Die Erneuerung von zwei Maillart-Brücken

Autor(en): **Favre, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **87 (1969)**

Heft 17

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-70659

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

87. Jahrgang Heft 17 SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG 24. April 1969

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, ZÜRICH

Die Erneuerung von zwei Maillart-Brücken

DK 624.21.001.7

Von **R. Favre**, dipl. Ing. ETH, Mitarbeiter im Ing.-Büro W. Schalcher, Zürich

Wir veröffentlichen diesen Aufsatz zum siebzigsten Geburtstag — am heutigen Tag — als Gabe an unseren Kollegen Pierre E. Soutter, den Gründer des Büros W. Schalcher, Ing., Mitarbeiter R. Favre, Ing., Zürich. Red.

1. Einleitung

Architektonisch wertvolle Gebäude gelten nicht nur in der Fachwelt, sondern auch in der Öffentlichkeit als erhaltenswert. Grosse Geldsummen werden daher ausgegeben, um alte Kirchen, Paläste, aber auch einfache Wohnhäuser zu restaurieren, auch wenn es von der rein praktischen Seite betrachtet viel zweckmässigere Lösungen gäbe. So kann zum Beispiel die Restaurierung der «Basse-Ville» in Freiburg, wo gothische Häuser mit grossem Aufwand wieder wohnbar gemacht werden, fragwürdig erscheinen, wenn man bedenkt, dass niemand mehr diese Häuser im schattigen Stadtviertel bewohnen will.

Ganz anders dagegen liegen die Verhältnisse bei den Brücken. Meistens kümmert sich da bloss die Fachwelt um den historischen, technischen und formalen Wert eines Bauwerkes. Wer kennt schon die meisterhafte Eleganz der Brücken, die vor Jahrhunderten in unseren Alpen gebaut wurden (Bild 1)? Wer kümmert sich noch um die klassischen französischen Massivbogenbrücken des XVIII. Jahrhunderts? Dabei besitzen doch ausgerechnet diese Bauten jene «edle Einfalt und stille Grösse», wie es sich der Kunsthistoriker Winckelmann zum Leitgedanken machte: frei von subjektiver Willkür, als ein scheinbar der Natur nachgeformtes plastisches Gebilde, ruhig, massvoll und klar soll das Kunstwerk erscheinen.

Von Fall zu Fall muss untersucht werden, auf welche Art eine Brücke am besten zu erhalten ist. Man kann drei grundsätzliche Möglichkeiten unterscheiden:

1. Bau einer neuen Brücke neben der alten wie zum Beispiel in Gümmenen (Kanton Bern), wo neben der alten Holzbrücke eine neue Vorspannbetonbrücke, oder in La Caille (Savoyen), wo neben der stehengelassenen Hängebrücke eine Massivbogenbrücke gebaut wurde. Dabei kann unter Umständen das alte Bauwerk noch gewisse Dienste erfüllen, etwa für die Fussgänger oder den Lokalverkehr.
2. Die alte Brücke wird abgebrochen und genau gleich woanders wieder aufgebaut. Solche Lösungen (z. B. London Bridge) bedürfen aber eines besonderen Mäzens, wie man sie wohl nur in den Vereinigten Staaten antrifft.
3. Das alte Bauwerk wird so umgebaut, dass es den neuen Anforderungen genügt, ohne dabei seinen formalen und bauhistorischen Wert zu verlieren.

Es sollen nachfolgend zwei Beispiele dieser Art behandelt werden.

2. Der grosse Brückenbauer Robert Maillart

Zu den erhaltenswerten Brücken gehören bestimmt jene von *Robert Maillart*. Dieser intuitiv hochbegabte Ingenieur schuf Werke, die weit über unsere Grenzen bekannt geworden sind. Im Jahre 1872 geboren, studierte er von 1890 bis 1894 am «Poly». Der Beginn seiner Bautätigkeit lag somit in der Zeit, in der sich die Betonbauweise durchzusetzen begann. Bis zu seinem Tode wirkte er bahnbrechend in vielen Gebieten des Eisenbetons. Besonders erwähnt seien hier die erste Pilzdecke (1908), seine Stabbogen- und Dreigelenkbogenbrücken (ab 1901) und Schalentragwerke (Schweizerische Landesausstellung 1939)[1]).

Auch auf dem theoretischen Gebiet ist Maillart bekannt geworden, z. B. durch seinen im Jahr 1921 in der SBZ Bd. 67, Nr. 2 publizierten Artikel «Zur Frage der Biegung». Darin hat er die Abweichung von der klassichen Biegungslehre bei in der Lastebene unsymmetrischen Querschnitten (z .B. ⊏-Profileisen) zu erklären vermocht. Er hat damit als erster den Begriff des «Schubmittelpunktes» eingeführt und seine doppelte Bedeutung erkannt: einerseits ist er der Angriffspunkt der Belastung bei verdrehungsfreier Biegung und andererseits der Drehpunkt des Querschnittes bei Verdrehung.

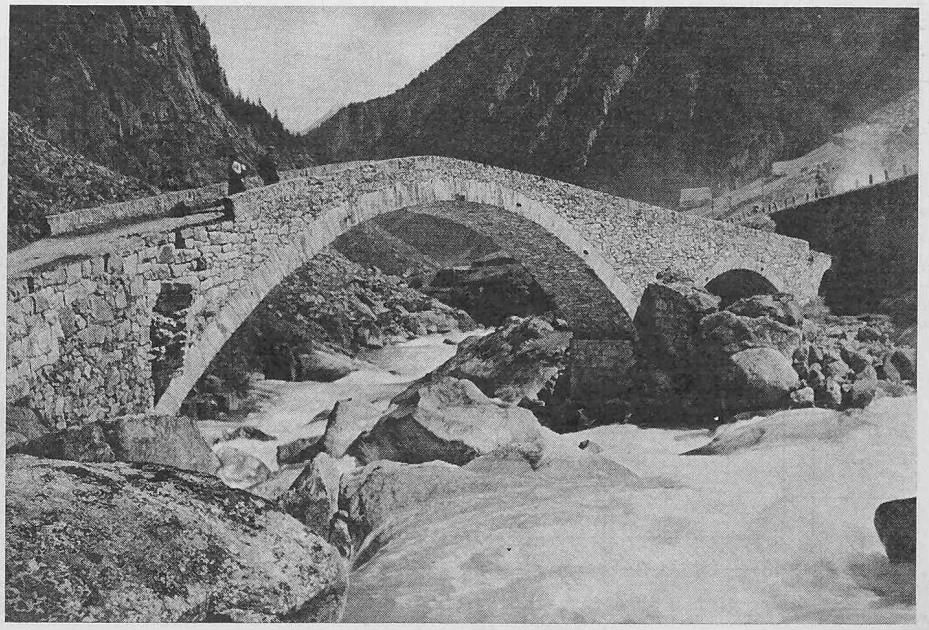
Das markanteste Merkmal der Bauwerke von Maillart ist das klare, einfache Konzept des Tragverhaltens. Das formal so befriedigende Aussehen seiner zahlreichen Brücken macht es dem heutigen Ingenieur zur Pflicht, an ein von Maillart konzipiertes Bauwerk nur mit grösstem Respekt heranzutreten.

3. Die Inn-Brücke in Zuoz (Bild 2)

Unserem Ingenieur-Büro wurde letztes Jahr die Planung der Erneuerung der ältesten Maillart-Brücke übertragen. Es handelt sich um die 1901 gebaute Innbrücke in Zuoz. Deren 40 m weit gespannter Dreigelenkbogen wies hauptsächlich in der Fahrbahn beträchtliche Verwitterungsschäden auf, wogegen der Bogen als solcher nur oberflächlich angegriffen war. Immerhin konnte zum vornherein kein bestimmtes Urteil über den Zustand des Bogens im Inneren des Hohlkastens gefällt werden. Die gemessenen Betonfestigkeiten betragen rund 450 kg/cm². Da der Hohlkastenquerschnitt des Bogens zwischen den Gelenken eine konstruktiv bedingte, grosse Höhe von rund 1,50 m aufweist, besitzt er eine ausgiebige Tragreserve sogar bei ein-

[1]) siehe «Robert Maillart» von *Max Bill*, Verlag Girsberger, Zürich 1955.

Bild 1. Brücke oberhalb Göschenen am Gotthard-Saumpfad



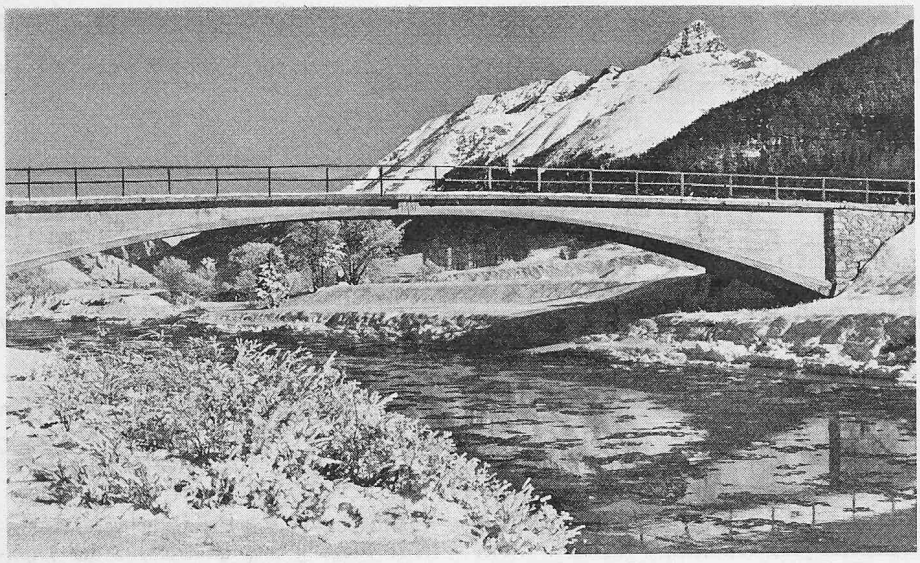


Bild 2. Ansicht der ältesten Maillartbrücke über den Inn bei Zuoz

seitig aufgebrachter Nutzlast. Problematisch war höchstens die Abgabe eines vergrösserten Bogenschubes auf den kiesigen Baugrund.

Zur grundsätzlichen Frage, ob diese Brücke durch eine neue, zeitgemässere Konstruktion zu ersetzen sei, stellten wir uns eindeutig auf den Standpunkt, dass es sich um ein bauhistorisch erhaltenswertes Objekt handle.

Die baulichen Massnahmen konnten einfach, rasch und billig (totale Kosten inkl. Ingenieurhonorar für Projekt und Bauleitung: Fr. 85000.—, das heisst knappe 400 Fr./m²) wie folgt getroffen werden (Bilder 3 und 4):

1. Entfernen des rund 20 cm starken Schotterbettes auf der Fahrbahn.
2. Abbruch der Fahrbahnplatte, Inspektion und soweit nötig Ausbessern der Hohlkasteninnenseiten, die sich in gutem Zustand zeigten.
3. Schalen, Armieren und Betonieren der neuen Fahrbahnplatte.
4. Aufrauhen und Gunitieren der Brückenseiten und -untersicht.
5. Konsolidierung der Bogenkämpfer durch je vier Bodenanker zu 50 t.

Bemerkenswert waren die freigespitzten Armierungsstösse: die aus den Hohlkastenwänden herausragenden Bügel waren zu Schwalbenschwänzen flachgedrückt worden, um eine bessere Verankerung zu erzielen, und die Längseisen waren mit ineinandergreifenden Haken versehen.

4. Die Aarebrücke in Aarburg

4.1 Aufgabestellung

Entgegen den meisten im Mittelalter an einem Fluss gegründeten Städte gab es in Aarburg bis ins 19. Jahrhundert hinein keine Brücke. Der bedeutende Weg zum Gotthard blieb auf dem rechten Flussufer und passierte so das Städtchen Aarburg, ohne dabei – wie in Olten – den Fluss queren zu müssen.

Im Jahre 1839 wurde der erste Flussübergang als Hängebrücke gebaut (Bild 5). Das Projekt stammte vom nachmaligen General Dufour, eines, wie übrigens auch R. Maillart, aus Genf stammenden und dort tätigen Ingenieurs. Es freut darum den Schreibenden, seinen Heimatkanton weiter in Aarburg vertreten zu können.

Mit dem Ansteigen der Verkehrslasten im 20. Jahrhundert genügte aber diese Brücke nicht mehr. So kam es in den Jahren 1911/12 zum Bau der von Robert Maillart entworfenen Bogenbrücke aus Eisenbeton. Auffallend daran ist das kleine Verhältnis Pfeilhöhe zu Spannweite von 1:10 und die mittlere Schlankheit von 1:80. Auch für heutige Begriffe wirkt darum der Bogen sehr gestreckt und leicht (Bild 6). Diese Brücke hat

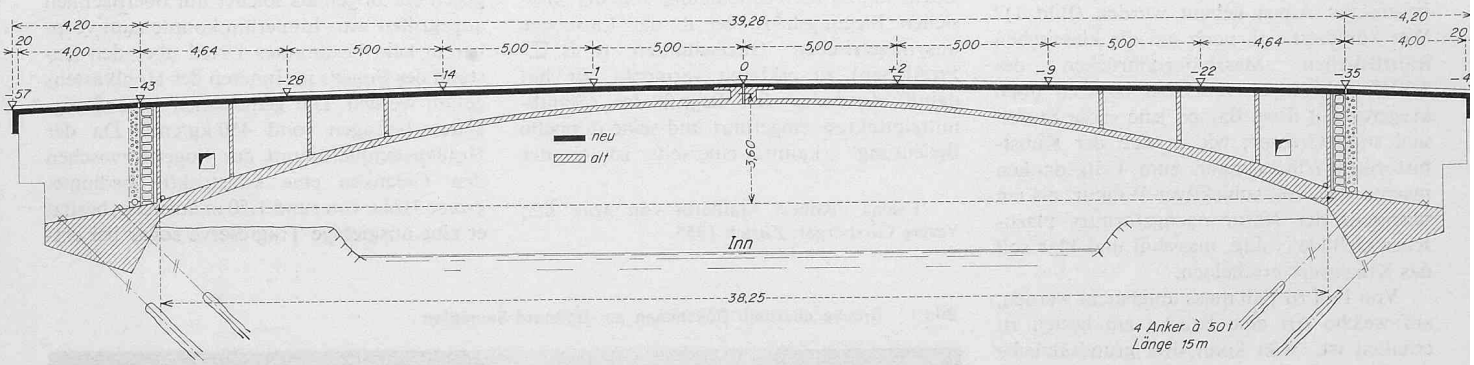


Bild 3. Längsschnitt der Inn-Brücke bei Zuoz, 1:250

Bild 4. Querschnitt der Inn-Brücke bei Zuoz 1:50

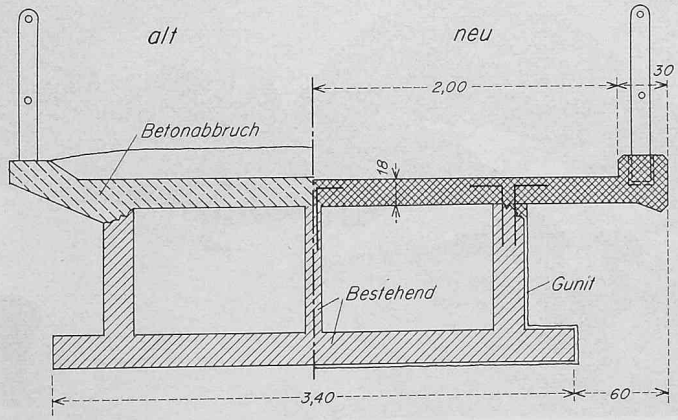
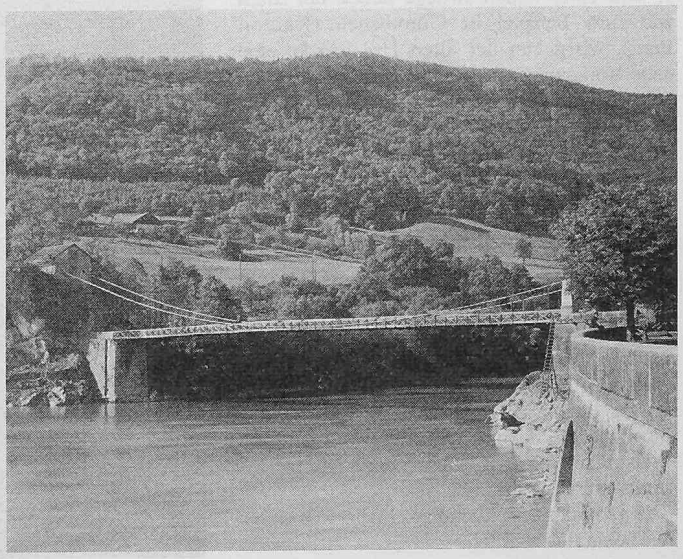


Bild 5. Hängebrücke in Aarburg, 1839 von General Dufour entworfen



Maillart kurz vor seiner Abreise nach Russland, wo er von 1912 bis 1919 tätig war, entworfen und mit seiner eigenen Bauunternehmung ausgeführt. Der Überbau ist äusserst feingliedrig ausgebildet. Formal lässt diese Brücke schon die nachfolgenden Stabbogenbrücken vorausahnen, wo der Bogen nur noch ein Druckelement und der Aufbau einen Versteifungsträger darstellen.

Das Brückenkonzept weicht also ab von den Maillart eigenen Formen der Stabbogen- und der scheibenartigen Dreigelenkbrücken. Die Kühnheit des Bauwerkes musste aber mit Schwierigkeiten bei der Ausführung erkauft werden. So ereignete sich beim Betonieren des Bogens ein Missgeschick, indem das Lehrgerüst sich lokal bis gegen 20 cm senkte. Dadurch wich die Bogenachse stark von der Drucklinie ab, und es ergaben sich daraus ziemliche Biegemomente, die aber dank der grossen Tragreserve eines Bogens zu keinen sichtbaren Rissen Anlass gaben. Diese Lehrgerüstverschiebung, die sich beim Betonieren der letzten zwei Abschnitte ereignete, hatte auch Relativverschiebungen zwischen den schon erhärteten Bogenteilen zur Folge. Es wurden daher bei den Erneuerungsarbeiten gestauchte Eisen ⌀ 20 in den ehemaligen Betonierlücken vorgefunden. Nicht lange nach der Vollendung der Brücke zeigten sich aber Schäden an den nur 20/25 cm starken Pfeilern und an den Fahrbahnträgern, deren Ursache vor allem in der Betonqualität (zu nasser Beton) und in der Undichtigkeit der Fahrbahn lagen. Die eingehenden Untersuchungen hierüber durch die EMPA sollen in einem anderen Zusammenhang publiziert werden. Auch waren damals die Folgen des statischen Zusammenwirkens des Bogens mit dem Aufbau zu wenig bekannt, weshalb klaffende Risse über den Stützen infolge positiven Längsträgermomenten entstanden.

Trotz mehrmaligen Flickarbeiten verschlechterte sich der Zustand der Brücke dermassen, dass ab Ende 1966 durch Einengen der Fahrbahnbreite auf 3 m ein Einbahnverkehr mit beschränktem Fahrzeuggewicht erzwungen werden musste. Da dieser Zustand auf die Dauer nicht tragbar war, musste möglichst rasch Abhilfe geschaffen werden.

Im Oktober 1967 erhielt das Ingenieurbüro W. Schalcher den Auftrag vom kantonalen Tiefbauamt Aargau, ein Projekt für eine Brückenrekonstruktion auszuarbeiten. Dabei sollten eine möglichst grosse Brückenbreite angestrebt, die Belastungen entsprechend dem Normenentwurf ($p = 400$ kg/m², P = 18 t) angenommen und die Kosten wegen Finanzierungsschwierigkeiten (Inhaberin der Brücke ist die Gemeinde Aarburg) möglichst niedrig gehalten werden.

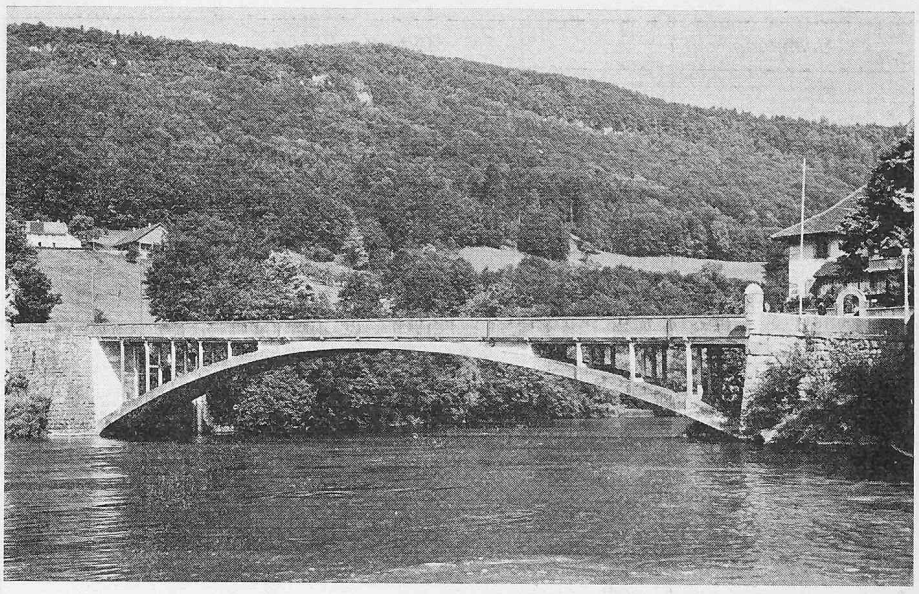


Bild 6. Aarebrücke in Aarburg, 1911/12 von Robert Maillart gebaut

4.2 Wahl der geeignetsten Lösung

Grundsätzlich mussten drei Lösungen untersucht werden:

a) vollkommen neue Brücke
b) neuer Überbau auf altem Bogen, ähnlich aufgeständert wie bei der bestehenden Brücke
c) neuer, pfeilerloser Überbau auf altem Bogen.

zu a) Da der Bogen noch in gutem Zustand und seine Betonqualität hervorragend ist ($\beta_w \geq 500$ kg/cm²), war ein Abreissen aus bauhistorischen Gründen zu verwerfen. Dazu kam noch, dass kostenmässig eine solche Lösung ungefähr 50 % teurer gewesen wäre wegen des grossen Aufwandes, den der Abbruch des heutigen Bogens und die Erstellung eines vollständigen Lehrgerüstes bedingt hätten.

zu b) Unsere ersten Untersuchungen hatten diese Lösung angestrebt, weil sie dem ursprünglichen Bauwerk am nächsten kommt. Lange statische Untersuchungen mit Hilfe der Elektronik haben aber gezeigt, dass ein solches Tragwerk in manchen Beziehungen knapp dimensioniert wäre. Wohl haben wir eingehend geprüft, durch eine geschickte Wahl der Eigengewichtsverteilung den erwähnten Ausführungsfehler in der Bogenachse auszumerzen. Dabei gelang es aber nicht, die

Bild 7. Querschnitt Aarebrücke in Aarburg, 1:100

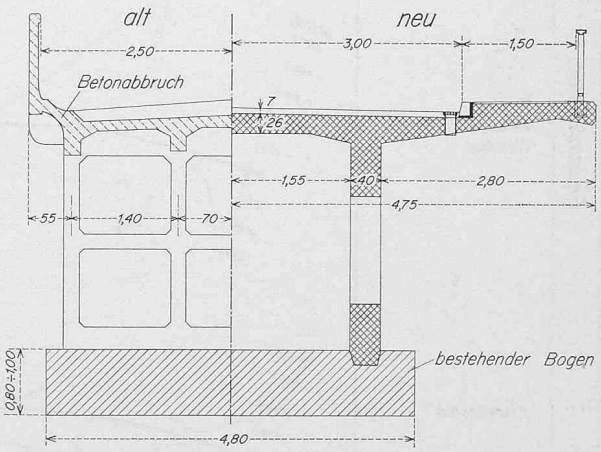
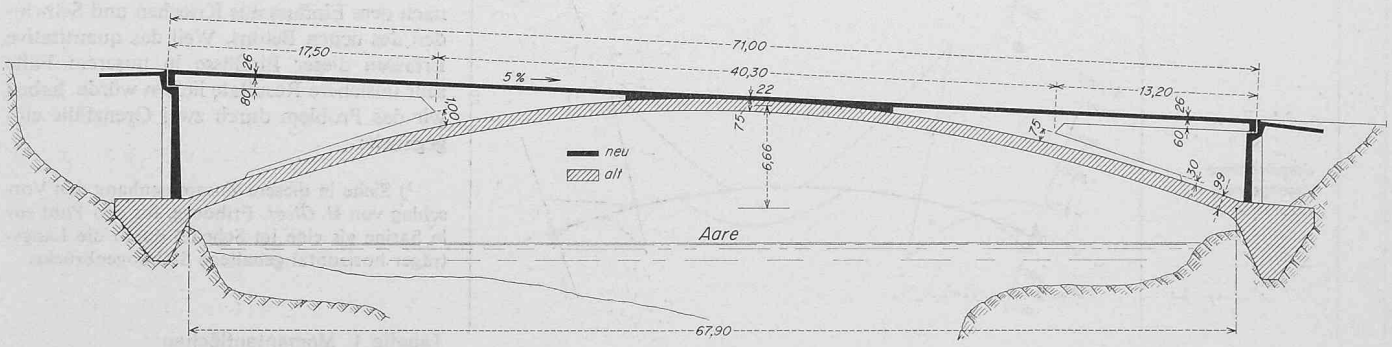


Bild 8. Längsschnitt der umgebauten Aarebrücke in Aarburg, 1:500



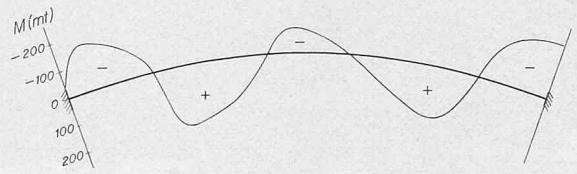
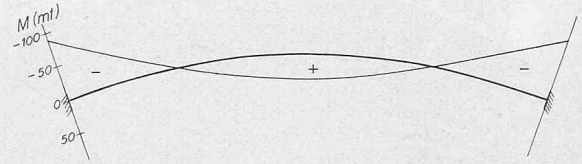
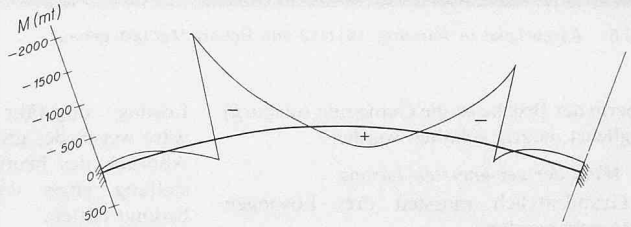
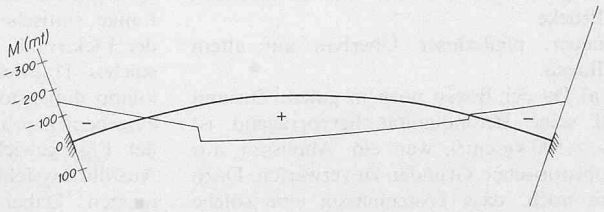
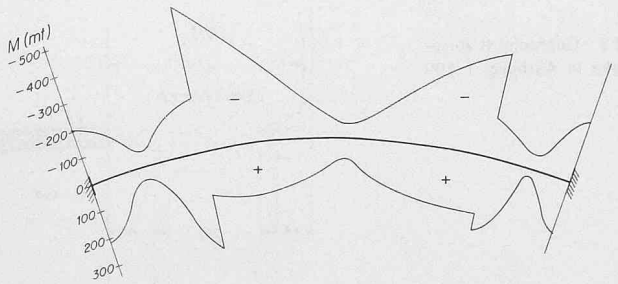
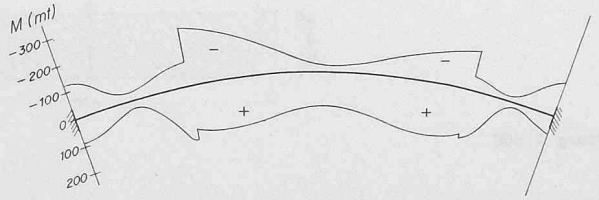
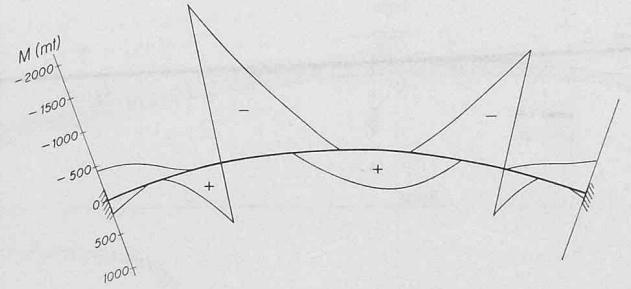
Stat. Syst.	Belastung	Momentenfläche
Bogensystem	Eigengewicht	
	Schwinden ($20 \cdot 10^{-5}$)	
Gesamtsystem	Eigengewicht	
	Temperatur-änderung ($-20 \cdot 10^{-5}$)	
	verteilte Nutzlast	
	Einzellasten	
	Grenzwertlinie Eigengewicht + Nutzlasten	

Tabelle 1. Momentenflächen

Momente im Bogen aus Eigengewicht unter 500 mt zu reduzieren, was einer Ausmittigkeit der Bogennormalkraft ($N \approx 1800$ t) von einem Drittel der Bogenstärke entspricht. Andererseits würden die Nutzlasten zu grosse Beanspruchungen und Deformationen im Bogen bewirken, wenn dieser nicht horizontal unverschieblich festgehalten würde[1]). Die dabei nötigen Stossdämpfer sind aber kostspielig und bedingen komplizierte Einrichtungen.

Die nach DIN-Norm 1075 verlangte Knicksicherheit von 4 unter mittiger Belastung wäre zwar übertroffen worden, dagegen hätte jene von 2,5 unter ausmittiger Belastung nicht erreicht werden können.

zu c) Dieser Lösung wurde der Vorzug gegeben. Sie stellt ein grosszügiges, ganz im Geiste Maillarts stehendes Brückenkonzept dar (Bilder 7, 8 und 9).

Wenn auch die neue Brücke formal von der alten abweicht, so entspricht sie um so mehr einer zeitgemässen Formgebung. Das Wegfallen jeglicher Stütze entlastet den Bogen merklich, weil die Bogenkrümmung in Kämpfernähe schwach ist. Durch das Aufbetonieren von zwei Längsriegeln auf dem Bogen wird dieser radikal verstärkt. Um die Riegel im Bogen zu verankern, müssen Schlitze darin ausgespitzt werden, welche zudem erlauben, die Qualitäten des Betons und der Armierung zu überprüfen.

Durch das Zusammenlaufen der Riegel mit den Rippen des Überbaues entstehen starre Scheiben in den Viertelzonen. Dadurch werden die Knick- und Schwingungsprobleme eliminiert. Zugleich ziehen diese steifen Teile die Bogenmomente an und zentrieren dabei die Resultierende in den weicheren Kämpfer- und Scheitelzonen. Der Bogen ist damit um ein Wesentliches tragfähiger geworden. Seine Fundamente im Jurakalk wurden an Ort genauestens auf die erhöhte Belastung hin untersucht.

Der Überbau ist längs und quer vorgespannt. Die Längsvorspannung bezweckt in erster Linie eine unter Eigengewicht momentenfreie Einführung der Längsrippen in die Bogenscheiben. Dasselbe gilt für die Quervorspannung, indem die Winkeldrehungen der Fahrbahnplatte eliminiert werden und keine Einspannmomente infolge Eigengewicht in die Scheiben eingetragen werden.

4.3 Statische Untersuchungen

Es sollen hier einzelne Resultate aus den statischen Untersuchungen wiedergegeben werden. Da das heikelste statische Problem der Brückenrestauration im Tragverhalten des höher belasteten und zugleich verstärkten Bogens liegt, wurde dieser besonders eingehend geprüft. Dabei stellte sich die Frage nach dem Einfluss aus Kriechen und Schwinden des neuen Betons. Weil das quantitative Erfassen dieser Einflüsse in unserem Falle sehr unsichere Resultate liefern würde, haben wir das Problem durch zwei Grenzfälle eingegabelt:

[1]) Siehe in diesem Zusammenhang den Vorschlag von *H. Gicot*, Fribourg, für den Pont sur la Sarine als eine im Scheitel durch die Längsträger horizontal gehaltene Stabbogenbrücke.

a) Der Überbau ist unter Eigengewicht unendlich weich, so dass seine Last durch den bestehenden Bogen allein aufgenommen wird (sog. Bogensystem).
b) Der Überbau ist von Anfang an statisch voll wirksam, so dass alle Lasten durch das monolithische System Bogen + Aufbau (sog. Gesamtsystem) getragen werden.

Die Nutzlasten wurden nur im Gesamtsystem berechnet, weil hier ein Zusammenwirken voll gewährleistet ist.

Alle Berechnungen erfolgten in Zusammenarbeit mit Dr. sc. math. J. Haller auf elektronischem Wege mit einem Bogen- und dem Stress-Programm. Die beschriebenen Grenzfälle lieferten folgende Grenzspannungen:

a) infolge Eigengewicht auf bestehendem Bogen
Schwinden im bestehenden Bogen
Nutzlast im Gesamtsystem
b) infolge Eigengewicht + Nutzlasten im Gesamtsystem
Temperaturänderung im Gesamtsystem

Die im Bauwerk effektiv zu erwartenden Spannungen liegen dazwischen. Sollten infolge extrem ungünstiger Temperatur-, Schwind- und Kriechverhältnisse trotzdem grössere Zugspannungen vorkommen, so können sie nur Eigenspannungscharakter haben. Solche Zugzonen werden von selbst durch die Erholungsfähigkeit eines Eisenbetonquerschnittes eliminiert, und die verbleibenden Spannungen streben gegen den Grenzfall b) zu.

Zusammenstellung einiger Resultate aus der statischen Berechnung (Tabellen 1–3).

1. Momentenflächen
2. Biege- und Einflusslinien
3. Randspannungen

4.4 Ausführung, Baukosten

Um den Verkehr während den Bauarbeiten offen halten zu können, wurde eine Hilfsbrücke System Bailey montiert. Diese von den Engländern im zweiten Weltkrieg entwickelte Militärbrücke wurde am linken Aareufer zusammengebaut und eingeschoben. Hierfür konnten die noch bestehenden Widerlager der ehemaligen Hängebrücke verwendet werden. Die gesamten Montage- und Verschiebearbeiten dauerten nur 3 Tage.

Aufwendiger dagegen waren die beiden Zwischenstützen, deren Fundationen wegen der grossen Wassergeschwindigkeit von 5 m/s und der maximalen Wassertiefe von etwa 8 m sorgfältig studiert und ausgeführt werden mussten. Zu diesem Zweck wurden Bohrungen 1,5 m tief in den Felsen bzw. 3,5 m tief in den Flusskies getrieben und Stahlträger in den Bohrlöchern einbetoniert. Die Ausfachung benötigte den Einsatz von Froschmännern. Diese Massnahmen machten sich aber bezahlt, als infolge des Hochwassers vom 21./22. September 1968 das Wasser bis über den Jochtisch anstieg und übrigens auch die Kämpferpartien des Bogens überflutete. Vorsichtshalber wurde der Verkehr auf der Hilfsbrücke vorübergehend gesperrt. Da aber interessanterweise gar keine Auskolkungen um die Jochtischstützen stattgefunden hatten, bestand keine Gefahr für deren Sicherheit.

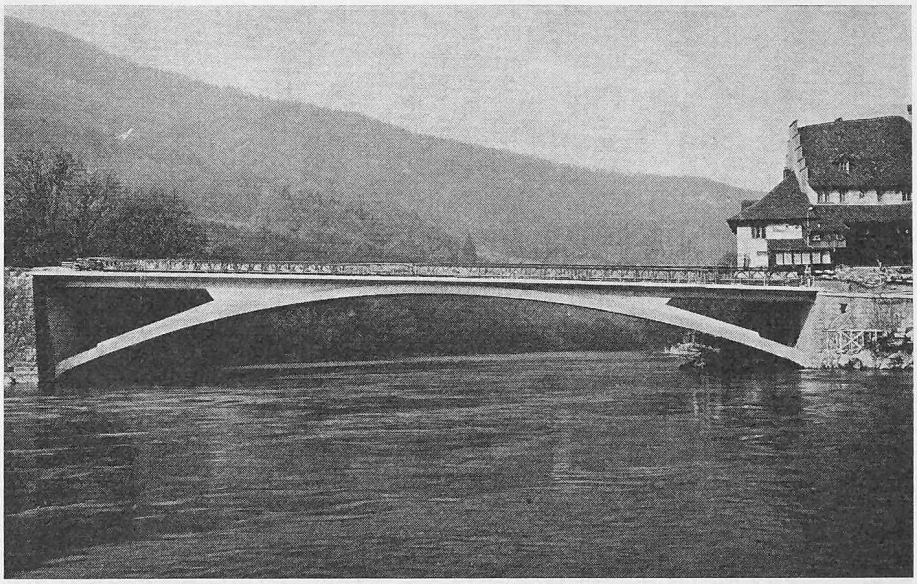


Bild 9. Ansicht der neuen Aarebrücke in Aarburg

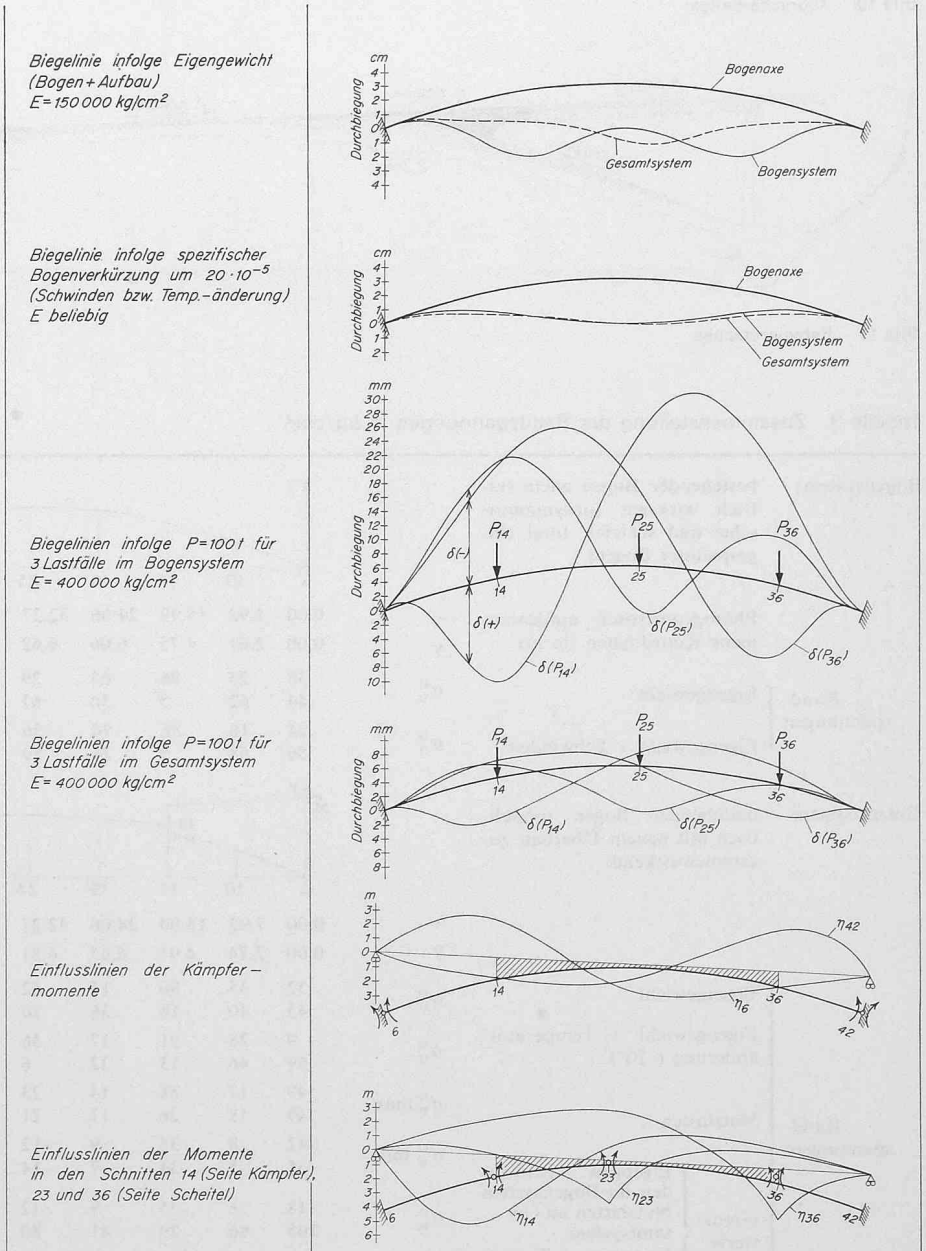


Tabelle 2. Biege- und Einflusslinien

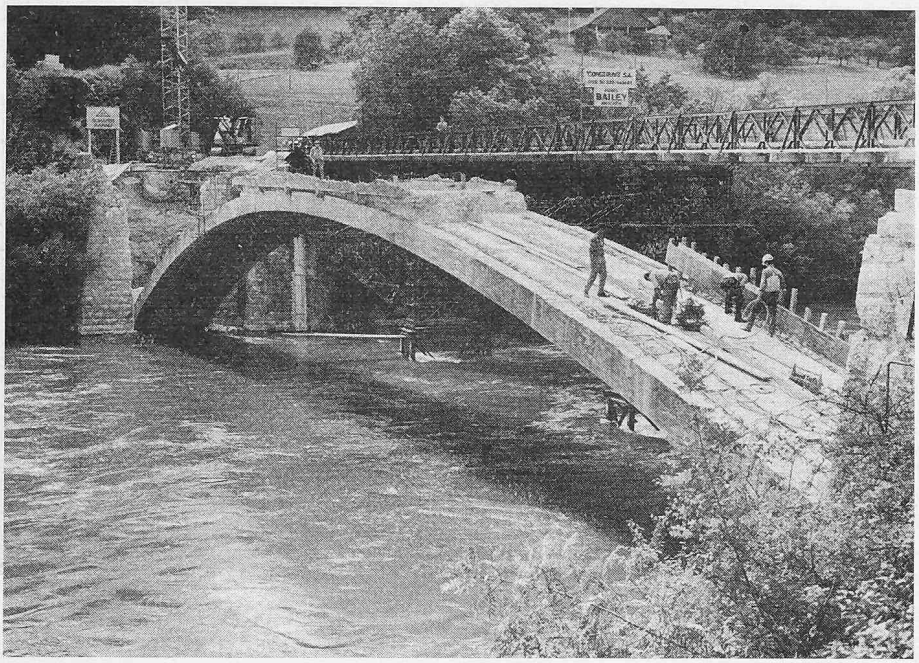


Bild 10. Abbrucharbeiten

Die mit den Bauarbeiten im Mai 1968 beauftragte Unternehmung Schäfer & Cie., Aarau, musste die Abbruch-, Gerüst-, Schalungs- und Betonierarbeiten innert 6 Monaten beendigen, um die Brücke programmässig im November dem Verkehr übergeben zu können. Dabei mussten die Bauphasen so gewählt werden, dass der Bogen nie ungünstig belastet wurde.

Arbeitsvorgang beim Brückenabbruch (Bild 10):

1. Abbruch der Brüstungen und des Strassenkoffers auf der gesamten Länge.
2. Abbruch des aufgeständerten Überbaues symmetrisch von den Kämpfern her.
3. Betonieren der Versteifungsriegel.
4. Abbruch des Überbaues in der Scheitelzone.

Betoniervorgang (Bild 11):
Sukzessives Erstellen des Überbaues so, dass bereits betonierte Etappen den Bogen aussteifen.

Baukosten
Dass eine neue Brücke wegen des aufwendigen Bogenabbruches preislich niemals mit der gewählten Lösung hätte konkurrieren

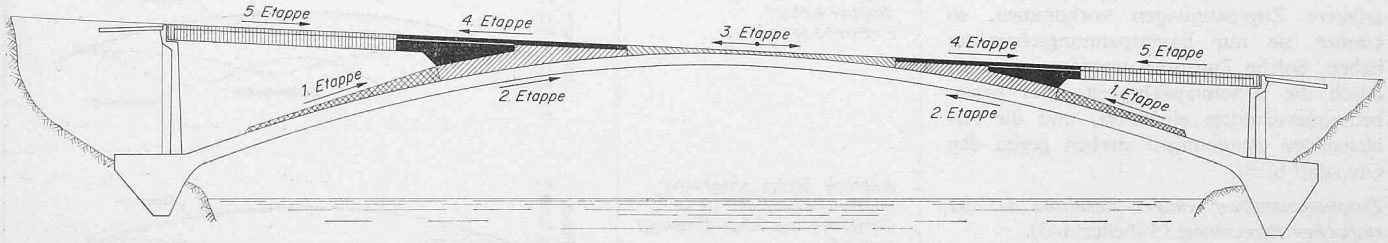
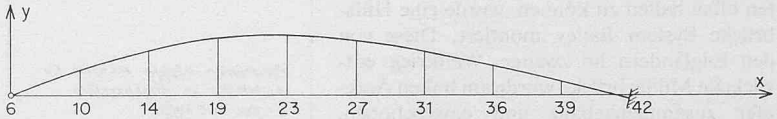
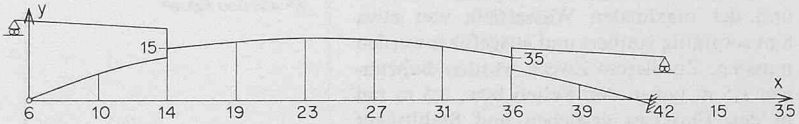


Bild 11. Betonieretappen

Tabelle 3. Zusammenstellung der Randspannungen in kg/cm²

Bogensystem:	bestehender Bogen allein statisch wirksam (unsymmetrischer und schiefer, total eingespannter Bogen)												
	Photogeometrisch aufgenommene Koordinaten (in m)	x	0.00	7.92	15.99	24.06	32.27	40.30	48.35	56.32	62.36	68.24	
		y	0.00	2.69	4.75	6.06	6.62	6.30	5.30	3.64	1.93	–0.10	
Randspannungen	Eigengewicht	σ_u^o	36	23	86	65	29	47	64	69	16	13	
			44	62	5	30	67	51	30	23	69	66	
	Eigengewicht + Schwinden	σ_u^o	24	16	86	70	36	53	66	65	8	1	
			56	68	5	24	59	44	27	26	77	77	
Gesamtsystem:	bestehender Bogen monolitisch mit neuem Überbau zusammenwirkend												
		x	0.00	7.92	15.99	24.06	32.27	40.30	48.35	56.32	62.36	68.24	15.99	56.32
		y	0.00	2.74	4.91	6.65	6.81	6.44	5.77	3.76	1.97	–0.10	6.02	4.60
Randspannungen	Eigengewicht	σ_u^o	32	35	80	13	42	66	17	79	20	16	0	1
			45	40	18	36	20	3	35	19	50	58	37	39
	Eigengewicht + Temperaturänderung (–20°)	σ_u^o	9	28	91	17	56	80	20	78	4	–6	1	1
			69	46	13	32	6	–11	32	19	62	81	36	39
	Nutzlasten	σ_u^o max	49	17	88	14	23	39	18	82	11	38	6	8
			49	18	26	17	21	21	18	25	17	47	12	13
		σ_u^o min	–42	–8	–35	–9	–12	–11	–9	–28	–5	–40	–5	–4
			–35	–5	–34	–7	–14	–27	–11	–36	–3	–25	–2	–4
	Grenzwerte: Eigengew. + Schwinden im Bogensystem Nutzlasten im Gesamtsystem	σ_u^o	–18	–8	–35	–9	–12	–11	–9	–28	–5	–39	–5	–4
			105	86	–29	41	80	65	45	–9	94	124	17	39
	Grenzwerte: Eigengew. + Temperaturänderung –20° + Nutzlasten	σ_u^o	–33	45	178	31	79	119	38	160	–2	–46	–4	–3
			118	63	–21	50	–8	–38	–20	–16	78	128	48	52

können, zeigt folgende der Abrechnung entsprechende Kostenzusammenstellung (Brükkenlänge 78 m, Nutzbreite 9,0 m, Brückenfläche 702 m²):

A. Brückenerneuerung	
Installationen	Fr. 15 000.—
Abbrucharbeiten	Fr. 28 400.—
Erdarbeiten	Fr. 22 000.—
Widerlager und Ufermauern	Fr. 31 000.—
Lehrgerüst	Fr. 35 000.—
Überbau	Fr. 126 400.—
total Hauptarbeiten	Fr. 257 800.—
	oder Fr. 368.—/m²
total Nebenarbeiten (Fugen, Lager, Geländer, Belag usw.)	Fr. 47 400.—
total A.	Fr. 305 200.—
	oder Fr. 436.—/m²
B. Hilfsbrücke (Länge 72 m, Nutzbreite 3,0 m)	
Anpassungsarbeiten Brückenkopf	Fr. 25 300.—
Jochtürme	Fr. 51 700.—
Bailey-Brücke	Fr. 40 000.—
Total B.	Fr. 117 000.—

Total A + B: Fr. 422 200.— oder Fr. 602.—/m².

Als Vergleich dazu seien die approximativen Kosten für eine komplett neue Brücke angeführt:

A. Lehrgerüst für Abbruch inkl. Zwischenjoche	Fr. 95 000.—
B. Abbruch der alten Brücke	Fr. 90 000.—
C. Neue Brücke Haupt- und Nebenarbeiten	Fr. 335 000.—
D. Hilfsbrücke	Fr. 117 000.—
total	Fr. 637 000.—

oder 905.—/m²

Die Mehrkosten von rd. 50% gegenüber der ausgeführten Brückenerneuerung stammen von dem zusätzlich benötigten Bogenlehrgerüst und -abbruch her.

Wir haben damit gezeigt, wie innert kürzester Frist und mit geringen Kosten eine bauhistorisch wertvolle Brücke eine beinahe doppelt so grosse Nutzbreite erhalten hat, wie sie viel grössere Lasten zu tragen vermag und wie sie an der von Maillart geprägten Eleganz nichts eingebüsst hat.

Am Gelingen der Arbeiten haben dank ausgezeichneter Zusammenarbeit alle nachfolgend erwähnten wesentliches beigetragen:
Bauherr:
Gemeinde Aarburg/Kanton Aargau/Kanton Solothurn, vertreten durch E. Woywod, Brückeningenieur, Aarau
Projekt und Bauleitung:
Ingenieurbüro W. Schalcher, Mitarbeiter R. Favre, Zürich, und Mitarbeiter H. Gerber, Windisch
Tiefbau- und Eisenbetonarbeiten:
Schäfer & Cie., Aarau
Notbrücke:
Construvit AG, Lyss
Pfählung für Notbrücke:
Brunner & Cie., Zürich

Adresse des Verfassers: Ing.-Büro W. Schalcher, Mitarbeiter R. Favre, Neugasse 6, 8005 Zürich.

James Watt und die Feuermaschine

DK 621.1:62 (091)

Am 25. April jährt sich zum zweihundertsten Male der Tag, an dem *James Watt* (1736–1819) jenes denkwürdige Patent auf ein Verfahren erteilt wurde, das bezweckte, «den Dampfverbrauch und damit den Brennstoffverbrauch bei Feuermaschinen zu verringern». Was in diesem Dokument festgelegt ist, wurde für die spätere Entwicklung der Wärmekraftmaschine bahnbrechend. Überdies trug es wesentlich zur Auslösung jener unerhörten Kettenreaktion bei, die berufene Kritiker die «erste industrielle Revolution» nennen. Die Ingenieure unserer Zeit fesselt vor allem das damals durchaus neuartige Vorgehen Watts, das für das Arbeiten sowohl auf dem Gebiete der Ingenieurwissenschaften als auch auf dem des Grossmaschinenbaues massgebend werden sollte. Es dürfte daher angezeigt sein, auch an dieser Stelle zu bedenken, was wir der Pioniertat des bei aller Genialität bescheidenen Universitätsmechanikers zu Glasgow zu verdanken haben.

Alle bedeutenden Errungenschaften sind aus den Gegebenheiten ihrer Zeit hervorgegangen – sie antworten auf diese in zeitgemässer Weise –, und sie haben eine Vorgeschichte, die sie erst verständlich machen. Man müsste hiefür wohl auch bei den Entwicklungen auf technischen Wirkfeldern wie bei denen auf so manchen anderen Gebieten auf die Renaissance zurückgreifen. Die weltoffene, unternehmungsfreudige, auf Machtgewinn durch Nutzung natürlicher Bestände abzielende Geisteshaltung, die damals durchbrach, wurde für das abendländische Denken massgebend und hatte die Vorrangstellung des alten Kontinents in der Welt zur Folge. Im besondern war es die stärkere Hinwendung zum tätigen Leben, das Verlangen nach geistiger Durchleuchtung und sachlicher Begründung des bei der alltäglichen Hantierung Erfahrenen und Erlittenen, das Erwachen eines Selbstbewusstseins, das nach grösserer Freiheit und Verfügungsvollmacht verlangte, sowie der Protest gegen die Bevormundung durch erstarrte weltliche und kirchliche Autoritäten, was nicht nur das Weltbild ausserordentlich stark erweiterte, von unsachlichem Beiwerk säuberte und in sich widerspruchsfreier gestaltete sondern auch die zukunftsträchtige Befassung mit wissenschaftlichen und technischen Aufgaben aufs stärkste förderte. Davon zeugen zahlreiche Schriften und Entwürfe aus jener Zeit, so etwa die von *Leon Battista Alberti* (1404–1472), *Leonardo da Vinci* (1452–1519) und *Georg Agricola* (1494–1555).

Auf die Zeit der Durchbrüche folgte die des systematischen Ordnens und Durchdringens durch die grossen Meister des Barocks; allen voran *Galileo Galilei* (1564–1642) mit der von ihm begründeten Methode genauer Messung isolierter Naturerscheinungen und deren Verarbeitung zu mathematisch formulierten Gesetzen. Von besonderer Bedeutung waren die Versuche von *Torricelli* (1608–1647) und von *Otto von Guericke* (1602–1686), die den leeren Raum sowie die Messung des Vakuums und die Kräfte des Atmosphärendruckes betrafen. Daran schlossen sich die hervorragenden Arbeiten von *Robert Boyle* (1627–1691), *Isaak Newton* (1643–1727), *G. W. v. Leibnitz* (1646–1716), der französischen Enzyklopädisten sowie von den Baslern *Jacob und Johann Bernoulli* (1654–1705; 1667–1748) und später *Leonhard Euler* (1707–1783). Die hiedurch gewonnenen Erkenntnisse verarbeiteten die Philosophen zu neuen weltanschaulichen Systemen, welche die bisherigen Weltbilder und auch die von den Kirchen vertretenen Lehrmeinungen nicht nur in Frage stellten, sondern auch weitgehend durch andere, besser begründete, ersetzten.

Die tiefgreifenden Wandlungen im Geistigen zogen auch Veränderungen in den Arbeits- und Lebensweisen nach sich. England gewann hauptsächlich dank den zähen Bemühungen der Puritaner einen bemerkenswerten Vorsprung. Infolge der strengen, weitsichtigen, auf straffe Arbeitsdisziplin ausgerichteten Haltung, die sie vertraten, bildete sich ein freies, initiatives Unternehmertum aus, unter dem sich Handwerk, Gewerbe und Handel entfalten konnten und so die natürlichen Vorteile des durch reiche Naturschätze, seine insulare Lage und seine zahlreichen Kolonien begünstigten Landes voll zur Geltung kamen. Auf dem Kontinent bereitete die Überwindung des Feudalsystems und des Zunftwesens mehr Schwierigkeiten. Der Übergang zu neuen Wirtschaftsformen ging hier grossenteils von den Staatsoberhäuptern aus, die Manufakturen betrieben, um sich durch den Export der Erzeugnisse neue Einnahmequellen zu verschaffen.

Aus diesen Veränderungen der Wirtschaftslage ergab sich die dringende Notwendigkeit ortsunabhängiger, leistungsfähiger Kraftmaschinen. Gleichzeitig gewannen die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse, das handwerkliche Können und die Herstellungseinrichtungen jene Stufe, welche die Konstruktion solcher Maschinen als möglich erscheinen liess. Tatsächlich beschäftigten sich seit dem ausgehenden 17. Jahrhundert zahlreiche Forscher mit dieser Aufgabe. Die meisten standen unter dem fesselnden Eindruck, der von den Versuchen Otto von Guerickes über den leeren Raum ausging. So sind uns Schriften und Skizzen von *Chr. Huygens* aus dem Jahre 1673 erhalten geblieben, der das Vakuum in einem oben durch einen Kolben abgeschlossenen Zylinder dadurch herzustellen versuchte, dass er Schiesspulver zur Explosion brachte, wodurch die Luft verdrängt werden sollte. Sein Gehilfe, der spätere Professor für Mathematik an der Universität in Marburg, *Denis Papin* (1647–1712), verbesserte die Maschine Huygens, indem er den Unterdruck nicht durch die gefährliche Pulververpuffung, sondern durch Kondensieren von Wasserdampf erzeugte (1690). Es gelang ihm, die *erste brauchbare Dampfmaschine im Laboratoriumsmassstab* zu bauen und zu betreiben (Zylinderdurchmesser 63 mm). Dabei stand er in regem Meinungsaustausch mit *G. W. v. Leibnitz*. Die herstellungstechnischen Schwierigkeiten einer Grossausführung vermochten die damaligen Handwerker trotz redlichem Bemühen ihres genialen Meisters nicht zu überwinden. Das veranlasste diesen, eine direktwirkende Hochdruck-Dampfpumpe in ähnlicher Art zu bauen (vollendet 1706), wie sie bereits 1698 *Thomas Savery* (1650–1715) in einer Patentschrift beschrieb und anschliessend auch mehrmals im Grossen ausgeführt hatte.

Die Pumpmaschine von Savery arbeitet wie folgt: In einem mit Dampf gefüllten Gefäss wird durch Kondensation ein Vakuum er-