

STATISCHE MESSUNGEN AN MODELLEN VON GEWÖLBEBRÜCKEN ZUR BESTIMMUNG DER MITWIRKUNG DER AUFBAUTEN*

Von

Prof. Dr.-Ing. G. BIENERT, Dresden

Vorbemerkung

Bei der Beurteilung der Tragfähigkeit von Brückengewölben aus Naturstein, Kunststein oder Beton wurde wiederholt auf die durch die Mitwirkung der Aufbauten feststellbaren Tragreserven hingewiesen, die in konservativen Festigkeitsnachweisen unberücksichtigt bleiben [1, 2, 3, 4, 5]. Im Hinblick auf die sowohl bei den Eisenbahnen als auch im Kraftverkehr stark angewachsenen Achsdrücke der Fahrzeuge sind diese Reserven insbesondere bei der Sanierung und Rekonstruktion älterer Gewölbebrücken von Bedeutung.

*

Bekanntlich treten bei der Nachrechnung bestehender Bauwerke häufig Widersprüche auf, indem Gewölbeüberbauten mit einwandfreiem Bauzustand bei strenger Beurteilung der Ergebnisse nach geltenden Vorschriften aus dem Verkehr gezogen werden müßten.

Die Ursachen hierfür sind im unterschiedlichen Verhalten der Massivbaustoffe gegenüber den elastischen Eigenschaften des der Rechnung zu Grunde liegenden Idealwerkstoffes und in Abweichungen der auf der Grundlage stationärer Temperaturfelder errechneten Eigenspannungen aus Kriech-, Schwind- und Temperaturwirkungen zu suchen. Sie erfordern eine Veränderung und Vervollkommnung unserer Berechnungsmethoden im Sinne der Theorie der Grenzzustände, die — gestützt auf ein genaueres Studium der Rißbildung aus Last- und Temperatureinwirkungen — davon ausgehen, daß die errechneten Spannungen, Formänderungen, Rißabstände und Rißweiten vorgegebene Grenzwerte nicht überschreiten.

Hierzu sind geeignete Kenngrößen der Rißbildung festzulegen, die beim

* Vorgetragen an der Wissenschaftlichen Tagung der Technischen Universität Budapest, 31. Oktober — 3. November, 1967.

Übergang aus dem Stadium I (ungerissene Zugzone) in das Stadium II (gerissene Zugzone) unter Berücksichtigung von Alterungserscheinungen das zeitabhängige Verhalten der Massivbaustoffe möglichst wirklichkeitsgetreu erfassen.

Eine weitere Ursache bildet das Zusammenwirken von Gewölbe, Bogenscheiben und Fahrbahn – kurz als Mitwirkung der Aufbauten bezeichnet. Ihre räumliche Tragwirkung kann auch mit den heute verfügbaren Mitteln der modernen Rechentechnik schwer erfaßt werden. Die Suche nach einfacheren Methoden ist daher gerechtfertigt.

Die moderne Meßtechnik, durch deren Einsatz neue experimentelle Verfahren der Spannungsanalyse komplizierter statischer Systeme erschlossen werden, bietet eine solche Möglichkeit. Sie führt in Verbindung mit Messungen an geometrisch- und werkstoffähnlichen Brückenmodellen zu Ergebnissen, die für die Wirkung der Verkehrslasten eine gute Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse im Bauwerk gestatten [6].

Modelluntersuchungen

Im Auftrage der Deutschen Reichsbahn wurden am Institut für Ingenieurbau der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ in Dresden Modelluntersuchungen an einer Bogenreihe und an 3 Einzelbogen mit verschiedenen Stichverhältnissen und Aufbauzuständen durchgeführt.

Die ersten zwei Modelle sind in Anlehnung an bestehende Brücken im Maßstab 1:50 hergestellt worden. An einem Einzelbogen von 29,5 m Lichtweite im Naturmaß wurden 9 Aufbauzustände untersucht (Bild 1). An einer Bogenreihe mit 4 Feldern von 22,8 m Lichtweite im Naturmaß sind 5 Varianten der Gewölbeaufbauten berücksichtigt worden (Bild 2). An weiteren Modellen mit gestaffelten Stichverhältnissen ($f/l = 1:3; 1:4,5; 1:6$) wurden Messungen mit je 6 verschiedenen Aufbauzuständen durchgeführt (Bild 3).

Untersucht wurden jeweils Bogen ohne Aufbauten, Bogen und Stirnwände, Bogen und Stirnwände und Fahrbahn. Bei den letztgenannten Modellen wurde der Einfluß der Bogenscheiben in Form von 2 Stirnwänden mit 3 Höhenvarianten berücksichtigt. Am ersten Bogenmodell wurden zusätzlich 2 Zwischenlängswände eingefügt (Bild 1).

Die Modelle bestanden aus Decelith,* einem thermoplastischen Kunststoff aus Polyvinylchlorid, der in Platten von 1 bis 30 mm Stärke geliefert wird; beziehungsweise aus Piacryl.** einem organischen Glas mit dem „Plexiglas“

* Hersteller VEB Eilenburger Celluloidwerk DDR

** Hersteller VEB Stickstoffwerk Piesteritz DDR

entsprechenden Eigenschaften. Die Lieferung erfolgt in Form von Platten und Blöcken. Piacryl ist gießbar und warm verformbar. Es kann wie Decelith durch spanabhebende Werkzeuge bearbeitet werden. Der E -Modul beider Stoffe schwankt zwischen 30 000 bis 33 000 kp/cm^2 .

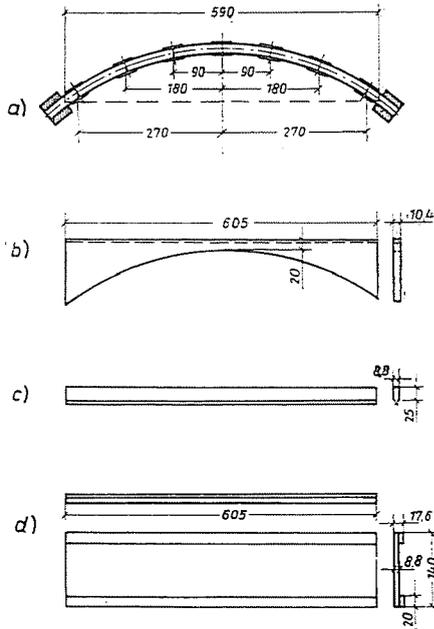


Bild 1. Modell 1 — Maßstab 1:50 — Modellabmessungen.

- a) Bogenmodell mit Meßstreifen
- b) Stirn- und Zwischenwände
- c) Aufstockung
- d) Fahrbahntafel

Es wurden Einflußlinien der Randspannungen für die maßgebenden Gewölbequerschnitte ermittelt und die Reduktion der Spannungen in den verschiedenen Aufbauzuständen gegenüber dem Bogen ohne Aufbauten prozentual festgelegt.

Als Meßverfahren wurde die elektrische Widerstandsdehnungsmessung gewählt; als Meßgeber waren Dehnungsmeißstreifen von 2 cm Länge eingesetzt. Ihre Anordnung ist aus Bild 1 ersichtlich. Die Lasteintragung erfolgte über geeichte Hebel zum besseren Vergleich mit traditionellen Rechenergebnissen von unten (Bild 2,3). In Bild 4 sind die Einflußlinien der unteren Randspannung im Scheitel- und Viertelbereich der Bogen I und II für 3 verschiedene Aufbauzustände der Bogenreihe (Bild 2) dargestellt. Bild 5 zeigt die Einfluß-

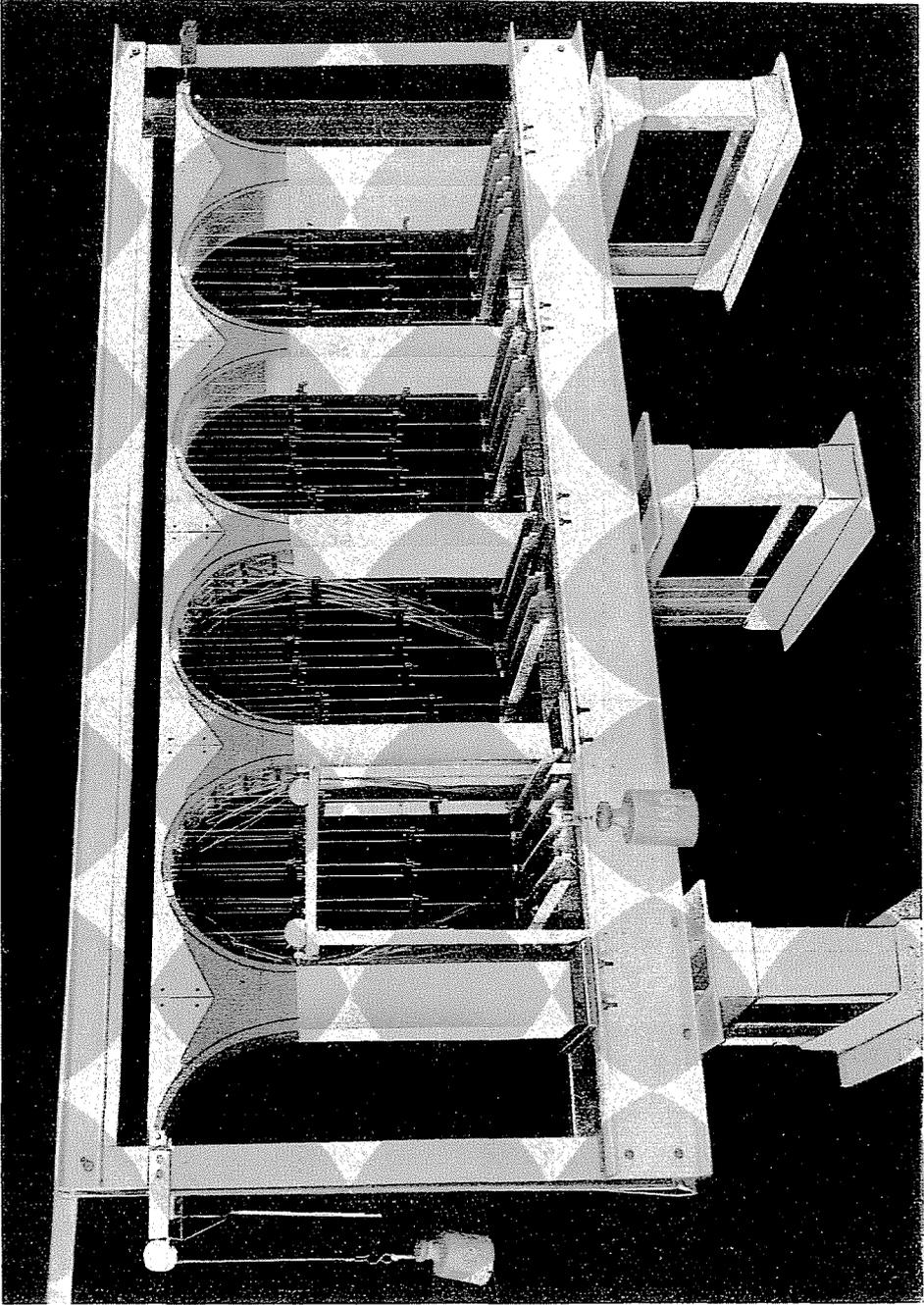


Bild 2. Bogenreihe mit Fahrbahnstafel, Stämp- und Zwischenwänden — Hebelvorrichtung für Lasteinbringung.

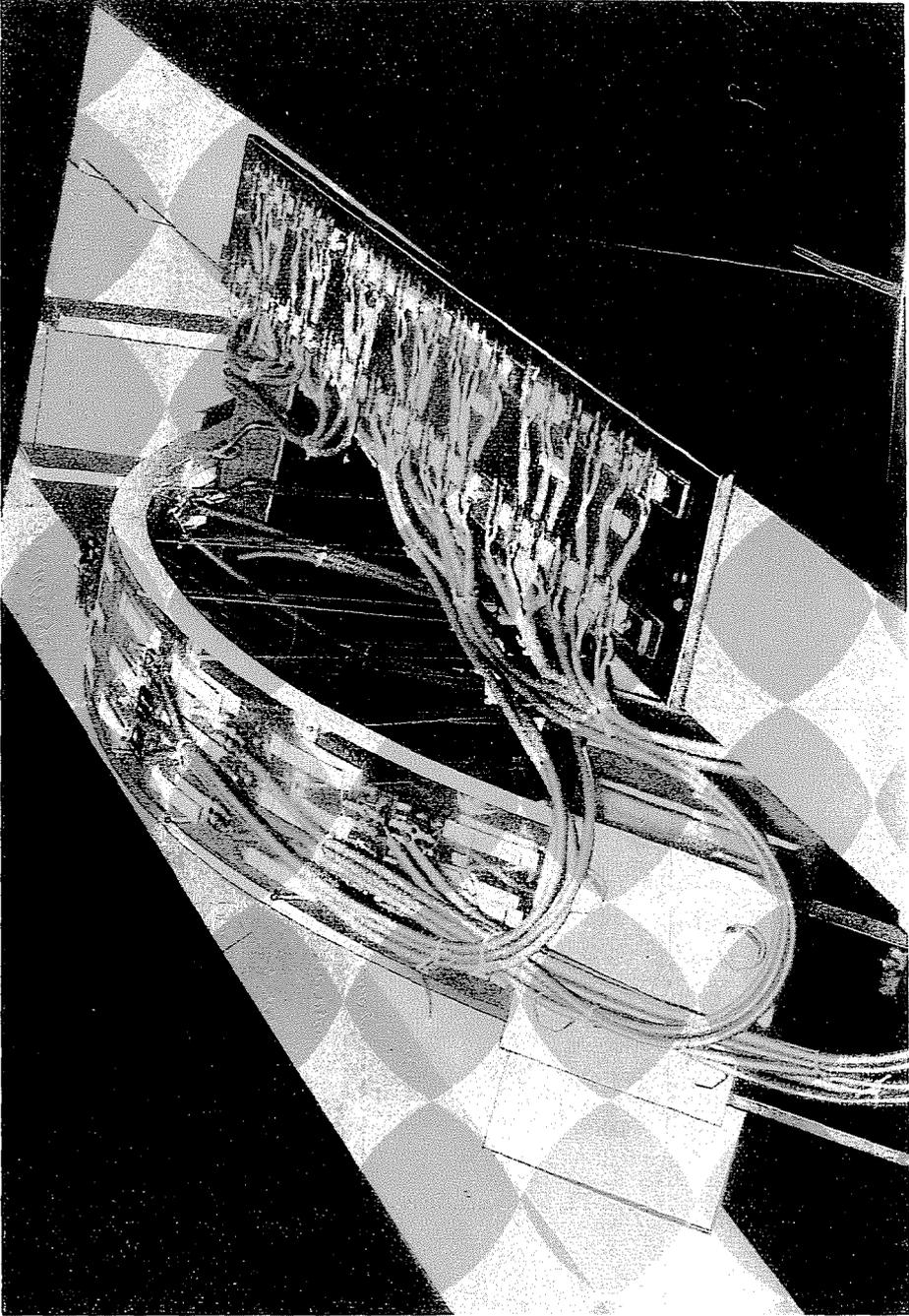


Bild 3. Plastermodell eines Einzelgewölbes ohne Aufbauten.

linien der unteren Randspannung in 4 verschiedenen Querschnitten *a b d c* des zuerst untersuchten Einzelbogens. Die Einflußwerte in den 9 Aufbauzuständen, die Gewölbespannungen und ihre prozentuale Abminderung für den Lastenzug der Deutschen Reichsbahn (Bild 6) sind in den Tafeln 1 und 2 angegeben. Die oberen Gewölberandspannungen sind infolge Verlagerung der Schwerlinie in Richtung oberer Bogenrand von geringem Interesse.

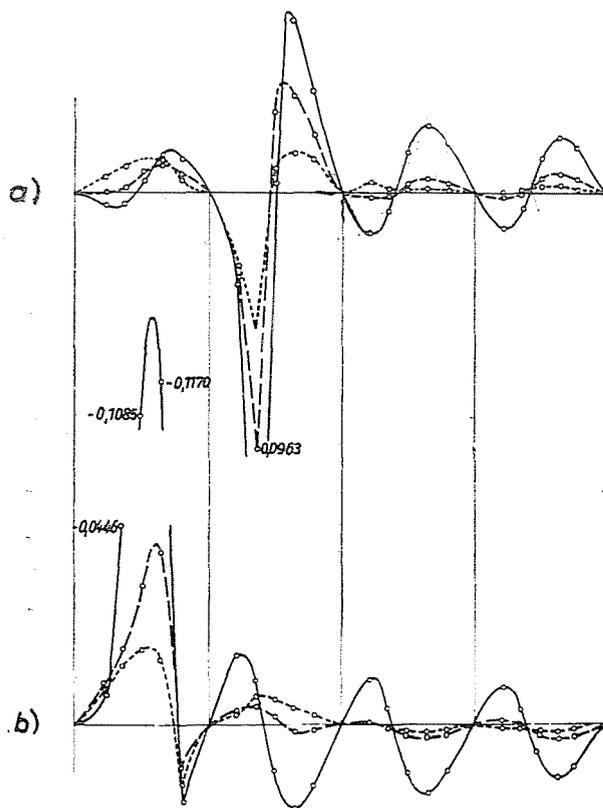


Bild 4. Einflußlinien der unteren Gewölberandspannung in der Bogenreihe (Bild 2).

a) Bogen II Scheitelbereich
 ————— ohne Aufbauten
 Endzustand

b) Bogen I Viertelbereich
 mit Stirnwänden mit Fugen
 o Meßpunkte

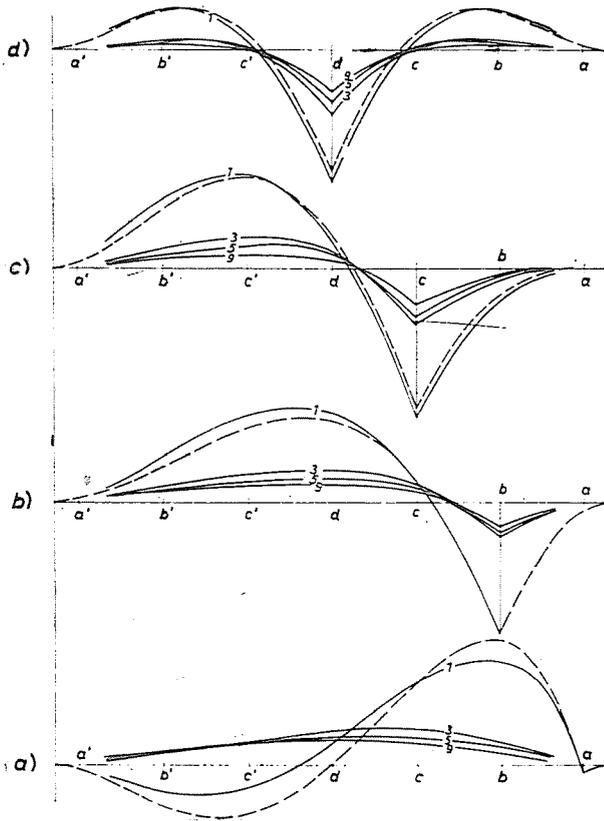


Bild 5. Einflußlinien der unteren Randspannung im Einzelgewölbe
 (Bild 1) — Querschnitte $a b c d$
 ————— Aufbauzustände 1, 3, 5, 9
 Rechnung

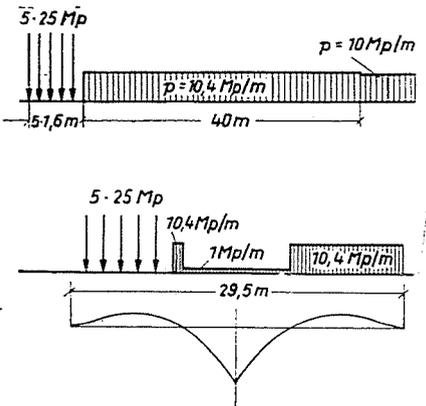


Bild 6. Lastenzug DR (Deutsche Reichsbahn)

Tafel 1. Einflußwerte der unteren Randspannungen

Last- stellung	Aufbauzustand								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Meßpunkt <i>a</i>									
<i>b</i>	-0,2948	-0,0964	-0,0675	-0,0630	-0,0517	-0,0668	-0,0409	-0,0396	-0,0333
<i>c</i>	-0,2364	-0,1346	-0,1032	-0,0959	-0,0775	-0,1136	-0,0816	-0,0766	-0,0616
<i>d</i>	-0,0571	-0,1084	-0,0960	-0,0931	-0,0787	-0,1074	-0,0860	-0,0858	-0,0695
<i>c'</i>	+0,0694	-0,05785	-0,0615	-0,0637	-0,0587	-0,0697	-0,0635	-0,0669	-0,0556
<i>b'</i>	+0,0753	-0,0264	-0,0334	-0,0363	-0,0354	-0,0363	-0,0399	-0,0405	-0,0378
Meßpunkt <i>b</i>									
<i>b</i>	+0,3552	+0,1078	+0,0861	+0,0808	+0,0747	+0,0799	+0,0624	+0,0599	+0,0605
<i>c</i>	-0,0585	-0,0550	-0,0497	-0,0445	-0,0424	-0,0448	-0,0372	-0,0344	-0,0300
<i>d</i>	-0,2535	-0,10945	-0,0903	-0,0772	-0,0659	-0,0921	-0,0627	-0,0601	-0,0490
<i>c'</i>	-0,2453	-0,1012	-0,0792	-0,0695	-0,0579	-0,0858	-0,0571	-0,0564	-0,0453
<i>b'</i>	-0,1283	-0,0574	-0,0451	-0,0420	-0,0346	-0,0502	-0,0349	-0,0361	-0,0302
Meßpunkt <i>c</i>									
<i>b</i>	+0,0935	+0,0520	+0,0357	+0,0257	+0,0070	+0,0502	+0,0323	+0,0269	+0,0175
<i>c</i>	+0,3887	+0,1784	+0,1391	+0,1223	+0,1174	+0,1441	+0,1154	+0,0980	+0,0917
<i>d</i>	-0,0757	-0,0729	-0,0515	-0,0489	-0,0421	-0,0605	-0,0351	-0,0303	-0,0231
<i>c'</i>	-0,2637	-0,1290	-0,0897	-0,0739	-0,0653	-0,1084	-0,0630	-0,0522	-0,0376
<i>b'</i>	-0,1901	-0,0840	-0,0581	-0,0475	-0,0387	-0,0716	-0,0425	-0,0373	-0,0293
Meßpunkt <i>d</i>									
<i>b</i>	-0,1112	-0,0324	-0,0217	-0,0224	-0,0154	-0,0232	-0,0100	-0,0102	-0,0098
<i>c</i>	-0,0224	-0,0131	+0,0027	-0,0071	-0,0047	-0,0015	+0,0107	+0,0058	+0,0055
<i>d</i>	+0,3487	+0,18835	+0,1673	+0,1491	+0,1340	+0,1626	+0,1413	+0,1203	+0,1138

Bild 7 charakterisiert die Spannungsabnahme im Gewölbe durch Vergleich der Aufpunktordinaten der Einflußlinien für die Randspannungen im Bogenviertel bei 6 verschiedenen Aufbauzuständen. Die Eintragungen auf der Abszissenachse bedeuten: 0 ohne Aufbauten; 1, 3, 5 mit Aufbauten verschiedene

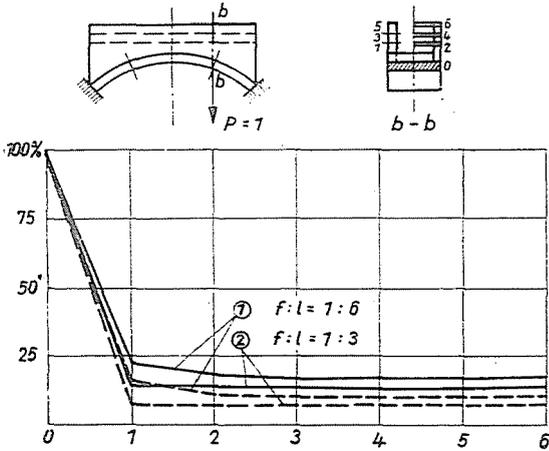


Bild 7. Spannungsabnahme im Gewölbeschnitt $b-b$ infolge Aufbautenmitwirkung
 Randspannung unten oben

ner Höhe ohne Fahrbahn; 2, 4, 6 desgleichen mit Fahrbahn. Das größere Wertepaar der unteren und oberen Randspannung gilt für $f/l=1:6$; das kleinere Wertepaar für $f/l=1:3$.

Im Ergebnis aller Untersuchungen konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden (vergleiche [7, 8]), die in ihrer qualitativen Aussage durch Bauwerksmessungen der Deutschen Reichsbahn bestätigt wurden [9]:

1. Die Mitwirkung der Aufbauten von Gewölbebrücken kann mit Hilfe der experimentellen Spannungsanalyse in einer technisch und wirtschaftlich brauchbaren Form untersucht werden. Das beschriebene Modellverfahren ermöglicht für die Wirkung der Verkehrslasten eine gute Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse im Bauwerk.

2. Bei Gewölben mit voller Überschüttung oder mit Spandrillräumen bilden die Stirn- und Zwischenwände große Tragreserven des Überbaues. Die Mitwirkung der Aufbauten wächst bei der Übertragung der Verkehrslast mit der Höhe der Bogenscheiben in Abhängigkeit des Stichverhältnisses der Hauptgewölbe. Scheibenaufstockungen und die Brückenfahrbahn haben keinen wesentlichen Einfluß (Bild 7).

3. Bei der Rekonstruktion schadhafter Gewölbebrücken mit Kapellenaufbauten kann durch nachträglichen Einbau von Längswänden über den Tragge-

Tafel 2/a. Maximale untere Randspannungen (kp/cm²)

	Meßpunkt	Aufbauzustand								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Negative Randspannung	a	15,4	9,2	7,8	7,5	6,5	8,5	6,5	6,6	5,4
	b	15,7	7,1	5,8	5,2	4,4	6,1	4,3	4,2	3,4
	c	12,6	6,8	4,6	4,0	3,3	5,6	3,3	2,8	2,1
	d	6,8	2,1	1,1	1,3	0,9	1,3	0,4	0,4	0,4
Positive Randspannung	a	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	b	10,0	2,4	2,0	1,9	1,8	1,8	1,4	1,4	1,4
	c	10,8	5,3	4,1	3,4	3,0	4,4	3,1	2,8	2,6
	d	8,9	4,1	4,1	3,3	3,0	4,1	4,0	3,3	3,2

Tafel 2/b. Prozentuale Abminderung der maximalen unteren Randspannung durch Aufbringen von Aufbauten

	Meßpunkt	Aufbauzustand								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Negative Randspannung	a	100	60	51	48	42	55	42	42	35
	b	100	45	37	33	28	39	27	26	22
	c	100	54	37	32	27	44	26	22	17
	d	100	31	25*	20	13	19	5	6	6
Positive Randspannung	a	100	-	-	-	-	-	-	-	-
	b	100	24	20	19	18	18	14	14	14
	c	100	49	38	32	28	41	29	26	23
	d	100	46	40*	37	34	46	45	37	36

* Tafelwerte geschätzt

wölben eine wesentliche Erhöhung der Tragfähigkeit für die Verkehrslast erreicht werden (Bild 8).

4. Für vorgegebene Verkehrslasten können die aus dem Zusammenwirken von Gewölbe und Aufbauten entstehenden Tragreserven durch Abminderungsbeiwerte der Schnittgrößen M_v, N_v im Hauptgewölbe berücksichtigt werden. Die Versuche führen zu einer Abgrenzung der Einflußwerte. Vergleichsrechnungen an gekrümmten Ersatzstäben ergaben, daß die Angaben von BAY über die

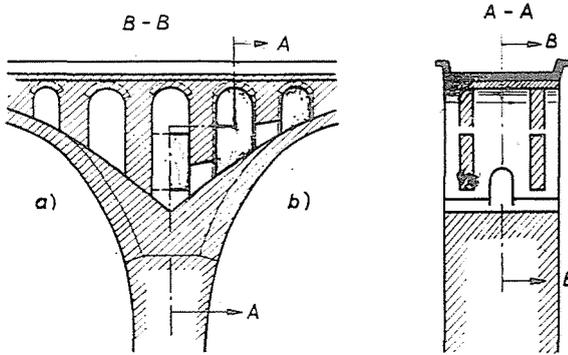


Bild 8. Einbau von Längsscheiben in Kapellenaufbauten.
 a) alter Zustand b) neuer Zustand

mittragende Höhe von Bogenscheiben [10] für den Verbundquerschnitt (Bild 10/2,5) nicht übernommen werden können. Im Sinne der zur Angleichung an wirklichkeitsgetreue Verhältnisse bei der Berechnung von Konstruktionen nach Grenzzuständen üblichen Faktoren sollten daher entsprechende „Anpassungsfaktoren für die Mitwirkung der Aufbauten“ in die Brückenvorschriften eingehen. Hierfür sind noch Analogieuntersuchungen für typische Querschnitte und Bogenformen von Straßenbrücken und zweigleisigen Eisenbahnbrücken erforderlich.

Diese Erkenntnisse sind im Hinblick auf die stark angewachsenen Achsdrücke der Fahrzeuge in speziellen Fällen für die Erhaltung einer alternden Brücke von ausschlaggebender Bedeutung. Es ist bekannt, daß ältere Eisenbahnbrücken im allgemeinen nur für 16 Mp Achslast und 3,6 bis 5 Mp/m Streckenlast berechnet wurden, während heute in der DDR Achslasten von 25 Mp und Streckenlasten von 10 Mp/m, nach der sowjetischen Brückenvorschrift SN 200/62 sogar Achsen mit 33 Mp und Streckenlasten von 14 Mp/m auftreten. Bei den Straßenfahrzeugen stehen den vor hundert Jahren eingesetzten Fuhrwerken mit maximal 2,5 bis 3 Mp Achslasten moderne Lastkraftwagen mit 10 Mp Achsdruck und mehr gegenüber. Die an wirtschaftlicher Bedeutung zunehmenden Schwerlasttransporte von Transformatoren, Maschinen und

Fertigteilen der Bauindustrie bedingen Verkehrslasten, die noch über den derzeitigen Normlasten liegen können. Die genannten Tragreserven sind daher zur Aufnahme der erhöhten Verkehrslasten sehr willkommen.

Die in den Versuchsmodellen vorhandene gute Verbundwirkung zwischen Gewölbe und Aufbauten ist allerdings in alten Brücken mit schlechten Isolierungen, ausgelaugten Fugen und ähnlichen Schäden oft nicht gewährleistet. Von den in Bild 9 dargestellten Rißformen interessieren in diesem Zusammenhange

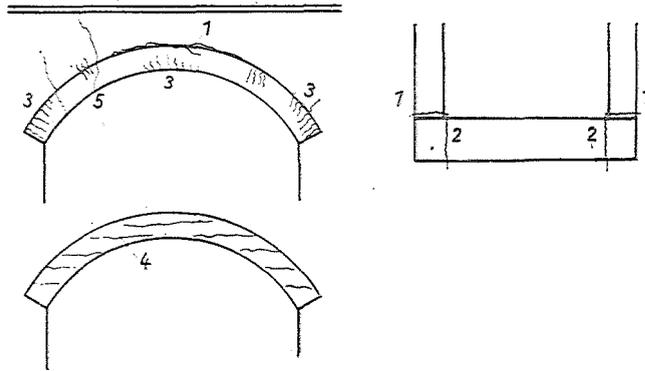


Bild 9. Schadensanalyse — Rißschema

- 1 Längsriß (Rückenfugenriß)
- 2 Längsriß (Stirnringriß)
- 3 Querriß (Leibungsriß)
- 4 Schrägriß (Betonierfugenriß)
- 5 Schrägriß (Setzungsriß)

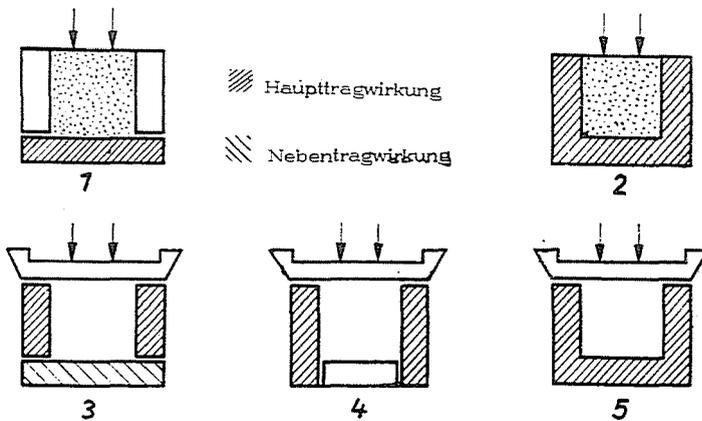


Bild 10. Überbautragssystem eingleisiger Eisenbahnbrücken bei verschiedenen Formen der Rißbildung und Lasteintragung.

insbesondere die in Längsrichtung verlaufenden Rückenfugen- und Stirnringrisse. Hier kann durch Vernadelungen und Injizierungen Abhilfe geschaffen werden. Die Schubspannungen in der Gewölberückenfuge sind im allgemeinen gering und bei gutem Zustand der Brücke ohne besondere Maßnahmen aufzunehmen.

In gleichem Sinne interessiert die Form der Lasteintragung, die gegebenenfalls durch Einbau neuer Dichtungswannen bei Rekonstruktionsmaßnahmen verändert werden kann. Sie führt in Verbindung mit dem vorhandenen Rißzustand zu unterschiedlichen in Bild 10 für eingleisige Eisenbahnbrücken idealisiert dargestellten Tragsystemen des Brückenüberbaues. Die Ergebnisse der Modelluntersuchungen gelten nur für die Querschnittsformen 2 und 5 (Bild 10).

Schlußbemerkung

Die aus den vorstehenden Ausführungen erkennbare Reduktion der Spannungen aus Verkehrslast infolge Aufbautenmitwirkung bedarf hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Einschätzung der Tragkraft einer Brücke einiger Einschränkungen.

In älteren Gewölbebrücken von etwa 10 bis 25 m Spannweite beträgt der Anteil der Verkehrslast erfahrungsgemäß nur ca. 20 bis 30% der Gesamtlast. Über die Mitwirkung der Aufbauten an der Übertragung der ständigen Lasten kann bei alten Brücken keine eindeutige Aussage gemacht werden, da Angaben über Bauzustände im Stadium der Errichtung des Bauwerkes normalerweise nicht bekannt sind. Es empfiehlt sich daher, die ständige Last der Überbauten insgesamt den Hauptgewölben zuzuweisen, und die Mitwirkung der Aufbauten nur für die Verkehrslast in Anspruch zu nehmen. Eine Ausnahme hiervon bilden Fahrbahngewichte rekonstruierter Gewölbebrücken; beispielsweise dann, wenn Dichtungswannen montiert werden.

Die Auswirkung der Aufbauten auf „Temperatureinflüsse“ ist meßtechnisch noch nicht untersucht worden. Sie ist schwer zu erfassen, da neben der Bereitstellung der erforderlichen Klimaanlage insbesondere die Trennung der gemessenen Verformungen in zwängungsfreie und spannungserzeugende Anteile Schwierigkeiten bereitet.

Eine zur Zeit in Diskussion befindliche „Richtlinie für die Nachrechnung von Gewölbebrücken“ [11] empfiehlt bei dem Nachweis von Langzeittemperaturwirkungen die Relaxation des Baustoffes in Form eines Spannungsabbaues in Höhe von 15 bis 25% bei Beton, beziehungsweise 15 bis 20% bei Sandsteinmauerwerk zu berücksichtigen. Die Bogenverformung kann nach entsprechenden Angaben für nichtlinearen Wärmedurchgang in Abhängigkeit

von Bogenstärke und Übermauerung nach der Elastizitätstheorie berechnet werden. Die Zeitfunktion der Außenflächentemperatur wird durch Überlagerung sinusförmiger Jahres- Wärme - Kälte - und Tagestemperaturwellen mit unterschiedlicher Periodendauer und Amplitude den meteorologischen Verhältnissen der DDR angepaßt werden [12].

Die Einbeziehung der Aufbauten in eine rechnerische Analyse der Temperaturspannungen an einem durch gekrümmte Stäbe mit entsprechender Systemachse und Biegesteifigkeit angenäherten Ersatzsystem führt nach der Elastizitätstheorie über die damit verbundene Vergrößerung der Trägheitsmomente der Brückenüberbauten zu Schwierigkeiten, indem noch ungünstigere Ergebnisse der Spannungsanalyse entstehen.

Im Sinne einer anzustrebenden Vervollkommnung unserer Berechnungsmethoden kann eine für die hier in Frage kommenden Massivbaustoffe näher auszubauende „Rißzonentheorie“ zur Klärung der in ihren Ursachen bekannten Widersprüche unserer Rechenergebnisse mit der Wirklichkeit beitragen [15]. Sie sollte davon ausgehen, daß für Langzeitwirkungen aus Temperatur-, Schwind- und Kriecheinflüssen in Verbindung mit den Spannungen aus ständiger Last ein nach einem programmierfähigen Stützlinienverfahren zu optimierendes Grundsystem unter Berücksichtigung der Baugrundnachgiebigkeit und Aufbautenmitwirkung entwickelt wird, dessen Systemachse und Steifigkeit für die Überbauten eine optimale Spannungsverteilung in den ungerissenen Querschnittsteilen ergibt. Dabei sind bei der Überlagerung ungünstiger Wirkungen zwei extreme Achslagen als Systemvarianten mit ihrem entsprechenden Steifigkeiten zu unterscheiden. Die Möglichkeit, mit Hilfe der modernen Rechentechnik durch Variation der Nachgiebigkeitsmatrix im Rechenprogramm eines eingespannten Bogens [13] in kürzester Zeit die hierfür erforderlichen Vergleichsuntersuchungen durchzuführen, bietet hierzu gute Voraussetzungen.

Die Abgrenzung der durch Mitwirkung der Aufbauten verstärkten System- und Querschnittsteile gegenüber den durch Rißbildung reduzierten Steifigkeitsverhältnissen ist schwierig, doch kann ein genaueres Studium der Riß- und Festigkeitskenngrößen alternder Massivbaustoffe im Sinne der einleitenden Bemerkungen hierzu wesentliche Hilfe leisten.

Die Spannungen aus den Kurzzeitwirkungen der Verkehrslast, die sich unter Berücksichtigung der vorerwähnten „Anpassungsfaktoren für die Aufbautenmitwirkung“ ergeben, werden zweckmäßig den aus Langzeitwirkungen hervorgegangenen Extremspannungen der beiden Systemvarianten in ungünstigster Kombination zu überlagern sein.

Da Ergebnisse zur Zeit noch nicht vorliegen, und die mit einem solchen Vorschlag verbundenen Aufwendungen für die Vielzahl praktischer Aufgabenschwer vertretbar sind, wurde in [11] die vereinfachte Nachrechnung vorhandener Steinbrücken bis 25 m Spannweite – für Betonbrücken bis 15 m Stütz-

weite — nach dem konservativen Stützlinienverfahren ohne Temperaturnachweis zugelassen. Diese Festlegungen entsprechen dem für die Traglast gemauert und unbewehrter Massivbrückengewölbe maßgebenden Grenzzustand, in dem durch Baugrundsetzungen Fugen und Haarrisse, die bei Temperaturänderungen eintretenden Formänderungen ohne zusätzliche Gefahr für das Bauwerk ermöglicht werden.

Zusammenfassung

Bei der statischen Berechnung von Gewölbebrücken bleibt im allgemeinen die Mitwirkung der Aufbauten unberücksichtigt. In Wirklichkeit besteht ein Zusammenwirken zwischen Aufbauten und Gewölbe, daher ist die Tragfähigkeit der Gesamtkonstruktion höher als der rechnerische Wert. Der Nachweis dieser erhöhten Tragfähigkeit ist besonders für vorhandene Brücken von Bedeutung, da die Fahrzeuggewichte ständig zunehmen. Zur Abschätzung der zusätzlichen Tragfähigkeit wurden von Verfasser an verschiedenen Bogenbrückmodellen Messungen durchgeführt und anhand der ausgewerteten Ergebnisse Vorschläge erarbeitet.

Literatur

- [1] JÄGER, A.: Untersuchung eines eingespannten Gewölbes und einer Gewölbereihe unter Berücksichtigung der Hintermauerung als mittragende Masse. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1938.
- [2] FISCHER, U.: Ausnutzung des Zusammenwirkens von Bogen und Aufbau. Int. Ver. für Brücken- und Hochbau 6 (1940/41), S. 71—88.
- [3] KLEINLOGEL, A.: Die entlastende Wirkung des Überbaues bei Bogenbrücken. Beton- und Stahlbetonbau 42 (1943), S. 20—21.
- [4] SELBERG, A.: Die Tragfähigkeit gemauerter Bogen. Int. Ver. für Brücken- und Hochbau, Abhandlungen 1953.
- [5] HERZOG, A. A.: Wechselbeziehungen zwischen Bogen und Bogenüberbauten von Brücken. Technisch-wissenschaftlicher Verlag des Min. f. Automobiltransport und Chausseestraßen der RSFSR Moskau 1962.
- [6] Modellverfahren für die Projektierung und Begutachtung von Verkehrsbauwerken, HfV „Friedrich List“, Institut für Ingenieurbau, Eigenverlag, Dresden 1966.
- [7] BIENERT, G., SAUER, R., SCHMIDT, G.: Beitrag zur Ermittlung von Tragreserven in massiven Gewölbebrücken — Modellstatische Ermittlung der durch Mitwirkung der Aufbauten reduzierten Verkehrslastspannungen, WZ der HfV Dresden, H.2. 1960/61, H.1. 1961/62.
- [8] TRIEBENECKER, A.: Forschungsbericht „Modellstatische Untersuchungen zur Erfassung der Mitwirkung von Aufbauten bei massiven Gewölbebrücken“ HfV „Friedrich List“, Institut für Ingenieurbau, Dezember 1965.
- [9] Forschungsbericht Nr. 265 der VES Anlagen der Deutschen Reichsbahn „Nachrechnen von Gewölbebrücken für Verkehrslasten“ Magdeburg 1966.
- [10] BAY, H.: Die Dreigelenkbogenscheibe, Berlin 1934, Wilhelm Ernst & Sohn.
- [11] Deutsche Reichsbahn HV-Bahnanlagen: Vorläufige Richtlinie für die Nachrechnung von Gewölbebrücken — Entwurf 1966.

- [12] PIETSCH, H.: Beitrag zur Nachrechnung massiver Gewölbebrücken. Deutsche Eisenbahntechnik 13 (1965), Heft 7.
- [13] ZAREMBA, J., RÖNTSCH, G.: Der Einsatz digitaler Rechenautomaten für statische Untersuchungen im Brückenbau. In Vorbereitung.
- [14] BIENERT, G.: Über die Beurteilung der Tragfähigkeit massiver Gewölbebrücken. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen Dresden 5 (1957), Heft 4.
- [15] PIETSCH, H.: Zur Einschätzung von Rißbildungen an bestehenden Gewölbebrücken. Deutsche Eisenbahntechnik 10 (1962), Heft 12.