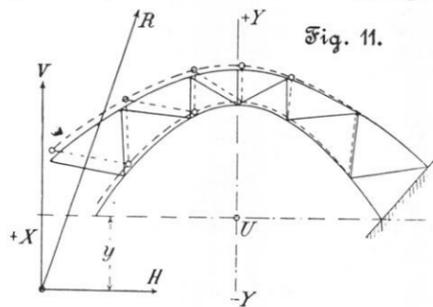
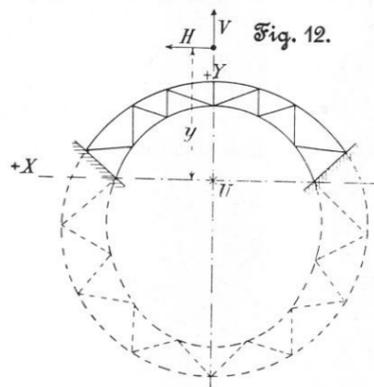


sich unmittelbar durch Schließen des Kräftepolygons. Damit ist alles bestimmt, was für den gegebenen Belastungsfall zur Bestimmung der Stabspannungen notwendig ist. Diese Berechnungsart entspricht dem von Culmann gezeigten Wege.



Winkler geht bei seiner Berechnung des eingespannten Fachwerkbogens vom geschlossenen Ringe aus. Der geschlossene Fachwerktruss mit einfacher Ausfüllung ist dreifach statisch unbestimmt. Wird der Ring an irgend einer Stelle durchgeschnitten, so hat man ein statisch bestimmtes Stabnetz von der Art des eingangs dargestellten, und die von einander abgetrennten Enden machen unter der Einwirkung irgend einer äußeren Belastung eine Bewegung gegen einander, die sich mit Hilfe der oben aufgestellten Grundgleichungen sofort berechnen lässt. Umgekehrt kann man wie oben, mittels derselben Formeln, eine Kraft  $R$  von solcher Größe und Richtung berechnen, dass sie, an dem Ringe angebracht, seine beiden gelösten Enden wieder vollständig zusammenführt. Ist aber die Kraft  $R$  oder deren Seitenkräfte  $V$  und  $H$  ihrer Größe und Lage nach bestimmt, so lassen sich alle Stabspannungen des dreifach statisch unbestimmten Ringes ermitteln.

Alles das bleibt auch noch gültig, wenn eine beliebige Zahl von Stäben des Ringes starr ist, sodass für sie  $F = \infty$  und  $\Delta s = 0$  wird. Denkt man sich nun einen zusammenhängenden Teil der Ringstäbe starr und durch feste Widerlager und den Baugrund ersetzt, Fig. 12, so hat man den eingespannten Bogen, für den also alles gilt, was



vorher vom Ringe gesagt ist. In der Rechnung ist der Bogen im Scheitel durchgeschnitten gedacht, und es sind das selbst behufs Wiederzusammenführung der getrennten Enden die Kräfte  $V$  und  $H$  angebracht worden. Bei allen symmetrischen Belastungen wird  $V = 0$ .

Ob der Rechnung die eine oder die andere Anschauungsweise zugrunde liegt, in beiden Fällen werden die gleichen Summen der Größen  $(\Delta \delta)$ ,  $(y \Delta \delta)$  und  $(x \Delta \delta)$  gebraucht; beide Anschauungsweisen konnten deshalb bei Berechnung des Mungstener Bogens neben einander zur Anwendung kommen.

Es wurden folgende Belastungsfälle durchgerechnet:

- 1) das Eigengewicht,
- 2) die Verkehrslasten (beide Gleise belastet, Zugtrennungen zugelassen),
- 3) die Bremskräfte (unter Annahme wie zuvor),

- 4) die Temperaturschwankungen ( $\pm 30^\circ \text{C}$ ),
- 5) das Ausweichen der Widerlager (Berücksichtigung der zu erwartenden größten Ausführungsfehler in der Spannweite und in der gegenseitigen Höhenlage der Widerlager).

6) der Winddruck auf die belastete und die unbelastete Brücke.

Hinsichtlich der Ermittlung der vom Windeinfluss herührenden Spannungen ist noch zu sagen, dass sie nach der von Winkler im »Civilingenieur« 1884 gezeigten Weise erfolgte. Mit den Strebenkräften der gekrümmten Windverspannung in der unteren Bogenleibung wurden Spannungen in den sämtlichen Stäben der beiden Bogenwände ins Gleichgewicht gesetzt, sodass die Hauptträger mit ihren sämtlichen Querverspannungen dem Winde gegenüber als räumliches System wirken.

$\beta$ ) Gerüstpfeiler.

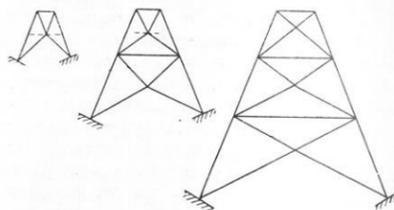
Die Gerüstpfeiler zerfallen in solche, die nur Kräfte in der Querrichtung zur Brücke, und solche, die sowohl Querals Längskräfte aufzunehmen haben. Die letzteren heißen Ankerpfeiler.

Die ersteren bestehen im wesentlichen aus je zwei zu einander parallelen lotrechten Querwänden, deren Eckpfosten unter einander durch leichte Verspannungen verbunden sind, deren Ebenen also parallel zur Brückenachse liegen.

Die Ankerpfeiler bestehen aus je vier Querwänden. Davon stehen je zwei lotrecht, während die beiden anderen gegen einander geneigt sind und sich in einem Grat treffen, der in Höhe der Obergurte der Gerüstbrücken liegt. Sie sind das selbst fest mit jenen Gurten verbunden und nehmen aus ihnen die Längskräfte auf. Leichte Verspannungen verstreben die Eckpfosten, daher auch die vier Wände gegen einander.

Die sämtlichen senkrechten und geneigten Querwände aller dieser Pfeiler haben die in Fig. 13 dargestellten Formen. Die Füße sind sämtlich mit dem Mauerwerk fest verankert,

Fig. 13.



und daher sind alle diese Fachwerke als elastische Bogen anzusehen. Je nachdem die Ausfüllung aus einem, zwei oder drei Kreuzen besteht, sind die Bogen einfach, zweifach oder dreifach statisch unbestimmt. Die Unbestimmtheit fällt für solche Belastungen, die in symmetrischen Stäben gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Stabspannungen hervorrufen — wie das z. B. hinsichtlich der Windkräfte angenommen werden darf — vollständig fort. Für alle anderen Belastungen mussten die inneren Kräfte mittels der Elastizitätstheorie ermittelt werden. Dabei wurden die wagenrechten Querriegel als überzählige Stäbe angesehen und ihre Beanspruchung sowie ihr Einfluss auf die Beanspruchungen der übrigen Stäbe mittels des Prinzips der virtuellen Arbeiten gefunden.

d) Einzelheiten der Konstruktion.

Hierzu sei an dieser Stelle nur kurz bemerkt, dass außer den aus der Größe und Anordnung des Bauwerkes sich ergebenden Eigenarten in erster Linie die beansichtigte Montierungsweise zu berücksichtigen war. Auf die Einzelheiten selbst hier einzugehen, würde zu weit führen; zudem ist eine eingehende Veröffentlichung geplant, die schon ziemlich weit vorbereitet ist.

B) Mauerkörper.

Zunächst sei hervorgehoben, dass die sämtlichen Gründungsarbeiten und Mauerkörper von der Eisenbahndirektion entworfen und im einzelnen bearbeitet wurden.

a) Untergrund.

An den Thalhängen fand sich überall in 0,5 bis 3 m Tiefe unter der Oberfläche Thonschieferfels, dessen Festigkeit im trockenen Zustande 1300 kg/qcm, mit Wasser gesättigt 1100 bis 1300 kg/qcm betrug. Die Beanspruchung der Gründungssohle wurde nirgends über 6 bis 7 kg/qcm gewählt.

b) Mauermaterialien.

Von der ursprünglichen Absicht, den Thonschiefer, wie er sich im Wupperthal findet, für Füllmauerwerk zu verwenden, wurde Abstand genommen; die sämtlichen Mauerkörper sind aus Ruhrkohlsandstein mit Wasserkalkmörtel [1:2] mit geringem Zementzusatz und einer Beanspruchung von 10 bis 12 kg/qcm hergestellt worden. Für Gesimse und Abdeckplatten wurde Eifelsandstein und für die Auflager Granit aus Blaubeurg im Fichtelgebirge verwendet. Die Auflagersteine werden mit 50 kg/qcm beansprucht.

c) Anker.

Die Anker sind unverzinkt, aber mit Zementanstrich versehen unzugänglich in das Mauerwerk eingebettet, weil dadurch am sichersten ein Schutz gegen Rost erwartet wird. Während des Baues wurden die Anker in offenen Kanälen versetzt, um sie nachregeln zu können. Die Anfangsspannung der Anker ist so groß gewählt, dass weder infolge von Temperaturerhöhung noch durch die größte negative Reaktion Lockerungen stattfinden. Zu beachten war, dass bei der niedrigsten Temperatur eine Ueberbeanspruchung der Anker nicht entstehen darf.

4. Bearbeitung der Eisenteile im Werk.

Zu den Ueberbauten wurde nur basisches Flusseisen, und zwar Martineisen zu den Blechen und Thomaseisen zu allen übrigen Stäben verwendet.

Die Ueberbauten wurden in der Brückenbauanstalt Gustavsburg nach dem sogenannten Zulageverfahren hergestellt. Die Konstruktionen oder größere Teile derselben wurden auf festen Zulagen aus den einzelnen ungebohrten, sonst aber fertig bearbeiteten Eisenstäben und Platten zusammengebaut und dann vermittels fahrbarer Kranbohrmaschinen gebohrt. Die Pfeilerwände und Hauptträger der Gerüstbrücken wurden je im ganzen, die Hauptträger des Bogens je in den 3 Stücken 0 8, 8 8 und 8 0 (s. Fig. 8) mit allen für die Anschlüsse dienenden Teilen zugelegt.

Bei den Zulagen wurden die wegen der Einsenkung der Träger durch das Eigengewicht nötigen Ueberhöhungen berücksichtigt.

Nachdem die Eisenbauten in den Zulagen fertig gebohrt waren, wurden sie wieder auseinander genommen, die Bohrgrate abgekurbelt, die einzelnen Eisenteile mit Salzsäure gereinigt, mit Schuppenpanzerfarbe gestrichen und zum Niet wieder zusammengesetzt.

Da die Nietarbeit auf dem Bauplatze auf das äußerste zu beschränken war, wurden im Werke die Teile in den für Versand und Montierung noch gängigen Größen vernietet.

Die im Werke für die Zulagen verwendeten eisernen Maßstäbe waren mit jenen auf der Baustelle genau abgeglichen worden.

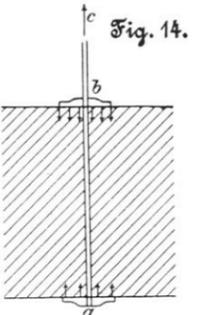
5. Bauvorgang.

(Vergl. hierzu den Lageplan, Tafel XXV.)

a) Allgemeines.

Die Zufuhr auf der Eisenbahn zur Baustelle war nur von der Solinger Seite aus möglich, da die Linie auf der Remscheider Seite in der Ausführung noch im Rückstande war. Es musste deshalb am Solinger Widerlager ein großer Werkplatz geschaffen und von dort aus eine Förderbahn zu den einzelnen Baugegenständen, also auch über die Wupper weg bis nach dem Remscheider Widerlager, angelegt werden. Außerdem war der ganze Bauplatz mit Nutzwasser zu versorgen, was nur von der Wupper aus geschehen konnte.

Bei der Verwendung der Anker ging man von der Anschauung aus, dass im Ruhezustande der mit Anfangsspannung versehene Anker  $a b$ , Fig. 14, das Mauerwerk presst, während seine Verlängerung  $b c$  ungespannt ist. Durch das Anspannen von  $b c$  wird alsdann das Mauerwerk um das entsprechende Maß entlastet, während die Spannung in  $a b$  ungeändert bleibt.



d) Äußere Gestaltung und Abmessungen.

Bei Aufstellung des Entwurfs war geplant, nur so tief in den Boden zu gehen, wie es zur Erreichung tragfähigen Felsens durchaus erforderlich wäre. Es sollten alsdann die Anker mittels Bohrungen weiter in den Felsen vorgetrieben werden. Dies erwies sich als unausführbar, da behufs Einbringung der erforderlichen großen Ankerroste die ganze Sohle hätte aufgebrochen werden müssen. Deshalb führte man das Mauerwerk so tief hinab, dass man dadurch genügende Ankerlast erhielt. Da dieses Verfahren ohnehin sehr große Massen bedingte, wurde im übrigen bei der Formgebung mit äußerster Sparsamkeit verfahren. Insbesondere sind die Bogenwiderlager so konstruiert, dass sie einerseits die Drucklinien zentral einhüllen, andererseits die Ankerroste noch gerade umschließen.

Endlich sollten die an den einzelnen Baustellen erforderlichen Baumaschinen, ferner das Pumpwerk im Thale und die Förderbahn elektrisch betrieben und die Plätze elektrisch beleuchtet werden. Es war somit eine elektrische Kraft- und Lichtzentrale anzulegen. Da es einfacher war, das Speisewasser für diese Zentrale aus dem Thale in die Höhe zu schaffen, wo man ohnehin des Wassers bedurfte, als die Kohlen mit Landfuhrwerk vom Bahnhof Solingen aus ins Thal zu bringen, so wurde die Zentrale zweckmäßig auf der Solinger Seite in Höhe der Bahnkronen angeordnet. Die Anlage eines Hochbehälters war nach Lage der Dinge nicht zu umgehen. Er wurde rd. 8 m über Schienenoberkante, also rd. 115 m über dem Wupperwasserspiegel, auf der Solinger Seite errichtet.

Die Brücke zur Ueberführung der Förderbahn und des Verkehrs von einer Thalwand zur andern lag mit Schienenoberkante 31 m über dem Wupperwasserspiegel und bestand zumteil aus Eisen, zumteil aus Holz, wie es die vorhandenen Pfeiler und Träger ergaben.

Außer diesen Anlagen waren natürlich ein großes Bau-bureau, Werkstätten, Materialschuppen auf der Solinger und teils auch auf der Remscheider Seite und eine Telephonanlage vom Bureau zu sämtlichen Baustellen zu errichten. Für den Betrieb der Förderbahn war zeitweise ein optischer Signaldienst nötig. Für den Verkehr der Beamten und Arbeiter von einer Baustelle zur andern mussten Fußwege (Treppen) gebaut werden.

b) Werkplatz.

Wie aus dem Lageplan, Tafel XXV, ersichtlich, war das der Maschinenbau-A.-G. Nürnberg zur Benutzung überlassene Gelände auf der Solinger Seite für einen Werkplatz nicht ohne weiteres verwendbar. Um den rd. 7500 qm großen Werkplatz zu gewinnen, mussten über 10000 cbm Lehm Boden und Schiefer-felsen, letzterer zu einem großen Teile erst durch Sprengung, gelöst und bewegt werden. Die auf dem Platze angelegten Gleise und Ladevorrichtungen sind ohne weitere Erklärung verständlich. Die 3 fahrbaren Ladekrane wurden von Hand angetrieben. Auf dem gebneten Werkplatz waren untergebracht: die Maschinenstation, bestehend aus 2 ausziehbaren Röhrenkesseln und 2 stehenden Tandem-Dampfdynamos von je 23000 Watt Leistung, eine Schmiede mit Schlosserei, ein