

Verstärkung einer Strassenbrücke: Brücke über die Surb in Endingen

Autor(en): **Hasler, Jakob**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **109 (1991)**

Heft 7

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85893>

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.

Verstärkung einer Strassenbrücke

Brücke über die Surb in Endingen

2. Teil: Grundlagen, Konzeptentwurf, Konstruktionsdetails, Modellformulierung, Berechnung und Vorspannung, wie sie der Projektverfasser erlebte (vgl. 1. Teil, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 40/90).

Dieser Brückenumbau ist, infolge der massiven Erhöhung der Strassenlasten, ein in jeder Hinsicht sehr interessantes

VON JAKOB HASLER,
WETTINGEN

Vorhaben. Er beherbergt alle Probleme einer entsprechenden grösseren Brücke auf kleinem Grundriss zusammengezogen, mit daraus entstehenden örtlichen Platzproblemen konstruktiver Art. Die sehr intensiven Arbeiten der Nachprüfung der alten Brücke und des Variantenstudiums für die Sanierung waren für mich, da ich sie selber durchführen konnte, eine wertvolle Einsicht in das Tragverhalten dieses schiefen Plattenrahmens und eine recht gute Einstimmung in die bevorstehende Arbeit.

Die momentanen Erfahrungen für so einschneidende Umbauten sind sehr klein, daher besteht vielleicht bei Fachleuten ein Interesse für diesen Bericht, im Hinblick auf weitere Umbauten dieser Art. Der Aufbau desselben folgt dem Ablauf der Planungsarbeiten und hält nur fest, was mitteilenswert erscheint.

Plangrundlagen der bestehenden Brücke

Vorhandene Ausführungspläne von 1949: Die Schalungs- und Armierungspläne sowie Eisenlisten stammen vom Ingenieur-Büro Basler, Zofingen.

Materialkennwerte

Hierzu wird auf den 1. Teil dieser Publikation (vgl. Heft 40/90) verwiesen. Die eingebauten schlaffen Bewehrungsstähe stammen aus einer Übergangsphase der Stahlproduktion dieser Zeit, in Richtung höherer Zugfestigkeiten, auf die heutige Qualität S 500 zu. Eine ausgebaute Stahlprobe D 16 mm, noch ohne Rippen, wurde an der EMPA geprüft. EMPA-Bericht Nr. 195 750 v. 26.3.87: Rohdichte mit 7,85 g/cm³, Fließgrenze 334 N/mm², Zugbruch 453 N/mm², Bruchdehnung A5 mit

38,5%. Gleichmassdehnung 24,2%, Trichterbruch, Alterungs-Rückbiegeversuch rissfrei. Diese Stähle wurden dazumal nach Aussagen der EMPA von ihr im Auftrage der Hersteller recht gut überwacht. Es wurde gleichbleibende Qualität, eher über dem Niveau der vorstehenden Resultate festgestellt. Der Wert der obigen Fließgrenze, eher ein unterer Wert aus dieser Zeit, wurde in die Berechnungen aufgenommen. Er entspricht in etwa dem Produkt aus der damals zulässigen Spannung für Stahl II des Entwurfs 1951 der SIA 162 und dem in der während der Umbauzeit im neuerlichen Entwurf stehenden gleichen Norm enthaltenen provisorischen Gesamtsicherheitsfaktor von 1.6.

Einwirkungen: Strassenlasten

Grundlagen hierfür bildeten die Dokumentationen SIA 160/Art. 9, 18 und SIA 160.1, Typ I.

Vorgabe des Tragmodells durch die alte Brücke

Einfeldriger, schiefer Plattenrahmen mit zwei freien Rändern an der Fahrbahnplatte und Gelenken über den Streifenfundamenten in Stahlbeton erstellt. Geometrie siehe im 1. Teil, Bild 2.

Ermittlungsart der Schnittkräfte und der Tragwiderstände, Wahl des Rissesicherungsnachweismodells

Konsequent werden alle Berechnungen elastisch am räumlichen Tragwerksmodell, affin zur Wirklichkeit, zeitlich für zwei Zustände, $T_0 = 21$ Tage und T_{00} , mit geschätztem Elastizitätsmodulverhältnis von 1.5, alter/junger Beton, mit gleichem Wert für T_0 , zwischen altem und neuem Beton berücksichtigt, durchgeführt. Es soll dafür EDV eingesetzt werden.

Ermittlung der Schnittkräfte elastisch, inkl. Grenzwertbildung, wegen den Sonderproblemen der schiefen Plattenrahmen, hauptsächlich in der stumpfen Ecke (für Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit). Ermittlung der vorhandenen und Dimensionierung

der sanierten Tragwiderstände mittels der Plastizitätstheorie und der provisorischen SIA-Norm 162E/März 1987 Gründruck, auf dem Bruchniveau dargestellt (Statische Methode der Plastizitätstheorie).

Gebrauchstauglichkeit, speziell die Rissesicherungsnachweise nach der Methode der normalen Anforderungen, gemäss oben erwähnter provisorischer Norm.

Die Vorspannung wird konsequent auf die Widerstandsseite genommen.

Die Temperaturbeanspruchungen werden über die Rissesicherung berücksichtigt.

Entwicklungsweg der Konstruktionsdetails und des Tragmodells

Erste Vorgaben der Bauherrschaft, die aus der Synthese der Erfahrung aus früheren Umbauten des Verfassers des 1. Teils und meinen umfangreichen Voruntersuchungen und Variantenstudien gemeinsam festgelegt wurden: Die Brückenuntersicht der Fahrbahnplatte und die Luftseiten der Widerlagerwände werden ohne Sanierung so belassen wie sie sind. Sie sind auch rein visuell festgestellt in sehr gutem Zustand. Klebarmierungen in obigen Flächen scheiden aus ästhetischen, konstruktiven und Unterhaltsgründen als Ergänzung der fehlenden Stahlquerschnitte aus. Die Auf- und Anbetonierungsvariante der Vorstudien wurde als Sanierungsmodell gewählt.

Daraus folgt: Es ist ein Tragwerk zu entwickeln, in dem, mit den bestehenden schlaffen Feldbewehrungen mindestens in den Haupttragrichtungen, parallel zur Fahrbahnaxe in der Fahrbahnplatte respektive vertikal in den Widerlagerwänden genügend Tragwiderstand ausgewiesen werden kann.

Intensives Konstruieren und Berechnen von Hand und mit PC wechseln sich in dieser Phase mit gegenseitigen Beeinflussungen für Teillösungen, bis das Gesamtmodell steht, ab.

Fahrbahnplatte: bestehende untere schlaffe Bewehrung

Als erstes werden an der Fahrbahnplatte die örtlichen Tragwiderstände der vorhandenen unteren schlaffen Bewehrung nach Johansen berechnet und mit den Grenzwerten der Schnittkräfte verglichen: Die vorhandenen Stahl-

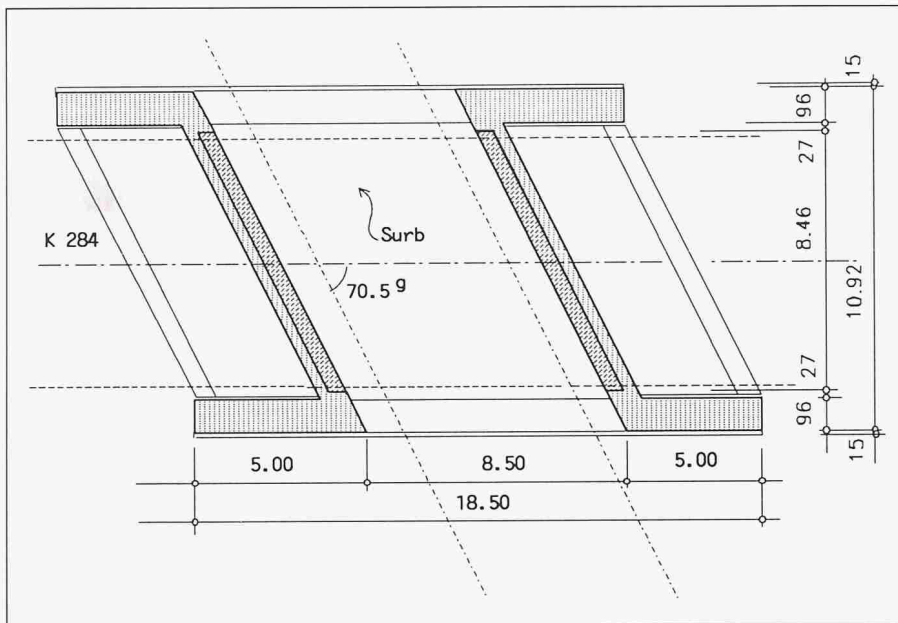


Bild 17. Untersicht An- und Aufbetonierung (definitive Sanierung). (Die Bildnumerierung schliesst mit Bild 17 an jenen des 1. Teils dieses Beitrages, Heft 40/90, an)

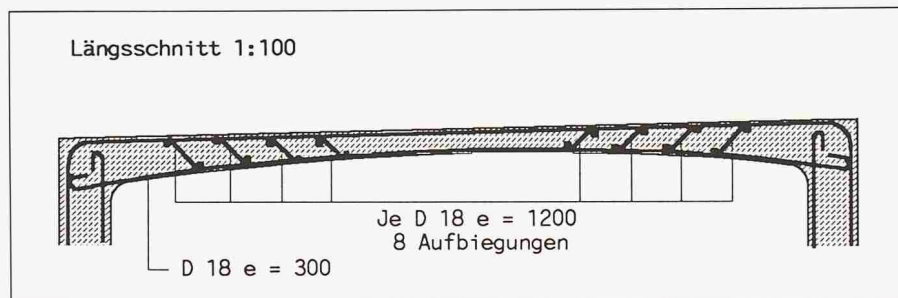


Bild 18. Alte Bewehrung Fahrbahnplatte

querschnitte der Haupttragrichtung parallel zur Fahrbahnaxe, D 18 mm, e = 150 mm, mit acht Aufbiegungen, siehe Bild 18, genügen nur bei vierseitiger Lagerung der Fahrbahnplatte. Dies erfordert relativ steife Randträger an den Fahrbahnrändern, die Einspannung der Fahrbahnplatte in den Widerlagerwänden und die Aufbetonierung der Fahrbahnplatte um ca. 15 cm sowie Anbetonierung der oberen Hälfte der Widerlagerwände (Bild 5). Mit einem Modell ohne Randträger (bestehende zweiseitige Lagerung der Fahrbahnplatte) sind die Querschnitte der bestehenden schlaffen Bewehrung an den freien Plattenrändern völlig ungenügend. Die vorhandene Bewehrung der Verteilrichtung parallel den Widerlagerwänden, D 10 mm, e = 300 mm, ist ungenügend. Sie wird als akzeptabler Kompromiss durch Spann kabelquerschnitte ergänzt (Zugspannungen überdrückt). Die obere Bewehrung der Rahmenecken wird neu erstellt und den Erfordernissen, speziell im Bereich der stumpfen Ecke, angepasst.

Entwurf Fahrbahnplatte mit Vorspannung und Randträger

Die Fahrbahnplatte soll gemäss Wunsch der Bauherrschaft längs und

quer vorgespannt werden, um eine genügende Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zu erzielen.

Die Längsvorspannung der Fahrbahnplatte kann nur ausserhalb der bestehenden Fahrbahnplatte, in neuen Randträgern, verlegt werden.

Die Quervorspannung der Fahrbahnplatte wird in zu erstellende Bohrungen in der bestehenden Platte, parallel zu den Widerlagerwänden gerichtet, verlegt. Mit gekrümmten Kabeln werden Eigen- und Auflast der Fahrbahnplatte auf die oben erwähnten Randträger übertragen. Die Möglichkeit der Kabelkrümmung zur Entlastung der Fahrbahnplatte wurde erst später erkannt und konstruktiv gelöst. Die Kabelköpfe müssen ausserhalb der alten Platte untergebracht werden. Die Krafteinleitung in die Platte braucht für eine vernünftige Spannungsverteilung an deren Rändern ca. 1 m Eintragungslänge. Die Randträger drängen sich auch hier wieder auf, ihre Breite ist nun festgelegt.

Mit der Absicht der Bauherrschaft, die alten Flügelmauern abzutrennen und die neuen wieder an die Brücke anzuhängen, können die Randträgerquerschnitte samt Kabel bis an die Enden der neuen Flügelmauern geführt wer-

den. Dies ermöglicht eine frühe Lasteintragung der Vorspannkraft in die Fahrbahnplatte. Die neuen Flügelmauern werden mit den Randträgern zusammenbetoniert und in den anbetonierten Teilen der Widerlagerwände eingespannt.

Die Rahmenecken und etwas tiefer auch die Widerlagerwände erhalten über Bohrungen in der alten Brücke massive Kabel. Nebst ihrem Anteil an der Quervorspannung der Fahrbahnplatte ermöglichen sie das Einleiten der Vorspannkraft ab den Randträgern in die Fahrbahnplatte, die Übergabe der Auflagerkräfte der Randträger über die neuen Flügelmaueransätze und eine gewisse gewünschte Einspannung der Randträger in die Widerlagerwände. Die Kabelköpfe der 4000 kN-Kabel liegen in den neuen Flügelmaueransätzen und pressen diese an die alten Widerlagerwände. Die Randträger und die neuen Flügelmauern liegen ganz ausserhalb der alten Widerlagerwände.

Es bietet sich folgende Lösung an:

Die relativ steifen Randträger haben sehr kleine Deformationen. Die optimale Übertragung der Einwirkungen der Fahrbahnplatte auf die Randträger ist damit erfüllt.

Die oben beschriebene Längs- und Quervorspannung der Fahrbahnplatte wird so ausgeführt. Die geometrische Vorspannung von Fahrbahnplatte und Randträger wirkt entlastend auf das Tragwerk.

Die Flügelmauern werden mit den obigen Zusatzfunktionen in das Konzept einbezogen.

Aufnahme der positiven Stützmomente aus Rahmenkopferschiebungen durch einseitigen Erddruck und Bremskräfte

Positive Rahmeneckmomente können nicht aufgenommen werden: Die Stahlquerschnitte sind zu klein und die Verankerungslängen der Bewehrung reichen nicht aus. Als Lösung werden am Tragsystem horizontale Halterungen an den Plattenrahmenecken angebracht. Die entstehenden horizontalen Auflagerkräfte werden über Endriegel, an zwei neu zu erstellenden Schlepplatten anbetoniert, gehalten.

Widerlagerwände: Bestehende luftseitige schaffe Bewehrung

Die bestehende luftseitige vertikale Bewehrung D 14 mm, e = 300 mm oben und D 16 mm, e = 300 mm unten, knapp über Feldmitte, unversetzt gestossen, ist für den Tragsicherheitsnachweis unter folgenden Bedingungen knapp genügend:

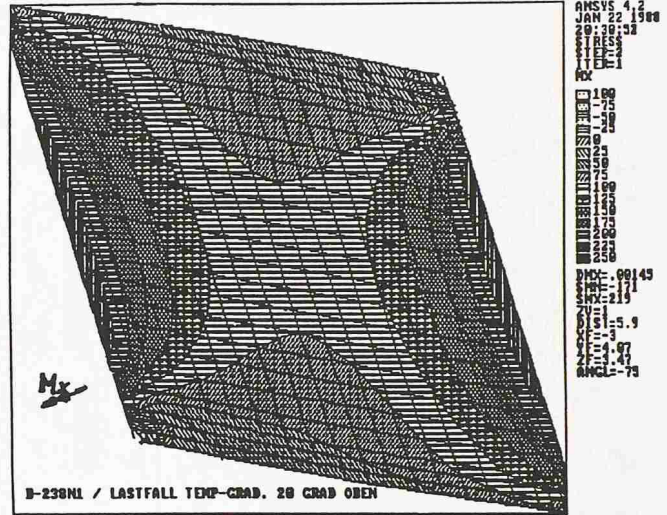
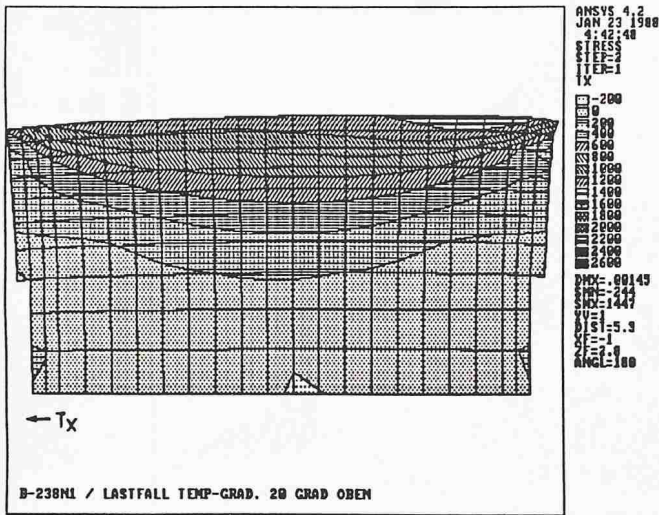


Bild 21. Ansicht Widerlagerwand: Axialkräfte horizontal kN/m Grundriss Fahrbahnplatte: Biegung M_x : kNm/m (ohne Randträger dargestellt)

Zur einfacheren Interpretation der extremen Datenflut dient die grafische Ausgabe: Alle alphanumerischen Ausgaben können als Bilder umgeformt ausgegeben werden, beliebig skaliert, mit beliebig gewählten Ausschnitten, Perspektiven und Ansichten aus beliebigen Standorten, farbig oder schraffiert, wie z.B.: Deformationen am verformten räumlichen Tragwerk; Schnittkräfte, Spannungen, Hauptspannungen, als Isohypsen oder Bereichsflächen; Hauptspannungsvektoren an den Elementoberflächen und in der Elementmitte, samt zugehörigen Isohypsen; Einwirkungen und Auflagerreaktionen als Vektoren; Diagramme für Spannungen und Schnittkräfte in Trägern und freigewählten Schnitten in Platten usw. (Bilder 19 und 20).

Die erforderliche PC/AT-Konfiguration ist mit dem heutigen Stand der Technik kein Problem mehr. Teile, wie genügend RAM, grosse, schnelle Harddisks, Datensicherung auf CD, Laserprinter, Farbdrucker usw. sind standardmässig im Handel vorhanden.

Tragwerksmodellierung für das FE-Programm Ansys

Geometrie: Es werden, auch um die Möglichkeiten der Ansys-PC/AT-Version festzustellen, folgende Modellierungen ausgeführt:

Die Querschnittsschwerpunktlinien der Fahrbahnplatte und der Randträger sind Kreisbogen, mit 15-20 cm Bogenhöhe. Ihre Bogensehne verläuft im Längsgefälle der Strasse. Das Strassenquergefälle ist in der Axrichtung der Widerlagerwände erfasst.

Variable Höhen innerhalb der einzelnen Schalen- (H = 42-90 cm) und Trägerelemente (H = 95-125 cm).

Variable Exzentrizitätsmasse für die Querschnittsschwerpunktabstände Randträger/Fahrbahnplattenrand innerhalb der einzelnen Elemente.
Einwirkungen: Radlasten praktisch getreu der SIA-Norm, auf der schief im Raum liegenden, gekrümmten Schale der Fahrbahnplatte.
 Vorspannkabelaxen nach genauer räumlicher Lage.

Definitive Festlegung der Vorspannung

Die optimalen Kabellagen können nur auf iterativem Weg über EDV-Rechenläufe am räumlichen Tragwerksmodell gefunden werden:

Die Vorspannkraft P_0 werden so bestimmt, dass die Hauptdruckrandspannungen in den wichtigen Bereichen der Fahrbahnplatte max. 2-4 N/mm², als Summe aus Vorspannung längs und quer, Eigenlast und Belag, betragen. In den Randträgern sind die entsprechenden Werte etwas höher.

In den Rahmenecken dürfen aus Vorspannung keine positiven Momente auftreten. Sie können auch wegen der geometrischen Vorspannung von Randträger und Fahrbahnplatte entstehen.

Die Spannkabel der Randträger sollen, wenn möglich für ein einfaches Verlegen, einen geradlinigen Verlauf erhalten.

Über die geometrische Vorspannung der Randträger können sogar noch grosse Teile der Strassenlasten auf die Widerlager übertragen werden.

Eigenlast und Auflasten des Überbaues sollen durch die Vorspannung über die Randträger auf die Widerlagerwände übertragen werden.

Als guten Kompromiss wurden folgende Kabelkräfte P_0 gewählt:

Längs in der Fahrbahnplatte und den Randträgern 12 400 kN, quer in der Fahrbahnplatte 9800 kN, in den Rahmenecken und den Widerlagerwänden auf halber Höhe 15 400 kN. Weil die Längsvorspannkraft nur in den Randträgern aufgebracht werden kann, entsteht im Bereich und mit ungefähre Vektorrichtung der Fahrbahnaxe in der Fahrbahnplatte ein schmales Hauptzugspannungsfeld mit einer Breite von ca. 2 m und 0-0,4 N/mm² Hauptzugspannung. Diese Werte werden als guter Kompromiss mit der festgelegten Längsvorspannung akzeptiert. Unten und oben in der Platte ist die Rissicherung dieses Zugfeldes genügend gut mit Bewehrung abgedeckt.

Schubfluss alter/neuer Beton in den Auf- und Anbetonierungen

Es wird mit einem Schubverzahnungsmodell von 10 Grad Neigungswinkel gearbeitet. Die Zugkomponenten werden über spezielle, engmaschig versetzte Zugbolzen, 1-2 St./m², aufgenommen. Schubverzahnungsnischen gemäss Bildern 9 und 14. Es wird ein Veretzplan der Zugbolzen erstellt.

Plausibilitätskontrollen der EDV-Ausgaben

Sie sind sehr wichtig, weil praktisch keine Erfahrungen für derartige, infolge massiver Erhöhung der Einwirkungen aus Strassenlasten die alte Brücke so stark verändernde Umbaumaassnahmen vorhanden sind. Es mussten deshalb einige Entscheide für die Konstruktions- und Tragsystemdetails eher gefühlsmässig getroffen werden. Solche Plausibilitätskontrollen sind z.B.:

- Plots des verformten räumlichen Tragwerkes.
- Einfache Modelle, z.B. über Veränderungen der Schnittkräfte zwischen

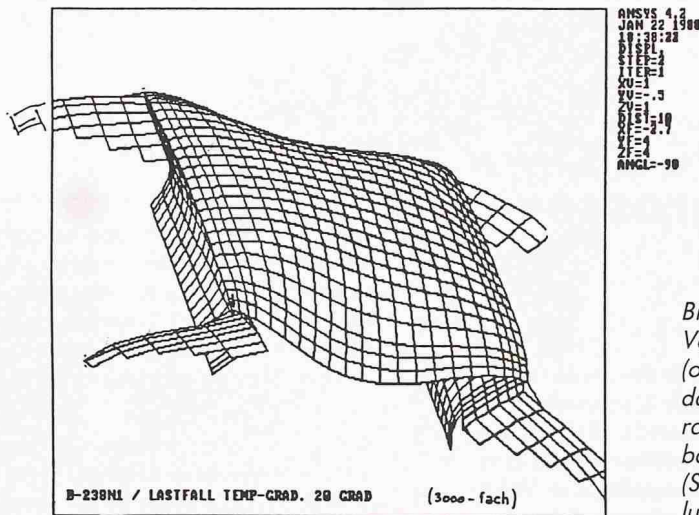


Bild 22. Perspektive Verformungen: (ohne Randträger dargestellt) Temperaturgradient Fahrbahnplatte 20 Grad (Sonneneinstrahlung)

T_0 und T_{00} oder für T_0 , junger/alter Beton.

- Kontrolle der Grössenordnungen durch Handrechnung und Verstehen der detaillierten Auflagerreaktionen und Zwängungen am räumlichen Tragwerksmodell.
- Kontrolle der Schnittkräfte durch Handrechnung mit einfachen statischen Modellen der einzelnen Bauteile.

Vorhandener grosser Riss in Fahrbahnplatte und Widerlagerwänden

Der alte Riss verläuft ungefähr in der Mitte Brücke, in Richtung Fahrbahnaxe, in der Fahrbahnplatte und je im oberen Teil der Widerlagerwände vertikal. Er rührt, wie Voruntersuchungen mit dem FE-Programm Ansys zeigen, aus einem Temperaturgradienten der Fahrbahnplatte durch starke Sonneneinstrahlung und einem gleichzeitigen Temperaturgradienten Widerlagerwand/Brückenüberbau sowie als Ergänzung in umgekehrter Einwirkung von einem raschen, starken Temperatursturz im Winter her. Ursprünglich

war nur ein 4 cm starker Hartbetonbelag direkt auf der Fahrbahnplatte, auf dem der Verkehr rollte. Die Widerlagerwände stecken beidseitig fast 4 m tief im Boden und sind einseitig ganz erdberührt. Die vorhandene Bewehrung der Rissesicherung ist, je beidseits der Platte, gemäss der damaligen Praxis, mit D 10 mm, e = 300 mm in der Fahrbahnplatte und mit D 8 mm, e = 300 mm in den Widerlagerwänden, völlig ungenügend.

Die Bilder 21 und 22 zeigen, homogenes Material vorausgesetzt, für einen Temperaturgradienten aus Sonneneinstrahlung von 20 Grad in der Fahrbahnplatte, als EDV-Plots, die in der Risszone entstehenden grössten Beanspruchungen in der Brücke: oben in den Widerlagerwänden Zugkräfte bis ca. 1200 kN/m (Zugbruch der Bewehrung ca. 150 kN/mJ), in der Fahrbahnplattenmitte negative Biegemomente bis ungefähr 100 kNm/m mit Vektoren ca. parallel dem Riss (Biegebruchmoment, mit der zu schwachen Bewehrung, ca. 30 kNm/m). Dass dieses Verhältnis Einwirkung/Widerstand für die Brücke nicht gut ausgehen konnte ist damit festgestellt. Der zugehörige Deformationsplot zeigt eindrücklich die Verformungen die zu diesen grossen Stadium-I-Beanspruchungen gehören.

Durch die vorstehend genügend stark gewählte Längs- und Quervorspannung wird der alte Riss geschlossen und damit eine Schadensausweitung gestoppt.

Pläne, Materiallisten und Bauleitung

Es versteht sich von selbst, dass zum Gelingen einer so anspruchsvollen Sanierung eine sehr sorgfältige Planung

mit sehr detaillierten Schalungs-, Armierungs-, Vorspannplänen und Eisenlisten sowie eine gewissenhafte Bauleitung mit intensiver Baustellenbetreuung unabdingbar gehören.

Prüfingenieur

Er hat mit seiner unabhängigen EDV-Nachrechnung eine gute Übereinstimmung mit meinen Ansysdaten gefunden. Zitate aus seinem Bericht:

Die Grenzwertbildung und Nachweise (Tragfähigkeit sowie Gebrauchstauglichkeit) erfolgten konsequent am räumlichen Tragwerk.

Die in der SIA-Norm 162/1968, der Richtlinie 34/1976 sowie den Kant. Weisungen für Kunstbauten, Oktober 1981, geforderten Nachweise wurden lückenlos erbracht. Die Spannungsgrenzen und Sicherheiten sind weitgehend erfüllt.

Die Kontrollrechnung wurde unabhängig an einem Flächen- und Stabtragwerk durchgeführt.

Die Ausführungsberechnungen der Surbrücke B-238 wurden eingehend geprüft und in Ordnung befunden.

Schlussbemerkungen

Das 1949 erbaute Tragwerk konnte mit dieser Sanierung bezüglich Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit auf die zur Zeit des Umbaus gültigen Normen für Schwervertransporte bis 4800 kN und den normalen Strassenverkehr verstärkt werden.

Bei so komplexen Umbauten ist es für das gute Gelingen des Vorhabens fast unabdingbar, dass der Projektverfasser alle Arbeiten selbst ausführt, respektive intensiv begleitet, von der Nachrechnung der alten Brücke über das Sanierungsvariantenstudium zur Projektierung und Bauleitung des Brückenumbaues.

Dass der Umbau so gut gelungen ist, ist nicht zuletzt dem sehr wichtigen Umstand zu verdanken, dass sich auf allen Ebenen der Planung und Ausführung alle Beteiligten aktiv laufend mit Erfolg bemühten, den sehr guten Teamgeist zu erhalten, auch unter viel ausserordentlichem, persönlichem Einsatz für Lösungen der neuen Probleme in Theorie und Praxis.

Adresse des Verfassers: Jakob Hasler, Bauingenieur REGA/SIA, Gerstenstrasse 6, 5430 Wettingen.

Literatur

- [1] SIA-Normen 160/1970, 160.1/1970, 162/1968, 162.34/1976; Stark berücksichtigt wurde in separatem Nachweis: Entwurf SIA 162 E/März 1987 Gründruck.
- [2] Weisungen des Aarg. Baudepartementes Abteilung Tiefbau Brücken- und Tunnelbau vom Oktober 1981.
- [3] H. Hürzeler: Verstärkungsarbeiten an der Strassenbrücke in Fischbach-Gössikon, SIA-Heft 19/1988, Seiten 555-60.