

**Zeitschrift:** IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte

**Band:** 57/1/57/2 (1989)

**Rubrik:** Poster Session 1

#### **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:** 21.02.2026

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



## POSTERS

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**

## Dauerhafte Dachkonstruktionen besonderer Industriebauten

Durable Roof Construction of Industrial Buildings

Construction durable de toits de bâtiments industriels

**Wolfgang RÖSEL**  
Prof. Dr.-Ing.  
Industriearchitekt  
Darmstadt, BR Deutschland



Wolfgang Rösel, geb. 1936, promovierte 1974 an der technischen Universität in Berlin. Nach 12jähriger, freiberuflicher Tätigkeit als Industriearchitekt erfolgte 1975 die Berufung an die Universität Kassel, Lehrgebiet Projektmanagement/Industriebau im Fachbereich Architektur.

### ZUSAMMENFASSUNG

Auch bei modernen Industriebauten mit kritischem Chemismus, der auf das Hüllsystem des Gebäudes, insbesondere auf das Dach einwirken kann, bewähren sich häufig traditionelle Bauformen, Konstruktionen und Baustoffe — wie bereits zu Beginn des Industriezeitalters.

### SUMMARY

Modern industrial buildings often involve chemical conditions which attack the shell system of the structure, especially the roof. Here traditional types of buildings, constructions and materials prove useful — just as at the beginning of the industrial age.

### RÉSUMÉ

Dans de nombreux bâtiments industriels modernes règnent des conditions chimiques qui ont une influence sur les systèmes de construction, particulièrement sur les toitures. Ici, les formes traditionnelles de constructions et de matériaux font leurs preuves, comme au début de l'ère industrielle.



## 1. ASPEKTE DER DAUERHAFTIKEIT ALS PLANUNGSAUFGABE IM INDUSTRIEBAU

Auch bei Industriebauten traten in den letzten zwanzig Jahren zunehmend Bau-schäden auf, die zu großem Kostenaufwand bei ihrer Beseitigung und bei der Sanierung führten. Gelegentlich erwies es sich als zweckmäßig, Teile der ge-schädigten Bausubstanz durch neue, andersartige Konstruktionen zu ersetzen. Dabei verwendete man anstelle der Materialien, die sich als nicht beständig erwiesen hatten, altbewährte, wie sie seit jeher im traditionellen Bauen ver-wendet worden waren.

Die Ursache solcher Schäden lag in einigen Fällen auch in den besonderen be-trieblichen Zustandsbedingungen. Industriebauten dienen regelmäßig als Gebäu-dehülle für Produktion oder Lagerung. Dabei entstehen manchmal Emissionen, die bei gewöhnlicher Gebäudenutzung nicht auftreten. So können Gase und Dämpfe in Verbindung mit Schwitzwasser oder Luft den Baumaterialien durch chemische Reak-tionen Schaden zufügen. Es gilt deshalb, die beim Betrieb eines Industriebaus zu erwartenden Verhältnisse vorher zu klären. Erwartete schädliche Einflüsse auf die Baukonstruktion sind durch geeignete Materialien und Konstruktionen zu vermeiden.

Dieser Beitrag behandelt als Teilproblem einen Aspekt der Dauerhaftigkeit von Dächern in der Alkohol-Getränkebranche.

## 2. PROJEKTSTUDIE UND GENERALBEBAUUNGSPLAN

Ein traditionsreiches deutsches Unternehmen der Alkohol-Getränkebranche ließ 1978/79 durch mich eine Projektstudie erstellen, aus der ein Generalbebauungs-plan entstand. Das auf denkbare Bedürfnisse der Zukunft ausgerichtete Bau-volumen umfaßt ca. 300.000 cbm auf zwei verschiedenen Betriebsgeländen, von denen bisher etwa 75.000 cbm realisiert wurden.

Zur Projektstudie gehörten auch die Aspekte der Dauerhaftigkeit von Dachkon-struktionen unter den besonderen, branchentypischen Verhältnissen, da man bei bestehenden Bauten unterschiedlichen Alters sehr verschiedene Erfahrungen mit der technischen Beständigkeit von Dachkonstruktionen und Dachhaut gesammelt hatte. Die Einflüsse des bei der Destillatlagerung in Holzfässern verdunsten-Alkohols wirkten sich sehr unterschiedlich auf die Bausubstanz aus.

## 3. DÄCHER ALTER GEBÄUDE

### 3.1 Konstruktion

Traditionell wurden die geneigten Dächer über den Produktions- und Lagergebäu-den der Alkohol-Getränkebranche als Holzkonstruktionen, teilweise mit weit ge-spannten Bindern ausgeführt. Auf einer Holzschalung befand sich eine Papplage und darüber eine Schieferdeckung, oder man legte gebrannte Tondachziegel auf einer Lattung aus. Derartige Dachkonstruktionen findet man ebenso im deutschen Rheingau, wie in Cognac, in der französischen Charente. Die wesentliche Ausprä-gung derartiger Dächer besteht in der schuppenden Dachdeckung, welche das Nie-derschlagswasser zuverlässig ableitet und zugleich dem emittierten Alkohol Gele-genheit gibt, durch unzählige Ritzen ins Freie zu entweichen.

### 3.2 Allgemeine Beurteilung der technischen Lebensdauer

Manche der bestehenden, in traditioneller Manier errichteten Lager und Produk-tionsgebäude sind über hundert Jahre alt. Die hölzerne Dachkonstruktion hat diese Zeit ohne Schaden überdauert. Die Dachhaut, d.h. die schuppende Deckung aus Schiefer oder Ziegeln, wurde durchschnittlich einmal erneuert, sonst nur bei kleineren Schäden repariert. Die erreichte technische Lebensdauer betrug bei Schieferdeckungen etwa achtzig Jahre, bei frostbeständigen, gebrannten Ton-

ziegeln etwa neunzig bis einhundert Jahre und bei leichteren, französischen Dachziegeln etwa sechzig Jahre.

Da man jahrhundertealte, hölzerne Dachkonstruktionen kennt, ist davon auszugehen, daß diese bestehenden Dächer noch viele Jahrzehnte unbeschadet überdauern werden.

#### 4. DÄCHER NEUER GEBÄUDE

##### 4.1 Konstruktion

Die hier betrachteten Gebäude, welche nach 1960 entstanden sind, bestehen aus einer Stahlbeton-Fertigteilkonstruktion mit flachen oder flach geneigten Dächern. Auf den Bindern sind mit oder ohne Pfetten Stahltrapezbleche unterschiedlicher Spannweite in der Dachneigung oder parallel zu First und Traufe verlegt. Darüber befindet sich ein kontruktionsüblicher Walmdachaufbau, bestehend aus Dampfsperre, Wärmedämmung und oberer Haut, die aus geklebter Pappe oder aus aufgelegter Kunststoffbahn besteht.

##### 4.2 Schadensbild und Ursachen

Bei diesen neueren Gebäuden entstanden schon wenige Jahre nach ihrer Fertigstellung, z.T. bereits nach drei Jahren des Gebrauchs, Schäden an der Dachhaut und in deren Folge auch an der Konstruktion. Stellenweise rosteten die Trapezbleche von den verbohrten Hohlräumen her durch und der Beton der Fertigteilkonstruktion wurde in den Randbereichen des Daches an der Oberfläche etwa 10 - 15 mm tief zerstört.

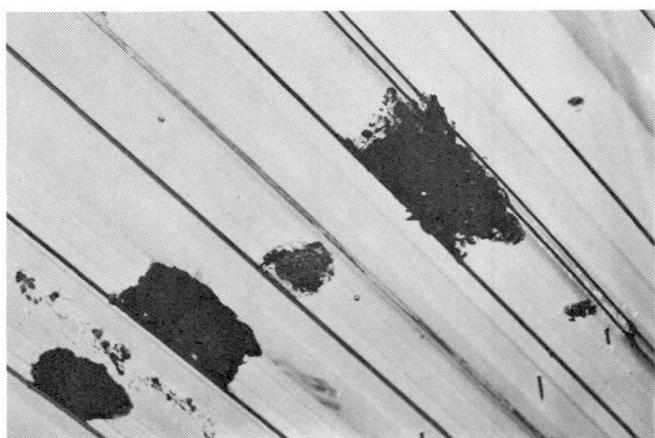
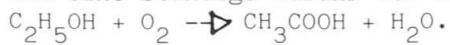


Abb. 1

Von den Hohlräumen her korrodierte Stahltrapezbleche des Daches einer Destillatlagerrhalle. Essigsäure bildet die Ursache dieses Schadens.

Bei der Suche nach der Schadensursache stellte man fest, daß unterhalb des Daches der stechende Geruch von Essigsäure auftrat. Essigsäure,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , bildet sich in den Hallen durch bakterielle Oxydation von verdünntem Alkohol an der Luft. Die besten Bedingungen liegen bei 5% bis 10%igem Alkohol und 25° bis 35° C Lufttemperatur vor. Ebenso notwendig ist eine große Oberfläche und eine ständige Zufuhr von Luftsauerstoff. Dann entsteht Essigsäure:



Bei 16,5° C erstarrt Essigsäure zu eisähnlichen Kristallen, sogenannter Eisessig. Diese Kristalle sind in Wasser, Alkohol, Äther und Glyzerin in jedem Verhältnis löslich. Die Eisessigkristalle wurden ebenfalls in den Schadenbereichen der Halle angetroffen. Sie sind orange bis tiefrot gefärbt, was von der Eisenkorrosion der Armierung herrührt. Bei eingehenden Materialuntersuchungen fand man die Salze der Essigsäure, Azetate, vielfältig in den geschädigten Bereichen des Betons und an den korrodierten Metallteilen.



Alkohol ist stark hygroskopisch und mischt sich in jedem Verhältnis unter Volumenverminderung und gleichzeitiger Wärmeentwicklung. Es wird sich also überall dort verdünnter Alkohol als Ausgangsbasis für die Essigsäure bilden, wo Wasser in der Halle auftritt, z.B. als Folge von Wasserdampfkondensation (Schwitzwasser).

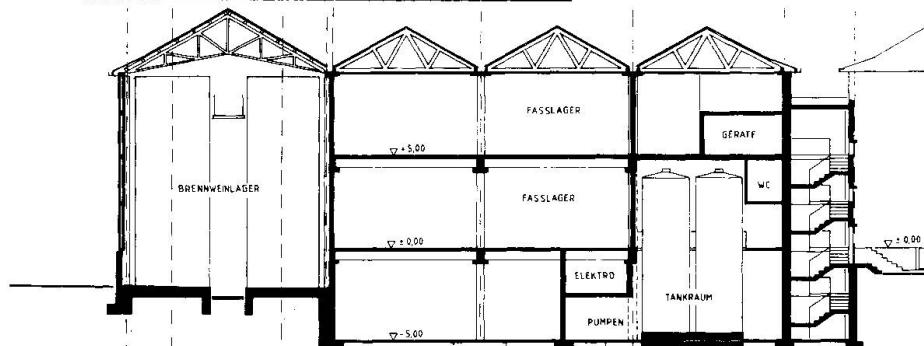
Die Sanierung der geschädigten Dächer erfolgt Zug um Zug so, daß die Stahltrapezbleche durch eine Holzkonstruktion mit Schalung ersetzt werden. Der Nachteil der insgesamt geschlossenen Warmdachfläche, welche das Entweichen des verdunstenden Alkohols in das Freie verhindert, ist dadurch jedoch nicht beseitigt.

## 5. NEUBAUTEN AB 1980

### 5.1 Planungskriterien

Für die Neuplanungen erfolgten Untersuchungen über die jeweils zweckmäßige Dachausführung unter Berücksichtigung der in den Produktions- und Lagerhallen herrschenden, besonderen Verhältnisse bezüglich Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Alkohol-Konzentration, sowie des dadurch evtl. bewirkten Chemismus. Die bauliche Lösung erfolgte nach den optimalen, technisch-konstruktiven Möglichkeiten, der günstigsten Herstellungskosten, der Feuerwiderstandsklasse, der Wartungsfreundlichkeit der Bauteile und der absehbaren technischen Lebensdauer. Die inzwischen ausgeführten Objekte haben grundsätzlich geneigte Dächer, und sie sind mit einer schuppenden, wasserableitenden Deckung versehen, die jedoch nicht dampfdicht ist.

### 5.2 Objekt 1: Brennwein- und Destillatlager



Das Brennweinlager besteht aus zwölf zylindrischen Tanks ( $h=11,2\text{ m}$ ,  $\varnothing=3,8\text{ m}$ ). Das darüber befindliche, geneigte Dach wird von Stahlbindern getragen, wo sich zwischen diesen und oberhalb der Tanks die erforderlichen Arbeitsräume für Wartung und Betrieb ergeben. Die Dachkonstruktion über dem Destillatlager besteht aus hölzernen Nagelbindern mit einer Holzschalung, welche eine Papplage und die Schieferdeckung trägt. Weil an der Unterseite der Nagelbinder eine dem geforderten Feuerwiderstand entsprechende Gipskarton-Bekleidung angebracht wurde, entsteht ein wärmedämmender Dachhohlraum oberhalb der Lagerräume.

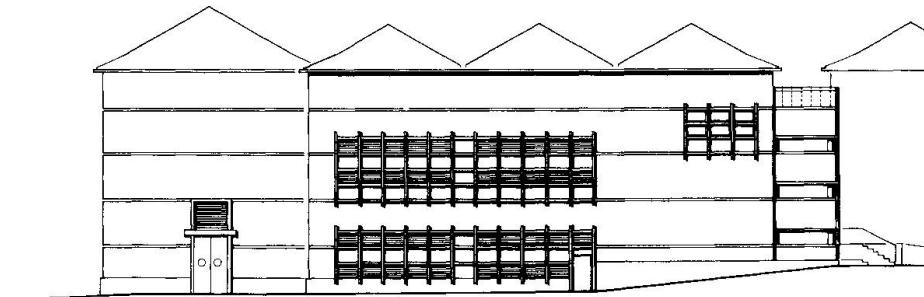


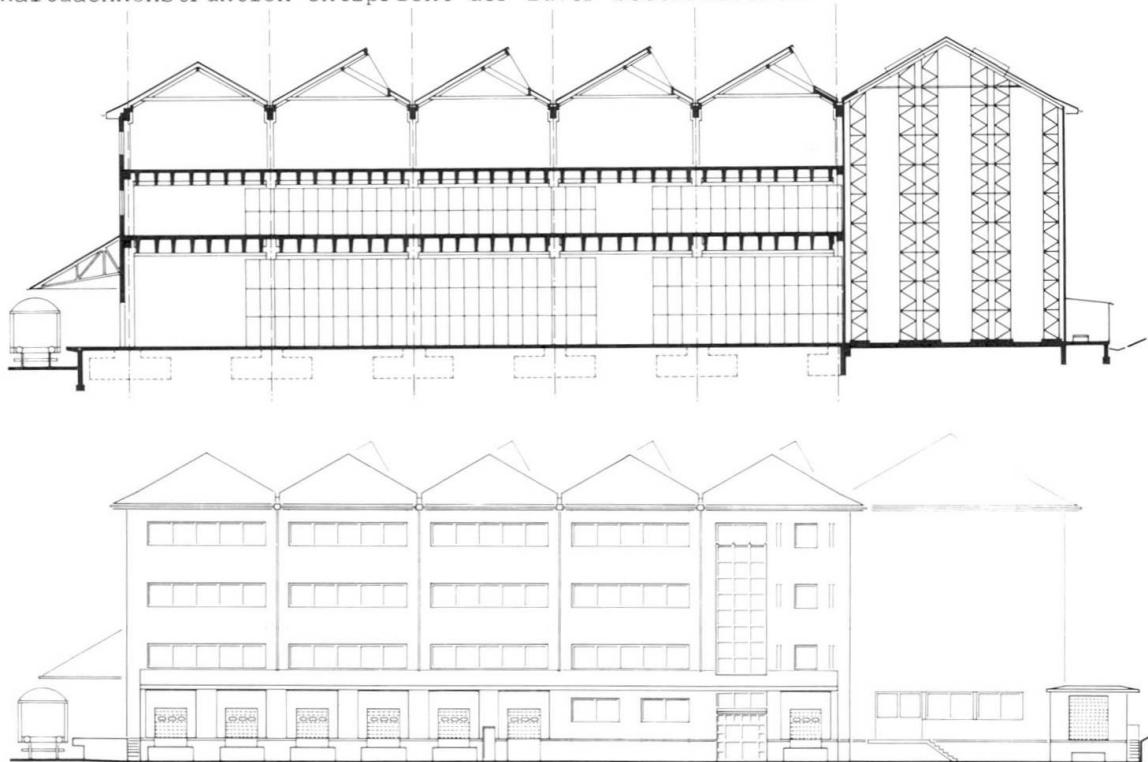


Abb. 2 Ein Industriebau mit ziegelgedeckten Walmdächern.

### 5.3 Objekt 2: Versandlager, Regallager

Das Versandlager besitzt oberhalb des aus Stahlbeton-Fertigteilen gefügten Baukörpers eine Konstruktion aus Holzleimprofilen und Bauholz. Das als Kaltdachkonstruktion ausgebildete Dach trägt die Wärmedämmung zwischen den Pfetten mit einem raumseitigen Feuerschutz aus Gipsplatten. Die Deckung besteht aus Dachziegeln auf einer Lattung. Neben dem Effekt des langlebigen Daches ergab sich auch eine Vergrößerung des inneren Raumvolumens, die, bezogen auf den ganzen nutzbaren Lagerraum des Gebäudes, 19% beträgt.

Oberhalb eines als Betriebsvorrichtung errichteten Regallagers befindet sich ein geneigtes Dach, welches direkt von den Regalstielen getragen wird. Die Kaltdachkonstruktion entspricht der zuvor beschriebenen.





#### 5.4 Geplante technische Lebensdauer

Im Hinblick auf den zukünftigen Bauunterhaltsaufwand wurde die technische Lebensdauer der Dachkonstruktion auf lange Zeiträume geplant. Unter der Voraussetzung, daß mechanische Beschädigungen und schädliche Einflüsse aus heute unbekannten Gründen nicht auftreten, kann mit dieser technischen Lebensdauer gerechnet werden:

- Schieferdeckung oder Ziegeldeckung	60 – 80 Jahre
- Gesamte Holzkonstruktion	100 Jahre
- Wärmedämmung und Brandschutzbekleidung	60 Jahre

#### 5.5 Reparatur und Wartung

Im Falle mechanischer Beschädigungen an der Raumseite oder an der Außenseite der Dachhaut, lassen sich diese mit einfachen Mitteln vornehmen, z.B. Ersatz einzelner Schieferplatten oder einzelner Dachziegel. Beschädigte Brandschutzplatten auf der Rauminnenseite lassen sich ebenfalls leicht austauschen und neu anstreichen. Insgesamt ist die Konstruktion "fehlerfreundlich", d.h. auftretende Mängel der äußereren oder inneren Haut sind ohne großen Aufwand auf relativ einfache Art behebbar.

Die Dächer werden regelmäßig gewartet, d.h. sie werden ein- bis zweimal jährlich von Dachdeckern begangen, welche dabei zugleich kleinere Beschädigungen beheben. Sie tauschen beschädigte Ziegel aus, bessern die Vermörtelung der Firstziegel nach und beheben evtl. Frost- oder Sturmschäden.



Abb. 3  
Geneigte Dächer vergrößern das nutzbare Raumvolumen.

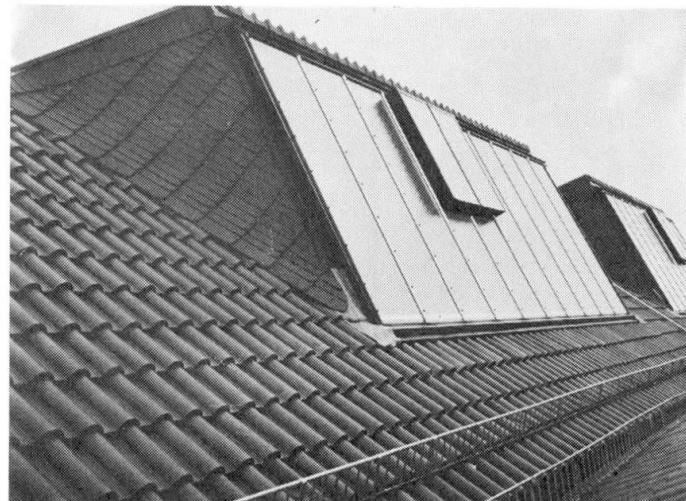


Abb. 4  
Ziegelgedecktes Dach mit Shedlichtaufsätzen.

#### 6. PLANBARKEIT DER DAUERHAFTIGKEIT

Die Dauerhaftigkeit, und damit die technische Lebensdauer von Bauteilen und Bauten ist planbar. Durch sorgfältiges Studium der in Industriebauten auftretenden betrieblichen Zustände und der Emissionen, lassen sich die jeweils optimalen Bauweisen und die geeigneten Materialien auswählen. Diese Kriterien treten zu denen der Gestaltung, der Tragwerksplanung und der allgemeinen, bauphysikalischen Durchbildung eines Bauwerkes hinzu.

## Bewertung von Betonschäden unter wirtschaftlichen Aspekten

Evaluation of Concrete Damage under Economical Aspects

Évaluation de dommages du béton en tenant compte des aspects économiques

**Mario FRIEDMANN**

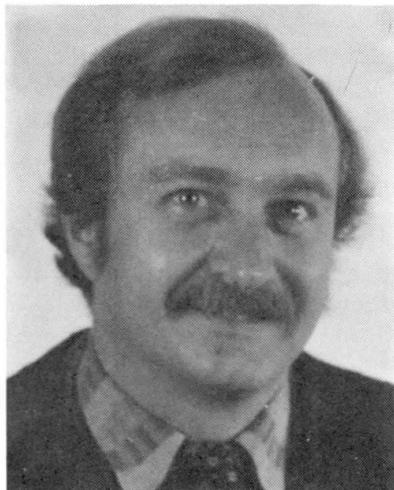
Dr.-Ing.  
BILF  
Berlin-West



Mario Friedmann, geboren 1954, promovierte als Bauingenieur an der Technischen Universität Berlin. Nach einer Ingenieurtätigkeit in Chile übersiedelte er nach Deutschland, wo er seit 1979 gutachterlich tätig ist. Anschliessend an eine zweijährige Tätigkeit in der Industrie ist er Mitinhaber eines Institutes geworden und befasst sich mit Gutachten, Diagnose, Ausschreibung und Bauleitung bei Bauschäden und Instandsetzungsmassnahmen.

**Wolfgang LENKEIT**

Dr.-Ing.  
BILF  
Berlin-West



Wolfgang Lenkeit, geboren 1950, promovierte als Bauingenieur an der Technischen Universität Berlin. Nach zweijähriger Ingenieurbürotätigkeit wurde er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Berlin, wo er in der Forschung und als Gutachter tätig war. Seit 1984 ist er Mitinhaber des Beton-technologischen Institutes. Er befasst sich mit Gutachten, Diagnose, Ausschreibung und Bauleitung bei Bauschäden und Instandsetzungsmassnahmen.

### ZUSAMMENFASSUNG

Eine vorbeugende Sanierung von Betonaussenbauteilen ist nur dann erforderlich, wenn karbonatisierungsbedingte Korrosionsschäden während der Nutzungsdauer des Bauwerkes zu erwarten sind. In einem solchen Fall ist es immer wirtschaftlicher, eine vorbeugende Instandsetzung durchzuführen, als die Korrosionsschäden abzuwarten, um sie dann beseitigen zu müssen. Diese vorbeugende Instandsetzung sollte in wirtschaftlicher Hinsicht soweit wie technisch möglich hinausgezögert werden.

### SUMMARY

A preventive coating of outdoor concrete elements is only needed when damage due to carbonation will occur in the service time of the building. In such a case it is always more economical to apply a preventive coating than to wait till the corrosion occurs and repair the damage afterwards. The preventive coating is most economical when postponed as much as is technically possible.

### RÉSUMÉ

Une protection préventive d'éléments extérieurs en béton n'est nécessaire que si des dommages dus à la carbonatation se produisent pendant la durée de service du bâtiment. Dans ce cas, il est toujours plus économique d'appliquer préventivement une couche protectrice que de réparer les dommages. La mesure protectrice différée aussi longtemps que techniquement possible sera la plus économique.



## 1. ZWECK UND ZIEL

Aufgrund der in den letzten Jahren vermehrt aufgetretenen Korrosionsschäden in Betonaußenwänden ist es erforderlich geworden, die zur Schadensbehebung und eventuell zur Schadensvorbeugung erforderlichen finanziellen Mittel dem vorhandenen Etat für Sanierungen gegenüberzustellen, um anschließend Prioritäten setzen zu können. Bei der Ausarbeitung der Sanierungspläne ist die Kenntnis erforderlich, inwieweit z. B. eine vorbeugende Maßnahme wirtschaftlicher ist als eine spätere Sanierung - bei der die Kosten überproportional steigen werden.

Ziel ist es, karbonatisierungsbedingte Schäden in Schadensklassen einzuteilen und darauf aufbauend Grundlagen zu erarbeiten, die die Ermittlung der wirtschaftlichsten Sanierungsmaßnahmen entsprechend der jeweiligen Schadensklasse zu ermöglichen [1].

Bei den folgenden Ausführungen wird vorausgesetzt, daß sowohl die Ursachen von karbonatisierungsbedingten Korrosionsschäden als auch deren Instandsetzung dem Leser bekannt sind und deswegen nicht erläutert werden.

## 2. EINTEILUNG IN SCHADENSSTUFEN

### 2.1 Übersicht

In Abhängigkeit von dem karbonatisierungsbedingten Beschädigungsgrad und von den erforderlichen Sanierungsmaßnahmen können Stahlbeton-Außenebauteile in die vier folgenden Schadensstufen eingeteilt werden:

- Schadensstufe I: keine Schäden, Sanierung nicht erforderlich
- Schadensstufe II: keine Schäden, vorbeugende Sanierung erforderlich
- Schadensstufe III: Korrosionsschäden vorhanden, Tragfähigkeit nicht gefährdet
- Schadensstufe IV: starke Korrosionsschäden vorhanden, Tragfähigkeit gefährdet.

Die Einteilung in diese Schadensstufen erfolgt unter Zugrundelegung einer repräsentativen Schadensdiagnose. Die Auswertung der Meßergebnisse soll ingenieurmäßig erfolgen, unter Berücksichtigung der vorhandenen Streuung der Meßergebnisse, Gefährdungsgrad und Orientierung des Bauteils usw.

Durch die Einteilung in Schadensstufen wird eine schnelle Beurteilung der Konstruktion hinsichtlich der vorhandenen karbonatisierten Korrosionsschäden im Hinblick auf die erforderlichen Sanierungsmaßnahmen ermöglicht. Darüber hinaus kann beurteilt werden, ob und wann eine vorbeugende Sanierung durchzuführen ist. Der Entscheidungsprozeß ist in Bild 1 dargestellt.

Die im folgenden verwendete Berechnungsmethode zur Klassifizierung eines Bauteiles in die jeweiligen Schadensstufen beruht auf empirischen Untersuchungen unter Verwendung der in [2] gegebenen Gleichung

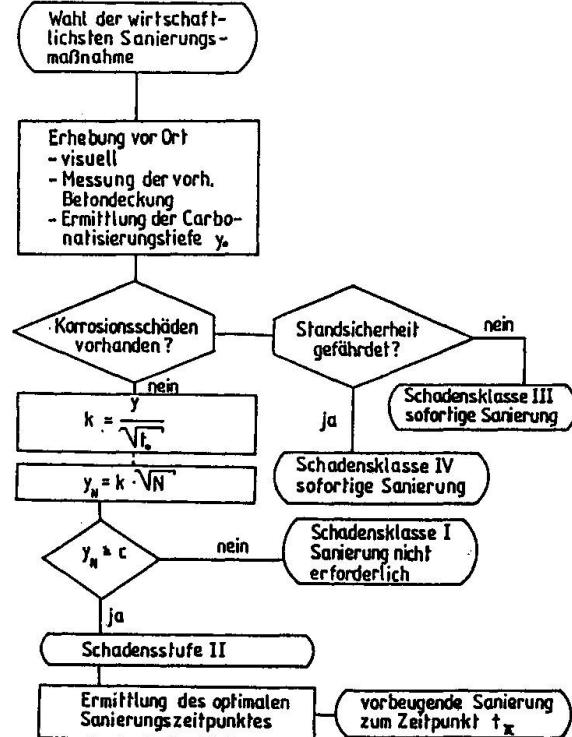


Bild 1 Schematische Darstellung des Entscheidungsvorganges

für den Karbonatisierungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit (s. Gl. (1)). Auch wenn diese Gleichung hinsichtlich ihrer Genauigkeit umstritten ist, ist sie für die hier beabsichtigten Zwecke – nämlich Entscheidungsgrundlage für die Wahl der richtigen Sanierungsmaßnahme – ausreichend.

Die im folgenden getroffenen Aussagen für die Schadensstufen I und II sollten ohnehin in festen Abständen (z. B. alle fünf Jahre) überprüft werden, da der Gefährungsgrad eines Bauteiles sich im Laufe der Zeit verändern kann (z. B. aufgrund veränderter Verkehrsführung, Nutzungsänderungen usw.).

## 2.2 Definition der einzelnen Schadensstufen

### 2.2.1 Schadensstufe I: keine Schäden, Sanierung nicht erforderlich

In dieser Schadensstufe werden diejenigen Stahlbeton-Außbauteile eingestuft, in denen die Karbonatisierungstiefe während der gesamten Lebensdauer des Bauwerkes immer kleiner als die Betonüberdeckung sein wird. Dies ist in der Regel der Fall bei sehr guten Betonen (B 35 und höher) und bei Vorhandensein einer ausreichenden Betonüberdeckung der Stahlbewehrung.

Die Ermittlung der vorhandenen Betonüberdeckung  $c$  und der Karbonatisierungstiefe  $y_0$  ist in Abschnitt 2 beschrieben. Der weitere Fortgang der Karbonatisierung kann nach [2] wie folgt berechnet werden:

$$y = k \cdot \sqrt{N^t} \quad [mm] \quad (1)$$

Es bedeuten:

$$k \text{ Karbonatisierungskonstante} \quad \left[ \frac{mm}{a^{0.5}} \right]$$

$$k = \frac{y_0}{\sqrt{t_0}} \quad (2)$$

$$N \text{ Lebensdauer des Bauwerkes} \quad [a]$$

$$t_0 \text{ Alter des Bauwerkes zum Erhebungszeitpunkt} \quad [a]$$

$$y \text{ Prognostizierte Karbonatisierungstiefe zum} \\ \text{Zeitpunkt } N \quad [mm]$$

$$y_0 \text{ Karbonatisierungstiefe zum Erhebungszeitpunkt} \quad [mm]$$

Wenn die prognostizierte Karbonatisierungstiefe kleiner als die vorhandene Betonüberdeckung ist, so können karbonatisierungsbedingte Korrosionsschäden während der Lebensdauer des Bauwerkes ausgeschlossen werden. Eine vorbeugende Sanierung in der Form eines karbonatisierungsbremsenden Anstriches wäre in diesem Fall nicht erforderlich.

Wenn jedoch die prognostizierte Karbonatisierungstiefe größer als die vorhandene Betonüberdeckung ist, so muß mit späteren Korrosionsschäden gerechnet werden. – In diesem Fall ist das Bauteil der Schadensstufe II zuzuordnen.

### 2.2.2 Schadensstufe II: keine Schäden, vorbeugende Sanierung erforderlich

In dieser Schadensstufe werden diejenigen Stahlbeton-Außbauteile klassifiziert, in denen die Karbonatisierungstiefe zwar zum Entscheidungszeitpunkt kleiner als die Betonüberdeckung ist, aber während der Lebensdauer des Bauwerkes karbonatisierungsbedingte Korrosionsschäden zu erwarten sind. Das bedeutet, daß während der erwarteten Lebensdauer des Bauwerkes die Karbonatisierungstiefe (s. Gl. (1)) größer als die vorhandene Betonüberdeckung sein wird, und daß dadurch aufgrund des dann nicht mehr vorhandenen Korrosionsschutzes voraussichtlich Korrosionsschäden auftreten werden.



Die in [1] dargestellten Untersuchungen haben ergeben, daß eine vorbeugende Sanierung immer billiger ist als das Auftreten von Korrosionsschäden abzuwarten, um sie nachträglich zu sanieren. Hierbei wurden unterschiedliche Sanierungskosten, unterschiedliche Zinsen sowie Baupreisseigerungsraten und die Tatsache, daß karbonatisierungsbremsende Anstriche kreiden - wie alle anderen Anstriche auch - und deswegen ca. alle 10 Jahre zu erneuern sind, berücksichtigt (siehe Bild 2).

Aufgrund der regelmäßigen Erneuerungsbedürftigkeit des Anstriches würde eine zu frühe Sanierung mehr Anstriche bedingen; eine zu späte vorbeugende Sanierung kann u. U. die karbonatisierungsbedingten Korrosionsschäden nicht mehr abwenden. Das bedeutet, daß einerseits das Hinauszögern der vorbeugenden Sanierung die Kosten verringert, aber andererseits, wenn die vorbeugende Sanierung nicht rechtzeitig eingeleitet wird, spätere und auch teurere Schäden nicht mehr vom Bauwerk abgewendet werden können.

Der späteste und somit auch optimale Zeitpunkt für die vorbeugende Sanierung erfolgt nach [1] zu:

$$t = \left( \frac{c}{k} - \frac{k}{\alpha} \right)^2 \quad [a] \quad (3)$$

Es bedeuten:

$t$  optimaler Sanierungszeitpunkt [a]

$c$  minimal vorhandene Betonüberdeckung [mm]

$$k = \frac{y_0}{\sqrt{t_0}} \quad \left[ \frac{\text{mm}}{\text{a}^{0.5}} \right]$$

$y_0$  Karbonatisierungstiefe zum Erhebungszeitpunkt [mm]

$t_0$  Alter des Betons zum Erhebungszeitpunkt [a]

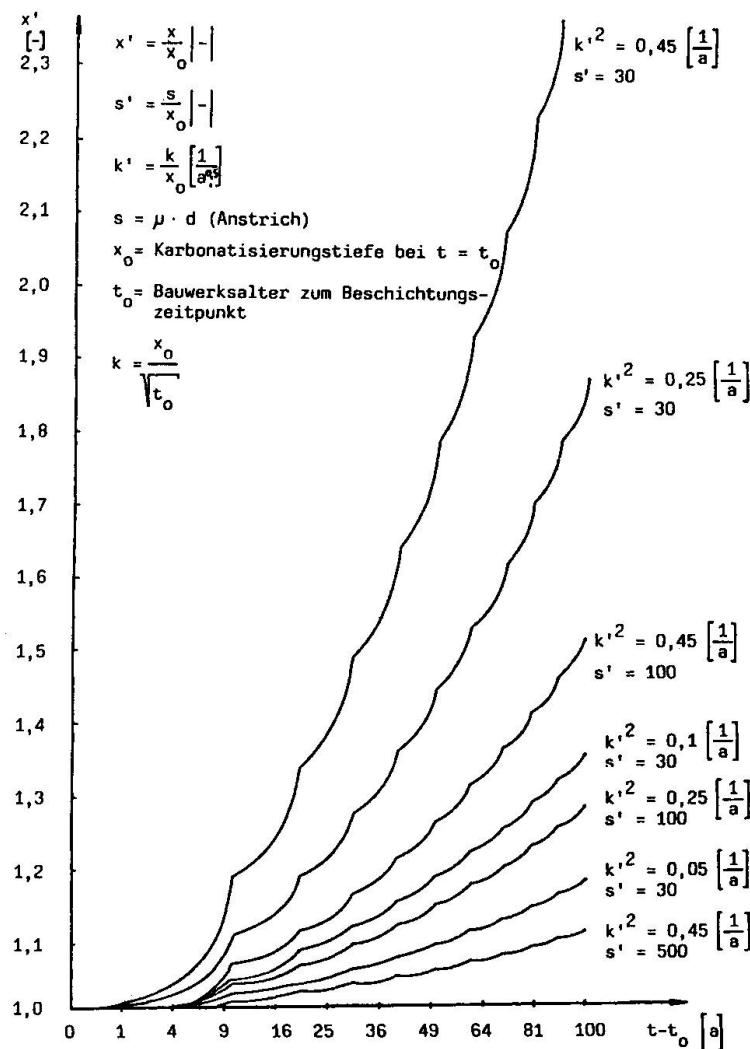


Bild 2 Karbonatisierung in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Kreidung des Anstriches. Auszug aus [2]

$$\begin{aligned}\alpha &= 8,2 \text{ für } N = 100 \quad [\text{a}] \\ \alpha &= 10,3 \text{ für } N = 80 \quad [\text{a}] \\ \alpha &= 16,5 \text{ für } N = 50 \quad [\text{a}] \\ N &= \text{Lebensdauer des Bauwerks} \quad [\text{a}]\end{aligned}$$

### 2.2.3 Schadensstufe III: Korrosionsschäden vorhanden, Tragfähigkeit nicht gefährdet

In dieser Schadensstufe werden diejenigen Stahlbeton-Außenauteile eingestuft, in denen die Karbonatisierungstiefe bereichsweise größer als die Betonüberdeckung der Stahlbewehrung ist ( $y > c$ ) und deswegen bereits korrosionsbedingte Absprengungen der Betonüberdeckung vorhanden sind. Die Korrosionsschäden dürfen hierbei jedoch nicht so weit fortgeschritten sein, daß eine Gefährdung der Standsicherheit gegeben ist.

Bauteile dieser Schadensstufe weisen korrosionsbedingte Abplatzungen der Betonüberdeckung auf. - Aufgrund dieser Betonabplatzungen ist es erforderlich, die Sanierungsmaßnahmen kurzfristig einzuleiten: Wenn Stahl ungeschützt im Abplatzungsbereich direkt der Atmosphäre ausgesetzt ist bzw. im bereits karbonatisierten Betonbereich liegt, kann er schnell korrodieren. Aufgrund der deswegen zunehmenden Korrosionsschäden wird der erforderliche Aufwand, um die Schäden zu beheben, in kürzester Zeit überproportional steigen (siehe Bild 3).

### 2.2.4 Schadensstufe IV: Korrosionsschäden vorhanden, Tragfähigkeit gefährdet

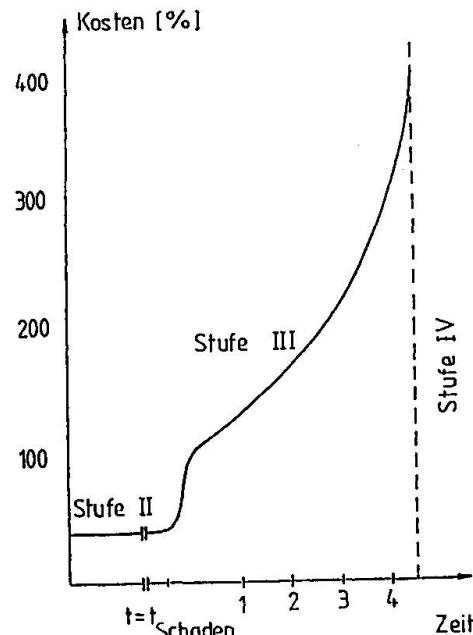
In dieser Schadensstufe werden diejenigen Stahlbeton-Außenauteile klassifiziert, in denen die karbonatisierungsbedingte Korrosion der Stahlbewehrung so weit fortgeschritten ist, daß die Standsicherheit nicht mehr gewährleistet ist.

Bauteile dieser Schadensklasse sind aufgrund der nicht ausreichend vorhandenen Standsicherheit sofort zu sanieren. Entsprechend der statischen Bedeutung des Bauteiles und in Abhängigkeit vom Zerstörungsgrad der vorhandenen Stahlbewehrung sind gegebenenfalls sofortige Stützmaßnahmen erforderlich. Die Standsicherheit muß selbstverständlich auch während der Sanierung gewährleistet sein.

Diese Schadensstufe wird deswegen erreicht, weil Bauteile der Schadensstufe III nicht rechtzeitig saniert worden sind.

## 3. LITERATUR

- [1] Friedmann, M.: Betonkorrosion im Hochbau; Schadensanalyse, Betonuntersuchung, Bewertung - Bauverlag, 1986.
- [2] Klopfer, H.: Die Carbonatisierung von Sichtbeton und ihre Bekämpfung. Bautenschutz und Bausanierung, Heft 3, 1978.



**Bild 3** Entwicklung der Instandsetzungskosten für Beton in Abhängigkeit von der Zeit bei nicht erfolgter Instandsetzung

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**

## Structural Design of Liyutan Railway Bridge

Conception du pont ferroviaire de Liyutan

Projektierung der Liyutan – Eisenbahnbrücke

S. J. LIN

Chief Engineer

China Engineering Consult. Inc.

Taiwan, China

C. C. TSENG

Manager, Structural Dep.

China Engineering Consult. Inc.

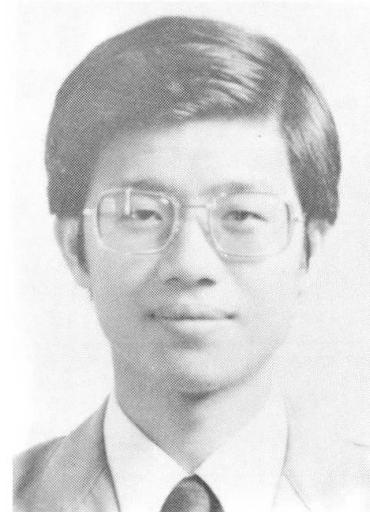
Taiwan, China

J. L. WANG

Structural Engineer

China Engineering Consult. Inc.

Taiwan, China



Mr. S. J. Lin, born in 1931, received his B. S. Degree in Civil Engineering from the National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan. Since graduation he has devoted himself to the design and supervision of highway bridges and other structures for 32 years. He is now responsible for the design and supervision of the firm's multi-disciplined engineering services.

Mr. C. C. Tseng, born in 1935, received his M. S. Degree in Civil Engineering from Kyoto University, Kyoto, Japan. Since graduation he has devoted himself to the design and supervision of highway bridges and building structures for 30 years. He is now manager of the structural department of China Engineering Consultants, Inc. and the chairman of Taipei Structural Engineer's Association.

Mr. J. L. Wang, born in 1953, received his M. S. Degree in Civil Engineering from the National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan. Since graduation he has devoted himself to the design of bridges and buildings for 9 years.

### SUMMARY

The Liyutan Railway Bridge, a continuous four-span, reinforced concrete bridge with an inverted Langer arch, will be the longest continuous rigid frame railway bridge in Taiwan after its completion. This paper describes such technical information as the member arrangement, structural analysis, seismic response and construction method for the bridge.

### RÉSUMÉ

Le pont ferroviaire de Liyutan, un pont arc en béton armé continu sur quatre travées, sera le plus long pont continu sans appui glissant. Cet article décrit le système statique, le dimensionnement, le comportement au séisme et l'exécution de l'ouvrage.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Liyutan-Eisenbahnbrücke, eine über vier Spannweiten durchlaufende Bogenbrücke aus Stahlbeton, wird bei ihrer Vollendung die längste festgelagerte Eisenbahnbrücke Taiwans sein. Der Beitrag beschreibt das Tragsystem, die Berechnung, das Erdbebenverhalten und den Bauvorgang.



## 1. INTRODUCTION

Liyutan Bridge, the main bridge in the extension project of the Taiwan Railway is located in the hilly region of central Taiwan. It crosses over a valley 740 meters in width and connects two tunnels one on each end. A design elevation with a value of about 40 meters across the width of the valley with a range of 400 meters will be used to design the bridge.

In addition, the bridge is surrounded by beautiful, calm and peaceful mountain scenery. The construction of the arch bridge will attract more tourist to enjoy the scenic beauty of this region. At a distance of 4.5 kilometers from the bridge in this valley, a reservoir is being built. The region around the reservoir will also be developed into a recreational and tourist area.

During the planning stage, five types of bridge alternatives were proposed, as illustrated in Fig. 1. But after investigation and comparision with regard to structural appearance, durability, economic feasibility, construction method, etc. Type 1, the continuous, reinforced concrete, inverted Langer arch bridge, was chosen.

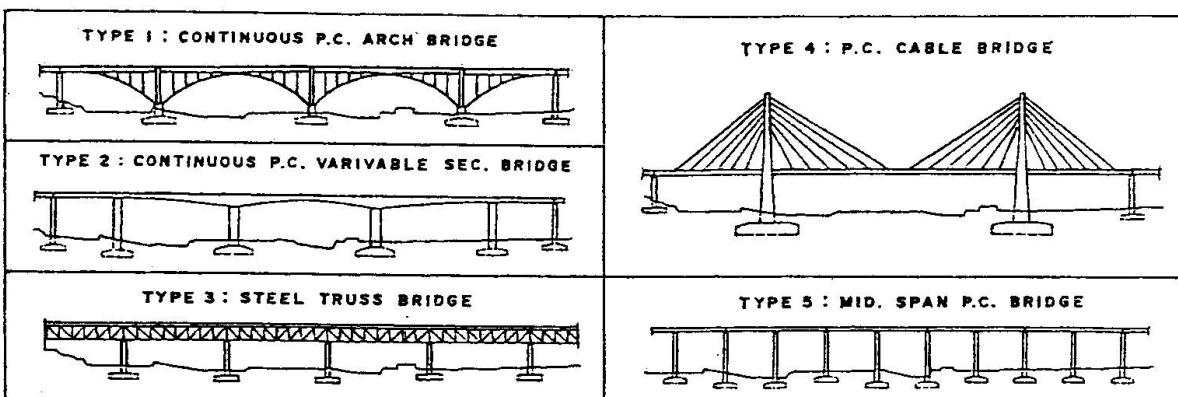


Fig. 1 Five bridge alternatives during the planning stage.

## 2. DESCRIPTION OF BRIDGE

The four-span bridge comprises two 134-meter central spans and two 70-meter side spans. Its general configuration is shown in Fig 2. Its box girder, supporting two railway tracks, will be supported by spandrel struts and arch ribs.

The box girder, besides resisting design moment after completion, is also designed with some prestressed tendons to satisfy the requirements in the segmental construction method. To reduce stress from creep and shrinkage and to increase the ductility of the bridge, the ratio of prestressed tendons will not be large. In addition, top slabs are prestressed transversely to reduce the self-dead load. To resist the shear and increase the durability during earthquake, the web thickness near by the pier column will be made larger than that in the center of the bridge.

Generally, a circular arc has been adopted for the arch rib as its fundamental configuration. However, curvature near by the pier column was modified following detailed analysis and comparison to reduce the moment and self-dead load in the arch rib and to exert the mechanical advantage of the arch bridge as a pure compression member.

In consideration of stability, spandrel struts are designed not only to satisfy all mechanic requirements, but also to fulfil the consideration of slenderness effect.

For increased durability, the outer bridge areas exposed to weathering will be painted with a layer of protective painting. In addition, a concrete strength higher than that of ordinary bridges will be adopted.

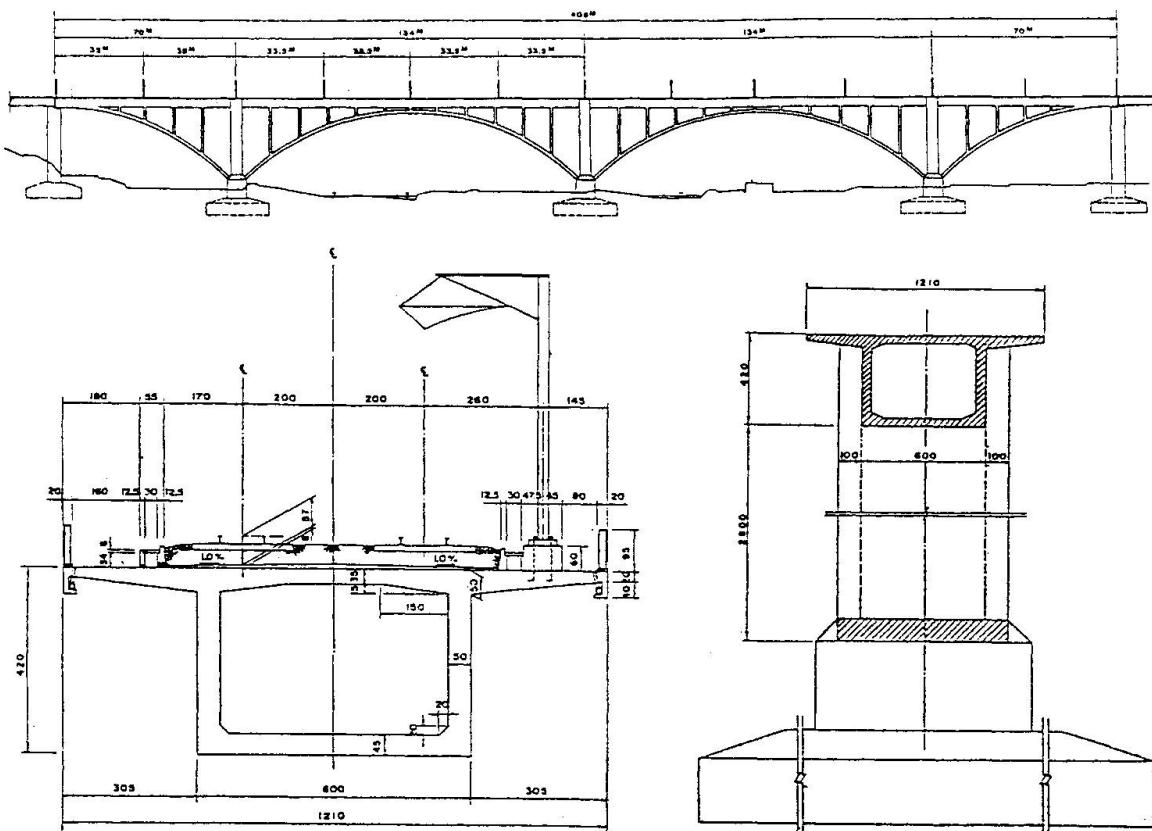


Fig. 2 General configuration of the bridge (Type 1).

### 3. STRUCTURAL ANALYSIS

Main design criteria and design data are illustrated in Table 1. Two-dimensional linear elastic analysis was employed to evaluate the sectional forces due to vertical loading, earthquake force, wind loading, creep, shrinkage and temperature changes along the bridge. Besides stress analysis of the bridge subjected to loading after completion, sectional forces from dead load during the process of construction will be calculated. Furthermore, the load carrying capacity of bridge will also be checked.

At present, electrified locomotives are used throughout the Taiwan Railway system. To avoid separation of electric cables from above the train, the railroad bridge must be designed with sufficient stiffness to limit the deflection and sidesway of the bridge. In addition, vertical deflection from vertical loading and horizontal sidesway from horizontal earthquake force as shown in Fig 3 and Fig 4 are limited to 0.84 cm and 9.6 cm, respectively.

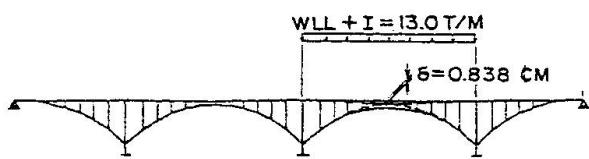


Fig. 3 Vertical deflection due to vertical loading (dead load and live load).

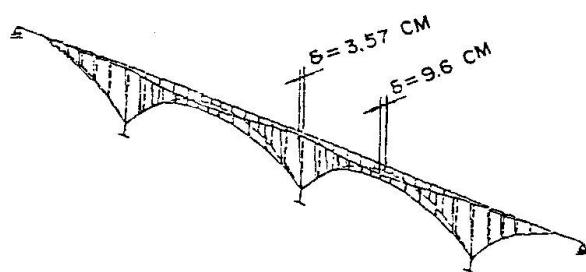


Fig. 4 Horizontal deflection due to horizontal earthquake force.

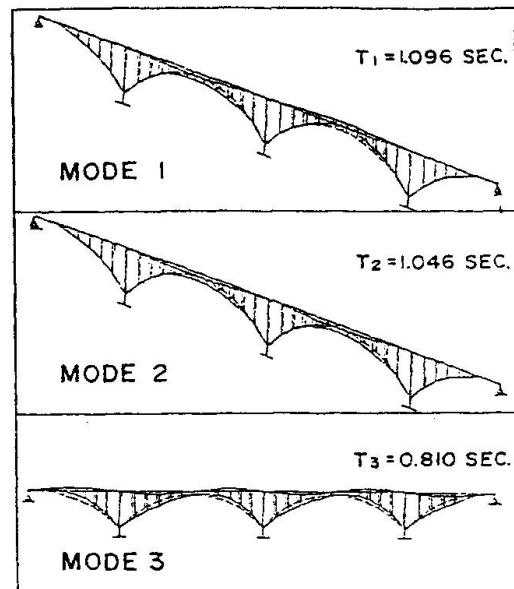


Fig. 5 The first three mode shapes and its natural period in the dynamic analysis.

Design Load : KS 18	Concrete Strength : $f_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$
Seismic Coefficient : $K_h = 0.25$	Reinforcement : $f_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$
	$K_v = 0.10$ Prestressed tendon : $f_s = 19000 \text{ Kg/cm}^2$
Temperature Change : $\pm 15^\circ\text{C}$	Creep coefficient : $\theta = 2.6$
Design Wind Speed : 65 m/sec	Shrinkage strain : $\epsilon_s = 2.0 \times 10^{-5}$

Table 1 Design data.

#### 4. SEISMIC ANALYSIS

According to seismic records, the proposed site is located in a seismically active region. For example, one destructive earthquake with a magnitude of M 7.2 took place within a distance of 20 kilometers from the bridge site in 1935. In order to study the dynamic behavior of the bridge, seismic analysis was performed. The first three mode shapes and their natural periods are shown in Fig 5. From dynamic analysis, a design seismic force coefficient of 0.25 was decided for the earthquake design.

#### 5. DESIGN OF FOUNDATION

According to the results of geologic investigations, a gravel layer with a thickness of 12 meters underground was found near Liyutan Bridge. Under the gravel layer is a layer of sandstone. Hence, the bearing capacity of the soil

in the site is good. Therefore, spread footing is to be used as the foundation for the bridge.

## 6. CONSTRUCTION METHOD

The Cantilever Segmental Construction method with a moveable wagon mounted on the main girder will be used during erection. Through this method, the main girder, the arch rib, and the vertical struts may be erected without use of support. The erection sequence is shown in Fig 6.

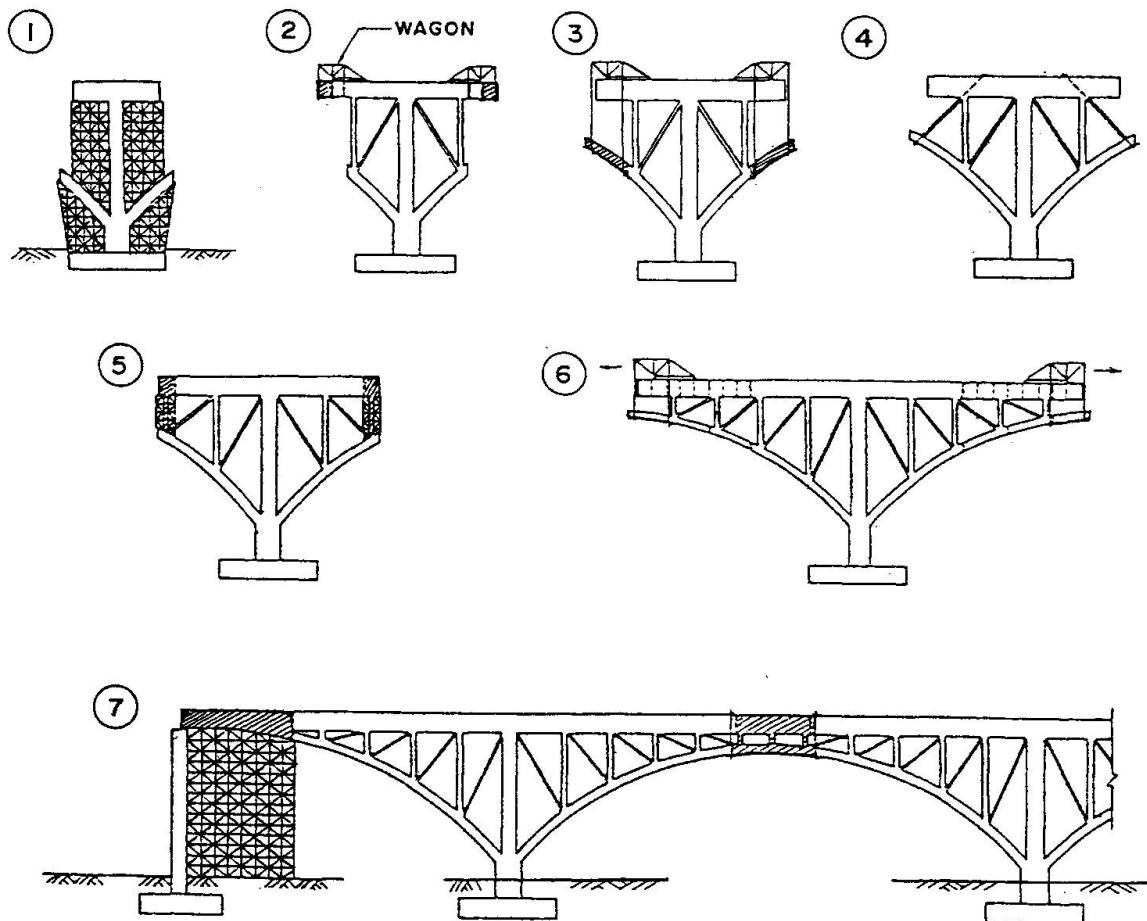


Fig. 6 Erection sequence ( 1. Erection of pier column and first segment. 2. Erection of box girder with moveable wagon. 3. Erection of arch rib with wagon. 4. Placement of oblique constructional PC steel bars. 5. Erection of spandrel strut. 6. Repetition of process from stage 2 to stage 5. 7. Erection of arch crown section with hanging support and end side section with temporary support.).



## 7. CONCLUSION

Data collection and planning of this project started in Oct. 1987. The final alternative was selected and designed in 1988. Construction is planned to begin in May 1989 and all works are to be finished within 36 months. Fifteen months were used to complete the design work, from the time of planning to the time of finish. During the design process, all factors such as structural appearance, strength, durability, economic feasibility, construction method, etc. were considered thoroughly.

## Data Bank System for the Maintenance of Highway Structures

Banque de données pour la gestion des ouvrages d'art

Datenbanksystem für die Erhaltung von Kunstbauten

**Josef GROB**  
Civil Engineer  
Emch + Berger Zurich Ltd  
Zurich, Switzerland



Josef Grob, born in 1945, obtained his civil engineering and his doctorate degrees at the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich (ETHZ). He has been working as a senior designer and division manager in structural and civil engineering with UEC. At present he is a managing director with Emch + Berger Zurich Ltd., subsidiary company of Universal Eng. Corp. (UEC).

### SUMMARY

The data bank management system permits the computerized registration of structures including checking and repair work, provides an effective means of control and monitoring by the responsible authorities and simplifies the work of checking the structures. It was developed as a joint project commissioned by the Swiss Federal Highways Department together with Canton Schwyz as pilot canton.

### RÉSUMÉ

La banque de données permet de gérer par l'informatique les données relatives aux ouvrages d'art y compris les contrôles et les assainissements. Elle est un outil efficace de contrôle et de surveillance pour les autorités responsables et simplifie les inspections des ouvrages d'art. Le logiciel a été développé par un groupe de travail sous la direction de l'office suisse des routes en collaboration avec le canton de Schwyz pour le projet pilote.

### ZUSAMMENFASSUNG

Das Datenbank-System ermöglicht die Erfassung von Kunstbauten mittels EDV inklusive Kontrollen und Sanierungsmassnahmen, unterstützt als wirkungsvolles Führungsmittel die Kontroll- und Überwachungsaufgabe der zuständigen Aufsichtsbehörden und erleichtert die Durchführung der Bauwerkskontrollen. Es wurde durch eine Arbeitsgemeinschaft unter Aufsicht des Schweizerischen Bundesamtes für Straßenbau zusammen mit dem Kanton Schwyz als Pilotkanton entwickelt.



### PROBLEM DESCRIPTION

A large part of the present Swiss highways system was constructed during the last 40 years. The maintenance of these highways presents the owners and those responsible for their upkeep with new problems particularly in connection with the numerous structures involved, there being altogether about 10,000 structures of which about 3,000 are bridges on the National Highways network alone. With the aid of a new data bank management system this maintenance work should in future be both simplified and unified.

The data bank for the maintenance of structures (structures data bank) serves the cantons as a practical tool and guide in the work of structural maintenance and helps the Federal Highways Department in its nationwide supervisory responsibilities. In order to include the specific wishes and needs of the cantons, Canton Schwyz was brought in and heavily involved in the development of the structures data bank.

Data exchange between the cantons and the Swiss Federation must be guaranteed despite different computer equipment and greatly varying degrees of hardware installation. At the moment this data exchange will be carried out annually using diskettes as a storage medium. A proper data network system requires, in addition to the inevitable standardisation of data contents and data structures, also compatibility in the data administration systems.

### CONCEPT

The data bank management system must be capable of running on mainframes, mini-computers and IBM compatible PC's both as single user and in a network configuration. For personal computers the following are the minimum requirements:

- main memory	1.5 MB
- fixed disk storage	40 MB
- floppy drives	1.2 MB

For the problem at hand only a data bank software of a relational type is feasible. The data is organized in the form of relations (a mathematical concept). In general, this can be visualised as two-dimensional tables. The special feature of the relational model is that the user data and the relations are strictly separated. In this way the system may be extended and the disadvantage of hierarchical models in which the access path is given in data is thus overcome. So also in the planning stage one can still accommodate unforeseen questions. The capability of running on various different computer systems and especially on PC's was the deciding factor in the choice of ORACLE as the data bank software.

Special demands are placed on the user comfort. In this respect ORACLE did not satisfy all the requirements. As a result ORACLE was enhanced to have a user guide and a user interface developed specifically for the structures data bank, which included screen formats in various colours and windowing.

Additional user-friendliness was achieved by the implementation of the following important aids:

- automation of the data saving, access and function selection
- extendable catalogs with expert knowledge
- standard access paths and corresponding lists for quick access
- automatic output of structural element specific checklists
- structural component generators

To achieve good maintenance characteristics the application parameters and all text with the exception of the free texts are kept in external lists. Particular significance in this respect was given to accomodating several official languages as is necessary in a country like Switzerland by having text-independent data storage. In working with the structures data bank each user can choose between the German, French, and Italian languages.

#### EXTERNAL DATA SCHEME

The external data scheme, Figure 1, shows, from the standpoint of the user, the structuring and view of the data, which is subdivided into object data and structural component data. With the component classes given in Figure 1 and 2 similar or related structural components are combined. These element or component classes, however, do not contain user data but the catalog information at the component level. When possible the data processing is supported by the catalog information with expert knowledge stored in the system.

Both object and structural component data refer to three different areas, namely

- description
- checking
- repair work

The history of the structure can be reconstructed out of the classified data. This has the advantage that the relationship of checking to repair work is clearly seen and later evaluations of all kinds of structural components with regard to durability and maintenance expenditures can be undertaken. A new description of this structural component is only added to the system if the component has been replaced or substantial structural changes, i.e. changes relevant to the description, have been made. If the complete structure (object) has been replaced or correspondingly rebuilt or changed, then a new object has to be defined.

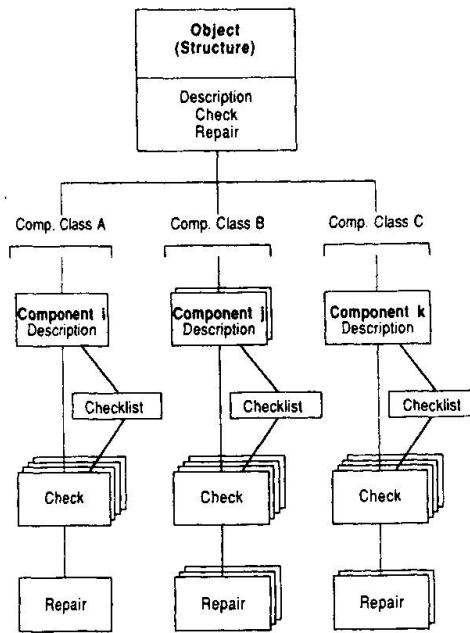


Fig. 1: External data scheme

#### Object data

The object data includes all data relevant to the whole structure. The description comprises at the object level, Figure 1, information concerning:

- reference systems
- basic data: object type, function system, geometry year of construction participants checking cycles
- documents: standards construction documents



Each individual measure for checking and repair work is anchored as follows:

- checking: type of checking, number  
year when checking carried out  
participants  
condition assessment
- repair work: repair number  
year of repair work  
participants

Apart from the time reference system (calendar year) the objects are linked with three further reference systems:

- hierarchical system (owner)  
country, canton  
object number
- operating system: those responsible for maintenance  
maintenance section
- axis system (highways etc.):  
for highways:  
highway key  
ref. point, kilometres  
position of axis  
restrictions on use

The object key is obtained from these reference systems by means of the hierarchical system. To each object or structure can be assigned a maintenance section with those responsible for maintenance as well as any axis, of which at least one has to be a highway axis with defined highway key (e.g. cantonal highway, national highway). The highway axis defines in this way the object position, with details of a reference point and kilometres. With the axis position the position is also given of the highway axis relative to the structure, and with the information on restrictions concerning use (geometry and loads) the data bank is also provided with the basic data on whether the structure is open to exceptional transport.

Thus far the following object types are implemented in the system:

- bridge
- gallery
- cut and cover tunnel
- culvert
- retaining structure
- protective structure

#### Structural component data

Each object or structure can be subdivided into a number of structural components, whereby each component is assigned to a particular (structural) element or component class, which enables similar or related structural components to be placed together.

Figure 2 shows the component classes implemented thus far in the system. Here element classes connected with the bearing structure are distinguished from other element classes, which mainly involve structural components having high maintenance expenditure.

It would exceed the scope of this article to describe in detail all the element classes included in Figure 2 together with their corresponding structural components. Instead, it is more appropriate here to illustrate using the example of the structural component "i" of a bridge superstructure the main relationships between this structural component and its element class (Figure 3).

All user data is related basically to the structural component. The element class contains a selection of the stored catalog information with expert knowledge. In the data processing a corresponding catalog choice appears in the screen window. Depending on the case considered one or more details may be assigned to the structural component using keypress.

A further speciality of this system are the stored defects catalogs (Fig. 3), which are classified according to component classes and structural materials. After defining the structural materials the material-related defects are automatically selected, so that a component- and material-specific checklist is generated. It can be printed and it simplifies in this form the checking of the structural components on site. In addition, this checklist appears on the screen and aids the computer investigation of defects. For each structural component any combination of defects can be stored for arbitrarily chosen positions.

The evaluation of defects carried out for each position on a structural component is summarized to the level of object, in order to pass on relevant information to all those responsible.

The inclusion of the repair measures is seen in Figure 3. If changes are made to a structural component, i.e. with replacement or reconstruction affecting the description, then this component has to be described once again.

Component Class	Bridge	Other Structure
Foundations	□	-
Burried Structural Comp.	×	×
Abutments	×	-
Columns, Piers, Pylons	×	-
(Super) Structure	□	-
Bearing Structure	-	□
Bearings, Joints	×	×
Expansion Joints	×	×
Sealing	×	×
Surfacing (Pavement)	×	×
Safety Installations	×	×
Concrete-Surface Treatment	×	×
Carriageway Drainage	×	×
Installations	×	×

□ always

× if existent

Fig. 2: Component classes

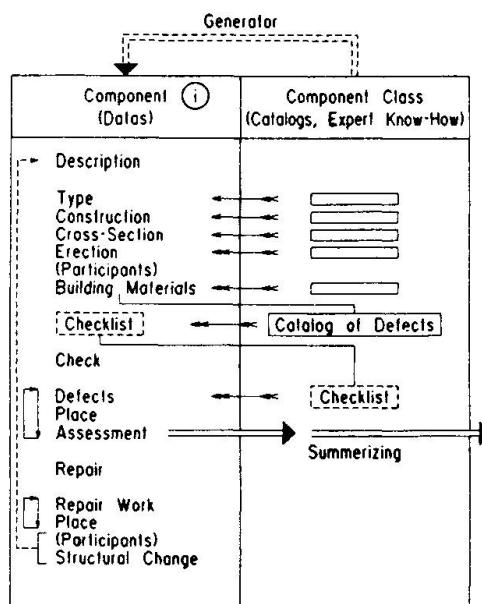


Fig. 3: Component of superstructure



### CONCEPTIONAL DATA SCHEME

The conceptional data scheme differs from the external scheme in that it shows the structural relationships between data types, relations and catalog information. In designing the conceptional data scheme care was given to summarizing all user data in a few compact tables, in order to keep the question search time to a minimum. The development of the system architecture is based on the most up-to-date principles: user data, catalog information and relations in the data bank for the maintenance of highway structures are separate from each other.

### FINAL REMARKS

The data bank management system described may be easily extended. Some extensions are already planned, whereas others are conceivable, such as a statistical evaluation of defects, assessment of structural types or repair measures, expert proposals for repair works and budget planning.

Data bank and expert systems will undoubtedly establish themselves in the future as additional instruments for the engineer. The meaningful and economic use of such systems, however, will be restricted to those who have a broad and fundamental technical knowledge. This and the ability to think in terms of structured and interrelated systems (networking) will be more important for the future user than special computer know-how.

### LITERATURE

- (1) VSS-Subkommission K 174.2 (C. Rosenthaler), Normenentwurf für "Strassen-datenbanken", August 1988, (Draft Standard Proposals for "Highway Data Banks")
- (2) H. Knöpfel "Cost and Quality Control in the Project Cycle", Proceedings, Internet World Congress, Glasgow, 1988
- (3) Swiss Association of Architects and Engineers, "SIA-Empfehlungen 169: Erhal-tung von Ingenieur-Bauwerken", Zurich, 1987 ("SIA Recommendations 169: Main-tenance of Civil Engineering Structures")
- (4) M. Ladner "Zustandsuntersuchungen von Bauwerken", EMPA Dübendorf ZH, May 88 ("Assessment of Condition of Structures")
- (5) Oracle Corporation, ORACLE Manuals, Belmont CA, 1987