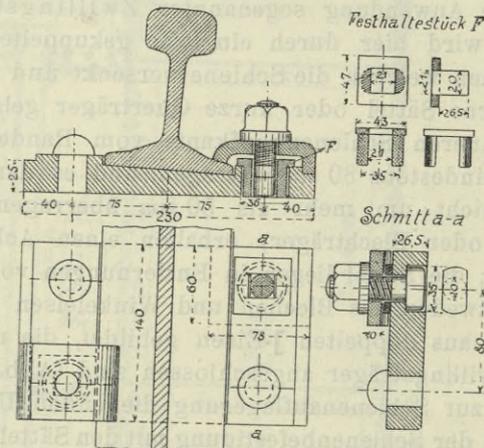


Abb. 148.

kleinen Blechbrücken mit Fahrbahn oben auch unmittelbar auf den Hauptträgern bildet die Regel. Es können dabei für die Schienen dieselben Befestigungsmittel verwendet werden, wie in der freien Strecke und die Holzschwelle mildert durch ihre Elastizität ganz wesentlich das Geräusch und die Wirkung der Stöße auf das eiserne Tragwerk.

Bezüglich der Querschnittsabmessungen der Querschwellen, ihrer Länge und Austeilung wird auf das bei den Holzbrücken Gesagte (Band I, § 16) verwiesen¹⁾. Der Schwellenabstand wird kleiner als in der freien Strecke gewählt, gewöhnlich von Mitte zu Mitte nur 60 bis 70 cm, um bei etwaigen Entgleisungen das vollständige Durchbrechen der Räder zu verhüten. Man teilt hienach den Abstand zwischen zwei Querträgern in eine Anzahl gleicher Teile, kleiner als 70 cm, und legt die Schwellen neben den Querträgern in den halben Abstand, so daß sich durchwegs gleiche Schwellenentfernung ergibt. Die Schienen sind alsdann in solchen Längen zu verwenden, daß der Schienenstoß zwischen zwei Querschwellen fällt, die nötigenfalls auf das für den schwebenden Stoß vorgeschriebene Maß näher zu rücken sind. Brücken, deren Länge kleiner als die verfügbare Schienenlänge (jetzt normal 12·5 bis 16 m) ist, erhalten keinen Schienenstoß. Natürlich

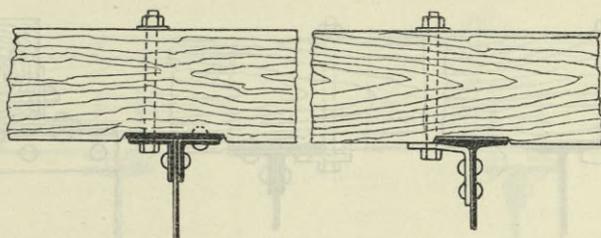


Abb. 149.

Abb. 150.

ist der Anschluß an die freie Strecke durch besonders abgelängte Schienen zu bewirken.

Die Befestigung der hölzernen Querschwellen auf den Trägern geschieht gewöhnlich durch Schraubenbolzen, die entweder durch die Gurtflanschen der Träger hindurchgehen (Abb. 149) oder besser durch seitlich an diese genietete Blechstreifen (Abb. 150). Zweckmäßiger noch ist die Verwendung von Hakenschrauben (Abb. 151), die den Flansch des Schwellenträgers untergreifen und durch den am Hackenende vierkantigen Schaft gegen Drehung gesichert sind. Die Schwellen-

¹⁾ Es wäre zu bemerken, daß man bei der Bemessung der Schwellenstärken meist eine höhere Scheerspannung als 15 kg/cm² zulassen wird, um nicht ungewöhnlich starke Schwellen notwendig zu haben. Rechnet man mit 20 kg/cm² Scheerspannung, so ergeben sich

für einen Raddruck von	6	8	10 t
Schwellen von	20/24	22/28	24/30 cm

Diese Abmessungen reichen auch für die Biegebbeanspruchung mit 75 kg/cm² aus, solange der Abstand der Schwellenträger kleiner ist als

1·88	1·95	2·00 m
------	------	--------

austeilung ist bei dieser Anordnung nicht unabänderlich fixiert und kann nach Bedarf geändert werden. Anstatt Hakenschrauben sind auch gerade Schraubenbolzen oder Holzschrauben mit Klemmplatten, die sich mit einem Spitzen- oder Schneidenansatz in das Holz der Schwelle einpressen (Abb. 152), verwendet worden. Zur besseren Aufnahme der Seitenkräfte und um seitliche Verschiebungen zu verhindern, empfiehlt es sich, die Schwellen am Auflager um 10 bis 20 *mm* einzuschneiden. Hat der Träger abgesetzte Gurtplatten, so sind die Höhenunterschiede durch verschieden tiefe Einschnitte in den Schwellen oder durch Unterlagsplatten auszugleichen. Die vorstehenden Nietköpfe sind in entsprechende Ausbohrungen der Schwellen einzulassen. Die beste Sicherung gegen Verschiebungen auch nach der Längsrichtung des Gleises erreicht man durch eine Befestigung mittels Winkel, die auf die Schwellenträger genietet und mit denen die

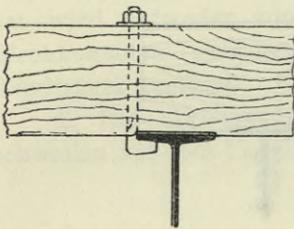


Abb. 151.

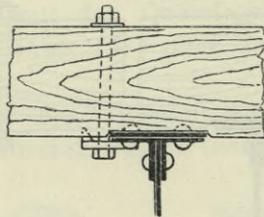


Abb. 152.

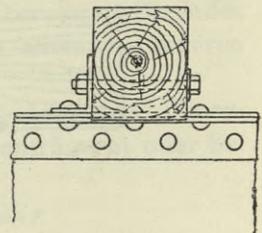


Abb. 153.

Schwellen durch wagrechte Bolzen verbunden werden (Abb. 153). Man verwendet dazu gewöhnlich ungleichschenklige Winkel, mit lotrecht gestelltem, etwa 120 *mm* langen Schenkel, um die Befestigungsbolzen höher legen zu können, und sucht ihre Stellung mit der Nietteilung der Träger in Einklang zu bringen, was mit kleinen Änderungen in den Schwellenabständen immer möglich ist. Der Winkelbefestigung wird besonders bei Brücken in Bremsstrecken der Vorzug zu geben sein.

Die Schwellen liegen in der Regel in der ganzen Breite der Gurtflanschen auf. Genietetete Träger sollen dann eine durchgehende Kopfplatte erhalten, da sonst die inneren Winkel stark auf Abbiegen beansprucht werden. Zuweilen ist aber auch eine zentrische Auflagerung durchgeführt worden, in der Art, daß auf dem Träger unter jeder Schwelle eine 3 bis 5 *cm* breite, 20 bis 30 *mm* starke Unterlagsplatte mit Stiftschrauben oder versenkten Nieten befestigt und darauf die Schwelle mit einer eingelassenen Blechplatte gelagert wird. (Abb. 154, 155.) Durch eine an letzterer angebrachte Rippe

können Querverschiebungen verhindert werden; außerdem ist die Schwelle aber durch eine der oben angegebenen Befestigungsarten gegen Abheben und Längsverschiebung zu sichern. Die in Amerika übliche Auflagerung der Schwellen auf der Kante des etwa 1 cm über die Gurtwinkeln vorstehenden Stehblechs der Schwellenträger dürfte sich wegen der allzu geringen Breite der Auflagerfläche nicht sehr empfehlen.

Ausnahmsweise sind bei großen und langen Brücken anstatt der Holzschwellen eiserne Querschwellen zur Anwendung gekommen, welche den Vorteil der Feuersicherheit bieten, bezüglich der elastischen Milderung der Stöße aber den Holzschwellen erheblich nachstehen. Man verwendet Vautherin-Schwellen, welche mit den Längsträgern durch Nietung verbunden werden. Auch hier kann eine zentrische Auflagerung in Anwendung kommen. Man hat die Schwellen

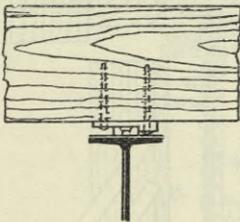


Abb. 154.

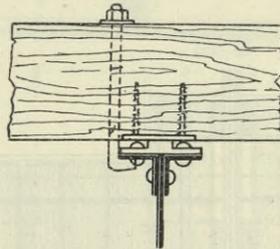


Abb. 155.

zuweilen auch ganz nahe gelegt, um das Durchbrechen entgleister Fahrzeuge zu verhindern und die Brücke ohne Bedielung begehbar zu machen (Kaiser Wilhelmsbrücke bei Müngsten).

Bei der gewöhnlichen Anordnung des Oberbaues auf Holzquerschwellen ist die Fahrbahn in der ganzen Brückenbreite mit einem mindestens 5 cm starken Bohlenbelage abzudecken (Abb. 156). Es empfiehlt sich hiezu Eichenholz zu verwenden. Die bis zu 20 cm breiten Bohlen erhalten Zwischenräume von 1 bis 2 cm und werden durch unten angeschraubte Querleisten zu etwa 0.6 bis 1.2 breiten und bis 2.5 cm langen Tafeln vereinigt, die an den Rändern mittels eingelassener Holzschrauben auf den Schwellen befestigt werden. Für das zeitweise notwendig werdende Abheben der Tafeln ist eine leicht lösbare Befestigung vorteilhaft, wie sie von Ingenieur Winternitz angegeben wurde und auf österreichischen Bahnen in Verwendung steht (Abb. 157). An einzelnen Dielen sind Kramphaken aus abgebogenem Rundeisen drehbar befestigt, die durch Niederdrücken eines ebensolchen Hebels an den Flansch des die Dielen unterstützenden Trägers

oder an die an den Schwellen befestigten kleinen Winkelaschen angepreßt werden. Für kleinere Tafeln sind zwei, sonst je vier solcher Befestigungsvorrichtungen zu verwenden.

Anstatt der Holzdielen wird auch eine Abdeckung mit Riffel-

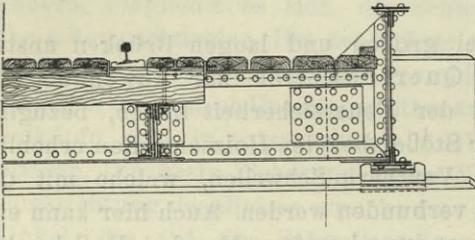


Abb. 156a.

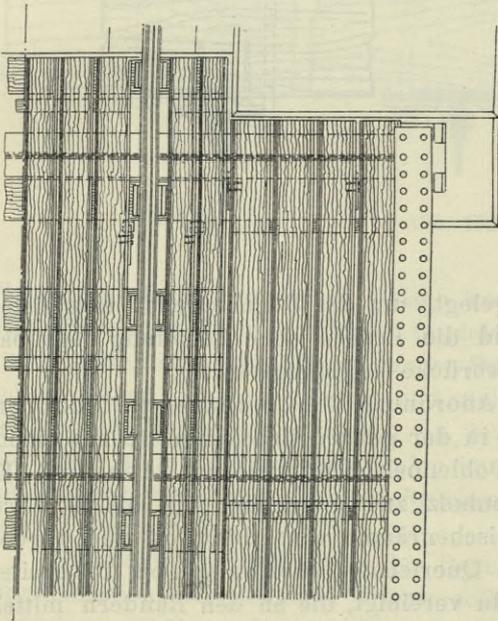
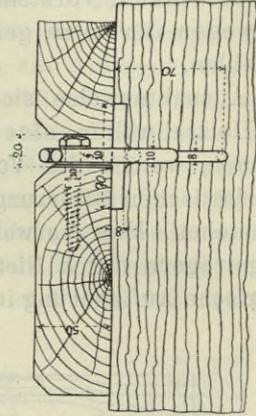


Abb. 156b.

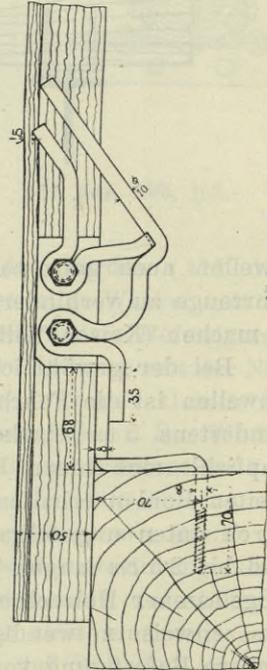
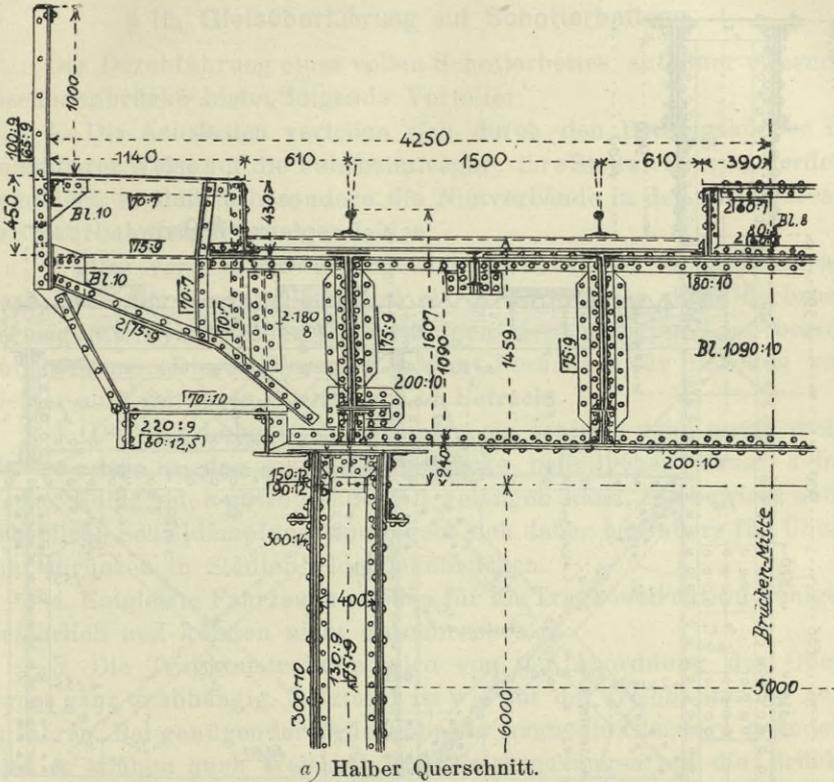


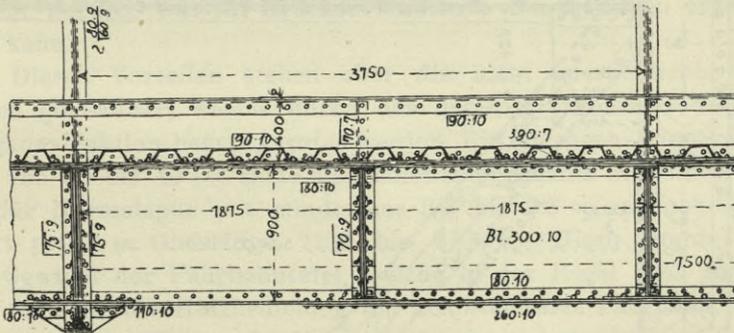
Abb. 157. Dielenbefestigung nach Ing. Winteritz.

blech gegeben, hauptsächlich in dem zwischen den Schienen eines Gleises liegenden Teile der Fahrbahn, um ein Inbrandsetzen durch aus den Aschenkasten der Lokomotiven fallende Kohlenstücke zu verhüten (Bayerische Staatsbahnen). Die 6 mm starken Riffelbleche er-

halten der Entwässerung wegen eine dachförmige Neigung und werden auf hölzernen Längsbohlen, die auf den Querschwellen auf-



a) Halber Querschnitt.



b) Längsschnitt.

Abb. 158. Kaiser Wilhelm Brücke bei Müngsten.

liegen, befestigt. Die Rücksichtnahme auf die Brandgefahr kann insbesondere bei längeren Brücken dazu veranlassen, die Holzbedielung gänzlich durch eine eiserne Abdeckung zu ersetzen. Man hat zu diesem

des leichten Durchrostens, das durch Ansammlung von Schmutz und Feuchtigkeit in den Wellen begünstigt wird, nicht besonders zu empfehlen.

§ 16. Gleisüberführung auf Schotterbettung.

Die Durchführung eines vollen Schotterbettes auf einer eisernen Eisenbahnbrücke bietet folgende Vorteile:

1. Die Achslasten verteilen sich durch den Bettungskörper in günstigerer Weise auf die Fahrbahnträger; ihre Stoßwirkungen werden gemildert, so daß insbesondere die Nietverbände in den Anschlüssen der Fahrbahnträger weniger leiden.

2. Das vergrößerte Eigengewicht erhöht den Sicherheitsgrad gegenüber der Verkehrslast, und die größere Masse des Überbaues vermag die dynamischen Einwirkungen der bewegten Last besser aufzunehmen. Dieser Umstand kommt besonders für Brücken von kleiner und mittlerer Spannweite in Betracht.

3. Die Fahrbahn ist feuersicher, sie schließt nach unten dicht ab, so daß in den unter der Brücke befindlichen Raum keine Asche, Kohle oder abtropfendes Öl gelangen kann. Sie bewirkt auch erhebliche Schalldämpfung und eignet sich daher besonders für Überfahrtsbrücken in Städten, Hochbahnbrücken.

4. Entgleiste Fahrzeuge werden für die Tragkonstruktion weniger gefährlich und können nicht durchbrechen.

5. Die Tragkonstruktion wird von der Anordnung des Oberbaues ganz unabhängig. Letzterer ist wie auf der freien Strecke auszuführen. Bei genügender Brückenbreite kann die Gleislage geändert und es können auch Weichen- und Gleiskreuzungen auf die Brücke verlegt werden, was für Brücken innerhalb von Stationen erwünscht sein kann.

Diesen Vorteilen stehen aber die nicht unerheblichen Mehrkosten gegenüber, welche durch das namhaft erhöhte Gewicht der Tragkonstruktion hervorgerufen werden. Ein durchgehendes Schotterbett von 35 bis 40 *cm* Höhe bis Schienenunterkante und einer Breite, die für Normalspur mit mindestens 3·3 bis 3·5 *m* anzunehmen ist, wiegt pro 1 *m* Gleislänge 2200 bis 2700 *kg*. Hiezu kommt noch das Gewicht der Fahrbahntafel, welche in der Regel auch schwerer sein wird als die Holzbedielung der schotterfreien Fahrbahn, so daß man, gering gerechnet, das Mehrgewicht der Schotterbahn mit 2·2 bis 2·7 *t* pro 1 *m* Gleis ansetzen kann. Das Gewicht der Tragkonstruktion pro Längeneinheit ist näherungsweise der gesamten auf sie einwirkenden Belastung proportional. Bezeichnet g_0 das Fahrbahngewicht für die schotterfreie Fahrbahn, g_0^1 jenes bei Durchführung

der Schotterbettung, p die Verkehrslast (Ersatzlast) pro Längenmeter Gleis, so stehen demnach die Tragwerksgewichte g und g^1 der beiden Anordnungen in dem Verhältnisse $g:g^1 = g_0 + p:g_0^1 + p$,

womit
$$\frac{g^1 - g}{g} = \frac{g_0^1 - g_0}{g_0 + p}$$

und mit dem oben angegebenen mittleren Unterschiede der Fahrweggewichte $g_0^1 - g_0 = 2.5 t$ und $g_0 = 0.6 t$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{2.5}{0.6 + p}$$

Unter Zugrundelegung des österreichischen Belastungszuges berechnet sich daraus die Gewichtsvermehrung Δg der Tragkonstruktion bei

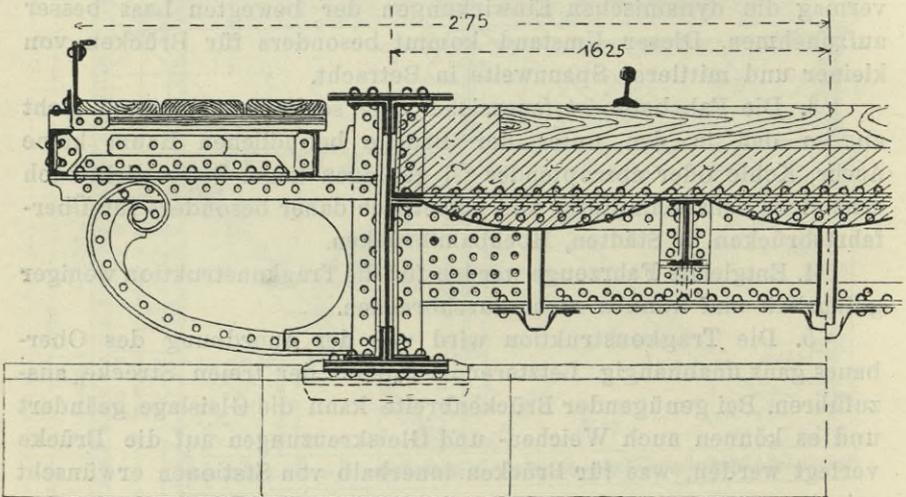


Abb. 160. Wiener Stadtbahnbrücke.

Durchführung des Schotterbettes ungefähr mit den nachstehenden Prozentziffern:

$l =$	10	20	30	40	50	60	80	100 m
$p =$	11	8	7.5	7.3	6.8	6.1	5.6	5.1 t
$\Delta g =$	21	29	30	31	33	37	40	44% von g .

Die Mehrkosten der Tragkonstruktion verbieten aus wirtschaftlichen Gründen die allgemeine Durchführung der Schotterfahrbahn auf den eisernen Brücken; für die kleineren Überbauten in stark befahrenen Linien findet sie aber immer mehr und mehr grundsätzliche Anwendung, da hier einerseits die Mehrkosten nicht

so bedeutend sind, anderseits die Vorteile für die Erhaltung des Überbaues in besonderem Maße hervortreten. Für städtische Hochbahnbrücken wird diese Fahrbahnausbildung jetzt wohl ausnahmslos durchgeführt. Dagegen hat für weitgespannte Brücken die Überführung des Schotterbettes nur in wenigen Beispielen Anwendung gefunden.

Die Durchführung der Bettung erfordert die Anordnung einer Fahrbahntafel, für welche dieselben Konstruktionen wie bei den Straßenbrücken in Verwendung kommen können. Die Stärke der Bettung von der Oberkante der Fahrbahntafel bis zur Schwellenunterkante soll für Hauptbahnen nicht unter 20 cm betragen. Eiserne Querschwellen sind insoferne von Vorteil, weil sie niedriger sind als

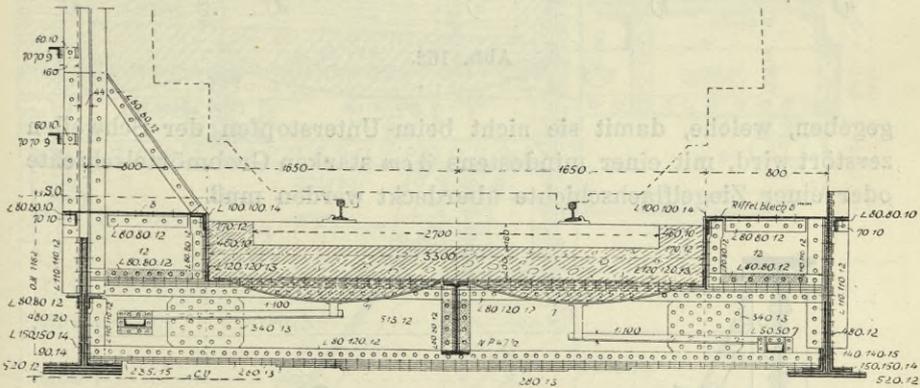


Abb. 161. Überbrückung der Brandenburger Chaussee.
(Königl. Eisenbahndirektion Berlin.)

Holzschwellen und daher eine kleine Verringerung der gesamten Bettungshöhe und der Bauhöhe ermöglichen.

Als Fahrbahntafel kommen Konstruktionen in Eisen und in Eisenbeton in Betracht und zwar vorzugsweise:

1. Buckelplatten. Unter einem Gleise sind gewöhnlich zwei (Abb. 161) oder drei Reihen Buckelplatten (Abb. 160) angeordnet. Hinsichtlich der Auflagerung und Befestigung der Platten gilt das bei den Straßenbrücken Gesagte. Die Stärke der Platten ist erfahrungsgemäß mit 9 bis 10 mm ausreichend bemessen. Eine rechnermäßige Bestimmung der Plattenstärke könnte nur von ziemlich unsicheren Annahmen über die Verteilung des Raddruckes durch Schwellen und Bettung ausgehen und erscheint daher zwecklos. Auf die Buckelplatten wird gewöhnlich der Bettungsschotter unmittelbar aufgebracht. Tropflöcher und Tropftüllen, wie S. 134 beschrieben,

bewirken die Entwässerung. Zum Schutz gegen Anrosten empfiehlt es sich, die Platten zu verzinken oder wenigstens mit heißem Teer zu überstreichen. Die Ränder der Buckelplatten sind mit Asphaltkitt zu dichten. Man hat aber auch bei Eisenbahnbrücken die Mulden der Platten mit Beton ausgefüllt und darüber eine wasserdichte Abdeckung

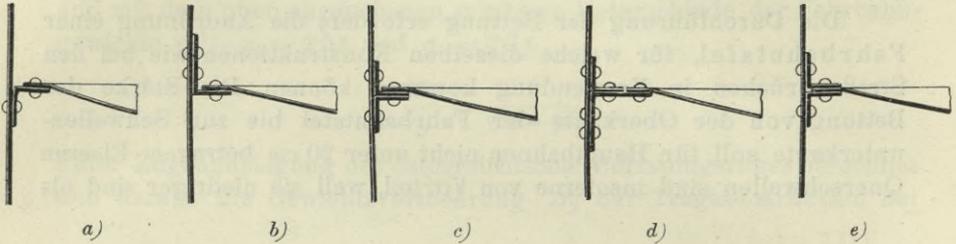


Abb. 162.

gegeben, welche, damit sie nicht beim Unterstopfen der Schwellen zerstört wird, mit einer mindestens 3 cm starken Grobmörtelschichte oder einer Ziegelflachschihte überdeckt werden muß.

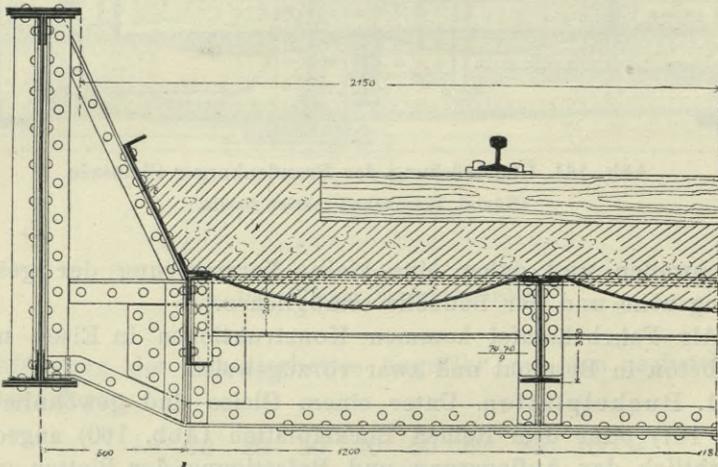


Abb. 163.

Zur tunlichsten Verminderung des Eigengewichtes wird der Bettungskörper möglichst schmal gehalten. Für eingleisige Hauptbahnbrücken genügt bei 2·5 bis 2·7 m langen Querschwellen eine Bettungsbreite von 3·20 bis 3·30 m. Bei Blechbrücken, deren Hauptträger nur wenig über die Fahrbahn ragen und dementsprechend nahe gerückt

werden können¹⁾, wird die Bettung seitlich durch die Wandbleche der Hauptträger abgeschlossen (Abb. 160).

Die Buckelplatten sind in diesem Falle an den Steg der Hauptträger zu befestigen. Der Anschluß nach Abb. 162 *a* mittels eines nach abwärts gekehrten Winkels ist nicht empfehlenswert, da die wagrechten Niete auf Abreißen beansprucht würden. Besser ist es einen nach oben gekehrten ungleichschenkligen Winkel zu verwenden, der einen zweireihigen Nietanschluß gestattet (Abb. 162 *b*),

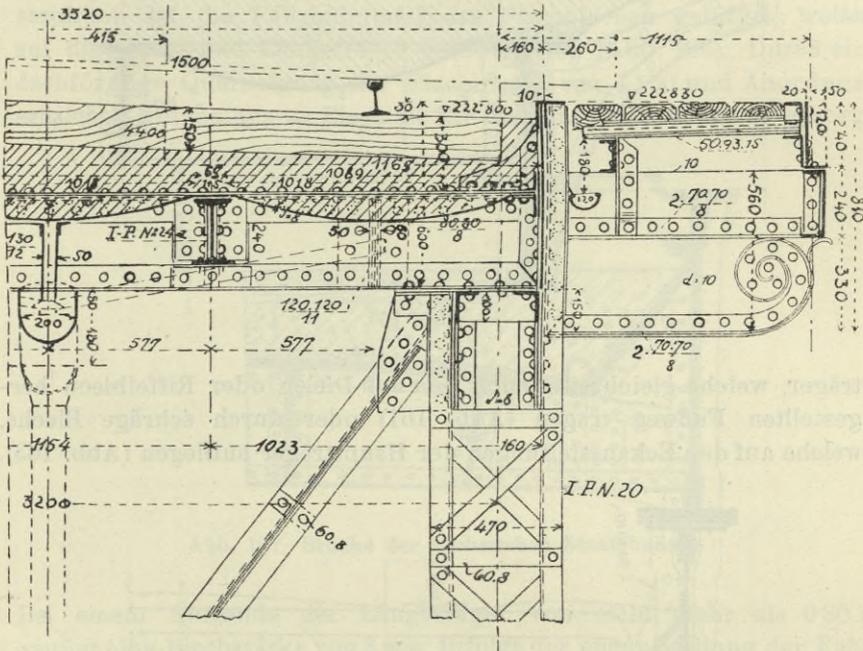


Abb. 164. Bogenbrücke der Wiener Stadtbahn über die Richthausenstraße.

oder Doppelwinkel nach Art der Abb. 162 *c* oder 162 *d*. Weniger zweckmäßig ist es, den Buckelplattenrand zwischen zwei Winkel einzuklemmen (Abb. 162 *e*), da in diesem Falle beide Winkel nicht gut schon in der Werkstätte angenietet werden können und daher mehr Nietarbeit an der Baustelle erforderlich wird.

Dem Anrosten der mit der Bettung in Berührung stehenden

¹⁾ Das Lichtraumprofil erfordert die Einhaltung folgender Maße: Wenn die Träger die Schienenoberkante nicht um mehr als 0,38 m, 0,76 m oder mehr überragen, so muß der Abstand der inneren Gurtränder von der Gleismitte mindestens 1,60 m, 1,90 m, 2,15 m betragen.

Trägerteile muß durch einen guten und öfters zu erneuernden Anstrich vorgebeugt werden.

Bei höheren und weiter abstehenden Trägern begrenzt man den Bettungskörper seitlich entweder durch senkrechte Abschluß-

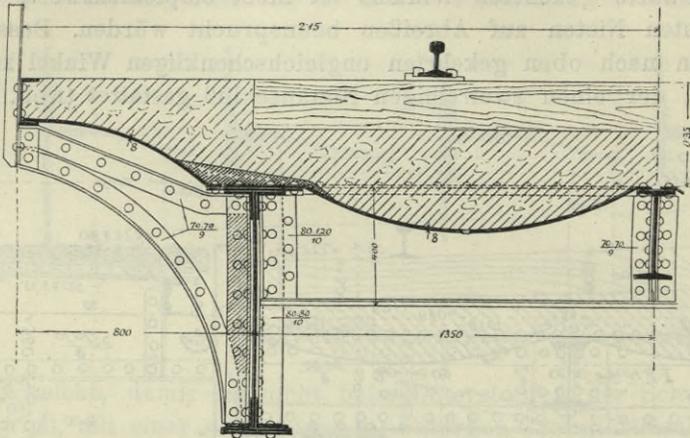


Abb. 165.

träger, welche gleichzeitig auch den aus Dielen oder Riffelblech hergestellten Fußweg tragen (Abb. 161) oder durch schräge Bleche, welche auf den Eckaussteifungen der Hauptträger aufliegen (Abb. 163).

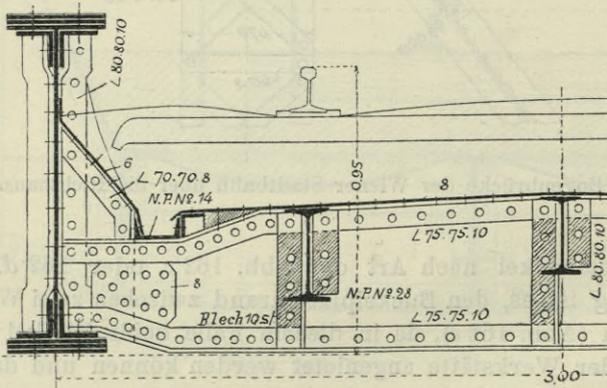


Abb. 166.

Liegt die Fahrbahn über den Hauptträgern, so erfolgt der seitliche Abschluß entweder durch senkrechte Bleche nach Abb. 164 oder (nach Abb. 165) durch nach oben gekrümmte Bleche und [-Eisen, die auf Konsolen aufliegen.

2. Belageisen. Diese liegen entweder der Länge nach auf entsprechend nahe angeordneten Querträgern oder quer auf sekundären Längsträgern. Bei den Brücken der schweizerischen Nordostbahn sind die Belageisen mit einer Betonschichte und darüber einer wasserdichten Abdeckung überdeckt. Abdachungen dieser Deckschichte leiten das Wasser zu den Entwässerungsstellen. Die Bauhöhe ist gegenüber Buckelplatten vergrößert.

3. Flachbleche. Nach der von Ingenieur Johann angegebenen, bei Brücken im Eisenbahndirektionsbezirk Altona angewandten Konstruktion ist die Fahrbahn tafel aus Flachblechen gebildet, welche auf die Quer- und Längsträger genietet sind (Abb. 166). Durch eine dachförmige Querneigung der Flachbleche von 1:30 und Anordnung seitlicher Rinnen aus \perp -Eisen ist für eine gute Entwässerung gesorgt.

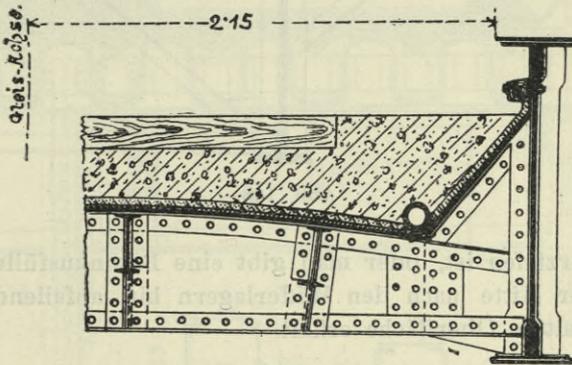


Abb. 167. Brücke der sächsischen Staatsbahnen.

Bei einem Abstände der Längsträger von nicht mehr als 0.80 m genügt eine Blechstärke von 8 mm. Infolge der engen Stellung der Fahrbahnträger erfordern aber die Flachblech-Fahrbahntafeln ein etwas größeres Eisengewicht als Buckelplatten. Flachbleche stehen auch bei den „Brücken mit Kieskasten“ der bayerischen Staatsbahnen in Anwendung. Abb. 167 zeigt die Anwendung gewölbter Flachbleche auf Brücken der sächsischen Staatsbahnen.

4. Hängebleche finden namentlich bei kleineren Brücken mit obenliegender Fahrbahn, bei welchen sie unmittelbar auf die Gurtungen der 1.8 bis 2.0 m weit abstehenden Hauptträger genietet werden können, mit Vorteil Anwendung. Die seitlichen Teile des Schotterbettes werden mittels eines auf Konsolen aufliegenden \perp -Eisens von halben Hängeblechen getragen (Abb. 168). Die in 2 bis 2.5 m Abstand angeordneten Querabsteifungen der Hauptträger korrespondieren mit dem außen befestigten Konsolen und bewirken auch eine

Aussteifung der Hängebleche. Die Entwässerung erfolgt am einfachsten gegen die Widerlager durch Anordnung eines Längsgefälles, das bei horizontaler Nivellette durch Vergrößerung der Pfeilhöhe der Hänge-

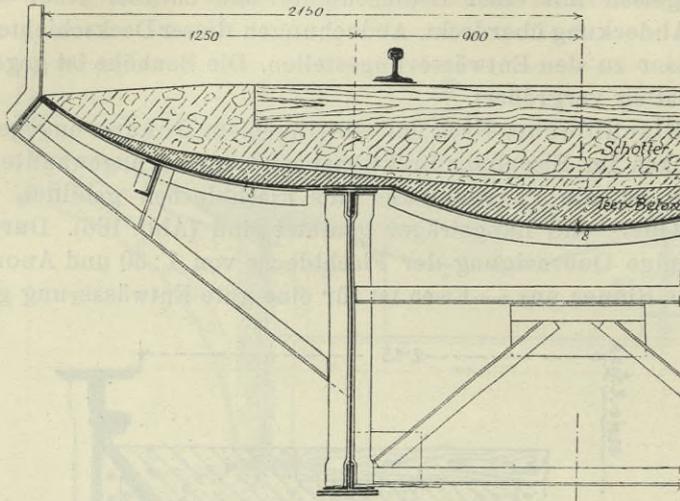


Abb. 168.

bleche zu erzielen ist, oder man gibt eine Betonausfüllung, welche eine von der Mitte nach den Widerlagern hin abfallende, muldenförmig gestaltete Oberfläche erhält.

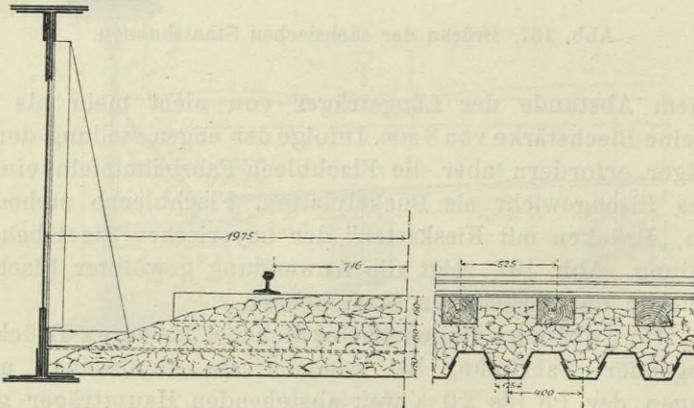


Abb. 169.

Für sehr beschränkte Bauhöhe wurde von Ingenieur Johann eine Fahrbahnkonstruktion vorgeschlagen, bei der unter Wegfall aller Quer- und Fahrbahnlängsträger die Hängebleche unmittelbar an die

Stege der Hauptträger, die dem Lichtraumprofil entsprechend weit abstehen, befestigt sind. Der von den Hängeblechen ausgeübte Horizontalzug wird von steifen Riegeln aufgenommen, welche die Hauptträger verbinden und zum Teil in der Schotterbettung liegen. Letzteres ist allerdings wegen des behinderten Unterstopfens der Schwellen und wegen des schwer zu verhütenden Anrostens der Riegel als ein Nachteil dieser Anordnung zu bezeichnen.

5. Trogbleche. Eine, besonders in Amerika für eingleisige Blechbrücken mit beschränkter Bauhöhe vielfach angewandte Fahr-

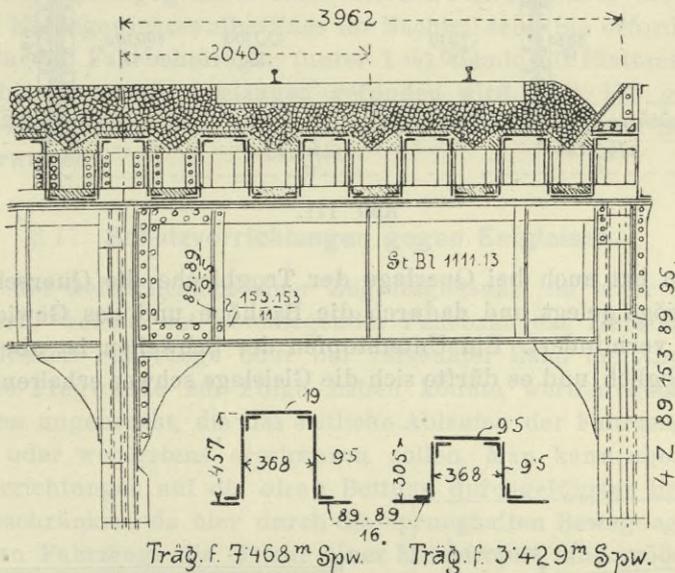


Abb. 170. Amerikanisches Hochbahnviadukt.

konstruktion besteht in einer durchgehenden, aus Blechen und Winkel-eisen oder auch Γ - oder \cup -Eisen trogförmig zusammengesetzten Tafel, die unter Vermeidung von Fahrbahnlängs- und Querträgern unmittelbar auf die Hauptträger gelagert ist (Abb. 169). Um die Schwellen unterstopfen zu können, muß über dem Trogbleche noch eine genügend hohe Bettung gegeben werden. Die Entwässerung macht einige Schwierigkeit; es muß dem Trogbleche ein Quergefälle gegeben und jeder Trog an der tiefsten Stelle mit Abflußlöchern versehen werden, wenn nicht eine Betonausfüllung mit wasserdichter Abdeckung vorgezogen wird. Abb. 170 zeigt die Anwendung der Trogblechfahr-bahn für einen amerikanischen Hochbahnviadukt. Die Trogbleche liegen hier der Länge nach auf den unmittelbar von den Stützen

getragenen, bis zu 7,5 m weit abstehenden Querträgern. Die Tröge haben eine Betonausfüllung, deren rinnenförmige Oberfläche das durch die Bettung eindringende Wasser zu den Abflußstellen leitet. Bei der Dimensionierung der Troglebleche muß mit einer weitgehenden Verteilung der Achsdrücke gerechnet werden; trotzdem erfordert diese Konstruktion ein ziemlich hohes Eisengewicht.

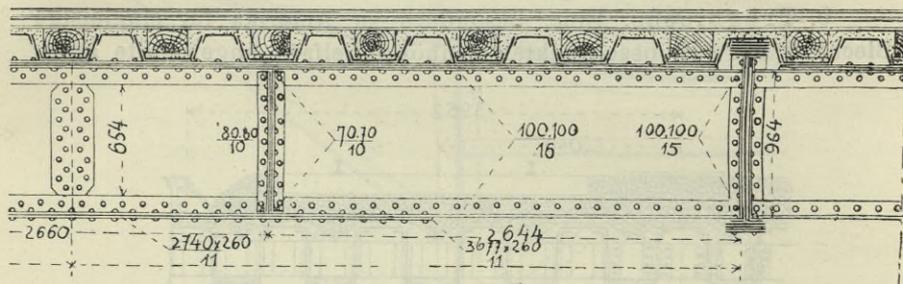


Abb. 171.

Man hat auch bei Querlage der Troglebleche die Querschwellen in die Tröge gelegt und dadurch die Bauhöhe und das Gewicht der Bettung vermindert. Ein Unterstopfen der Schwellen ist aber dann kaum möglich und es dürfte sich die Gleislage schwer erhalten lassen.

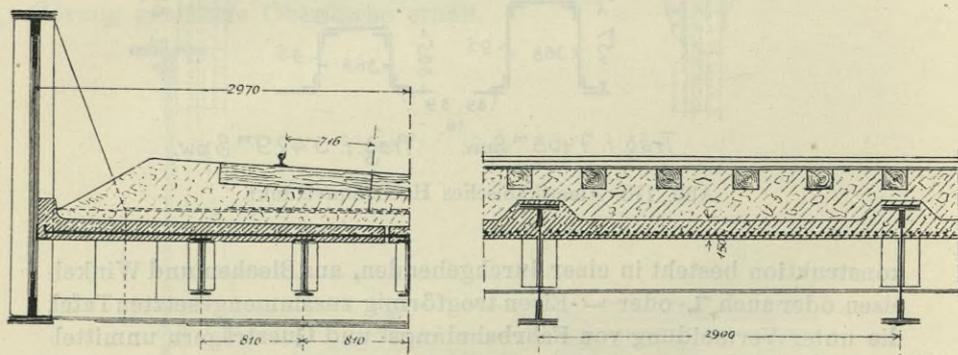


Abb. 172.

Abb. 171 gibt den Längsschnitt durch die Fahrbahn der Donaubrücke zu Cernawoda (Rumänien). Die Anordnung der Troglebleche verfolgt hier vornehmlich wohl nur den Zweck, das Durchbrechen entgleister Fahrzeuge mit Sicherheit zu verhüten.

6. Fahrbahntafeln aus Eisenbeton. Wenn von den Überbauten kleinerer Spannweiten aus nahe liegenden Walz- oder Blechträgern mit dazwischen gestampften Betonkappen, welche bereits in

Band II, Seite 123, Besprechung gefunden haben, abgesehen wird, so sind es besonders bewehrte Betonplatten, welche auf den Quer- oder Längsträgern der Fahrbahn aufliegend, an Stelle einer eisernen Fahrbahntafel treten und in neuerer Zeit auch bei Eisenbahnbrücken mit durchgeführter Schotterbettung Anwendung finden. Die Vorteile dieser von Rostschäden freien Fahrbahntafel wurden bereits oben bei den Straßenbrücken hervorgehoben und es ist nach den bisherigen Erfahrungen zu erwarten, daß sie sich auch bei dem stärkeren Verkehr auf den Eisenbahnbrücken gut bewähren wird. Wirtschaftlich kann diese Konstruktion gegenüber einer eisernen Fahrbahntafel infolge des größeren Eigengewichtes allerdings im Nachteil sein. Sie erfordert ein Nahelegen der Fahrbahnträger (unter 1 m), damit mit Plattenstärken von 15 bis 20 cm ein Auslangen gefunden wird. Abb. 172 gibt ein Beispiel. Hinsichtlich der Berechnung der Platten wird auf Band II, § 15, verwiesen.

§ 17. Schutzvorrichtungen gegen Entgleisen.

Um die Gefährlichkeit einer Zugsentgleisung auf einer Brücke zu mildern, welche bei obenliegender Fahrbahn das Herabstürzen der entgleisten Fahrzeuge oder bei versenkter Bahn ihr Anprallen gegen die Tragwände zur Folge haben könnte, werden Schutzvorrichtungen angebracht, die das seitliche Ablaufen der Fahrzeuge verhindern oder wenigstens erschweren sollen. Man kann aber diese Schutzvorrichtungen auf die ohne Bettung durchgeführten Brückengleise beschränken, da hier durch die sprunghaften Bewegungen der entgleisten Fahrzeuge die Gefahr einer Katastrophe eine größere ist, wogegen bei Durchführung der Bettung die Verhältnisse nicht ungünstiger liegen als auf hohen Dämmen, wo ja auch keine besonderen Sicherungen angebracht werden.

Als Schutzvorrichtungen dienen entweder Zwangsschienen oder Leitschienen, beziehungsweise Sicherheitsschwellen. Erstere liegen ganz nahe innerhalb der Fahrschienen (lichter Abstand der Köpfe 45 bis 70 mm), so daß sie durch Führung des Spurkranzes eine Entgleisung verhüten. Da aber in den engen Zwischenraum leicht Gegenstände gelangen und dann erst recht eine Entgleisung herbeiführen können, so sind Zwangsschienen nur dort ratsam, wo eine ständige und aufmerksame Bahnüberwachung stattfindet. Die Leitschienen (Abb. 173) oder hölzernen Sicherheitsschwellen (siehe Band I, Abb. 160) liegen in einem größeren Abstände (im Lichten 160 mm) innerhalb der Fahrschienen. Man hat die Leitschienen auch liegend, mit dem Fuße gegen die Fahrschiene gewendet und mit Holzunterlagen auf

den Querschwellen aufgeschraubt, angeordnet. Hölzerne Sicherheitsschwellen dürfen um höchstens 40 mm die Fahrchiene überragen;

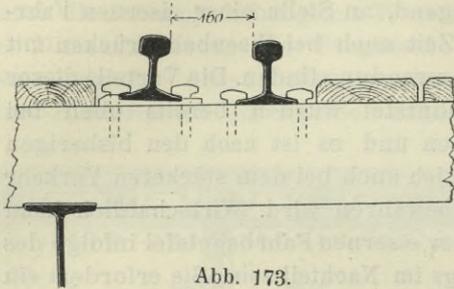


Abb. 173.

sie werden zuweilen auf der der Fahrchiene zugewendeten Seite mit Winkel- oder [-Eisen armiert. Abb. 174 zeigt die Anordnung, wie sie auf den preußischen Staatsbahnen für längere Brücken mit oben liegender Fahrbahn, sowie für solche in Krümmungen ($R < 500 m$) vorgeschrieben ist. Außerhalb des Gleises liegen hölzerne Sicherheitsschwellen, innerhalb breitfüßige L-Eisen.

Die Leitschienen sind über die Brückenenden hinaus (nach den

österreichischen Vorschriften 10 m weit) zu verlängern und in der Gleismitte in einer Spitze zusammenzuführen (Abb. 175). Außenliegende Leitschienen sind entsprechend nach außen abzubiegen.

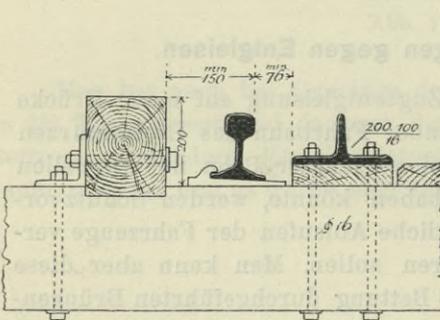


Abb. 174.

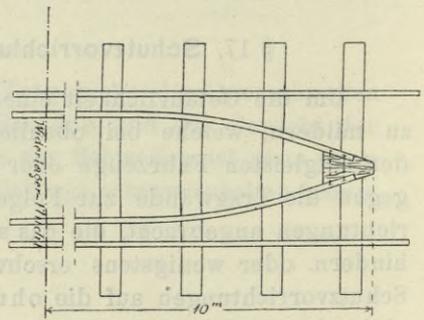


Abb. 175.

österreichischen Vorschriften 10 m weit) zu verlängern und in der Gleismitte in einer Spitze zusammenzuführen (Abb. 175). Außenliegende Leitschienen sind entsprechend nach außen abzubiegen.

§ 18. Endabschlüsse der Fahrbahn, Auszugsvorrichtungen.

Der Übergang der Fahrbahn von der Brücke auf die Widerlager oder Pfeiler ist derart einzurichten, daß ihre Kontinuität durch die Bewegungen und Wärmeausdehnungen des Überbaues nicht gestört wird. Bei Straßenbrücken mit Schotterdecke oder mit Steinpflaster auf Sandbettung kann die Brückendecke ohne Unterbrechung durchgehen, da sich unter ihr die Tragkonstruktion mit der Fahrbahntafel an den Dilatationsstellen verschieben kann. Der Spalt am Brückende zwischen Tragkonstruktion und Widerlager ist durch ein

Schleifblech zu überdecken, das mit möglichst kleiner freier Stützweite einerseits auf dem letzten Querträger oder auf daran befestigten Konsolen festgenietet ist, andererseits auf dem Kopf des Widerlagers aufliegt oder auch darüber hinwegreicht (Abb. 176). Man gibt dem Schleifblech behufs Entwässerung eine kleine Neigung nach dem Widerlager und verstärkt es am Rande durch Abbiegen oder durch einen angebeteten Winkel.

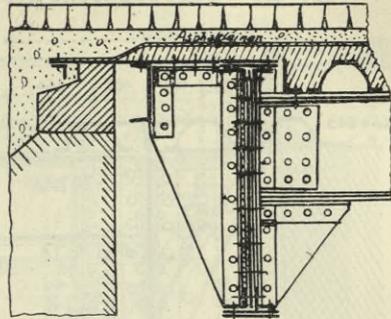


Abb. 176.

(Nach „Schaper, Eiserne Brücken“, S. 350.)

Derartige Schleifbleche finden auch bei Eisenbahnbrücken mit durchgeführtem Schotterbett Anwendung. Dabei ist der Schotterkasten seitlich durch senkrechte Bleche zu begrenzen (Abb. 177).

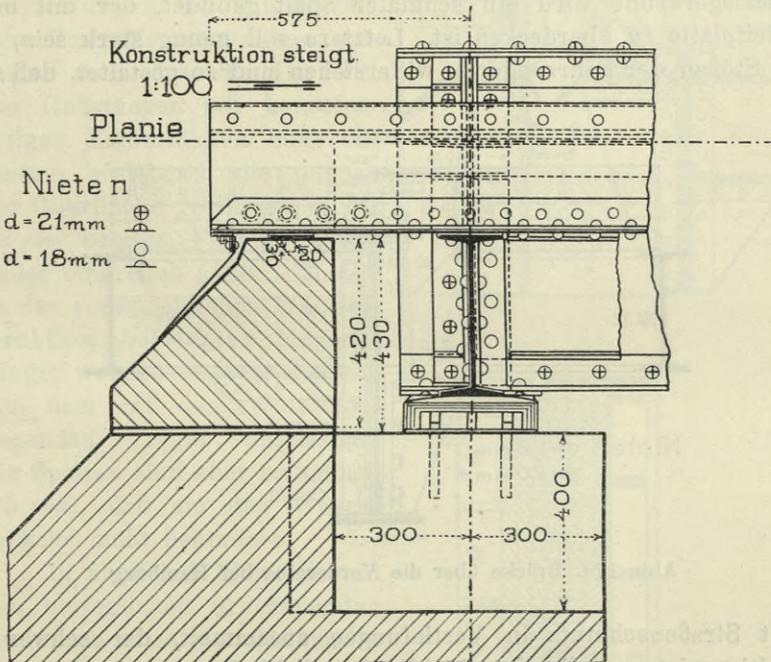


Abb. 177. Nach den Normalplänen der kgl. bayrischen Staatsbahnen.

Anstatt eines Schleifbleches kann zur Überdeckung des Spaltes auch ein Zorèseisen angeordnet werden, welches auf dem Trag-

werk festgenietet ist und auf einem auf der Mauerkrone liegenden Bleche schleift (Abb. 135b, 178).

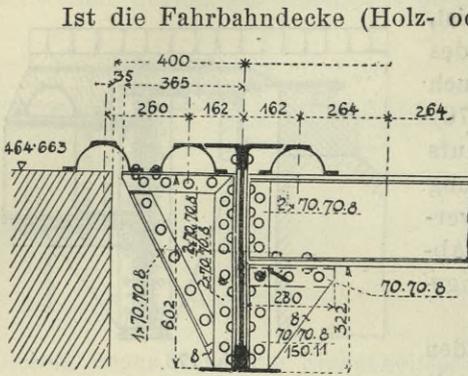


Abb. 178.

Unterlage gegen die Tragkonstruktion nicht leicht verschieblich oder treten überhaupt größere Bewegungen an den Dilatationsstellen des Überbaues auf, so muß auch die Fahrbahndecke daselbst unterbrochen werden. Durch Anordnung eines den Fahrbahnkörper der Brücke abschließenden Trägers, der auf Konsolen oder auf die, über

den letzten Querträger etwas hinaus verlängerten, Fahrbahnlängsträger gelagert ist und allenfalls eines ebensolchen Trägers auf der Widerlagerkrone wird ein schmaler Spalt gebildet, der mit einer Schleifplatte zu überdecken ist. Letztere soll genug stark sein, um den Stößen der Fahrzeuge zu widerstehen und so gestaltet, daß sich

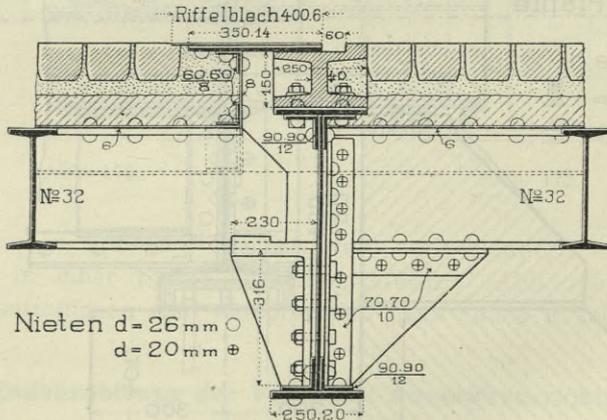


Abb. 179. Brücke über die Vorderelbe bei Hamburg.

nicht Straßenschmutz in Vertiefungen ansammelt, der schwer zu beseitigen ist und die Verschieblichkeit behindern würde. Das unter die Platte gelangende Wasser soll nicht längs des Widerlagers oder an der Tragkonstruktion ablaufen, sondern von einer Rinne aufgefangen werden.

Man findet (nach Abb. 179) Riffelblech oder gerippte Stahlguß-

platten von 14 bis 20 mm Stärke (Abb. 180) angewendet, die mit dem Fahrbahnabschlußträger vernietet und so breit sind, daß sie bei der größten Verkürzung des Tragwerkes noch auf dem festen Mauerträger aufliegen. Allerdings bildet sich dabei über letzterem eine vertiefte Rinne, die beim Darüberrollen der Räder zu Stößen Anlaß gibt und die auch den Straßenschmutz zurückhält. Für größere Verschiebungsmaße sind deshalb Auszugsvorrichtungen mit kammförmigem Eingriffe vorzuziehen, entweder nach Art der Abb. 181 aus Gußstücken mit konsolenartigen Kammzähnen oder aus Platten bestehend, die mit an der Oberfläche gerippten, 30 bis 35 mm breiten Fingern ineinander eingreifen (Abb. 182). Die an der verschieblichen Tragkonstruktion befestigten längeren Finger werden in jeder Stellung von dem auf dem Widerlager liegenden Träger unterstützt. Die Spalten sind aber so schmal (35 mm), daß sie den Wagenverkehr nicht behindern.

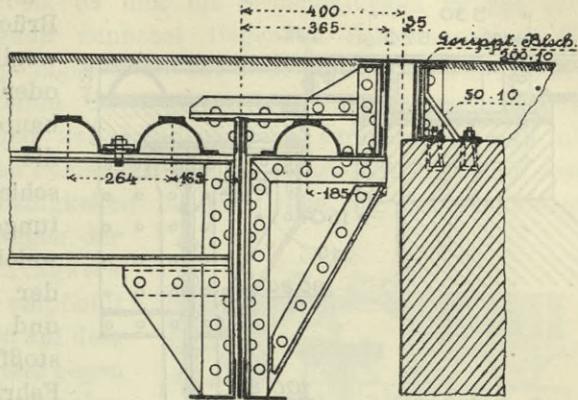


Abb. 180.

In ähnlicher Weise wie an den beweglichen Brückenenden sind auch an solchen Stellen des Tragwerkes, wo infolge von Gelenken (bei Gerberträgern, Bogenträgern etc.) stärkere Bewegungen eintreten, Fahrbahnunterbrechungen auszubilden (Abb. 179, 183).

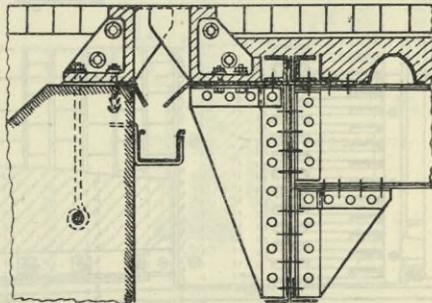
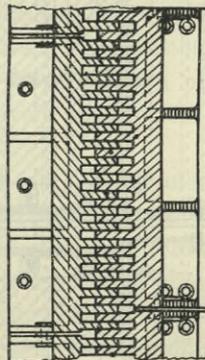


Abb. 181.

(Nach „Schaper, Eiserne Brücken“.)



Bei Eisenbahnbrücken nimmt das mit dem Tragwerk unver-

schieblich verbundene Gleise an dessen Längenänderungen teil und es müssen daher beim Übergange von der Brücke auf das Widerlager, und zwar an jenem Brückenende, wo die beweglichen Auflager sind oder auch dort, wo Überbauten aneinandergrenzen, die sich gegenseitig verschieben können, Vorrichtungen angebracht werden, welche eine Verschiebung der Schienen ermöglichen und dabei einen möglichst stoßfreien Übergang der Fahrzeuge bewirken. Bei einer Temperaturschwankung von 60° beträgt der

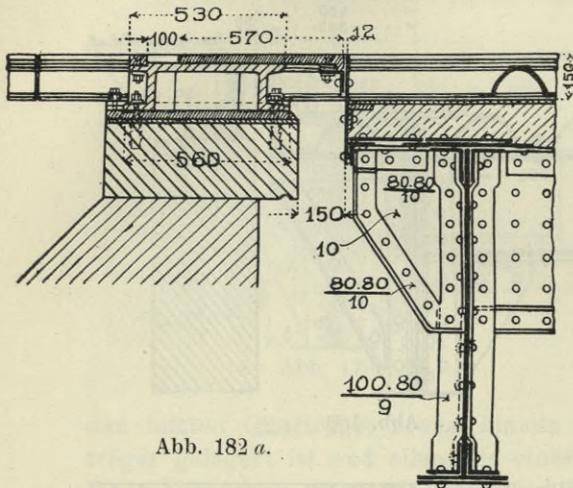


Abb. 182 a.

Bei einer Temperaturschwankung von 60° beträgt der

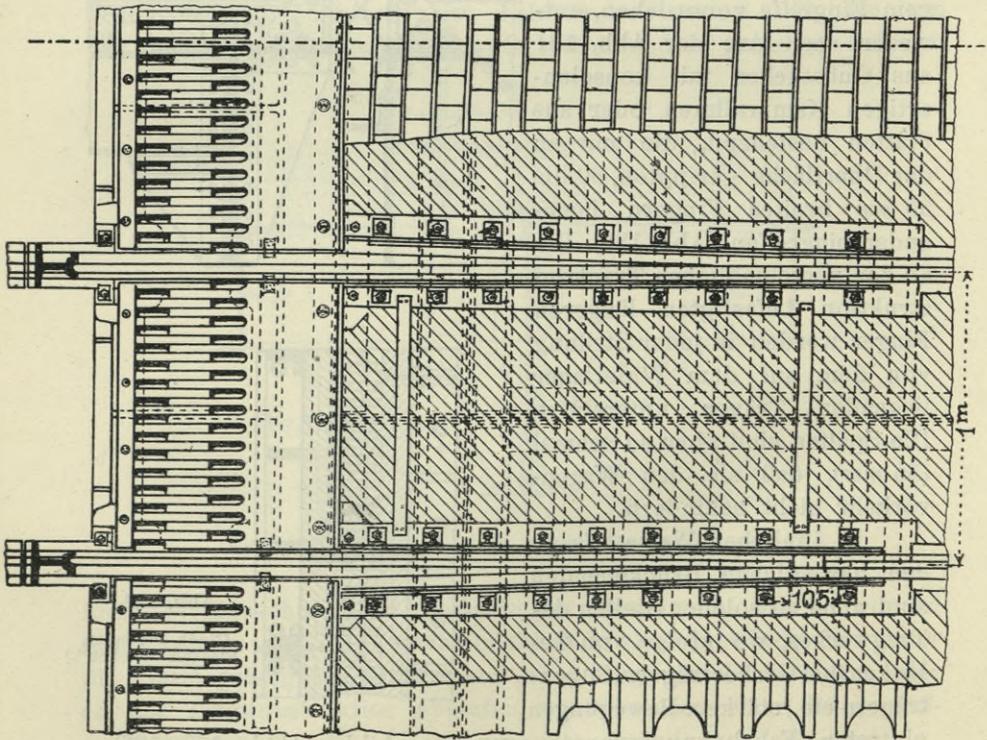


Abb. 182 b. Auszug der Homberg—Ruhrortler Rheinbrücke.

Auszug für je 10 m Brückenlänge rund 7,5 mm. Nur bei Brücken von kleiner Länge, etwa bis 30 m, können besondere Auszugsvorrichtungen wegleiben, da hier die Schienenlücken in den dem beweglichen Brückenende zunächst liegenden Schienenstößen für den Längenausgleich genügen. Man hat zwar in einigen Fällen auch bei größeren Spannweiten die Auszugsvorrichtungen weggelassen, indem man die Schienen auf dem Tragwerk verschieblich und mit Zwischenräumen an den Schienenstößen befestigte. Es entstehen aber dabei leicht Unregelmäßigkeiten in der Größe der Schienenlücken und diese sind auch wegen der Stoßwirkung auf das Tragwerk nicht von Vorteil. Es empfiehlt sich daher, die Schienen auf dem Tragwerk festzuhalten und gegen Wandern zu sichern, dafür aber den Längenausgleich am Brückenende durch eine Auszugsvorrichtung zu bewerkstelligen.

Nach einer älteren, heute aber nicht mehr angewandten Konstruktion wurden die beiden Schienen an der Auszugsstelle zur Hälfte überplattet, so daß die Radkränze an den Lücken eine halbe Kopffläche zur Unterstützung hatten. Die Verbindung der überplatteten Schienen erfolgte durch Schrauben in Langlöchern. Es waren hiezu aber Schienen von größerer Stegdicke (mindestens 18 mm) zu verwenden, oder man hat die Schienen nur soweit überplattet, daß die Stege aufeinanderlagen, in welchem Falle die Schienen etwas abzubiegen und im Kopf der inneren Schiene soweit abzuhobeln waren, daß die Fahrkante eine gerade Linie bildete.

Eine bessere Konstruktion und eine stoßfreie Überführung des Rades über die Schienenlücke erzielt man durch die Auszugsvorrichtungen mit Stützlasche, bei denen die Schienen durch eine mit ihnen an der Außenseite des Schienenkopfes überplattete Lasche derart verbunden sind, daß letztere das Rad beim Übergang über die Lücke unterstützt. Es ist zu diesem Behufe die Lauffläche der Lasche an der Schienenlücke entsprechend der Konizität des Radkranzes mit sanfter Ansteigung erhöht. Auf der Innenseite der Schienen liegt eine gewöhnliche Flachlasche. Zur Auflagerung der

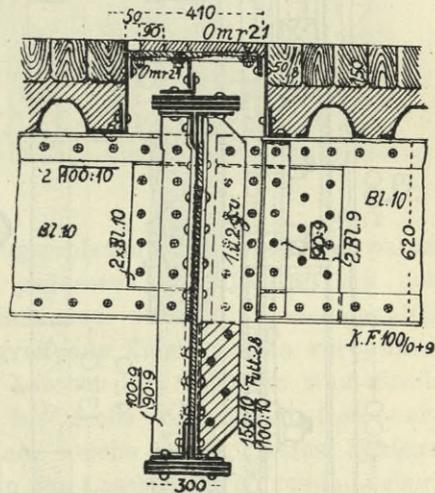
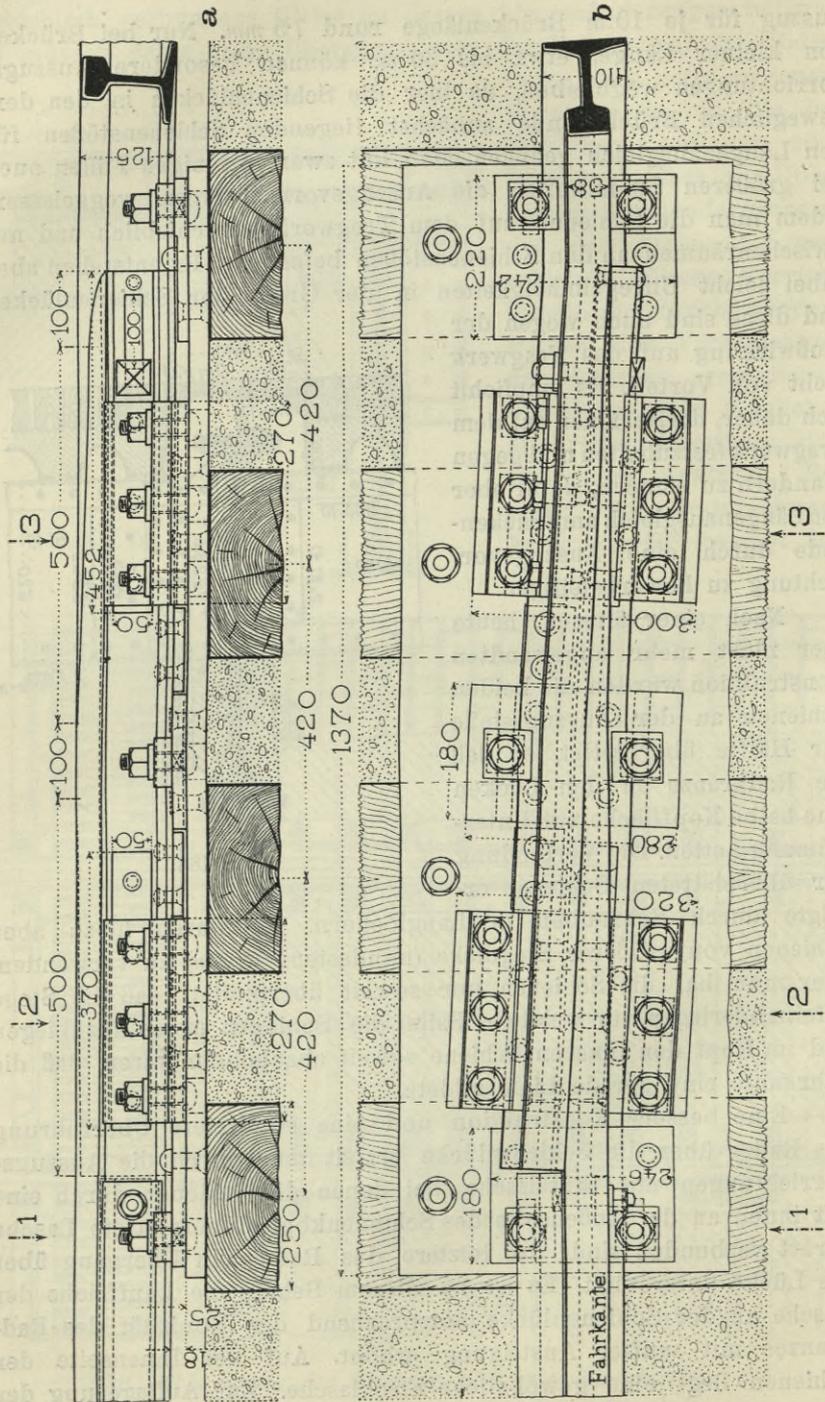


Abb. 183.



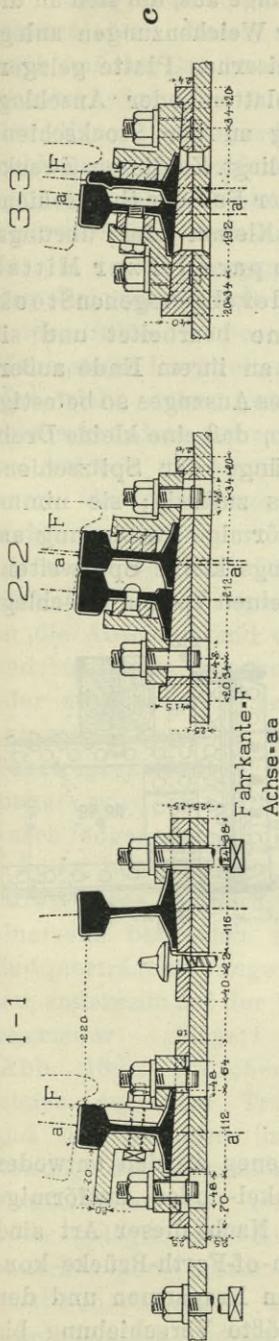


Abb. 184 a-d. Schienenauszug der k. k. österr. Staatsbahnen.

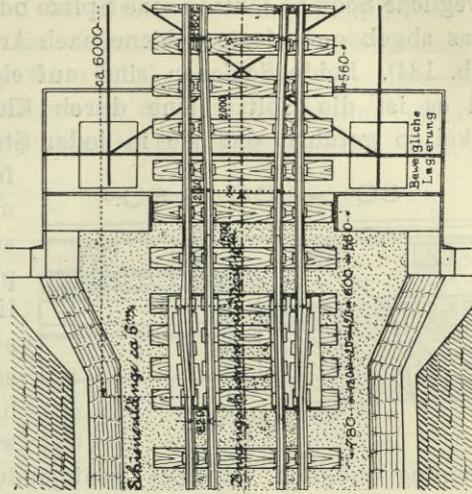


Abb. 184 d.

Auszugsschienen dient eine gewalzte oder gegossene Grundplatte, mit der die Schienen durch den Schienenfuß übergreifende Klemmplatten verbunden sind. Laschen und Schienen sind durch vier bis sechs Schraubenbolzen verbunden, welche in der festen Schiene und in den Laschen durch runde Löcher, in der Auszugsschiene durch Langlöcher hindurchgehen. Die Stützlasche kann überdies auf der Grundplatte mittels Schrauben oder Nieten befestigt werden. Zur Sicherung gegen Entgleisen sind auf der Innenseite des Gleises Zwangsschienen anzuordnen.

Jetzt beschränkt man die Anordnung solcher Auszugsvorrichtungen mit Stützlaschen nur mehr auf kleinere und mittlere Brückenlängen und verwendet für größere Dilatationslängen die Auszugsvorrichtungen mit Spitzschiene, die für den ruhigen und stoßfreien Übergang der Fahrzeuge entschieden am vorteilhaftesten sind, da bei ihnen die Fahrfläche keine Unterbrechung aufweist. Die

bewegliche Schiene läuft in eine Spitze oder Zunge aus, die sich an die etwas abgebogene feste Schiene nach Art der Weichenzungen anlegt (Abb. 184). Beide Schienen sind auf einer eisernen Platte gelagert und es ist die Spitzschiene durch Klemmplatten oder Anschlagwinkel so geführt, daß sie in jeder Stellung an der Stockschiene fest anliegt.

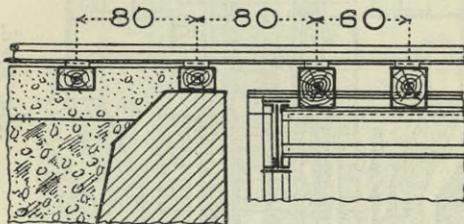


Abb. 185.

Zu diesem Zwecke muß der Fuß der Spitzschiene an den Klemm- oder Führungsplatten parallel zur Mittellinie der abgebogenen Stockschiene bearbeitet und sie selbst an ihrem Ende außerhalb des Auszuges so befestigt werden, daß eine kleine Dreh-

bewegung möglich ist. Bei genügender Länge der Spitzschiene ist auch eine feste Einspannung ihres Endes zulässig; sie nimmt dann bei der Verschiebung eine schwache S-förmige Ausbiegung an. Mit der Verschiebung der Zunge sind allerdings kleine Spurweitenänderungen verbunden, die man aber durch einen spitzen Anschlag-

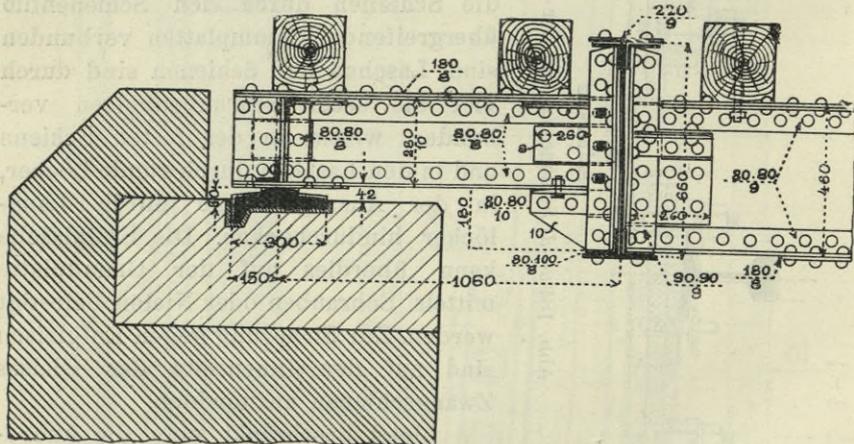


Abb. 186.

winkel gering halten kann. Für die Spitzschiene werden entweder gewöhnliche Schienen (Abb. 184) oder winkel- oder hutförmige Profile, wie bei Weichenzungen, verwendet. Nach dieser Art sind auch die Auszugsvorrichtungen an der Firth-of-Forth-Brücke konstruiert und ist daselbst bei den zwischen den Kragarmen und den Schwebeträgern liegenden Auszügen eine größte Verschiebung bis zu 610 mm vorgesehen.

Über den Widerlagern der Brücke ist das Schotterbett des Gleises, falls dieses nicht (in den besprochenen Ausnahmefällen) auch auf der Brücke durchgeführt wird, gegen die Tragkonstruktion abzuschließen. Die früher allgemein übliche Anordnung einer auf der Mauer aufliegenden Schotterabschlußschwelle, die auch die Schienen unterstützte

(Abb. 185), hat sich nicht als zweckmäßig erwiesen, da die beim Übergang der Fahrzeuge auftretenden Stöße die oberen Mauersteine losrüttelten. Man zieht daher jetzt solche Anordnungen vor, bei welchen die Mauerkrone des Widerlagers nicht unmittelbar vom Gleise belastet wird. Die

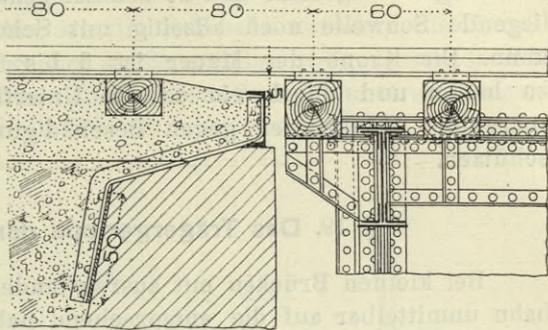


Abb. 187.

letzte, auf dem Tragwerk liegende Querschwelle ist möglichst nahe an die Abschlußwand des Widerlagers (Schildmauer) heranzurücken und zu diesem Zwecke entweder auf die entsprechend verlängerten oder ausgekragten Längsträger oder auf, an den letzten Querträger angesetzte Konsolen zu lagern. Bei größerem Abstand des letzten

Querträgers von der Schildmauer wird der Übergang durch sogenannte Schleppträger bewerkstelligt, d. i. durch kurze Längsträger, die einerseits beweglich an den Endquerträgern angeschlossen, andererseits auf der Widerlagsmauer gelagert sind (Abb. 186). Zwischen der letzten auf dem Tragwerk

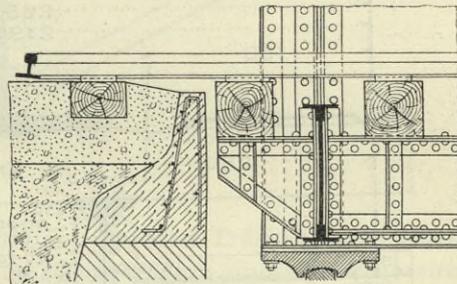


Abb. 188.

und der nächsten im Schotter gelagerten Schwelle, deren Entfernung den normalen Schwellenabstand (Maximum 90 cm) nicht überschreiten darf, ist der Schotterabschluß entweder durch eine tiefer gelegte, den Schienenfuß nicht stützenden Holzschwelle zu bewirken oder besser nach den Ausführungen auf den Preußischen Staatsbahnen durch ein 26 bis 30 cm hohes [-Eisen (Abb. 187), welches durch drei bis vier angenietete und entsprechend abgebogene Winkeleisen auf der Widerlagsmauer festgehalten wird. Die Winkel-

eisen reichen ein Stück über die Rückenfläche des Widerlagers und liegen daselbst mit Blechplatten von etwa 50 cm Seitenlänge an. Der Druck des Erdreiches gegen diese Platten genügt zur Festhaltung.

Eine andere Art des Abschlusses besteht nach Abb. 188 in der Ausführung einer schwachen Eisenbetonmauer, die auf das Widerlager aufgesetzt und so schmal gehalten ist, daß die daneben liegende Schwelle noch allseitig mit Schotter unterstopft werden kann. Die Krone der Mauer ist 5 bis 8 cm unter der Schiene zu halten und durch ein an die Unterfläche der Schiene angeschraubtes Winkeleisen gegen Beschädigung beim Unterstopfen zu schützen.

§ 19. Das Trägergerippe der Fahrbahn.

Bei kleinen Brücken mit ausreichender Bauhöhe wird die Fahrbahn unmittelbar auf die entsprechend nahe liegenden Hauptträger gelagert, so daß hier besondere Fahrbahnträger entfallen. Beispiele

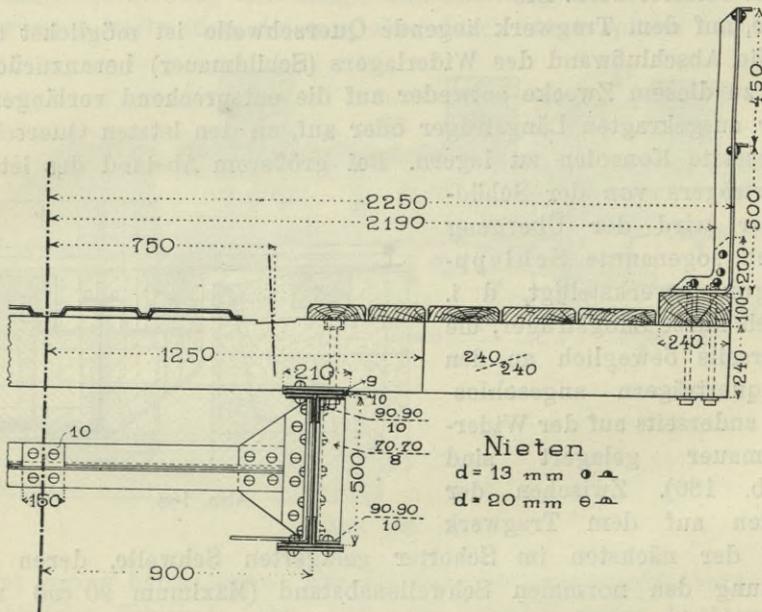


Abb. 189.

für Straßenbrücken geben die Abb. 136, 137; den Querschnitt einer Eisenbahnbrücke mit direkter Schwellenauflagerung auf den Hauptträgern zeigt Abb. 189. Von den Schwellen reicht entweder nur jede zweite über die ganze Brückenbreite oder sie erhalten gleiche Länge,

so daß sie abwechselnd auf der einen und anderen Seite unter den Fußweg reichen und auch das Geländer tragen. Da aber hier ein Auswechseln von Schwellen erschwert ist, so zieht man es auch vor, durchwegs kurze Schwellen zu verwenden und die Fußwegbohlen auf besondere Querhölzer zu legen, die von kleinen, durch Konsolen unterstützten Längsträgern getragen werden (Abb. 190).

In allen anderen Fällen, wo die Fahrbahn zwischen die Hauptträger versenkt ist, oder wo bei größerem Hauptträgerabstande mit oben liegender Fahrbahn diese noch weitere Zwischenunterstützungen

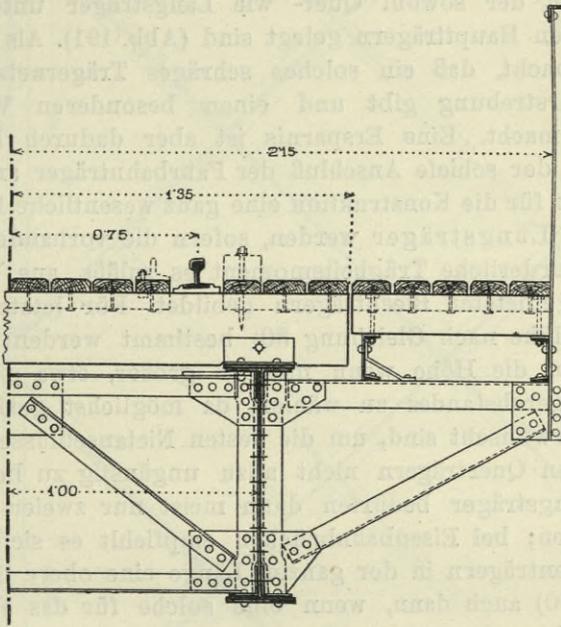


Abb. 190.

erfordert, ist ein auf die Hauptträger gelagertes Trägergerippe anzuordnen, welches im allgemeinen aus Querträgern und auf diese sich stützenden Längsträgern (Fahrbahnlängsträger, Nebelängsträger, bei Eisenbahnbrücken ohne Schotterbett auch Schwellenträger genannt) besteht.

Liegen bei Straßenbrücken oder bei Eisenbahnbrücken mit durchgeführtem Schotterbett die Querträger so nahe, daß die aus längs liegenden Zorèseisen (Abb. 106), Hängeblechen, Gewölben (Abb. 138, 139) oder Eisenbetonplatten bestehende Fahrbahn tafel unmittelbar auf sie gelagert werden kann, so entfallen die Längsträger unter der Fahrbahn, doch ist diese Anordnung nicht häufig. Sie gibt nämlich nur dann eine Ersparnis, wenn die naheliegenden

Querträger bei geringem Abstand der Hauptträger leicht werden oder wenn eine Fahrbahntafel (Eisenbetongewölbe) gewählt wird, welche größere Querträgerabstände zuläßt.

In der Regel sind Quer- und Längsträger vorhanden. Erstere werden normal zu den Hauptträgern, letztere dazu parallel angeordnet, so daß ein Gerippe mit rechtwinkligen Feldern entsteht. Nur bei schiefen Brücken kommen auch schiefe Endquerträger zur Anwendung. Abweichend hievon ist die von Köpcke vorgeschlagene und von ihm bei einigen sächsischen Brücken durchgeführte Anordnung, bei der sowohl Quer- wie Längsträger unter etwa 45° schräg zu den Hauptträgern gelegt sind (Abb. 191). Als Vorteil wird geltend gemacht, daß ein solches schräges Trägernetz eine gute Horizontalverstrebung gibt und einen besonderen Windverband überflüssig macht. Eine Ersparnis ist aber dadurch kaum zu erreichen und der schiefe Anschluß der Fahrbahnträger an die Hauptträger bildet für die Konstruktion eine ganz wesentliche Erschwernis.

A. Die Längsträger werden, sofern die vorhandene Bauhöhe und das erforderliche Trägheitsmoment es zuläßt, aus Walzträgern, sonst aus genieteten Blechträgern gebildet. Für letztere kann die günstigste Höhe nach Gleichung 30) bestimmt werden; doch wird man gut tun, die Höhe wenn möglich größer, etwa mit $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ des Querträgerabstandes zu wählen, da möglichst geringe Durchbiegungen erwünscht sind, um die festen Nietanschlüsse der Längsträger an den Querträgern nicht allzu ungünstig zu beanspruchen. So hohe Längsträger bedürfen dann meist nur zweier Winkeleisen als Gurtungen; bei Eisenbahnbrücken empfiehlt es sich aber doch, den Schwellenträgern in der ganzen Länge eine obere Gurtplatte zu geben (S. 160) auch dann, wenn eine solche für das Widerstandsmoment nicht erforderlich wäre. Es ist dies sowohl für die Auflagerung der Schwellen wie auch wegen Erhöhung der seitlichen Steifigkeit des Druckgurtes von Vorteil. Ein symmetrischer Trägerquerschnitt ist nicht unbedingt erforderlich, der Untergurt kann ohne Gurtplatte bleiben. Will man sparsam konstruieren und den Obergurt nicht schwächer beanspruchen als den Untergurt, so wende man in dem durch die Gurtplatte verstärkten Obergurt etwas schwächere Winkel.

Die Schwellenträger einer Eisenbahnbrücke erhalten einen Abstand, der etwas größer als die Spurweite des Gleises angenommen wird, für Normalspur gewöhnlich 1·8 m. Ein Näherrücken der Schwellenträger, bis auf Spurweite, ermöglicht zwar eine Verminderung der Schwellenstärke, hat aber ein größeres Moment in den Querträgern zur Folge und ist auch wegen des Zusammentreffens

der Schwellen- und Schienenbefestigung ungünstig. Für die Konstruktion als Blechträger gilt das in § 11 Gesagte. Schwellenträger sollen ein mindestens 9 mm starkes Stehblech und bei mehr als 50 cm Höhe lotrechte Winkelsteifen in etwa 1 m Abstand erhalten. Der

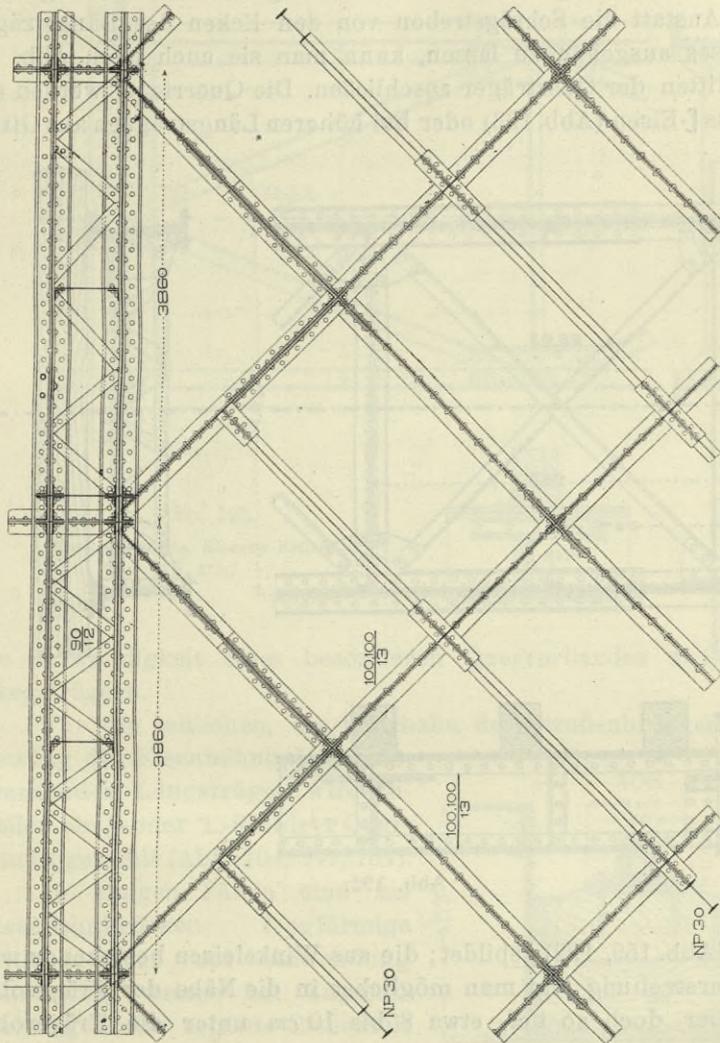


Abb. 191. Fahrbahnträger der Elbebrücke bei Loschwitz, Grundriß.

Druckgurt ist gegen seitliches Ausknicken zu sichern und es ist zu diesem Zwecke bei Stützweiten über 2,5 bis 3 m zwischen den Schwellenträgern ein wagrechter Verband anzuordnen, der auch dazu bestimmt ist, die Seitenstöße der Lokomotiven und den Winddruck auf die Fahrzeuge aufzunehmen, da sich sonst eine zu un-

günstige wagrechte Beanspruchung der Träger durch diese Kräfte ergeben würde¹⁾. Bei Stützweiten der Längsträger bis zu 5 m genügt es, diesen Verband nach Abb. 192 aus einem Querriegel und zwei Diagonalstreben zu bilden. Bei größerem Querträgerabstande als 5 m wären zwei Querriegel mit dazwischen liegender Ausfachung anzuordnen. Anstatt die Schrägstreben von den Ecken des Längsträgeranschlusses ausgehen zu lassen, kann man sie auch nach Abb. 193 an die Mitten der Querträger anschließen. Die Querriegel werden entweder aus [-Eisen (Abb. 193) oder bei höheren Längsträgern aus Gitter-

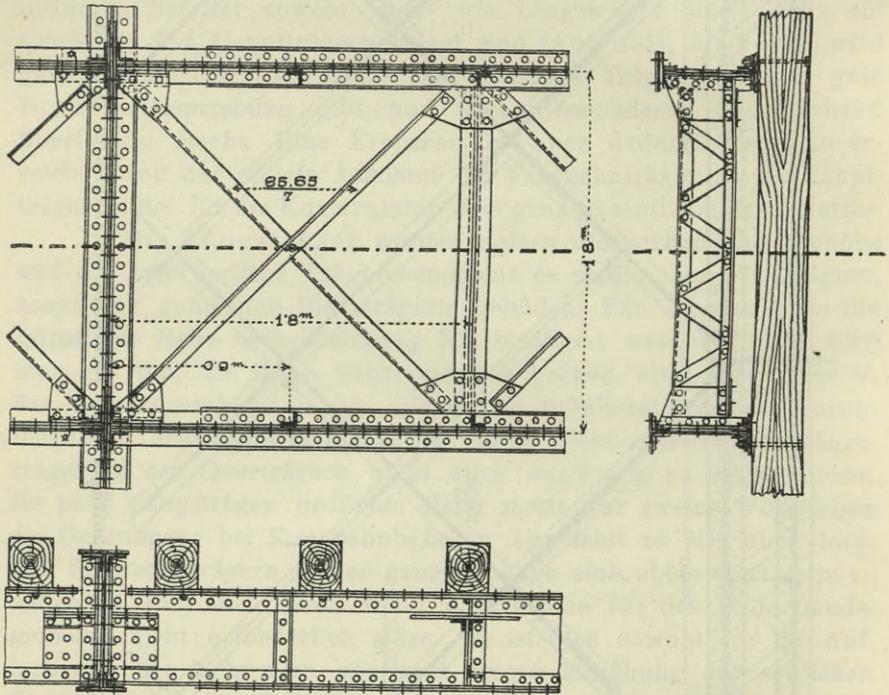


Abb. 192.

rahmen (Abb. 159, 192) gebildet; die aus Winkeleisen bestehende wagrechte Verstrebung legt man möglichst in die Nähe der Trägerobergurte, aber doch so tief, etwa 8 bis 10 cm unter die Trägerober-

¹⁾ Führt man den Seitendruck einer Lokomotivachse mit 1 t und den Winddruck mit 540 kg pro Meter ein, nimmt man ferner das wagrechte Widerstandsmoment eines Schwellenträgers mit etwa 125 cm³ an, so berechnet sich die bei fehlendem Querverbände in den Schwellenträgern durch die horizontale Ausbiegung hervorgerufene Spannung bei 2.5 Stützweite mit 380 kg/cm², bei 4 m Stützweite aber schon mit 950 kg/cm².

kante, daß sie unter den Schwellen frei liegt und für den Anstrich zugänglich ist. Bei den Längsträgern der Straßenbrücken oder der Eisenbahnbrücken mit durchgeführtem Schotterbett übernimmt die Fahrbahntafel die aussteifende Wirkung und es entfällt in der Regel

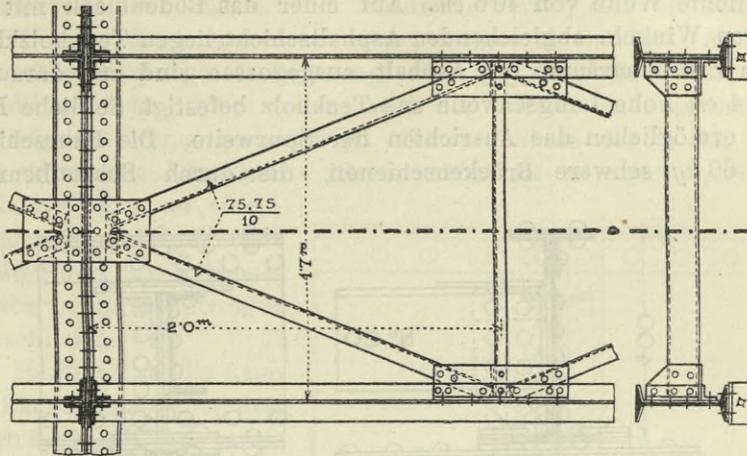
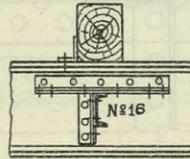


Abb. 193.

(Nach „Schaper, Eiserne Brücken“,
S. 277.)



die Notwendigkeit eines besonderen Querverbandes zwischen den Längsträgern.

Für die seitlichen, die Fahrbahn der Straßenbrücken oder die Bettung der Eisenbahnbrücken begrenzenden Längsträger wird zuweilen ein [- oder L-förmiger Querschnitt gewählt (Abb. 104, 141, 161).

In einigen Fällen sind bei Eisenbahnbrücken trogförmige Schienenträger zur Anwendung gekommen, welche bei Zugsentgleisungen eine erhöhte Sicherheit gegen ein Ablaufen der Fahrzeuge bieten sollen. Die Fahrschiene ruht auf einer hölzernen Langschwelle, welche von der Bodenplatte des L-förmigen Troges getragen wird. Die trogförmigen Längsträger liegen über den Querträgern und sind auf diesen gelagert. Die Firth-of-Forth-

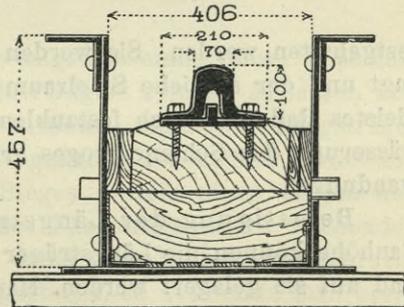


Abb. 194.

Brücke, bei deren großer Länge eine mögliche Sicherung gegen Entgleisungsgefahren geboten schien, hat eine derartige Fahrbahnkonstruktion erhalten. Die trogförmigen Längsträger (Abb. 194) haben bei rund 4 m Querträgerabstand eine Höhe von 45·7 cm und eine lichte Weite von 40·6 cm. Auf einer das Bodenblech mit den inneren Winkeln abgleichenden Asphaltschicht liegen Teakholzklötze, deren Zwischenräume mit Asphalt ausgegossen sind und darauf ist die 14 cm hohe Langschwelle aus Teakholz befestigt. Seitliche Holzkeile ermöglichen das Ausrichten der Spurweite. Die Fahrschienen sind 60 kg schwere Brückenschienen, die durch Schraubennägel

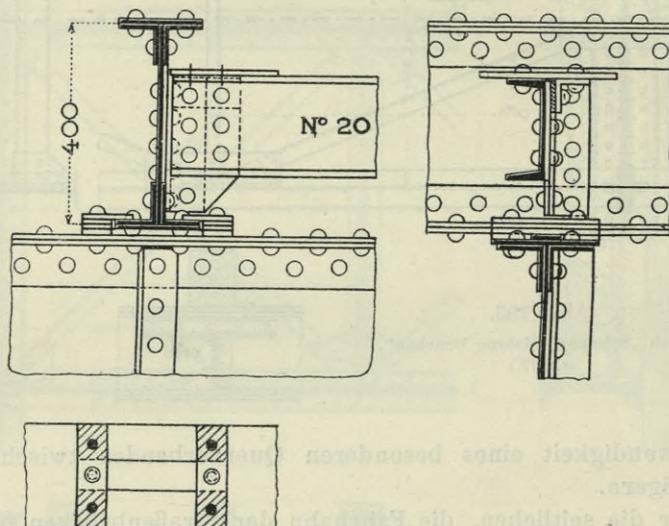


Abb. 195.

festgehalten werden. Sie werden von den Trägern um 45 mm überragt und der seitliche Spielraum ist genügend groß, daß ein entgleistes Rad ohne sich festzuklemmen darin laufen kann. Die Entwässerung des Schienentroges erfolgt durch Löcher in den Seitenwandungen.

Befestigung der Längsträger. Bei ausreichend vorhandener Bauhöhe können die Längsträger über die Querträger hinweggeführt und auf sie gelagert werden. Man sichert sie dann gegen Umkippen an der Auflagerstelle entweder durch abgebogene Winkel- oder Flacheisenstützen (Abb. 130, 145) oder durch angenietete Blechdreiecke (Abb. 134), bei Schwellenträgern von Eisenbahnbrücken auch durch einen steifen Querriegel über dem Querträger (Abb. 159), an den der oberwähnte wagrechte Verband anschließt. Gewöhnlich werden die

Längsträger mit den Obergurten der Querträger fest vernietet, wodurch allerdings gewisse, mit dem festen Anschlusse verbundene Zwangspannungen auftreten, die später noch näher besprochen werden sollen. Will man sie vermeiden, so sind die Träger längsverschieblich aufzulagern, aber natürlich derart, daß ein seitliches Kippen oder eine Querverschiebung ausgeschlossen ist. Abb. 195 zeigt eine derartige Auflagerung für die Schwellenträger einer Eisenbahnbrücke, durch welche auch der Vorteil einer zentrischen Querträgerbelastung erzielt wird. Zur Aufnahme der in der Fahrbahn wirkenden Längskräfte (Bremskräfte) ist es aber notwendig, die Längsträger an einem mittleren Querträger festzuhalten und durch Bremsstreben an die Hauptträger anzuschließen.

Häufiger als die Lage der Längsträger über den Querträgern ist jene zwischen ihnen. Sie wird bei beschränkter Bauhöhe angewendet oder wo es die Konstruktion der Fahrbahnplatte (Buckelplatten) erfordert. Die Regel bildet hier ein fester Nietanschluß, wobei die Längsträger stumpf gegen den Querträger stoßen und am Steg mittels Winkeleisen befestigt werden. Es empfiehlt sich, wenigstens einen dieser Anschlußwinkel über die ganze Höhe des Querträgers reichen zu lassen und auch mit dessen Gurtwinkeln zu vernieten. Sind die Längsträger Walzträger, so erfordert dies die Wegnahme der halben Flanschen und es erfolgt der Anschluß des Steges mittels eines langen und eines kurzen, nur über die Höhe des Längsträgersteges reichenden Winkels (Abb. 103, 107, 166). Sollen dabei mehr Nietungen untergebracht werden, als die einreihige Nietung gestattet, so verwende man breitschenklige Winkel mit versetzten Nietungen (Abb. 196).

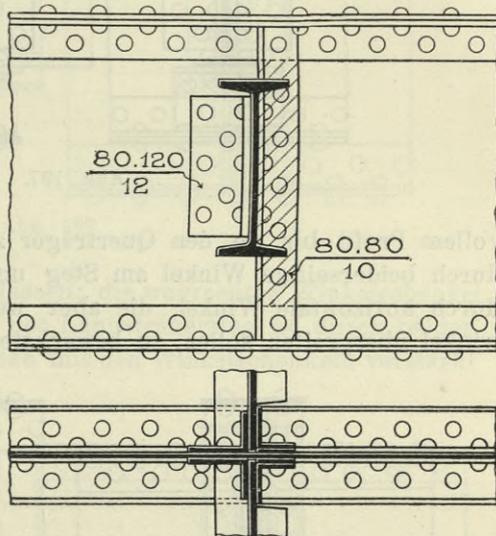


Abb. 196.

Bei höheren Querträgern hat man auch zur besseren Aussteifung des Querträgerstehbleches unterhalb des Längsträgers einen zweiten Winkel angenietet (Abb. 135 a) oder den Längsträger durch kleine Blechkonsolen gestützt (Abb. 107 b). Die Wegnahme

beider Flanschen des Walzträgers zu dem Zwecke, um beide Anschlußwinkel in der ganzen Höhe durchzuführen, ist nicht empfehlenswert, da der Längsträger dadurch zu sehr geschwächt wird, namentlich im Hinblick auf seine Beanspruchung durch wagrechte Seitenkräfte. Man hat es daher wohl auch vorgezogen, die Walzträger mit

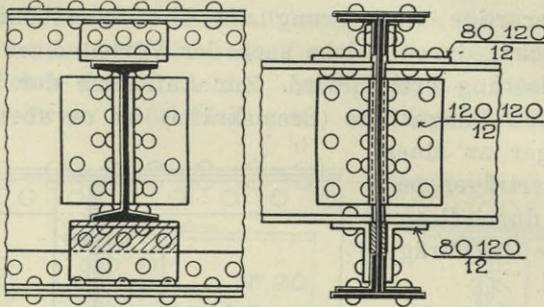


Abb. 197.

vollem Profil bis an den Querträger zu führen und den Anschluß durch beiderseitige Winkel am Steg und ferner an den Flanschen durch horizontale Winkel, die aber womöglich die Querträgergurtwinkel übergreifen sollen, zu bewerkstelligen (Abb. 164, 197).

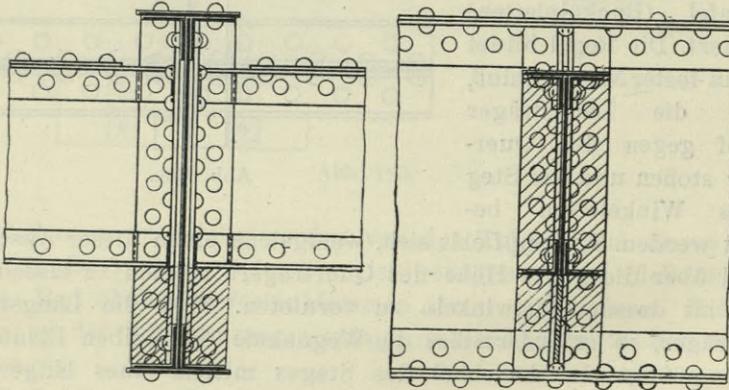


Abb. 198.

Ist der Längsträger ein Blechträger, so führt man die beiden Anschlußwinkel, welche das Stehblech des Längsträgers fassen, über die ganze Höhe des Querträgers. Die Gurtwinkel des Längsträgers werden entweder über die abstehenden Schenkel der Anschlußwinkel gekröpft (was wohl für die Ausführung eine Erschwernis bildet, aber bei den Schwellenträgern der Eisenbahnbrücken wegen besserer

Aufnahme der Seitenstöße vorzuziehen ist) (Abb. 198), oder vor ihnen abgeschnitten. Empfehlenswert ist zur Vermeidung von Verkröpfungen der Anschluß nach Abb. 199, wonach die Anschlußwinkel soweit auseinandergerückt sind, daß sie auch die Schenkel

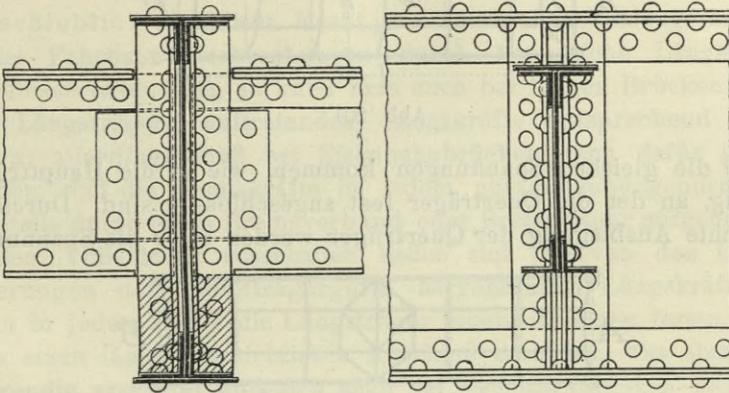


Abb. 199.

der Gurtwinkel zwischen sich fassen; die wagrechten Winkelschenkel sind davor abgeschnitten und der Längsträgersteg ist durch beiderseitige Bleche von gleicher Dicke mit den Winkelschenkeln verstärkt. Schließen die Längsträger am Querträgerstehblech hoch an, so hat man wohl auch zu dessen Absteifung unterhalb liegende kleine Blechkonsolen gegeben (Abb. 200), überträgt aber dadurch ein starkes Verdrehungsmoment auf die Querträger.

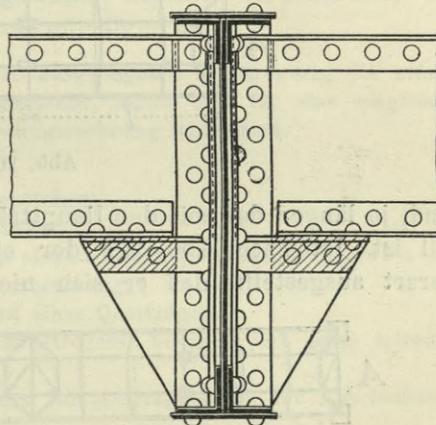


Abb. 200.

Der feste Längsträgeranschluß hat in dem Trägergerippe der Fahrbahn mehrfache unerwünschte Nebenspannungen zur Folge.

Zunächst ist zu beachten, daß die Fahrbahn bei fester Verbindung mit den Hauptträgern an deren Formänderung teilnehmen muß. Liegt sie daher nicht gerade in der neutralen Achse dieser Träger, sondern wie gewöhnlich an einer Gurtung, so suchen die Fahrbahnträger den unter einer Belastung entstehenden Längen-

änderungen der Hauptträgergurtung zu folgen. Wären die Querträger in wagrechter Richtung so steif, daß sie sich nicht ausbiegen, so müßten in die Fahrbahnlängsträger die gleichen Längenänderungen,

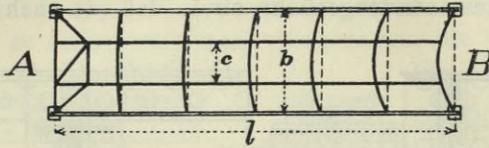


Abb. 201.

sonach die gleichen Spannungen kommen, wie in die Hauptträgergurtung, an der die Querträger fest angeschlossen sind. Durch die wagrechte Ausbiegung der Querträger werden zwar die Spannungen

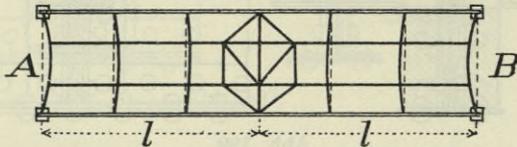


Abb. 202.

in den Längsträgern beträchtlich verringert, dafür aber ungünstige Beanspruchungen der Querträger hervorgerufen, die um so größer

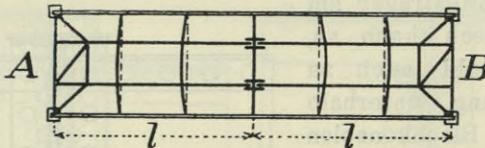


Abb. 203.

sind, je länger der mit den Hauptträgern fest verbundene Fahrbahnteil ist. Ist nach Abb. 201 der eine Endquerträger A wagrecht derart ausgesteift, daß er sich nicht ausbiegen kann — was bei

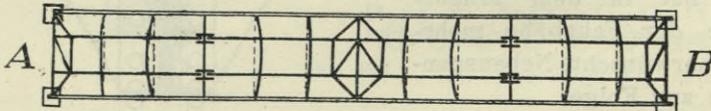


Abb. 204.

Eisenbahnbrücken der Anordnung eines Bremsträgers zur Aufnahme der Bremskräfte und Anfahrwiderstände entspricht — so erfahren die Querträger eine gegen das Trägerende hin wachsende Ausbiegung, der Endquerträger B wird am stärksten ausgebogen. Die Ausbiegung

ist halb so groß, wenn man den Bremsträger in die Mitte der Spannweite legt, Abb. 202, oder wenn man nach Abb. 203 beide Endquerträger aussteift, beziehungsweise als Bremsträger ausbildet, dafür aber die Fahrbahn in der Mitte unterbricht, indem man die Längsträger an den mittleren Querträger nicht fest, sondern längsverschieblich anschließt. Macht man in der Brückenlänge mehrere solche Fahrbahnunterbrechungen durch bewegliche Längsträgeranschlüsse (Abb. 204), so kann man auch bei langen Brücken die in den Längsträgern auftretenden Längskräfte entsprechend herabsetzen; allerdings muß bei Eisenbahnbrücken dann dafür gesorgt werden, daß die Bremskräfte in jedem zusammenhängenden Fahrbahnteile durch einen Bremsverband oder Bremsträger aufgenommen werden. Vollständig ausschalten ließen sich die von den Längenänderungen der Hauptträgergurte herrührenden Längskräfte nur, wenn in jedem Fache die Längsträger einerseits einen festen, andererseits einen längsverschieblichen Anschluß erhielten, was aber kaum notwendig erscheint und sich auch bei Eisenbahnbrücken wegen der Übertragung der Bremskräfte nicht empfehlen wird. Es braucht wohl nicht besonders bemerkt zu werden, daß die in den Abbildungen dargestellten Formänderungen für den Fall gelten, wo die Fahrbahn am Zuggurt der Hauptträger gelegen ist. Liegt sie am Druckgurt, so treten die Ausbiegungen der Querträger in entgegengesetzter Richtung auf und in die Längsträger kommen Druckkräfte, was wenigstens für die Anschlußnieten günstiger ist.

Die Spannungen in den stärkst ausgebogenen Querträgern, die infolge des festen Längsträgeranschlusses entstehen, lassen sich für eine eingleisige Bahnbrücke durch die folgende Näherungsrechnung bestimmen.

Es bezeichne

b den Abstand der beiden Hauptträger,

c „ „ „ Schwellenträger,

l die Länge der Fahrbahn vom steifen Querträger (Bremsträger) bis zum Endquerträger oder zur Fahrbahnunterbrechung,

J das mittlere Trägheitsmoment eines Querträgers,

J_1 jenes im Anschluß des Längsträgers, bezogen auf seine lotrechte Schwerachse,

f die wagrechte Ausbiegung des Endquerträgers an der Anschlußstelle der Längsträger,

g die Gurtbreite des Querträgers,

s die Spannung der Hauptträgergurtung infolge Belastung.

Die Längskräfte in den Schwellenträgern zwischen je zwei Querträgern können deren Ausbiegung proportional gesetzt und letztere kann in jedem Querträger um gleich viel wachsend angenommen werden. Bezeichnet sonach x den Abstand eines Querträgers vom festen Bremsträger, so ist die auf ihn wirkende Längskraft in jedem Schwellenträger kx und am Endquerträger kl .

Diesen Längskräften, die sich in gleicher Größe aber in entgegengesetzter Richtung auf die Hauptträgergurte übertragen, entsprechen elastische Längenänderungen, die in der Fahrbahnlänge l für die Hauptträgergurte mit Δl , für die Längsträger mit $\Delta l'$ bezeichnet werden mögen. Die gesamte Längenänderung der Hauptträgergurte ist dann

$$\frac{s}{E} l - \Delta l = \Delta l' + f.$$

Vernachlässigt man, um zu einfacheren Formeln zu kommen, Δl und $\Delta l'$ wegen ihrer Kleinheit gegenüber den anderen Größen, so ist $\frac{s}{E} l = f$. Die Ausbiegung eines Trägers für zwei symmetrisch wirkende Kräfte kl rechnet sich aber nach $f = kl \cdot \frac{(b-c)^2(b+2c)}{24 EJ}$ womit sich ergibt

$$k = \frac{24 J}{(b-c)^2(b+2c)} \cdot s.$$

Das auf den Querträger wirkende wagrechte Biegemoment wird $M = kl \frac{b-c}{2} = \frac{12 J l}{(b-c)(b+2c)} s$ und die dadurch in der Gurtung des Querträgers hervorgerufene Biegungsspannung $s' = \frac{M}{J_1} \frac{g}{2} = \frac{J}{J_1} \frac{6 l g}{(b-c)(b+2c)} \cdot s$.

Setzt man für eingleisige Hauptbahnbrücken $b = 5 m$, $c = 2 m$ und $J_1 = J$, so erhält man

$$s' = \frac{2}{9} l \cdot g \cdot s$$

worin l und g in Metern einzusetzen sind. Ist z. B. $l = 20 m$, $g = 0.2 m$, so wird $s' = 0.9 s$.

Wenn diese Rechnung wegen der Vernachlässigung von Δl und $\Delta l'$ auch etwas zu große Werte liefert, so erkennt man daraus doch, daß die Biegungsspannung im Querträger und auch die Kraft kl im letzten Längsträgeranschlusse bei größerem l recht beträchtlich werden kann. In Wirklichkeit kann allerdings durch die Lockerung der auf Zug beanspruchten Anschlußnieten eine weitere Verminderung dieser Zusatzkräfte eintreten.

Der feste Anschluß der Längsträger an die Wandbleche der Querträger hat aber auch das Auftreten von Einspannungsmomenten zur Folge, welche die Querträger auf Verdrehung und die Anschlußwinkel und deren Nieten auf Abreißen beanspruchen. Die Längsträger werden dadurch bis zu einem gewissen Grade in durchgehende Träger verwandelt mit Einspannmomenten an den Stützen, die vom Verdrehungswiderstand der Querträger und von deren Durchbiegung abhängen (Abb. 205). Die gegenüber der freien Auflagerung bewirkte Verminderung der Biegemomente in den Längsträgern wäre allerdings günstig, wenn man nicht annehmen müßte, daß die die Kontinuität herbeiführenden Nietbolzen dieser Beanspruchung auf die Dauer nicht gewachsen sind, sich vielmehr

dehnen und lockern und dadurch den Längsträger dem Zustande der freien Auflagerung nahebringen. Es ist deshalb im Interesse höherer Sicherheit gerechtfertigt, die zwischen den Querträgern angeschlossenen Längsträger für freie Auflagerung ohne Rücksicht auf Einspannung zu rechnen, auch dann, wenn der Anschluß durch Eckbleche verstärkt wird, doch sollte bei der Dimensionierung der Nietanschlüsse auf deren erhöhte Beanspruchung Bedacht genommen werden. Bei der Unbestimmtheit der Einspannungswirkung wird es aber genügen, zu den nach der Scheerkraft im Auflager des Längsträgers berechneten Nieten noch einen Zuschlag von etwa 30 bis 40% zu geben. Einzelne Eisenbahnverwaltungen verlangen aber, daß die Zahl der Anschlußnieten für wagrechte Einspannung zu ermitteln ist.

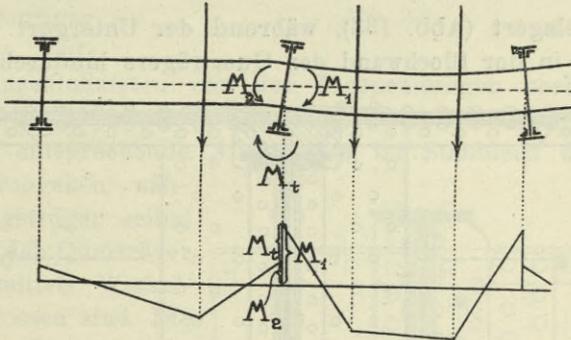


Abb. 205.

Um die vorstehend besprochenen Nebenspannungen, die sich besonders für die Anschlüsse der Längsträger und für die Querträger ungünstig geltend machen, gänzlich auszuschalten, müßten die Längsträger längsverschieblich durchgehend oder getrennt und zugleich gelenkig angeschlossen werden. Bei auf den Querträgern aufgelagerten Längsträgern ist diese Anforderung, wie bereits oben (Abb. 195) gezeigt wurde, unschwer zu erfüllen. Bei versenkten Längsträgern hat man die Wirkung kontinuierlicher Träger dadurch erzielt, daß man wenigstens den Zuggurt, d. i. den Obergurt der Längsträger entweder über den Querträger hinweg oder durch ihn hindurch geführt hat. Am einfachsten macht sich dies, wenn der Querträger als Gitterträger ausgebildet ist, durch dessen Maschen die Längsträger hindurchgehen (Abb. 206). Hier sollte aber die seitliche Absteifung des Querträgerobergurtes durch die Längsträger nicht fehlen, worauf Bedacht zu nehmen ist. Bei der Straßenbrücke über den Rhein bei Worms sind die Längs-

träger als Gitterträger ausgeführt und mit ihrem durchgehenden Obergurt auf dem Obergurt der Querträger längsverschieblich und

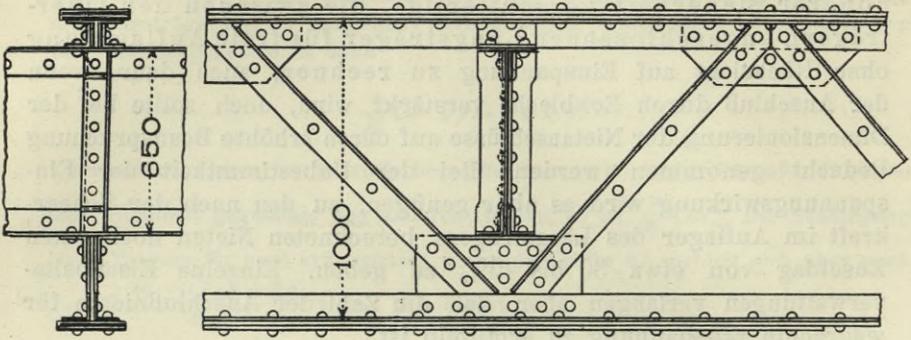


Abb. 206.

zentrisch gelagert (Abb. 133), während der Untergurt durch eine Aussparung in der Blechwand des Querträgers hindurchgeht. Aber

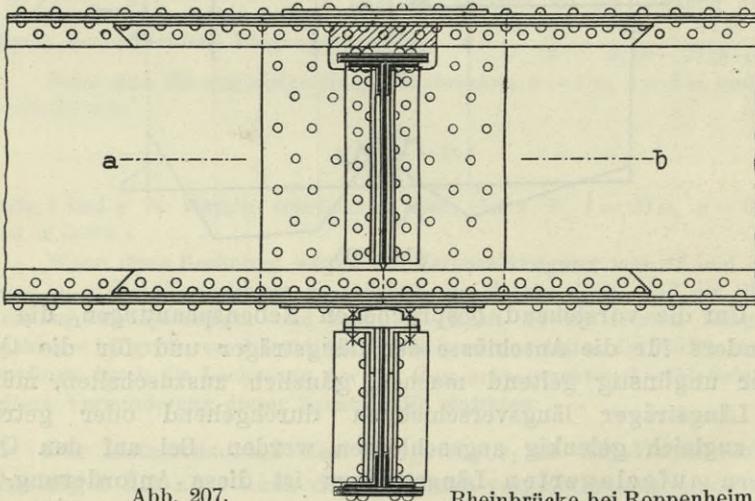
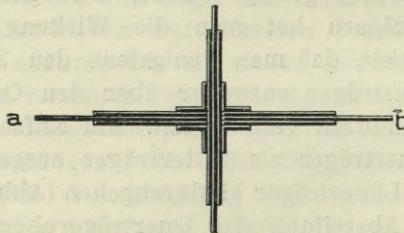


Abb. 207.

Rheinbrücke bei Roppenheim.



auch bei vollwandigen Längsträgern lassen sich ähnliche Anordnungen ausführen. Abb. 207 zeigt eine solche, wo der Längsträger

den Querträger überragt und mit dem Untergurt auf dem durchbrochenen, durch Bleche verstärkten Wandbleche des Querträgers gelagert ist, während der Obergurt frei über ihn hinweggeht. Der Längsträger muß natürlich, um ihn einbringen zu können, an der Auflagerstelle im ganzen Querschnitt gestoßen werden. Verzichtet man auf die zentrische gelenkige Auflagerung, so kann

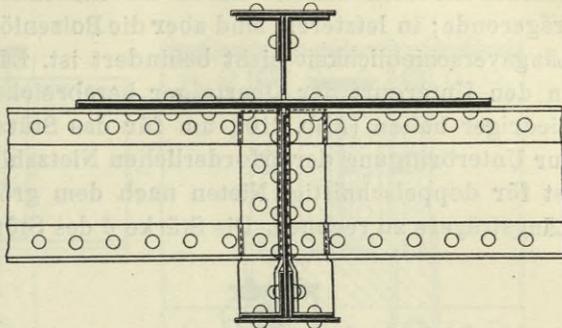


Abb. 208.

wenigstens durch Kupplung der Zuggurte der Längsträger eine teilweise Entlastung der Anschlußnieten von den Zugspannungen herbeigeführt werden. In Abb. 208 ist diese Kupplung durch Flacheisen bewirkt, welche durch entsprechende Ausschnitte im Stehblech des Querträgers hindurchgehen, während die Längsträger selbst stumpf gegen den Querträger stoßen und mittels Winkel-eisen angeschlossen sind. Die Übertragung von Längskräften und Torsionsmomenten auf die Querträger ist aber hiedurch nicht vermieden.

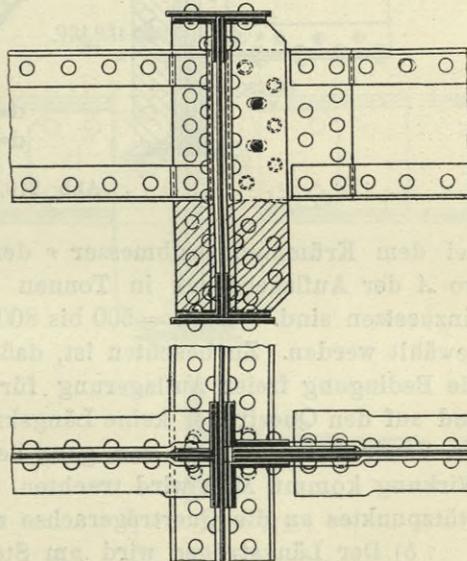


Abb. 209.

Wie oben gesagt wurde, ist es bei größeren Brückenspannweiten (etwa über 60 m) ratsam, den festen Längsträgeranschluß an einzelnen Stellen zu unterbrechen und durch eine längsverschiebliche Auflagerung zu ersetzen. Hiefür können verschiedene Konstruktionen in Anwendung kommen:

a) Der durch aufgenietete Bleche entsprechend verstärkte Steg der Längsträger ist zwischen die Anschlußwinkel am Querträger eingeschoben und ruht auf einem oben abgerundeten Füllstücke,

das zwischen den Winkeleisen eingenetet ist (Abb. 209). Die Stützflächen sind sorgfältig zu bearbeiten. Die Gurtflanschen der Winkel der Längsträger endigen vor den Anschlußwinkeln. Ein oder zwei Schraubenbolzen führen durch die Anschlußwinkel und das Längsträgerende; in letzterem sind aber die Bolzenlöcher länglich, so daß die Längsverschieblichkeit nicht behindert ist. Längsträger, welche nahe an den Untergurt der Querträger herabreichen, wird man am Ende niedriger halten (Abb. 210), um für das Stützblech genügende Höhe zu Unterbringung der erforderlichen Nietzahl zu bekommen. Letztere ist für doppelschnittige Nieten nach dem größten Auflagerdruck des Längsträgers zu rechnen. Die Stärke δ des Stützbleches bestimme man

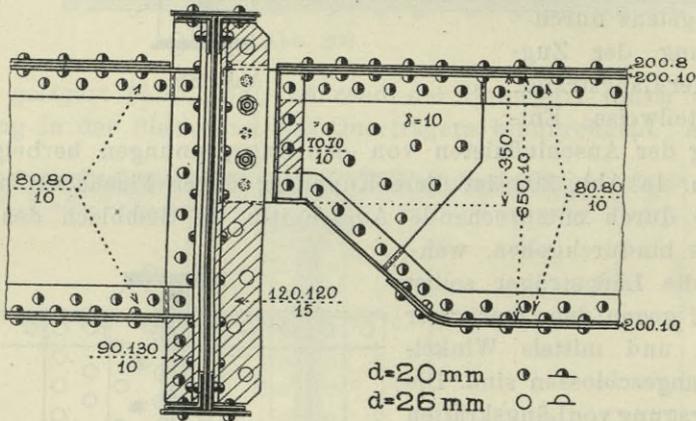


Abb. 210.

bei dem Krümmungshalbmesser r der Stützfläche aus $r\delta = 1500 A$, wo A der Auflagerdruck in Tonnen und r und δ in Millimetern einzusetzen sind. r kann = 500 bis 800 mm allfällig auch noch größer gewählt werden. Zu beachten ist, daß bei dieser Konstruktion wohl die Bedingung freier Auflagerung für den Längsträger erreicht ist und auf den Querträger keine Längskraft übertragen wird, daß aber ein Verdrehungsmoment von ganz bestimmter Größe $M = A \cdot a$ zur Wirkung kommt. Man wird trachten, dieses durch Heranrücken des Stützpunktes an die Querträgerachse zu vermindern.

b) Der Längsträger wird am Steg mittels zweier Winkeleisen allenfalls auch noch mit einem darauf genietetem Flacheisen abgeschlossen und mit diesem oder mit den zum Querträger parallelen Winkelschenkeln auf Bleche gelagert, die an den unteren Teil der Querträgerwand genietet sind (Abb. 211). Hiedurch ist der Stützpunkt der Querträgerachse nahe gebracht, der Hebelarm a des

Stützendruckes und sonach das auf den Querträger wirkende Verdrehungsmoment sehr herabgemindert. Durch seitlich an den Querträger, nach dem Einbringen des Längsträgers angeschraubte oder angenietete Winkeleisen, welche die Stützplatten oder Stützwinkel

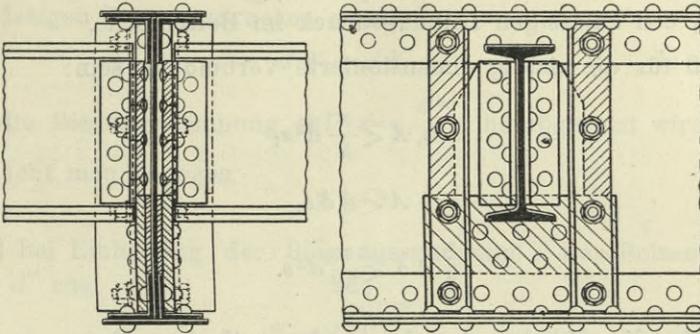


Abb. 211.

übergreifen, wird ein Abgleiten des Trägers von dem schmalen Auflager oder eine seitliche Verschiebung verhindert. Die obere Stützplatte oder bei direkter Stützung durch Winkel deren Schenkel sind um einige Millimeter schwächer als die untere Stützplatte, um dem Träger das erforderliche Spiel zu geben.

c) Der Anschluß des Längsträgers erfolgt mittels eines Gelenkbolzens, der durch die abstehenden Schenkel der Anschlußwinkel und den, durch aufgenietete Bleche entsprechend verstärkten Steg des Längsträgers gesteckt ist (Abb. 212). Eine Längsverschiebung ist hier nur in sehr geringem Maße, soweit es der unvermeidliche Spielraum im Bolzenloche gestattet, möglich.

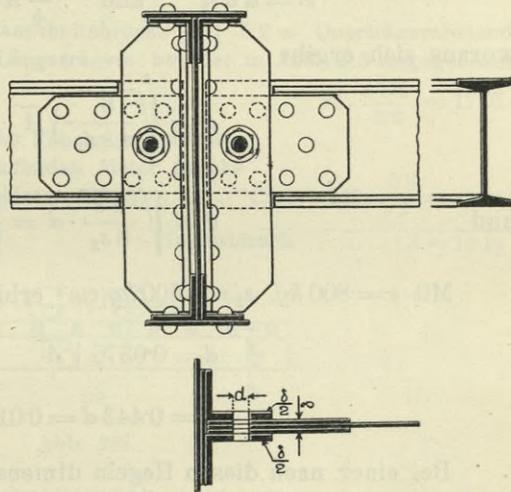


Abb. 212.

Die Dimensionierung der Bolzenverbindung hat nach den in § 3 angegebenen Regeln zu erfolgen. Bezeichnet

A den Auflagerdruck des Längsträgers,
 δ die Dicke des verstärkten Steges,

$\frac{\delta}{2}$ die Schenkelstärke der Anschlußwinkel,

d die Bolzenstärke,

s die zulässige Biegungsbeanspruchung des Bolzens,

s_1 „ „ Scheerbeanspruchung,

s_2 den zulässigen Leibungsdruck im Bolzenloche,

so muß für die richtig dimensionierte Verbindung sein:

$$A \leq \frac{\pi}{2} d^2 s_1$$

$$A \leq d \delta s_2$$

$$\frac{1}{4} A \delta \leq \frac{\pi}{32} d^3 s.$$

Für die üblichen Annahmen der zulässigen Beanspruchungen ($s = 800$, $s_1 = 700$, $s_2 = 1600 \text{ kg/cm}^2$) ist die erste Bedingung erfüllt, wenn den beiden anderen entsprochen, der Bolzen sonach auf Biegung und Leibungsdruck berechnet wird. Es führt dies zu den Gleichungen

$$A = d \delta s_2 \quad \text{und} \quad \frac{1}{4} A \delta = \frac{\pi}{32} d^3 s,$$

woraus sich ergibt

$$d = \sqrt[4]{\frac{8}{\pi s s_2}} \cdot \sqrt{A}$$

und

$$\delta = \sqrt{\frac{\pi s}{8 s_2}} \cdot d = \sqrt[4]{\frac{\pi s}{8 s_2^3}} \cdot \sqrt{A}.$$

Mit $s = 800 \text{ kg}$, $s_2 = 1600 \text{ kg/cm}^2$ erhält man

$$d = 0.0376 \sqrt{A} \quad 49)$$

$$\delta = 0.443 d = 0.0166 \sqrt{A} \quad 50)$$

Bei einer nach diesen Regeln dimensionierten Bolzenverbindung wird auch die zulässige Scheerspannung s_1 nicht überschritten, wenn die Inanspruchnahmen der Bedingung entsprechen, daß $\frac{s_1^2}{s s_2} > \frac{1}{2 \pi}$ ist, was bei den obigen Annahmen für s , s_1 , s_2 der Fall ist.

Formel 49 gibt den kleinsten Bolzendurchmesser, für welchen die angegebenen Werte von s und s_2 nicht überschritten werden. Die Stegstärke δ kann in der Ausführung etwas kleiner oder größer

als nach Formel 50 gewählt werden; dann muß aber der Bolzendurchmesser vergrößert werden. Macht man nämlich die Stegdicke kleiner,

$$\delta' < \delta$$

dann bestimmt sich der neue Bolzendurchmesser d' bei Einhaltung des zulässigen Leibungsdruckes s_2 aus

$$d' \delta' = d \delta \quad \dots \dots \dots 51)$$

wobei die Biegungsspannung auf $s' = \frac{\delta'^4}{\delta^4} s$ herabgesetzt wird.

Macht man dagegen

$$\delta'' > \delta$$

so muß bei Einhaltung der Biegungsspannung s der Bolzendurchmesser d'' aus

$$d'' = d \cdot \sqrt[3]{\frac{\delta''}{\delta}} \quad \dots \dots \dots 52)$$

gerechnet werden, wofür sich der Leibungsdruck auf $s'_2 = \frac{d^4}{d''^4} s_2$ ermäßigt.

In den gegebenen Formeln sind die Größen auf Kilogramm und Zentimeter bezogen.

Beispiel. Eingleisige Hauptbahnbrücke mit 5.2 m Querträgerabstand. Der Druck im Auflager eines Längsträgers bei der in Abb. 213 angegebenen Laststellung wird $\dots \dots \dots 32 \cdot \frac{2.775}{5.2} = 17.08 t$

Hiezu vom Eigengewicht der Fahrbahn (Schienen, Schwellen und Bedielung pro laufenden Meter Brücke 600 kg, Längsträgergewicht pro Meter 127 kg) $\dots (300 + 127) \cdot \frac{5.2}{2} = 1.11 t$

Gesamtdruck $\dots \dots A = 18.19 t$

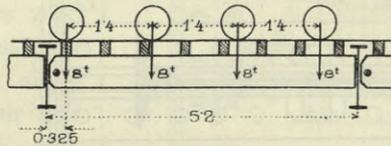


Abb. 213.

Der Längsträger, für die Stützweite 5.2 m frei aufliegend gerechnet, hat ein größtes Moment aufzunehmen $M = \frac{1}{8} \cdot 0.427 \cdot 5.2^2 + 22.60 = 24.04 tm$

Der gewählte Querschnitt (Stehblech 700 x 10, Gurtwinkel 70. 70. 11, Gurtplatte 180. 10) gibt ein Widerstandsmoment $W = 3192 cm^3$, genügt sonach bei einer Inanspruchnahme von $\frac{2404000}{3192} = 753 kg/cm^2$. Die obere Gurtplatte geht in der ganzen Länge durch, die untere Platte ist nur im mittleren Teil des Trägers auf etwa 3 m Länge erforderlich.

Für den Bolzenanschluß rechnet sich nach Formel 49 und 50

$$d = 0.0376 \sqrt{18190} = 5.07 \text{ cm}$$

$$\delta = 0.443 d = 2.25 \text{ cm}$$

Der Steg des Längsträgers wird aber im Anschluß durch beiderseits

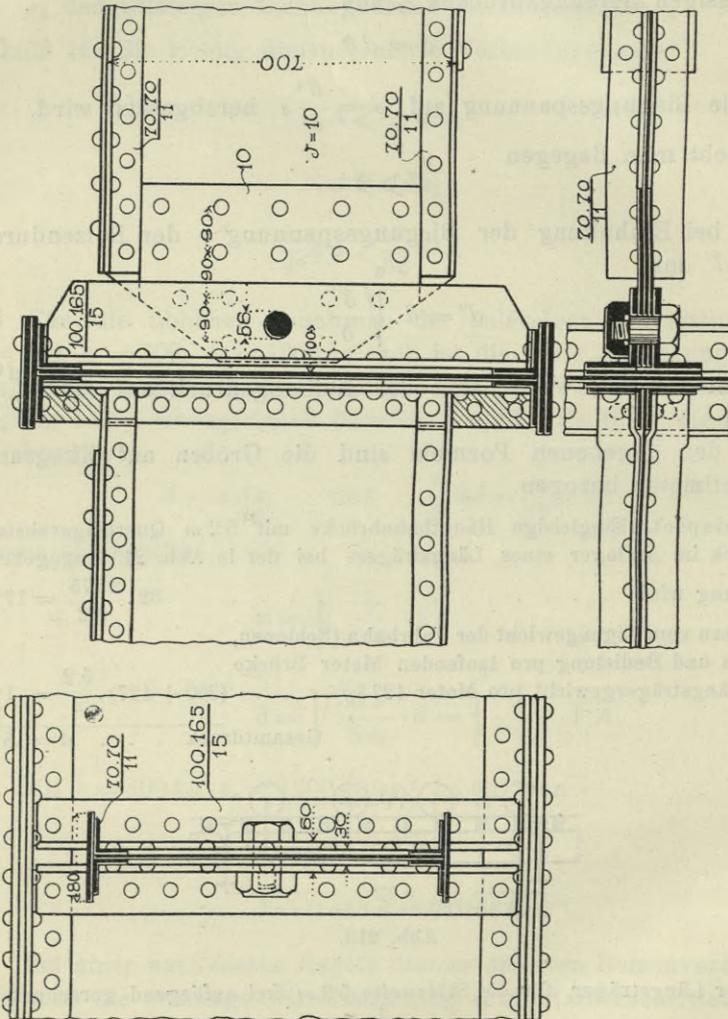


Abb. 214.

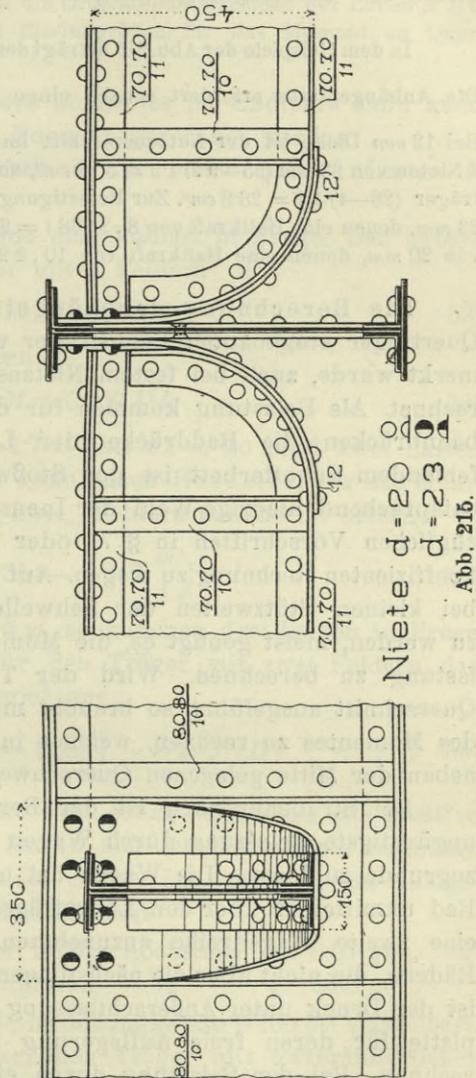
angelegte 10 mm-Bleche auf $\delta = 3 \text{ cm}$ verstärkt. Demzufolge ist nach Formel 52 der Bolzendurchmesser auf $d = 5.07 \sqrt[3]{\frac{3}{2.25}} = 5.6 \text{ cm}$ zu verstärken. Der Bolzen lagert in zwei am Querträger befestigten Winkeleisen vom Kaliber 100.165.15 (Abb. 214).

Durch die exzentrische Lagerung des Bolzens entsteht ein Verdrehungs-
moment für den Querträger $Aa = 18.19 t \cdot 10 \text{ cm} = 1.819 \text{ tm}$.

Der feste Anschluß der Längsträger ist derart ausgeführt, daß der Steg
zwischen zwei Winkel $80 \cdot 80 \cdot 10$ gefaßt wird, über welche die Gurtwinkel des
Längsträgers gekröpft sind. Verbindung durch 20 mm Niete. Ein doppelschnittiger
Niet nimmt nach (Tabelle S. 70)
 $\frac{18.19}{3.2} = 6$ Niete erforderlich.

Wir vergrößern diese Zahl
aber wegen des Einspannungs-
momentes um 50% auf 9 Niete
und verbinden auch jeden An-
schlußwinkel durch mindestens
ebenso viele Niete mit dem
Querträger.

d) Verbindung mit-
tels eines Blattgelenkes
(Abb. 215). Die zur An-
hängung des Längsträgers
dienende Platte ist in ihrem
unteren, verschmälerten
Teile mit dem Längsträger-
ende, im oberen Teile mit
der Querträgergurtung
vernietet. Nietanschluß,
Stärke und Breite der Platte
sind auf den größten Auf-
lagerdruck des Längs-
trägers zu berechnen. Der
Steg des Querträgers wird
durch ein, zum Teil mit
versenkten Niete ange-
schlossenes Füllblech und
durch Winkelsteifen ver-
stärkt. Zwischen der An-
hängeplatte und dem oberen
Teile des Längsträgers wird
ein paar Millimeter Spiel-



Niete $d = 20$
 $d = 23$
Abb. 215.

raum gegeben. Wir glauben dieser Konstruktion, welche allerdings
bisher in der Ausführung noch nicht erprobt wurde, folgende Vor-
teile beimessen zu sollen: 1. Vollständige Ausschaltung der Neben-
spannungen durch die freie und gelenkige Auflagerung der Längs-

träger. 2. Sehr wenig exzentrischer Kräfteangriff auf den Querträger, daher geringes Verdrehungsmoment. 3. Ausreichende Steifigkeit des Längsträgeranschlusses gegen wagrechte Seitenkräfte. 4. Einfache Montage, bei der auf der Baustelle nur die horizontalen Anschlußnieten am Querträger geschlagen zu werden brauchen.

In dem Beispiele der Abb. 215 beträgt der größte Druck eines Längsträgers 15 t.

Die Anhängelplatte erfordert sonach einen Nutzquerschnitt von $\frac{15}{0.75} = 20 \text{ cm}^2$.

Bei 12 mm Dicke ist der Nutzquerschnitt im oberen Anschlusse mit Abzug von 4 Nieten von 23 mm $(35 - 9.2) 1.2 = 30.9 \text{ cm}^2$, und in der ersten Nietreihe am Längsträger $(28 - 4) 1.2 = 28.8 \text{ cm}^2$. Zur Befestigung dienen am Querträger 8 Nieten von 23 mm, denen eine Haltkraft von $8 \cdot 2.908 t = 23.26 t$, und am Längsträger 10 Nieten von 20 mm, denen eine Haltkraft von $10 \cdot 2.20 = 22 t$ entspricht.

Die Berechnung der Längsträger. a) Die zwischen die Querträger eingebauten Längsträger werden, wie bereits oben bemerkt wurde, auch bei festem Nietanschluß als frei aufliegend berechnet. Als Belastung kommen für die Schwellenträger der Eisenbahnbrücken die Raddrücke der Lokomotiven in Betracht. Bei fehlendem Schotterbett ist der Stoßwirkung der Fahrzeuge durch entsprechend niedrige Wahl der Inanspruchnahme (siehe die diesbezüglichen Vorschriften in § 7) oder durch Einführung eines Stoßkoeffizienten Rechnung zu tragen. Auf die Schwellenlage braucht nur bei kleinen Stützweiten der Schwellenträger Rücksicht genommen zu werden, meist genügt es, die Momente für eine unmittelbare Belastung zu berechnen. Wird der Träger mit durchaus gleichem Querschnitt ausgeführt, so braucht man nur das absolute Maximum des Momentes zu rechnen, welches in der Trägermitte oder an der neben der Mitte gelegenen Querschwellen auftritt.

Bei Straßenbrücken ist der Berechnung der Längsträger die ungünstigste Belastung durch Wagen oder durch eine Straßenwalze zugrunde zu legen. Die Wagen hat man in jeder Achse mit einem Rad unmittelbar über den Längsträger zu stellen und dicht daneben eine zweite Wagenreihe anzunehmen. Von den seitlich stehenden Rädern, die nicht über die nächstliegenden Längsträger hinausrücken, ist der Druck unter Außerachtlassung der Kontinuität der Fahrbahnplatte für deren freie Auflagerung auf den Längsträgern zu berechnen. Bei der Belastung durch eine Straßenwalze kann auf die Verteilung des Walzendruckes nach der Breitenrichtung Rücksicht genommen werden; dagegen wird eine Verteilung des Rad- oder Walzendruckes nach der Längsrichtung des Trägers sicherheits halber nicht in Rechnung gebracht.

in Teilen von Gl in der Figur eingeschrieben sind. Für einen beliebigen Querschnitt im Abstand x von der Endstütze ist nämlich $M = \mathfrak{M} + M_1 \frac{x}{l} = \frac{x}{l} \left(\mathfrak{M} \frac{l}{x} + M_1 \right)$. Die Linie $\mathfrak{M} \frac{l}{x}$, d. i. die Linie AEB ist durch die Gerade BE bestimmt, welche auf der Lotrechten durch A die Strecke Gl abschneidet. Setzt man diesen Abschnitt $= 1$, so geben die Ordinatenunterschiede der Linien ABC und AEB mit x multipliziert die Einflußgrößen für das Moment im Querschnitt D in Teilen von Gl

Der absolute Größtwert des Momentes im Endfelde kann auch angenähert aus nachstehenden Formeln gerechnet werden:

Bezeichnet w den Achsabstand der gleich großen Lasten D und ist

1. $l < 1.7w$, so kommt bloß eine Radlast in Frage. Das größte Moment wird bei einem Träger mit 3 Feldern

$$\max M = 0.205 D l \dots \dots \dots 53)$$

bei einem Träger mit 2 Feldern

$$\max M = 0.207 D l \dots \dots \dots 54)$$

2. Liegt l etwa zwischen $1.7w$ und $2.2w$, so sind zwei Lasten im Felde aufzustellen und man kann (nach Haeseler) für das Maximalmoment eines Trägers mit zwei Feldern annähernd setzen

$$\max M = \left(0.354 - 0.242 \frac{w}{l} \right) D l \dots \dots \dots 55)$$

3. Ist $l > 2.2w$ bis etwa $5w$, so kommen drei Lasten in Frage und es rechnet sich wieder für den Träger mit zwei Feldern das absolut größte Moment annähernd aus

$$\max M = \left(0.627 - 1.05 \frac{w}{l} + 0.4 \frac{w^2}{l^2} \right) D l \dots \dots \dots 56)$$

Das größte Stützenmoment wird etwas kleiner als das positive Maximalmoment; es wird am besten aus der Einflußlinie bestimmt.

Durch die Eigengewichtslast g pro Längengemeter des Längsträgers wird das positive Maximalmoment

bei Annahme bloß zweier Felder höchstens um $0.07 gl^2$

„ „ von drei Feldern „ „ $0.08 gl^2$

das Stützenmoment um $0.125 gl^2$, beziehungsweise $0.100 gl^2$ vergrößert.

Die so für den kontinuierlichen Träger mit unveränderlicher Stützenlage berechneten Momente werden aber durch die Stützensenkung infolge der Durchbiegung der Querträger und zum geringeren Teil auch infolge Durchbiegung der Hauptträger geändert, und zwar werden die positiven Momente dadurch vergrößert, die Stützenmomente vermindert. Eine genaue Berechnung dieser Ein-

flüsse, welche davon ausgehen müßte, das ganze Trägergerippe der Fahrbahn als elastischen Rost zu behandeln¹⁾, wäre aber nicht nur äußerst umständlich, sondern für die gewöhnliche Ausführungspraxis auch zwecklos, weil man auf die Unterschiede in der Beanspruchung der einzelnen Längsträger bei ihrer Dimensionierung keine Rücksicht nehmen, sondern sie durchweg gleich ausführen wird. Es genügt daher, den Einfluß der Durchbiegung annähernd und zwar mit den Größtwerten für die in der Fahrbahnmitte liegenden Längsträger zu bemessen.

Wir nehmen wieder das Endfeld eines Längsträgers belastet an, so daß in demselben das größte positive Moment auftritt. Die beiden angrenzenden Querträger mögen sich dabei um gleichviel, und zwar im Auflager der Längsträger um δ durchbiegen, wogegen wir die

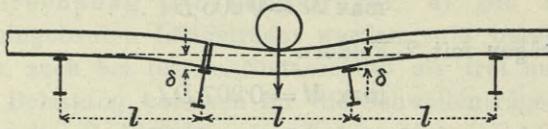


Abb. 220.

Durchbiegung der übrigen Querträger vernachlässigen wollen (Abb. 220).

Ist der Längsträger über drei Felder kontinuierlich, so entsteht durch die Senkung der ersten und zweiten Stütze ein Stützenmoment

$$M_1 = 2 EJ \frac{\delta}{l^2}$$

wenn J das Trägheitsmoment des Längsträgers bezeichnet. Geht der Träger bloß über 2 Felder durch, so erhält das Stützenmoment die Größe $M_1 = \frac{3}{2} EJ \frac{\delta}{l^2}$. Wir wollen aber mit dem größeren Wert für drei Felder rechnen. Die Durchbiegung des Querträgers kann (siehe S. 91) mit $\delta = 0,23 \frac{b^3}{h_1} \frac{\sigma_1}{E}$ angesetzt werden, wenn b die Stützweite, h_1 die Höhe des Querträgers und σ_1 die im Querträger unter der Belastung auftretende Biegungsspannung bezeichnet. Für den Längsträger, dessen Höhe h_2 sei, rechnet sich die unter dem Größtmomente M auftretende Biegungsspannung σ_2 aus $\sigma_2 = \frac{M}{J} \frac{h_2}{2}$, woraus $J = \frac{M h_2}{2 \sigma_2}$.

¹⁾ Über die Berechnung elastischer Trägernetze siehe: Dr. K. Arnstein, Einflußlinien statisch unbestimmter, elastisch gelagerter Tragwerke. Berlin 1912. W. Ernst & Sohn.

Beispiel. Eine Straßenbrücke II. Klasse erhält 30 cm Schotterdecke auf Zorèseisen. Abstand der Querträger 4,5 m, Abstand der Längsträger 1,20 m. Es sind die Längsträger für freie Auflagerung zu berechnen.

Unter Zugrundelegung der nach der österreichischen Brückenverordnung vorgeschriebenen Wagentype mit 2 t Raddruck berechnet sich der durch den

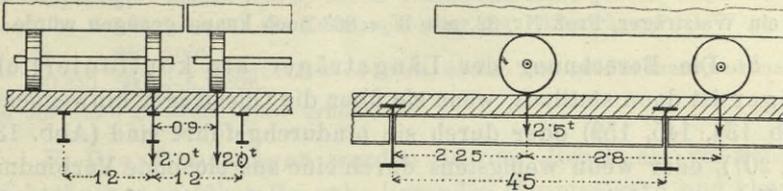


Abb. 216.

danebenstehenden Wagen vergrößerte Raddruck (Abb. 216) mit $D = 2 + 2 \frac{0,3}{1,2} = 2,5 t$. Das größte Moment tritt in der Trägermitte unter einem darüberstehenden Rade auf und wird

$$M_p = \frac{1}{4} 2,5 \cdot 4,5 = 2,81 t/m.$$

Vergleichen wir damit die Wirkung der Straßenwalze. Das mit 6 t belastete Vorderrad verteilt bei einer Breite von 1,2 m seinen Druck durch die Schotter-

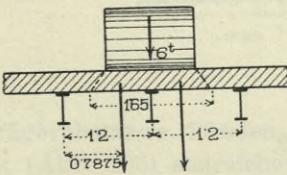


Abb. 217.

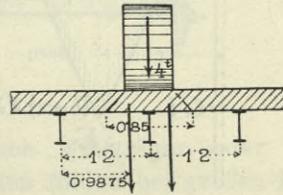


Abb. 218.

decke auf $1,2 m + 1,5 \cdot 0,3 m = 1,65 m$. Demzufolge wird (nach Abb. 217) der

Druck auf den Längsträger $6 \cdot \frac{0,7875}{1,2} = 3,938 t$.

Ebenso wird (vgl. Abb. 218) der Druck einer Hinterwalze $4 \cdot \frac{0,9875}{1,2} = 3,292 t$. Für das größte Moment kommt bei dem Achsabstande von 3 m die in die Trägermitte gestellte Vorderwalze in Betracht; man erhält hierfür

$$M_p = \frac{1}{4} 3,938 \cdot 4,5 = 4,430 t/m.$$

Die Straßenwalze hat sonoch eine ungünstigere Wirkung als die Wagenbelastung.

Die Eigengewichtsbelastung rechnet sich wie folgt:

Schotter	0,3 · 1900 = 570 kg/m ²
Zorèseisen	70 kg/m ²
	640 kg/m ²

pro Meter Längsträger $640 \times 1.2 = 768 \text{ kg}$
 Gewicht des Längsträgers 54 kg
 sonach das Moment $\frac{1}{8} 0.822 \cdot (4.5)^2 = 2.08 \text{ t/m}$. 822 kg

Das Gesamtmoment $4.43 + 2.08 = 6.51 \text{ t/m}$ verlangt bei einer zulässigen Inanspruchnahme $s = 750 \text{ kg/cm}^2$ ein Widerstandsmoment $W = \frac{651000}{750} = 868$, so daß ein Walzträger, Prof. Nr. 32, mit $W = 863$ noch knapp genügen würde.

b) Die Berechnung der Längsträger als kontinuierliche Träger ist dann statthaft, wenn sie über die Querträger hinweggehen (Abb. 134, 145, 159) oder durch sie hindurchgeführt sind (Abb. 133, 206, 207), oder wenn wenigstens durch eine ausreichende Verbindung der Zuggurte, d. i. der Obergurte, am Querträger die Aufnahme des Stützenmomentes gesichert ist (Abb. 208).

Zunächst sind wieder die den Längsträger belastenden Rad-

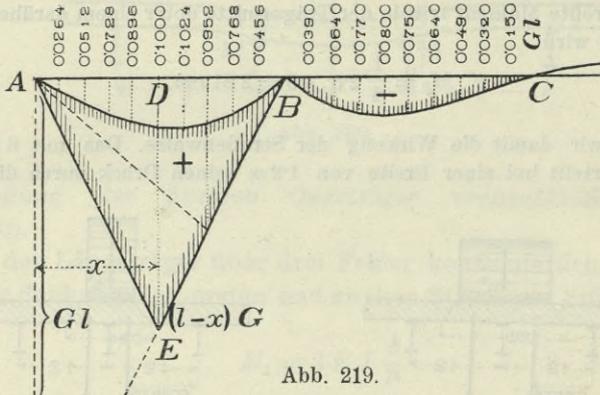


Abb. 219.

drücke, so wie oben (unter a) angegeben, zu ermitteln. Die Größtwerte der Momente und der Querkräfte des kontinuierlichen Trägers bestimmt man am besten mit Hilfe der Einflußlinien, zu deren Auftragung die Tabellen von Griot u. a. benützt werden können. Da die Träger in allen Feldern gleich und gewöhnlich auch mit durchaus konstantem Querschnitt ausgeführt werden, so genügt es, den Längsträger bloß für ein Endfeld, welches bei gleichen Feldlängen größere Momente als ein Mittelfeld liefert, zu berechnen. Man kann dabei in der Rechnung die Kontinuität auf drei oder zur Sicherheit nur auf zwei Felder beschränken, wenn auch in der Ausführung die Kontinuität durch Deckung der Trägerstöße über mehr Felder erstreckt wird.

In der Abb. 219 sind die Einflußlinien der Momente für ein Endfeld eines kontinuierlichen Trägers mit drei gleichen Feldern dargestellt. Es bedarf hiezu nur des Auftragens der Einflußlinie des Stützenmomentes M_1 , deren Ordinaten

Widerstandsmoment $W = 863$ die Inanspruchnahme $s = \frac{557100}{863} = 645 \text{ kg/cm}^2$.

Diese Beanspruchung erhöht sich etwas durch die Durchbiegung der Hauptträger. Für letztere sei bei einer Stützweite von 36 m die Trägerhöhe $H = 5 \text{ m}$, die größte Querschnittsfläche eines Gurtes $F = 250 \text{ cm}^2$, die Beanspruchung unter größter Belastung 850 kg/cm . In der Brückenbreite liegen 6 Fahrbahn­längsträger, pro Hauptträger sonach $n = 3$, deren Trägheitsmoment je $J = 13806 \text{ cm}^4$. Die Formel 59 liefert dann für die Zusatzspannung der Längsträger

$s_2 = \frac{32}{500} \frac{250 \cdot 500^2}{250 \cdot 500^2 + 6 \cdot 13806} \cdot 850 = 54 \text{ kg/cm}$, so daß ihre größte Inanspruchnahme sich auf $645 + 54 = 699 \text{ kg/cm}^2$ erhöht.

B. Die Querträger werden in der Regel als vollwandige Blechträger ausgeführt. Bei nahe liegenden Hauptträgern und kleinem

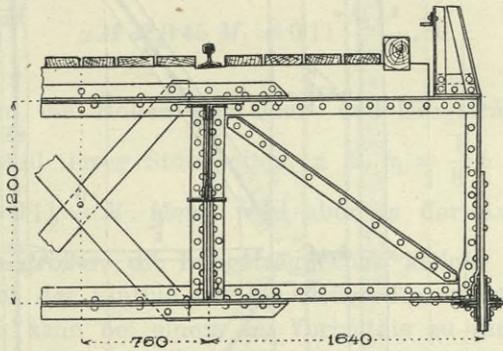


Abb. 222.

Querträgerabstände können wohl auch Walzträger oder doppelte [-Eisen (Abb. 106) ausreichen. Zuweilen finden bei großen Brückenbreiten auch Gitter- oder Fachwerksträger Anwendung (Abb. 221 und 159). Die dadurch zu erzielende Gewichtsersparnis wird aber durch die Mehrkosten der Arbeit, sowie durch die ungünstigere Erhaltung gegenüber einem Vollwandträger reichlich aufgewogen, so daß man jetzt auch bei sehr breiten Brücken (siehe Williamsburgbrücke, Manhattanbrücke, Blackwellbrücke, Abb. 101) die vollwandige Ausbildung vorzieht.

Bei den Querträgern eingleisiger Bahnbrücken wäre die Weglassung des Stehbleches im mittleren Teile, woselbst keine Querkraft wirkt (Abb. 222), wohl zulässig, doch ist auch hier in Anbetracht der nur geringfügigen Ersparnis die solidere Ausführung eines Vollwandträgers vorzuziehen.

Hinsichtlich der Konstruktion der Blechträger ist auf § 11 zu verweisen. Gewöhnlich erhalten die Träger der einfacheren Ausführung wegen in der ganzen Länge wagrechte und parallele Gur-

tungen (Abb. 135, 145), doch kann es sich bei großer Brückenweite wohl auch lohnen, die Querträgerhöhe in der Mitte durch eine gekrümmte (Abb. 101) oder trapezförmige Gestaltung (Abb. 133) des Untergurtes zu vergrößern. Sonst kann häufig auch der Anschluß

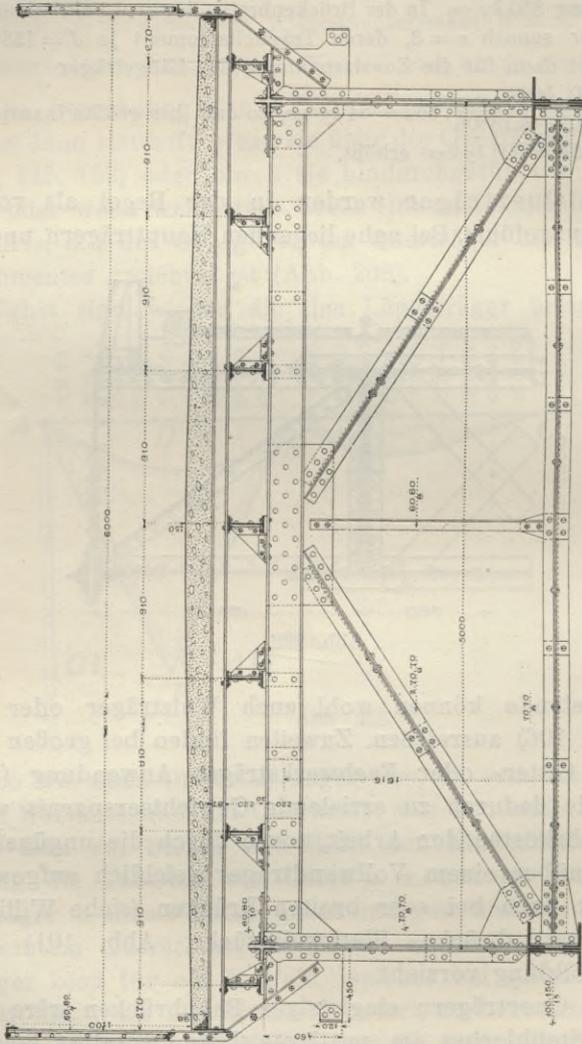


Abb. 223.

der Querträger an die Hauptträger eine Verringerung der Stehblechhöhe am Trägerende verlangen (Abb. 228, 238). Bei breiteren Straßenbrücken wird es zweckmäßig sein, den Querträgerobergurt parallel zur Krümmung der Fahrbahnoberfläche zu führen, um durchwegs gleiche Stärke in der Fahrbahndecke zu erhalten (Abb. 103, 107, 133). Die

Setzt man die Ausdrücke für δ und J in die Gleichung für das Stützenmoment ein, so ergibt sich

$$M_1 = 0.23 \frac{h_2 b^2}{h_1 l^2} \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \cdot M \dots \dots \dots 57)$$

Für eine Belastung, welche die größte Beanspruchung des Längsträgers und gleichzeitig auch die größte Durchbiegung der angrenzenden Querträger hervorruft, wäre $\sigma_1 = \sigma_2$ zu setzen.

Da der Größtwert des positiven Moments im Endfelde im Abstände $x = 0.43 l$ bis $0.47 l$ von der Endstütze auftritt, so ist sonach als Vergrößerung dieses Moments infolge der Querträgerdurchbiegung etwa zu rechnen

$$\Delta M = 0.45 M_1 = 0.11 \frac{h_2 b^2}{h_1 l^2} \cdot M \dots \dots \dots 58)$$

Wählt man die Höhen der Quer- und Längsträger mit dem gleichen Bruchteil ihrer Stützweiten, z. B. $h_1 = \frac{1}{8} b$ und $h_2 = \frac{1}{8} l$, so wird $\Delta M = 0.11 \frac{b}{l} M$. Meist wird aber in der Ausführung die Querträgerhöhe größer, die Längsträgerhöhe kleiner gemacht, wodurch dann auch der Einfluß der Querträgerdurchbiegung geringer wird. Immerhin kann bei einem im Verhältnis zu ihrer Stützweite kleinen Abstand der Querträger die Vergrößerung des Moments in den kontinuierlichen Längsträgern bis zu 20% und darüber betragen.

Der Einfluß der Durchbiegung der Hauptträger ist im allgemeinen viel geringfügiger. Man kann annehmen, daß die Längsträger diese Durchbiegung mitmachen und daß sonach ihre elastische Linie, wenn von ihrer eigenen Belastung abgesehen wird, mit jener der Hauptträger übereinstimmt. In diesem Fall verhalten sich aber die Randfaser-
spannungen im Längsträger und im Hauptträger wie die bezüglichen Trägerhöhen h_2 und H und es ist bei der Spannung s' im Hauptträger jene im Längsträger $s_2 = \frac{h_2}{H} s'$. Dadurch aber, daß sich die Längsträger an der Lastaufnahme beteiligen, wird die Hauptträger-
spannung etwas herabgesetzt. Es sei s die Spannung in den Hauptträgergurten unter der Annahme, daß die ganze Eigen- und Betriebslast nur von den Hauptträgern getragen wird, n die Zahl der Längsträger, welche auf einen Hauptträger entfällt, J das Trägheitsmoment eines Längsträgers, $\frac{FH^2}{2}$ das Trägheitsmoment eines Hauptträgers mit der Gurtquerschnittsfläche F , dann wird die durch die Last-

aufnahme der Längsträger verminderte Hauptträgerspannung

$s' = \frac{FH^2}{FH^2 + 2nJ} s$, sohin die in den Längsträgern hervorgerufene Biegungsspannung

$$s_2 = \frac{h_2}{H} \frac{FH^2}{FH^2 + 2nJ} \cdot s \quad 59)$$

Nur bei sehr niedrigen Hauptträgern wird eine merkliche Spannungsverminderung s' gegen s eintreten und die Spannung s_2 in den Längsträgern eine berücksichtigungswerte Größe erreichen.

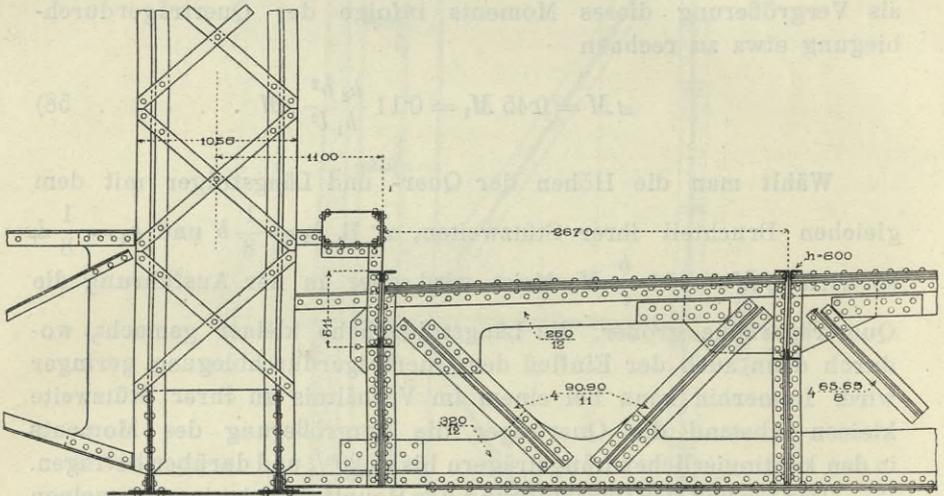


Abb. 221. Franz Josephsbrücke in Budapest.

Beispiel. Es seien für dieselbe Straßenbrücke wie im Beispiel auf S. 209 die über die Querträger gelegten Längsträger als kontinuierlich zu berechnen. Der Abstand der Hauptträger b sei 7.5 m , die Höhe der Querträger $h_1 = 0.80\text{ m}$, weiters ist gegeben $l = 4.5\text{ m}$, Längsträgerabstand $c = 1.20\text{ m}$. Bei dem Radstande $w = 3.0\text{ m}$, sonach $l < 1.7w$, kommt nur eine Achslast in Frage und es wird für die Belastung mit dem Vorderrad der Straßenwalze, deren Druck nach obigem mit $D = 3.938\text{ t}$ einzuführen ist, das größte Moment auf einen Längsträger

$$M = 0.205 D l + 0.08 g l^2 = 0.207 \cdot 3.938 \cdot 4.5 + 0.08 \cdot 0.822 \cdot 4.5^2 = 4.964\text{ t/m.}$$

Dieses Moment vergrößert sich infolge Durchbiegung der Querträger, wenn für die Längsträger ein Profil von 32 cm Höhe angenommen wird, nach Formel 58 um

$$\Delta M = 0.11 \frac{0.32 \cdot 7.5^2}{0.80 \cdot 4.5^2} \cdot M = 0.122 M = 0.607\text{ t/m.}$$

Der Träger ist sonach für das größte Moment $4.964 + 0.607 = 5.571\text{ t/m}$ zu dimensionieren. Behält man den Walzträger, Prof. Nr. 32, bei, so wird bei dessen

Setzt man

$$M_1 = M_1^0 + \Delta M_1$$

$$M_2 = M_2^0 + \Delta M_2$$

so ergeben sich schließlich zur Berechnung von ΔM_1 und ΔM_2 die Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} 2 \Delta M_1 \left(l_1 + l_2 + \frac{\lambda_1}{2} \right) + \Delta M_2 (l_2 + \lambda_2) &= -M_1^0 \lambda_1 - M_2^0 \lambda_2 + \\ &+ 6 E J \left[\frac{\mathfrak{D}_1 \delta + \mathfrak{D}_2 \delta'}{l_1} + \frac{(\mathfrak{D}_1 - \mathfrak{D}_2)(\delta - \delta')}{l_2} \right] \\ \Delta M_1 (l_2 + \lambda_2) + 2 \Delta M_2 \left(l_1 + l_2 + \frac{\lambda_1}{2} \right) &= -M_1^0 \lambda_2 - M_2^0 \lambda_1 + \\ &+ 6 E J \left[\frac{\mathfrak{D}_1 \delta' + \mathfrak{D}_2 \delta}{l_1} - \frac{(\mathfrak{D}_1 - \mathfrak{D}_2)(\delta - \delta')}{l_2} \right] \end{aligned} \right\} \quad 61)$$

Bei symmetrischer Belastung des Querträgers, sonach für $\mathfrak{D}_1 = \mathfrak{D}_2 = \mathfrak{D}$
 $M_1^0 = M_2^0 = M^0$, wird

$$\Delta M = \frac{1}{2 l_1 + 3 l_2 + \lambda_1 + \lambda_2} \left[\frac{6 E J}{l_1} \mathfrak{D} (\delta + \delta') - M^0 (\lambda_1 + \lambda_2) \right]$$

Die Beanspruchung des Fachwerkes rechnet sich aus den in I und II angreifenden Drücken D_1 und D_2 . Zu beachten ist, daß der Querträger im mittleren Teile nebst seinen eigenen Biegemomenten die exzentrisch angreifende Obergurtkraft aufzunehmen hat.

Die Lagerung und Befestigung der Querträger an den Hauptträgern wird in der Regel durch Nietanschluß bewerkstelligt, so daß wieder bis zu einem Grade Einspannungswirkungen auftreten, die Bedingung freier Auflagerung sonach mehr oder weniger nur unvollkommen erfüllt ist. Es ist dabei die Lage der Fahrbahn, beziehungsweise der Querträger zu den Hauptträgern von Einfluß.

a) Bei über den Hauptträgern liegenden und auf ihnen gelagerten Querträgern ist noch am ehesten die Wirkung freier Auflagerung zu erzielen. Werden sie aber in der ganzen Breite der Hauptträgerobergurte aufgelagert und mit ihnen vernietet, so wird infolge Durchbiegung der Querträger eine exzentrische Druckübertragung hervorgerufen, die Innenseite der Hauptträger stärker belastet und deren Gurt auf Verdrehung beansprucht. Es ist daher eine zentrische Auflagerung (nach Abb. 226) vorzuziehen. Auf dem Gurt wird eine Auflagerplatte, die eine schwach gewölbte Oberfläche hat, mittels Schrauben oder Nieten befestigt, auf welche der Querträger frei aufgelegt wird. Rippenansätze an der Platte und am Träger verhindern eine Quer- und Längsverschiebung. Gegen ein Abheben kann der Querträger durch den Fußflansch übergreifende Deckplatten gesichert werden (Abb. 227). Dabei ergibt sich genügend Spielraum für kleine Bewegungen nach der Längsachse der Brücke, so daß hier das Fahrbahngerippe auch bei festem Längsträger-

anschluß von den Längenänderungen der Gurte unbeeinflusst bleibt. Über dem Auflager ist die Querträgerwand kräftig auszusteifen. Bei dieser Anordnung der beweglichen Auflager bilden aber die

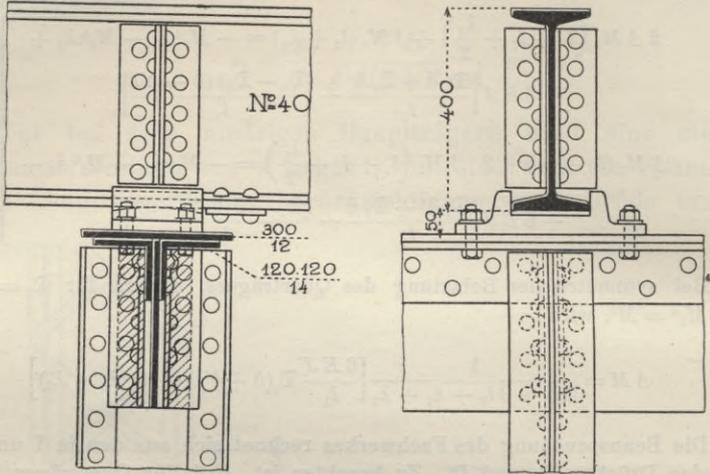


Abb. 226.

Querträger keinen Teil des Querverbandes zwischen den Hauptträgern und es erfordert die seitliche Abstützung der Hauptträger-

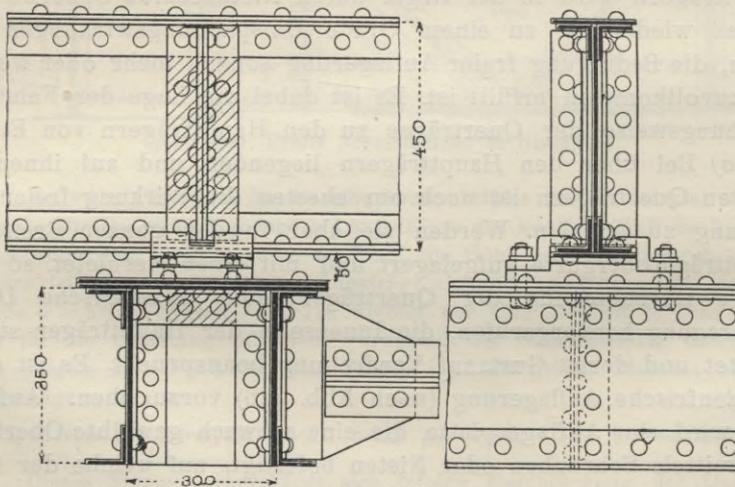


Abb. 227.

obergurte die Anbringung besonderer Querriegel oder eines an die Obergurte angeschlossenen Windverbandes.

b) Liegen die Querträger zwischen den Hauptträgern versenkt, so werden sie entweder an die Stegbleche der vollwandigen Haupt-

Höhe der Querträger ist im allgemeinen reichlich zu bemessen, um geringe Durchbiegungen und große Steifigkeit zu erzielen, was insbesondere bei oben offenen Brücken (Trogbrücken) von Wichtigkeit ist. Man wähle, sofern die verfügbare Bauhöhe dies zuläßt, die Höhe der Querträger in Brückenmitte nicht unter $\frac{1}{8}$ ihrer Stützweite, bei Fachwerks-Trogbrücken und auch überhaupt bei Eisenbahnbrücken besser nicht unter $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$.

Im Auflager und unter jedem Längsträger ist die Blechwand

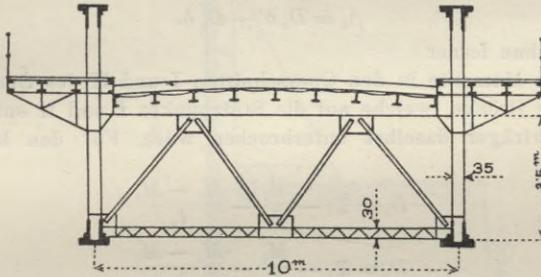


Abb. 224.

auszustifen. Sind die Längsträger zwischen die Querträger versenkt, so bewirken die Anschlußwinkel die Ausstiftung des Querträgers; für hohe Querträger und größeren Längsträgerabstand kann sich die Anbringung schräger Winkeleisenstifen an den Trägerenden empfehlen (Abb. 222).

Bei oben, oder wenigstens in entsprechender Höhe über dem Untergurt der Hauptträger liegenden Querträgern hat man oft die Querverstrebungen zwischen den Hauptträgern dazu benützt, um Stützpunkte für die Querträger zu schaffen. Es entsteht so entweder ein Dreieckssprengwerk (Abb. 134, 223) oder ein Fachwerksträger mit biegungsstifem Obergurt (Abb. 224).

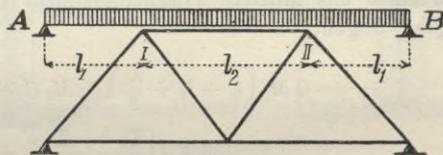


Abb. 225.

Die Berechnung eines in solcher Art gestützten Querträgers kann auf Grund der Theorie des kontinuierlichen Trägers auf elastisch nachgiebigen Stützen erfolgen.

Es bezeichne (Abb. 225):

D_1 den Druck im Punkte I

D_2 „ „ „ „ II

δ_{11} die Senkung des Fachwerkes im Punkte I infolge einer Kraft 1 im Punkte I

δ_{12} die Senkung im Punkte I infolge einer Kraft 1 im Punkte II
 $\delta_{21} = \delta_{12}$ „ „ „ „ II „ „ „ 1 „ „ I
 δ_{22} „ „ „ „ II „ „ „ 1 „ „ II

Die unter der Belastung auftretende Senkung ist sonach

$$\begin{aligned} \text{im Punkte I} \dots \Delta_1 &= D_1 \delta_{11} + D_2 \delta_{12} \\ \text{„ „ II} \dots \Delta_2 &= D_1 \delta_{21} + D_2 \delta_{22}. \end{aligned}$$

Zufolge der angenommenen Symmetrie der Anordnung ist $\delta_{11} = \delta_{22} = \delta$ und $\delta_{12} = \delta_{21} = \delta'$, demnach

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= D_1 \delta + D_2 \delta' \\ \Delta_2 &= D_1 \delta' + D_2 \delta. \end{aligned}$$

Es bezeichne ferner

$M_1 M_2$ die Momente in den Querschnitten I und II des Querträgers

$\mathfrak{D}_1 \mathfrak{D}_2$ die Drücke, welche auf die Stützpunkte I und II entfallen würden, wenn der Querträger daselbst unterbrochen wäre. Für den kontinuierlichen Träger ist

$$\begin{aligned} D_1 &= \mathfrak{D}_1 - \frac{M_1}{l_1} - \frac{M_1 - M_2}{l_2} \\ D_2 &= \mathfrak{D}_2 - \frac{M_2}{l_1} - \frac{M_2 - M_1}{l_2} \end{aligned}$$

Rechnet man damit Δ_1 und Δ_2 und setzt die erhaltenen Ausdrücke in die Clapeyronschen Momentengleichungen für einen Träger, dessen Stützen um Δ_1 und Δ_2 gesenkt wurden, so erhält man mit Einführung der abkürzenden Bezeichnungen

$$\left. \begin{aligned} 6 E J \left[\frac{1}{l_1^2} \delta + \frac{2}{l_2} \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \right) (\delta - \delta') \right] &= \lambda_1 \\ 6 E J \left[\frac{1}{l_1^2} \delta' - \frac{2}{l_2} \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \right) (\delta - \delta') \right] &= \lambda_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 60$$

worin J das mittlere Trägheitsmoment des Querträgers ist, die Bestimmungsgleichungen:

$$\begin{aligned} 2 M_1 \left(l_1 + l_2 + \frac{\lambda_1}{2} \right) + M_2 (l_2 + \lambda_2) &= -6 \left[\frac{N_{a1}}{l_1} + \frac{N_{b2}}{l_2} \right] + \\ &+ 6 E J \left[\frac{\mathfrak{D}_1 \delta + \mathfrak{D}_2 \delta'}{l_1} + \frac{(\mathfrak{D}_1 - \mathfrak{D}_2) (\delta - \delta')}{l_2} \right] \\ M_1 (l_2 + \lambda_2) + 2 M_2 \left(l_1 + l_2 + \frac{\lambda_1}{2} \right) &= -6 \left[\frac{N_{a2}}{l_2} + \frac{N_{b3}}{l_1} \right] + \\ &+ 6 E J \left[\frac{\mathfrak{D}_1 \delta' + \mathfrak{D}_2 \delta}{l_1} - \frac{(\mathfrak{D}_1 - \mathfrak{D}_2) (\delta - \delta')}{l_2} \right] \end{aligned}$$

Unter Annahme unnachgiebiger Stützpunkte seien die Stützenmomente M_1^0 und M_2^0 , wofür die Gleichungen bestehen:

$$\begin{aligned} 2 M_1^0 (l_1 + l_2) + M_2^0 l_2 &= -6 \left[\frac{N_{a1}}{1} + \frac{N_{b2}}{l_2} \right] \\ M_1^0 l_2 + 2 M_2^0 (l_1 + l_2) &= -6 \left[\frac{N_{a2}}{l_2} + \frac{N_{b3}}{l_1} \right] \end{aligned}$$

Anschlußwinkeln zu vernieten. Um dabei Verkröpfungen zu vermeiden, kann der Querträgerquerschnitt auch nach Abb. 232 ausgeführt werden mit zwischen Stegblech und Gurtwinkel eingelegten Flach-eisen, welche an den Anschlußwinkeln endigen. In gleicher Art ist auch der Anschluß von Walzträgern auszubilden; man wird hier aber bloß einen Anschlußwinkel der Höhe nach durchreichen lassen, um nur den halben Trägerflansch abschneiden zu müssen (Abb. 233).

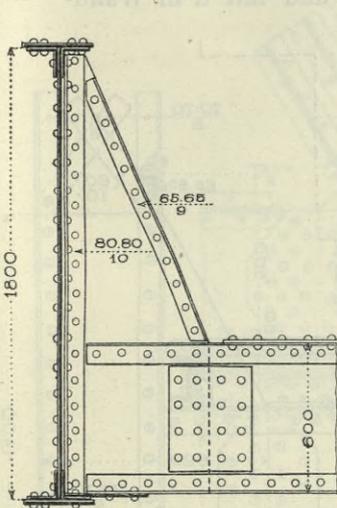


Abb. 230.

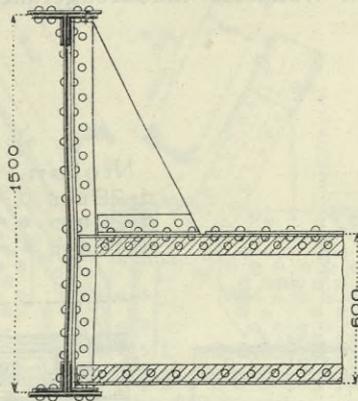


Abb. 231.

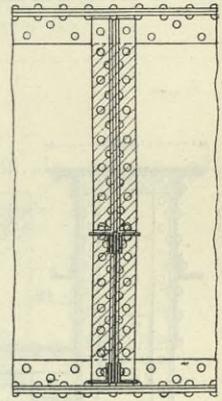


Abb. 232.

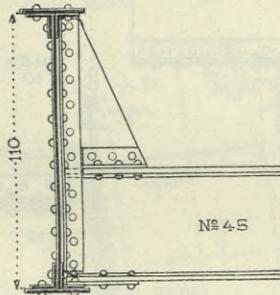
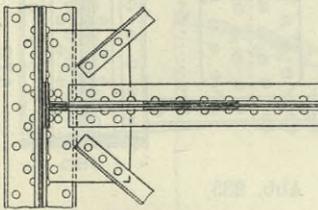
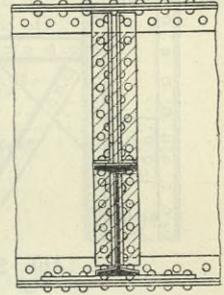


Abb. 233.



Bei Fachwerksbrücken erfolgt der Anschluß der genieteten Querträger an lotrechten Wandstäben, denen am besten ein solcher Querschnitt gegeben wird, daß der Querträgersteg oder ein an dessen Stelle eingesetztes Anschlußblech in sie eingeschoben und vernietet werden kann. Es wird dadurch erreicht, daß die Anschlußnieten nur auf Abscheeren beansprucht werden. Geeignete Querschnitte der Vertikalstäbe sind hiefür die aus Winkel- oder doppelten — -Eisen zusammengesetzten $+$ und $-$ -Formen $\frac{+}{\text{—}}$ $\frac{-}{\text{—}}$ $\frac{+}{\text{—}}$. Das Anschlußblech soll aber in der ganzen Breite des Stabes durchreichen und

nicht etwa bloß mit einer Stabhälfte verbunden werden. Haben die \perp -förmigen Stäbe ein volles Wandblech, so ist dessen Stoß mit dem Anschlußblech zu verlaschen (Abb. 234). Liegt der Querträger an einer Gurtung des Hauptträgers, so wird das Anschlußblech entweder in der Höhe des Gurtsteges, beziehungsweise des daselbst liegenden Knotenbleches geschlitzt, um den Gurt ohne Unterbrechung durchzulassen (Abb. 135 a, 235, 236) oder es wird nur oberhalb des Gurtes durch den Wandstab hindurchgeführt und mit dem Wand-

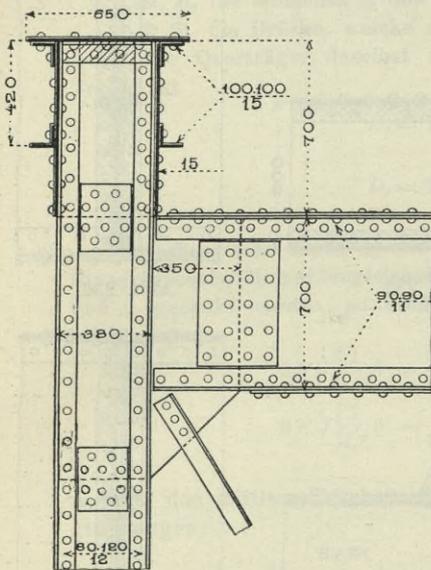


Abb. 234

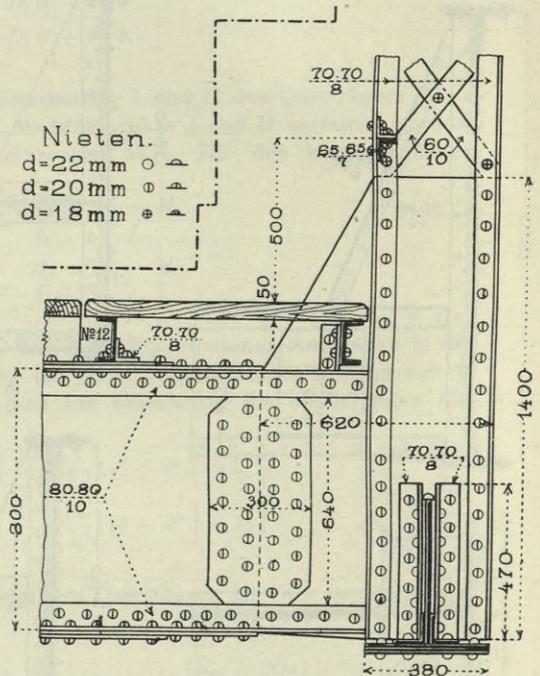


Abb. 235.

blech des Stabes gestoßen (Abb. 237). Jedenfalls sollen bei zweiteiligen Gurtungen die beiden Gurthälften am Querträgeranschluß immer durch einen vollwandigen Quersteg verbunden werden, um sie möglichst gleichmäßig zum Tragen zu bringen. An der Innenseite sind in der Höhe des Querträgeranschlusses Winkel zu nieten, die man über die einspringende Ecke oder über das Schlitzende des Anschlußbleches hinaufführt und deren mehrmalige Kröpfung durch untergelegte Futterbleche vermieden wird.

Um diesen durch die vielschnittige Gestalt der Eckbleche etwas komplizierten Anschluß zu vereinfachen, legt man bei ausreichender Bauhöhe die Querträger gerne über die Untergurte (Abb. 145) oder

träger oder an lotrechte Stäbe ihrer Ausfachung durch Vernietung fest angeschlossen. Bei Lage der Querträger an einem Hauptträgergurt ist es bei ausreichender Höhe der Gurtstegbleche wohl auch möglich, den Anschluß bei fehlenden lotrechten Wandstäben bloß an den Gurtungen durchzuführen (Abb. 228). Die Verbindung erfolgt

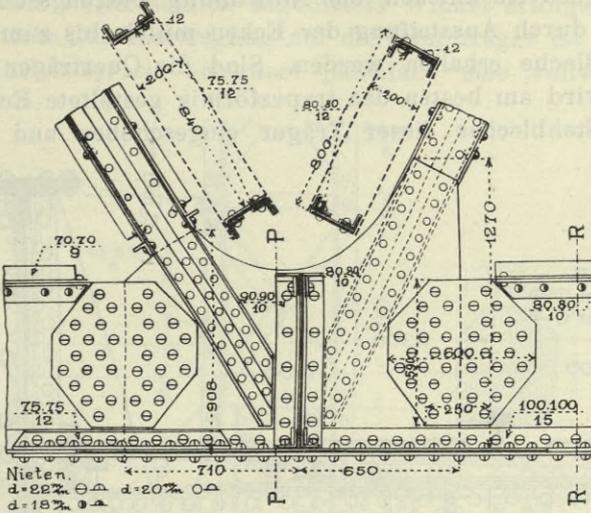


Abb. 228 a.

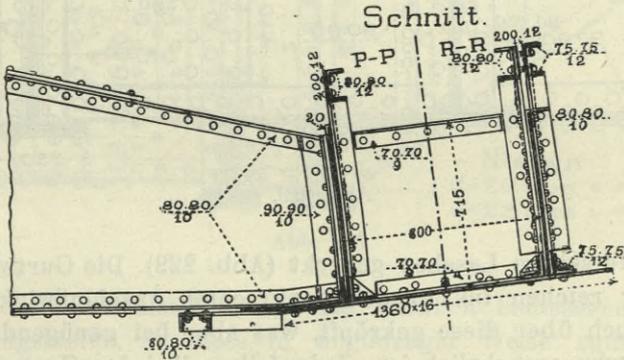


Abb 228 b.

Donaubrücke bei Cernawoda.

dabei immer derart, daß der Steg des Querträgers oder ein an dessen Stelle eingesetztes Anschlußblech zwischen doppelten Winkeln gefaßt wird. Die Abb. 229 bis 239 geben Beispiele für solche feste Querträgeranschlüsse.

Sind die Hauptträger vollwandige Blechträger, so läßt man die Anschlußwinkel über die ganze Höhe der Wand reichen und ver-

nietet sie auch mit den Gurtwinkeln, was entweder ein Überkröpfen oder die Unterlage von Futterblechen erfordert. Blechträgerbrücken sind bei versenkter oder unten liegender Fahrbahn wegen der geringen Höhe der Hauptträger immer als oben offene Brücken auszuführen. Bei diesen verlangt aber die Sicherung des Druckgurtes gegen seitliches Ausknicken die Anordnung biegungssteifer Halbrahmen, die durch Aussteifung der Ecken mittels bis zum Obergurt reichender Bleche erhalten werden. Sind die Querträger genietete Träger, so wird am besten das trapezförmig gestaltete Eckblech an Stelle des Stegbleches dieser Träger eingeschoben und der Stoß

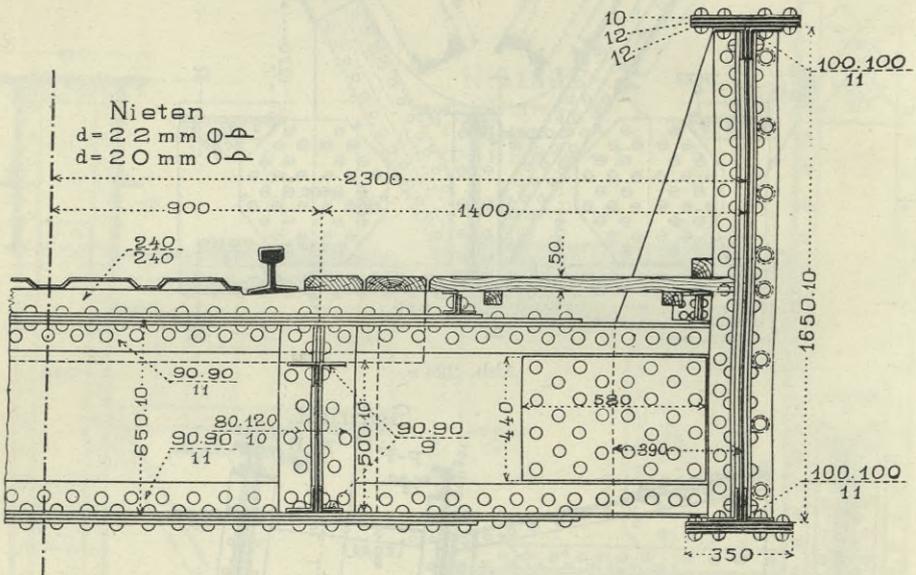


Abb. 229.

durch beiderseitige Laschen gedeckt (Abb. 229). Die Gurtwinkel der Querträger reichen bis zu den senkrechten Anschlußwinkeln oder sie sind auch über diese gekröpft, was aber bei genügender Größe der Eckbleche entbehrlich ist. Jedenfalls soll jeder Gurtwinkel mit so viel Nieten an das Eckblech angeschlossen werden, als notwendig, um seine Spannung an dieses abzugeben. Es empfiehlt sich hohe Eckbleche am Rande mit Winkleisen zu säumen (Abb. 230). Will man keinen Stoß im Stegblech des Querträgers anordnen, so werden zur Eckaussteifung dreieckige Eckbleche verwendet, die zwischen die senkrechten Anschlußwinkel und mittels horizontaler Winkel an den Querträgergurt genietet werden (Abb. 231). Es empfiehlt sich in diesem Falle die Gurtwinkel der Querträger auch mit den

verringert deren Endhöhe durch Aufbiegung des Querträger-Untergurtes (Abb. 238); allerdings ist damit eine nicht ganz unmittelbare Übertragung der in der Fahrbahn auftretenden wagrechten Kräfte auf den Windverband verbunden. Ist der Vertikalstab nicht derart gestaltet, daß der Querträgersteg eingeschoben werden kann, so muß der Anschluß durch seitlich angenietete Winkel erfolgen (Abb. 239). Die zentrische Lastübertragung auf die Hauptträger ist hier weniger gut gewährleistet; sie erfordert jedenfalls eine vollwandige Aus-

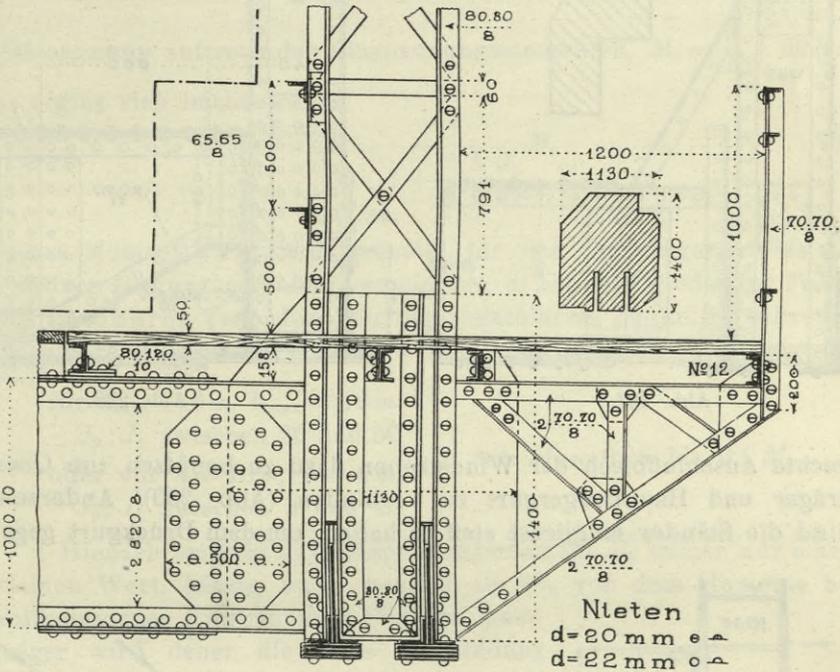


Abb. 236.

bildung der Vertikalstäbe und eine reichlich bemessene Zahl von Befestigungsnieten, da diese in ungünstiger Weise zum Teil auf Zug beansprucht werden.

Bei allen diesen festen Querträgeranschlüssen treten nämlich in den Anschlußstellen nicht bloß lotrechte Scheerkräfte sondern auch Drehmomente auf. Liegt die Fahrbahn versenkt oder ganz am Untergurte und fehlt ein oberer Querverband, hat man es sonach mit einer offenen Brücke zu tun, so wird die Durchbiegung eines belasteten Querträgers für den Obergurt die Tendenz einleiten, nach innen zu knicken, wodurch am oberen Ständerende eine nach einwärts gerichtete Kraft und am Auflager des Querträgers ein positives

Moment hervorgerufen wird (Abb. 240). Die Befestigung des Querträgers wird hier sonach am unteren Rande auf Zug beansprucht und es empfiehlt sich deshalb, die unteren Gurtwinkel bis an den Hauptträgergurt zu führen und mit ihm zu vernieten oder das wag-

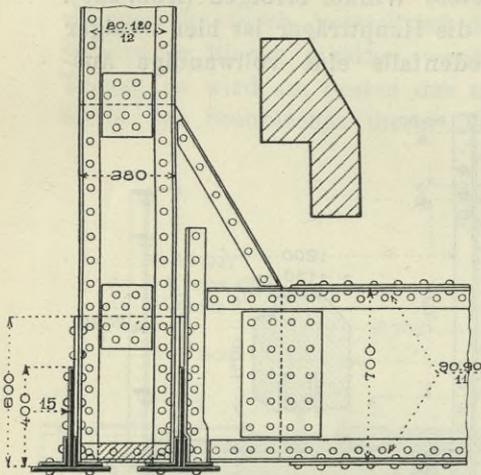


Abb. 237.

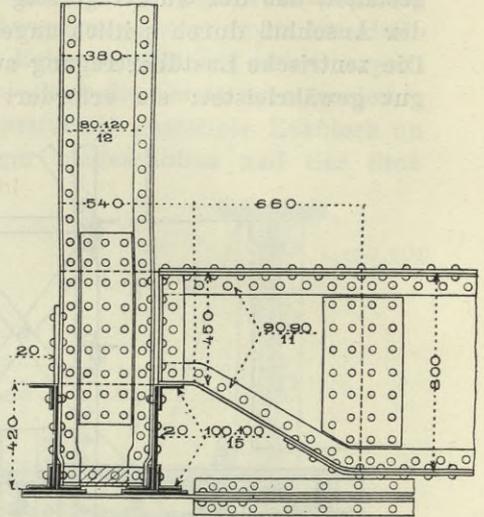


Abb. 238.

rechte Anschlußblech der Windstreben dazu zu benutzen, um Querträger und Hauptträgergurt zu verbinden (Abb. 230). Andererseits sind die Ständer möglichst steif zu halten, um dem Druckgurt gegen

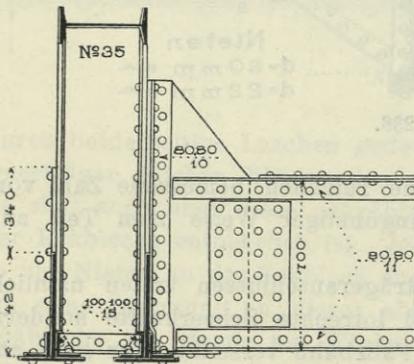


Abb. 239.

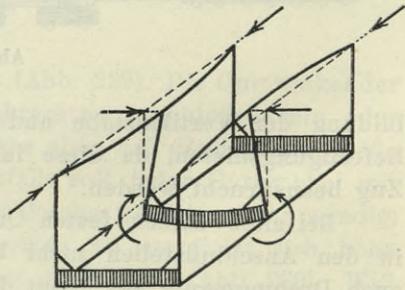


Abb. 240.

das Ausknicken eine Stütze zu bieten; man wird daher den Querträgeranschluß nach oben durch eine entsprechend hochgeführte Eckaussteifung verstärken.

Ist ein oberer Querverband vorhanden, so tritt bei einer Durchbiegung der belasteten Querträger auch eine Biegung der mit ihnen festverbundenen Wandstäbe auf (Abb. 241). Im Anschlusse des Querträgers entsteht ein Einspannungsmoment, das um so größer ist, je steifer die Wandstäbe sind. Setzt man gelenkigen Anschluß des oberen Querriegels voraus und bezeichnet J_1 das konstant angenommene Trägheitsmoment eines Wandständers, J_2 das konstant gesetzte Trägheitsmoment des Querträgers, ferner M_0 das Mittel aus den beiden unter der Belastung für eine vollkommene, wagrechte Einspannung auftretenden Einspannungsmomenten, $M_0 = \frac{1}{b} \int_0^b \mathfrak{M} dx$, so ergibt sich leicht

$$M_1 = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \frac{h}{b} \frac{J_2}{J_1}} M_0 \dots \dots \dots 62)$$

Dieses Moment wirkt wohl günstig für den Querträger, da es die positiven Biegemomente vermindert, es hat aber wieder zur Folge, daß im oberen Teile des Querträgeranschlusses Zugkräfte auftreten. Ungefähre Grenzwerte von M_1 werden etwa erhalten

$$\left. \begin{array}{l} \text{für } h_{\min} = 6 \text{ m, } b_{\max} = 12 \text{ m,} \\ J_2 : J_1 \text{ zwischen 30 und 50} \\ \text{oder für } h = 10 \text{ m, } b = 4 \text{ m,} \\ J_2 : J_1 \text{ zwischen 5 und 10} \end{array} \right\} \text{ mit } M_1 = 0.06 \text{ bis } 0.1 M_0.$$

Hienach erreicht das Einspannungsmoment M_1 immer nur einen kleinen Wert, häufig noch weniger als 6% von dem Momente bei vollkommener Einspannung. Für den Querträger wird daher die feste Verbindung keinen nennenswerten Unterschied in den Biegemomenten gegenüber der freien Auflagerung bewirken, dagegen kann die dadurch in den Wandstäben hervorgerufene Biegebbeanspruchung immerhin eine Berücksichtigung verlangen. Eine Eckaussteifung im Querträgeranschlusse ist hier nicht notwendig; man führt das Anschlußblech auch nur so hoch, als es konstruktive Rücksichten und die Unterbringung der notwendigen Anzahl Befestigungsnieten erfordern. Letztere ist aus dem größten Auflagerdruck des Querträgers und dem oben bestimmten Momente M_1 nach Formel 20) (S. 88) zu berechnen. Natürlich ist auch die Stoßdeckung zwischen

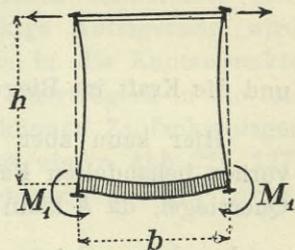


Abb. 241.

Querträgersteg und Eckblech nach der in dieser Formel ausgedrückten Regel auszubilden.

Bei oben offenen Brücken mit versenkter Fahrbahn ist, wie oben bemerkt wurde, eine Einspannungswirkung für die Querträger nicht anzunehmen, da eine solche nur durch den geringen Verdrehungswiderstand der Hauptträger hervorgerufen werden könnte und bei Knicktendenz des Obergurtes sich das Einspannungsmoment sogar in umgekehrter Richtung, d. i. die positiven Biegemomente vergrößernd, geltend machen würde. Wir berechnen daher die Querträger im allgemeinen als frei aufliegend.

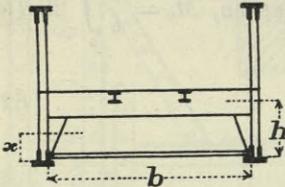


Abb. 242.

Eine Verminderung der Biegemomente im Querträger tritt aber dann ein, wenn die Hauptträger unterhalb der Querträger durch Zugriegel verbunden werden (Abb. 242). Bezeichnet

J_2 das konstant angenommene Trägheitsmoment des Querträgers,

J_1 ein mittleres Trägheitsmoment des Wandstabes in der Höhe h ,

das sich aus $J_1 = \frac{3}{h^3} \int_0^h x^2 dx$ rechnet,

F die Querschnittsfläche des Zugriegels, so erhält man, wenn wieder wie oben M_0 das Moment für horizontale Einspannung ist, für das Einspannungsmoment des Querträgers

$$M_1 = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \frac{h}{b} \frac{J_2}{J_1} + \frac{J_2}{Fh^2}} M_0 \quad \dots \quad (63)$$

und die Kraft im Riegel $H = \frac{M_1}{h}$.

Hier kann aber M_1 beträchtlich größer werden als in dem vorher behandelten Falle einer geschlossenen Brücke mit oberem Querriegel, da h klein und J_1 durch Eckaussteifung groß gemacht werden kann. Setzt man beispielsweise $\frac{h}{b} = \frac{1}{5}$ $\frac{J_2}{J_1} = 5$ $\frac{J_2}{Fh^2} = \frac{1}{3}$, so wird $M_1 = \frac{1}{2} M_0$, d. i. halb so groß wie das Moment bei vollkommener Einspannung. Es kann sonach durch diese Anordnung eine merkliche Entlastung des Querträgers erzielt werden. Allerdings ist dabei vorauszusetzen, daß der Querriegel nicht schlaff sondern in Spannung eingesetzt wird.

c) Gelenkige Auflagerung der Querträger bei tief liegender Fahrbahn. Nach dem oben Gesagten hat der feste Querträgeranschluß bei geschlossenen Brücken immer Biegungsbeanspruchungen der Wandglieder und eine Torsion der Gurte zur Folge, ohne gleichzeitig eine nennenswerte Verminderung der auf den Querträger einwirkenden Biegemomente herbeizuführen. Auch ist eine zentrische Lastübertragung auf die Hauptträger damit nur unvollkommen zu erreichen, die Innenseite der Hauptträgerwand wird besonders bei doppelstegigen Gurten immer etwas stärker belastet. Trotzdem bildet aber der feste Anschluß die Regel, da er zur Erhöhung der Quersteifigkeit des Brückentragwerkes in erwünschter Weise beiträgt. Dort aber, wo die seitliche Stabilität der Hauptträger in anderer Weise gesichert ist, kann auch eine freie gelenkige Auflagerung der

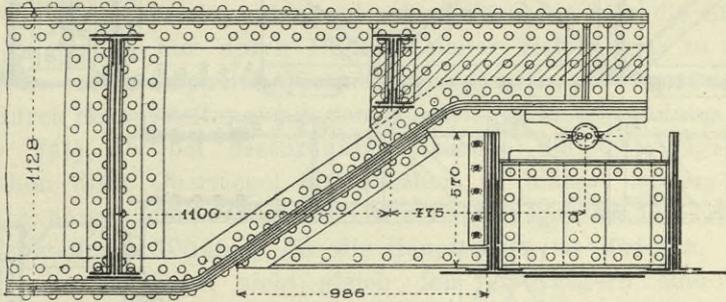


Abb. 243.

Querträger auf die Untergurte der Hauptträger durchgeführt werden. Sie bietet den Vorteil, daß alle erwähnten Nebenspannungen in den Hauptträgerwänden hinwegfallen und daß deren vollkommen zentrische Belastung erzielt wird. Die gelenkige Auflagerung wird mittels kleiner Kipplager bewerkstelligt, die in die Knotenpunkte des Untergurtes oder bei höher liegenden Querträgern in die lotrechten Wandstäbe eingebaut werden. Es können Zapfenkipplager oder Linienkipplager (Tangentallager, ähnlich wie in Abb. 226, 227) angewendet werden mit entsprechenden Sicherungen gegen Längs- und Querverschiebung.

Die gelenkige Querträgerauflagerung ist besonders bei holländischen Brücken (Brücke über die Merwede bei Dortrecht, Rheinbrücke bei Rhenen, Abb. 243, Maasbrücke bei Heumen u. a.) zur Ausführung gekommen und sie wird gegenwärtig bei den Brückenbauten in Rußland (Wolgabrücke bei Twer, Belayabrücke, Brücken der Moskauer Ringbahn Abb. 244 u. a.) bevorzugt. Andere Beispiele sind die Tolbiacbrücke in Paris (Abb. 245), Brücken der Jura-Simplonbahn,

in Deutschland die Saarbrücke bei Saarburg, der Entwurf der Nürnberger Maschinenbaufabrik für die Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Worms u. a.

Bei den russischen Brücken sind die lotrechten Wandstäbe der

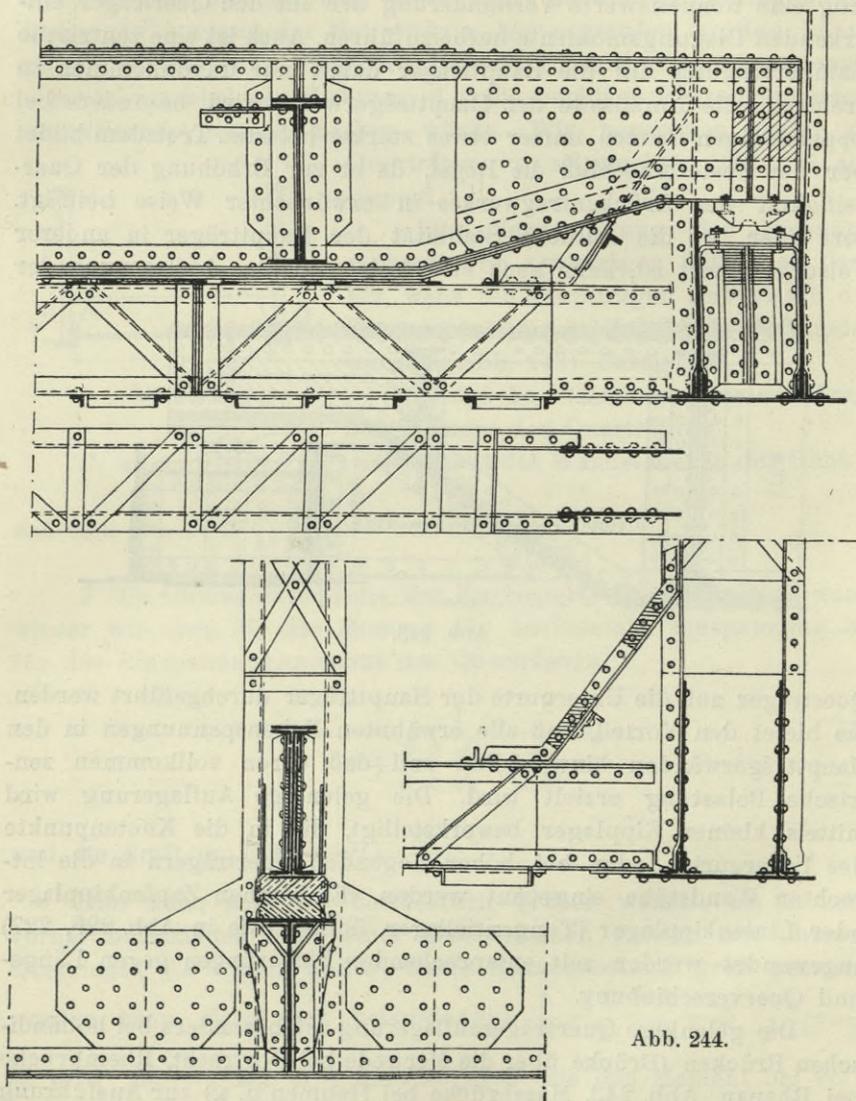


Abb. 244.

Hauptträger aus vier durch Gitterwerk verbundene Winkeleisen gebildet, die soweit auseinander gerückt sind, daß der Querträger dazwischen eingeführt und auf ein die beiden Stege des Untergurtes verbindendes Querstück gelagert werden kann (Abb. 244). Man könnte

die kastenförmige Ausbildung des Stabes aber auch nur auf die Höhe des Querträgers beschränken und ihn im oberen Teile mit dem üblichen I-Querschnitt ausführen (Entwurf der Wormser Rheinbrücke). Bei der Tolbiacbrücke fehlen die lotrechten Ausfachungsstäbe und es ist der Querträger durch einen Ausschnitt des Knotenbleches gesteckt (Abb. 245).

Die in der Fahrbahnebene auftretenden wagrechten Seitenkräfte sind auf den zwischen den Hauptträgern angebrachten Windverband entweder in den Lagern der Querträger oder durch Kontakt der Querträger mit den Hauptträgeruntergurten (Abb. 243) zu übertragen. Die Seitenabsteifung des Tragwerks verlangt aber zumeist auch eine Verbindung der Gurtungen, an denen die Querträger liegen, durch besondere, fest angeschlossene Querriegel und es ist eine solche Verbindung bei den offenen Brücken mit fehlendem oberem Querverbande unbedingt erforderlich, da hier die Stabilität der Tragwände nur durch Bildung steifer Halbrahmen zu sichern ist. Man ordnet doppelte Querriegel beiderseits der Querträger an, die durch Eckaussteifung mit den Wandstäben in Verbindung stehen (Abb. 244). Da bei beschränkter Bauhöhe die Querträger aber zwischen diese Querriegel hinabreichen, so müssen letztere gitterförmig ausgebildet werden, um die Längsträger hindurchzulassen. Die absteifende Wirkung für die Hauptträger ist dadurch, um so mehr, als die Riegel nicht gleich den Querträgern eine Längsaussteifung durch die Fahrbahnträger erhalten können, eine verminderte und nachdem mit dieser Anordnung auch ein nicht unbeträchtlicher Mehraufwand an Material und Arbeit verbunden ist, so ist für offene Brücken der feste Querträgeranschluß entschieden vorzuziehen und die gelenkige Auflagerung auf geschlossene Brücken zu beschränken.

Der gelenkige Anschluß ist auch bei angehängten Fahrbahnen in mehr oder minder vollkommener Weise zur Ausführung gebracht worden. So zeigen die älteren amerikanischen Fachwerksbrücken mit Bolzenknoten durchwegs Querträger, die an die Knotenpunktsbolzen mittels sie umgreifender Bügel angehängt sind. Diese in bezug auf die wagrechte Absteifung allerdings sehr mangelhafte Konstruktion wird aber jetzt allgemein nach europäischem Muster durch den festen Nietanschluß der Querträger an die lotrechten Pfosten der Ausfachung ersetzt. Dagegen finden wir neuere Ausführungen von gelenkig angehängten Querträgern bei deutschen Brücken, besonders bei dem vielfach angewandten System der Bogenbrücken mit Zugband (Abb. 246). Hier sind die Querträger an Hängestangen angeschlossen und es läßt sich wieder durch gelenkige Verbindung

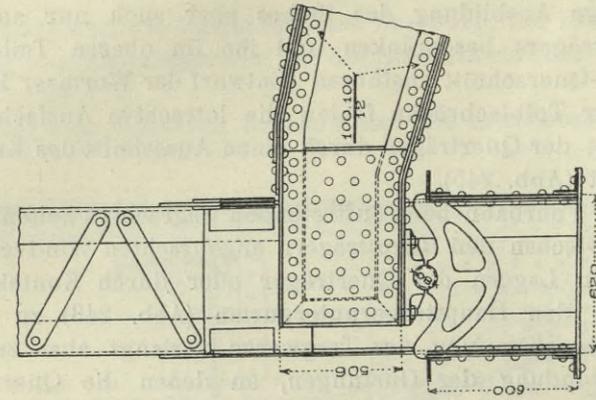


Abb. 245 b.

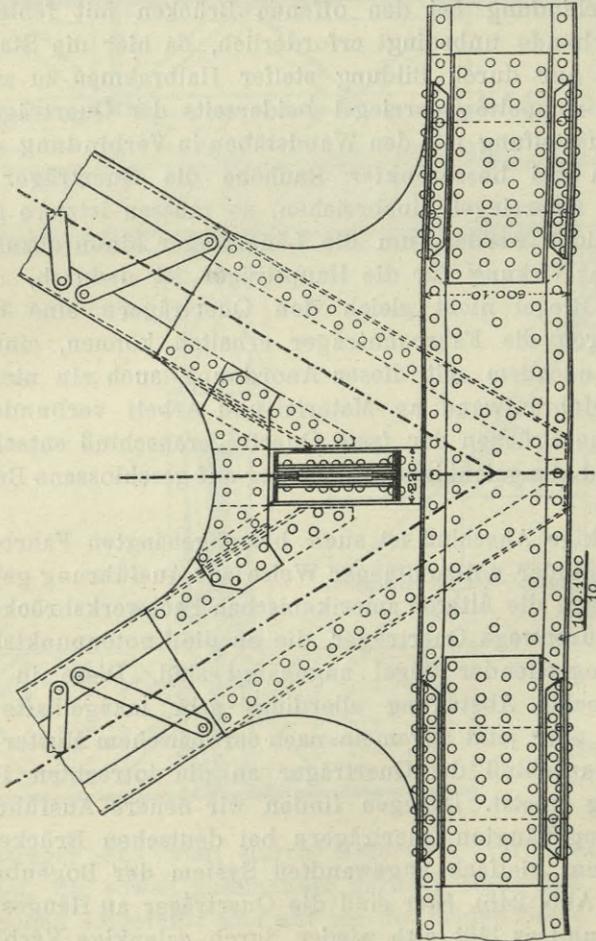


Abb. 245 a.

Abb. 245. Tolbiac-Brücke in Paris.

die Übertragung von Biegungsspannungen auf letztere verhindern. Um aber auch die Fahrbahnträger von den Spannungen des Zugbandes frei zu halten und durch dessen Dehnungen nicht jene Wirkungen hervorzurufen, wie sie oben durch die Abb. 201 bis 203 veranschaulicht sind, hat man das Zugband mit den Hängestangen und Querträgern nicht fest verbunden, sondern nur in einen losen Zusammenhang gebracht. Es entsteht dadurch die sogenannte „Freischwebende Fahrbahntafel“, die zuerst von der Gesellschaft Harkort, 1895 bei ihrem Entwurf für die Bonner Rheinbrücke in Vorschlag gebracht und 1900 bei der Eisenbahnbrücke bei Worms verwirklicht wurde. Weitere Anwendungen zeigen die Straßenbrücke über die Mosel bei Tarbach, die zweigleisige Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Mainz (1904) u. a.

Bei der Eisenbahnbrücke zu Worms, auf welche sich die Abb. 246 bis 249 beziehen, sind die Querträger in dem mit beider-

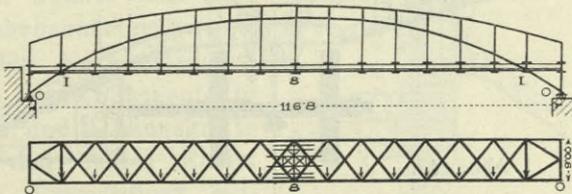


Abb. 246.

seitigen Futterblechen verstärkten Stege mittels Gelenkbolzen an zwei Flacheisen gehängt, die die Fortsetzung der Hängestangen bilden und durch Schlitze in den wagrechten Schenkeln der Obergurtwinkel des Querträgers hindurchgehen. Das Zugband hängt bloß pendelnd an einem Lagerkörper, der durch zwei über die Muttern der Gelenkbolzen geführte Bügel am Untergurt der Querträger festgehalten wird. Das aus Quer- und Längsträgern bestehende Fahrbahngerippe ist derart nur durch die frei endigenden Hängestangen mit dem Tragwerk der Brücke in Verbindung, so daß die Längenänderungen des Zugbandes darauf nicht übertragen werden. Dabei ist aber eine Verschiebung der Fahrbahntafel sowohl in der Quer- richtung infolge der wagrechten Seitenkräfte als auch in der Längs- richtung infolge der Bremskräfte unmöglich gemacht. Die Quer- verschiebung wird dadurch verhindert, daß sich die Querträger mit senkrechten Kontaktflächen an die Knotenbleche des zwischen den Zugbändern angebrachten Windverbandes legen, ohne mit ihnen verbunden zu sein; die Festlegung der an den Hängestangen pen- delnden Fahrbahn in der Längsrichtung geschieht am mittelsten

Querträger, der beiderseits mit dem Zugband der Hauptträger in feste Verbindung gebracht und als Bremsträger ausgebildet ist

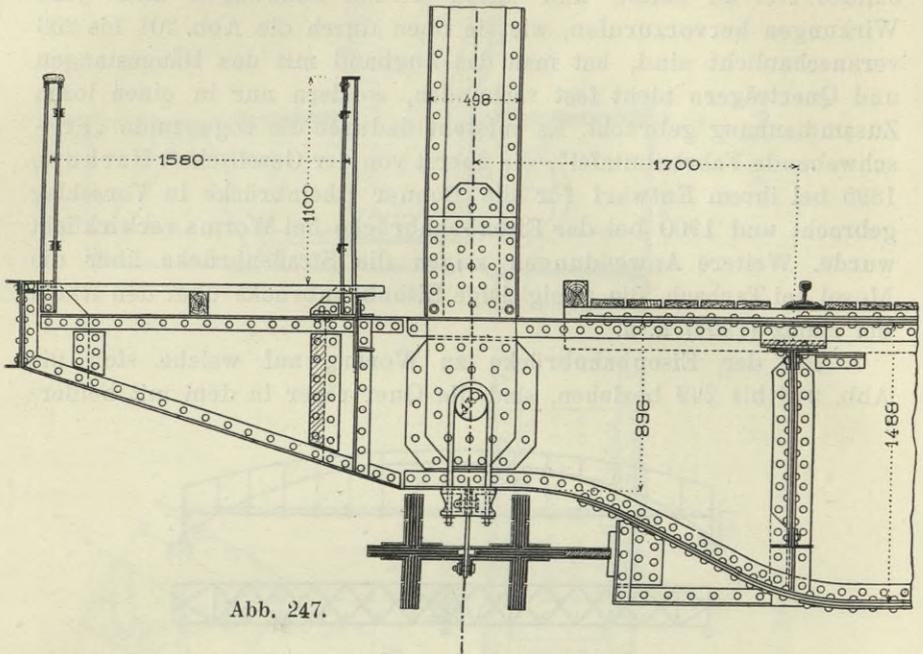


Abb. 247.

(Abb. 248); ebenso sind die in den Knotenpunkten 1 und 1' (Abb. 246) liegenden Querträger mit den Hauptträgern fest verbunden, wogegen

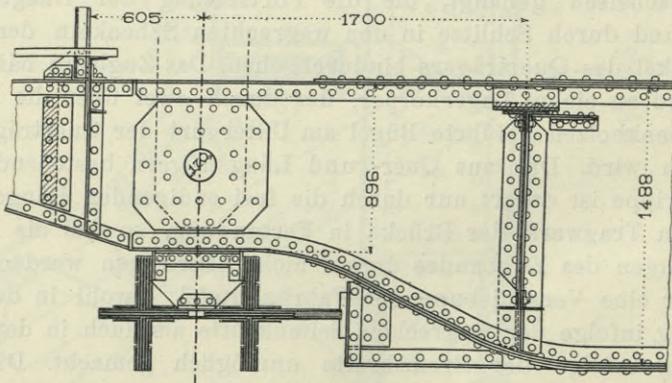


Abb. 248.

die Längsträger der Fahrbahn an den Enden des eingehängten Teiles in den Knotenpunkten 1 und 1' längsbeweglich angeschlossen sind (Abb. 249).

Natürlich setzt die gelenkige Anhängung der Querträger das Vorhandensein eines oberen Windverbandes voraus. Fehlt dieser oder reicht er nicht bis ans Trägerende, so sind in dem offenen Teile die Querträger mit den Hängestangen durch feste Vernietung zu steifen Halbrahmen zu vereinigen.

Es ist noch zu beachten, daß die Hängestangen, die an den Bogen fest angeschlossen, während gleichzeitig ihre unteren Enden durch die Fahrbahn in der Längsrichtung der Brücke festgehalten sind, durch die Formänderung des Bogens Biegebungsbeanspruchungen in der Trägerebene erleiden, die bei den von der Mitte am weitesten abstehenden kurzen Hängestangen am größten sind. Man hat daher bei großen Stützweiten die kurzen Hängestangen auch durch Blattgelenke oder Bolzgelenke an den Bogen nach dessen Längsachse beweglich angeschlossen. Statt dessen könnte man aber auch das Fahrbahnträgergerippe nicht an den Endquerträgern sondern in der Brückenmitte unterbrechen und die Längskräfte durch an den beiden Enden angeordnete Bremsträger aufnehmen.

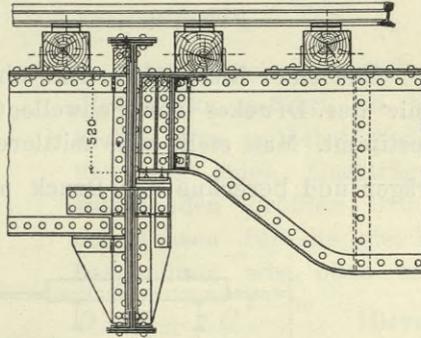


Abb. 249.

Die freischwebende Fahrbahn bietet übrigens aber nicht die einzige Möglichkeit, um Zwängspannungen zwischen den Hauptträgern und der Fahrbahn zu vermeiden oder wenigstens herabzumindern; man kann vielmehr auch beim Bogen mit Zugband den Fahrbahnanschluß in gleicher Weise wie bei den Balkenfachwerksträgern mit festem Anschluß der lotrechten Stäbe an den Zuggurt durchführen, wenn nur nach den auf Seite 197 entwickelten Grundsätzen dafür gesorgt wird, daß durch Unterbrechung des Fahrbahnträgergerippes an mehreren Stellen in letzteres keine zu großen Längskräfte eingetragen werden. Es ist diese Anordnung neuerdings wieder bei der von der Gesellschaft Harkort nach dem System des Bogenträgers mit Zugband erbauten Nordbrücke in Köln zur Ausführung gebracht worden.

Die Berechnung der Querträger erfolgt auch bei festem Anschluß unter Annahme freier Auflagerung, da nach dem oben darüber Gesagten die Einspannungswirkung, die bei geschlossenen Brücken auftritt, wegen des geringen Biegungswiderstandes der Wandglieder nur eine geringe ist. Ausnahmen ergeben sich bei den

durch Abb. 223 oder 242 dargestellten Anordnungen. Als Belastung sind für einen Querträger nebst seinem Eigengewichte und dem Gewichte des von ihm unmittelbar getragenen Fahrbahnstreifens die größten Drücke der an ihn angeschlossenen Fahrbahnlängsträger einzuführen.

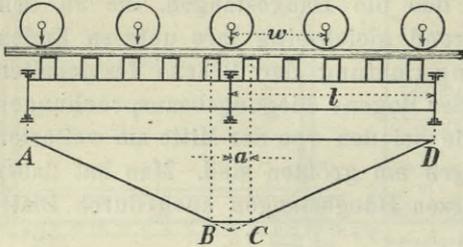


Abb. 250.

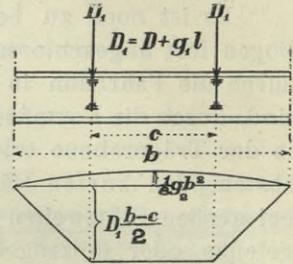


Abb. 251.

Bei einer Eisenbahnbrücke ohne Schotterbettung ist die Einflußlinie des Druckes der Schwellenträger durch $ABCD$, Abb. 250, bestimmt. Man stelle eine mittlere Lokomotivachse über den Querträger und berechne den Druck nach $D = G \frac{l-a}{l} + \Sigma G \frac{l-w}{l}$.

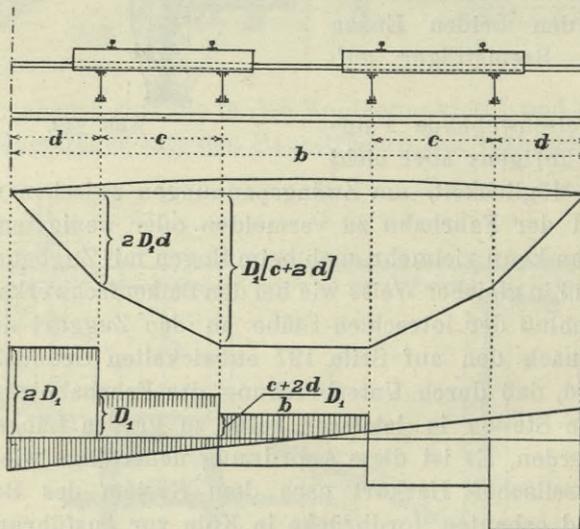


Abb. 252.

Hiezu kommt noch der Druck vom Gewichte des Oberbaues, der Bedielung und der Schwellenträger. Bezeichnet man dieses Gewicht pro Meter eines Längsträgers mit g_1 , so wird der in den Längsträgeranschlüssen übertragene größte Druck $D_1 = D + g_1 l$.

Zu den für diese Einzelkräfte berechneten Momenten am Querträger treten noch die Momente infolge seines eigenen Gewichtes

g_2 pro Meter. Für eine einleisige Brücke mit symmetrisch liegenden Schwellenträgern sind die Momente durch Abb. 251, für eine zweigleisige Brücke durch Abb. 252 dargestellt. Die Querkraft wird in der Mitte des einleisigen Trägers Null, bei der zweigleisigen Brücke ergibt sie sich bei Belastung bloß eines Gleises mit $\pm \frac{c+2d}{b} D_1$.

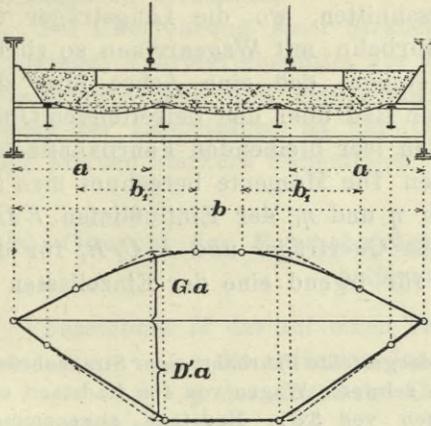


Abb. 253.

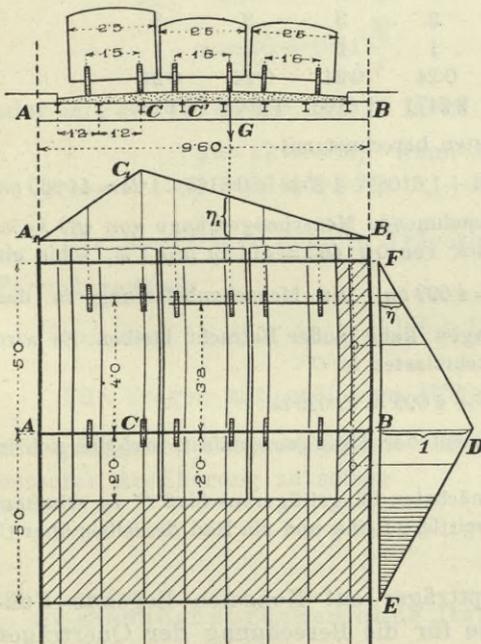


Abb. 254.

Ist das Schotterbett über die Brücke geführt, so berechne man zunächst wieder den auf einen Querträger entfallenden größten Druck der Achsen für die gleiche Laststellung wie oben mit

$$D = G + \Sigma G \frac{l-w}{l}$$

Hievon ist der Raddruck G der über dem Querträger stehenden Achse unter der Schiene wirksam anzunehmen, wobei aber mit einer Verteilung durch Querschwellen und Bettung auf etwa $b_1 = 1,3$ bis $1,5$ m Breite gerechnet werden kann. Der Druck der seitlich stehenden Achsen $D' = \Sigma G \frac{l-w}{l}$

überträgt sich durch die Längsträger und kann der auf jeden Längsträger entfallende Anteil unter der Annahme

bestimmt werden, daß die Fahrbahntafel nicht durchgehend, sondern an den Längsträgern unterbrochen ist. Damit ergibt sich die aus Abb. 253 ersichtliche Darstellung der Momente der Verkehrs-

belastung, welchen noch jene der Eigengewichtslast hinzuzufügen sind.

Bei den Querträgern der Straßenbrücken bestimme man die größten Momente in den Querschnitten, wo die Längsträger anschließen. Man hat dabei die Fahrbahn mit Wagenreihen so zu besetzen und die Wagen so zu stellen, daß eine Achse über den Querträger und wenn möglich ein Rad über den betreffenden Querschnitt zu stehen kommt. Auf den leer bleibenden Fahrbahnflächen ist Menschengedränge anzunehmen. Die Momente berechnet man am besten mit Hilfe der Ordinaten η und η_1 der Einflußlinien EDF (Abb. 254) für den Druck auf den Querträger und $A_1 C_1 B_1$ für das Moment in C ¹⁾. Es ist nämlich für irgend eine der Einzellasten G das Moment in C .. $M = G \eta \eta_1$.

Beispiel. Für die in Abb. 254 dargestellte Fahrbahn einer Straßenbrücke wurde eine Belastung mit einem 20 t schweren Wagen von 4 m Radstand und im übrigen mit 12 t schweren Wagen von 3·8 m Radstand angenommen. Die gezeichnete Wagenaufstellung gibt das größte Moment im Querschnitt C des Querträgers AB . Man entnimmt den Einflußlinien folgende Ordinatenwerte:

$G =$	5	5	3	3	3	3
$\eta =$	1	1	1	1	1	1
$\eta =$	0·2	0·2	0·24	0·24	0·24	0·24
$\eta_1 =$	1·3125	2·625	2·2471	1·6108	1·2528	0·6165

womit sich das Moment der Radlasten berechnet mit

$$M = 5 (1·3125 + 2·625) 1·2 + 3 (2·2471 + 1·6108 + 1·2528 + 0·6165) \cdot 1·24 = 44·930 \text{ tm.}$$

Das hinter den Wagen anzunehmende Menschengedränge von 460 kg/m² gibt auf den Querträger einen Druck von 0·9 · 460 = 414 kg pro 1 m, sohin ein Moment in C von $\frac{1}{2} 0·414 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 6 = 4·099 \text{ tm}$. Die Menschenbelastung in den schmalen Streifen seitlich der Wagen kann außer Betracht bleiben. Es wird sohin das größte Moment der Verkehrslasten in C

$$M = 44·930 + 4·099 = 49·029 \text{ tm.}$$

Hiezu kommt noch das Moment der Eigengewichtslast, welches sich in bekannter Weise berechnet.

Um das größte Moment am nächsten Längsträgeranschluß C' zu erhalten, hätte man den 20 t Wagen in die mittlere Reihe und ein Rad desselben über C' zu stellen.

Sind außerhalb der Hauptträger auf Konsolen liegende Fußwege angeordnet, so sind diese für die Berechnung der Querträger als unbelastet anzunehmen, und es ist nur das kleine, vom Eigengewichte der Fußwege herrührende Stützenmoment von den positiven

¹⁾ Hartmann Friedr., „Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architektenvereins“, 1901, S. 166.

Querträgermomenten in Abzug zu bringen. Die Konsolen und das Moment im Querträgeranschluß sind natürlich für Vollbelastung des Fußweges zu berechnen.

Bei Überführung einer Straßenbahn sind auf deren Gleis die schwersten Fahrbetriebsmittel der Bahn und auf der übrigen Fahrbahnfläche Wagen und Menschengedränge anzunehmen. Die Aufteilung der Längsträger ist der Gleislage anzupassen; unter dem Gleis können stärkere Längsträger erforderlich werden.

§ 20. Gewicht der Fahrbahnträger und günstigste Querträgerentfernung.

Bezeichnet M das auf einen Träger einwirkende größte Moment
 s die zulässige Inanspruchnahme,
 g das metrische Gewicht des Trägers in kg

so kann man setzen:

für Walzträger $g = 17 + 0.06 \frac{M}{s}$, wenn die Trägerhöhe $h < 35 \text{ cm}$,

$$g = 36 + 0.04 \frac{M}{s}, \quad \text{„ „ „} \quad h > 35 \text{ cm}$$

oder mit $s = 750 \text{ kg/cm}^2$ und M in tm

$$g = 17 + 8 M, \quad \text{wenn } h < 35 \text{ cm}$$

$$g = 36 + 5.3 M, \quad \text{„ } h > 35 \text{ cm}$$

Für Blechträger mit der Trägerhöhe $h = \frac{1}{10} l$ wurde (S. 110) die Formel gegeben

$$g = 9 l + 18 \frac{M}{l}$$

Für Träger mit größerem Höhenverhältnis ($h = \frac{1}{7} l$ bis $\frac{1}{8} l$) und geringerer Veränderlichkeit der Gurtquerschnittsflächen ist mit besserer Annäherung zu setzen

$$g = 12 l + 16 \frac{M}{l}.$$

a) Eisenbahnbrücken ohne Durchführung der Bettung.

Es bezeichnet a die Querträgerentfernung,

b den Achsabstand der Hauptträger,

c den Abstand der Schwellenträger eines Gleises,

w den Abstand der Gleisachsen bei zweigleisigen Brücken.

Schwellenträger. Unter Zugrundelegung der durch die österreichische Brückenverordnung vorgeschriebenen Belastung für Hauptbahnen läßt sich das größte Moment in tm innerhalb der Spannweiten von 2 bis 6 m ziemlich gut ausdrücken durch

$$2a + 1.3a^2.$$

Das Gewicht der Fahrbahn (Schienen, Schwellen und Bohlenbelag) beträgt pro Meter Gleis 500 bis 600 kg , demnach wird das davon herrührende Moment im Mittel $\frac{1}{8} 0.56a^2 = 0.07a^2$, das Gesamtmoment sonach $2a + 1.37a^2$ und es entfällt auf einen Schwellenträger

$$M = a + 0.685a^2.$$

Es rechnet sich damit das metrische Gewicht

für einen Blechträger $g_1 = 16 + 23a$

$$\text{für einen Walzträger } \left\{ \begin{array}{l} g_1 = 17 + 8a + 5.48a^2, \\ \qquad \qquad \qquad \text{wenn } h < 35 \text{ cm oder } a < 2.8 \text{ m} \\ g_1 = 36 + 5.3a + 3.65a^2, \\ \qquad \qquad \qquad \text{wenn } h > 35 \text{ cm oder } a = 2.8 \text{ m} \\ \text{durchschnittlich } g_1 = 29a \end{array} \right.$$

Querträger. Ist D der von den Längsträgern übertragene Druck, so wird für die eingleisige Brücke das größte Moment am Querträger

$$M = \frac{1}{2} D(b - c).$$

Für die Belastung durch die Lokomotive des österreichischen Belastungszuges (3 Achsen mit 8, 10, 8 t Raddruck oder 5 Achsen mit je 8 t Raddruck in 1.4 m Abstand) kann man mit guter Annäherung setzen $D = 8 + 3.8a$, wozu noch vom Eigengewicht der Fahrbahn etwa 0.4 a zu rechnen ist, so daß man hat

$$D = 8 + 4.2a$$

Damit ergibt sich nach der Formel $g = 12b + 16\frac{M}{b}$ für den Blechträger das metrische Gewicht des Querträgers einer eingleisigen Brücke

$$g_2 = \frac{8(8 + 4.2a)(b - c)}{b} + 12b \dots \dots \dots 64)$$

Für den Querträger der zweigleisigen Brücke ist

$$M = D(b - w)$$

sonach das metrische Gewicht

$$g_2 = \frac{16(8 + 4.2a)(b-w)}{b} + 12b \dots 65)$$

Das gesamte Gewicht der Fahrbahnträger pro Meter Brückenlänge wird sonach

für die eingleisige Brücke $g = 2g_1 + g_2 \frac{b}{a}$

„ „ zweigleisige „ $g = 4g_1 + g_2 \frac{b}{a}$

Mit Einsetzung der obigen Gewichtsformeln erhält man:

eingleisige Brücke $g = 32 + 46a + \frac{8(8 + 4.2a)(b-c)}{a} + 12 \frac{b^2}{a} \dots 66)$

zweigleisige „ $g = 64 + 92a + \frac{16(8 + 4.2a)(b-w)}{a} + 12 \frac{b^2}{a} \dots 67)$

Der dem Kleinstwert dieses Gewichtes entsprechende Querträgerabstand a rechnet sich hieraus

für die eingleisige Brücke mit $a = \sqrt{1.4(b-c) + 0.26b^2} \dots 68)$

„ „ zweigleisige „ „ $a = \sqrt{1.4(b-w) + 0.13b^2} \dots 69)$

Nach diesen Gleichungen sind für einen Schwellenträgerabstand $c = 1.8m$ und einen Gleisabstand $w = 3.5m$ die günstigsten Feldweiten und die zugehörigen Gewichte des Fahrbahnträgergerippes nachstehend berechnet.

Eingleisige Brücke.

$b =$	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0 m
$a =$	2.00	2.36	2.70	3.00	3.31 m
$g =$	256	306	353	399	444 kg

Zweigleisige Brücke.

$b =$	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5 m
$a =$	3.11	3.36	3.60	3.82	4.05 m
$g =$	838	917	995	1069	1145 kg

Die Kleinstgewichte des Fahrbahnträgergerippes pro Meter Brückenlänge folgen hienach ungefähr der Formel

für eingleisige Brücken $g = 95b - 25 \dots 70)$

„ zweigleisige „ $g = 150b - 130 \dots 71)$

Es haben aber auch selbst Abweichungen bis zu 1 m von der

berechneten günstigsten Querträgerentfernung noch kein erhebliches Mehrgewicht zur Folge.

So erhält man z. B. für eingleisige Brücken

mit $b = 3$ m und $a = 1.5$	2.0	2.5	* 3.0 m			
$g = 264$	256	261	272	kg		
mit $b = 4$ m und $a = 2.0$	2.7	3.0	3.5	4.0 m		
$g = 364$	353	355	362	373 kg		
mit $b = 4.5$ m und $a = 2.0$	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0 m	
$g = 422$	404	399	403	411	436 kg	

ebenso für zweigleisige Brücken

mit $b = 8$ m und $a = 3.0$	3.5	3.82	4.0	4.5	5.0	6.0 m
$g = 1090$	1072	1069	1070	1086	1095	1142 kg

b) Eisenbahnbrücken mit Durchführung der Bettung.

Wir setzen eine Querschnittsgestaltung nach Abb. 160 oder 161 voraus mit einer Breite des Schotterkastens von 3.30 m. Bei einer mittleren Bettungshöhe von 0.4 m beträgt das Gewicht des Oberbaues pro Meter rund 2500 kg. Hiezu kann noch für das Gewicht der Fahrbahntafel samt Zwischenquerträger etwa 330 kg, für das Gewicht der Längsträger etwa 170 kg gerechnet werden, so daß das Gesamtgewicht der Fahrbahn ohne Querträger mit rund 3000 kg pro Meter eingleisiger Brücke anzunehmen wäre.

Es bezeichnet wieder a den Querträgerabstand,

b den Achsabstand der Hauptträger.

Auf die Fahrbahnlängsträger kommt ein summarisch größtes Moment von der Verkehrslast $2a + 1.3a^2$

$$\text{vom Eigengewicht } \frac{1}{8} 3a^2 = 0.375a^2$$

$$\text{zusammen } 2a + 1.675a^2.$$

Wir verteilen dasselbe auf 3 Träger (bei Anordnung von 4 Trägern sind die äußeren Träger ungefähr halb so stark belastet als die mittleren Träger) und erhalten sonach für das Moment eines Trägers $M = 0.67a + 0.558a^2$. Damit folgt dessen Gewicht nach der

$$\text{Formel } g = 12a + 16 \frac{M}{a} \text{ mit}$$

$$g_1 = 11 + 20.93a$$

und für sämtliche Längsträger $3g_1 = 33 + 62.8a$.

Querträger. In jedem Schienenstrang wirkt ein größter Druck der Verkehrslast (siehe oben) von $D = 8 + 3.8a$. Das davon hervorgerufene Moment in Trägermitte ist $\frac{1}{2} (8 + 3.8a) (b - 1.5)$. Das

Moment der Fahrbahnlast 3. a wird $\frac{3}{4} a (b - 1.65)$. Der Gesamtmoment sonach $M = 4 (b - 1.5) + a (2.65 b - 4.09)$.

Damit rechnet sich das metrische Gewicht des Querträgers

$$g_2 = 12 b + 16 \frac{M}{b} = 12 b + \frac{64 (b - 1.5) + 16 a (2.65 b - 4.09)}{b}$$

Das Gesamtgewicht der Fahrbahnträger pro Meter Brückenslänge wird:

$$g = 3 g_1 + g_2 \frac{b}{a} = 62.8 a + 42.4 b + \frac{64 (b - 1.5)}{a} + \frac{12 b^2}{a} - 32.4$$

Dem Kleinstwert entspricht eine Feldlänge

$$a = \sqrt{1.02 (b - 1.5) + 0.191 b^2} \dots \dots \dots 72)$$

Dies ergibt wieder für verschiedene Hauptträgerabstände die nachstehenden günstigsten Feldweiten und Trägergewichte.

$b =$	3.5	4.0	4.5	5.0 m
$a =$	2.09	2.40	2.63	2.81 m
$g =$	378	439	489	533 kg

Hienach läßt sich das Gewicht der Fahrbahnträger bei durchgehender Schotterbettung (ausschließlich Fahrabntafel) für den Meter eingleisige Brücke annähernd ausdrücken durch

$$g = 40 + 100 b \text{ kg} \dots \dots \dots 73)$$

Abweichungen von der oben berechneten günstigsten Querträgerentfernung bis zu 1 m bewirken noch keine erhebliche Gewichtsvergrößerung.

Die ausgeführten neueren Eisenbahnbrücken weisen in der Regel ein etwas größeres Fahrbahnträgergewicht aus, als vorstehend berechnet wurde. Die Vergrößerung ist durch den Baustoffaufwand in den Trägeranschlüssen und auch dadurch bedingt, daß die günstigsten Verhältnisse selten eingehalten werden können. Rechnet man auch die zwischen den Schwellenträgern anzubringende Quer versteifung und Horizontalverstrebung hinzu, so wird das oben berechnete Gewicht des Fahrbahnträgergerippes für die Ausführung um etwa 20 bis 30% zu vergrößern sein.

c) Straßenbrücken.

Es bezeichnet wieder a den Abstand der Querträger,

b den Achsabstand der Hauptträger,
 c den Abstand der Fahrbahnlängsträger,
 g_0 das Gewicht der Fahrbahndecke samt Fahrbahntafel und
 Fahrbahnlängsträger pro Quadratmeter,
 G den Raddruck des schwersten in Betracht kommenden Fahr-
 zeuges,

$D = \alpha G$ den an jedem Rade auf einem Längsträger über-
 tragenen Druck. Für Wagenbelastung im Mittel $\alpha = 1.1$, für den
 Druck der Straßenwalze $\alpha = 0.75$.

Längsträger. Größtes Moment $M = \frac{1}{4} D a + \frac{1}{8} g_0 c a^2$,
 Gewicht nach der Blechträgerformel

$$g_1 = 12 a + 16 \frac{M}{a} = (12 + 2 g_0 c) a + 4 D.$$

In der Brückenbreite b sind $\frac{b}{c}$ Längsträger, daher metrisches
 Gesamtgewicht der Längsträger

$$g_1 \frac{b}{c} = [(12 + 2 g_0 c) a + 4 D] \frac{b}{c}.$$

Querträger. Als Belastung werden nebeneinanderstehende
 Wagen mit einer Achse über dem Querträger angenommen. Der
 Druck der zweiten Achse, der sich nur bei Querträgerabständen
 von über $3.5 m$ geltend machen würde, kann außer Betracht bleiben.
 Bei einer Wagenbreite von $2.5 m$ kann hierfür näherungsweise eine
 gleichförmig verteilte Last $p = \frac{2 G}{2.5} = 0.8 G$ gesetzt werden, wozu
 noch die Eigengewichtslast $g_0 a$ kommt. Hinter den Wagen in einer
 Breite von $l - 2 m$ ist Menschengedränge von $0.46 t$ pro Quadrat-
 meter anzunehmen. Es entfällt davon auf den Querträger ein Druck
 von $0.23 \frac{(a-2)^2}{a}$ oder angenähert $0.04(a^2 - 3a + 2) t/m$.

Das größte Moment wird sonach $\frac{1}{8} [0.8 G + g_0 a + 0.04(a^2 -$
 $- 3a + 2)] b^2$ und das metrische Trägergewicht

$$g_2 = (12.16 + 1.6 G + 2 g_0 a + 0.08 a^2 - 0.24 a) b.$$

Damit ergibt sich das Gesamtgewicht der Fahrbahnträger pro
 Meter Brückenlänge

$$g = g_1 \frac{b}{c} + g_2 \frac{b}{a} = [(12 + 2 g_0 c) a + 4 D] \frac{b}{c} + [12.16 + 1.6 G +$$

$$+ 2 g_0 a + 0.08 a^2 - 0.24 a] \frac{b^2}{a}$$

oder mit einer kleinen Vernachlässigung pro 1 m² Fahrbahnfläche

$$\frac{g}{b} = (3a + D) \frac{4}{c} + (12 \cdot 16 + 1 \cdot 6 G) \frac{b}{a} + 2g_0(a + b) \dots 74)$$

Die Bedingung für den Kleinstwert liefert

$$a = \sqrt{\frac{12 \cdot 16 + 1 \cdot 6 G}{12 + 2g_0 c + 0 \cdot 08 b c}} b c \dots 75)$$

oder mit dem Durchschnittswerte $g_0 c = 1$ angenähert

$$a = \sqrt{(0 \cdot 86 + 0 \cdot 12 G) b c} \dots 76)$$

Es kann aber wieder von dem hienach berechneten günstigsten Querträgerabstände um mehr als 1 m abgewichen werden, ohne daß sich das Gewicht des Trägergerippes erheblich vergrößert.

So erhält man beispielsweise für $b = 6 m$, $c = 1 \cdot 2 m$, $G = 3 t$, $D = 1 \cdot 2$, $G = 3 \cdot 6 t$, $g_0 = 0 \cdot 8 t$ nach Formel 75) oder 76), $a = 2 \cdot 97 m$

und $\frac{g}{b} = 90 kg/m^2$. Wählt man dagegen $a = 4 m$, so ergäbe sich

$\frac{g}{b} = 94 kg/m^2$ und für $a = 5 m$ würde $\frac{g}{b} = 100 kg/cm^2$.

Im allgemeinen kann sonach sowohl bei Eisenbahn- wie bei Straßenbrücken die Querträgerentfernung innerhalb nicht sehr enger Grenzen verschieden gewählt werden, ohne daß der Baustoffaufwand in der Fahrbahn erheblich verschieden ausfällt. Bei einem Hauptträgerabstand über 4·5 m können diese Grenzen zwischen 2·5 und 5 m, bei einem Hauptträgerabstand über 8 m zwischen 3 und 6 m angenommen werden. Sind die Hauptträger Fachwerksträger, so ist dadurch ein reichlicher Spielraum für die Wahl einer zweckmäßigen Knotenweite gegeben.

§ 21. Anordnung des Fahrbahngerippes schiefer Brücken.

Schiefe Brücken, das sind solche, bei welchen die Widerlager- oder Pfeilerfluchten nicht senkrecht zur Brückenlängsachse stehen, verursachen bauliche Schwierigkeiten und höhere Kosten und werden deshalb nach Möglichkeit vermieden. Eisenbahnbrücken mit schieferm Abschluß und ohne Durchführung des Schotterbettes erfordern an den Enden des Tragwerks sowie auf den Widerlagern schräg gelegte Querswellen, die allmählich in die normale Lage überzuführen sind (Abb. 255). Will man diesen Übergang nicht auf eine große Länge ausdehnen, so können die Schwellen auf einer Seite so nahe zu liegen kommen, daß das Unterstopfen erschwert ist. Bei durch-

gehendem Schotterbett oder bei Straßenbrücken erfordert wieder der schräge Abschluß eine besondere Ausbildung der Fahrbahntafel.

Brücken von geringer Schiefe und nicht allzu großer Breite erhalten daher zweckmäßig einen rechtwinkligen Abschluß des Tragwerks (Abb. 256). Die Widerlagerflucht kann dabei entweder ebenfalls rechtwinklig gestellt oder, wenn es die Rücksichtnahme auf

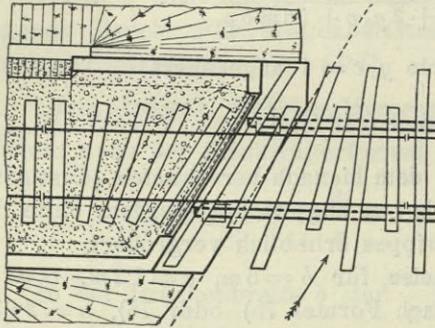


Abb. 255.

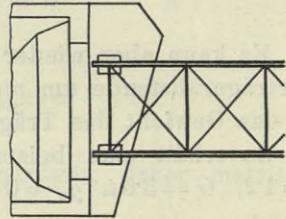


Abb. 256.

den unter der Brücke zu führenden Verkehrsweg oder Wasserlauf erfordert, in schiefer Richtung geführt werden. Bei größerer Brückenbreite oder bei sehr schiefen Brücken würde sich durch diese Lösung aber eine beträchtliche Vergrößerung der Stützweite ergeben und es

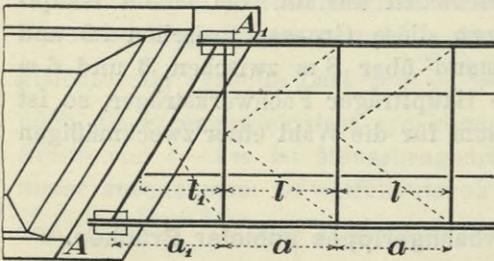


Abb. 257.

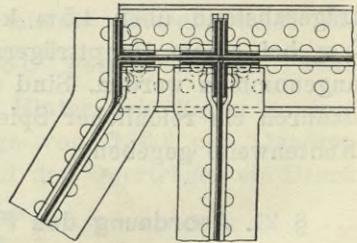


Abb. 258.

wird dann der schiefe Abschluß vorgezogen. Für diesen sind folgende Anordnungen möglich:

1. Es wird am Auflager ein schiefer Endquerträger gegeben, der die Enden der Fahrbahn­längsträger aufnimmt (Abb. 257). Sind die Hauptträger Vollwandträger, so macht die Austeilung der übrigen normalen Querträger keine Schwierigkeit. Man wird nur trachten, daß die Stützweite l_1 des letzten Fahrbahn­trägers kleiner oder nicht wesentlich größer wird als jene l der übrigen Träger, um annähernd

das gleiche Trägerprofil verwenden zu können und nicht zu verschiedenen große Durchbiegungen zu erhalten. Es wird dies meist erfordern, den ersten normalen Querträger möglichst nahe an das Ende des einen Hauptträgers zu legen (Abb. 258). Sind die Hauptträger Fachwerkträger, so sind die beiden Querträger in A_1 an die Endständer anzuschließen und es ist die Fachausteilung derart durchzuführen, daß die Länge a_1 des Endfaches nicht allzusehr von der

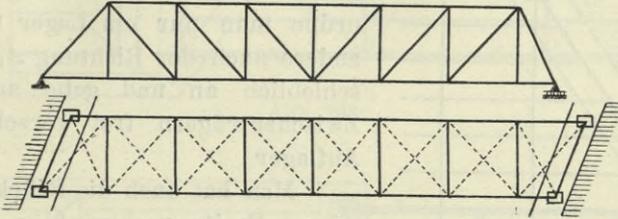


Abb. 259.

übrigen Fachweite a abweicht. Am günstigsten ist es, wenn es gelingt, $a_1 = a$ zu machen, da dann die Hauptträger symmetrische Form erhalten. Bei geringer Schiefe verbindet man die Endständer nur durch den schiefen Endquerträger und gibt jedem Hauptträger ein kürzeres Endfach (Abb. 259).

Bei sehr schiefen Brücken oder bei großem Abstände der

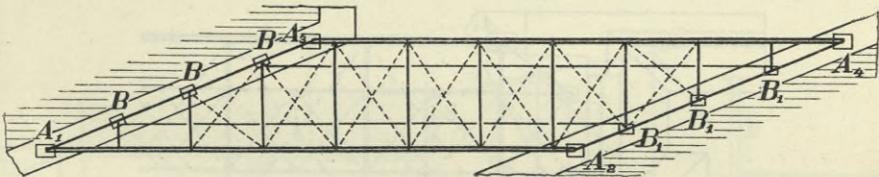


Abb. 260.

Hauptträger, wo a_1 und l_1 sich zu groß ergibt, wird man noch einen oder mehrere kurze Querträger einschalten, die einerseits an den Hauptträger andererseits an den Endquerträger anzuschließen sind (Abb. 260, 261). Letzterer wird bei großer Länge in den Anschlußstellen der Längs- oder Querträger auf das Widerlager aufgelagert. Von den Lagern der beiden Hauptträger ist hier nur A_1 fest auszubilden, A_2 muß in der Längsrichtung $A_1 A_2$, das Lager A_3 in der Richtung $A_1 A_3$ und das Lager A_4 allseitig beweglich sein; desgleichen sind die Zwischenlager B des Endquerträgers in der Richtung $A_1 A_3$, jene B_1 allseitig beweglich auszubilden.

2. Um die Schwierigkeiten der schiefen Schwellenlage bei Eisenbahnbrücken oder des schiefen Abschlusses der Fahrbahntafel bei

Straßenbrücken zu vermeiden, hat man es häufig vorgezogen, unter Weglassung des schiefen Endquerträgers die Fahrbahnträger rechtwinklig abzusetzen und unmittelbar auf die Widerlager oder Pfeiler zu lagern (Abb. 262). Es erfordert dies allerdings eine weit zurückgesetzte Schildmauer. Die Enden der Längsträger sind durch Stäbe S_1, S_2 an die Knotenpunkte der Hauptträger, in denen der Wind-

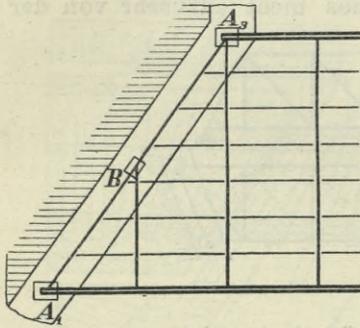


Abb. 261.

verband endet, anzuschließen. Bei größerem Abstand der Lager A_1, A_2 ordne man nur ein Lager fest, das andere nach der Richtung A_1, A_2 verschieblich an und gebe auch den Zwischenträgern frei verschiebliche Auflager.

Man hat auch die Brücke in der ganzen Breite rechtwinklig geendigt und nur die Hauptträger der Schiefelage der Brücke entsprechend gegeneinander verschoben (Abb. 263).

Um dabei das Widerlager nicht zu massig halten zu müssen, können Hauptträger und Fahrbahnträger in A_1 und B auf einen flügel förmigen Ansatz des Widerlagers gelagert werden (Abb. 264). Bei tief liegender Fahrbahn ist für die seitliche Absteifung der frei-

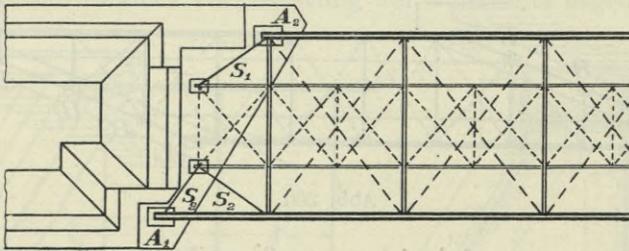


Abb. 262.

stehenden Hauptträgerenden entsprechende Vorsorge zu treffen. Zu diesem Zwecke ist die Hauptträgerwandung in dem Teile zwischen A und C mit den gekürzten Querträgern steif zu verbinden und es ist bei größerer Trägerhöhe auch meist erforderlich, die Lager B zu verankern, um deren Abheben infolge Ausknickens des Obergurtes zu verhindern.

Eine bessere Sicherung der Quersteifigkeit läßt sich durch die in Abb. 265 dargestellte Anordnung erzielen. Die Endquerträger reichen hier über die ganze Breite und schließen auf der Seite des Hauptträgers II an den in dessen Verlängerung liegenden Träger III

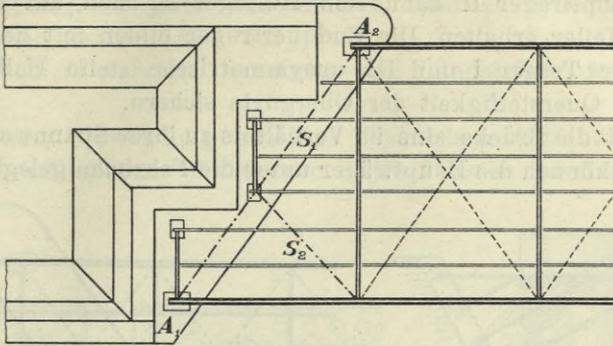


Abb. 263.

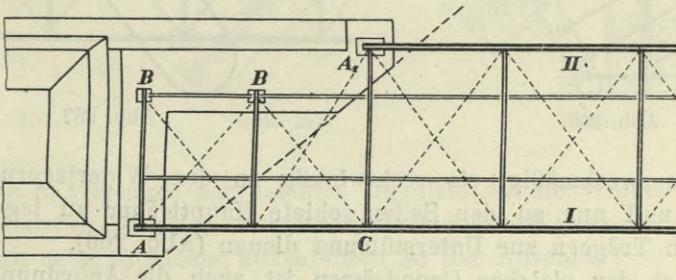


Abb. 264.

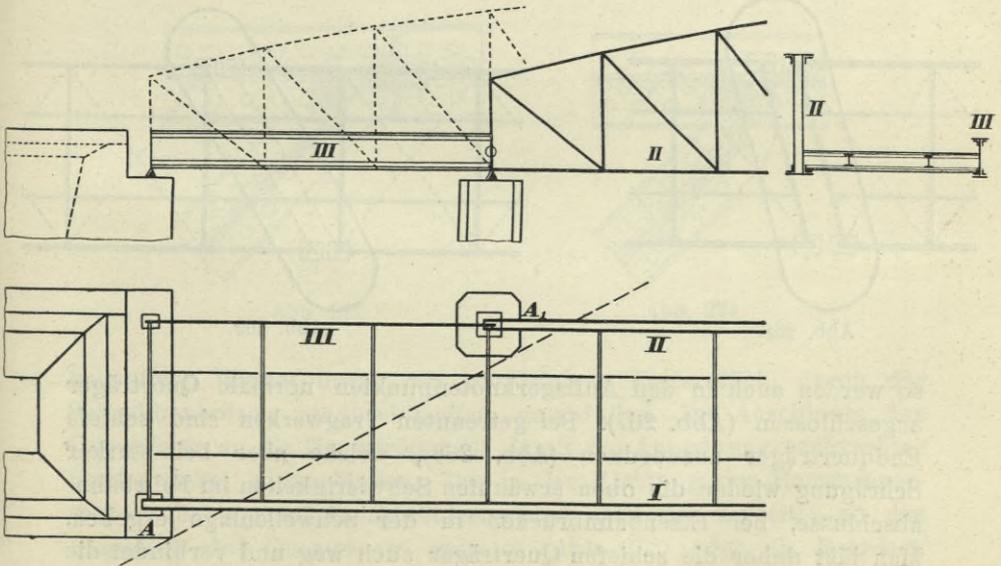


Abb. 265.

an. Der Hauptträger II kann sein Auflager A_1 auch auf einen getrennten Pfeiler erhalten. Die Endquerträger bilden mit den Wandpfosten der Träger I und III unsymmetrische steife Halbrahmen, welche die Quersteifigkeit der Obergurte sichern.

3. Hat die Brücke eine im Verhältnis zu ihrer Spannweite große Breite und können die Hauptträger unter die Fahrbahn gelegt werden,

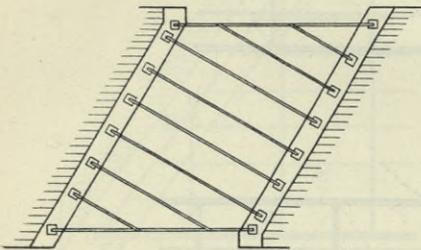


Abb. 266.

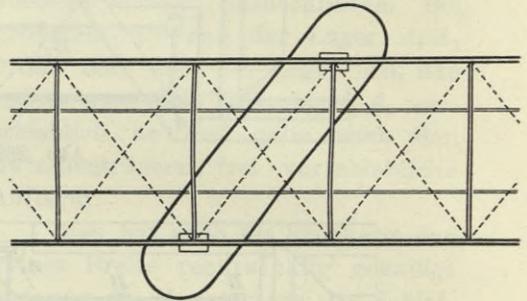


Abb. 267.

so ist es zweckmäßig, sie rechtwinklig zu den Widerlagern anzuordnen und nur an den Seiten schiefe Hauptträger zu legen, die kürzeren Trägern zur Unterstützung dienen (Abb. 266).

Nach den gleichen Grundsätzen ist auch die Anordnung über schiefen Mittelpfeilern auszubilden. Sind die Hauptträger durchgehend,

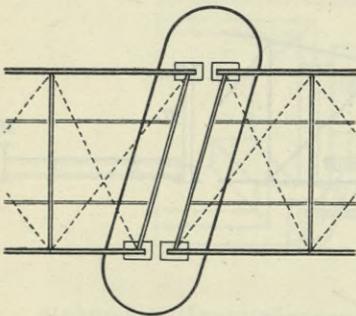


Abb. 268.

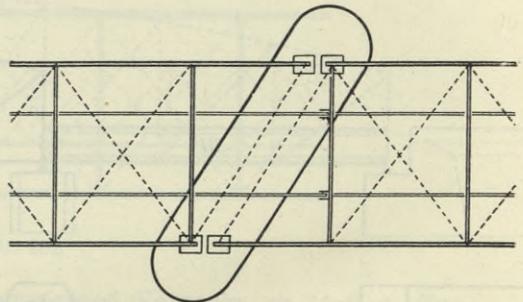


Abb. 269.

so werden auch in den Auflagerknotenpunkten normale Querträger angeschlossen (Abb. 267). Bei getrennten Tragwerken sind schiefe Endquerträger anzuordnen (Abb. 268), welche aber bei starker Schrägung wieder die oben erwähnten Schwierigkeiten im Fahrbahnabschlusse, bei Eisenbahnbrücken in der Schwellenlage ergeben. Man läßt daher die schiefen Querträger auch weg und verbindet die Tragwerke der beiden Öffnungen über den Pfeilern durch Fahrbahnlängsträger, die an den letzten Querträger des einen Überbaues fest,

besser gelenkig, an jenen des anderen Überbaues längsbeweglich angeschlossen werden (Abb. 269).

Der schiefe Anschluß der Quer- und Längsträger wird durchgeführt:

a) Unter Verwendung schiefer Winkeleisen (Abb. 270). Diese sind aus gewöhnlichem Winkeleisen durch Pressen im rotglühenden

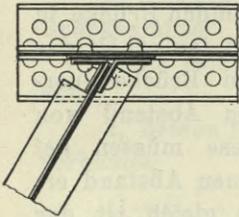


Abb. 270.

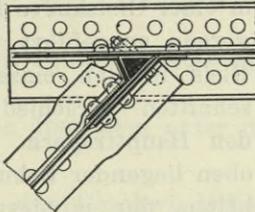


Abb. 271.

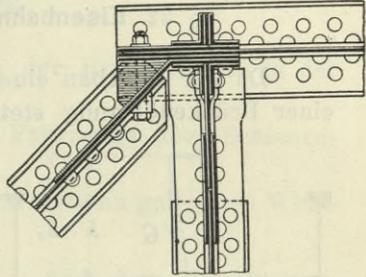


Abb. 272.

Zustande in Gesenken herzustellen. Gewalzte schiefe Winkel werden nur in seltenen Fällen in den Kaliberheften der Walzwerke passend zu finden sein. Einfacher auszuführen ist der Anschluß

b) unter Verwendung abgegebener Bleche (Abb. 271). Es empfiehlt sich, den dabei entstehenden, schwer zugänglichen Hohlraum

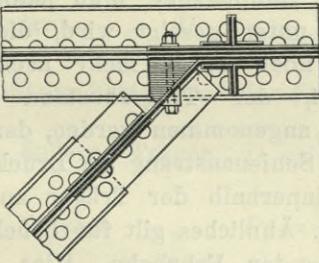


Abb. 273.

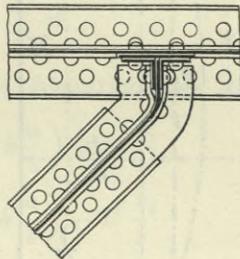


Abb. 274.

im spitzen Winkel durch ein keilförmiges Futterstück, durch das Schraubenbolzen hindurchgreifen, auszufüllen. Im Anschlusse der Querträger an die Hauptträger ist damit die Anordnung senkrechter Steifenwinkel zu verbinden. Das in der Richtung des Hauptträgersteges abgegebene Anschlußblech wird entweder einseitig an das Stegblech des Querträgers genietet (Abb. 272) oder als Eckblech ausgebildet und mit dem Querträgersteg gestoßen (Abb. 273). Weniger günstig, wenn auch bequemer, für die Ausführung ist

c) die Abbiegung des Steges des anzuschließenden Trägers senkrecht zur Anschlußwand (Abb. 274). Es entsteht hier ein den Träger ungünstig beanspruchendes Verdrehungsmoment, welches allerdings, wenn auch in geringerer Größe, auch schon bei der in den Abb. 272, 273 dargestellten Befestigungsweise auftritt.

§ 22. Eisenbahnbrücken in Gleiskrümmungen.

Da der Überbau einer in einer Gleiskurve liegenden Brücke in einer Brückenöffnung stets

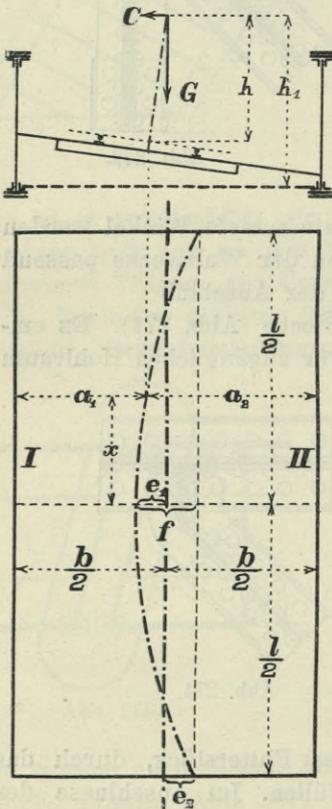


Abb. 275.

gerade ausgeführt wird, so erhält das Gleis in den einzelnen Brückenquerschnitten verschiedenen Abstand von den Hauptträgern. Diese müssen bei oben liegender Bahn einen Abstand erhalten, der mindestens gleich ist der Spurweite, vergrößert um den auf die Brückenstützweite entfallenden Bogenpfeil der Gleiskrümmung. Dabei würde die Gleisachse in der Brückenmitte und an den Brückenenden gleich weit von der Brückenachse abstehen. Für eine möglichst gleiche Beanspruchung der beiden Hauptträger muß jedoch, wie weiter unten gezeigt wird, die Gleisachse noch etwas mehr nach innen gerückt, der Trägerabstand sonach größer angenommen werden, damit der innere Schienenstrang am Brückenende noch innerhalb der Träger zu liegen kommt. Ähnliches gilt für Brücken mit tiefliegender Fahrbahn. Hier müssen die beiden Hauptträger einen solchen Abstand erhalten, daß an jeder Stelle das Normallichtraumprofil dazwischen Platz findet, wobei auch auf die Neigung der Fahrzeuge infolge der Schienenüberhöhung Rücksicht zu nehmen ist.

Bezeichnet e_1 den Abstand der Gleisachse von der Brückenachse in der Brückenmitte, e_2 diesen Abstand am Brückenende, H_1 die Höhe der Hauptträger über den Schienen (höchstens aber die Höhe des Lichtraumprofils 4,8 m), u die Schienenüberhöhung bei der Spur-

weite, s und b_0 den lichten Abstand der Hauptträger, so erfordert die Normalspur

$$\frac{b_0}{2} \geq 2.15 + e_2 + H_1 \frac{u}{s} \text{ Meter.}$$

Die Lage der Gleisachse kann durch die nachstehende Rechnung bestimmt werden. Es bezeichnet (Abb. 275)

f den Bogenpfeil der Gleiskrümmung,

l die Brückenstützweite,

e_1 den Abstand der Gleisachse von der Brückenachse in der Brückenmitte,

h die Höhe des Schwerpunktes der Fahrzeuge über Schienenhöhe,

h_1 dessen Höhe über dem unter der Fahrbahn gelegenen Windverbande,

$C = G \frac{v^2}{gr}$ die der Geschwindigkeit v und dem Krümmungshalbmesser r entsprechende Fliehkraft einer Achslast G

$\frac{u}{s}$ = Schienenüberhöhung: Spurweite.

Im Abstände x von der Brückenmitte ist die Entfernung der Gleisachse

vom äußeren Träger I $a_1 = \frac{b}{2} - e_1 + \frac{4f}{l^2} x^2$

„ inneren „ II $a_2 = \frac{b}{2} + e_1 - \frac{4f}{l^2} x^2.$

Von der Last G und der Fliehkraft C überträgt sich der Druck

auf den äußeren Träger $D_1 = \frac{G}{b} \left(a_2 - h \frac{u}{s} \right) + C \frac{h_1}{b}$

„ „ inneren „ $D_2 = \frac{G}{b} \left(a_1 + h \frac{u}{s} \right) - C \frac{h_1}{b}.$

Setzt man zur Abkürzung

$$e_1 - h \frac{u}{s} + h_1 \frac{v^2}{gr} = k \dots \dots \dots 77)$$

und nimmt man auf der Brücke eine gleichmäßig verteilte Belastung $p l$ an, so entfällt hievon

„ auf den äußeren Träger $\frac{p}{b} \left(\frac{b}{2} + k - \frac{f}{3} \right) l$ und

„ „ inneren „ $\frac{p}{b} \left(\frac{b}{2} - k + \frac{f}{3} \right) l.$

Der äußere Träger erhält den größten Druck bei Schnellfahrt, wofür $v = V$ und $\frac{V^2}{gr} = \frac{u}{s}$ zu setzen ist, mit

$$\frac{p}{b} \left(\frac{b}{2} + e_1 + (h_1 - h) \frac{u}{s} - \frac{f}{3} \right) l.$$

Der innere Träger erhält den größten Druck bei ruhender Belastung, wofür $v = 0$, mit

$$\frac{p}{b} \left(\frac{b}{2} - e_1 + h \frac{u}{s} + \frac{f}{3} \right) l.$$

Sollen beide Drücke gleich groß werden, so müßte sein:

$$e_1 = \frac{1}{3} f + \left(h - \frac{1}{2} h_1 \right) \frac{u}{s} \dots \dots \dots 78)$$

Da aber diese Drücke nicht gleichmäßig verteilt sind, so wäre damit noch keine gleiche Beanspruchung der beiden Träger erzielt. Diese rechnet sich aus den Momenten der Belastung. Für einen Querschnitt im Abstände x von der Trägermitte wird das Moment

am äußeren Träger $M_{1,x} = \frac{p}{2b} \left[\left(\frac{b}{2} + k \right) \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right) + \frac{2fx^4}{3l^2} - \frac{fl^2}{24} \right]$

„ inneren „ $M_{2,x} = \frac{p}{2b} \left[\left(\frac{b}{2} - k \right) \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right) - \frac{2fx^4}{3l^2} + \frac{fl^2}{24} \right]$

und es wird der Mittelwert des Momentes

für den äußeren Träger mittel $M_1 = \frac{p}{2b} \left(\frac{b}{2} + k - \frac{f}{5} \right) \frac{l^2}{6}$

„ „ inneren „ „ $M_2 = \frac{p}{2b} \left(\frac{b}{2} - k + \frac{f}{5} \right) \frac{l^2}{6}$.

Nimmt man wieder als ungünstigsten Belastungsfall für den äußeren Träger Schnellfahrt, für den inneren Ruhelast an, so ergibt sich als Bedingung für die Gleichheit der mittleren Momente

$$e_1 = \frac{f}{5} + \left(h - \frac{h_1}{2} \right) \frac{u}{s} \dots \dots \dots 79)$$

Die größten Momente in der Trägermitte werden

$$M_{1,0} = \frac{p}{2b} \left(\frac{b}{2} + k - \frac{f}{6} \right) \frac{l^2}{4}$$

$$M_{2,0} = \frac{p}{2b} \left(\frac{b}{2} - k + \frac{f}{6} \right) \frac{l^2}{4}$$

Ihre Gleichsetzung würde ergeben

$$e_1 = \frac{f}{6} + \left(h - \frac{h_1}{2} \right) \frac{u}{s} \dots \dots \dots 80)$$

In der Ausführung wird e_1 häufig etwas größer gemacht, als sich nach den Gleichungen 79) oder 80) berechnet, was darin begründet ist, daß die Maximalgeschwindigkeit V , für welche die Überhöhung bestimmt wird, durch die schweren Belastungszüge nicht erreicht wird. Die größere Annahme von e_1 gibt auch eine etwas kleinere Brückenbreite b .

Die Berechnung der Hauptträger kleinerer Brücken kann mit ausreichender Sicherheit so erfolgen, daß man zunächst die Momente der Verkehrslasten so wie für eine gerade Brücke mit in der Mitte liegender Gleisachse ermittelt. Diese Momente multipliziert man

$$\left. \begin{array}{l} \text{für den äußeren Träger mit dem Faktor } m_1 = 1 + \left(2k - \frac{f}{3} \right) \frac{1}{b} \\ \text{„ „ inneren „ „ „ „ } m_2 = 1 - \left(2k - \frac{f}{3} \right) \frac{1}{b} \end{array} \right\} \dots \dots \dots 81)$$

Für k sind darin die Grenzwerte einzusetzen

$$\left. \begin{array}{l} \text{für den äußeren Träger } k = e_1 + (h_1 - h) \frac{u}{s} \\ \text{„ „ inneren „ } k = e_1 - h \frac{u}{s} \end{array} \right\} \dots \dots \dots 82)$$

Bei größeren, in Gleiskurven gelegenen Brücken sind aber die beiden Hauptträger gesondert zu berechnen, wobei die aus der Gleislage sich ergebende Lastverteilung und für den äußeren Träger auch die Wirkung der Fliehkraft zu berücksichtigen ist.

Die wagrechte Fliehkraft muß vom Windverbände aufgenommen werden.

Beispiel. Eisenbahnblechbrücke von $l = 16 \text{ m}$ Stützweite, in einer Kurve von 300 m Halbmesser. Überhöhung $u = 0.15 \text{ m}$, sonach $\frac{u}{s} = 0.1$. Bogenpfeil $f = 0.1067 \text{ m}$.

Fahrbahn unten. Höhenabstand zwischen Schienen und Windverband (Querträgerhöhe) 0.80 m . Nimmt man den Schwerpunkt der Fahrzeuge in einer Höhe von 1.5 m an, so ist $h = 1.5 \text{ m}$, $h_1 = 2.3 \text{ m}$ und es ergibt Gleichung 80)

$$e_1 = \frac{0.1067}{6} + (1.5 - 1.15) 0.1 = 0.053 \text{ m}.$$

Der Abstand der Hauptträger, denen eine Höhe von 1.70 m , sonach von zirka 1.0 m über den Schienen gegeben wird, wäre im lichten mit $b_0 = 2(2.15 + 0.053 + 1.0 \cdot 0.1) = 4.60 \text{ m}$ oder von Achse zu Achse mit $b = 4.90 \text{ m}$ zu be-

messen. Die Gleisachse liegt im Brückenmittel um $e_1 = 0.053 \text{ m}$, d. i. um rund $\frac{1}{2} f$ außerhalb der Brückenachse.

Die für die gerade Brücke berechneten Momente der Verkehrslasten sind für beide Träger um das $m_1 = m_2 = 1 + \frac{0.2304}{4.9} = 1.047\text{fache}$, d. i. um rund 5% zu vergrößern.

Dieselbe Brücke mit Fahrbahn oben. Windverband am Untergurt, 1.9 m unterhalb der Schienen. Es ist sonach $h = 1.5 \text{ m}$, $h_1 = 3.4 \text{ m}$ und es folgt aus Gleichung 80)

$$e_1 = \frac{0.1067}{6} + (1.5 - 1.7) 0.1 = -0.002,$$

wofür $e_1 = 0$ gesetzt wird. Abstand der Hauptträger $b = 1.90$. Die für die gerade Brücke berechneten Momente der Verkehrslasten sind für den äußeren

Träger um das $m_1 = 1 + \frac{0.38 - 0.0356}{1.9} = 1.181\text{fache}$, für den inneren Träger

um das $m_2 = 1 + \frac{0.30 + 0.0356}{1.9} = 1.177\text{fache}$, d. i. um rund 18% zu vergrößern.

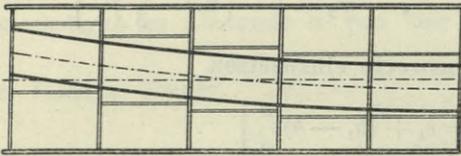


Abb. 276.

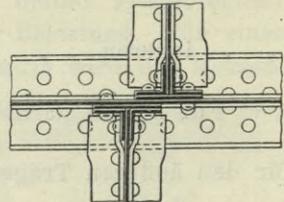


Abb. 277.

Die Grundrißanordnung des Fahrbahngerippes bei versenkter Fahrbahn in Kurven ist in der Regel nicht von jener der geraden Brücken verschieden. Die Schwellenträger müssen dann einen Abstand von mindestens gleich Spurweite + Bogenpfeil erhalten. Bei größerer Brückenlänge und scharfer Krümmung wird aber dieser Abstand so groß, daß sehr starke Querschwellen erforderlich und die Schwellenträger sehr ungleich beansprucht werden. Es empfiehlt sich dann, die Schwellenträger der Gleiskrümmung folgend zu versetzen (Abb. 276), und zwar immer je um die einfache oder doppelte Schenkelbreite eines Anschlußwinkels (Abb. 277). Dagegen wird die zur Gleisachse parallele Lage der Längsträger wegen der durchwegs schiefen Anschlüsse nur selten Anwendung finden.

Bei der Berechnung der Längsträger kann auf die Lage der Gleisachse leicht Rücksicht genommen werden; am besten erfolgt dies mit Hilfe einer graphischen Darstellung der Einflußlinien (Abb. 278). Es seien für die im Querschnitt C des Längsträgers AB ungünstigste Laststellung mit den Achslasten $G_1 G_2 G_3$ die zugehörigen Ordinaten der Momenten-Einflußlinie $\eta_1 \eta_2 \eta_3$, ferner seien $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3$, die

den Punkten der Gleisachse, woselbst die Lasten stehen, entsprechenden Druckanteile auf den äußeren Träger AB . Dann rechnet sich das Moment in C mit $M = G_1 \eta_1 \alpha_1 + G_2 \eta_2 \alpha_2 + G_3 \eta_3 \alpha_3$. Bei dem inneren Träger ist zu berücksichtigen, daß dessen größte Beanspruchung unter dem stehenden Zuge eintritt. Es kommen sonach nur die Schwerkkräfte zur Wirkung und diese verschieben infolge der Schienenüberhöhung u ihre Angriffspunkte um $w = h \frac{u}{s}$ nach der Innenseite der Gleisachse, wenn h , s und u dieselben Größen

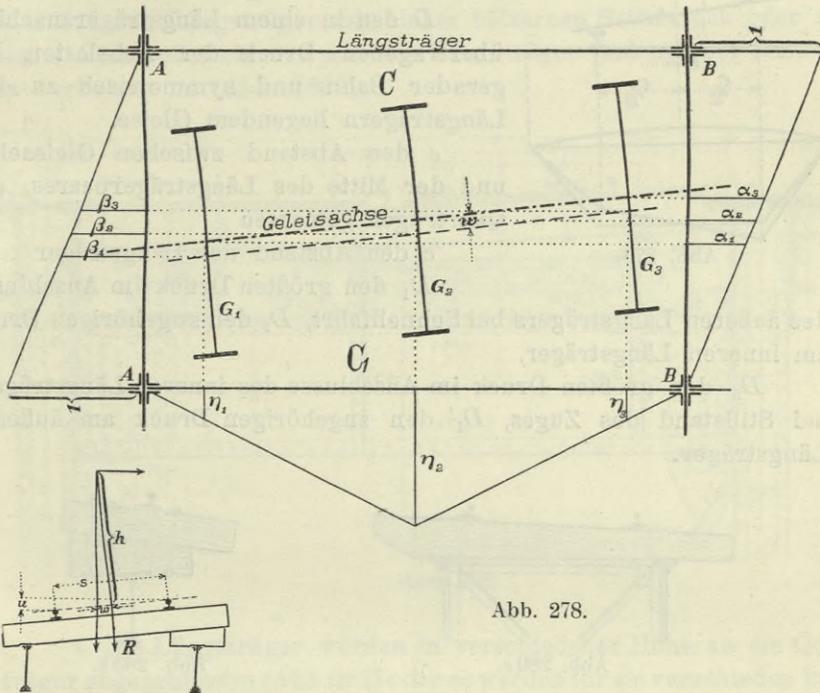


Abb. 278.

wie oben bezeichnen. Man ziehe daher im Abstände $h \frac{u}{s}$ eine Parallele zur Gleisachse und entnehme derselben die Druckanteile $\beta_1 \beta_2 \beta_3 \dots$ der Achslasten. Das Moment im Punkte C_1 des inneren Trägers ergibt sich sodann mit $M = G_1 \eta_1 \beta_1 + G_2 \eta_2 \beta_2 + G_3 \eta_3 \beta_3$. Macht man in der Zeichnung den Schwellenträgerabstand $AA_1 = 1$, so können die Koeffizienten α und β unmittelbar den Abständen der Gleisachse, beziehungsweise der verschobenen Parallelen vor dem äußeren, beziehungsweise inneren Träger entnommen werden.

Man wird jedoch die Längsträger in den einzelnen Feldern nicht verschieden, sondern wenn sich keine allzu großen Unter-

schiede in der Beanspruchung ergeben, sämtliche Träger der Einfachheit halber gleich ausführen. Es genügt, den äußeren Träger im mittelsten Felde und den inneren Träger im Endfelde zu berechnen.

Auch bei der Berechnung der Querträger sind die beiden Belastungsfälle, Schnellfahrt und stehender Zug, in Betracht zu ziehen. Für den ersteren sind die Zuglasten in der Gleisachse wirkend, für

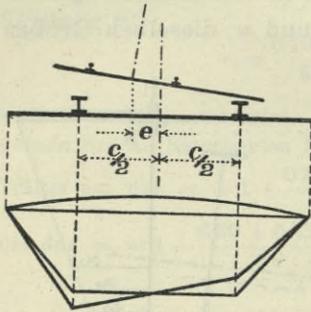


Abb. 279.

letzteren um $w = h \frac{u}{s}$ nach innen verschoben anzunehmen. Es bezeichne

D den in einem Längsträgeranschluß übertragenen Druck der Achslasten bei gerader Bahn und symmetrisch zu den Längsträgern liegendem Gleise.

e den Abstand zwischen Gleisachse und der Mitte des Längsträgerpaares, am Querträger gemessen

c den Abstand der Längsträger

D_1 den größten Druck im Anschlusse des äußeren Längsträgers bei Schnellfahrt, D_2 den zugehörigen Druck am inneren Längsträger,

D_2' den größten Druck im Anschlusse des inneren Längsträgers bei Stillstand des Zuges, D_1' den zugehörigen Druck am äußeren Längsträger.

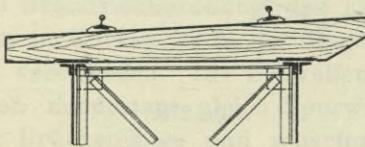


Abb. 280 a.

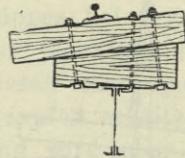


Abb. 280 b.

Es ist

$$D_1 = D \left(1 + \frac{2e}{c} \right)$$

$$D_2 = D \left(1 - \frac{2e}{c} \right)$$

$$D_1' = D \left(1 + \frac{2(e-w)}{c} \right)$$

$$D_2' = D \left(1 - \frac{2(e-w)}{c} \right)$$

Bestimmt man für diese beiden Belastungsfälle mit D_1 und D_2 beziehungsweise D_1' und D_2' die Momente am Querträger und addiert hiezu noch die Momente der Eigengewichtslast (Abb. 279), so ergeben sich aus der Umhüllungslinie die in jedem Querschnitt des Trägers auftretenden Größtwerte der Momente.

§ 23. Fußwege und Geländer, Revisionsstege.

Bei oben liegender Bahn werden die Fußwege in der Regel über die Hauptträger ganz oder teilweise ausgekragt, um durch Näherlegung der Träger die Querkonstruktionen leichter zu machen. Die Fußwege der Straßenbrücken, deren Decke auf Seite 120 besprochen wurde, werden entweder von den verlängerten Querträgern (Abb. 133) oder von außen an die Hauptträger in Querträgerhöhe angesetzten Konsolen (Abb. 134) getragen. Enthält der Überbau mehrere nahe liegende Hauptträger, so teilt man diese so aus, daß auch unter den Fußwegen Hauptträger zu liegen kommen, da hier die niedrigen und schwachen Querträger keine große Ausladung zulassen (Abb. 106, 130 u. 284). Die außen liegenden Träger nehmen in der Regel geringere Belastung auf als die mittleren Hauptträger und können entsprechend schwächer gehalten werden. Bei großer Breite der Fußwege kann es sich empfehlen, ihre Tragkonstruktion überhaupt ganz unabhängig von jener der Fahrbahn zu machen (Abb. 285). Man erreicht damit, daß die Erschütterungen durch den Wagenverkehr für die Fußgänger nicht fühlbar werden.

Bei tief liegender Bahn bildet die Außenlage der Fußwege außerhalb der Hauptträger auf konsolenartigen Verlängerungen der Querträger die Regel (Abb. 103, 107, 135). Nur bei Brücken von geringer Breite kann es zweckmäßig sein, die Fußwege innerhalb der Hauptträger anzuordnen (Abb. 145), da sich dabei eine besser auszunützendes Fahrdammbreite ergibt. Bei außen liegenden Fußwegen muß die erhöhte Bordschwelle des Fahrdammes von der Innenseite der Tragwände einen entsprechenden Abstand, mindestens 40 bis 50 *cm* erhalten, um das Anstreifen der Wagen an den Tragwänden zu verhüten.

Die Konsolen werden entweder vollwandig als Blechkonsolen oder ausgefacht als Gitterkonsolen ausgeführt. Ersteren kann durch krummlinige untere Begrenzung eine kräftiger wirkende oder gefälligere Form gegeben werden (Abb. 106, 134, 137, 160). Die Blechwand wird häufig mit Ausschnitten versehen, teils um die Konsole leichter erscheinen zu lassen, teils um Leitungen (Rohrleitungen für Gas und Wasser oder Kabel) durchzuführen. In größeren Konsolen sind die Ränder solcher Ausschnitte mit Winkeleisen zu umsäumen (Abb. 286). Beim Untergurt der Konsolen ist die Gefahr des seitlichen Ausknickens zu berücksichtigen. Da die Konsolen in der Regel nur durch die oben liegenden Längsträger seitlich abgesteift sind, so ist die ganze Länge des Untergurtes als Knieklänge in Rechnung zu stellen. Gitter- oder Stabkonsolen erhalten meist eine Dreieckform. Liegt

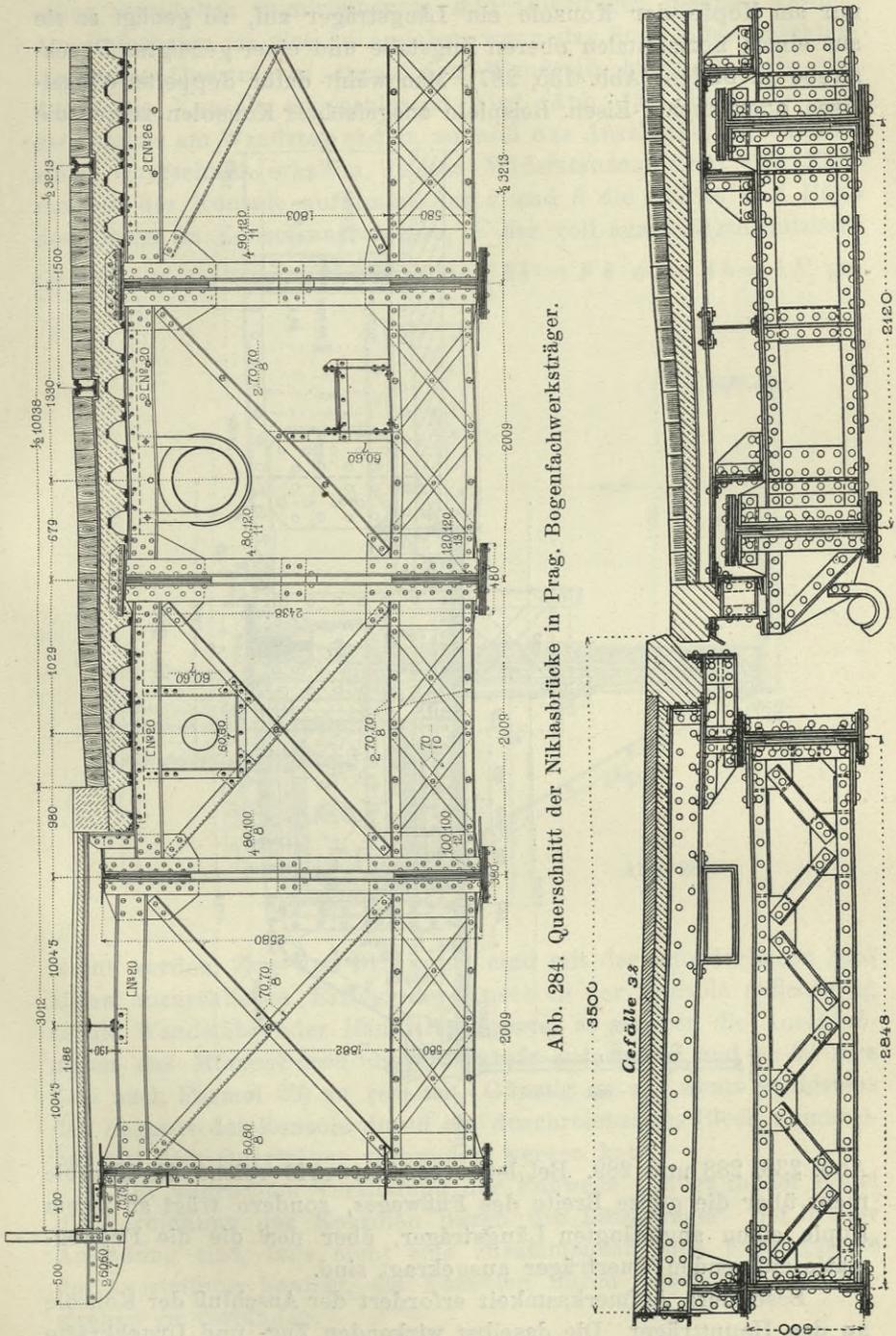


Abb. 284. Querschnitt der Niklasbrücke in Prag. Bogentachwerksträger.

Abb. 285. Straßenbrücke in Freiburg im Breisgau (Deutsche Bauzeitung 1903).

nur am Kopfe der Konsole ein Längsträger auf, so genügt es sie aus einem horizontalen oberen Zugstabe und einer geneigten Druckstrebe zu bilden (Abb. 135, 287). Man wählt dafür doppelte Winkel-eisen oder auch [-Eisen. Beispiele ausgefachter Konsolen zeigen die

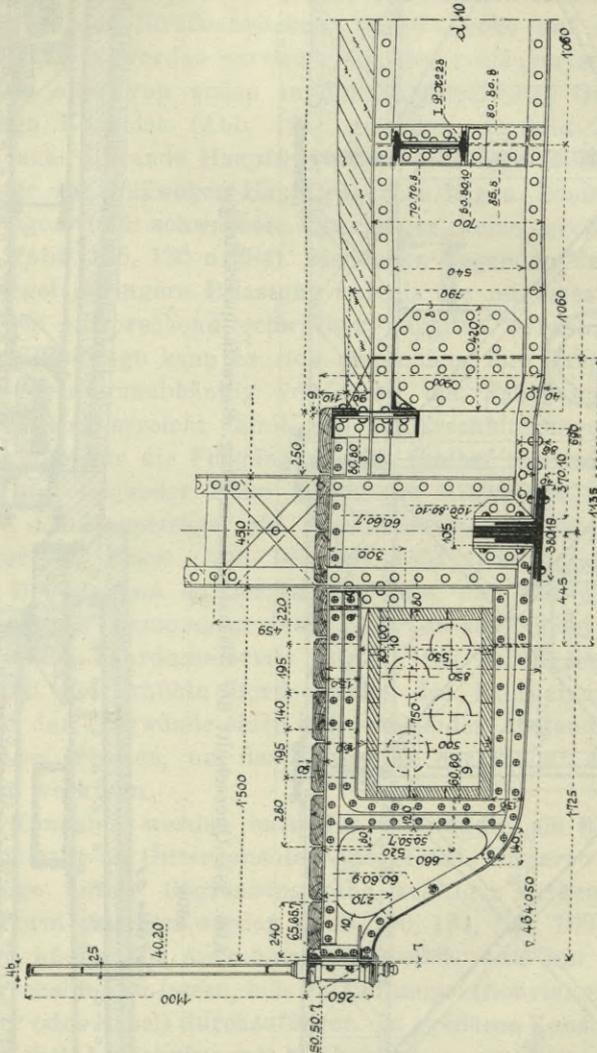


Abb. 286.

Abb. 236, 288 und 289. Bei letzterem Entwurfe reicht die Konsole nicht über die ganze Breite des Fußweges, sondern trägt an ihrem Kopfe einen angehängten Längsträger, über den die die Fußwegplatte stützenden Querträger ausgekragt sind.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert der Anschluß der Konsole an den Hauptträger. Die daselbst wirkenden Zug- und Druckkräfte

sollen womöglich unmittelbar in den Querträger geleitet werden. Am einfachsten ist dies zu erzielen, wenn das Steg- oder Anschlußblech des Querträgers durch den Wandstab hindurchgreift und daran die Konsole angeschlossen wird (Abb. 135, 103). Da aber die Konsole am Wandstab endigt, so muß das Anschlußblech daselbst einen Querschnitt erhalten, dessen Widerstandsmoment das Endmoment der Konsole aufnimmt. Ist δ und h die Stärke und Höhe des Blechs im Konsolenanschlusse, F der voll ausgenützte nutzbare Querschnitt der Zuggurte, so müßte $\frac{1}{6} \delta h^2 = F h$ oder $\delta h = 6 F$ ge-

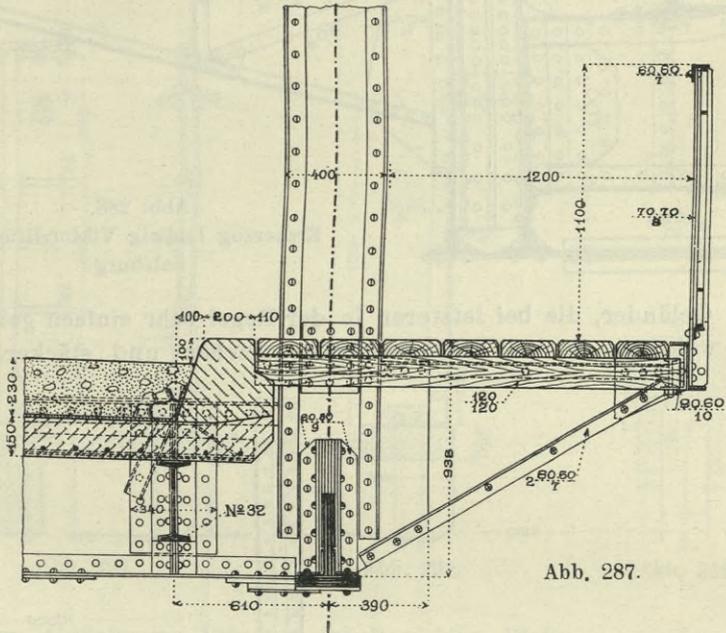


Abb. 287.

macht werden. Zug- und Druckgurt sind mit der erforderlichen Zahl Nieten anzuschließen. Erfolgt der Anschluß der Konsole außenseitig an die Wandstäbe oder Hauptträgergurte, so müssen die Anschlußnieten das Moment und die Querkraft aufnehmen und es ist ihre Zahl nach Formel 20) zu rechnen. Günstig ist es, wenn wenigstens der Zuggurt der Konsole durch ein durchreichendes Blech unmittelbar mit dem Querträger verbunden werden kann.

Zur wagrechten Versteifung der Fußwege genügt in der Regel die Verbindung der Konsolen durch die Längsträger. Bei breiter Ausladung sind, falls nicht eine zusammenhängende Fußwegplatte die Aussteifung bewirkt, die Konsolen durch wagrechte Diagonalstreben zu verbinden.

an der Brustlehne angreifende wagrechte Kraft je nach der Frequenz der Brücke von 40 bis 100 *kg* pro 1 *m*.

Die Geländer erhalten eine Höhe von 1·0 bis 1·2 *m*, gewöhnlich 1·10 *m* über dem Fußwege. Sie bestehen in der Hauptsache aus den Geländerstielen oder Pfosten, aus der Handleiste oder Brustlehne und aus der Geländerfüllung.

Die Geländerstiele werden entweder aus Gußeisen mit H-förmigem, kreuz- oder röhrenförmigem Querschnitte, oder aus Schmiedeeisen ausgeführt; in letzterem Falle bildet man sie aus 3 bis 4 *cm* starkem Quadrateisen, aus einem oder zwei Winkeleisen, aus L-, I-

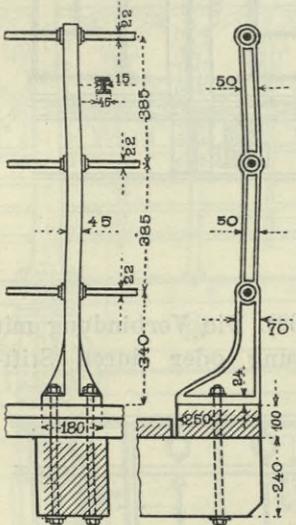


Abb. 290.

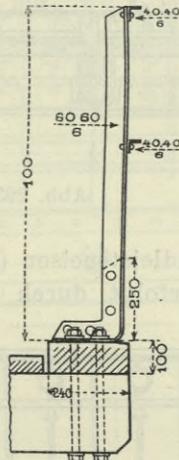


Abb. 291.

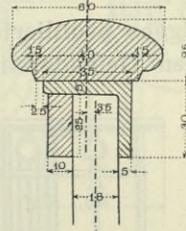


Abb. 292.

[Eisen. Gußeiserne Ständer erhalten eine Platte angegossen, mit der sie durch Schraubenbolzen an dem Eisenwerke oder auf hölzernen Querschwellen befestigt werden (Abb. 290). Beispiele einfacher Winkel eisengeländer geben die Abb. 136 und 291. Bei letzteren sind die Stiele und Handleisten etwa aus 70·70·7 Winkeleisen, die Riegel aus 40·40·4 Winkeleisen zu bilden. Man zieht jetzt die Stiele aus Walzprofilen den gußeisernen Pfosten vor, weil sie einen besseren Anschluß an die Eisenkonstruktion gestatten und auch gegen Bruch durch Stoß größere Sicherheit bieten. Die Ständer aus Winkeleisen werden an den Randträgern oder Fußwegkonsolen direkt oder mittels kleiner Knotenbleche angeschlossen. Der Anschluß ist besonders bei Straßenbrücken entsprechend kräftig auszubilden; zuweilen werden zur Erhöhung der Stabilität auch nach außen Fußstreben angebracht.

Die Handleiste wird bei einfachen Geländern entweder aus Rundenisen, aus Gasrohren, aus Flacheisen mit Holzüberdeckung oder aus Winkeleisen gebildet; bei besser ausgestatteten Geländern aus

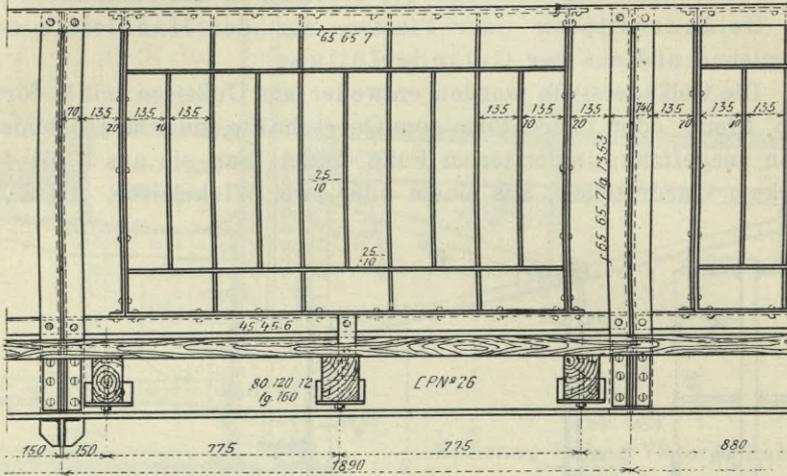


Abb. 293.

eigens profilierten Handleisteneisen (Abb. 292). Die Verbindung mit den Geländerstielen erfolgt durch Vernietung oder durch Stift-

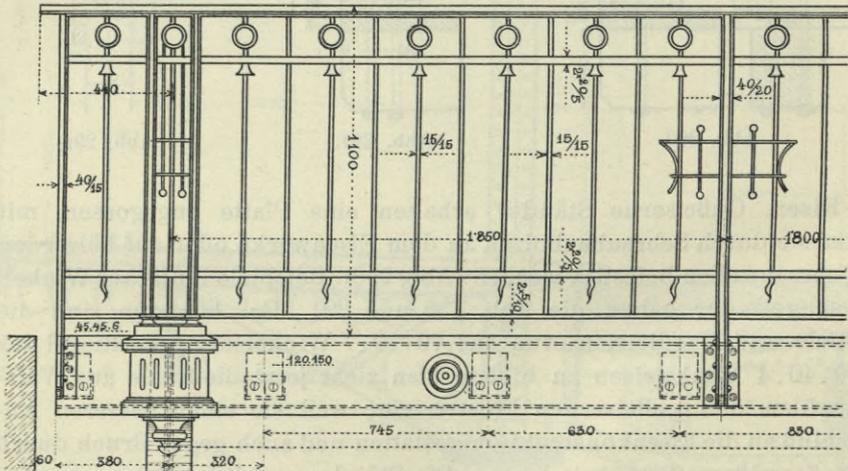


Abb. 294.

schrauben, allenfalls mit Hilfe kleiner Eckwinkel. Rund- oder Röhreneisen werden durch zylindrische Löcher in den Ständern durchgesteckt oder mit umgelegten Flachbändern befestigt.

Die an die Querträger oder Konsolen angeschlossenen Hauptpfosten des Geländers erhalten einen der Knotenweite entsprechenden Abstand. Beträgt dieser über 2,5 bis 3 m, so sind Zwischenpfosten anzubringen, die am durchgehenden Rand-Längsträger befestigt werden (Abb. 293). Untereinander sind die Pfosten durch Längseisen zu verbinden. Hierzu dienen Winkel, Flacheisen oder sogenannte

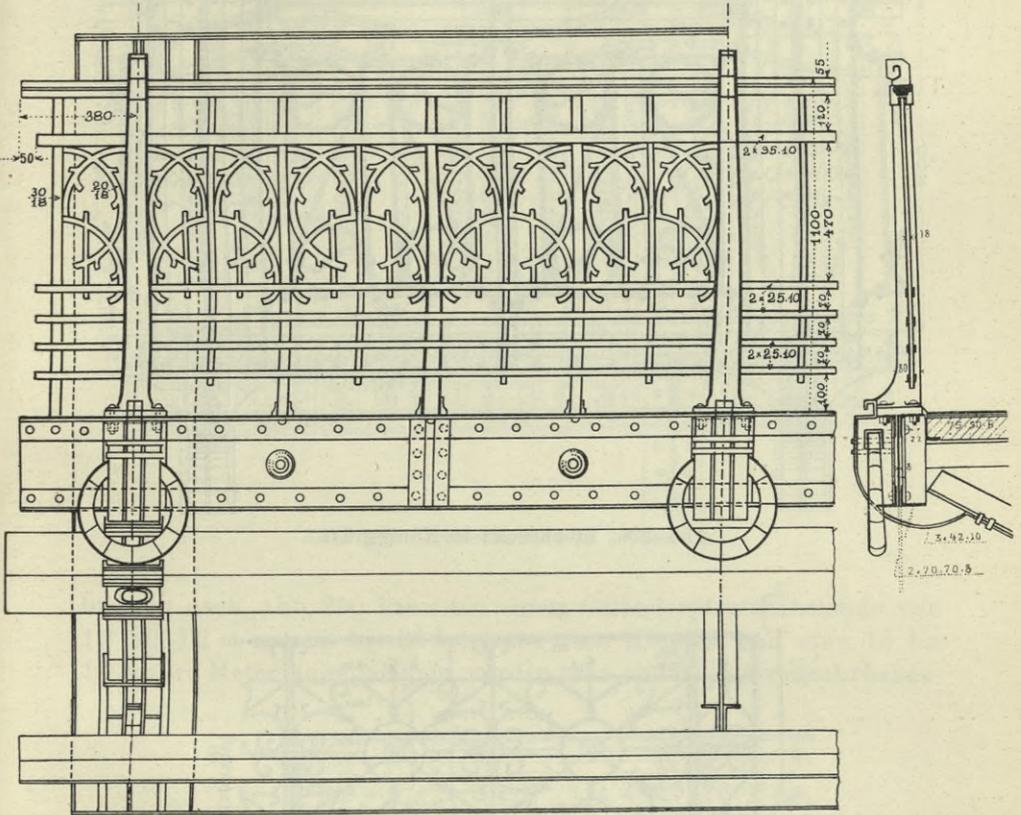


Abb. 295. Straßenbrücke in Krakau. (Österr. Arbeitsministerium.)

Hespeneisen, das sind Flacheisen mit Randwulsten. Die entstehenden Felder sind bei Straßenbrückengeländern entsprechend dicht auszufüllen.

Ein Stabgeländer einfachster Art zeigt Abb. 293. Die zwischen den Geländerpfosten eingesetzte Füllung ist aus senkrechten und horizontal laufenden Stäben aus 25×10 mm Stabeisen gebildet. Ein ähnliches, aber schon etwas verziertes Geländer ist durch Abb. 294 dargestellt. Beispiele reicherer Verzierungen solcher Stabgeländer geben die Abb. 295, 296. Für Geländer mit Füllungen aus gebogenen

Stäben in mehr oder weniger kunstvoller Schmiedearbeit sind in den Abb. 297, 298, 299 Beispiele geboten.

An allen Stellen, wo Unterbrechungen der Brückenbahn an-

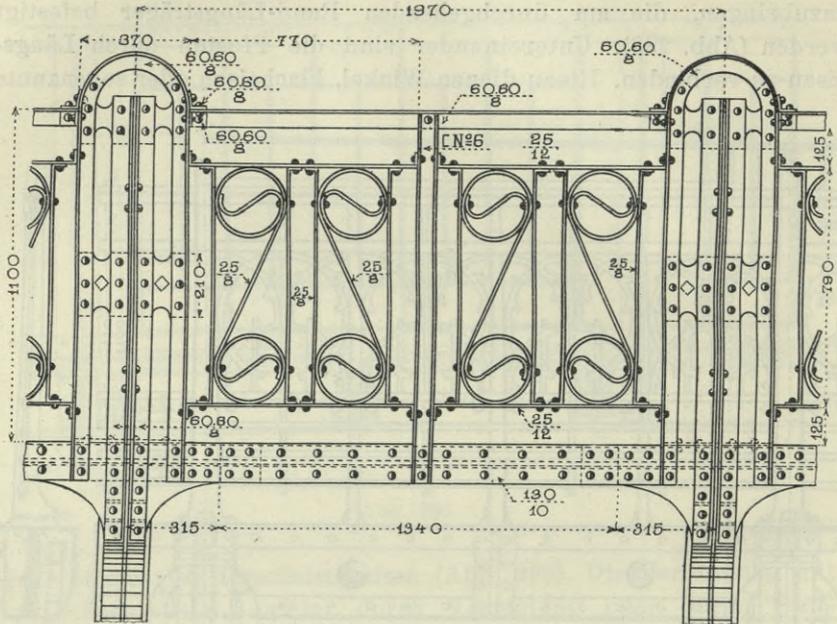


Abb. 296. Elbebrücke in Königgrätz.

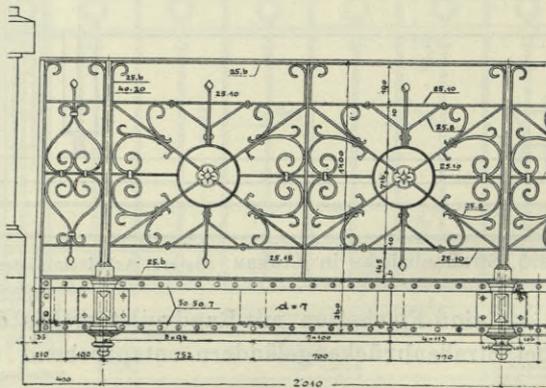


Abb. 297. Straßenbrücke in Ischl.

geordnet sind (siehe oben), ist natürlich auch das Geländer zu unterbrechen. Die Unterbrechung ist entweder eine vollkommene, wo doppelte Querträger mit Doppelpfosten im Geländer anzuordnen sind, wie meist an den Gelenken der Ausleger- oder Bogen-

brücken, oder sie ist nur derart, daß ohne sichtbare Lücke eine Längsverschiebung im Anschluß der Handleisten und Geländerriegel möglich gemacht ist.

Das Gewicht des Geländers einer Eisenbahnbrücke in der Aus-

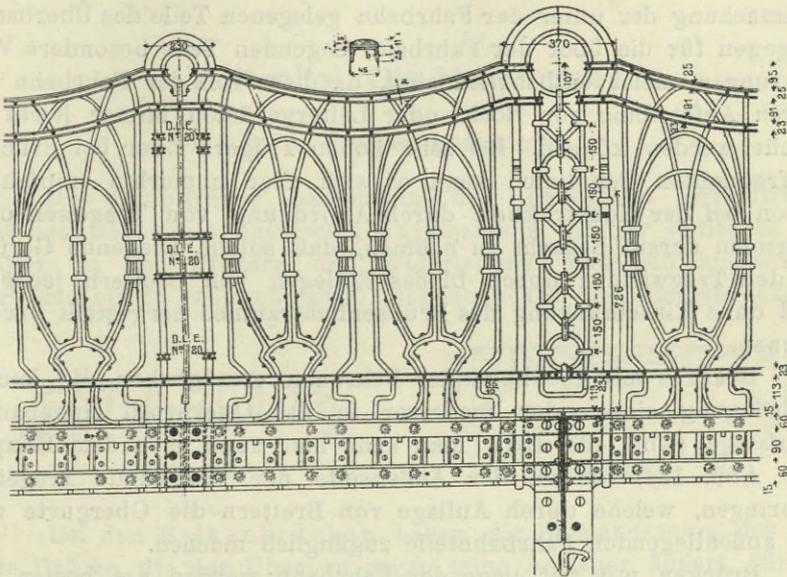


Abb. 298. Straßenbrücke in Leitmeritz.

bildung nach Abb. 290 kann bei einem Geländerpfostenabstande von 1·8 bis 1·2 m mit 25 bis 33 kg, jenes nach Abb. 291 mit etwa 13 bis 16 kg pro Meter angenommen werden. Ein einfaches Straßenbrücken-

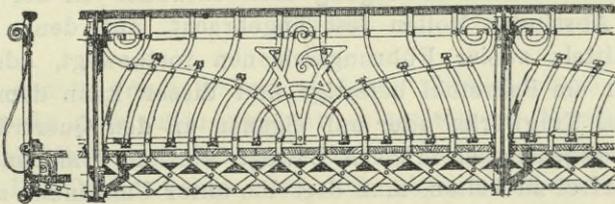


Abb. 299. Erzherzog Ludwig Viktor-Brücke in Salzburg.

geländer nach Art der Abb. 293 wiegt bei 1·9 m Ständerabstand pro Meter Länge rund 48 kg; reicher ausgestattete Geländer sind entsprechend schwerer.

Revisionsstege und Fahrbühnen. Zum Zwecke der Untersuchung eines eisernen Brückenüberbaues in bezug auf das Vor-

handensein von Roststellen, lockeren Nieten etc., sowie zwecks erleichterter Vornahme von Ausbesserungs- und Erhaltungsarbeiten dienen Laufstege und fahrbare Untersuchungsgerüste, deren Anbringung jetzt bei den meisten größeren Brücken schon bei ihrem Baue vorgesehen wird. Es handelt sich vor allem um die Zugänglichmachung der unter der Fahrbahn gelegenen Teile des Überbaues, wogegen für die über der Fahrbahn liegenden Teile besondere Vorkehrungen meist entbehrlich sind, da diese von der Fahrbahn aus durch Aufstellung von Bock- oder Leitergerüsten immer leicht erreicht werden können. Bei sehr hohen Trägern oder bei Brücken in frequenten Bahnlinien kann es sich aber immerhin empfehlen, schon bei der Konstruktion durch Anordnung von Trageisen oder Konsolen darauf Bedacht zu nehmen, daß solche fliegende Gerüste an den Tragwänden durch bloßes Einlegen von Brettern jederzeit und ohne Einschränkung des Brückenlichttraumes hergestellt werden können.

Brücken mit hochliegender Fahrbahn ermöglichen die leichte Anbringung eines oder mehrerer in das Querprofil eingebauter Laufstege (Abb. 133, 134). Man kann hier auch nach dem Beispiel der Abb. 134, 158 an der Außenseite der Tragwände Trageisen anbringen, welche durch Auflage von Brettern die Obergurte und die außenliegenden Fahrbahnteile zugänglich machen.

Brücken mit tief liegender Fahrbahn werden am besten mit einem fahrbaren Revisionsstege ausgerüstet, der unterhalb der Brücke an deren Tragwerk hängend über die ganze Brückenbreite reicht und nach der Längsachse der Brücke verschoben werden kann¹⁾. Für diesen Steg genügt eine Breite von etwa 1 m; er wird von zwei leichten Gitterträgern gebildet, die an den Enden entsprechend abgestrebt sind. Zur Fortbewegung sind entweder an der Brücke in gewissen Abständen Rollen fest angebracht, auf denen sich das Gerüst mittels zweier Führungsschienen fortbewegt, oder es sind die Rollen am Fahrstuhl befestigt und dieser kann damit auf den Gurten des Tragwerks oder auf eigenen an den Querträgern oder Konsolen angehängten Trägern bewegt werden. Um den Fahrstuhl hochwasserfrei zu halten, muß derselbe unter Umständen zum Heben eingerichtet sein, ebenso kann bei Brücken mit mehreren Öffnungen, bei welchen man nicht jedes Feld mit einem besonderen Fahrstuhl versehen will, eine solche Anordnung getroffen werden, daß durch

¹⁾ Haberkalt, Die Revisionsgerüste eiserner Brücken. „Allgemeine Bauzeitung“ 1903, Heft 4. Eine eingehende Abhandlung mit Abbildungen zahlreicher Ausführungen.

eine Teilung des Fahrstuhles ein Passieren der Lager auf den Mittelpfeilern möglich wird.

Das Fahrstuhlgleis kann pro Meter Brücke mit etwa 35 bis 50 *kg* veranschlagt werden; für den Fahrstuhl selbst ergibt sich ein Gewicht von 60 bis 80 *kg* pro Meter seiner Länge.

V. Kapitel. Die Hauptträger.

§ 24. Tragwerkssysteme.

Die Hauptträger bestimmen das Bausystem der Brücke. Als hauptsächliches Unterscheidungsmerkmal gilt ihr statisches Verhalten zu den Pfeilern und Widerlagern. Man teilt hienach die Brücken ein in Balkenbrücken, Bogenbrücken und Hängebrücken.

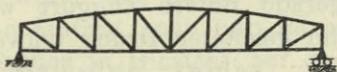


Abb. 300.

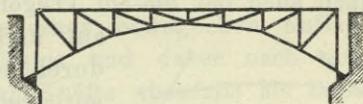


Abb. 301.

Bei den Balkenbrücken haben die Stützendrucke, das sind die Drücke, die der Überbau gegen seine Auflager äußert, für lotrechte Belastung auch eine lotrechte Richtung. Die Träger werden auf Biegung, sonach auf Zug und Druck, beansprucht (Abb. 300).

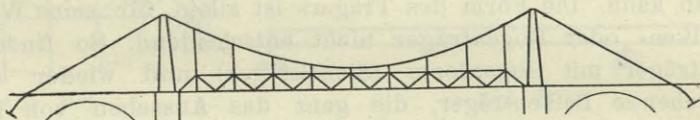


Abb. 302.

Bei den Bogenbrücken sind die Stützendrucke der Hauptträger schräg nach außen gerichtet; es entsteht ein Horizontalschub, den die Widerlager oder angrenzende Teile des Überbaues aufnehmen. Die Träger haben eine nach oben gekrümmte Form und werden vorwiegend auf Druck beansprucht (Abb. 301).

Bei den Hängebrücken findet das Umgekehrte statt. Das Tragwerk, das eine nach abwärts gekrümmte Form erhält, übt in seinen Stützpunkten einen Zug aus, der über die hochgeführten Pfeiler (Pylonen) zur Verankerung in den Widerlagern geleitet wird (Abb. 302). Damit ist auch eine überwiegende Beanspruchung des Tragwerkes auf Zug verbunden.

Das statische Verhalten eines Brückenüberbaues, beziehungsweise seiner Hauptträger wird durch die Art der Auflagerung bestimmt.

Bei einem Balkenträger darf nur ein Auflager fest, d. i. in der Trägerebene unverschieblich, die übrigen müssen wagrecht verschieblich sein, damit sie nur lotrechte Drücke aufnehmen. Reibungswiderstände im beweglichen Auflager können den Auflagerdruck bis zur Größe des Reibungswinkels von der lotrechten Richtung ablenken. Wir setzen aber widerstandlos verschiebliche Lager voraus und werden trachten, dieser Annahme in der Ausführung möglichst nahe zu kommen.

Der allgemeine Fall des Balkenträgers über einer Öffnung wird erhalten, wenn das bewegliche Lager nicht horizontal, sondern auf einer schiefen Gleitbahn verschieblich ist. Der Stützendruck in diesem Lager ist dann stets normal zur Gleitbahn gerichtet, es treten sonach auch bei diesem Träger wagrechte Drücke auf die Pfeiler auf und der gerade untere Zuggurt wird durch den in ihn geleiteten Druck teilweise entlastet. Dieser schief aufgelagerte Balkenträger (Abb. 303) hat aber nur in vereinzelt Fällen im Brückenbau Anwendung gefunden.

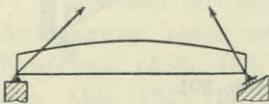


Abb. 303.

Bogen- oder Hängeträger müssen unverschiebbare oder wenigstens nur bedingungsweise verschiebbare Lager erhalten, damit die horizontale Auflagerkraft, die diese Träger kennzeichnet, zur Geltung kommen kann. Die Form des Trägers ist allein für seine Wirkung als Balken- oder Bogenträger nicht entscheidend. So finden wir Balkenträger mit Bogenform (Sichelträger) und wieder andere, durchgehende Balkenträger, die ganz das Aussehen von Hängeträgern haben.

Wir können bei den Tragwerken steife und schlaffe Formen unterscheiden. Bei ersteren treten unter wechselnder Belastung nur elastische Formänderungen, Durchbiegungen, auf, bei den letzteren aber weitaus größere statische Formänderungen oder geometrische Verschiebungen. Balken sind schon dem Begriffe nach steife Konstruktionen; Bogen und Hängeträger können aber auch schlaff, als gelenkiges Stabviereck, als Seil oder Kette ausgebildet werden. Während aber die Kette bei wechselnder Belastung immer eine neue stabile Gleichgewichtslage, allerdings mit großer Formänderung, annimmt, ist der schlaffe Bogen unstabil und für sich allein als Tragwerk nicht brauchbar. Man muß daher den Bogen entweder selbst steif ausbilden, so daß er Biegungsspannungen aufzunehmen

imstande ist, oder ihn mit einem geraden Versteifungsträger verbinden (Abb. 304). Dasselbe gilt von den Hängeträgern, die man in unversteifter oder schwach versteifter Form nur bei den älteren Ketten- und Seilbrücken ausgeführt findet. Für die heutige Anwendung im Brückenbau wird einerseits der an sich steife Bogen (Abb. 301), anderseits die Ketten- oder Kabel-Hängebrücke mit Versteifungsträger (Abb. 302) bevorzugt.

Wird bei einem Bogenträger der Horizontalschub in der Konstruktion selbst durch ein Zugband aufgenommen, so entsteht ein

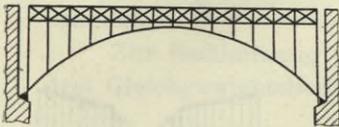


Abb. 304.

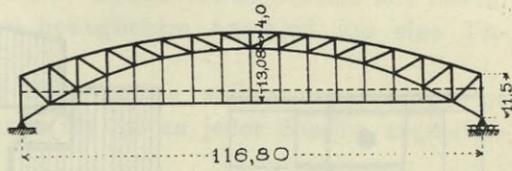


Abb. 305.

Tragwerk, das unter Voraussetzung eines beweglichen Auflagers seine Stützen auch nur lotrecht belastet und daher nach obiger Definition in Hinsicht auf die äußeren Kräfte ebenfalls als Balkenträger anzusprechen wäre. In Hinblick auf die inneren Kräfte und auf die einem Bogenträger entsprechende konstruktive Durchbildung zählen wir aber dieses System des Bogenträgers mit Zugband (Abb. 305) besser zu den Bogenträgern. Ähnliches gilt für die Verbindung eines Hängeträgers (Kettengurtes) mit einem, den Zug der

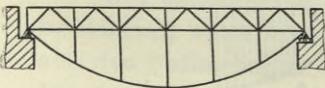


Abb. 306.

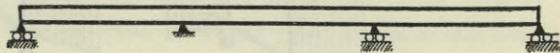


Abb. 307.

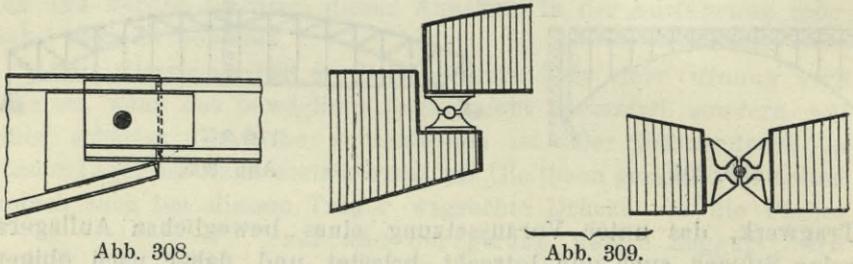
Kette aufnehmenden geraden Trägers (Abb. 306). Der Bogenträger mit Zugband ist im neuzeitlichen Brückenbau ein sehr beliebtes System geworden.

Brücken mit mehreren Öffnungen erhalten entweder für jede Öffnung unabhängige Überbauten, einfache Tragwerke, oder zusammenhängende durchgehende (kontinuierliche) Tragwerke. Letztere haben besonders bei großen Spannweiten gegenüber Einzelträgern im allgemeinen den Vorteil einer Gewichtersparnis, auch kann für ihre Anwendung der Umstand sprechen, daß ihre Aufstellung ganz oder teilweise ohne festes Gerüst, nämlich durch freien Vorbau erfolgen kann.

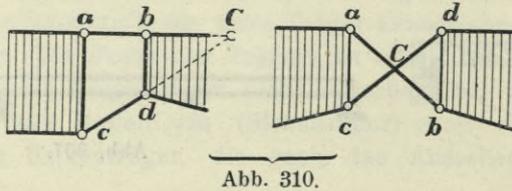
Von den durchgehenden Tragwerken ist insbesondere der durch-

gehende Balkenträger, d. i. der auf mehreren Stützen horizontal aufgelagerte Träger (Abb. 307) von praktischer Wichtigkeit. Es werden aber auch Bogen- und Hängeträger durchgehend über mehrere Öffnungen ausgeführt und es kommen Anordnungen vor, wo Bogen- und Balkenträger miteinander in Verbindung treten.

In allgemeiner Auffassung kann man solche Tragwerke aus einzelnen steifen Gebilden, steifen ebenen Scheiben zusammengesetzt denken, die in zwei oder mehr Punkten auf feste oder verschiebliche Lager gesetzt sind. Untereinander nehmen wir die Scheiben



durch Gelenke verbunden an, die auch wieder entweder fest sind, d. h. wohl eine Drehung aber keine gegenseitige Verschiebung gestatten, oder als verschiebliche Gelenke die gegenseitige Verschiebung der verbundenen Scheiben nach einer bestimmten Richtung zulassen. Jede Scheibe muß aber gegen das ganze System selbst



festgehalten sein. Die festen Gelenke werden als Bolzenscharniere (Abb. 308) oder falls kein Abheben eintreten kann, als feste Kipp-lager (Abb. 309) ausgeführt. Sie können aber auch dadurch gebildet werden, daß man die beiden Scheiben durch zwei nicht parallele Stäbe verbindet (Abb. 310). Der Schnittpunkt C der beiden Stab-richtungen bestimmt den augenblicklichen Drehpunkt oder den Gelenkmittelpunkt. Die Stäbe müssen selbst gelenkig angeschlossen werden, wenn Verbiegungen derselben vermieden werden sollen. Verschiebliche Gelenke werden durch bewegliche Kipp-lagerung (Abb. 311) oder dadurch erhalten, daß man die beiden Scheiben nur durch einen gelenkig angeschlossenen Stab verbindet (Abb. 312).

In jedem Scheibengelenke tritt ein Druck auf, dessen Größe, und bei einem festen Gelenke auch dessen Richtung unbekannt ist. Man kann hienach bei jeder gegebenen Anordnung die Zahl der Unbekannten der äußeren Kräfte leicht bestimmen; sie setzt sich aus a Auflager-Unbekannten und g Gelenkdrücken zusammen, und zwar sind für jedes feste Lager oder Gelenk zwei Unbekannte, für jedes bewegliche Lager oder Gelenk eine Unbekannte anzusetzen. Sind mehr als zwei Scheiben in einem Gelenke vereinigt, so erhöht sich die Zahl der Unbekannten für jede hinzutretende Scheibe mit festem Gelenksanschluß um zwei, bei beweglichem Anschluß um eine Unbekannte.

Zur Bestimmung dieser Unbekannten stehen uns zunächst je drei Gleichgewichtsbedingungen für die an jeder Scheibe angreifen-

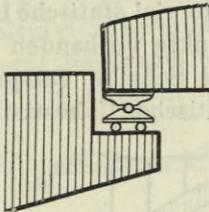


Abb. 311.

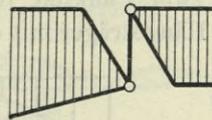


Abb. 312.

den äußeren Kräfte zur Verfügung. Wir erhalten sonach bei m Scheiben $3m$ Bedingungsgleichungen.

Das ebene System ist in bezug auf die äußeren Kräfte statisch bestimmt, wenn $3m = g + a$ ist, in welchem Falle sämtliche Kräfte aus den Bedingungen für das statische Gleichgewicht erhalten werden können.

Statisch unbestimmt in bezug auf die äußeren Kräfte nennen wir dagegen die Anordnung dann, wenn die statischen Gleichgewichtsbedingungen zu ihrer eindeutigen Ermittlung nicht ausreichen, oder wenn $3m < g + a$ ist. Die für die Berechnung dieser Systeme fehlenden Bedingungen sind aus den elastischen Formänderungen abzuleiten.

Anordnungen, für welche $3m > g + a$ wäre, sind nicht stabil und als Tragwerke nicht brauchbar. In gewissen Sonderfällen kann dies auch für Systeme mit $3m = g + a$ gelten und können diese eine große Verschieblichkeit geben, die sie für die Anwendung ungeeignet macht. Hierüber gibt das kinematische Verhalten des Systems Aufschluß.

Besteht das Tragwerk aus einer einzigen starren Scheibe, so kann diese zur statischen Bestimmtheit entweder in einem festen und einem beweglichen Lager gestützt werden (einfacher Balken-

träger) oder in drei verschieblichen Lagern (Abb. 313). In letzterem Falle bedingt aber die Festhaltung des Trägers, daß sich die drei Normalen zu den Auflagerbahnen nicht in einem Punkte treffen und nicht parallel sind. Für die praktische Anwendung hat dieses Tragwerkssystem keine Bedeutung.

Wird die Scheibe in mehr als zwei Punkten so gestützt, daß ein Lager fest, die übrigen verschieblich sind, so entsteht der kon-

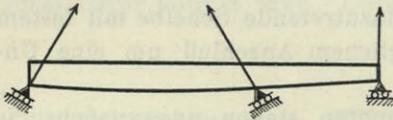


Abb. 313.

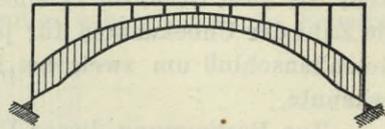


Abb. 314.

tinuierliche Balkenträger (Abb. 307), der so viel statische Unbestimmtheiten besitzt als mehr als zwei Stützpunkte vorhanden sind.

Die in zwei Punkten fest gelagerte Scheibe entspricht einem Bogen- oder Hängeträger mit einfacher statischer Unbestimmtheit, dem

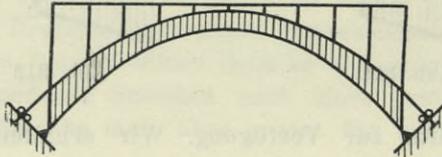


Abb. 315.

Zweigelenkbogen (Abb. 314). Werden noch zwei weitere Punkte der Scheibe verschieblich festgehalten, so entsteht der dreifach statisch unbestimmte eingespannte oder gelenklose Bogen (Abb. 315).

Teilt man die Scheibe durch ein Gelenk, so liefert der neue

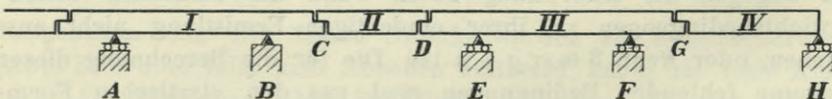


Abb. 316.

Scheibenteil drei weitere statische Bedingungen, denen bei einem unverschieblichen Gelenk zwei neue Unbekannte gegenüberstehen. Jedes unverschiebliche Gelenk hebt sonach eine statische Unbestimmtheit auf. Wir erhalten so aus dem Zweigelenkbogen durch Anbringung eines Mittelgelenkes den statisch bestimmten Dreigelenkbogen.

Ein Balkenträger über drei Stützen erfordert zur statischen

Bestimmtheit die Anordnung eines Gelenkes, ein solcher über vier Stützen erfordert zwei Gelenke usw. Man erhält hiedurch den zuerst von Gerber (1866) in Vorschlag und zur Ausführung gebrachten kontinuierlichen Gelenkträger, Gerber-Träger, Auslegerträger oder den Träger mit frei schwebenden Stützpunkten, der im neuzeitlichen Brückenbau eine wichtige Rolle spielt und in dessen bedeutendsten Ausführungen (Forth-Brücke, Quebec-Brücke) An-

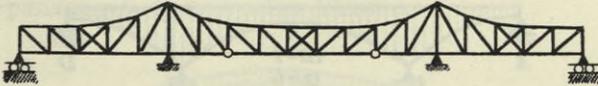


Abb. 317.

wendung gefunden hat. Das System wird durch die schematische Abbildung 316 veranschaulicht. Es besteht aus den auf den Pfeilern $A B E F$ gelagerten Kragträgern I und III und den dazwischen eingehängten, auf die Kragarme gestützten Koppel- oder Schwebeträgern II und IV. Die Anordnung kann sich auf beliebig viele Felder er-

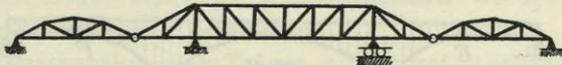


Abb. 318.

strecken, es wird aber jeder Kragträger nur von den auf ihn und auf die beiden angrenzenden Koppelträger einwirkenden Lasten beansprucht, wogegen die Belastung der übrigen Teile ohne Einfluß ist. Sind die Auflager auf den Pfeilern mit Ausnahme eines Lagers beweglich, so sind die Gelenke C, D, G fest auszuführen; es kann

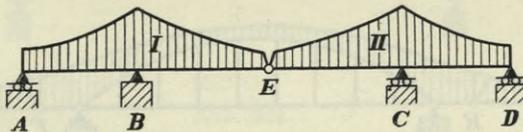


Abb. 319.

aber auch jeder Kragträger auf ein festes und ein bewegliches Lager gesetzt werden, dann ist unter jedem Koppelträger ein längsverschiebliches Gelenk anzuordnen.

Bei Brücken mit drei Feldern wird nach Abb. 317 der Koppelträger gewöhnlich ins Mittelfeld gelegt; es kann aber auch, besonders bei gleich großen oder größeren Seitenfeldern nach Abb. 318 ein mittlerer Kragträger beiderseits durch Koppelträger an die Widerlager angeschlossen werden.

Der in Abb. 319 dargestellte Träger mit nur einem Gelenk im Mittelfelde ist einfach statisch unbestimmt. Durch Anordnung eines längsverschieblichen Gelenkes bei *E* würde diese Unbestimmtheit nicht beseitigt, sondern nur die Festhaltung der Scheibe II aufgehoben.

Das Prinzip des Auslegerträgers kann auch auf Bogenträger angewendet werden, wobei sich der Grad der äußeren statischen

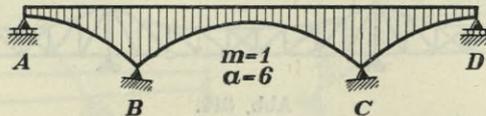


Abb. 320.

Unbestimmtheit nach obiger Regel leicht angeben läßt. So ist beispielsweise der Träger nach Abb. 320 dreifach jener nach Abb. 321 einfach statisch unbestimmt. Die Anordnung eines Scheitelgelenkes würde eine Unbestimmtheit beheben.

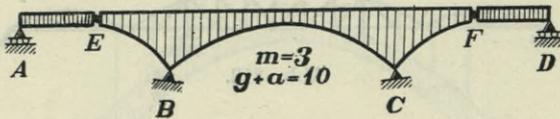


Abb. 321.

Bei dem Gerber-Träger wirken die einzelnen ihn zusammensetzenden Scheiben als frei aufliegende Balken und es ist für die äußeren Kräfte ohne Belang, wie diese Balken selbst ausgebildet sind. Es können demnach einzelne oder auch sämtliche dieser Balken

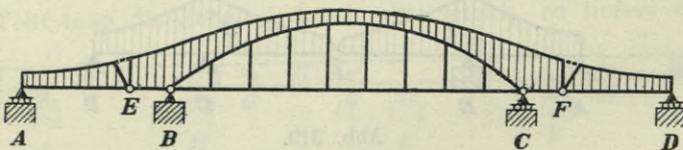


Abb. 322.

als Bogen mit Zugband konstruiert sein, wodurch die in den Abb. 322 bis 324 dargestellten Trägeranordnungen erhalten werden.

In bezug auf die äußeren Kräfte sind alle diese Anordnungen statisch bestimmt. Hinsichtlich der inneren Kräfte gibt jedes Zugband eine statische Unbestimmtheit.

Innerlich statisch unbestimmt ist ein Träger, wenn die in ihm auftretenden Spannungen nicht aus den statischen Gleichgewichts-

bedingungen zwischen inneren und äußeren Kräften erhalten werden können. Die statische Unbestimmtheit eines Tragwerks hat zur Folge, daß die Kräfte von dessen Formänderung abhängen und daher im allgemeinen von der Aufstellung (Montage) der Konstruktion, sowie von Wärmeschwankungen beeinflusst werden können. Äußerlich statisch unbestimmte Träger sind in hohem Maße von der relativen Stützenlage abhängig, so daß geringe Änderungen darin bereits erhebliche Spannungen hervorrufen können.

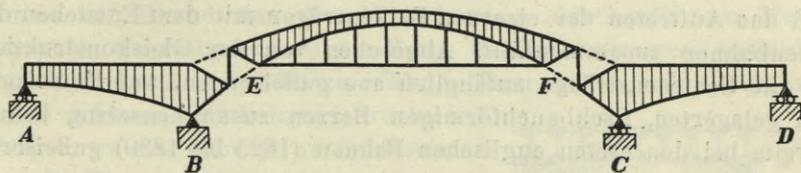


Abb. 323.

Träger mit hoher statischer Unbestimmtheit werden daher in der Anwendung jetzt gerne vermieden.

In der Konstruktion der Träger sind zwei Ausführungsarten zu unterscheiden, nämlich vollwandige Träger und gegliederte oder Fachwerkträger. Zu den ersteren gehören die gegossenen und gewalzten Träger und die durch Nietung zusammengesetzten

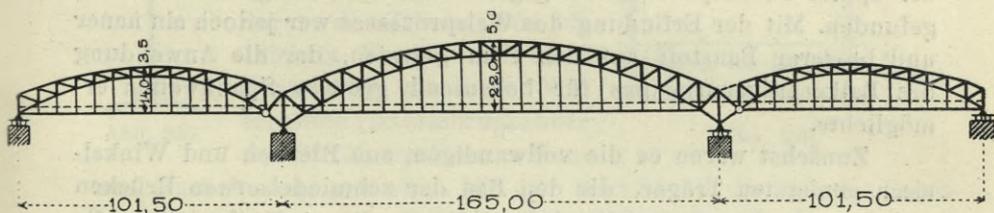


Abb. 324.

Blechträger. Die Träger der zweiten Art, die gegliederten Träger, bestehen aus einzelnen, an ihren Enden miteinander verbundenen, stabförmigen Teilen. Man nennt sie Fachwerks- oder Gitterträger und wendet die letztere Bezeichnung im besonderen auf solche gegliederte Träger an, deren Stäbe dichter gruppiert sind, sich mehrfach kreuzen und dementsprechend verhältnismäßig enge Zwischenräume, Maschen, einschließen, während unter Fachwerk die weitmaschigen gegliederten Systeme verstanden werden.

§ 25. Die Hauptträger der einfachen Balkenbrücken.

1. Träger mit vollen Wandungen.

Die Balkenbrücken, die heute weitaus das wichtigste und häufig angewandte Bausystem der eisernen Brücken darstellen, bezeichnen keineswegs die älteste Anwendungsform des Eisens im Brückenbau; die Kettenbrücken sowie auch die gußeisernen Bogenbrücken sind ihnen vielmehr vorausgegangen. Es verdient aber bemerkt zu werden, daß das Auftreten der eisernen Balkenträger mit dem Entstehen der Eisenbahnen zusammenfällt. Abgesehen von der Gleiskonstruktion, die die Schienenstränge anfänglich aus gußeisernen, auf Unterlagen frei gelagerten, fischbauchförmigen Barren zusammensetzte, kamen bereits bei den ersten englischen Bahnen (1825 bis 1830) gußeiserne Balkenbrücken mit Spannweiten bis zu 20 m, aus etwa 7 m langen Stücken zusammengeschaubt, zur Ausführung. Die niedrige Zugfestigkeit des Gußeisens, seine Sprödigkeit und geringe Widerstandsfähigkeit gegen Stoß lassen aber, wie schon eingangs gesagt wurde, dieses Material für Brückenträger im allgemeinen und besonders für auf Biegung beanspruchte Balken selbst bei kleinen Spannweiten wenig geeignet erscheinen. Es hat aber doch noch einige Jahrzehnte hindurch, bis über die Mitte des XIX. Jahrhunderts in Verbindung mit schweißeiserner Zugbewehrung, dann auch in den Druckgliedern der später zu besprechenden gegliederten Balkenträger Anwendung gefunden. Mit der Erfindung des Walzprozesses war jedoch ein neuer und besserer Baustoff auf den Plan getreten, der die Anwendung des Balkenträgerprinzipes für bedeutend größere Spannweiten ermöglichte.

Zunächst waren es die vollwandigen, aus Blechen und Winkel-eisen genieteten Träger, die den Bau der schmiedeisernen Brücken einleiteten und, wenn auch mit erheblichem Baustoffaufwand, große Spannweiten erzielen ließen. Von geschichtlicher Bedeutung für die Entwicklung des Brückenbaues sind die Konstruktionen, die die Ingenieure Fowler, Stephenson und Fairbairn, Brunel, Flachet u. a. bei den ersten englischen und französischen Bahnen zur Ausführung brachten. Sie gaben ihren großen Vollwandträgern entweder Kastenform mit doppelten Wandungen oder kasten- und zellenförmige Druckgurte (Abb. 325) und erreichten damit Spannweiten bis zu 70 m.

Noch bedeutungsvoller erscheinen aber die Leistungen, welche R. Stephenson zuwege brachte, als es sich beim Bau der Eisenbahn von Chester nach Holyhead (auf der englischen Insel Anglesea)

darum handelte, einen Meeresarm mit Stützweiten über 100 m zu überbrücken. Das von ihm bei der Britanniabrücke und der Conwaybrücke in den Jahren 1846 bis 1850 angewandte System der Röhren- oder Tunnelbrücken zeigt eine geschlossene rechteckige Röhre mit zellenförmigem Boden und ebensolcher Decke (Abb. 326). Die seitlichen Blechwände sind durch nahestehende Pfosten aus Winkeleisen ausgesteift. In den Brücken liegen zwei solche Röhren, von denen jede ein Gleis aufnimmt. Die ursprünglich beabsichtigte Verstärkung des Röhrenbalkens durch Anhängung an eine Kette wurde auf Grund der von Hodgkinson durchgeführten Modellversuche, die insbesondere die Frage der knicksicheren Ausbildung der Röhre auf empirischem Wege lösen halfen, als entbehrlich fallen gelassen. Die Britanniabrücke hat Träger, welche über je zwei Öffnungen von je 70 m und 140 m Lichtweite kontinuierlich sind; das Gewicht des eingleisigen Überbaues beträgt pro Meter 12·5 t. Die Conwaybrücke besitzt eine Öffnung von 122 m Lichtweite und pro Meter eingleisigen Überbaues ein Gewicht von 11·8 t.



Abb. 325.

Das System der Röhrenbrücken hat nur noch bei der in den Jahren 1854 bis 1859 in Kanada mit einer Spannweite von rund 100 m erbauten Viktoriabrücke über den St. Lorenzstrom zu Montreal Nachahmung gefunden. Mit dem ungefähr in die Zeit des Baues der Stephenson'schen Brücken fallenden Auftreten der eisernen Gitterbrücken mußte sich der viel schwerere und für große Stützweiten unwirtschaftliche Vollwandträger auf die kleineren Spannweiten beschränken und heute wird er nur bis zu Spannweiten von etwa 25 m, selten darüber, zur Ausführung gebracht.

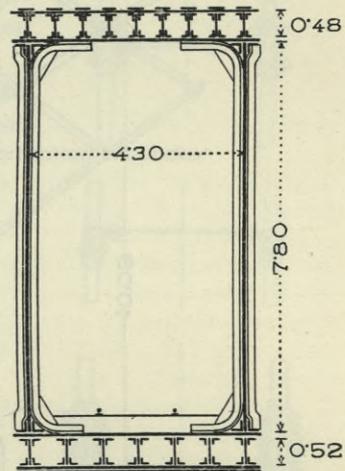


Abb. 326.

Die Konstruktion dieser Blechträger wurde in § 11 besprochen.

2. Gitter- und Fachwerksträger.

Bei den Vollwandträgern wird die Materialfestigkeit in der die Gurte verbindenden Blechwand für die Biegungsbeanspruchung nicht voll ausgenutzt, während andererseits doch Verstärkungen notwendig sind, um ihr die erforderliche Steifigkeit zu sichern. Es lag

daher ziemlich nahe, die Wand als durchbrochene Füllung auszuführen und hiedurch den Materialaufwand, besonders bei größeren Trägern zu vermindern. Die ersten eisernen Gitterträger lassen denn auch tatsächlich diese Art ihrer Entstehung deutlich erkennen und bildet bei ihnen das engmaschige Gitterwerk, das die beiden Gurtungen verbindet, nur einen Ersatz für die volle Wandung. Ihr Vorbild hatten diese Träger in den amerikanischen hölzernen Latten-

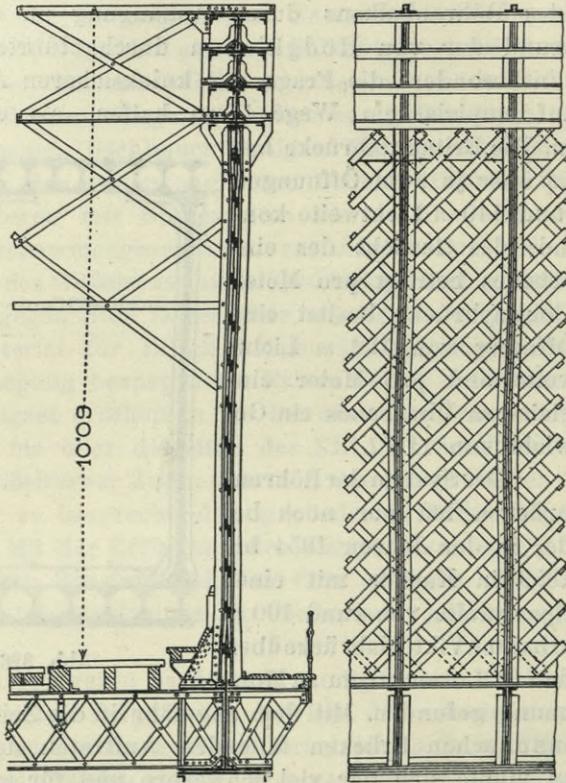
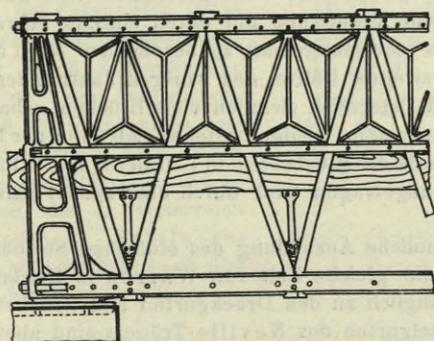


Abb. 327. Alte Dirschauer-Brücke.

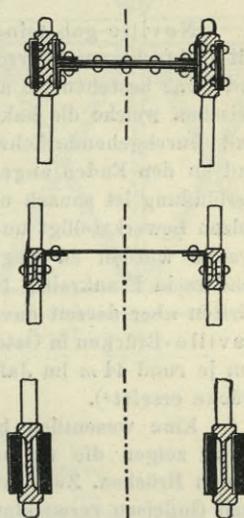
brücken, die Town anfangs der Dreißigerjahre des vorigen Jahrhunderts einführt (s. Bd. I, S. 205) und die zuerst in England in Eisen nachgebildet wurden. Als erstes größeres Bauwerk dieser Art erscheint die im Jahre 1845 im Zuge der Dublin—Drogheda-bahn erbaute Royalkanalbrücke mit 42·7 m Spannweite, die zwei Gleise auf drei Trägern von 5·34 m Höhe überführt. In rascher Folge sehen wir solche Brücken auch in Deutschland entstehen und es fand daselbst das System der engmaschigen Flacheisen-Gitterbrücken bei

den in den Jahren 1850 bis 1857 von Lentze erbauten Brücken über die Weichsel bei Dirschau und über die Nogat bei Marienburg seine großartigste Anwendung. Die Dirschauer Brücke erhielt sechs Öffnungen von je 131 *m*, die Marienburger Brücke zwei Öffnungen von je 103 *m* Stützweite. Die Träger gehen über je zwei Öffnungen durch und haben bei der Dirschauer Brücke 11·7 *m* Höhe. Das Gitterwerk besteht bei allen diesen Brücken aus zwei Lagen von sich kreuzenden, unter 45° geneigten Flacheisenstäben, die anfänglich gleich stark und gleich dicht angeordnet wurden, bei den späteren Brücken (Dirschau, Köln) einen der Beanspruchung der Wand besser angepaßten verschiedenen starken Querschnitt erhielten. Es mußten aber überdies, so wie bei den Blechträgern, Vertikalsteifen in entsprechend nahen Abständen angebracht werden, um die Wand gegen Ausknicken zu sichern (Abb. 327).

Von dieser ersten Generation der schmiedeeisernen Gitterbrücken bestehen jetzt nur mehr



a) Ansicht.



b) Querschnitt einer Tragwand.

Abb. 328. Neville-Brücke über die Elbe bei Leitmeritz.

sehr wenig Beispiele. Die kleineren Spannweiten wurden im Laufe der Zeit durch Blechträger, die größeren durch moderne Fachwerksbrücken ersetzt. Die Dirschauer und Marienburger Brücke wurden in den Jahren 1889 bis 1891 neu erbaut und auch an die Stelle der letzten großen Brücke dieser Art, der Rheinbrücke zu Köln, ist seit zwei Jahren ein imposanter Neubau getreten.

Den Flacheisengitterbrücken folgten noch mehrere Entwicklungsstufen im Bau der eisernen Brücken, bevor diese zu ihrer heutigen Ausbildung gelangten. In dem Maße als die Theorie zu größerer Klarheit über die Beanspruchung eines gegliederten Trägers verhalf, wurde man allmählich auf rationellere Konstruktionen geführt. So

folgte zunächst die steife Ausbildung der Gitterstäbe, zu denen L-, U- und andere Profileisen verwendet wurden. Die stärkeren Querschnitte der Stäbe erlaubten es, die Maschen des Gitterwerks zu vergrößern und näherte man sich derart mehr und mehr dem Prinzip der Fachwerksträger. Es sind jedoch auch schon frühzeitig neben den genieteten Gitterträgern eigentliche fachwerksartige Konstruktionen entstanden, denen aber sämtlich in der baulichen Durchbildung noch bedenkliche Mängel anhafteten. Dies gilt sowohl von dem im Jahre 1845 von dem belgischen Ingenieur Neville aufgestellten System, wie auch von den nach ihrem österreichischen Erfinder benannten Schifkorn-Brücken, welchen heute nur ein geschichtliches Interesse zukommt.

Neville gab seinen Trägern eine einteilige Strebenausfachung aus Stäben mit rechteckigem Querschnitt. Für die Gurte ist zum Teil Gußeisen verwendet und zwar bestehen sie aus einzelnen von Knoten zu Knoten reichenden Stücken, zwischen welche die hakenförmig gestalteten Enden der Wandstäbe geschoben sind. Durchgehende Schweißeisenschienen, die beiderseits an die Gurte angelegt und an den Enden angespannt sind, halten die Teile zusammen (Abb. 328). Die Verbindung ist sonach ohne jedwede Vernietung nur durch einzelne Schraubenbolzen bewerkstelligt und wohl als sehr mangelhaft zu bezeichnen. Nach diesem System wurden zu Beginn der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts besonders in Frankreich, Italien und Österreich ziemlich viele Brücken gebaut; es dürften aber derzeit davon nur mehr sehr wenige bestehen. Als eine der letzten Neville-Brücken in Österreich wurde die Elbebrücke in Leitmeritz mit Öffnungen von je rund 44 m im Jahre 1910 abgetragen und durch eine neue Fachwerksbrücke ersetzt¹⁾.

Eine wesentlich bessere bauliche Ausbildung des einfachen Strebenfachwerks zeigen die um ungefähr die gleiche Zeit von Warren in England erbauten Brücken. Zwar wurde anfänglich zu den Druckgurten und Druckstreben noch Gußeisen verwendet, die Mittelgurten des Neville-Trägers sind aber fortgelassen und die Verbindung der Stäbe in den Knotenpunkten erfolgte in rationellerer Weise durch Gelenkbolzen. Das System der Warren-Träger ist dann besonders in den amerikanischen Brücken zu weiterer Entwicklung gelangt.

Das in Österreich entstandene und daselbst um die Zeit von 1858 bis 1867 vielfach zu Eisenbahn- und Straßenbrücken angewandte System Schifkorn hat die Howeschen Holzträger (s. Bd. I, S. 208) in Eisen nachgebildet (Abb. 329 a). Es enthält sonach in der Ausfachung gekreuzte, auf Druck beanspruchte Streben und künstlich gespannte Vertikalstäbe. Die Streben, sowie der aus einzelnen Stücken bestehende Obergurt sind aus Gußeisen, die Vertikalen und der Untergurt aus Schmiedeeisen. Im Obergurt liegen, wie beim Neville-Träger Spannschienen, welche ihn zusammenhalten und gegen Ausknicken sichern sollen (Abb. 329 b). Die Haupt- und Gegenstreben liegen in einer Ebene, sind daher an den Kreuzungsstellen unterbrochen. Da überdies bei der Konstruktion dieser Träger das Bestreben vorwaltete, sie aus verhältnismäßig

¹⁾ Weingärtner, Die Kaiser Franz Josef-Brücke über die Elbe in Leitmeritz; Allgem. Bauzeitung 1911.

kurzen und leichten Teilen ohne jede Vernietung zusammzusetzen, so wurde jeder Hauptträger aus zwei bis vier nahestehenden Wänden gebildet, die untereinander durch die durchgehenden Knotenpunktschrauben in Verbindung standen; auch wurde bei größeren Trägern das doppelte Howesche System in Anwendung gebracht, wodurch jede Strebe in vier Stücke zerfiel, die sich in den Kreuzungs- wie auch in den Knotenpunkten nur stumpf gegeneinander stemmten. Die Träger mit doppeltem System erhielten noch einen Mittelgurt in Gestalt durchgehender Längsschienen.

Die Mängel dieses Systems liegen zu sehr auf der Hand, als daß sie einer besonderen Hervorhebung bedürfen. Mit dem im Jahre 1868 erfolgten Einsturz der Eisenbahnbrücke über den Pruth bei Czernowitz (57 m Stützweite) welcher allerdings direkt durch Schweißfehler und zu hohe Inanspruchnahme des Untergurtes veranlaßt worden, kam dieses System in Mißkredit und es wurden die in Österreich bestandenen Schiffkornbrücken sämtlich nach und nach beseitigt.

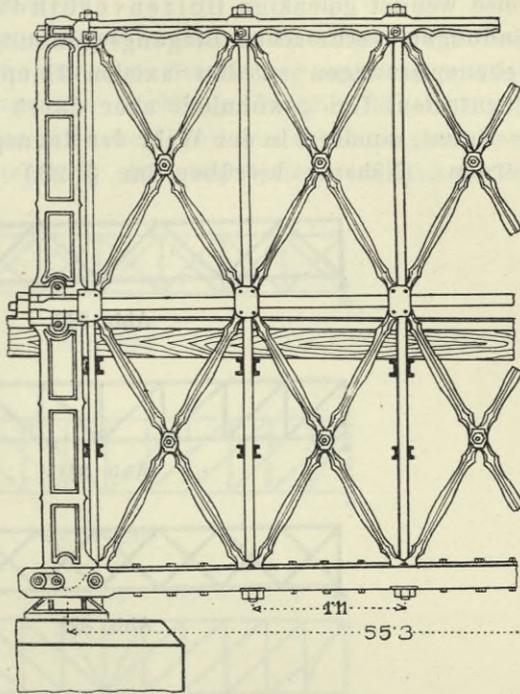


Abb. 329 a.
Schiffkorn-Brücke.

Ein Fachwerkträger besteht im allgemeinen aus den Gurtungen, die seine obere und untere Begrenzung bilden (Ober-

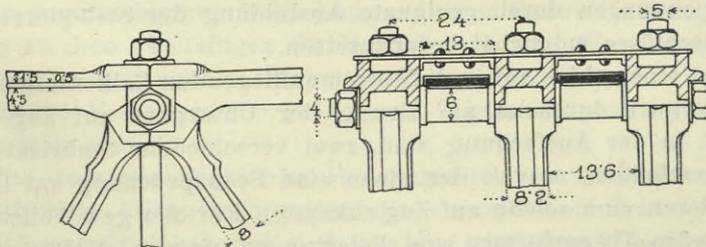


Abb. 329 b. Schiffkorn-Brücke; oberer Knotenpunkt.

und Untergurt) und aus den Ausfachungs- oder Gitterstäben, die die Kraftübertragung von einem Gurt zum anderen vermitteln.

Die Verbindung der Stäbe in den Knotenpunkten nehmen

wir bei der Berechnung der Fachwerke als gelenkig an, so daß unter dieser Annahme in den Stäben nur axiale Kräfte, Zug- und Druckkräfte auftreten. Wir führen aber unsere Fachwerke mit fester Vernietung in den Knotenpunkten aus, nur die amerikanische Bauweise wendet gelenkige Bolzenverbindungen an. Die festen Verbindungen verursachen Biegungsspannungen in den Stäben, die als Nebenspannungen zu den axialen Haupt- oder Grundspannungen hinzutreten, für gewöhnlich aber durch die Rechnung nicht näher bestimmt, sondern in der Wahl der Inanspruchnahme berücksichtigt werden. (Näheres hierüber im § 28.) Man wird trachten, diese

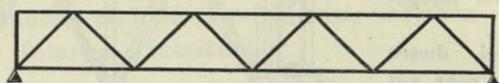


Abb. 330.



Abb. 331.



Abb. 332.



Abb. 333.

Nebenspannungen durch geeignete Ausbildung der Stabquerschnitte und Anschlüsse möglichst herabzusetzen.

Bei einem bloß auf zwei Stützen aufliegenden Balkenträger wird der Obergurt durchaus auf Druck, der Untergurt auf Zug beansprucht. In der Ausfachung sind zwei verschiedene Stabrichtungen zu unterscheiden, wovon der einen eine Beanspruchung auf Druck, der anderen eine solche auf Zug zukommt. Für die gewöhnlich vorkommenden Trägerformen und Belastungen werden die gegen die Trägermitte nach abwärts fallenden Gitterstäbe auf Zug, hingegen die nach aufwärts steigenden Gitterstäbe auf Druck beansprucht.

In den ausgeführten Fachwerkträgern finden wir hauptsächlich zwei Anordnungen der Ausfachung vertreten:

Das symmetrische oder Strebenfachwerk (Abb. 330), bei dem beide Stablagen gegen die Lotrechte unter dem gleichen Winkel geneigt sind und

das unsymmetrische oder Ständerfachwerk (Abb. 331), bei dem eine Stablage lotrecht steht.

Wir unterscheiden ferner die einfachen, einteiligen oder Dreiecksausfachungen, welche nur einen Strebenzug enthalten, in denen sonach keine Strebenkreuzungen vorkommen (Abb. 330, 331) und

die mehrfachen oder mehrteiligen Ausfachungssysteme, die durch Zusammenlegung mehrerer einfacher Systeme entstehen. Von

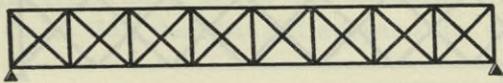


Abb. 334.

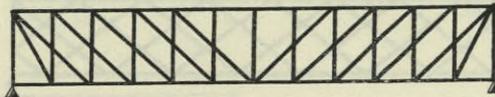


Abb. 335.

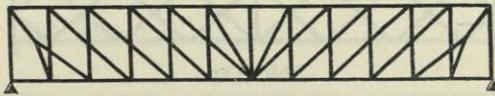


Abb. 336.

diesen werden jetzt aber wohl nur mehr die zweiteiligen Streben- und Ständerfachwerke ausgeführt (Abb. 332, 333), während die mehrteiligen engmaschigeren Ausfachungen älteren Bauweisen entsprechen. Treten zu dem zweiteiligen Strebenfachwerk noch Vertikalstäbe, so entsteht das sogenannte Doppelfachwerk (Abb. 334), welches auch noch heute, besonders für Träger von mittlerer Spannweite, gerne Anwendung findet.

Die einfachen Fachwerke sind innerlich statisch bestimmt, die Stabkräfte lassen sich, wenn die angreifenden Kräfte (Lasten- und Stützenkräfte) bekannt sind, aus den statischen Gleichgewichtsbedingungen eindeutig ermitteln. Die statische Bestimmtheit des ebenen Fachwerks erfordert, daß k Knotenpunkte nur durch $s=2k-3$ Stäbe verbunden sind. Diese Bedingung ist beim einfachen Fachwerk erfüllt. Mehrteilige Fachwerke sind im allgemeinen statisch

unbestimmt, sie enthalten mehr Stäbe, als zur Unverschieblichkeit des Systems erforderlich sind und diese beeinflussen sich gegenseitig durch ihre elastischen Formänderungen. Man kann aber auch mehrteilige Systeme durch Weglassung geeigneter Stäbe (Abb. 335) oder dadurch, daß man von den vier Ecken des Trägers zwei mit nur zweifachen Knoten (das sind solche, wo nur zwei Stäbe zusammentreffen) ausbildet, statisch bestimmt machen. Es ist jedoch dabei darauf zu achten, daß das System dadurch nicht verschieblich wird. Die Abb. 335 bis 338 stellen Anordnungen solcher statisch bestimmter Fachwerke dar.

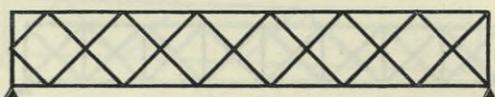


Abb. 337.



Abb. 338.

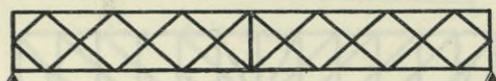


Abb. 339.

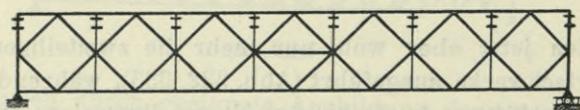


Abb. 340.

Die Kreuzungspunkte der Streben können dabei auch als Knotenpunkte aufgefaßt werden und man erkennt, daß bei allen diesen Trägern an ein festes Grundgebilde (Stab oder Dreieck) die weiteren Knotenpunkte immer nur durch je zwei Stäbe angeschlossen sind. Solche statisch bestimmte Gebilde sind dann auch der durch symmetrische Verdopplung des Trägers der Abb. 337 entstehende Dietz-Träger (Abb. 339) oder der Träger nach Abb. 340.

Die zweiteiligen Systeme nach Abb. 332 und 333 sind dagegen einfach statisch unbestimmt. Eine genauere Spannungsberechnung müßte die elastischen Formänderungen berücksichtigen. Da aber,

wie sich zeigt, jedes Teilsystem vornehmlich nur durch die in seinen Knotenpunkten wirkenden Lasten beansprucht wird, so kann man sich meist mit einer Näherungsberechnung auf Grund der Zerlegung in die Einzelsysteme begnügen (s. Seite 316). Allerdings geht daraus auch der hauptsächlichste Nachteil dieser mehrteiligen Systeme hervor, daß nämlich jede über den Träger rollende Last eine wiederholte Be- und Entlastung der Ausfachungsstäbe bewirkt, daher zu Schwingungsspannungen Anlaß geben kann. Im allgemeinen wird jetzt die Verwendung einfacher statisch bestimmter Ausfachungen bevorzugt.

Bei großer Trägerhöhe geben die einfachen Systeme große Knotenweiten, da es für den Baustoffaufwand in der Ausfachung

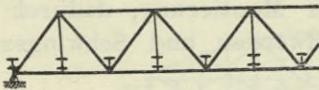


Abb. 341.

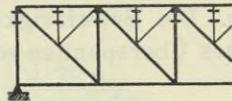


Abb. 342.

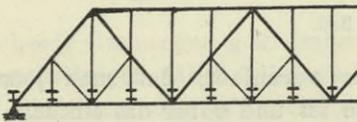


Abb. 343.

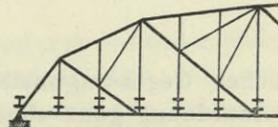


Abb. 344.

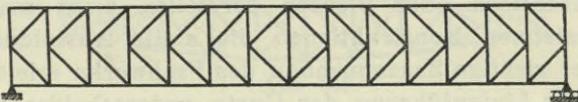


Abb. 345.

nicht zweckmäßig ist, die geneigten Stäbe viel steiler als unter 40 bis 45° zu legen. Um aber eine nicht zu schwere Fahrbahnkonstruktion zu erhalten, geht man mit dem Querträgerabstand für gewöhnlich nicht über 5 bis 6 m (s. § 20, S. 245) und schaltet sonach bei größerer Knotenweite Zwischenquerträger ein, die an die Hauptknoten des Fachwerks angehängt oder auf sie gestützt werden (Abb. 341 bis 344). Die bis zum Obergurt durchreichenden Hängestangen erhöhen dessen Widerstand gegen Knickung.

Enger gestellte Knotenpunkte lassen sich bei statischer Bestimmtheit auch durch Anwendung der K-Ausfachung erhalten (Abb. 345), doch wird dieses etwas unruhig wirkende Ausfachungssystem des nach Haeseler benannten Trägers weniger für Haupt-

träger (Eisenbahnbrücke über die Havel bei Brandenburg), dagegen häufig für die Windverstrebenungen verwendet.

Für die bauliche Ausbildung der Fachwerkstäbe ist es von Wichtigkeit, ob sie nur auf Zug oder auch auf Druck beansprucht werden. In ersterem Falle könnten sie als sogenannte schlaaffe Stäbe aus Flacheisen oder Blechen hergestellt, in letzterem Falle müssen sie steif ausgeführt werden. Während nun die Stäbe in den Endfächern eines frei aufliegenden Balkenträgers immer nur in einem Sinne beansprucht werden, tritt in den mittleren Fächern ein Wechsel von Druck und Zug auf. Anstatt aber diese Stäbe steif auszubilden, hat man es früher beim Ständerfachwerk vorgezogen, schlaaffe Gegendiagonalen zu geben (Abb. 346), die dann in Spannung treten, wenn die Hauptdiagonalen durch den eintretenden Druck spannungslos werden. Die Schwierigkeit richtiger Montierung, dadurch herbeigeführtes Überspannen oder Schlawwerden und Schwingen dieser

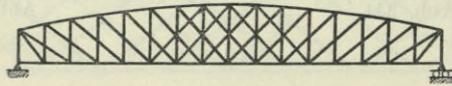


Abb. 346.

schwachen Gegendiagonalen haben veranlaßt, daß man jetzt von ihrer Anordnung ganz abgekommen ist und dafür das einfache Fachwerk in den Fächern mit Spannungswechsel mit steifen Stäben ausführt. Aber auch für die reinen Zugstäbe, die man früher immer nur aus Flacheisen oder Blechen herstellte, zieht man jetzt bei unseren genieteten Konstruktionen die steife Ausbildung vor, da hiedurch der richtige Zusammenbau des Fachwerks erleichtert wird.

Nach der Linienführung der Gurte unterscheidet man Träger mit geraden parallelen Gurtungen, Parallelträger und Träger, bei denen ein oder auch beide Gurte gekrümmt oder vielmehr vieleckig sind, Vieleckträger oder krummgurtige Träger¹⁾.

Parallelträger werden für kleine und mittlere Spannweiten am häufigsten angewendet; sie haben den Vorteil der einfacheren Herstellung, wogegen sich durch krummgurtige Träger im allgemeinen

¹⁾ Eine stetige Krümmung der Gurte ist mit dem Prinzip des Fachwerkträgers nicht vereinbar und kann erhebliche Biegungsspannungen im Gurte zur Folge haben. Man führt daher die Gurte vieleckig, von Knotenpunkt zu Knotenpunkt gerade aus. Stetig gekrümmte Gurte erhielten nur die ersten Parabelträger (Bogensehnenträger, Bowstring), neuestens auch wieder die mit Halbparabelträgern ausgeführten Straßenbrücken über den Rhein-Herne-Kanal, wohl des besseren Aussehens wegen, was man aber kaum als nachahmenswert gelten lassen kann.

eine Gewichtsparsnis erzielen läßt, wenn ihre Form mehr oder weniger der Linie der größten Biegemomente angepaßt wird. Es ergibt sich dadurch in der ganzen Trägerlänge eine mehr gleichförmige Gurtkraft und das Volumen der Ausfachungsstäbe wird

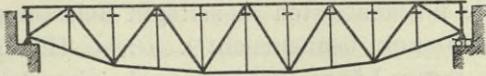


Abb. 347.

bedeutend vermindert. Gewöhnlich wird nur ein Gurt gekrümmt, der andere, und zwar der, an dem die Fahrbahn gelegen ist, gerade ausgeführt. Bei oben liegender Bahn mit geradem Obergurte entstehen dann sogenannte Fischbauchträger (Abb. 347). Es können aber

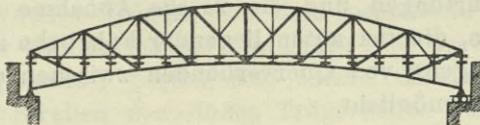


Abb. 348.

auch beide Gurtungen gekrümmt sein, wodurch entweder Sichel- und Halbsichelträger (Abb. 348) oder Linsenträger (Abb. 349) entstehen.

Die Gurte der eine Öffnung überspannenden Träger sind an den Auflagern entweder zusammengeführt oder es ist dies nicht der

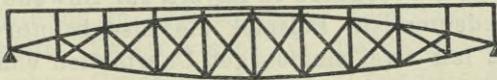


Abb. 349.

Fall und die Träger endigen mit senkrechten oder schrägen Endständern.

Von besonderen Formen krummgurtiger Träger sind hervorzuheben:

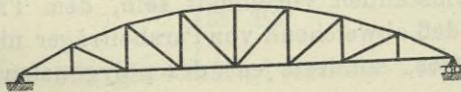


Abb. 350.

Der Parabelträger (Abb. 350). Die Knotenpunkte des gekrümmten Gurtes liegen auf einer Parabel. Für eine totale gleichmäßige Belastung, die als Momentenlinie ebenfalls eine Parabel gibt, wird die Spannung des geraden Gurtes, die sich aus $M:h$ rechnet,

konstant. Auch der gekrümmte Gurt ändert seine Spannung wenig, und zwar nimmt diese gegen die Trägerenden etwas zu. Die Gurte können sonach mit gleich oder nahezu gleichbleibendem Querschnitt ausgeführt werden. Bei einer Ständerausfachung werden die Schrägstäbe durch die totale gleichmäßig verteilte Belastung gar nicht, sonach durch die ungünstigsten einseitigen Belastungen ebenso stark auf Zug wie auf Druck beansprucht¹⁾. Diese Höchstspannung der Schrägstäbe ist ihrer Länge proportional, nimmt daher von den mittleren gegen die Endfache zu ab. Sämtliche Stäbe der Ausfachung sind drucksteif auszubilden; bei älteren Ausführungen finden wir aber durchwegs Gegendiagonalen. — Der Parabelträger läßt gegenüber dem Parallelträger eine Gewichtersparnis von 10 bis 15% erreichen, doch sind die Arbeitskosten, wie bei allen krummгурtigen Trägern, höhere. Ungünstig ist die spitzwinklige Zusammenführung der Gurtungen und die rasche Abnahme der Trägerhöhe gegen die Enden, die bei unten liegender Fahrbahn nur im mittleren Teile die Anbringung von Querverbänden zwischen den Obergurten der Tragwände ermöglicht.

Der Paulische Träger (Abb. 349) ist ein Linsenträger, dessen Form so bestimmt wurde, daß beide Gurtungen eine durchaus konstante Spannung erhalten. Die Ausfachung enthält gekreuzte Flachstäbe und lotrechte Pfosten. Die Gurtform weicht nur sehr wenig von der Parabel ab. Die nach ihrem Erfinder, dem bayrischen Baudirektor v. Pauli, benannten Träger sind seit dem Jahre 1857 mehrfach in Deutschland, besonders in Bayern zur Anwendung gekommen und ist das bedeutendste Beispiel die Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Mainz mit zwei eingleisigen Überbauten von 105,4 m Stützweite, von denen das erste Gleis noch unter Pauli im Jahre 1857, das zweite im Jahre 1870 errichtet wurde. Die älteren Paulischen Träger zeigen gewisse bauliche Ausbildungen — Untergurt als sogenannter Bandgurt aus wagrecht übereinander liegenden Blechen — welche später keine Nachahmung mehr gefunden haben. Linsenförmige Paulische Träger werden heute kaum mehr gebaut, dagegen kann es unter Umständen vorteilhaft sein, dem Träger eine solche Form zu geben, daß abweichend von Parabelträger nicht die Spannung des geraden Gurtes, sondern jene des polygonalen Gurtes konstant

¹⁾ Für einen Ausfachungsstab, der die Knotenpunkte o und u verbindet, denen die, den Parabelordinaten entsprechenden Trägerhöhen h_o und h_u sowie die Momente M_o und M_u zugehören, rechnet sich bei dem Neigungswinkel β des Stabes

gegen die Lotrechte die Spannung aus (s. Seite 311) $S = \left(\frac{M_u}{h_u} - \frac{M_o}{h_o} \right) \csc \beta$.

Für totale gleichmäßige Belastung ist $M : h$ konstant, folglich $S = 0$.

gemacht wird. Die Form eines solchen Trägers kann leicht auf graphischem Wege festgelegt werden (Abb. 351). Man trägt in den Ordinaten 1, 2, 3... die Maximalmomente in den Knotenpunkten des Untergurtes in einem solchen Maßstabe auf, daß das Moment in der Trägermitte ungefähr gleich der dem Träger daselbst zu gebenden Höhe gemacht wird und legt die Obergurtstäbe tangierend an Kreisbögen, deren Halbmesser durch die Momentenordinaten bestimmt sind.

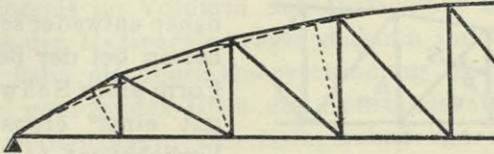


Abb. 351.

Der Schwedler-Träger, von dem preußischen geh. Oberbau- rat Schwedler zum ersten Male im Jahre 1863 bei der Weserbrücke zu Corvey angewandt, besitzt eine solche Gurtform, daß in den rechtsfallenden Streben der linken Trägerhälfte bei Rechtsbelastung Zug auftritt, dagegen bei Linksbelastung ihre Spannung gerade Null

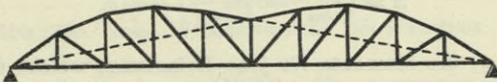


Abb. 352.

wird; dies gilt dann in symmetrischer Übertragung auch für die rechte Trägerhälfte. Es ist sonach für die Schrägstäbe des Ständer- fachwerks die obere Grenzspannung S_{\max} Zug (+), die untere Grenzspannung $S_{\min} = 0$, wogegen beim Parallelträger in den äußeren Fächern sowohl S_{\max} wie S_{\min} positiv, beim Parabelträger durchweg

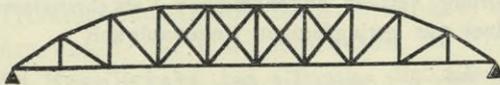


Abb. 353.

$S_{\max} = -S_{\min}$ ist. Für gleichmäßig verteilte Verkehrslast und sehr kleine Knotenweite liegen bei geradem Untergurte die Knotenpunkte des Obergurtes auf zwei symmetrisch gelegenen Hyperbeln (Abb. 352); wegen des besseren Aussehens hat man aber in der Ausführung die höchsten Punkte der beiden Kurvenäste durch einen wagrechten Gurt verbunden und diesen mittleren Teil des Trägers mit Gegendiagonalen versehen (Abb. 353).

Gegenüber dem Parabelträger hat die Form des Schwedler-Trägers durch die an den Enden größere Trägerhöhe konstruktive Vorteile. Die durchwegs schlaaffe Ausbildung der Zugstäbe, wie sie alle älteren Schwedler-Brücken zeigen, kann aber leicht Gefahren für den Betrieb zur Folge haben, da schon eine geringe Erhöhung der Verkehrslast Druckspannungen und ein gefährliches Ausknicken dieser Stäbe oder wenigstens starke Überanstrengungen der steifen Knoten

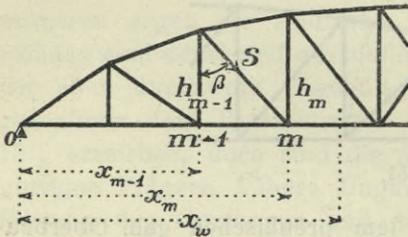


Abb. 354.

hervorrufen würde. Man müßte daher entweder schon von vornherein bei der Bestimmung der Form eines Schwedler-Trägers mit einer etwas vergrößerten Verkehrslast rechnen oder die Schrägstäbe steif ausbilden. Letzteres wird man bei Ausführung von Schwedler-Trägern jetzt wohl zur Regel machen.

Formbestimmung des Schwedler-Trägers. Für einen Schrägstab (Abb. 354) mit den anliegenden Trägerhöhen h_m und h_{m-1} rechnet sich die Spannung allgemein aus

$$S = \left(\frac{M_m}{h_m} - \frac{M_{m-1}}{h_{m-1}} \right) \operatorname{cosec} \beta.$$

Sind M_m und M_{m-1} die Momente für jene Belastung, welche die untere Grenzspannung des Stabes hervorruft, so muß zufolge der für den Schwedler-Träger geltenden Bedingung $S_{\min} = 0$ sein oder $\frac{h_{m-1}}{h_m} = \frac{M_{m-1}}{M_m}$ sein. Ist g das gleichförmig verteilte Eigengewicht und bezeichnet man die auf m und $m-1$ bezogenen Momente der linksseitig, in der Strecke $o-m$ aufgebrachtten Verkehrslasten mit M und M' , so erhält man

$$\frac{h_{m-1}}{h_m} = \frac{g x_{m-1} (l - x_{m-1}) + 2 M'}{g x_m (l - x_m) + 2 M} \dots \dots \dots 83)$$

Für eine gleichförmig verteilt angenommene Verkehrsbelastung p pro Meter ergibt sich mit einer nur geringfügigen Ungenauigkeit

$$\frac{h_{m-1}}{h_m} = \frac{x_{m-1} (l - x_{m-1}) (g l + p x_m)}{x_m (l - x_m) (g l + p x_{m-1})} \dots \dots \dots 84)$$

Danach sind unter Annahme einer Höhe alle übrigen Höhen des Trägers zu berechnen. Man wird von der größten Höhe im mittleren Teile ausgehen und hat nur noch jenen Knotenpunkt zu bestimmen, an den der gerade Gurt anschließt. Für unendlich kleine Knotenweiten entspricht die Lage des Scheitelpunktes der Hyperbel jenem Punkte, für den $Q_{\min} = 0$ wird, sonach der Abszisse $x_m = \left(-\frac{g}{p} + \sqrt{\frac{g}{p} + \frac{g^2}{p^2}} \right) l$. Bei gegebener Fachausteilung hat man dafür den nächsten gegen die Trägermitte zu gelegenen Knotenpunkt zu setzen.

Dem Schwedler-Träger in der Form verwandt ist der Ellipsensträger mit einem Obergurt, dessen Knotenpunkte auf einem elliptischen Bogen liegen.

Der Halbparabelträger oder abgestumpfte Parabelträger mit einem geraden und einem parabolisch gekrümmten Gurte (Abb. 346) gehört zu jenen Trägerformen, bei denen die Gurte am Auflager nicht zusammengeführt sind, sondern an senkrechte oder schräge Endständer anschließen. Gegenüber dem Parallelträger ergibt sich wieder eine Ersparnis im Volumen der Ausfachung und gegen den Parabelträger ist der Halbparabelträger dadurch im Vorteil, daß bei unten liegender Bahn die obere Querverbindung über eine größere Trägerlänge, bei genügender Höhe der Endständer bis ans Trägerende erstreckt werden kann. Der Halbparabelträger war eine Zeitlang eine sehr beliebte Trägerform, die auch jetzt noch für mittlere und größere Einzelspannweiten gerne und häufig angewendet wird. Seine erste große Anwendung fand dieses System bei der Brücke

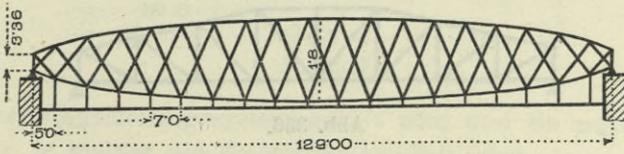


Abb. 355. Neue Weichselbrücke bei Dirschau.

über den Leck bei Kuilenburg (1868), die etwa ein Jahrzehnt lang die größte mit Balkenträgern erreichte Spannweite (150 *m*) aufwies. Ihr folgten mehrere andere große holländische Brücken, die Waalbrücke bei Bommel, Brücke bei Moerdyk, Rheinbrücke bei Arnheim, Waalbrücke bei Nymwegen, ferner in Deutschland durchwegs mit Spannweiten nahe an 100 *m* oder darüber, die Rheinbrücke bei Hamm, Weichselbrücken bei Thorn und Graudenz, Weserbrücke bei Wesel, die Elbebrücke zu Lauenburg, Saalebrücke bei Calbe, in Österreich der Trisannaviadukt auf der Arlbergbahn, endlich in den letzten zwei Jahrzehnten die Weichselbrücken zu Fordon und zu Münsterwalde, die Havelbrücke bei Caputh, die Eisenbahnbrücken über den Rhein bei Roppenheim, über die Oder bei Neusatz, über die Weichsel bei Marienwerder, über den Rhein unterhalb Duisburg u. a. Zahlreich sind auch die Anwendungen dieser Trägerform meist in Verbindung mit schrägen Endständern bei amerikanischen Brücken.

Der abgestumpfte Linsenträger mit zweiteiligem Strebenfachwerk wurde bei den Eisenbahnbrücken über die Memel bei Tilsit, über die Weichsel bei Dirschau (Abb. 355) und über die

Nogat bei Marienburg zur Ausführung gebracht. Abgestumpfte Sichelträger mit einteiligem Ständerfachwerk (Abb. 348) erhielten die Brücken über die Donau zu Komorn und Gran, über die Theiß bei Szolnok u. a.

Bezüglich der Linienführung der gekrümmten Gurte hat sich jetzt die Anschauung Bahn gebrochen, daß ihrem Einfluß auf das Volumen und Gewicht des Trägers keine allzu große Bedeutung beizumessen ist. Wichtiger erscheint die Einhaltung gewisser Verhältnisse der Trägerhöhen an den Enden und in der Mitte des Trägers, die Rücksichtnahme auf Arbeitsvereinfachung in der Werkstätte und beim Baue und die Anstrengung einer entsprechenden schönheitlichen Wirkung in der äußeren Formgebung des Tragwerks. Aus praktischen Gründen, wegen der einfachen Berechnung der Ordinaten, wählt man als Krümmungslinie gerne die Parabel, die bei flachem Pfeil vom Kreisbogen nicht viel abweicht und eine nahezu gleichmäßige Krümmung ergibt. Es kann aber erwünscht und bei großen Spann-

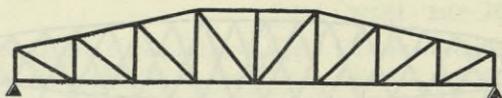


Abb. 356.

weiten auch in bezug auf das Trägervolumen von Vorteil sein, die Krümmung des Gurtes an den Trägerenden zu vergrößern. Man erreicht dies durch Annahme einer Parabel höheren Grades $\left[h_x = h - \left(\frac{2x}{l} \right)^n (h - h_0) \right]$, worin h die Trägerhöhe in der Mitte, h_0 jene an den Enden, h_x die Trägerhöhe im Abstände x von der Mitte] oder dadurch, daß man nach dem Vorgange Müller-Breslaus die Gurtform als Seillinie berechnet für Lasten, die gegen die Trägerenden progressiv zunehmen. Andererseits kann das Streben nach Arbeitsvereinfachung dazu veranlassen, den Gurt über mehrere Knotenweiten gerade zu führen, wodurch beispielsweise bei nur einmaliger Brechung des Gurtes der abgestumpfte Trapezträger (Abb. 356) entsteht.

Die Trägerhöhe beeinflusst das Volumen des Trägers insofern, als mit einer Vergrößerung der Höhe das Volumen der Gurte sich vermindert, dagegen jenes der Ausfachungsstäbe in einem gewissen Grade zunimmt. Höhere Träger erfordern auch stärkere Querverbände. Es stellt sich sonach eine praktisch günstigste Höhe heraus, für welche das Gesamtvolumen den Kleinstwert ergibt. Diese liegt für Parallelträger etwa bei $h = \frac{1}{7} l$ bis $\frac{1}{8} l$ für krummgurtige

Träger etwa bei $h = \frac{1}{6}l$ bis $\frac{1}{7}l$. Für kleine Spannweiten kann es aber zweckmäßig sein, die Trägerhöhe auch noch etwas größer zu wählen, besonders wenn hiedurch bei tief liegender Fahrbahn die Möglichkeit der Anbringung eines oberen Querverbandes erreicht werden kann.

Bei den älteren Brücken finden wir die Trägerhöhe selten größer als $h = \frac{1}{9}l$ bis $\frac{1}{10}l$ angenommen, was aber für unsere heutigen weitmaschigen Fachwerke wohl als zu klein zu bezeichnen ist. Die günstigste Trägerhöhe hängt nämlich wesentlich von der Facheite ab, d. i. von der Zahl der Fache, in die die Spannweite durch

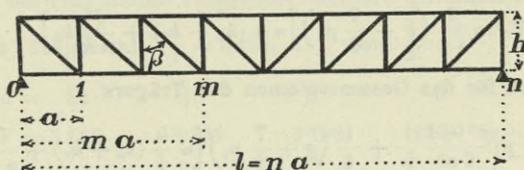


Abb. 357.

das einfache Ausfachungssystem geteilt wird und sie ergibt sich um so größer, je kleiner die Felderzahl gewählt wird.

Für einen Parallelträger mit einfachem Ständerfachwerk und n Feldern (Abb. 357) bezeichne

h die Trägerhöhe, a die Knotenweite, $l = n a$ die Stützweite,

g die Eigengewichtslast,

p die gleichmäßig verteilte Verkehrslast für die Berechnung der Gurtkräfte,

p_1 die gleichmäßig verteilte Verkehrslast für die Berechnung der Querkräfte, das sind die Ersatzlasten von gleicher Wirkung wie die Einzellastenzüge,

s die zulässige Inanspruchnahme,

k_g, k_z, k_v die Konstruktionskoeffizienten für die Gurte, Schrägstäbe und Vertikalstäbe, mit welchen deren theoretische Gewichte zu multiplizieren sind, um die wirklichen Gewichte zu erhalten.

Das theoretische Volumen des Obergurtes berechnet sich mit

$$\frac{(g+p)}{s} \frac{a^3}{h} \sum_1^n m(n-m) = \frac{g+p}{s} \frac{a^3}{h} \frac{n(n+2)(2n-1)}{24}$$

jenes des Untergurtes

$$\frac{g+p}{s} \frac{a^3}{h} \sum_1^{n-1} m(n-m) = \frac{g+p}{s} \frac{a^3}{h} \frac{n(n-2)(2n+1)}{24}$$

Das wirkliche Volumen beider Gurte sonach mit

$$V_g = k_g \frac{g+p}{s} \frac{n^2-1}{6n^2} \frac{l^3}{h}$$

Das Volumen der Schrägstäbe wird

$$\frac{h \sec^2 \beta}{s} \Sigma Q = \frac{1}{s} \left(h + \frac{a^2}{h} \right) a \sum_1^n \left[g(n - 2m + 1) + p_1 \frac{(n - m)^2}{n - 1} \right] =$$

$$= \frac{l}{4s} \left(h + \frac{l^2}{n^2 h} \right) \left(n g + \frac{7n - 2}{6} p_1 \right)$$

jenes der Vertikalstäbe, wenn die Lasten nur in den Untergurtnoten wirkend angenommen werden,

$$\frac{l}{4s} h \left(n g + \frac{7n - 2}{6} p_1 \right)$$

sohin das wirkliche Volumen der Ausfachungsstäbe mit einer für Federzahlen $n > 4$ zulässigen Vereinfachung

$$V_a = \frac{l}{4s} \left(g + \frac{7}{6} p_1 \right) \left[n h (k_z + k_v) + \frac{l^2}{n h} k_z \right].$$

Man erhält sonach für das Gesamtvolumen des Trägers

$$V = \left\{ k_g (g + p) \frac{n^2 - 1}{6 n^2} \frac{l}{h} + \frac{1}{4} \left(g + \frac{7}{6} p_1 \right) \left[n \frac{h}{l} (k_z + k_v) + \frac{l}{n h} k_z \right] \right\} \frac{l^2}{s}.$$

Bei gegebener Felderzahl n ergibt sich der Kleinstwert von V für

$$h = \frac{l}{n} \sqrt{\frac{k_z}{k_z + k_v} + 4 \frac{g + p}{6g + 7p_1} \frac{n^2 - 1}{n} \frac{k_g}{k_z + k_v}}$$

oder mit hinreichender Näherung

$$h = \frac{l}{n} \sqrt{\frac{k_z}{k_z + k_v} + \frac{4}{7} \frac{n^2 - 1}{n} \frac{k_g}{k_z + k_v}} \dots \dots \dots 85)$$

Bei der Entwicklung dieser Formel für die günstigste Trägerhöhe wurde der Einfluß des Quer- und Windverbandes nicht berücksichtigt. Da dessen Volumen mit zunehmender Trägerhöhe auch eine gewisse Zunahme erfährt, so wäre unter Rücksicht darauf die oben berechnete günstigste Höhe etwas zu verkleinern. Wir können aber den Querverband gewissermaßen mit den Vertikalstäben vereinigt denken und dem von der Trägerhöhe abhängigen Teile seines Volumens durch eine etwas höhere Annahme des Konstruktionskoeffizienten k_v der Vertikalen Rechnung tragen. Für diese Konstruktionskoeffizienten lassen sich keine festen, allgemein gültigen Werte angeben¹⁾. Sie sind für die Druckstäbe jedenfalls größer als für reine Zugstäbe und von den Querschnittsgrößen, demnach von der Spannweite und auch von der Felderzahl abhängig. Führt man als Mittelwerte $k_g = k_z = 1.2$ und $k_v = 3.0$ ein, so erhält man

$$h = \frac{l}{n} \sqrt{0.2857 + 0.1632 \frac{n^2 - 1}{n}}.$$

¹⁾ Dr. F. Gebauer, Beitrag zur Theorie der günstigsten Trägerhöhe des Parallelträgers. Wien 1906. F. Deuticke.

Hieraus werden nachstehende Werte berechnet:

$n = 4$	$\frac{h}{a} = 0.948$	$\frac{h}{l} = 0.237$	$V = 2.323 (g + p) \frac{l^2}{s}$
6	1.112	0.185	$2.719 (g + p) \frac{l^2}{s}$
8	1.253	0.157	$3.077 (g + p) \frac{l^2}{s}$
10	1.379	0.138	$3.381 (g + p) \frac{l^2}{s}$
12	1.493	0.124	$3.646 (g + p) \frac{l^2}{s}$

Das Volumen des Trägers vermindert sich, wenn die Zahl der Felder der Ausfachung verringert wird. Es gilt dies auch dann, wenn man dabei nicht gleichzeitig auch die Trägerhöhe vergrößert, sondern unverändert läßt. So wird beispielsweise für Träger mit $\frac{h}{l} = 0.124$, d. i. rund $\frac{1}{8}$:

bei $n = 12$	10	8	6
$V = 3.646$	3.397	3.156	$2.950 (g + p) \frac{l^2}{s}$

Man ersieht daraus, daß die Trägerhöhe einen erheblich geringeren Einfluß auf das Trägervolumen hat, als die Felderzahl. So wurde beispielsweise für 8 Felder gefunden:

bei der günstigsten Höhe	$h = 0.157 l$	oder rund	$\frac{1}{6} l$. . .	$V = 3.077 (g + p) \frac{l^2}{s}$
„ „ kleineren	„ $h = 0.124 l$	„ „	$\frac{1}{8} l$. . .	$V = 3.156 (g + p) \frac{l^2}{s}$

sonach nur um wenig größer. Um das Trägervolumen zu vermindern, ist es demnach weniger wichtig, die Trägerhöhe zu vergrößern als die Felderzahl zu verringern. Bei gegebener Trägerhöhe ist jene Felderzahl die günstigste, welche das kleinste Volumen der Ausfachung ergibt, da das Gurtvolumen von der Felderzahl schon bei $n > 4$ nahezu unabhängig ist. Die Bedingung

$$n h (k_z + k_v) + \frac{l^2}{n h} \cdot k_z = \min \quad \text{liefert}$$

$$n = \frac{l}{h} \sqrt{\frac{k_z}{k_z + k_v}} \quad \text{oder} \quad \frac{h}{a} = \sqrt{\frac{k_z}{k_z + k_v}}$$

als die günstigste Neigung der Schrägstäbe. Hierin ist, wenn nur das Volumen der Ausfachung in Frage kommt, k_v mit einem kleineren Werte als oben, etwa $= 1.5$ einzusetzen, so daß man erhält $\frac{h}{a} = 0.67$ oder $a = 1.5 h$. Bei einer Trägerhöhe $h = \frac{1}{8} l$ wäre es sonach am günstigsten, bloß 5 oder 6 Felder anzuordnen.

Ähnliche Ergebnisse liefert der Parallelträger mit symmetrischem Strebenfachwerk (Abb. 358).

Mit Einführung der Konstruktionskoeffizienten k_g für die Gurte,

k_z	„	„	Zugstreben,
k^d	„	„	Druckstreben

wird das Volumen der Gurte

$$V_g = k_g \frac{g+p}{s} \cdot \frac{4n^2 - 1}{24n^2} \frac{l^3}{h}$$

jenes der Ausfachungsstäbe mit der gleichen Näherung wie oben

$$V_a = (k_z + k_d) \frac{l^2}{24s} (6g + 7p_1) \left(n \frac{h}{l} + \frac{1}{4n} \frac{l}{h} \right)$$

sonach das Gesamtvolumen des Trägers

$$V = \left\{ k_g \frac{4n^2 - 1}{n^2} (g+p) \frac{l}{h} + (k_z + k_d) (6g + 7p_1) \left(n \frac{h}{l} + \frac{1}{4n} \frac{l}{h} \right) \right\} \frac{l^2}{24s}$$

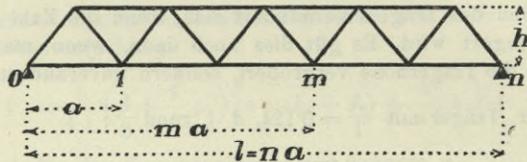


Abb. 358.

Die Bedingung für das Minimum liefert mit dem Durchschnittswerte $6g + 7p_1 = 7(g+p)$ bei gegebener Felderzahl als günstigste Höhe:

$$h = \frac{l}{n} \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{4n^2 - 1}{7n} \frac{k_g}{k_z + k_d}} \dots \dots \dots 86)$$

Läßt man die gleichen Konstruktionskoeffizienten gelten, wie beim Ständerfachwerk, nämlich $k_g = k_z = 1.2$ und $k_d = 3.0$, so erhält man

$$h = \frac{l}{n} \sqrt{0.25 + 0.0408 \frac{4n^2 - 1}{n}}$$

Es gibt dies

für $n = 4$	$\frac{h}{a} = 0.944$	$\frac{h}{l} = 0.236$	$V = 2.124 (g+p) \frac{l^2}{s}$
6	1.104	0.184	$2.705 (g+p) \frac{l^2}{s}$
8	1.248	0.156	$3.057 (g+p) \frac{l^2}{s}$
10	1.370	0.137	$3.356 (g+p) \frac{l^2}{s}$

Die günstigste Trägerhöhe ist sonach annähernd die gleiche wie beim Ständerfachwerk mit gleicher Felderzahl, das Trägervolumen ist aber beim Strebenfachwerk etwas kleiner. Auch bei diesem ist es für die Verminderung des Trägervolumens am günstigsten, die Felderzahl auf jenes Maß zu verringern, für welches sich das kleinste Volumen der Ausfachung ergibt. Dies ist für $n = \frac{l}{h} \sqrt{\frac{1}{4}} = 0.5 \frac{l}{h}$ oder $\frac{h}{a} = 0.5$ der Fall, d. h. die günstigste Neigung der Streben ist 45° .

Bei $h = \frac{1}{8}$ wären sonach nur 4 Felder anzuordnen.

Durch Anordnung von lotrechten Hilfsstäben in den Knotenpunkten wird das Trägervolumen etwas vergrößert und dann ungefähr gleich jenem eines Ständerfachwerks.

Allgemein läßt sich sagen: Das Volumen eines Fachwerksträgers ist um so kleiner, je kleiner die Felderzahl der Ausfachung gewählt wird, wenn dabei der Träger eine solche Höhe erhält, daß die Stäbe des Strebenfachwerks nicht flacher als unter 45° und jene des Ständerfachwerks nicht flacher als unter 56° ($a = 1.5h$) geneigt sind. Diese Regel erfährt aber eine Beschränkung, wenn auf das Gewicht des ganzen Überbaues Rücksicht genommen wird, da das Gewicht der Fahrbahnträger bei einer Querträgerentfernung von durchschnittlich 3 bis 4 m seinen Kleinstwert erreicht und bei Querträgerabständen von mehr als 5 bis 6 m stark zunimmt. Man kann letzteres Maß als maximale Knotenweite des einfachen Fachwerks festhalten, soll aber die Felderzahl bei Ständerfachwerk höchstens mit 8, bei Strebenfachwerk höchstens mit 6 annehmen. Es ergibt sich daraus bei Stützweiten über 40 bis 50 m die Notwendigkeit der Einschaltung von Zwischenknotenpunkten mittels sekundärer Ausfachung (Abb. 341 bis 344) oder der Anordnung mehrteiliger Systeme.

3. Rahmenträger oder Vierendeel-Träger.

Diese von dem belgischen Oberingenieur Prof. A. Vierendeel um das Jahr 1890 in Vorschlag gebrachte Trägerart entspricht einem strebenlosen Ständerfachwerk, dessen Stabilität durch den biegungssteifen Anschluß der senkrechten Pfosten an die durchgehenden Gurte gesichert ist. Gurte und Pfosten haben I- oder kastenförmige Querschnitte, deren Stegbleche verlascht sind, während die Gurtwinkel und Gurtplatten in den ausgerundeten Ecken übergeführt werden (Abb. 359). Das System ist bisher nur bei einigen Brücken in Belgien¹⁾ zur Anwendung gekommen, hat aber neuestens auch in Deutschland Anhänger gefunden²⁾. Es muß jedoch abgewartet werden,

¹⁾ 1897, Versuchsbrücke von Tervueren, 31.5 m Stützweite, 3 m Trägerhöhe, 3.5 m Pfostenabstand, wurde bis zum Bruche belastet. Bericht der Ingenieure Lambin und Christophe. *Annales d. T. P. de Belg.* 1898. — 1904, Scheldebrücke in Avelghem, 42 m Stützweite; Signalbrücke über den Nordbahnhof in Brüssel, 50 m Stützweite; Straßen- und Eisenbahnbrücke in Beeringen, 26 m Stützweite; Straßen- und Eisenbahnbrücke zu Charleroi, 30 m Stützweite. — 1911, Brücke über die Lys zu Ousselghem, 44.4 m Stützweite, 6 m Trägerhöhe. *Bulletin de l'Union d. Ing.* Brüssel.

²⁾ Franz Czech, *Der Vierendeel-Träger in der Geschichte des Eisenbaues.* „Der Eisenbau“ 1912, Nr. 3. — Dipl. Ing. R. Busse, Entwurf einer Rahmenbrücke über die Ems. „Der Eisenbau“ 1912, Nr. 6. Ferner zwei Ent-

ob die behauptete Gleichwertigkeit oder sogar Überlegenheit dieses Systems gegenüber dem Fachwerk wirklich einwandfrei nachzuweisen ist; vorläufig scheint sie für den Eisenbau sowohl in statischer als in wirtschaftlicher Hinsicht zumindest zweifelhaft¹⁾.

Von den Verteidigern des Systems wird geltend gemacht, daß bei den Fachwerkträgern die Nebenspannungen nicht berücksichtigt werden, die infolge der starren Knotenpunktverbindungen auftreten, wogegen beim Vierendeel-Träger die Berechnung von der Starrheit der Knotenpunkte ausgehen muß und daher mit der Wirklichkeit

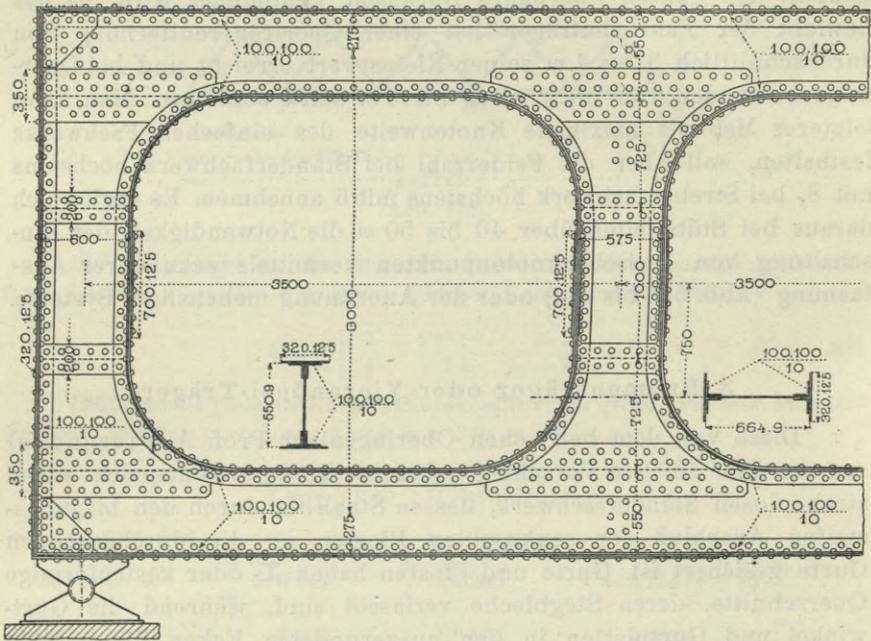


Abb. 359.
Vierendeelträger. Versuchsbrücke von Tervueren.

besser übereinstimmende Spannungswerte liefert. Zugegeben, daß eine richtige Berechnung des Vierendeel-Trägers durchzuführen ist, allerdings mit nicht geringem Aufwand an Zeit und Mühe und immer noch mit Unsicherheiten insbesondere bezüglich der Eckspannungen behaftet, so können doch die Nebenspannungen eines

würde zum Wettbewerbe um den Bau der Rheinstraßenbrücke in Köln, welche zur Versteifung der Kabel Vierendeel-Träger vorsehen.

¹⁾ Siehe Fr. Engesser, Über Rahmenträger und ihre Beziehungen zu den Fachwerkträgern. „Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen“ 1913, 1. Heft.

richtig ausgebildeten Fachwerks mit den Biegungsspannungen eines Rahmenträgers nicht in Vergleich gestellt werden.

In einem Fachwerkträger sind die Grundspannungen mit voller Exaktheit zu berechnen; die Nebenspannungen, die bei starren Knoten hinzutreten, sind nur eine Folge seiner elastischen Durchbiegung. Je kleiner diese ist, je steifer der Träger, je größer dessen Höhe im Vergleich zur Spannweite ist und je schlanker die Stäbe sind, desto kleiner werden die Nebenspannungen¹⁾. Bei guter Anordnung überschreiten sie nicht 10 bis 30% der Grundspannungen. (Man vergleiche § 28.) In einem Rahmenträger sind die Biegungsspannungen die Grundspannungen und die Unsicherheit in ihrer Berechnung ist kaum geringer als der Fehler, den man beim Fachwerk durch Außerachtlassung der Nebenspannungen begeht²⁾. Wirtschaftlich ist aber der Vierendeel-Träger deshalb im Nachteil, weil die Biegungsspannungen die volle Ausnützung der Querschnitte nicht zulassen und er daher mehr Material braucht als der Fachwerkträger. Die Vergrößerung der Trägerhöhe und Knotenweite, die für letzteren günstig ist, bewirkt im Rahmenträger keine Verminderung, sondern eher eine Vergrößerung der Biegungsspannungen, sie ist sonach für diesen nicht vorteilhaft. Übrigens sind die Fragen nach der günstigsten Höhe und Pfostenentfernung noch nicht genügend untersucht, die übliche Annahme dafür ist $\frac{1}{9}$ bis $\frac{1}{10}$ der Spannweite. Am ehesten dürfte das strebenlose System noch bei solchen Trägern am Platze sein, bei welchen in der Ausfachung nur kleine Kräfte auftreten würden (Parabelträger oder überhaupt Träger mit niedriger Endhöhe), oder die im Verhältnis zur Stützweite bloß kleine Querkräfte und Momente aufzunehmen haben, wie dies bei den Versteifungsträgern der schlaffen Bogen- und Hängebrücken der Fall ist.

Wir glauben uns daher der Äußerung Prof. Otto Mohrs anschließen zu sollen, welcher sagt: „Die Vierendeel-Träger gehören zu den Trägerformen, die nur im Notfall angewandt werden sollten. Man behauptet, sie böten ästhetische Vorzüge, sie wirkten wegen der geringeren Stabzahl ruhiger als Fachwerke. Das mag richtig

¹⁾ Grundlegende Arbeiten über die Nebenspannungen im Fachwerk mit starren Knoten lieferten: Manderla 1879, Engesser 1879 und 1888, Winkler 1881, Mohr 1892 u. a. Von neueren Arbeiten sind hervorzuheben: Ing. Dr. Pirllet, Einflußlinien der Spannungen in Fachwerken mit starren Knoten, „Der Eisenbau“ 1912, Nr. 6 und 7, besonders aber die eingehende Arbeit von Dr. W. Gehler: Die Ermittlung der Nebenspannungen eiserner Fachwerkbrücken. Berlin 1910. W. Ernst & Sohn.

²⁾ Otto Mohr, Die Berechnung der Pfostenträger (Vierendeel-Träger) „Der Eisenbau“ 1912, Nr. 3.

sein, wenigstens für solche Beschauer, die durch statische Bedenken sich nicht beunruhigen lassen. Aber es läßt sich nicht darüber streiten, wie hoch dieser Vorzug anzuschlagen ist. In allen übrigen Beziehungen verdienen aber die Fachwerke entschieden den Vorzug."

Bezüglich der Berechnung des allgemeinen Rahmenträgers wird auf die unten angegebene Literatur, besonders auf die Arbeiten von Mohr und Ostensfeld, verwiesen¹⁾. Nachstehend soll nur der Fall des Vierendeel-Trägers mit

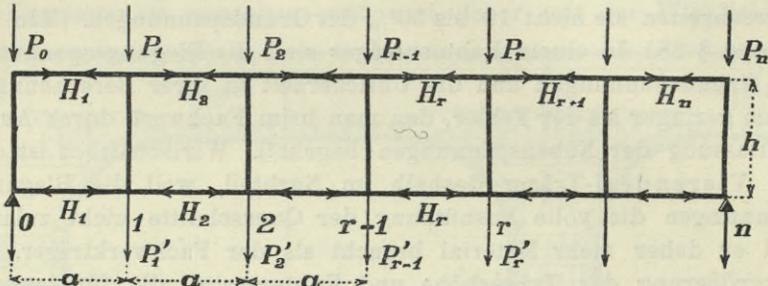


Abb. 360.

parallelen, geraden und gleichen Gurtungen in einfacher Weise behandelt werden.

1. Lotrechte Belastung. Es bezeichne (Abb. 360):

h die Höhe des Trägers,

a den Pfostenabstand,

$i_1 i_2 \dots i_r \dots i_n$ die reziproken Querschnittsträgheitsmomente des 1, 2 ... r ... n . Gurtstückes im Ober- oder Untergurt.

$k_0 k_1 \dots k_r \dots k_n$ die reziproken Querschnittsträgheitsmomente der Pfosten.

$H_1 H_2 \dots H_r \dots H_n$ die Längskräfte in den Gurtstäben des 1, 2 ... r ... n . Faches

$P_0 P_1 \dots P_r \dots P_n$ die senkrechten Lasten in den Knotenpunkten des Obergurtes,

$P'_0 P'_1 \dots P'_r \dots P'_n$ die senkrechten Lasten in den Knotenpunkten des Untergurtes.

In einem senkrechten Schnitte wirke auf den Obergurt ein Moment M_0 und eine Querkraft Q , auf den Untergurt ein Moment M_u und eine Querkraft Q' . Kehrt man die Richtung der Kräfte P um, so entsteht bei gleicher Ausbildung von Ober- und Untergurt oben ein Moment $-M_u$ und eine Querkraft $-Q'$, unten $-M_0$ und $-Q$; bei Vereinigung beider Belastungen daher $M_0 - M_u = 0$ und $Q - Q' = 0$. In jedem senkrechten Schnitte entfallen sonach auf die beiden Gurte gleiche Momente mit gleichem Drehungssinne und gleiche

¹⁾ Dr. Ludwig Mann, Statische Berechnung steifer Vierecknetze. Berlin 1909. — Dr. Emil Reich, Vierendeel-Träger mit parallelen Gurtungen. Wien 1911. — Prof. A. Ostensfeld, Berechnung des Rahmenträgers. „Beton und Eisen“ 1910, 2. Heft. — Prof. O. Mohr, Die Berechnung der Pfostenträger. „Der Eisenbau“ 1912, 3. Heft.

Querkräfte. Da sich die wagrechten Kräfte im lotrechten Schnitte aufheben müssen, so sind auch die Längskräfte H im Ober- und Untergurt gleich aber entgegengesetzt gerichtet (Abb. 361).

Legt man einen Schnitt durch den r -ten Pfosten (Abb. 362 *a* und *b*) und bezeichnet R die Summe der lotrechten Kräfte links vom r -ten Fache, V die Längskraft im Pfosten, so ist für die Schnittführung *a*)

$$R - P_r + Q_r + Q_{r+1} + V = 0$$

für die Schnittführung *b*)

$$R - P_r' + Q_r + Q_{r+1} - V = 0$$

sohin $P_r - P_r' - 2V = 0$ oder $V = \frac{1}{2}(P_r - P_r')$

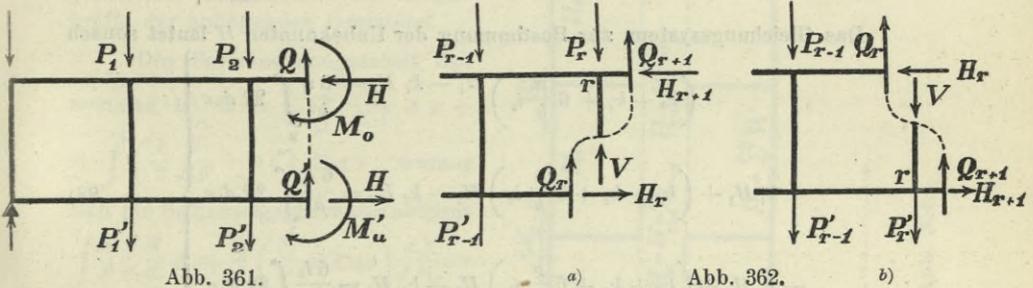


Abb. 361.

a)

Abb. 362.

b)

Für den wagrechten Schnitt durch die Mitte des Pfostens ist das Moment Null und die Querkraft gleich dem Unterschiede der Längskräfte im $(r + 1)$ und r -ten Gurtbalken $= H_{r+1} - H_r$.

Wir betrachten die durch den wagrechten Mittelschnitt abgetrennte obere Trägerhälfte (Abb. 363). Die lotrechten Kräfte setzen sich an jedem Knoten

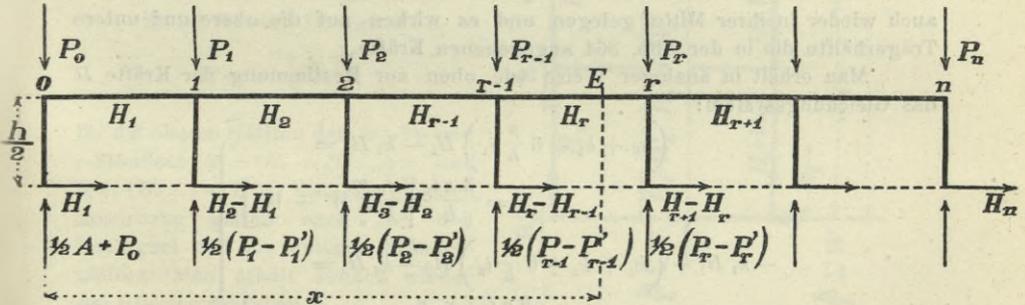


Abb. 363.

zu $\frac{1}{2}(P_r + P_r')$ zusammen. Bezeichnet daher \mathfrak{M} das Moment der gegebenen Belastung für den Querschnitt E , so ist das Moment der obigen Vertikalkräfte $\frac{1}{2}\mathfrak{M}$. Die wagrechten Kräfte wirken auf das r -te Gurtstück mit dem Momente $H_r \frac{h}{2}$; demnach ist das auf den Gurt entfallende Moment $M = \frac{1}{2}(\mathfrak{M} - H_r h)$.

Es sind ferner die Momente im $(r-1)$. Ständer $M = (H_r - H_{r-1}) x$
 im r . Ständer $H = (H_{r+1} - H_r) x$

worin x den Querschnittabstand von der Ständermitte bezeichnet.

Man sieht, daß von H_r bloß die Momente im r . Gurtstabe und in den beiden an ihn angrenzenden Ständern abhängig sind. Die Ableitung der Formänderungsarbeit $\frac{1}{2} \int \frac{M^2}{EJ} dx$ nach H_r führt demnach zu der Gleichung

$$-\frac{1}{4} h i_r \int_{x_{r-1}}^{x_r} (\mathfrak{M} - H_r h) dx + \frac{h^3}{24} k_{r-1} (H_r - H_{r-1}) - \frac{h^3}{24} k_r (H_{r+1} - H_r) = 0$$

oder

$$-k_{r-1} H_{r-1} + (k_{r-1} + k_r + 6 \frac{a}{h} i_r) H_r - k_r H_{r+1} = \frac{6 i_r}{h^2} \int_{x_{r-1}}^{x_r} \mathfrak{M} dx \quad . . . 87)$$

Das Gleichungssystem zur Bestimmung der Unbekannten H lautet sonach

$$\left. \begin{aligned} (k_0 + k_1 + 6 \frac{a}{h} i_1) H_1 - k_1 H_2 &= \frac{6 i_1}{h^2} \int_0^1 \mathfrak{M} dx \\ -k_1 H_1 + (k_1 + k_2 + 6 \frac{a}{h} i_2) H_2 - k_2 H_3 &= \frac{6 i_2}{h^2} \int_1^2 \mathfrak{M} dx \\ -k_2 H_2 + (k_2 + k_3 + 6 \frac{a}{h} i_3) H_3 - k_3 H_4 &= \frac{6 i_3}{h^2} \int_2^3 \mathfrak{M} dx \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} . . . 88)$$

2. Wagrechte Belastung. Es wird angenommen, daß auf die Obergurtknoten die wagrechten Kräfte $W_0 W_1 W_2 \dots W_r \dots W_n$ wirken und daß das rechte Auflager festgehalten ist. Dann ist bei der vorausgesetzten Gleichheit des Ober- und Untergurtes der Inflexionspunkt der elastischen Linie der Pfosten auch wieder in ihrer Mitte gelegen und es wirken auf die obere und untere Trägerhälfte die in der Abb. 364 angegebenen Kräfte.

Man erhält in analoger Weise wie oben zur Bestimmung der Kräfte H das Gleichungssystem:

$$\left. \begin{aligned} (k_0 + k_1 + 6 \frac{a}{h} i_1) H_1 - k_1 H_2 &= \\ &= \frac{3 a i_1}{h} \left[\frac{x_1}{l} \sum_0^n W - W_0 \right] \\ -k_1 H_1 + (k_1 + k_2 + 6 \frac{a}{h} i_2) H_2 - k_2 H_3 &= \\ &= \frac{3 a i_2}{h} \left[\frac{x_2}{l} \sum_0^n W - W_0 - W_1 \right] \\ -k_2 H_2 + (k_2 + k_3 + 6 \frac{a}{h} i_3) H_3 - k_3 H_4 &= \\ &= \frac{3 a i_3}{h} \left[\frac{x_3}{l} \sum W - W_0 - W_1 - W_2 \right] \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} . . . 89)$$

Die Abszissen $x_1 x_2 x_3 \dots$ beziehen sich auf die Mitten des 1. 2. 3. . . . Gurtstabes.

3. Temperaturwirkungen. Wir nehmen an, daß der Obergurt infolge einer um t° verschiedenen Temperatur gegenüber dem Untergurt seine Länge um $\lambda = \omega t a$ vergrößere. Die hiedurch in den Gurtstäben hervorgerufenen Längskräfte seien $H_1 H_2 \dots H_r \dots$ und zwar entsteht im Obergurt Druck, im Untergurt Zug. In den Pfosten treten keine Längskräfte auf und es ist wegen der Gleichheit der Endmomente das Moment in der Pfostenmitte Null, die Querkraft daselbst gleich dem Unterschiede der Längskräfte der anliegenden Gurtstäbe.

Die Formänderungsarbeit des Systems ist $\mathfrak{A} = \frac{1}{2} \int \frac{M^2}{EJ} dx + \int \left(\frac{1}{2} \frac{N}{EF} + \omega t \right) N ds$ woraus sich die Bedingungsgleichung ableitet $\int \frac{M}{J} \frac{dM}{dH_r} dx + \int \left(\frac{N}{F} + E\omega t \right) \frac{dN}{dH_r} ds = 0$ oder mit Vernachlässigung der von der Längskraft hervorgerufenen elastischen Dehnungen

$$\int \frac{M}{J} \frac{dM}{dH_r} dx + E\omega t a = 0.$$

Es ist für den Obergurt

$$M = -\frac{1}{2} H_r h,$$

für die oberen Hälften des $(r-1)$ - und r -Ständers $M = (H_r - H_{r-1}) x$ und $M = (H_{r+1} - H_r) x$ und die gleichen Ausdrücke gelten auch für den Untergurt und die unteren Ständerhälften. Man erhält sonach wieder das Gleichungssystem

$$\left. \begin{aligned} \left(k_0 + k_1 + 6 \frac{a}{h} i_1 \right) H_1 - k_1 H_2 &= -\frac{12 E \lambda}{h^3} \\ -k_1 H_1 + \left(k_1 + k_2 + 6 \frac{a}{h} i_2 \right) H_2 - k_2 H_3 &= -\frac{12 E \lambda}{h^3} \\ -k_2 H_2 + \left(k_2 + k_3 + 6 \frac{a}{h} i_3 \right) H_3 - k_3 H_4 &= -\frac{12 E \lambda}{h^3} \\ \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots 90)$$

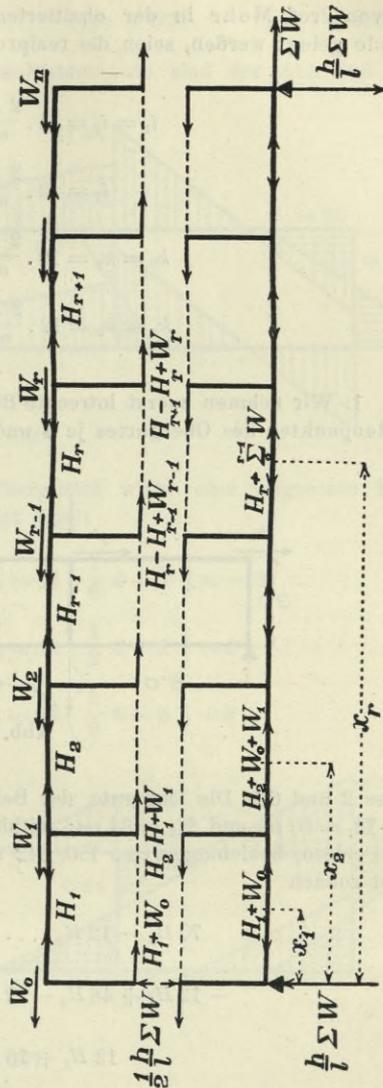


Abb. 364.

Mit den Kräften H sind aber sämtliche Knotenpunktmomente bestimmt.
 Beispiel. Für den in Abb. 365 dargestellten Träger, dem die Abmessungen des von Prof. Mohr in der obzitierten Abhandlung gerechneten Beispiels zugrunde gelegt werden, seien die reziproken Querschnittsträgheitsmomente

$$i_1 = i_3 = 4 \cdot \frac{2E}{a} 10^{-4} \quad (E \text{ in } t/m^2, a \text{ in } m)$$

$$i_2 = 2 \cdot \frac{2E}{a} 10^{-4}$$

$$k_0 = k_y = 10 \cdot \frac{2E}{a} 10^{-4}$$

$$k_1 = k_2 = 12 \cdot \frac{2E}{a} 10^{-4}$$

1. Wir nehmen zuerst lotrechte Belastung an, und zwar in den mittleren Knotenpunkten des Obergurtes je 4 und 7 t , in den Knotenpunkten des Unter-

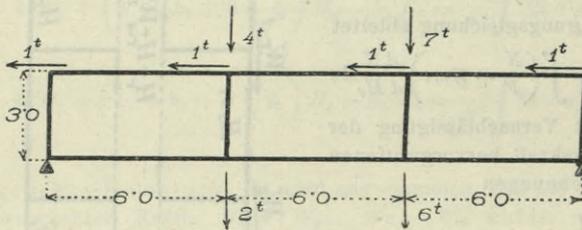


Abb. 365.

gurtes 2 und 6 t . Die Momente der Belastung in den Knotenpunktslotrechten sind $\mathfrak{M}_1 = 50$ tm und $\mathfrak{M}_2 = 64$ tm ; mithin die Momentenflächen $\int \mathfrak{M} dx$ in den drei Feldern, beziehungsweise 150 , 342 und 192 t/m^2 . Die Gleichungsgruppe 88) lautet sonach

$$70 H_1 - 12 H_2 \dots \dots = \frac{8}{3} 150 = 400$$

$$- 12 H_1 + 48 H_2 - 12 H_3 = \frac{4}{3} 342 = 456$$

$$- 12 H_2 + 70 H_3 = \frac{8}{3} 192 = 512.$$

Zur Auflösung nach H_3 multipliziere man die erste Gleichung mit $c_1 = 1$, die zweite mit $c_2 = \frac{35}{6}$, die dritte mit $c_3 = \frac{134}{6}$ und addiere, wodurch man erhält:

$$H_3 \left(-12 \frac{35}{6} + 70 \cdot \frac{134}{6} \right) = 400 + 456 \cdot \frac{35}{6} + 512 \cdot \frac{134}{6}$$

$$H_3 = 9 \cdot 706$$

$$H_2 = 13 \cdot 952$$

$$H_1 = 8 \cdot 106 t$$

Damit sind die Gurtkräfte bestimmt; die Pfostenkräfte entsprechen den halben Differenzen der oberen und unteren Knotenlasten:

$$V_0 = -\frac{1}{2}A = -4.167 \quad V_1 = -1 \quad V_2 = -0.5 \quad V_3 = -5.333 \text{ t.}$$

Die mit H berechneten Knotenpunktmomente sind der Abb. 366 eingeschrieben.

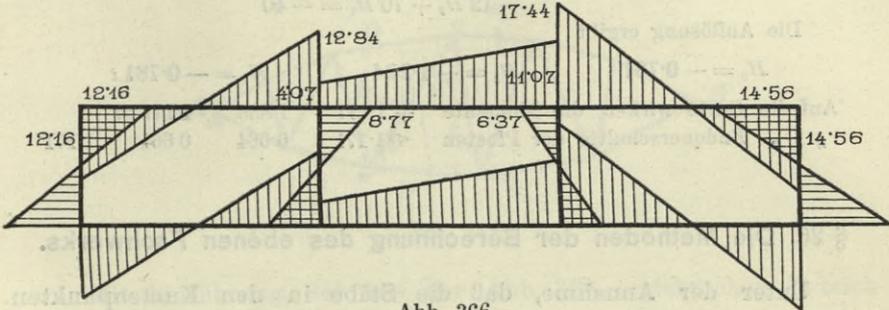


Abb. 366.

2. In jedem Knotenpunkt des Obergurtes wirke eine wagrechte Kraft $W=1 \text{ t.}$ Das Gleichungssystem 89) liefert damit

$$70 H_1 - 12 H_2 = 24 \left(\frac{1}{6} 4 - 1 \right) = -8$$

$$-12 H_1 + 48 H_2 - 12 H_3 = 12 \left(\frac{1}{2} 4 - 2 \right) = 0$$

$$-12 H_2 + 70 H_3 = 24 \left(\frac{5}{6} 4 - 3 \right) = 8$$

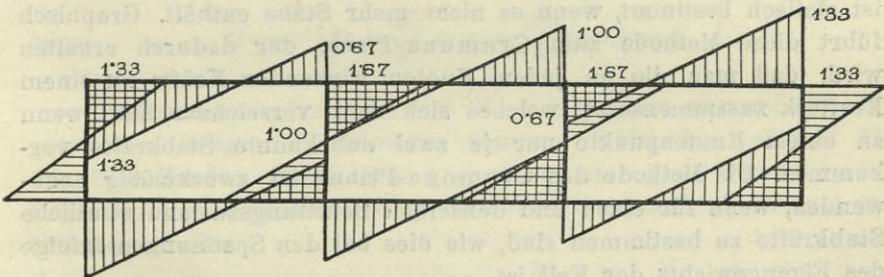


Abb. 367.

woraus sich rechnet

$$H_3 = 0.114 \quad H_2 = 0 \quad H_1 = 0.114 \text{ t.}$$

Damit ergeben sich wieder die in Abb. 367 eingeschriebenen Knotenpunktmomente.

3. Wir nehmen an, daß durch Temperaturunterschied zwischen Ober- und Untergurt erstere seine Länge um $\frac{1}{2000}$ vergrößert, setzen sonach $\lambda = \frac{1}{2000} a$.

Die rechte Seite der durch $\frac{2E}{a} 10^{-4}$ gekürzten Gleichungsgruppe 90) gibt dann

$$-\frac{12E}{h^3} \frac{a}{2000} \cdot \frac{a}{2E} 10^4 = -40 \quad \text{und man hat sonach}$$

$$70 H_1 - 12 H_2 = -40$$

$$-12 H_1 + 48 H_2 - 12 H_3 = -40$$

$$-12 H_2 + 70 H_3 = -40$$

Die Auflösung ergibt

$$H_3 = -0.781$$

$$H_2 = -1.224$$

$$H_1 = -0.781 t$$

Auf die Gurte wirken die Momente	+ 1.171	1.836	1.171 <i>tm</i>	
„ „ Endquerschnitte der Pfosten	1.171	0.664	0.664	1.171

§ 26. Die Methoden der Berechnung des ebenen Fachwerks.

Unter der Annahme, daß die Stäbe in den Knotenpunkten gelenkig verbunden sind, stehen uns zur Berechnung der Stabkräfte eines Fachwerks zwei Methoden zur Verfügung. Jede derselben kann entweder zu analytischen oder graphischen Berechnungsverfahren verwertet werden.

1. Die Knotenpunktmethode geht vom Gleichgewichte der an den Knoten angreifenden Kräfte aus. Für die analytische Behandlung ergeben sich hieraus bei k Knotenpunkten $2k$ Bedingungsgleichungen, von denen aber drei nicht unabhängig sind, sondern zufolge des Gleichgewichts der äußeren Kräfte erfüllt sein müssen. Es können sonach $s = 2k - 3$ Stabkräfte berechnet werden und das Fachwerk ist statisch bestimmt, wenn es nicht mehr Stäbe enthält. Graphisch führt diese Methode zum Cremona-Plane, der dadurch erhalten wird, daß man die an jedem Knoten wirkenden Kräfte zu einem Kraffteck zusammensetzt, welches sich dann verzeichnen läßt, wenn an einem Knotenpunkte nur je zwei unbekannte Stabkräfte vorkommen. Die Methode des Cremona-Planes ist zweckmäßig anzuwenden, wenn für einen und denselben Belastungszustand sämtliche Stabkräfte zu bestimmen sind, wie dies bei den Spannungen infolge des Eigengewichts der Fall ist.

2. Die Schnittmethode beruht darauf, daß man durch einen Schnitt einen Fachwerksteil abgetrennt denkt und die in den durchschnittenen Stäben wirkenden Stabkräfte mit den äußeren Kräften des abgetrennten Fachwerksteiles ins Gleichgewicht setzt. Da sich für das ebene System drei Gleichgewichtsbedingungen aufstellen lassen, so können daraus die Stabkräfte bestimmt werden, falls nicht mehr als drei Stäbe mit unbekanntem Spannungen vom Schnitte getroffen werden. Die Ermittlung der Stabkräfte kann wieder ent-

weder rechnerisch oder graphisch erfolgen. Es ist dieses Verfahren dem unter 1. insbesondere dann vorzuziehen, wenn es sich für einen bestimmten Belastungszustand nur um einzelne Stabkräfte handelt und für die verschiedenen Stäbe verschiedene Belastungszustände in Frage kommen (Verkehrslast).

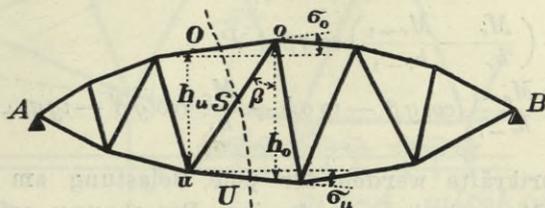


Abb. 368.

Mit Einführung der aus der Abb. 368 ersichtlichen Bezeichnungen erhält man für die Gurtkräfte

$$\left. \begin{aligned} O &= - \frac{M_u}{h_u} \sec \sigma_0 \\ U &= + \frac{M_0}{h_0} \sec \sigma_u \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 91)$$

für die Kraft in dem die Knotenpunkte o u verbindenden Ausfachungsstabe

$$\left. \begin{aligned} S &= \left(\frac{M_u}{h_u} - \frac{M_0}{h_0} \right) \cos \beta \\ \text{oder} \quad S &= - \left[Q - \frac{M_u}{h_u} \operatorname{tg} \sigma_0 - \frac{M_0}{h_0} \operatorname{tg} \sigma_u \right] \sec \beta \end{aligned} \right\} \dots \dots 92)$$

Es bezeichnet darin M_0 und M_u das Moment der auf den abgetrennten Trägerteil wirkenden äußeren Kräfte bezogen auf die den betreffenden Gurtstäben gegenüber oder dem Wandstab anliegenden Knotenpunkte und Q die lotrechte Querkraft in dem geführten Schnitte.

Für den Parallelträger ist $O = - \frac{M_u}{h}$; $U = \frac{M_0}{h}$; $S = - Q \sec \beta$.

Bei dem Träger mit K-Ausfachung ist die Schnittmethode nicht ohne weiteres anwendbar, da jeder Schnitt mehr als drei Stäbe trifft. Aus dem Gleichgewicht der Knotenkräfte in den Punkten, in denen die Schrägstäbe an die lotrechten Pfosten anschließen, folgt aber sofort, daß die wagrechten Kräfte der beiden Schrägstäbe eines Faches sich gegenseitig aufheben, sonach entgegengesetzt gleich sein müssen. Damit ergibt sich auch die Gleichheit der wagrechten Ober-

gurt- und Untergurtkraft in jedem Fache und man erhält mit den Bezeichnungen der Abb. 369

$$\left. \begin{aligned} U_r &= -O_r \cos \sigma_r = \frac{M_{r-1}}{h_{r-1}} \\ Z_r \sin \beta &= -D_r \sin \beta' = \frac{M_r}{h_r} - \frac{M_{r-1}}{h_{r-1}} \\ V_r &= -\left(\frac{M_r}{h_r} - \frac{M_{r-1}}{h_{r-1}} \right) \cotg \beta + P_u \\ V_r' &= -\frac{M_{r-1}}{h_{r-1}} (\cotg \beta' - \tg \sigma_r) + \frac{M_r}{h_r} (\cotg \beta' - \tg \sigma_{r+1}) - P_0 \end{aligned} \right\} 93)$$

Die Gurtkräfte werden für jene Belastung am größten, die die größten Momente hervorruft; ihre Berechnung erfolgt am ein-

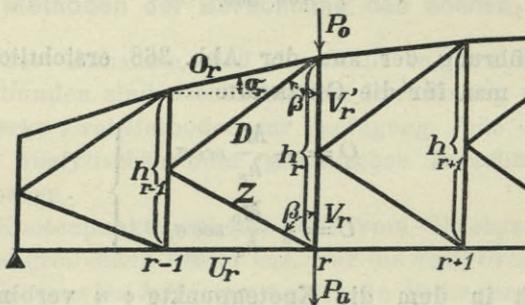


Abb. 369.

fachsten nach den obigen Formeln aus den Knotenpunktmomenten, deren Größtwerte graphisch oder durch Rechnung bestimmt werden können (s. Bd. I, § 11). Beim Parallelträger sind ebenso auch die Stabkräfte in der Ausfachung unmittelbar durch die Größtwerte der Querkräfte gegeben.

Beim krummgurtigen Fachwerkträger sind dagegen die Wandstabkräfte nicht in so einfacher Weise bestimmt und es ist die ungünstigste Belastung in der Fachweite des Wandstabes im allgemeinen nicht mit jener für die größte Querkraft übereinstimmend. Sieht man jedoch davon ab und nimmt man als ungünstigste Verkehrsbelastung für einen Wandstab jene an, welche die größte Querkraft im betreffenden Fache hervorruft, so läßt sich die Stabkraft wieder aus der größten Querkraft entweder durch Rechnung nach den Formeln 92 oder durch graphische Konstruktion (Abb. 370) ermitteln.

3. Bei allgemeiner Trägerform wird es aber für die Berechnung der von der Verkehrslast hervorgerufenen Wandstabkräfte empfehlenswerter sein, die Methode der Einflußlinien in Anwendung zu bringen.

Zur Verzeichnung der Einflußlinie einer Stabkraft bedarf es bloß zweier Einflußgrößen für je eine rechts und links vom be-

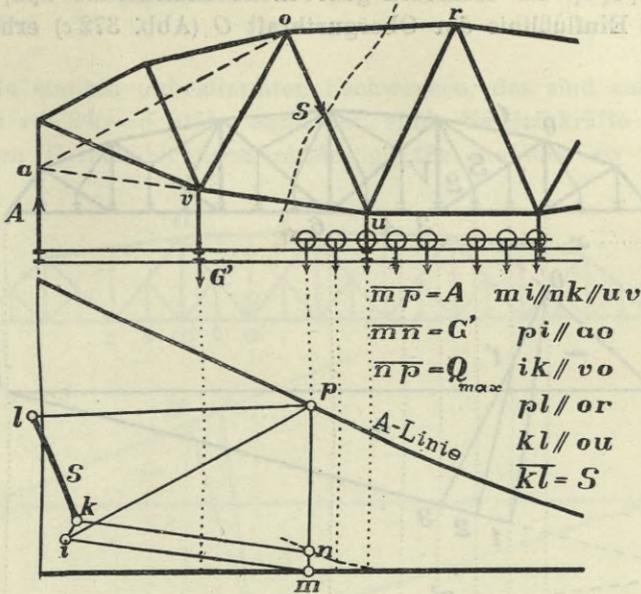


Abb. 370.

treffenden Fache liegende Einzellast. Wir benützen hierzu die Stabkräfte S_a und S_b , die durch je eine im linken und rechten Auflager wirkende lotrechte Kraft 1 bei Festhaltung des anderen Trägerendes im Stabe hervorgerufen werden (Abb. 371). Man erhält sie für sämtliche Stäbe mittels zweier Cremona-Pläne oder durch Rechnung oder Konstruktion nach der Schnittmethode. Das weitere Verfahren (s. Bd. I, § 11) wird als bekannt vorausgesetzt.

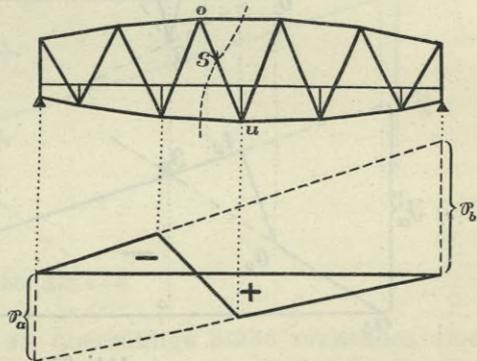


Abb. 371.

In den Abb. 372 a bis c sind die Einflußlinien für Systeme mit Zwischenknoten dargestellt, und zwar gilt in Abb. 372 a) für den Schrägstab S Stabteil 01 die Einflußlinie $a'0'1'2'b$

„ 12 „ „ „ $a'0'1'2'b$
 „ 23 „ „ „ $a'0'3'b$

Für den lotrechten Stab V (Abb. 372 *b*) tritt an Stelle der für das einfache Fachwerk ohne Zwischenknoten geltenden Einflußlinie $a_1 3_1 6_1 b_1$ die mehrfach gebrochene Einflußlinie $a_1 0_1 2_1 3_1 4_1 b_1$. Die Einflußlinie der Obergurtkraft O (Abb. 372 *c*) erhält durch

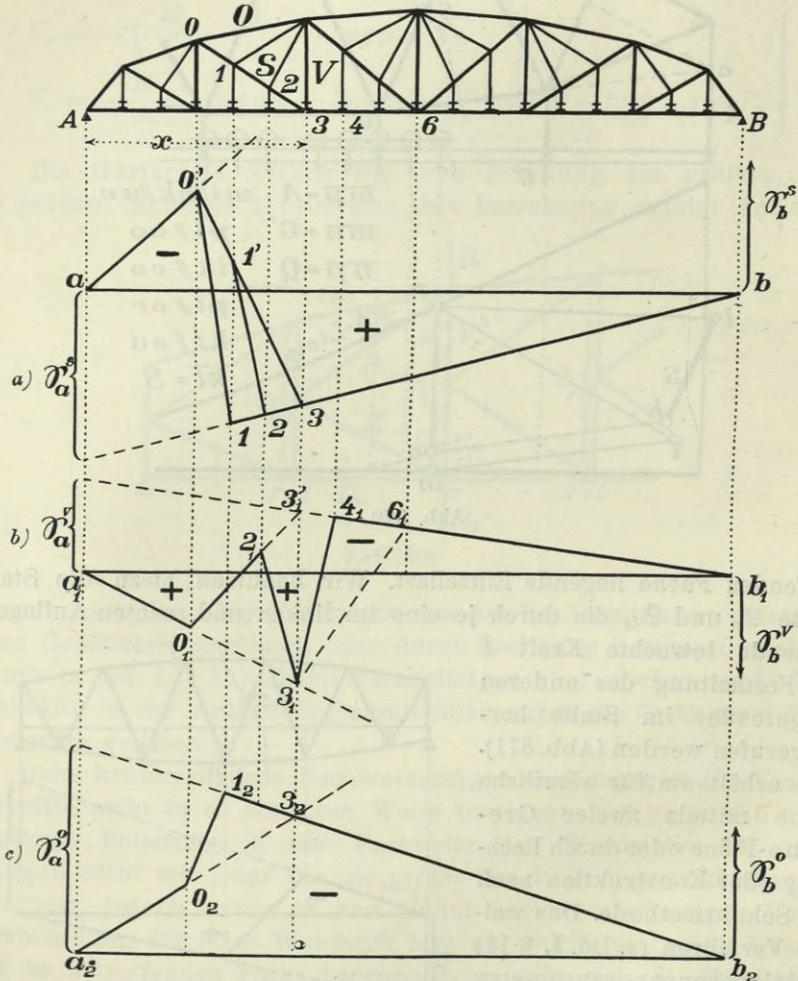


Abb. 372 *a-c*.

die Zwischenknotenpunkte den Zuwachs $0_2 1_2 3_2$, wogegen die Einflußlinien der Untersturkräfte davon nicht berührt werden.

Ebenso erhält man für das in Abb. 373 dargestellte Trägerschwerk

für den Stabteil 01	die Einflußlinie	$a O' 2 b$
" " "	12	" " $a 1' 2 b$
für den Untergurtstab	$r m$	" " $a_1 r_1 s_1 b_1$
" " "	$m u$	" " $a_1 t_1 u_1 b_1$

4. In statisch unbestimmten Fachwerken, das sind solchen, die mehr als $s = 2k - 3$ Stäbe enthalten, sind die Stabkräfte von den elastischen Formänderungen abhängig, für die sich so viele Be-

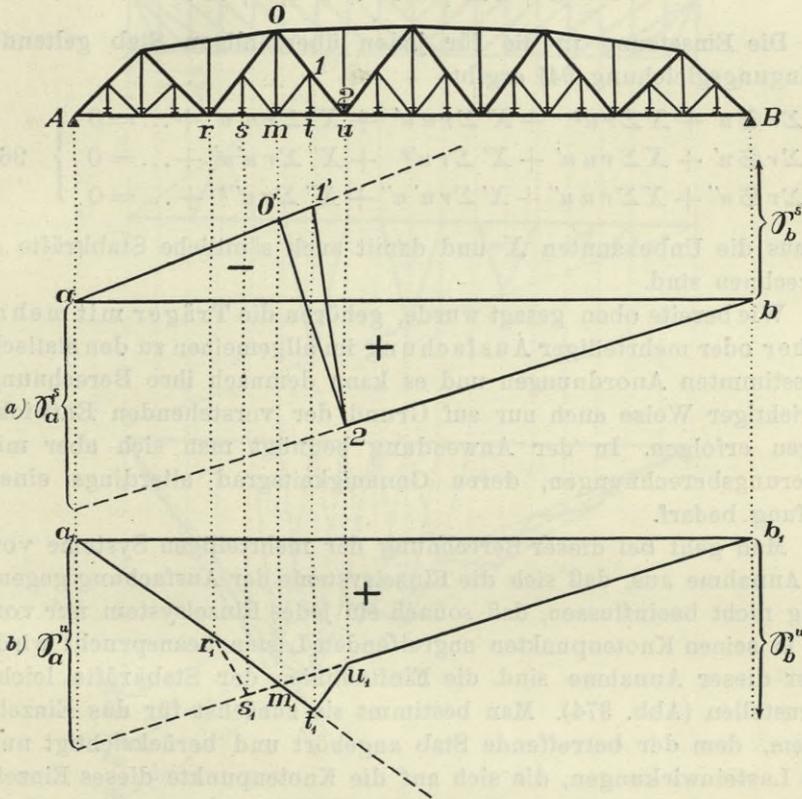


Abb. 373 a—b.

dingungen aufstellen lassen, als überzählige Stäbe vorhanden sind. Es muß nämlich die gegenseitige Verschiebung je zweier, durch einen überzähligen Stab verbundenen Knotenpunkte gleich der Längenänderung dieses Stabes sein, was zu der bekannten Beziehung führt

$$\sum r s u = 0 \quad \dots \dots \dots 94)$$

Es bezeichnet:

$r = l : F =$ Stablänge durch Querschnitt,

S die Stabkräfte infolge der äußeren Belastung,
 u die Stabkräfte, die in dem durch Weglassung der über-
 zähligen Stäbe statisch bestimmt gemachten System durch zwei in
 Richtung eines überzähligen Stabes wirkende Gegenkräfte 1 hervor-
 gerufen werden.

Nennt man ferner $X, X', X'' \dots$ die Kräfte in den überzähligen
 Stäben und \mathcal{S} die von der äußeren Belastung herrührenden Stab-
 kräfte im statisch bestimmten Fachwerke, so ist

$$S = \mathcal{S} + u X + u' X' + u'' X'' + \dots \dots \dots 95)$$

Die Einsetzung in die für jeden überzähligen Stab geltende
 Bedingungs-gleichung 94) ergibt

$$\left. \begin{aligned} \Sigma r \mathcal{S} u + X \Sigma r r u^2 + X' \Sigma r r u u' + X'' \Sigma r r u u'' + \dots &= 0 \\ \Sigma r \mathcal{S} u' + X \Sigma r r u u' + X' \Sigma r r u'^2 + X'' \Sigma r r u' u'' + \dots &= 0 \\ \Sigma r \mathcal{S} u'' + X \Sigma r r u u'' + X' \Sigma r r u' u'' + X'' \Sigma r r u''^2 + \dots &= 0 \end{aligned} \right\} 96)$$

woraus die Unbekannten X und damit auch sämtliche Stabkräfte S
 zu rechnen sind.

Wie bereits oben gesagt wurde, gehören die Träger mit mehr-
 facher oder mehrteiliger Ausfachung im allgemeinen zu den statisch
 unbestimmten Anordnungen und es kann demnach ihre Berechnung
 in richtiger Weise auch nur auf Grund der vorstehenden Entwick-
 lungen erfolgen. In der Anwendung begnügt man sich aber mit
 Näherungsberechnungen, deren Genauigkeitsgrad allerdings einer
 Prüfung bedarf.

Man geht bei dieser Berechnung der mehrteiligen Systeme von
 der Annahme aus, daß sich die Einzelsysteme der Ausfachung gegen-
 seitig nicht beeinflussen, daß sonach ein jedes Einzelsystem nur von
 den in seinen Knotenpunkten angreifenden Lasten beansprucht wird.
 Unter dieser Annahme sind die Einflußlinien der Stabkräfte leicht
 darzustellen (Abb. 374). Man bestimmt sie zunächst für das Einzel-
 system, dem der betreffende Stab angehört und berücksichtigt nur
 jene Lasteinwirkungen, die sich auf die Knotenpunkte dieses Einzel-
 systems übertragen. Bei n -facher Teilungszahl hat sonach ein Stab
 der Ausfachung nur den n -ten Teil aller auf dem Träger befind-
 lichen Lasten zu tragen. Ist die Belastung gleichmäßig verteilt, so
 kann die Stabspannung mit großer Annäherung gleich dem n -ten Teil
 jener Spannung S_0 gesetzt werden, die sich für das einfache System
 bei Wirkung sämtlicher Lasten berechnen würde; dabei wird nur
 bezüglich der im Stabfache wirkenden Lasten ein kleiner Fehler
 gemacht und ihr Einfluß nicht voll berücksichtigt. Besteht die Be-
 lastung aber aus ungleichen oder ungleich verteilten Einzellasten,

so kann der Fehler, den man bei Anwendung der Regel $S = \frac{1}{n} S_0$ macht, erheblich größer werden. Es empfiehlt sich in diesem Falle die Stabkräfte aus den Einflußlinien zu bestimmen, die man auf Grund obiger Näherungsannahme der Zerlegung in die Einzelsysteme verzeichnet (Abb. 374).

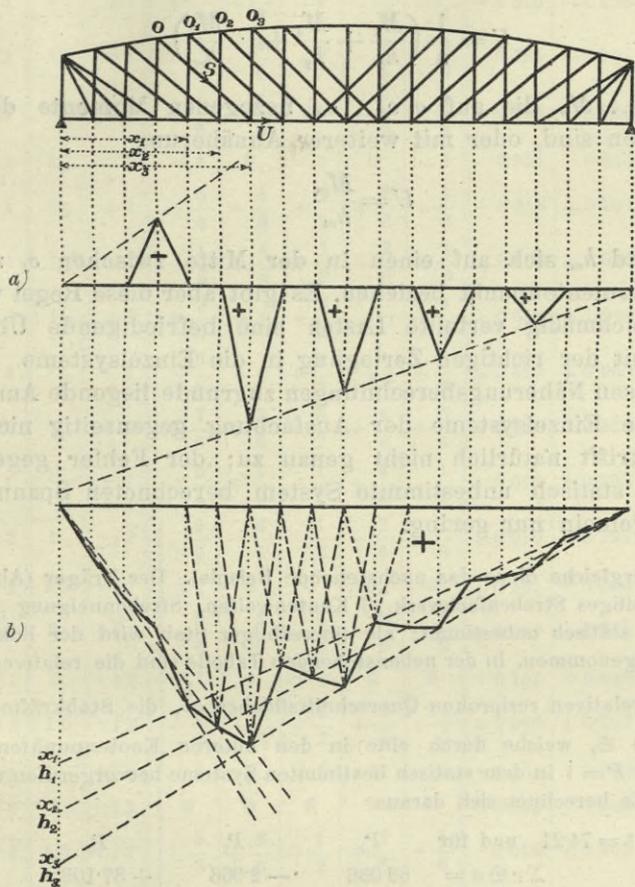


Abb. 374 a—b.

In den Gurtstäben ruft die Belastung eines jeden Knotenpunktes Spannungen hervor, da jeder Gurtstab sämtlichen Einzelsystemen angehört. Die Einflußlinie einer Gurtstabkraft erhält man durch Summierung der für die Einzelsysteme geltenden Einwirkungen (Abb. 374 b). Sind $o_1 o_2 \dots o_n$ die für einen Gurtstab in Betracht kommenden Momentenpunkte der Einzelsysteme, $m_1 m_2 \dots m_n$ die dar-

auf bezogenen Momente der Knotenlasten der Einzelsysteme, $h_1 h_2 \dots h_n$ die den Momentenpunkten entsprechenden Trägerhöhen, so rechnet sich die Spannung des geraden Gurtes aus

$$U = \frac{m_1}{h_1} + \frac{m_2}{h_2} + \dots + \frac{m_n}{h_n}$$

Näherungsweise kann dafür gesetzt werden

$$U = \frac{1}{n} \left(\frac{M_1}{h_1} + \frac{M_2}{h_2} + \dots + \frac{M_n}{h_n} \right)$$

wenn $M_1 M_2 \dots M_n$ die auf $o_1 o_2 \dots o_n$ bezogenen Momente der gesamten Lasten sind, oder mit weiterer Annäherung

$$U = \frac{M_m}{h_m}$$

wenn M_m und h_m sich auf einen in der Mitte zwischen o_1 und o_n gelegenen Momentenpunkt beziehen. Es gibt aber diese Regel wieder nur für gleichmäßig verteilte Lasten eine befriedigende Übereinstimmung mit der richtigen Zerlegung in die Einzelsysteme.

Die diesen Näherungsberechnungen zugrunde liegende Annahme, daß sich die Einzelsysteme der Ausfachung gegenseitig nicht beeinflussen, trifft natürlich nicht genau zu; der Fehler gegenüber den für das statisch unbestimmte System berechneten Spannungen ist aber allgemein nur gering.

Zum Vergleiche diene das nachstehende Beispiel. Der Träger (Abb. 375) hat ein zweiteiliges Strebenfachwerk, 6 Knotenweiten, Strebenneigung $\beta = 45^\circ$. Er ist einfach statisch unbestimmt; als überzähliger Stab wird der linke Endständer V_0 angenommen. In der nebenstehenden Tabelle sind die relativen Stablängen l , die relativen reziproken Querschnittsflächen $\frac{1}{F}$, die Stabkräfte u und die Stabkräfte \mathcal{E} , welche durch eine in den unteren Knotenpunkten I—V wirkende Last $P=1$ in dem statisch bestimmten Systeme hervorgerufen werden, eingetragen. Es berechnet sich daraus

$\Sigma r u^2 = 74.21$	und für	P_1	P_2	P_3
	$\Sigma r \mathcal{E} u =$	63.036	— 2.966	+ 37.108
$V_0 = -$	$\frac{\Sigma r \mathcal{E} u}{\Sigma r u^2} = -$	0.849	+ 0.040	— 0.500

Damit konnten die Spannungen sämtlicher Stäbe berechnet und in den Abb. 375 a bis d ihre Einflußlinien verzeichnet werden. Man sieht, daß die Unterschiede gegenüber jenen Spannungen, die sich nach der Näherungsberechnung auf Grund der Zerlegung in die Einzelsysteme ergeben würden, nicht groß sind. Die Eckpunkte der zackenförmigen Einflußlinie einer Stabkraft liegen nur um wenig (um 0.016 P und 0.040 P) über oder unter den Geraden, durch welche sie für die Einzelsysteme (nach Abb. 374) festgelegt sind. Man

	l	$\frac{1}{F}$	u	\mathcal{E} für					S für		
				P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_1	P_2	P_3
O_1	1	$\frac{4}{3}$	+1	0	0	0	0	0	-0.849	+0.040	-0.500
O_2	1	$\frac{2}{3}$	-1	$-\frac{10}{6}$	$-\frac{8}{6}$	-1	$-\frac{4}{6}$	$-\frac{2}{6}$	-0.817	-1.373	-0.500
O_3	1	$\frac{1}{2}$	+1	$+\frac{2}{6}$	$-\frac{8}{6}$	-1	$-\frac{4}{6}$	$-\frac{2}{6}$	-0.516	-1.293	-1.500
O_4	1	$\frac{1}{2}$	-1	$-\frac{8}{6}$	$-\frac{4}{6}$	-2	$-\frac{8}{6}$	$-\frac{4}{6}$	-0.484	-0.707	-1.500
O_5	1	$\frac{2}{3}$	+1	$+\frac{4}{6}$	$-\frac{4}{6}$	0	$-\frac{8}{6}$	$-\frac{4}{6}$	-0.183	-0.627	-0.500
O_6	1	$\frac{4}{3}$	-1	-1	0	-1	0	-1	-0.151	-0.040	-0.500
U_1	1	$\frac{4}{3}$	+1	$+\frac{5}{6}$	$+\frac{4}{6}$	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{2}{6}$	$+\frac{1}{6}$	-0.016	+0.707	0
U_2	1	$\frac{2}{3}$	-1	$-\frac{1}{6}$	$+\frac{4}{6}$	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{2}{6}$	$+\frac{1}{6}$	+0.683	+0.627	+1.000
U_3	1	$\frac{1}{2}$	+1	$+\frac{9}{6}$	+1	$+\frac{3}{2}$	+1	$+\frac{1}{2}$	+0.651	+1.040	+1.000
U_4	1	$\frac{1}{2}$	-1	$-\frac{3}{6}$	+1	$+\frac{1}{2}$	+1	$+\frac{1}{2}$	+0.349	+0.960	+1.000
U_5	1	$\frac{2}{3}$	+1	$+\frac{7}{6}$	$+\frac{2}{6}$	$+\frac{3}{2}$	$+\frac{4}{6}$	$+\frac{5}{6}$	+0.317	+0.373	+1.000
U_6	1	$\frac{4}{3}$	-1	$-\frac{5}{6}$	$+\frac{2}{6}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{4}{6}$	$-\frac{1}{6}$	+0.016	+0.293	0
D_1'	$\sqrt{2}$	1	$-\sqrt{2}$	$-\frac{5}{6}$	$-\frac{4}{6}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{2}{6}$	$-\frac{1}{6}$	+0.016	-0.707	0
D_2'	$\sqrt{2}$	1.5	$+\sqrt{2}$	+1	0	0	0	0	+0.151	+0.040	-0.500
D_3'	$\sqrt{2}$	3	$-\sqrt{2}$	$-\frac{5}{6}$	$+\frac{2}{6}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{2}{6}$	$-\frac{1}{6}$	+0.016	+0.293	0
D_4'	$\sqrt{2}$	3	$+\sqrt{2}$	+1	0	+1	0	0	+0.151	+0.040	+0.500
D_5'	$\sqrt{2}$	1.5	$-\sqrt{2}$	$-\frac{5}{6}$	$+\frac{2}{6}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{4}{6}$	$-\frac{1}{6}$	+0.016	+0.293	0
D_6'	$\sqrt{2}$	1	$+\sqrt{2}$	+1	0	+1	0	+1	+0.151	+0.040	+0.500
D_1	$\sqrt{2}$	1	$-\sqrt{2}$	0	0	0	0	0	+0.849	-0.040	+0.500
D_2	$\sqrt{2}$	1.5	$+\sqrt{2}$	$+\frac{5}{6}$	$+\frac{4}{6}$	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{2}{6}$	$+\frac{1}{6}$	-0.016	+0.707	0
D_3	$\sqrt{2}$	3	$-\sqrt{2}$	-1	0	0	0	0	-0.151	-0.040	+0.500
D_4	$\sqrt{2}$	3	$+\sqrt{2}$	$+\frac{5}{6}$	$-\frac{2}{6}$	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{2}{6}$	$+\frac{1}{6}$	-0.016	-0.293	0
D_5	$\sqrt{2}$	1.5	$-\sqrt{2}$	-1	0	-1	0	0	-0.151	-0.040	-0.500
D_6	$\sqrt{2}$	1	$+\sqrt{2}$	$+\frac{5}{6}$	$-\frac{2}{6}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{4}{6}$	$+\frac{1}{6}$	-0.016	-0.293	0
V_0	1	1	+1	0	0	0	0	0	-0.849	+0.040	-0.500
V_6	1	1	-1	-1	0	-1	0	-1	-0.151	-0.040	-0.500

$\sqrt{2}$

kann demnach für die mehrteiligen Ausfachungssysteme die obige Näherungsberechnung immer als praktisch ausreichend gelten lassen.

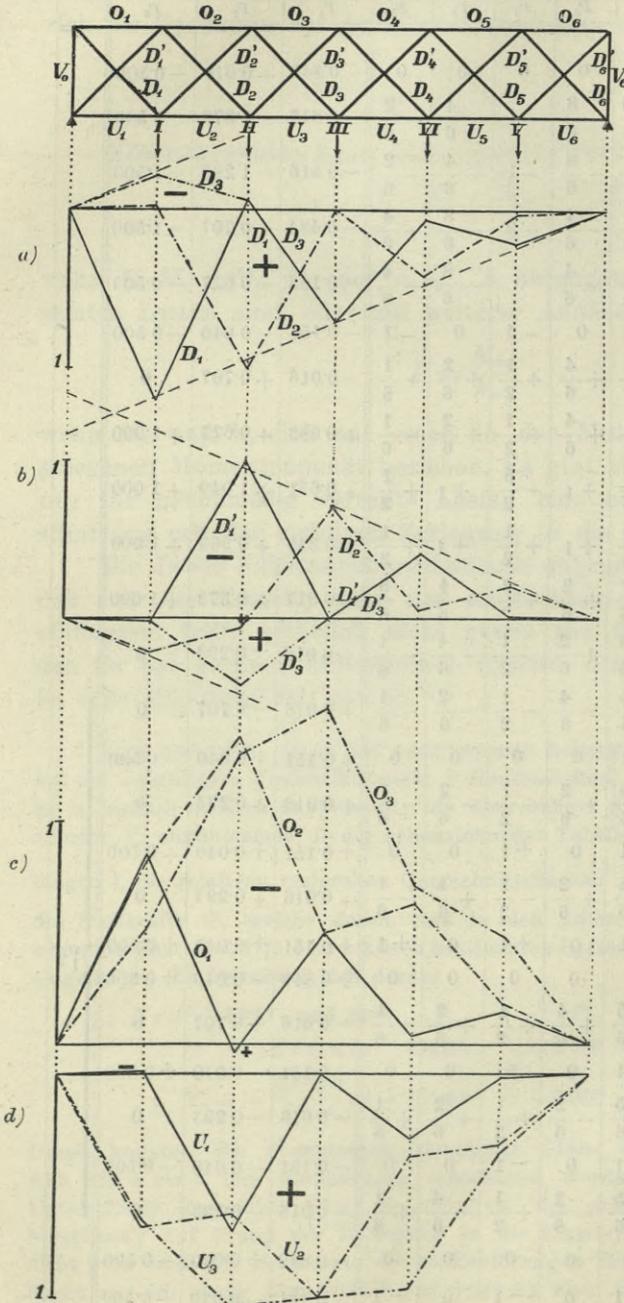


Abb. 375 a—d.

Anders verhält es sich bei dem Träger nach Abb. 377 mit drei Stablagen oder sogenanntem Doppelfachwerk. Die Näherungsberechnung, welche man wieder auf die Zerlegung in zwei je mit den halben Knotengewichten belastete Ständerfachwerke basiert, kann hier Spannungswerte liefern, die von jenen der genauen Berechnung erheblich abweichen. Letztere wird allerdings wegen der hochgradigen statischen Unbestimmtheit ziemlich umständlich.

Wir nehmen (Abb. 376) die gegen die Mitte steigenden Streben als überzählig an und führen die lotrechten Komponenten dieser Strebenkräfte als die Unbekannten X ein. Bezeichnet man wieder die Spannungen in dem statisch bestimmten Systeme mit Frakturbuchstaben, so ist für die Stabkräfte im r -ten Fache zu setzen:

$$O_r = \mathcal{O}_r - X_r \operatorname{tg} \beta,$$

$$U_r = \mathcal{U}_r - X_r \operatorname{tg} \beta,$$

$$D_r = \mathcal{D}_r + X_r \operatorname{sec} \beta,$$

$D_r' = X_r \sec \beta$, $V_r = \mathfrak{B}_r - X_r - X_{r+1}$, $V_{r-1} = \mathfrak{B}_{r-1} - X_{r-1} - X_r$.
 Die reziproken Querschnittsflächen der Stäbe seien mit o_r , u_r , d_r , d_r' , v_r bezeichnet. Zur Bestimmung der Unbekannten X liefern die Gleichungen 96) eine Gleichungsgruppe von der Form:

$$\begin{aligned} & v_{r-1} X_{r-1} + \\ & + [(o_r + u_r) \operatorname{tg}^3 \beta + \\ & + (d_r + d_r') \sec^3 \beta + \\ & + r_r + v_{r-1}] X_r + v_r X_{r+1} = \\ & = (o_r \mathfrak{D}_r + u_r \mathfrak{U}_r) \operatorname{tg}^2 \beta + \\ & + v_r \mathfrak{B}_r + v_{r-1} \mathfrak{B}_{r-1} - \\ & - d_r \mathfrak{D}_r \sec^2 \beta \dots \dots 97) \end{aligned}$$

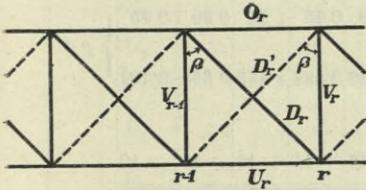


Abb. 376.

Bei n -Feldern ergeben sich n -Gleichungen, die je drei von den n -Unbekannten enthalten.

Als Beispiel wählen wir den gleichen Träger wie oben mit den gleichen Stabquerschnitten und mit lotrechten Stäben, deren reziproke Querschnittsflächen den Relativzahlen $v_0 = v_6 = 1$ und v_1 bis $v_5 = 3$ entsprechen. Die Gleichungsgruppe für die X -Größen lautet:

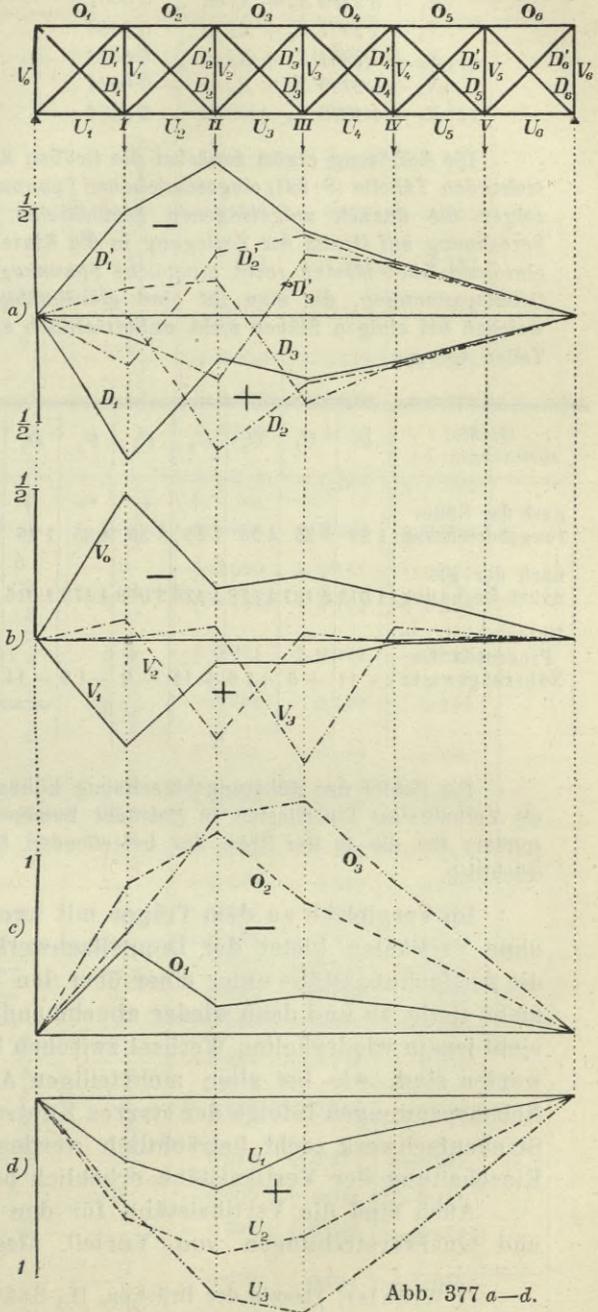


Abb. 377 a-d.

für eine Last im unteren Knotenpunkt	I	II	III
	$4 \cdot 1078 X_1 + X_2 =$	$- 1 \cdot 2670 P_1$	$- 2 \cdot 3397 P_2$
	$- 1 \cdot 4428 P_3$		
	$X_1 + 5 \cdot 2729 X_2 + X_3 =$	$0 \cdot 6061$	$- 1 \cdot 4243$
	$X_2 + 7 \cdot 9901 X_3 + X_4 =$	$0 \cdot 6658$	$+ 1 \cdot 3317$
	$X_3 + 7 \cdot 9901 X_4 + X_5 =$	$0 \cdot 6658$	$- 1 \cdot 3317$
	$X_4 + 5 \cdot 2729 X_5 + X_6 =$	$- 0 \cdot 6061$	$- 1 \cdot 2121$
	$X_5 + 4 \cdot 1078 X_6 =$	$- 0 \cdot 4534$	$- 0 \cdot 9069$
			$- 1 \cdot 4428$

Die Auflösung ergibt zunächst die Größen X und damit die in der nebenstehenden Tabelle (S. 323) eingeschriebenen Spannungswerte. Die Abb. 377 *a* bis *d* zeigen die danach aufgetragenen Einflußlinien. Gegenüber der Näherungsberechnung auf Grund der Zerlegung in die Einzelsysteme ergeben sich für die einzelnen Knotenlasten recht erhebliche Spannungsunterschiede. Aber auch die Größtspannungen, die man für eine gleichmäßig verteilte Last p berechnet, weichen bei einigen Stäben nicht unbedeutend ab. Es ergibt sich nämlich in Teilen von $p a$:

Größtspannungen: $p a$	O_1	O_2	O_3	U_1	U_2	U_3	D_1	D_2	D_3	D_1'	D_2'	D_3'	
nach der Näherungsberechnung	—	—	—	+	+	+	+	+	+	—	—	—	} $p a$
nach der genaueren Rechnung	1·076	3·437	4·328	1·423	3·063	4·173	1·076	0·938	0·498	1·423	0·684	0·407	
Unterschied in Prozenten des Näherungswerts	- 14	+ 6	+ 18	+ 14	- 6	- 18	- 14	+ 17	+ 11	+ 14	- 15	- 10	
							$\sqrt{2}$						

Die Fehler der Näherungsberechnung können noch größer werden, wenn als Verkehrslast Einzellasten in Betracht kommen. Die Unterschiede sind besonders für die in der Nähe des betreffenden Stabes wirkenden Lasten beträchtlich.

Im Vergleiche zu dem Träger mit zweiteiligem Strebenfachwerk ohne Vertikalen bietet der Doppelfachwerksträger den Vorteil, daß die Ausfachungsstäbe unter einer über den Träger bewegten Last eine mehr stetig zu und dann wieder abnehmende Spannung erfahren und nicht jenem wiederholten Wechsel zwischen Be- und Entlastung unterworfen sind, wie bei allen mehrteiligen Ausfachungssystemen. Die Nebenspannungen infolge der starren Knoten, die bei dem zweiteiligen Strebenfachwerk recht beträchtlich werden können, werden durch Einschaltung der Vertikalstäbe erheblich herabgemindert¹⁾.

Auch sind die Vertikalstäbe für den Anschluß der Querträger und Querverstrebungen von Vorteil. Gegenüber dem einteiligen

¹⁾ Winkler, Theorie der Brücken, II., S. 340.

	$\frac{1}{F}$	S für			S für		
		P_1	P_2	P_3	P_1	P_2	P_3
O_1	$\frac{4}{3}$	$-\frac{5}{6}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{2}$	-0.484	-0.149	-0.215
O_2	$\frac{2}{3}$	$-\frac{4}{6}$	$-\frac{4}{3}$	-1	-0.834	-1.121	-0.727
O_3	$\frac{1}{2}$	$-\frac{3}{6}$	-1	$-\frac{3}{2}$	-0.573	-1.215	-1.295
O_4	$\frac{1}{2}$	$-\frac{3}{6}$	-1	$-\frac{3}{2}$	-0.418	-0.827	-1.295
O_5	$\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{6}$	$-\frac{2}{3}$	-1	-0.251	-0.504	-0.727
O_6	$\frac{4}{3}$	$-\frac{1}{6}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	-0.076	-0.152	-0.215
U_1	$\frac{4}{3}$	0	0	0	+0.349	+0.518	+0.285
U_2	$\frac{2}{3}$	$+\frac{5}{6}$	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{2}$	+0.666	+0.879	+0.773
U_3	$\frac{1}{2}$	$+\frac{4}{6}$	$+\frac{4}{3}$	+1	+0.594	+1.119	+1.205
U_4	$\frac{1}{2}$	$+\frac{2}{6}$	$+\frac{2}{3}$	+1	+0.415	+0.840	+1.205
U_5	$\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{6}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{2}$	+0.249	+0.496	+0.773
U_6	$\frac{4}{3}$	0	0	0	+0.090	+0.181	+0.285
D_1	1	$\frac{5}{6}$	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{2}$	+0.484	+0.149	+0.215
D_2	1.5	$-\frac{1}{6}$	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{2}$	+0.001	+0.454	+0.227
D_3	3	$-\frac{1}{6}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{2}$	-0.094	-0.119	+0.295
D_4	3	$+\frac{1}{6}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{2}$	+0.085	+0.160	+0.295
D_5	1.5	$+\frac{1}{6}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{2}$	+0.085	+0.171	+0.227
D_6	1	$+\frac{1}{6}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{2}$	+0.076	+0.152	+0.215
D_1'	1	—	—	—	-0.349	-0.518	-0.285
D_2'	1.5	—	—	—	+0.167	-0.213	-0.273
D_3'	3	—	—	—	+0.073	+0.215	-0.205
D_4'	3	—	—	—	-0.082	-0.173	-0.205
D_5'	1.5	—	—	—	-0.082	-0.163	-0.273
D_6'	1	—	—	—	-0.090	-0.181	-0.285
V_0	1	$-\frac{5}{6}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{2}$	-0.484	-0.149	-0.215
V_1	3	$+\frac{1}{6}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{2}$	+0.349	+0.064	+0.058
V_2	3	$+\frac{1}{6}$	$+\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	-0.073	+0.331	-0.022
V_3	3	0	0	0	-0.009	-0.041	+0.411
V_4	3	$-\frac{1}{6}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	-0.002	+0.003	-0.022
V_5	3	$-\frac{1}{6}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	+0.006	+0.011	+0.058
V_6	1	$-\frac{1}{6}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{2}$	-0.076	-0.152	-0.215

} $\sqrt{2}$

Ständerfachwerk gibt das Doppelfachwerk nur ungefähr halb so stark beanspruchte Wandstäbe und für die Druckstäbe ist auch die Verringerung der freien Knicklänge infolge der Strebenkreuzungen günstig. Bei offenen Brücken trägt die steife Ausbildung der Streben und Vertikalen zur Erhöhung der Quersteifigkeit der Tragwände bei. Allerdings sind auch die Nachteile der vielfachen statischen Unbestimmtheit nicht zu übersehen, welche es möglich macht, daß durch unrichtigen Zusammenbau starke Zwängspannungen in die Konstruktion gebracht werden können. Die größere Umständlichkeit einer richtigen Berechnung dieses Trägersystems soll nicht als ein Hindernis für dessen Anwendung angesehen werden.

§ 27. Die Dimensionierung und die Querschnittsausbildung der Stäbe.

Die Dimensionierung der Stäbe erfolgt auf Grund der durch die statische Berechnung ermittelten Größtspannungen S_{\max} und S_{\min} , welche durch Eigengewicht und Verkehrsbelastung hervorgerufen werden. Sind diese beiden Grenzspannungen von gleichem Vorzeichen, so braucht nach dem zumeist in Anwendung stehenden Dimensionierungsverfahren (s. § 6) nur die größere Spannung berücksichtigt zu werden. Es müssen aber ferner auch noch die Stabkräfte S_w und S_b bestimmt werden, die infolge der wagrechten Kräfte (Winddruck und Seitendrucke der Fahrzeuge) und infolge der Bremskraft auftreten können. Es rechnet sich dann

a) für einen Zugstab der nutzbare Querschnitt

$$F_n = \frac{S_{\max}}{s}$$

außerdem muß
$$\frac{S_{\max} + S_w + S_b}{F_n} < s' \text{ sein.}$$

s und s' sind die zulässigen Inanspruchnahmen, die nach den betreffenden amtlichen Vorschriften (s. § 7) einzuhalten sind.

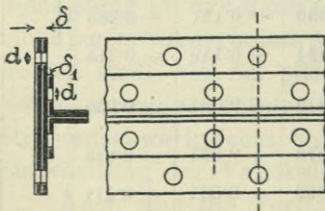


Abb. 378.

Die nutzbare Querschnittsfläche eines Zugstabes bestimmt sich aus dem vollen Querschnitt mit Abzug der Nieterschwächung (s. § 9, S. 74 ff.). Bei Stäben, die aus mehreren Walzeisen durch Nietung zusammengesetzt sind, ist die größte Schwächung jedes Teiles zu berücksichtigen. Demnach ist beispielsweise

für einen Stab nach Abb. 378 der Nietlochabzug mit $2\delta\delta + 2\delta\delta_1$ anzunehmen. Besteht der Zugstab aus Profileisen (Winkel- oder

—Eisen), die nur mit einem Flansch angeschlossen sind, so ist der abstehende Flansch nicht voll, sondern nur zur Hälfte in den nutzbaren Querschnitt einzurechnen. Für Zugstäbe, deren untere Grenzspannung S_{\min} Druck ist, setze man die Inanspruchnahme herab, etwa

$$\text{nach } (s) = s \left(1 - \frac{1}{2} \frac{S_{\min}}{S_{\max}} \right)$$

b) Druckstäbe sind auf Knickung nach den im § 8 gegebenen Regeln zu berechnen. Diese ergeben allerdings keine direkte Querschnittsermittlung, da die zulässige Knickbeanspruchung $s_k = \eta s$ vom Trägheitshalbmesser des Querschnittes abhängig ist. Man wähle gespreizte Querschnitte, die einen entsprechend großen Trägheitshalbmesser haben und gehe bei der Annahme versuchsweise vor, so daß

$$\frac{S_{\max}}{F} \leq s_k$$

wird. Bei Berechnung der Fläche und des Trägheitsmomentes braucht der Nietlochabzug nicht berücksichtigt zu werden (österreichische Vorschriften); es dürfte sich aber doch empfehlen, von der Querschnittsfläche F die Nietschwächung wenigstens zur Hälfte in Abzug zu bringen.

Die für die Größe des Abminderungskoeffizienten η maßgebende freie Knicklänge l hängt von dem Einspannungszustande der Stabenden und der allfälligen Festhaltung einzelner Punkte der Stabachse ab. Man ist aber bei der Annahme von l mehr oder weniger auf eine Schätzung angewiesen, da eine exakte Behandlung des Problems, welche die elastischen Linien der festverbundenen Stäbe feststellen müßte, äußerst schwierige und umständliche Berechnungen erfordern würde. Wir geben nachstehend die Annahmen, welche in den Vorschriften der k. k. österr. Staatsbahnen über die Berechnung der Druckglieder der genieteten Fachwerksbrücken enthalten sind.

1. Wandstäbe. Bezeichnet l_0 die Stablänge gemessen von Mitte zu Mitte der freien Gurtstehbleche, beziehungsweise der Knotenbleche, so ist, wenn keine Stabkreuzungen vorkommen, sonach bei einfachen Systemen

$$\begin{array}{ll} \text{für das Ausknicken senkrecht zur Trägerebene} & l = l_0 \\ \text{„ „ „ „ in der Trägerebene} & l = 0.8 l_0 \end{array}$$

Bei den Vertikalstäben, an welche Querträger angeschlossen sind, kann für die Knickung senkrecht zur Trägerwand als Stablänge l_0 der Abstand von Mitte des freien Gurtstehbleches bis zur ersten Anschlußniete des Querträgers gesetzt werden.

Bei Streben, die von anderen Stäben gekreuzt werden und an den Kreuzungspunkten festgehalten sind, d. i. bei mehrteiligen Ausfachungssystemen, ist zu setzen:

für die Knickung senkrecht zur Trägerebene

bei der Teilungszahl	$n = 2$	4	6
bei Kreuzung mit steifen Stäben	$l = 0.625$	0.438	$0.300 l_0$
„ „ „ schlaffen „	$l = 0.750$	0.562	$0.400 l$

für die Knickung in der Tragwandebene in allen Fällen

$$l = 0.8 \frac{l_0}{n}$$

2. Druckgurte. Es bezeichnet l_0 die Gurtstablänge zwischen zwei Knotenpunkten.

Für das Ausknicken senkrecht zur Tragwandebene ist anzunehmen:

wenn die Gurtungen der Tragwände in den Anschlußpunkten des Gitterwerks gegeneinander direkt und vollständig durch Querträger, Querriegel oder Windstreben abgesteift sind . . . $l = 0.8 l_0$

wenn dagegen die Druckgurtungen gegeneinander nicht direkt abgesteift sind (offene Brücken, Abb. 379), so treten folgende Fälle ein¹⁾:

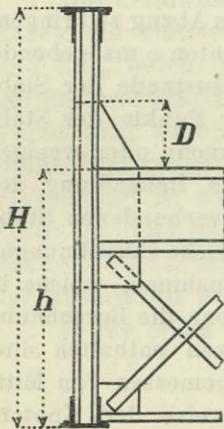


Abb. 379.

$$\begin{aligned}
 D \geq \frac{H-h}{2} & \left\{ \begin{array}{l} \frac{H}{h} \leq 5 \quad \dots \quad l = l_0 \\ \frac{H}{h} = 10 \quad \dots \quad l = 2 l_0 \end{array} \right. \\
 D < \frac{1}{2}(H-h) & \left\{ \begin{array}{l} \frac{H}{h} \leq 2.5 \quad \dots \quad l = l_0 \\ \frac{H}{h} = 10 \quad \dots \quad l = 2.5 l_0 \end{array} \right. \\
 D > \frac{1}{5}(H-h) & \left\{ \begin{array}{l} \frac{H}{h} \leq 2 \quad \dots \quad l = l_0 \\ \frac{H}{h} = 10 \quad \dots \quad l = 3 l_0 \end{array} \right. \\
 D \leq \frac{1}{5}(H-h) & \left\{ \begin{array}{l} \frac{H}{h} \leq 2 \quad \dots \quad l = l_0 \\ \frac{H}{h} = 10 \quad \dots \quad l = 3 l_0 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Für Zwischenwerte von $\frac{H}{h}$ ist geradlinig zu interpolieren.

Für das Ausknicken in der Ebene der Tragwand ist $l = 0.8 l_0$. Sind Zwischenvertikale vorhanden, so kann als freie Länge für das Ausknicken in der Tragwandebene der größere Abschnitt des durch die Zwischenvertikale unterstützten Gurtstabes angenommen werden.

¹⁾ Diese ziemlich willkürlich angesetzten Regeln sollten es aber nicht überflüssig erscheinen lassen, die Tragwände offener Brücken auf ihre Seitensteifigkeit nach den später dafür gegebenen Entwicklungen zu prüfen.

Bezüglich der Berechnung der gegliederten oder Rahmenstäbe wird auf das in § 8 Gesagte verwiesen.

Im allgemeinen sei an dieser Stelle noch besonders hervorgehoben, daß der Knicksicherheit der Druckglieder die größte Bedeutung für die Sicherheit der ganzen Konstruktion zukommt und daß ihr daher die vollste Aufmerksamkeit gewidmet werden muß.

Die auf die Dimensionierung der Stäbe Bezug nehmenden Größen sind für jeden Stab in einer Tabelle ersichtlich zusammenzustellen.

Bei der Querschnittsbildung der Stäbe eines Fachwerkträgers kommt in erster Linie in Betracht, ob sie nur Zug- oder auch Druckkräfte aufzunehmen haben. Im ersteren Falle können sie „flach“, d. i. aus Flacheisen oder Blechen hergestellt werden, in letzterem Falle muß der Stab „steif“ mit genügender Knicksicherheit ausgebildet werden. Die ausschließliche Anwendung flacher Zugstäbe ist aber heute auf die amerikanische Konstruktionsweise der Bolzengelenk-Fachwerke beschränkt, während wir für unsere genieteten Tragwerke auch die reinen Zugstäbe jetzt nicht mehr bloß aus Flacheisen herstellen, sondern dafür einen steifen Querschnitt vorziehen. Dies gilt schon lange bezüglich

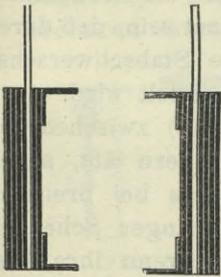


Abb. 380.

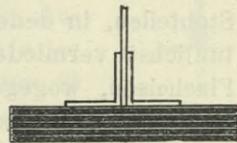


Abb. 381.

der Zuggurte, d. i. der Untergurte der einfachen Balkenträger, die man nur bei älteren Brücken aus Flacheisen als Streifengurt (Abb. 380) oder wie bei den Paulischen Trägern, als Bandgurt (Abb. 381) ausgeführt hat. Durch letztere Ausführungsform wird allerdings die Herstellung eckiger Gurte erleichtert und es werden auch die Nebenspannungen, die infolge der starren Knotenpunkte entstehen, vermindert; sie ist aber für die Stabanschlüsse wenig günstig und gegen die flachen, nicht steifen Gurte spricht überhaupt der Umstand, daß sie keine großen Längskräfte aufnehmen können, wie solche besonders bei am Gurt liegender Fahrbahn durch die bewegten Fahrzeuge (Bremskräfte) hervorgerufen werden. Wir finden daher jetzt auch bei den amerikanischen Fachwerkträgern den aus Augenstäben gebildeten Kettengurt (Abb. 415) wenigstens im Endfache häufig durch einen steifen Gurtstab ersetzt.

Als allgemeine Regeln für die Bildung der aus Flacheisen, Blechen, Winkleisen, [- oder I-Eisen zusammengesetzten Stabquerschnitte sind zu beachten:

1. Man beschränke sich auf die Verwendung der in den Kaliberheften der inländischen Walzwerke geführten oder im Handel leicht erhältlichen Profile.

2. Es ist empfehlenswert, den Stab aus möglichst wenig Teilen zusammenzusetzen, da hiedurch die Werkstattarbeit vereinfacht und die Zahl der Fugen vermindert wird. Für C- und I-Querschnitte sind daher Walzprofile, wenn solche passend vorhanden sind, den genieteten Profilen vorzuziehen. Andererseits wird man, um gegen Materialfehler gesichert zu sein, die Stärken der Walzstücke nicht abnorm groß, bei Blechen und Breiteseisen in der Regel nicht über 20 mm annehmen.

3. Man vermeide es, Profile von sehr verschiedener Stärke zu verbinden, oder unvermittelte Übergänge von schmalen zu sehr breiten Profilen auszuführen.

4. Die Querschnitte sollen besonders für die Druckstäbe möglichst geschlossen, gedungen und so angeordnet sein, daß durch gleichmäßige Gruppierung des Materials um die Stabschwerachse eine möglichst gleichmäßige Spannungsverteilung erzielt wird.

5. Schmale Zwischenräume (von 10 bis 20 mm) zwischen den Stabteilen, in denen sich der Anstrich schwer erneuern läßt, sollen tunlichst vermieden werden. Es gilt dies besonders bei breiteren Flacheisen, wogegen man bei Winkeleisen mit geringer Schenkelbreite diese Zwischenräume wohl zulassen kann, wenn ihre Ausfüllung mit Blechen eine erhebliche Überdimensionierung des Stabes zur Folge hätte. Die Ausfüllung solcher enger Zwischenräume mit Asphalt wäre ganz angezeigt, dürfte aber nicht billig kommen.

6. Man verwende keine Querschnittsformen, durch welche Rinnen oder Wassersäcke gebildet werden, aus denen das Wasser nicht ablaufen und in denen sich Schnee und Schmutz ansammeln kann.

7. Zur Vermeidung allzu großer Nebenspannungen infolge der starren Knoten soll die Breite der Stäbe in der Ebene der Trägerwand im Verhältnis zur Stablänge nicht zu groß gemacht werden.

8. Die Stäbe sollen einen einfachen und eine richtige Kraftübertragung sichernden Anschluß in den Knotenpunkten gestatten.

9. Alle Stabteile, desgleichen auch die Knotenpunkte, sollen für die Nietung und für den Anstrich gut zugänglich sein.

Für die Gurtstäbe kommt noch weiter in Betracht:

10. Die Gurtquerschnitte müssen eine Veränderung der Nutzquerschnittsfläche gestatten, die sich den Gurtkräften anpaßt, wobei die Schwerachsen der aufeinanderfolgenden Gurtstäbe eine möglichst geringe Verschiebung erfahren sollen.

11. Die Teile des Gurtquerschnittes, an die die Ausfachungs-

stäbe angeschlossen werden, sind so kräftig zu halten, daß sie die Wandstabskräfte ohne Überanstrengung aufnehmen und an den Gesamtquerschnitt abgeben.

Gurtungen. Die heute gebräuchlichen Gurtquerschnitte werden mit einem oder mit zwei (ausnahmsweise bei sehr großen Brücken auch noch mit mehr) senkrechten Stegen ausgebildet, die den Anschluß der Ausfachungsstäbe entweder unmittelbar oder mittels Knotenblechen ermöglichen.

Einstegige Gurtungen erhalten **T**, **†** oder **‡**-Form. Sie werden gewöhnlich nur bis zu etwa 300 cm^2 Nutzquerschnitt verwendet, doch lassen sich auch noch Querschnitte bis zu 600 cm^2 einsteigig ausbilden. Gegenüber den doppelstegigen Gurten haben sie den Vorteil, daß die einseitige Belastung durch den seitlichen Querträgeranschluß besser vermieden ist und daß die geschlossene Form die Erhaltung begünstigt. Dagegen ist durch die doppelstegigen

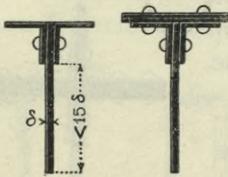


Abb. 382.

breiteren Gurte eine größere Steifigkeit in wag-rechter Richtung zu erreichen und es lassen sich starke Wandstäbe besser an sie anschließen. Man beschränkt daher die Anwendung einsteigiger Gurte in der Regel auf Stützweiten unter 40 bis 50 m, führt aber offene Brücken auch schon unter dieser

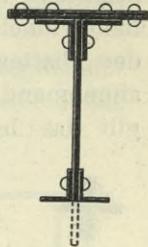


Abb. 383.

Stützweite zur Erzielung größerer Wandsteifigkeit mit doppelstegigen Gurten aus.

Der **T**-Gurt (Abb. 382) besteht aus Stehblech, Winkleisen und Horizontalblechen oder Gurtlamellen. Stehblechstärke nicht unter 12 mm, wenn stärkere Wandstäbe anzuschließen sind, nicht unter 15 mm. Im Druckgurt soll, um eine volle Beanspruchung des Stehbleches annehmen zu können, dessen freie, über die Winkleisen vorstehende Breite nicht mehr als die 15fache Dicke betragen. Stehbleche von mehr als 20 mm Stärke setzt man gewöhnlich aus doppelten Blechen zusammen, doch nimmt man jetzt auch kein Bedenken, einfache Platten von größerer Stärke zu verwenden (Dirschau-Brücke 26 mm). Stehbleche, deren freie Breite mehr als die 15fache Dicke betragen würde, sollen im Druckgurt Randwinkel erhalten (Abb. 383), die nach Möglichkeit in den tragenden Querschnitt mit einzubeziehen sind. Das Stehblech erhält in der Regel in der ganzen Trägerlänge die gleiche Höhe, doch können auch Abstufungen gemacht und kann die Stehblechhöhe gegen die Trägerenden hin verringert werden (Abb. 391a), was neben der dadurch erreichbaren besseren An-

schmiegung des Querschnittes an die notwendige Nutzfläche auch den Vorteil bietet, daß die Verschiebung der Schwerachsen der Gurtstäbe gegen die Winkleisenkante, die infolge der abgesetzten Gurtplatten entstehen würde, vermindert wird.

Die Gurtwinkel wähle man entsprechend der Größe der Gesamtquerschnittsfläche. Es ist dabei der stärkste und der schwächste Gurtstab zu berücksichtigen, doch muß letzterer oft überdimensioniert werden, da schwächere Winkel als solche mit 70 mm Schenkelbreite auch bei kleinen Trägern nicht zu verwenden sind. Man wähle die Winkelschenkelbreite etwa nach $b_{cm} = 5 + 0.1 l$ (wenn l die Stützweite in Metern) und führe die Winkel in der ganzen Trägerlänge mit dem gleichen Kaliber durch oder wenigstens mit gleicher Schenkelstärke, um die Stoßdeckungen zu vereinfachen.

Die erforderliche Verstärkung des Querschnittes wird vornehmlich durch Zugabe von Gurtplatten, allenfalls auch durch Randwinkel und auf den Steg genietete Bleche erzielt. Stärke der Platten entweder gleich oder nach außen abnehmend. Bezüglich der Breite der Platten gilt das bei den Blechträgern (S. 92) Gesagte.



Abb. 384.

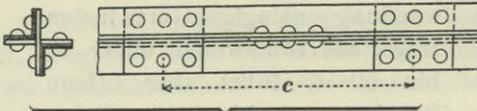


Abb. 385.

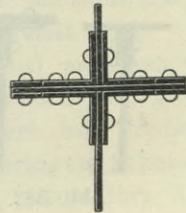


Abb. 386.

Der \ast -förmige Querschnitt wird aus vier Winkleisen und einem zwischen sie eingefügten lotrechten Flacheisen gebildet (Abb. 384). Die wagrechten Schenkel der Winkel liegen entweder unmittelbar aufeinander oder sind ebenfalls durch ein Flacheisen getrennt. In den Knotenpunkten wird das vertikale Flacheisen durch ein Knotenblech ersetzt. Das Offenlassen der Zwischenräume und die Vernietung der Winkel unter Anwendung von Futterringen oder Futterstücken ist wegen des dadurch entstehenden engen Spaltes nicht zu empfehlen. Eine geringe Querschnittsverstärkung ist durch Aufnieten schmaler Flacheisen auf den wagrechten Winkelschenkeln erreichbar. Schwache Stäbe können auch bloß aus zwei über Eck gestellten Winkeln gebildet werden, die durch horizontale und vertikale Flacheisenstücke zu verbinden sind (Abb. 385). Den Abstand dieser durch mindestens je zwei Niete anzuschließenden Verbindungsbleche mache man (nach v. Tetmayers Versuchen) $c < 50 i$, wenn i der kleinste Trägheitshalbmesser eines Winkels. Der kreuzförmige Querschnitt wurde früher häufig, besonders von Gerber bei den

von ihm in Süddeutschland gebauten Brücken auch für größere Stützweiten angewendet (Abb. 386).

Der I-förmige Querschnitt mit einem verlängerten Mittelsteg kann aus zwei J-Eisen und einem dazwischen liegenden Bleche (Abb. 387) oder aus Winkeleisen und Blechen zusammengesetzt werden. In dieser Ausbildung ist er für kleinere Träger mit wenig veränderlicher Gurtfläche nicht ungeeignet, doch ist seine Anwendung eine beschränkte. Früher wurde diese Gurtform insbesondere von Schwedler verwendet und zwar bloß aus Winkeleisen und in Etagenform ausgebildet (Abb. 388). Diese Schwedlerschen Gurte erforderten viel Nietarbeit und die engen, nur durch Flacheisengitterwerk ausgefüllten Zwischenräume erwiesen sich für die Erhaltung sehr ungünstig.



Abb. 387.

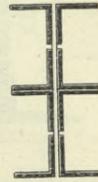


Abb. 388.

Von den doppelstegigen Gurten ist der durch Verdopplung des einfachen T-Gurtes entstehende Doppel-T-Gurt jetzt am gebräuchlichsten.

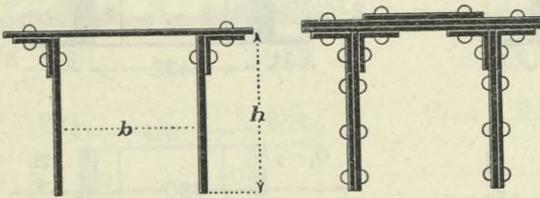


Abb. 389.

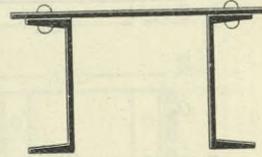


Abb. 390.

Er besteht aus zwei Stehblechen, an welche die wagrechten Gurtbleche entweder bloß mittels zweier außen liegenden oder auch mittels zweier inneren Winkel angeschlossen sind (Abb. 389). Sehr empfehlenswert ist für kleinere solche Gurte die Verwendung zweier J-Eisen an Stelle der Stehbleche (Abb. 390). Bezüglich der Stärke und Breite der Stehbleche und der Kaliber der Winkel gilt das bei den einfachen T-Gurten Gesagte. Ist die freie Breite des Stehbleches größer als seine 15fache Dicke, so sind im Druckgurt äußere Randwinkel zu geben. Der schwächste Querschnitt enthält nebst den Stehblechen bloß die äußeren Gurtwinkel und eine Gurtplatte. Die Weglassung der Gurtplatte und deren Ersatz durch Vergitterung ist nicht zu empfehlen. Die Verstärkung des Querschnittes erfolgt durch Zugabe von Gurtplatten, womöglich aber gleichzeitig auch durch vertikale an die Stehbleche angelegte Platten oder durch Verbreiterung des Stehbleches. Es ist nicht zweckmäßig,

den Querschnitt nur durch wagrechte Gurtplatten zu verstärken, da hiedurch die Schwerpunktlage stark verschoben wird. Abb. 391*b* zeigt die Gurtprofile einer Straßenbrücke von 78 m Stützweite und 13 m Breite (9 m Fahrbahn + 2 × 2 m Fußwege), bei denen es durch

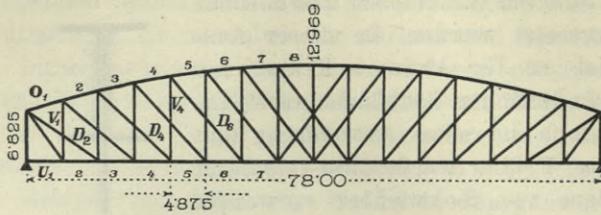


Abb. 391 a.

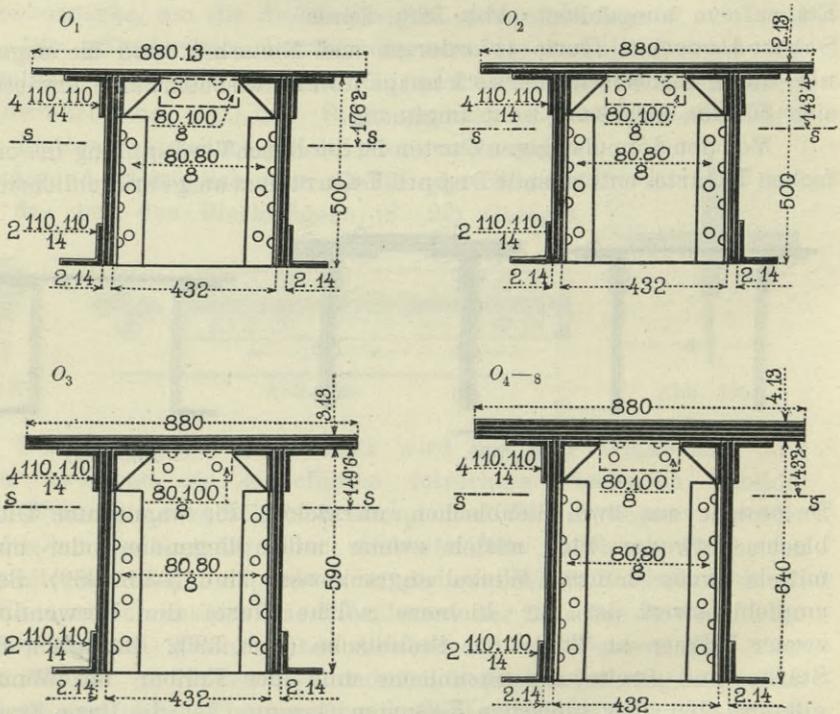


Abb. 391 b. Obergurtquerschnitte.

Abb. 391 a—e. Straßenbrücke über den Nusler Bahnhof in Prag.
(Gebr. Prasil & Co.)

entsprechende Verbreiterung der Stehbleche erzielt wurde, daß die Schwerachsen nahezu unveränderten Abstand von den Gurtwinkeln behielten.

Die inneren Gurtwinkel werden bei kleineren Profilen gerne weggelassen, weil dadurch die Ausführung vereinfacht wird; bei

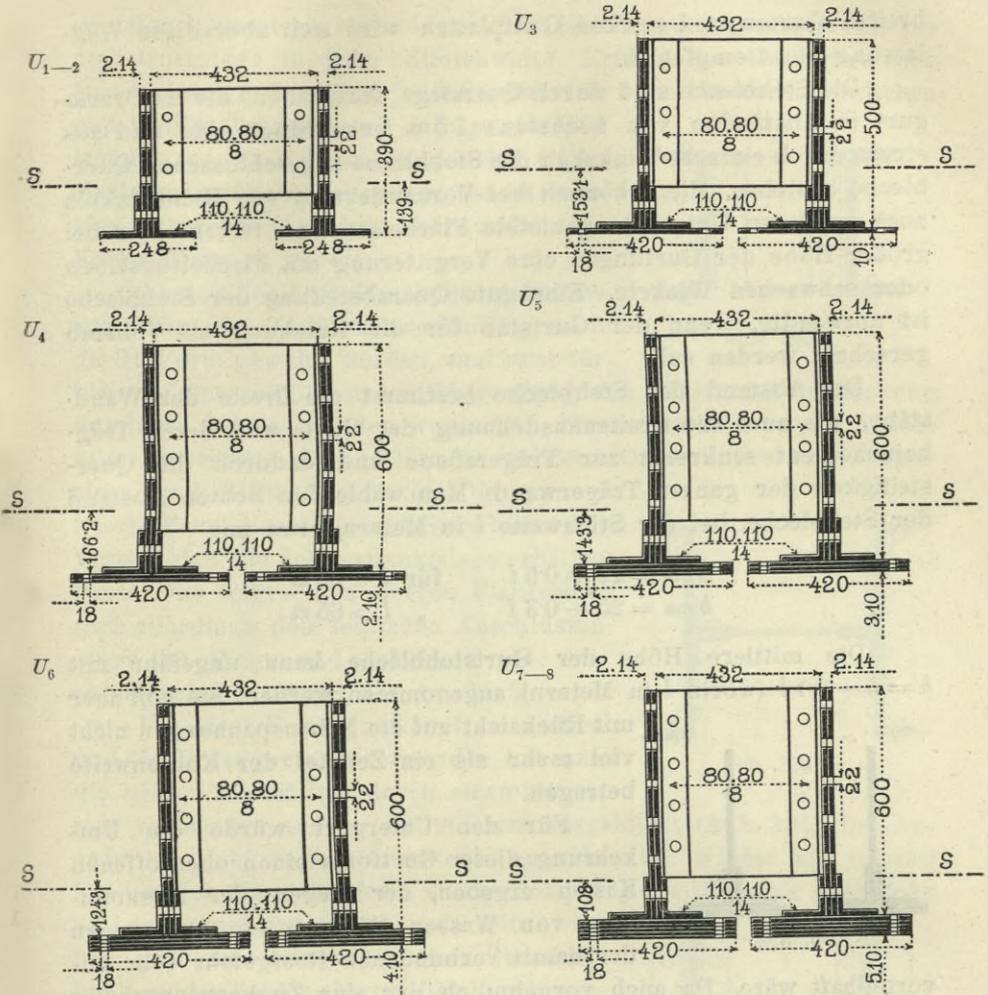


Abb. 391 c. Untergurt-Querschnitte.

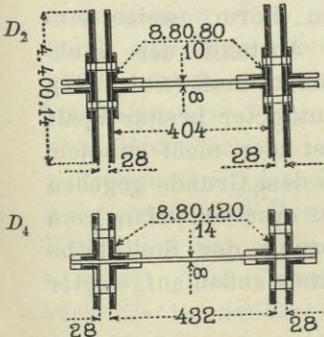


Abb. 391 d. Schrägstäbe.

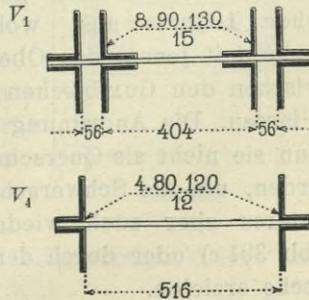
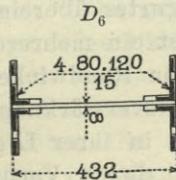


Abb. 391 e. Vertikalstäbe.

breiten Gurten und starken Gurtplatten wird sich aber diese Weglassung nicht empfehlen.

Die Stehbleche sind durch Querstege abzusteifen, die im Druckgurt in Abständen von höchstens 1.5 m anzuordnen sind und aus einem durch einfache Winkel an die Stehbleche angeschlossenen Querbleche bestehen. Hiezu können bei Vorhandensein von Randwinkeln noch an deren Unterseite genietete Flacheisenstege treten oder bei großer Höhe der Gurtungen eine Vergitterung mit Flacheisenstäben oder schwachen Winkeln. Eine gute Querabsteifung der Stehbleche ist notwendig, wenn der Gurtstab für die Knickung als Vollstab gerechnet werden soll.

Der Abstand der Stehbleche bestimmt die Breite der Wandstäbe, wie auch die Breitenausdehnung der Gurte und deren Trägheitsmoment senkrecht zur Trägerebene und dadurch die Quersteifigkeit der ganzen Trägerwand. Man wähle den lichten Abstand der Stehbleche, bei der Stützweite l in Metern, etwa mit

$$\begin{aligned} b\text{ cm} &= 12 + 0.5\,l && \text{für } l < 65\text{ m} \\ b\text{ cm} &= 25 + 0.3\,l && \text{„ } l > 65\text{ m} \end{aligned}$$

Die mittlere Höhe der Gurtstehbleche kann ungefähr mit $h = b + 0.1\,l$ (worin l in Metern) angenommen werden. Sie soll aber mit Rücksicht auf die Nebenspannungen nicht viel mehr als ein Zehntel der Knotenweite betragen.

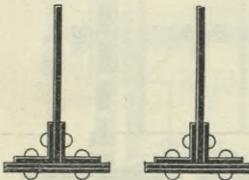


Abb. 392.

Für den Untergurt würde die Umkehrung dieser Gurtform einen oben offenen Kasten ergeben, der wegen der Ansammlung von Wasser, Schmutz etc. und wegen der damit verbundenen Rostgefahr sehr un-

vorteilhaft wäre. Da auch vornehmlich nur eine Zugbeanspruchung und keine Knickung in Frage kommt, so führt man den Untergurt aus zwei vollkommen getrennten Hälften in Form zweier einfacher **J**-Gurte aus, wobei natürlich der Abstand der Stehbleche mit jenem des Obergurtes übereinstimmen muß (Abb. 392). Zwischen den Gurtblechen ist ein mehrere Zentimeter breiter Spalt zu lassen. Die Anordnung von Randwinkeln ist hier nicht geboten, wenn sie nicht als Querschnittsverstärkung aus dem Grunde gegeben werden, um die Schwerachse in ihrer Lage zu erhalten. Man kann letzteres aber auch wieder durch Verbreiterung der Stehbleche (Abb. 391 c) oder durch deren Verstärkung mittels außen aufgelegter Bleche erzielen.

Die beiden Gurthälften werden so wie im Obergurt durch ein-

genietete Querstege verbunden; für den Zuggurt genügen ein bis zwei Querstege in jeder Knotenweite. Erfährt der Untergurt aber Druck, infolge der Wind- und Bremskräfte oder bei kontinuierlichen und Gerber-Trägern auch infolge der Belastung, so sind derartige geteilte Gurte als Rahmenstäbe zu behandeln und ist ihnen eine entsprechend kräftige obere und untere Vergitterung zu geben.

Anstatt des doppelten I-Querschnittes kann für den Zuggurt zweckmäßig auch die **II**-Form gewählt werden, und zwar für kleinere Querschnitte unter Verwendung von I-Eisen mit Verstärkung durch Flacheisen auf den wagrechten Flantschen und an der Außenseite des Steges (Abb. 393), für größere Querschnitte aus Winkel-eisen und Blechen genietet. Die symmetrische Form dieses Querschnittes bietet den Vorteil, daß die Schwerpunktlage erhalten bleibt; die wagrechten oberen Flantschen sind allerdings den seitlichen Anschlüssen etwas im Wege und erfordern ein entsprechendes Schlitzen der Anschlußbleche.

Um diese Form knicksteif zu machen und für Druckgurte zu verwenden, hat man die beiden Gurthälften durch einen Mittelsteg verbunden und so die **H**-Form ausgebildet (Abb. 394). Bei Anordnung eines vollen Blechsteiges entsteht aber wieder ein offener Kasten, der diese Gurtform wenigstens für gerade Gurte nicht sehr geeignet erscheinen läßt, anderseits wird bei größerer Gurthöhe ohne Randverbindung der beiden Gurthälften die Knick-sicherheit nicht ausreichend gewährleistet, noch weniger dann, wenn der Mittelsteg durch eine Vergitterung ersetzt wird. Für schräg laufende Gurtungen (Obergurte krummgurtiger Träger, Bogenträger) kann aber diese Gurtform immerhin wegen der günstigen Gruppierung des Materials um die Schwerachse Vorteile bieten. Um die Wandstäbe außen anschließen zu können oder sie über Gurtung hinwegzuführen (Bogenträger), legt man auch die Randwinkel nach innen (Abb. 395).

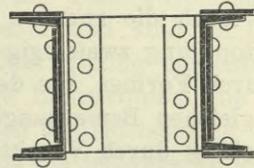


Abb. 393.

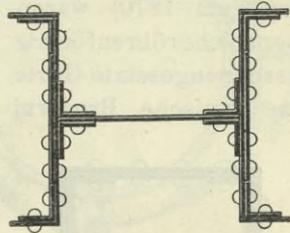


Abb. 394.

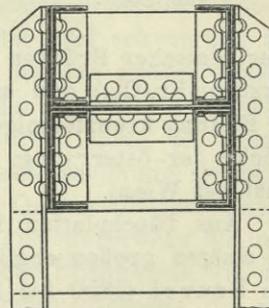


Abb. 395.

Man hat den zweistegigen Querschnitt im Untergurt zuweilen

auch nach Abb. 396 als sogenannte Hutform ausgebildet. Diese ist für die Erhaltung wohl recht günstig, erfordert aber, wenn man große Knotenbleche vermeiden will, daß die Wandstäbe außenseitig angeschlossen werden.

Auch die anderen Gurtformen, \boxplus und I-Gurt, können durch Verdopplung zweistegig ausgebildet werden (Abb. 397). Es entstehen dadurch Formen, die dem H-Gurt verwandt sind und für die auch die gleichen Bemerkungen gelten. Im Zuggurt kann der verbindende Mittelsteg durch Vergitterung ersetzt werden. Sonst ist für gerade Gurte diese Querschnittsform wegen der Trogbildung nicht günstig.

Sehr große Zuggurte können kastenförmig aus vier Kreuzquerschnitten mit Vergitterung der Seitenflächen hergestellt werden.

Zu den ungewöhnlichen und jetzt nicht mehr gebräuchlichen Gurtbildungen gehören jene mit Verwendung von Quadrant- oder Sextanteisen. Eine Zeitlang (um 1870) waren aber solcheröhrenförmig zusammengesetzte Gurte eine typische Bauform

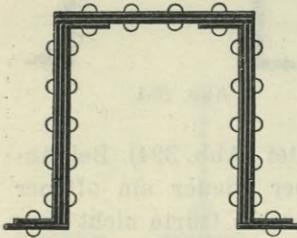


Abb. 396.

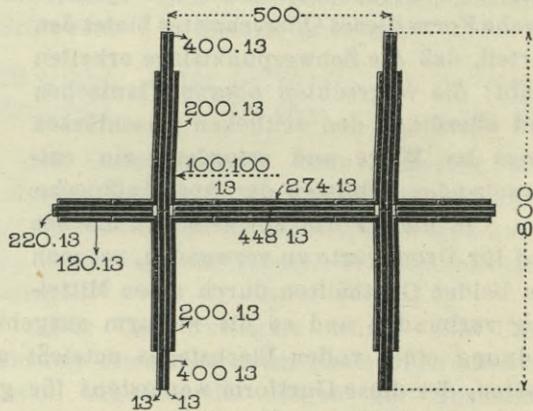


Abb. 397. Weichselbrücke bei Dirschau.

amerikanischer Brücken (Konstruktionen der Phoenixville und der Keystone-Br.-Co.) und auch bei uns sind vereinzelt Quadranteisen zur Bildung kreuzförmiger Gurtquerschnitte verwendet worden (1867, Brücke der österr.-ung. Staatseisenbahngesellschaft über den Donaukanal bei Wien).

Aus Blechplatten hergestellte röhrenförmige Gurte sind nur bei einigen großen englischen Brücken, und zwar erstmalig bei den von Brunel (1850 bis 1860) erbauten Brücken über den Wye bei Chepstow und über den Tamar bei Saltash zur Anwendung gekommen; bei beiden Brücken in der Art, daß die zwei Tragwände der Brücke einen gemeinsamen, sie vereinigenden Druckgurt in Form einer großen Röhre erhielten. Bei der Wye-Brücke (91.4 m Spannweite) hat die Röhre Kreisform mit 2.74 m Durchmesser, bei der Saltash-

Brücke (138.7 m Spannweite) ist sie elliptisch mit einem wagrechten Durchmesser von 5.18 m. Diese Röhrenform ist dann wieder bei der großen Firth-of-Forth-Brücke (521 m Spannweite) für die Untergurte der Kragträger und auch für die Druckstreben der Ausfachung angewendet worden. Die kreisrunden Rohre der Untergurte haben am Auflager der Kragträger 3.66 m Durchmesser und sind im Umfange aus 10 Platten von 28 mm Stärke mit Überlappung hergestellt. An den Überlappungsstellen liegen I-förmige Längsrippen, die an jedem Längsstoß der Platten durch einen inneren Winkeleisenring verbunden sind. Die Längsstöße sind um die halbe Plattenlänge (4.88 m) versetzt und durch beiderseitige Blechlaschen gedeckt. Auf die Innenlasche ist ein Winkel genietet, der mit dem gerade gegenüberliegenden Versteifungsringe durch eingelegte Bleche zu einem Ringträger verbunden ist (Abb. 398). Die Querschnittsfläche ist 5548 cm². Der Gurt ist von Knoten zu Knoten gerade, er erfährt an jedem Knotenpunkt einen Knick und zugleich eine Verschwächung, so daß das Rohr am Ende des Kragarmes nur noch 1.52 m Durchmesser und bei 13 mm Plattenstärke 774 cm² Querschnittsfläche hat.

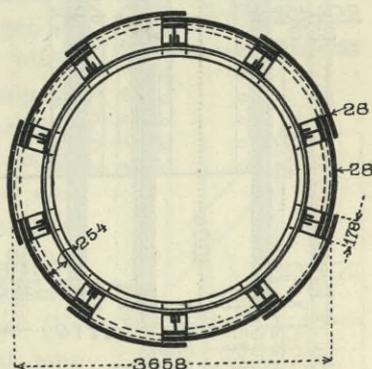


Abb. 398.
Gurtquerschnitt der Forth-Brücke.
1:86.

Für große und stark beanspruchte Druckglieder ist die Röhrenform in Hinblick auf die Knicksicherheit unstreitig die günstigste. Es erfordert aber ihre Herstellung besondere kostspielige Einrichtungen in der Werkstätte und am Bauplatze, und die Knotenpunktverbindungen werden viel komplizierter und schwieriger als bei geradflächigen Gliedern. Man hat daher bei den großen amerikanischen Brücken der Neuzeit die rechteckige Kastenform gewählt, wobei aber, wie der Mißerfolg der Quebec-Brücke¹⁾ lehrte, der Knicksicherheit nicht immer in ausreichendem Maße Rechnung getragen wurde. Abb. 399 zeigt den Untergurtstab der Quebec-Brücke, dessen Ausknicken den Einsturz herbeiführte. Diese Auslegerbrücke hat ungefähr die gleichen Verhältnisse und die gleiche Spannweite wie die Firth-of-Forth-Brücke; ein Vergleich ihrer Gurtquerschnitte, die annähernd gleiche Fläche besitzen (Quebec-Brücke 5419 cm²) läßt jedoch die bedeutende Minderwertigkeit des gewählten Kastenquer-

1) 1907 während des Baues eingestürzt.

schnittes erkennen. Seine Schwäche lag vor allem in der unzureichenden Verbindung des vierteiligen Stabes durch eine obere und untere, ziemlich weitmaschige Vergitterung aus Winkelisen, die nur durch je zwei Nieten an die Randwinkeln angeschlossen und an ihrer Kreuzung überschritten waren.

Den größten bisher ausgeführten Druckgurtquerschnitt (7224 cm^2) erhielt die 1908 vollendete Blackwell-Island- oder Queensborough-Brücke (Abb. 400), eine Auslegerbrücke von 360 m Hauptspannweite. Die Verbindung der vier Stege des Kasten-

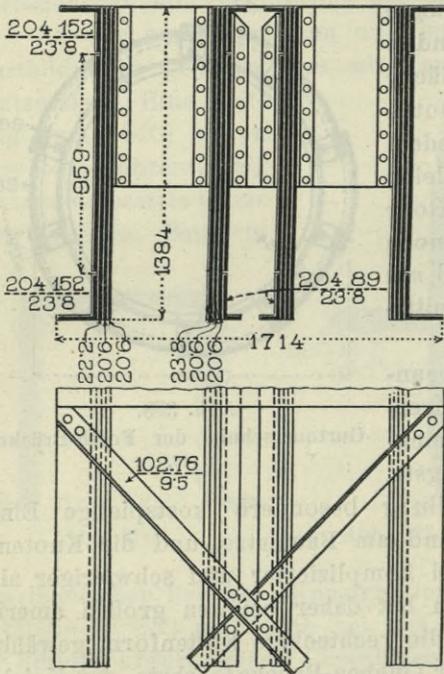


Abb. 399.

Gurt der eingestürzten Quebec-Brücke.

1:33.

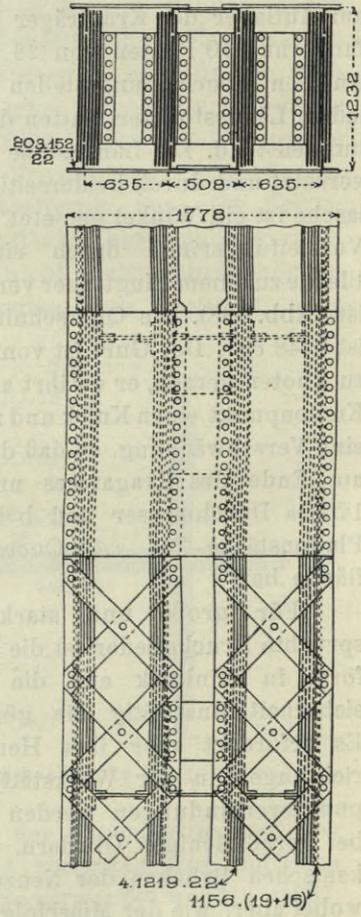


Abb. 400.

Gurt der Blackwell-Island-Brücke.

1:50.

gurttes ist hier in besonders kräftiger Weise durch breite Bindebleche neben jedem Knotenpunkt, durch Querstege und durch doppeltes Flacheisengitterwerk bewerkstelligt. Die jetzt im amerikanischen Brückenbau für solche Vergitterungen in Anwendung stehenden Regeln werden im folgenden noch näher angeführt werden.

Ausfachungsstäbe. Zugstäbe können aus Flach- oder Breit-

eisen gebildet werden, was auch früher allgemein üblich war; jetzt zieht man, wie schon oben bemerkt wurde, ihre steife Ausbildung vor, doch wird für starke Zugstäbe der Querschnitt hauptsächlich aus Flacheisen bestehen, die durch aufgenietete Winkel ausgesteift werden. Wegen der Nebenspannungen infolge der starren Knoten empfiehlt es sich, die Breite der Stäbe womöglich nicht größer als mit etwa $\frac{1}{20}$ ihrer Länge anzunehmen. Die Flacheisen liegen entweder bündig mit dem Stehblech oder Knotenblech der Gurtung, an das sie dann mit beiderseitigen Laschen angeschlossen werden, oder sie sind doppelt und liegen beiderseits des Stehbleches, wobei aber der Zwischenraum zwischen ihnen nicht zu eng (größer als 20 mm) sein soll. Die außen angelegten Winkeleisen sind mit Futterringen oder Blecheinlagen zu nieten (Abb. 401). Schwächere Stäbe bildet man bloß aus vier oder zwei kreuzförmig gestellten Winkeln. Für die Bemessung des Nutzquerschnittes gilt das oben (S. 324) Gesagte.

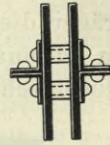


Abb. 401.

Bei doppelstegigen Gurten ergibt sich eine Verdopplung dieses Stabquerschnittes; es können dabei je nach der Stärke des Stabes die in den Abb. 391d dargestellten Zugstabquerschnitte zur Anwendung kommen. (Es beziehen sich diese Querschnitte auf eine Straßenbrücke mit Halbparabelträgern und zweiteiligem Ständerfachwerk von 78 m Stützweite bei 9 m Fahrbahnbreite und beiderseitigen, je 2 m breiten Fußwegen.) Die beiden Stabhälften werden in Abständen durch Bindebleche oder durch leichtes Flacheisengitterwerk (Abb. 402) verbunden.

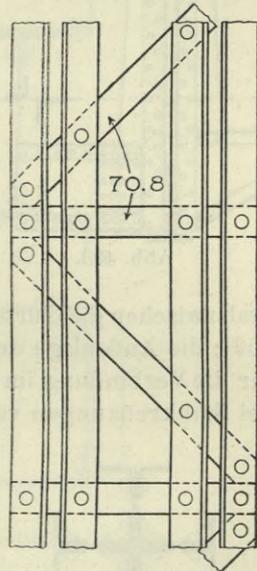
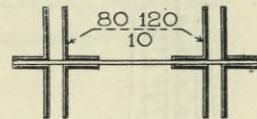


Abb. 402.

Für die Druckstäbe wählt man einen aus Winkel, L- oder I-Eisen und allenfalls auch Flacheisen oder Blechen zusammengesetzten L-, I- oder □-förmigen, knickfesten Querschnitt.

Bezüglich der Bildung kreuzförmiger Stäbe aus vier oder zwei über Eck gestellten Winkeln, welche Stabform bei einsteigigen Gurten die Regel bildet (Abb. 106, 130), ist auf das oben hinsichtlich der Gurte Gesagte zu verweisen. Für offene Brücken geben solche Druckstäbe allerdings nur eine geringe seitliche Wandsteifigkeit, was, wie später noch näher erörtert werden soll, für deren Standsicherheit gefährlich werden kann. Man wird daher bei solchen

Brücken die Seitensteifigkeit der lotrechten Wandstäbe durch zwischen die Winkel eingeschobene Querbleche vergrößern, die eine nach unten zunehmende Breite erhalten und gleichzeitig zum Anschluß der Querträger dienen (Abb. 403), oder man spreizt die Winkel nach unten zu auseinander und verbindet sie durch Gitterwerk oder durch ein Querblech, wenn man es nicht vorzieht, anstatt des Kreuzquerschnittes

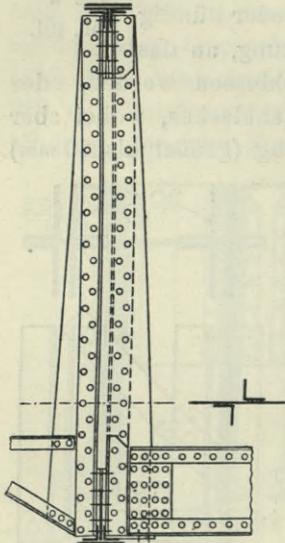


Abb. 403.

in der ganzen Höhe des Stabes einen H-Querschnitt zur Anwendung zu bringen, wobei allerdings der Anschluß an die Gurtung nur im Steg mittels Hilfswinkel erfolgen kann (Abb. 135a, 236). Für starke Streben, Endständer, hat man den +-Querschnitt in der aus Abb. 404 ersichtlichen Weise verstärkt.

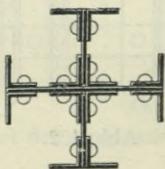


Abb. 404.

Der H-Querschnitt bildet die Grundform für die Druckstäbe bei doppelstegigen Gurtungen. Man setzt sie aus zwei Winkel-eisenpaaren zusammen, die durch einen vollen Blechsteg oder durch Gitterwerk verbunden werden (Abb. 103, 107, 134, 145, 159, 405a). Die Breite des Stabes quer zur Wand entspricht dem Abstände der Gurtbleche. Durch Verwendung ungleichschenkliger Winkel erhöht man die Steifigkeit des Stabes gegen ein Ausknicken in der Trägerebene. Man legt die Winkel gewöhnlich nach innen gewendet, so daß der Stab zwischen die Gurtstehbleche eingeführt werden kann (Abb. 107, 145, 159); die Außenlage der Winkel (Abb. 134, 391e), welche mehr Material für die Verbindung im Stege erfordert, läßt dagegen Überschneidungen bei Stabkreuzungen vermeiden und wird daher bei mehrteiligen Ausfachungssystemen gerne angewendet. Stärkere Stäbe erhalten auf die Winkel Flacheisen genietet oder sie werden aus 8 Winkel zusammengesetzt (Abb. 391e). Empfehlenswert ist die Verwendung von gewalzten I-Profilen, besonders der breitflantschigen Greyträger, da hiedurch an Werkstatarbeit erspart wird und kräftige Vollstäbe erhalten werden.

Stäbe, deren Knicksteifigkeit in der Ebene der Tragwand ein großes, durch das H-Profil nicht gut erzielbares Trägheitsmoment verlangt, setzt man aus Blechen, Winkel oder J-Eisen mit kasten- oder H-förmigem Querschnitt zusammen (Abb. 405b—e). Die Anordnung eines verbindenden Mittelsteges ist im allgemeinen einer

bloßen Vergitterung der Seitenwände vorzuziehen. Ähnliche Querschnitte, nach Erfordernis unter Zugabe weiterer Bleche und Winkel-eisen finden auch für die Endpfosten der Träger Anwendung. Man sehe dabei auf Zugänglichkeit der Teile für Vernietung und Anstrich.

Hinsichtlich der Knicksicherheit geteilter Stäbe vergleiche man § 8, S. 58 bis 65. Nach dem dort Gesagten ist bei dem H-Querschnitt ein voller Mittelsteg für die Steifigkeit des Stabes immer vorteilhafter als eine Vergitterung. Besonders an den Stabenden empfiehlt es sich,

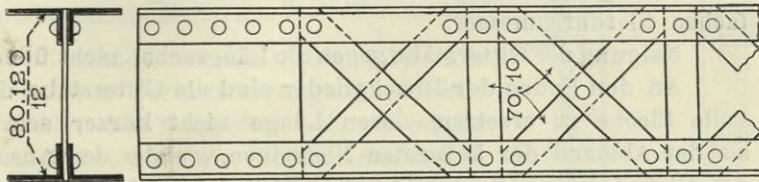


Abb. 405 a)

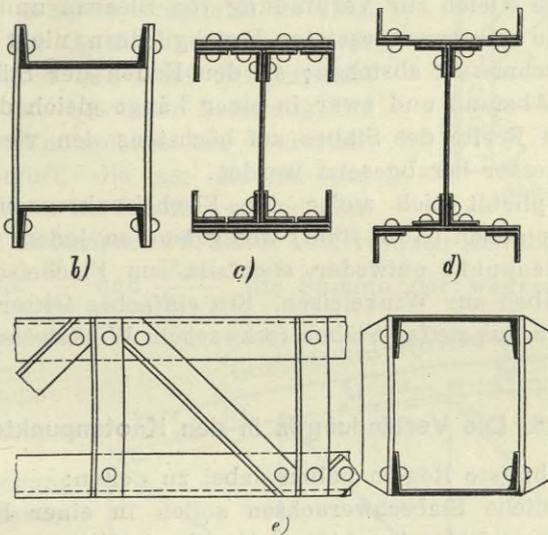


Abb. 405 a—e. Druckstab-Querschnitte.

die beiden Hälften des Stabes auf genügende Länge, mindestens Gurthöhe, durch ein volles Blech zu verbinden, um eine bessere Einspannungswirkung zu sichern. Durch Anordnung eines durchgehenden Blechsteiges wird der Stab allerdings meist überdimensioniert. Läßt man denselben aber weg, so ordne man lieber eine entsprechende Vergitterung anstatt bloßer Bindebleche (Querbleche) an. Die Vergitterung ist für Druckstäbe kräftiger zu halten als für Zugstäbe. Gewöhnlich gibt man ein doppeltes Gitterwerk aus Flachstäben

(Abb. 405 a), die mindestens je durch einen, nicht gemeinsamen Niet anzuschließen sind und an der Kreuzung übereinander gebogen werden. Man kann für die Dimensionierung dieses Gitterwerks die amerikanischen Regeln gelten lassen, welche lauten:

Geringste Stärke der Flacheisenstäbe bei einfachem Gitterwerk $= \frac{1}{40}$, bei doppeltem Gitterwerk $= \frac{1}{60}$ der Entfernung der Anschlußnieten, jedoch nicht kleiner als 12 mm.

Geringste Breite der Stäbe mindestens gleich dem dreifachen Nietdurchmesser.

Neigung der Gitterstäbe gegen die Längsachse nicht über 45°.

An den Enden der Druckglieder sind die Gitterstäbe durch volle Bleche zu ersetzen, deren Länge nicht kürzer sein soll als der Abstand der äußersten Nietreihen, welche den Anschluß des Stabes vermitteln, und deren Dicke nicht kleiner als $\frac{1}{50}$ dieser Entfernung.

Die Nieten zur Verbindung von Blechen und Winkeleisen sollen in zusammengesetzten Druckgliedern nicht über sieben Nietdurchmesser abstehen; an den Enden der Stäbe soll aber dieser Abstand und zwar in einer Länge gleich der $1\frac{1}{2}$ fachen größten Breite des Stabes auf höchstens den vierfachen Nietdurchmesser herabgesetzt werden.

Es empfiehlt sich außer den Flacheisenkreuzen auch noch Querstäbe zu geben (Abb. 405 a) wenigstens an jedem zweiten oder dritten Knotenpunkt entweder ebenfalls aus Flacheisen oder bei breiteren Stäben aus Winkeleisen. Ein einfaches Gitter (Abb. 405 e) ist durchwegs aus steifen Stäben (schwachem Winkeleisen) zu bilden.

§ 28. Die Verbindungen in den Knotenpunkten.

Als wichtigste Regeln haben dabei zu gelten:

1. Sämtliche Stabschwerachsen sollen in einer Ebene liegen. Einseitige exzentrische Anschlüsse der Wandstäbe an die Gurtungen sind demnach zu vermeiden, da sie namentlich für Druckstäbe ungünstige Biegebbeanspruchungen zur Folge hätten. Zweiteilige, an doppelwandige Gurte angeschlossene Stäbe sollen deshalb eine noch über den Anschluß hinausreichende volle Stegverbindung erhalten (Abb. 406).

2. Die Stabschwerachsen sollen sich, wenn möglich, in einem Punkte treffen. Diese Bedingung ist aber vollkommen nur bei Wahl solcher Gurtprofile zu erreichen, bei denen durch die Querschnittsverstärkung keine Verschiebung der Schwerachse eintritt. Bei allen

unsymmetrischen Profilen, T- und II-Gurten, finden solche Verschiebungen statt und es kann das geometrische Netz des Trägers mit den Stabschwerachsen nicht genau zur Deckung gebracht werden. Man verfährt hier allgemein so, daß man die Abstände d_1, d_2, \dots der Schwerachsen der einzelnen Gurtstäbe von der äußeren Winkelkante (Unterkante der Kopfplatten) bestimmt und die Netzachse der Gurtung in das arithmetische Mittel $d = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$

dieser Abstände verlegt (Abb. 407). Als Schwerachsen der Ausfachungsstäbe behält man meist die Netzlinien bei; es ergibt sich aber bei größerer Verschiedenheit in der Lage der Gurtschwerachsen dadurch kein richtiger Kräfteausgleich. Um diesen günstiger zu erhalten, empfiehlt es sich, die Achsen der Ausfachungsstäbe etwas zu verschwenken und ihren Schnittpunkt so zu legen, daß bei einer Belastung, die den größten Unterschied der Gurtstabkräfte hervorruft, die am Knoten angreifenden Kräfte im Gleichgewichte sind.

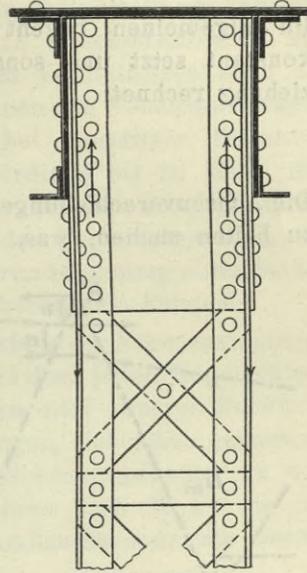


Abb. 406.

Für den Knotenpunkt K (Abb. 408) rechnen sich die wagrechten Gurtkräfte aus $\frac{M_m}{h_m}$ und $\frac{M_{m+1}}{h_{m+1}}$, die Summe der wagrechten Kräfte der Ausfachungsstäbe aus $\left(\frac{M_{m+1}}{h_{m+1}} - \frac{M_m}{h_m}\right)$. Bezeichnet

e die Verschiebung der Gurtschwerachsen, v den Abstand des Stabschnittpunktes von der Achse des rechtsseitigen Gurtstabes,

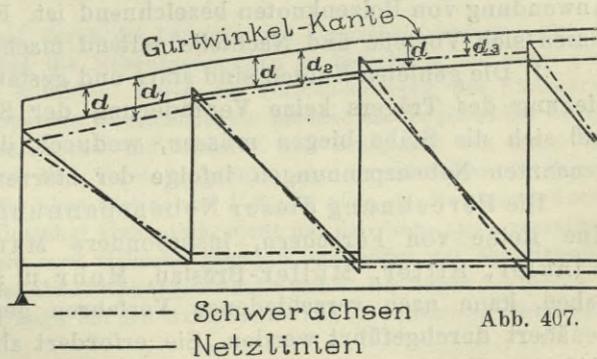


Abb. 407.

so erfordert das Kräftegleichgewicht $\frac{M_m}{h_m} e = \left(\frac{M_{m+1}}{h_{m+1}} - \frac{M_m}{h_m}\right) v$.

Die größten Unterschiede in den Gurtkräften oder die größten Spannungen in den Ausfachungsstäben entstehen bei einseitiger, den Knotenpunkt $m+1$ nicht wesentlich überschreitenden Belastung.

Man kann hierfür die Momente proportional den Abszissen der Knotenpunkte annehmen und erhält sonach

$$\left(\frac{x_{m+1}}{h_{m+1}} - \frac{x_m}{h_m}\right) v = \frac{x_m}{h_m} e \dots \dots \dots 98)$$

Im allgemeinen begeht man keinen großen Fehler, wenn man h konstant setzt und sonach v bei der Knotenweite a aus der Beziehung rechnet:

$$v = \frac{x_m}{a} e \dots \dots \dots 99)$$

Die Achsenverschiebungen e wird man aber immer möglichst gering zu halten suchen, was, wie schon oben bemerkt wurde, dadurch zu erreichen ist, daß die Querschnittsverstärkung nicht bloß

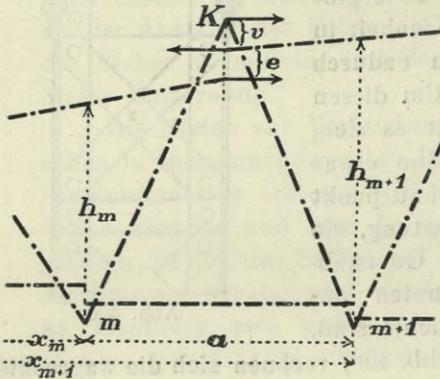


Abb. 408.

in die Kopfbleche, sondern gleichzeitig auch in den Steg verlegt wird.

Die Verbindung der Stäbe in den Knotenpunkten erfolgt entweder durch Vernietung oder mittels Gelenkbolzen. Die europäische Bauweise verwendet ausschließlich Nietverbindung, wogegen für die amerikanische Bauweise der größeren Fachwerksträger die

Anwendung von Bolzenknoten bezeichnend ist. Für beide Bauweisen lassen sich Vorteile und Nachteile geltend machen.

1. Die genieteten Knoten sind starr und gestatten bei einer Durchbiegung des Trägers keine Veränderung der Stabachsenwinkel, so daß sich die Stäbe biegen müssen, wodurch die schon wiederholt genannten Nebenspannungen infolge der starren Knoten auftreten.

Die Berechnung dieser Nebenspannungen, um welche sich eine Reihe von Forschern, insbesondere Manderla, Engesser, Winkler, Ritter, Müller-Breslau, Mohr u. a. verdient gemacht haben, kann nach verschiedenen Verfahren genau oder mehr angenähert durchgeführt werden. Sie erfordert aber, selbst bei ganz einfachen Fachwerken, immerhin mühsame und zeitraubende Zahlenrechnungen, auf die bei den normalen Brückenentwürfen der Praxis nicht eingegangen werden kann. Es erscheint jedoch notwendig, ein Urteil über die Größe dieser Nebenspannungen und die sie vornehmlich beeinflussenden Faktoren zu gewinnen, um sicher zu sein,

daß sie in der Wahl der Inanspruchnahme ihre ausreichende Deckung finden. Durchgerechnete Beispiele¹⁾ haben gezeigt, daß das Verhältnis der Nebenspannungen zu den Haupt- oder Grundspannungen, d. i. jenen die für gelenkige Knoten erhalten werden, abhängig ist von der Gestalt des Trägernetzes, von der Lastverteilung und von dem Steifigkeitsverhältnisse der Stäbe $J:l$, Trägheitsmoment zur Stablänge, derart, daß mit Zunahme dieses Verhältnisses auch die Nebenspannungen zunehmen. Hienach können die Nebenspannungen bei manchen Konstruktionen besonders bei einseitiger Belastung und in schwach beanspruchten Stäben allerdings bis zu 100% der Grundspannungen erreichen; im allgemeinen läßt sich aber behaupten, daß sie bei guter baulicher Ausbildung des Fachwerkes auch ungünstigstenfalls nicht 30% der größten Grundspannung eines Stabes überschreiten. (Man vergleiche das unten berechnete Beispiel.)

Wenn sonach die zahlenmäßige Entwicklung der Nebenspannungen für gewöhnlich unterbleiben kann, so muß es doch jedem Konstrukteur dringend empfohlen werden, bei dem einen oder anderen Entwurfe, besonders bei außergewöhnlichen Anordnungen, sich einen genaueren Einblick in die Größe der auftretenden Nebenspannungen zu verschaffen. Hiezu ist das Berechnungsverfahren nach Mohr als das einfachste und noch am raschesten durchzuführende am besten geeignet.

Wir geben hier die Grundzüge dieser Berechnungsmethode und verweisen auf die ausgezeichnete Abhandlung von Dr. W. Gehler²⁾, in der dieselbe ausführlich an Beispielen erläutert und durch Mitteilung von Annäherungsverfahren ergänzt ist.

Das Fachwerk sei durch die Längen- und Querschnittsabmessungen der Stäbe gegeben; es sind die Nebenspannungen zu berechnen, die unter einer bestimmten Belastung auftreten. Durch die Formänderungen des Fachwerkes erfahren dessen Knotenpunkte Verschiebungen, die man als mit jenen des Gelenknoten-Fachwerkes übereinstimmend annimmt und demgemäß aus einem Verschiebungsplane erhält. Die Verbindungslinien der verschobenen Endknoten eines Stabes 1 2 gibt die neue Stabsehne 1' 2', die aber, da die starren Knoten eine Änderung der Stabwinkel verhindern, nicht mit der Stabachse zusammenfällt (Abb. 409). Letztere wird vielmehr gebogen und bildet mit der Stabsehne an den Enden des Stabes die Ablenkungswinkel τ und τ' . Die Sehne des Stabes 1 2 hat sich in ihrer neuen Lage um den Stabdrehwinkel ψ gedreht. Dieser kann

¹⁾ Prof. Patton, Berechnung von gegliederten Brückenträgern mit starrer Knotenverbindung. Moskau 1901. Auszugsweise in der „Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen“ 1901.

²⁾ W. Gehler, Nebenspannungen eisernen Fachwerkbrücken. Berlin 1910. W. Ernst & Sohn.

unmittelbar aus dem Verschiebungsplane bestimmt werden. Ist nämlich (Abb. 410) $O'1'$ die relative Lagenänderung der Punkte $O1$ im Verschiebungsplane, so erhält man bekanntlich die Verschiebung des Punktes 2, indem man die Längenänderungen λ der Stäbe 02 und 12 ihrem Richtungssinne entsprechend in O' und $1'$ anträgt und senkrecht dazu die Verdrehungen, die man den Stäben erteilen muß, damit sie im Knoten 2 vereinigt bleiben. Es ist sonach $\varrho_{1,2} = (1)2'$ die Drehbewegung des Knotenpunktes 2 um 1, und bei der Stablänge $l_{1,2}$ der Stabdrehwinkel $\psi'_{1,2} = \frac{\varrho_{1,2}}{l_{1,2}}$. Wir nehmen diesen Winkel positiv, wenn die Drehung im Uhrzeigersinne vor sich geht. Um die richtigen Drehwinkel zu erhalten, bedarf es allerdings noch einer Korrektur. Bei der Verzeichnung des Verschiebungsplanes wird nämlich ein beliebiger, gewöhnlich ein mittlerer Stab festgehalten und wird von diesem ausgehend die Lagenänderung sämtlicher Knotenpunkte bestimmt. Für die Endknoten, Auflagerpunkte, ergeben sich damit im allgemeinen

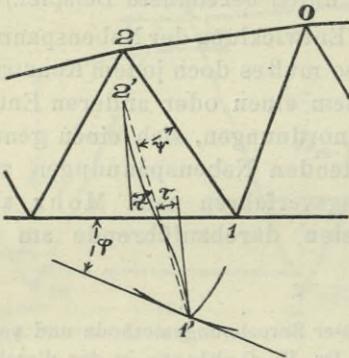


Abb. 409.

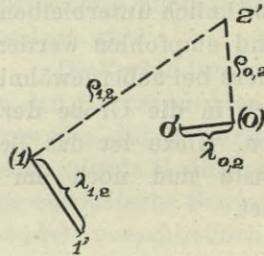


Abb. 410.

verschieden große Verschiebungen gegen ihre ursprüngliche Höhenlage; sie seien δ_A und δ_B . Um sie wieder in die gleiche Horizontale zu bringen, muß dem ganzen verschobenen Stabnetze eine Drehung um den Winkel $\psi_{AB} = \frac{\delta_B - \delta_A}{L}$ gegeben werden und um diesen Winkel sind die sämtlichen, dem Verschiebungsplane entnommenen Stabdrehwinkel zu vergrößern. Man hat sonach

$$\psi_{1,2} = \frac{\varrho_{1,2}}{l_{1,2}} + \psi_{AB}.$$

Da die Winkel zwischen den Stabachsen am Knotenpunkte infolge der starren Verbindung ungeändert bleiben, so ergibt sich der Ablenkungswinkel τ aus dem Unterschiede der Verdrehung des Knotens und der Verdrehung der Stabsehne, d. i. aus dem Unterschiede zwischen dem Knotendrehwinkel φ und dem Stabdrehwinkel ψ . Es ist sonach für den Stab 12

$$\tau = \varphi_1 - \psi_{1,2} \quad \text{und} \quad \tau' = \varphi_2 - \psi_{1,2}$$

Durch die Ablenkungswinkel τ und τ' sind aber die Momente M und M' an den Stabenden bestimmt; es bestehen nämlich die aus der Gleichung der elastischen

Linie bei konstantem Trägheitsmoment J des Stabes leicht abzuleitenden Beziehungen

$$M = \frac{2 E J}{l} (2 \tau + \tau') \qquad M' = \frac{2 E J}{l} (2 \tau' + \tau)$$

oder bei Ersatz der Ablenkungswinkel durch die Knoten- und Stabdrehwinkel für den Stab 1, 2

$$M_{1,2} = \frac{2 E J}{l} (2 \varphi_1 + \varphi_2 - 3 \psi_{1,2})$$

$$M_{2,1} = \frac{2 E J}{l} (2 \varphi_2 + \varphi_1 - 3 \psi_{1,2})$$

Allgemein ist für einen die Knotenpunkte a, n verbindenden Stab mit Einführung der abkürzenden Bezeichnung $\frac{2 E J_{an}}{l_{an}} = N_{an}$.

$$M_{an} = N_{an} (2 \varphi_a + \varphi_n - 3 \psi_{an}) \dots \dots \dots 100)$$

Als Unbekannte erscheinen nunmehr die Knotendrehwinkel φ , zu deren Bestimmung die Bedingung verhilft, daß für jeden Knoten die Summe der an ihm angreifenden Momente gleich Null sein muß. Es ist sonach für jeden Knotenpunkt $\sum M_{an} = 0$, wobei aber vorausgesetzt wird, daß kein äußeres Moment übertragen wird, die Stabachsen sich sonach in einem Punkte schneiden. Übrigens läßt sich auch leicht die Wirkung exzentrischer Stabanschlüsse berücksichtigen; es sind dann die durch sie hervorgerufenen Momente $\sum Se$ (Stabkraft mal Exzentrizität im positiven Drehungssinne) mit in Rechnung zu bringen und lautet in diesem Falle die Bedingungsgleichung $\sum M_{an} = \sum Se$.

Sieht man aber von einer Exzentrizität ab, so ergibt sich für jeden Knotenpunkt die Gleichung

$$\sum M_{an} = 2 \varphi_a \sum N_{an} + \sum N_{an} \varphi_n - 3 \sum N_{an} \psi_{an} = 0 \dots \dots \dots 101)$$

woraus die Knotendrehwinkel φ zu rechnen sind. Die Auflösung der Gleichungsgruppe 101 wird bei einer größeren Zahl von Knotenpunkten recht umständlich und es empfiehlt sich ein von Mohr angegebenes Annäherungsverfahren, das verhältnismäßig einfach und mit jedem erwünschten Grad von Genauigkeit zum Ziele führt.

Man setzt hienach in Gleichung 101 die Drehwinkel φ_n der an a angeschlossenen Knoten zunächst gleich φ_a und erhält damit für alle Knotenpunkte die ersten Annäherungswerte

$$\varphi'_a = \frac{\sum N_{an} \psi_{an}}{\sum N_{an}} \dots \dots \dots 102)$$

Mit Hilfe dieser genäherten Winkel φ' läßt sich nunmehr ein verbesserter Wert φ''_a rechnen. Es ist nämlich

$$2 \varphi''_a \sum N_{an} + \sum N_{an} \varphi'_n - 3 \sum N_{an} \psi_{an} = 0$$

woraus
$$\varphi''_a = \frac{1}{2} \left[3 \varphi'_a - \frac{\sum N_{an} \varphi'_n}{\sum N_{an}} \right] \dots \dots \dots 103)$$

Man wiederholt diese Verbesserungsrechnung, indem man in das zweite Glied der obigen Gleichung immer die zuletzt berechneten Winkelwerte φ_n einsetzt,

das erste Glied φ'_a aber ungeändert läßt, und damit solange fortfährt, bis die aufeinanderfolgend gerechneten Werte hinreichende Übereinstimmung zeigen. Dazu ist eine zweimalige Verbesserung wohl immer ausreichend.

Mit den Winkelwerten φ ergeben sich dann aus 100) die Stabmomente. Diese müssen die Bedingung erfüllen, daß ihre Summe für jeden Knotenpunkt = 0 ist. Infolge der nicht ganz genauen Werte φ wird sich meist ein kleiner Restwert herausstellen, den man auf die einzelnen Stäbe im Verhältnis $N_{an} : \sum N_{an}$ aufteilt.

Für die Durchführung der Rechnung empfiehlt sich eine tabellarische Anordnung der Rechnungsgrößen, wie sie dem nachstehenden Beispiele entnommen werden kann.

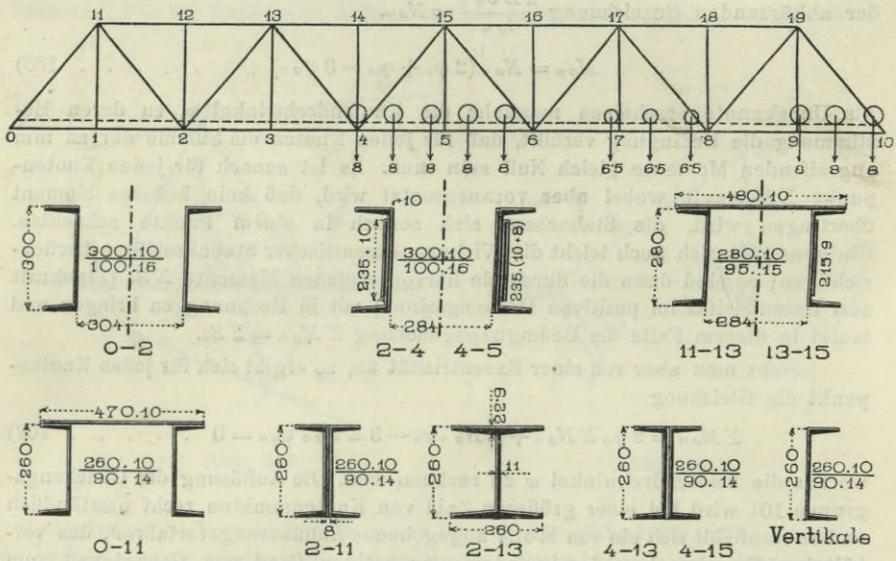


Abb. 411.

Beispiel. Abb. 411 zeigt das Stabnetz der Hauptträger einer eingeleisigen Hauptbahnbrücke von 33 m Stützweite mit Fahrbahn unten und mit den beige-setzten Stabquerschnitten ¹⁾. Es sind die Grund- und Nebenspannungen zu rechnen, die durch das Eigengewicht und die Verkehrslast bei der in der Abbildung gezeichneten Laststellung in einem Hauptträger hervorgerufen werden.

Das Eigengewicht wurde pro Knoten des Obergurtes mit 1·18 t, pro Unter-gurtnoten mit 3·33 t angenommen.

Die Stabmaße l , F , J , die Stabkräfte S , sowie die daraus berechneten E -fachen Längenänderungen sind in den ersten Reihen der Tabelle I ein-

¹⁾ Brücke über den Rixdorfer Stichkanal bei Berlin. Gebräuchliche Bauart der preußischen Staatsbahnen (Bernhard, Eiserne Brücken, Berlin 1911).

geschrieben. Damit wurde der Verschiebungsplan (Abb. 412) verzeichnet, dem die Verdrehungen ϱ entnommen wurden, aus denen man die Winkel $\frac{\varrho}{l}$ und mit der Verbesserung $\frac{\delta_B - \delta_A}{L} = \frac{440}{3300} = 0.13$ die Stabdrehwinkel ψ erhält. Die Tabelle II gibt die Berechnung der Knotendrehwinkel. Es wurden für jeden Knotenpunkt die Werte N und $N\psi$ der daselbst zusammentreffenden Stäbe summiert und in die zwei ersten Reihen der Tabelle II eingeschrieben. Hieraus ergeben sich nach Gleichung 102) zunächst die angenäherten Winkel φ' und mit diesen nach Gleichung 103) ihre verbesserten Werte. Diese sind nach zweimaliger Verbesserung in der letzten Tabellenreihe angeführt. Mit Hilfe der Stab- und Knotendrehwinkel ψ und φ wurden dann nach Gleichung 100 die Momente an den Enden eines jeden Stabes berechnet (Tabelle III) und nach der oben angegebenen Regel so berichtigt, daß die Bedingung $\sum M_{an} = 0$ für jeden Knotenpunkt erfüllt wurde. Schließlich konnten die von diesen Momenten hervorgerufenen Biegungsspannungen ν gerechnet werden. Sie sind in dem Diagramm der Abb. 413 dargestellt und in der letzten Reihe der Tabelle III in Hundertteilen der Grundspannung angegeben.

Die größten Biegungsspannungen treten hienach in den mittleren Untergurtstäben auf; sie erreichen hier mit 217 kg/cm^2 25% der Grundspannung, welche sie auf 1090 kg/cm^2 erhöhen. In allen übrigen Stäben sind sie aber numerisch erheblich geringer, wenn auch das Verhältnis zur Grundspannung in einigen Stäben so besonders in den schwach beanspruchten Vertikalstäben ein beträchtlich größeres ist.

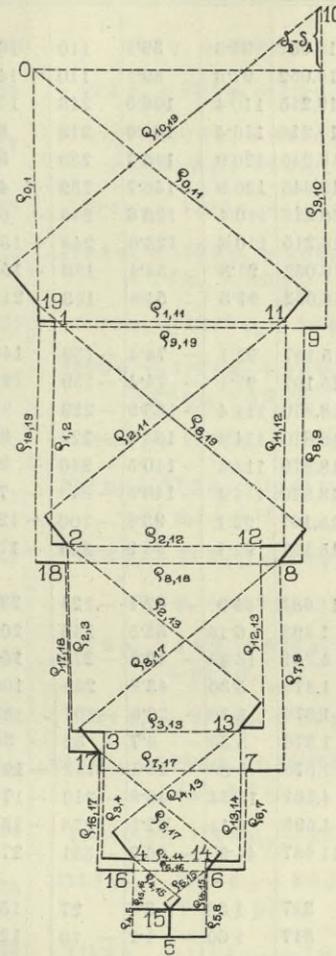


Abb. 412.

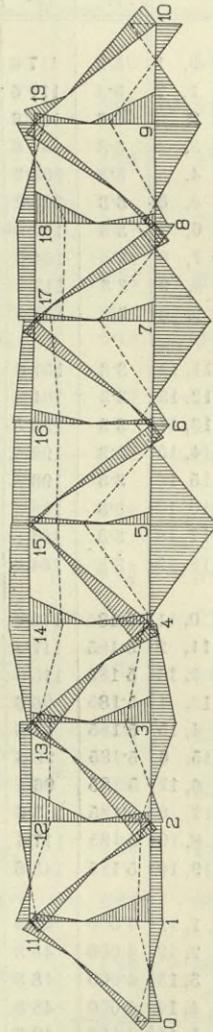


Abb. 413. Nebenspannungen ν .

Tabelle I. Berechnung der Stabdrehwinkel ψ .

Stab	l	F	J	$\frac{N}{E} = \frac{2J}{l}$	S	$\frac{SI}{F}$	$E \cdot e$	$E \cdot \frac{e}{l}$	$E \psi$	$N \psi$	
	m	cm^2	cm^4	cm^3	ton	t/cm	cm			cm^3	
Untergurt	0, 1	3·3	117·6	16.052	97·3	39·1	110	1665	5·05	5·18	504·0
	1, 2	3·3	117·6	16.052	97·3	39·1	110	1470	4·45	4·59	446·6
	2, 3	3·3	164·6	18.215	110·4	106·0	213	1245	3·77	3·91	431·7
	3, 4	3·3	164·6	18.215	110·4	106·0	213	836	2·53	2·67	294·8
	4, 5	3·3	202·2	19.945	120·9	146·7	239	510	1·55	1·68	203·1
	5, 6	3·3	202·2	19.945	120·9	146·7	239	— 443	— 1·34	— 1·21	— 146·3
	6, 7	3·3	164·6	18.215	110·4	123·6	248	— 652	— 1·98	— 1·84	— 203·1
	7, 8	3·3	164·6	18.215	110·4	123·6	248	— 1390	— 4·21	— 4·08	— 450·4
	8, 9	3·3	117·6	16.052	97·3	54·4	153	— 1543	— 4·68	— 4·54	— 441·7
	9, 10	3·3	117·6	16.052	97·3	54·4	153	— 2120	— 6·42	— 6·29	— 612·0
Obergurt	11, 12	3·3	154·6	15.197	92·1	— 74·4	— 159	1492	4·52	4·65	428·3
	12, 13	3·3	154·6	15.197	92·1	— 74·4	— 159	1212	3·67	3·81	350·9
	13, 14	3·3	193·3	18.870	114·4	— 133·9	— 229	876	2·65	2·79	319·2
	14, 15	3·3	193·3	18.870	114·4	— 133·9	— 229	320	0·97	1·10	125·8
	15, 16	3·3	193·3	18.870	114·4	— 140·5	— 240	— 255	— 0·77	— 0·64	— 73·2
	16, 17	3·3	193·3	18.870	114·4	— 140·5	— 240	— 775	— 2·35	— 2·22	— 254·0
	17, 18	3·3	154·6	15.197	92·1	— 93·9	— 200	— 1260	— 3·82	— 3·69	— 339·8
	18, 19	3·3	154·6	15.197	92·1	— 93·9	— 200	— 1700	— 5·15	— 5·02	— 462·3
	Diagonalen	0, 11	5·185	143·6	11.637	44·9	— 62·1	— 224	2315	4·47	4·60
11, 2		5·185	117·4	1.593	6·14	55·5	245	2042	3·94	4·07	25·0
2, 13		5·185	115·6	4.261	16·44	— 49·6	— 223	1636	3·16	3·29	54·0
13, 4		5·185	96·6	1.376	5·30	43·8	235	1083	2·09	2·22	11·8
4, 15		5·185	96·6	1.376	5·30	20·0	— 107	395	0·76	0·90	4·8
15, 6		5·185	96·6	1.376	5·30	— 9·7	— 52	— 350	— 0·68	— 0·54	— 2·8
6, 17		5·185	96·6	1.376	5·30	26·4	142	— 1045	— 2·02	— 1·88	— 10·0
17, 8		5·185	115·6	4.261	16·44	— 46·8	— 210	— 1740	— 3·36	— 3·22	— 53·0
8, 19		5·185	117·4	1.593	6·14	62·6	276	— 2316	— 4·47	— 4·33	— 26·6
19, 10		5·185	143·6	11.637	44·9	— 86·2	— 331	— 2730	— 5·27	— 5·13	— 230·2
Vertikale	1, 11	4·000	48·3	317	1·60	3·3	27	1530	3·83	3·96	6·2
	2, 12	4·000	48·3	317	1·60	— 1·2	— 10	1272	3·18	3·31	5·2
	3, 13	4·000	48·3	317	1·60	3·3	27	905	2·26	2·40	3·8
	4, 14	4·000	48·3	317	1·60	— 1·2	— 10	468	1·17	1·30	2·0
	5, 15	4·000	48·3	317	1·60	21·7	180	0	0	0·13	0·2
	6, 16	4·000	48·3	317	1·60	— 1·2	— 10	— 480	— 1·20	— 1·07	— 1·6
	7, 17	4·000	48·3	317	1·60	14·6	121	— 970	— 2·43	— 2·29	— 3·6
	8, 18	4·000	48·3	317	1·60	— 1·2	— 10	— 1415	— 3·54	— 3·40	— 5·4
	9, 19	4·000	48·3	317	1·60	16·4	136	— 1760	— 4·40	— 4·27	— 6·8
	0, 10	4·000						440			

Tabelle II. Berechnung der Knotendrehwinkel φ .

Knoten	$\frac{1}{E} \sum N$	$\sum N \psi$	$E \varphi' = \frac{\sum N \psi}{\sum N} = E \frac{\sum N \psi}{\sum N}$	$\sum N_{an} \varphi_n$	$E \cdot \varphi$	
					1. Näherung	2. Näherung
0	142·2	710·5	5·00	$97·3 \varphi_1 + 44·9 \varphi_{11}$	5·10	5·04
1	196·2	936·8	4·88	$97·3 \varphi_0 + 97·3 \varphi_2 + 1·6 \varphi_{11}$	5·03	5·00
2	231·9	962·5	4·17	$97·3 \varphi_1 + 110·4 \varphi_3 + 6·14 \varphi_{11} +$ $+ 16·44 \varphi_{13} + 1·6 \varphi_{12}$	4·26	4·21
3	222·4	730·3	3·28	$110·4 \varphi_2 + 110·4 \varphi_4 + 1·6 \varphi_{13}$	3·35	3·28
4	243·5	516·5	2·12	$110·4 \varphi_3 + 120·9 \varphi_5 + 5·3 \varphi_{13} +$ $+ 1·6 \varphi_{14} + 5·3 \varphi_{15}$	2·34	2·34
5	243·4	57·0	0·23	$120·9 \varphi_4 + 120·9 \varphi_6 + 1·6 \varphi_{15}$	0·19	0·16
6	243·5	-363·8	-1·49	$120·9 \varphi_5 + 110·4 \varphi_7 + 5·3 \varphi_{15} +$ $+ 1·6 \varphi_{16} + 5·3 \varphi_{17}$	-1·59	-1·56
7	222·4	-657·1	-2·96	$110·4 \varphi_6 + 110·4 \varphi_8 + 1·6 \varphi_{17}$	-3·02	-2·98
8	231·9	-977·1	-4·21	$110·4 \varphi_7 + 97·3 \varphi_9 + 16·44 \varphi_{17} +$ $+ 1·6 \varphi_{18} + 6·14 \varphi_{19}$	-4·29	-4·25
9	196·2	-1060·5	-5·41	$97·3 \varphi_8 + 97·3 \varphi_{10} + 1·6 \varphi_{19}$	-5·58	-5·49
10	142·2	-842·2	-5·92	$97·3 \varphi_9 + 44·9 \varphi_{19}$	-6·24	-6·19
11	144·7	666·0	4·63	$44·9 \varphi_0 + 1·6 \varphi_1 + 6·14 \varphi_2 +$ $+ 92·1 \varphi_{12}$	4·71	4·67
12	185·8	784·4	4·22	$92·1 \varphi_{11} + 92·1 \varphi_{13} + 1·6 \varphi_2$	4·37	4·34
13	229·9	739·7	3·22	$92·1 \varphi_{12} + 144·4 \varphi_{14} + 16·44 \varphi_2 +$ $+ 1·6 \varphi_3 + 5·3 \varphi_4$	3·32	3·26
14	230·4	447·0	1·94	$114·4 \varphi_{13} + 114·4 \varphi_{15} + 1·6 \varphi_4$	2·05	2·03
15	241·0	54·8	0·23	$114·4 \varphi_{14} + 114·4 \varphi_{16} + 5·3 \varphi_4 +$ $+ 1·6 \varphi_5 + 5·3 \varphi_6$	0·22	0·20
16	230·4	-328·8	-1·43	$114·4 \varphi_{15} + 114·4 \varphi_{17} + 1·6 \varphi_6$	-1·48	-1·48
17	229·9	-659·8	-2·87	$114·4 \varphi_{16} + 92·1 \varphi_{18} + 5·3 \varphi_6 +$ $+ 1·6 \varphi_7 + 16·44 \varphi_8$	-2·91	-2·85
18	185·8	-807·5	-4·35	$92·1 \varphi_{17} + 92·1 \varphi_{19} + 1·6 \varphi_8$	-4·55	-4·55
19	144·7	-725·9	-5·02	$92·1 \varphi_{18} + 6·14 \varphi_8 + 1·6 \varphi_9 +$ $+ 44·9 \varphi_{10}$	-5·11	-5·00

Tabelle III. Berechnung der Nebenspannungen

Stab a, n	$\frac{2\varphi_a + \varphi_n}{3\psi_{an}}$		M_a	M_n	Berichtigte Momente		$W =$ $= J : e$	Neben- spannung ν		Grundspannung $\sigma = \frac{N}{F_n}$	ν in Hundert- teilen von σ
	$\frac{2\varphi_n + \varphi_a}{3\psi_{an}}$				M_a	M_n		Stab- ende a	Stab- ende n		
	ton/cm				ton/cm			cm ²	kg/cm ²		
0, 1	-0.46	-0.50	-44.7	-48.6	-43.3	-47.9	1070	± 41	∓ 45	371	12
1, 2	0.44	0.35	42.8	-34.0	43.5	-35.0	1070	∓ 41	∓ 33	371	11
2, 3	-0.03	-0.96	-3.3	-106.0	-4.5	-104.3	1214	± 4	∓ 86	759	11
3, 4	0.89	-0.05	98.3	-5.5	100.0	-2.4	1214	∓ 83	∓ 2	759	11
4, 5	-0.20	-2.38	-24.2	-287.7	-20.8	-288.5	1330	± 16	∓ 217	873	25
5, 6	2.39	0.67	289.0	81.0	288.3	79.0	1330	∓ 217	± 59	873	25
6, 7	-0.58	-2.00	-64.1	-220.8	-65.9	-220.9	1214	± 54	∓ 182	880	21
7, 8	2.03	0.76	224.1	83.9	224.0	78.0	1214	∓ 185	± 64	880	21
8, 9	-0.37	-1.61	-36.0	-156.6	-41.2	-158.4	1070	± 39	∓ 148	517	28
9, 10	1.70	1.00	165.4	97.3	163.6	92.1	1070	∓ 153	± 86	517	29
11, 12	-0.27	-0.60	-24.9	-55.3	-33.3	-53.5	1447	+ 23	- 37	481	8
12, 13	0.51	-0.57	47.0	-52.5	48.8	-51.7	821	- 41	+ 65	481	8
13, 14	0.18	-1.05	20.6	-120.1	21.6	-117.2	1447	- 34	- 36	481	8
14, 15	0.96	-0.87	109.8	-99.5	113.2	-99.3	821	+ 59	+ 63	481	8
15, 16	0.84	-0.84	96.1	-96.1	96.3	-95.6	1655	- 13	- 70	693	10
16, 17	0.85	-0.52	97.2	-59.5	97.7	59.3	1072	+ 20	+ 110	693	10
17, 18	0.82	-0.88	75.5	-81.0	75.6	-82.2	1655	- 68	- 60	693	10
18, 19	0.96	0.51	88.4	47.0	87.2	47.6	1072	+ 105	+ 93	693	10
0, 11	0.95	0.58	42.6	26.0	43.3	21.9	1655	- 58	- 57	727	8
11, 2	1.34	0.88	8.2	5.4	7.6	5.3	1072	+ 90	+ 89	727	8
2, 13	1.81	0.86	29.8	14.1	29.6	14.2	1655	- 59	- 35	727	8
13, 4	2.20	1.28	11.7	6.8	11.7	6.9	10 2	+ 91	+ 55	727	8
4, 15	2.18	0.04	11.6	0.2	11.7	0.2	1447	- 52	- 57	607	9
15, 6	0.46	-1.70	2.4	-9.0	2.4	-9.1	821	+ 92	+ 100	607	9
6, 17	-0.33	-1.62	-1.7	-8.6	-1.8	-8.6	1447	- 60	+ 33	607	9
17, 8	-0.29	-1.69	-4.8	-27.8	-4.8	-28.7	821	+ 106	- 58	607	10
8, 19	-0.51	-1.26	-3.1	-7.7	-3.4	-7.7	1215	+ 36	+ 18	433	8
19, 10	-0.80	-1.99	-35.9	-89.7	-35.6	-92.1	668	+ 65	- 33	433	8
1, 11	2.79	2.46	4.4	3.9	4.4	3.8	170	∓ 45	± 31	523	9
2, 12	2.83	2.96	4.5	4.7	4.5	4.7	405	∓ 73	± 35	428	17
3, 13	2.62	2.60	4.2	4.2	4.2	4.2	153	∓ 77	± 45	513	15
4, 14	2.81	2.50	4.5	4.0	4.5	4.0	405	∓ 77	± 1	207	37
5, 15	0.13	0.17	0.2	0.3	0.2	0.3	153	∓ 16	∓ 59	100	59
6, 16	-1.39	-1.31	-2.2	-2.1	-2.2	-2.1	405	± 12	∓ 56	310	18
7, 17	-1.94	-1.81	-3.1	-2.9	-3.1	-2.9	170	± 20	∓ 71	405	17
8, 18	-2.85	-3.15	-4.6	-5.0	-4.7	-5.0	1215	+ 29	+ 76	590	8
9, 19	-3.17	-2.68	-5.1	-4.3	-5.1	-4.3	668	- 54	+ 138	601	13
							134	- 33	+ 28	80	-
							48	+ 92	- 80	80	-
							134	- 33	+ 35	25	-
							48	+ 94	- 99	25	-
							134	- 31	+ 31	80	-
							48	+ 88	- 88	80	-
							134	- 33	+ 30	25	-
							48	+ 94	- 84	25	-
							134	- 1	+ 2	508	-
							48	+ 4	- 6	508	-
							48	+ 46	- 44	25	-
							134	- 16	+ 16	25	-
							48	+ 65	- 61	342	-
							134	- 23	+ 22	342	-
							48	+ 99	- 105	25	-
							134	- 35	+ 37	25	-
							48	+ 107	- 90	384	-
							134	- 38	+ 32	384	-

Man darf jedoch nicht glauben, daß nur die genieteten Fachwerke mit Nebenspannungen behaftet und daß die Bolzenfachwerke davon frei sind. Letzteres wäre nur bei reibungslosen Gelenken der Fall. In Wirklichkeit treten auch bei Bolzenverbindungen Biegungsspannungen in den Stäben auf, deren Größe allerdings durch das Reibungsmoment begrenzt ist. Diese Grenze wächst aber mit dem Verhältnis von Bolzendurchmesser zur Stabbreite und kann leicht auch 30% der Grundspannung erreichen.

2. Die Bolzenverbindungen vereinfachen und erleichtern den Zusammenbau einer Fachwerkskonstruktion und es sind Bolzenbrücken demgemäß viel rascher und auch mit weniger geschulten Arbeitskräften aufzustellen als Brücken mit Nietverbindung. Es ist dies wohl der wichtigste Vorteil, der zugunsten der Gelenkknoten spricht und der auch dazu veranlaßt hat, daß diese Bauweise eine Zeitlang bei den von europäischen Werkstätten für den überseeischen Export gelieferten Brücken zur Anwendung gelangte. Jetzt ziehen es die

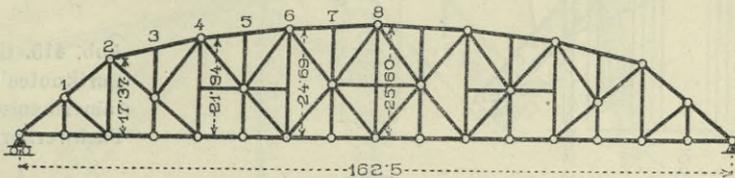


Abb. 414.

deutschen Werke vor, auch für den Export genietete Konstruktionen zu liefern und zu deren Aufstellung geschulte Vorarbeiter mitzusenden.

3. Bei den nach amerikanischer Bauart erbauten Brücken entfällt für die als Augenstäbe ausgeführten Zugglieder jede Nietchwächung. Die dadurch erzielte Gewichtsersparnis wird aber zum großen Teil durch die Materialzugabe in den Augen und durch die Arbeitsmehrkosten für die Herstellung der Augenstäbe und Bolzen wieder aufgewogen.

4. Gegen die Gefahr eines Brückeneinsturzes bei Zugsentgleisungen oder anderweitiger Beschädigung des Tragwerks bietet das Fachwerk mit durchgehenden Gurten und genieteten Knoten erfahrungsgemäß eine höhere Sicherheit als das Bolzenfachwerk. Letzteres wird beim Bruche eines Stabes unfehlbar einstürzen, wogegen die genietete Brücke in einem solchen Falle infolge der Knotensteifigkeit auch noch in stark deformiertem Zustande stehen bleiben kann.

5. Die Bolzenverbindung verlangt eine äußerst sorgfältige Werkstattarbeit. Abweichungen in der Länge der in einem Stabe vereinigten Glieder, Unterschiede im Lochdurchmesser, verursachen eine

ganz ungleichmäßige Spannungsverteilung; einzelne Glieder können überanstrengt, andere von der Spannungsaufnahme ganz ausgeschaltet sein. Allerdings muß hiezu bemerkt werden, daß der amerikanische

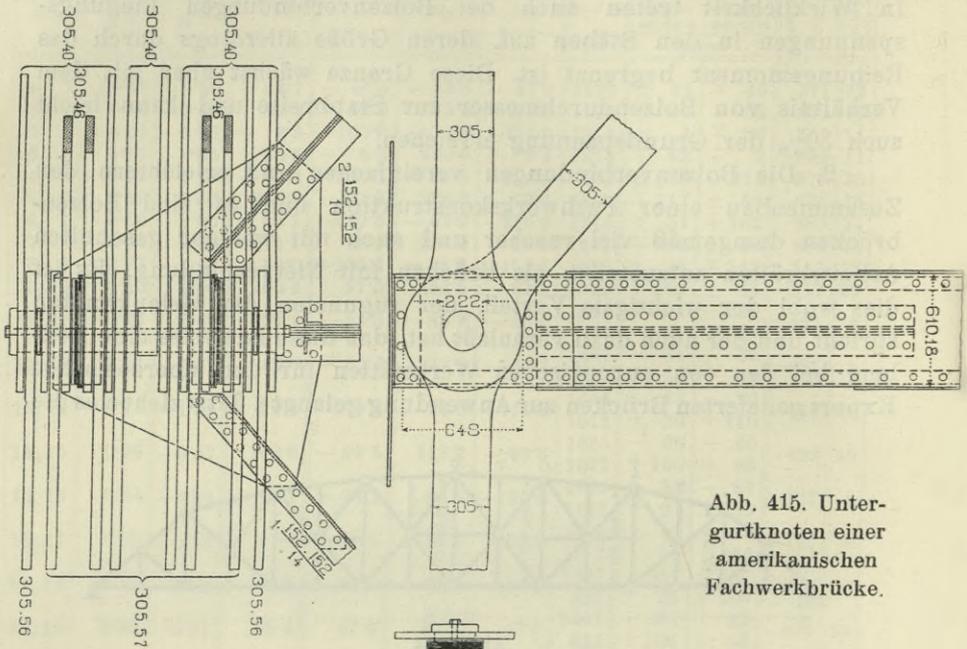
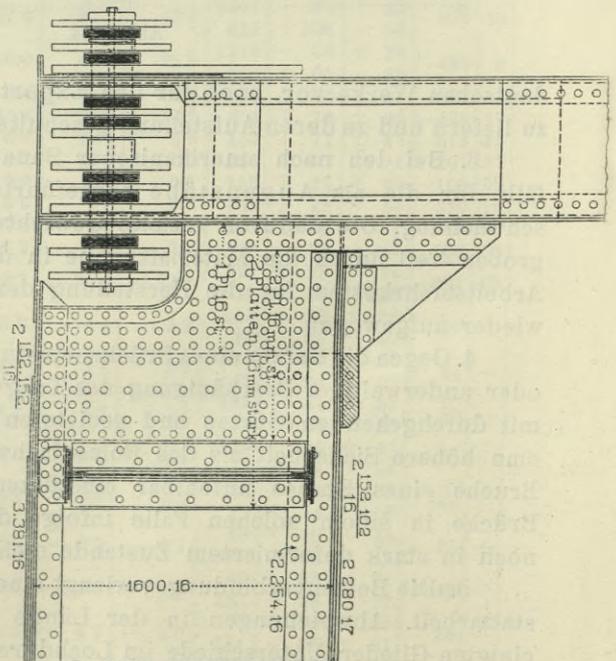


Abb. 415. Unterгурtknoten einer amerikanischen Fachwerkbrücke.

Brückenbau mit seinen vollkommenen Werkstatt-einrichtungen in dieser Hinsicht allen Anforderungen Rechnung trägt.

Nach dem Gesagten erscheint es begründet, daß wir den genieteten Fachwerken den Vorzug geben. Für Brücken von kleinerer und mittlerer Spannweite, ferner für Bogenträger haben sie jetzt auch in Amerika Eingang gefunden; für die großen Brücken wird dort aber an der Bolzengelenk-bauweise festgehalten.



A. Bolzengelenk-Knoten.

Die Abb. 415 und 416 geben einen Untergurt- und Obergurtknoten einer amerikanischen Fachwerksbrücke¹⁾ von 162,5 m Stützweite, deren Trägernetz Abb. 414 veranschaulicht. Der Untergurt, desgleichen die Zugstreben, bestehen aus Augenstäben, von denen die schwersten bei 305×64 mm Querschnitt und über 17 m Länge ein Gewicht von 2005 kg haben. Sie wurden aus Blöcken von 30×30 cm und 3 bis 4 m Länge ausgewalzt, die Augenenden in der üblichen Weise durch Anstauchen gebildet. In einem Gurtstabe liegen 8 bis 10

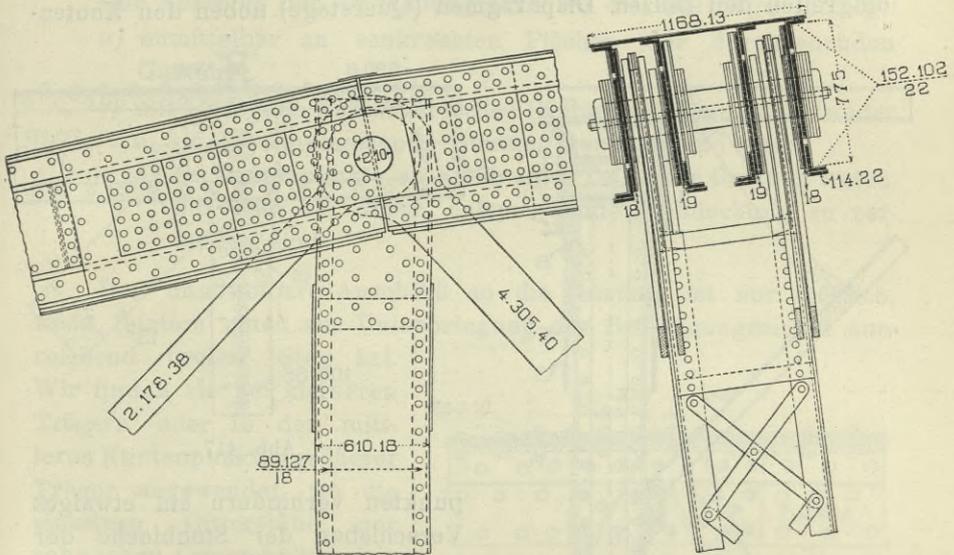


Abb. 416. Obergurtknoten einer amerikanischen Fachwerksbrücke.

Augenstäbe; die Gelenkbolzen haben im Untergurt durchweg 222 mm, die Augenköpfe 648 mm Durchmesser. Die lotrechten Pfosten bestehen aus zwei Stehblechen und vier Winkleisen mit nach innen gekehrten Flanschen; die Seitenflächen haben Flacheisenvergitterung, an den Stabenden und in Stabmitte Bindebleche. Im Gelenk sind die Stege durch aufgenietete Bleche verstärkt. Die 1600 mm hohen Blechquerträger sind an die, in der Höhe des Anschlusses durch einen inneren Mittelsteg abgesteiften Pfosten seitlich angenietet. Der untere Windverband schließt an Knotenbleche an, die an das untere Ende der Pfosten und an den Untergurt der Querträger genietet sind.

Der Obergurt enthält vier Stege, acht Winkel, eine obere Deckplatte und an die unteren Winkel genietete Flacheisen, so daß der

¹⁾ Brücke der Pennsylvaniaeisenbahn über den Delaware bei Philadelphia. Mitgeteilt von F. C. Kunz, Allgem. Bauzeitg. 1901.

Schwerpunkt in der Mitte des Querschnitts zu liegen kommt. Die an den Knotenpunkten im ganzen Querschnitt geteilten Obergurtstäbe, desgleichen auch die in gleicher Weise gestalteten schrägen Endpfosten wurden in ihrer ganzen Länge (bis zu 27 m mit einem Gewicht bis zu 44 t) in der Werkstätte fertig genietet. Sie legen sich, ohne sich gegenseitig zu berühren, mit den durch aufgenietete Bleche verstärkten Stegen gegen die Gelenkbolzen, so daß durch diese die ganze Gurtkraft hindurchgeht. Nur die äußeren Verstärkungsbleche der äußeren Stege des linken Stabes und der inneren Stege des rechten Stabes umgreifen den Bolzen. Diaphragmen (Querstege) neben den Knoten-

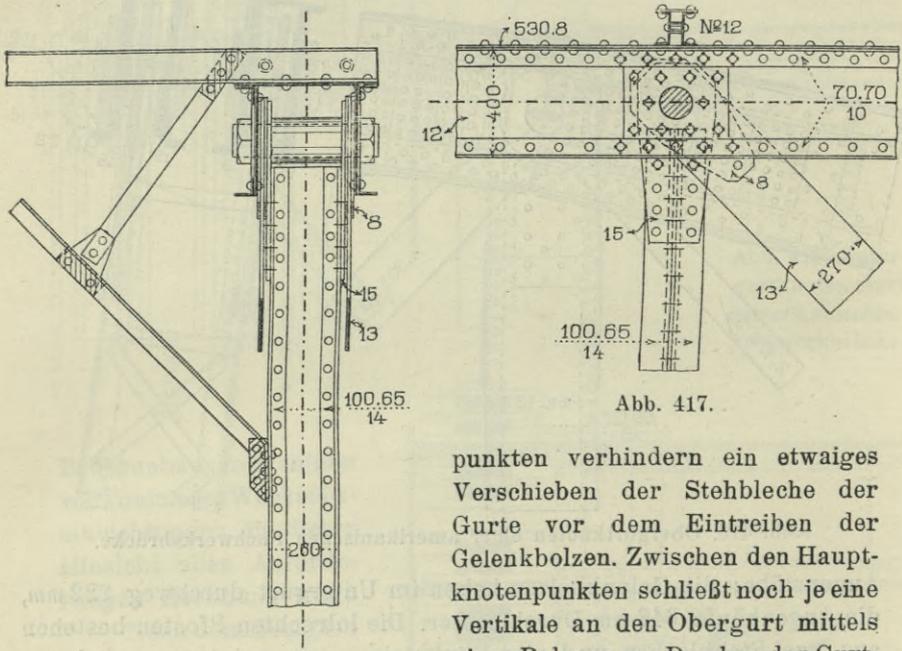


Abb. 417.

punkten verhindern ein etwaiges Verschieben der Stehbleche der Gurte vor dem Eintreiben der Gelenkbolzen. Zwischen den Hauptknotenpunkten schließt noch je eine Vertikale an den Obergurt mittels eines Bolzens an. Da aber der Gurtstab daselbst nicht unterbrochen ist, so würde in ihm bei der Belastung infolge der durch die Längenänderung der Stäbe bewirkten Verschiebung der Knotenpunkte eine Biegung eintreten. Dem hat man dadurch zu begegnen gesucht, daß gewisse Stäbe gegen die Netzlänge etwas verkürzt wurden, so daß die Obergurtstäbe im unbelasteten Zustande entgegengesetzt (nach oben) gebogen sind, bei Vollbelastung aber gerade werden. Der Biegepfel der über 20 m langen Obergurtstäbe beträgt rund 10 mm.

Für die von den deutschen Werken für den Export gebauten Gelenkbolzenbrücken gibt Abb. 417 ein Beispiel. Es betrifft eine von der Gesellschaft Union in Dortmund für Japan gelieferte Eisen-

bahnbrücke. Die Gurte gehen hier als steife Stäbe durch, doch sind auch Ausführungen gemacht worden (Harkort, Duisburg), welche sich mehr der amerikanischen Bauweise nähern, die Gurtstäbe an den Knotenpunkten geteilt und die Untergurte als Stabkette ausgebildet haben. Anstatt der Augenstäbe sind aber durchweg Flachstäbe verwendet, die im Auge durch aufgenietete Bleche verstärkt sind.

B. Genietete Knotenpunkte.

Der Anschluß der Ausfachungsstäbe an den Gurtungen erfolgt:

- a) unmittelbar an senkrechten Flächen der durchgehenden Gurtung;
- b) mit Hilfe von Anschlußblechen (Knotenblechen), die entweder
 - a) an die durchgehende Gurtung genietet sind oder
 - β) im Knotenpunkte an Stelle eines Teiles der Gurtung treten, mit dem sie durch entsprechende Stoßdeckung zu verbinden sind.

Der unmittelbare Anschluß an die Gurtung ist nur möglich, wenn letztere einen zur Unterbringung der Befestigungsnieten ausreichend breiten Steg hat.

Wir finden sie bei kleineren Trägern oder in den mittleren Knotenpunkten größerer Träger angewendet, wo die einzelnen Gitterstäbe nur schwachen Querschnitt haben und daher zum Anschlusse nur wenig Nieten erfordern. Bezüglich der Stabanschlüsse, der Zahl und Gruppierung der Befestigungsnieten beachte

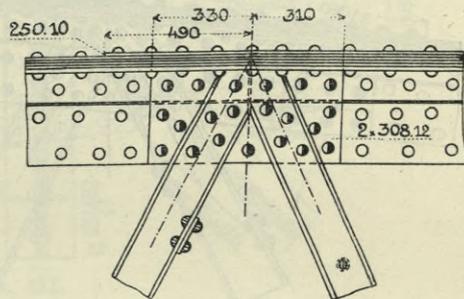


Abb. 418.

man das in § 9 Gesagte. Man Sorge für zentrischen Anschluß (Stabschwerachsen in einer Ebene liegend) und gruppiere die Anschlußnieten so, daß ihr Schwerpunkt möglichst in die Stabachse fällt. Gegen diese Regeln ist bei den älteren Gitterbrücken meist gefehlt worden, indem man, um Stabdurchkreuzungen im Gitterwerk zu vermeiden, die Druckstäbe an der einen Seite, die Zugstäbe an der anderen Seite der einseitigen Gurtung, sonach exzentrisch zu ihrer Schwerebene angeschlossen hat.

Die Abb. 418 bezieht sich auf eine Brücke mit Halbparabelträgern und einfachem Strebenfachwerk von 36.5 m Stützweite. Die Fahrbahn ist an Vertikalstäbe in den unteren Knotenpunkten ange-

geschlossen. Die Gurte haben T-Querschnitt mit Stehblechen $2 \times 10 \text{ mm}$ und daraufliegenden Verstärkungsblechen von gleicher Dicke (12 mm) mit den Winkelschenkeln. Darüber sind an den Knotenpunkten beiderseits noch 12 mm starke Platten genietet, welche als Futterbleche aufzufassen und daher außerhalb des Anschlusses der Gitterstäbe durch eine entsprechende Anzahl Nieten festzuhalten sind. Die aus je zwei [-Eisen bestehenden Streben sind bis an den wagrechten Gurtflansch geführt. An jedem zweiten Knotenpunkte sind die Gurte gestoßen, und zwar die inneren Stehbleche im Knotenpunkte, die

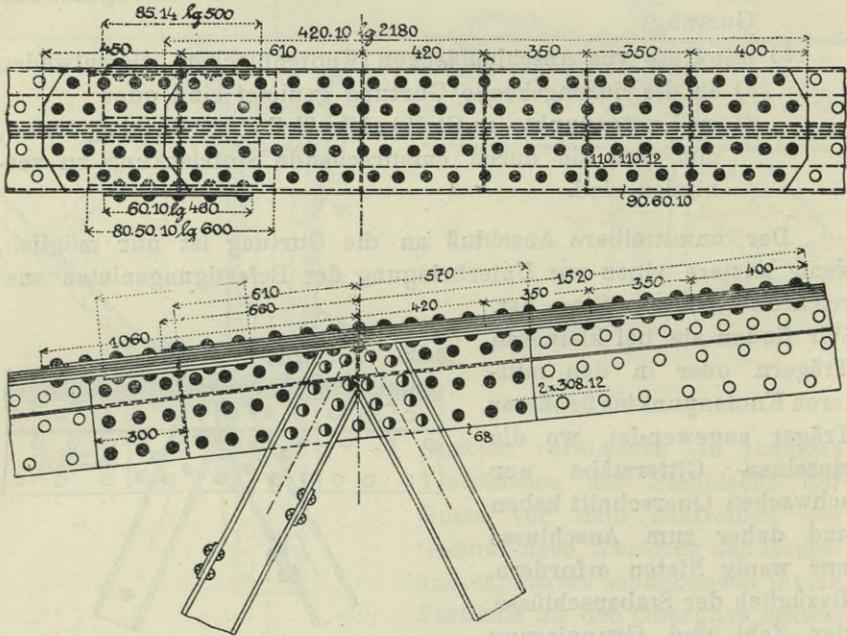


Abb. 419.

Seitenbleche gleichzeitig mit den Winkeln daneben. Der Stoß wird durch die darüber liegenden 12 mm starken Bleche und durch Flacheisen unter den wagrechten Winkelschenkeln gedeckt (Abb. 419). Die Anschlußnieten der Gitterstäbe dürfen aber dabei nicht mit zu den Stoßdecknieten gezählt werden. Auch die wagrechten Gurtplatten sind an diesem Knotenpunkt versetzt gestoßen, so daß ein sogenannter Montagestoß (siehe § 29) entsteht und die Gurtstäbe auf je zwei Fachlängen in der Werkstatt fertig genietet werden können.

Den Stoß der Stehbleche legt man bei eckigen Gurtungen entweder in die Halbierungslinie des Winkels, oder häufiger der besseren

Nietausteilung wegen senkrecht; in letzterem Falle ergeben sich kleine Blechüberstände (Abb. 420), von denen man den oberen wegnimmt, den unteren mit der Stoßlasche überdeckt.

Bietet der Gurtsteg nicht genügende Fläche zur Unterbringung der für den Strebenanschluß erforderlichen Niete, so werden Knotenbleche notwendig. Diese können zunächst als verbreiterte Futterbleche gestaltet werden, wenn der Hauptanschluß des Stabes noch unmittelbar an der Gurtung erfolgt. Bei einsteigigem Gurt sind diese Bleche beiderseitig anzubringen und ist der Zwischenraum der über den Gurtsteg vorstehenden Bleche durch Einlagen auszufüllen.

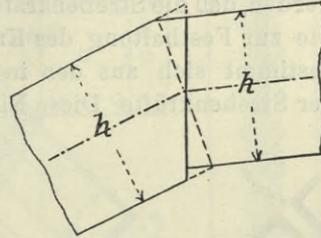


Abb. 420.

Abb. 421 zeigt einen mittleren Knotenpunkt eines kleineren Fachwerksträgers (31,5 m Stützweite). Auf dem 16 mm starken Stehblech liegen beiderseits Knotenbleche von 12 mm Stärke. Die aus je zwei kreuz-

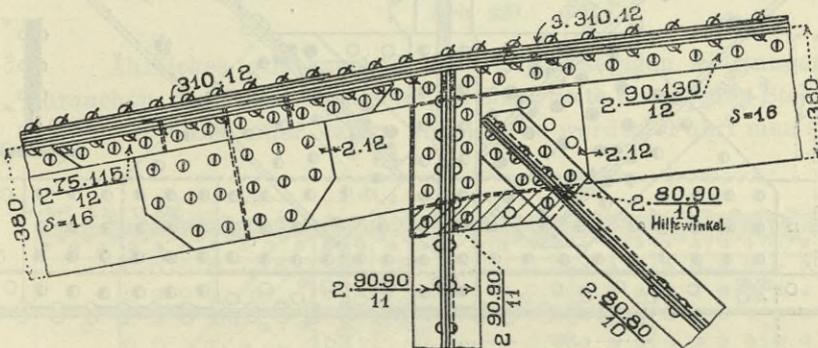


Abb. 421.

förmig gestellten Winkeln bestehenden Wandstäbe sind mittels kurzer Hilfswinkeln angeschlossen. Die Knotenbleche sind hier vornehmlich nur Futterbleche und daher neben den Stäben nur mit wenig Niete am Gurt befestigt. Der Stoß im Stehblech liegt seitlich und ist separat gedeckt.

Größere, seitlich an das Stehblech angeheftete Knotenbleche zeigt die Abb. 422. Es ist der Knotenpunkt eines Parallelträgers von 28 m Stützweite mit Strebenfachwerk. Der einsteigige T-Gurt hat ein 20 mm starkes Stehblech, welches im rechts liegenden Fache durch zwei Seitenbleche von 12 mm Dicke verstärkt ist. Bündig mit diesen Seitenblechen und mit ihnen verlascht liegen die Knotenbleche. Ihr Zwischenraum in der Stärke des Stehbleches (20 mm) ist ausgefüllt.

Die Zugstrebe besteht aus zwei [-Eisen mit durch Bleche verstärkten Stegen, die Druckstrebe aus zwei [-Eisen mit oberer Kopfplatte. Dem unsymmetrischen Querschnitt der letzteren entspricht auch ihr unsymmetrischer Anschluß.

Erfolgt der Anschluß der Streben ganz oder zum größten Teil nur am Knotenbleche, so muß dieses mit der Gurtung so verbunden werden, daß die Strebenkräfte in die letztere richtig eingetragen werden. Die zur Festhaltung des Knotenbleches erforderliche Zahl von Nieten bestimmt sich aus den in die Gurtrichtung fallenden Komponenten der Strebenkräfte. Diese Niete sollen aber auch so verteilt sein, daß

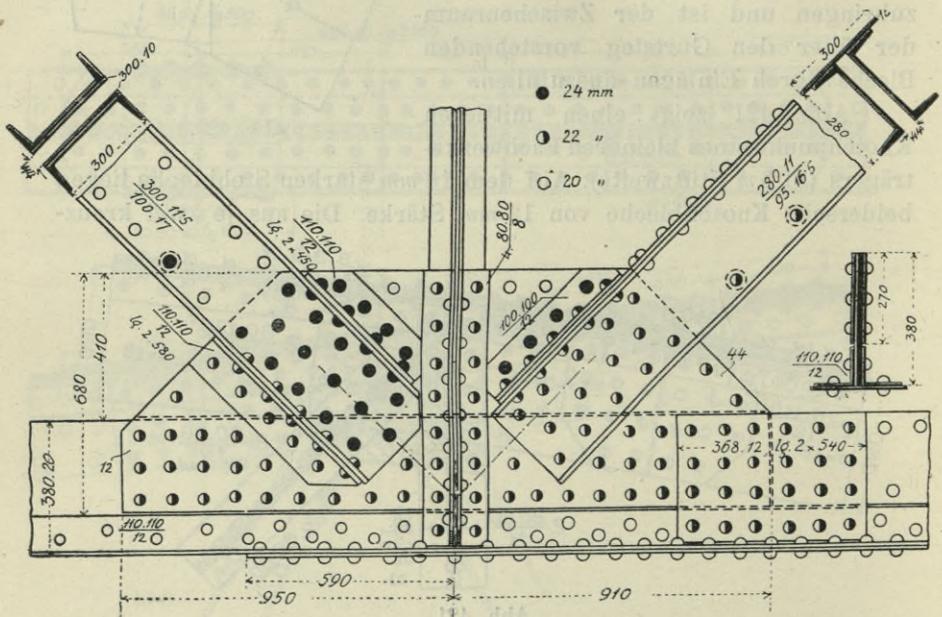


Abb. 422.

ihre Schwerlinie möglichst mit der Schwerachse der Gurtung zusammenfällt, damit keine exzentrische Krafteintragung stattfindet. Reichen die Knotenbleche bei einem L-Gurte nur bis an die Winkel, so ist diese Bedingung nicht zu erfüllen, besonders wenn die Schwerachse des Gurtes durch mehrfache Horizontalbleche stark aus dessen Mittellinie verschoben ist. Dadurch, daß man die zur Festhaltung des Knotenbleches dienenden Niete an dem gegen die Gurtwinkel gelegenen Rande zahlreicher setzt (Abb. 422), kann man wohl den Abstand ihrer Schwerlinie von der Gurtschwerachse vermindern, aber nicht ganz beheben. Deshalb empfiehlt es sich, die Verstärkung der Gurte nicht ausschließlich durch Horizontalbleche, sondern zunächst durch Seitenbleche am Stege zu bewirken. Die Knotenbleche können dann

ganze Gurthöhe reichen lassen. Bei einem Gurtquerschnitt mit fehlenden Innenwinkeln ist dies durch Innenlage der Knotenbleche ohne weiteres zu erreichen. Man schließt aber dann die Knotenbleche durch

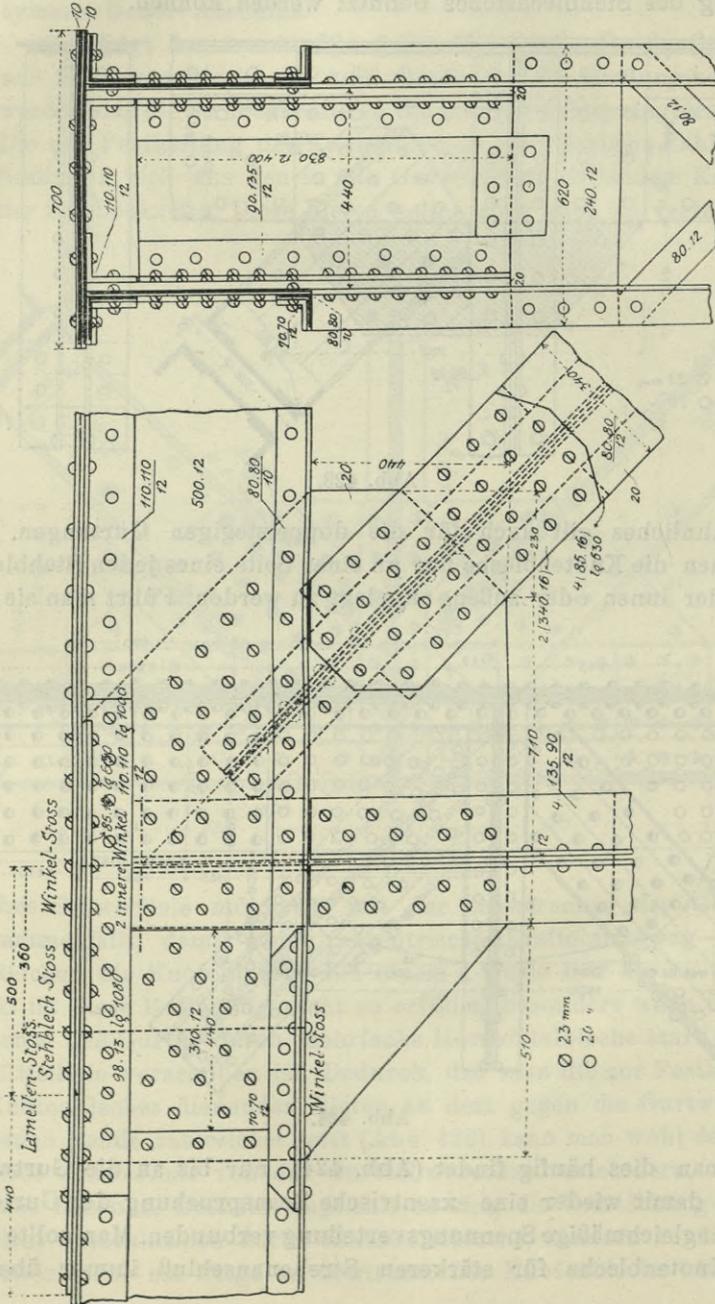


Abb. 425.

innere Winkel, die im Knotenpunkte angeordnet werden, an die Kopfplatten der Gurtung. Eine solche Knotenpunktsausbildung zeigt Abb. 425. Die 20 mm starken Knotenbleche liegen an der Innenseite der Gurtstehbleche. Die Zugstrebe besteht aus bündig mit den Knotenblechen liegenden Flacheisen (340 × 20) und innseitig ange-nieteten Winkelpaaren (80.80.12). Flacheisen und Knotenblech sind durch eine äußere Lasche (340.16) und durch zwei schmale innere Laschen (2 × 8.5.12) verbunden. Die Nieten sind demnach zum Teil einschnittig, zum Teil zweisechnittig. Der Vertikalstab hat vier an der Außenseite der Knotenbleche angelegte Winkel (90.135.12). Diese reichen nur bis an den Gurt, doch ist innseitig zwischen den Knotenblechen ein bis zu den oberen Gurtwinkeln reichendes Querblech eingesetzt, das mit dem Steg des Vertikalstabes verlascht ist. Die Knotenbleche sind durch eine reichliche Zahl von Nieten mit den Stehblechen und durch Innenwinkel auch mit den Kopfplatten der Gurtung verbunden. An dem Knotenpunkte ist ein vollständiger Stoß der Gurtung angeordnet. Der Stoß in den Stehblechen wird durch die Knotenbleche und durch außen liegende Laschen gedeckt. Im selben Querschnitt sind auch die unteren Randwinkel gestoßen und durch Stoßdeckwinkel (70.70.11) gedeckt. Die oberen Winkel stoßen unmittelbar im Knotenpunkt und erfahren ihre Deckung ebenfalls durch die Knotenbleche und durch außen liegende Flacheisenlaschen. Von den beiden wagrechten Gurtplatten endigt die obere vor dem Knotenpunkte und dient ihre Verlängerung zur Deckung des Stoßes der unteren Platte.

Eine ähnliche Lösung für den Knotenpunkt einer großen Brücke (Weichselbrücke bei Marienwerder, Halbparabelträger von 130 m Stützweite mit einfachem Strebenfachwerk und Feldunterteilung)¹⁾ gibt Abb. 426. Der rechte Obergurtstab enthält vier Stehbleche (900 × 16), vier Winkeleisen (160.160.16), zwei Außenbleche (570 × 16) und eine Kopfplatte (1050 × 16); im linken, ersten Gurtstabe, der nicht voll beansprucht ist, sind die Außenbleche weggelassen, dagegen sind die mittleren Gurtstäbe noch durch obere Innenwinkel und Kopfplatten verstärkt. Der lichte Abstand der Stehbleche beträgt 638 mm. Im Knotenpunkte sind an jeden Steg zwei Knotenbleche von 16 mm beiderseitig angeschlossen. Sie reichen über die ganze Gurthöhe; es sind sonach die Gurtwinkel unterbrochen und durch darüber genietete Stoßwinkel (140.140.18) gedeckt. Die äußeren Seitenbleche stoßen ebenfalls gegen die äußeren Knotenbleche und sind mit ihnen verlascht. Auch die doppelten Stehbleche der Gurtung

¹⁾ Zeitschrift für Bauwesen 1910.

haben im Knotenpunkte einen senkrechten Stoß, der durch die Knotenbleche und die verlängerte Außenlasche seine Deckung erhält. Da schließlich auch die Kopfplatte am Knotenpunkte gestoßen ist, so ist

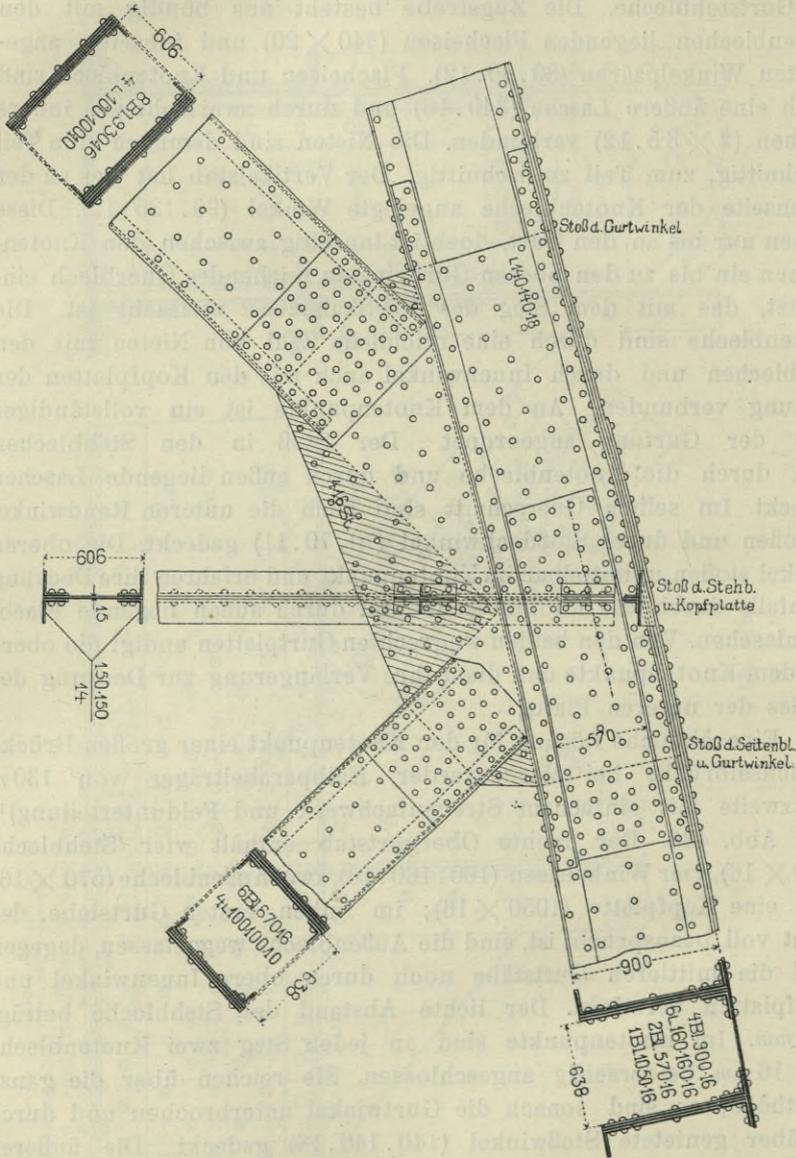


Abb. 426. Weichselbrücke bei Martenwerder.

damit ein vollständiger Stoß im Querschnitt der Gurtung erzielt und es konnten die einzelnen Gurtstäbe in der Werkstatt fertig genietet werden. Die Streben haben kastenförmigen Querschnitt, und zwar

besteht die Druckstrebe aus 2×4 Blechen (930×16) und aus vier Winkleisen ($100.100.10$), an welche die Vergitterung der Seitenflächen anschließt, die Zugstrebe aus 2×3 Blechen (670×16) und vier ebensolchen Randwinkeln. Der Anschluß im Knotenpunkte ist derart bewerkstelligt, daß je zwei Bleche zwischen die doppelten Knotenbleche eingeschoben sind, die äußeren Bleche aber gegen sie stoßen und mit ihnen durch Decklaschen verbunden sind. Die Winkel sind über die inneren Knotenbleche geführt; bei der Zugstrebe wäre ein Überkröpfen notwendig gewesen, man hat sie dafür durch darüber genietete Winkel angeschlossen. Die Niete, welche die Decklaschen mit dem Stab verbinden, sind für die in einem Bleche wirkende Kraft als einschnittig zu rechnen; die durch die Laschen und das

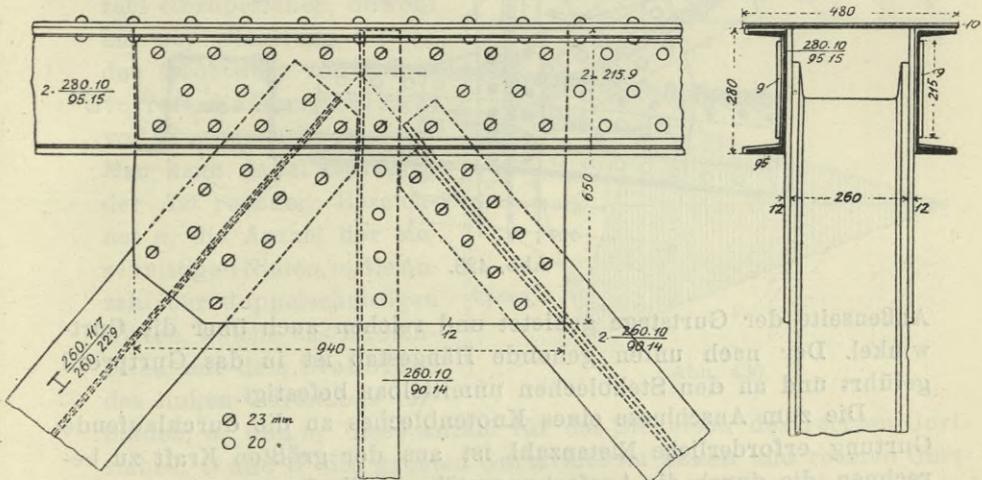


Abb. 427.

Knotenblech gehenden Niete wären als vier-, beziehungsweise dreischnittig in der Zahl gleich zu halten, man hat hier aber, abgesehen von den bloß durch die mittleren Bleche gehenden Niete, an deren Zahl zugegeben. Der von den Strebenblechen frei gelassene Zwischenraum der Knotenbleche ist ausgefüllert. Der im Knotenpunkt noch angeschlossene Vertikalstab, aus vier Winkeln und einem vollen Stegblech bestehend, reicht innen bis an die oberen Gurtwinkel. In den mittleren Knotenpunkten, woselbst schwächere Streben anschließen, sind dann nur einseitige Knotenbleche in Verbindung mit außenseitigen Stoßdeckblechen angeordnet.

Abb. 427 zeigt die Knotenpunktsausbildung für eine Brücke von 33 m Stützweite, deren Gurte aus [-Eisen gebildet sind. Sie betrifft den Knotenpunkt 13 des durch die Abb. 411 dargestellten Trägers.

Die 12 mm starken Knotenbleche sind innen an die Stege der [-Eisen angeschlossen und die aus Walzträgern oder [-Eisen bestehenden Streben zwischen sie eingeführt. Hier liegt im Knotenpunkt kein Gurtstoß; die [-Eisen sind in den Zwischenknoten 14 und 16 gestoßen.

Abb. 428 gibt ein Beispiel für den Anschluß an ein Γ -förmiges Gurtprofil. Es ist ein Untergurtnode eines Bogenfachwerksträgers mit Zugband. (40 Spannweite). Die Knotenbleche sind hier an die

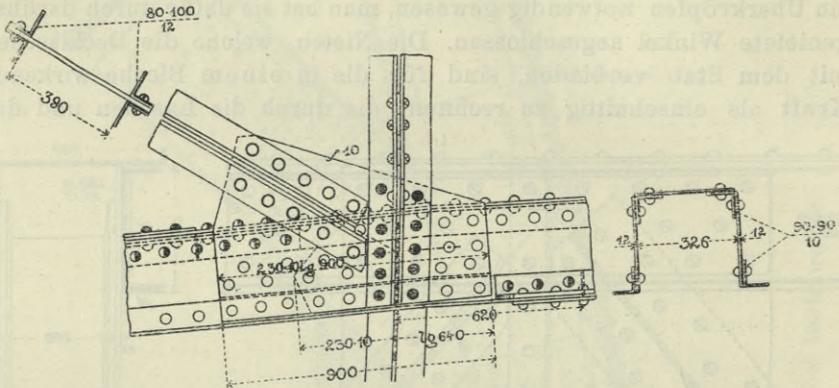


Abb. 428.

Außenseite der Gurtstege genietet und reichen auch über die Gurtwinkel. Der nach unten gehende Hängestab ist in das Gurtprofil geführt und an den Stehblechen unmittelbar befestigt.

Die zum Anschlusse eines Knotenbleches an die durchlaufende Gurtung erforderliche Nietanzahl ist aus der größten Kraft zu berechnen, die durch die Ausfachungsstäbe in die Gurtung eingetragen

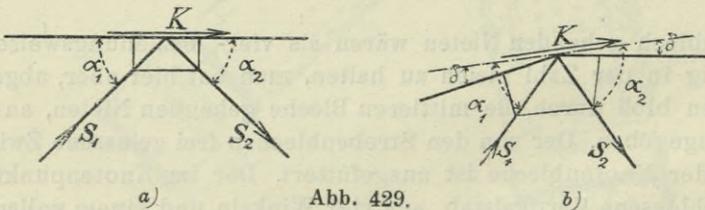


Abb. 429.

wird. Diese ist (Abb. 429) bei den Strebenkräften S_1 und S_2 und wenn α_1 und α_2 die Winkel zwischen den Strebenachsen und der Gurtachse sind,

$$K = S_1 \cos \alpha_1 + S_2 \cos \alpha_2.$$

Ist der Gurt gebrochen (Abb. 429 b), so können mit ausreichender Näherung die Winkel α_1 und α_2 auf eine mittlere Gurtachsenrichtung bezogen werden, die mit beiden Gurtstäben gleiche Winkel einschließt.

Als Größtwert von K kann man jenen annehmen, der der größten Strebekraft S_1 oder S_2 entspricht. Genauer wäre derselbe aus den Einflußlinien der Stabkräfte zu bestimmen (Abb. 430). Trägt man letztere für die Krafteinheit $1 \cdot \cos \alpha_1$ und $1 \cdot \cos \alpha_2$ auf, so geben die Ordinatensummen die Einflußlinie der Größe K . Man erhält damit aus der Flächensumme die Kraft K für die ständige Belastung und in bekannter Weise auf die Grenzwerte von K für die Verkehrsbelastung.

Dient das Knotenblech auch zur Deckung des Stoßes in einem Gurtteile (Stehblech), so ist es am ratsamsten, die zur Stoßdeckung erforderlichen Nieten nicht in die zur Aufnahme der Kraft K berechnete Nietanzahl einzubeziehen, obwohl bei der Belastung, welche den Größtwert von K hervorruft, die Gurtstäbe nicht voll beansprucht werden. Man kann dabei in folgender Art rechnen: Bezeichnet n_1 die Anzahl der einschnittigen Nieten, n_2 die Anzahl der doppelschnittigen Nieten, welche das Knotenblech mit dem Stehblech des linken Gurtstabes verbinden, n_1' und n_2' diese Anzahl für das Stehblech des rechten Gurtstabes, O und O' die größten Gurtkräfte im linken und rechten Gurtstabe, f den Querschnitt des gestoßenen Stehbleches, F und F' die gesamte Gurtquerschnittsfläche im linken und rechten Gurtstabe, P_1 und P_2 die Tragkraft einer ein-, beziehungsweise doppelschnittigen Niete (siehe Tabelle S. 70), so setze man

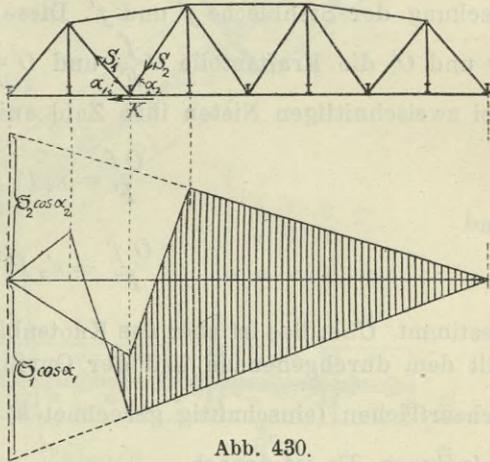


Abb. 430.

$(O + \frac{1}{2} K) \frac{f}{F} = n_1 P_1 + n_2 P_2$
 $(O' + \frac{1}{2} K) \frac{f}{F'} = n_1' P_1 + n_2' P_2$

Das Knotenblech ist dann noch durch n Nieten an den durchgehenden Teil der Gurtung auszuschließen, deren Zahl sich aus

$$n P_1 = K \frac{F - f}{F}$$

Häufig läßt man das Knotenblech selbst an die Stelle eines Teiles der durchgehenden Gurtung treten, indem man es in die Ebene des Stehbleches legt und mit diesem verlascht. Es liegt dann beider-

seits des Knotenpunktes ein Stehblechstoß und es wird die im Stehblech wirkende Kraft in voller Größe in das Knotenblech geleitet. Neben größerer Klarheit in der Verteilung der Stabkräfte, die im Knotenblech zum Ausgleich kommen, bietet diese Anordnung bei einsteigigen Gurten den Vorteil, daß man keine doppelten Knotenbleche braucht, um einen zentrischen Anschluß zu erzielen. Sie kann sich bei vieleckigen Gurtungen oder bei langen Gurtstäben, deren Stehblech an jedem Knotenpunkt gestoßen werden muß, als zweckmäßig erweisen.

Man rechne hier wieder zunächst die Nietzahlen für die Stoßdeckung der Stehbleche f und f' . Diese haben von den Gurtkräften O und O' die Kraftanteile $O \frac{f}{F}$ und $O' \frac{f'}{F'}$ aufzunehmen, so daß sich bei zweischnittigen Nieten ihre Zahl aus

$$\frac{Of}{F} = n_2 P_2$$

und

$$\frac{O'f'}{F'} = n'_2 P_2$$

bestimmt. Überdies ist aber das Knotenblech noch durch soviel Nieten mit dem durchgehenden Teil der Gurtung zu verbinden, daß deren Scheerflächen (einschnittig gerechnet n) die Kraft $K - \left[\frac{O'f'}{F'} - \frac{Of}{F} \right]$ aufnehmen. Es ist sonach

$$n P_1 = K - \left[\frac{O'f'}{F'} - \frac{Of}{F} \right].$$

Beispiele für diese Anordnung geben die Abb. 228, 245 und 431 bis 433.

In Abb. 431 ist ein Obergurtnoten eines Halbparabelträgers mit Strebenfachwerk von 65 m Spannweite (für eine Straßenbrücke von 7 m Breite) dargestellt. Der **II**-förmige Obergurt hat im linken Fache 20 mm starke Stehbleche, vier außen liegende Winkel und Kopfplatten, im rechten Fache ist er durch innere Gurtwinkel und durch innere Seitenbleche verstärkt. Die Stehbleche stoßen gegen die gleich starken Knotenbleche; die Deckung des Stoßes ist durch innen liegende, über die ganze Gurthöhe reichende 12 mm Stoßdeckplatten und durch äußere Laschen bewirkt, die nur die Breite zwischen den Winkeln einnehmen, aber durch auf die Winkelschenkel genietete Flacheisen ergänzt werden. Letztere sind beim linksseitigen Stoße durch Stoßdeckwinkel ersetzt, die gleichzeitig auch den Stoß der äußeren Gurtwinkel decken, der gegen den Stehblechstoß soweit versetzt ist, daß

noch vor dem Knotenpunkte durch die ihrem Querschnitt entsprechende Nietzahl festgehalten. Da auch die Kopfplatten neben dem Knotenpunkt gestoßen und durch eine gemeinsame obere Stoßplatte gedeckt sind, so kommt dadurch ein Montagestoß zustande und können die Knotenbleche schon in der Werkstätte mit dem rechtsseitigen Stabe verbunden werden. Querschnitt und Anschluß der Wandstäbe sind der Abbildung zu entnehmen. Der Vertikalstab, der nur den unteren Zwischenknotenpunkt zu tragen hat, ist aus acht Winkel und einem Stegblech zusammengesetzt und deshalb so stark ausgebildet, weil er bei fehlendem oberem Querverbande als Teil eines Steifrahmens zu dienen hat.

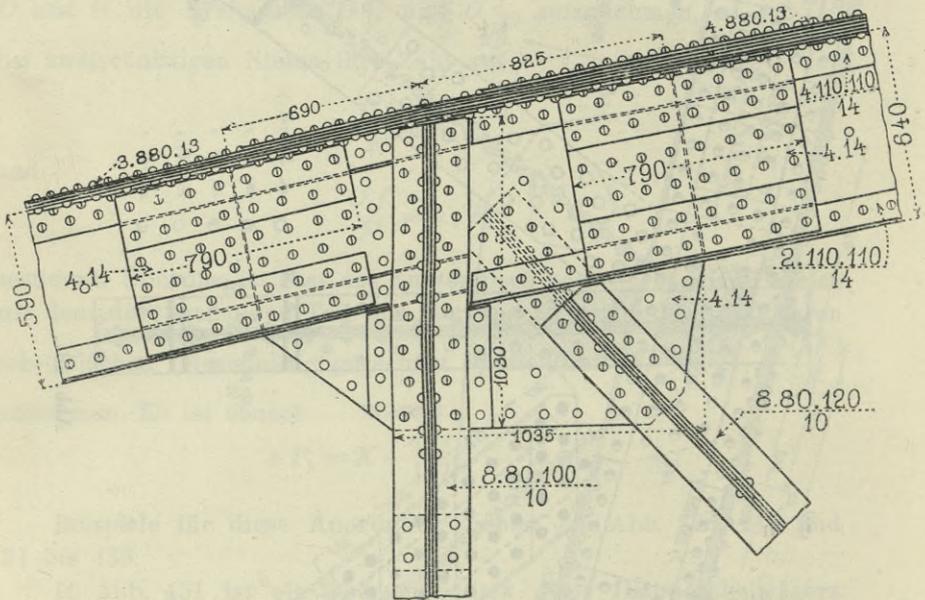


Abb. 432.

Abb. 432 zeigt den Knotenpunkt des Trägers, auf den sich die Abb. 391a—e beziehen. Die aus je zwei 14 mm starken Blechen bestehenden Gurtstehbleche stoßen gegen die ebenso starken doppelten Knotenbleche, mit denen sie durch innere und äußere Laschenbleche von 14 mm Stärke verbunden sind. Letztere reichen nur bis an die ebenfalls 14 mm starken Gurtwinkel, doch sind über deren Schenkel ebenfalls Flacheisen genietet, welche die Laschenbleche noch mit einer Nietreihe übergreifen. Die äußeren Laschen des linken Gurtstabes sind bis unter den Vertikalstab verlängert, so daß dieser bei Abtrennung der wagrechten Schenkel der Gurtrandwinkel ohne Verkröpfung außenseitig bis an den Kopf der Gurtung geführt werden

konnte. Die Gurtwinkel, von denen die unteren infolge der verschiedenen Höhe der beiden Gurtstäbe verschieden hoch liegen, sind neben der Vertikalen unterbrochen; der Stoß ist aber nicht besonders gedeckt, sondern es ist auf dessen Deckung durch das Knotenblech gerechnet.

Anstatt bei doppelten Stehblechen und ebensolchen Knotenblechen die Stöße beider Bleche, wie im vorstehenden Beispiele, in

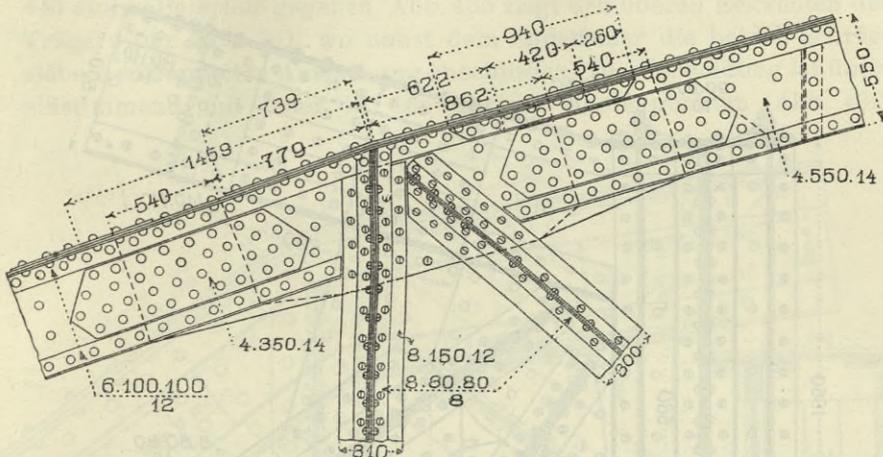


Abb. 433. Donaubrücke bei Gran.

einen Querschnitt zu legen, hat man auch versetzte Stöße angeordnet (Abb. 433). Die Verlaschung, welche dann nur ein Blech zu decken hat, kann in diesem Falle schwächer gehalten werden, doch ergeben sich dadurch ungleiche und zum Teil große Knotenbleche, so daß mit dieser Anordnung nicht immer ein Gewinn verbunden ist.

Bei Bestimmung der Form und Stärke der Knotenbleche ist ihrer Beanspruchung, soweit sich dieselbe in einfacher Weise beurteilen läßt, tunlichst Rechnung zu tragen. Schließt ein Stab nur an das Knotenblech an, so soll am Ende des Stabanschlusses der Querschnitt

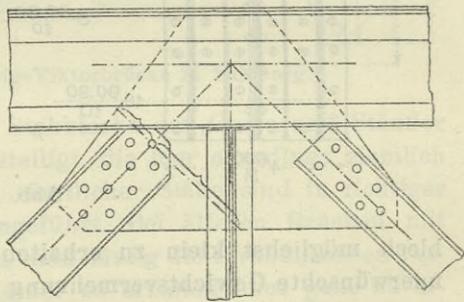


Abb. 434.

des Knotenbleches ein solcher sein, daß Überanstressungen vermieden sind. Formen, wie in Abb. 434, mit einer zur Stabachse stark unsymmetrischen Verbreiterung sind fehlerhaft, da damit eine sehr ungleichmäßige Spannungsverteilung im Knotenblech verbunden

ist. Die Stärke des Knotenbleches wähle man nicht zu gering, besonders wenn stärkere Stäbe anschließen und die Anschlußnieten als zweischnittig ausgenützt werden sollen. Man nehme als geringste Stärke für die Knotenbleche der Hauptträger kleinerer Brücken etwa 15 mm, für große Brücken aber mindestens 20 mm. Durch zweckmäßige und entsprechend nahe Stellung der Nieten trachte man das Knoten-

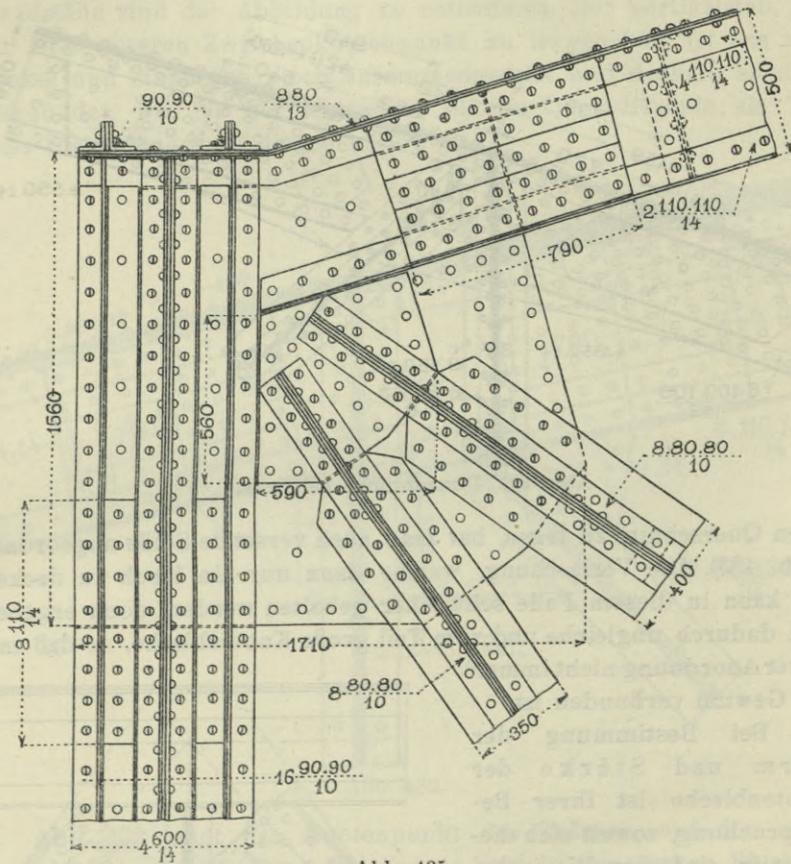


Abb. 435.

blech möglichst klein zu erhalten, da große Bleche nicht nur eine unerwünschte Gewichtsvermehrung bewirken, sondern auch die Nebenspannungen in den Stäben vergrößern und sich im Aussehen des Trägers unschön bemerkbar machen. Einfache geradlinig begrenzte Formen, welche wenig Scheerenschnitte erfordern, verringern die Herstellungskosten. Einspringende Winkel sind nicht unbedingt zu vermeiden; sie lassen sich ebenfalls mit der Schere schneiden, wenn vorerst die stumpfe Ecke durch etliche dicht stehende Bohrlöcher

abgebohrt wird. Dagegen sind geschweifte Knotenbleche (Abb. 228, 245), die abgebohrt und abgemeißelt oder nachgefräst werden müssen, in der Herstellung teuer. Man beschränkt daher ihre Anwendung auf weit vorstehende Bleche und auf Träger, bei denen Schönheitsanforderungen eine gewisse Rolle spielen.

Für die Ausbildung der Endknotenpunkte sind in den Abb. 435 bis 445 einige Beispiele gegeben. Abb. 435 zeigt den oberen Eckknoten des Trägers der Abb. 391, wo nebst dem Endständer die beiden Schrägstäbe der doppelten Ausfachung anschließen. Die Verbindung ist übereinstimmend mit jener in den übrigen Knotenpunkten (Abb. 432)

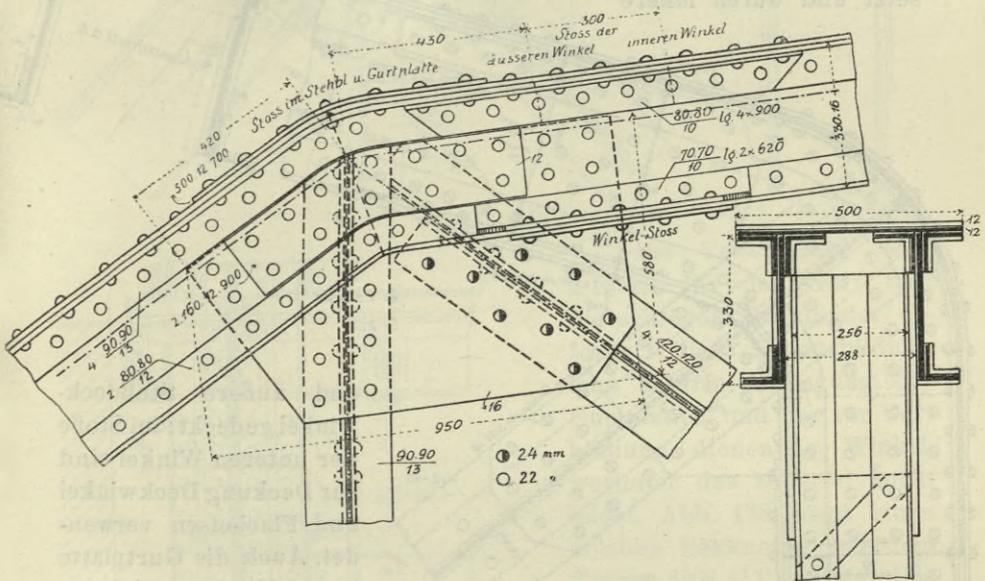


Abb. 436. Erzherzog Ludwig-Viktorbrücke in Salzburg.

mittels doppelter, an Stelle der Stehbleche der Gurte und Ständer eingesetzte Knotenbleche bewerkstelligt, die hier allerdings ziemlich groß werden. Die Schwerachsen sämtlicher Stäbe sind in richtiger Weise in einen Punkt zusammengeführt. Bei älteren Brücken mit zweifachem Strebenanschluß findet man häufig die Strebenachsen verschoben, um die Knotenbleche kleiner zu erhalten oder ganz zu ersparen; es ist aber ein solcher exzentrischer Anschluß, der große Nebenspannungen zur Folge hat, zu vermeiden. Den Endständer läßt man bis zum oberen Rande der Gurtung reichen und biegt bei schräg anlaufendem Obergurt dessen obere Winkel und Deckplatten horizontal ab, wenn durch eine obere Querverbindung ein portalförmiger Abschluß ausgeführt werden soll.

Schräge Endständer werden häufig des besseren Aussehens wegen mit der gleichen Querschnittsform wie der Obergurt, T- oder TT-förmig ausgebildet. Man rundet den Übergang ab, um die Winkel und Bleche nicht scharf abbiegen zu müssen. Abb. 436 zeigt einen solchen Eckknoten. Die 16 mm starken Stehbleche sind ohne Biegung in der Gehrung gestoßen und durch die gleich starken Knotenbleche, sowie durch äußere Laschen gedeckt. Die Winkeleisen haben ihren Stoß unmittelbar neben dem Knotenpunkt, und zwar sind die Stöße der oberen Winkel ver-

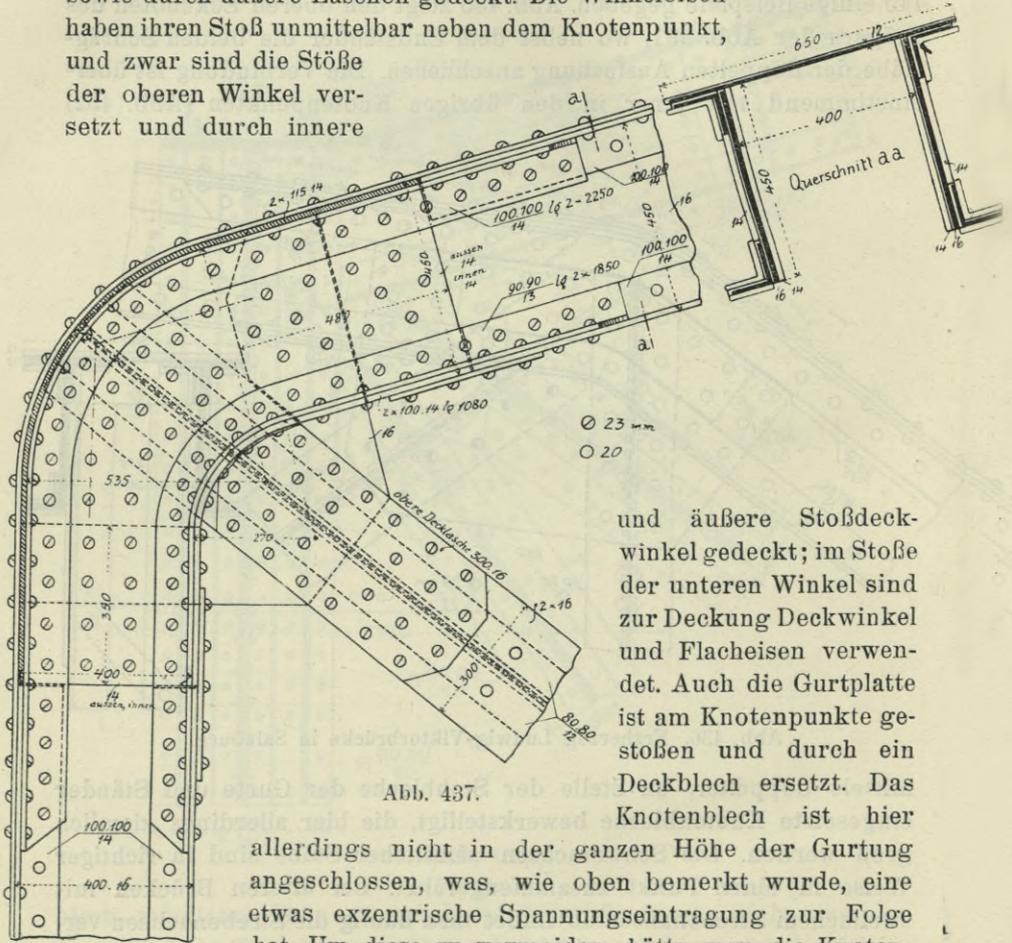


Abb. 437.

und äußere Stoßdeckwinkel gedeckt; im Stoße der unteren Winkel sind zur Deckung Deckwinkel und Flacheisen verwendet. Auch die Gurtplatte ist am Knotenpunkte gestoßen und durch ein Deckblech ersetzt. Das Knotenblech ist hier

allerdings nicht in der ganzen Höhe der Gurtung angeschlossen, was, wie oben bemerkt wurde, eine etwas exzentrische Spannungseintragung zur Folge hat. Um diese zu vermeiden, hätte man die Knotenbleche bis an die Gurtplatte reichen lassen, die inneren Gurtwinkel unterbrechen und durch darüber gelegte Winkel ersetzen müssen oder es wäre das Knotenblech an Stelle des Stehblechs einzufügen und mit ihm unter voller Deckung zu verlaschen gewesen.

Man hat diese abgerundeten Eckknoten in einigen Fällen auch bei senkrechten Endständern, die in diesem Falle einen TT-Querschnitt

erhalten, ausgeführt wie dies Abb. 437 zeigt, und zwar bei Halbparabelträgern mit niedriger Endhöhe, die die Anordnung eines Portalrahmens ausschließt. (Brücken am Rhein-Herne-Kanal.)

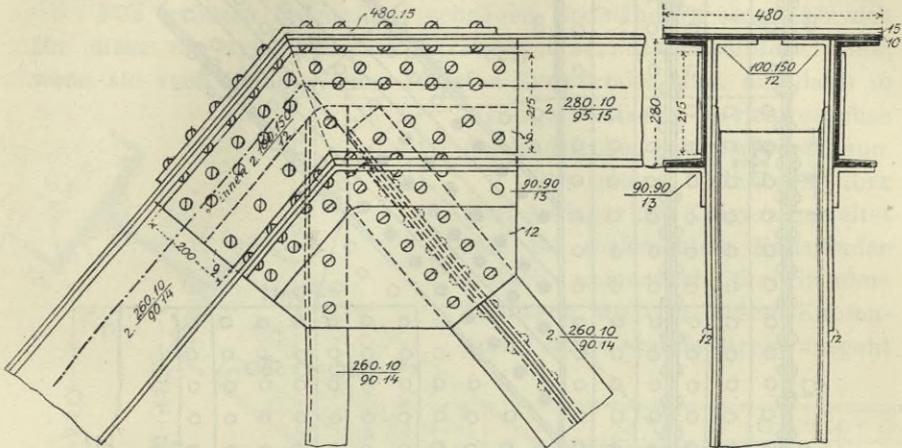


Abb. 438.

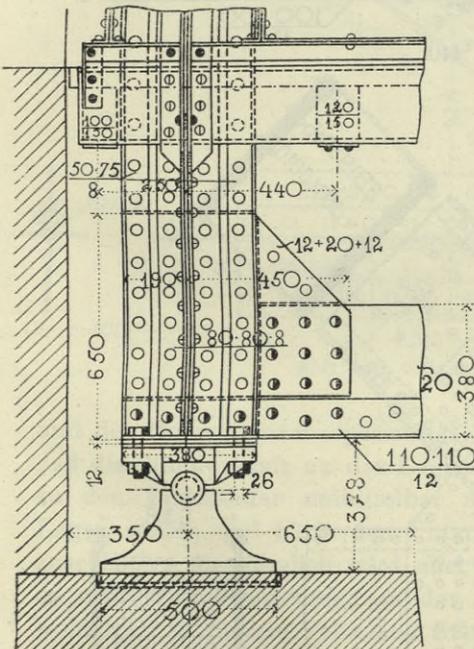


Abb. 439.

Bei Verwendung von Γ -Eisen für den Gurt und die schrägen Endständer erfordert diese Eckausbildung eine scharfe Abbiegung der Gurtplatten und der zur Verbindung dienenden Winkel, worunter das Material leicht leidet. Abb. 438 zeigt einen solchen Eckknoten (zu dem Träger Abb. 411 gehörig). Der Stoß der Γ -Eisen ist durch die Knotenbleche, durch äußere Laschenbleche und durch zwei Winkeleisenpaare, die scharf geknickt sind, gedeckt. Besser ist es in solchen Fällen, den Obergurt über den Knotenpunkt zu verlängern und den schrägen Endständer in gleicher Weise wie einen Wandstab anzuschließen. Er-

hält derselbe ein oberes Deckblech, so wird dieses vor dem Knotenpunkte senkrecht zum Gurt abgelenkt und damit dessen Kastenquer-

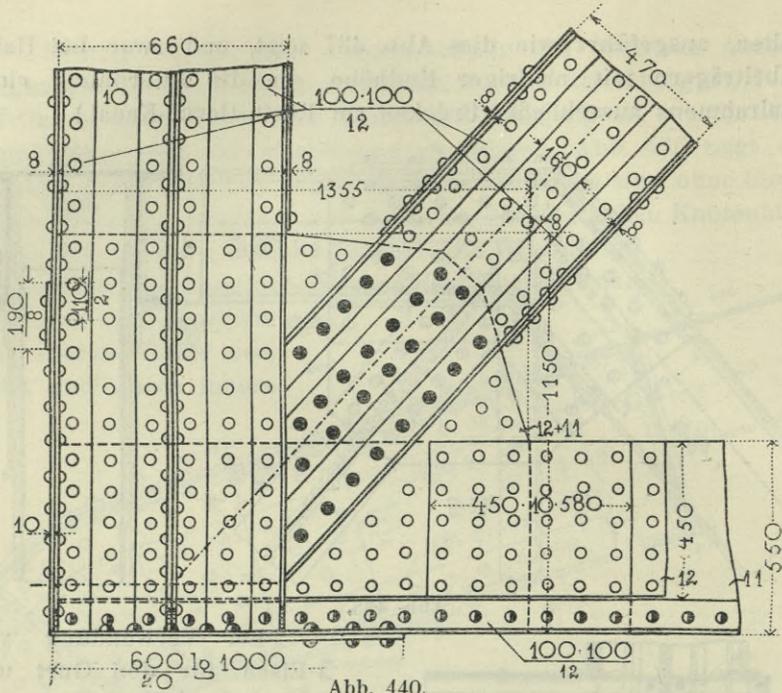


Abb. 440.

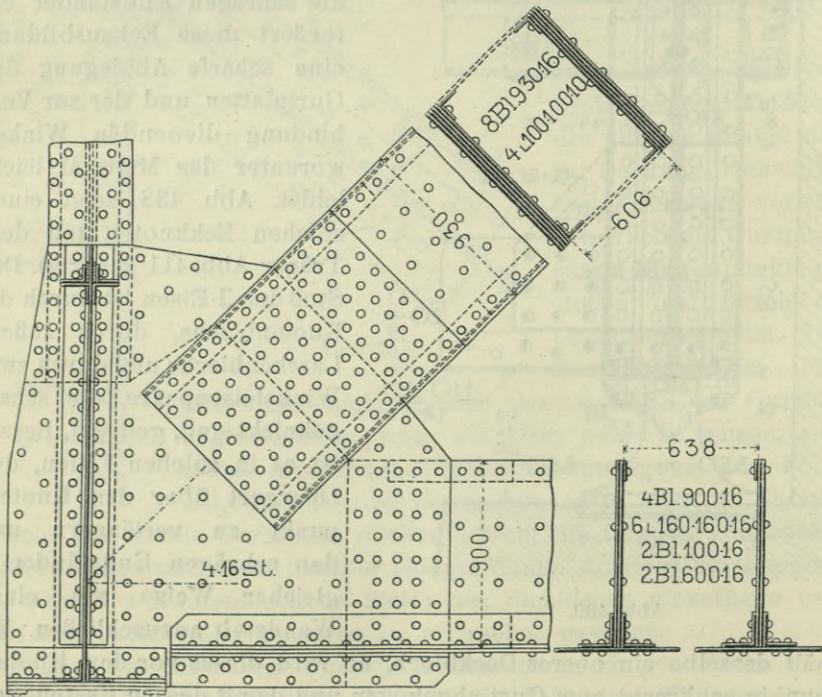


Abb. 441. Weichselbrücke bei Marienwerder.

schnitt abgeschlossen. Die Kraft dieses Bleches ist vor der Abbiegung durch innen angenietete Hilfswinkel aufzunehmen und an das Knotenblech abzugeben.

Für größere Träger mit schrägen Endständern empfiehlt sich für diese ein symmetrischer Strebenquerschnitt, besonders dann, wenn sie auch Ständer eines schiefen Endportales sind, das dann in richtiger Weise in die Schwerachse der Endstreben gelegt werden kann.

Der untere Endknoten über dem Auflager des Trägers gestaltet sich bei senkrechtem Endständer einfach, namentlich für Ständerfachwerk, wo von diesem Knotenpunkt keine schiefe Strebe ausgeht

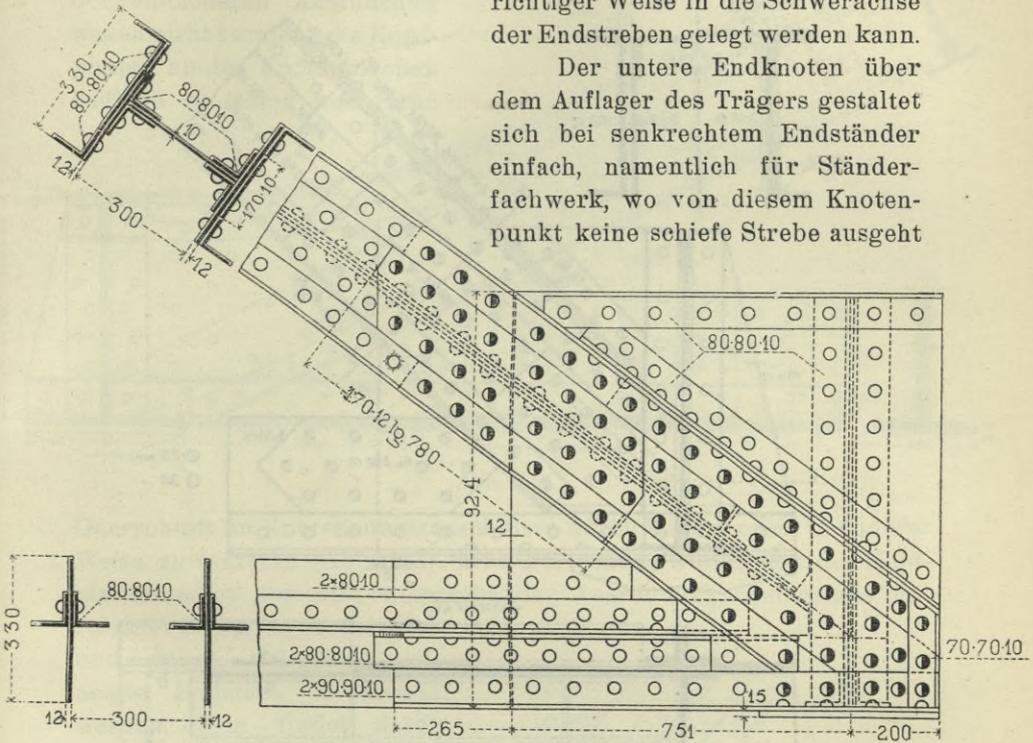


Abb. 442. Salzbachbrücke bei Lauffen.

und der Untergurtstab spannungslos ist. Es handelt sich nur darum, daß die Ständerkraft an das Lager abgegeben wird. Man könnte hierzu den Endständer unmittelbar mit bearbeiteten Flächen auf das Lager stellen und hätte den Untergurt bloß mit einigen Nieten anzuschließen. Gewöhnlich wird aber der Untergurt durchgeführt und es erfolgt die Lagerung auf der Bodenplatte des Untergurtes. Obwohl man in diesem Falle den Ständer auch möglichst bis an diese Bodenplatte herabführt, rechnet man nicht mit einem unmittelbaren Aufstehen, sondern nimmt die ganze Ständerkraft durch dessen Anschlußnieten auf. Dies erfordert in der Regel die Anordnung eines Knotenbleches (Abb. 439). Geht von dem Endknotenpunkt auch eine

schiefe Strebe aus, so erfolgt dessen Ausbildung nach den gleichen Grundsätzen, wie bei allen anderen Knotenpunkten (Abb. 440, 441).

Dies gilt auch für schiefe Endständer, die mit Strebenquerschnitt ausgeführt sind (Abb. 442). Die Strebe kann hier bis über das Auflager verlängert und das Knotenblech so hoch gehalten werden, als

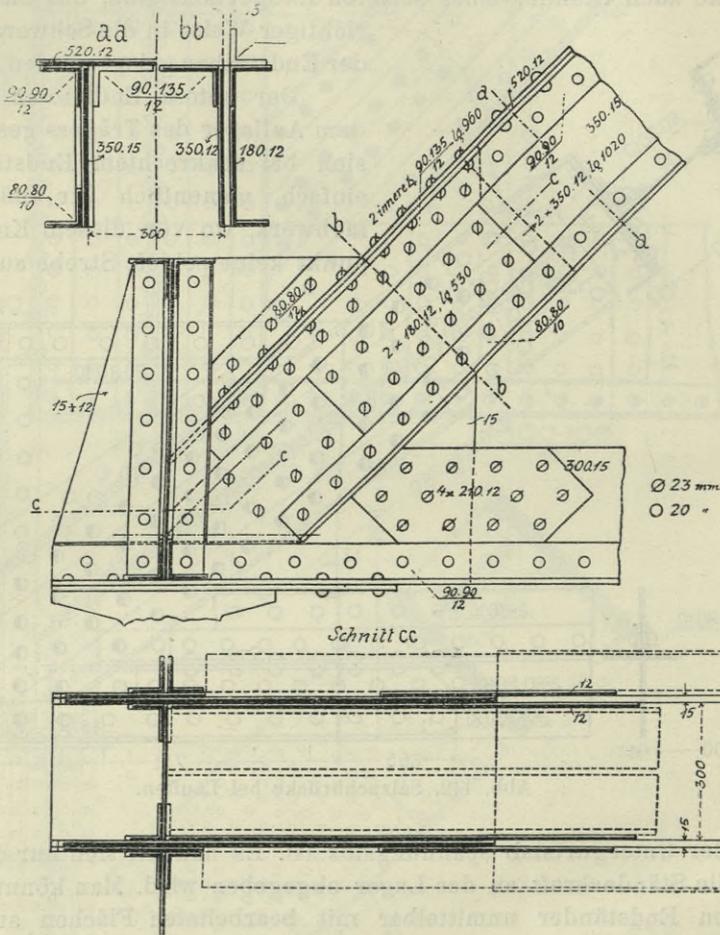


Abb. 443.

es der Anschluß des Endquerträgers erfordert. Über dem Auflager ist eine senkrechte Steife, bei doppelwandigen Trägern ein Quersteg in der Höhe des Querträgeranschlusses anzubringen. Endigt die Strebe vor dem Auflager, so muß dem Knotenblech die erforderliche Stärke und Querschnittsfläche gegeben werden, um den Strebendruck aufzunehmen und an das Lager abzugeben.

Schräge Endständer mit T- oder TT-förmigen Gurtquerschnitt können in der gleichen Weise angeschlossen werden, wobei die Kopfplatten nach den Knotenblechen geschlitzt und bei doppelstegigen Profilen durch innere Winkel mit den Knotenblechen verbunden werden, wenn man es der einfacheren Ausführung wegen nicht vorzieht, die Kopfplatten an den Knotenblechen endigen zu lassen und ihren

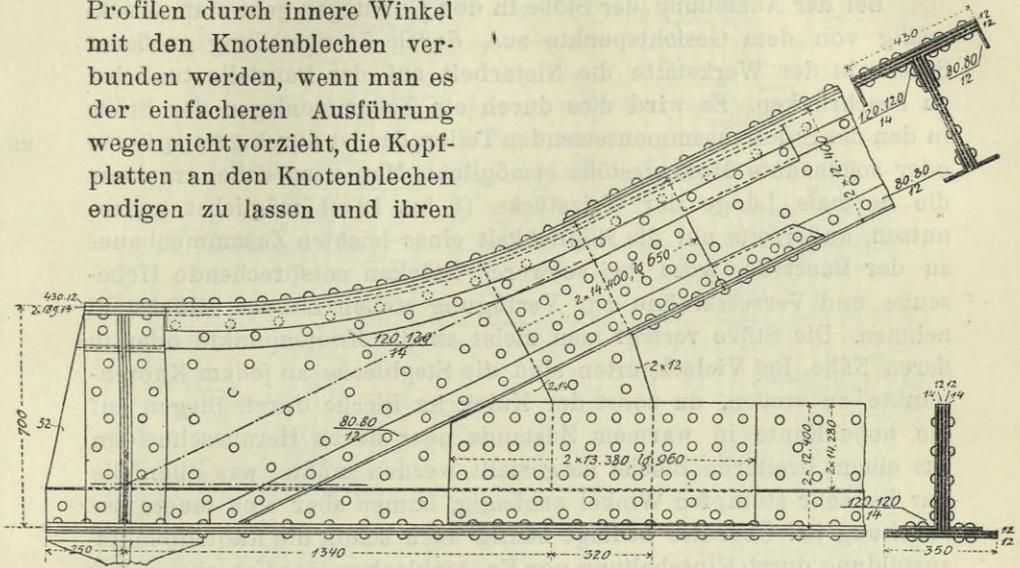


Abb. 444.

Querschnitt im Knotenpunktsanschlusse durch Winkel oder in anderer Weise zu ersetzen (Abb. 443). Eine horizontale Abbiegung der Kopfplatten sollte nur mit entsprechender Ausrundung, keinesfalls mit scharfer Knickung ausgeführt und daher auf flach geneigte Endstäbe beschränkt werden. Man findet daher diese Ausbildung der Endknoten vornehmlich bei Parabel- oder ähnlichen Vieleckträgern mit spitzwinklig zusammgeführten Gurtungen (Abb. 444). Bei Trägern, deren Gurte sich im Auflager unter einem weniger spitzen Winkel vereinigen (Schwedlerträger, Ellipsenträger), kann die Auflagerung auch nach Abb. 445 mit dem senkrecht abgelenkten Obergurt erfolgen. Der Schnittpunkt der Gurtstabachsen soll aber in jedem Falle über die Mitte des Auflagers gelegt werden.

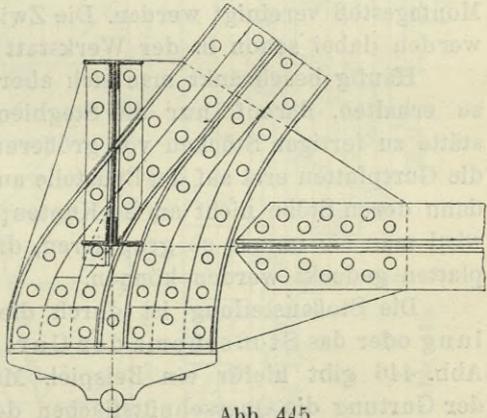


Abb. 445.

§ 29. Stoßlage und Stoßdeckungen in den Gurtungen, Materialverteilungsplan.

Bei der Austeilung der Stöße in den Gurtungen geht man zweckmäßig von dem Gesichtspunkte aus, durch Fertigstellung größerer Stücke in der Werkstätte die Nietarbeit auf der Baustelle tunlichst zu beschränken. Es wird dies durch ein Zusammenlegen der Stöße in den das Stück zusammensetzenden Teilen, das ist durch gruppierte oder sogenannte Montagestöße ermöglicht. Man wird dabei trachten, die normale Länge der Walzstücke (8 bis 12 m) möglichst auszunutzen, anderseits auf die Möglichkeit eines leichten Zusammenbaues an der Baustelle, wozu bei schweren Stücken entsprechende Hebezeuge und Versetzkrahne zur Verfügung stehen müssen, Rücksicht nehmen. Die Stöße verlegt man meist an die Knotenpunkte oder in deren Nähe. Bei Vieleckgurten sind die Stegbleche an jedem Knotenpunkte zu stoßen, da sonst der Knick im Bleche durch Biegen auf die hohe Kante in warmem Zustande oder durch Herausschneiden aus einem breiteren Bleche hergestellt werden müßte, was allenfalls nur bei sehr stumpfen Winkel zugänglich, immer aber eine teure Bearbeitung ist. Überdies bedingt häufig auch schon die Knotenpunktausbildung durch Einschaltung von Knotenblechen eine Unterbrechung des Gurtstehbleches.

Bei Knotenweiten bis etwa 5 m können dann die Stöße in den übrigen Gurtteilen, Winkel und Gurtblechen, an jeden zweiten Knotenpunkt gelegt und mit dem Stegblechstoß zu einem durchgehenden Montagestoß vereinigt werden. Die Zwischenstöße in den Stehblechen werden dabei schon in der Werkstatt vernietet.

Häufig beschränkt man sich aber, um nicht zu schwere Stücke zu erhalten, darauf, nur die Stegbleche und Winkel in der Werkstätte zu fertigen Stücken von größerer Länge zu verbinden, während die Gurtplatten erst auf der Baustelle aufgenietet werden. Es brauchen dann deren Stöße nicht an die Knotenpunkte verlegt zu werden, doch wird man sie immer so gruppieren, daß sie durch gemeinsame Stoßplatten gedeckt werden können.

Die Stoßausteilung ist durch die sogenannte Materialverteilung oder das Stoßschema der Gurtungen graphisch darzustellen. Abb. 446 gibt hiefür ein Beispiel. Man trägt über den Netzlinien der Gurtung die Querschnittsflächen der einzelnen Gurtteile als senkrechte Höhen (nach einem entsprechend gewählten Flächenmaßstab) an, erhält sonach diese Gurtteile durch parallele, übereinander liegende Streifen dargestellt, in denen man die Lage der Stöße gegen die Knotenpunkte des Netzes einträgt. Jedem einzelnen Stücke wird

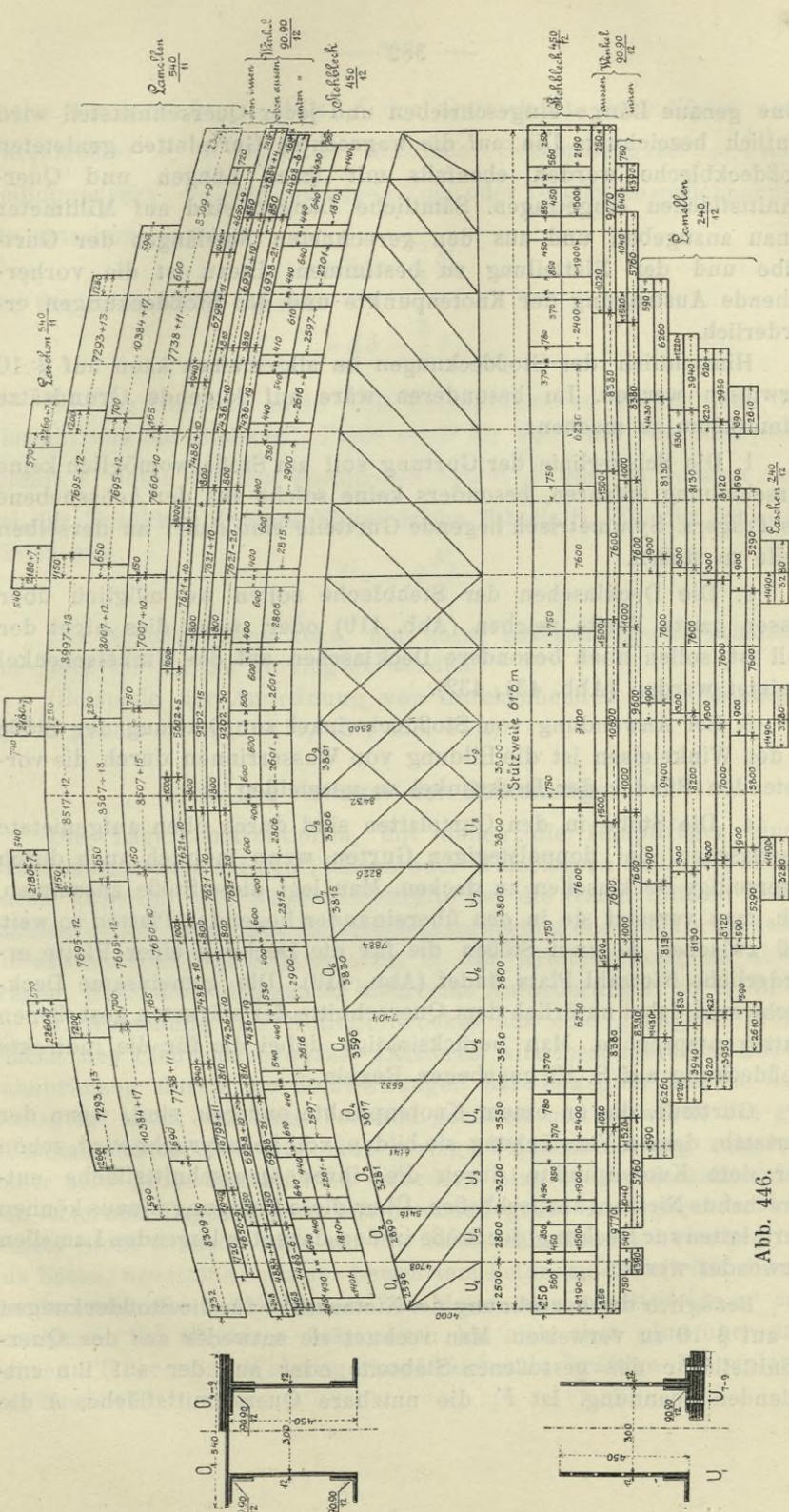


Abb. 446.

seine genaue Länge eingeschrieben und jeder Querschnittsteil wird deutlich bezeichnet. Die auf die wagrechten Gurtplatten genieteten Stoßdeckbleche werden ebenfalls mit ihren Längen und Querschnittsflächen eingetragen. Sämtliche Längen sind auf Millimeter genau anzugeben und aus den gerechneten Netzlängen der Gurtstäbe und der Nietteilung zu bestimmen. Hierzu ist die vorhergehende Austragung der Knotenpunkte und der Stoßdeckungen erforderlich.

Hinsichtlich der Stoßdeckungen im allgemeinen kann auf § 10 verwiesen werden. Im besonderen wäre auf folgende Grundsätze aufmerksam zu machen:

1. Die Schwerlinie der Gurtung soll am Stoße womöglich keine Verschiebung erfahren, besonders keine solche aus der Achsenebene des Trägers. Symmetrisch liegende Gurtteile sind daher an derselben Stelle zu stoßen.

2. Die Decklaschen der Stehbleche sollen wo möglich über dessen ganze Breite reichen (Abb. 419) oder, wenn dies nicht der Fall ist, sollen noch besondere Decklaschen auf die Winkelschenkel genietet werden (Abb. 431, 432).

3. Bei Anwendung von Stoßdeckwinkel zur Deckung der Stöße in den Winkeleisen ist die Bildung von Wasserrinnen durch die vortretenden Ränder der Deckwinkel zu vermeiden.

4. Die Stöße in den Gurtplatten sind durch oben aufgenietete Decklaschen, bei doppelstegigen Gurten wenn möglich auch durch unterseitige Decklaschen zu decken. Man legt diese Stöße zusammen, d. h. man versetzt sie in den übereinander liegenden Platten so weit, daß zwischen je zwei Stößen die für die Deckung einer Platte erforderliche Nietzahl Platz findet (Abb. 419). Die gemeinsame Decklasche muß dabei natürlich dem Querschnitte der stärksten gestoßenen Platte entsprechen. Man berücksichtige dabei die für die indirekte Stoßdeckung auf S. 83 gegebenen Regeln.

Gurtteile, die an einem Knotenpunkte endigen, sind, wenn der Gurtstab, dessen Verstärkung sie bilden, voll beansprucht wird, schon vor dem Knotenpunkte durch die, ihrer Querschnittsfläche entsprechende Nietzahl anzuschließen. Über diese Endigung hinaus können Gurtplatten zur Deckung der Stöße in den darunter liegenden Lamellen verwendet werden.

Bezüglich der Berechnung der Nietanzahl n für die Stoßdeckungen ist auf § 10 zu verweisen. Man rechnet sie entweder aus der Querschnittsfläche des gestoßenen Stabteils oder aus der auf ihn entfallenden Spannung. Ist F_1 die nutzbare Querschnittsfläche, δ die

Diecke des gestoßenen Teils, f der Querschnitt eines Nietes vom Durchmesser d , so ist unter Annahme: Scheerfestigkeit $= \frac{4}{5}$ und Leibungsdruck $= \frac{9}{5}$ der zulässigen Zug- oder Druckinanspruchnahme, für einschnittige Niete

$$nf = \frac{5}{4} F_1$$

für doppelschnittige Niete

$$nd\delta = \frac{5}{9} F_1.$$

Ist der Gurtstab nicht voll beansprucht, so rechnet man die Nietzahl aus der Stabkraft. Diese sei S für den Stab vom Nutzquerschnitt F , sohin für den gestoßenen Teil $S \frac{F_1}{F}$ und es rechnet sich bei der Tragkraft P eines Nietes (siehe Tabelle S. 70) die Zahl der Niete aus

$$Pn = S \frac{F_1}{F}.$$

Die Nietentfernung kann, um kurze Laschenlänge zu erhalten, am Stoße bis auf $3d$ verringert werden.

(Beispiele der Anordnung von durchgehenden oder Montagestoßen geben die Abb. 419, 425, 426, 431.)

§ 30. Die Auflager der Balkenträger.

Die Lagerkonstruktionen, mit denen die Hauptträger eines Brückenüberbaues auf den Pfeilern oder Widerlagern aufliegen, haben deren lotrechte und wagrechte Kräfte auf die festen Stützen unter Einhaltung der zulässigen Materialbeanspruchung und mit Vermeidung unbeabsichtigter Unbestimmtheiten in der Kräftewirkung zu übertragen. Sie haben demgemäß mehrfache Anforderungen zu erfüllen.

1. Verteilung des Auflagerdruckes auf eine genügend große Fläche des Pfeilermauerwerks. Letzteres wird besonders bei Eisenbahnbrücken durch die Stoßwirkungen der bewegten Last an den Auflagern leicht aus dem Verband gerüttelt und es würde das gewöhnliche Mauerwerk nur eine geringe Flächenbelastung zulassen, daher sehr große Lagerplatten erfordern. Man ordnet deshalb unter den eisernen Lagerkörpern entsprechend große Auflagsquader aus festem Stein (Granit) oder, wo die Steinbeschaffung schwieriger ist, aus Beton, neuestens auch aus bewehrtem Beton an. Die Größe dieser Quader wäre bei der Stützweite l in Meter etwa mit $0.025 l$ in m^3 anzunehmen. Bei kleineren Stützweiten hat sich auch eine über den ganzen Pfeiler oder Widerlagerkopf reichende kräftige Betonplatte gut bewährt.

Das satte Aufliegen der eisernen Lagerplatten auf den Auflagsteinen erzielt man bei kleinen Lagern durch Untergießen mit dünnflüssigem Zementmörtel, zu welchem Zwecke die Lagerplatte auf kleine 1 bis 2 cm starke Keile gesetzt und gut ausgerichtet wird. Hierauf umgibt man sie mit einem die Fuge abschließenden Lehm-damme und preßt den Zementmörtel unter Überdruck ein. Anstatt des Zementmörtels wird auch ein, Lavaoid benanntes, Vergußmittel verwendet. Große Platten sind aber schwer satt zu untergießen; diese versetzt man besser auf Bleiunterlagen, und zwar gibt man entweder eine 10 mm starke Bleiplatte unmittelbar auf die eben bearbeitete Steinfläche oder man ebnet die Oberfläche zunächst mit einer glatt abgestrichenen Mörtelschichte und legt darauf bloß eine 2 bis 3 mm starke Bleiplatte. Hat das Lager an der Unterseite Rippen, so sind diese in die dafür hergestellten Vertiefungen in dünnflüssigem Mörtel zu versetzen.

2. Festlegung der Angriffsstelle des Stützendruckes und Ermöglichung einer Drehung des Trägers um seinen Auflagerpunkt,

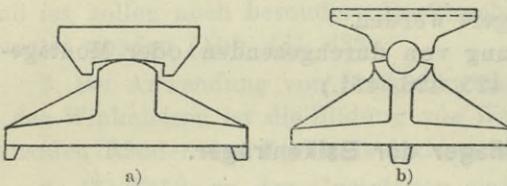


Abb. 447.

wie es der Voraussetzung seiner freien Auflagerung entspricht. Diese Anforderung wird durch die sogenannten Kipplager erfüllt. Flächenlager, bei denen der Stützendruck eine wechselnde, un-

bestimmte Lage einnehmen und bei einer Durchbiegung des Trägers stark an die innere Lagerkante rücken kann, werden jetzt vermieden und wird ihre Anwendung nur auf ganz kleine Stützweiten beschränkt.

Die Kipplager ermöglichen eine Drehung gewöhnlich nur in der Ebene des Trägers. Der Stützkörper ist dann ein zur Trägerebene senkrecht stehender Zylinder, auf den der Träger entweder mit einer ebenen oder ebenfalls zylindrischen Fläche von größerem Krümmungshalbmesser aufliegt (Wälzungkipplager, Tangentialkipplager, Linienkipplager Abb. 447 a), oder den er mit einer konzentrischen Schale umgreift (Zapfenkipplager Abb. 447 b). Soll aber auch eine Drehung senkrecht zur Trägerebene möglich gemacht werden, so ist der Stützkörper mit einer sphärischen Fläche (Kugelkalotte) und das Lager als Punktkipplager (Abb. 448 a) oder als Kugelzapfenkipplager (Abb. 448 b) auszubilden. Anstatt dessen hat man wohl auch zwei, zueinander rechtwinklig stehende Zylinderkipplager übereinander angeordnet.

3. Dort, wo das in der Rechnung vorausgesetzte statische Ver-

halten des Tragwerks es erfordert, d. i. bei Balkenträgern, sind solche Lager anzuordnen, welche Verschiebungen des Tragwerks in seinem Stützpunkte zulassen. Man unterscheidet demnach feste, unverschiebliche Lager und bewegliche oder verschiebliche Lager. Ein Balkenträger erhält nur ein festes und im übrigen nach seiner Längsachse bewegliche Lager.

Bei einer Balkenbrücke ist gewöhnlich jeder Träger in dieser Art gelagert (Abb. 449). Ist die Brücke aber so breit, daß auch die Querdilatation in Betracht zu ziehen ist, so darf nur ein Träger (bei *A*,

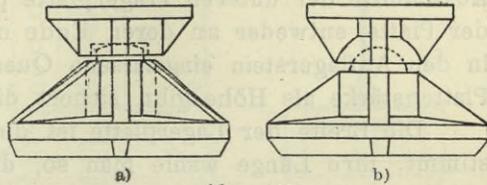


Abb. 448.

Abb. 450) ein festes Lager erhalten, das gegenüberstehende Lager *C* des zweiten Trägers ist nach der Querrichtung verschieblich zu machen. Am anderen Ende ist der Träger *I* in *B* längsverschieblich, der Träger *II* in *D* dagegen nach der Richtung *A D* verschieblich zu lagern. Man ordnet in

D aber besser ein nach doppelter Richtung, längs und quer, oder ein allseitig verschiebliches Lager an. Faßt man auch die Beanspruchung des Tragwerks durch die wagrechten Winddruckkräfte ins Auge, so müßten zur Erzielung statisch bestimmter Auflagerung sowohl in *D* wie auch in *C* allseitig verschiebliche Lager, die keine Kraft in der wagrechten Ebene aufnehmen können, ausgeführt werden (Abb. 451). Gewöhnlich wird aber hievon abgesehen.

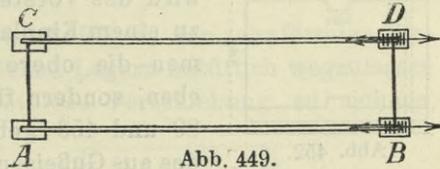


Abb. 449.

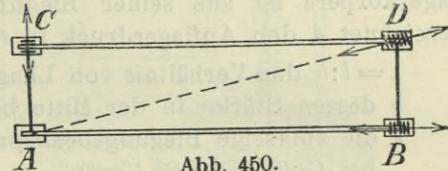


Abb. 450.

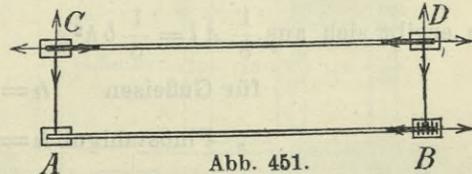


Abb. 451.

A. Feste Lager.

Abb. 452 zeigt ein Flächenlager für einen Träger von 5 bis 6 m Stützweite. Es besteht aus einer 40 bis 50 mm starken Gußeisenplatte, auf deren eben gehobelter Fläche der Träger unmittelbar mit seinen Flantschen aufliegt. Blechträger erhalten im Auflager eine an die Gurtwinkel genietet stärkere Blechplatte mit an der Unterseite ver-

senkten Nietköpfen. Der Lagerplatte gibt man seitliche Randrippen, die eine Querverschiebung des Trägers verhindern. Zur Festhaltung des Trägers nach der Längsrichtung im festen Lager kann entweder eine an die Lagerplatte angegossene Endrippe dienen oder, wie in Abb. 452, Ansätze an den seitlichen Rippen, welche in entsprechende Ausschnitte der unteren Trägerplatte passen. Eine an der Unterseite der Platte, entweder an deren Ende oder in der Mitte angebrachte, in den Auflagerstein eingelassene Querrippe, der man etwa $\frac{3}{4}$ der Plattenstärke als Höhe gibt, sichert die Platte gegen Verschiebung.

Die Breite der Lagerplatte ist durch die Trägergurtbreite bestimmt; ihre Länge wähle man so, daß sich ein zulässiger Druck auf den Auflagerstein (für kleine Lager 20 bis 25 kg/cm^2) ergibt. Für

Stützweiten L (in m) bis zu 6 m entspricht etwa die Formel: Plattenlänge l (in cm) = $10 + 5 L$.

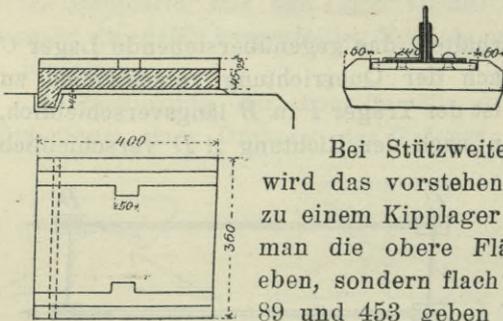


Abb. 452.

Bei Stützweiten über 6 m bis etwa 20 m wird das vorstehend beschriebene Flächenlager zu einem Kipplager ausgebildet in der Art, daß man die obere Fläche der Lagerplatte nicht eben, sondern flach gewölbt macht. Die Abb. 88, 89 und 453 geben dafür Beispiele. Die Stärke

des aus Gußeisen oder Flußstahlguß hergestellten Lagerkörpers ist aus seiner Biegungsbeanspruchung zu rechnen. Bezeichnet A den Auflagerdruck in t ,

$\lambda = l : b$ das Verhältnis von Länge zur Breite des Lagerkörpers,
 h dessen Stärke in der Mitte bei massiver Ausführung in cm ,
 s die zulässige Biegungsbeanspruchung (bei Stahlguß = $1 t/cm^2$,
 bei Gußeisen $0.25 t/cm^2$);

so ergibt sich aus $\frac{1}{8} A l = \frac{1}{6} b h^2 s$

$$\left. \begin{array}{l} \text{für Gußeisen} \quad h = \sqrt{3 A \lambda} \\ \text{„ Flußstahlguß} \quad h = \frac{1}{2} \sqrt{3 A \lambda} \end{array} \right\} \dots \dots (104.)$$

Gußeiserne Lagerstühle von größerer Höhe werden mit Aussparungen und Rippen ausgeführt (Abb. 89, 453). Die Dimensionierung erfolgt dann nach den weiter unten gegebenen Regeln.

Den Krümmungshalbmesser der Stützfläche wähle man nicht unter r (in cm) = $0.5 A$, mindestens aber = $10 cm$.

Als obere Auflagerplatte genügt bei diesen kleineren Lagern eine 20 bis 25 mm starke flußeiserne Platte, die mit versenkten Niet

am Trägerflansch befestigt wird, oder man verwendet eine stärkere, abgesetzte Gußplatte mit Schraubenbefestigung. Die Festhaltung des Trägers nach der Längs- und Querrichtung wird erzielt entweder durch einen in der Mitte des Stützkörpers eingesetzten Dorn von 20 bis 30 mm Durchmesser, der mit zahnförmig verjüngtem Kopfe in die obere Platte eingreift, so daß die Kippbewegung nicht behindert ist, oder durch beiderseitige zahnförmige Ansätze am unteren Lagerkörper, die in entsprechende Ausschnitte der oberen Platte hineinpassen (Abb. 88 u. 453).

Für Stützweiten bis zu etwa 15 bis 20 m genügt diese Lagerkonstruktion als Gleitlager auch für das bewegliche Auflager; der zahnförmige Eingriff ist bei diesen längsverschieblichen Lagern natürlich wegzulassen und ist der Träger nur gegen seitliche Verschiebung zu sichern.

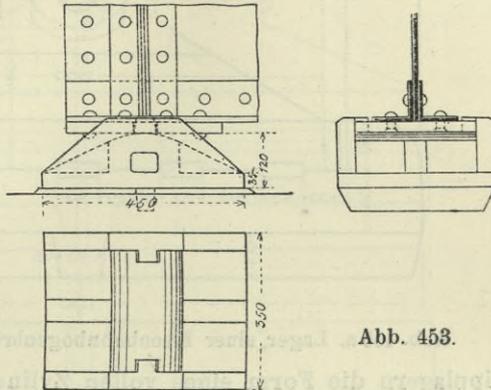


Abb. 453.

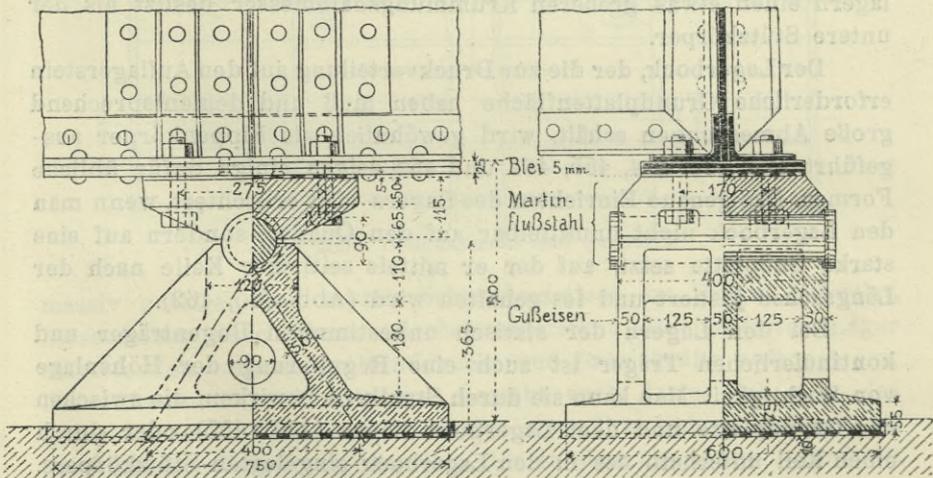


Abb. 454.

Für Träger mit größeren Stützweiten und großen Auflagerdrücken kommen sowohl Tangential- wie auch Zapfenkipplager zur Anwendung. Als Stützkörper dient ein in den Lagerbock eingesetztes oder angegossenes Stahlstück, das bei Zapfen- und Linien-

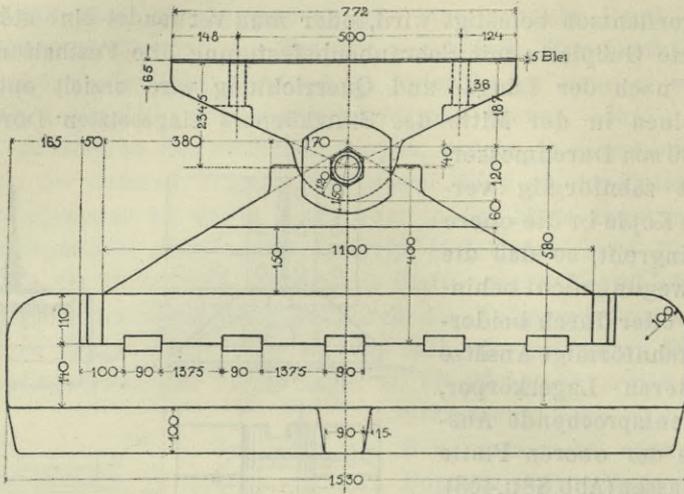


Abb. 455 a. Lager einer Eisenbahnbogenbrücke von 110 m Stützweite.

kippplagen die Form eines vollen Zylinders oder eines Zylinderabschnittes hat, bei Punkt- und Kugelzapfenkipplagen als Kugelkalotte ausgebildet ist. Der Träger lagert darauf mittels eines Gußstückes, dem oberen Lagerkörper oder Balancier, dessen Stützfläche bei den Zapfenlagern den gleichen Krümmungshalbmesser, bei Tangentiallagern einen etwas größeren Krümmungshalbmesser besitzt als der untere Stützkörper.

Der Lagerbock, der die zur Druckverteilung auf den Auflagerstein erforderliche Grundplattenfläche haben muß und dementsprechend große Abmessungen erhält, wird gewöhnlich als Rippenkörper ausgeführt. Die Abb. 454, 455, 461 und 462 zeigen einige dafür übliche Formen. Das genaue Einrichten des Lagers wird erleichtert, wenn man den Lagerbock nicht unmittelbar auf den Quader, sondern auf eine starke Gußplatte setzt, auf der er mittels seitlicher Keile nach der Längsachse justiert und festgehalten wird (Abb. 455, 462).

Bei den Lagern der statisch unbestimmten Bogenträger und kontinuierlichen Träger ist auch eine Regulierung der Höhenlage von Wichtigkeit. Man kann sie durch Stahlkeile bewirken, die zwischen der Grundplatte und dem Lagerbock liegen (Abb. 455) oder durch einen Keil unterhalb des in den Lagerbock eingelegten Stützkörpers. Bei statisch bestimmt gelagerten Trägern kann diese Höhenregulierung entfallen und auch in anderen Fällen hilft man sich häufig damit, allfällige Höhenunterschiede durch Einlegen von dünnen Blechen zwischen Träger und Lager auszugleichen.

Der obere Lagerkörper, der geringere Länge und infolgedessen auch geringere Höhe erhält als der untere Lagerbock, wird meist

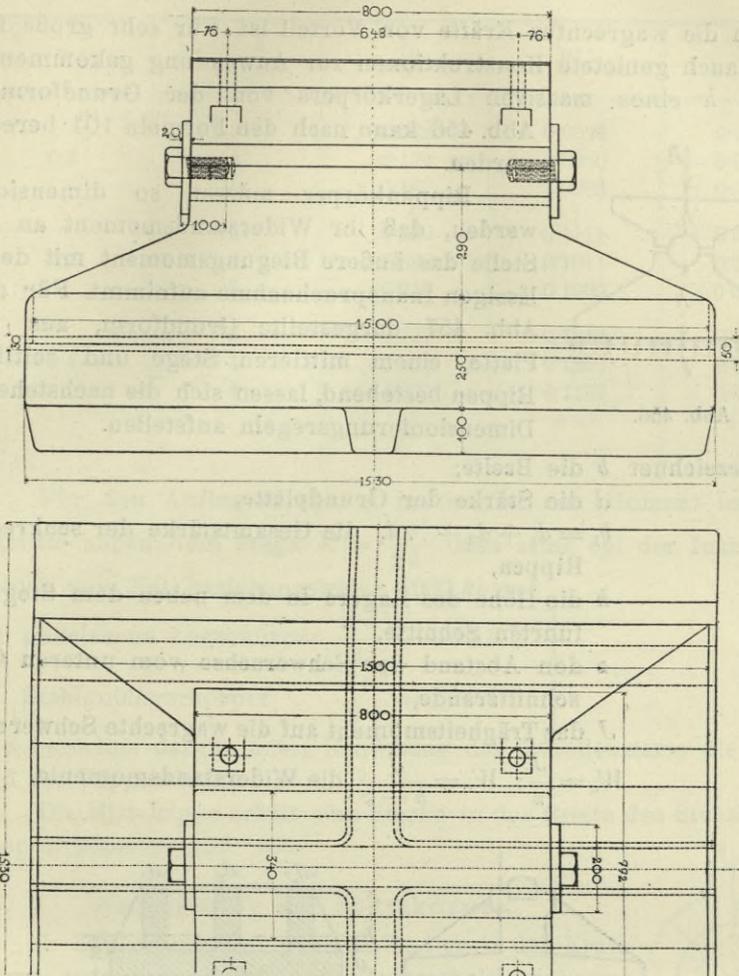


Abb. 455 b. Seitenansicht und Grundriß.

massiv gehalten und mittels Schraubenbolzen am Träger befestigt. Diese haben durch ihren Abscherwiderstand die im festen Lager auftretenden wagrechten Winddruck- und Bremskräfte aufzunehmen. Eine zweckmäßige Verbindung besteht auch darin, daß man das Lager an seiner Oberseite mit einem etwa 2 cm hohen, rechteckigen oder runden Vorsprung versieht, der in den passenden Ausschnitt einer an die Unterseite des Trägers versenkt genieteten Flußeisenplatte eingreift.

Man stellt die Lagerkörper aus Gußeisen oder bei größeren Abmessungen besser aus Stahlguß her, durch dessen Anwendung sich die Höhe des Lagers vermindern läßt, was für die Beanspruchung

durch die wagrechten Kräfte von Vorteil ist. Für sehr große Lager sind auch genietete Konstruktionen zur Anwendung gekommen. Die Höhe h eines massiven Lagerkörpers von der Grundform der

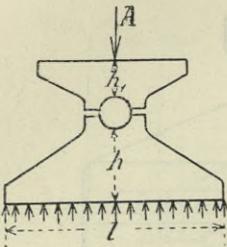


Abb. 456.

Abb. 456 kann nach den Formeln 104 berechnet werden.

Rippenkörper müssen so dimensioniert werden, daß ihr Widerstandsmoment an jeder Stelle das äußere Biegemoment mit der zulässigen Inanspruchnahme aufnimmt. Für die in Abb. 457 dargestellte Grundform, aus einer Platte, einem mittleren Stege und seitlichen Rippen bestehend, lassen sich die nachstehenden Dimensionierungsregeln aufstellen.

Es bezeichnet b die Breite,

d die Stärke der Grundplatte,

$b_1 = d_1 + d_2 + \dots + d_n$ die Gesamtstärke der senkrechten Rippen,

h die Höhe des Lagers in dem neben dem Stege geführten Schnitte,

z den Abstand der Schwerachse vom unteren Querschnittsrande,

J das Trägheitsmoment auf die wagrechte Schwerachse,

$W_u = \frac{J}{z}$; $W_0 = \frac{J}{h-z}$ die Widerstandsmomente.

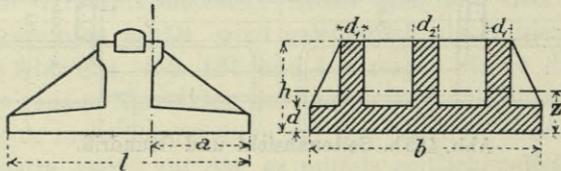


Abb. 457.

Wir setzen

$$z = \xi h \text{ und } h = m d$$

und erhalten leicht die folgenden Beziehungen:

$$\frac{b}{b_1} = 1 + \frac{(1 - 2\xi) m^2}{2\xi m - 1}$$

$$J = \frac{1}{6} b_1 h^3 \left[2 - 3\xi + \frac{(1 - 2\xi)(2 - 3\xi m)}{m(2\xi m - 1)} \right]$$

Es empfiehlt sich die Annahme $\xi = 0,3$ bis $0,4$ und $m = 3$ bis 5 . Damit ergeben sich die nachstehend berechneten Werte.

ξ	$m = \frac{h}{d}$	$\frac{b_1}{b}$	W_u	W_o
0.3	3	0.182	0.0994	0.0426
	4	0.179	0.0980	0.0420
	5	0.167	0.0926	0.0397
$\frac{1}{3}$	3	0.250	0.1111	0.0556
	4	0.238	0.1071	0.0536
	5	0.219	0.1000	0.0500
0.4	3	0.437	0.1319	0.0879
	4	0.407	0.1250	0.0833
	5	0.375	0.1167	0.0778
			$b h^2$	$b h^2$

Für den Auflagerdruck A in *ton.* ist das Moment im Querschnitte neben dem Stege $M = \frac{A a^2}{2l}$. Man setze bei der Inanspruchnahme von 250, beziehungsweise 1000 kg/cm^2

$$\left. \begin{aligned} \text{für gußeiserne Lagerkörper} \quad \frac{A a^2}{2l} &= 0.25 W_u \\ \text{„ Stahlgußlagerkörper} \quad \frac{A a^2}{2l} &= 1.00 W_o \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (105)$$

und berechne daraus unter Benützung der Tabellenwerte die Höhe h und die Rippenstärke b_1 .

Die Mittelrippe erhält eine Stärke in der Breite des Stützkörpers oder mindestens von $\frac{1}{6} h$.

Berechnung der Stützkörper.

1. Zapfenkipplager (Abb. 458). Der in der Kraftebene zwischen Zapfen und Lagerschale wirksame Druck pro Flächeneinheit sei σ_0 . Den radialen Druck in einem Punkte des Umfanges setzen wir nach der üblichen Annahme $\sigma = \sigma_0 \cos \varphi$ und nehmen ferner an, daß die Berührung in einem Viertel des Zylinderumfanges stattfindet. Dann ist bei der Zapfenlänge l

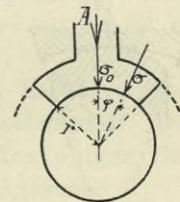


Abb. 458.

$$A = l \int_{-\frac{\pi}{4}}^{+\frac{\pi}{4}} \sigma \cos \varphi r d\varphi = l r \sigma_0 \int_{-\frac{\pi}{4}}^{+\frac{\pi}{4}} \cos^2 \varphi d\varphi = 1.285 l r \sigma_0,$$

woraus der Halbmesser des Kippzapfens sich rechnet mit:

$$r = \frac{0.8 A}{l \sigma_0} \dots \dots \dots (106)$$

2. Kugelzapfenkipplager (Abb. 468). Nimmt man wie beim zylindrischen Zapfenlager die Druckverteilung nach dem Gesetze $\sigma = \sigma_0 \cos \varphi$ und die Berührung in einer Kugelkalotte mit dem Zentriwinkel $\frac{\pi}{2}$ an, so ergibt sich

$$A = 2 r^2 \pi \int_0^{\frac{\pi}{4}} \sigma_0 \cos^2 \varphi \sin \varphi d \varphi = \frac{2}{3} r^2 \pi \sigma_0 \left(1 - \cos^3 \frac{\pi}{4} \right) = 1.354 r^2 \sigma_0$$

und hieraus

$$r = 0.86 \sqrt{\frac{A}{\sigma_0}} \dots \dots \dots (107.)$$

In diesen Formeln ist die Inanspruchnahme σ_0 mit keiner allzu hohen Ziffer einzuführen, da die Voraussetzung vollkommener Berührung, welche ein Einschleifen der Zapfen verlangen würde, in der Wirklichkeit nicht erfüllt ist. Man wähle demnach für Gußeisen oder Stahlguß $\sigma_0 = 1.2 t/cm^2$, ermäßige diese Beanspruchung für kleine Auflagerdrücke aber etwa bis auf $0.4 t/cm^2$, womit die obigen Formeln ergeben:

für zylindrische Zapfen	$r = 0.7 \frac{A}{l}$ bis $2 \frac{A}{l}$	}	(108.)
„ Kugelzapfen	$r = 0.8 \sqrt{A}$ bis $1.4 \sqrt{A}$		

Darin ist A in *ton.*, r und l in *cm* einzusetzen.

3. Linienkipplager (Abb. 459). Die Stützkörper sind hier Zylinderflächen von verschiedenem Krümmungshalbmesser, die sich im unbelasteten Zustande in einer Erzeugenden berühren. Unter Belastung bildet sich durch die elastische Zusammendrückung eine gewisse Berührungsbreite aus, aus der sich die Größe des spezifischen Druckes berechnet.

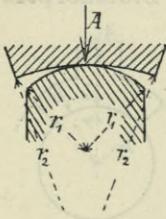


Abb. 459.

Bezeichnen r_1 und r_2 die Krümmungshalbmesser der Berührungsflächen, die wir im gleichen Sinne gekrümmt, d. h. mit den Krümmungsmittelpunkten auf derselben Seite liegend, annehmen;

E_1 und E_2 die Elastizitätskoeffizienten des Materiales der beiden Stützkörper,

ε_1 und ε_2 deren reziproke Werte (Dehnungskoeffizienten),

$P = \frac{A}{l}$ den Druck pro Längeneinheit, so berechnet sich nach

der von H. Hertz entwickelten Theorie¹⁾ der größte spezifische Druck an der Berührungsstelle

¹⁾ H. Hertz, „Journ. f. Mathem.“ 92 (1882); ferner Gesammelte Werke von H. Hertz, Bd. I, S. 155.

$$\sigma = \frac{3}{\sqrt{8\pi}} \sqrt{\frac{P}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} = 0.6 \sqrt{\frac{P}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}} \quad (109)$$

führt man für Gußeisen $E = 1000$, für Stahlguß $E = 2200 \text{ t/cm}^2$ ein, so ergibt sich

$$\left. \begin{array}{l} \text{für Gußeisen auf Gußeisen } \sigma = 13.4 \sqrt{\frac{A}{l} \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}} \\ \text{„ „ „ Stahl } \sigma = 15.7 \text{ „ „ „} \\ \text{„ Stahl auf Stahl } \sigma = 19.9 \text{ „ „ „} \end{array} \right\} \quad (110)$$

Die zulässige Druckbeanspruchung σ kann aber bei derartigen Lagern ziemlich hoch angenommen werden, erfahrungsgemäß mit dem 4- bis 5fachen Werte, den man für eine Beanspruchung im vollen Querschnitte zuläßt. (Man vergl. Bd. II, S. 208.) Wir setzen demnach in den Formeln 110

$$\begin{array}{l} \text{für Gußeisen } \sigma = 4 \text{ t/cm}^2, \\ \text{„ Stahlguß } \sigma = 6 \text{ t/cm}^2 \end{array}$$

und erhalten mit $r_1 = \alpha r_2$ die Formeln:

$$\text{Linienkipplager} \left\{ \begin{array}{l} \text{Gußeisen auf Gußeisen } r_1 = 11.2 \frac{A}{l} (1 - \alpha) \\ \text{„ „ „ Stahlguß } r_1 = 15.4 \frac{A}{l} (1 - \alpha) \\ \text{Stahlguß auf Stahlguß } r_1 = 11.0 \frac{A}{l} (1 - \alpha) \end{array} \right\} \quad (111)$$

Man halte $\alpha < 0.8$, da sonst das Lager als Zapfenlager nach Gl. 108 zu rechnen ist. Ist eine Stützfläche eben ($r_2 = \infty$), so ist in den obigen Formeln $\alpha = 0$ zu setzen.

4. Punktkipplager (Abb. 464). Die Stützflächen berühren sich in Kugelflächen von verschiedenem Krümmungshalbmesser. Die Hertzschen Formeln geben hier unter Beibehalt der obigen Bezeichnungen für den größten Druck an der Berührungsstelle

$$\sigma = \frac{3}{2\pi} \sqrt[3]{\frac{9}{4} \frac{A}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)^2} = 0.625 \sqrt[3]{\frac{A}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^2} \left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2} \right)^2}$$

oder bei gleichem Material der beiden Stützflächen

$$\sigma = 0.393 \sqrt[3]{A E^2 \left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2} \right)^2}$$

Hieraus folgt

$$A = \frac{\sigma^3}{(0.393)^3 E^2} \left(\frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \right)^2 = k \left(\frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \right)^2 \quad (112)$$

und mit $r_2 = \infty$ (Platte und Kugel) $A = k r^2$.

Es bezeichnet hierin k einen unter Annahme bestimmter Beanspruchung konstanten Festwert. Für dessen Wahl, beziehungsweise für die Wahl von σ zur Aufstellung von Dimensionierungsregeln können Anhaltspunkte nur aus Versuchen gewonnen werden.

Prof. Stribeck¹⁾ hat solche Versuche mit gehärteten Gußstahlkugeln, die zwischen Stahlplatten gepreßt wurden, durchgeführt. Er findet zunächst, daß für eine bleibende Zusammendrückung von $\frac{1}{8000}$ des Kugeldurchmessers, d. i. etwa für den Eintritt der Elastizitätsgrenze, die Belastungen tatsächlich mit dem Quadrate des Kugeldurchmessers wachsen.

Es wurden ferner folgende Mittelwerte der totalen sowie der bleibenden Zusammendrückung (δ und δ_b) beobachtet:

Belastung $\frac{A}{r^2} =$	160	200	300	400	600	800 kg
$\delta =$	2·24	2·61	3·41	4·14	5·50	6·65 $\frac{d}{1000}$
$\delta_b =$	0·047	0·067	0·125	0·204	0·374	0·555 $\frac{d}{1000}$

Würde sonach eine Zusammendrückung von $\frac{1}{440}d$ und eine bleibende Zusammendrückung von ca. $\frac{1}{20000}d$ noch als zulässig erachtet, so ergäbe sich die Belastung solcher Stahlkugeln mit:

$$A = 160 r^2 \quad (A \text{ in kg, } r \text{ in cm}),$$

oder

$$A = 0·160 r^2 \quad (A \text{ in ton., } r \text{ in cm}).$$

Für Stahlgußkörper, die nicht durch ein besonderes Verfahren gehärtet sind, müßte man aber, um Abplattungen zu vermeiden, wohl mit einem beträchtlich kleineren Werte von k rechnen. Legt man der Hertzschen Formel 112 eine größte Druckbeanspruchung $\sigma = 10 t/cm^2$ zugrunde, so ergibt sich für *ton.* und *cm* rund $k = 0·03$ und wir erhalten

$$A = 0·03 r^2 \quad (A \text{ in ton., } r \text{ in cm})$$

für eine Berührung mit Kugelflächen von verschiedenem Krümmungshalbmesser

$$A = 0·03 \left(\frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \right)^2 \dots \dots \dots (113.)$$

¹⁾ Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, herausgegeben vom Verein deutscher Ingenieure, Heft 2. Berlin 1901.

Letztere Formel liefert für A einen kleineren Wert als die Formel für den Kugelpapfen, so lange $r_2 >$ rund $1.3 r_1$ ist. Ihre Anwendung wäre demnach auf diese Grenze zu beschränken.

Abb. 454 zeigt ein Zapfenkipplager für einen Träger mit ca. 140 t Auflagerdruck. Es ist ein Vollzapfen angeordnet, wogegen das Lager der Abb. 455 den Zapfen an den Lagerkörper angegossen hat. Erstere Anordnung vergrößert zwar die Höhe des Lagers, doch ermöglicht sie das Abdrehen des Zapfens und wird daher meist vorgezogen.

Zur Aufnahme der wagrechten Seitenkräfte und Verhinderung seitlicher Verschiebung des oberen Lagerkörpers wird der Zapfen mit Bundringen versehen (Abb. 460), oder es werden an deren Stelle Stirnplatten angeschraubt (Abb. 455).

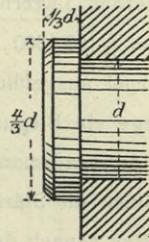


Abb. 460.

Bei Tangentiallagern wird die Stützfläche entweder am unteren Lagerkörper angegossen (Abb. 464), oder es wird ein besonderer Stahlgußstützkörper in den Lagerbock eingesetzt (Abb. 461, 462). In letzterem Falle hat der Stützkörper eine solche Breite und Höhe zu erhalten, daß die zulässige Druckbeanspruchung in der Aufstandfläche, wie auch die zulässige Biegungsspannung eingehalten wird.

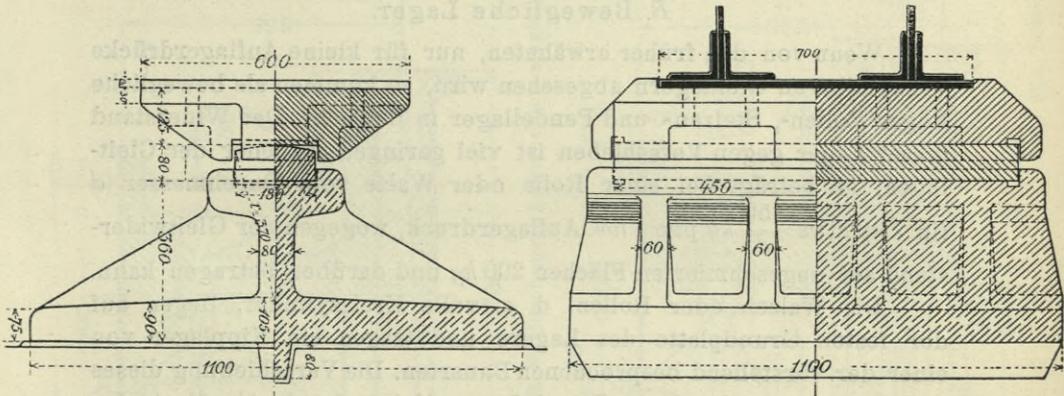


Abb. 461.

Die Verschiebung wird durch einen in die Mitte des Stützkörpers eingesetzten zahnförmigen Dorn oder durch Vorsprünge am Lagerkörper (Abb. 461) oder Stützkörper (Abb. 462) verhindert.

Die Abb. 464 und 468 geben Beispiele von Kugelkipplagern. (Punkt- und Kugelpapfenlager.)

Beispiel: Festes Linienkipplager für einen Auflagerdruck von 300 ton., Gurtbreite 70 cm (Abb. 461).

Nimmt man die Druckbeanspruchung des Auflagsquaders mit 25 kg/cm^2 an, so ist für das Lager eine Grundfläche von 12.000 cm^2 erforderlich. Wir wählen dementsprechend die Seitenlängen der Grundplatte mit $110 \times 110 \text{ cm}$. Der obere Lagerkörper erhält bei einer Breite von 90 cm eine Länge von 60 cm . Seine Stärke h berechnet sich bei Verwendung von Stahlguß nach Gl. 104 mit $h = \frac{1}{2} \sqrt{3 \cdot 300 \cdot \frac{60}{90}} = 12,5 \text{ cm}$. Der Stützkörper, ebenfalls aus Stahlguß, erhält bei einer Länge von 90 cm eine Breite von 18 cm ; der Druck auf den gußeisernen Lagerbock beträgt sonach nur ca. 200 kg/cm^2 . Seine Höhe folgt aus $h = \frac{1}{2} \sqrt{3 \cdot 300 \cdot \frac{18}{90}} = 6,7$, wofür aber 8 cm angenommen wurde. Der als Rippenkörper ausgeführte gußeiserne Lagerbock nimmt neben dem 8 cm starken Mittelstege ein Biegemoment $M = \frac{300 \cdot 51^2}{2 \cdot 110} = 3547 \text{ ton./cm}$ auf. Wir berechnen das Widerstandsmoment seines Querschnittes mit Hilfe der Tabelle auf S. 391 und wählen die Stärke der Grundplatte $d = \frac{1}{4} h$, die Rippenstärke $b_1 = 0,238 b$, erhalten sonach das Widerstandsmoment $W_u = 0,1071 b h^2$. Mit $b = 100 \text{ cm}$ ergibt sich $0,25 \cdot 10 \cdot 71 h^2 = 3547$ und $h = 36 \text{ cm}$. Damit folgt weiter die mittlere Stärke der Grundplatte 9 cm , die Gesamtrippenstärke (4 Rippen à 6 cm) mit 24 cm . Der Krümmungshalbmessr der zylindrischen Stützfläche wird nach Gl. 111 mit $r = 11 \frac{300}{90} = 37 \text{ cm}$ erhalten. Der Stützkörper ist durch Vorsprünge an den Lagerkörpern gegen Verschieben gesichert. Die Sitzflächen haben an den Stirnrändern 2 bis 3 cm breite Rinnen, damit beim Abhobeln der Hobel auslaufen kann.

B. Bewegliche Lager.

Wenn von den früher erwähnten, nur für kleine Auflagerdrücke verwendbaren Gleitlagern abgesehen wird, so kommen als bewegliche Lager Rollen-, Stelzen- und Pendellager in Betracht. Der Widerstand dieser Lager gegen Verschieben ist viel geringer als jener der Gleitlager; er beträgt bei einer Rolle oder Walze vom Durchmesser d (in cm) etwa $\frac{150}{d} \text{ kg}$ pro 1 ton. Auflagerdruck, wogegen der Gleitwiderstand auf ungeschmierten Flächen 200 kg und darüber betragen kann.

Die Walzen oder Rollen, d. s. volle Kreiszyylinder, liegen auf der festen Grundplatte des Lagers und tragen ein Kipplager von einer der vorstehend besprochenen Bauarten. Die Verschiebung dieses letzteren gegen die feste Grundplatte erfolgt durch Abwälzen der Walzen, wobei diese einen Weg gleich der Hälfte der Verschiebung zurücklegen. Die Verschiebungsgrenzen sind aus der Temperaturwirkung und aus jener der Belastung zu berechnen. Ist L die dilatierende Trägerlänge, $t = 30^\circ$ die Temperaturänderung gegenüber einem mittleren Wärmezustand, $\alpha = 0,0000125$ der Ausdehnungskoeffizient, so beträgt die Längenänderung $\Delta_1 = \alpha t L = 0,00037 L$. Die Belastung hat bei einem Balkenträger nur dann keine Lagerverschiebung zur Folge, wenn er in der neutralen Achse des Trägers

gelagert und diese selbst geradlinig ist (Linsenträger). Für den gewöhnlichen Fall, daß die auf den Auflagern ruhende Gurtung gerade ist, kann die Verschiebung der Lager mit ausreichender Genauigkeit

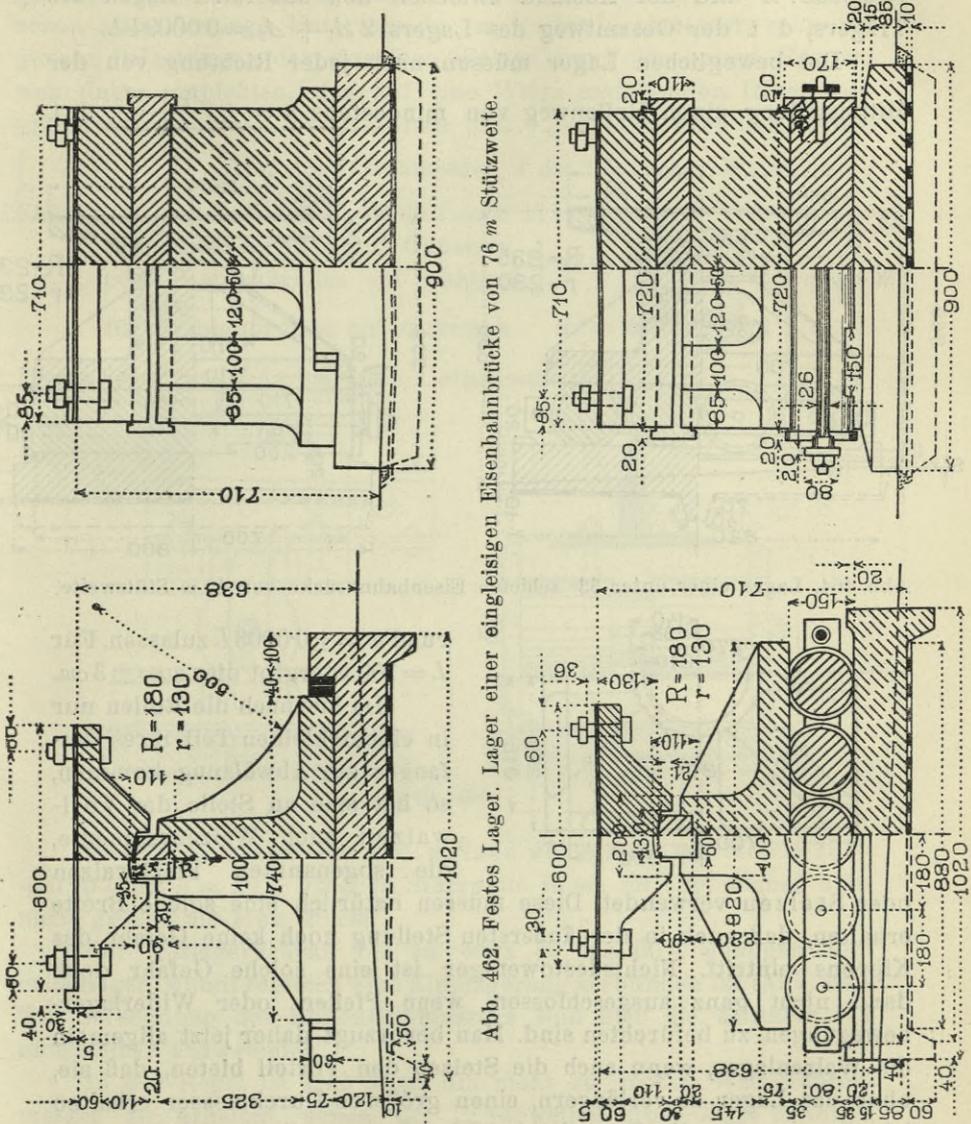


Abb. 462. Festes Lager. Lager einer eingleisigen Eisenbahnbrücke von 76 m Stützweite.

Abb. 463. Bewegliches Lager.

der unter der Belastung auftretenden Längenänderung der Gurte gleich gesetzt werden, d. i. $\Delta_2 = \frac{s}{E} L$, wenn s die von der Verkehrslast hervorgerufene Gurtspannung bezeichnet. Bei gesprengtem Unter-

gurt wird die Verschiebung noch etwas größer¹⁾. Setzt man darin den Mittelwert $s = 400 \text{ kg/cm}^2$, $E = 2,000.000$, so wird $\Delta_2 = 0,0002 L$, mithin die Gesamtverschiebung nach einer Richtung $\Delta_1 + \Delta_2 = 0,00057 L$ und der Abstand zwischen den äußersten Lagen des Trägers, d. i. der Gesamtweg des Lagers $2 \Delta_1 + \Delta_2 = 0,00094 L$.

Die beweglichen Lager müssen nach jeder Richtung von der Mittelstellung einen Rollenweg von mindestens $w = \pm \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$, d. i.

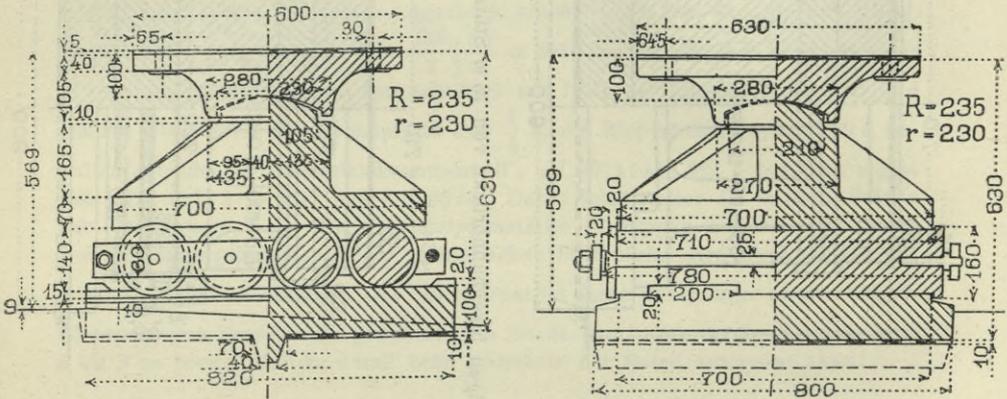
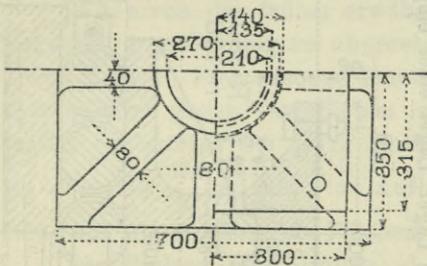


Abb. 464. Lager einer unter 33° schiefen Eisenbahnbrücke von 40 m Stützweite.



rund $w = \pm 0,0003 L$ zulassen. Für $L = 100 \text{ m}$ ergibt dies $w = \pm 3 \text{ cm}$.

Da hiernach die Rollen nur in einem kleinen Teil ihres Umfanges zur Abwälzung kommen, so hat man an Stelle der Vollwalzen auch Walzensegmente, die sogenannten Flachwalzen

oder Stelzen verwendet. Diese müssen natürlich eine solche Breite erhalten, daß auch in der äußersten Stellung noch keine Gefahr des Kippens eintritt. Nichtsdestoweniger ist eine solche Gefahr doch dann nicht ganz ausgeschlossen, wenn Pfeiler- oder Widerlagerbewegungen zu befürchten sind. Man bevorzugt daher jetzt allgemein die Walzenlager, wenn auch die Stelzen den Vorteil bieten, daß sie, ohne das Lager zu verlängern, einen größeren Durchmesser erhalten können, was für die Beweglichkeit des Lagers günstig ist.

¹⁾ Ist f die Sprengung des Untergurtes, δ seine Einbiegung in Trägermitte infolge Belastung, so ist Δ_2 annähernd um $\frac{16}{3} \frac{f}{L} \delta$ zu vergrößern.

Die Abmessungen der Walzen oder Stelzen sind nach den oben für Linienkipplager aufgestellten Formeln zu rechnen, nur ist zu berücksichtigen, daß bei mehr als zwei Rollen eine vollkommen gleiche Verteilung des Auflagerdruckes nicht zu erwarten ist, da schon ganz geringe Unterschiede im Rollendurchmesser sehr ungleiche Belastungen der einzelnen Walzen zur Folge haben. Es wird sich daher empfehlen, den auf eine Walze entfallenden Druck vergrößert anzunehmen, bei n Walzen und $n > 2$ etwa nach der Formel $\left(1 + \frac{n-2}{4n}\right) \frac{A}{n}$. Ist d der Durchmesser, l die Länge der Walzen oder Stelzen, so ergeben damit die Formeln 111

$$\left. \begin{array}{l} \text{für Gußeisenrollen auf Gußeisen} \\ \text{oder Stahlgußrollen auf Stahlguß} \end{array} \right\} dl = 22 \frac{5n-2}{4n^2} A \quad (114.)$$

$$\text{für Stahlgußrollen auf Gußeisen} \quad dl = 30 \frac{5n-2}{4n^2} A$$

Hierin ist d und l in cm , A in t einzusetzen.

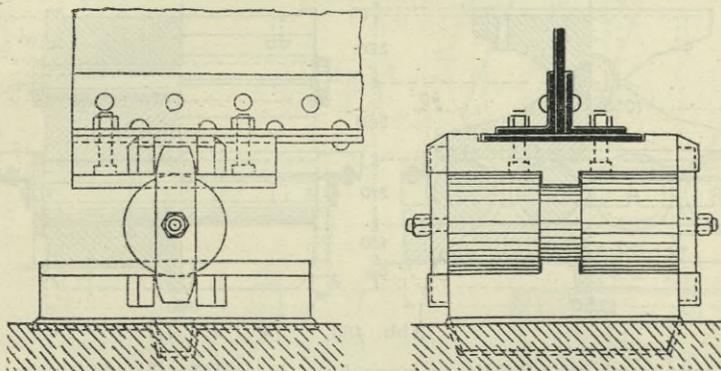


Abb. 465.

Den Durchmesser der Vollwalzen wähle man mit $d \text{ cm} = 10 + 0.15L$ bis $d = 20 + 0.2L$ (L Stützweite in m), im allgemeinen aber nicht größer als etwa 40 cm .

Für Auflagerdrücke bis zu etwa 40 bis $50 t$ genügen Einrollenlager, womit zugleich eine Kipplagerung verbunden ist (Abb. 465). Zur Berechnung des Rollenhalbmessers sind hier die Formeln 111 unmittelbar anzuwenden.

In der Regel ist man aber, um nicht zu großen Walzendurchmesser zu erhalten, schon bei Spannweiten über $25 m$ genötigt, mindestens 2 Rollen anzuordnen. Diese sind dann in ihrem gegenseitigen Abstände und in ihrer Parallelstellung durch Führungen zu sichern. Letztere bestehen aus zwei Flacheisen, die lose, auf in den Rollen befestigten Stiften aufgesteckt und entweder durch auf-

gesetzte Muttern festgehalten oder durch eine Verbindung ihre vorstehenden Enden mittels Rundisen zu einem Rahmen vereinigt sind (Abb. 463). Zweckmäßiger noch ist es, diesen Rahmen abnehmbar aus Winkleisen zu bilden (Abb. 466), wodurch eine leichtere Reinigung des Lagers möglich gemacht wird. Den Flacheisen gebe man eine Stärke von 20 bis 30 mm, eine Breite von 80 bis 100 mm, den Stifzapfen einen Durchmesser von 25 bis 30 mm.

Um bleibende Verschiebungen der Rollen gegen den Träger zu verhindern, die infolge von, mit Entlastungen des Lagers verbundenen Vibrationen entstehen können, bringt man häufig eine Zwangsführung an, in der Art, daß man an den Stirnflächen einer Rolle oder auch drehbar an dem Führungsrahmen ein senkrechtes, etwa 30 mm starkes Flacheisen befestigt, dessen zahnförmig gestaltete Enden zwischen Vorsprünge der Grundplatte und des Lagerkörpers eingreifen (Abb. 465). Anstatt des zahnförmigen Eingriffs könnte man die Enden des

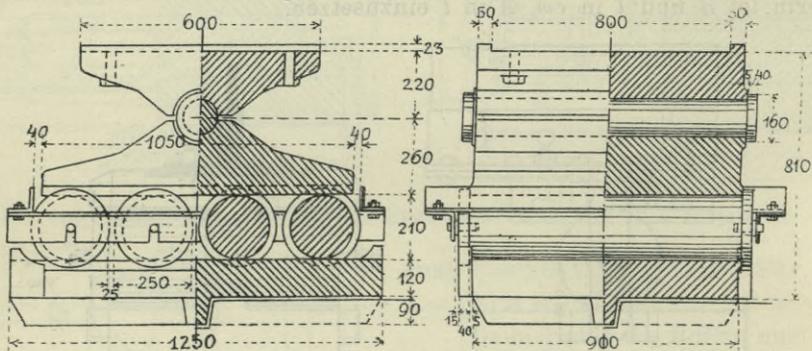


Abb. 466.

Flacheisens auch mit Schlitten versehen, in welche Zapfen eingreifen, die an der Unter- und Überlagsplatte angebracht sind. Gewöhnlich findet man aber nur den Weg der Rollen durch seitliche Ansätze an der Grundplatte begrenzt (Abb. 466), die ein vollständiges Abrollen der Rollen, beispielsweise bei stärkeren Pfeilerbewegungen verhüten sollen. Es empfiehlt sich aber, diese Randleisten nur an den Ecken zu geben und nicht über die ganze Breite der Grundplatte reichen zu lassen, da sie sonst dem Abhobeln hinderlich sind und Schmutzansammlung auf der Lauffläche begünstigen.

Die Walzen haben die senkrecht zur Brückenachse wirkenden wagrechten Kräfte aufzunehmen und sind gegen seitliche Verschiebung zu sichern. Man versieht sie zu diesem Zwecke mit Bundringen, mit welchen sie die Ober- und Unterplatte übergreifen. Unter Umständen kann es genügen, nur die mittelste oder die beiden äußeren Walzen mit solchen Bundringen zu versehen. Die Bunde erhalten

20 bis 30 mm Stärke und Höhe. Eine andere Versicherung besteht darin, daß man die Walzen unter Weglassung der Bundringe in ihrer Mitte mit einer 50 bis 80 mm breiten, etwa 20 mm tiefen Rille versieht, in die leistenförmige Erhöhungen der Grundplatte sowie der Überlagsplatte eingreifen (Abb. 465).

Bei Anwendung von Stelzen anstatt Vollwalzen kann, sofern die Pfeilerbeanspruchung unter dem Lager es zuläßt, die Länge des Lagers verringert werden. Den Durchmesser der Stelzen wählt man mit etwa 25 bis 40 cm. Ihre Breite müßte, der größten Verschiebung des Trägers entsprechend, mindestens $2w = 0.0006 L$ betragen, man macht sie aber zur Sicherheit reichlich größer, etwa $b = 0.4$ bis $0.6 d$. Der Zwischenraum zwischen den Stelzen, oder ihr gegenseitiger Abstand x soll mindestens diese Verschiebung zulassen, er darf aber nicht so groß sein, daß die Stelzen kippen können. Man findet aus diesen Bedingungen leicht (Abb. 467)

$$x > \frac{b}{\cos \frac{2w}{d}} \text{ oder } x > \frac{b}{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{2w}{d} \right)^2}$$

und

$$x < \frac{b}{\sqrt{1 - \left(\frac{b}{d} \right)^2}}$$

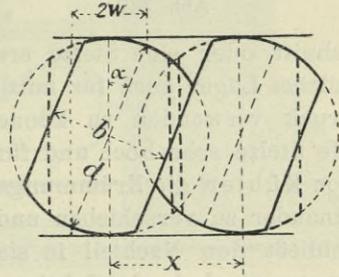


Abb. 467.

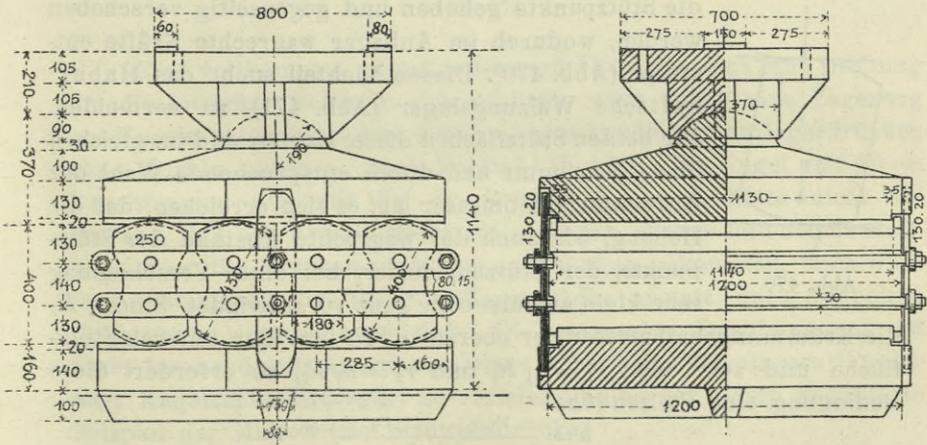


Abb. 468.

Der gegenseitige Abstand der Stelzen wird wie bei den Walzen durch Führungen gesichert, die man hier jedoch doppelt ausführt, um die Stelzen in paralleler Stellung zu erhalten. Man gibt den Stelzen entweder den Querschnitt eines vollen Zylinderabschnittes (Abb. 467)

oder versieht sie in der Mitte mit einer Einziehung (Abb. 468), in welchem Falle aber auf die Möglichkeit des Kippens oder Umfallens Bedacht zu nehmen ist (Abb. 469). Hier sind Sicherungen, welche zu weitgehende Verschiebungen und Gleitungen der Stelzen verhindern sollen, von besonderer Wichtigkeit. Sie bestehen in ähnlichen Mitnehmern wie bei den Walzen (Abb. 468) oder darin, daß man eine Stelze mit einem am Stirnende angegossenen Zahn in eine Vertiefung der Lagerplatte eingreifen läßt. Anstatt dessen kann man auch zahn-

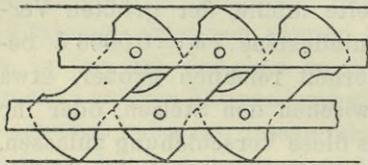


Abb. 469.

förmig Dorne in die Lauffläche einer Stelze einsetzen. Gegen seitliche Verschiebungen dienen wie bei den Walzen vortretende Stirnränder.

Auch bei dem oben besprochenen Einrollenlager kann die Vollwalze durch einen Walzenab-

schnitt oder eine Stelze ersetzt werden. Wählt man aber, um ein solches Lager auch für mittlere Spannweiten mit größerem Auflagerdruck verwenden zu können, einen großen Durchmesser, so wird die Stelze sehr hoch und für seitliche Kräfte unstabil. Ein Vorschlag von Kübler, die Krümmungsmittelpunkte der Wälzungsflächen gegeneinander zu verschieben und die Stelze niedriger $h < 2r$ zu machen, schließt den Nachteil in sich, daß dadurch die Beweglichkeit des Lagers stark beeinträchtigt wird, da bei Verschiebung des Trägers

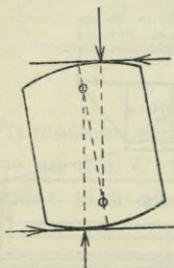


Abb. 470.

die Stützpunkte gehoben und gegenseitig verschoben werden, wodurch im Auflager wagrechte Kräfte entstehen (Abb. 470). Diesen Nachteil sucht das Haberkaltsche Wälzungenlager (Abb. 471) zu vermeiden. Die beiden Stützflächen dieses Lagers sind im gleichen Sinne gekrümmt und durch entsprechende Wahl der Krümmungshalbmesser läßt es sich erreichen, daß die Hebung, wie auch der wagrechte Abstand der Stützpunkte, der Stützungsfehler, bei einer Verschiebung sehr klein ausfällt oder ganz verschwindet. Sind r_1 R_1

die Krümmungshalbmesser der oberen, r_2 R_2 jene der unteren Stützfläche und setzt man $r_1 = \alpha_1 R_1$ und $r_2 = \alpha_2 R_2$, so erfordert diese Bedingung eine Stelzenhöhe

$$h = \frac{r_1}{1 - \alpha_1} + \frac{r_2}{1 - \alpha_2}.$$

Die Halbmesser r_1 und r_2 sind bei Annahme von α_1 und α_2 aus dem Auflagerdrucke A nach den Formeln 111 für das Linienkipplager zu rechnen. Gegenüber einem gewöhnlichen Einstelzenlager mit der Höhe $h = r_1^0 + r_2^0$ (für $\alpha = 0$) ergibt sich eine Verminderung der

Höhe allerdings nur dann, wenn die Stelze nach unten zu verbreitert (*l* vergrößert) wird.

Lager, welche eine Verschiebung sowohl nach der Längs- wie nach der Querrichtung gestatten sollen (siehe oben S. 385), erhalten zwei übereinanderliegende, unter 90° verstellte Rollensätze.

Soll nur für kleine Bewegungen nach der Querrichtung vorgesehen werden, so genügt es auch, wenn man dem oberen Kipplager durch entsprechende Spielräume die Möglichkeit einer kleinen Querverschiebung gibt. Allerdings muß dabei die gleitende Reibung überwunden werden, so daß diese Anordnung nur bei kleinen Auflagerdrücken funktionieren kann.

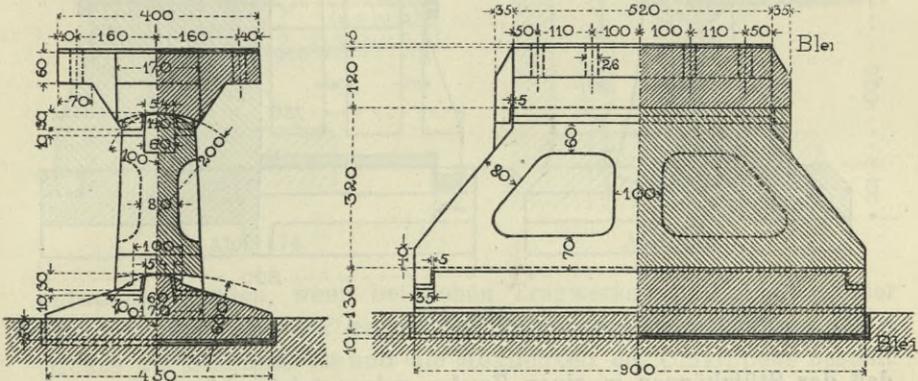


Abb. 471.

Eine vollkommen allseitige Beweglichkeit, die auch eine Drehung um die lotrechte Achse in sich schließt, wäre durch eine Lagerung auf Kugeln zu erzielen. Man müßte aber bei größeren Auflagerdrücken viele Kugeln geben — nach Formel 113 wäre eine Kugel von 20 cm Durchmesser nur mit 3 *t* zu belasten — und hätte nicht die Gewähr, daß alle Kugeln gleichmäßig tragen. Bisher sind solche Rollkugellager für Brücken nicht zur Ausführung gekommen, doch wäre ihre Anwendung für kleine Auflagerdrücke anstatt eines doppelten Rollensatzes immerhin möglich. Die wagrechte Drehbewegung ist sonst besser durch Anordnung eines sphärischen Kippagers (Punkt- oder Kugelzapfenkipplager) zu erzielen. (Siehe das unten angeführte Beispiel der Mierowitzer Stauwehrbrücke.)

Die Grundplatte der Rollenlager ist ziemlich kräftig zu halten, um auf eine gleichmäßige Verteilung des Druckes auf den Auflagsstein rechnen zu können. Man ermittle die Biegungsbeanspruchung der Platte, die sich ergibt, wenn man in jeder Walze den Druck $\frac{A}{n}$

und an der Unterseite der Platte den gleichmäßig verteilten Gegendruck $\frac{A}{l_1}$ annimmt, dabei aber die weitest verschobene Stellung der Walzen berücksichtigt.

Pendellager verbinden, ähnlich wie die Einstelzen- oder Einrollenlager, die Längsbeweglichkeit mit der Kipp Lagerung. Dadurch,

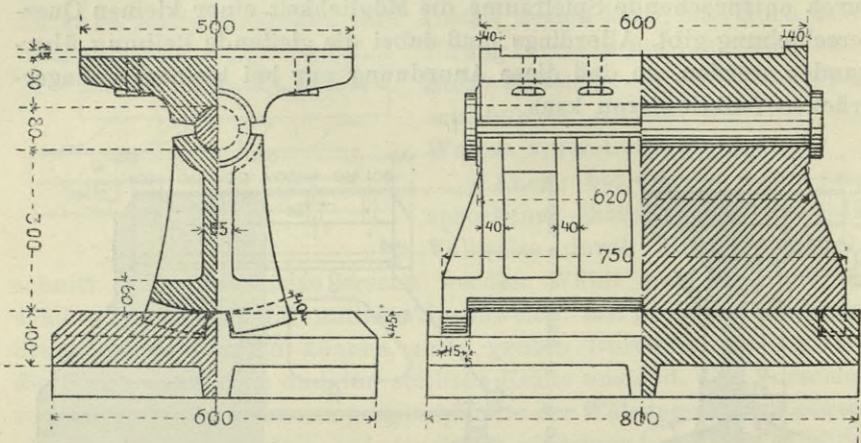


Abb. 472.

daß der Stützkörper in einen Zapfen gelagert ist und sich nur mit seiner unteren Fläche auf der Lagerplatte abwälzt, wird er niedriger als eine Stelze und es eignet sich ein solches Lager, wie nach Abb. 472, für mittlere Stützweiten und für einen Auflagerdruck bis zu etwa 120 bis 150 t. Seitliche Verschiebungen werden durch angegossene Bundringe, Längsverschiebungen des Pendels gegen die Unterlagsplatte durch zahnförmige Eingriffe verhindert.

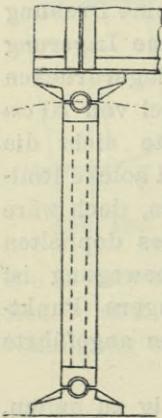


Abb. 473.

Pendelstützen, welche oben und unten gelenkig gelagert sind (Abb. 473), finden als bewegliche Auflager für einfache Balkenträger nur ausnahmsweise Anwendung, häufiger für kontinuierliche Träger von kleineren Spannweiten, deren Mittelpfeiler sie bilden, oder für die Auflagerung der Schwebeträger auf den Kragarmen der Auslegerbrücken. Die Pendelstützen müssen eine genügend große Länge erhalten, damit bei einer Verschiebung nur kleine Hebungen oder Senkungen des Auflagerpunktes eintreten.

C. Verankerte Auflager.

Ist, wie bei manchen kontinuierlichen Tragwerken und besonders bei Gerberträgern, die Gefahr des Abhebens von der Stütze vorhanden, so ist derselben durch eine lotrechte Verankerung zu begegnen. Unter Umständen kann eine solche Verankerung auch

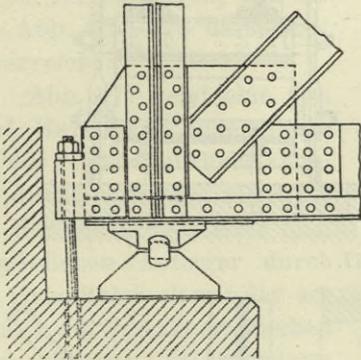


Abb. 474.

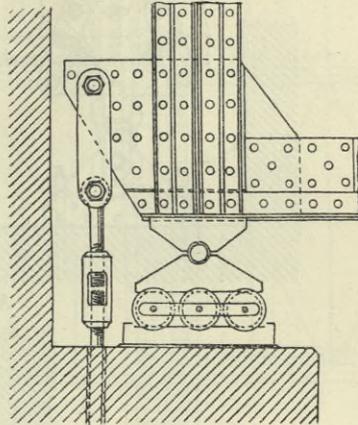


Abb. 475.

notwendig werden, wenn bei hohen Tragwerken mit oberliegender Fahrbahn das Bauwerk gegen die wagrechten Seitenkräfte an der Grenze der Stabilität ist und die Möglichkeit des Umkippens besteht. Das von den Anker gefaßte Pfeilergewicht muß hinreichend groß sein, um den nach aufwärts gerichteten Kräften mit mindestens zweifacher Sicherheit zu widerstehen.

Die Verankerung soll möglichst in die Achse des Trägersauflagers gelegt werden, doch wird häufig der Einfachheit wegen eine Anordnung gewählt, bei der die Anker hinter den Auflagern liegen (Abb. 474—476). Es ist aber damit der Nachteil verbunden, daß durch zu starkes Anziehen der Ankerschrauben oder bei Belastungen, die einen positiven Auflagerdruck in A hervorrufen, eine Einspannung des Trägerendes entsteht.

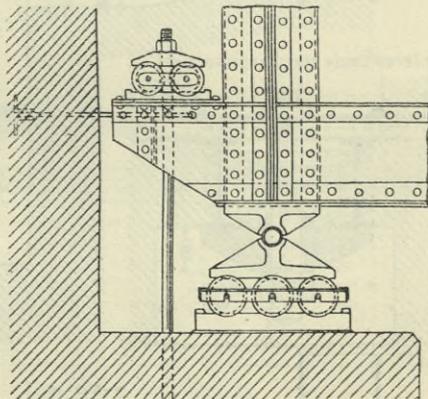


Abb. 476.

Die Anker können entweder an den Hauptträgern selbst oder

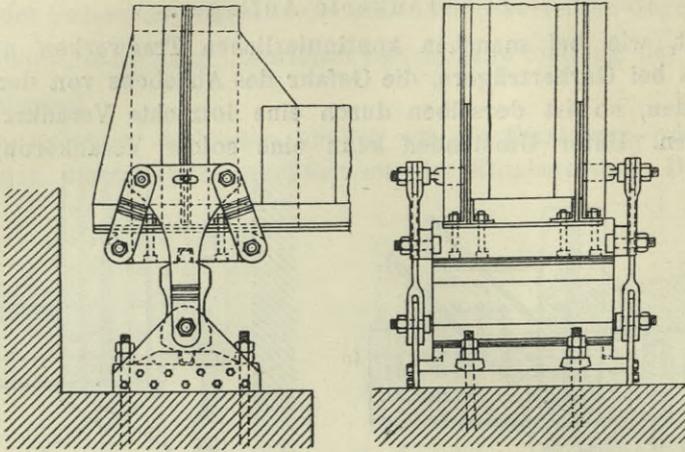


Abb. 477.

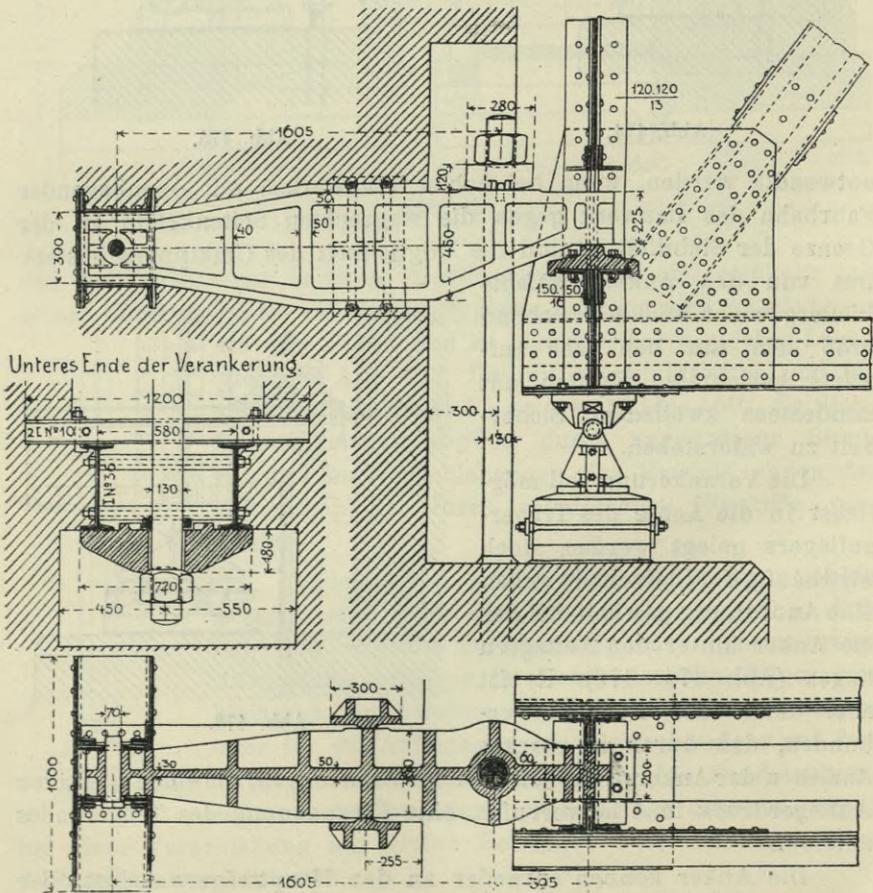


Abb. 478.

an dem über dem Auflager liegenden Querträger oder der Quer-
verbindung angreifen. Bei beweglicher, längsverschieblicher Auf-
lagerung muß dafür gesorgt werden, daß die Beweglichkeit
durch die Verankerung nicht behindert wird. Es ist dies
durch Anordnungen, wie sie die Abb. 475—478 darstellen,
zu erreichen.

Abb. 477 zeigt eine von Prof. Bernhard angegebene,
bei der Stößenseebrücke angewandte Konstruktion (D. R. P.),
bei der der Träger über dem beweglichen Auflager durch
ein Gelenkviereck mit der am Pfeiler durch Ankerschrauben
festgehaltenen Unterlagsplatte des Lagers verbunden ist.
Hierdurch wird bei Wegfall jeder Einspannung eine voll-
kommene Längsbeweglichkeit erzielt. Dasselbe gilt auch von
der in Abb. 478 dargestellten Anordnung, welche bei der Kaiserbrücke
in Breslau Anwendung gefunden hat.

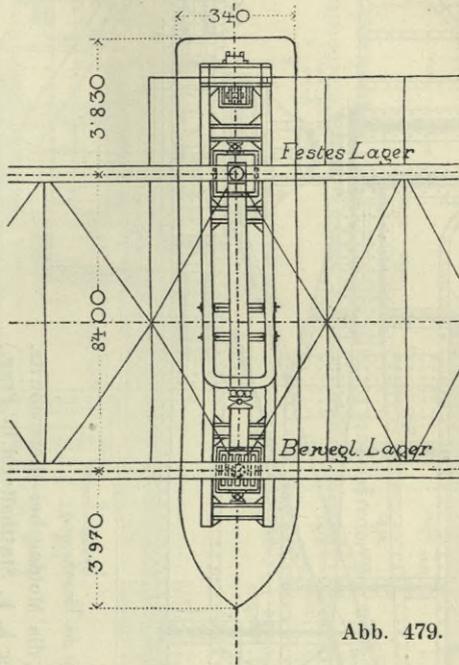


Abb. 479.

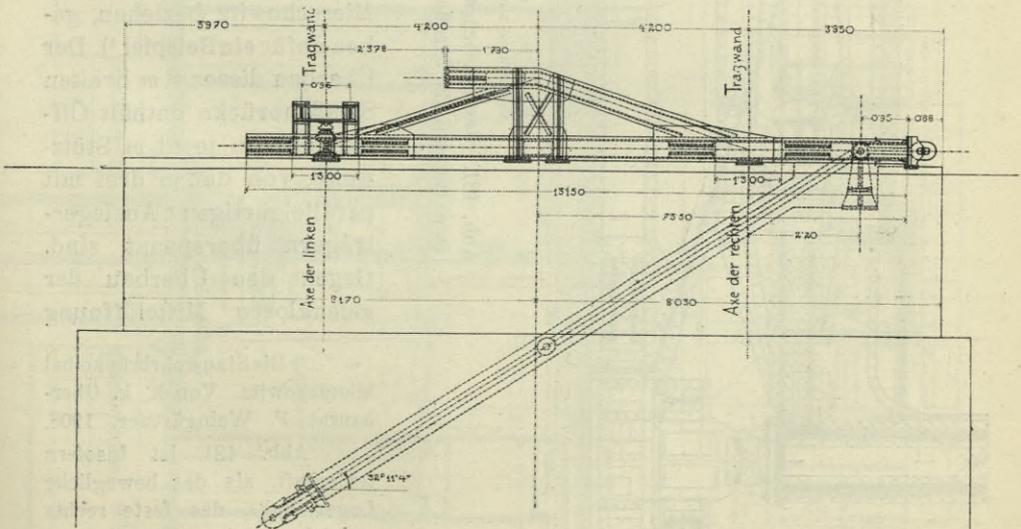
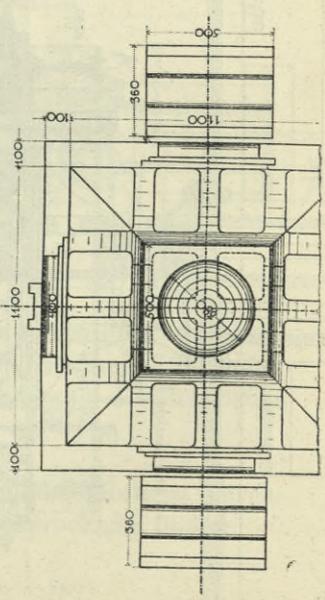
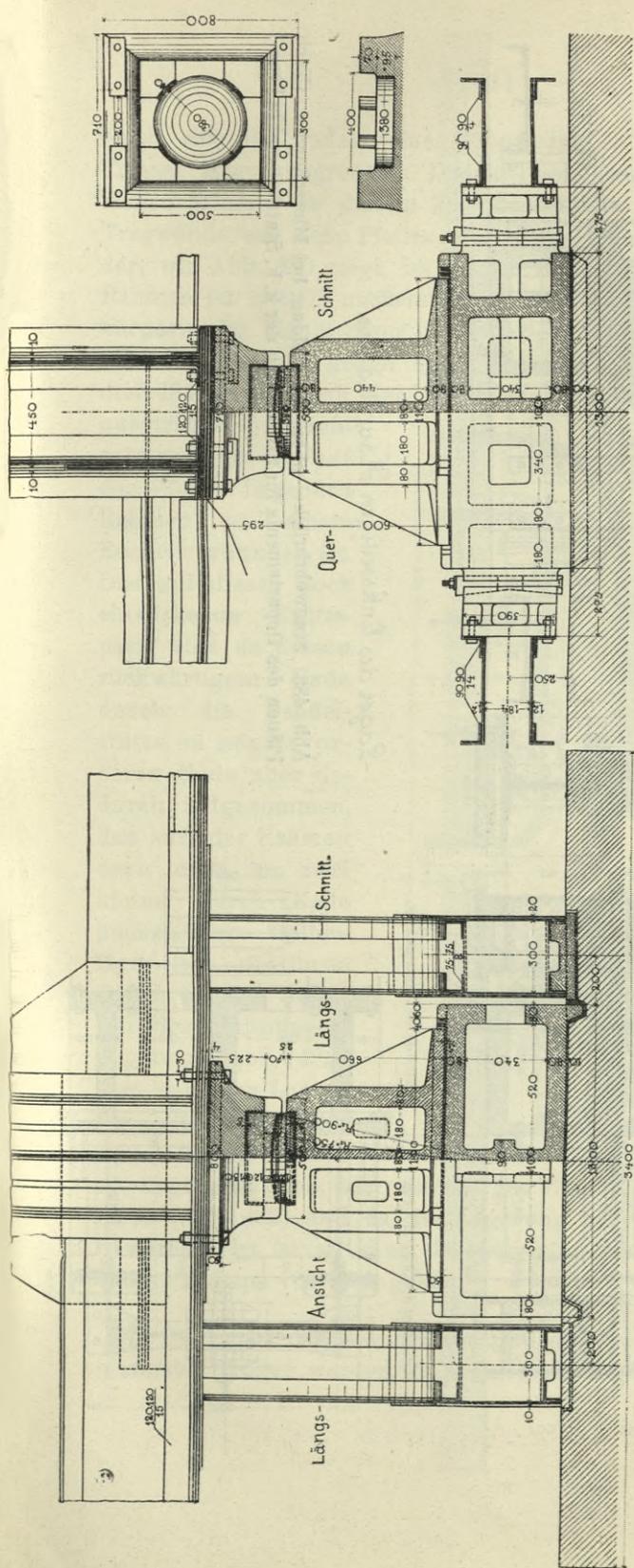
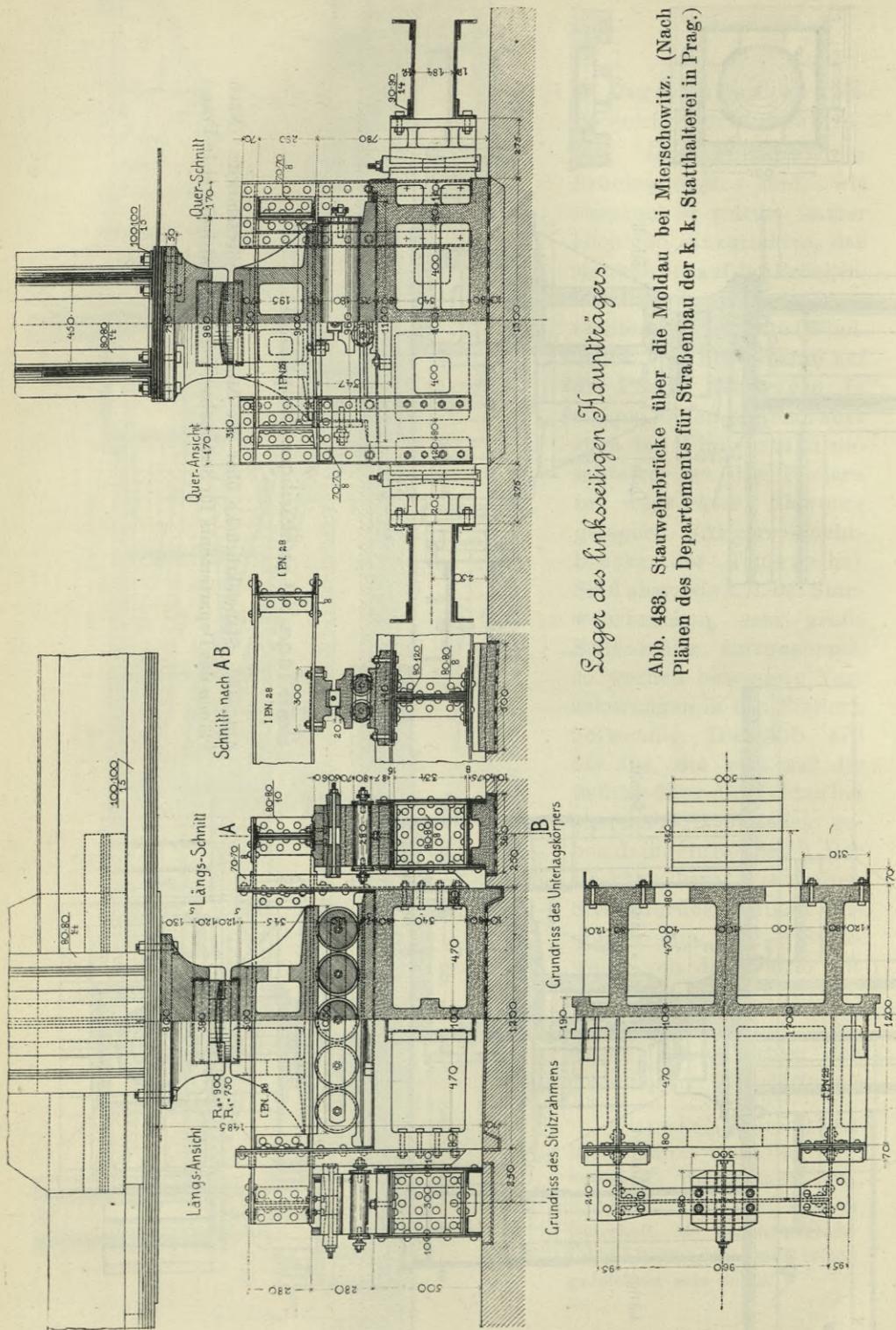


Abb. 480.



Festes Lager des rechteckigen Hauptträgers.

Abb. 482. Stauwehrbrücke über die Moldau bei Mierschowitz. (Nach Plänen des Departements für Straßenbau der k. k. Statthalterei in Prag.)



Sager des linksseitigen Hauptträgers

Abb. 488. Stauwehrbrücke über die Moldau bei Mierschowitz. (Nach Plänen des Departements für Straßenbau der k. k. Statthalerei in Prag.)

Nachträge.

Zu § 1. **Baustoff**, S. 15.

Eine Tabelle in der Ausstellung des Deutschen Stahlwerksverbandes auf der Leipziger Baufachausstellung (1913) gibt folgende

Durchschnittswerte der Qualitätszahlen für Flußeisen und hochwertigem Konstruktionsstahl.

	Streckgrenze <i>kg/mm²</i>	Festigkeit <i>kg/mm²</i>	Bruch- dehnung <i>%</i>
Flußeisen	25·8	39·4	29·0
Kohlenstoffstahl 0·2% <i>C</i>	28·3	46·6	24·9
Spezialstahl	32·1	56·7	22·2
Nickelstahl 3% <i>Ni</i>	39·4	53·0	26·5
Chromnickelstahl 3% (<i>Cr + Ni</i>)	40·2	62·4	17·0
Nickelstahl 5% <i>Ni</i>	42·9	59·1	18·3
Chromnickelstahl 4% (<i>Cr + Ni</i>)	53·0	69·3	15·5

Für den Bau der Kölner Rheinstraßenbrücke wird von der ausführenden Firma (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg) hochwertiger Flußstahl in drei Sorten angeboten: Kohlenstoffstahl mit 0·25 bis 0·3% *C*, Siemens-Martin-Nickelstahl mit 0·5 bis 1·0% *Ni* und besonderer Nickelstahl mit etwa 1·5% *Ni* und Zusätzen von *Cr*. Jede der Sorten soll eine Zerreißfestigkeit von 55 bis 65 *kg/mm²* und eine Längsdehnung von 18% besitzen.

Zu § 7. **Zulässige Beanspruchungen**, S. 47.

G. Lindenthal bringt für die Brücken der im Bau befindlichen Newyork Connecting Railway (Hellgate Bogenbrücke 300 *m* Sp.) die nachstehenden Regeln in Anwendung¹⁾.

Der dynamischen Einwirkung der Verkehrslast wird durch einen Zuschlag zu den größten, für ihre statische Einwirkung berechneten Spannungen Rechnung getragen. Dieser Zuschlag entspricht der Einführung eines Stoßkoeffizienten μ , mit dem die Verkehrslastspannung zu multiplizieren ist. Lindenthal setzt

$$\mu = 1 + \frac{S_p}{S_p + S_g} \frac{370 + a}{185 + 4a}$$

¹⁾ „Österr. Wochenschrift f. d. öffentl. Baudienst“ 1912, Nr. 47.

Hierin bezeichnet S_p die größte Spannung eines Konstruktionsteiles durch die statische Einwirkung der Verkehrslast, S_g die Spannung durch die ständige Belastung und a die Länge des Wagenzuges hinter den Lokomotiven, welche bei der Berechnung der Größtspannung in Frage kommt. Bei zwei Gleisen ist der Zuschlagskoeffizient $(\mu - 1)$ um 10⁰/₀, bei drei Gleisen um 20⁰/₀ zu ermäßigen.

Der Querschnitt für durch Verkehrslast und durch Eigengewicht beanspruchte Teile ist nach der Formel zu rechnen:

$$F = \frac{1}{s} (S_g + \mu S + S_h + S_z).$$

Hierin ist S_h die Spannung durch die wagrechten Seitenkräfte (Stöße der Fahrzeuge und Fliehkräfte) und S_z eine Zusatzspannung, die sich aus der Spannung durch Winddruck (S_w), durch Temperaturwirkung (S_t) und infolge der Bremskräfte (S_b) nach

$$S_z = S_w + S_t + S_b - 20\% (S_g + \mu S_p + S_h)$$

berechnet. Für Teile, die weder durch Verkehrslast noch durch Eigengewicht beansprucht werden, ist $F = \frac{1}{s} (S_w + S_t + S_h + S_b)$.

Die zulässige Beanspruchung s auf Zug für Flußeisen wird mit 1406 kg/cm² festgesetzt. Für Eisensorten höherer Festigkeit kann sie mit zwei Drittel der Elastizitätsgrenze oder ein Drittel der Bruchgrenze angenommen werden. Bei Blechträgern darf die Inanspruchnahme des Druckgurtes den Wert $(1406 - 14 \cdot 06 \frac{l}{b})$ kg/cm² nicht überschreiten, wenn l die ungestützte Länge und b die Breite des Druckgurtes bedeuten.

Zu § 8. Berechnung auf Knickung, S. 37.

Dr. Bohny¹⁾ will nur die Eulerformel, aber bloß für Stäbe mit $\frac{l}{i} > 105$ angewendet wissen. Stäbe mit $\frac{l}{i} < 105$ rechne man auf reinen Druck mit einer Inanspruchnahme, die genügend tief unter der Quetschgrenze (für Flußeisen im Mittel 2700 kg/cm²) gelegen ist.

Diese Angabe erscheint aber nicht ganz zureichend; denn wollte man für alle Druckstäbe mit $\frac{l}{i} < 105$ dieselbe Sicherheit gegenüber der Quetschgrenze wählen, wie für die Zugstäbe gegenüber der Zerreißfestigkeit (3800 kg/cm²), so hätte man erstere mit einer Inanspruch-

¹⁾ „Der Eisenbau“ 1913, Nr. 5.

nahme zu rechnen, die das $\frac{2700}{3800} = 0.7$ fache der Zuginanspruchnahme ist. Der Abminderungskoeffizient betrüge hiernach für alle diese Stäbe 0.7, während er sich bei $\frac{l}{i} = 105$ unter Anwendung der Eulergleichung plötzlich auf 0.5 zu verringern hätte.

Prof. A. Vierendeel¹⁾ setzt in der verallgemeinerten Eulergleichung (Gl. 2, S. 53) den Knickmodul $T = A - B \sigma_k$ und erhält damit die Knickfestigkeit

$$\sigma_k = \frac{P}{F} = \frac{\pi^2 A}{\pi^2 B + \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

Für $\sigma_k =$ Elastizitätsgrenze soll $T = E$ werden und die obige Formel in die Eulerformel $\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$ übergehen. Dieser Anforderung ent-

sprechen für Flußeisen die Koeffizienten $A = 5800$, $B = 2000 \text{ t/cm}$, so daß die Knickfestigkeit nach Prof. Vierendeel sich rechnet aus

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{58000}{20000 + \left(\frac{l}{i}\right)^2} \text{ für } \frac{l}{i} < 110 \text{ und } \sigma_k > 1.8 \text{ t/cm}^2$$

und

$$\sigma_k = \frac{22000}{\left(\frac{l}{i}\right)^2} \text{ für } \frac{l}{i} > 110.$$

Für Nickelstahl werden die Koeffizienten $A = 5200$ und $B = 1000 \text{ t/cm}^2$ angegeben.

Es sei hier ferner auf die bemerkenswerte Arbeit von Dipl. Ingenieur E. Elwitz (Düsseldorf 1912) „Über die Knickfestigkeit zentrisch und exzentrisch gedrückter, auch durch Querkräfte belasteter Stäbe“, sowie auf die, an die früher zitierte Abhandlung in „Eisenbau“ 1911 anschließende Abhandlung von Prof. Dr. Engesser „Über die Bestimmung der Knickfestigkeit gegliederter Stäbe“ in Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architektenvereins 1913, Nr. 47, aufmerksam gemacht.

Zu § 12. **Fahrbahntafel.** Berechnung der Hängebleche, S. 138.

Nach Engesser und Forchheimer („Die Berechnung ebener und gekrümmter Behälterboden“) rechne man für eine zylindrisch gekrümmte, an den Rändern eingespannte Platte mit der Spann-

¹⁾ „Les lois du Flambage“, Brüssel 1912.

weite l , dem Krümmungspfeil h und der Blechstärke δ , die mit p pro Flächeneinheit belastet ist, zunächst die Ausbiegung y_0 aus

$$y_0^3 + 3 h y_0^2 + 2 h^2 y_0 + \frac{3}{10} \delta^2 y_0 = \frac{3 p l^4}{64 \delta E (1 + \mu^2)}, \text{ worin } \mu = \frac{1}{3} \text{ bis } \frac{1}{4};$$

damit die Hilfsgröße

$$\alpha = \frac{32 \delta^3 E (1 + \mu^2)}{5 p l^4} y_0$$

und den Zug im Bleche

$$S = \frac{(1 - \alpha) p l^2}{8 (h + y_0)}$$

die größte Spannung im Bleche

$$\sigma_{max} = \frac{S}{\delta} + \frac{3 \alpha p l^2}{4 \delta^2}.$$

Zu Abb. 351, S. 293.

Diese Trägerform wurde zuerst von Haberkalt angegeben.

Einige Werke der deutschen Literatur über eiserne Brücken.

- E. Winkler, Vorträge über Brückenbau. Eiserne Brücken. Wien, C. Gerold, 1875, 1884.
- M. Foerster, Neuere Brückenbauten in Österreich und Ungarn. Leipzig, W. Engelmann, 1899.
- Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Bd. II, Brückenbau. 2. bis 6. Abteilung. Leipzig, W. Engelmann, 1906.
- E. Haeseler, Der Brückenbau, I. Teil. Eiserne Brücken. Braunschweig, G. Vieweg, 1893 bis 1908.
- Luigi Vianello, Der Eisenbau. München-Berlin, R. Oldenbourg, 1905.
- M. Struckel, Der Brückenbau. I. Teil, 2. Heft. Leipzig, A. Twietmeyer, 1911.
- G. C. Mertens, Eisenbrückenbau, I. Bd. Leipzig, W. Engelmann, 1908.
- Derselbe, Eisenbrückenbau in Försters Taschenbuch für Bauingenieure. Berlin 1911.
- K. Bernhard, Eiserne Brücken. Berlin, Verlag der deutsch. Bauz. 1911.
- G. Schaper, Eiserne Brücken. Berlin, W. Ernst & Sohn, 1911.

Auf Abhandlungen in Zeitschriften, von denen insbesondere die „Zeitschrift des Vereins der Ingenieure“ und „Der Eisenbau“ auf diesem Gebiete reiches Material liefern, wurde in den betreffenden Stellen durch Fußnoten im Texte verwiesen.

Druckfehlerberichtigungen.

- S. 64. Zeile 6 von oben:
anstatt η_1 soll es richtig heißen λ_1 .
- S. 97. Zeile 8 von oben:
anstatt δ soll es richtig heißen $d =$ Nietdurchmesser.
- S. 211, Zeile 7 von oben:
anstatt „in Teilen von Gl.“ soll richtig stehen „für die Last $G = 1$ “
- S. 279, Abb. 323 ist zu korrigieren:
es soll bei C ein festes Lager gezeichnet sein und bei F durch Einschaltung eines vollen Stabes anstatt eines der beiden gestrichelten Stäbe ein festes Gelenk.
- S. 311, in der ersten der Formeln 92 soll anstatt $\cos \beta$ richtig stehen $\operatorname{cosec} \beta$.

Der Brückenbau.

Nach Vorlesungen

gehalten an der deutschen technischen Hochschule in Prag

von Prof. Dr. techn. u. s. Johann Neuner

Der Brückenbau.

III. Band, 2. Hälfte.

Eiserne Brücken II. Teil

Wien 1885

LENGELER WIESE

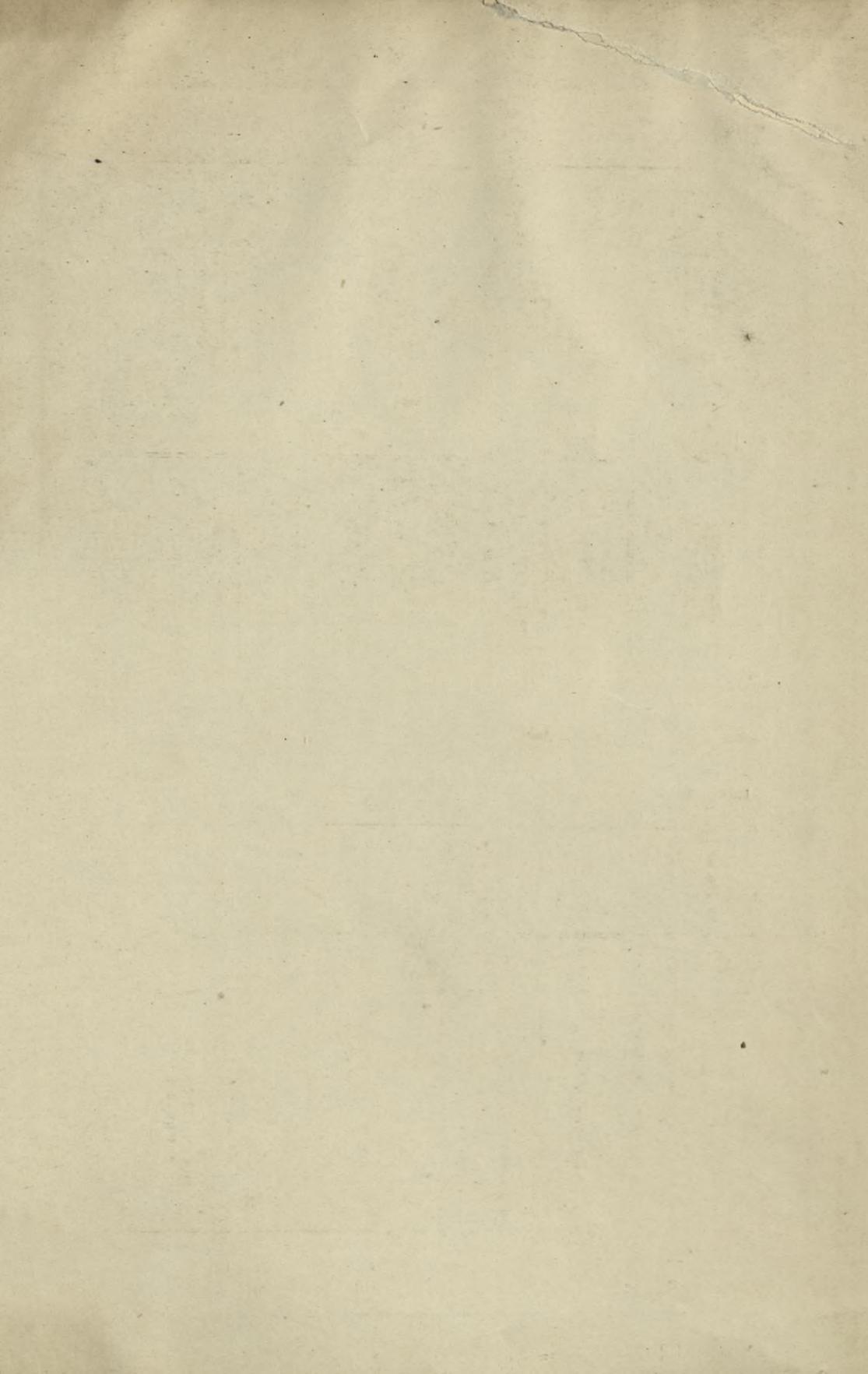
VERLAG DER VERLAGS-ANSTALT FÜR

50.00

250

Name und Lage	Jahr der Erbauung	Verkehrsart	Öffnungen		Trägersystem	Kosten, Literaturnachweis, Bahnlinie
			Zahl	Spannweite abgerundet in m		
Charentefluß bei Rochefort	1900		1	139.76	Kabelbrücke mit Auslegerarmen des Versteifungsträgers, Erbauer Arnodin	600.000 Mk.
Loiremündung bei Nantes	1903		1	141.0		
Hafeneinfahrt in Marseille Usbfluß bei Newport-Montshire, England	1904		1	165.0	Kabelbrücke mit Auslegerarmen des Versteifungsträgers, Erbauer Arnodin	2,670.000 Mk.
	1904	Rollwagen 32 m	1	196.25		
Merseyfluß zwischen Run-corn und Widness (England)	1905	Rollwagen 32 m	1	304.0	Kabelbrücke mit Versteifungsträger mit Mittelgelenken Erbauer Webster und Wood	520.000 Mk.
Hafeneinfahrt der kaiserlichen Werft in Kiel	1911		1	118.0	Kabelbrücke mit Versteifungsträger	
b) Amerika und Kolonien.						
Hafeneinfahrt bei Bizerta (Nordafrika)	1894		1	109.0	Kabelbrücke mit Versteifungsbalken Erbauer Arnodin	480.000 Mk.
Oberer See bei Duluth Nordamerika	1904		1	120.0	Balkenbrücke	2,000.000 Mk.





50.00

25



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349649

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349459

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000306089

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297569

B