

# Sprengung der alten Rotbachbrücke

Autor(en): **Meili, Paul / Ammann, Walter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **105 (1987)**

Heft 25

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76642>

## **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.

tung und Durchsetzung auf Fachleute verschiedenster Disziplinen angewiesen ist.

Stellvertretend sind nachfolgend die Reaktionen des IVT, das sich seit 1985 unter dem Namen Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau auch mit dem Verkehrswegebau befasst, auf die geänderte Aufgabenstellung am Beispiel der Eisenbahn kurz umrissen.

#### Lehre:

Förderung insbesondere zweier Entwicklungslinien, nämlich

- Integration der Eisenbahn in den Gesamtverkehr und das Gesamtsystem «öffentlicher Verkehr» mit allen interdisziplinären Ausstrahlungen z. B. Richtung Umwelt und Besiedlung
- Vertiefung des Fachwissens mit Schwerpunkten bei den EDV-gestützten Optimierungsverfahren in Planung, Projektierung, Betriebsführung und Unterhalt.

#### Forschung:

Allgemein geht es heute um die Lückenschliessung zwischen einerseits der technischen Forschung der grossen (Staats-)Bahnen und deren gemeinsamen Institutionen (ORE) und andererseits der kommerziell orientierten Forschung/Entwicklung der Industrie.

Im einzelnen bestehen gegenwärtig folgende Forschungsschwerpunkte:

- Institutionalisierte, quantifizierte Dialog Entscheidungssträger - Leistungsersteller
- Gesamteffizienz sicherheitsrelevanter Massnahmen

- Optimierungsverfahren für Planung und Betriebsauslegung (z. B. Betriebssimulationsmodelle für eigen-trassierte und Strassenbahnen)
- Verkehrsmittel- und unternehmensübergreifende Optimierung regionaler Angebote des öffentlichen Verkehrs unter Einbezug flexibler Betriebsformen
- Betriebsleittechnik
- Wesensgerechte Behandlung strassenverkehrsabhängiger öffentlicher Verkehrsmittel in der Verkehrsregelung
- Oberbauoptimierung von Meterspurbahnen.

#### Beratung:

Als allgemeines Ziel gilt eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Praxis zwecks Abbau der Kluft einerseits zwischen Erkenntnisstand und Praxis (zum Nutzen der Praxis); andererseits zwischen Sinnvollem und Machbarem (zum Nutzen der Hochschule). In diesem Sinne laufen praktisch alle Forschungsarbeiten mit Beratungstätigkeiten parallel; teilweise in Zusammenarbeit mit privaten Ingenieurbüros.

#### Ausblick

Die Problemschwerpunkte werden sich auch in Zukunft ändern. Demzufolge muss die Hochschule in Lehre und Forschung flexibel bleiben. Eine der vordergründigsten Aufgaben wird darin bestehen, die grossen Möglichkeiten und Chancen des öffentlichen Verkehrs hinsichtlich Umwelt und Ressourcen auszuschöpfen - aber auch dessen

Grenzen und Nachteile klar aufzuzeigen und auf den konkreten Anwendungsfall zu beziehen. Selbst in Zukunft wird gelten - unter Ausklammerung des Fernverkehrs -, dass der öffentliche (Linien-)Verkehr hinsichtlich Reisezeit stets schlechter sein wird als der unbehinderte, motorisierte Individualverkehr.

Weiter ist anzustreben:

- Die vertiefte Zusammenarbeit auf internationaler Ebene;
- die gegenseitige Annäherung festgefahrener Angebotsformen einschliesslich zugehöriger technischer und finanzieller Normen (z. B. heavy rail - light rail);
- der vermehrte Einbezug von Optimierungsverfahren unter Einbezug standardisierter Datenerfassungs- und Datenhaltungskonzepte;
- die Reintegration der ETH auch in elektro- und maschinentechnische Fragen der Eisenbahn.

Das Verkehrssystem Eisenbahn hat eine Zukunft; die ETH kann und will dazu Beiträge leisten.

Adresse des Verfassers: Prof. Heinrich Brändli, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT), ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich.

#### Literatur

- [1] Grob H., Autotunnel: Selbstfahren oder rollende Strasse? SBZ 85, (1967), H. 17, S. 297-303.
- [2] Planungsstudie für ein neues schweizerisches Nord-Süd-Transportsystem. Eidgenössisches Amt für Verkehr, Bern 1972.

## Sprengung der alten Rotbachbrücke

Von Paul Meili und Walter Ammann, Zürich

Der Versuch «Rotbachbrücke» zeigt, dass es bei Sprengabbrüchen möglich ist, die kinetische Energie des einstürzenden Bauwerkes ins Sprengkonzept einzubeziehen. Dadurch erreicht man eine Reduktion der Sprengschnitte und damit einen kostengünstigen Abbruch.

#### Einleitung

Ein sprengtechnischer Abbruch von grösseren Bauwerken des Hoch- und Tiefbaus wird vor allem dann in Erwägung gezogen, wenn die Umgebung dies ohne Gefährdung zulässt oder keine Alternative neben dem Sprengen besteht.

Bei diesen vorwiegend auf statischen Überlegungen beruhenden Konzepten zur Sprengung von Hochbauten und von Brücken wird an statisch kritischen Stellen eine Anzahl von Sprengschnitten vorgesehen. In Analogie zur Plastizitätstheorie im Spannbetonbau wird eine Reihe von Gelenken produziert bis insgesamt ein für das Tragwerk instabiler Zustand erreicht ist, d. h. sein

Einsturz erfolgt. Durch die Anordnung zahlreicher Schnitte verfolgt man zudem die Absicht, eine für die weitere Bearbeitung geeignete Trümmergrösse zu erzielen.

Das Kostenbewusstsein des Bauherrn führt dazu, dass nicht nur für den ursprünglichen Bauvorgang, sondern auch für den allfälligen Abbruch möglichst kostengünstige Offerten gefragt sind. Beim Abbruch erfordert die Anordnung vieler Schnitte bei der üblichen Verwendung von Sprengladungen in Bohrlöchern eine kostenintensive Bohrarbeit. Hinzu kommt häufig, dass aus Sicherheitsgründen für die Belegschaft, die die Bohr- und Ladearbeiten ausführt, arbeitsintensive Gerüstbauten erstellt werden müssen.

Aus diesen Gründen liegt es nahe, nach einem möglichst wirtschaftlichen Sprengkonzept zu suchen. Dieses Konzept beruht vorwiegend auf dynamischen Überlegungen und kommt mit einem Minimum an Sprengschnitten aus. Die kinetische Energie der einstürzenden Bauwerksteile wird dabei bewusst als Ersatz für wegfallende Sprengschnitte in das Abbruchkonzept einbezogen. Die beim Aufprall der einzelnen Bauwerksteile auf den Untergrund entstehenden Kräfte führen zu einer zusätzlichen Zerstörung des Bauwerkes. Die kinetische Energie eines einstürzenden Bauwerkes zum Zeitpunkt des Aufpralles auf den Untergrund ist identisch mit der ursprünglich vorhandenen potentiellen Energie bezogen auf die momentane Lage. Beim Aufprall wandelt sich diese kinetische Energie in andere Energieformen um, vorwiegend in elastische und plastische Verformungsenergie des Bauwerkes bzw. seiner Einzelteile, aber auch in Energie in Form von örtlichen Verformungen des Untergrundes an der Aufprallstelle und von da sich ausbreitenden Erschütterungen im Untergrund. Die plastische Verformungsenergie des Bauwerkes bzw. seiner Einzelteile beansprucht den Hauptanteil an der ursprünglichen kinetischen Energie und bewirkt Verformungen einzelner Bauwerksteile bis zum örtlichen Versagen von Beton und Bewehrung.

Die Grundlagen zum vorliegenden Konzept stammen aus zahlreichen theoretischen und experimentellen Untersuchungen. Sie wurden am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich (IBK) durchgeführt (vgl. hierzu [1], [2], [3]). Die umfangreichen Versuche zum sprengtechnischen Verhalten von Stahlbeton führte das Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau der ETH Zürich (ISETH) durch (vgl. hierzu [4], [5]). Versuche zum dynamischen Verhalten von Bauwerken bzw. seiner Einzelteile und die sprengtechnischen Belange konnten aus Kostengründen nur an Kleinobjekten durchgeführt werden. Infolge der Unverträglichkeit einzelner Massstabfaktoren durfte nicht ohne weiteres von diesen Versuchen auf die Originalgrösse geschlossen werden. Das Bedürfnis nach Versuchen im Massstab 1:1 war deshalb stets gross. Der Abbruch der alten Rotbachbrücke bot die seltene Gelegenheit, einen derartigen Versuch durchzuführen.

### Die alte Rotbachbrücke

Die alte Rotbachbrücke wurde 1924 im Sinne einer Notstandsarbeit in nur 7

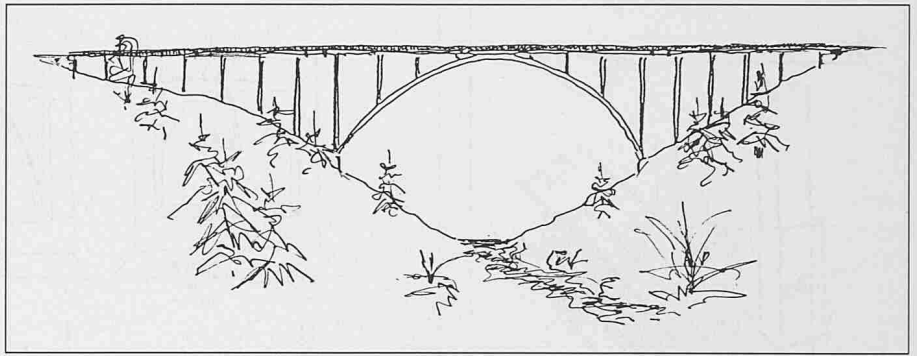


Bild 1. Skizze der alten Rotbachbrücke

Bild 2. Längsschnitt Bogen (Versuchsbereich), Fahrbahnquerschnitt, Bogenquerschnitt

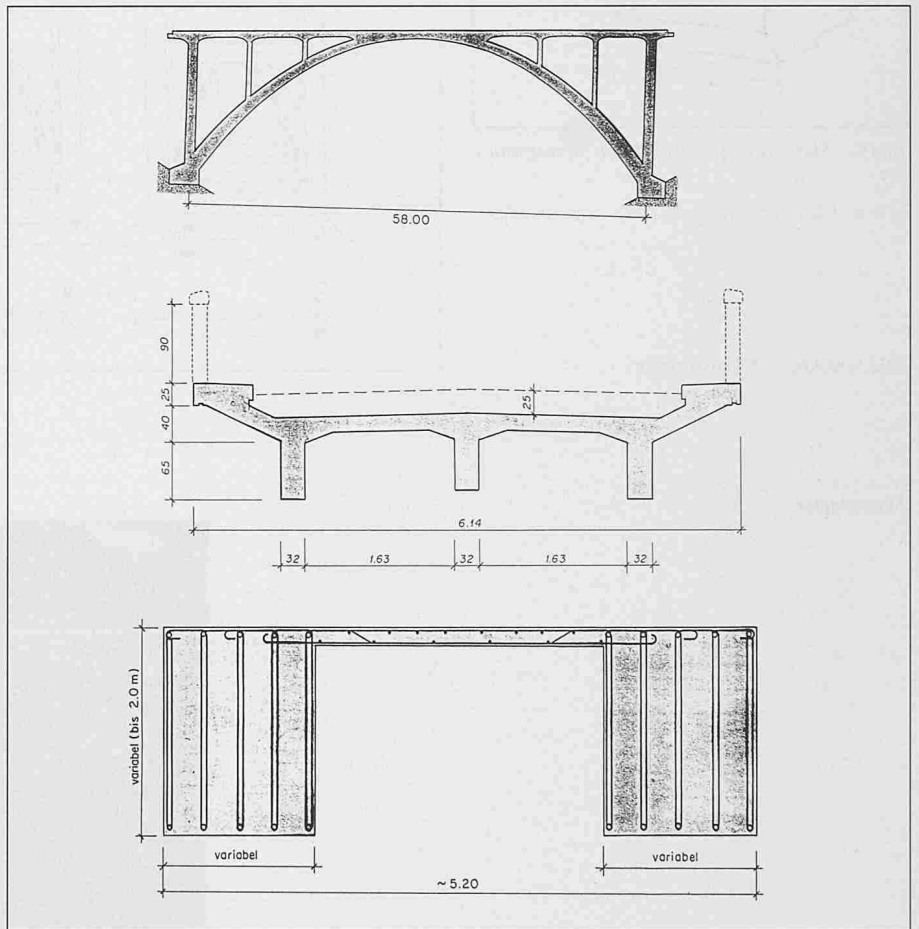
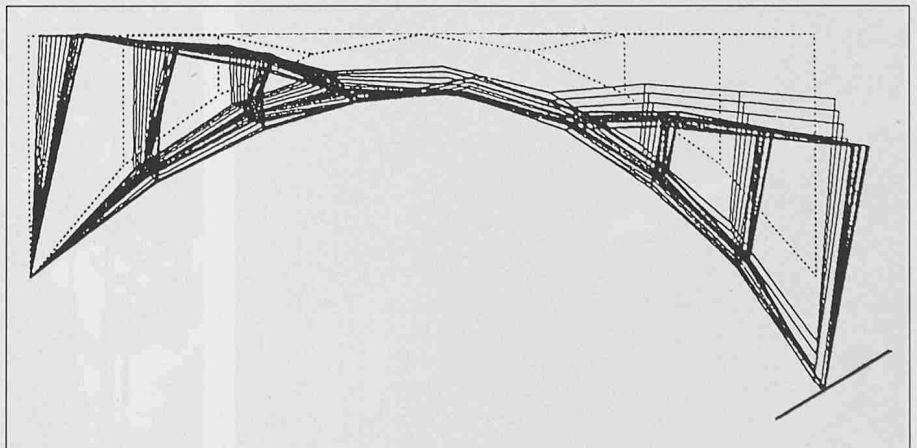


Bild 3. Verformungsbilder



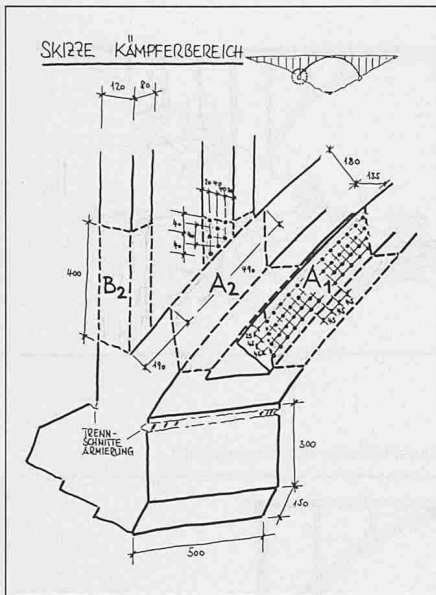


Bild 4. Skizze Kämpferbereich mit Sprengschnitten

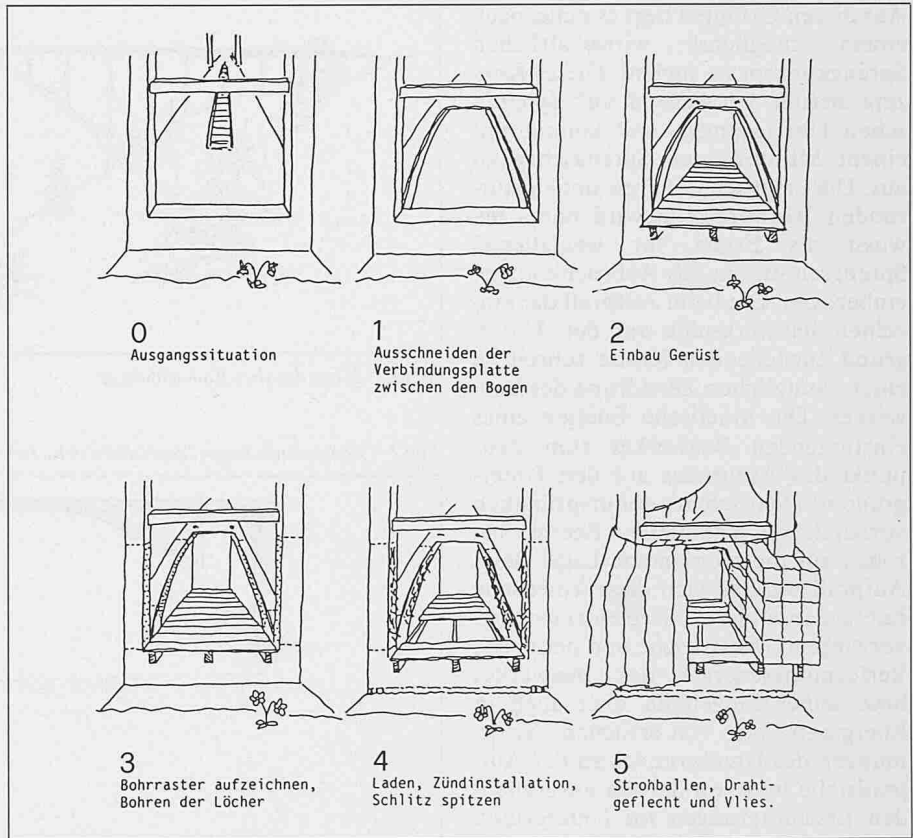


Bild 5 (rechts). Arbeitsvorgang

Sprengbilder



Monaten Bauzeit (einschliesslich Lehrgerüst) erstellt. Das Bauwerk der Staatsstrasse zwischen Teufen und Haslen verband die Kantone Appenzell Auser rhoden mit Innerrhoden. Die Gesamtlänge der Brücke (einschl. seitlichen Anschlussbrücken an den Bogen) betrug 149 m, die eigentliche Bogen-spannweite 58 m und die Scheitelhöhe lag 42 m über dem Rotbach. Die Bogenwiderlager konnten beidseitig auf Molassesandstein gegründet werden (vgl. Bild 1 und [6], [7], [8]). Bedingt durch die topographischen Verhältnisse verlief die Brücke im Grundriss s-förmig. Die Fahrbahn über dem Bogen bildete eine Gerade, die linke und die rechte Anschlussbrücke bildeten die s-Form mit nur 35 bzw. 50 m Kurvenradius. Die Fahrbraträger der Anschlussbrücken waren in Längsrichtung in Verbindung mit den Stützen als durchlaufende Rahmen ausgebildet. In Querrichtung wirkten die unten gelenkig gelagerten Stützen als Stockwerkrahmen. Auf beiden Talflanken war im dritten Feld ein Gerberträger von 4,50 m Länge eingehängt. Auch die Bogenkonstruktion war von den Anschlussbrücken abgefragt.

Bild 2 zeigt einen Längsschnitt, vom mittleren Teil der Brücke, dem eigentlichen Bogenbereich. Der Versuch beschränkte sich auf diesen Mittelteil. Die beiden Anschlussbrücken wurden erst zu einem späteren Zeitpunkt gesprengt. Der gelenklos ausgebildete Zwillingsbogen mit oberliegender Aussteifungsplatte wies im Kämpferbereich einen Querschnitt von je 1,50×2,00 m und im Scheitelbereich von je 1,00×1,00 m auf (Bild 2). In Abständen von 7,00 m wurden die Lasten der Fahrbahn mittels H-förmiger Pendelstützen auf die Zwillingsbogen abgetragen. Die Fahrbahn war als Plattenbalken mit drei rautenförmigen Stegen ausgebildet. Belag und Gelände wurden vor der Sprengung abgetragen (Bild 2), weil das gesamte Brückenmaterial nach dem Abbruch aus dem Bachbett entfernt werden musste.

Die Brücke vermochte den Anforderungen bezüglich Belastung, Breite und vor allem Verkehrssicherheit nicht mehr zu genügen. Zudem wies das sechzigjährige Bauwerk erhebliche Schäden auf, die eine wirtschaftliche Sanierung ausschlossen. Der Flussübergang wurde deshalb in den Jahren 1982 bis 1984 durch einen Neubau ersetzt.

## Vorabklärungen

Die umfangreichen Vorabklärungen wurden zum Teil von der ETH Zürich

und zum Teil von spezialisierten Unternehmungen durchgeführt. Diese Arbeiten umfassten:

- Bestimmung der Materialkennwerte an Bewehrungsstahl und Beton.
- Dynamische Versuche an der neuen Brücke im Rahmen der üblichen Belastungsversuche bei der Abnahme.
- Dynamische Versuche an der alten Brücke zur Ermittlung der Eigenfrequenzen.
- Erschütterungsmessungen an der neuen Brücke infolge Aufpralls von Trümmern im Bachbett im Bereich der alten Brücke.
- Messungen des Schalldruckes, der auf die neue Brücke wirkt, als Folge einer Sprengung bei der alten Brücke.

Diese Vorabklärungen führten zur Angabe folgender Grenzwerte durch den Bauherrn:

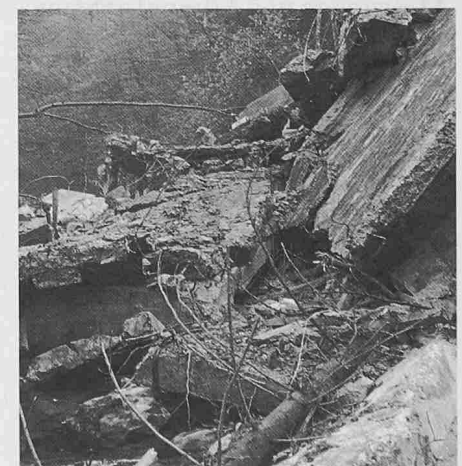
- max. Schwinggeschwindigkeit  
 $V_{\max} = 50 \text{ mm/s}$
- max. Lademenge je Zündstufe zur Vermeidung von Schäden durch Schalldruck  
 $L_{\max} = 10 \text{ kg}$

- Vorausberechnungen seitens des IBK mit einem nichtlinearen Computerprogramm [9] zur Ermittlung eines möglichen Bruchbildes für verschiedene Fallhöhen des Bogens im linken Widerlagerbereich.

Die Berechnungen wurden mit Hilfe eines Computerprogrammes durchgeführt, welches erlaubte, das nichtlineare Verformungsverhalten von Bogen und Fahrbahn weitgehend zu berücksichtigen. Bogen, Stützen und Fahrbahn wurden mit insgesamt 23 finiten Elementen modelliert. Der plötzliche Ausfall des einen Widerlagers wurde mit einem zusätzlichen Element erfasst, welches ermöglichte, bei vorerst noch intaktem Widerlager die statische Belastung unter Eigengewicht zu ermitteln und diese dann mit der dynamischen Beanspruchung aus dem freien Fall und dem anschliessenden Aufprall auf dem Untergrund zu überlagern. Bild 3 zeigt die Verformungen vom Zeitpunkt  $t = 0,0 \text{ s}$  (Sprengung) bis  $t = 2,2 \text{ s}$  bei einer vorgegebenen Fallhöhe von 10,0 m. Der Aufprall erfolgt zur Zeit  $t = 1,36 \text{ s}$ . Der Bogen verformt sich anschliessend sehr stark entlang der mit 45° geneigt angenommenen Aufprallfläche.

Im Zusammenhang mit den zu berechnenden Verformungen war natürlich die Frage der für eine erfolgreiche Zerstörung der Bogenstruktur erforderlichen Fallhöhe von primärem Interesse. Gemäss den Berechnungen konnte eine solche von 5 bis 6 m als genügend betrachtet werden.

Zerstörungsbilder



## Sprengprojekt

Entsprechend der eingangs erläuterten Zielsetzungen wurde des Sprengprojekt verfasst. Die Sprengschnitte wurden so angeordnet, dass der Aufwand an Gerüst- und Bohrarbeiten möglichst klein blieb. Dazu eignete sich der Kämpferbereich auf der linken Bachseite recht gut.

Die Schnitte A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> in den beiden Bogen sowie B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub> in den Kämpferstützen wurden gemäss Bild 4 angeordnet. Bogen und Stütze sollten ihre tragende Funktion gleichzeitig verlieren. Da bei der Sprengung von bewehrtem Beton normalerweise lediglich der Beton im Sprengschnitt ausgeschossen wird, die Bewehrung jedoch praktisch unversehrt erhalten bleibt, bestand die Gefahr einer Behinderung des Fallvorganges der Brücke. Dies hätte eine Verzögerung des Fallvorganges oder auch ein seitliches Ausbrechen des Bogens bewirken können. Deshalb wurde die Bewehrung auf der Kämpferschulter freigespitzt und kurz vor der Sprengung mit der Trennscheibe geschnitten.

Der Arbeitsvorgang ist in Bild 5 dargestellt.

### Technische Daten der Sprengung:

- Bohrlöcher
  - Bohrl Lochdurchmesser 32 mm
  - Anzahl Bohrlöcher 168 Stück
  - Bohrmeter total 147,00 m
- Sprengstoff
  - Gelatine A (25/350) 48,700 kg
  - Knallzündschnur 12 g/m wirksam im Bohrloch 1,770 kg
  - Sprengstoffmenge total 50,470 kg
- Zündanlage
  - Elektrische Zündung
  - Hochempfindliche 30-Millisekunden-Zünder, Drahtlänge 3,00 m
  - Anzahl Zünder total 58 Stück
  - Widerstand der Zündanlage 38 Ω
- Maximale Lademenge pro Zündstufe
  - Bei Stufe 3 und 4 6,490 kg

## Messungen und Filmaufnahmen

Das Messkonzept sah drei Arten von Messungen vor:

- Messungen an der alten Rotbachbrücke zur Ermittlung der auftretenden Beanspruchungen als Vergleich mit den vorausgerechneten Werten.
- Messungen an der neuen Brücke zu Kontrollzwecken (z. B. Einhaltung der max. Schwinggeschwindigkeit von 50 mm/s)

- Messungen der Erschütterungen an Wohnbauten in einer Entfernung von 150 bzw. 230 m in der Umgebung, zu Kontrollzwecken im Falle von Schadenersatzansprüchen seitens der Hauseigentümer.

Neben diesen Messungen wurden zu Dokumentations- und Auswertungszwecken auch Foto- und Filmaufnahmen gemacht. Insgesamt standen 4 Filmkameras und eine Videokamera sowie mehrere Fotoapparate im Einsatz (Bild 6).

### Zusammenfassung der Messergebnisse:

- Erschütterung infolge eigentlicher Sprengung
 

Schwinggeschw. auf neuer Brücke	2,6 mm/s
Frequenzbereich	~ 20 Hz
Schwinggeschwindigkeit Fundament Gebäude A (Distanz 150 m)	1,1 mm/s
Frequenzbereich	50-60 Hz
Schwinggeschwindigkeit am Fundament Gebäude B (Distanz 230 m)	0,3 mm/s
Frequenzbereich	~ 60 Hz
- Erschütterungen infolge Aufpralls der Trümmer auf dem Untergrund
 

Schwinggeschw. auf neuer Brücke	5,1 mm/s
Frequenzbereich	18-20 Hz
Schwinggeschwindigkeit am Fundament Gebäude A (Distanz 150 m)	0,5 mm/s
Frequenzbereich	~ 20 Hz
Schwinggeschwindigkeit am Fundament Gebäude B (Distanz 230 m)	0,3 mm/s
Frequenzbereich	10-20 Hz

Der zu sprengende Brückenteil umfasste eine Masse von 535 m<sup>3</sup> Beton mit einem Gesamtgewicht von 13 400 kN.

## Zerstörungsbild

Die Bilder 7 und 8 zeigen eine Übersicht über die Lage der Trümmer im Bachbett nach erfolgreicher Sprengung. Das Bild 7 wurde in Richtung rechtes Ufer (Seite Teufen) aufgenommen. Am oberen Bildrand ist der Bogen erkennbar. Die Bewehrung zwischen den einzelnen Betonierfugen ist gerissen, so dass der Bogen in eine Vielzahl von quaderförmigen Einzelteilen aufgelöst ist. Die Fahrbahn liegt umgekippt in Bach-Längsrichtung. Bild 8 zeigt das linke Widerlager (Seite Haslen) und die davor liegende Felsrippe auf die der Bogen nach rund 8 m Fallhöhe aufgeprallt ist. Auch hier ist der Bogen in quaderförmige Elemente aufgeteilt. Die Fahrbahn liegt ebenfalls mehrheitlich in Bach-Längsrichtung. Bild 9 zeigt eine Detailaufnahme des linken Scheitelbereichs. Hier ist die Brücke nach rund 40 m Fallhöhe auf das Bachbett aufgeprallt. Die örtliche Zerstörung des Betons ist dementsprechend gross.

## Schlussbemerkung

An dieser Stelle sei allen Beteiligten herzlich für ihre Mitarbeit gedankt: Den Brückeneigentümern und Bauherrn (Kantone Appenzell), dem Auftraggeber für den Versuch (Bundesamt für Genie und Festungen), den mitwirkenden Mitarbeitern der beiden Institute sowie den Wehrmännern des G Bat 6.

Adresse der Verfasser: P. Meili, dipl. Bauing. ETH/SIA, Lehrbeauftragter am IBETH, Fels- und Untertagebau, ETH Zürich, und Dr. W. Ammann, dipl. Bauing. ETH/SIA, Lehrbeauftragter am Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich.

## Literatur

- [1] Ammann, W., Mühlematter, M., Bachmann, H.: Versuche an Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter stossartiger Beanspruchung, Teil 2: Konzeption, Durchführung und Auswertung der Versuche, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Versuchsbericht Nr. 7709-2, Birkhäuser-Verlag Basel und Stuttgart, 1982.
- [2] Ammann, W.: Stahlbeton- und Spannbetontragwerke unter stossartiger Belastung, Dissertation ETH Nr. 7285, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Birkhäuser-Verlag, Basel und Stuttgart, Juni 1983.
- [3] Mühlematter, M., Bachmann, H.: Versuche an Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter stossartiger Beanspruchung, Teil 5: Verhalten von zweifeldrigen Stahlbetonbalken beim plötzlichen Ausfall einer Unterstützung, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Versuchsbericht Nr. 7709-5, Birkhäuser-Verlag, Basel und Stuttgart, 1983.
- [4] Meili, P.: Freie und verdämmte Ladungen auf Stahlbeton. Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau, ETH Zürich, Versuchsbericht, 1982.
- [5] Meili, P.: Minen Meyer I + II. Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau, ETH Zürich, 1983.
- [6] Bendel, L.: Rotbachbrücke bei Teufen, Appenzell Ausserrhoden, «Schweiz. Bauzeitung», Band 87, Nr. 7, 1925
- [7] Neue Appenzeller Strassenbrücken, «Schweiz. Bauzeitung», Band 84, Nr. 3, 1924.
- [8] «St. Gallische und Appenzeller Brückenbauten», Bericht einer Exkursion des Zürcher Ingenieur- und Architektenvereins zur Sitterbrücke der SBB, zur Hundwilertobel- und zur Rotbachbrücke am 27. September 1924, «Schweiz. Bauzeitung», Band 84, 1924.
- [9] Anderheggen, E., Bartelt, P., Bazzi, G., Elmer, H., Friedrich, T., Klemenz, U., Maag, H., Theiler, J.: Flowers: User's Manual, Institut für Informatik, ETH Zürich, Januar 1985.