

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	127/128 (1946)
Heft:	18
Artikel:	Spannungsoptische Modelluntersuchung des Stauwehrpfeilers des Kraftwerkes Rupperswil-Auenstein
Autor:	Baud, R.V.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-83928

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: 15.01.2026

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

Spannungsoptische Modelluntersuchung des Stauwehrpfeilers des Kraftwerks Rupperswil-Auenstein

Von Ing. Dr. R. V. BAUD, EMPA, Zürich

I. Einleitung

Bei den neueren Stauwehren der grossen Niederdruckwerke wurden bis jetzt in der Regel Doppelschützen angewendet, die vertikal auf Rollen oder Rädern laufen und von mehreren, auf einer Windwerkbrücke befindlichen Windwerken gehoben bzw. gesenkt werden. Beim Kraftwerk Rapperswil, das grosse Wehröffnungen und gleichzeitig eine verhältnismässig grosse maximale Stauhöhe aufweist, ist zum ersten Mal ein zweiteiliges Segmentwehr angewendet worden, das leicht und rasch bewegt werden kann (s. SBZ Bd. 123, S. 275*, 1944)

Die Drehlager der beiden Schützen sind auf kleinen Konsolen angebracht, die in die Pfeiler und Widerlager eingespannt sind. Sie befinden sich oberhalb des an dieser Stelle möglichen höchsten Wasserspiegels, Bild 1, sodass sie mühelos kontrolliert und unterhalten werden können. Anderseits hat aber diese Anordnung zur Folge, dass der gesamte Wasserdruk auf die Schützen als eine einzelne, konzentrierte Last auf die Pfeiler übertragen wird, was zu hohen Beanspruchungen führt, deren genügend genaue Berechnung erhebliche Schwierigkeiten bietet. Daher sah sich die Bauleitung veranlasst, spannungs- optische Modelluntersuchungen des Stauwehrpfeilers durchzuführen zu lassen.

Der Auftrag für die Durchführung der Untersuchungen konnte erst während des Absenkens der Fundamentcaissons erteilt werden. Trotzdem gelang es, die gewünschten Ergebnisse innerhalb nützlicher Frist der Bauleitung zur Verfügung zu stellen. Hieraus erkennt man die grosse Leistungsfähigkeit der angewandten Methode. Sie hat weiter den Vorteil, dass Formgebungsmängel unmittelbar feststellbar sind; so könnten auch im vorliegenden Fall Verbesserungsvorschläge gemacht werden.

Die dreidimensionale Photoelastizität ist gegenwärtig noch nicht derart entwickelt, dass mit ihr komplexe räumliche Spannungsprobleme rasch gelöst werden könnten. Da die Zeit drängte, musste das vorliegende Problem zweidimensional be-

1. Hauptspannungsrichtungen im ganzen Pfeiler
2. Randspannungen, auch die in der Queröffnung Q (s. Bild 1 u. 2)
3. Spannungen in unmittelbarer Nähe des Einspannquerschnittes I—I des Pfeilers entsprechend Kote 351,60 m (s. Bild 1 und 15)
4. Spannungen in einem Vertikalschnitt in der Nähe des Überganges B—E vom dicken zum dünnen Teil (s. Bild 15).

In der Folge wurden folgende Modellschnitte gewählt:
Schnitt H - H, 2 mm oberhalb von I - I (s. Bild 15)
Schnitt V - V, 2 mm rechts von B - E (s. Bild 15).

II. Das Modell

Die Eisenbeton- und Betonbauten des Stauwehrs bestehen aus den beiden Pfeilern, den Endwiderlagern, den Pfeilerfundamenten und den Schwellen zwischen den Pfeilern (s. Bild 1). In statischer Hinsicht sind die Pfeiler als vollständig in ihre Fundamente eingespannte Konsolen zu betrachten. Diese Fundamente hat man daher als massive Betonblöcke von grossen Dimensionen ausgebildet. Beim Modell des Pfeilers wählte man sinngemäss als Einspannquerschnitt die Oberkanne des Fundamentes (Kote 351,60 m). Die Pfeiler selbst weisen hauptsächlich zwei Breiten auf, nämlich flussaufwärts $t_1 = 5,40$ m und flussabwärts $t_2 = 3,10$ m, sodass $t_1/t_2 = 1,74$ ist.

Beim Entwurf Bau des Modells, Bild 2, galt es, die oben geschilderten Verhältnisse (Gestalt, Breiten und Einspannung) möglichst naturgetreu nachzuahmen.

Unserer Anregung gemäss wurden am Modell an den einspringenden Ecken, Koten 359,20 m und 356,30 m, kreisförmige Abrundungen mit Radien von 4 bzw. 2 mm angeordnet, entsprechend 40 bzw. 20 cm in Wirklichkeit. Die Queröffnung Q, die im ursprünglichen Entwurf eine sechseckige Form hatte, wurde zunächst im Modell und später dann auch in Wirklichkeit — gemäss unserer Anregung — in Form eines Schlitzes mit zwei halbkreisförmigen Enden ausgeführt; dies primär weil die ursprünglich vorgesehenen scharfen Ecken schwer messbare Spannungskonzentrationen ergeben hätten, deren Ermittlung beim Modellversuch zu Schwierigkeiten geführt hätte.

Hinsichtlich des untern Teils des Modells wurde das Fundament in der Flussrichtung, nicht aber in der vertikalen Richtung nachgeahmt. Man begnügte sich mit einer «Fundamenthöhe» von 80 mm (entsprechend 8,00 m in Wirklichkeit, statt 18,60 m). Da das Modell ohnehin schon im Schnitt I—I fest eingespannt ist (Bild 2), ist diese Abweichung von der Wirklichkeit praktisch belanglos.

Um die Einspannung nachzuahmen, wurde das Modell unterhalb des Schnittes I—I verstärkt, sodass es drei Dicken aufweist. Davon sind aber nur zwei von eigentlicher Bedeutung, nämlich: $t_{1M} = 7,55$ mm und $t_{2M} = 4,23$ mm; das Dickenverhältnis beträgt also beim Modell 1,78, statt 1,74 in Wirklichkeit. Diese Abweichung ist unwesentlich. Es wäre naheliegend gewesen, das Modell aus einem Stück herauszuarbeiten. Beim Fräsen eines Probemodells ergaben sich aber auf diese Art der Bearbeitung an der Oberfche «Eigen»-Spannungen, weshalb auf die Herstellung des endgültigen Modells in dieser Weise verzichtet

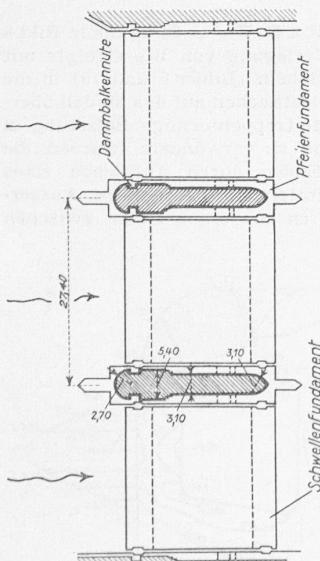
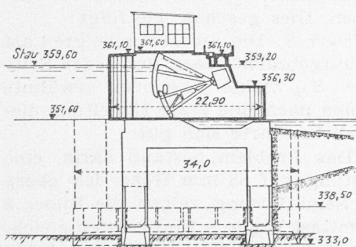


Bild 1. Anordnung des Stauwehrs.
Masstab 1:1000

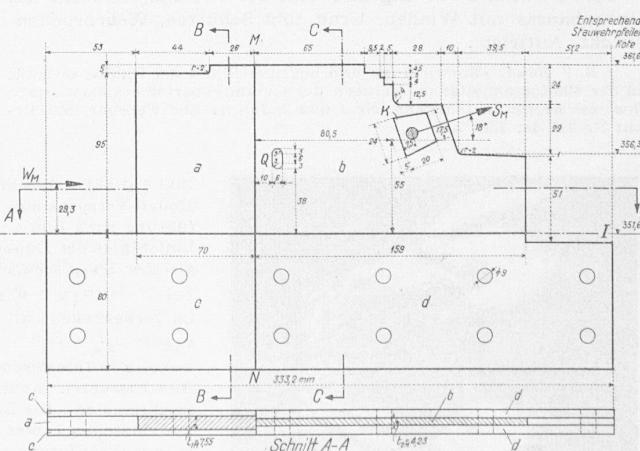
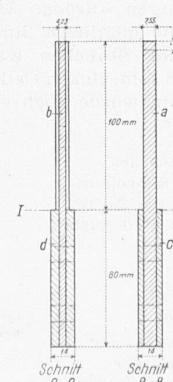


Bild 2. Modell des Wehrpfeilers, Modellmaßstab gegenüber Wirklichkeit in «Längsrichtung» 1 : 100. Befestigung der beiden Konsolen «K» nach Bild 4. Reihenfolge des Modellaufbaues: a an b , zweimal c an a und zweimal d an b «geklebt»

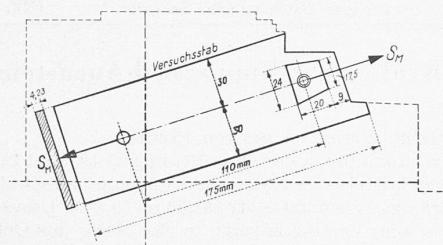


Bild 3. Lage und Dimensionen des Modell-Versuchstabes hinsichtlich des Pfeilermodells

werden musste. Es blieb somit nur die Möglichkeit übrig, aus dem vorhandenen Materialvorrat Stücke von passender Dicke auszusuchen und gemäss Bild 2 zusammenzusetzen.

Die Führungsbahnen der Segmentschützen sind in Wirklichkeit kreisförmig, während sie aus verschiedenen Gründen und im Einverständnis mit der Bauleitung beim Modell geradlinig ausgeführt wurden, vgl. Bild 2 bzw. 13, Gerade MN bzw. BE.

Schliesslich befinden sich am dünneren Teil der Pfeiler noch je zwei Widerlager zur Aufnahme der Schützenkräfte. Es schien erwünscht, auch in dieser Beziehung die Wirklichkeit modellmässig möglichst getreu nachzuahmen, was gewisse Schwierigkeiten bereitete, dies umso mehr, weil die betreffende Kraft so gross sein musste, dass sich im Modell an jeder gewünschten Stelle gut messbare Spannungen einstellen. Zum gründlichen Studium dieses Details wurde eine Reihe von Vorversuchen an vereinfachten Modellen ausgeführt. Diese hatten einen Teil des eigentlichen Pfeilermodells nach Bild 3 darzustellen. Vier Varianten wurden ausprobiert; bei der definitiven Lösung wurde je ein Trapez «C» (Bild 4) aus Celluloid mit einem Trapez «S» aus Stahl durch je zwei Nieten «N» miteinander verbunden. Die so entstandenen zwei «Verbund-Trapeze» wurden in eine im Modell eingefräste trapezförmige Aussparung von der Tiefe $d = 1,0$ mm eingelassen und «angeklebt».

Die Querschnittsform der Konsolen war ursprünglich rechtwinklig gezeichnet, ist aber später zu einem Trapez abgeändert worden. Zwecks Milderung der durch derartige Ecken verursachten grossen Kerbwirkung wurden diese sowohl beim Versuchsstab als auch beim endgültigen Modell mit einem Radius von 1,5 mm abgerundet. Eine Zwinge verhinderte das Ausreissen der Trapeze, was sonst schon bei geringen Kräften zu befürchten war. Mit dieser Ausführung konnten Zugkräfte bis zu total 300 kg übertragen werden, wobei der Stab brach (Bild 5).

Obschon die Aufgabe der Vorversuche primär darin bestand, eine naturgetreue Belastung von genügender Grösse zu erzielen, wurde der Versuchsstab auch noch dazu benutzt, Anhaltspunkte über die Spannungsverteilung in der unmittelbaren Umgebung des Kraftangriffspunktes zu bekommen. Dazu wurde die photographische Methode B 4/5¹⁾ benutzt. Auf diese Weise wurde u. a. das Isochromatenbild 6 erhalten; Bild 7 zeigt dessen Auswertung.

III. Belastung

Der wirkliche Pfeiler wird durch folgende Kräfte beansprucht:

a) *Vertikalkräfte*: Eigengewicht des Pfeilers, Gewicht des Windenhauses mit Winden, Kran und Schützen, Wehrbrückengewicht, Auftrieb.

¹⁾ R. V. Baud: «Entwicklung und heutiger Stand der Photoelastizität und der Photoplastizität im Rahmen der Gesamtexperimentalelastizität», Schweizer Archiv, 4. Jahrgang, Nr. 1 und 2, Januar und Februar 1938, Bericht Nr. 118 der EMPA.

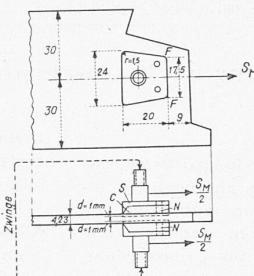


Bild 4. Günstigste Befestigungsart der Konsolen «K».
S Trapez aus Stahl,
C Trapez aus Celluloid,
N Niet

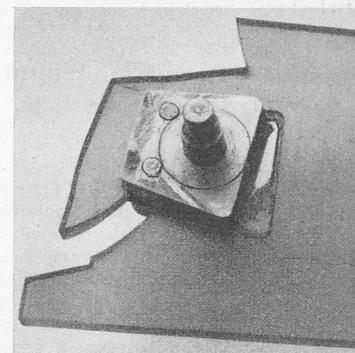


Bild 5. Bruch des Modellversuchstabes bei 300 kg Zuglast

b) *Horizontale Längskraft*: Wasserdruk $W = 209$ t auf den Pfeilerkopf.

c) *Horizontale Querkräfte*: Wasserdruk symmetrisch und unsymmetrisch.

d) *Schrägkräfte*: Zwei Auflagerdrücke der Schützen, links und rechts je $\frac{1}{2} S = 480$ t, total $S = 960$ t.

Auf Anweisung des Auftraggebers wurde zur möglichst raschen Durchführung der Versuche von der Nachahmung der unter a) angegebenen Vertikalkräfte abgesehen. Die Bauleitung zog es damals der beschränkten Zeit wegen vor, die Superposition der Spannungen, herrührend einerseits von S und W , andererseits von den Eigengewichten, selbst und zwar auf graphisch-analytischem Wege vorzunehmen, da die modellmässige Mitberücksichtigung der Vertikalkräfte einen derartigen Mehraufwand an Vorbereitungen bedingt hätte, dass man mit den Versuchen kaum rechtzeitig fertig geworden wäre. Erst später wurde ein Versuch unter Mitberücksichtigung der Vertikalkräfte ausgeführt. Hierbei kam die sog. Streifenmethode zur Ausführung, über die hier demnächst berichtet werden soll. Auf die Nachahmung der unter c) aufgeföhrten Beanspruchung musste ebenfalls verzichtet werden, weil das Problem nur zweidimensional behandelt werden konnte. Bei symmetrischer Belastung ist dies belanglos. Somit blieben nur die Kräfte S und W — im Verhältnis $S/W = 4,59$ — nachzuahmen. Dies geschah wie folgt:

1. *Der Schützenauflagerdruck S* . Die um 18° geneigte Last S_M wurde mittelst Hebel so aufgebracht, dass auf jeder Seite des Modells genau die Kraft $\frac{1}{2} S_M$ wirkte. Die oben erwähnte Ausführung der Modell-Konsolen nach Bild 4 zur Einleitung dieser Kräfte in das Pfeilermodell bewährte sich gut.

2. *Der Wasserdruk W* . Das Problem bestand darin, eine dreieckförmig verteilte Belastung auf 88 mm Höhe des oberen Modellteils wirken zu lassen. Seine Lösung zeigen die Bilder 8 bis 10. Zuerst wurde die Gesamtlast W_M in n Einzellasten gleichmässig treppenförmig zerlegt, wobei für die Grösse einer beliebigen Einzellast, entsprechend Stufe i , die Formel gilt:

$$w_M = (2i - 1) \frac{W_M}{n^2}$$

Man wählte $n = 8$ und erhielt mit z. B. $W_M = 64$ kg die in Bild 8 angegebenen Einzelkräfte. Die Zerlegung von W_M erfolgte mit sieben aus Stahl hergestellten Hebelen (Bilder 9 und 10) in die acht Einzellasten, die mit Celluloidstäbchen auf das Modell übertragen wurden. Um die erwähnte treppenförmige Belastung in eine möglichst linear ansteigende zu verwandeln, wurden die acht Stäbchen an den freien Enden durch Aufkleben eines 0,8 mm dicken Celluloidstreifens miteinander verbunden. Außerdem wurde noch ein Gummistreifen von 1 mm Dicke zwischen

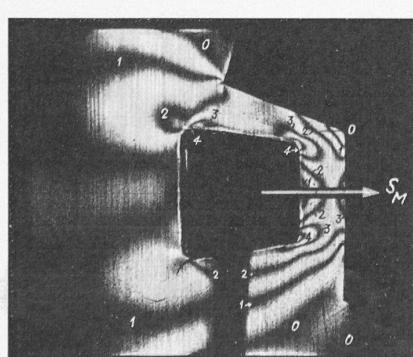
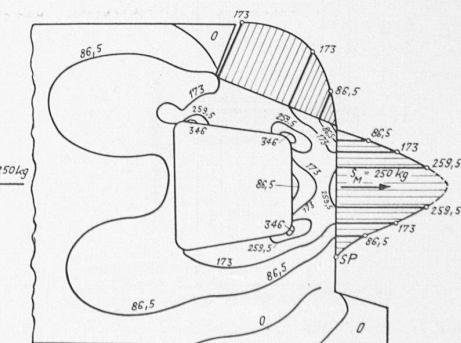


Bild 6 (links): Isochromaten des Modell-Versuchstabes mit Konsolausführung nach Bild 4 für $S_M = 250$ kg. Linien gleicher Dunkelheit sind solche gleicher Hauptschubspannung $\tau_{\max} = \frac{1}{2} (\sigma_{1M} - \sigma_{2M})$. Im vorliegenden Fall beträgt: $\sigma_{1M} - \sigma_{2M} = 86,5 \cdot n \text{ kg/cm}^2$, wobei $n = \text{Interferenzordnungszahl}$. Bild 7 (rechts): Auswertung der Isochromaten. Die Linien im Modellinneren stellen Linien gleicher Hauptspannungsdifferenz $(\sigma_{1M} - \sigma_{2M})$ dar; die über dem Außenrand aufgetragenen Kurven geben, da $\sigma_{2M} = 0$, direkt die Randspannung σ_{1M} in kg/cm^2 an.



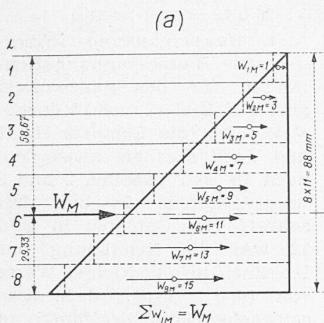


Bild 8. Nachahmung des linear ansteigenden Druckes; Zerlegung der Gesamtkraft W_M in acht Einzelkräfte

(b)

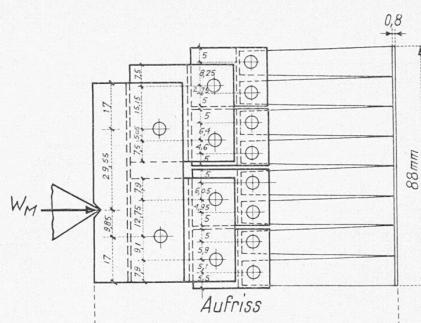


Bild 9. Schema des Hebelsystems

Belastungsvorrichtung und Modell einschoben, der auch ausgleichend wirkte insbesondere hinsichtlich lokaler Störungen infolge nie zu vermeidender Herstellungsunreinigkeiten. Wegen Zeitmangel konnte ein Eichversuch mit dieser Vorrichtung nicht durchgeführt werden. Bei den Versuchen am Pfeilermodell zeigte sich indessen keine sprunghafte, sondern eine gleichmäßig ansteigende Verteilung der Kraft W_M , so dass bei der Auswertung der Messergebnisse angenommen werden konnte, dass sie in Wirklichkeit genügend genau dreieckförmig war.

3. Gesamtanordnung. Bild 11 zeigt das Modell und seine Belastungsvorrichtung. Das Modell ist zwischen Stahlplatten eingespannt, die durch mässig angezogene Schrauben zusammengehalten sind. Die kaum vermeidbaren Vorspannungen in Querrichtung bleiben so vernachlässigbar klein. Der Durchmesser der Schrauben war 3 mm kleiner als die entsprechenden Löcher im Modell, sodass die auf das Modell wirkenden Kräfte S_M und W_M effektiv durch Reibung an den Stahlplatten aufgenommen und von diesen auf den Rahmen übertragen wurden.

4. Modellbelastung. Bei den Versuchen wurden nacheinander zwei Laststufen gewählt:

1. Stufe: $S_M = 93,0 \text{ kg}$, $W_M = 20,2 \text{ kg}$, $S_M/W_M = 4,59$

2. Stufe: $S_M = 193,0 \text{ kg}$, $W_M = 42,0 \text{ kg}$, $S_M/W_M = 4,59$

Bei der ersten Stufe wurden die Randspannungen im meistbeanspruchten Teil des Modells, d. h. in der Umgebung des Angriffspunktes von S_M , gemessen. Diese verhältnismässig nied-

Tabelle 1. Spannungen am lastfreien Außenrand und in der Queröffnung in kg/cm^2

Punkt	σ_{1M}	Punkt	σ_{1M}	Punkt	σ_{2M}	Punkt	σ_{2M}
8	5,2	14 a	263,6	18	— 76,8	26	— 34,2
9	8,3	15	217,9	18 a	— 267,7	27	— 42,8
10	11,0	16	128,7	19	— 74,7	M_2	— 43,4
11	9,2	16 a	282,2	20	— 18,7	M_4	— 37,3
12	6,1	17	217,9	21	0		
13	0	17 a	0	23	0		
13 b	178,5	M_1	78,9	24	— 6,7		
14	203,4	M_3	86,2	25	— 19,0		

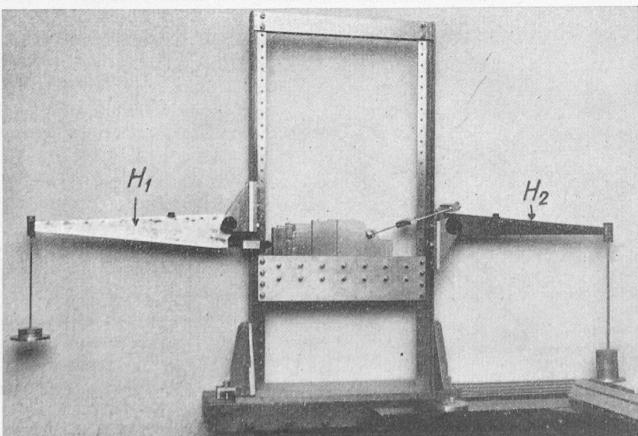


Bild 11. Versuchsanordnung. H_1 Hebel für die Horizontalkraft W_M . H_2 Hebel für die schräge Kraft S_M .

lige Belastung war notwendig, um die betreffenden Spannungen innerhalb der Proportionalitätsgrenze des Materials zu halten. Die zweite Stufe wählte man so, dass die Spannungen in den weniger stark beanspruchten Gebieten gut messbar waren und gleichzeitig die durch die Vorversuche ermittelte Lastgrenze für S_M nicht überschritten wurde.

IV. Messmethoden

1. Hauptspannungsrichtungen. Die Isoklinen wurden flächenhaft nach Methode A 2²) ermittelt. Aus ihnen lassen sich die Trajektorien auf graphischem Weg mit grosser Zuverlässigkeit und verhältnismässig rasch konstruieren³⁾.

2. Spannungsgrössen. a) Spannungen an lastfreien Rändern. Hier

²⁾ Loc. cit., siehe S. 7.

³⁾ Es handelt sich tatsächlich um eine graphische Integration, vergl. R. V. Baud, «Techn. Methoden photoelastischer Forschung», SBZ Bd. 100, S. 1*, 15* (Juli 1932).

Bild 10. Tatsächlich ausgeführte Belastungsvorrichtung

Tabelle 2. Spannungsverteilung im Schnitt H-H in kg/cm^2

Punkt	Gemessene Werte			Aus den Messungen berechn. Werte			
	α	$\sigma_{1M} - \sigma_{2M}$	$\sigma_{1M} + \sigma_{2M}$	σ_{1M}	σ_{2M}	σ_{xM}	σ_{yM}
27	0	42,8		0	— 42,8	0	— 42,8
28	65	39,1					15,0
29	52	35,5	— 58,1	— 11,3	— 46,8	— 23,6	— 34,5
30	45 $\frac{1}{2}$	35,5					16,9
31	43	30,6	— 42,2	— 5,8	— 36,4	— 22,2	— 20,0
32	43	31,2					15,2
33	38	36,1	22,9	29,5	— 6,6	7,1	15,8
34	35	44,0					20,7
35	34 $\frac{1}{2}$	52,6	35,8	44,2	— 8,4	8,5	27,3
36	36 $\frac{1}{4}$	54,4					24,5
37	35	49,2	28,1	38,6	— 10,5	5,6	22,5
38	40	48,3					23,1
39	45	46,5	33,6	40,0	— 6,4	16,8	16,8
40	42 $\frac{1}{2}$	46,5					23,2
41	45	44,6	20,8	32,7	— 11,9	10,4	10,4
42	48	45,3					22,3
42 a	49 $\frac{1}{2}$	42,6	15,9	30,2	— 14,3	11,8	4,1
43 a	50	27,2	10,3	18,8	— 8,5	7,7	2,6
44	50 $\frac{1}{2}$	25,5					13,4
45	44 $\frac{1}{2}$	26,5	9,0	17,8	— 8,8	4,3	4,7
46	40 $\frac{1}{2}$	27,2					13,3
47	37 $\frac{1}{2}$	28,9	16,8	22,8	— 6,0	4,7	12,1
48	35	27,2					14,0
49	34	33,7	21,4	27,5	— 6,1	4,4	17,0
50 b	26	57,7					22,7
50	0	48,8		36,5	— 12,3	— 12,3	— 36,5

Tabelle 3. Spannungsverteilung im Schnitt V-V

Punkt	Gemessene Werte			Aus den Messungen berechn. Werte			
	α	$\sigma_{1M} - \sigma_{2M}$	$\sigma_{1M} + \sigma_{2M}$	σ_{1M}	σ_{2M}	σ_{xM}	σ_{yM}
7 a	0	1,2	1,2	1,2	0	1,2	0
56	72	4,9					1,4
57	70	9,8	6,1	8,0	— 1,9	6,8	— 0,7
58	58	15,3					3,1
59	59 $\frac{1}{2}$	21,4	12,8	17,1	— 4,3	11,6	1,2
60	55	31,2					6,9
61	37 $\frac{1}{2}$	26,3	20,8	23,6	— 2,8	7,0	13,8
62	49 $\frac{1}{2}$	33,6					12,7
63	50	39,1	33,6	36,4	— 2,8	20,2	13,4
64	50	41,0					19,3
42 a	49 $\frac{1}{2}$	44,6	15,9	30,2	— 14,3	11,8	4,1

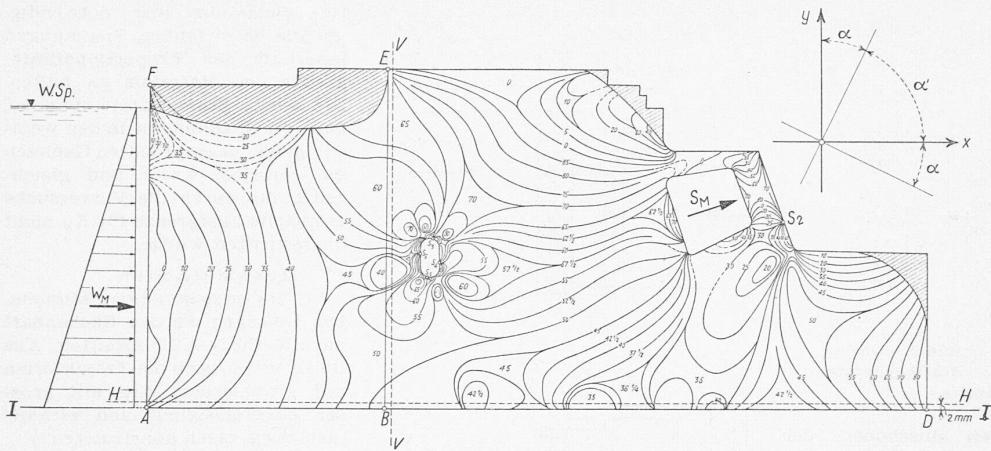


Bild 12. Isoklinen für die Belastung durch die Kräfte S_M und W_M (Isoklinen = Linien gleicher Neigung der Hauptspannungsrichtungen, also gleicher Winkel α , siehe Bild rechts oben)

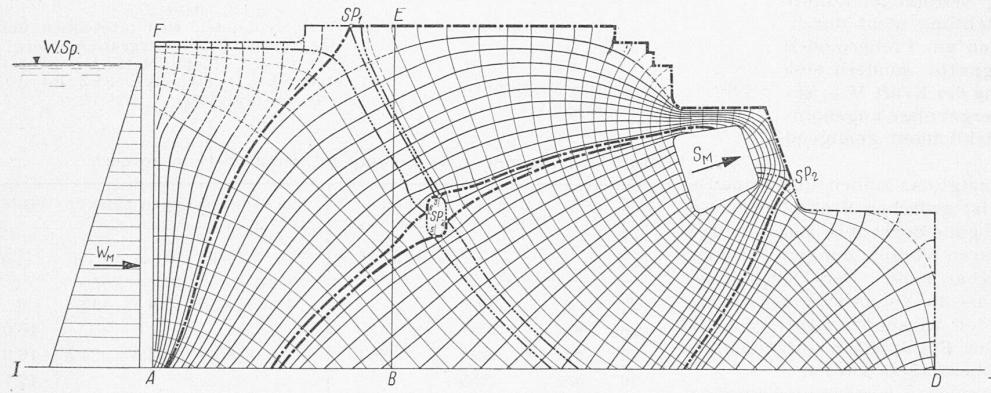


Bild 13. Hauptspannungstrajektorien für die Belastung durch die Kräfte S_M und W_M .
 Mitte stark ausgezogen: Hauptspannungsrichtung s_1 ; schwach ausgezogen: Hauptspannungsrichtung s_2
 — Grenztrajektorien S_1 , - - - Grenztrajektorien S_2

ist eine der beiden Hauptspannungen gleich Null und die andere direkt nach der Methode B 3²⁾) punktweise ermittelbar.

b) Spannungen im Innern. Hierfür wurden folgende Größen punktweise ermittelt: Die Hauptspannungsdifferenzen ($\sigma_{1M} - \sigma_{2M}$) = $2\tau_{M\max}$, nach Methode B3, und die Hauptspannungs- summen ($\sigma_{1M} + \sigma_{2M}$) nach der Lochmethode El²) unter Zuhilf enahme der Methode B3. Die Genauigkeit der Summenmessun- gen ist etwa halb so gross wie die der Differenzmessungen.

c) Spannungen an belasteten Rändern. Im Prinzip müssen solche Ränder wie unter b) behandelt werden. In gewissen Fällen kann man jedoch auf die Summenmessung verzichten, wenn keine Tangentialspannung (Reibung) vorhanden und eine der beiden Hauptspannungen von vornherein bekannt ist. Auf diese Art wurde in der vorliegenden Untersuchung die längs der Vorderkante A-F wirkende Spannung σ_{1M} bestimmt (vgl. Abschnitt V/2c).

²⁾ Loc. cit., s. S. 7.

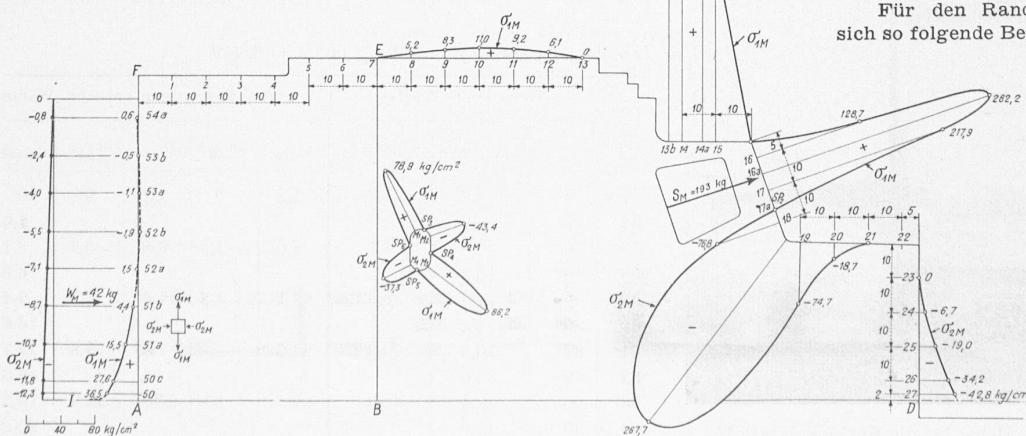


Bild 14. Randspannungen

V. Messergebnisse

1. *Hauptspannungsrichtungen*. Die Hauptspannungsrichtungen für das ganze Feld sind auf Bild 12 und 13 dargestellt; für die Schnitte H–H und V–V sind sie ausserdem noch in den Tabellen 2 und 3 wiedergegeben. In den drei schraffierten Gebieten in Bild 12 war die Ermittlung der Isoklinen infolge kleiner Werte von $(\sigma_{1M} - \sigma_{2M})$, d. h. also schwacher Doppelbrechung und dadurch bedingter geringer Bildaufhellung erschwert. Der Verlauf der Trajektorien ist deswegen in diesen Gebieten nur mutmasslich und deshalb gestrichelt angegeben.

Bild 12 zeigt an der Kante A—F in der oberen Partie eine an sich geringe und ungleichmässige örtliche Abweichung des Richtungswinkels α von 0° , die auf vorhandene Reibung entsprechender Grösse schliessen lässt. Diese Abweichung hat man bei der Konstruktion der Trajektorien berücksichtigt. Bei den nachfolgenden Spannungsmessungen zeigten sich bei der genauen Kontrolle nur noch kleine Abweichungen. Einfachheitshalber wurde bei der Messung und weitern Auswertung (Berechnung und Bezeichnung der Spannungen, usw.) für diese Kante überall $\alpha = 0^\circ$ angenommen, d. h. die geringe lokale Reibung wurde vernachlässigt.

Die Bezeichnung der beiden Hauptspannungen hat mangels fester Regeln von Fall zu Fall zu erfolgen. Hierbei hat sich folgendes Verfahren des Verfassers bewährt: Man bezeichnet diejenige Richtung s_1 , in der sich die bedeutsamste der äusseren Kräfte ins Innere des Körpers fortsetzt, als die von σ_1 . Es ergibt sich so meist ein engeres Bündel (B_1) von ähnlich gerichteten Trajektorien, das also die Richtung von σ_1 angibt. Jedes andere Bündel von Trajektorien (B_2), das das Erste senkrecht kreuzt, gibt die Richtung von σ_2 an. Weitere Bündel, die ihrerseits dasjenige von B_2 senkrecht durchsetzen, sind dann wieder solche von σ_1 -Trajektorien. Im vorliegenden Fall ist die Kraft S_M die weitaus bedeutsamere der beiden wirkenden Kräfte und es lag deshalb auf der Hand, die mittelstark gezogenen Trajektorien, die, wie aus Bild 13 ersichtlich, den Angriffspunkt der Kraft S_M umschlingen, als s_1 -Richtung zu wählen. Die Spannungsmessungen in den Schnitten H—H und V—V zeigten denn auch, dass hier $\sigma_{1M} > \sigma_{2M}$ ist, was mit den oben gemachten Bemerkungen über die zweckmässigste Bezeichnung sinngemäss übereinstimmt.

Für den Rand und die Queröffnung ergab sich so folgende Bezeichnung (Bild 13 u. 14): Von

A bis F, SP_1 bis SP_2 , SP_4 bis SP_5 , SP_6 bis SP_3 ist die Randspannung gleich σ_{1M} ; von F bis SP_1 , SP_2 bis D, SP_3 bis SP_4 , SP_5 bis SP_6 ist die Randspannung gleich σ_{2M} . Dieser Wechsel der Randspannungsbezeichnung wird im vorliegenden Fall dadurch verursacht, dass das Trajektorienbild eine Reihe von Grenztrajektorien S (strichpunktisierte Linien in Bild 13) aufweist. Es sind dies Trajektorien mit örtlichen Unstetigkeitstellen der

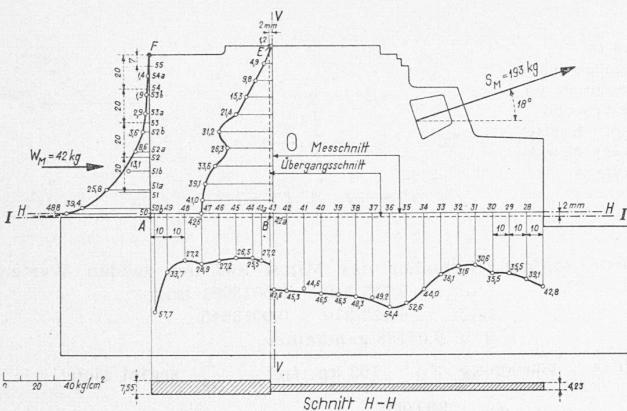


Bild 15. Hauptspannungsdifferenzen $\sigma_{1M} - \sigma_{2M}$ für den Rand A-F und die Schnitte H-H und V-V

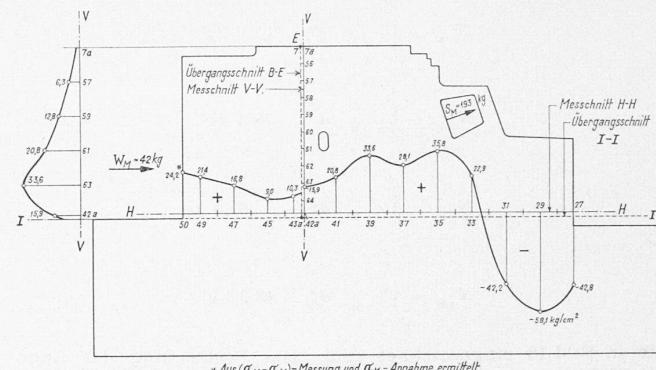


Bild 16. Hauptspannungssummen $\sigma_{1M} + \sigma_{2M}$ für die Schnitte H-H und V-V

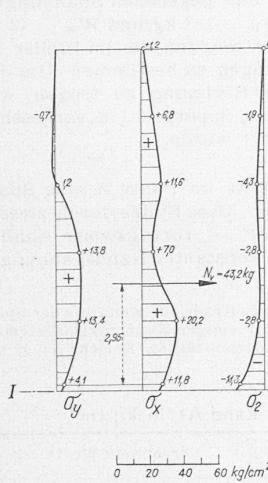


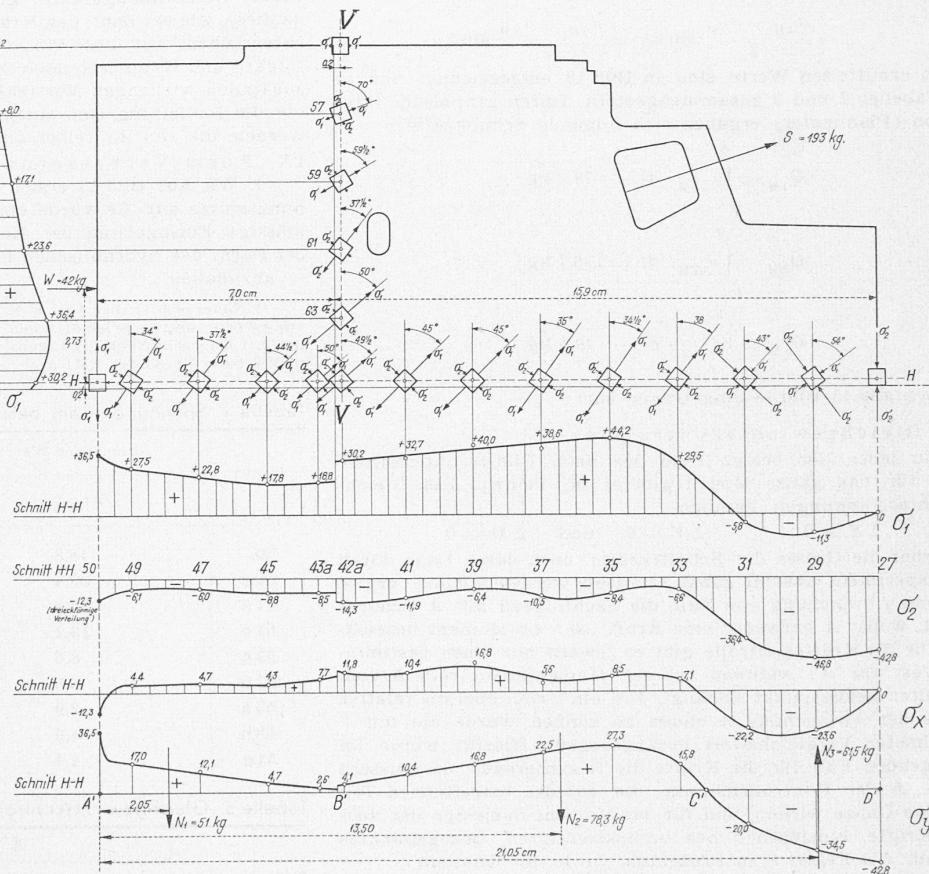
Bild 17. Hauptspannungen σ_{1M} und σ_{2M} und Normalspannungen σ_{xM} und σ_{yM} für die Schnitte H-H und V-V. (Zur Vereinfachung wurde bei allen Kräfte- und Spannungsbezeichnungen der Index M im Bild weggelassen)

Tangenten. Diese Stellen befinden sich in den sog. singulären Nullpunkten SP lastfreier Ränder. In diesen Punkten sind beide Hauptspannungen gleich Null; es ist also an sich keine Richtung ausgezeichnet. Tatsächlich sind jedoch «Grenz»-Richtungen vorhanden, in denen die Grenztrajektorien unter einem bestimmten, von 90° abweichenden Winkel vom Rand ins Innere abbiegen.

2. Spannungsgrößen. a) Spannungen am lastfreien Außenrand und an der Queröffnung. Die Randspannungen σ_{1M} und σ_{2M} sind in Bild 14 eingezeichnet und in Tabelle 1 zusammengestellt. Gewisse Messungen, so die in den Punkten 13 b bis 21, wurden, wie bereits in Abschnitt III erwähnt, mit der unteren Laststufe ausgeführt. Um die so ermittelten Werte mit den übrigen direkt vergleichen zu können, wurden sie auf die obere, für alle übrigen Spannungsmessungen zutreffende Laststufe $S_M = 193 \text{ kg}$, $W_M = 42 \text{ kg}$ umgerechnet.

b) Spannungen im Inneren. Die Hauptspannungsdifferenzen für die Schnitte H-H und V-V zeigen Bild 15, sowie Tabellen 2 und 3, die Hauptspannungssummen Bild 16 und Tabellen 2 und 3.

c) Spannungen am belasteten Rand A-F. Die Spannung σ_{1M} in Richtung A-F wurde, wie bereits angekündigt, aus dem gemessenen Wert $(\sigma_{1M} - \sigma_{2M})$ dadurch ermittelt, dass man σ_{2M} als bekannt voraussetzte; hierbei wurde die Annahme, W_M sei genau dreieckförmig verteilt, gemacht. Die gemessenen und daraus auf oben angegebene Weise berechneten Werte sind in Tabelle 4 angegeben.



VI. Auswertung der Messergebnisse

1. Trennung der Hauptspannungen. Aus den für die Schnitte H-H und V-V gemessenen Differenzen und Summen der Hauptspannungen lassen sich σ_{1M} und σ_{2M} getrennt bestimmen, mit den für diese Schnitte in Bild 17 aufgetragenen und in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellten Ergebnissen. Damit ist der Spannungszustand in den beiden ausgemessenen Schnitten eindeutig festgelegt, da ja die Winkel α nicht nur für diese Schnitte, sondern gemäß Bild 12 und 13 für das ganze Feld bekannt sind.

2. Ermittlung der Normalspannungen und Normalkräfte senkrecht zu den betrachteten Schnitten. Aus den Hauptspannungsrichtungen $\alpha = 90^\circ - \alpha'$ (Bild 12, rechts oben), den Differenzen $(\sigma_{1M} - \sigma_{2M})$ und den Summen $(\sigma_{1M} + \sigma_{2M})$ ergibt sich unmittelbar:

$$\sigma_{xM} = \frac{\sigma_{1M} + \sigma_{2M}}{2} + \frac{\sigma_{1M} - \sigma_{2M}}{2} \cos 2\alpha' = (\sigma_{1M} + \sigma_{2M}) - \sigma_{yM}$$

$$\sigma_{yM} = \frac{\sigma_{1M} + \sigma_{2M}}{2} - \frac{\sigma_{1M} - \sigma_{2M}}{2} \cos 2\alpha' = (\sigma_{1M} + \sigma_{2M}) - \sigma_{xM}$$

Die so ermittelten Werte sind in Bild 17 aufgetragen und in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt. Durch graphische Integration — Planimetrieren — ergaben sich folgende Normalkräfte:

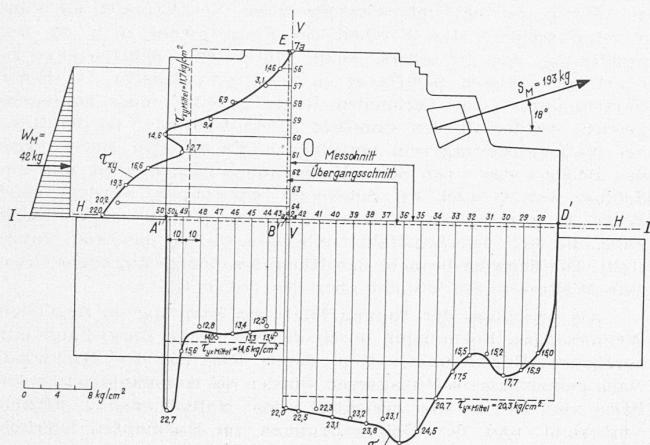


Bild 19. Schubspannungen $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ in den Schnitten H-H und V-V

2. Auf die Bedeutung der Ausrundung der einspringenden Ecke des Wehrbrückenaufglagers und des darunter liegenden Absatzes (Kote 359,20 m und 356,30 m, Bild 1) wurde bereits in Abschnitt II dieses Berichtes hingewiesen. Durch die Anordnung eines Radius von 4 mm (40 cm in Wirklichkeit) an der erstgenannten Stelle wurde ohne Zweifel die Spannungsspitze, die man bei den Vorversuchen dort feststellte, weitgehend abgebaut. Die Abrundung $r = 2$ mm (20 cm in Wirklichkeit) entsprechend Kote 356,30 m dagegen ist noch klein, indem dort immer noch eine erhebliche Spannungsspitze (allerdings Druck) auftritt, vgl. Bild 14.

3. Obschon die Queröffnung des Modells mit zwei grossen Rundungen ausgeführt ist — statt sechs Ecken wie auf dem ursprünglichen Bauprojekt — sind dort immer noch zwei Zugspannungsspitzen (und nebenbei bemerkt zwei Druckspannungsspitzen) vorhanden, denen bei der Armierung Rechnung zu tragen war.

4. Was die Formgebung der Konsolen — Schützenwiderlager — anbelangt, sei auf die Bemerkungen in Abschnitt II hingewiesen.

X. Schlussbemerkung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auf Grund der spannungsoptischen Untersuchung

1. die Armierung des Pfeilers zweckmässiger als nach der Rechnung allein dem Spannungsverlauf angepasst und dadurch an Armierungsgewicht gespart werden konnte, was bei den damaligen Materialbeschaffungsverhältnissen von grosser Bedeutung war.

2. die Formgebung an verschiedenen Stellen des Bauwerks verbessert werden konnte.

Damit war einmal mehr erwiesen, welche Bedeutung der Spannungsoptik überall in der Technik, wo Spannungsprobleme zu lösen sind, zukommt.

Der Kraftwerk Rapperswil-Auenstein A.-G. sei an dieser Stelle für die Erlaubnis, die spannungsoptischen Versuche und ihre Ergebnisse in Form der vorliegenden Veröffentlichung und einer späteren Ergänzung einem grösseren Leserkreis zur Kenntnis bringen zu dürfen, bestens gedankt.

Internationale Schiffahrtstagung Basel 1946

Die internationale Schiffahrtstagung in Basel, am 11. und 12. Oktober 1946 abgehalten, erwies sich als eine eindrucksvolle Manifestation des Anteils, den die Schweiz und besonders die so aktive Handels- und Verkehrsstadt Basel am Rhein als Schiffahrtsstrasse und als Zugang zum offenen Meere nimmt.

Im Namen des Organisationskomitee begrüste der Kongress-Präsident, Nationalrat Dr. N. Jaquet, Präsident der Basler Vereinigung für Schweizerische Schiffahrt, die im Grossratssaal versammelten 250 Kongressteilnehmer: Botschafter A. Tierry, Paris, Präsident der Rhein-Zentral-Kommission (RZK); Charbonnier, Brüssel, Belgischer Vertreter der RZK, Leemans, Direktor des Hafens von Antwerpen; Bonet-Maury, Strassburg, Pelletier, Paris, Verhey, Strassburg, Mc Clure, Paris, die Vertreter Frankreichs der RZK, R. Graff, Direktor des Hafens von Strassburg, R. Martin, Paris, directeur de l'Office National de la Navigation, Dr. Walther, Strassburg, Generalsekretär der RZK; die Brigade-Generäle Mance, London, und Walter, Duisburg, die Vertreter Englands in der RZK; Boogerd, Amsterdam, directeur des ports maritime et aérien, Kiewiet de Jonge, Rotterdam, und Schaeppman, den Haag, die Vertreter Hollands in

der RZK, Koomans, Direktor des Hafens von Rotterdam; als Vertreter der Besetzungsmächte, Brigade-General Walls (brit. Zone-, Col. Neff und Lt.-Col. Boyd (amerik. Zone) und Noël-Mayer (franz. Zone); die Vertreter des Rhine Interim Working Committee, Duisburg. Die Basler Behörden bekundeten das Gewicht der Tagung durch die Uebernahme des Ehrenpräsidiums durch Ständerat Regierungsrat G. Wenk, Vorsteher der Schifffahrtsdirektion, und die Anwesenheit des Regierungspräsidenten Dr. Peter und der Regierungsräte Brechbühl, Dr. Ebi, Dr. Miville, Dr. Zschokke und Dr. Zweifel, sowie des Direktors des Rheinschiffahrtsamtes, Dr. A. Schaller. Basel-Land vertrat seine Hafeninteressen durch die Regierungsräte Leupin und Dr. Gschwind. Die Eidg. Behörden waren vertreten durch Nationalratspräsident Grimm, Legationsrat Dr. P. Hohl vom EPD, Dr. J. Hotz, Direktor der Handelsabteilung des EVD, Dr. C. Mutzner, Direktor des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft, R. Furrer, Oberzolldirektor, Bern. Leitende Vertreter von Schifffahrtsinteressen waren anwesend aus England, U. S. A., Holland, Belgien, Frankreich, Italien und der Schweiz.

Die Reihe der Vorträge eröffnete Charbonnier, Brüssel, mit einem Bericht über «Die belgische Binnenschiffahrt». Die Schiffahrt in Belgien war bis 1940 für alle Nationen völlig frei. 1939 besass Belgien 7000 Kanalkähne mit 2,5 Mio t; infolge Zerstörung und Abtransport waren bei der Befreiung noch 3500 vorhanden. Nach dem Krieg begann auf 50 Werften die Reparatur; Schiffe wurden gehoben; durch verschiedene Missionen wurden die bis Norwegen und Russland verschleppten Kähne zurückgeholt. Heute sind 5300 Kanalschiffe mit 1,9 Mio t vorhanden. Die Frachtpreise sind auf das dreifache von 1939 gestiegen. Es hat sich als notwendig erwiesen, die Frachtverteilung durch eine besondere Verwaltungsorganisation zu regeln, da mehr Schiffsraum als Fracht vorhanden ist. Zur Fahrt bis Strassburg und Basel benötigt Belgien Selbstfahrer mit starken Motoren.

Anschliessend sprach R. Graff, Directeur du Port Autonome de Strasbourg, über «Die französische Rheinschiffahrt seit dem Kriege». 1938 betrug der Hafenverkehr in Strassburg 5,5 Mio t, 1939 umfasste die französische Rheinflotte 0,37 Mio t, entsprechend 5 % der gesamten Rheinflotte, von der 45 % unter holländischer, 33 % unter deutscher Flagge fuhr. Heute ist ein Viertel des früheren Bestandes vorhanden. An einem grossen Schiffbau-Programm wird gearbeitet; Schlepper und Selbstfahrer (von 480 PS) werden vor allem benötigt.

An diese Vorträge schloss sich ein Empfang der Kongress-Teilnehmer im Stadt-Casino durch die Regierung von Basel. In seinen mit Wärme vorgetragenen Begrüßungsworten wandte sich Regierungsrat G. Wenk an den französischen Präsidenten der RZK: Dies Präsidium in den Händen Frankreichs bedeute ein Symbol; das der Freiheit des Rheines; der Garantie, dass die Schweiz auf diesem Strome ungehindert und frei fahren könne; es bedeute ein Symbol einer Staatsidee, derzu folge auf dem Rhein nicht die Macht, sondern das Recht entscheiden soll. Es komme nicht oft vor, dass Kantone dem Bund danken; aber hier sei Gelegenheit, den Instanzen zu danken, die geholfen haben, die Welt für Basel wieder zu öffnen. Besonderer Dank der Basler Regierung gebürtige Direktor Mutzner für seine grosse Initiative zur Wiedererschliessung des Rheinverkehrs.

Das anschliessende gemeinsame Nachtessen mit 250 Gedekken bot Gelegenheit zu persönlichem Kontakt der Teilnehmer. Die bei gehobener Stimmung dargebotenen gediegenen Unterhaltungen — Trommler und Pfeifer der «Lälli-Clique», Jodlergruppe — erfreuten und beeindruckten ausländische und Schweizer Gäste.

Am Samstag wurden die Vorträge im Grossratssaal fortgesetzt. Der Rotterdamer Hafendirektor Koomans sprach über «Die Wiederaufrichtung der holländischen Binnenschifffahrt». Die niederländische Binnenschifffahrt ist unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten: einerseits nationale Schifffahrt im internen Netz, anderseits internationale, d. h. Rheinschifffahrt. In der nationalen Binnenschifffahrt wurde der Frachtenmarkt durch die Krise von 1933 aus den Fugen gerissen; Ordnung musste damals durch eine Frachtenkommission geschaffen werden. Diese trennte die Rheinschifffahrt klar ab. Das Binnenschifffahrtsnetz war zweimal so gross wie das Eisenbahnnetz, die Frachtenmenge viermal so gross wie die Eisenbahnenfrachten. 20 000 Kähne von 250 t mittlerer Grösse standen zur Verfügung. Dies Angebot von Frachtraum überstieg den Bedarf. Nach der Befreiung stand man zunächst vor drei Aufgaben: Freilegen der Fahrwege, Aussuchen der verfügbaren Boote, Bestimmung des Frachtangebotes. Die Schiffswände waren durch Wracks gesperrt, durch Zerstörungen unterbrochen, durch Barrikaden, teils mit Minen, verlegt. Von den grossen Schiffswerften waren die grossen Werkzeuge weggeführt und die Lager