Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 10 (1976)

Rubrik: Theme I: Design philosophy and decision processes for structures

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: 10.01.2026

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

I

Les idées de base dans la conception des structures et le choix des solutions possibles

Entwurfsgrundlagen und Entscheidungskriterien für Tragwerke

Design Philosophy and Decision Processes for Structures

Leere Seite
Blank page
Page vide

Einfluss der Baumethoden auf den Entwurf von Tragwerken

Planning of Structures and its Relationship with Construction Methods

L'influence des moyens et des méthodes de construction

ANGELO POZZI
Professor für Bauplanung und Baubetrieb
ETH Zürich
Zürich, Schweiz

Die gegenseitige Abhängigkeit von Entwurf, Ausführung und Nutzung bei der Gestaltung von Tragwerken

1. Einleitung

Wenn in den letzten Jahrzehnten die Architekten vor allem die ästhetischen Probleme und die Bauingenieure das Tragwerksverhalten eines Bauwerkes behandelten, so handelt es sich einfach um eine sehr starke Gewichtung von zwei der vielen Aspekte, unter denen ein Bauwerk betrachtet und bewertet werden muss. Durch die Mechanisierung der Bauwirtschaft, die wachsende Kritik der Benützer von Bauten und die knapper werdenden finanziellen Mittel bekommen ökonomische, ökologische, technologische und zweckorientierte Aspekte ein ständig steigendes Gewicht. Nicht nur das Zielsetzen für ein Investitionsvorhaben, sondern ebensosehr das Gestalten und Erbauen des Bauwerkes sind äusserst komplexe Vorgänge; sie sind für den Nichtfachmann immer weniger überblickbar. Er kennt normalerweise die Ausgangssituation und die Randbedingungen nicht, wertet und kritisiert lediglich das Produkt. Ob wir es wahr haben wollen oder nicht, für die Zweckdienlichkeit, die Funktionstüchtigkeit, den betriebswirtschaftlichen Erfolg oder Misserfolg, die ästhetisch ansprechende oder nichtpassende Form, den umweltfreundlichen oder umweltbelastenden Charakter eines Bauwerkes werden immer mehr die Fachleute verantwortlich gemacht. Es ist notwendig, dass wir das Bauwerk als Ganzes betrachten und das Bauen nicht nur unter ganz wenigen stark gewichteten Aspekten betrachten. Alle Aspekte sollen mit in die Betrachtung einbezogen werden und je nach der Zielsetzung für ein Bauvorhaben werden dann bestimmte Kriterien entsprechendes Gewicht erhalten. In der Folge wird der Investitionsprozess als Ganzes dargestellt und kritisch betrachtet. Auf diesem Hintergrund wird dann das Teilgebiet des Einflusses der Baumethoden auf den Entwurf der Tragwerke kurz behandelt und die Hauptprobleme für die Diskussion am Kongress in Tokio formuliert.

Für bestimmte vereinfachte Prozesse, Informationssysteme oder Entscheidungsvorgänge lassen sich selbstverständlich mathematische Modelle konstruieren und entsprechende Lösungsmethoden entwickeln. Mit diesem Bericht sollen Diskussionsbeiträge provoziert werden, die sich mit den Elementen des Problemlösungsprozesses auseinandersetzen. Von besonderem Interesse sind Beiträge, die am praktischen Beispiel die Entwicklung der Entscheidungskriterien im Zusammenhang mit der Bewertung von alternativen Konzepten zur Darstellung bringen. Es geht hier also nicht um die Darstellung von ablaufplanerischen Lösungsmethoden, sondern um die einfache Darstellung von wesentlichen Zusammenhängen im Bauprozess. Als Anwendungsgebiet soll der Entwurf und die Ausführung von Tragwerken im Vordergrund stehen.

2. Die Besonderheiten des Bauwesens

Die Bauwirtschaft unterscheidet sich nach Struktur, Arbeitsweise und wirtschaftlicher Konzeption stark von andern Wirtschaftszweigen. Die serienmässige Herstellung von Bauwerken für den Markt und die damit verbundene Werbung zur Absatzsicherung und Marktbeeinflussung fehlen praktisch. Der rationelle Einsatz von Mensch, Maschine und Kapital aber, die Auswertung von wissenschaftlichen Methoden beim Entwerfen und Ausführen von Bauten sowie die detaillierte organisatorische Bearbeitung der komplexen Prozesse sind Merkmale der stationären Industrie, die auch in der Bauwirtschaft Gültigkeit haben. Jede Baustelle gleicht infolge der Mechanisierung einer am Bauort eingerichteten Fabrik, wobei der temporäre Charakter in der Mobilität der technischen Hilfsmittel zum Ausdruck kommt. Man könnte die Bauwirtschaft als den Wirtschaftszweig der "wandernden Fabriken" bezeichnen.

Die stationäre Industrie arbeitet nach einem weitgehend selbst gestalteten Produktionsprogramm; Arbeitsablauf und betriebliche Dispositionen richten sich über längere Zeit danach. Die Baubetriebe und das Baugewerbe haben noch wenig Möglichkeiten, die Produktion nach eigenem Ermessen zu programmieren. Die Produktion wird im wesentlichen durch die Investitionsfreudigkeit der privaten und öffentlichen Bauherren bestimmt. Sie bestimmen mit Hilfe der Dienstleistungsbetriebe des Bauwesens die technischen Daten der Bauobjekte. Erst nach Abschluss dieser Vorbereitungsarbeiten werden normalerweise die Bauproduzenten zugezogen. Nach der Offertstellung und Vergabe können die dann beauftragten Unternehmer ihre Dispositionen treffen. Es handelt sich in der Bauwirtschaft nicht um eine programmierte Produktion, sondern um eine Auftragsproduktion. Die Bauleistung ist kein kontinuierlicher Vorgang, sondern eine Summe in sich abgeschlossener Einzelvorgänge.

Die komplexer werdenden Baubedürfnisse und die zunehmende Zahl der zu erfüllenden Randbedingungen bedingen einen ständig grösser werdenden Zeitraum für die Bedürfnisabklärung und den Entwurf von Bauwerken. Dieser Zeitraum beträgt in einfachen Fällen wenige Jahre,

in komplexeren Fällen aber bis zu zehn und mehr Jahren. Aehnliche Zeiträume werden oft für die Ausführung benötigt. Diese Zeiträume sind so gross, dass sich die Bedürfnisse der Investoren und Benützer während diesen Phasen ändern können und deshalb im Entwurf mitberücksichtigt werden müssen. Beispiele dafür sind heute unvollendete städtische Expressstrassen, die infolge der raschen Aenderung der Einstellung der Betroffenen vorläufig nicht zu Ende gebaut werden. Mit Bauen ist immer ein Eingriff in die Umwelt verbunden, denn Bauen bedeutet ja letztendlich auch Gestalten der Umwelt. In den dichter besiedelten Gebieten sind diese Eingriffe besser sichtbar und spürbar. Die Zweckbestimmung und Nutzungsart, sowie volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Ueberlegungen ergeben für Bauwerke im Durchschnitt eine mehrere Generationen umfassende Nutzungs- und Lebensdauer. Der Zeitraum unserer Betrachtungen ist im Bezug zur Lebensdauer eines Bauwerkes klein, man darf deshalb davon ausgehen, dass Bauen für praktische Ueberlegungen ein irreversibler Prozess darstellt. Deshalb dürfen unsere Bauwerke nicht nur dem momentanen Bedürfnis entsprechen, sondern das bauliche Konzept muss mögliche künftige Nutzungsänderungen im vernünftigen Rahmen mitberücksichtigen. Die aus ökonomischen Gründen notwendige lange Lebensdauer der Bauwerke zwingt uns, auch bauliche Konzepte zu entwickeln, die nicht nur dem momentanen Bedürfnis der geplanten Erstnutzung entsprechen, sondern mögliche künftige Nutzungsänderungen mitberücksichtigt.

Auch wenn immer mehr Einzelteile eines Bauwerkes vorgefertigt werden und sich damit eine gewisse Standardisierung der Teilprodukte ergibt, bleiben Bauwerke an Ort gefertigte Einzelprodukte, im weiteren Sinne also Prototypen. Die ständig ändernden individuellen Bedürfnisse der Investoren und Benützer, die einmalige geographische Lage und Umwelt eines Bauwerkes, die immer wieder neue kreative Leistung der Gestalter des Bauwerkes, die wechselnde Zusammensetzung der Benützer des Bauwerkes und die zufälligen Bedingungen bei der Planung und Ausführung der Bauwerke sind genügend Begründung für die vorher aufgestellte Behauptung. Wir können deshalb davon ausgehen, dass für jeden Einzelfall eine spezifische Organisation geschaffen werden muss, die den Anforderungen in der Vorbereitung und Ausführung eines Bauvorhabens gewachsen sein soll. Spätestens mit der Inbetriebnahme eines Bauwerkes wird diese projektorientierte Organisation wieder aufgelöst.

Das Problem der Beschaffung und Bearbeitung der für das Projekt relevanten Information stellt sich bei jedem Baubedürfnis wieder neu. Es geht aber nicht nur um die Informationsbeschaffung selbst, sondern die richtigen Informationen müssen zur rechten Zeit am rechten Ort in der notwendigen Menge vorliegen, damit ein fachgerechter Entscheid durch die kompetenten Instanzen gefällt werden kann. Spezielle Probleme ergeben sich deshalb, weil die wesentlichsten Entscheide über ein Bauvorhaben zu einem Zeitpunkt gefällt werden müssen, da noch wenige Informationen vorliegen. Entscheiden bei Unsicherheit kompliziert den Bauablauf enorm, macht aber das Entwerfen und Ausführen von Bauwerken erst zur interessanten Aufgabe.

Das Entwerfen, Planen und Ausführen von Bauwerken stellt also nicht nur von der gestalterischen Seite hohe Ansprüche, sondern stellt zudem einen der komplexesten praktischen Prozesse dar. Es ist deshalb gerade hier notwendig, das Konzept des Projektmanagement zu vertiefen, damit die gestalterische Arbeit besser zum Ausdruck kommt. Es geht also nicht um das "Entweder oder", sondern um das "Sowohl als auch". Es wird immer wieder versucht, die betriebswissenschaftlichen Erkenntnisse der stationären Industrie direkt auf den Bauprozess zu übertragen. Wenn wir nach neuen besseren Wegen suchen, müssen für die Lösung unserer komplexen Probleme die vorstehend beschriebenen Besonderheiten mitberücksichtigt werden.

3. Der Bauprozess

Den Bauprozess kann man in die fünf Hauptphasen

Generalplanung
Objektvorbereitung
Objektausführung
Objektnutzung
Objektliquidation

gliedern. Sie sind natürlich nicht unabhängig voneinander, sondern durch Rückkopplungen verschiedener Art miteinander verbunden. Diese fünf Hauptphasen sind je durch eine vorwiegende Tätigkeit charakterisiert.

In der Phase Generalplanung geht es vorwiegend um die Bedürfnisabklärung, das Einordnen in allfällige Gesamtpläne, die Ueberprüfung der "Feasability" des Vorhabens und die Erarbeitung der Zielsetzung für das zu entwerfende Bauwerk. Basierend auf den durch die Generalplanung erarbeiteten Grundlagen werden in der Phase der Objektvorbereitung die Vorstellungen konkretisiert. Aus verschiedenen möglichen baulichen Konzepten wird eine Lösung gewählt und als Projekt soweit bearbeitet, dass die wesentlichen Grundlagen für die Ausführung vorliegen. Eine verfeinerte Studie über die "Feasability" des Projektes ist hier angezeigt, denn mit dem Beginn der nächsten Phase ist man praktisch bereits am "Point of no return" angelangt.

Die Phase der Objektausführung basiert auf einem Plan, der den Ablauf der Tätigkeiten vorgibt. Er enthält die zeitliche Folge der Tätigkeiten, die abhängigen finanziellen Konsequenzen und legt die notwendigen Kapazitäten fest. In der Wirklichkeit werden dann kleinere oder grössere Abweichungen vom Plan auftreten, die durch unkontrollierbare, nicht voraussehbare Einflüsse oder nicht zutreffende Annahmen entstehen. Je intensiver man sich bei der Objektvorbereitung mit den möglichen Entwicklungen in der Phase der Objektausführung befasst, desto weniger wird man durch Abweichungen vom Plan überrascht. Prototypen werden normalerweise einem Testlauf unterzogen, bevor sie für den Betrieb freigegeben werden. Dieser Probelauf muss für Bauwerke in den meisten Fällen in die Phase der Objektnutzung miteinbezogen werden.

Die ersten Jahre der Nutzung einer baulichen Anlage sind also zugleich Testzeit für das Produkt. Die notwendigen Korrektur- und Garantiearbeiten müssen deshalb während der Betriebszeit vorgenommen werden. Je nach der Zweckbestimmung der baulichen Anlage werden in der Phase der Objektnutzung mehr oder weniger Anpassungs-, Abänderungs- oder Ergänzungsarbeiten zusätzlich zu den normalen Unterhaltsarbeiten anfallen. Je besser in der Phase der Generalplanung oder Objektvorbereitung die in Zukunft ändernde Nutzungsart mitberücksichtigt werden kann, desto einfacher gestalten sich diese Arbeiten. Man wird sich oft schon beim Entwurf einer baulichen Anlage auch Gedanken über die Liquidation machen müssen, denn in vielen Fällen können hohe Kosten und schwierige Probleme damit verbunden sein.

Die vielen an einem Bauprozess beteiligten Organisationen können in einige Hauptgruppen zusammengefasst werden, dabei ist für die Gruppierung die Aufteilung der Verantwortung wegleitend.

Verantwortung Gruppe Bauherr:

- Zielsetzung für die Hauptphasen des Bauprozesses
- Treffen der entsprechenden Hauptentscheide
- Koordination der Investitionstätigkeit
- Aufbau und Auflösung der Projektorganisation

Verantwortung Gruppe Baufachorgane:

- Erarbeiten der Entscheidungsgrundlagen für die Wahl unter alternativen Konzepten und Projekten
- Entwicklung und Erarbeitung technisch-wirtschaftlich optimaler Lösungen
- Realisierung der Bauprojekte

Verantwortung Gruppe Benützer:

- Erarbeitung der betrieblichen Konzepte
- Betrieb und Verwaltung der baulichen Anlagen
- Anpassung und Unterhalt im Rahmen der eigenen technischen Möglichkeiten

Verantwortung Gruppe Staat:

- Durchsetzen allgemein gültiger Vorschriften und Normen
- Erhalten des ökologischen Gleichgewichtes

BETEILIGTE / PHASEN AUFGABEN	BAUHERR	FACHORGANE		BENÜTZER	STAAT
		DIENST-LEISTUNG	AUS-FÜHRENDE		
GENERALPLANUNG	3	2	1	1	1
OBJEKTVORBEREITUNG	2	3	2	1	1
OBJEKTAUSFÜHRUNG	1	2	3	1	1
OBJEKTNUTZUNG	1	1	1	3	1
OBJEKTLIQUIDATION	1	1	3	1	1

Bild 1: Gewicht der Mitarbeit im Bauprozess durch verschiedene Baubeteiligte

AUFGABEN / BETEILIGTE		BAUHERR	PROJEKTL.	B_3	B_4	B_5							
GESAMT		E	OL			•							
UNTER-	A1												
	A2												
	A3												
TEIL-	A4												
	A5												
UM-													

KOMPETENZEN:

OPERATIVE LEITUNG
ENTSCHEIDUNG
MITSPRACHE
INFORMATIONSRECHT
etc.

Bild 2: Funktionen Diagramm

Eine Unterteilung der Gruppe Fachorgane in die Untergruppen Dienstleistung und Produktion ist durch die praktische Situation und die Problemstellung gegeben, obwohl spezifische Unternehmungen auch beide Bereiche decken. In Bild 1 ist der Zusammenhang zwischen den Baubeteiligten und den Hauptphasen des Bauprozesses dargestellt. Die Zahlen geben die Intensität des Einflusses einer Gruppe in einer Phase wieder. Wenn nun die Hauptphasen in sich weiter unterteilt werden, so erhält man in der linken Kolonne des Bildes 1 die zu bearbeitenden Hauptaufgaben des Bauprozesses. Zerlegt man zudem die Gruppen in der ersten Zeile von Bild 1 in die verschiedenen einzelnen am Bauprozess beteiligten Betriebe, Unternehmungen, Funktionäre und Lieferanten, so ergibt sich eine Aufgaben-Beteiligten-Matrix. Die Zuordnung bestimmter Kompetenzen bei der Behandlung einer spezifischen Aufgabe an einen Beteiligten wird im Funktionsdiagramm festgelegt. Dabei ist es oft sinnvoll, die Gesamtaufgabe für diesen Zweck nach andern Gesichtspunkten zu gliedern als nach dem Aspekt der logischen Folge. Dieses Funktionendiagramm (Bild 2) bildet die Basis jeder weiteren organisatorischen Tätigkeit. Darauf aufbauend lassen sich erste Pflichtenhefte für die Hauptbeteiligten ableiten und ein Konzept für den Informationsfluss erstellen.

Im Rahmen dieser Zuordnung werden die Beteiligten immer wieder unabhängig von der spezifischen Aufgabe drei Grundtätigkeiten erfüllen:

- Informationen beschaffen und aufarbeiten
- erkannte Probleme lösen
- Entscheidungen treffen.

Ueber diese Grundtätigkeiten sind die Beteiligten miteinander und die Aufgaben untereinander gekoppelt. Bevor nicht bestimmte Informationen vorliegen, können bestimmte Probleme nicht gelöst werden und entsprechende Entscheide gefällt werden. Vielfach werden in einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung stehende Informationen einen früher gefällten Entscheid in Frage stellen. Oft entstehen spezifische Probleme erst durch zusätzliche Informationen. Der allgemeine Informationsstand ist in der ersten Hauptphase tief, trotzdem werden die wesentlichsten Entscheide gerade in den ersten beiden Phasen gefällt (Bild 3). Man ist bestrebt, mit möglichst kleinem Aufwand einen möglichst guten Entscheid zu treffen. Es stehen auch nur begrenzte Mittel für die Vorbereitung der einzelnen Entscheide zur Verfügung. In den späteren Phasen nimmt der Einfluss der Entscheidungen bezogen auf das ganze Bauwerk stark ab, wobei der Informationsstand der Beteiligten aber ständig wächst.

Versucht man nun im konkreten Fall das Lösen der anfallenden Probleme, das Aufarbeiten der relevanten Informationen, die zu fällenden Entscheidungen unter Berücksichtigung der immer vorhandenen Rückkopplungen in eine logische zeitliche Folge zu bringen, dann ergibt sich ein sehr komplexer dynamischer Ablauf, eben der Bauprozess.

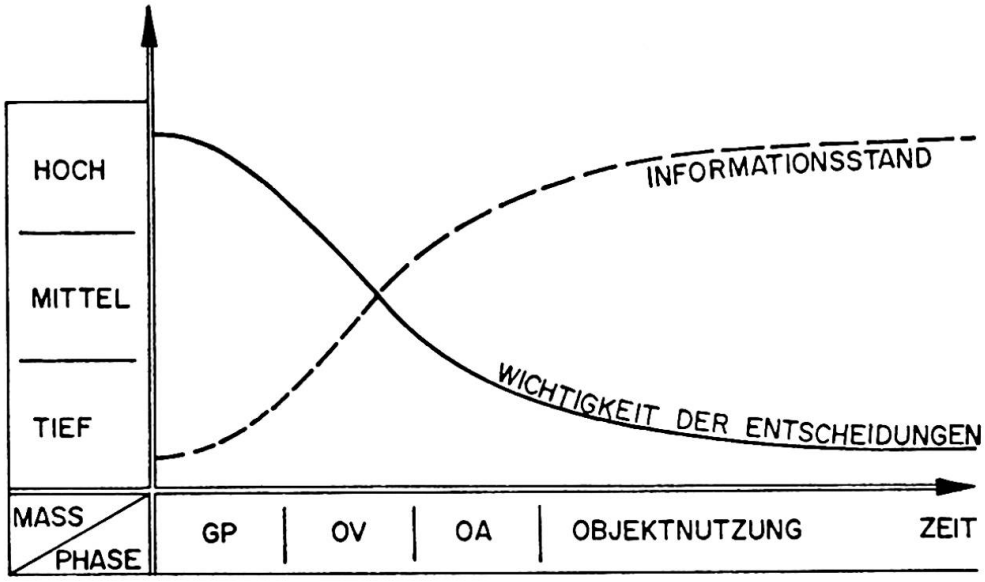


Bild 3: Informationsstand in Relation zur Wichtigkeit der Entscheidung in Funktion der Hauptphasen des Bauprozesses

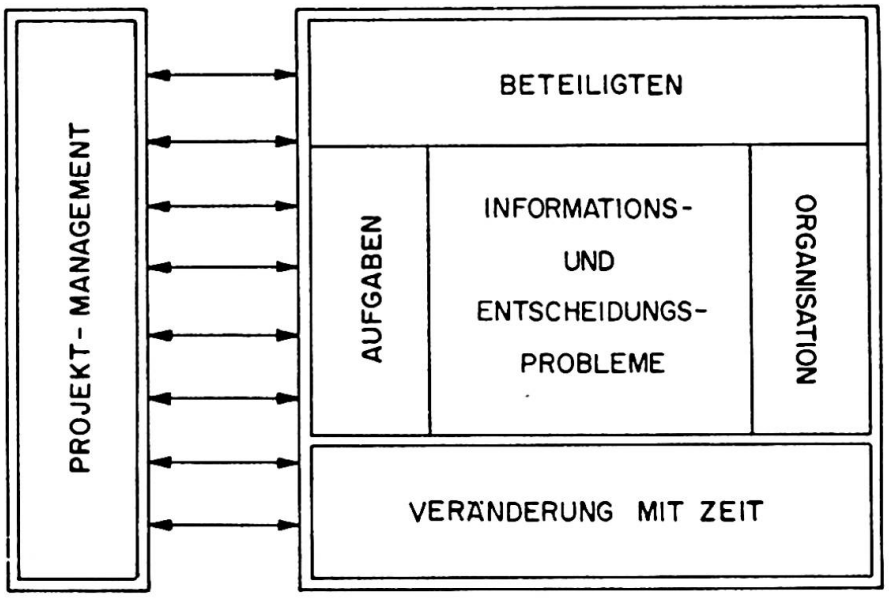


Bild 4: Die Elemente des Projektmanagementproblems

Obwohl jedes Bauwerk für sich einen Prototypen darstellt, wird es mit der Zeit möglich sein, für bestimmte Gruppen von immer wieder ähnlichen Bauaufgaben den Bauprozess so zu standardisieren, dass damit der Praxis ein echtes Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden kann. Da allerdings auch bei ähnlichen Bauwerken die Baubeteiligten immer wieder ändern, entsteht hier zusätzlich ein Ausbildungsproblem. Denn solche Hilfsmittel sind nur dann sinnvoll zu gebrauchen, wenn die Beteiligten die gleiche Sprache sprechen und das verwendete Hilfsmittel verstehen.

Durch die Netzplantechnik gefördert, läuft man heute Gefahr, den Bauprozess vorwiegend als logische Kette von Tätigkeiten oder Ereignissen zu sehen. Sicher gewinnt man mit dieser Darstellung eine bessere Uebersicht über den Ablauf. Schwierigere und schwerwiegendere Probleme ergeben sich durch die vielen Entscheidungssituationen; in welcher Zeit, unter welchen Aspekten, auf welchen Planungshorizont bezogen soll eine Entscheidungssituation bearbeitet werden ? Fortschritte bei der Systematisierung des Bauprozesses müssen vor allem in dieser Richtung erzielt werden. Die vielen meist voneinander unabhängigen Baubeteiligten, die vielen immer wieder unter neuen Aspekten zu bearbeitenden Aufgaben, die über die verschiedenen Phasen des Bauprozesses ständig anzupassende temporäre Organisation, der deshalb notwendigerweise komplizierte Informations- und Entscheidungsmechanismus sind die Begründung dafür, dass gerade hier ein hochqualifiziertes Management notwendig ist. Hier sind noch wesentliche Fortschritte relativ rasch möglich. Das Modell des Projektmanagement muss für unsere Bedürfnisse weiterentwickelt werden. (Bild 4)

4. Der Problemlösungsprozess

Das Problemlösen ist eine der Grundtätigkeiten im Bauprozess. Das Vorgehen beim Lösen irgendeines Problems ist immer dasselbe. Nur haben die verschiedenen Teilschritte je nach der Art des Problems eine verschiedene Bedeutung. Im Bild 5 ist ein Modell für das Vorgehen beim Problemlösen dargestellt. Wir gehen davon aus, dass der Entscheidungsträger nicht identisch mit der Sachbearbeitungsgruppe ist. Das Modell lässt sich dann in zwei Hauptteile gliedern. Im ersten Teil geht es darum, dass die Sachbearbeiter über eine umfassende Analyse des Auftrages das Problem im Sinne des Auftraggebers verstehen und auf dieser Grundlage die Zielsetzung derart verfeinern, dass ein detaillierter Kriterienplan entsteht. Eine weitere Bearbeitung des Problems erübrigt sich so lange, als der Auftraggeber und die Sachbearbeiter sich über diese erste Fassung des Kriterienplanes nicht einigen. Es ist nicht sinnvoll, eine Vielzahl von Alternativen zu entwickeln und zu bewerten, wenn man über die massgebenden Kriterien für die Bewertung nicht einig ist. Hat man sich aber geeinigt, dann sind die Grundlagen für die eigentliche kreative Arbeit gegeben. Der Entwicklung der wesentlichen Lösungsalternativen folgt deren detaillierte Analyse. Die aufgrund der vereinbarten Kriterien vorgenommene Bewertung der Alternativen er-

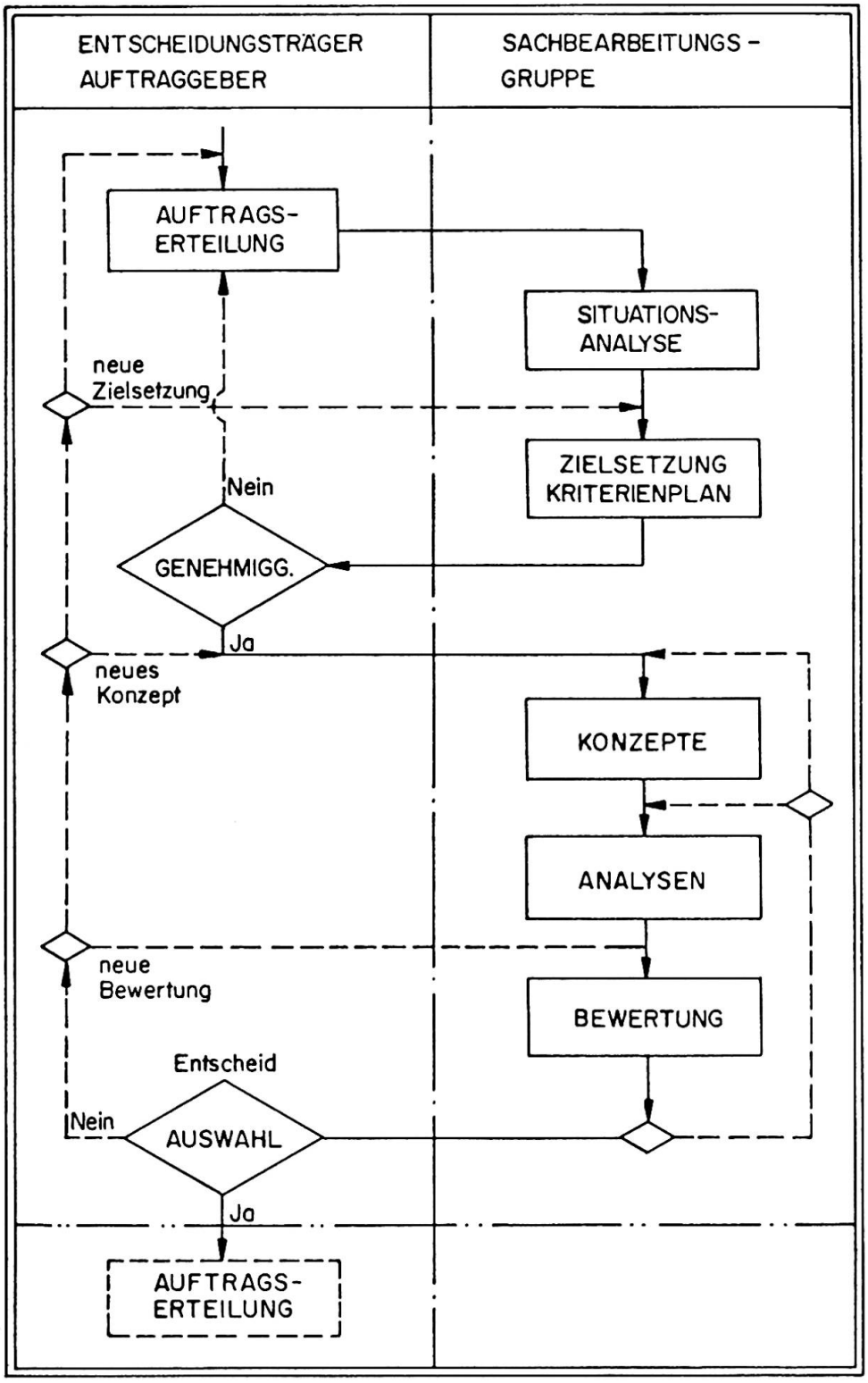


Bild 5: Problemlösungsvorgang

gibt die Entscheidungsgrundlagen für den Entscheidungsträger.

Dieses ideale Vorgehen kann in der Praxis meist nicht realisiert werden. Erst durch die Bearbeitung der Alternativen selbst erhält man oft genügend Einsicht in das Problem, um die massgebenden Kriterien zu verstehen. Auch das Entwerfen von Alternativen kann nicht ganz von der analytischen Tätigkeit getrennt werden, denn oft sieht man wesentliche Alternativen erst nach einer intensiven Analyse verwandter Konzepte. Rückkopplungen aller Art müssen also im Modell vorhanden sein. Ein Problemlösungsprozess ist dann abgeschlossen, wenn entweder der Auftrag aufgrund der Ergebnisse aufgehoben wird, oder eine Wahl für eine Alternative getroffen wurde. Wesentlich ist, dass zur rechten Zeit mit den richtigen Beteiligten eine Einigung über die anzuwendenden Kriterien herbeigeführt wird und damit klare Grundlagen für den Entwurf und die Bewertung geschaffen werden. Die Wahl ist ein Entscheid bei Unsicherheit, damit ist aber auch bei eindeutigen Vorteilen für eine Alternative noch nicht sicher, ob sich diese Wahl in der Zukunft als gut erweist.

5. Das Tragwerk als Element des Bauwerkes

Wir haben uns bisher mit dem Bauwerk und dem Bauprozess als Ganzem beschäftigt. Jene Baubeteiligten, die sich mit dem Gestalten, Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Produzieren, Erbauen oder Montieren des Tragwerkes auseinandersetzen, sind wie alle andern verpflichtet, ihre Aufgabe als Teilaufgabe im Gesamtprozess zu sehen und zu verstehen. Die Betrachtungen in den vorstehenden Abschnitten können deshalb ohne weiteres auf den Problembereich Tragwerk übertragen werden. Die Bedeutung der Teilaufgabe "Tragwerk" innerhalb eines Bauprozesses ist je nach Bauwerksgruppe sehr verschieden.

Handelt es sich um die Gruppe der Brückenbauten, Turmbauten, Staumauern, Off-Shore-Tragwerke, (Gruppe A) wird die Teilaufgabe "Tragwerk" praktisch zur Hauptaufgabe. In dieser Gruppe ist die Hauptfunktion des Bauwerkes eine Tragwerksfunktion. Trotzdem dürfen diese Bauwerke nicht isoliert für sich betrachtet werden, denn sie sind ja Teil eines übergeordneten Systems. Liegt dieses übergeordnete Konzept einmal fest, dann lassen sich bei dieser Gruppe einzelne Aufgaben oft so genau abgrenzen, dass sie für sich einen abgeschlossenen Bauprozess darstellen. Dieser Prozess muss lediglich auf die Zeitplanung im übergeordneten System abgestimmt werden.

Bei der Gruppe der Industriebauten, Verwaltungsbauten, Wohnbauten (Gruppe B) stellt die Aufgabe "Tragwerk" eine der wichtigeren Teilaufgaben dar. Das Funktionieren der Installationen, die Zweckmässigkeit innerbetrieblicher Dispositionen, das Erfüllen der bauphysikalischen Forderungen, das Erfüllen der ästhetischen Bedingungen als Bauwerk sind für die Funktionstüchtigkeit des Bau-

werkes ähnlich wichtige Aspekte wie das gute Tragwerksverhalten unter Gebrauchslast. Es gibt hier keine Teilaufgabe mehr, die den Rang der Hauptaufgabe übernehmen könnte und nach der sich dann alle andern Aufgaben praktisch zu richten hätten. Vielmehr hangen die Problemlösungen für die einzelnen Aufgaben stark voneinander ab. Es wird ein grosses Mass von gegenseitigem Verständnis verlangt, wenn alle Teilaufgaben im Sinne der Gesamtaufgabe gelöst werden sollen. In der Gruppe Kanalbauten, Leitungsbauten, Pistenbauten, Strassenbauten (Gruppe C) spielt die Aufgabe "Tragwerk" eine untergeordnete Rolle.

In den letzten 50 Jahren hat man im Entwerfen, Berechnen, Konstruieren und Erstellen von Tragwerken in allen Gruppen grosse Fortschritte erzielt. Der "Know how" für das Lösen dieser Aufgabe ist auf einem hohen Stand. Betrachtet man die Gesamtaufgabe oder das übergeordnete System, dann stellt man rasch fest, dass der "Know how" in bezug auf das Lösen der vielen Teilaufgaben sehr verschieden ist. Eine allen Ansprüchen gerecht werdende Brücke nützt wenig, wenn sie zu einem unzweckmässigen Strassenzug gehört. Eine hochentwickelte Tragwerkskonstruktion in einem Bürohochhaus nützt wenig, wenn die Aussenhaut die bauphysikalischen Bedingungen nicht erfüllt oder die Erschliessung des Gebäudes nicht funktioniert. Wir müssen vermehrt das Tragwerk als Teil einer Gesamtaufgabe auffassen, oder uns überhaupt intensiver mit der Gesamtaufgabe auseinandersetzen, bevor Teilaufgaben gelöst werden.

Wir haben bisher das Kernproblem, den Einfluss der Baumethoden auf den Entwurf von Tragwerken nicht besonders behandelt. Auf dem Hintergrund der vorstehenden Ueberlegungen kann man dieses Problem leicht einordnen. Im Rahmen des Bauprozesses geht es darum, wie stark der Einfluss der ausführenden Fachorgane in der Phase der Objektvorbereitung sein soll (Bild 1). Im Problemlösungsprozess für die Teilaufgabe "Tragwerk" stellt sich die Frage ob baumethodische Kriterien in der Zielsetzung aufgenommen werden oder nicht. Einen Einfluss haben diese baumethodischen Aspekte auf den Entwurf des Tragwerkes dann (Bild 5), wenn die entsprechenden Kriterien mit einem starken Gewicht in die Bewertung der Alternativen eingehen. Für Bauwerke der Gruppe A (Brücken etc.) wird das meistens der Fall sein. Bei Bauwerken der Gruppe B (Wohnbauten etc.) werden bei den baumethodischen Betrachtungen nicht nur die Aufgabe "Tragwerk", sondern auch mehrere andere Aufgaben wie "Installationen", "Aussenhaut" etc. eine Rolle spielen. Bei den Bauwerken der Gruppe C (Strassen etc.) stehen wohl die Baumethoden im Vordergrund, aber da das Tragwerk eine untergeordnete Rolle spielt, ist der Zusammenhang auf Stufe Bauwerk und nicht Tragwerk zu suchen. Es geht eigentlich weniger um den Einfluss der Baumethoden auf den Entwurf eines Tragwerkes, sondern allgemein um die Frage, wie stark sollen baumethodische Aspekte als Kriterien in der Zielsetzung für die ganze Phase der Objektvorbereitung miteinbezogen werden ? Dies ist aber eine Ermessensfrage, und kann nur am konkreten Beispiel beantwortet werden.

6. Die Hauptprobleme

Im Zentrum steht das Bauwerk, das Entwerfen und Ausführen des Tragwerkes ist eine Teilaufgabe, auch wenn in einigen Bauwerksgruppen das Tragwerk eine besondere Stellung einnimmt. Diese Teilaufgabe muss im übergeordneten System und im Gesamtbauprozess integriert verstanden und bearbeitet werden.

Der Bauprozess ist ein äusserst komplexer Vorgang. Wenn wir wesentliche Fortschritte erzielen wollen, müssen wir mehr über diesen Prozess wissen, Ursache - Wirkung - Beziehungen ergründen und in theoretische Ansätze umlegen, Ziel - Mittel - Beziehungen soweit entwickeln, bis brauchbare Technologien nicht nur für die Ausführung sondern auch für die Planung zur Verfügung stehen.

Unsere wesentlichen Entscheidungen werden bei relativ tiefem Informationsstand gefällt. Umsomehr sind wir auf Methoden angewiesen, mit denen die wichtigsten Lösungsalternativen gefunden und bewertet werden können.

Die Beiträge sollen sich auf diese drei Hauptprobleme beziehen. Es werden vor allem Erfahrungen in einfacher Form für das Anwendungsgebiet Entwurf und Ausführung von Tragwerken erwartet. Bevorzugt werden Beispiele, bei denen ein Kriterienplan vorgegeben war und eine Bewertung der Alternativen vorgenommen wurde. Der Vergleich der Ueberlegungen, die zu einem spezifischen Entscheid führten, mit den Ueberlegungen, die am ausgeführten Bauwerk gemacht werden, sind von besonderem Interesse.

7. Literatur

Brandenberger und Ruosch; "Projektmanagement im Bauwesen" 1974
Baufachverlag Zürich

Shrode, Voich; "Organisation and Management", 1974
Irwin Verlag

Rüsberg Karl; "Die Praxis des Projekt Management", 1971
Moderne Industrie Verlag, München

Zogg A.; "Projekt-Management", Dissertation ETH-Zürich
Nr. 5142, 1973

Cleland and King; "Systems Analysis and Projekt-Management", 1968
Mc Graw Hill, New York

Büchel A.; "Systems Engineering", Industrielle Organisation, 1969

8. Zusammenfassung / Summary / Résumé

Die Besonderheiten des Bauwesens werden im Vergleich zu andern Wirtschaftszweigen herausgearbeitet. Der Bauprozess wird als komplexer Vorgang in einer Aufgaben-Beteiligten Matrix dargestellt, wobei das Informationen Erarbeiten, Problemlösen und Entscheiden als die drei wesentlichen Grundtätigkeiten herausgestellt werden. Das Problemlösen wird in einem weiteren Schritt in die Grundschritte zerlegt. Die Problematik des Entscheidens bei Unsicherheit wird in diesem Rahmen beschrieben. Das Entwerfen und Ausführen von Tragwerken wird als eine Teilaufgabe in den Bauprozess eingegliedert, wobei auf die Unterschiede für verschiedene Bauwerksgruppen eingegangen wird. Die am Kongress zu behandelnden Hauptprobleme werden am Schluss beschrieben.

The particularities of the problems in civil engineering and the building industries are compared to those of other economic fields. The process governing investments in buildings and civil works is presented in a "problem - concerned - parties - matrix"; to collect data, to solve problems and to make decisions are the three basic activities in this process. In a second step the elements of the activity "to solve a problem" are described, the question of decision under uncertainty will be discussed in this context. The design and realization of structures is shown as one task in a very complex process. The most interesting problems to be discussed at the Congress in Tokyo are listed at the end.

Les caractéristiques des problèmes de génie civil et de l'industrie de la construction sont comparées à celles d'autres domaines économiques. Le processus conduisant au choix d'investissements dans les constructions et les travaux publics est présenté selon une matrice "devoirs - personnes concernées", les trois activités essentielles étant l'analyse des données, la résolution de problèmes et la prise de décisions. Dans une deuxième étape, les éléments concernant la résolution de problèmes sont analysés. La question de prises de décision lors d'incertitudes est présentée dans ce cadre. Le projet et l'exécution d'une structure représente une seule activité dans le processus de la construction, cette activité étant différenciée selon les groupes d'ouvrages. La liste des problèmes-clés à discuter lors du Congrès de Tokyo est donnée en fin d'article.

Achievement of Safety and Economy in Design and Construction

Des exigences de la sécurité et du souci de l'économie dans l'étude et la construction

Sicherheits- und Wirtschaftlichkeits-Aspekte im Entwurf und in der Ausführung

D. DICKE
Professor
Technische Hogeschool Delft
Delft, Netherlands

Introduction

Over the years much literature has appeared on the subject of "Structural Safety". A first tangible result of this was the presentation of the semi-probabilistic concept of safety which has been adopted by the CEB, the FIP, the CECM and the ISO.

The primary advantage of this semi-probabilistic concept of safety was its appeal to structural engineers and designers; it opened their eyes to the non-deterministic character of safety. They were accustomed to thinking in absolute terms: allowable stresses, code load requirements and factors of safety based on allowable stresses. Nevertheless most of the literature on safety remained a closed book to them. This literature was usually too mathematical and theoretical for the practicing engineer. The Model Code of the CEB opened up the prospect of a statistical approach to safety to them, it widened their horizon. Most building structures are designed by these practicing engineers with their rather conventional approach. Since the results of scientific research during preceding years has been incorporated in each new edition of Guides of Practice and Building Codes, these documents provide this large category of engineers with the strongest stimulus for selfstudy and development. The most obvious result of this semi-probabilistic concept of safety is in the practice of testing of materials, especially concrete, where quality is not defined as a mean value anymore, but as a characteristic value.

This is about as far as we have come with Guides of Practice. Finally the margin between characteristic strength and characteristic load is established as the product of some factors, but the relation with the probability of failure, let alone with economy, is not only unclear, this relation hardly exists. There are many problems here.

The symposia of the IABSE, the joint committee on structural safety CEB-CECM-CIB-FIP-IABSE, the joint committee on Tall Buildings, all the work done by several CEB-committees and research at various universities supply more and more material and show interesting developments. But all of this does not reach the great majority of the practicing engineers. The rapid development of scientific research causes a wide gap between researcher and practicianer.

The author of this Introductory Report belongs to the second category: for 20 years he was a structural engineer before he accepted a teaching position at the Delft University of Technology where he is trying to give architectural students some insight into the relation load-resistance-economy of building structures.
In that position you have to philisophize about the unsafeness of the world we live in with its tremendous "natural" catastrophes at the one hand and at the other those calamities we bring upon each other and ourselves, senseless destruction in the "solving" of controversies, unsafety due to crime, to traffic, to evergrowing pollution which so often accompanies prosperity in many countries.

How much can and will a community spend to give its members the feeling that their built environment is a safe place to live, work, recreate, etc.?
The line where safety is considered to become excessive is partly determined by the economy but also by politics.
Can we make this line clear?

The subject of this Session is: "Achievement of safety and economy in design and construction".
Our investigation of this subject should eventually lead to guides of practice and building codes. Safety cannot be tied to a number, in the way allowable stresses, factors of safety or loadfactors can. Only a probabilistic approach can give some real insight. But even then only a relative insight, in a way that "this is safer than that". If we can link safety to economy this might enable us to talk about safety in absolute terms. Is not the price of a structure partly determined by its measure of safety, but also — in the opposite direction — by the insurance premium?

The normal built environment

Now I propose that at this Session we concentrate on the safety and economy of "normal" structures. We shall not concern ourselves with prestige objects — economy and status contradict each other. Nor with the economy of special objects such as large bridges, tunnels, off-shore constructions, pipelines, etc. These projects are big enough to let specialists advise on the safety and economy of each individual object; a general code hardly applies here.

We shall concern ourselves with the economy of that category of structures — by far the biggest in volume — that constitutes the normal built environment of man, i.e. houses, schools, office-buildings, factories, nursing-homes, simple civil engineering constructions, etc.

Can we formulate rules that guarantee an optimum combination of safety and economy in these normal structures?
Before answering this question I should like to submit the following general observations:

1. Safety — probability of failure

Safety has to do with the probability of the occurrance of an event. This can be the probability of unacceptable cracks or deformations, of a fire of certain intensity, of excessive loads, of corrosion, etc. Here we confine ourselves to a concept of safety that is based on the probability of failure of an element of a structure and the consequences of this failure.

2. Loads

For the design of structures a lot of information on loads must be gathered.

a. Dead loads and other sustained loads

If we have already chosen the materials and made a preliminary calculation and also have decided on non-structural elements and finishes, then these loads are fairly accurately defined.
When making the final calculations all of these data must be checked for possible changes and controlled till the day of delivery.
What happens after this day? Where does the resposibility of the designer end: at the delivery of the building when he must tell the owner that after this day nothing should be changed anymore without the designer's consent? Or should he not trust the owner too far in this respect and allow for these possible changes in his calculations?

b. Live loads

Through field surveys we can obtain statistical data about a number of live loads, especially for those often occuring spaces like in houses, office-buildings, etc. Our surveys always show what is, not what may be.
Can we project our observations of the present into the future? How popular will waterbeds become? Or should we decorate the walls of each space with the data on which our calculations of its structure are based and leave the responsibility to the user? In this way we could give each distribution function a clear upper bound.

How much do we know of possible future changes in the use of spaces? If we can set clear limits to those loads over which the user has control and leave the consequences of overstepping these limits to him, then we can make considerable gains in this respect. Is this realistic and if not entirely so then perhaps to a certain extent?

As long as we confine ourselves to normal building structures we have reasonably accurate data at our disposal about the climatic loads wind and snow. What however do we know about "loads" like fire and gasexplosions and how do we project this knowledge into the future? How careful are we in the use of new materials (calamity on the Isle of Man in 1973)? The installation if fire-resisting materials is a statistical-economic problem.

For the CUR-committee "Safety"* the IBBC-TNO-Institute in Delft has done some research on a concrete floorslab with a span of 4.25 m and a thickness of 141 mm. In accordance with the Code Requirements the amount of reinforcing steel was found in a deterministic way. By considering all data of the slab itself and of the load as stochastic quantities a theoretical value of 1.4×10^{-14} for the probability of failure was found. By repeating the process, but now including the possibility of fire, the theoretical value increased to 3.6×10^{-4}. If we keep the amount of reinforcement and the thickness of the slab the same but increase the cover, the probability of failure due to overloading will grow, but due to fire will diminish. For this concrete slab the optimum was found for a cover of 33 mm, the probability of failure being 1.5×10^{-7}.

---

*Members of the CUR-Committee A16 "Safety": D.Dicke, H.v. Koten, J. Kuipers, F.K. Ligtenberg, J. Strating, A.W.G. Thijsse.

The big increase in the use of natural gas makes the occurance of gasexplosions much more likely and can therefore influence the probability of failure.
This unfluence can be considerably reduced by appropriate measures
Summing up we can say that some of the types of live loads — as they are now — are fairly accurately known. Projection of data into the future is difficult but not impossible; these data cannot be defined as clear distribution functions. "Loads" like fire and explosions have a measurable influence on the probability of failure and must be taken into account. If we do not want to do this then we must take measures to eliminate or greatly reduce their influence on failure. These measures cost money: it is a question of economy.

c. Simultaneous loads

Information on this possibility must also be gathered. In applying deterministic methods we are often required to examine combinations of different loads or a different disposition of loads.
From a probabilistic point of view the combination that causes the highest stresses or failure does not necessarily have to be the most dangerous combination: it is conceivable that the chance of this combination occurring is particularly small.

d. Forced deformations

These deformations, caused by differences in temperature or by shrinkage and creep usually hardly influence the probability of failure, but can cause cracking and deformations which may lead to damage.

3. The shape of the structure

The engineer must develop the overall shape of the structure in close collaboration with the designer of the building. This shape itself has a bearing on the safety and economy of the structure. Are there members of the structure that may cause extensive damage when they fail? Is there a chance of progressive collapse? Can we work towards an optimum combination of safety and economy in the design stage? Yes, that is possible with the help of the probabilistic concept of safety.

4. Materials

The materials selected for the structure must be closely related to its overall design. Here quality control plays an important role. Close inspection upon delivery may allow us to reckon with a lower bound in the quality distribution function. In the case of concrete poured in situ, quality depends largely on the builder and the supervisor. Very often, especially in cases where bending is predominant, the strength of reinforced concrete depends entirely on the quality of the steel. Here stringent (and expensive) requirements regarding the quality of the concrete do not make sense, unless they are necessary for other reasons.

5. Elements

Out of the selected materials the elements of the structure must be manifactured.

The care given to this process, the expertise of the people involved and the effectiveness of the inspection determine the strength of these elements to a large extent. A weak element will remain a weak element during the whole lifespan of the structure.

6. Joints

The elements of the structure must be joined together. The character of these joints, monolithic or not, can not only influence the safety of the elements themselves, but also the safety of larger portions of the structure. In case of monolithic joints the detailing of the reinforcement in the joint may play a role.

7. Calculations

The actual dimensions of the elements of a structure must be determined by calculations. To this end we reduce the real structure to a "model" which allows us to apply the principles of Mechanics to it. In this way we find the forces working in these elements, their resistance against these forces and their deformations. In these models we also schematize the loads and the properties of the building materials.
These models are rather primitive and we often find big differences between calculated and measured values for the deformations and the distribution of forces which is derived from them. As the conditions for equilibrium are usually fulfilled, the use of computers in attempts at making these models more true to reality does not influence the calculated probability of failure very much. Constructions and elements under compression and bending (like columns) however become very sensitive to errors in "schematisation" of the properties of the material and of their boundary conditions when the load approaches its critical value. If we deal with large series of the same type of buildings then Computer Aided Design might offer an extra possibility to find an optimum combination of safety and economy. Refinements in calculation, intended to produce safer structures, may make the calculation and also the working drawings more laborious: 10% higher costs here mean a costincrease of 2‰ for the whole building. Lowering the factors of safety in the present Codes by 5% would mean a cost-decrease of 2‰ for the whole building.

One more observation: a calculation is made only once, but its discrepancies with reality last the building's lifetime.

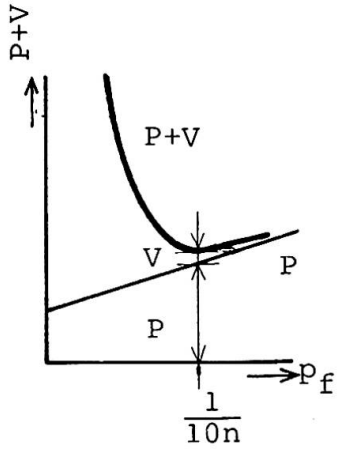
8. Use

After the delivery of the building, people live and work in it. This not only affects the loads (cf.2a and b) but also the preservation of the building. How well will the owner take care of his building? Does he maintain it well, does he immediately notice extreme deformations, cracking, corrosion, ageing? Vreedenburgh once remarked that - had steel braces been put around the Campanile in Venice one hour before its collapse in 1902 - the tower would still stand as it was.

Optimum combination of safety and economy

The information gathered in items 1 through 6, with projections into the future, combined in the calculation (item 7) should enable us to determine the probability of failure.

Assuming that we should succeed, then we can certainly expect the question: "Is this safe enough?" Ligtenberg* has pointed out a possible criterion which establishes a direct relation between safety and economy.



If we call n the ratio of the total damage caused by the collapse of one element and the price P of that element, then the sum of the price P and the fictitious insurance premium V shows a minimum for approximately $p_f \cdot n = \frac{1}{10}$ (p_f is the probability of failure).
The difficulty of this otherwise simple and clear criterion is not establishing the material damage but translating human grief into an amount of money.
How do we "price" those who are killed, who are crippled for life, the wounded; the exasperation, loss of irreplaceable goods, loss of reputation, emotional and political consequences? As we confine ourselves to the great mass of relatively simple structures, this should not pose an insurmountable problem for a great many elements.

Let us take floors of houses as an example. We assume floors to be designed in such a way that collapse without warning is out of the question. Then the human aspect is reduced to some annoyance and inconvenience. Here failure takes on the meaning: inability to serve its purpose due to large deformations.
Let us suppose that the cost (including inflation) of replacing such a floor by a new one would be ten times the original cost (n = 10), then according to Ligtenberg we should design this floor with a value $p_f = \frac{1}{100}$. This is the probability of failure, no matter if this is caused by excessive loading, fire or explosions. The probability of fire in a house during its lifespan also equals about $\frac{1}{100}$. If we know the coefficient of variation of the load and of the resistance and also the influence of fire on failure, then we can establish a value for γ_k (i.e. the ratio of the characteristic values of resistance and load). In this case the value would be 1.2 at the most. At such a low value for γ_k it is not unthinkable that other requirements prevail. One might base the design on acoustical requirements for instance, and check deformations, cracking (in the case of concrete), stresses and economy afterwards.
Fire hardly influences the probability of failure in this case.
Starting from the simple rule of Ligtenberg $p_f \cdot n = \frac{1}{10}$ we can arrice via a probabilistic concept of safety, at deterministic calculations. The question is: is it possible to classify the most common elements (as we have just done in a somewhat simplistic manner), to formulate a number of boundary conditions and to establish a value for γ_k?
This could be a first step on the way to put the probabilistic philosophy of safety into full practice.

---

*ir.F.K. Ligtenberg: Discussion Summary, Vol.D.S. Planning and Design of Tall Buildings, page.437

Making the practicing engineer aware of the backgrounds of this methods together with much research can pave the way for a more differentiated computer-programmed use of this method.
Systematic investigation and registration of all cases of serious damage would provide the facts and the insight to extend the application of this method to a wider range of elements.

I have not discussed loads brought on by tornados, earthquakes, floods and violence. Normal rules do not apply here. Elements exposed to these loads must be dealt with in a separate discussion.
The relation we used between the probability of failure p_f and the ratio n = total damage / price is an optimum relation which can only be influenced by the appraisal of damage that is hard to put in terms of money — the human aspect.

Probablistic approach and public relations

A general belief in the absolute safety of our buildings still prevails. The probability of failure is not yet accepted. Whenever a building structure collapses it is a foregone conclusion for many people that this was either caused by the engineer's or contractor's negligence or blunder, or by an act of God. If we want to bridge the gap between scientific research and daily practice, we must explain the philosophy of safety to the practicing engineer. A probabilistic approach must be accepted. The author of this Report found this out when the notes of his student lectures on Safety were published as CUR-Rapport 63*. There was an obvious need for a simple approach to new concepts of safety. This may form a basis for further study necessary for acceptance and application of these concepts.

SUMMARY

The idea behind this Introductory Report is this: it must be possible to gather sufficient data about the most common types of building structures to enable us to derive a design method from the probabilistic concept of safety. This method, using optimum economy as its criterion, will be deterministic in appearance, but will have a highly variable factor of safety. Possible causes of failure, other than overloading, should also be taken into consideration.

Moreover this Report appeals for making the probabilistic concept of safety more accessable to the practicing engineer.

RESUME

L'idée à la base de ce rapport introductif est la suivante: il doit être possible de réunir suffisamment d'informations sur les types les plus courants de structures, en vue d'en tirer une méthode de calcul basée sur un concept probabiliste de la sécurité. Cette méthode utilisant le critère d'une économie optimale, sera déterministe en apparence, mais offrira un facteur de sécurité extrêmement variable. Des causes possibles d'effondrement autres qu'une surcharge, devraient également être prises en considération.

En outre, ce rapport souhaite qu'un concept probabiliste de la sécurité soit rendu plus accessible à l'ingénieur praticien.

---

*Those interested in this Report can order a copy in English from: Secretariaat CUR, Postbus 61, Zoetermeer, The Netherlands.

ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Idee liegt diesem Bericht zugrunde: Es muss möglich sein, genügend viele Daten der gebräuchlichsten Typen von Bauwerken zu sammeln, um daraus eine Methode abzuleiten, die auf dem probabilistischen Sicherheitskonzept beruht. Diese Methode, deren Kriterium die optimale Wirtschaftlichkeit ist, wird, äusserlich besehen, deterministisch sein, weist jedoch einen ungewöhnlich stark variablen Sicherheitsfaktor auf. Neben der Ueberlastung, sollten auch andere Versagensursachen in Betracht gezogen werden.

Zudem will dieser Bericht dem in der Praxis stehenden Ingenieur das probabilistische Sicherheitskonzept zugänglicher machen.

Serviceability and Maintenance

La serviciabilité requise et l'entretien

Nutzung und Unterhalt

GERARD F. FOX
Partner

ELMER K. TIMBY
Member of Advisory Board

Howard, Needles, Tammen & Bergendoff
Consulting Engineers
New York, N.Y., USA

Life Cycle Considerations for Structures

This paper presents an overview of the various life cycle aspects and procedures applicable to structures. Treatment is in broad terms as regards types of structures. Discussion covers the life of a structure from conception, through planning, design, construction and implementation of use, to the longer period of operation and maintenance, ending in demolition or abandonment. Orientation is from the point of view of how the structural engineer -- be he planner, designer, materials supplier, equipment specialist, builder or administrator -- can best serve the interests of the owner and the affected public, while working with other professions engaged by the owner and regulatory agencies of government, to improve the creation and operation of a project. It is concluded: that the optimization of the primary aspects -- functional service, capacity to serve, environmental effects, time schedules, and cost to benefit relations -- are objectives within reasonable reach; and that favorable serviceability and maintenance depend directly on adequate planning, design, and construction.

Serviceability and Maintenance -- what are they and why talk about them. The practitioner of structural theory can well say our structures are excellently designed to carry specified loads. The researcher in materials can equally well state satisfactory materials are being incorporated into structures. The builder can claim with assurance that structures are built as designed. Everybody knows that most structures last a lifetime. They are torn down when no longer needed; practically never fall down. New generations of structures have benefited from improvement in design theory, in better materials built into the structure, and in more ingenious construction methods.

There can be no quarrel with any of those statements from the point of view of the structural engineer. Certainly structures of the past have given good service, the vast majority far beyond the call of duty. Certainly maintaining them in serviceable condition has been no more than a routine requirement except in isolated cases.

Such a discussion could easily backslide into great detail. Examples of former less than perfect practices which have been corrected could be cited -- elimination of pockets which did not drain and rollers which did not roll; introduction of "weathering" steel to eliminate the need for painting, particularly where service was affected; elimination of expensive false work by segmental or slip-form procedures. Examples of adequacy and progress include: carrying loads with surprising reserve capacity; greatly improved corrosion resistant coatings; welding to achieve economy, cleanness of detail and quiet; and so on ad infinitum. It is not the purpose of this paper to discuss such details. They are different for almost any structure, varying with location and climate, type of structure, kinds of materials used, service requirements, and accidental phenomena.

In passing, the point is made that no structure is better than its details. Attention to detail is therefore essential, most particularly from serviceability and maintenance aspects. This explains in part why the best designs have usually had the benefit of participation by individuals experienced in functional design, construction, operation and maintenance. Experience is a marvelous teacher of practicality.

The intent of this paper is to discuss aspects of serviceability and maintenance from other than the engineering point of view. After all, the structural engineer participates primarily in the creation of the structure. Others establish when and where it will be built, pay for it, take care of it, use it, and eventually dispose of it. Many of the design criteria are fixed by non-engineers. They all have important points of view with respect to serviceability and maintenance, both of a direct and indirect influence.

It is worthwhile to examine these other points of view and their influence on the work of the structural engineer. A structure is a complex mechanism. An influence exerted in one area is very apt to permeate the whole complex. The better the structural engineer understands, works with, and can put himself in the position of the other decision makers the more professional and satisfactory will be his services.

As the peoples of the world more keenly realize that resources are finite, as demands on resources inexorably increase both quantitatively and qualitatively, and as need for leadership in responsibility becomes ever more essential there emerges a greater and greater need to consider more fully for any structure its basic life cycle aspects. The five primary aspects of concern are functional service, capacity to serve, environmental effects, time schedules and cost to benefit relations. In each specific case these simply stated primary aspects are comprised of many elements. The elements of significance and the weight to be

assigned to each in a given case must be selected with due regard to responsibilities of all types -- human, social, economic, and monetary -- as well as technical. The value of a structure to society is measured by its performance.

The addition of non-technical considerations to the more usual technical engineering activities will be new to some structural engineers. To those who have had overall responsibility for projects and have had to develop justification for them it will be less strange. There will be those who will take the position that attempts to evaluate the above named primary aspects over the life of a structure will be futile because the time factor introduces too many variables which cannot be precisely evaluated. They can cite such items as wages, material prices, interest rates, taxes, and general economic level of activity. Certainly long-term projections cannot be precise. They are more useful on a comparative basis than on an absolute basis.

However, lack of precision is not a valid reason to avoid making the best possible analysis. As structural engineers know so well, any structure abounds with secondary stresses which cannot be precisely evaluated but this does not deter the designer from making his best possible analysis on the basis of known factors, theory, and his experience and judgment. It would be folly to merely guess at the size of structural members; and the same applies to the primary aspects named above, including their life cycle evaluation.

Almost every structure for constructive purposes (and we are not here discussing monuments whose sole purpose is to extol past achievements artistically) is related to one or more of the following:

- Housing for people, business, commerce, industry, military or cultural activity
- Production or processing of food, clothing or other items to serve people
- Transportation of people or goods to support or to benefit from production, commerce, education, health care, recreation or communications
- Utilization or control of natural resources for the benefit of people
- Disposal of the by-products of civilization.

It follows that any new knowledge, process or procedure which improves the primary aspects of a structure has a long-range significance for people. It contributes to the ways and means of improving the quality of living through enhancement of a learned art for the benefit of people. In the final analysis that is what structural engineering is all about.

The key role of the structural engineer: from the immediate point of view is to create structures superior in every respect; and from the long-range point of view is to improve the lot of mankind at a price mankind can afford to pay.

Associated with a structural project are always four main categories of people which in fact comprise a project corps. Each category deals primarily with a different set of elements as is illustrated by:

- OWNER - functional needs, regulatory controls, financial sources, amortization of cost, project timing
- DESIGN TEAM - design criteria, construction materials and procedures, equipment, environment, design methods, construction contract documents, costs and benefits, time schedules
- BUILDER - materials suppliers, labor, construction equipment, sequential schedules, weather
- USERS - functional service operations, maintenance procedures and costs, contributions to quality of living.

All of these ramifications in no way lessen the demands on the structural engineer. To the contrary, the requirements thus thrust upon him are heavy additions to the need to be completely up to date on all aspects of his primary concern -- the physical design which appropriately translates the agreed upon functional services into a structure which will advantageously provide those services. Nevertheless, the added requirements cannot be ignored. History is replete with examples of needed projects not built because of misunderstandings; and of structures built and not serving as effectively as possible.

It is therefore appropriate that I.A.B.S.E. has broadened its interests to include cognizance of economics, construction procedures and environmental, social and political factors which impinge directly or significantly on structural design criteria and thus his practice. By broadening its base of operations, structural engineering will be following more closely the systems approach which, in plain language, means considering all the indirect as well as the direct angles and consequences to achieve proper mutual and full understandings with the decision makers before irreversible action is taken at any stage of a project.

It falls to the professional designer to provide the leadership that holds together a well rounded design team that makes timely and efficient progress in the formative period leading up to an appropriate master plan thoroughly understood and agreed to by all the elements of the design corps. This profes-

sional designer may be advisor to the owner, he may be a consulting engineer, or he may also be the builder. Whatever his position, his responsibilities differ only in detail. Actually, a professional engineer should be in all of the positions named on any sizable project. The engineer's strength lies in his thorough grounding in the relations between cause and effect -- various causes, multiple effects, all kinds of ways and means of solving apparently impossible problems within the limitations of almost immovable prerequisites. His training is primarily methodological; secondarily specific. He is realistic about costs and benefits. He is geared to making progress. His whole attitude is application of knowledge to produce a useful facility.

He can cope with concepts of appropriate parameters which have been added to design criteria for design of a facility. Reference is here made to a "facility" instead of to a "structure" because many structures are a part of a system to which these new parameters apply. The structural designer is, therefore, more often than not now a member of a design team composed of many types of professionals whose various aspects of design must be integrated into a composite facility. Although to safely carry required loads and to do so economically over a long time are still primary functions for most structures, such functions may become secondary to the full purpose decided upon for the system of which the structure is but one part.

These added considerations have arisen in recent years as the result of the public becoming involved in the planning and programming of those facilities which may affect environment, the ecology, and society. The public's greatest concern to date has been with respect to visible features. In the early stages of this awakening, desires were often only partially and unclearly stated and frequently reflected an uninformed background. Only recently has the public been forced to come to grips with such practicalities as funding, finally realizing that seldom can added characteristics be provided in a facility without adding costs and that cost factors must be considered when establishing the design criteria. Such realizations have served to temper the environmental, ecological, and social demands but have properly not eliminated them. An appreciation by the public that time is of the essence is still to come. The same applies to establishment of priorities.

This evolution which has changed the decision makers from a concentrated group of specialists to a non-homogenous group has, of course, lengthened the decision-making process. Time <u>is</u> of the essence in the planning, design and construction for any needed structure or facility. Repeated reviews, particularly partial and merely negative ones, false starts, change orders and stop orders add materially to time and costs in two ways and for no good reason. The records show that projects delayed in start, subjected to prolonged periods of construction, or changed in concept during design or construction always cost substantially more, sometimes by as much as one or two magnitudes. The record also shows that delay in receiving services from a needed project always subjects

the potential users to added costs for the reason that the existing facilities or lack of any are more expensive than those to be obtained from the new project -- otherwise why build the new one.

Some designs which met earlier simpler criteria for serviceability are, in the light of recent more sophisticated criteria, now considered inadequate. And, of course, since the public did not participate previously in the decision making, the public blames others for those inadequacies. During the transition, the public has been exercising authority without bearing the relevant responsibility. To continue in such a manner would lead to public bankruptcy. By brute force of budgeting realities that relationship is being normalized. Nevertheless it is still necessary for the professional structural engineers to act in a positive and constructive manner that will restore the confidence and respect of the public in the professional services they render.

Engineers cannot restore their credibility by talk alone. They must again earn that status by placing their actions in agreement with their talking, and do so in a manner which the press and the public cannot misunderstand. The cost and the time required to achieve beneficial use of the facilities created by designers, and the interactions between all parts of the system of which a structural design becomes a part have a definite bearing on regaining credibility.

Greater social responsibility for engineering based facilities is here to stay. It is in the interests of engineers to adjust to these new requirements quickly, reasonably and, as is most necessary in all parts of their work, intelligently. Frankly we have added participants in the normal interplay between cause and effect. Those causes and effects which are related to human nature can be as influential in a structural design as those related to Mother Nature.

This points up another characteristic of the structural engineer's work. The designer himself, for example, cannot be expected to become expert in detail in all aspects affecting design today. However, it has been shown by experience that the engineer as the principal will be charged with full responsiblity for the work of others in his team, including design criteria dependent upon data or often only opinions developed by social, political, and economic "scientists."

The use of empirical data and of assumptions in formulating designs is not new to engineers. Such use has been required in order to formulate mathematical relationships needed to solve for the unknowns. In the past, assumptions and empirical data have been used only when rigor was not possible by reason of the state-of-the-art. Always the use of assumptions and empirical data was founded on relevant experience and applied with careful judgment to meet the unrelenting realities of the physical world. The so-called social, political, and economic scientists in stating their

design criteria have often (a) paid more attention to their concept of what the future should be than to experience, and (b) have often indulged in wishful thinking. In contrast the engineer knows that sky hooks will not support loads and, therefore, never tries to employ them. His failures are too quick and visible. Much benefit would result if the same certainty of consequence would become readily visible with respect to design criteria related to environmental, ecological, time schedule, and cost considerations.

A fair amount of rigorous analysis can be attained by conscientious adherence to established relations between cause and effect in human matters. The social, political, and economic scientists should recognize these controls or cease to call themselves scientists. Often their half-truths, innuendos, and unrealistic conclusions have telling economic and functional impact on the serviceability of engineered facilities for which the design criteria have been impacted by significant influences rooted in environmental, social, political, and ecological niceties which may or may not be feasible. A statement credited by the Xerox Corporation to Joseph C. Wilson is apropos:

> "Organized human endeavor can be lifted an order of magnitude through leadership if it is inspiring. The springs of inspiration lie deep in the knowledge of all that is worst and best in men and in the wholehearted acceptance of that worst and best. To lead well is to know people and to know, above all, that they are always people. The roots of that knowledge are in the sturdy minds and noble souls of the centuries."

Adequate definition of the proper functions of the public and of the private sectors and assigning to each sector its proper role founded on rational analyses of cause and effect is necessary. Goals for environmental excellence depend upon such accomplishments. In addition, major progress toward excellence in the primary aspects of structures -- functional service, capacity to serve, time schedules, and favorable cost to benefit relations -- can be achieved through design excellence at little cost if such cooperative efforts could be pursued diligently in serious manner. One must realize that the leverage of such possibilities is great. Good and thorough design need be only a really small portion of the cost of a structure; but the savings and benefits of good design as reflected in the construction, operation and maintenance costs are many times greater than total design cost.

Structural engineers have a particular responsibility to frame the relevant influences of their expertise in form understandable by non-technical decision makers and, further, to see that the message is received. Talking about costs is a good way of getting the public's attention.

Cost considerations related to serviceability and maintenance include:

- Money for the physical creation of the project
- Environmental and community impacts
- Resource utilization
- Money for operation and maintenance throughout the life of the project.

The direct money values are readily arrived at once a definitive master plan and time schedule are actually adopted and frozen.

The environmental and resource factors are not yet susceptible to such specific determination, as has already been cited, being founded more on learned opinion than on evident fact. Here each critic, self-appointed or official, measures the impacts with his own elastic tape measure. Until such time as such critics resolve to work in the public interest instead of to show how smart they are, the reaching of the necessary mutual decisions will continue to be difficult.

In the transition, it can be demonstrated that any lack of adequate consideration of environment and of resources in the past was as much dictated by statute and criteria of owners emphasizing money economy as it was from neglect of the design professions. More recently, the criteria of owners, particularly government, have swung to the other extreme, practically ignoring money economy and timely design and construction. This brief recital of responsibility is solely for the purpose of emphasizing that the arrival at satisfactory design criteria with respect to the primary aspects of the structure and with due regard to all types of economy is a multidisciplinary responsibility. In the interests of true efficiency and economy the needed understandings, decisions and agreements should be reached expeditiously with adequate recognition of the state-of-the-art rather than requiring that one group propose and another denounce thus causing a long and wasteful iteration. Perhaps a lesson can be taken from the arts. Music, art, and drama critics are seldom successful composers, artists, playwrights or performers. Similarly, the public should recognize that the critics of structures usually could not themselves do the work of the creators in economical and useful manner. However, no one is perfect and informed constructive criticism can be very helpful.

Almost any structure or facility of significant proportions is a complex mechanism. Each aspect is interrelated. Changing design criteria will change all aspects to greater or less degree. That is why it is practically impossible to discuss any one aspect in isolated manner. For example, almost everything done affects cost, maintenance, and serviceability in some way. Costs accumulate from the time of initial thought of conception of a structure until the time it is no longer used, requires care, nor influences the environment. The sum total is referred to as life cycle cost. The subject merits mention in the context of serviceability and maintenance.

In passing it is observed that services which have been provided by a structure may still be needed even after the structure is 100 or more years old and has outlived its efficient usefulness. In such case, demolition and replacement costs enter the picture. This is a common event in the industrial and manufacturing areas and the result is more visible because it happens within a short time for many items of equipment. In the field of structures the time cycle is usually so great and the future social, political, and economic climates so uncertain as to make such consideration at the time of design of little merit in any way other than to amortize the cost of the structure being designed. In the same way, neither the design engineers, the owners, nor anyone else can peer into the future and focus on the route the economy and the style of living will follow. Therefore the usual practice for structures is to assume that economic, social, and political climates will retain their characteristics except that population growth and distribution, industrial growth, tax increases, and inflation will continue their historical movements.

The relative weight of life cycle cost elements will be quite different for different structures. All of the primary aspects of a facility are involved and to some extent can be varied to suit the owner's convenience and purposes. For example, initial capacity can be kept low with provision for expansion as the future may require within a range of alternates. Thus initial construction costs can be decreased while future costs will be increased, probably by more than is initially saved. Even so, there may be perfectly valid reasons for such a course.

This paper will not attempt to become specific in such matters. On the other hand most of the various elements will be present in nearly every case. A look at the forest will be helpful. Individual engineers will need to establish their own specific parameters for their own separate projects. In doing so they will give due consideration to the fact that governments often erroneously ignore certain cost areas such as rent, interest, taxes, administrative costs, fringe benefits for employees, insurance, and general overhead. Nevertheless such cost elements are important long-term cost factors especially when comparing alternate solutions, including public vs private sector participation, to arrive at the master plan. Such cost factors don't just go away even though they may not show in the departmental appropriation. The people still pay for everything they get; and sometimes for what they do not get.

For illustrative purposes the following partial list of cost and benefit elements which enter into life cycle evaluations will suggest the breadth of that approach to consideration of the five primary aspects of a structure with respect to return on the investment in terms of services and maintenance:

(A) Surveys and projections to determine character and magnitude of existing functional needs and their future growth rates;

(B) Preliminary studies and planning prerequisite to defining the master plan through analyses of alternates for the structure, including the design criteria and provisions, if any are needed, for future growth, relationships betwee time schedules and costs, analyses of environmental impacts, costs and benefits, and impacts on the economy of the community local to the structure;

(C) Feasibility studies to compare (a) estimated long-term benefits to be received as the result of services to be provided by the new structure as contrasted to existing ways and means with (b) the estimated expenditures required to provide, operate, and maintain the new structure and abandon the old one, if any exists, as contrasted to maintaining the existing facility. These estimates should be detailed rather than lumped into large units. Such practice will assist accuracy and facilitate understanding by the decision makers of comparative advantages and costs, of alternate possibilities for various parts of the structure as well as for the whole structure, and with respect to phased construction as needed rather than providing capacity for future growth at the outset;

(D) Financial planning and funding; including interest, amortization, debt service functions performed by trustees, lawyers, and consultants;

(E) Obtaining permits and other required authorizations;

(F) Hearings, reviews, audits, and similar checking operations which interfere with productive efforts;

(G) Final design and completion of all construction contract documents;

(H) Site selection and acquisition, including all associated secondary items;

(I) Legal fees;

(J) Accounting and auditing costs;

(K) Insurance of various types, including all risk, liability, workmen's compensation, health, unemployment, loss of use and occupancy;

(L) Administrative and management costs of owner's staff;

(M) Resource use and preservation;

(N) Construction and inspection of construction;

(O) Interest earned on unexpended fund balances;

(P) Interruption of on-going operations during construction, including inconveniences to others as well as to owner;

(Q) Salvage values of discarded existing facilities;

(R) Start-up costs, including operating manuals, selection and training of operating personnel, accumulation of inventory, and shake-down trials;

(S) Taxes and/or loss of tax ratables;

(T) Operation and maintenance including staff, equipment, materials and supplies, energy and other utilities, overhead, depreciation, and demolition.

A truth too infrequently appreciated in the initial concept stage, long before tangible details can be determined on a reliable study basis, is that some of the most important and far-reaching decisions with respect to serviceability and maintenance are required at that stage. In the absence of specifics, these decisions must be based on the judgment of experts trained by experience as well as in theory. Such judgments must reflect an awareness of local pertinent factors and influences. Examples of such early questions are: does the project appear feasible to an extent warranting careful exploration; what goals and objectives shall be established for the project; what is the order of magnitude of the costs and of the benefits over the years and how are they distributed over the time span; which of two or more projects should be selected when financial resources are limited; what time frame should be established; is it best to start with a low estimate or a high estimate of cost; is it better to organize for high initial rate of cost to gain low annual costs subsequently or vice versa? Many such questions could be more precisely resolved after extended study (and expense therefor) but practicality precludes endless study. The number of alternates to be investigated must be kept to a reasonable maximum even though for the usual structure these study costs are a miniscule portion of the total cost.

The key to this aspect of service with economy is a combination of theory, experience, and judgment. Hence the need for accumulated reliable data of benefit to every one, most particularly the ultimate consumer. Another requirement for coming up with the best solution to the continuing questions and problems is to pick the best qualified project corps at the very beginning and then keep it as it gains additional useful experience with the specific project and the manner in which it has developed. Such a lifeline should flow through a job from concept into routine operation and maintenance long after implementation of service. Accumulation of written data cannot replace the human element in such cases.

It will be very helpful to develop a system of life cycle evaluation utilizing a universally understood terminology and viable methodology. Only in such manner can accumulated experience be intelligently applied. To emphasize the need for this universal language of communication between all parties concerned (owners, users, bankers, lawyers, designers, government) it is only necessary to recall the wide-ranging concepts now in use for one secondary cost element, namely overhead. Differences on the order of several magnitudes result from differing definitions which in turn affect evaluations of other elements.

It should be kept in mind that we are not here speaking of some new device. The experience of the authors includes evaluations similar to those being discussed on a wide variety and size of projects over a period of twenty-five years on facilities for which the aggregate construction cost has been several billion US dollars. The results have been remarkably good. It is significant that most of the projects concerned could not have been built without such analyses.

Approval of budgets and accomplishment of financing in timely fashion are more readily and economically accomplished for any projects if the rigorous feasibility procedures perfected for revenue bond projects are followed, thus providing independent certification in formal manner for all the engineering, legal, and financial data including purposes to be served and estimated return on the investment.

A cash-on-the-barrel-head-type of revenue supported financing through private channels has been used over many years very successfully for a wide variety of public projects, e.g. highways, bridges, airports, power generation and distribution systems, water supply and waste disposal systems. Not very different procedures have served for business and commercial projects, e.g. office buildings. The authors are convinced that the public interest would be served in additional public works projects, including structures, if similar rigorous procedure could be applied. Benefits to accrue could include elimination of unjustified projects, and establishing reasonable priorities for needed projects.

Engineers have a responsibility to encourage use of such supplements to their technical services as a means of providing needed services at reasonable cost for the benefit of the public. The best part about such improvements is that everybody benefits, including the engineers. Not the least of his gains will be improved stature and respect for this work.

At the same time, owners have a responsibility to realize that adequate evaluations for the primary aspects of a structure or project cannot normally be made until after (a) designers have had time to develop mutually with the owners full definition in

technical terms of functional services to be provided by the project; (b) the designer has studied various alternate solutions and acquainted the owner with the results to an extent sufficient to convey full understanding thereof; and (c) both have agreed upon the characteristics of the master plan to be finalized. Meaningful life cycle evaluations cannot be made in casual manner and are not an exact science. They must be done with care and developed in an atmosphere of mutual confidence.

In recent years there has been a spate of novel procedures suggested by administrators as panaceas for too costly structures, taking too long to build, and not meeting desired service requirements when finished. That such difficulties have existed is true but the usual cause has been violation of the basics set forth above. The suggested cures do not treat the causes of the disease: insufficient authority at lower levels of administration, incomplete planning, inadequate design criteria, decisions made too late and changed too often.

The odds favoring thorough planning, adequate design criteria, and efficient management during planning, design, and construction are much too great to ignore. The time and cost are far less than for mediocre analysis and design; the resulting serviceability far better. The most complete and expert services in this stage cost but a small amount of the total life cycle cost and they exert a powerful leaverage on the remainder. The actions required of the owner to reap such benefits are not difficult; they are within easy grasp. Structural engineers can assist the owners in achieving desirable goals and have a responsibility to do so. After all, it is the results of engineering work that can make the difference if given appropriate opportunity.

Government has a unique responsibility in connection with serviceability and maintenance of structures. These aspects are influenced, sometimes even controlled, by building codes, zoning restrictions, and inspection procedures promulgated and administered by government to protect and benefit citizens. Today, these controls as they exist and are administered, frequently prevent the project corps -- owner, design team, builder, and user -- from achieving optimum results. The controlling documents are usually seriously out of date. The administration of the requirements is often by persons having insufficient knowledge and very little authority except in the negative. Any serious attempt at constructive progress via such controls is a rarity. It can also be observed that deliterious influences stem from selfish demands and restrictions sponsored by labor and by materials producers with the consent of government. It makes no difference whether that consent is in the form of silence or endorsement. Unfortunately the political well being of elected officials and the achievement of maximum benefit to cost ratios for public structures often appear incompatible when viewed solely in the context of the moment as contrasted to the long-term public interest.

It is certainly true that what has been accomplished in the past with structures in spite of all difficulties is very commendable and considerable. All concerned can take justifiable pride. Nevertheless, no human ever did anything perfectly. What could be accomplished would be unbelievable if all parties concerned cooperated constructively in full accord with the state-of-the-art with respect to life cycle evaluations of functional service, capacity to serve, environmental effects, time schedules, and cost to benefit relations. Serviceability and maintenance would be greatly improved and our structures would cost very much less. The public would be well served.

A major step forward in improving serviceability and maintenance of structures should be made by engineers taking the initiative to improve communications between owners, designers, builders, and users on a multi-lateral basis. Improvement of mutual understandings of the needs and problems of others could accomplish wonders. As one example of great opportunity, structures to house adequately a large proportion of the peoples of the world are prime candidates for such progress.

SUMMARY

Serviceability and maintenance are generally treated in the context of a systems approach during formulation of design criteria, master planning, design and construction. Emphasis is on continuity of considerations, need for achieving thorough mutual understandings between owner and designer, and flexibility and importance of cost-benefit relations.

The conclusion is that in many cases improvements at relatively small cost are a reasonable possibility.

RESUME

La serviciabilité et l'entretien sont en général pris en considération dans l'approche globale d'un système, lors de l'établissement du cahier des charges, du projet général, du projet d'exécution et de l'exécution. L'accent est mis sur la nécessité d'une analyse permanente et d'une collaboration totale entre le maître de l'oeuvre et l'ingénieur. Les relations coûts-avantages doivent être prises également en considération.

Dans de nombreux cas il est ainsi possible d'apporter des améliorations pour des coûts relativement faibles.

ZUSAMMENFASSUNG

Nutzung und Unterhalt werden im allgemeinen in einer gesamten Systemstudie betrachtet, sei es während der Festlegung des Pflichtenheftes, des Vorprojekts, des Ausführungsprojekts oder der Verwirklichung. Die Notwendigkeit einer permanenten Analyse und einer totalen Zusammenarbeit zwischen Bauherr und Ingenieur wird unterstrichen. Eine Studie der Kosten-Vorteile Beziehungen ist ebenfalls aufgeführt.

In vielen Fällen ist es so möglich, Verbesserungen zu relativ kleinen Kosten anzubringen.