**Zeitschrift:** Schweizerische Polytechnische Zeitschrift

**Band:** 4 (1859)

**Heft:** 1

**Rubrik:** Bau- und Ingenieurwesen

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 12.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

rend und zwar so lange wieder zuführt, bis sie vollkommen davon befreit sind. —

Neuerdings hat Th. Wiede diesen Ventilator-Wolf mit Plüs-Apparat als Basis nehmend, und seine an demselben gemachten Erfahrungen benutzend, die verschiedenen Mechanismen in eine harmonischere Ordnung gebracht und auf diese Weise eine Maschine hergestellt, welche ausser den bisherigen Vorzügen auch noch die eines systematischer stattfindenden Zusammenwirkens der Mechanismen, bequemeren Bedienung und leichteren Zugänglichkeit zur Maschine darbietet. Er rückte die Siebtrommel dem Schlagflügel näher, brachte den Ventilator unten an, wodurch natürlich die sehr oft hindernde Kanalführung nach oben fortfiel, und veränderte den Schlagflügel auf eine Art und Weise, dass er noch vollkommener wie bisher seinem Zweck entspricht. –

Bot schon der frühere Ventilator-Wolf gleich ins Auge springende grosse Vorzüge dar, so gilt diess in noch grösserem Massstabe von dem jetzigen, und bei der weiten Verbreitung, welche ersterer gefunden, ist es zu erwarten, dass Wiede's neuester Wolf sich in kurzer Zeit eine noch grössere Geltung verschaffen wird. –

Wir sahen diesen Ventilator oder Klettenwolf in Leipzig und bestätigen gern die sinnreiche Anordnung und tüchtige Bauart der Maschine; den Praktikern liegt es an, ihre Brauchbarkeit zur Reinigung der Wolle und Beseitigung von Kletten zu bezeugen.

---

# Bau- und Ingenieurwesen.

## Schweizerische Centralbahn.

### Gitterbrücke über die Aare bei Bern.*)

Mitgetheilt von Ingenieur R. Merian in Basel.

Taf. 3.

Die Aarbrücke bei Bern, welche im November 1858 dem Betrieb übergeben wurde, ist die bedeutendste ausgeführte Brückenkonstruktion auf der schweizerischen Centralbahn und bis jetzt auf sämmtlichen schweizerischen Bahnen. An Kühnheit wird sie zwar von der bekannten Sitterbrücke bei St. Gallen übertroffen, welche eine bedeutend grössere Höhe und nahezu die gleiche Länge des eisernen Oberbaues hat; diese Brücke ist aber nur für Ein Geleise angelegt, während die Aarbrücke bei Bern zwei Geleise und zugleich eine gewöhnliche Fahrstrasse trägt; die verwendete Masse, resp. die Baukosten sind daher bei letzterer Brücke nicht unbeträchtlich grösser. Eine Beschreibung der Aarbrücke, namentlich auch der Art und Weise, wie die kolossalen Gitterwände aufgestellt und auf die Pfeiler aufgebracht wurden, dürfte einiges Interesse für die Leser dieser Zeitschrift darbieten. Die Brücke, an welcher auch die Schönheit der Verhältnisse hervorzuheben ist, wurde entworfen vom frühern Oberingenieur der Centralbahn, Oberbaurath von Etzel; wir verweisen in Bezug auf die Detailszeichnungen auf das manchem Leser bekannte Werk: «Brücken und Thalübergänge schweizerischer Eisenbahnen, von Carl von Etzel».

Die Stadt Bern wird bekanntlich wie eine Halbinsel auf drei Seiten von dem mehr als 100 Fuss tief eingeschnittenen Thal der Aare begrenzt; nur gegen Westen zieht sich, in gleicher Höhe mit dem obern Theile der Stadt, ein Plateau in der Richtung gegen den Murtener und Neuenburger See hin. Auf diesem Plateau liegt der Bahnhof der Centralbahn; die Verbindung dieses Bahnhofes mit den beiden nördlich nach Basel und Zürich, südlich nach Thun führenden Bahnstrecken wird durch eine grosse Gitterbrücke vermittelt, welche der Fluss in einer Höhe von 145 Fuss (vom Mittelwasserstand bis an die Schienen gemessen) übersetzt, mit drei Oeffnungen von 166⅔, 190⅔ und 166⅔ Fuss Lichtweite, in der Höhe des Gitterauflagers gemessen. Die Dicke der Pfeiler beträgt 12 Fuss in derselben Höhe, die Lichtweite der Brücke zwischen den Widerlagern gemessen 548 Fuss. Die mittlere Oeffnung nimmt den Fluss auf, welcher auf

*) Die Beschreibung dieser Brücke ist vor einiger Zeit in der „Eisenbahnzeitung von Etzel und Klein" erschienen; die gegenwärtige Mittheilung aber ist weit vollständiger und namentlich die Berechnung neu hinzugekommen.

der innern Seite den Fuss der beiden Pfeiler bespült, während aussen an diese Pfeiler zu beiden Seiten eine anderhalbfüssige Böschung sich anschliesst und, die Widerlager zum grössten Theil in sich aufnehmend etwa 120 Fuss bis zur Höhe der untern Gitterkante ansteigt (Tafel 3, Fig. 1 und 2). Die beiden Pfeiler sind auf den Molassefelsen des Uferbettes gegründet, mit Sockel aus hartem Alpenkalkstein, die Hauptmasse derselben dagegen aus dem in der Nähe von Bern gebrochenen Molassesandstein: die Widerlager, auf Lehmkies gegründet, sind aus dem gleichen Sandstein gebaut. Pfeiler und Widerlager sind oben mit einem 12 Fuss hohen Aufsatz von Alpenkalkstein gekrönt, welcher mit starken gusseisernen Consolen zu beiden Seiten gleichsam das Kapitäl der hohen Säulen bildet. Die Consolen, indem sie den Uebergang von den Pfeilern zu den horizontalen Linien der Gitterwände vermitteln, dienen zugleich dazu, die Auflage des Gitters auf den Pfeilern zu verlängern und dadurch die freien Spannweiten etwas zu vermindern.

Die Brücke trägt oben zwei Geleise, unten eine Fahrbahn für gewöhnliche Fuhrwerke, welche seitlich an den Gitterwänden eingeschlossen, oben durch eine vollständige Bedielung der Bahngeleise gegen das Herabfallen von Kohlen u. A. geschützt isl. Diese Fahrbahn ist an jedem Ende der Brücke durch das Widerlager geführt, wendet sich dann rechts und links unter einer Blechbrücke von 30 Fuss Lichtöffnung hindurch, und folgt nachher zu beiden Seiten dem Fusse des Bahndammes (Fig. 2).

Die Eisenkonstruktionen, der ganzen Länge nach in Einem Stücke hergestellt, besteht aus zwei Gitterwänden, 17 Fuss von Mittel zu Mittel entfernt und 19.626 Fuss hoch; sie sind durch starke Rahmen aus Eisenblech und Winkeleisen (Fig. 5) mit einander verbunden, welche, in Abständen von je 8 Fuss (über den Auflagern des Gitters nur 5.33 Fuss) angebracht, die Bahnträger und zugleich die Vertikalversteifungen des Gitters bilden. Oben liegen auf Querschwellen die beiden Geleise, und zwar in solcher Weise, dass die äussere Schiene eines Geleises über der Mitte der betreffenden Gitterwand liegt, während die innere Schiene durch einen auf den Querträgern ruhenden Längenträger von Eisenblech unterstützt wird. Da bei dieser Anordnung der Geleise die ganze Last eines Zuges beinahe nur von der einen Gitterwand getragen wurde, so sind die Querträger sehr stark konstruirt und durch Büge in den 4 Ecken verstreift, um die beiden Gitter gleichsam zu einem massiven Balken zu vereinigen; die weiter unten angeführten Einsenkungen bei der Probefahrt beweisen auch, dass der beabsichtigte Zweck erreicht wurde, indem bei Belastung nur des einen Geleises das andere Gitter ungefähr $1/5$ der einseitigen Last trägt, während es nach statistischer Berechnung blos $1/7$ dieser Last erhielte.

Die Flanschen (Gurtungen) der Gitterwände, deren Construktion aus Fig. 4 ersichtlich ist, sind symmetrisch angeordnet, indem die Widerstandsfähigkeit des Walzeisens gegen Zug und Druck gleich gross angenommen wurde; die Flanschen haben, je nach der Beanspruchung an den verschiedenen Stellen, einen verschiedenen Querschnitt erhalten*), welcher über den beiden Pfeilern am stärksten ist (Fig, 4 d), dann stufenweise abnimmt und im grössten Theil der Länge nur das Minimum der Stärke (Fig. 4 a) hat. Durch diese wechselnden Querschnitte wurde, gegenüber einem Gitterbalken von durchgehend gleichem Querschnitt, eine Ersparniss von 1100 Ztr. Walzeisen erzielt, bei gleicher Sicherheit an den stärkst beanspruchten Stellen. Die Zu- und Abnahme des Flanschenquerschnittes bot, bei der angenommenen Construktion der Flanschen, durchaus keine Schwierigkeit für die Ausführung dar. Als stärkste Beanspruchung des Walzeisens in den beiden Flanschen auf Zug wie auf Druck ergiebt die Rechnung, bei einer zufälligen Belastung der Brücke mit 46 Zentner pro laufenden Fuss (20 Zentner für jedes Geleise, 6 Zentner für die 12 Fuss breite untere Fahrbahn), 6,9 Kilogramm pro Quadratmillimeter oder 124 Zentner pro Quadratzoll schweiz. Maass, also eine 4,4-fache Sicherheit, wenn wir nach gewöhnlicher Annahme 30 Kilogramm pro Quadratmillimeter als Bruchbelastung für gewöhnliches Walzeisen annehmen. Diese Beanspruchung ist jedoch auf die in Wirklichkeit niemals eintreffende Voraussetzung gegründet, dass zwei Züge, jeder aus lauter Lokomotiven bestehend, auf der Brücke sich kreuzen, während zugleich die untere Fahrbahn mit Menschen dicht besetzt ist. In den gewöhnlichen Fällen, wo nur Ein schwerer Zug mit zwei Lokomotiven über die Brücke fährt, ist das Gitter der betreffenden Seite nur mit 5,6 Kilogramm pro Quadratmillimeter oder 100 Zentern pro Quadratzoll beansprucht; die Sicherheit ist also 5,4-fach. Das andere Gitter wird in diesem Falle nur etwa halb so stark, nämlich nur wenig mehr als durch sein Eigengewicht beansprucht. Für die Gitterstäbe giebt die Rechnung für die stärkst beanspruchten Stellen, d. h. über den beiden Pfeilern, 7 Kilogramm pro Quadratmillimeter oder 126 Zentner pro Quadratzoll, für den letztern der beiden oben angenommenen Fälle.

Die Ausführung der Eisenkonstruktion wurde den Hrn. Gebrüdern Benckiser in Pforzheim übertragen, welche schon mehrere Gitterbrücken mit geringern Spannweiten auf der Centralbahn ausgeführt hatten. Es wurde für diese Arbeit eine Bauhütte auf dem linken Aareufer, in der Höhe des Gitterauflagers auf den Pfeilern, errichtet mit einer Dampfmaschine von 6 Pferdekräften, welche folgende Werkzeugmaschinen trieb: eine Biegmaschine zum Geraderichten des Flach- und Winkeleisens, eine Stanzmaschine; drei Bohrmaschinen; zwei Drehbänke, wovon einer auch zum Schraubenschneiden eingerichtet; ein Ventilator und ein Blasebalg. Zur Anfertigung der Nieten und den übrigen Schmiedarbeiten war ein grosses doppeltes und vier kleinere Schmiedfeuer eingerichtet. Die Ausführung leitete mit grosser Gewandtheit und Sachkenntniss Ingenieur

*) Diese Querschnitte weichen von den in den Brücken und Thalübergängen schweizerischer Eisenbahnen angegebenen etwas ab, indem letztere zur Erleichterung der Ausführung später modifizirt wurden; bei dieser Modifikation wurde zugleich die obige, ursprünglich nicht beabsichtigte Abwechslung in den Querschnitten, den Biegnngsmomenten entsprechend, eingeführt.

Bernhard Bilfinger als Geschäftsführer der Unternehmer. Die Zahl der beschäftigten Arbeiter betrug im Maximum 125.

Das Zusammensetzen, Bohren und Vernieten der Gitterwände geschah auf die gewöhnliche Weise, d. h. in horizontaler Lage auf einem Werksatz von eingerammten Pfählen mit aufgesetzten Langhölzern und Querbalken. Da der disponible Raum für die Hütte nicht Länge genug darbot, um die ganze Länge eines Gitters (560 Fuss) auf einmal anzufertigen, so wurden die beiden Gitterwände zuerst in Längen von 230 Fuss hergestellt, aufgerichtet und die Querträger eingenietet; dieser fertige Theil der Brücke wurde dann über das Widerlager bis in die Mitte der ersten Oeffnung vorgeschoben, wodurch hinten Raum entstand, um in der Bauhütte eine zweite Abtheilung der beiden Gitter anzufertigen und aufzurichten. Nachdem diese zweite Abtheilung mit der ersten verbunden worden, wurde wieder vorgeschoben, und zwar diesmal über den ersten Pfeiler hinüber bis in die Mitte der zweiten Oeffnung. Endlich wurde der letzte Drittheil der Gitterwände angefertigt und angesetzt, und dann die fertige Brücke vollends bis auf das jenseitige Widerlager hinübergeschoben. Um an den Stellen, wo die Gitterwände zusammengesetzt wurden, keine Ungleichheit zu bekommen, wurde jedesmal ein Stück von etwa 40 Fuss Länge, welches mit dem vorhergehenden Theil der Gitterwand zusammengepasst und zusammengebohrt war, nicht mit vernietet, sondern auf dem Werksatz gelassen, um als Anfang für die Fortsetzung der Gitterwände zu dienen. Dieses Zwischenstück wurde dann, erst nachdem die Fortsetzung ebenfalls zusammengenietet und aufgerichtet war, Stück für Stück in vertikalen Lagen an die beiden Gittertheile, an welche es schon angepasst war, angesetzt und damit vernietet. Es wurde auf diese Weise eine völlige Gleichförmigkeit der Gitterwände in der ganzen Länge erreicht. Es verdient hervorgehoben zu werden, dass sämmtliche Nietlöcher gebohrt wurden, was unstreitig dem Ausstanzen mit der sogen. Lochmaschine weit vorzuziehen ist. Beim Ausstanzen ist es nämlich nicht zu vermeiden, dass die Löcher in den verschiedenen zu verbindenden Platten manchmal nicht völlig genau auf einander passen; sie müssen dann nach dem Zusammensetzen ausgerieben werden, und es entsteht ein Loch, welches bald nach der einen, bald nach der andern Seite erweitert ist, und welches somit durch die Niete unmöglich genau ausgefüllt werden kann. Beim Bohren dagegen werden sämmtliche Theile, welche durch eine Niete verbunden werden sollen, mit einander gebohrt; man erhält also ein vollkommen cylindrisches Nietloch, welches, wenn die Durchmesser der Nieten und der Löcher richtig gewählt sind, von der Niete vollkommen ausgefüllt wird.

Gleichzeitig mit den Gitterwänden wurden auch die Querträger angefertigt (ihre Form ist aus Fig. 5 ersichtlich) und zwar in hölzernen mit Eisen beschlagenen Rahmen, um durchweg genau gleiche Dimensionen zu erhalten. Beim Vernieten der Querträger wurden aber diejenigen Nieten, welche die verticalen Theile dieser Querrahmen mit den horizontalen verbinden, weggelassen, so dass der fertig gebohrte und genietete Querträger in seine 4 Seiten auseinandergenommen werden konnte. Die beiden vertikalen Theile wurden dann jeder an das betreffende noch auf dem Werksatz liegende Gitter angenietet, und verliehen demselben die gehörige Steifigkeit beim Aufrichten in die vertikale Stellung. Die horizontalen Theile der Querträger wurden erst, nachdem beide Gitterwände aufgerichtet waren, mit dem einen Gitter verbunden und dann das andere Gitter mit seinen vertikalen Querträgertheilen in die horizontalen Theile hineingeschoben, worauf durch Schlagen der noch fehlenden Nieten die vier Querträgerseiten und dadurch zugleich die beiden Gitterwände fest mit einander verbunden wurden.

Eine nicht ganz leichte Aufgabe war das Aufrichten der Gitterwände aus der horizontalen in die vertikale Stellung, da es sich hier darum handelte, eine Last von 2000 bis 3000 Zentner, welche auf eine Länge von 150 bis 230 Fuss vertheilt war, gleichmässig in die Höhe zu heben. Der Dachstuhl der Bauhütte, die bei ihrer grossen Ausdehnung möglichst leicht construirt worden war, besass nicht Festigkeit genug, um daran Flaschenzüge zum Heben einer so bedeutenden Last anzubringen. Das Aufrichten geschah daher mittelst Winden, und zwar wurden für eine Gitterwand von 230 Fuss Länge und nahe an 3000 Zentner Gewicht ungefähr 30 Winden verwendet, worunter die meisten von 100, einige von 200 Zentner Tragkraft. Nachdem auf diese Weise die eine (obere) Flansche der Gitterwand etwa 7 Fuss über den Boden gehoben war, wurden an verschiedenen Stellen der Gitterwand etwa 7 Fuss über derselben Dreiecke *a b c* aus Balken befestigt (Fig. 3); je zwei dieser Dreiecke, in 9 Fuss Entfernung von einander, waren durch Längenbalken und Kreuze mit einander verbunden, und der Längenbalken *e* diente nun wieder als Angriffspunkt für die Winden. Die Gitterwand wurde wieder um einige Fuss gehoben; dann wurde an jedes dieser Balkendreiecke ein zweites Dreieck *a c d* angesetzt, und der untere Längenbalken *f* dieser fächerförmigen Balkensysteme diente wieder zum Ansetzen der Winden. Auf eine Gitterwand von 230 Fuss Länge waren 12 dieser fächerförmigen Hebevorrichtungen *a b c d* vertheilt.

Nachdem so nach einander beide Gitterwände aufgerichtet, und dann auf die oben beschriebene Weise die Querträger sowie auch die übrigen Theile der Eisenbahnkonstruktion — Längenträger für die innern Schienenstränge, Buge in den 4 Ecken der Querträger, Diagonalstangen — angebracht waren, wurde jedesmal der fertige Brückentheil vorgeschoben. Das Vorschieben auf die Pfeiler geschah mittelst Walzen, auf ganz analoge Weise, wie dies früher in dieser Zeitschrift (Jahrgang 1857, p. 84) bei Anlass der Aufstellung der Thurbrücke bei Andelfingen ist beschrieben worden. Ein wesentlicher Unterschied war jedoch der, dass man bei den bedeutenden Spannweiten der Berner Aarbrücke es nicht wagen durfte, die Gitterkonstruktion frei über eine ganze Oeffnung wegzuschieben, namentlich nicht über die mittlere Oeffnung von 190 Fuss; es wäre hiebei, wie eine einfache Berechnung der Biegungsmomente zeigt, das Gitter durch sein Eigengewicht beinahe dreimal so stark auf Biegung beansprucht worden, als in seiner definitiven Stellung durch die grösste vor-

kommende zufällige Last. Es wurde daher jeweilen in der Mitte einer Oeffnung ein Pfeiler von Tannenholz errichtet; Fig. 5, $5^a$ und $5^b$ stellt den Pfeiler für die mittlere Oeffnung dar. In der Mitte des Flusses, ebenso in der Mitte der beiden Böschungen wurden Pfähle geschlagen (s. Fig. 1) und ein Schwellenrost auf diese gelegt. Das bis in die Mitte der ersten Oeffnung vorgeschobene Gitter diente als Gerüst, um den Holzpfeiler aufzustellen. Nachdem dann auf diesem provisorischen Pfeiler ebenfalls Walzen angebracht und die Brücke über den ersten steinernen Pfeiler weg bis in die Mitte der zweiten Oeffnung geschoben worden, konnte der Holzpfeiler auf dem linken Ufer weggenommen werden. In der Mitte des Flusses wurde nun auf dem Pfahlroste der untere Theil des in Fig. 5 dargestellten Holzpfeilers gerade bis zur Höhe des Schwellenrostes in den beiden Böschungen (bis zur Linie *ee*) aufgerichtet; auf diese untere Hälfte wurde dann der schon in der ersten Oeffnung benutzte Holzpfeiler aufgesetzt, und zwar wurde derselbe, in einzelne Wände zerlegt, mittelst zweier oben auf den Gitterwänden errichteten Laufkrahnen in die Höhe gezogen und neben dem Steinpfeiler vorbei von der ersten in die zweite Oeffnung gebracht. Auf gleiche Weise wurde später der provisorische Pfeiler aus der zweiten in die dritte Oeffnung versetzt. So diente abwechselnd die Gitterkonstruktion der Brücke als Gerüst zum Versetzen des Holzpfeilers und letzterer als Stützpunkt zum Fortschieben des Gitters. Fig. 1 stellt die Brücke dar, wie sie beinahe das rechte Widerlager erreicht hat und mit ihrem vordern Ende auf dem Holzpfeiler ruht; in der Mittelöffnung steht noch der untere Theil des dort benutzten Pfeilers.

Die Pfeiler hatten, indem sie als Stützpunkte zum Vorwärtsschieben der Gitter dienten, wie man sich leicht überzeugen wird, einen Schub in entgegengesetzter Richtung auszuhalten, welcher also den obern Theil der Pfeiler gegen das linke (Berner) Ufer zu bewegen strebte. Bei den Steinpfeilern war dieser Schub, wie eine ganz genaue Beobachtung gezeigt hat, ohne den geringsten Einfluss; bei den hölzernen dagegen war eine nachtheilige Bewegung in der angegebenen Richtung zu befürchten. Es wurde, um diese zu verhindern, das obere Ende der Holzpfeiler jeweilen mittelst zweier hölzerner Längenbalken, gegen den vorhergehenden Steinpfeiler angestemmt; diese Längenbalken, von denen ein Stück aus Fig. 5 (mit *s* bezeichnet) ersichtlich ist, waren mittelst eiserner Bügel an die untere Gitterflansche angehängt, natürlich so, dass diese Bügel bei der Fortbewegung des Gitters über die Längenbalken weggleiteten.

Die Vorrichtung zum Schieben der Gitterkonstruktion ist in Fig. 6 dargestellt. Die Gitter wurden auf schmiedeiserne Walzen gelegt, welche für die Nietenköpfe der Gitterflanschen Rinnen von entsprechender Tiefe enthielten und in gusseisernen Lagern ruhten. Die beiden Lager einer Walze ruhten wieder auf einer gemeinsamen starken gusseisernen Platte. An der äussern Seite einer jeden Walze war ein 24 Fuss langer Hebel angesteckt, aus einem kleinen Baume bestehend, unten mit seinem aus zwei Blechtafeln gebildeten Kopfe die Walze umfassend, zugleich mit einem Sperrkegel in das auf der Walze aufgekeilte Sperrrad eingreifend; am obern Ende waren je zwei gegenüberstehende Hebel durch eine Querstange verbunden, und an dieser Stange zogen die Arbeiter, oben auf der Brücke stehend, die Hebel abwechselnd vorwärts und rückwärts. Beim Schieben über die letzte Oeffnung, wo es sich um Fortbewegung einer Last von 18000 Zentnern handelte, waren 5 solcher Walzen- und Hebelpaare angebracht, und an jeder Querstange zogen 20 Mann, im Ganzen also 100 Mann. Diese Zahl von Arbeitern konnte die ungeheure Last mit mässiger Anstrengung fortschieben. Bei jedem Schube bewegte sich die Brücke um 2 bis 3 Zoll vorwärts, und das Vorrücken betrug per Stunde 10 bis 15 Fuss, wenn keine ausserordentliche Störung eintrat. Natürlich fehlte hie und da etwas, so dass das Vorrücken im Allgemeinen weniger rasch war und durchschnittlich nicht über 50 bis 60 Fuss in einem Tage betrug.

Es ist wohl einleuchtend, welches bedeutende Ersparniss an Gerüsten diese Methode des Aufbringens auf die Pfeiler gegenüber der früher angewandten Methode darbot, bei welcher die ganze Oeffnung von einem Pfeiler zum andern ausgerüstet wurde. Der ganze Aufwand für Rüstungen beschränkte sich hier auf den Holzpfeiler in der Mitte der Flussöffnung und die paar Pfähle in den Seitenöffnungen. Das Gewicht der Eisenkonstruktion beträgt laut Abrechnung 19367 Zentner, wovon 17697 Zentner Schmid- und Walzeisen und 1670 Zentner Gusseisen sind. Das verwendete Walzeisen ist englisches Fabrikat, das zu den Nieten verwendete Schmiedeisen dagegen Holzkohleneisen von vorzüglicher Qualität aus badischen Eisenwerken. Das Gesammtgewicht vertheilt sich folgendermassen auf die verschiedenen Theile der Construktion:

| | Schmiedeisen Zentner | Gusseisen Zentner |
|---|---|---|
| Gitterwände . . . . . | 10319 | — |
| Querträger . . . . . | 5730 | 298 |
| Längenträger für die innern Schienenstränge | 1156 | — |
| Geländer und eiserne Befestigungsmittel der Fahrbahnschwellen . . . . . | 187 | 118 |
| Auflagerplatten und Consolen . . . . | 305 | 1254 |
| Total: | 17697 | 1670 |

Das Gewicht der Brücke (ohne die Eisenbahnschienen und die hölzernen Bestandtheile der beiden Fahrbahnen) beträgt also 34,5 Zentner pro laufenden Fuss. Der laufende Fuss der Gitterbrücke kostete fast genau 1600 Franken, der Zentner Eisenkonstruktion 46,4 Franken; bei diesen Preisen sind die Kosten der Gerüste zum Aufbringen der Eisenkonstruktion auf die Pfeiler inbegriffen.

Mit der Fundamentirung der Widerlager wurde im Mai 1856, mit derjenigen der Pfeiler im September desselben Jahres begonnen. Die Ausführung der Eisenkonstruktion nahm im August 1857 ihren Anfang. Die erste Probefahrt über die fertige Brücke fand am 8. November 1858 statt. Es war bei dieser Probefahrt nur das eine Geleise (flussaufwärts) gelegt; die Last ruhte daher fast nur auf der einen Gitterwand. Die Einsenkungen in den verschiedenen Oeffnungen bei Befahrung der Brücke mit verschiedenen Lasten sind in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt; sie wurden mittelst Fühlhebel gemessen, an welchen die stattgefundene Bewegung zehnfach vergrössert abgelesen werden konnte.

| | Gitterwand flussaufwärts. | | | | | | Gitterwand flussabwärts. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Oeffnung | | | | | | Oeffnung | | | | | |
| | rechts. | | mittlere. | | links. | | rechts. | | mittlere. | | links. | |
| | Senkung. | Hebung. | Senkung. | Hebung. | Senkung. | Hebung. | Senkung. | Hebung. | Senkung. | Hebung. | Senkung. | Hebung. |
| | ''' | ''' | ''' | ''' | ''' | ''' | ''' | | ''' | | ''' | ''' |
| 2 Lokomotive mit Wagenzug. | 2.8 | — | 4.1 | 0.5 | 2.8 | 0.2 | 0.7 | — | 0.9 | — | 0.9 | 0.2 |
| 1 dito. | 1.5 | 0.15 | 1.7 | — | 1.5 | 0.15 | 0.4 | 0.15 | 0.7 | — | 0.6 | 0.2 |
| 1 dito. | 1.2 | 0.15 | 1.7 | — | 1.3 | 0.2 | 0.4 | 0.1 | 0.5 | — | 0.7 | 0.2 |
| 1 dito. | 1.4 | 0.1 | 1.4 | — | 1.3 | 0.15 | 0.6 | 0.15 | 0.2? | 0.2 | 0.4 | 0.2 |
| 1 dito. | 1.4 | 0.2 | 1.3 | — | 1.3 | 0.15 | 0.65 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.4 | 0.2 |
| 2 Lokomotive ganz langsam. | 2.5 | 0.2 | 2.8 | — | 2.4 | 0.25 | 0.7 | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 1.0 | 0.25 |
| 2 dito. schnell. | 2.5 | 0.2 | 2.9 | — | 2.4 | 0.35 | 0.7 | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 0.9 | 0.25 |
| 2 dito. stillstehend. | 2.4 | — | 2.2 | 0.3 | 2.2 | 0.2 | 0.7 | — | 0.5 | — | 0.9 | 0.2 |
| 3 dito. schnell. | 3.1 | 0.4 | 3.8 | 0.3 | 3.4 | 0.3 | 0.85 | 0.25 | 0.9 | 0.1 | 1.3 | 0.25 |
| 3 dito. stillstehend. | ? | — | 3.4 | 0.2 | 3.0 | 0.4 | ? | 0.2 | 0.7 | 0.1 | 1.1 | 0.1 |
| 3 dito. mit Wagenzug. | 3.1 | 0.5 | 3.4 | 0.6 | 3.0 | — | 0.75 | 0.35 | 0.5 | 0.5 | 1.05 | 0.2 |
| 3 dito. dito. | 2.7 | 0.5 | 3.6 | 0.5 | 3.0 | 0.2 | 0.7 | 0.4 | 0.7 | 0.1 | 1.05 | 0.2 |
| 3 dito. dito. | 3.2 | 0.5 | 3.8 | 0.4 | 3.0 | — | 0.9 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 1.1 | — |

Die zur Probefahrt verwendeten Lokomotiven wiegen im arbeitendem Zustande 800 Zentner und sind 35 Fuss lang. Man sieht aus dieser Tabelle, dass beim zweiten, nur indirekt belasteten Gitter die Einsenkung $1/3$ bis $1/4$ von derjenigen des direkt belasteten Gitters betrug, dass also das zweite Gitter bei der einseitigen Belastung $1/4$ bis $1/5$ der Gesammtlast trägt. Die Hebungen in den einzelnen Oeffnungen wurden beobachtet, wann die Last in der Mitte der nächstliegenden Oeffnung stand.

Die bleibende Senkung der Brücke betrug ungefähr 1 Linie; es lässt sich nicht bestimmen, ob diese Senkung von der Gitterkonstruktion herrührte, oder ob vielleicht die Auflagerplatten bei der stärkern Belastung sich in das zum Vergiessen derselben verwendete Blei etwas eindrückten.*)

## Berechnung der Brücke.

Wir haben oben die Resultate der Berechnung, nämlich die stärkste Beanspruchung des Materials in den Flanschen und in der Gitterwand, mitgetheilt. Eine übersichtliche Darstellung der Berechnungsweise dürfte vielleicht einiges Interesse darbieten.

Wenn man die Gleichgewichtsbedingungen für irgend einen Querschnitt eines belasteten Brückenbalkens aufsucht, erhält man bekanntlich zweierlei innere Kräfte, welche in diesem Querschnitte hervorgerufen werden*): erstens Kräfte welche den Querschnitt um seine neutrale Achse zu drehen suchen (sie können durch ein sog. Gegenpaar ausgedrückt werden), und zweitens eine vertikale Kraft, welche ein Abscheeren oder Uebereinanderschieben der zu beiden Seiten des Querschnitts befindlichen Balkentheile anstrebt. Die ersten Kräfte, deren Moment in Bezug auf die neutrale Achse des Querschnitts dem Biegungsmoment der äussern Kräfte gleich ist, wirken bei einem Gitter- oder Blechbalken hauptsächlich auf die beiden Flanschen (Gurtungen, Streckbalken), indem sie die eine zusammendrücken und die andere ausdehnen. Die zweite, abscheerende Kraft hingegen (sie wird bei einem massiven Balken meist gar nicht berücksichtigt) bestimmt die Stärke der Gitter- oder Blechwand, indem diese Kraft bei ungenügender Stärke dieser Wand dieselbe zerknicken würde. Diese beiden Kräfte variren continuirlich von einem Querschnitt zum andern. Wenn man, wie es bei kleineren Brücken fast immer geschieht, dem Brückenbalken auf seine ganze Länge den gleichen Querschnitt giebt, so genügt es offenbar die Grösse dieser Kräfte für die stärkst angegriffenen Stellen des Balkens, die sogenannten gefährlichen Querschnitte, zu bestimmen; hat man dem Balken an diesen Stellen einen

*) Es scheint uns hier die passende Stelle zu sein, um eine Beobachtung anzuführen, welche zwar nicht an der Berner Aarbrücke, aber an einer andern Brücke der schweizerischen Centralbahn gemacht wurde, bei der Brücke nämlich über die Birs bei Basel. Die bleibende Einsenkung betrug dort gleich nach der Probebelastung bei zwei gleich grossen Oeffnungen 0.4 und 0.15 Linien; 2 Stunden später war diese Senkung auf 0.3 und 0 Linien zurückgegangen, ohne dass in der Zwischenzeit ein Zug die Brücke befahren hatte. Es scheint also, dass die Elastizität des Eisens, nach Entfernung der liegenden Last, zum (freilich geringern) Theil nicht augenblicklich wirkt, sondern erst nach einiger Zeit. Dieselbe Beobachtung, noch in höherm Masse, ist auch bei Blechbrücken auf den „vereinigten Schweizerbahnen" (Linie Winterthur-Rorschach) gemacht worden. Herr Professor Wiedemann in Basel, welcher in neuester Zeit sehr interessante Versuche über das Verhalten von Metallstäben gemacht hat, wenn sie abwechselnd nach der einen und nach der andern Seite gedreht oder gebogen werden, hat ebenfalls dieses erst stundenlang nach der Entlastung eintretende Abnehmen der Torsion oder der Biegung beobachtet.

*) Wir verweisen die Leser, denen die Biegungstheorie nicht mehr geläufig sein sollte, auf das Werk von Laissle und Schübler: „Der Bau der Brückenträger mit wissenschaftlicher Begründung der gegebenen Regeln u. s. w.", dessen Gang wir bei dieser Berechnung folgen. Es leistet dasselbe gute Dienste bei ähnlichen Berechnungen grösserer Balkenbrücken.

genügenden Querschnitt gegeben, so wird derselbe um so mehr für die übrigen, weniger stark beanspruchten Stellen genügen. Bei grössern Brückenkonstruktionen dagegen lässt sich eine bedeutende Ersparniss an Material erzielen, wenn man die Berechnung der genannten Kräfte für die verschiedenen Punkte des Brückenbalkens durchführt, und die Flanschen sowohl als die Stücke der Wände dem jeweiligen Angriff entsprechend variren lässt. Es ist diess bei vielen andern Brücken (Britannia-Brücke in England, Dirschauer und Nogatbrücke in Preussen, Pont de Langon und Pont d'Asnières in Frankreich, u. a. m.) geschehen. Auch bei der Berner Aarbrücke ist diese Methode für die Bestimmung der Stärke der Flanschen angewandt worden, und hat, wie wir sehen werden, zu einer erheblichen Materialersparniss geführt.

Die Berner Aarbrücke hat 3 Oeffnungen, welche durch einen continuirlichen Balken überbrückt sind. Die freien Spannweiten zwischen den Pfeilern und Widerlagern gemessen betragen 166⅔, 190⅔ und 166⅔ Fuss. Wir müssten eigentlich (s. Laissle und Schübler p. 66), weil die Reaktion der Auflager nicht in Einem Punkte conzentrirt, sondern auf eine gewisse Breite vertheilt ist, diese Spannweiten für die Berechnung um eine halbe Pfeilerdicke, also um 6 Fuss grösser annehmen. Da aber die gusseisernen Consolen, mit den darauf ruhenden durch starke schmiedeiserne Einlagen verstärkten Gussbalken, der Pfeilerbreite zu jeder Seite 8 Fuss zufügen, so können wir ungefähr die Hälfte dieses Vorsprungs, also circa 8 Fuss für jede Oeffnung, von der freien Spannweite wieder abrechnen; wir legen daher die Spannweiten 166, 190 und 166 Fuss zu Grunde, und haben somit das Verhältniss der äussern zur mittlern Oeffnung $a : b = 166 : 190 = 7 : 8$.

Das Eigengewicht der Brücke, die Bahnschienen und die hölzernen Theile der Fahrbahn inbegriffen, dagegen ohne die gusseisernen Auflagerplatten und Consolen, beträgt 38 Zentner pro laufenden Fuss, namlich:

| | | |
|---|---|---|
| Eisenconstruktion . . . | 31.8 | Zentner, |
| Eisenbahnschienen . . | 0.8 | » |
| Schwellen u. Dielenbelag | 5.4 | » |
| Total | 38 | Zentner pro l. Fuss. |

Die grösste zufällige Last nehmen wir zu 46 Zentner pro laufenden Fuss an, nämlich 20 Zentner für jedes Bahngeleise und 6 Zentner für die mit Menschen besetzte 12 Fuss breite untere Fahrbahn; wir erhalten also das Verhältniss des Eigengewichtes $p$ zur grössten Gesammtbelastung $q$ pro laufenden Fuss

$$p : q = 38 : 84 = \text{nahezu } 1 : 2.$$

Berechnung der Flanschen. Die stärkste Beanspruchung, welche in irgend einem Querschnitte eines belasteten Brückenträgers hervorgerufen wird, erhält man durch die Formel

$$S \frac{T}{a} = M$$

Es bezeichnet in dieser Formel

$S$ die stärkste Spannung oder Pressung pro Flächeneinheit, welche in dem Querschnitt vorkommt,

$T$ das Trägheitsmoment des Querschnittes in Bezug auf seine neutrale Achse,

$a$ die Entfernung der stärkst beanspruchten Faser von der neutralen Achse,

$M$ das Moment sämmtlicher auf der einen Seite des Querschnittes auf den Brückenbalken wirkenden Kräfte, ebenfalls in Beziehung auf die neutrale Achse des Querschnittes gerechnet.

Mittelst dieser Formel berechnen wir den Querschnitt unseres Gitterbalkens für die stärkst beanspruchten Stellen, für die Stellen also wo das Biegungsmoment $M$ seinen grössten Werth hat. Würden wir nun für die übrigen Stellen den gleichen Querschnitt annehmen, so erhielten wir dort eine geringere Beanspruchung des Materials, weil mit $M$ auch $S$ kleiner würde; das Material wird aber offenbar dann am günstigsten verwendet sein, wenn wir annähernd einen Balken von gleicher Biegungsfestigkeit construiren, also den Ausdruck $\frac{T}{a}$, oder, da $a$ (die halbe Höhe des Brückenbalkens) beinahe unverändert bleibt, das Trägheitsmoment $T$ des Querschnittes (annähernd) proportional mit $M$ zu- und abnehmen lassen.

Die Variation des Biegungsmomentes lässt sich am besten erkennen aus einer Betrachtung der sogenannten elastischen Linie, der gekrümmten Linie, zu welcher nach der Biegung die ursprünglich gerade neutrale Mittellinie des Balkens wird. Die elastische Linie (Fig. 7) ist, wenn wir vom Widerlager $A$ ausgehen und unsern Standpunkt oberhalb des belasteten Balkens denken, zuerst concav; bei $e$ in der Nähe des ersten Pfeilers ändert sich die Krümmung, die Linie wird convex bis $e'$; von $e'$ bis $f'$ ist sie wieder concav, und auf den Strecken $f' f$ und $f D$ wiederholen sich in umgekehrter Ordnung die Krümmungen von $A e$ und $e e'$. Ueber den Widerlagern und an den Wendepunkten $e$, $e'$, $f'$, $f$ ist die Krümmung null, die elastische Linie bleibt dort gerade; zwischen diesen Punkten dagegen nimmt die Krümmung allmälig zu und ab. Da das Biegungsmoment bekanntlich (bei einem gebogenen Körper von constantem Querschnitt) in umgekehrtem Verhältniss mit dem Krümmungshalbmesser zu- und abnimmt, so erhalten wir für dieses Moment erstens zwei Maxima über den Mittelpfeilern $B$ und $C$, ausserdem aber drei fernere Maxima in den Punkten $l$, $m$, $n$. Das Verhältniss dieser Maxima ändert sich mit der Vertheilung des Last, je nachdem nämlich alle drei Oeffnungen der Brücke gleichmässig mit der Maximallast belastet sind, oder nur eine oder zwei Oeffnungen die Maximallast, die andern nur das Eigengewicht der Brücke zu tragen haben. Das Maximum bei $B$ z. B. ist, wie die Rechnung zeigt, am grössten, wenn nur die zwei Oeffnungen $AB$ und $BC$ die Maximallast tragen; dagegen erhält das Biegungsmoment für die Mitte $m$ der mittleren Oeffnung seinen grössten Werth, wenn nur die mittlere Oeffnung $BC$ belastet ist; die Maxima bei $l$ und $n$ sind dann am grössten, wenn die beiden äussern Oeffnungen $AB$ und $CD$ zugleich belastet sind, die mittlere Oeffnung nur das Eigengewicht trägt.

Will man nun den Querschnitt des Brückenbalkens entsprechend den Variationen des Biegungsmomentes zu- und abnehmen lassen, also einen Balken von gleicher Biegungsfestigkeit herstellen, so muss man nicht bloss einen be-

stimmten Fall, sondern verschiedene Fälle der Belastung berücksichtigen, bei welchen man nach einander für die verschiedenen Punkte der Brückenbahn das Maximum des Biegungsmomentes erhält. Die Rechnung zeigt, dass es genügt folgende 4 Fälle zu betrachten:

*I.* Belastung aller drei Oeffnungen mit der Maximallast $q$ pro laufenden Fuss,

*II.* Belastung einer äussern und der Mittelöffnung; also z. B. $AB$ und $BC$ mit $q$, $CD$ nur mit dem Eigengewicht $p$ belastet,

*III.* Belastung der Mittelöffnung allein; also $AB$ mit $q$, $AB$ und $CD$ mit $p$ belastet,

*IV.* Belastung der beiden äussern Oeffnungen, also $AB$ und $CD$ mit $q$, $BC$ mit $p$ belastet.

Das erste, was man nun zu bestimmen hat, sind die auf den Balken einwirkenden äussern Kräfte; es sind diese das Eigengewicht und die zufällige Belastung, welche nach obigen Annahmen bekannt sind, und die Reaktion der 4 Auflagen, welche bekanntlich bei einem über mehrere Oeffnungen gespannten Balken mittelst der Gleichung der elastischen Linie aufgefunden werden müssen. Wir bezeichnen die Auflagerdrücke mit $A$, $B$, $C$, $D$, und erhalten für obige vier Fälle die in nachstehender Tabelle angegebenen Werthe. (Die Formeln zur Bestimmung derselben s. Laissle und Schübler p. 56).

Da nun sämmtliche äussere Kräfte bekannt sind, so ist es leicht für jeden beliebigen Punkt der Brücke das Biegungsmoment zu bestimmen (s. Laissle und Schübler p. 56), die Werthe desselben für die 5 Punkte wo es ein Maximum erreicht und für die 4 obigen Annahmen über die Lastvertheilung sind gleichfalls in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt.

| | Auflagerdrücke | | | | Maxima des Biegungsmomentes | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Ueber den Pfeilern. | | In den Oeffnungen, | | |
| | *A.* | *B.* | *C.* | *D.* | *B.* | *C.* | *AB.* | *BC.* | *CD.* |
| *I.* | 0.337 $b\,q$ | 1,038 $b\,q$ | 1.038 $b\,q$ | 0.337 $b\,q$ | 0.088 $b^2q$ | 0.088 $b^2q$ | 0.057 $b^2q$ | 0.037 $b^2q$ | 0.057 $b^2q$ |
| *II.* | 0.329 » | 1.078 » | 0.758 » | 0.147 » | 0.095 » | 0.062 » | 0.054 » | 0.046 » | 0.022 » |
| *III.* | 0.138 » | 0.800 » | 0.800 » | 0.138 » | 0.070 » | 0.070 » | 0.019 » | 0.055 » | 0.018 » |
| *IV.* | 0.367 » | 0.758 » | 0.758 » | 0.367 » | 0.062 » | 0.062 » | 0.067 » | 0.001 » | 0.067 » |

$b$ bezeichnet die lichte Spannweite der Mittelöffnung, also 190 Fuss.

Diese Tabelle dient uns nun ferner zur Entwerfung einer graphischen Darstellung (Fig. 8), in welcher wir über den verschiedenen Punkten unserer drei Oeffnungen den gefundenen Werth von $M$ als Ordinate auftragen (den Maassstab für diese Ordinaten kann man beliebig annehmen), und die Endpunkte der Ordinaten durch eine fortlaufende Curve verbinden; diese Curve stellt uns übersichtlich die Variation des Biegungsmomentes $M$ an den verschiedenen Punkten der Brücke dar. Wir erhalten für jeden der vier angenommenen Fälle eine andere Curve, welche in der Figur mit der entsprechenden Ziffer bezeichnet ist; eigentlich müssten wir noch eine fünfte Curve beifügen für den der Annahme *II* analogen Fall, Belastung von $BC$ und $CD$; wir lassen jedoch diese Curve weg, um die Figur nicht zu sehr zu verwickeln, und merken uns nur, dass in diesem Fall das Maximum bei $C$ (in der Figur punktiert angedeutet,) den gleichen Werth hat wie das bei $B$ für den Fall *II* erhaltene. Die Vereinigung der verschiedenen Curven giebt uns eine Umhüllungscurve, oder richtiger eine aus mehreren Curven bestehende gebrochene Linie, welche die Maxima von $M$ an den verschiedenen Punkten der Brücke und für die 4 angenommenen Fälle enthält. Es ist nun leicht den Querschnitt des Brückenbalkens so variieren zu lassen, dass der Werth des Trägheitsmoments dieses Balkens ungefähr den Variationen des Biegungsmomentes folgt. Es ist diese bei der Aarbrücke dadurch erreicht worden, dass die beiden Flanschen der Gitterbalken (Fig. 4) über den beiden Pfeilern $B$ und $C$ aus 9 Blatt Flacheisen, dann allmählig abnehmend aus 8, 7 und 6 Blatt zusammengesetzt sind. Tragen wir das für den stärksten Querschnitt bei $B$ und $C$ gefundene Trägheitsmoment in unserer graphischen Darstellung auf, und zwar so, dass wir es durch die gleiche Ordinate darstellen wie das Moment $M$ an diesem Punkte, so wird das successive ab- und zunehmende Trägheitsmoment durch die gebrochene Linie $EFGHI$ dargestellt werden; man sieht dass diese überall ausserhalb der Umhüllungscurve der Werthe von $M$ bleibt, woraus hervorgeht dass an keiner Stelle des Balkens die Beanspruchung des Materials in Folge der Belastung die grösste bei $B$ und $C$ eintretende Beanspruchung übersteigt. Die hiedurch erzielte Materialersparniss ist leicht zu berechnen. Hätten wir den Gitterbalken überall den gleichen Querschnitt gegeben, so hätten wir, um keine grössere Beanspruchung bei $B$ und $C$ als jetzt zu erhalten, überall die Flanschen aus 9 Blatt zusammensetzen müssen; wir hätten also für eine Flansche $9 \times 560^2/_3 = 5046$ laufende Fuss Flacheisen gebraucht. Durch die abwechselnden Querschnitte wurde dieser Bedarf auf 3674 laufende Fuss reduziert Die Ersparniss betrug daher für eine Flansche 1372, für alle 4 Flanschen 5488 laufende Fuss Flacheisen oder 1100 Zentner Eisen (der l. Fuss zu 20 Pfund).

Wir gehen nun zur numerischen Berechnung über, wobei wir die oben angegebene Formel

$$S\,\frac{T}{a} = M$$

benützen. Das Eigengewicht der Brücke, welches als Belastung der Brückenbalken in Rechnung zu ziehen ist, beträgt, wie wir oben gefunden, 38 Ztnr. pro laufenden Fuss, die grösste zufällige Last 46 Ztnr. pro laufenden Fuss. Wir erlauben uns zur Vereinfachung der Rechnung die kleine

Ungenauigkeit, dass wir das Eigengewicht als gleichförmig über die ganze Länge vertheilt in Rechnung bringen. Eigentlich haben wir beim kleinsten Flanschenquerschnitt, also auf dem grössten Theil der Länge nur 36.8 Zentner, beim stärksten Querschnitt über den Pfeilern dagegen 42.7 Zentner pro laufenden Fuss. Offenbar ist unsere Annahme für die Belastung des Balkens etwas ungünstiger als die wirkliche Lastvertheilung. Auf den laufenden Fuss reduzirt, erhalten wir für Einen Gitterbalken

$$\text{Eigengewicht } p = \frac{38}{2 \times 10} = 1.9 \text{ Zentner pro } l''$$

$$\text{Gesammtbelastung } q = \frac{33 + 46}{2 \times 10} = 4{,}2 \text{ Zentner pro } l''$$

Ueber den beiden Pfeilern $B$ und $C$ haben wir als grössten Werth des Biegungsmomentes gefunden (wir drücken die Längenmasse in Zollen, die Gewichte in Zentner aus):

$$M = 0.095\ b^2 q$$
$$= 0.095 \times 1900^2 \times 4.2 = 1440390$$

Für das Trägheitsmoment $T$ erhalten wir dort, wenn wir die Schwächung durch Stösse und Nietenlöcher in Abzug bringen

$$T = 1139800.$$

Wir haben ferner $a = 98''$, also schliesslich

$$S = \frac{98 \times 1440390}{1139800} = 123.8 \text{ Zentner pro } \square''.$$

Nehmen wir als Bruchbelastung 30 Kilogramm pro Quadratmillimeter oder 540 Zentner pro Quadratzoll an, so haben wir also an diesen Punkten der Brücke für die grösste Beanspruchung der Flanschen $\frac{540}{123.8} = 4.4$-fache Sicherheit. In den äussern Oeffnungen haben wir für das Maximum des Biegungsmomentes im ungünstigsten Falle der Belastung gefunden

$$M = 0.067\ b^2 q$$
$$= 0.067 \times 1900^2 \times 4.2 = 1015854.$$

Wir haben dort beim kleinsten Querschnitt der Flanschen ebenfalls mit Berücksichtigung der Stösse und Nietenlöcher,

$$T = 880800;\ \text{ferner } a = 97.''5,$$

$$\text{daher } S = \frac{97.5 \times 1015854}{880800} = 112.4 \text{ Zentner pro } \square''.$$

$$\text{Sicherheit } \frac{540}{112.4} = 4.8\text{-fach.}$$

Für die Mittelöffnung $BC$ endlich fanden wir für den Fall, wo nur diese mit der zufälligen Last belastet ist, den Werth des Biegungsmomentes

$$M = 0.055\ b^2 q$$
$$= 0.055 \times 1900^2 \times 4.2 = 833910$$

$$\text{daher } S = \frac{97.5 \times 833910}{880800} = 92.3 \text{ Zentner pro } \square''.$$

$$\text{Sicherheit } \frac{540}{92.3} = 5.8\text{-fach.}$$

Wie schon oben bemerkt wurde, ist diese Beanspruchung, welche über den Pfeilern $B$ und $C$ ziemlich stark ist, auf die in Wirklichkeit niemals eintreffende Voraussetzung gegründet, dass zwei Züge, jeder 350 Fuss lang und aus lauter Lokomotiven bestehend, auf der Brücke sich kreuzen, während zugleich die untere Fahrbahn mit Menschen dicht besetzt ist. Die wirklich vorkommende Maximalbelastung ist die, dass zwei schwere Züge, jeder mit 2 Lokomotiven bespannt, sich kreuzen; in diesem Fall erhält man eine Belastung von höchstens 15 Zentner pro laufenden Fuss jedes Geleises, daher die Gesammtbelastung $q = \frac{38 + 30}{2 \times 10} = 3.4$ Zentner pro laufenden Zoll. Das Verhältniss $p : q = 19 : 34$ kann man auch hier wieder annähernd $= 1 : 2$ annehmen, und daher die gleiche geographische Darstellung für die Variation der Biegungsmomente beibehalten. Die Beanspruchung ist daher in diesem Falle an jedem Punkte der Brücke im Verhältniss 34 : 42 geringer als oben gefunden wurde, und wir erhalten

über den Pfeilern $B$ und $C$: $S = 100.2$ Ztr.; Sicherheit 5.4 fach
in den äussern Oeffnungen: $S = 91.0$ » » 6 »
in der Mittelöffnung: $S = 74.7$ » » 7.2 »

Es ist hier zu bemerken, dass bei der Berechnung der Trägheitsmomente die Gitterwände mitgerechnet sind. Will man dieselben, wie es oft geschieht, nicht mit in Rechnung ziehen, so ist das Trägheitsmoment für den stärksten Querschnitt auf 0.85, für den schwächsten auf 0.82 der obigen Werthe zu reduziren, und man erhält dann eine im gleichen Verhältniss stärkere Beanspruchung.

Berechnung der Gitterwände. Die Gitterwände werden, wie oben bemerkt wurde, durch die abscheerende Vertikalkraft, welche sie zusammenzudrücken sucht, beansprucht. Mit Hülfe der oben berechneten Auflagerdrücke und der Belastung der Brücke ist diese Vertikalkraft leicht zu berechnen; für die Beanspruchung der Gitterstäbe hat man dann die Formel (s. Laissle und Schübler p. 95 und 103)

$$A = \frac{V}{n \cdot w \cdot \sin \alpha}$$

Es bezeichnet in dieser Formel

$A$ die Beanspruchung der Gitterstäbe pro Flächeneinheit,
$V$ den Werth der Vertikalkraft an der betreffenden Stelle der Brücke,
$n$ die Anzahl Theile, in welche ein Gitterstab durch die ihn kreuzenden Stäbe getheilt wird (hier 14),
$w$ den Querschnitt eines Gitterstabes,
$\alpha$ den Neigungswinkel der Gitterstäbe.

Den grössten Werth für die Vertikalkraft erhält man über den beiden Pfeilern, und zwar für $B$ in dem oben mit $II$ bezeichneten Falle, Belastung der beiden Oeffnungen $AB$ und $BC$ mit der Maximallast. Der Werth dieser Kraft ist dort

$$V = 0.546\ \mathrm{q}\,\mathrm{b}$$

also für Einen Gitterbalken, bei einer zufälligen Belastung der Brücke mit 46 Zentnern pro laufenden Fuss,

$$V = 0.546 \times 1900 \times 4.2 = 4357 \text{ Zentner.}$$

Der Querschnitt eines Gitterstabes, mit Abrechnung für ein Nietenloch (in den gleichen Querschnitt eines Stabes fällt nur Ein Nietenloch) ist 2.82 □ Zoll; der Neigungswinkel der Gitterstäbe 45°, also $\sin \alpha = 0.707$; daher

$$A = \frac{4357}{14 \times 2.82 \times 0.707} = 156.1 \text{ Zentner pro } \square''.$$

Nimmt man wie früher nur die in Wirklichkeit vorkommende Maximalbelastung an, also für Einen Gitterbalken $q = 3.4$ Zentner pro $l''$, so erhält man

$$A = 156.1 \times \frac{3.4}{4.2} = 126.3 \text{ Zentner pro } \square'',$$

immer noch eine ziemlich starke Beanspruchung.

Man hätte offenbar auch hier, ohne mehr Material zn verwenden, die grösste Beanspruchung vermindern können, indem man den Querschnitt der Gitterstäbe entsprechend den Variationen der Vertikalkraft hätte wechseln lassen. Die Vertikalkraft hat jeweilen über den Auflagern der Gitterwände ihr Maximum, und ihr Minimum (gleich Null) an den Punkten, wo das Biegungsmoment zwischen zwei Pfeilern ein Maximum wird, also an den Punkten *l*, *m*, *n* der Fig. 7. Um im letztern der oben berechneten Fälle, d. h. bei der grössten wirklich vorkommenden Belastung, keine grössere Beanspruchung der Gitterstäbe als ungefähr 100 Zentner pro Quadratzoll zu erhalten, hätte man den Gitterstäben über den Auflagern, bei gleicher Dicke wie jetzt, eine Breite von 7 Zoll geben müssen, wogegen man diese Breite zwischen den Auflagern allmählig bis auf 4 Zoll hätte können abnehmen lassen; nach dem Ergebniss der Rechnung könnte man noch weiter heruntergehen, was man aber mit Rücksicht auf die Ausführung wohl nicht thun wird. Bei der Dirschauer Weichselbrücke hat man den Querschnitt der Gitterstäbe zwischen 5 und 2 Quadratzoll (preussisch) variren lassen.

# Chemisch-technische Mittheilungen.

## Prüfungsmethoden. — Analytisch-Chemisches.

### Ueber die quantitative Bestimmung des Zuckers, von Prof. H. Fehling.

Zur Bestimmung von Zucker in organischen Substanzen sind hauptsächlich drei Methoden anwendbar: das Gährungsverfahren, die Probe mittelst Polarisation und die Probe mit einer titrirten alkalischen Lösung von weinsaurem Kupferoxydalkali. Keine der Methoden giebt ein absolut genaues Resultat, doch hält der Verfasser nach vielfachen vergleichenden Versuchen, welche seit mehr als 10 Jahren im Laboratorium der polytechnischen Schule zu Stuttgart angestellt sind, die letzte Methode für diejenige, welche die der Wahrheit am meisten sich nähernden und die sichersten Resultate giebt.

Bei Traubensaft sowohl, wie bei Lösungen von reinem Rohrzucker ist es schwierig, durch Gährung in kurzer Zeit eine vollkommen vergohrene zuckerfreie Flüssigkeit zu erhalten; auch nach 8 Tagen selbst findet sich noch unzersetzter Zucker; überdies ist ja in neuerer Zeit kein Zweifel mehr, dass bei der Gährung des Zuckers nicht nur Kohlensäure und Alkohol, sondern auch andere Produkte sich bilden, Amylalkohol, Butylalkohol u. s. w., selbst Bernsteinsäure und Glycerin nach Pasteur. Unter diesen Umständen ist also die Kohlensäure kein sicheres Mass des Zuckers.

Die optische Probe ist oft schon wegen des Farbstoffgehaltes umständlich, aber selbst bei leicht zu klärendem und entfärbendem Rübensaft, der 10 bis 14 Proc. Zucker enthielt, ist es dem Verfasser bei vielfachen Proben mit einem von Duboscq bezogenen Soleil'schen Saccharometer nicht möglich geworden, den Gehalt an Zucker genauer als auf etwa $^1/_4$ Proc. zu bestimmen, d. i. also bis auf $^1/_{40}$ bis $^1/_{56}$ des ganzen Zuckergehaltes. Bei Traubenzucker ist der Fehler, der durch die Unsicherheit über die Gleichheit der Farben stattfindet, noch grösser, weil er weniger stark den Lichtstrahl ablenkt, als der Rohrzucker. Namentlich hat der Verfasser oft gesehen, dass verschiedene Personen wegen ungleicher Beurtheilung der Farben constant differirende Resultate erhielten. Ueberdies ist es noch zu ermitteln, in wie weit das Rotationsvermögen, z. B. des Harnzuckers, sich ändert durch Gegenwart fremder Körper, Temperatur u. s. w.

Zur Bestimmung von Krümelzucker giebt nach den Versuchen des Verfassers die Reduction von Kupferlösungen noch die genauesten und unter sich am meisten übereinstimmenden Resultate, wenn man gewisse Vorsichtsmassregeln beobachtet. Man hat dieser Methode namentlich den Vorwurf gemacht, dass auch andere Stoffe ähnlich wie Zucker wirken können; dieser Vorwurf trifft jedenfalls die optische Probe eben so sehr. Die meisten fremden Körper lassen sich durch Ausfällen mit Bleiessig entfernen, weshalb diese Reinigung meistens wesentlich ist. In normalem Harn, der mit 10 bis 20 Proc. Krümelzucker (aus Harn oder Honig dargestellt, nach der Analyse = $C_{12}H_{12}O_{12}$) versetzt war, hat der Verfasser nach der Behandlung mit Bleiessig immer genau die zugesetzte Menge Zucker gefunden. Da der Bleiniederschlag nach dem Trocknen ein sehr geringes Volum einnimmt, so wird die Zuckerflüssigkeit mit Wasser und Bleiessig auf das bestimmte Volum verdünnt, und von diesem nach dem Absetzen ein Theil der obenstehenden Flüssigkeit schnell filtrirt und dann verwendet.

Eine weitere wesentliche Bedingung ist natürlich die Beschaffenheit der Kupferlösung; der Verfasser hat bereits im Jahre 1850 näher nachgewiesen, dass diese eine be-