

# Risikoanalyse über den Betriebszustand der Wettsteinbrücke in Basel

Autor(en): **Grob, Josef**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 47

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85848>

## **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.

Sicherheit und Risiko

# Risikoanalyse über den Betriebszustand der Wettsteinbrücke in Basel

**Das aus dem Jahre 1879 stammende schweisseiserne Bogentragwerk der Basler Wettsteinbrücke weist gravierende Schäden auf. Selbst unter den heute zugelassenen, reduzierten Verkehrslasten mit Gewichtsbeschränkungen für Strassenfahrzeuge ergeben sich lokal sehr hohe Beanspruchungswerte und Sicherheitsmargen unterhalb der verlangten Normwerte.**

**Deshalb, und weil Übertretungen der Gewichtsbeschränkungen vorkommen, wurde eine Risikoanalyse über den Betriebszustand der Wettsteinbrücke durchgeführt. Die Risikobeurteilung wurde aufgrund rechnerischer Sicherheitsmargen und Eintretenswahrscheinlichkeiten vorgenommen.**

---

## Aufgabenstellung

---

Im Auftrag des Tiefbauamtes Basel-Stadt führte die Arbeitsgemeinschaft der Ingenieurbüros Jean Gut, Künsnacht

VON JOSEF GROB,  
ZÜRICH

---

ZH, und A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel, eine Risikoanalyse über den Betriebszustand der Basler Wettsteinbrücke durch (Bild 1).

Ein Grossteil der dreifeldrigen Flussbrücke und der beiden Vorlandbrücken stammt aus dem Jahre 1879. In den Jahren 1936 bis 1939 wurde die ursprüngliche Bogenbrücke umgebaut und durch den Anbau von zwei getrennten seitlichen Balkenbrücken im Fluss- und von massiven Stahlbeton-Konstruktionen im Vorlandbereich verbreitert. Dabei wurde auch die ursprüngliche Zoresisen-Platte im Flussbereich durch eine massive Stahlbetonplatte ersetzt.

Bild 2 zeigt einen Querschnitt der heutigen Flussbrücke. Bemerkenswert ist, dass Strassenfahrzeuge und Tramzüge über den alten Brückenteil fahren, die neueren seitlichen Anbauten jedoch nur den Fussgänger- und Veloverkehr aufnehmen.

Während die Vorlandbrücken sowie die Pfeiler, Widerlager und seitlichen Balkenbrücken des Flussbereichs eine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen, genügen die Tragreserven der alten, schweisseisernen Bogenbrücke mit Ausnahme der Fahrbahnplatte den Normlasten bei weitem nicht mehr. Die hier vorgestellte Risikoanalyse beinhaltet aus diesem Grunde nur eine Unter-

suchung der 109 Jahre alten Schweisseisen-Konstruktion (Bild 3).

---

## Überbau der Bogenbrücke

---

### Tragwerk

Der Überbau der dreifeldrigen Bogenbrücke ist ein komplexes räumliches Tragwerk mit einer Fachwerk-Konstruktion aus Schweisseisen und einer im Verbund hergestellten Fahrbahnplatte aus Stahlbeton. Die Schweisseisen-Konstruktion besteht aus fünf Fachwerk-Bogenträgern (Bild 4), die ihrerseits durch Fachwerk-Querträger in Abständen von 3,20 m und durch die aufbetonierte Fahrbahnplatte relativ steif miteinander verbunden sind. Somit weist die Bogenbrücke ein gekoppeltes Tragverhalten der fünf Hauptträger auf.

### Schweisseisen-Konstruktion

Entsprechend dem damaligen Stand der Technik ist die Schweisseisen-Konstruktion genietet. Die aus kontinuierlich gekrümmten Untergurten, Pfosten, Streben und Obergurten bestehenden Fachwerkbögen sind aus Breitflachstahl und Winkeln zusammengesetzt, zweiteilig ausgebildet und durch Bindebleche oder Vergitterungen ausgesteift. Pfosten und Streben sind ohne Knotenbleche an den Bögen und Obergurten angenietet, wobei die Obergurtnoten sehr kurze Anschlusslängen aufweisen. Als Bogenlager sind Keil-Stemmlager aus Grauguss eingebaut. Die Bögen können, solange die Bogenresultierenden zwischen den Lagerkeilen liegen, als eingespannt betrachtet werden.

Bisherige Artikel dieser Reihe sind erschienen in «Schweizer Ingenieur und Architekt»

Heft 15/88, Seiten 415-428

Heft 18/88, Seiten 505-512

Heft 35/88, Seiten 963-965

Heft 39/88, Seiten 1069-1075

Aufgrund der vorgenommenen Untersuchungen an Ort und von Materialprüfungen kann der Zustand der Schweisseisen-Konstruktion wie folgt beschrieben werden:

Im Grundmaterial der Schweisseisen-Konstruktion konnten von Auge keinerlei Anrisse entdeckt werden. Sämtliche Querträger-Diagonalen, die ursprünglich nur an die Knotenbleche angenietet waren, wurden beim Umbau 1936/39 zusätzlich durch Kehlnähte mit den Knotenblechen verschweisst. Trotzdem konnten im Bereich dieser nichtmaterialgerechten Schweissnähte visuell keine Anrisse entdeckt werden. Die Nietverbindungen sind auch heute noch einwandfrei; alle 1984 ausgebauten Nieten  $\varnothing 25$  mm befanden sich in einem erstaunlich guten Zustand und waren nur leicht angerostet.

Verschiedene Bauteile haben durch Korrosion eine deutliche Schwächung erlitten, wie dies die Zustandsuntersuchung 1984 zeigte:

□ Die Gurtlamellen der Rand-Bögen sind vielerorts stark abgerostet, bei einem Lamellenstoss am Oberflansch ist sogar ein 16 cm langes Lamellenstück infolge Durchrostung abgebrochen (Bild 5).

□ Durch Zwischenrostbildung sind die Gurtlamellen der Rand-Bögen stark verformt (Bild 6). Die Rostaufreibungen erreichen dabei zwischen den Gurtlamellen und Winkeln Werte von maximal 33 mm (Bild 8).

□ Die Stegbleche der Rand-Bögen weisen wellenförmige Verformungen bis zu 15 mm auf.

□ An den äusseren Pfosten und Streben beim Anschluss an die Oberkante der Rand-Bögen haben sich maximal 4 bis 5 mm tiefe Rosteinkerbungen (Bild 7) gebildet. Von den ursprünglich 8 mm dicken Profilen verbleibt also örtlich eine minimale Wandstärke von nur 3 bis 4 mm.

Es fällt auf, dass die gravierenden Korrosionsschäden fast ausnahmslos auf die ober- und unterwasserseitigen

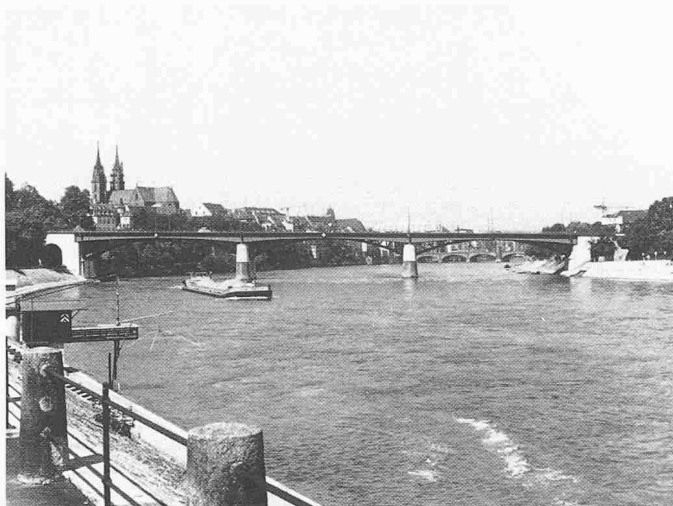


Bild 1. Ansicht der Wettsteinbrücke

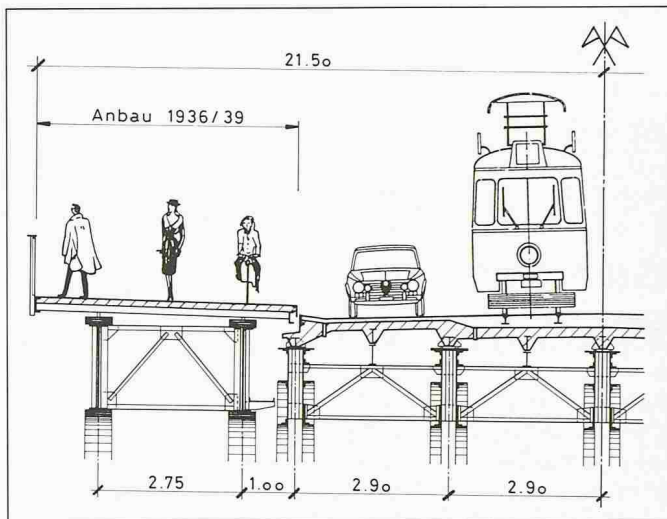


Bild 2. Brückenquerschnitt

Randträger der Schweisseisen-Konstruktion beschränkt sind (Bild 8). Diese Bauteile waren bis zum Jahre 1936, als die seitlichen Brückenteile für die heutigen Gehwege und Velostreifen angebaut wurden, voll der Witterung ausgesetzt.

Die im Jahre 1984 durchgeführte Untersuchung hat im Vergleich zur Kontrolle des Jahres 1975 eine fortschreitende Verschlechterung des Bauzustandes der Schweisseisen-Konstruktion als Folge von verschiedenartigen Korrosionserscheinungen ergeben. Nebst anderen Faktoren hat auch das durch die undicht gewordene Fahrbahn dringen-

de Wasser zu dieser Entwicklung beigetragen. Die kritischen Stellen der Schweisseisen-Konstruktion wurden aus diesem Grunde im Rahmen der konservierenden Sofortmassnahmen 1985 gereinigt und mit einem neuen Korrosionsschutz versehen. Seitdem konnten an der Schweisseisen-Konstruktion infolge Korrosion keine weiteren bedrohlichen Schadenentwicklungen mehr festgestellt werden.

**Schubverbindungen**

Die Schubverbindungen sind über paarig angeordnete Stahlklötze mit Kehlnähten auf den Obergurten ange-

scheisst (Bild 9). Sie sind unzureichend konstruiert und könnten die Schubkräfte bei voller Verbundwirkung nicht aufnehmen. Durch Schwinden des Betons und durch Temperatureinwirkungen sowie durch die verminderte Bewegungsmöglichkeit der Fahrbahnlager, infolge Verschmutzung und Rostbildung, entstanden durchgehende Querrisse in der Fahrbahnplatte. Diese verminderten die Verbundwirkung und damit auch die Beanspruchung der Schubverbindungen in starkem Ausmass.

An diesen Schubverbindungen treten seit wenigen Jahren und in beschleunig-



Bild 3. Schweisseisen-Konstruktion

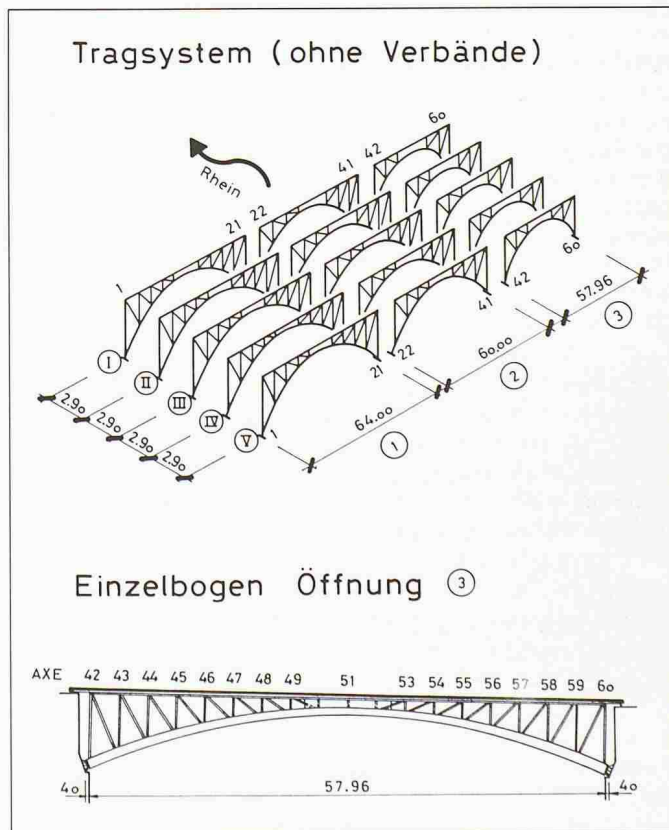


Bild 4. Schema des Bogentragwerks

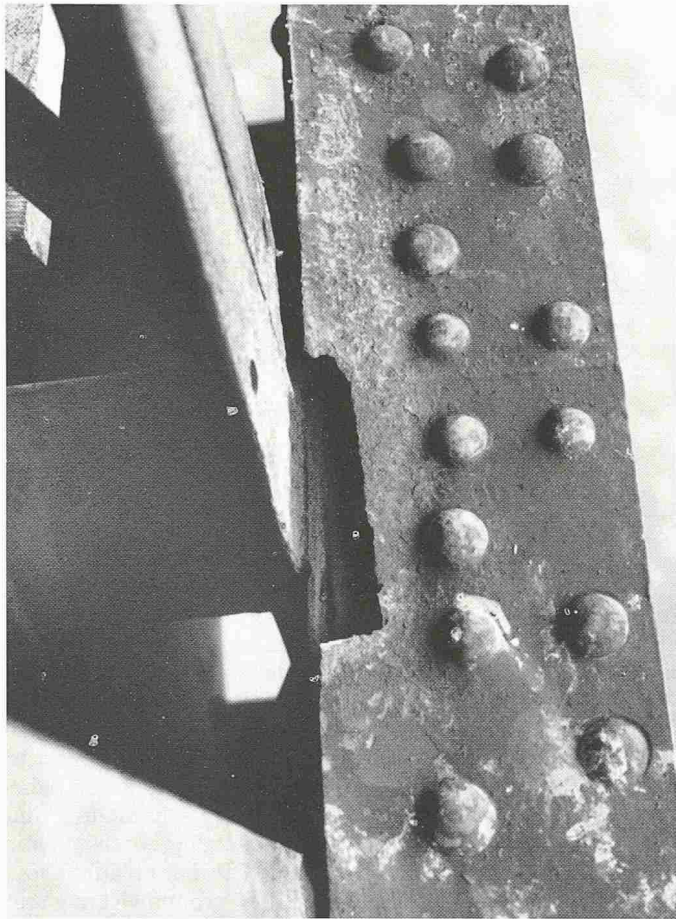


Bild 5. Abgebrochenes Lamellenstück

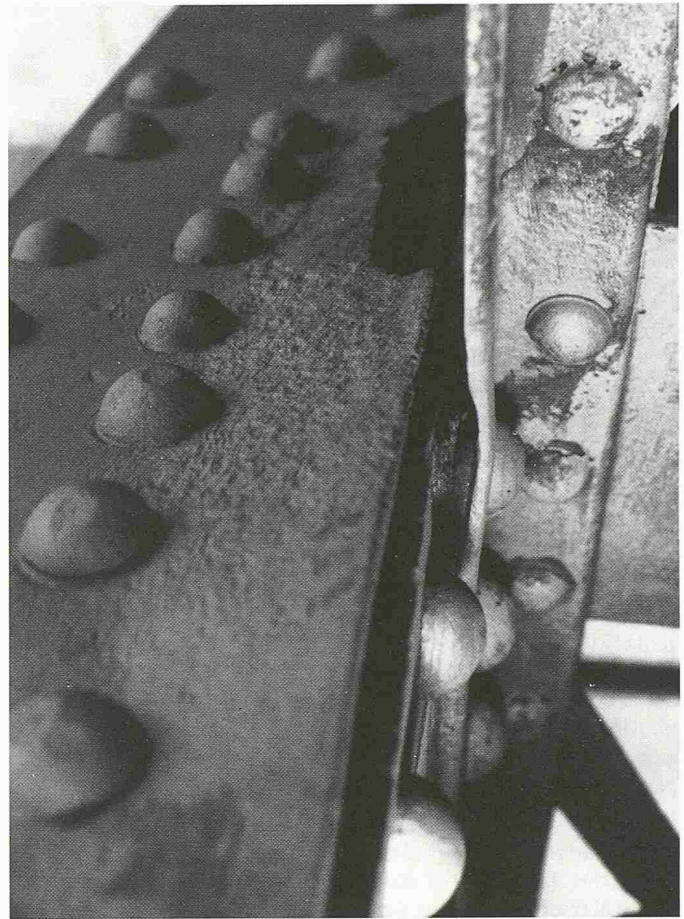


Bild 7. Rosteinkerbung an einem Pfosten

tem Masse Schweissnaht-Risse auf. Die Ursache für diese Risse liegt nicht in der Schubübertragung, sondern in Zwangsbeanspruchungen, die durch das unterschiedliche Verformungsverhalten von Fahrbahnplatte und Schweisseisen-Konstruktion bedingt sind. Die massgebenden Zwängungen werden durch Temperaturunterschiede sowie durch lokale Plattendeformationen verursacht, welche infolge der fortgeschrittenen Schadenentwicklung (lo-

kal verminderte Steifigkeit der Fahrbahnplatte in Querrichtung) zugenommen haben.

Sobald eine Schubverbindung infolge Reissen der Schweissnähte ausgefallen ist, werden die benachbarten Schubverbindungen stärker beansprucht, was zu einem beschleunigten Aufreissen der Schweissnähte an diesen Schubverbindungen führt (Bild 9).

### Berechnungsgrundlagen

#### Statisches System

Das Tragsystem der alten Bogenbrücke ist in Bild 4 schematisch dargestellt. Eine ausführliche Berechnung dieses räumlichen Tragsystems wurde in den Jahren 1980/81 mittels des Computer-Programmes NASTRAN durchgeführt. Bei der Nachrechnung konnte auf diese

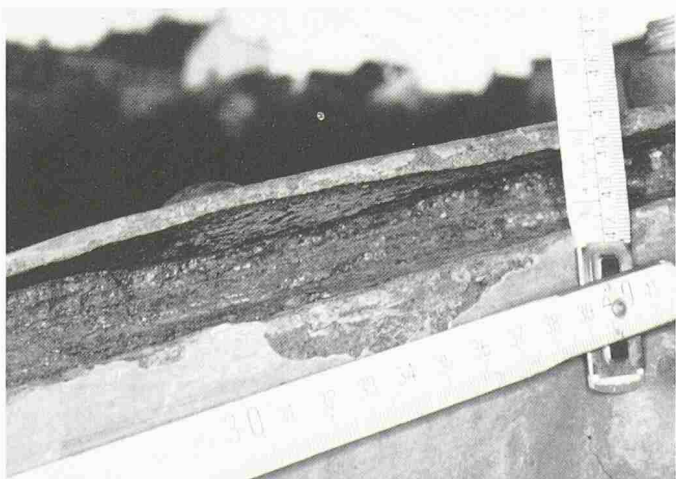


Bild 6. Rostauftriebung einer Gurtlamelle

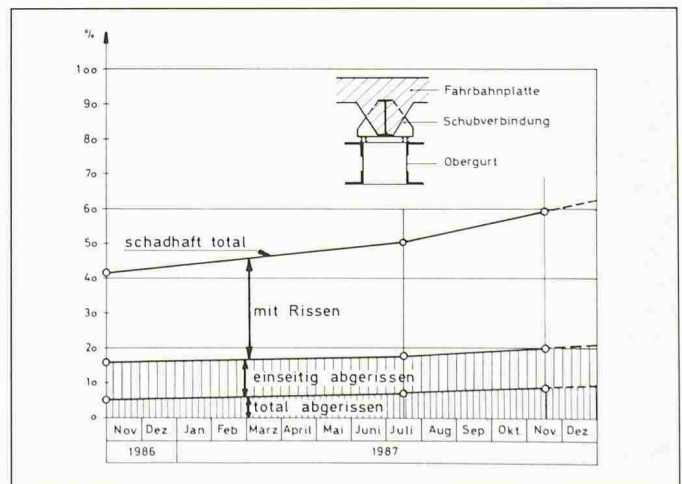


Bild 9. Entwicklung der Schweissnaht-Risse an den Schubverbindungen

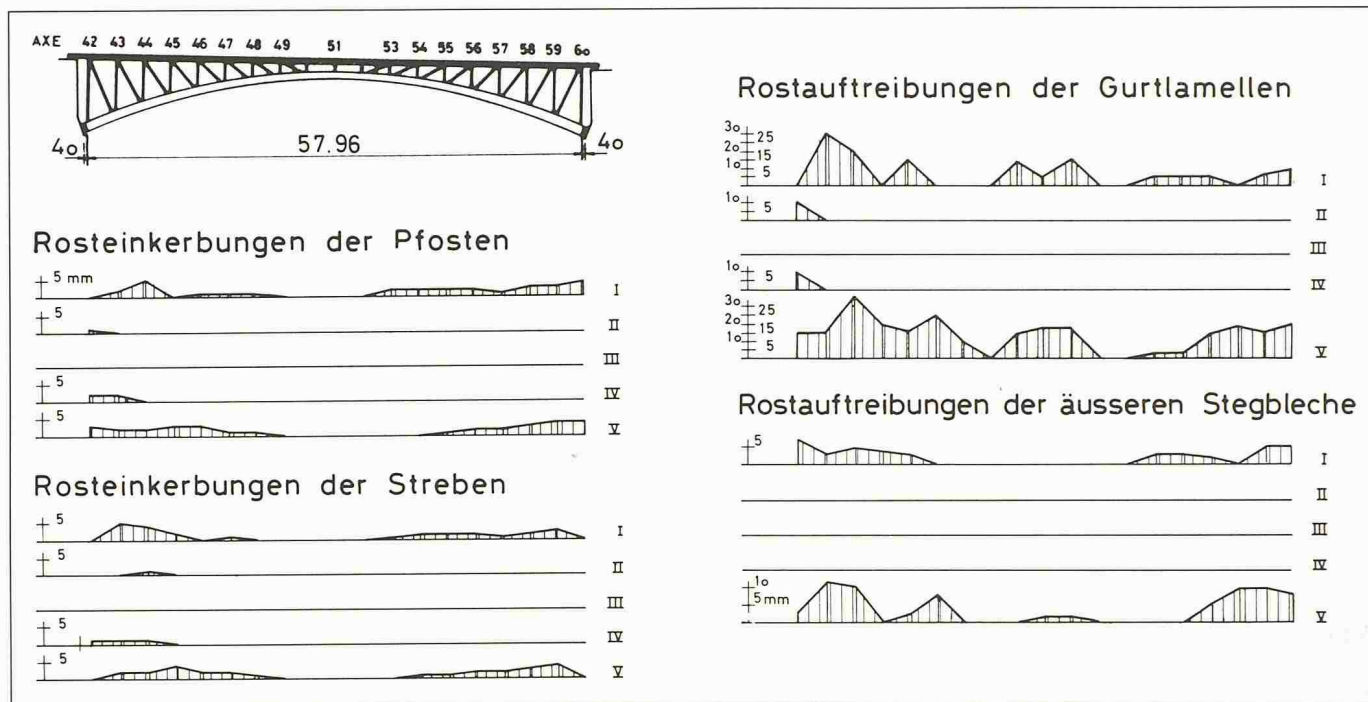


Bild 8. Rostschäden am 3. Brückenfeld

Berechnung zurückgegriffen werden, die auf folgenden grundlegenden Annahmen beruht:

- Räumliches Fachwerk mit fünf auf Zweipunktlagern abgestützten Bogenträgern und Fachwerk-Querträgern im Abstand von 3,20 m
- Biegesteife Knotenverbindungen
- Zusammenwirken Stahlkonstruktion/Fahrbahnplatte: Kein Verbund für Eigengewicht und ständige Lasten; für Verkehrslasten jeweils der ungünstigere Fall aus 0%-igem bzw. 50%-igem Verbund (100%-iger Verbund bedeutet elastische Schubverbindungen und ungerissene Fahrbahnplatte)
- Fahrbahnplatte als biegeeweiche Scheibe
- Linear elastisches Materialverhalten

Die Schnittkräfte in der Schweisseisen-Konstruktion und in der Stahlbeton-Fahrbahnplatte sind in bestimmtem Umfang von der Verbundwirkung zwischen der Stahlkonstruktion und der Fahrbahnplatte abhängig. Im heutigen Zustand der Fahrbahnplatte mit den vielen Querrissen ist diese Verbundwirkung stark reduziert. Die Verbundwirkung der Fahrbahnplatte liegt aufgrund der Kräfte in den Schubverbindungen irgendwo zwischen 0% und 50%. Für die Nachrechnung wurden deshalb die jeweils ungünstigeren Beanspruchungswerte für 0%-igen bzw. 50%-igen Verbund verwendet.

Es wurde angenommen, dass die Rostschäden zu lokaler Schwächung der Stahlquerschnitte führen, die Steifig-

keitsverhältnisse im Brückentragwerk jedoch nicht wesentlich beeinflussen. Somit konnten die Schnittkräfte von der früheren räumlichen NASTRAN-Berechnung übernommen werden.

**Bauteile**

Die Überprüfung der Tragfähigkeit der Fachwerkstäbe erfolgt näherungsweise durch einen Vergleich der rechnerisch vorhandenen Stahlspannungen mit dem Rechenwert der Streckgrenze, Grenz- oder Knickspannung. Die Pfosten, Streben und Obergurte der Bogenträger sowie die Querträger werden ohne Berücksichtigung der sekundären Biegemomente überprüft, für die biegesteiferen Untergurte hingegen werden die Biegemomente berücksichtigt.

Die Obergurtnoten sind ohne Knotenbleche ausgeführt, Pfosten und Streben sind exzentrisch am Stegblech des Obergurtes angenietet. Im Kraffteinleitungsbereich des Stegbleches wird das lokal vorhandene Schubfeld durch Vergleich mit jener Grenzspannung überprüft, die sich aus der Fließbedingung nach v. Mises ergibt.

Während die gemessenen Rostkerben an den Streben und Pfosten eine direkte Bestimmung der entsprechenden, effektiv wirksamen Stahlquerschnitte ermöglichen, konnte die Wirkung der Rostschäden an den Untergurten nur über umfangreiche Berechnungen erfasst werden. Die Verformung der Gurt- und Stegbleche der Untergurte wurde rechnerisch mit Verformungsansätzen erfasst, die mit den Konstruk-

tionsdetails geometrisch verträglich sind und mit den gemessenen Rost-Abträgen und Rost-Auftriebungen übereinstimmen. Die Mitwirkung der verformten und teilweise abgerosteten Bleche am Tragwiderstand wurde mittels dieser Verformungsansätze aus der Fließfigur für exzentrisch beanspruchte Rechteckquerschnitte abgeleitet.

**Materialkennwerte**

Die Festigkeitswerte des Schweisseisens sind, abgesehen von den bekannten anisotropen Eigenschaften, mit dem heutigen Baustahl Fe 360 vergleichbar. In Walzrichtung können aufgrund der Untersuchungen [1] folgende rechnerische Streck- bzw. Fließgrenzen angenommen werden:

- Streckgrenze für Querträger:  $\sigma_{0,2} = 210 \text{ N/mm}^2$
- Streckgrenze für übrige Bauteile:  $\sigma_{0,2} = 220 \text{ N/mm}^2$

In Anlehnung an die Versuche [2] und [3] wurde für eine Abschätzung der Ermüdungswirkung infolge Verkehrslasten folgender Vergleichswert der Ermüdungsfestigkeit für die genietete Schweisseisen-Konstruktion der Wettsteinbrücke angenommen:

- Ermüdungsfestigkeit:  $\Delta\sigma_R = 60 \text{ N/mm}^2$
- Eine Ausnahme bilden die stark gekerbten Pfosten und Streben der Randträger. Für ihre Überprüfung wurde der Vergleichswert der rechnerischen Ermüdungsfestigkeit vorsichtigerweise reduziert auf:
- Ermüdungsfestigkeit:  $\Delta\sigma_R = 50 \text{ N/mm}^2$

Bauteil	Sicherheitsmargen $\gamma^*$	Ort	Versagensart
Bogen	1,62	I / V, 42 - 43	Plastifizierung der Gurtungen durch Druck und Biegung
	1,74	II / IV, 42 - 43	
	1,75	III, 42 - 43	
Pfosten	2,43	I / V, 43	Plastifizierung des Kerbbereichs Knicken
	2,39	II / IV, 43	
	2,39	III, 43	
Streben	2,65	I / V, 45 - 46	Plastifizierung des Kerbbereichs Ermüdung des Kerbbereichs (Zug)
	4,66	I / V, 45 - 46	
	3,07	II / IV, 44 - 45	
	3,07	III, 43 - 44	
Obergurt - knoten	1,56	I / V, 46	Lokale Plastifizierung des Obergurt - Stegbleches
	1,47	II / IV, 46	
	1,52	III, 46	

Gefährdungsbild	Sicherheitsmargen		Obergurt - Knoten	Eintretenswahrscheinlichkeit
	$\gamma^*$	$\gamma_{QS}^*$		
A	2,06	9,40	II / IV, 46	mehrmals täglich
B	1,53	7,50	III, 46	alle 4 Monate
C	1,46	1,49	II / IV, 46	alle 2 Jahre
			I / V, 46	
D	1,32	1,15	II / IV, 46	alle 100 Jahre
			I / V, 46	

Bild 11. Minimale Sicherheitsmargen als Gesamt- und Teilfaktoren. \* Ohne Zwängungen aus Temperaturänderungen

Bild 10. Sicherheitsmargen als Gesamtfaktoren für Gefährdungsbild A. \* Mit Zwängungen aus Temperaturänderungen.

**Annahmen für Lasten und Zwängungen**

*Eigengewicht und ständige Lasten:*

- Stahlkonstruktion: Gewicht für theoretische Abmessungen nach Plan. Keine Zuschläge für Verbindungsmittel, Knotenbleche, Vergitterungen usw.
- Fahrbahnplatte, Geleisebett: Gewicht für theoretische Abmessungen nach Plan.
- Isolation, Strassenbelag: Gewicht für Abmessungen nach Plan und Zuschlag von 2 cm Belagsstärke zur Berücksichtigung von Ausführungsungenauigkeiten.

Reduzierte Verkehrslasten (entsprechend dem heute zugelassenen Betriebszustand):

- Strassenfahrzeuge mit 3,5 t Maximalgewicht: Gleichmässig verteilte Last von 0,135 t/m<sup>2</sup> pro 3,00 m-Fahrspur (gemäss Unterlagen von Prof. Dr. M. Hirt, EPFL).
- Tramzüge: Kreuzungs- und Folgeverbot für sämtliche Tramzüge. Schwerster vorkommender Tramzug (Gesamtgewicht 76 Tonnen): Linienlast von 1,90 t/m auf 40 m Länge.

Sonder-Verkehrslasten (unerlaubte, aber möglicherweise vorkommende Strassenfahrzeuge):

- Einzelnes Schwerfahrzeug: Fahrzeug mit 28 bzw. 38 t Gesamtgewicht: Zwei Lastpaare von je 14 bzw. 19 t im Abstand von 1,30 m (Annahme auf sicherer Seite).

*Zwängungen aus Temperaturänderungen:*

- Temperaturunterschied Beton/Stahl von  $\pm 10^\circ\text{C}$
- Gleichmässige Temperaturänderungen von  $\pm 20^\circ\text{C}$  (Diese Zwängungen sind im wesentlichen gleichbedeutend mit Widerlager- bzw. Pfeilerverschiebungen).

**Gefährdungsbilder**

Den Tragfähigkeitsnachweisen sind folgende Gefährdungsbilder A bis D für die heute zugelassenen, reduzierten Verkehrslasten sowie für nicht erlaubte, aber nicht völlig auszuschliessende Lastfälle zugrunde gelegt:

A: Grundlast: Eigengewicht und ständige Lasten sowie reduzierte Verkehrslasten, d. h. ein schwerer Tramzug und Strassenfahrzeuge von max. 3,5 t Gesamtgewicht auf beiden Fahrspuren.

Zwängungen aus Temperaturänderungen je nach Fall.

B: Grundlast und zusätzlich ein trotz Verbot kreuzender schwerer Tramzug auf der Brücke.

C: Grundlast und zusätzlich ein unerlaubtes Strassenfahrzeug von 28 t Gesamtgewicht.

D: Grundlast und zusätzlich ein unerlaubtes EG-Strassenfahrzeug von 38 t Gesamtgewicht.

Bei den Gefährdungsbildern B bis D werden die Zwängungen infolge Temperaturänderungen nicht berücksichtigt. Ebenso spielt die Ermüdung für diese Fälle keine Rolle, weil sie nur sehr selten auftreten.

Die Risikobeurteilung der Gefährdungsbilder erfordert ausser der Kenntnis der Tragsicherheitsreserven auch eine Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeiten, welche auf folgenden Annahmen beruhen:

Täglich eine Nichtbeachtung (Verlassen) des Tram-Kreuzungsverbotes auf der Wettsteinbrücke.

Ein Strassenfahrzeug von 28 Tonnen pro Woche auf der Wettsteinbrücke trotz Gewichtsbeschränkung.

Ein EG-Strassenfahrzeug von 38 Tonnen alle drei Monate auf der Wettsteinbrücke trotz Gewichtsbeschränkung. Bei der Überlagerung mit der Grundlast, Fall D, wird vorausgesetzt, dass jeder vierte Tramzug ein schwerer, die anderen leichte Tramzüge sind.

**Hauptergebnisse**

**Schweisseisen-Konstruktion**

Die Sicherheitsmargen, die sich aus dem Vergleich der rechnerischen Stahlspannungen mit den Rechenwerten der Streckgrenze, Grenz- oder Fließspannung ergeben, wurden für alle Bauteile vorerst als Gesamtfaktoren ermittelt. Dabei wurde die durch Rostabtrag und Rostaufreibung erfolgte Schwächung der Stahlquerschnitte berücksichtigt. Bild 10 gibt einen Auszug der wichtigsten Ergebnisse für das Gefährdungsbild A mit den heute zugelassenen, reduzierten Verkehrslasten.

Für die massgebenden Bauteile berechnete man die Sicherheitsmargen zusätzlich als Teilfaktoren, um aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten. Dabei wurde folgender Vergleich der Stahlspannungen durchgeführt:

$$\sigma_G \cdot \gamma_G + \sigma_{QT} \cdot \gamma_{QT} + \sigma_{QS} \cdot \gamma_{QS} = \sigma_R / \gamma_R$$

$\sigma_G$  = Spannung infolge Eigengewicht und ständigen Lasten  
 $\sigma_{QT}$  = Spannung infolge Tramlasten  
 $\sigma_{QS}$  = Spannung infolge Strassenlasten  
 $\sigma_R$  = Rechenwert der Streckgrenze, Grenz- oder Knickspannung  
 $\gamma_G$  = Lastfaktor für Eigengewicht = 1,20 (Annahme)  
 $\gamma_{QT}$  = Lastfaktor für Tramlasten = 1,00 (Annahme)

$\gamma_{QS}$  = grösstmöglicher Lastfaktor für Strassenlasten; wird rechnerisch aus obiger Gleichung ermittelt  
 $\gamma_R$  = Materialfaktor = 1,15 (Annahme)

Die Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit erfolgte mit den im Abschnitt «Gefährdungsbilder» getroffenen Annahmen.

Bild 11 zeigt die Hauptergebnisse für das Gefährdungsbild A mit den heute zugelassenen, reduzierten Verkehrslasten sowie für die Gefährdungsbilder B bis D mit nicht erlaubten, aber nicht völlig auszuschliessenden Sonderlasten. Interessant ist, dass die Obergurtknoten bei allen Gefährdungsbildern die geringsten Sicherheitsmargen aufweisen.

### Schubverbindungen

Die Schubverbindungen wurden nicht nachgerechnet. Ihr Totalausfall führt zu Kräfteumlagerungen, welche die Schweisseisen-Konstruktion ohne weiteres verkraften kann. Dagegen werden durch das sukzessive Abreissen der Schubverbindungen die von Fahrzeugen stammenden Schläge auf die Schweisseisen-Konstruktion verstärkt. Dies ergibt eine Vergrösserung der Sprödbrechgefahr in unbekanntem Ausmass.

### Risiko-Bewertung

Die Überwachung des Brückentragwerks lässt eine von Jahr zu Jahr beschleunigte Schadenentwicklung, insbesondere an der Fahrbahnplatte und den Schubverbindungen, erkennen. Deshalb geht die Risiko-Bewertung von der Annahme aus, dass das alte Bogen-tragwerk der Wettsteinbrücke bis um das Jahr 1990 ersetzt sein wird. Eine Weiterbenützung der Brücke über diesen Zeitpunkt hinaus würde zusätzliche

#### Literatur

- [1] EMPA-Untersuchungsbericht Nr. 50 568 vom 19. November 1984 betreffend Schweisseisen-Konstruktion, EMPA Dübendorf ZH
- [2] ICOM (EPFL-) Untersuchungsbericht «Ermüdungsversuche an genieteten Blechträgern der Zürich Quai-brücke» vom Dezember 1984, EPF Lausanne
- [3] ICOM (EPFL-) Untersuchungsbericht «Essais de fatigue sur des poutres a treillis double en fer puddle» vom März 1986, EPF Lausanne

### GLOSSAR

<i>Sicherheit</i>	Gewissheit, vor Gefahr(en) geschützt zu sein («Leib und Leben», aber auch hinsichtlich materieller Güter)
<i>Risiko</i> (im allgemeinen Sinn)	Möglichkeit, einen Schaden zu erleiden; Gefahr
<i>Risiko</i> (im engeren Sinn)	Mass für die Grösse einer Gefahr; Funktion von Wahrscheinlichkeit eines schädigenden Ereignisses und Schadenausmass
<i>Akzeptierbares Risiko</i> (Akzeptables Risiko)	Risikowert, der im normativen Sinn für zumutbar erklärt wird (z. B. im Rahmen eines gesellschaftspolitischen Meinungsbildungsprozesses)
<i>Akzeptiertes Risiko</i> «Objektives» Risiko	Risiko, das unwidersprochen hingenommen wird aufgrund eines Tatbestandes mit wissenschaftlichen Methoden feststellbares Risiko
«Subjektives» Risiko	Subjektive Einschätzung der Grösse eines Risikos oder einer Gefahr
<i>Individuelles Risiko</i>	Wahrscheinlichkeit, dass ein Individuum einen bestimmten Schaden erleidet
<i>Kollektives Risiko</i>	Risiko, bzw. Schadenerwartung eines Kollektivs
<i>Freiwilliges Risiko</i>	Risiko, welches freiwillig eingegangen wird (z. B. Klettern)
<i>Aufgezwungenes Risiko</i> (unfreiwilliges Risiko)	Risiko, welchem ein Individuum oder ein Kollektiv ohne eigene Einflussnahme ausgesetzt wird
<i>Restrisiko</i>	Nach Berücksichtigung aller getroffenen Sicherheitsmassnahmen verbleibendes Risiko
<i>Risiko-Aversion</i>	Subjektive Abneigung gegenüber einem Schadenereignis von Katastrophencharakter
<i>Risiko-Analyse</i>	Ermittlung oder Abschätzung eines Risikos mit wissenschaftlichen Methoden, insbesondere der Wahrscheinlichkeit eines schädigenden Ereignisses und des Schadenausmasses
<i>Risiko-Bewertung</i>	Wertung eines Risikos bzw. einer Gefahrensituation aufgrund gesellschaftspolitischer Gesichtspunkte (z. B. im Hinblick auf die Festlegung akzeptierbarer Grenzen)
<i>Schadenpotential</i>	Maximal denkbare Schadenausmass (Red.)

Überlegungen und möglicherweise weitere Kostenaufwendungen und sogar Lastbeschränkungen oder ein Fahrverbot für Tramzüge erfordern. Die bisher angeordneten Massnahmen sind notwendig und auch ausreichend, um die Funktionstüchtigkeit der Wettsteinbrücke bis um das Jahr 1990 sicherzustellen.

Für Lastwagen bis 28 Tonnen kann die Übertretung der Gewichtsbeschränkung mit der bisher festgestellten geringen Häufigkeit noch toleriert werden. Die Überfahrt eines EG-Fahrzeugs mit über 28 bis 38 Tonnen Gesamtgewicht ist in Kombination mit den erlaubten Verkehrslasten jedoch kritisch. Bei Auftreten dieses Gefährdungsbildes D sind lokale Schäden an den Obergurtknoten nicht mehr auszuschliessen. Die minimale Teil-Sicherheitsmarge für die Strassenlasten beträgt in diesem Falle gemäss Bild 11 nur noch 1,15. Wegen der möglichen Kräfteumlagerungen muss bei Auftreten eines derartigen lokalen Schadens noch kein Totaleinsturz der Brücke befürchtet werden. Dagegen könnte örtlich die Fahrbahn einbrechen sowie einzelne Stäbe und eventuell ein einzelner Bogenträger der Schweisseisen-Konstruktion in einem

Masse verformt werden, so dass die betroffene Fahrspur ohne vorgängige Reparatur nicht mehr gebrauchstauglich wäre.

Die Eintretenswahrscheinlichkeit, dass trotz Lastbeschränkung ein EG-Fahrzeug mit 38 Tonnen gleichzeitig mit einem Tram die Brücke befährt, ist jedoch sehr gering (etwa einmal in 100 Jahren). Dabei ist zu beachten, dass dieses Gefährdungsbild D nur eintritt, wenn ein vollbeladenes EG-Fahrzeug in gleicher Richtung und neben einem vollbeladenen Tramzug die Brücke befährt, was allein schon wegen der knappen Platzverhältnisse (schmale Fahrbahn neben dem Tramtrasse) eher unwahrscheinlich ist.

Das geringe Restrisiko für diesen kritischen Sonderfall mit einem EG-Strassenfahrzeug von 38 Tonnen scheint angesichts der Feststellung, dass ein Totaleinsturz nicht befürchtet werden muss, und angesichts der sehr geringen Eintretenswahrscheinlichkeit für die Bauherrschaft als durchaus tragbar (akzeptiertes Risiko).

Adresse des Verfassers: Dr. J. Grob, dipl. Bauing. ETH/SIA, Emch + Berger Zürich AG, Forchstrasse 59, 8032 Zürich.