Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 22 (1975)

Rubrik: Theme III: Maintenance and flexibility of use

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: 04.02.2026

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

III

Instandhaltung und Flexibilität der Nutzung von Industriebauten – Allgemeinbericht

Maintenance and Flexibility of Use of Industry Buildings – General Report

Entretien et souplesse de l'utilisation des bâtiments industriels – Rapport Général

A. SCHINDLER
Prof. Ing. Dr. sc.
Technische Universität Praha
Praha/CSSR

In meinem Einführungsbericht habe ich mich bewußt bemüht, aus der gesamten Problematik der Instandhaltung und Flexibilität der Nutzung beliebiger Baukonstruktionen besonders auf ökonomische Aspekte näher einzugehen. In der modernen Gesellschaft ist der ökonomische Nutzen, der auf den Errungenschaften der Wissenschaft und Technik basiert, der Hauptfaktor der wirtschaftlichen Entwicklung.

Diese Betrachtungen mußten auf einer ziemlichen allgemeinen Ebene bleiben und sind somit nicht nur für Industriebauten, sondern auch für fast beliebige Baukonstruktionen zutreffend und gültig. Siese allgemeine Auffassung hat den Vorteil, daß es nicht nötig ist, sie nach zwei Jahren sachlich zu vervollständigen.

Alle sieben zu diesem Thema eingegangenen und im Vorbericht erschienenen Beiträge befassen sich mit den ökonomischen Aspekten einzelner Probleme des Stahlbaues und schneiden einige weitere Teilprobleme an.

Mit dem Einfluß des Zeitfaktors befaßt sich Faltus (CSSR). Er macht darauf aufmerksam, daß der gesamte Zeitraum, der vom Entschluß zum Bauen bis zur schlüsselfertigen Inbetriebnahme vergeht, von großer ökonomischer Wichtigkeit ist. Je kürzer dieser ist, desto früher bringen die investierten Mittel einen Nutzen. In diesem Zusammenhang betont Faltus, daß der ökonomische Vorteil der Vorfabrikation, die einen schnellen Ausbau der tragenden Konstruktion ermöglicht, weitgehend verloren geht, wenn die Komplettierung des Baues nicht auch dementsprechend schnell vor sich geht.

Die Korrosion von Stahlkonstruktionen aller Art (Bauwerke, technologische Einrichtungen, Maschinen, Fahrzeuge usw.) verursacht der Wirtschaft aller Industriestaaten erhebliche Schäden, die jährlich mit Hunderten von Milliarden Mark abgeschätzt werden. Die Schutzmaßnahmen, d.h. Anstriche, Metallisierung usw. verkleinern zwar diese Schäden, sind jedoch kosten- und arbeitsaufwendig

und in vielen Staaten übersteigt deren Bedarf die vorhandenen Kapazitäten.

Deshalb befaßt sich Rückriem (DDR) mit den ökonomischen Vergleichen verschiedener passiver Schutzverfahren. Ihre Kosten, die vom Zustand der Konstruktion und von den atmosphärischen Bedingungen weitgehend beeinflußt werden, müssen auf die Lebensdauer der Konstruktion bezogen werden.

Daraus geht die Bedeutung des Einsatzes von korrosionsträgen Stählen hervor, den die Autoren Katzung, Morich und Poster (DDR) als aktiven Schutz bezeichnen. Sie berichten von ausgedehnten Forschungen über die Eigenschaften der in der DDR erzeugten korrosionsträgen Stahlmarken Kt 45 und Kt 52 und über die Klassifizierung der Aggressivität verschiedener Atmosphärentypen, wo der Einsatz dieser Stähler als "geeignet, bedingt geeignet oder ungeeignet" erscheint.

Ein weiterer Beitrag von Hoyer, Luckwaldt und Reiche (DDR) macht auf einige Zusammenhänge aufmerksam, die zwischen der Gesamtkonzeption der tragenden Stahlkonstruktion von schweren Industriehallen sowie deren Ausführungsdetails und zwischen der Summe der Bau-, Betriebs- und Erhaltungskosten bestehen. Diese schweren Hallen weisen zahlreiche Besonderheiten im Vergleich zu anderen Baukonstruktionen auf und müssen dem betrieblichen Verschleiß und Havariefällen gerecht werden. Da die Reparaturkosten sich um den Ausfall der Produktion während der Reparaturzeit erhöhen, kann man durch perspektivgezielte Konzeption und Details der Konstruktion die Gesamtkosten bedeutend erniedrigen. Die Erfahrungen der Verfasser sind in sechs Grundgedanken festgehalten. An konkreten Beispielen werden diese Hinweise erläutert.

Mit der Problematik der planmäßigen Instandhaltung von Konstruktionen befassen sich zwei weitere Beiträge.

Schwerdtner (DDR) zeigt, daß man in großen Industriebetrieben, beziehungsweise in ganzen Industriezweigen sowohl die Klassifizierung von Schadensfällen und deren Ursachen als auch die planmäßige Instandhaltung mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung übersichtlich überwachen und planen kann. Man kann leicht durch Abrufung gespeicherter Detailinformationen die Schadensschwerpunkte sowohl lokal als kausal analysieren und geeignete Gegenmaßnahmen treffen, man kann den optimalen Reparaturzeitpunkt feststellen und so die Instandhaltungskosten minimieren.

Der Beitrag von Kümmel (DDR) zeigt, wie man bei den Eisenbahnbrücken kleiner Spannweiten die Instandhaltungskosten minimieren kann. Man hat hier eine instandhaltungsgerechte Überbaukonstruktion entwickelt, die während der gesamten Nutzungsdauer nur eine bis zwei Hauptinstandsetzungen benötigt, welche in der Werkstatt billiger und besser durchgeführt werden. Der Verkehr wird während der Instandsetzung durch eine Behelfsbrücke aufrechterhalten; bei einer größeren Zahl von Brückenkonstruktionen derselben Spannweite und Konzeption kann es jedoch günstiger sein, eine Austauschkonstruktion zu besitzen, mit der jeweils die zu reparierende Konstruktion zu ersetzen ist. Die ausgebaute Konstruktion wird nach der Instandsetzung zur Austauschkonstruktion für eine weitere Brücke derselben Spannweite benutzt.

Zur Problematik der Rekonstruktionen bei Änderung der Nutzung des Baues ist im Vorbericht kein Beitrag angemeldet worden. Nur Bártlová und Votlučka (CSSR) betonen, daß bei der Entwicklung der für die Massenfertigung geeigneten Baukastensysteme eine möglichst große Variablität der zukünftigen Nutzung des Baues anzustreben ist, und zeigen eine in der CSSR entwickelte Stahlleichtbaukonstruktion, bei welcher man aus 21 verschiedenen Rahmenelementen 84 unterschiedliche Objekte mit weitem Nutzungsbereich zusammenstellen kann.

Von den fünf für das Symposium vorbereiteten Diskussionsbeiträgen befaßte sich ein Beitrag von Nishiwaki und Hoshiya (Japan) mit den psychologischen Auswirkungen der Brückenschwingungen, die von den Menschen ebenso unangenehm empfunden werden, wie durch den Windangriff erzeugte Schwingungen von hohen Gebäuden. Die Autoren zeigten auf Grund von mehreren Untersuchungen die Wichtigkeit dieser Problematik.

Die vier weiteren Beiträge haben weiterhin die Wichtigkeit der Synthese von Technik und Ökonomie unterstrichen.

So wurden die Philosophie und Methodik der Begutachtung und des evtl. Sanierungsentwurfes von Thiele (DDR) besprochen. Der Verfasser analysierte weiter in quantitativer Weise die Motive, die zur Veranlassung der statischen Kontrolle führen, die Verteilung der zu kontrollierenden Objekte nach ihrer Art, die Verteilung der Schadensursachen und die Verteilung der Sanierungsmaßnahmen.

Über die Sanierung einer nur zwei Jahre sich im Betrieb befindenen Fertigungshalle referierten Bürgermeister und Daniel (DDR). Sie zeigten, wie Entwurfs- und Ausführungsfehler zu einer Spurweitenänderung der Kranbahnen und einer sichtbaren Verformung der stählernen Dachkonstruktion und der Kranbahnen geführt haben, und wie umständlich und kostspielig die Sanierung des Objektes war.

Über die Ausnutzung der Rechenanlagen zur statischen Kontrolle der zu begutachtenden Konstruktionen befürwortete Karger (DDR). Dies trägt zur genaueren Analyse bei ist ist arbeits- und kostensparend, soweit man ein fertiges Computerprogramm zur Verfügung hat, das das statische System des Objektes erfaßt.

Zur wichtigen Problematik der Änderung der Nutzung sprachen Dubas und Gehri (Schweiz). Hier sind vor allem große Spannweiten der Dachkonstruktionen und große Entfernungen der Säulen anzustreben, die es ermöglichen, in der Zukunft eine neue Technologie fast unbehindert durch die alte Baukonstruktion im Objekt zu realisieren. Die Verfasser haben an zwei Beispielen (Schwermaschinenhalle und Postlagerhalle) gezeigt, wie die geschickte Ausnutzung der räumlichen Tragwirkung auch bei solchen weitgespannten Konstruktionen zu einem wirtschaftlichen Entwurf führt.

Weiterhin erklangen zum Thema III in der freien Diskussion über 20 kurze Bemerkungen, die die verschiedenen Themen angerührt haben, von den Informationen über interessante Bauwerke angefangen, über Textilverbundkonstruktionen bis zu den Erwägungen über die Wirtschaftlichkeit der Anordnung der Schweißnähte und der einzelnen Konstruktionsdetails.

Es ist überraschend, daß zum Einführungsbericht von Iy I y e n g a r über die Instandhaltung und Flexibilität der Nutzung von Stockwerkbauten, trotz der Wichtigkeit dieses Themas, kein Beitrag weder im Vorbericht, noch in der vorbereiteten oder in der freien Diskussion vorgebracht wurde.

Abschließend können wir feststellen, daß die Behandlung des vorgelegten Themas überzeugend gezeigt hat, wie wichtig es ist, beim Entwurf und ökonomischer Beurteilung eines Baues nicht nur die Investitionskosten, sondern auch die Betriebs- und Instandsetzungskosten zu beachten.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird kurz über den Inhalt der im Vorbericht veröffentlichten und in der vorbereiteten und freien Diskussion vorgetragenen Beiträge zum Thema III berichtet.

SUMMARY

Short contents is given of articles published in the Preliminary Report and held in the prepared and free discussion, dealing with the theme III.

RESUME

On mentionne brièvement les articles du Rapport préliminaire et de la discussion préparée et libre, traitant le thème III.

III

Entwurf und Ausbildung einer Lagerhalle mit hoher Flexibilität der Nutzung

Concept and Design of a Warehouse Having a High Flexibility of Use

Conception et projet d'une halle de stockage possédant une souplesse d'utilisation élevée

Pierre DUBAS
Prof. Dr.
Eidg. Technische Hochschule
Zürich/Schweiz

1. Einleitung

Am Beispiel der Lagerhalle der schweizerischen PTT-Betriebe in Arlesheim 1) möchten wir zeigen, wie die Nutzungsbedingungen Entwurf und konstruktive Gestaltung beeinflussen.

Das Pflichtenheft setzte lediglich die Grundrissabmessungen mit rund 72 m Breite und 130 m Länge sowie die Hubhöhe von 13 m für die 6,3 t Krane fest. Zudem sollte die Gesamtanordnung, bei vernünftigen Gesamtkosten, eine möglichst hohe Flexibilität der Nutzung gewährleisten.

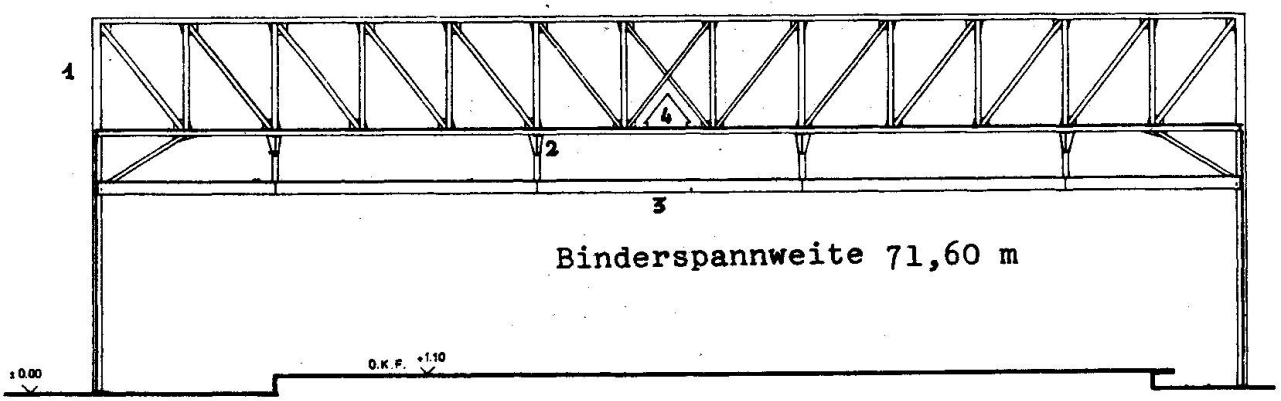
2. Entwurfskonzept

Eines der zahlreichen untersuchten Entwurfskonzepte sah vier querlaufende Hallenschiffe von je 32 m Breite vor. Dabei würden die Innenstützen die Nutzung beeinträchtigen, weil der Säulenstreifen für die Lagerung praktisch ausfällt und Transporte von einem Hallenschiff zu den anderen behindert sind. Selbstverständlich weist ein solcher Entwurf mit kleinen Spannweiten die niedrigsten Rohbaukosten auf. Allerdings erreicht dabei der Minderaufwand, bezogen auf die Gesamtkosten, nur rund 3 % gegenüber der gewählten Lösung ohne Innenstützen.

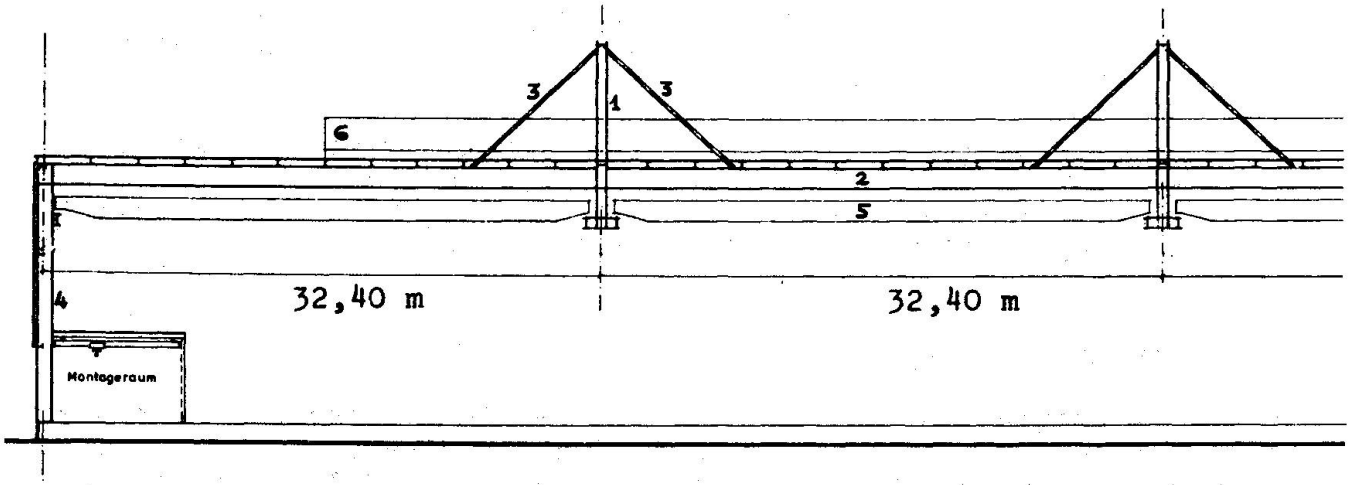
Detaillierte Untersuchungen des Auftraggebers haben gezeigt, dass querlaufende Krane der geplanten Nutzung am besten entsprechen, weil sich der Hauptwarenfluss zwischen dem Geleiseanschluss an der Nordfassade und der Lastwagenrampe längs der Südfassade abspielt. Die Kranbahnen der Laufkrane sind paarweise an den Hauptbindern aufgehängt (vgl. Fig. 1). Die Einbauten, insbesondere ein Zwischenboden im östlichen Teil, können umgebaut oder sogar entfernt werden, da die Haupttragkonstruktion davon unabhängig ist. Zudem wären, falls geänderte Betriebsverhältnisse dies erfordern würden, bei geringem Aufwand die querorientierten Laufkrane durch längslaufende Hängekrane zu ersetzen,

1) Für eine detaillierte Beschreibung vgl.: Prince, C.-M. und Delacoste, R.: Halle de stockage de matériel des PTT à Arlesheim (Suisse) Acier-Stahl-Steel 1974, S. 461.

deren Schienen an den Riegeln der Längsrahmen aufgehängt wären. Das Montagebild Fig. 2 zeigt [2], wie die Tragkonstruktion dann aussehen würde. Auch bezüglich der Krananordnung gewährleistet somit das gewählte Entwurfskonzept eine volle Flexibilität der Nutzung.



Querschnitt: 1: Hauptbinder 2: Längsrahmen 3: Kranbahn 4: Oberlicht



Längsschnitt: 1: Hauptbinder 2: Längsrahmen 3: Schrägstreben
4: Giebelwandstütze 5: Laufkran 6: Oberlicht

Fig. 1

3. Räumlicher Aufbau

Eine räumliche Tragstruktur mit einem durchgehenden Dachverband und vier lotrechten Eckverbänden (Fig. 3) besorgt die Ableitung der Windkräfte sowie der Bremskräfte der Krananlagen. Die aus den Fachwerkbindern und den eingespannten Hauptstützen gebildeten Querrahmen (vgl. Fig. 1) sind nämlich relativ weich, führt doch eine in Dachebene wirkende Kraft von 1 t zu einer waagrechten Verschiebung von 5 mm.

---

[2] Die Fig. 2 und 4 befinden sich auf Seite 5, die Fig. 5 und 6 auf Seite 6.

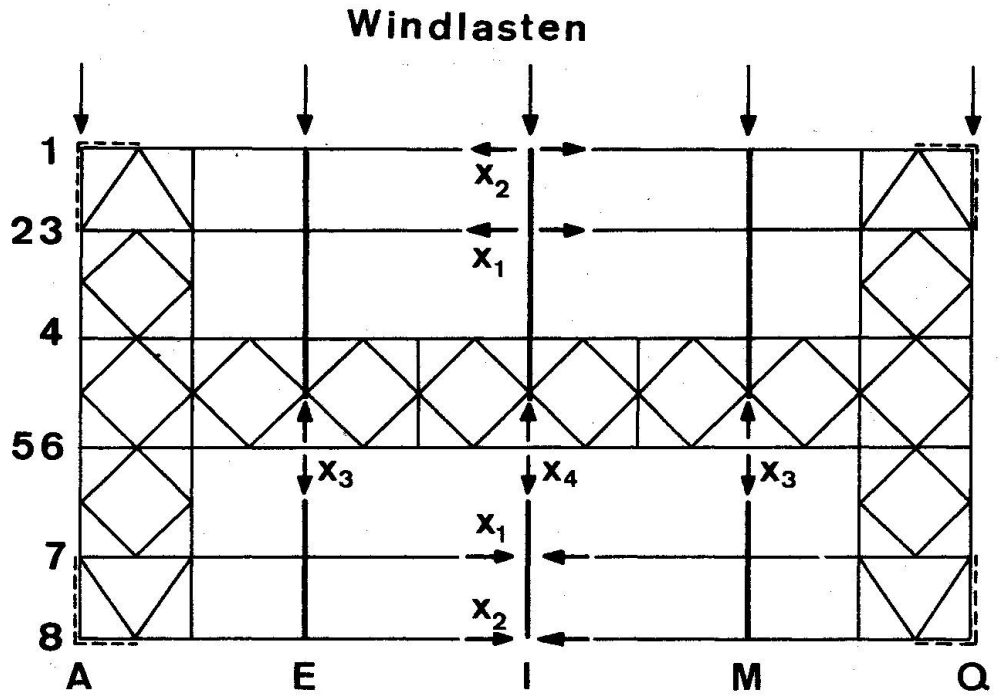


Fig. 3

Statisches System und überzählige Grössen für die Berechnung des Dachverbandes bei Windbelastung auf die Längsfassaden. Die lotrechten Eckverbände sind gestrichelt angedeutet.

Der Längsverband ist in der 16,5 m breiten zentralen Dachzone angeordnet und somit im Vergleich zu seiner Spannweite von 130 m schmal. Zur Erhöhung der Seitensteifigkeit wird der Längsverband mittels der Querverbände an die Riegel der äusseren Längsrahmen (ÜG X_1) sowie an die oberen Fassadenriegel (ÜG X_2) so angeschlossen, dass ein Rahmen mit doppeltem Druck- bzw. Zugband entsteht [3]. Bei der ÜG X_2 wird zudem der Widerstand der lotrechten Eckverbände in den Achsen 1 und 8 berücksichtigt [4].

Die so erreichte elastische Einspannung des Längsverbandes vermindert dessen Verbiegungen sehr wirksam: die maximale Querauslenkung unter Windlast beträgt nur 35 mm (Achse I), davon 22 mm aus den Verformungen des Dachverbandes (1/6000) und 13 mm aus den Durchbiegungen der lotrechten Giebelverbände (Achse A bzw. Q). Der mittlere Hauptrahmen (Achse I) nimmt daher nur rund 25 % der anfallenden Windlast auf, die Rahmen E oder M weniger als 20 %.

---

3) Die Tragwirkung ist grundsätzlich gleich derjenigen einer Eisenbahnbrücke mit offener Fahrbahn, bei welcher der Schlingerverband zugleich die Funktion des Windverbandes übernimmt und zur Erhöhung seiner Quersteifigkeit über Endscheiben mit den Hauptträgern angeschlossen ist. Vgl. P. Dubas "Tendances et développements en construction métallique"' Publication ABEM (Association Belge pour l'Etude et l'Emploi des Matériaux) N° 396, Bruxelles 1973, S. 18.

4) Die Anordnung der lotrechten Verbände in den Ecken statt in Fassadenmitte führt allerdings zu unerwünschten Zwängungskräften infolge der behinderten Temperaturausdehnungen.

4. Bauliche Gestaltung

Ein charakteristisches Merkmal ist die Anordnung der Hauptbinder oberhalb des Hallendaches (vgl. Fig. 1). Diese Ausbildung führt zur kleinstmöglichen Hallenhöhe, mit einer besseren Eingliederung in die Landschaft, und zu einer Nutzungserhöhung durch die Verminderung der Fassadenfläche und des zu beheizenden Raumes.

Die Binderuntergurte liegen unmittelbar unter der Dachhaut; sie sind gleich hoch wie die Pfetten (vgl. Fig. 4), so dass die Auflagerung der Dachbleche keine Probleme aufwirft und die Durchbrüche für die Füllungsglieder der Hauptbinder einfach zu gestalten sind. Dabei ist zu beachten, dass mit dem gewählten Abstand von rund 32 m nur drei Hauptbinder erforderlich sind. Dieser grosse Binderabstand erlaubt zudem eine wirtschaftlich erwünschte Konzentration auf eine geringe Anzahl der arbeitsintensiven Haupttragelemente.

In den Längsrahmenachsen verlängern sich die Binderpfosten nach unten und übernehmen gleichzeitig den Anschluss der Längsriegel sowie die Aufhängung und die Querstabilisierung der Kranbahnen.

Die seitliche Knickstabilität bzw. die Kippstabilität der Tragelemente ist jeweils vom untergeordneten Tragglied gewährleistet. Bei den Hauptbindern bestehen die Gurte durchgehend aus Breitflanschträgern HE 650 mit liegendem Steg, wobei die Anpassung an die veränderlichen Stabkräfte durch den Uebergang von HEA bis zum lamellenverstärkten HEM und zudem von St 37 auf St 52 geschieht. Die gedrückten Binderobergurte werden in Querrichtung durch Schrägstreben und die daran befestigten Längsriegel genügender Steifigkeit so elastisch gestützt (vgl. Fig. 1), dass die Gurtschlankheiten in der Binderebene und quer dazu etwa gleich ausfallen.

In den Endfeldern der Längsrahmen sind als Ersatz für die fehlenden Schrägstreben die Riegel mit den Stützen biegesteif angeschlossen. Diese teilweise Einspannung bringt zudem Vorteile für die Aufnahme der Vertikallast, insbesondere weil eine Montageregulierung - Verschiebung der Stützenfüsse Richtung Halleninneres - für eine ähnliche Momentenverteilung in den zweiseitig abgestützten Zwischenfeldern und den nur einseitig abgestrebten Endfeldern sorgt und zudem nahezu gleiche Lastanteile für alle Binder gewährleistet.

Die Kippstabilität der Längsriegeluntergurte wird von den Pfetten über Vertikalsteifen besorgt, diejenige der Pfetten durch die Profilbleche 5).

Diese Ausnützung der Tragglieder für mehrere Funktionen findet sich wieder bei den aufgehängten Kranbahnen. Zum Ausgleich der Hauptrahmenverformungen wäre an sich eine längsbewegliche Lagerung bei den Stützen naheliegend, erscheint uns aber kaum nutzungsgerecht. Eine kraftschlüssige Verbindung andererseits bedingt hohe Zusatzbiegungen der Stützen.

---

5) Für den Einfluss der Drehbettung der Dachbleche auf die Kippstabilität der Pfetten vgl. z.B. DASt Richtlinie 008 (März 1973) "Richtlinien zur Anwendung des Traglastverfahrens im Stahlbau", Abschn. 7.2, sowie die darin erwähnten Literaturangaben.

Diese Nachteile schliesst die gewählte Ausbildung aus: der letzte Untergurtstab des Hauptbinders wid schräg zum Anschlusspunkt der Kranbahn geführt (Fig. 5); der mit Länglöchern versehene Horizontalstab in der Gurtverlängerung dient dabei nur der Abstützung der Dachhaut. Die Kranbahnträger wirken somit als Zugband, so dass sich sowohl die Tragfähigkeit als auch die Steifigkeit der Hauptbinder stark erhöhen. Die dabei auftretenden Längskräfte in den Kranbahnträgern beeinflussen deren Bemessung kaum, ist doch hier der Durchbiegungsnachweis massgebend. Ohne Mehrkosten wird somit eine wesentlich steifere Binderkonstruktion erhalten.

Die letzte, mehr als Scherz gedachte Abbildung (Fig. 6) veranschaulicht, dass man bei einer unbeabsichtigten Interaktion zwischen den Stäben zweier Verbände zu einer eher ungewöhnlichen konstruktiven Ausbildung greifen muss!

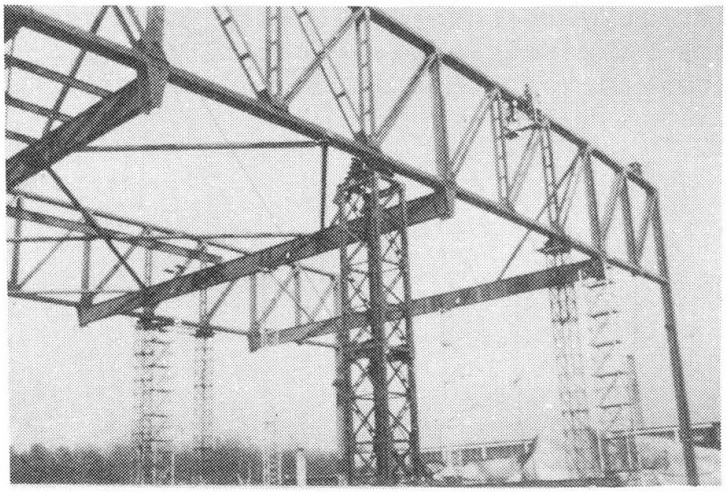


Fig. 2
Montage der Hauptbinder und der Riegel der Längsrahmen

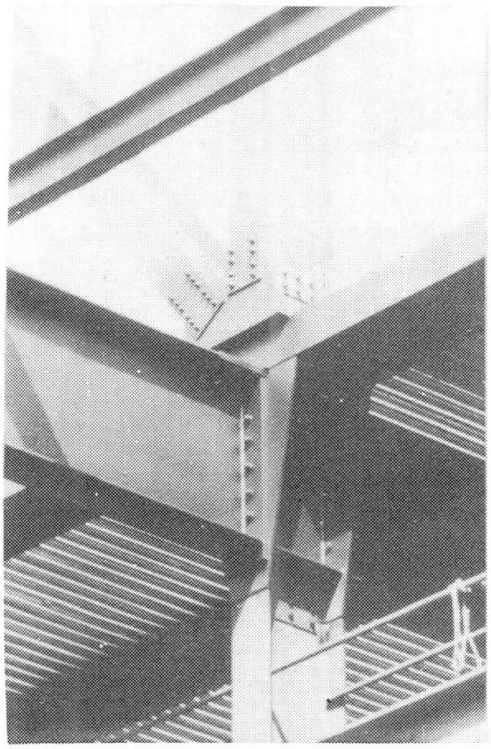


Fig. 4
Untergurtknoten des Hauptbinders mit der Pfostenverlängerung zum Anschluss der Riegel der Längsrahmen und zur Aufhängung der Kranbahnen

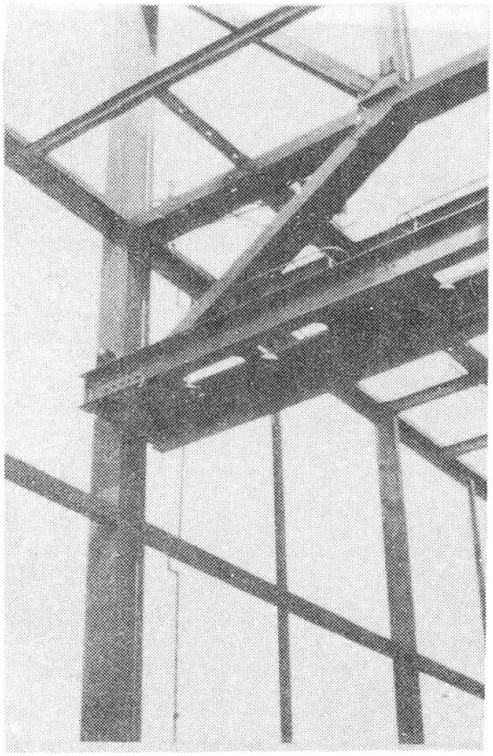


Fig. 5
Schräger Untergurtstab eines Hauptbinders und Anschluss mit den als Zugband wirkenden Kranbahnträgern

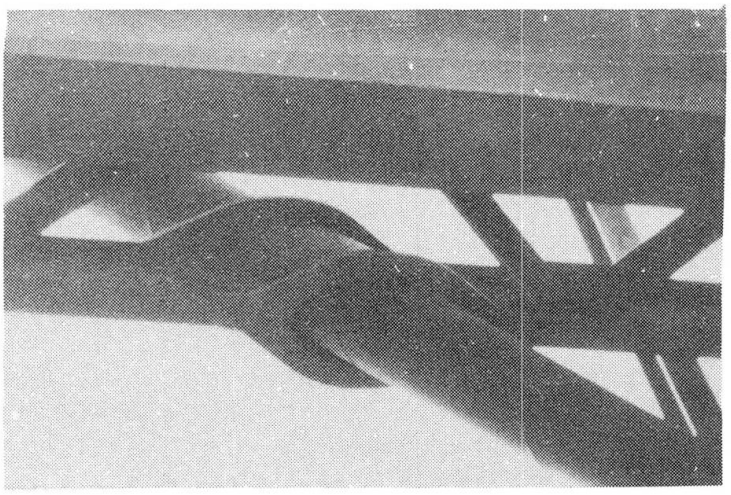


Fig. 6
Durchdringung einer Strebe des lotrechten Eckverbandes (vgl. Fig. 3) durch den ringartig ausgeweiteten Gurt des Kranbahnverbandes in der Giebelwand A.

ZUSAMMENFASSUNG

Die beschriebene Lagerhalle ist so gestaltet, dass eine möglichst hohe Flexibilität der Nutzung bei vernünftigen Baukosten erreicht wird. Die wesentlichen Merkmale werden kurz beschrieben.

SUMMARY

The described warehouse has been conceived so as to ensure the utmost flexibility of use within reasonable building-costs. Its main characteristics are enumerated briefly.

RESUME

La halle de stockage décrite est conçue en vue d'obtenir une souplesse d'utilisation aussi élevée que possible tout en restant dans des limites de prix raisonables. On en décrit brièvement les caracteéristiques principales.

III

Nutzungsgerechter Bau einer schweren Industriehalle

Heavy Industrial Building

Halle pour l'industrie lourde

Ernst GEHRI
Dipl. Ing. ETH
Eidg. Technische Hochschule
Zürich/Schweiz

0. Einleitung

Am Beispiel einer Halle für den Schwermaschinenbau wird gezeigt, wie dank der geschickten Ausnützung der räumlichen Tragwirkung ein wirtschaftlicher Entwurf entstand. Dadurch konnten, trotz der hohen Kranlast (2 gekoppelte Krane zu je 250 t Tragkraft) und der Hubhöhe von 24 m, die weitgehenden Ansprüche bezüglich Flexibilität erfüllt werden. Binderabstände von 25 m erlauben jederzeit den Anbau von Querhallen oder den Einbau grosser Hallentore. Gefordert war der Entwurf einer Halle mit 30 m Spannweite und 100 m Länge, ausbaubar auf 250 m. Als Baugrund lag in Meeresnähe durch Sandschüttung gewonnenes Neuland zur Verfügung, so dass für alle Fundationen Pfähle angeordnet werden mussten.

1. Konzept für die Tragstruktur

Für die Wahl der Tragstruktur war vor allem die wirtschaftliche Ableitung der hohen Horizontalkräfte aus Wind (Gebäudehöhe 32 m) und der Kranseitenkräfte (auf 24 m über Boden wirkend) in den Baugrund massgebend. Für den vorliegenden Baugrund wäre eine räumliche Tragstruktur mit steifen, ausgefachten Giebelwänden die geeignetste Lösung. Die gewünschte Erweiterungsmöglichkeit (Verlängerung der Halle) verunmöglichte dies, so dass die Horizontal- und Vertikallasten weitgehend durch jede Tragebene in den Baugrund abzuleiten waren.

Die räumliche Tragwirkung, die durch die Verbindung der einzelnen Tragebenen untereinander erreicht wird, ist weitgehend ohne Einfluss auf die Ableitung der Windkräfte, ist aber von grosser Bedeutung für die Weiterleitung der wandernden Kranlasten.

Gewählt wurde die folgende Tragstruktur: Tragebenen gebildet aus eingespannten Rahmen, räumliche Wirkung für wandernde Lasten durch Anordnung von durchlaufenden Verbänden in der Dachebene und durchlaufender (vertikal und horizontal), kastenförmiger Kranbahnträger.

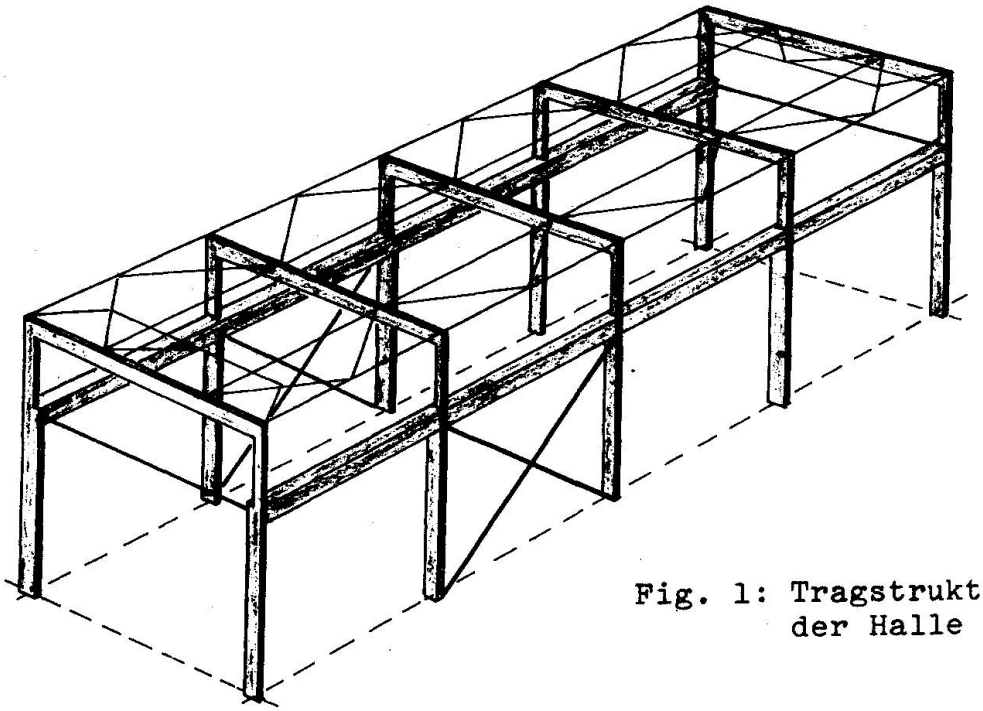


Fig. 1: Tragstruktur der Halle

2. Entwurfskriterien

Unter Berücksichtigung der festgelegten Tragstruktur galt es Entwurfsgrundlagen aufzustellen, die zu einem wirtschaftlichen Entwurf führen bei gleichzeitiger Erfüllung der verschiedenen Nutzungskriterien.

- Bindertyp: Da neben genügender Tragfähigkeit auch die Steifigkeitsanforderungen zu erfüllen sind, zeigte sich von den verschiedenen Bindertypen (Zweigelenkrahmen, Binder auf eingespannten Stützen, eingespannte Rahmen) der eingespannte Rahmen als der zweckmässigste Typ, da er bei mittleren Einspannmomenten (Pfahlfundation) mit den kleinsten Bauabmessungen auskommt.

- Kranbahnträger: Die festgelegte Tragstruktur verlangt einen durchgehenden Horizontalverband auf Kranbahnhöhe. Dies ist nur erfüllbar mit einem gleichzeitig durchlaufenden Kranbahnträger.

  Durchlaufende Kranbahnträger werden für schwere Kranbahnen selten ausgeführt, u.a. wegen der Setzungsempfindlichkeit, der schwierigen Aufnahme negativer Auflagerkräfte, aber auch wegen der Schäden, die an den Befestigungen der Kranbahnträger an den Stützen auftreten. Bei grossen Binderabständen wird der relative Einfluss von Stützensenkungen kleiner. Die Schäden an den Befestigungen sind auf die Unverträglichkeit der Verbindungsart mit den auftretenden Kräften und Verformungen zurückzuführen, wobei dies, wenn auch in kleinerem Masse, auch für einfach gelagerte Kranbahnträger gilt.

  Durch "weichere" Befestigung des Trägers an die Stütze versucht man die Schäden möglichst klein zu halten. Generell sollte stets eine Lösung angestrebt werden, die diese Zwängungen vermeidet oder dann statisch und konstruktiv berücksichtigt.

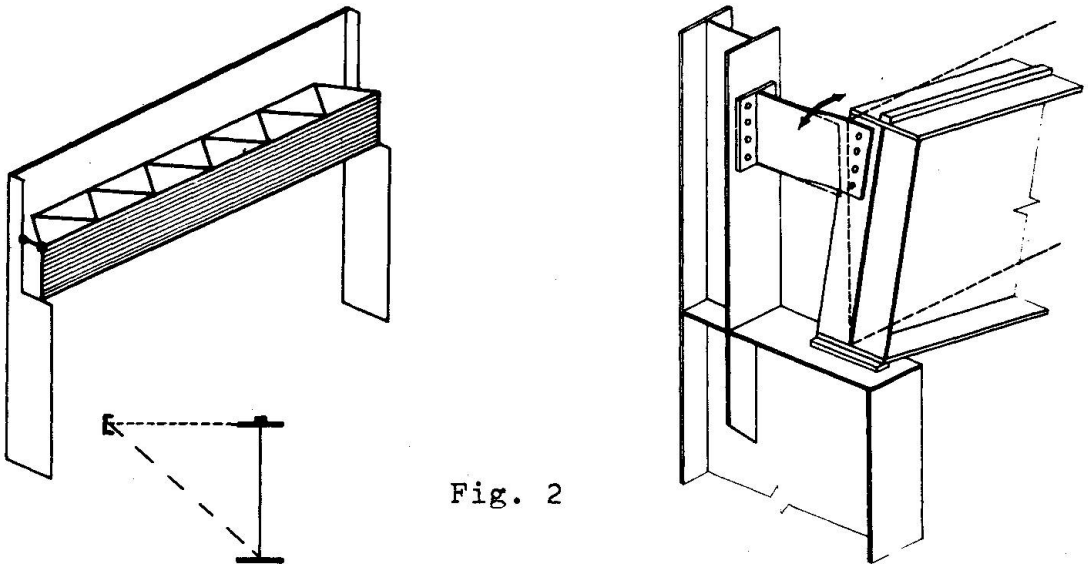


Fig. 2

Bei einem durchlaufenden Kranbahnträger müsste - um diese Zwängungen zu vermeiden - der Horizontalverband längsverschieblich aber querkraftschlüssig an die Stütze angeschlossen sein. Ein direkter, steifer Anschluss des Horizontalverbandes ist statisch gleichbedeutend mit einer biegesteifen Verbindung des Kranbahnträgers mit der Stütze.

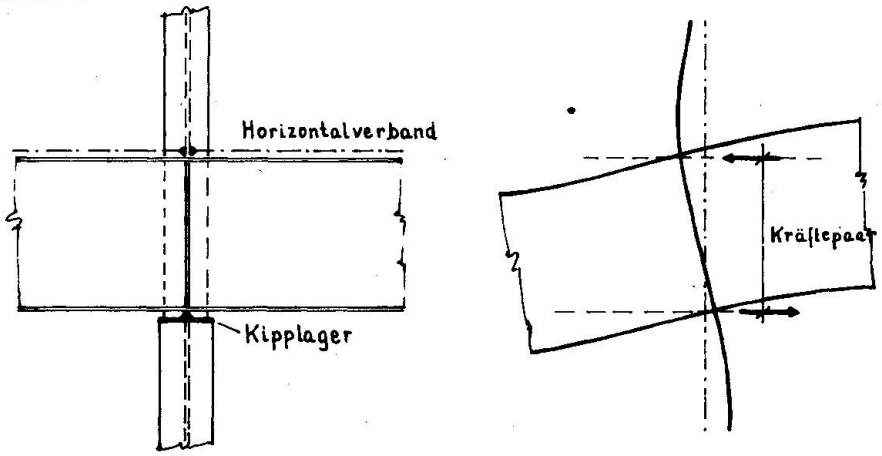


Fig. 3

Da diese Verbindungen nicht für die auftretenden Kräfte bemessen werden, treten bereits nach kurzer Zeit Schäden auf.

Als Entwurfskriterium ergab sich somit, dass bei durchlaufender Ausbildung des Kranbahnträgers und des Horizontalverbandes die einwandfreie Lösung der Verbindung Träger/Stütze in einer biegesteifen Ausbildung zu suchen war.

- Binderabstand: Der Binderabstand sollte, um die Nutzung zu erleichtern, möglichst gross gewählt werden. Da die Spannweite der Querhallen zu 25 m festgelegt war, kamen sowohl ein Binderabstand von 12,5 m als auch einer von 25 m in Frage.

Selbst bei höherem Stahlaufwand ist der grössere Binderabstand vorzuziehen, da neben der grösseren Flexibilität (keine Zwischenstützen, die den Zugang zu den Querhallen beeinträchtigen) eine geringere Anzahl arbeitsintensiver Träger-Stützen-Durchdringungen (Knoten) vorkommt.

Massgebend für die Biegebeanspruchung der Binder sind die Windlasten und die wandernden Kranlasten. Die Momente infolge Windlasten sind dabei direkt proportional zum Binderabstand. Die Momentenanteile aus den Kranlasten hängen von der Grösse und Verteilung der Kranlasten sowie vom Steifigkeitsverhältnis Kranbahnträger/Binder ab.

Als Entwurfskriterium wurde nun festgelegt, dass der Binderabstand stets grösser sein soll, als derjenige bei dem die Kranlasten gleiche Biegebeanspruchung hervorrufen wie die Windlasten.

Obiges Kriterium ist nur zweckmässig, falls die max. Windlasten und die max. Kranlasten gleiche Wahrscheinlichkeit des Auftretens haben, wie dies bei einem leichten Kranbetrieb der Fall ist. Für schweren Kranbetrieb (häufiges Erreichen der max. Kranlasten) sollte entsprechend der Anteil aus den Kranlasten kleiner gehalten werden. Dies kann durch eine steifere Ausbildung des Kranbahnträgers (bessere Verteilung der Kranseitenkräfte auf mehrere Binder) und durch die Wahl eines grösseren Binderabstandes erreicht werden.

- Querschnittsform: Sowohl die Stützen als auch der Kranbahnträger werden in zwei Richtungen auf Biegung beansprucht, so dass eine kastenförmige Ausbildung zweckmässig ist. Dabei sind für die Abmessungen folgende Kriterien einzuhalten:
  - Kranbahnträger: Die Breite des Trägers ist gleich der Tiefe der Stützen zu wählen. Dadurch erhält man eine einfachere Knotenausbildung und eine reichliche Breite mit einer entsprechend grossen seitlichen Steifigkeit zur Aufnahme der Kranseitenkräfte. Die Höhe des Trägers ergibt sich aus statischen und Steifigkeitsanforderungen.
  - Stütze: Die Tiefe der Stütze soll einerseits möglichst gering gehalten werden (grösste nutzbare Hallenbreite) und anderseits den Steifigkeitskriterien genügen. Die Breite der Stütze ist möglichst klein zu halten. Durch die geringe Steifigkeit der Stütze um diese Achse können die Zusatzbeanspruchungen aus der Rahmenwirkung längs zur Halle infolge vertikaler Kranlasten klein gehalten werden.

Die Aufstellung obiger Entwurfskriterien erlaubte die rasche Auffindung eines allen Anforderungen gerechten und wirtschaftlichen Entwurfes.

3. Konstruktive Ausbildung

Der Binder weist folgende Ausbildung auf: kastenförmige Stützen mit sich verjüngendem Teil oberhalb der Kranbahn; kastenförmiger Riegel. Die geschlossenen Längssteifen (Beulsteifen) sind aus Herstellungsgründen aussen angeordnet.

Die konstruktive Gestaltung nahm Rücksicht auf einen kontinuierlichen Kräfteverlauf, ebenso wurden eine einfache Herstellung und ein geringer Unterhalt angestrebt. Durch die glatten Aussenflächen wurde zugleich ein entscheidender Beitrag zu einem dauerhaften Korrosionsschutz geleistet. Alle Innenräume sind begehbar und dauernd zu Kontrolle und Unterhalt zugänglich.

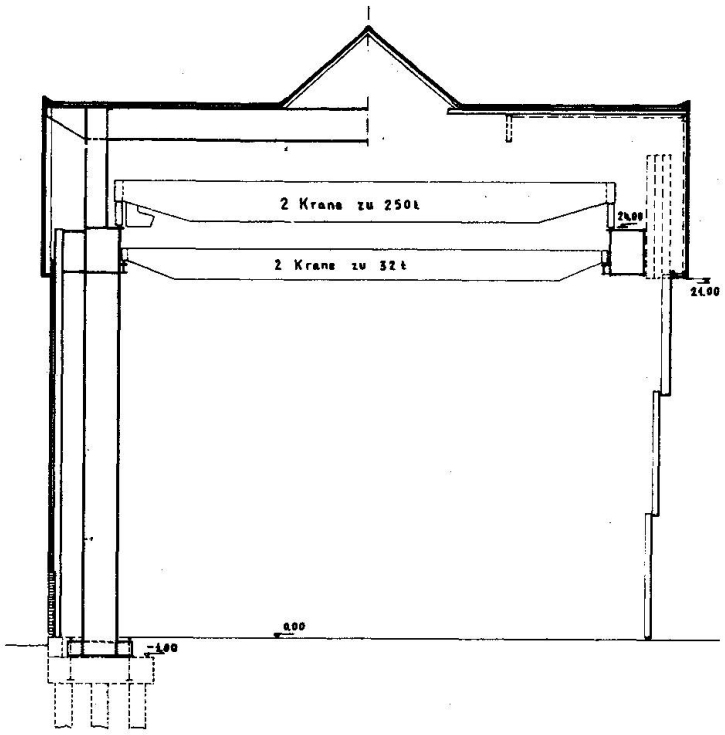


Fig. 4: Querschnitt der Halle

4. Einfluss der räumlichen Mitwirkung

Anhand des Lastfalles zweier gekoppelter Krane mit je 250 t Last über dem mittleren Binder soll der günstige Einfluss der räumlichen Tragwirkung auf die Bemessung der Binder und deren Fundamente gezeigt werden, wobei nicht nur die seitliche Biegesteifigkeit der Kranbahnträger sondern auch ihre Torsionssteifigkeit berücksichtigt wurden.

Vergleichsweise wurden die folgenden vier Tragstrukturen untersucht:

a) Tragebenen (Binder) einzeln wirkend; Kranbahnträger als einfache Balken ausgebildet

b) Tragebenen (Binder) auf Dachebene durch zwei fachwerkförmige Längsverbände gekoppelt; Kranbahnträger als einfache Balken ausgebildet

c) Tragebenen durch den durchlaufenden, kastenförmig ausgebildeten Kranbahnträger gekoppelt (ohne Dachverbände)

d) wie c jedoch mit zusätzlichen Dachverbänden

Die Berechnung wurde für gleiche Stabsteifigkeiten und Belastungen durchgeführt.

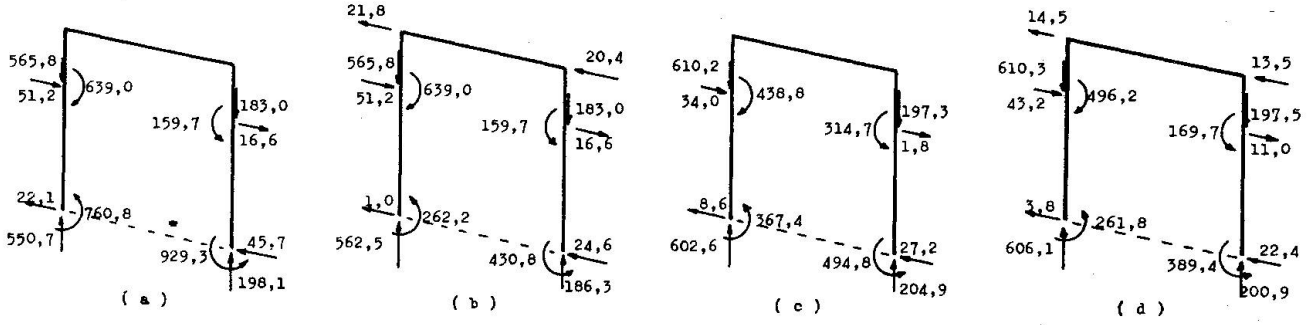


Fig. 5: Am Binder wirkende Kräfte (in t und mt)

Aus der folgenden Darstellung des herausgeschnittenen mittleren Binders mit den an ihm wirkenden Kräften, wird das unterschiedliche Verhalten der vier Tragstrukturen ersichtlich. Die Anordnung eines durchlaufenden steifen Dachverbandes (Variante b) oder die durchlaufende Anordnung des Kranbahnträgers (Variante c) führt zu ähnlichen Beanspruchungen der Fundamente. Die Biegesteifigkeit des Kranbahnträgers bezüglich Querlasten ist dabei nur 1/4 derjenigen des Dachverbandes. Die Kombination beider Elemente (Variante d) bringt für diese kurze Halle wenig mehr (Reduktion der max. Momente und Ausbiegungen um 10 % gegenüber Variante b).

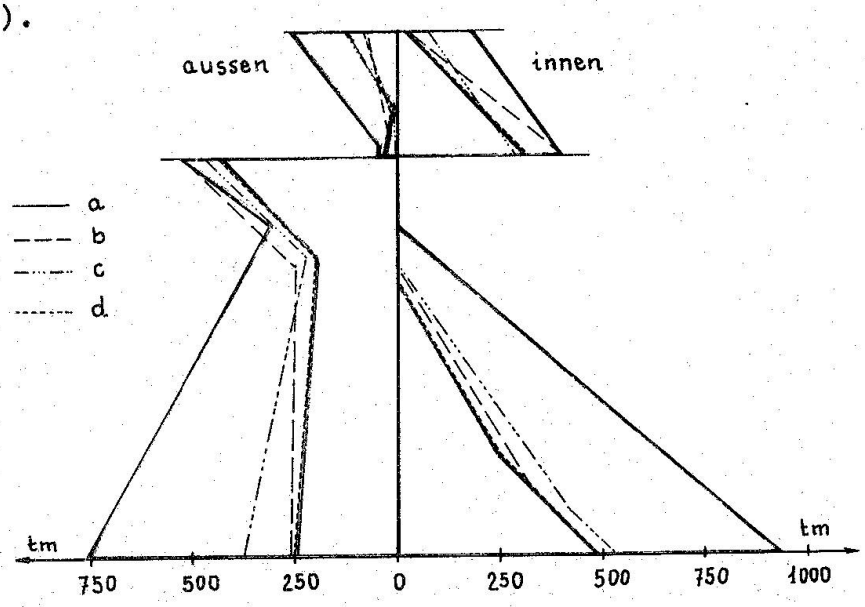


Fig. 6: Vergleich der max. Momente in den Stützen

Wie aus Fig. 6 ersichtlich, konnten die max. Momente aus Kranbelastung für die Stütze auf fast die Hälfte und für den Riegel auf weniger als die Hälfte reduziert werden. Von Bedeutung - wegen der ausserordentlich teuren Fundation - ist die Verminderung des Einspannmomentes und der Horizontalkräfte.

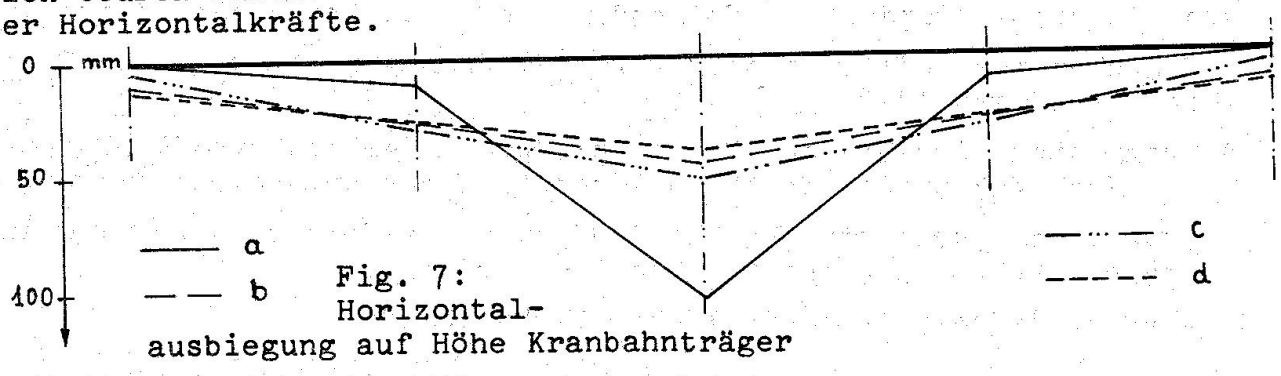


Fig. 7: Horizontalausbiegung auf Höhe Kranbahnträger

Bei gleicher Rahmensteifigkeit ergeben sich zudem ohne räumliche Mitwirkung doppelt so grosse Horizontalverformungen, so dass schon aus diesem Grunde für die Variante a (ungekoppelte Binder) steifere und schwerere Stützen- und Riegelquerschnitte erforderlich sind.

5. Schlussfolgerung

Tragstrukturen mit räumlicher Tragwirkung können trotz wirtschaftlicher Ausbildung auch bezüglich Flexibilität weitgehenden Ansprüchen genügen, sofern beim Entwurf bereits darauf Rücksicht genommen wird. Durch grosszügige Gestaltung und Bemessung kann dem Nachteil eines schwierigeren Umbaues oder Verstärkung begegnet werden.

III

Auswirkungen von Entwurfs- und Ausführungsmängeln

Effects of Deficiencies in Design and Construction

Effets d'imperfections du projet et de l'exécution

Gustav BUERGERMEISTER
Prof. (em.) Dr.-Ing. habil.
Technische Universität
Dresden/DDR

Hans-Dieter DANIEL
Dr.-Ing.
VEB Metalleichtbaukombinat
Leipzig/DDR

Beeinträchtigungen der Nutzungsfähigkeit eines Gebäudes oder einer baulichen Anlage sind häufig Gegenstand von gutachterlichen Untersuchungen, in deren Ergebnis die Feststellung der Schadensursachen als Voraussetzung für die Beseitigung der aufgetretenen Mängel gilt. Die nachfolgenden Darstellungen sollen insbesondere verdeutlichen, welche Auswirkungen Entwurfs- und Ausführungsfehler besitzen können.

Bei der Funktionsabnahme eines Zweiträgerbrückenlaufkranes mit einer Hublast von 64 Mp wurden den Toleranzbereich des Kranherstellers überschreitende Abweichungen von der Sollspurweite s = 28350 mm festgestellt. Bereits die dadurch ausgelöste genauere Inaugenscheinnahme des gesamten Tragwerkes ergab sichtbare Verformungen der stählernen Dachkonstruktion und der Kranbahn, welche die Inbetriebnahme des aus einem mehrschiffigen Vorfertigungstrakt und einer als Querschiff angeordneten Endmontagehalle bestehenden Neubaukomplexes in Frage stellten (Bild 1).

Die Auswertung der Ergebnisse einer Ortsbesichtigung sowie der vom ingenieurtechnischen Vermessungsdienst vorgelegten Meßprotokolle ergab folgenden Tatbestand:

1.) Es besteht keine Übereinstimmung zwischen der ausgeführten Binderkonstruktion und dem der Berechnung zugrunde liegenden statisch bestimmten System eines einhüftigen Rahmens mit Pendelstiel infolge

- der kraftschlüssigen Verbindung des Binderobergurts mit der gegen die Dachscheiben der Längsschiffe starr gestützten Fachwerklängswand

und

- des Fehlens von Langlöchern beim Anschluß des Binderuntergurts an den Pendelstab (vgl. Bild 2).

2.) Die Größenordnung der nachgewiesenen Verformungen der Binderstiele bestätigt das Vorhandensein horizontaler Auflagerkräfte am Stützenfuß (vgl. Bild 3). Ebenso lassen die Meßwerte der Mittendurchbiegung von Stützen- und Zwischenbindern

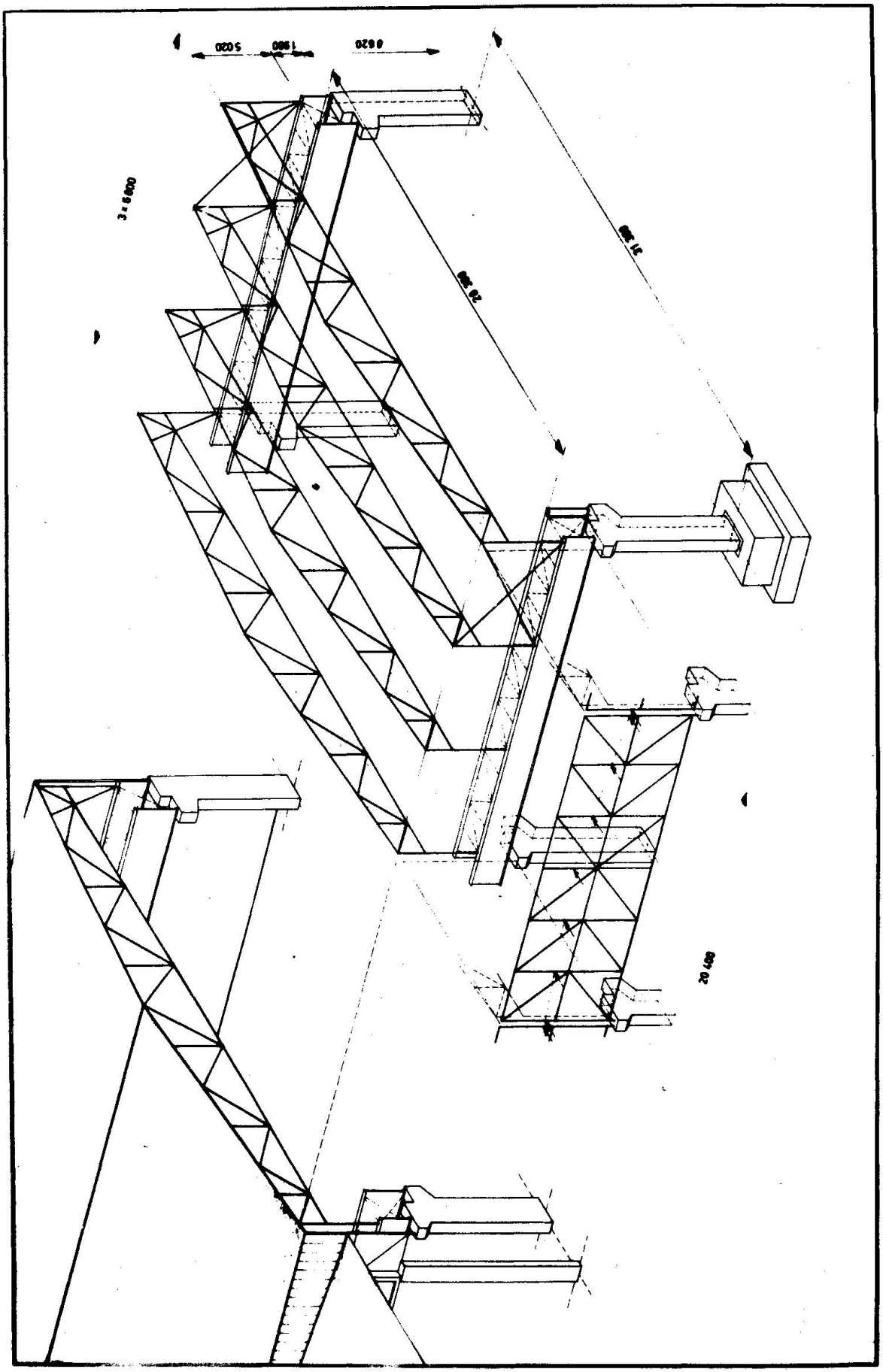
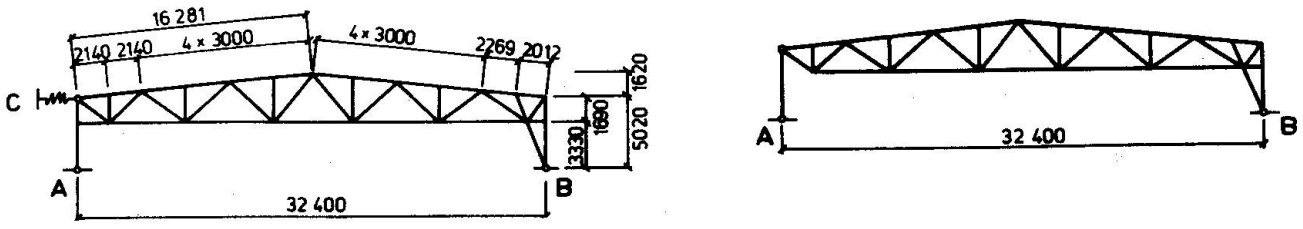


Bild 1: Gesamtanordnung des Tragwerkes



a) b)

Bild 2: Ausgeführtes und der statischen Berechnung zugrundeliegendes Bindersystem

a) ausgeführtes System b) Berechnungssystem

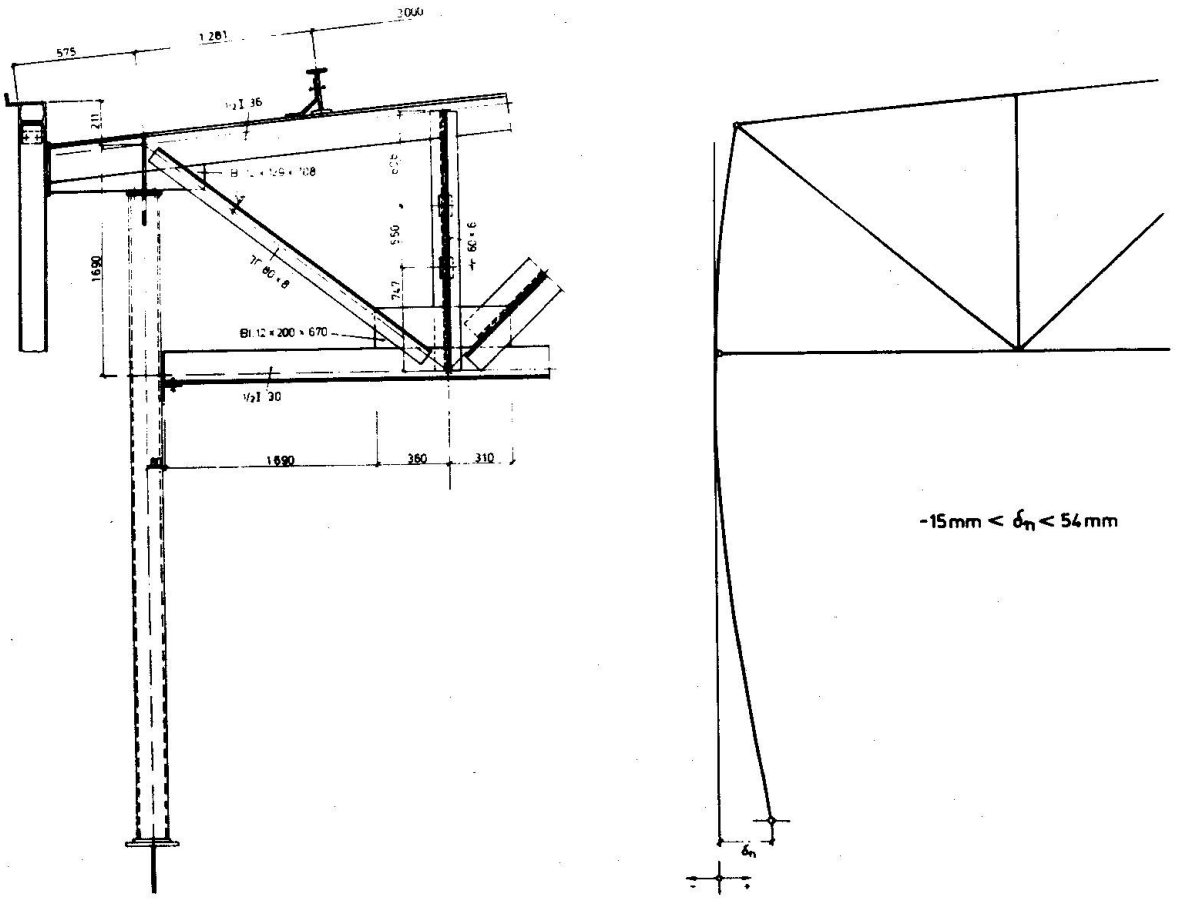


Bild 3: Konstruktion und Verformungszustand des Binderauflagers (Pendelstiel)

erkennen, daß die gemessenen Werte im Mittel kleiner sind als die rechnerische Durchbiegung.

3.) Die Stahlbetonstützen besitzen die erkennbare Tendenz einer leichten Neigung nach außen, welche mit der über den Auflagerpunkten der Kranbahnträger festgestellten gegenseitigen Verschiebung von Obergurt und Untergurt in der Größenordnung von im Mittel 8 mm korrespondieren (vgl. Bild 4).

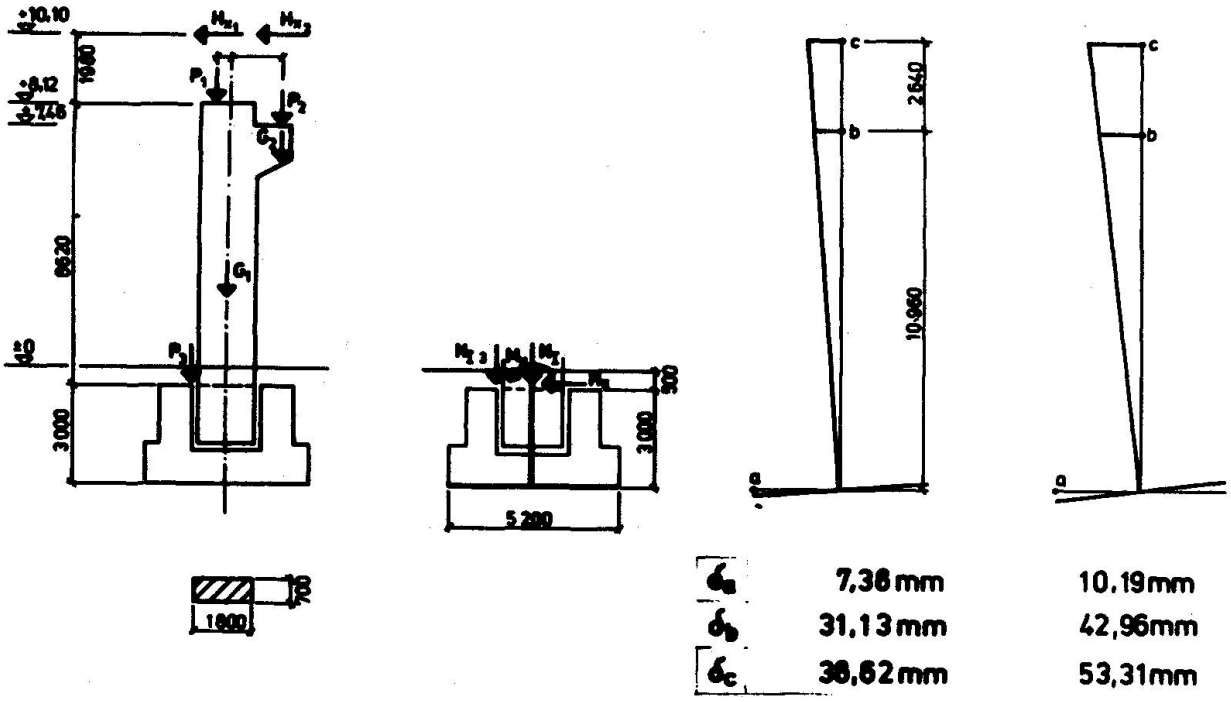


Bild 4: Verformungszustand der Stahlbetonstützen

4.) In Feldmitte der Kranbahnträger beträgt die gegenseitige Verschiebung vonObergurt und Untergurt maximal 48 mm und liegt im Mittel bei 32 mm.

5.) Die zeitlich über 2 Jahre auseinanderliegenden Kontrollmessungen der Höhenlage aller Konsoloberkanten an den Stahlbetonstützen lassen Setzungen der als Hülsenfundamente ausgeführten Gründungskörper erkennen.

6.) Im Ergebnis sämtlicher vorgenannter Einflüsse ist eine maximale Spurweitenvergrößerung von 28 mm festzustellen. Die Abweichungen der beiden Kranschienenachsen von einer als Bezugsachse gewählten Geraden durch den Anfangs- und Endpunkt der Kranschiene sind teilweise wesentlich größer. Zum Zeitpunkt der um 2 Jahre zurückliegenden Abnahme des gesamten Stahltragwerkes betrug die Spurabweichung der Kranbahn lediglich 5 mm.

Die Ermittlung des Schnittkraft- und Spannungszustandes unter Berücksichtigung des tatsächlich ausgeführten statischen Systems führte zu Ergebnissen, die den durch Messungen festgestellten Verformungszustand des Stahltragwerkes erklären und folgende Schlußfolgerungen erlauben:

1.) Die Vergrößerung der Spurweite wurde durch geringfügige Fundamentverdrehungen eingeleitet. Entgegen der Originalberechnung treten in der Fundamentsohle bereits durch die außermittig wirkenden ständigen Lasten der auf den Stahlbetonstützen abgesetzten Stahlkonstruktion ständig wirkende Momente auf, die infolge des veränderten statischen Systems eine entscheidende Vergrößerung durch die zusätzlich an den Stützenköpfen wirkenden horizontalen Auflagerkräfte des Dachtragwerkes erfahren.

2.) Die gegenseitige Verschiebung von Obergurt und Untergurt der Kranbahnträger zwischen den Stützen ergibt sich aus dem Trag- und Formänderungsverhalten des in Bild 5 idealisiert dargestellten statischen Systems. Für die durch eine Dehnungsfuge in 2 Bauabschnitte getrennte Montagehalle wurden seitliche Verschiebungen des Untergurts nur in einem der Bauabschnitte festgestellt. Dieser Tatbestand erklärt sich aus einem verschiedenartigen Montageablauf beim Zusammenbau des aus Nebenträger, Schlingerverband, Kranbahnträger und im Abstand von 1700 mm angeordneten Aussteifungsdiagonalen bestehenden Tragsystems. Während im ersten Montageabschnitt die Diagonalstäbe erst eingebaut wurden, nachdem die gesamte Eigenlast der Dachkonstruktion auf dem Nebenträger abgesetzt war und dieser sich frei verformen konnte, wurde im zweiten Bauabschnitt diese Aussteifung bereits vorher montiert. Dadurch trat bei teilweiser Behinderung der Durchbiegung des Nebenträgers das bereits erläuterte Verformungsverhalten auf, welches bei Kranfahrt in Gegenrichtung beobachtet werden konnte.

Zur Korrektur der die Funktion des Brückenlaufkranes beeinträchtigenden Verformungen wurden u.a. folgende Maßnahmen ergriffen:

1.) Konstruktive Realisierung des entwurfsseitig vorgesehenen Pendelstieles in den Binderscheiben durch Beseitigung des kraftschlüssigen Anschlusses des Binderuntergurts unter Verwendung eines Spannbockes.

2.) Verstärkung des Pendelstützen mit besonders großen Restverformungen nach der Überführung des Zweigelenkrahmens in einen einhüftigen Rahmen mit Pendelstiel unter Ausnutzung des Schrumpfeffektes beim Aufschweißen von Winkelprofilen auf der konvexen Seite der Stütze. Dabei wurde unter Verwendung einer auf dem Kastenträger der Kranbrücke ruhenden Abfangstütze mit hydraulischer Presse eine Entlastung des Binderauflagers erzielt.

3.) Korrekturen des Kranherstellers an der Kranbrücke zur Vergrößerung des ursprünglich mit 20 mm angegebenen Toleranzbereiches für Abweichungen von der Spurweite.

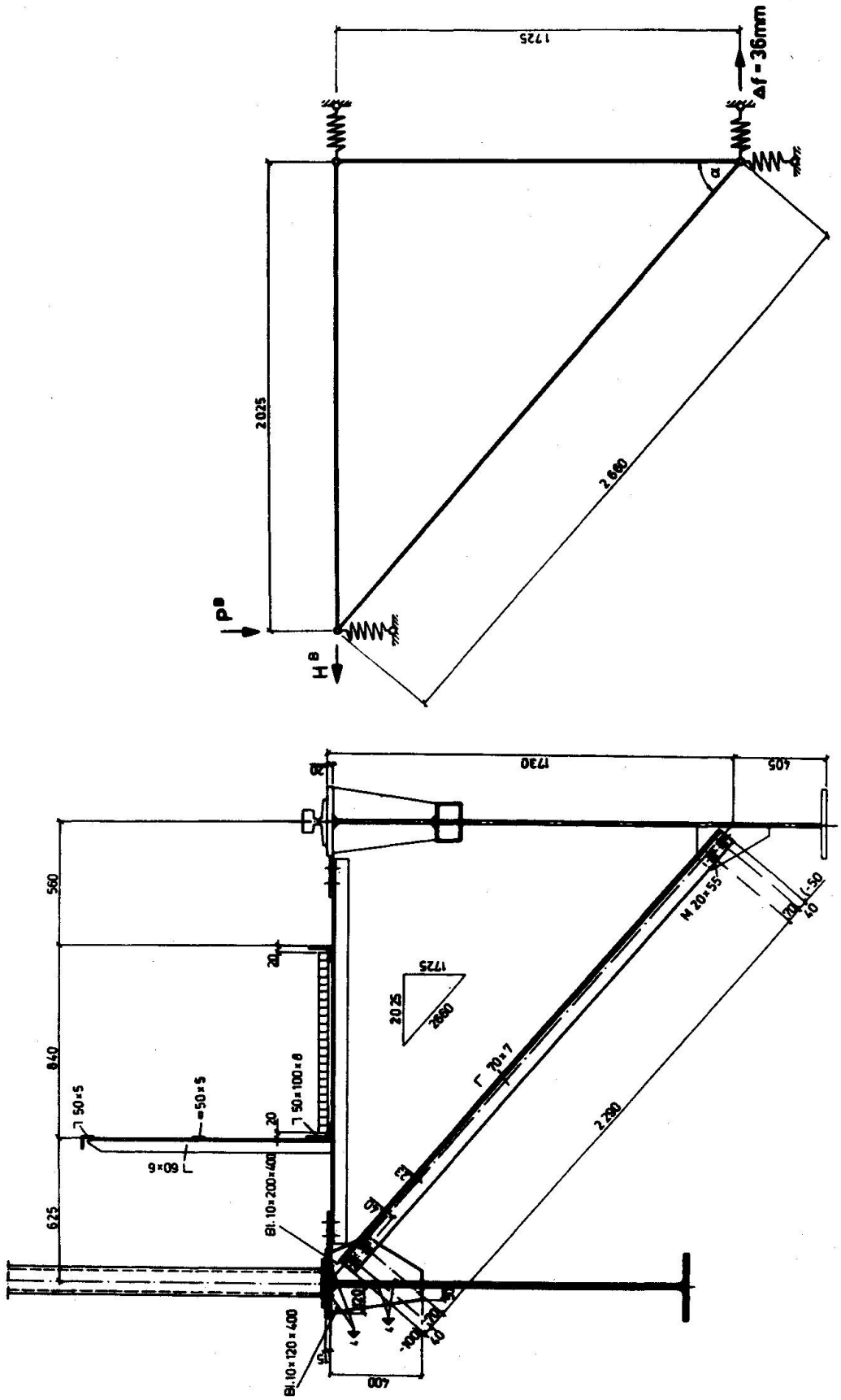


Bild 5: Konstruktion und Tragsystem der Kranbahn

Im Ergebnis der vorgenommenen Untersuchungen und der am Bauwerk realisierten Sanierungsmaßnahmen ist festzustellen, daß bei der Entspannung des Bindersystems Verschiebungen von maximal 17 mm bzw. 13 bis 57 % auftraten. Die Streuung dieser Werte deutet darauf hin, daß sowohl Werkstatt- als auch Montageungenauigkeiten mit verschiedenen hohen Anteilen an der ursprünglichen Gesamtverschiebung beteiligt sind. Der bei der Schnittkraftumlagerung im Bindersystem mitwirkende Einfluß der elastischen Stützung des Binderobergurtes gegen die Fachwerklängswand besitzt rechnerisch etwa den gleichen Stellenwert wie die kraftschlüssige Verbindung des Binderuntergurts mit dem Pendelstiel, kann aber unter Beachtung baukonstruktiver Forderungen an den Anschluß der Dachscheiben des Vorfertigungstraktes an die Endmontagehalle nicht verändert werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine entwurfsgerechte Konstruktion hat in jedem Fall das der Berechnung zugrunde liegende statische System zu realisieren. Die entwurfsseitig vorgsehenen Verformungsfreiheiten des Tragwerkes dürfen dabei nicht wie im vorstehend beschriebenen Falle der baukonstruktiv gewählten Lösung eines starren und damit dichten Dachanschlusses an einen anderen Baukörper widersprechen. Die Forderung nach prinzipiellen Möglichkeiten zum späteren seitlichen Nachrichten von Kranbahnen durch geeignete Lagerkonstruktionen ist bei setzungsempfindlichen Gründungen bzw. verformungsempfindlichen Tragsystemen von besonderer Bedeutung.

SUMMARY

A construction should at least realize the statical system which is at the basis of the dessign. The liberties of deformation as provided in the design of the structure must suit the constructional solution. Craneways are particularly influenced by sinking foundations or easily bucling structures.

RESUME

Une construction doit toujours correspondre au système statique qui est à la base du projet. Les libertés de déformation prévues dans le projet d'une structure ne doivent pas être en contradiction avec la solution constructive choisie. Les ponts roulants illustrent bien cette sensibilité à des fondations susceptibles de tassement ou des charpentes susceptibles de déformation.

Leere Seite
Blank page
Page vide

III

Quantitative Analysis of Psychological Response Against Vibration in Bridge Design

Influence de la réaction psychologique à la vibration, dans le projet de ponts

Einfluß der psychologischen Reaktion gegen Schwingungen im Entwurf von Brücken

Takeo NISHIWAKI
Professor

Masaru HOSHIYA
Associate Professor

Musashi Institute of Technology
Tokyo/Japan

Structural serviceability is considered as a very important factor in modern design concept of bridge and building structures.

It is reported that, although it may be a rare example, an old man on a foot bridge encountered an impediment in walking against the unpleasantness produced by the bridge vibration. In the United States, inhabitants in a tall building often complains of the unpleasantness against wind induced vibrations (1).

Pedestrians on a bridge or inhabitants in a tall building recognize the vibrations as unpleasantness, when the vibration intensity is beyond a certain level, whereas they are not affected by the vibration if it is weak.

This unpleasantness is to be considered as a sort of emotional response which causes a motivation to action. In other words, unpleasantness is associated with human consciousness which is not governed only by vibration magnitude or psychological scale measured by means of experimentally obtained physical quantity.

Modern bridges or buildings should not be designed on the basis of only mechanical responses against physical actions and excitations. Human emotions or their subjective responses should be also integrated on the design.

In this direction, first of all, the psychological scale must be clearly specified. Generally it is the practice to take subjective responses of testees on a simplified model structure in a laboratory in order to estimate the psychological scale. The nonlinear relationship between the physical and the psychological quantities are thereafter plotted on proportional scale.

In the following paragraphs, are presented some observations and discussions on human responses against foot bridge vibration, in which both Miwa's (2) and Kobori's (3) psychological scales are employed. It is noted that although the both scales are based on an almost identical experiment, the results are summarized in different fashions with respect to frequency domains, equal sensation curves and the treatment of compounded vibrations. Consequently the both scales are not necessarily propotional.

In order to establish the functional relationship between the emotional responses of pedestrians on foot bridges and the corresponding psychological scale, field surveying of human responses was performed for pedestrians on twenty three foot bridges during time period from 8 A.M. to 5 P.M. in Tokyo. At the same time, recorded was the vertical vibrations at the center point of each bridge. Fig. 1 shows a part of measured values in the psychological scale for some measured bridges. In this study, the category of emotion was specified into five ranges as shown in Table 1, and parameters such as sex, profession, group and so on are taken as the factors against emotion.

A part of the results of analyses based on the questionnaires to users is given in Fig. 2. It is found that even identical vibration affects quite differently upon the subjective responses of pedestrians who are standing and of pedestrians who are walking. Pedestrians who are standing on a bridge recognize the vibration sharper than those who are walking.

Table 1 Category of Perceptions

1	Imperceptible
2	Barely perceptible
3	Distinctly perceptible
4	Strongly perceptible
5	Severe

Table 2 Vibration Greatness

Factor \ Emotion		Imperceptible	Barely Imperceptible
Standing		0.10	0.13
Walking			
	Men	0.32	0.35
	Women	0.31	0.32
	Businessmen	0.30	0.38
	Laborers	0.37	0.40
	Students	0.32	0.34
	Housewives	0.25	0.28
	Children	0.36	0.27
	Single	0.33	0.37
	Group Talking	0.39	0.31
	Group Not talking	0.30	0.26
	Business	0.33	0.37
	Shopping	0.27	0.27
	Walking	0.26	0.20
	Miscellaneous	0.32	0.34

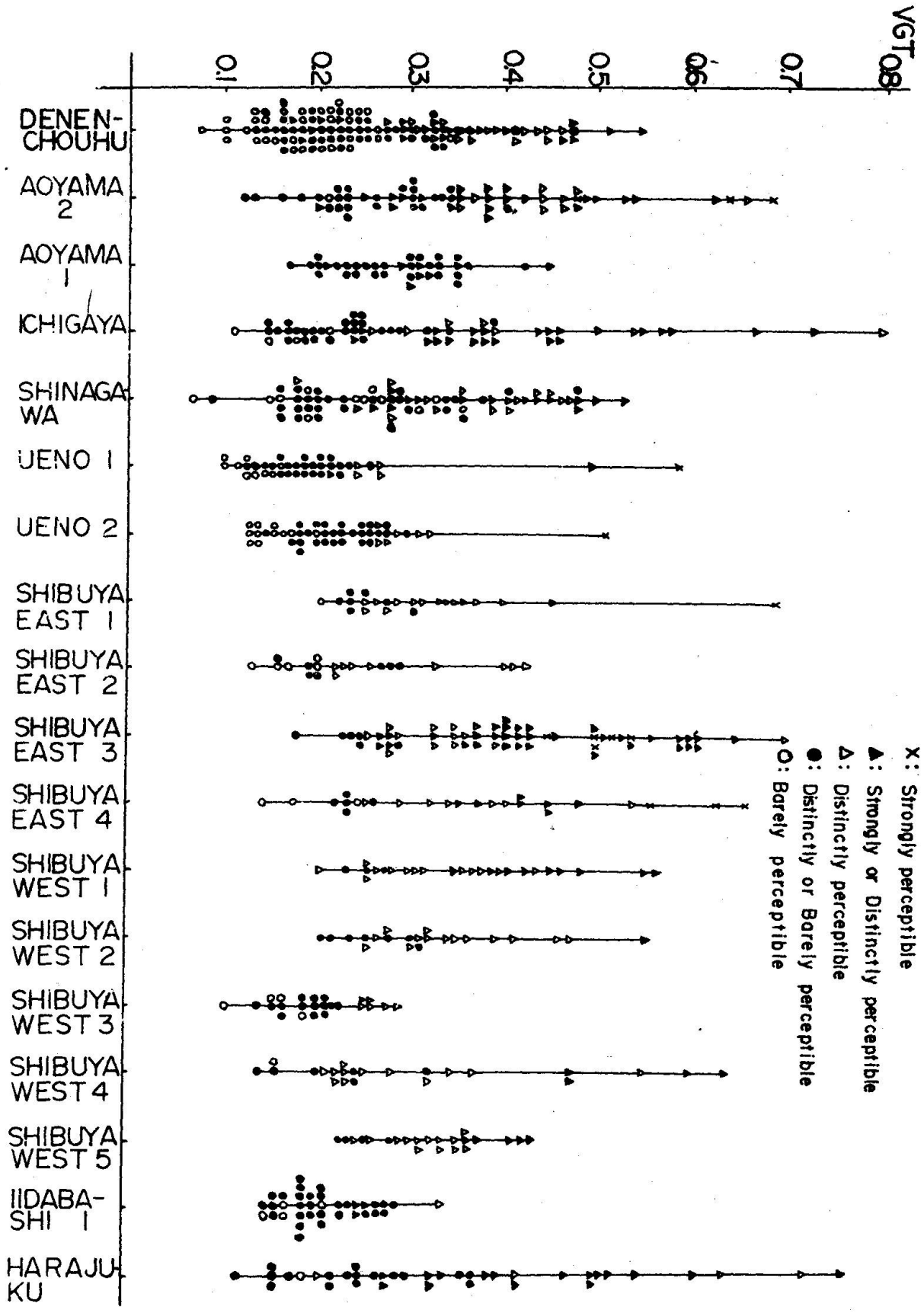


Fig. 1 Measured Vibration Greatness

It is found that there were few cases in which pedestrians had realized the vibration after they were questioned, although they did not feel any shake while walking. Table 2 shows the values of psychological greatness corresponding to the value 50 % of cumulative distribution curves for emotions of pedestrians on foot bridges. The following observations can be made through the surveying.

For the imperceptible emotion, walking persons feel the vibration three or four times greater than when standing, whereas for the barely perceptible emotion, it becomes as two or three time great as in simply standing. It is also observed that the vibration greatness of imperceptible emotion in office area is recognized to fall into the barely perceptible emotion in residential area.

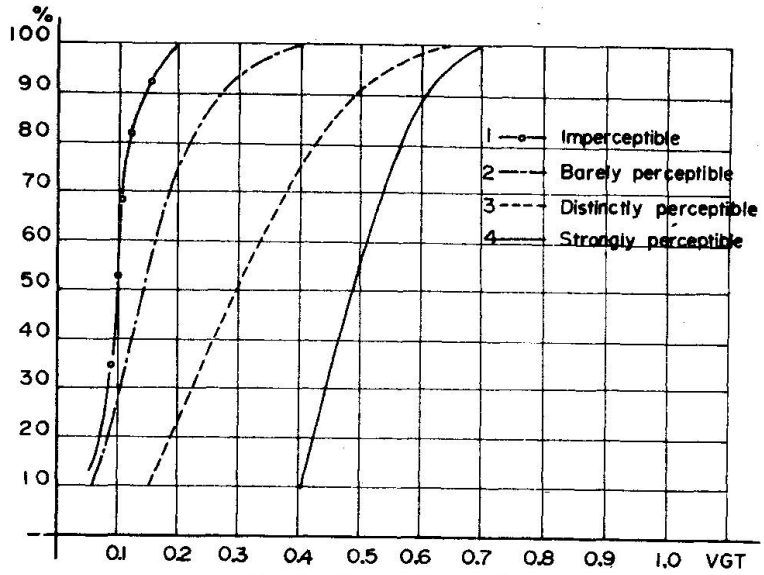


Fig.2-A Standing

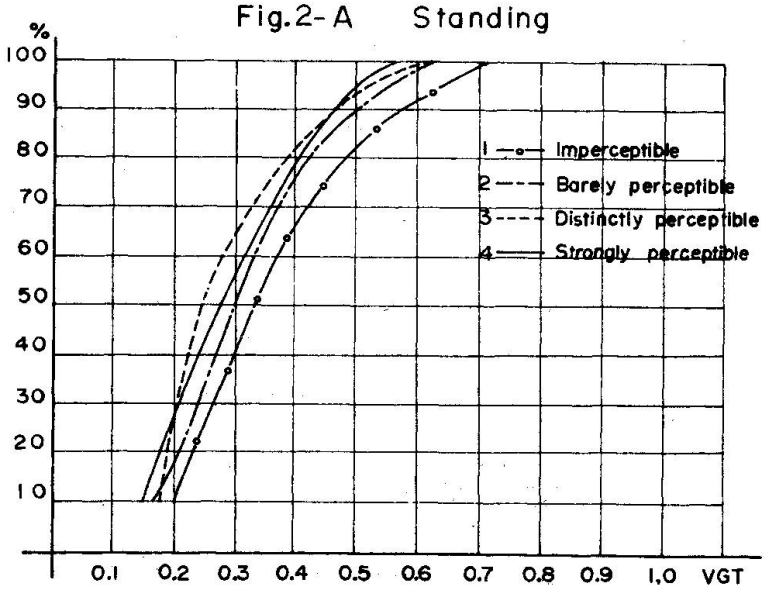


Fig.2-B Walking

Cumulative distribution curves for Emotions of Pedestrians on Foot-bridges

The algebraic average of the values of the imperceptible emotion in Table 2 turned out to be 0.3. The ratio of the numbers of vibration greatness which have, for example, the values less than 0.3 is analyzed against the total observations for each parameter gEI/wl^4. Then the ratio is plotted against gEI/wl^4 in Fig. 3. The curve of vibration greatness can be shown in the different manner. Fig. 4 shows that the curve of vibration greatness against predominant frequency has an upper bound and an lower bound. Most of foot bridges will be fallen into their ranges.

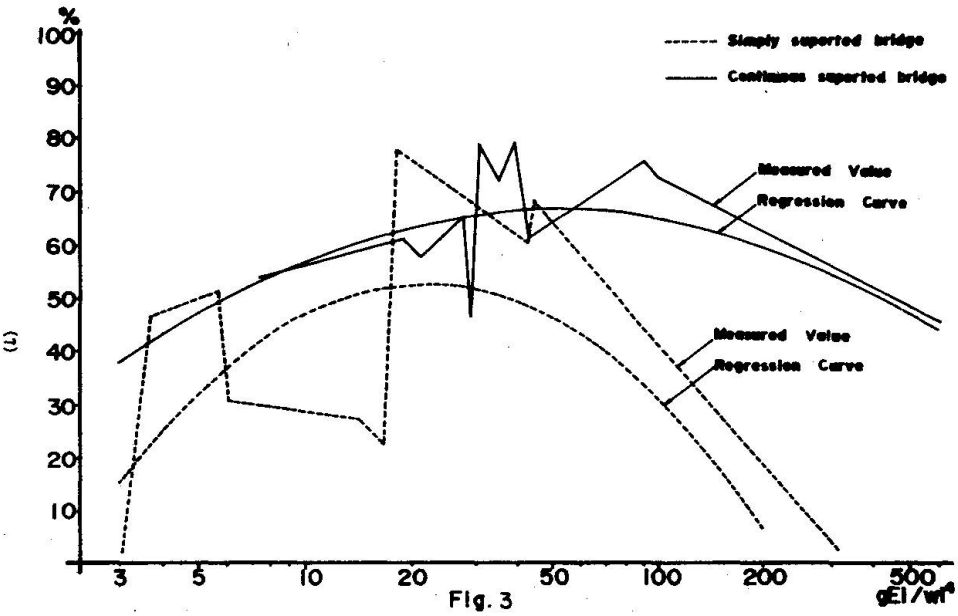


Fig. 3

Probability curve that pedestrians feel such that vibrational greatness is greater than 0.3.

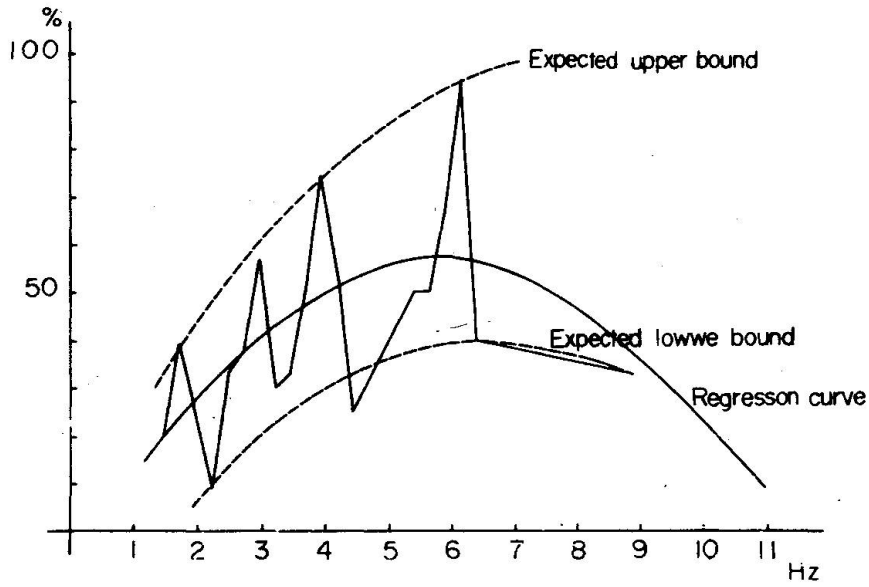


Fig. 4 Probability curve that pedestrians feel such that vibrational greatness is greater than 0.3

By making use of Fig. 3 or Fig. 4, the structural parameter can be properly chosen such that probability that at least half of pedestrians feel the vibration can be put below a prescribed level.

On the basis of the aforementioned study, human responses against bridge vibration can be integrated into the decision of the structural design parameter.

REFERENCES

(1) Chang,Fu-Kuei, "Human Response to Motion in Tall Buildings", Journal of the Structural Division, ASCE, ST-6, June 1973, pp. 1259 - 1273

Hansen,R.J., Reed,J.W. and Vanmarcke,E.H., "Human Response to Wind-Induced Motion of Buildings", Journal of the Structural Division, ASCE, ST-7, July 1973, pp. 1589 - 1605

(2) Miwa,T., "Evaluation Method for Compound Sinusoidal and Random Vibrations", Journal of the Japan Acoustic Society, Vol. 27, No. 1, 1971, pp. 21 - 31

(3) Kobori,T. and Kajikawa,Y., "Ergonomic Evaluation Methods for Bridge Vibrations", Proceeding of the Japan Society of Civil Engineers, No. 230, November 1974, pp. 23 - 31

SUMMARY

Psychological responses of pedestrians on foot bridge vibration are measured and discussed. Then, structural serviceability is emphasized as one of the criteria in the decision of structural design parameters.

RESUME

On a caluclé et commenté les réactions psychologiques des piétons à la vibration d'une passerelle. C'est ainsi que la serviciabilité est considérée comme un des critères de choix des paramètres du projet.

ZUSAMMENFASSUNG

Die psychologischen Reaktionen der Fussgänger auf Fussgängerbrücken wurden gemessen und diskutiert. Sodann wird die Nutzung als eines der Kriterien bei der Wahl der Entwurfsparameter hervorgehoben.

III

Forderungen zur Anstrengungsbeurteilung und zu Sanierungsmaßnahmen von Konstruktionen älterer Industriebauten

Strain and Repair of Older Industrial Buildings

Sollicitation et réparation de bâtiments industriels anciens

Rolf THIELE
Dr.-Ing.
Hochschule für Bauwesen
Leipzig/DDR

1. Problem

Die permanente gesellschaftliche Forderung nach steigenden Produktionsergebnissen verlangt die ökonomisch vertretbare Ausnutzung aller vorhandenen Industriekapazitäten. Dazu gehören auch Industrieanlagen, für welche die durchschnittlich zu erwartende Bestandsdauer erreicht oder überschritten ist. Pugsley [1] nennt als Schätzwert u.a. für Fabrikgebäude 40 Jahre oder 70 - 100 Jahre für Brücken. Derartige Globalwerte haben zunächst eine qualitative Bedeutung. Sie sind in Abhängigkeit von der jeweiligen Konstruktion zu spezifizieren. Auf das einzelne Objekt beschränkte ökonomische Gesichtspunkte haben u.U. hinter dem wirtschaftlichen Gesamtinteresse zurückzustehen. Der Grad der mit zunehmender Bestandsdauer auftretenden Veränderungen einer Konstruktion ist ebenso unterschiedlich wie deren Ursachen. Beides kann in der Phase der Projektierung kaum Berücksichtigung finden, zumal die einheitliche Bestandsdauer aller Bauteile eines Objektes illusorisch ist.

2. "Sicherheit"

So stellt sich für die Industrie die Frage nach der bautechnischen Zuverlässigkeit der Anlagen. Bei Baumaschinen, Lagertanks, Eisenbahnbrücken oder den beachtlichen Stahlbauten der Tagebaugroßgeräte sind Überprüfungen der Zuverlässigkeit durch Institutionen der technischen Überwachung festgelegt. Diese Regelmäßigkeit besteht für den Industriehochbau nur begrenzt. Das hat m.E. seine Ursache in der vergleichsweise kleinen Zahl und engen Lokalisierung von Havarien, die in kausalem Zusammenhang mit dem Tragvermögen gestanden haben. Bei der z.T. wesentlichen Überschreitung der Bestandsdauer von Industriehochbauten wird von dem

Geschick, zu konstruieren früherer Generationen, dem hohen Maß an bewußt oder unbewußt belassenen Reserven und einer begrenzten regelmäßigen Pflege profitiert. Analysen zur statischen Zuverlässigkeit werden in diesem Bereich durch Zufälle ausgelöst. In der Mehrzahl muß die Notwendigkeit durch Nicht-Baufachleute erkannt werden. Tabelle 1 vermittelt einen Überblick über Motive, die zur Veranlassung von Begutachtungen in bautechnischer Hinsicht geführt haben. Dabei liegen - vgl. Tabelle 2 - ohne spezielle Auswahl 69 Stahlbauobjekte zugrunde, über deren Rekonstruktionsprobleme durch Mitarbeit in einem Zeitraum von 7 Jahren Einblick besteht.

Zum Zeitpunkt der Sanierung ist das Alter von 12 % der Industrieobjekte = 50 Jahre, von 55 % = 40 Jahre und von 33 % = 30 Jahre gewesen. Es war stets das Hauptanliegen der Bautätigkeit der Menschen, für die Baukonstruktionen eine angemessene Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Hierzu bedarf es einer Regelung der bautechnischen Untersuchung mit fortschreitender Bestandsdauer. Eine planmäßige statisch-konstruktive Beurteilung würde hektische Kampagnen von überkritischem Abwerten bestimmter Konstruktionen, Begehungen und formalen Nachrechnungen vermeiden.

Konstruktionen mit einem Alter von mehr als 30 Jahren stammen aus einer Zeit, da vereinheitlichte Konstruktionsprinzipien selten gewesen sind. Gleiche Industriebauten mit gleichen äußeren Parametern, zur gleichen Zeit von verschiedenen Firmen errichtet, weisen erhebliche Unterschiede in der konstruktiven Realisierung gleicher statischer Systeme auf. Mit einer schematischen Beurteilung wird im Einzelfall der wahre Sachverhalt und damit der mögliche kritische Zustand nicht erfaßt. Der stets relativierte Charakter des Sicherheitsbegriffes muß in diesem Zusammenhang hervorgehoben werden. Die auf der Wahrscheinlichkeitstheorie beruhenden Überlegungen zur Bauwerkssicherheit gehen von bestimmten Verteilungsgesetzen für das Problem mehr oder weniger einflußreicher Eigenschaften aus.

Der jeweils zur Diskussion stehende Einzelfall der bautechnisch zu sanktionierenden Weiternutzung einer alten Konstruktion gestattet die formale Übernahme dieser Kriterien nicht. Man mag mit Recht einwenden, daß hierzu nur eine Erweiterung des Probabilistischen Modells erforderlich wäre. Abgesehen davon, daß man die Differenz zwischen mathematischer Idealisierung und den wirklichen Verhältnissen - also eine Risikokomponente - vergrößern würde, ist der gegenwärtig in Verantwortung und unter Entscheidungszwang stehenden Bauingenieurgeneration das Denken in wahrscheinlichkeitstheoretischen Kategorien wenig geläufig.

3. Analyse

Durch eine detaillierte sachverständige Analyse werden notwendigerweise anders nicht erfaßbare Unsicherheiten registriert. Die rechnerischen Nachweise für das statische

System oder den einzelnen Querschnitt sind nur für ein die neuen Gegebenheiten adäquat widerspiegelndes Modell sinnvoll und unter dieser Voraussetzung den gültigen Standards gemäß notwendig.

Um einseitige subjektive Urteile bei der Schadensanalyse (vgl. Tabelle 3) oder extrem "risikofreudige" bzw. unvertretbar "vorsichtige" Entscheidungen für Sanierungskonzeptionen zu vermeiden, hat sich die Diskussion zu Alternativauffassungen bzw. die Arbeit eines Fachkollektivs bewährt. Die Beobachtungen und Erfahrungen des Betriebspersonals sind vielfach von außerordentlichem Wert. Neben den genannten sind für die Analyse folgende Maßnahmen und Zielstellungen erforderlich:

3.1. Besichtigung des Bauwerkes an Ort und Stelle

3.2. Information über die Anstrengungsgeschichte, Vergleich vorhandener Unterlagen mit dem Istzustand

3.3. Überprüfung der tatsächlichen statischen Funktion (ebene bzw. räumliche Wirkung) von Haupt- und Nebentraggliedern (lt. Projekt), sowie die Lager- und Stützpunkte. Bereiche der Lastkonzentration verdienen erst recht bei alten Konstruktionen erhöhte Aufmerksamkeit. Dazu gehören auch die Fundamente, obwohl die Auswertung gem. Tabelle 3 für diese Bauteile nur geringe Anteile ergibt und die dort ausgewiesenen 5 % auf Auswaschungen des Untergrundes zurückzuführen sind. Im allgemeinen lassen sich Stütz- und Verbindungskräfte mit geringem Aufwand messen.

3.4. Neue Ermittlung der Eigenlasten und Festlegung der Gebrauchslasten anhand der Betriebsbedürfnisse. Dazu gehören auch Temperatureinflüsse und Montagelasten. Dort, wo das Maß der Lasten garantiert ist, genügen im weiteren u.U. Verformungsmessungen.

3.5. Aufmaß der tatsächlichen Verformungen, um zusätzliche Anstrengungen zu erfassen. Vorverformungen bedeuten bei Druckstäben u.U. wegen Wegfall des Verzweigungsproblems eine "Stabilitätsverbesserung". TGL 13503 bietet die Möglichkeit eines entsprechenden Nachweises auf der Basis zulässiger Spannungen.

3.6. Werkstoffanalyse u.a. im Hinblick auf die Schweißeignung und mechanische Kennwerte. Die auf den Einzelfall begrenzte notwendige Ermittlung von Lasten und Werkstoffkennwerten gestattet dem Statiker einen tatsächlichen Vergleich der äußeren Belastung mit den inneren Anstrengungsmöglichkeiten. Die Unterschiedlichkeit der Unsicherheiten bei Lasten und Werkstoffen beeinflussen dann die Aussagen des formalen Nachweises geringfügiger.

3.7. Träger- und Stabanschlüsse zeigen vergleichsweise häufig Teilversagen, während das Profil selbst ohne Beanstandung bleibt. Eine Kontrolle durch Augenschein

reicht nicht aus. Die probeweise Entnahme von Nieten oder Schrauben gibt Aufschluß über die Notwendigkeit teilweiser oder vollständiger Auswechslung der Verbindungsmittel.

Mit der Analyse sind darüber hinaus die Reihenfolge der Sanierungsmaßnahmen festzulegen und nicht beseitigte Ungewißheiten zu nennen. Die Beurteilung ist durch statische Nachweise und ggf. gezielte Kontrollen zu ergänzen.

4. Berechnung

Selbst bei einer optimalen Analyse des tatsächlichen Zustandes kann ein Rechenmodell mit zunehmender Kompliziertheit der Konstruktion vorhandene innere Beanspruchungen nur annähernd beschreiben. Es besteht u.E. im Rahmen der hier diskutierten Problematik kein zwingender Grund, die Bemessungsmethode nach zulässigen Spannungen auf der Basis der Elastostatik, die den entscheidenden Vorteil der Superposition bietet, abzulösen. Plastizitätstheoretische Betrachtungen können zur Klärung oder Erklärung bestimmter Gegebenheiten dienen, deren Konsequenz jedoch durch planmäßige Veränderung des statischen Systems neutralisiert werden kann.

Die Abschätzung von Eigenspannungen, der Qualität des Kraftflusses bei Profilverstärkungen oder das Problem der Warmfestigkeiten stellen mehr oder weniger große Ungewißheitskomponenten dar. So hat es sich bewährt, die zulässigen Beanspruchungswerte, welche z.Z. der Projektbearbeitung gültig gewesen sind, den neuen Nachweisen zugrundezulegen. Zumindest ist das für den Grenzlastfall "Hauptlasten" zu empfehlen, dem auch Montagezustände zuzuordnen sind.

5. Konstruktive Ausführung und Montage

Hierzu seien einige wiederholt gestellte Forderungen genannt und erläutert:

5.1. Die wichtigste Forderung ist wohl die des zwängungsfreien Austausches von Bauteilen, des zwängungsfreien Anpassens von Zusatzkonstruktionen (Bandagen, Stütz-Böcke, Unterspannungen usw.) sowie der Realisierung notwendiger Toleranzen etwa für Temperaturverformungen.

5.2. Die Auswechslung eines nicht mehr ausreichenden Profils ist der Verstärkung vorzuziehen. Wo diese aber durch schubfeste Verbindung der Beilagen nicht zu umgehen ist, sind damit verbundene Außermittigkeiten gering zu halten.

5.3. Die Einbeziehung von nicht ausgelasteten Nebentraggliedern durch entsprechenden Verbund in Stabilisierungs- und Haupttragfunktionen. Beispiele hierfür sind u.a.:

a) das Verschweißen der Abdeckriffelbleche untereinander und mit der Deckenträgerlage ergibt eine horizontal wirksame Scheibe; oder

b) entsprechend mit dem Stützensystem verbundene

ebene Wandelemente, die ausschließlich mit raumabschließender Funktion projektiert wurden, können tatsächlich zur Entlassung senkrechter Verbandscheiben führen.

5.4. Die Konsequenz aus der z.T. früher unzureichenden Beachtung der Torsionsbeanspruchung (Schubmittelpunkt, Wölbnormalspannungen) muß nicht in jedem Fall kostenaufwendiger Ersatz des verdrehten Trägers sein. Maßnahmen zur Gewährleistung der Profiltreue, zur Verstärkung der Biegeträgheit um die Querschnittsachse in der Biegemontagenebene, die Berücksichtigung der Verdrehung bei der Aufteilung der Schnittkräfte und in der Mehrzahl der Fälle die Sanierung des Trägeranschlusses ermöglichen eine zuverlässige statische Funktion.

5.5. Es wurde und wird oft vergessen, daß auch die "Praxis"-Bedingungen scharf definiert werden müssen, da diese durch nicht sachgemäße Behandlung bei Fertgiung, Transport, Lagerung und Montage jederzeit empfindlich gestört werden können. D.h., die Technologie, die den Montagebrigaden als Anleitung in die Hand gegeben wird, muß ausdrücklich beinhalten, welche negativen Folgen bei Nichtbeachtung bestimmter vom Regelfall des Neubaus abweichender Maßnahmen möglich sind. Dem einzelnen Monteur kann die Abschätzung solcher Einflüsse und damit die entsprechende Verantwortung nicht zugemutet werden.

6. Kontrollen

Die laufende Kontrolle von Konstruktionen mit überzogener Bestandsdauer ist unerläßlich. Kontrollmethode und zu messende Größen sind ebenso wie die Kontrollintervalle von der das Objekt beurteilenden Institution vorzugeben und zu verfolgen. Eine systematische Überwachung, die nach dem Grad der Erfahrung auf gezielte Stichproben beschränkt bleiben kann, ist für überalterte Stahlkonstruktionen sicherlich die zweckmäßigste Zuverlässigkeitsanalyse.

Insbesondere bei Objekten mit verbriefter nur noch kurzzeitiger Nutzung erscheint ein erhöhter Aufwand an regelmäßigen Messungen bei einem jeweiligen Mindestmaß an Sanierung berechtigt, wenn das Tragverhalten als unveränderlich zu bezeichnen ist. Beispielsweise wird die Tendenz hin zum Grenztragvermögen einer vorverformten Stütze - sofern ein Ausweichen aus der Verformungsebene verhindert ist - durch die progressive Tendenz der Verformung selbst bestimmt. Wenn durch Kontrollmessungen für einen längeren Zeitraum und damit für die möglichen Belastungsvarianten Konstanz der Biegelinie ausgewiesen werden kann und der Nachweis für den planmäßig außermittig gedrückten Stab nach den Stabilitätsvorschriften erbracht ist, so ist diese Stütze für ihre Funktion zuverlässig, obwohl sie ursprünglich nur in gerader senkrechter Position ihre Funktion "sicher" erfüllt hat.

Risiken für Menschenleben und materielle Güter (im ökonomischen Vergleich) müssen vermieden werden. Somit sind die Konsequenzen nach Zeile 6 und 7 der Tabelle 4 im weitesten Sinne gleichfalls Sanierungsmaßnehmen. Sie nehmen sich vergleichsweise gering aus, zumal bei der vorliegenden Auswertung nur zwei Industriegebäude Eingang in die Zeilen 6 und 7 finden mußten.

Literatur:

[1] Pugsley, A.:
The safety of structures,
Arnold, London 1966

[2] Schlechte, E.:
Festigkeitslehre für Bauingenieure,
Verlag für Bauwesen, Berlin, 3. Auflage, 1974

[3] Murzewski, J.:
Sicherheit der Baukonstruktionen,
Verlag für Bauwesen, Berlin, 1973

ZUSAMMENFASSUNG

Konstruktionen weisen mit zunehmendem Alter aus verschiedenen Gründen Veränderungen auf. Für Aussagen zur Zuverlässigkeit sind spezielle Analysen erforderlich. Unter Zugrundelegung praktischer Beispiele werden Forderungen zum Inhalt der notwendigen Beurteilung und zu Sanierungsmaßnahmen abgeleitet.

SUMMARY

Constructions will present some alteration with the time, due to various reasons. Reliability will be checked with the help of special analyses. Examples are presented.

RESUME

Pour différentes raisons, les structures présentent des altérations avec le temps. Des analyses particulières sont nécessaires pour contrôler leur sécurité. Des exemples sont présentés.

TABELLE 1: MOTIVE, DIE ZUR VERANLASSUNG VON ANALYSEN IN STATISCHER HINSICHT GEFÜHRT HABEN

ZEILE	VERANLASSUNGSMOTIV	ANTEIL [%]
1	BEABSICHTIGTE VERÄNDERUNG DER ÄUSSEREN BELASTUNG, DES STATISCHEN SYSTEMS ODER DER GEOMETRIE DER KONSTRUKTION	31
2	ZERSTÖRUNGEN ODER VERSAGEN INNERHALB DER KONSTRUKTION (OHNE FIXIERUNG DES AUSMASSES)	43
3	SCHWINGUNGEN	5
4	ROUTINEMÄSSIGE UNTERSUCHUNG, AUSSCHLIESSLICH WEGEN DES ALTERS DER KONSTRUKTION	8
5	ANWEISUNG ZUSTÄNDIGER INSTITUTIONEN	14
6	INFORMATION ÜBER SCHADENS-FÄLLE BEI ÄHNLICHEN VER-HÄLTNISSEN	6

TABELLE 2: VERTEILUNG IN STATISCHER HINSICHT ZU ANALYSIERENDER OBJEKTE [1]

ZEILE	OBJEKT	ANZAHL	ANTEIL [%]
1	GEBÄUDE (MASCHINEN-, KESSEL-, TROCKNERHÄUSER, BRIKETTFABRIKEN) FABRIKATIONSGEBÄUDE DER CHEMISCHEN INDUSTRIE, HALLEN EINSCHLIESSLICH KRANBAHNEN	38	55
2	LAGERTANKS, ROHRLEITUNGEN, BEHÄLTER	14	20
3	TAGEBAUGROSSGERÄTE	11	16
4	BRÜCKEN	4	6
5	KÜHLTÜRME	2	3
6	Σ	69	100

1) IN DEM BETRACHTETEN ZEITRAUM SIND DIE OBJEKTE NACH ZEILE 3 MEHRFACH GEGENSTAND KRITISCHER ANALYSEN GEWESEN.

TABELLE 3: VERTEILUNG DER SCHADENS-URSACHEN [2) 3)]

ZEILE	SCHADENSURSACHE	ANTEIL [%]
1	KORROSION WEGEN UNGENÜGEN-DER KORROSIONSSCHUTZPFLEGE, CHEMISCHER EINFLÜSSE ODER STÄNDIGER FEUCHTIGKEIT (NASS-DIENST)	36
2	UNKONTROLLIERTE STATISCHE EINWIRKUNGEN (Z.B. ASCHEAB-LAGERUNGEN, BEHINDERUNG DER STÜTZLAGERFUNKTION, KRAFT-UMLAGERUNGEN)	11
3	NACHFOLGEERSCHEINUNGEN VON KRIEGSEINWIRKUNGEN ODER UNABWENDBAREN EINFLÜSSEN	9
4	WÄRMEEINWIRKUNG	8
5	UNPLANMÄSSIGE FUNDAMENT-SETZUNGEN	5
6	UNTERBEMESSUNG (Z.B. FÜR TORSION, KIPPEN)	13
7	SCHWINGUNGEN	5,5
8	FERTIGUNGS-, MONTAGE-, SANIERUNGSFEHLER	9
9	NICHT EINDEUTIG ZU SCHLUSS-FOLGERN	3,5

2) ES WERDEN PRIMÄRURSACHEN GEWERTET. FOLGEERSCHEI-NUNGEN (EXTREME VERFORMUNGEN, INSTABILITÄTEN ETC.) SIND NICHT GESONDERT AUSGEWIESEN.

3) DIE HÄUFIGE TEILURSACHE "ÜBERALTERUNG" WIRD NICHT GESONDERT AUFGEFÜHRT.

TABELLE 4: VERTEILUNG DER SANIERUNGSMASSNAHMEN [4)]

ZEILE	MASSNAHME	ANTEIL [%]
1	OHNE, BZW. LÄSST SICH MIT HILFE DER STANDARDS FÜR DAS TAT-SÄCHLICH WIRKSAME SYSTEM EINE AUSREICHENDE SICHERHEIT NACHWEISEN	13,5
2	GEBRAUCHSLAST - BESCHRÄNKUNG	10
3	SANIERUNG AN EINZELELEMENTEN ODER FÜR ÖRTLICHE BEREICHE (AUSWECHSELN VON STÄBEN, QUERSCHNITTSVERSTÄRKUNGEN, REPARATUREN VON ANSCHLÜSSEN	26
4	SANIERUNG GANZER KONSTRUK-TIONSGRUPPEN ODER -ABSCHNITTE	17
5	ZUSATZKONSTRUKTION (ETWA ZUR TEILWEISEN ENTLASTUNG, VER-ÄNDERUNG DES STATISCHEN SYSTEMS, STABILISIERUNG ETC.)	15
6	QUASI VOLLSTÄNDIGE ERNEUERUNG	15
7	SOFORTIGE SPERRUNG	3,5
a	PROBEBELASTUNG MIT 1,25-FACHER GEBRAUCHSLAST FÜR DIE ENT-SCHEIDUNGSFINDUNG	7
b	WEITERE REGELMÄSSIGE BE-OBACHTUNGEN (Z.B. KONTROLL-MESSUNGEN) VERANLASST	8

4) DIE HÄUFIGE PARALLELMASSNAHME "ERNEUERUNG DES KORROSIONSSCHUTZES" IST NICHT AUSDRÜCKLICH AUFGEFÜHRT.

III

Möglichkeiten der automatisierten Tragwerksberechnung bei Rekonstruktionsmaßnahmen

Possibilities of Automated Design for Transformation of Structures

Possibilités du calcul automatique pour des transformations de charpentes

Dieter KARGER*
Dr.-Ing.
Bauakademie der DDR
Dresden/DDR

Bei der Anpassung eines Bauwerkes an eine andere, als die ursprünglich geplante Nutzung, müssen oft Fragen im Zusammenhang mit höheren Nutz- oder Verkehrslasten beantwortet werden. Neben einer möglicherweise anderen Transporttechnologie spielt dabei die Belastbarkeit des Bauwerks die größte Rolle.

Für dieLösung dieser Problematik stehen heute verbesserte Rechenhilfsmittel zur Verfügung, mit denen statische und dynamische Untersuchungen von ebenen oder räumlichen Stabtragwerken beliebiger Topologie und Belastung nach Theorie I. bzw. II. Ordnung auf einem Rechenautomaten durchgeführt werden können. Damit ist das Tragverhalten eines Bauwerkes wesentlich zutreffender erfaßbar und vorhandene Tragreserven werden sichtbar.

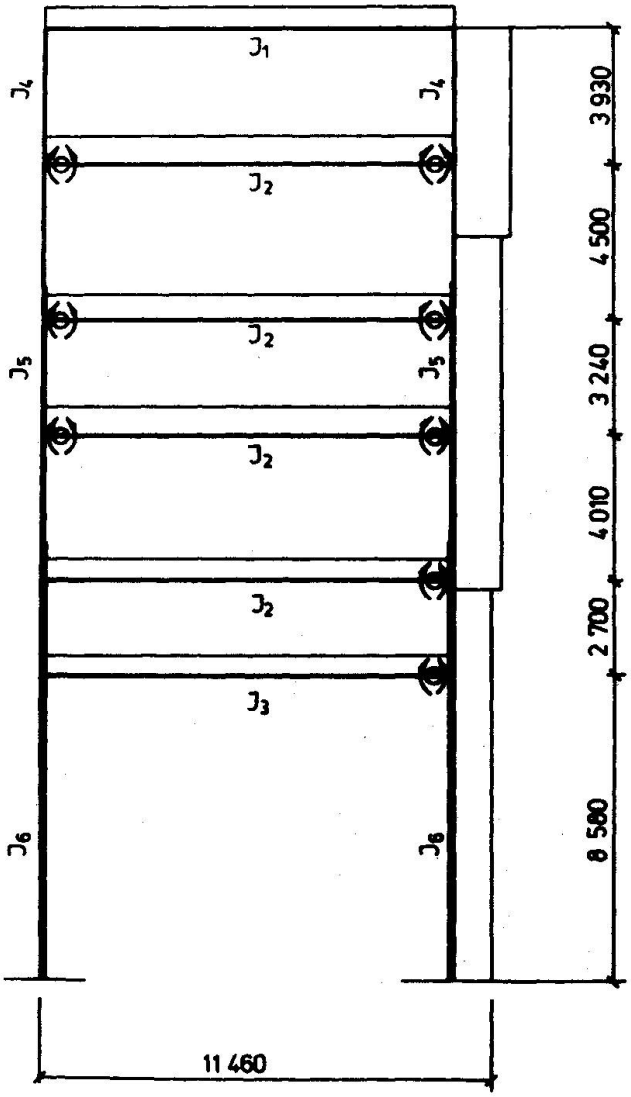
Unterstützt wird dieses Bemühen durch Programme mit denen eine Bemessung für stählerne Querschnitte durchgeführt werden kann. Durch die Benutzung entsprechender Optimierungsstrategien kann für statisch unbestimmte Tragwerke der konkreten Rekonstruktionsaufgabe besonders gut entsprochen werden. Als Zielfunktion wird das minimale Stabolumen bzw. werden die minimalen Materialkosten verwendet. Das kann geschehen mittels einer Suche nach der vollbeanspruchten Konstruktion, d.h. der iterativen Anpassung der jeweiligen Stabsteifigkeiten an die erforderliche Steifigkeit. Die Zielfunktion wirkt dabei nur mittelbar auf die Bemessung ein. Oder aber - man benutzt die Zielfunktion unmittelbar zur Steuerung der Bemessung und gewinnt durch eine Wichtung der Alternativwerte in einem Profilfächer eine optimale Lösung. Das Beispiel einer durchgeführten Rekonstruktionsmaßnahme soll einige Möglichkeiten der Programme erläutern.

In einem Kraftwerk waren infolge höherer Energieabgabe um 70 % größere Verkehrslasten als bisher von einem Rahmentragwerk aufzunehmen (Bild 1). Es sollte untersucht werden, inwieweit die vorhandene Konstruktion ohne Verstärkung die höhere Belastung aufnehmen kann.

Die Nachrechnung ergab, daß die Schwachstellen im Anschluß der Riegel an die Stützen lagen, d.h. in der Aufnahme

---

* In Zusammenarbeit mit TU Dresden, Sektion Bauingenieurwesen, Wissenschaftsgebiet Baumechanik II, Prof. Dr.-Ing.habil H. Müller

des entsprechendes Momentes. Für diesen Anschluß, einem geschraubten Kopfplattenstoß; wurde das aufnehmbare Fließmoment bestimmt. Dazu wurde die Streckgrenze der verwendeten Schrauben durch Versuch ermittelt und die entsprechende Annahme über die Lage des Schwerpunktes der Zugschrauben ebenfalls nach Versuch bestimmt. An den Anschlußpunkten, an denen das vorhandene Moment über dem jeweiligen Fließmoment lag, wurden Fließgelenke mit den dazugehörigen Momentenwerten eingeführt (Bild 1). Mit dem nun neuen statischen System ist der Rahmen erneut berechnet worden. Es konnte nachgewiesen werden, daß jetzt die Beanspruchung innerhalb der zulässigen Grenzen lag. Erfolgte die bisherige Berechnung nach Theorie I. Ordnung, wurde nun in einer 3. Berechnung der Einfluß der Verschiebungen auf das Kräftegleichgewicht untersucht und nach der Theorie II. Ordnung die Beanspruchung ermittelt. Auch dafür konnte der Nachweis ausreichender Sicherheit erbracht werden.

Die horizontale Verformung der oberen Riegelknoten stieg von ursprünglich 3,5 cm auf nun 24,0 cm an. Die Rechenzeit für diese Nachrechnung betrug ca. 25 Minuten und die Rechenkosten ca. 2,5 TM. Damit konnten mit einem winzigen Bruchteil der Mittel für eine Verstärkung der Konstruktion erhebliche Mengen Material und Arbeitszeit eingespart werden.