Beitrag zur Berechnung des Stabbogens am Beispiel eines Entwurfes für die Kräzernbrücke

Autor(en): **Schubert, O.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **107/108 (1936)**

Heft 22

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-48408

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

INHALT: Beitrag zur Berechnung des Stabbogens. — Vom Ziegeldach. — Süden oder Südwesten? — Pflegerinnenschule mit Krankenhaus in Zürich. — Mitteilungen: Richtlinien über die Lüftung im Krankenhaus. «Colorado-Aquädukt» zur Wasserversorgung der südkaliforn. Städte. Wasserhygiene. Fortschritte in der Kontaktschweissung. Fernseh-Rundfunk in England. — Nekrologe: Marcel Grossmann. Dietrich Schindler-Huber. Karl Becker. — Wettbewerbe: Ein internat. Wettbewerb zur Verbesserung der Oberflächen-Deckschichten von Aluminium und seinen Legierungen. Ständige Fest- und Ausstellungshalle auf der Kreuzbleiche in St. Gallen. Kirchliche Gebäudegruppen in Winterthur. Platzgestaltung Place Alb. Thomas. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Schweiz. Verband für die Materialprüfungen der Technik. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 108

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 22



Abb. 15. Die Wirkung einer konstruktiv richtig gestalteten Stabbogenbrücke im Landschaftsbild.

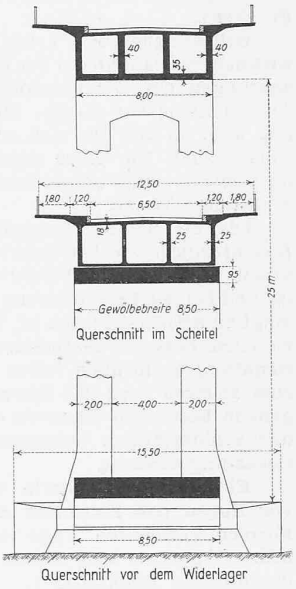


Abb. 2. Querschnitte, 1 : 400.

Beitrag zur Berechnung des Stabbogens

am Beispiel eines Entwurfes für die Kräzernbrücke

Von Ing. O. SCHUBERT, in Firma Schubert & Schwarzenbach,
Diplomierte Ingenieure S. I. A., Zürich.

Es ist eine bekannte Tatsache und durch Messungen an ausgeführten Bauten hinlänglich bewiesen, dass alle Teile einer Konstruktion Einfluss auf das elastische Verhalten und damit auf die statischen Verhältnisse des gesamten Tragwerkes ausüben.

Die Kunst des entwerfenden Ingenieurs besteht geradezu darin, die Grundlagen seiner Berechnungen derart zu wählen, dass die voraus ermittelten Spannungsverhältnisse nach Möglichkeit mit den wirklichen Werten am ausgeführten Bau übereinstimmen. Eine *eingehende* Berücksichtigung aller Einflüsse führt in den meisten Fällen zu sehr komplizierten und oft in keinem Verhältnis zum Endergebnis stehenden Untersuchungen. Einen mittleren, der Grösse und Bedeutung der jeweiligen Aufgabe entsprechenden Weg zu finden, der das *Wesentliche* berücksichtigt, ist oft schwer und stellt nicht selten den gewiegtesten Konstrukteur vor heikle Probleme.

Die tatsächliche Sicherheit einer Konstruktion ist noch lange nicht bewiesen und über deren Wirtschaftlichkeit ist erst recht nichts ausgesagt, wenn durch eine einfache Belastungsprobe dargetan wird, dass die Durchbiegungen weit unterhalb der durch die «Rechnung» vorausbestimmten Werte liegen.

Beim Bau von Bogenbrücken wurde bis heute im allgemeinen das *Zusammenarbeiten von Bogen und Fahrbahn* in statischer Beziehung sehr mangelhaft, meistens sogar überhaupt nicht untersucht. In der Literatur findet man eine Unmenge von Berechnungsmethoden, die, über die klassischen Untersuchungen des Bogens hinaus, auf eine noch exaktere und noch mehr verfeinerte Erfassung von allen möglichen Einflüssen im Gewölbe selbst hinzielen. Dabei wird ganz vergessen, dass diese Korrekturen infolge verfeinerter Berechnungsmethoden trotz einem sehr grossen Arbeitsaufwand eine verschwindend kleine Rolle spielen gegenüber den ebenfalls vorhandenen viel grösseren Einflüssen, herrührend von der Mitarbeit des Aufbaues über dem Gewölbe.

Diese gegenseitige Beeinflussung von Gewölbe und Fahrbahn ist da, ob sie beim Entwurf berücksichtigt wird oder nicht.

Die Grösse der gegenseitigen Beeinflussung hängt ab von der Verteilung der Baumassen und von der konstruktiven Ausbildung des gesamten Bauwerkes. Wählt man z. B. den reinen Bogen als alleinigen Tragkörper zum Ausgangspunkt einer diesbezüglichen Untersuchung, dann ergeben sich infolge Mitarbeit der Fahrbahn in Grenzfällen Abminderungen der Gewölbespannungen aus Verkehr bis zu 80 %.

Der kritische Leser wird hier einwenden: was das Gewölbe nicht aufnimmt, das muss also die Fahrbahn aufnehmen. Wenn aber die Fahrbahn für diesen Lastanteil gar nicht bemessen ist,

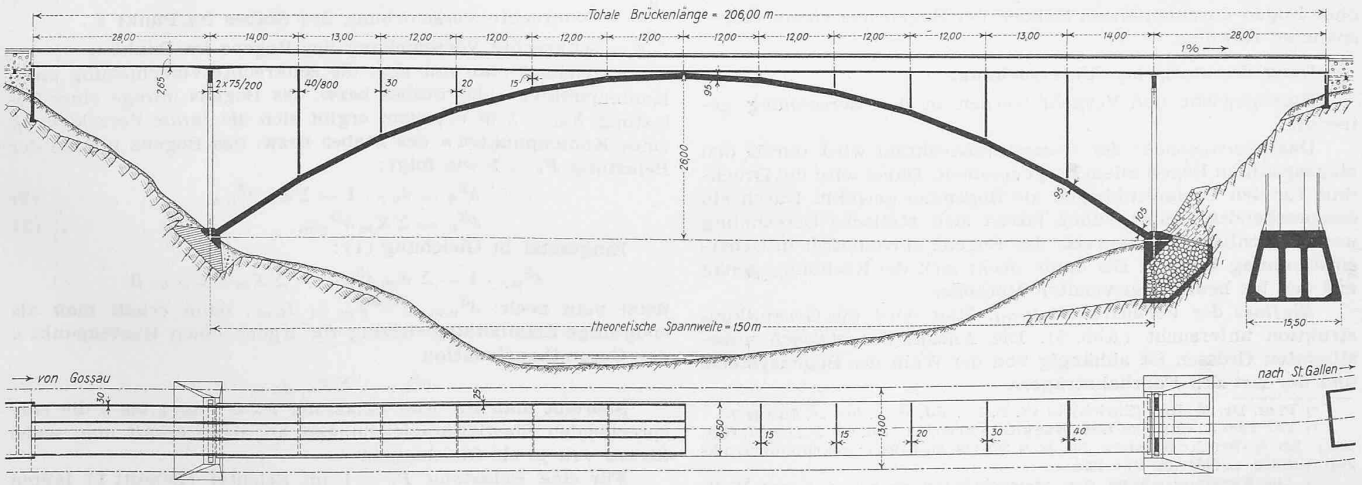


Abb. 1. Grundriss und Längsschnitt des Wettbewerb-Entwurfes für eine neue Kräzernbrücke bei St. Gallen. — Masstab 1 : 1100.

was geschieht dann? Bis heute sind keine Fälle bekannt, die deshalb zu Zerstörungen der Fahrbahn infolge Ueberbeanspruchung geführt haben; und trotzdem verhält es sich so: *Der Bogen ist überdimensioniert und die Fahrbahn hat eine wesentlich kleinere als die «gerechnete» Sicherheit.* Die Fahrbahnkonstruktion wird nur deshalb nicht zerstört, weil entweder die der Berechnung zu Grunde gelegten Nutzlasten in Wirklichkeit nie auftreten (Strassenbrücken), oder aber die «zulässigen» Spannungen sehr weit unterhalb der Bruchspannungen angesetzt sind (Eisenbahn-Brücken).

Belastungsproben geben nur bedingt Aufschluss über die wirklichen Spannungen im Bereich der Fahrbahn, weil die Auswertungen der Dehnungsmessungen durch die Unsicherheit in der Annahme von E_e/E_b, durch die Mitwirkung des Betons auf Zug usw. an und für sich schon Streuungen bis zu 30 % unterworfen sind. Nur eines steht fest: die gemessenen Spannungen im Gewölbe sind immer bedeutend kleiner als die rechnerisch ermittelten Werte.

Die bis heute durchgeführten *Messungen an bestehenden Bogentragwerken* beweisen eindrücklich, dass die Zusammenarbeit von Bogen und Fahrbahn eine sehr reale Angelegenheit ist und bei der Projektierung zukünftiger Bogentragwerke unbedingt zu berücksichtigen ist. Einmal führen diese Untersuchungen zu einer besseren Materialverteilung und damit zu einer Konstruktion, die in allen Teilen die gleiche Sicherheit aufweist, und zum anderen wird das Bauwerk billiger, indem der Bogen allgemein bedeutend kleineren Querschnitt, damit kleinere Kubatur und schlussendlich bedeutend geringere Aufwendungen für die Gerüstung braucht.

Ein Brückentragwerk, vom Ingenieur bewusst als Einheit von Bogen und Fahrbahn entworfen, erscheint dem an andere Formen gewöhnten Auge vielleicht anfänglich fremd, aber «es atmet Wahrheit und erfüllt dadurch eine ästhetische Grundbedingung der Baukunst» [1]).

Es ist das Verdienst unseres Kollegen *Robert Maillart*, dass solche Tragwerke nicht nur auf dem Zeichnungstisch entworfen wurden, sondern ihre Feuerprobe in Wirklichkeit bestanden haben. Wir verweisen nachdrücklich auf die entsprechenden Veröffentlichungen in der «Schweizerischen Bauzeitung» [2]).

Anlässlich eines erst kürzlich vom Kanton St. Gallen ausgeschriebenen Wettbewerbes für eine Brücke über das Kräzerntobel [3]) sind einige Entwürfe für Bogenbrücken eingegangen, deren Verfasser versucht haben, das tatsächliche Zusammenarbeiten von Bogen und Fahrbahn rechnerisch auszunützen und als Ergebnis zu einem sogenannten «Stabbogen» gekommen sind. Die Voraussetzungen und der Antrieb dazu waren durch einen Programmpunkt ganz besonders gegeben: für die Durchführung von Leitungen musste ein Hohlraum von total 6 m Breite und 1,70 m Höhe ohne irgendwelche Unterbrechungen unterhalb der Fahrbahnplatte vorgesehen werden. Der Fahrbahnquerschnitt wurde damit automatisch zu einem kastenförmigen Gebilde.

Wir wollen nun versuchen, an Hand eines von uns eingereichten Projektes das Problem des Stabbogens zu erläutern. Die für die Ermittlung der tatsächlichen Zusammenhänge zwischen Fahrbahn und Gewölbe aufgestellte Untersuchungsmethode ist insofern interessant, als sie neben der allgemeinen Lösung an Hand eines konkreten Beispieles genaue zahlenmässige Aufschlüsse ergibt über alle wesentlichen Spannungsverhältnisse im Stabbogen. Die allgemeine Konstruktionsgliederung der Brücke ist aus den Längs- und Querschnitten (Abb. 1 und 2) ohne weiteres ersichtlich. Der Fahrbahnquerschnitt besteht aus einem ohne Fugen durchlaufenden Balken, der Bogen aus einem eingespannten Gewölbe.

Gang der statischen Untersuchung.

Eigengewicht und Verkehr werden in der Berechnung getrennt.

Das *Eigengewicht* der Gesamtkonstruktion wird durch den eingespannten Bogen allein aufgenommen. Dabei wird die Drucklinie für den Dreigelenkbogen als Bogenaxe gewählt. Durch ein entsprechendes Bauprogramm lassen sich statische Berechnung und tatsächliche Arbeitsweise des Bogens einwandfrei in Uebereinstimmung bringen. Bis dahin deckt sich die Rechnung genau mit den bis heute angewandten Methoden.

Einfluss der Verkehrsbelastung. Hier wird die Gesamtkonstruktion untersucht (Abb. 3). Die Anzahl der statisch unbestimmten Grössen ist abhängig von der Wahl des Bogensystems und der Art des Fahrbahnträgers.

[1]) Prof. Dr. M. Ros (Zürich) in «S. B. Z.», Bd. 98, S. 40*, 18. Juli 1931.

[2]) Val Tschiel-Brücke und Wäggital-Brücken, Bd. 90, S. 172* (1. Okt. 1927); Rh. B.-Brücke Klosters, Bd. 98, S. 36* (18. Juli 1931); gekrümmte Brükken, Bd. 102, S. 218* (28. Okt. 1933).

[3]) Die Veröffentlichung der preisgekrönten Entwürfe dieses Wettbewerbes wird hier im Dezember erfolgen. Red.

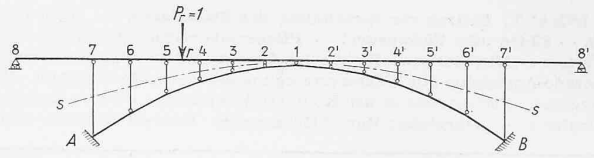


Abb. 3. Statisches System der Gesamtkonstruktion; äusserlich 5-fach, innerlich 13-fach unbestimmt.

Für die Untersuchung werden Fahrbahn und Gewölbe durch einen Schnitt s—s voneinander getrennt. Wir erhalten zwei Grundsysteme, die an und für sich statisch unbestimmt sind, deren Berechnung aber ohne weiteres möglich ist: 1. der eingespannte Bogen A—1—B; 2. der kontinuierliche Balken 8—7—7'—8' (im Folgenden kurz mit Bogen bezw. Stab bezeichnet; Abb. 4).

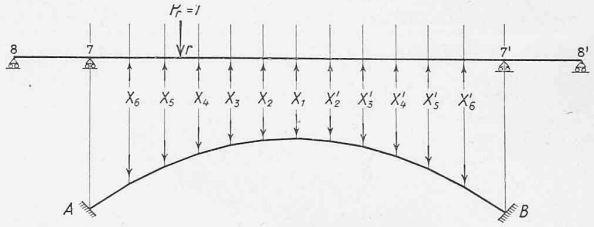


Abb. 4. Aufteilung in zwei Grundsysteme: Stab 8-7-7'-8' und Bogen A-1-B. Belastungsschema infolge $P_r = 1$ auf das Gesamtsystem.

Die Pendelwände als Verbindungsglieder der beiden Grundsysteme werden als starr betrachtet. Dann müssen infolge irgendeiner senkrechten Belastung P_r auf der Fahrbahn sowohl Bogen als Fahrbahn gleiche Biegelinien aufweisen. Jede senkrechte Belastung P_r der Fahrbahn erzeugt in den Pendelwänden senkrechte Kräfte $X_1\ X_2\ X_3 \ldots\ldots X_n$, die als Belastungsglieder gleich und entgegengesetzt auf die beiden Grundsysteme wirken. Bei z Pendelwänden zwischen den Widerlagern des Bogens ergibt somit jede einzelne senkrechte Belastung P_r der Fahrbahn bezw. des Stabes ein System von z Elastizitätsgleichungen. Die Auflösung der z Gleichungen eines Systems führt zu den *effektiven* Belastungswerten für das Gewölbe bezw. zu den *zusätzlichen* Belastungswerten für den durchlaufenden Balken 8—7—7'—8' (bereits belastet mit $P_r = 1$).

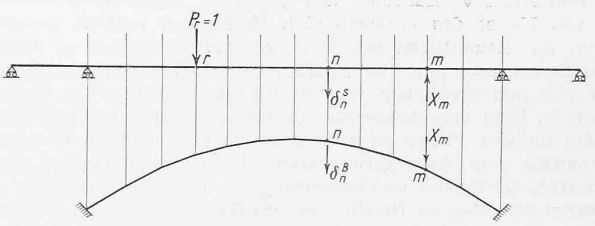


Abb. 5.

Es sei der Punkt r der Fahrbahn bezw. des Stabes mit $P_r = 1$ belastet (Abb. 5). Dann ist die Elastizitätsbedingung in irgendeinem Knotenpunkt n des Stabes bezw. des Bogens gegeben durch den Ausdruck:

$$\delta^S{}_n - \delta^B{}_n = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$\delta^S{}_n$ = senkrechte Verschiebung des Stabes im Punkt n

$\delta^B{}_n$ = senkrechte Verschiebung des Bogens im Punkt n

Bezeichnet man mit $\delta_{n\,m}$ die senkrechte Verschiebung eines Knotenpunktes n des Stabes bezw. des Bogens infolge einer Belastung $X_m = 1$ in m, dann ergibt sich die *totale Verschiebung* eines Knotenpunktes n des Stabes bezw. des Bogens infolge der Belastung $P_r = 1$ wie folgt:

$$\delta^S{}_n = \delta_{n\,r} \cdot 1 - \Sigma X_m \delta^S{}_{n\,m} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

$$\delta^B{}_n = \Sigma X_m \delta^B{}_{n\,m} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Eingesetzt in Gleichung (1):

$$\delta^S{}_{n\,r} \cdot 1 - \Sigma X_m \delta^S{}_{n\,m} - \Sigma X_m \delta^B{}_{n\,m} = 0$$

Setzt man noch: $\delta^S{}_{n\,m} + \delta^B{}_{n\,m} = \Delta_{n\,m}$, dann erhält man als endgültige Elastizitätsgleichung für irgend einen Knotenpunkt n der Gesamtkonstruktion

$$\delta^S{}_{n\,r} = \Sigma X_m \Delta_{n\,m} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Schreibt man für jede Belastung $P_r = 1$ in 1 bis 6 die entsprechenden Elastizitätsgleichungen an, dann erhält man sechs Serien von je elf Gleichungen.

Für eine Belastung $P_r = 1$ im Scheitel (Schnitt 1) lauten diese Gleichungen:

Tabelle I. **Elastizitätsgleichungen**

$P=1$ in	S^S_{1m}	S^S_{2m}	S^S_{3m}	S^S_{4m}	S^S_{5m}	S^S_{6m}	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1	$X_{2'}$	$X_{3'}$	$X_{4'}$	$X_{5'}$	$X_{6'}$
6	+ 350	+ 400	+ 400	+ 385	+ 310	+ 176	+ 726	+ 1160	+ 1135	+ 850	+ 500	+ 100	— 190	— 370	— 380	— 300	— 157
5	+ 850	+ 920	+ 950	+ 910	+ 620	+ 310	+ 1160	+ 3320	+ 2660	+ 2100	+ 1270	+ 390	— 480	— 940	— 830	— 650	— 300
4	+ 1400	+ 1540	+ 1430	+ 1210	+ 910	+ 385	+ 1135	+ 2660	+ 3610	+ 3380	+ 2440	+ 1130	— 160	— 910	— 1100	— 830	— 380
3	+ 1860	+ 1930	+ 1790	+ 1430	+ 950	+ 400	+ 850	+ 2100	+ 3380	+ 3990	+ 3430	+ 2150	+ 580	— 430	— 910	— 940	— 370
2	+ 2160	+ 2230	+ 1930	+ 1540	+ 920	+ 400	+ 500	+ 1270	+ 2440	+ 3430	+ 4430	+ 3160	+ 1770	+ 580	— 160	— 480	— 190
1	+ 2330	+ 2160	+ 1860	+ 1400	+ 850	+ 350	+ 100	+ 390	+ 1130	+ 2150	+ 3160	+ 3710	+ 3160	+ 2150	+ 1130	+ 390	+ 100
2′	+ 2160	+ 2000	+ 1580	+ 1200	+ 720	+ 310	— 190	— 480	— 160	+ 580	+ 1770	+ 3160	+ 4430	+ 3430	+ 2440	+ 1270	+ 500
3′	+ 1860	+ 1580	+ 1270	+ 990	+ 560	+ 230	— 370	— 940	— 910	— 430	+ 580	+ 2150	+ 3430	+ 3990	+ 3380	+ 2100	+ 850
4′	+ 1400	+ 1200	+ 900	+ 700	+ 470	+ 170	— 380	— 830	— 1100	— 910	— 160	+ 1130	+ 2440	+ 3380	+ 3610	+ 2660	+ 1135
5′	+ 850	+ 720	+ 560	+ 470	+ 250	+ 100	— 300	— 650	— 830	— 940	— 480	+ 390	+ 1270	+ 2100	+ 2660	+ 2320	+ 1160
6′	+ 350	+ 310	+ 230	+ 170	+ 100	+ 43	— 157	— 300	— 380	— 370	— 190	+ 100	+ 500	+ 850	+ 1135	+ 1160	+ 726

1) $\delta^S_{11} = X_1 \Delta_{11} + 2\,[X_2 \Delta_{12} + X_3 \Delta_{13} + X_4 \Delta_{14} + X_5 \Delta_{15} + X_6 \Delta_{16}]$

2) $\delta^S_{21} = X_1 \Delta_{21} + X_2 \underbrace{(\Delta_{22} + \Delta_{22'})}_{\Phi_{22}} + X_3 \Phi_{23} + X_4 \Phi_{24} + X_5 \Phi_{25} + X_6 \Phi_{26}$

(Für $P=1$ im Scheitel ist $X_n \equiv X'_n$, daher nur 6 Gleichungen)

6) $\delta^S_{61} = X_1 \Delta_{61} + X_2 \Phi_{62} + X_3 \Phi_{63} + X_4 \Phi_{64} + X_5 \Phi_{65} + X_6 \Phi_{66}$

Für eine Belastung $P_r = 1$ in 5 lauten die entsprechenden Gleichungen:

1) $\delta^S_{65} = X_6 \Delta_{66} + X_5 \Delta_{65} + X_4 \Delta_{64} + X_3 \Delta_{63} + X_2 \Delta_{62} + X_1 \Delta_{61} + X_{2'} \Delta_{62'} + X_{3'} \Delta_{63'} + X_{4'} \Delta_{64'} + X_{5'} \Delta_{65'} + X_{6'} \Delta_{66'}$

2) $\delta^S_{55} = X_6 \Delta_{56} + X_5 \Delta_{55} + X_4 \Delta_{54} + \ldots + X_{5'} \Delta_{55'} + X_{6'} \Delta_{56'}$

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

11) $\delta^S_{6'5} = X_6 \Delta_{6'6} + X_5 \Delta_{6'5} + \ldots + X_{5'} \Delta_{6'5'} + X_{6'} \Delta_{6'6'}$

(wobei z. B. $\Delta_{6'5} = \delta^S_{6'5} + \delta S_{6'5}$ bedeutet).

Für die Auflösung dieser formal allgemein gültigen Gleichungen ist es notwendig, alle Verschiebungsgrössen δ bezw. Δ zu bestimmen. Ihre effektiven Zahlenwerte hängen ab von den statischen Verhältnissen der beiden durch den Schnitt $s - s$ gewählten Grundsysteme.

I. Bestimmung der Verschiebungsgrössen δ^S des Stabes 7—7′.

Eine bestimmte Belastung $P = 1$ erzeugt in Stab 7—7′ eine bestimmte Momentenfläche (Abb. 6). Die Koeffizienten δ^S der Elastizitäts-Gleichungen werden erhalten als Ordinaten der Biegelinie des Stabes. E und J sind für den Balken konstant. Setzt man EJ vorläufig $= 1$, dann lassen sich die Ordinaten δ^S der Biegelinie analytisch wie folgt ermitteln:

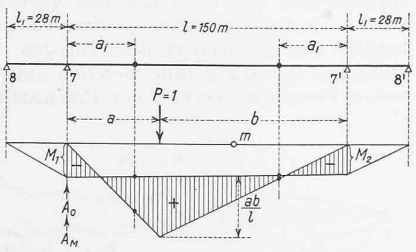


Abb. 6.

für Schnitte links von P_r:

$$\delta^S_{n\,r} = \underbrace{x_n \left[\frac{a\,b}{2\,l^2} \left(a\,b + \frac{a^2}{3} + \frac{2\,b^2}{3} \right) - \frac{x^2_n\, b}{6\,l} \right]}_{\delta^S_0} - \underbrace{\frac{x_n\, l}{6} \left[M_1 \left(2 - \frac{3\,x_n}{l} + \frac{x^2_n}{l^2} \right) + M_2 \left(1 - \frac{x^2_n}{l^2} \right) \right]}_{\delta^S_M}$$

für Schnitte rechts von P_r:

$$\delta^S_{n'\,r} = x_{n'} \left[\frac{a\,b}{2\,l^2} \left(a\,b + \frac{b^2}{3} + \frac{2\,a^2}{3} \right) - \frac{x^2_{n'}\, a}{6\,l} \right] - \frac{x_{n'}\, l}{6} \left[M_2 \left(2 - \frac{3\,x_{n'}}{l} + \frac{x^2_{n'}}{l^2} \right) + M_1 \left(1 - \frac{x^2_{n'}}{l^2} \right) \right]$$

δ^S_0 ist der Anteil der M_0-Fläche und δ^S_M jener der Stützen-Momente M_1 und M_2. Die Grösse der Stützenmomente ergibt sich auf Grund der Fixpunkte und der Kreuzlinienabstände wie folgt:

$$M_1 = \frac{M_1' - M_2'}{l - 2\,a_1} (l - a_1) + M_2'\,; \quad M_2 = M_2' - \frac{M_1' - M_2'}{l - 2\,a_1} a$$

$$M_1' = \frac{t_b}{l} a_1\,; \quad M_2' = \frac{t_a}{l} a_1$$

Die Auswertung erfolgt am besten tabellarisch.

Tabelle II. **Innere Kräfte $X_6 \ldots X_2 \ldots X_{6'}$**

$P=1$ in	1	2	3	4	5	6
$X_{6'}$	+ 0,247	— 0,00518	+ 0,2585	+ 0,575	— 0,268	+ 0,037
$X_{5'}$	— 0,163	+ 0,134	— 0,334	— 0,723	+ 0,345	+ 0,00133
$X_{4'}$	+ 0,367	+ 0,210	+ 0,581	+ 0,767	— 0,0942	+ 0,0402
$X_{3'}$	+ 0,100	+ 0,034	— 0,0723	— 0,1715	+ 0,1125	+ 0,01065
$X_{2'}$	— 0,034	+ 0,159	+ 0,0604	— 0,0669	+ 0,0803	+ 0,62845
X_1	+ 0,329	+ 0,056	+ 0,0897	+ 0,288	— 0,0531	+ 0,00545
X_2	— 0,034	+ 0,143	+ 0,0738	+ 0,054	+ 0,025	+ 0,0191
X_3	+ 0,100	+ 0,102	+ 0,400	— 0,2645	+ 0,193	+ 0,01995
X_4	+ 0,367	+ 0,440	— 0,333	+ 0,682	— 0,00713	+ 0,050
X_5	— 0,163	— 0,295	+ 0,669	— 0,373	+ 0,142	— 0,04045
X_6	+ 0,247	+ 0,388	— 0,329	+ 0.416	+ 0,0891	+ 0,2345

II. Bestimmung der Verschiebungsgrössen δ^B des Bogens.

Wählt man als statisch bestimmtes Grundsystem des Bogens etwa den in B eingespannten Balken (Abb. 7), dann ist bekanntermeise das Moment im Schnitt m:

$$M_m = M_0 + X_0\, y_m + Y_0\, x_m + Z_0$$

Die Verschiebungsgrössen δ^B werden wieder als Ordinaten der Biegelinie erhalten, indem man die Momentenfläche des eingespannten Bogens als Belastungsfläche einführt. E und J sind wieder konstant und werden vorläufig $= 1$ gesetzt.

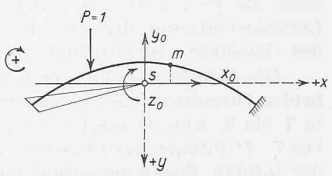


Abb. 7.

Da die Bogenaxe ein *Polygon* ist, lassen sich die Verschiebungen δ^B mit grösster Genauigkeit ermitteln (allerdings nur unter einem sehr grossen Arbeitsaufwand). Sind alle Koeffizienten δ^S und δ^B bestimmt, dann lassen sich die Elastizitätsgleichungen unter Berücksichtigung des Verhältnisses der Trägheitsmomente von J^S/J^B (in vorliegendem Fall $^{10}/_{1}$) endgültig anschreiben und auflösen (Tabelle I und Tabelle II).

Nachdem für sämtliche Laststellungen $P = 1$ in 1 bis 6 die zugehörigen inneren Belastungswerte X in den Pendelwänden ermittelt sind, ist es nun möglich, sowohl für den Bogen wie für den Balken, alle zugehörigen Momente, Querkräfte usw. zu ermitteln.

Abbildung 8 zeigt die effektiven Belastungen der beiden Grundsysteme infolge einer Belastung $P = 1$ in Schnitt 4 auf das Gesamtsystem.

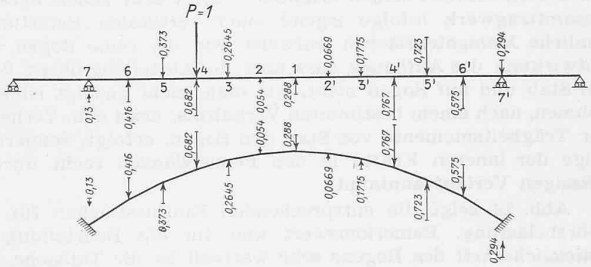


Abb. 8. Effektive Belastung des Stabes und des Bogens infolge $P = 1$ in 4.

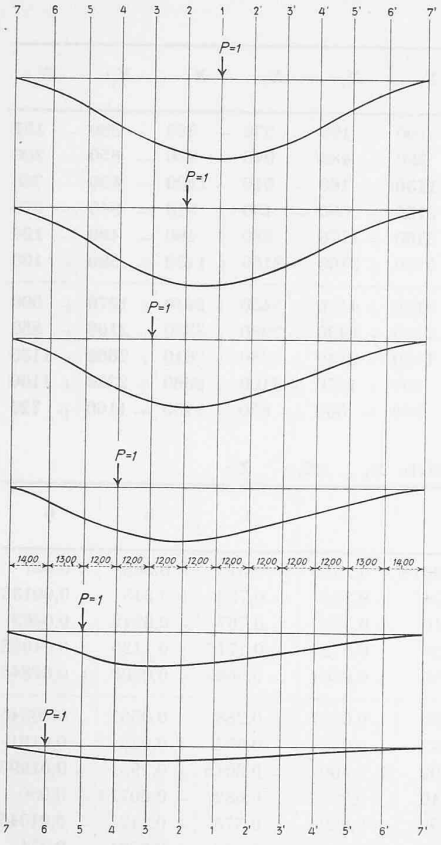


Abb. 9. Biegelinie des Balkens infolge $P = 1$ in 1 bis 6.

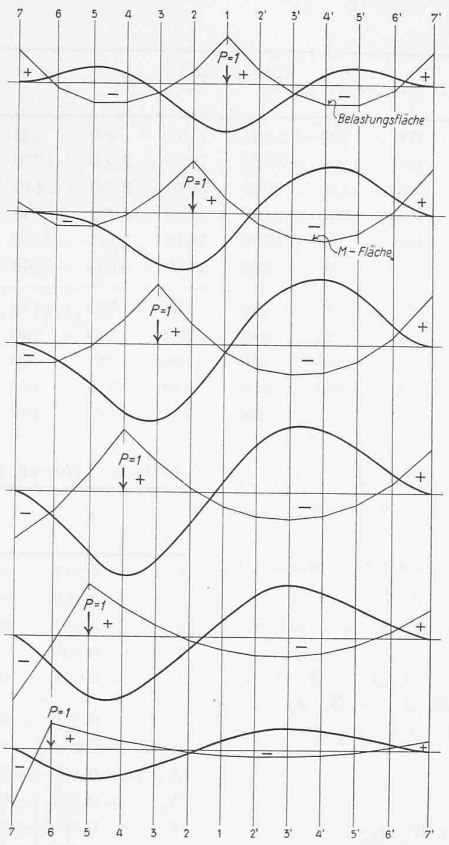


Abb. 10. Biegelinie des Bogens infolge $P = 1$ in 1 bis 6.

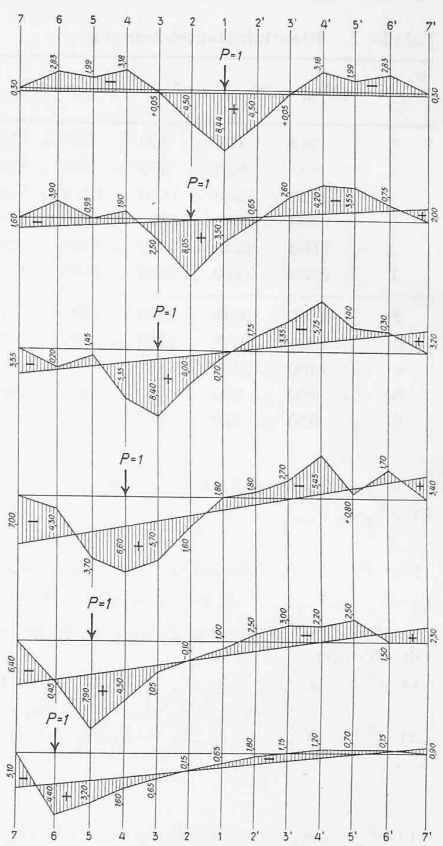


Abb. 11. Reduzierte Momentenlinie im Stab 7-7' infolge $P = 1$ in 1 bis 6 und der dazugehörigen X-Werte.

III. Ermittlung der endgültigen Biegungsmomente im Bogen.

Hierbei ist zu beachten, dass im Ausdruck $M' = M_0' + X' y_m + Y' x_m + Z'$ anstelle der ursprünglichen Kräfte $X_0\ Y_0\ Z_0$ für jeden einzelnen Belastungsfall neue Werte $X'\ Y'\ Z'$ zu ermitteln sind, die sich aber aus den Einflussflächen für $X_0\ Y_0\ Z_0$ unter Berücksichtigung der effektiven inneren Belatsungswerte «X» des Gewölbes verhältnismässig rasch ermitteln lassen.

Die beiden Abbildungen 9 und 10 zeigen die Biegelinien der beiden Grundsysteme für die verschiedenen Belastungsfälle $P = 1$ in 1 bis 6, Abb. 11 zeigt die endgültige Momentenfläche des Stabes 7—7' infolge der «äussern» Belastungen $P = 1$ in 1 bis 6 und der infolge Zusammenarbeit von Stab und Bogen auftretenden 11 «inneren» Belastungen $X_6\ X_5\ X_4 \ldots\ldots X_5'\ X_6'$.

Die interessantesten Resultate zeigen die Momentenlinien der Abb. 12: 1) Stark ausgezogen und schraffiert: effektive Momentenflächen im Bogen infolge der äusseren Belastung $P = 1$ in 1 bis 6 unter Berücksichtigung der Zusammenarbeit von Bogen und Stab; 2) Gestrichelte Linien: Momentenflächen des eingespannten Bogens infolge der Belastung $P = 1$ in 1 bis 6 ohne Mitwirkung der Fahrbahn; das sind die den bis heute üblichen Gewölberechnungen zu Grunde gelegten Momentenwerte für die Dimensionierung!! 3) Die strichpunktierten Momentenwerte stellen die Summe der Teilmomente aus Stab und Bogen dar und sind nichts anderes als die Momentenwerte der Gesamtkonstruktion: Stab + Bogen.

Diese drei verschiedenen Momentenlinien demonstrieren eindrücklich und anschaulich die tatsächliche Aufteilung des Kräftespieles zwischen Bogen und Fahrbahn infolge Verkehr. Die strichpunktierte Momentenfläche — wir wiederholen: aus der Addition der beiden ersten Flächen erhalten — zeigt sehr schön, dass das Gesamttragwerk infolge irgend einer vertikalen Belastung P ähnliche Momentenflächen aufweist, wie der reine Bogen ohne Mitwirkung des Aufbaues, dass aber die Aufteilung dieser Werte auf Stab und auf Bogen nicht, wie man leicht geneigt ist anzunehmen, nach einem bestimmten Verhältnis, etwa dem Verhältnis der Trägheitsmomente von Stab und Bogen, erfolgt, sondern infolge der inneren Kräfte in den Pendelwänden recht unregelmässigen Verlauf annimmt.

Abb. 13 zeigt die entsprechenden Einflussflächen für Verkehrsbelastung. Bemerkenswert und für die Beurteilung der *Knicksicherheit* des Bogens sehr wertvoll ist die Tatsache, dass die Momente im Bogen für irgend eine bestimmte Belastung P sehr oft das Vorzeichen wechseln und damit auch die Spannungen aus Verkehr. Dieser Spannungswechsel zwischen aufeinanderfolgenden Knotenpunkten wurde bei Belastungsproben tatsächlich festgestellt. Die Einflussflächen zeigen nicht nur die tatsächliche Grösse des Anteiles des Bogens an der Lastübertragung, sondern sie zeigen auch eindeutig, dass die Beanspruchungen des Gewölbes aus Verkehr in Wirklichkeit noch kleiner als die ermittelten Grenzwerte sind, weil die Wahrscheinlichkeit des Auftretens *aller* für den betreffenden Schnitt ungünstigen Belastungsfälle ziemlich ausgeschlossen ist, wegen der vielen Vorzeichenwechsel der Einflussfläche.

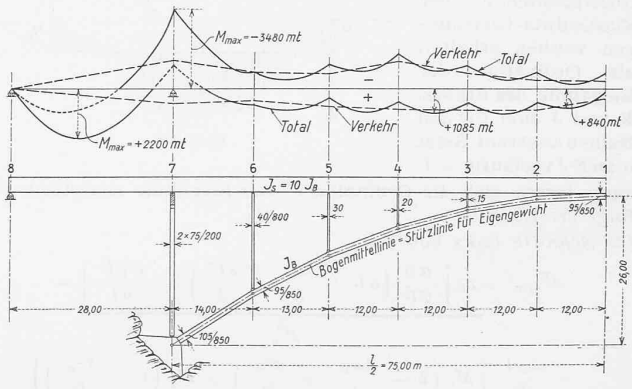


Abb. 14. Grenzwerte der Momente im Fahrbahnkasten. Ausgezogen infolge Eigengewicht + Verkehr, gestrichelt infolge Verkehr allein.

Die Grenzwertlinien der Momente im Stab (Abb. 14) zeigen den Weg für die richtige *Dimensionierung* der Fahrbahn: Durchlaufende obere und untere Bewehrung und eine Anordnung sich kreuzender Schubeisen, ähnlich den gekreuzten Diagonalen alter Gittertragwerke.

*

Zum Schluss noch einige Bemerkungen bezüglich der *Anordnung der Fahrbahnstützen und der Bogenform:*

a) Die Bogenaxe eines aufgelösten Bogentragwerkes muss ein Polygon sein; *geradlinig* zwischen den einzelnen Knotenpunkten. Eine Kurve entspricht nicht der Stützlinie für Eigengewicht, verursacht unnötige Nebenspannungen und ist innerlich unwahr.

b) Bei der Aufteilung der Fahrbahnstützen muss man unbedingt die Art der Ausbildung des Fahrbahnträgers in Berück-

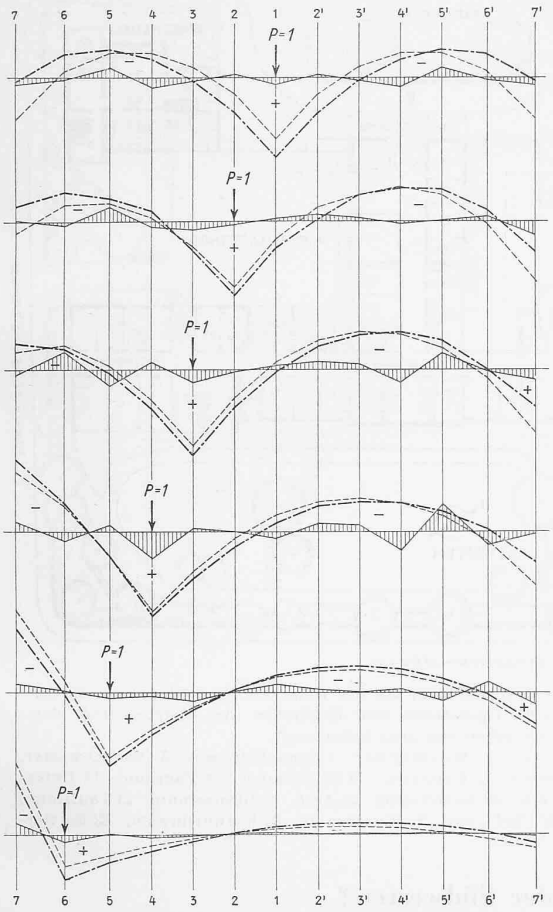


Abb. 12. Effektive Momentenfläche im Bogen infolge der Belastungen X_6-X_1-X_6' hervorgerufen durch Belastungen der Fahrbahn mit $P = 1$ in 1 bis 6.
——— effektive Momentflächen im Bogen unter Berücksichtigung der Zusammenarbeit von Bogen und Stab.
— — — «theoretische» Momentenflächen des eingespannten Bogens ohne Berücksichtigung der Mitwirkung der Fahrbahn.
—·—·— Summe der Teilmomente aus Stab und Bogen.

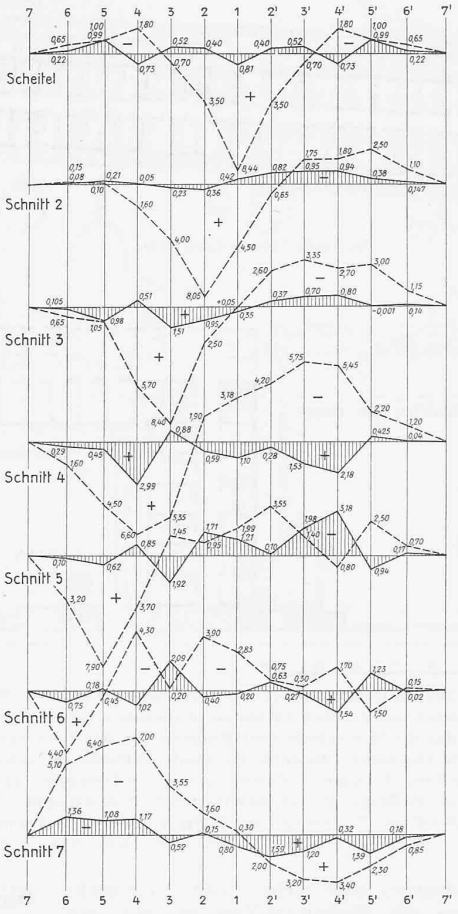


Abb. 13. Einflussflächen von Bogen und Balken infolge Belastungen $P = 1$ in 6-1-6'.
Ausgezogen Einflussflächen des Bogens, Gestrichelt Einflussflächen des Balkens.

sichtigung ziehen: Die oft von Architekten vertretene Auffassung, nur eine durchgehend gleiche Teilung von einem Brückenende zum andern sei ästhetisch befriedigend, ist vom konstruktiven Standpunkt aus nur bedingt annehmbar, nämlich nur dann, wenn die Fahrbahn über den Widerlagern des Gewölbes durch Fugen getrennt wird. Je besser aber die Biegelinien der beiden Grundsysteme miteinander übereinstimmen, umso ausgeglichener wird die Lastverteilung im Bogen und Stab, umso wirtschaftlicher wird die Gesamtkonstruktion. Wird die Fahrbahn ohne Fuge über die Widerlagerstützen durchgeführt, dann treten im Stab an den Auflagern Einspannungsmomente auf, analog denen des Bogenkämpfers. Es ist eine Sache für sich, die Grösse dieser Einspannmomente durch geeignete Wahl der anschliessenden Oeffnungen möglichst günstig für die Gesamtkonstruktion zu bestimmen. Wir stellen nur das eine fest: Beim durchlaufenden Balken, der für die Gesamtdisposition zweifelsohne, sowohl in konstruktiver als auch in wirtschaftlicher Beziehung, die gegebene Lösung ist, *müssen die anschliessenden Oeffnungen normalerweise bedeutend grösser als diejenigen über der Brücke sein.* Sonst wird unter normalen Umständen die erste an das Widerlager anschliessende Stütze bei gewissen Belastungsfällen gehoben und damit die Grundlage der ganzen Berechnung hinfällig.

Bogentragwerke, deren Fahrbahn und Gewölbe *bewusst* als Einheit dimensioniert sind, bringen eine neue Note in das so viel umstrittene Gebiet der Aesthetik (Abb. 15). Wer diese innere und vorhandene Einheit von Bogen und Fahrbahn erfasst, wird sich in Zukunft, ob Ingenieur oder Architekt, dafür einsetzen müssen.

Vom Ziegeldach

An der 70. Tagung des Schweiz. Verbandes für die Materialprüfungen der Technik (Samstag, 7. Nov. in der E. T. H.), an der sich auch der Verband Schweiz. Ziegelei- und Steinfabrikanten und der Schweiz. Dachdeckermeisterverband beteiligten, stand der Entwurf der E. M. P. A. zu *«Bestimmungen für die Lieferung, Prüfung und technische Güte von gebrannten Dachziegeln»* zur Diskussion. Ing. P. Haller, Abteilungschef der E. M. P. A., gab dazu am Vormittag die theoretischen Unterlagen und Erläuterungen, die sich auf die neuen Untersuchungsmethoden, auf Erfahrungen mit Ziegeldächern, auf die Ursache und Behebung der Fäulnisbildung an Dachlatten bezogen. Der Nachmittag war der freien Diskussion, dem Austausch praktischer Erfahrungen und der vorläufigen Durchsicht des oben genannten Entwurfes gewidmet. Die darin enthaltenen Bestimmungen sollen von den zuständigen Fachverbänden während drei Jahren durch die Praxis überprüft und das Ergebnis dann auf das Jahr 1939 dem S. I. A. vorgelegt werden, so dass die neuen Normen (die jetzigen bestehen seit 1912) auf das Jahr 1940 in Kraft treten könnten.

Den unmittelbaren Anstoss zu diesen umfangreichen Untersuchungen bildete das zunehmende Vorkommnis der Lattenfäulnis beim Doppeldach. Welches sind die Ursachen? Die Diskussionsvoten zeigten, wie unsicher man diesen nachtastet, wie wenig allgemein die Erkenntnisse darüber sind. Der Dachdecker sucht sie beim Material, beim Ziegel, der Fabrikant bei der Latte, bei der Entlüftung. Wie ungemütlich die Situation ist und wie dringend das Problem eine Lösung fordert, erhellt der Ausspruch eines prominenten Dachdeckers: «Es ist höchste Zeit, dass nun einmal etwas geschieht. Wir haben keine Ruhe mehr, wir Dachdecker können nicht mehr mit gutem Gewissen die Garantie für ein Doppeldach übernehmen!» — Bis dahin sind diese Schwierigkeiten als eine interne Angelegenheit der direkt beteiligten Verbände behandelt worden. Hat aber nicht auch der Architekt das Recht, orientiert zu werden und die Pflicht, aktiv mitzuarbeiten? Es seien daher die wichtigsten Punkte kurz angeführt.

Eindeutig wurde festgestellt, dass die Lattenfäulnis namentlich beim Doppeldach mit der Ausbreitung der Zentralheizung zugenommen hat. Der dadurch auftretende grössere Wärmeanfall im Dachraum ergibt beim Zutritt der kalten Aussenluft durch Ritzen und Entlüftungsschlitze an der Ziegelunterseite einen Schwitzwasserniederschlag, der von der Latte aufgesogen wird. Der hohe Feuchtigkeitsgehalt des Holzes, die Temperatur des Dachraumes bilden die günstigsten Lebensbedingungen der Fäulnispilze. Um die Berührungsfläche von Ziegel und Latte nach Möglichkeit herabzusetzen, schlägt Ing. Haller vor, die Ziegel mit mindestens 3 mm hohen, rd. 1 cm breiten Auflagerippen zu versehen, die mindestens 3 cm über die Nase hinweg nach unten reichen. Es ist eine allgemeine fachgemässe Forderung, den Raum zwischen Ziegel und Unterkonstruktion zu belüften. Dabei wurde aber festgestellt, dass bei grossen Sparrenlängen die Entlüftung versagt, da die Luft