Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 94 (1976)

Heft: 31/32

Artikel: Die Leichtbetonbrücke Schaffhausen: Bauwerk Nr. 8, Nationalstrasse N4

Autor: Wehrli, Klaus

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73146

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

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

Die Leichtbetonbrücke Schaffhausen

Bauwerk Nr. 8, Nationalstrasse N4

Von **Klaus Wehrli**, Zürich

DK 624.21/87

Situation, Baugrund

Die Brücke trägt die stadtwärts über die neue T15 Schaffhausen–Thayngen–Singen geführten Spuren der N4 Bargen–Schaffhausen. Die beiden Strassenachsen kreuzen unter etwa 35° und mit den minimalen Höhenunterschieden eines Autobahnanschlusses. Dessen Geometrie hat sich selbstverständlich die Linie des Bauwerkes anzuschmiegen, welche daher in der Situation eine Wendeklothoide bildet, während Längs- und Querschnitte in stark unterschiedlichen Gefällen liegen. Zwischen den Radabweisern ist die Fahrbahn 7,5 m breit. Man hat mit Rücksicht auf die Verkehrssicherheit und die Übersichtlichkeit auf der unteren Ebene einen Pfeiler im Trennstreifen der T15 von Anfang an ausgeschlossen (Bild 1).

Das Baugelände lag auf heterogenen künstlichen Anschüttungen der letzten 15 Jahre. Ihre etwa 3 bis 5 m starke Oberflächenzone wurde im Zuge der Bauarbeiten N4 als Wechsellagerung von Lehm und Felsschotter aus Abträgen aufgeführt. In der Objektachse bilden sie von W nach E 8 bis 13 m unkonsolidierter Schichten, deren quantitativ unbekannte, grosse Setzungsfähigkeit zufolge der Bauwerklasten, besonders aber der Schüttung der Anschlussdämme im Entwurf zu berücksichtigen war. Tatsächlich beobachtete man dann im Gefolge der nachträglichen Schüttung der östlichen Auffahrt erhebliche Senkungen, welche nicht ohne Einfluss auf die Brücke blieben. Diese nebst der Situation schwierige Randbedingung konnte man durch die Wahl eines besonders flexiblen Tragsystems in ökonomischer Weise beantworten. Mit ihr war auch der Hauptgrund gegeben, der Bauherrschaft die Herstellung des Überbaus aus hochwertigem Leichtbeton vorzuschlagen.

Das Projekt

Das Brückensystem

Das Brückensystem verzichtet seiner Form nach für einmal auf den gewohnten rechtwinkligen Aufbau, ohne dadurch in komplizierte Gestaltung zu verfallen. Im Verhältnis der gespreizten Pfeiler zum räumlich leicht geschwungenen Überbau sind ökonomisches Kräftespiel und Flexibilität auch optisch nachfühlbar. Leider werden immer wieder Brücken gebaut, ohne dass man sich zum voraus über deren räumliche, von Standort zu Standort veränderliche Wirkung Klarheit verschafft hätte. Hier hat man mit eingehenden Perspektiv- und Modellstudien, welche schliesslich auch konstruktiv richtige Lösungen und Einzelheiten aufzeigten, keine Form und kein Verhältnis dem blossen technischen Zufall überlassen (Bild 2). Durch weitere, bis ins Einzelne sorgfältige formale Durchbildung hat man zu vermeiden versucht, dass die am Rande eines Siedlungsgebietes liegende Umgebung ausser den zusätzlichen Verkehrsbewegungen die Dauerbelastung eines «konfektioniert» technischen Bauwerkes erfahren müsse. In Konkurrenz etwa mit einem im Grundriss stark schiefen Portalrahmen oder einem über vertikale Säulen durchlaufenden Balken löst die Brücke ihre Aufgabe durch konsequentes Ausnützen der System- und Materialeigenschaften an dieser Stelle am wirtschaftlichsten. Die fortschrittlich bewegliche Haltung des ausführenden Unternehmers gegenüber nicht ganz alltäglichen, aber auch nicht besonders komplizierten Bauvorgängen führte zur qualitativ-technisch ausgezeichneten Verwirklichung eines Projektes, bei dessen Beginnen eine aufgeschlossene Einstellung der verantwortlichen Behörden mithalf. Statisch ist es ein dreifeldriger Rahmen ohne Gelenke ausser an

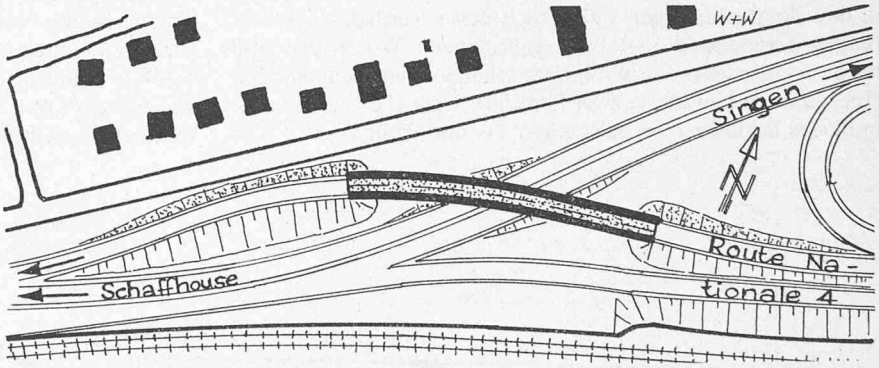
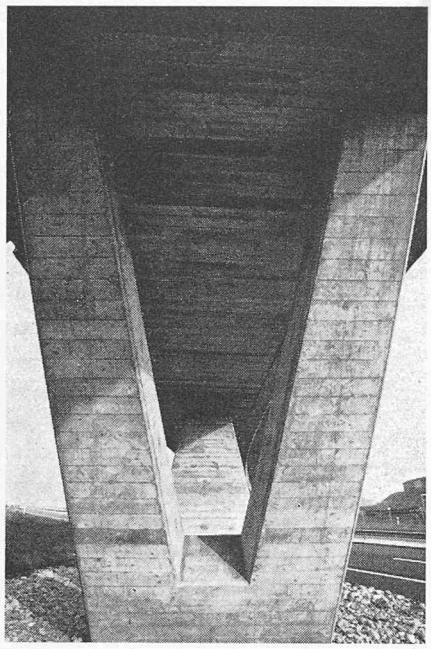


Bild 1. Situation, Übersichtsskizze

Bild 2. Ansicht der Brücke im Autobahnanschluss



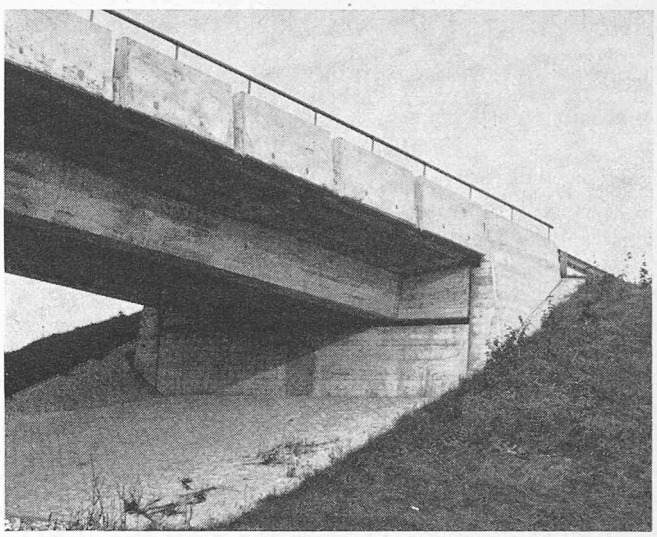


Bild 3 (links). Ansicht der originell gestalteten V-Pfeiler

Bild 4 (oben). Ansicht eines Widerlagers

den Enden. Es dürfte sich um die überhaupt erste nur teilweise vorgespannte Leichtbetonbrücke mit Hohlkasten- und Trägerquerschnitten handeln.

Pfeiler und Widerlager

Die beiden V-förmig aufgelösten Zwischenpfeiler sind in den Pfahlbanketten ihrer Fundationen eingespannt. Dank Verjüngung der inneren Stiele gelingt die schiefe Überbrückung des Lichtraumprofiles T15 mit dem möglichen Minimum an freier Überbauspannweite – in unserem Falle 43,6 m. Die Spreizung der Aussenstiele im Quersinne erbringt die erwünschte Torsionseinspannung der Fahrbahn und ausserdem eine formal originelle Gesamtwirkung des Pfeilers (Bild 3). Die in den Zufahrtsdämmen auf örtlich besser verdichtete Schüttungen hochliegend und flach gegründeten Widerlager sind bei konventioneller Form minimal gehalten. Selbstverständlich ergeben auch hier die je zwei Punktgleitlager die Endeinspannung des flexiblen Überbaus gegen Torsion (Bild 4).

Das statische System des Leichtbetonrahmens

Der Rahmen verhält sich derart, dass sein Leichtbetonüberbau etwa nach der Art eines über fünf Felder von 23,7, 12,0, 43,6, 12,0 und 23,7 m durchlaufenden Balkens arbeitet, während er tatsächlich nur in vier Punkten mit gegenseitigen Abständen von 29,6, 55,8 und 29,6 m fundiert ist (Bild 5). Das System wurde hier – abgesehen von der räumlichen Krümmung des Überbaus – in symmetrischer Form realisiert. Selbstverständlich könnte man seinen Längsaufbau auch bis zu einem gewissen Grad asymmetrisch bilden. Seine günstige Wirkungsweise geht u.a. daraus hervor, dass man im Überbau trotz der verhältnismässig grossen Mittelspannweite und einschränkenden Randbedingungen nur 0,56 m^3/m^2 Beton mit einem durchschnittlichen Armierungsgehalt von 174 kg/m^3 einschl. Vorspannung und 153 kg/m^3 ohne Vorspannung einbrachte. Schliesslich schöpfte man die volle Tragwerkökonomie dadurch aus, dass man den gesamten Überbau aus hochwertigem Leichtbeton P 350 BS herstellte. Insofern unter-

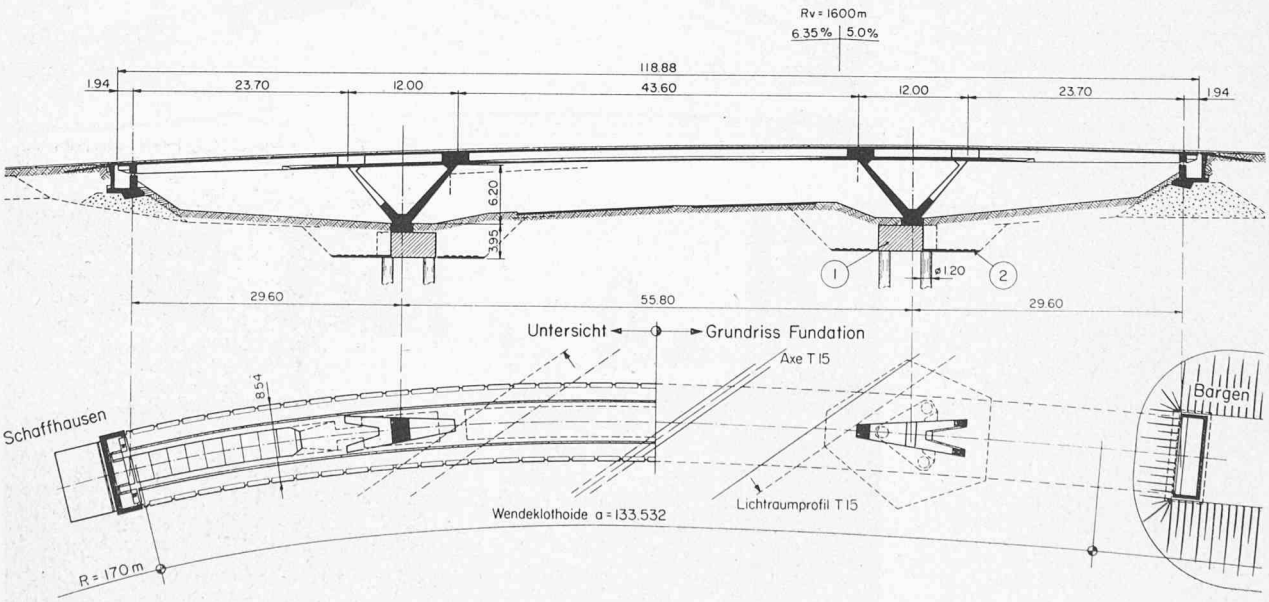


Bild 5. Längsschnitt und Grundriss: 1 Pfahlbankett, 2 Reibungs-Verankerungsplatte

Tabelle 1. Extremwerte der Spannungen im Überbau (kg/cm²)

	oberer Rand	unterer Rand
Mitte Randfeld	$\sigma_{o\,min} = -42{,}5$	$\sigma_{n\,max} = +10{,}5$
Innenpfeiler	$\sigma_{o\,max} = +45{,}4$	$\sigma_{n\,min} = -101{,}1$
Brückenmitte	$\sigma_{o\,min} = -91{,}5$	$\sigma_{n\,min} = +10{,}1$
Grösste Schubspannung (Mittelfeld)	$\tau_{max} = 24{,}7$	

scheidet sich die Konstruktion von den meisten Leichtbetonbrücken mittlerer und grosser Spannweite des europäischen Auslandes – Deutschland, Holland [1], Frankreich – wo in der Regel nur die mittleren Bereiche der grossen Öffnungen leicht gehalten wurden. In unserem Falle hätte eine solche Disposition Einbussen an den gegenüber der Vergleichslösung aus Beton erzielten Ersparnissen in Gerüsten und Fundation gebracht. Und sie sind wichtig, wie weiter unten gezeigt wird. Bei richtiger und sorgfältiger konstruktiver Ausbildung von End- und Zwischenverankerungen der Vorspannung kann man nach den hier und an anderen Objekten gemachten Erfahrungen auch diese örtlich hoch beanspruchten Teile bedenkenlos in Leichtbeton mit über 350 bis 450 kg/cm² Nennfestigkeit herstellen. Abgesehen von der beabsichtigten Flexibilität des Tragwerkes wird eine gemischte Bauweise dessen statisches Verhalten kaum entscheidend beeinflussen. Wie *H. Bachmann* und *R. Dieterle* [2] am vorliegenden Beispiel zeigten, weisen Leichtbetonstrukturen kein wesentlich anderes dynamisches Verhalten auf als analoge Betonstrukturen. Aus diesen Gründen und Erfahrungen heraus neigt der Verfasser zur Ansicht, dass die hier ausgeführte reine Bauweise normalerweise der erwähnten «Mischbauweise» technisch und ökonomisch überlegen sei. Das mittlere Raumgewicht des Überbaubetons betrug 1800 kg/cm² und verminderte also die ständige Last um 28%. Durch konsequente Materialausnützung und die um 22% geringere Vorspannung entstanden etwa auch an die 10% kleinere tragende Querschnittflächen im Vergleich zum analogen Betonprojekt.

Die Mittelspannweite von 56 m des Dreifeldrahmens werden samt den Stützenbereichen mit einem Hohlkasten von nur 1,50 m Höhe überbrückt, aus der man das beträchtliche Schlankheitsverhältnis 1:37 berechnet (Bild 6). Für die 30 m langen Randfelder hat man offene π- Querschnitte mit gegen die Widerlager linear abnehmender Höhe gewählt, um dadurch die Biege- und Torsionsflexibilität wirksam zu vergrössern (Bild 7). Auf diese Weise wurde die Brücke im erwünschten Rahmen unempfindlich gegen differentielle Widerlagersetzungen.

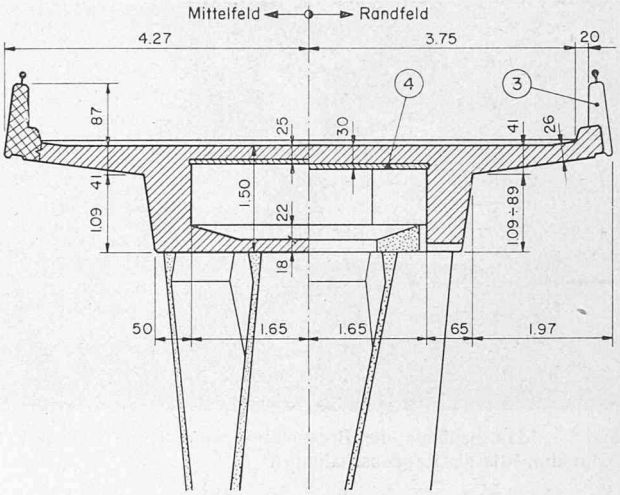


Bild 6. Querschnitte. Links: Mittelfeld, rechts: Randfeld. 3 Brüstungselement, Ansicht im Zwischenraum; 4 Betonbrett

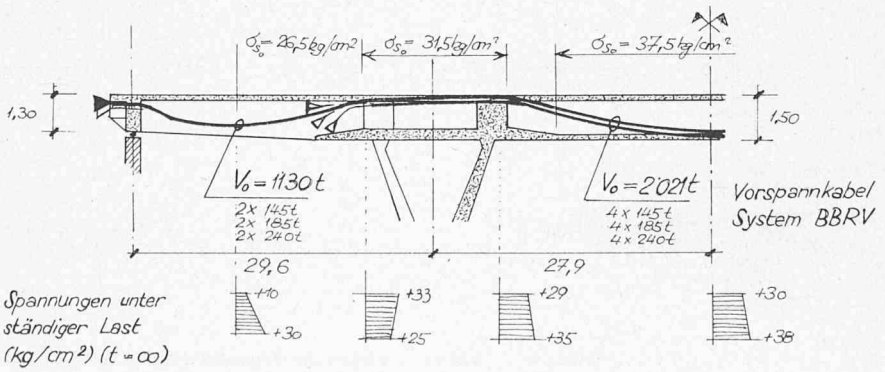
Statische Berechnung, Schema der Vorspannung

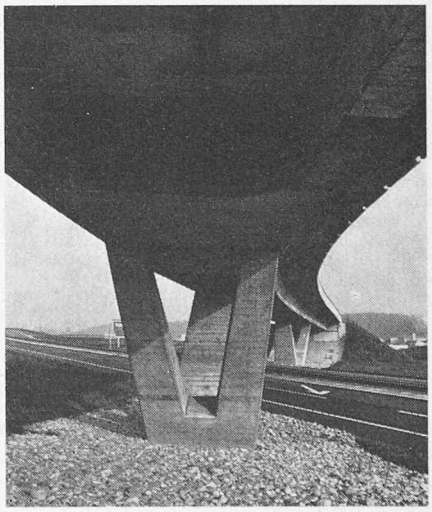
Da zur Zeit der einschlägigen Projektierung und Berechnung die Richtlinie SIA Nr. 33 [3] noch nicht vorlag, stützte man sich auch hinsichtlich Materialtechnologie ausser auf eigene Erfahrungen [4] auf einschlägige Dokumentationen [5], und auf die Forschungsarbeiten von *Krauss, Heimgartner* und *Bachmann* [6, 7].

Als statisches Modell wählte man einen räumlich gekrümmten Rahmen. Selbstverständlich hat man ausser den normengemässen Lasten alle Fälle zwängungserzeugender Wirkungen – Schwinden, Kriechen, gleichmässige und ungleichmässige Temperaturänderungen, unterschiedliche Betonarten im gleichen Querschnitt – in die Berechnungen und Spannungsnachweise eingeführt. Die Grösse und Führung der Kabel im Überbau wurde so gewählt, dass bei teilweiser Vorspannung ein ausgeglichenes Spannungsbild entstand (Bild 8). Die den Vorspanngrad charakterisierenden Fliesskraftverhältnisse berechnet man zu $\lambda = 0{,}83$ bis 0,86 [6]. Die End- und Zwischenverankerungen der Kabel hat man so angeordnet, dass ihr Querschnitt im Bereich von Pfeilern und Mittelfeld gegenüber den Randfeldern doppelt misst und erzielte dadurch zentrisch gerechnete Initialvorspannungen von 37,5 bzw. 26,5 kg/cm². Dies sind angesichts der Schlankheit beachtlich niedrige Werte. Während man in den Pfeilern eine höchste Druckspannung von 140 kg/cm² ermittelte, ergaben sich am Überbau die Spannungsextrema (kg/cm²) nach

Bild 7 (unten). Spannungen unter ständiger Last; Schema der Vorspannung

Bild 8 (rechts). Untersicht der Brücke mit den Träger- und Hohlkastenquerschnitten. Zwischen den Trägern im Randfeld sieht man die Betonbretter der Fahrbahnplatte





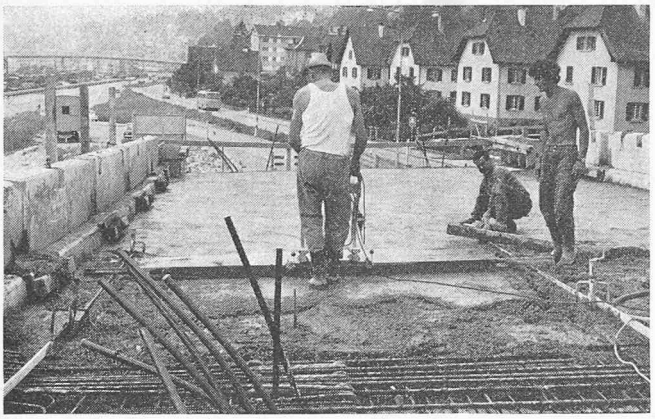


Bild 9. Man benützte die Brüstungselemente beim Betonieren der Fahrbahnplatte als Randabschalungen

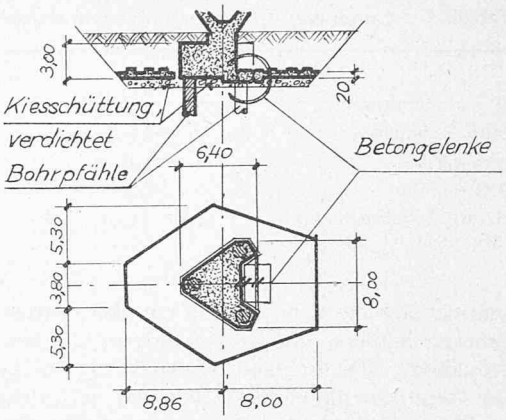


Bild 10. Pfahlbankett und Reibungs-Verankerungsplatte

Tabelle 1. Wenn man $E = 190\,000$ kg/cm² zugrundelegte, erhielt man als grösste theoretische Durchbiegung unter Nutzlast 25 mm oder 1:2250.

Die Fundationen

Grosse Schlankheit und dadurch vergleichsweise Flexibilität des Systems ist ein Merkmal gut konzipierter Leichtbetonstrukturen. Es ist richtig, diese Flexibilität in der Anordnung der Fundationen durch Berücksichtigen eines vorsichtig kalkulierten Setzungsverhaltens auszunützen. Dabei fällt ins Gewicht, dass der Baustoff Leichtbeton auf Grund seiner Elastizitäts- und Kriecheigenschaften im Vergleich mit hochwertigem Normalbeton bei gleichen Beanspruchungen im praktisch in Frage kommenden Altersbereich 26 bis 40% grössere Setzungsbewegungen zulässt. Allfällig notwendige Korrekturbewegungen von Auflagern dürfen mit zunehmendem Abklingen des Kriechvermögens um 30 bis 65% grösser werden. Indem man diese günstigen Eigenschaften ausnützte, beschränkte man die setzungsfreien Pfahlfundationen auf die V-Pfeiler, während die Widerlager in den Dämmen flach aufliegen. Die ökonomischen Vorteile dieses Verfahrens sind offenkundig. Beide Pfeiler gründen auf je rund 18 m langen Bohrpfählen System Benoto von 120 cm Durchmesser, welche je ein im Grundriss dreieckiges Bankett tragen. Mit einer neuen und wirtschaftlichen Methode werden die Horizontalreaktionen aus dem Rahmen aufgenommen. Anstelle von teuren und technisch ungünstigen Zugbändern, hat man jedes der Pfahlbankette mit einer für die örtlichen Verhältnisse optimal geformten Reibungs-Verankerungsplatte versehen, welche die von —200 bis +400 t variierenden Kämpferkräfte auf den Baugrund überträgt. Durch entsprechende Anordnung einfacher Betongelenke können sie ihre Funktion unabhängig von Setzungen ausüben (Bild 9).

Die Überbauquerschnitte

Man hat alle Bauteile technisch und ästhetisch sorgfältig geformt. Trotz Gleitkupplungen und Zwischenverankerungen der Vorspannung hielt man die Hauptelemente der Querschnittsform konstant; sie folgt durch Rotation um die Strassenachse den variablen Quergefällen (Bild 6). Man konnte daher die gleichen Schalungen zweimal verwenden. Die Untersicht der Fahrbahnplatte besteht zwischen den Trägern aus vorfabrizierten Normalbetonbrettern System *Prelam*. Deren Spannbettvorspannung hat man so ausgelegt, dass das Brett im Bereich der Gebrauchsspannungen den zugfesten Hauptarmierungsteil der Platte bildet.

Neu war das Konstruktionsprinzip der Leitplankenbrüstungen. Man versetzte die auf der Baustelle vorfabrizierten Leichtbetonelemente mit dem Baukran wie eine Randabschalung in den Schalungsrand der Konsole. Die so erreichte monolithische Verbindung mit dem Brückenquerschnitt ergab in der theoretischen Untersuchung einen willkommenen Verteileffekt für die massgebende Radlastwirkung (Bild 10). Aus den Messergebnissen des Belastungsversuches ging deutlich hervor, dass die monolithisch verbundenen Brüstungen auch die Längssteifigkeit des Rahmens ihrer vollen Querschnitts-

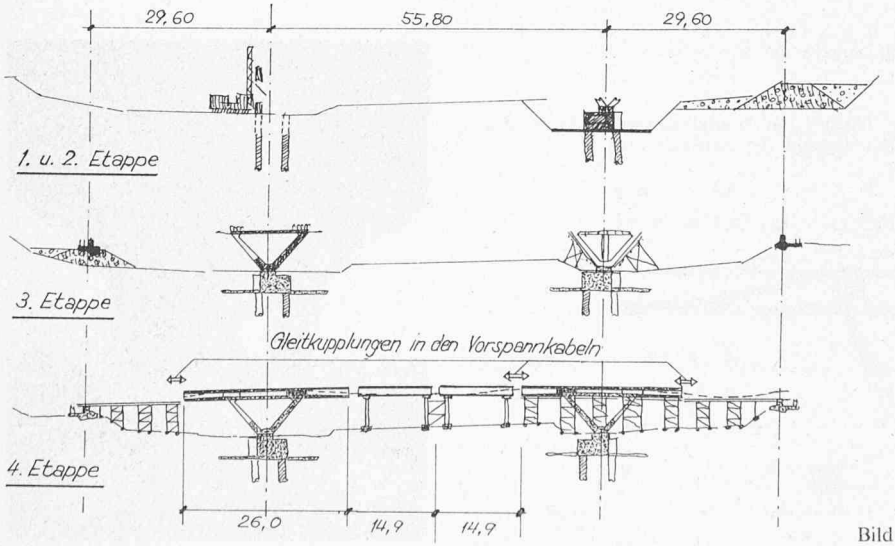


Bild 11. Schema der Bauausführung in vier Etappen

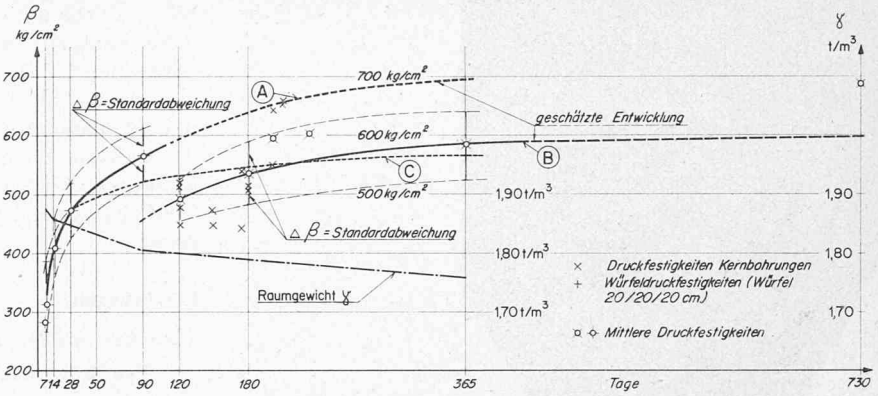


Bild 12. Entwicklung der Druckfestigkeiten und Raumgewichte in Funktion der Zeit für den Leichtbeton P 350 LBS. Kurve A: Würfeldruckfestigkeit LBS; Kurve B: Druckfestigkeiten Kernbohrungen; Kurve C: Normale Festigkeitsentwicklung βw eines Betons P 325 BS

fläche entsprechend erhöhen, und zwar trotz den Elementzwischenräumen von 30 cm. Mit ihnen vermied man die bekannten Schwierigkeiten infolge von Toleranzfehlern wie auch korrosionstechnisch fragwürdige Fugenausbildungen; sie treten zudem am Bauwerk angenehm in Erscheinung (Bild 2).

Bauausführung, verwendete Materialien

Bauausführung

Man baute die Brücke in den vier Etappen gemäss Bild 11: 1. Pfählung; 2. Pfahlbankette mit Reibungs-Verankerungsplatten, Fundationsbereich der Zufahrtsdämme; 3. V-Pfeiler samt unterer Platte des Überbaus im Pfeilerbereich, Widerlager; 4. Überbau in fünf Teilen auf leichten Rohrgerüsten System PAL.

In diesem Bauvorgang hat man die Spannglieder System BBRV mit Hilfe von gleitenden Kupplungen an drei Stellen eingelegt und erst nach dem Zubetonieren der Arbeitsöffnungen von den Brückenenden aus gespannt. Ein grosser Teil der Lehrgerüste konnte zweimal eingesetzt werden. Während der tischförmige Abschnitt von 26 m Länge über dem Pfeiler sich im nicht vorgespannten Bauzustand dank dem geringen Eigengewicht ohne Zusatzarmierung selbst trug, sah man unter den Mittelfeldabschnitten besondere Gerüstjoche vor, welche ebenfalls unter Ausnützung der genügenden Tragfähigkeit der noch nicht vorgespannten Teile den Lehrgerüstausbau und im Falle von Untergrundsetzungen die Höhenregulierung erlaubten.

Die Überbauquerschnitte hat man in zwei Phasen mit max. 20 Tagen Zeitdifferenz betoniert – Trog, Platte – und beschränkte dadurch die Leistungen je Betonierung auf 80 bis 100 m³. Es ergab sich so für den kleinen Personalbestand von 6 bis 10 Mann und mit einem mittleren Baukran zusammen mit der Brüstungsfabrikation ein gleichmässiger Arbeitsablauf während der 11 Monate effektiver Bauzeit. Wie bereits erwähnt, konnten grosse Teile der Pfeiler- und Überbauschalungen zweimal verwendet werden.

Der verwendete Leichtbeton

Es ist erfahrungsgemäss richtig, vor dem Einsatze von konstruktivem Leichtbeton Vorversuche durchzuführen. Kornform und Oberflächenbeschaffenheit der Leichtzuschlagstoffe erfordern eine geeignete Wahl der Sandkomponenten ⌀ 0 bis 1 mm oder 0 bis 3 mm hinsichtlich einer guten Verarbeitbarkeit des Betongemisches. Im Falle der Herstellung hochqualifizierter Bauteile oder Tragwerke, welche die Betonqualität BS verlangen, sind solche Versuche ja auch für Beton zu empfehlen bzw. gemäss Norm SIA 162 vorgeschrieben. Hier wurde als Leichtgranulat Leca-hd verwendet. Eigene Erfahrungen wie auch die in der einschlägigen Literatur möglichen Vergleiche [4, 5, 8, 9] zeigten, dass es sich dabei um eines der Leichtgranulate handelt, welche für die Herstellung hochfester Leichtbetone mit von den besten technologischen Eigenschaften haben. Die am Bauwerk erzielten Ergebnisse bestätigten diese Annahme. Wirtschaftliche Vergleiche waren entsprechend der schweizerischen Marktlage nicht möglich.

Auf Grund der Vorberechnung denkbarer Gemische hat man zusammen mit der EMPA und dem Unternehmer einfache praktische Versuche ausgeführt, die bei den verfügbaren Sanden als optimale Zusammensetzung Sand 0 bis 3 mm, Leichtgranulat Leca-hd in den Fraktionen 3 bis 8 mm und 8 bis 15 mm sowie eine Dosierung von 350 kg/m³ normalen Portlandzementes ergaben. Mit dieser Komposition hat man dann im Horizontalzwangsmischer einer Betonfabrik ohne jedes Zusatzmittel einen durch genügenden Wasserzusatz ziemlich stark plastischen Transportbeton hergestellt (vgl. Bild 10). Nach leichter Vornässung im Silo erlaubte das verwendete Leichtgranulat ein «flüssiges» und daher in den Schalungen des Brückenüberbaues sehr gut verarbeitbares Gemisch, weil es offenbar in der Lage ist, anfänglich überschüssiges Anmachwasser im richtigen Masse aufzusaugen und anschliessend dem Abbindeprozess des Mörtelagregates schrittweise wieder abzugeben bzw. in die Atmosphäre diffundieren zu lassen. Der Verfasser ist der Meinung, dass in diesem «Wasserhaushalt» die Hauptursache der beobachteten, über etwa zwei Jahre dauernden Festigkeitsentwicklung des Leichtbetons zu suchen ist, die in Bild 12 dargestellt wurde und Werte erreichte, welche deutlich über denen eines analogen Betons liegen. Es sei hier darauf hingewiesen, dass die Hauptursache der Leichtbetonfestigkeit in der das Granulat richtig umhüllenden Mörtelmatrix liegen muss [10]. Das Diagramm stellt die Auswertung nach den Mittelwerten βm und den Standardabweichungen $\Delta\beta$ von gesamt 93 Würfeln und 36 Bohrkernproben von 5 cm Durchmesser dar, welche laufend an der EMPA geprüft wurden. Diese Auswertung zeigte deutlich, dass es sich empfiehlt, die Leichtbetonqualität bei der Verarbeitung im Objekt laufend zu überwachen. Vernachlässigt man etwa die schlechteren Werte einzelner bekannter Stellen im Bauwerk, so verbessern sich die Standardabweichungen von rund 46 bis 55 kg/cm² z.B. auf die guten Werte von 33 bis 43 kg/cm². Wirklich ungenügende Betonqualitäten hat man in keinem Falle ermittelt.

Im Graphikon des Bildes 12 fällt die Differenz um rund 100 kg/cm² zwischen den Kurven der Würfeldruckfestigkeiten und der Zylinderdruckfestigkeiten von Bohrkernen ⌀ 5 cm auf, welche auf Grund der Erfahrungen der EMPA an Betonproben nicht zu erwarten waren. Ob ein prinzipieller Unterschied zwischen den Würfeln und dem Leichtbeton im Bauwerk oder zwischen den beiden Arten von Probekörpern vorliegt, konnte hier nicht festgestellt werden. Immerhin sei darauf hingewiesen, dass die Bohrkernproben trotz kleinerer Anzahl grössere Standardabweichungen aufwiesen. Einen Hinweis verdient noch die Entwicklung der mittleren Raumgewichte γm, welche im gleichen Rahmen wie die Festigkeiten ermittelt

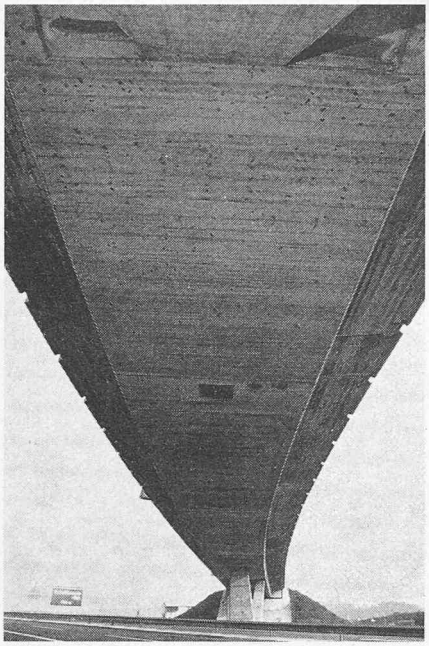


Bild 13. Die elegante Untersicht des schlanken Brückentragwerkes

wurden (Bild 12). Bis zum Alter von 28 Tagen stellte man fest, dass sie in der kalten Jahreszeit etwas über denen bei wärmerer Witterung liegen können.

Wie schon an anderen Objekten [4] zeigte das Leca-hd-Gemisch auch bei übermässiger Vibrationsdauer kaum eine Entmischungstendenz. Aus dieser Eigenschaft können sich ökonomische und konstruktive Vorteile ergeben. Man hat bei Aussentemperaturen von 15 bis 20 °C beobachtet, dass das Gemisch in der Schalung bis zu rund 3 Stunden einwandfrei vibrierbar blieb; der anschliessende Erhärtungsprozess dürfte dann ziemlich rasch vorgegangen sein. Durch Abziehen mit einem leichten Vibrierbalken hat man eine einwandfrei regelmässige Oberfläche der Fahrbahnplatte erzielt (Bild 10), welche ohne weiteres zur Aufnahme der Isolation in Form einer bituminösen Folie geeignet war. Die vollkommen regelmässigen Sichtflächen des Leichtbetonüberbaus unterscheiden sich in nichts vom Beton der Pfeiler (Bild 7).

Es sei hier festgehalten, dass der verwendete Leichtbeton eine dem normalen Beton merklich überlegene Korrosionsresistenz besonders hinsichtlich Frostwirkungen aufweist [5] und daraus ein vorteilhaftes Langzeitverhalten des Bauwerkes zu erwarten ist. Jedenfalls hat man am Neubau und bis heute keinerlei Rissebildungen an den Betonoberflächen festgestellt, und zwar auch nicht im Kontaktbereich zwischen Teilen unterschiedlichen Alters oder auf der Oberfläche der auf vorfabrizierte Platten gegossenen Fahrbahn.

Belastungsversuch

In Belastungsversuchen, die in [11] und [2] eingehender dargestellt sind, wurde das statische und dynamische Verhalten gemessen und anschliessend mit den theoretischen Werten verglichen. Im Rahmen dieser Versuche hat die EMPA vom ganzen Überbau eine systematische Serie Bohrkerne von 5 cm Durchmesser entnommen und hinsichtlich Elastizitäts- und Verformungsmodul an 29 Proben gemessen. Daraus ergab sich ein wahrscheinlich relevanter Wert $E = 207000$ kg/cm². Man erhielt mit ihm aus der statischen Berechnung die gemessenen Durchbiegungen, wenn man den Brückenquerschnitt samt den Brüstungen einsetzte. Die Fahrversuche mit Hilfe eines zwischen 5 und 60 km/h rollenden 30-t-Lastwagens ergaben Stosszuschläge von 34 % ohne und 156 % mit Hindernis auf der Fahrbahn, welche mit den Erwartungen gut übereinstimmten. Die dabei ermittelte erste Eigenfrequenz beträgt 2,5 Hz und die Dämpfung 0,085. Aus der guten Übereinstimmung zwischen den mit der Schwingungsmaschine erregten Eigenfrequenzen und den theoretisch berechneten Werten geht u.a. hervor, dass das statische Modell der für Bemessung und Spannungsnachweise ausgeführten Berechnungen wie auch die Annahmen über Elastizitätsmoduli und das Verhalten der Fundationen richtig waren.

Erfahrungen

Verhalten des Tragwerkes

Die Brücke wurde 1972/73 gebaut und Ende Oktober 1973 unter Verkehr genommen. Seither arbeitet sie bei normalen Belastungsfrequenzen vollkommen den Erwartungen entsprechend. Man konnte an der Betonstruktur keinerlei unangenehmes oder ausserordentliches Verhalten beobachten. Interessant für die Wirkungsweise des Leichtbetontragwerkes ist die Tatsache, dass man im Herbst 1974 am östlichen Widerlager erhebliche Setzungen feststellte. Sie waren eine Folge der späten Dammschüttungen auf den setzungsfähigen Untergrund und erreichten im Frühjahr 1975 5,5 cm. Damit waren einerseits die 5 cm überschritten, welche man bei der Bemessung der Brücke einführte, anderseits jedoch waren noch keinerlei Rissebildungen festzustellen. Das Leichtbetontragwerk stellte also die erwartete hohe Flexibilität unter Beweis. Durch Nachstellen der dafür konstruierten Lager um 2,5 cm – d.i. der geschätzte elastische Teil der Gesamtdeformation – brachte man die Brücke in ihren normalen Spannungszustand zurück.

Kostenrelationen

Durch ziemlich eingehende Berechnungen wurde versucht, die Kosten der ausgeführten Leichtbetonstruktur mit jenen einer analogen Brücke aus Beton zu vergleichen. Die Differenz beträgt im Minimum 4,1 % zugunsten der Leichtbetonbrücke und bezogen auf die Betonbrücke. Setzt man in Rechnung, dass die Widerlager der Betonbrücke entsprechend den oben erwähnten Setzungen ebenfalls hätten mit Pfählen gegründet werden müssen, erhöht sich diese Differenz auf rund 8 %. Diese Verhältnisse hängen selbstverständlich in erster Linie vom momentanen Preis des Leichtgranulates ab, welches hier die Betonkosten je eingebrachten m³ Leichtbeton um 41,5 % erhöhten. Einerseits würde also ein preisgünstiges Leichtgranulat die hervorragenden technischen und die ökonomischen Möglichkeiten dieses Materials bedeutend vergrössern. Anderseits würden sicher geringere Granulatspreise dadurch entstehen, dass die massgebenden Bauherrschaften die ziemlich zahlreichen typischen Anwendungsfälle erkennten, wobei ein absolut gerechnet nicht unbeträchtlicher Teil der gesamthaft anfallenden Tragwerkskosten in interessanter Weise verkleinert würde. Im wesentlichen lagen die Einsparungen für unseren Fall an den Fundationen und den schlaffen und vorgespannten Überbauarmierungen, z. T. auch an den Lehrgerüsten.

Schlussbemerkung

Die für einen Autobahnanschluss entwickelte schlanke Tragstruktur zeichnet sich durch gute Wirtschaftlichkeit aus. Einige wesentliche Erfahrungen mit konstruktivem Leichtbeton werden mitgeteilt. Durch äusserst sorgfältige und konsequente Formgebung aller Konstruktionsteile hat man versucht, den auf die Dauer bedeutsamen Forderungen nach hoher Korrosionsresistenz und vor allem auch ästhetisch-formal guter Erscheinung zu genügen (Bild 13). Die Anwendung des hochwertigen Leichtbetons gab der Brücke eine überdurchschnittliche technische Qualität und erbrachte gegenüber einer ähnlichen Brücke aus Beton sicher über 4 % liegende Kosteneinsparungen.

Literaturverzeichnis

[1] Cembureau, der Europäische Zementverband: Leichtbeton im Hoch- und Ingenieurbau, Paris 1974.

[2] *Bachmann, Dieterle:* Versuche und Berechnungen zum dynamischen Verhalten einer Leichtbetonbrücke und einer analogen Betonbrücke, «Schweiz. Bauzeitung» *94* (1976), H. 28/29, S. 419–426.

[3] Richtlinie Nr. 33 zu Norm SIA 162: Leichtbeton, Zürich 1974.

[4] *K. Wehrli:* Vorfabrizierte Leichtspannbetonträger in monolithischen Hallendächern, Industrielles Bauen, «Bulletin FIB» 45, Juni 1974.

[5] Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Untersuchungsbericht Nr. 68 398/3, wissenschaftliche Untersuchung, betontechnologische Eigenschaften von Leca-hd-Beton, Dübendorf 1971.

[6] *Krauss, Bachmann:* Biege- und Schubversuche an teilweise vorgespannten Leichtbetonbalken, Bericht Nr. 6504–4 des Inst. für Baustatik ETH Zürich, 1971.

[7] *Heimgartner, Krauss, Bachmann:* Langzeitversuche an teilweise vorgespannten Leichtbetonbalken, Bericht Nr. 6504–5 des Inst. für Baustatik ETH Zürich, 1972.

[8] *Karl Weigler:* Stahlleichtbeton, Wiesbaden und Berlin 1972.

[9] Association Française du Béton, Granulats Légers pour Béton de Structure, Fiches d'Information, Edition 1975.

[10] *K. D. Schmidt-Hurtienne:* Druckfestigkeit von Leichtbeton, Schriftenreihe der Institute für Konstruktiven Ingenieurbau der TU Braunschweig, Heft 4, Düsseldorf 1972.

[11] *S. Balás:* Die Leichtbetonbrücke Schaffhausen, Belastungs- und Schwingversuche, «Schweiz. Bauzeitung» *94* (1976), H. 28/29, S. 426.

Adresse des Verfassers: *Klaus Wehrli,* Teilhaber in Firma Wehrli & Weimer, dipl. Bauingenieur ETH/SIA/ASIC, Grünhaldenstrasse 6, 8050 Zürich.

Zürcher Inventar

Gründerbild einer Stadt[1])

DK 72.03

Ein erstaunliches, ein erfolgreiches Buch! Die Nostalgiewelle, die den seit mehr als fünfzig Jahren in die Hölle verdammten Jugendstil rehabilitiert hat, überflutet alle Dämme und bringt jetzt sogar die Formenwelt der «Gründerjahre» zu neuen Ehren, die der Jugendstil seinerseits als «Kitsch» verdammt hatte. Vieles ist wirklich gar nicht so schlecht, wie wir uns das jahrzehntelang eingeredet haben, wahrscheinlich findet zwar niemand diese schwülstige figurage Ornamentik der siebziger Jahre und des Jahrhundertanfangs wirklich «schön» – allenfalls rührend –, aber diese Köpfe und Figuren «sprechen den Betrachter an», und selbst wenn dieser «Kitsch» antworten sollte, so wäre dies immer noch das menschlichere Zwiegespräch als die tödlich stumme absolute Leere der modernen Durchschnittsbauten, wie sie in allen fünf Erdteilen in Stadt und Land ins Kraut schiessen. Umstellt, bedrängt von einer blinden, hülsenhaften Architektur ist man heute schon dankbar, wenn ein Gebäude nur überhaupt ein Gesicht hat – und wäre es ein hässliches.

Abgesehen von schön oder hässlich – diese Verzierungen haben etwas Generöses. Bauherr und Architekt wollen ihren Mitbürgern etwas bieten, ersterer hat sich das etwas kosten lassen – und Publicity, Geltungsbedürfnis bis Protzerei verstehen sich von selbst und sind in den allermodernsten Bauten nicht weniger enthalten –, oder will jemand das Gegenteil behaupten?

Das meiste ist «Bundesrenaissance», üppig wuchernder, renaissancistisch-barocker Spätklassizismus, während Sempers Polytechnikum 1860–64 und Wanners Bahnhof 1865–71 und Kreditanstalt 1873–75 noch eine schöne, spröde Strenge haben. Wenig eigentlicher Jugendstil – das allein Qualitätsvolle ist in die renaissancistische Villa Tobler nachträglich eingebaut. Die Fassaden von Chiodera und Tschudi am Bleicherweg (1893–1906) mit Wandgemälden im ungefähren Stil von Mucha sind keineswegs «Jugendstil reiner Form» und «von überregionalem Rang» – hier muss man dem sonst guten und nicht unkritischen Kommentar widersprechen –, sondern plumpe Missgebilde, die in München oder einer anderen Stadt mit echtem Jugendstil niemals als solcher ernstgenommen worden wären. Dann gibt es z. B. an der Universität und am «Du Pont» ornamentale Reliefs wie aus einem Teigmodel gepresst, sozusagen «Tirggel-Stil» oder – am «alten» Krematorium (1913–15) – neudeutsches Pathos im Stil der Bismarck-Denkmäler, in dem der Architekt den billigen Triumph erntet, die ohnehin bedrückten Leidtragenden mit drohenden Sphinxen, assyrischen Flügelgreifen, Alleen gelagerter Löwen und klotziger Monumentalität noch seinerseits zu zermalmen. Dazu Flambeaux zu seiten des Sarges, die bei dessen orgelumseufztem Verschwinden durch Einschalten von Widerständen erst in Rotglut übergingen und dann allmählich erloschen – ein schon lang ausser Betrieb gesetzter Hokuspokus.

Weit bedeutender und trotz seinem überbordenden Ornament moderner als erstes grosses Geschäftshaus und erster Stahlskelett- und Glasbau nach amerikanischem Vorbild das Haus «Metropol», schon 1894–95 erbaut von dem erstaunlichen Heinrich Ernst als Bauherr und Architekt zugleich – verwandt hinsichtlich seiner fröhlich-verwilderten

Stark verkleinerte Wiedergabe der Bildtafel S. 32: Miethäuser an der Sihlfeldstrasse 49—63. Haus Nr. 49, erbaut 1893: «Geballte Absurdität»

[1]) 100 Bauten und Stätten aus Zürichs jüngster Vergangenheit, die das Bild dieser Stadt prägen und für ihre Bewohner, Besucher und kommenden Generationen erhalten bleiben sollten. 270 S., 27×21,5 cm; Idee, Konzeption und Texte von *Werner Müller,* dipl. Arch.; Artemis-Verlag, Zürich 1975.