

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 7

Artikel: Verstärkung einer Strassenbrücke: Brücke über die Surb in Endingen
Autor: Hasler, Jakob
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85893>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

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-

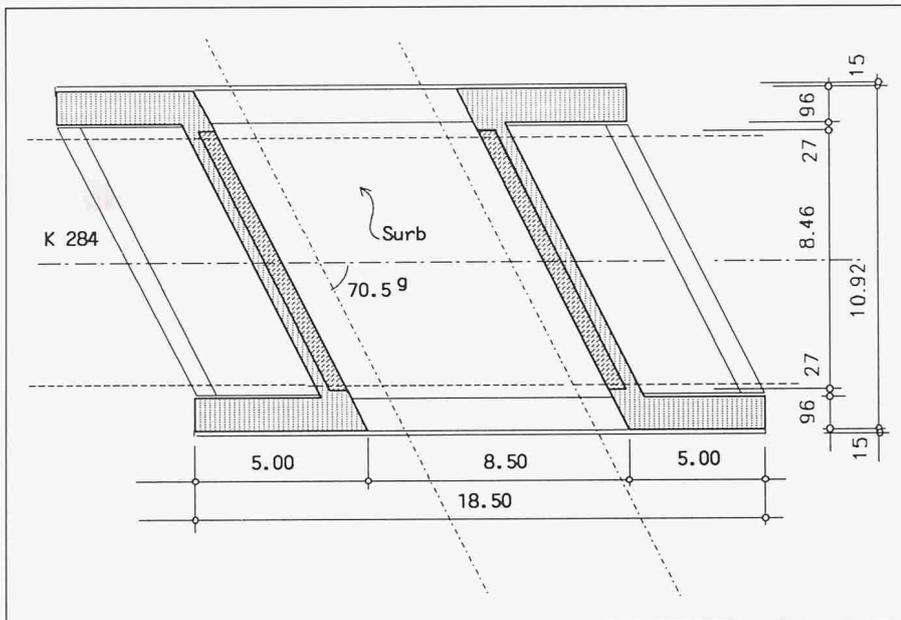


Bild 17. Untersicht An- und Aufbetonierung (definitive Sanierung). (Die Bildnummerierung schliesst mit Bild 17 an jenen des 1. Teils dieses Beitrages, Heft 40/90, an)

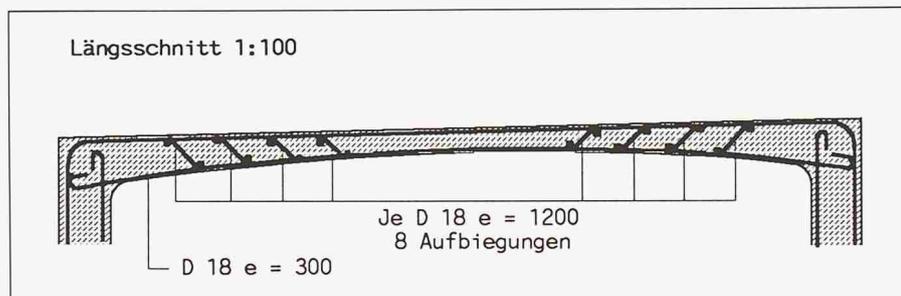


Bild 18. Alte Bewehrung Fahrbahnplatte

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:

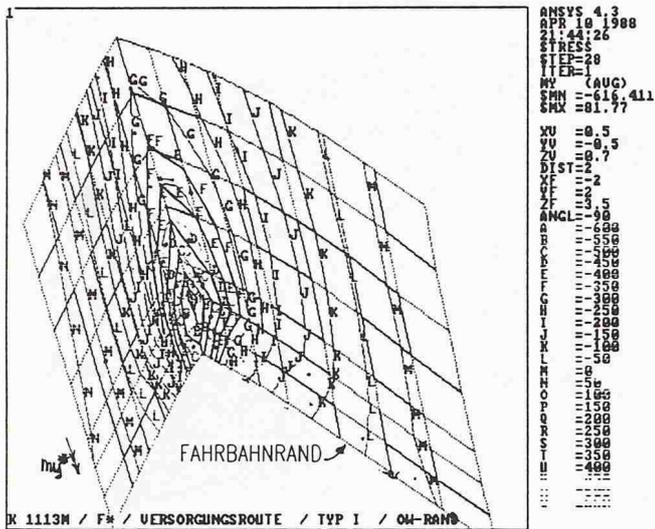


Bild 19. Perspektive stumpfe Ecke Fahrbahnplatte (ohne Randträger dargestellt) Biegung M_y kNm/m

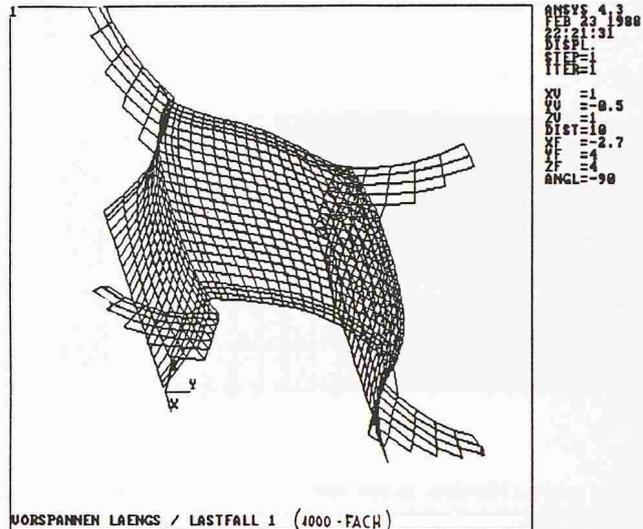


Bild 20. Perspektive Verformungen infolge Vorspannen längs

Für die neue Hinterfüllung (obere Wandhälfte) wird sauberer Wandkies, wenig verdichtet, verwendet. Die oben erwähnten neuen Schleppplatten werden von der Widerlagerwand zum oben erwähnten Endriegel einachsig frei gespannt. Die Endriegel, als äussere Schleppplattenlagerung, liegen so tief, dass ihre Auflagerdrücke praktisch keine Einwirkungen mehr auf die Widerlagerwände abgeben.

Die schlaffe Bewehrung wird für das negative Rahmeneckmoment neu bemessen. Diese Bewehrung wird genügend überdimensioniert, damit, wenn sich allenfalls im Widerlagerwandfeld wider Erwarten doch eine Fließgelenklinie bildet, kein Kollaps des Tragwerkes durch Instabilität der Widerlagerwände entsteht.

Die bestehenden horizontalen Bewehrungen (Verteilrichtung) sind mit $D\ 8$ mm, $e = 300$ mm völlig ungenügend. Die erwähnten massiven Spannglieder bringen als akzeptablen Kompromiss eine genügende Tragsicherheit und eine gute Gebrauchstauglichkeit.

Einwirkungen aus Erddruck auf die Flügelmauern

Die Flügelmauern stehen direkt neben den oben beschriebenen, freitragenden Schleppplatten. Die Mauern sind dreieckförmig und erhalten fast keine Einwirkungen aus Strassenlasten und nur sehr geringe aus Erddruck.

Brückenfundation

Der Nachweis der genügenden Tragsicherheit des Baugrundes ist bei der 1,34 m breiten Streifenfundation unter den Widerlagerwänden problemlos. Zur Beurteilung standen zur Verfügung: die Auskunft des kantonalen Spezialisten über den zu erwartenden Baugrund der Fundationszone, die vier

1:1-Aufschlüsse für die Lehrgerüstfundation und die Feststellung am Bauwerk, dass sich bis heute keine sichtbaren Setzungen ergeben haben. Die Bewehrung inkl. derjenigen der Rahmeneckgelenke ist genügend gross bemessen.

Zusammenfassung

Das neue Tragmodell ist auf seinem nun zu Ende geführten Entwicklungsweg vollständig zusammengestellt worden, für die Aussage gereift: Die Brücke ist theoretisch und praktisch mit vernünftigen Mitteln sanierbar. Der wichtigste Wunsch der Bauherrschaft, die Luftseiten der Widerlagerwände und der Brückenuntersicht ohne Sanierung zu belassen, ist mit allen anderen Wünschen erfüllbar. Die Arbeit kann von einem versierten Unternehmer ohne Probleme ausgeführt werden.

Es können nun das komplette Tragmodell zusammengestellt, die definitiven Detaillösungen erarbeitet, die Grenzwerte der Schnittkräfte usw. berechnet werden. Alle erforderlichen Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind erbringbar.

Das neue Tragmodell, Bilder 5, 6 und 20

Die einzelnen neuen Elemente

Aufbetonierte Fahrbahnplatte, längs und quer teilvorgespannt, mit voll vorgespannten Randträgern, bis an die Enden der vier Flügelmauern geführt. Die Fahrbahnbreite wird inkl. Bankettstreifen 9 m (alt 8 m).

Rahmenecken und Widerlagerwände im oberen Teil aussen anbetoniert und

horizontal in Querrichtung teilvorgespannt.

Vier neue Flügelmauern, mit Randträgern und Anbetonierung Widerlagerwände verbunden.

Zwei Schleppplatten einachsig von den Widerlagerwänden auf die Abschlussriegel gespannt. Die Riegel übernehmen die horizontale Halterung der Brücke in den Rahmenecken.

Das Gesamtmodell

Das Tragmodell ist ein in Längs- und Querrichtung nachträglich vorgespannter, schiefwinkliger Stahlbeton-Plattenrahmen, mit beidseits der Fahrbahnplatte exzentrisch anbetonierten Randträgern und vier angehängten Flügelmauern, alle Elemente monolithisch miteinander verbunden.

Elektronische Berechnung auf PC/AT

Die Brücke wird sehr eingehend und detailliert statisch analysiert. Die räumliche Modellbildung erfolgt als Schale mit Verstärkungen an den Fahrbahnrändern, affin dem tatsächlichen Tragwerk. Die Berechnungen werden mit dem FE-Programm Ansys von Swanson USA, durch Fides Zürich in der Schweiz betreut, ausgeführt (Handbücher nur englisch). Das Programm kann alle nötigen Daten berechnen. Es ist die PC/AT-Version des bekannten Grossrechnerprogrammes Ansys.

Das Modell enthält ca. 1100 Platten-Scheiben-kombinierte Elemente für Fahrbahnplatte, Widerlagerwände und Flügelmauern und an den Fahrbahnrändern 60 Trägerelemente mit Axialkraft für die exzentrisch angeschlossenen Randträger. Nach eigenen Untersuchungen von Fides Zürich ergibt dies ein Konvergieren von ca. 5-10% zu den theoretischen Werten.

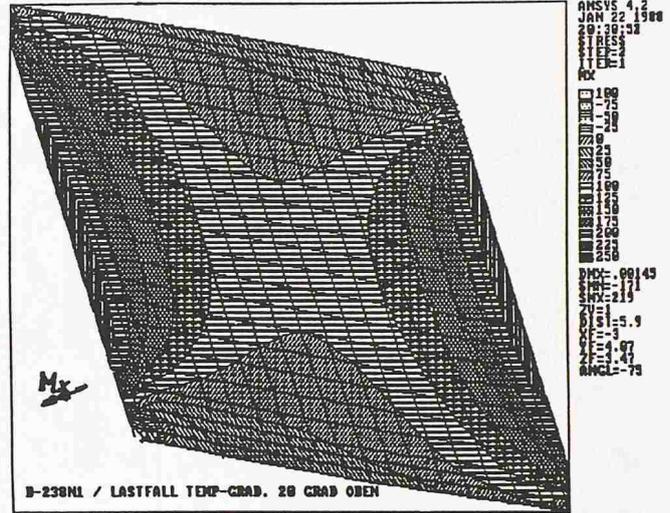
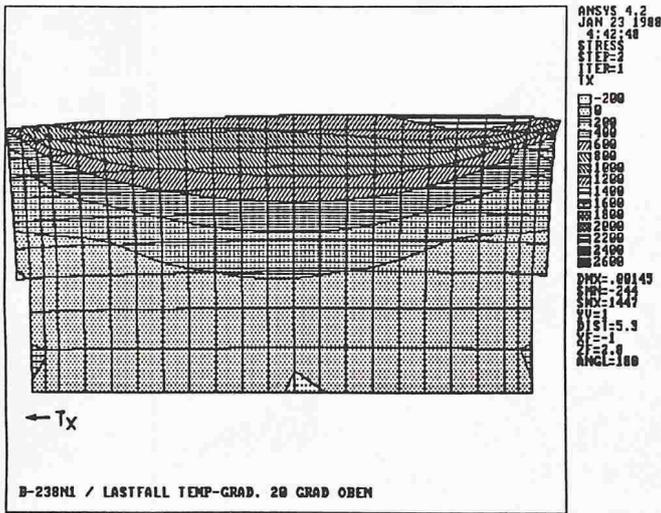


Bild 21. Ansicht Widerlagerwand: Axialkräfte horizontal kN/m Grundriss Fahrbahnplatte: Biegung M_x : kNm/m (ohne Randträger dargestellt)

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 ungefährer 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 Rissensicherung 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

