

OPTIMIERUNG DER BAUKONSTRUKTIONEN

Von

B. PETRÓ und B. OTTMÁR

Lehrstuhl für Baukonstruktionslehre
Technische Universität, Budapest

Die gemeinsame Forschungsarbeit von vier Jahren am Lehrstuhl für Baukonstruktionslehre der Technischen Universität Budapest (Lehrstuhlinhaber *Prof. Dr. L. Gábor*) sowie an der Hochschule für Bauwesen Leipzig, Sektion Technologie (*Prof. Dr.-Ing. G. Heinicke*) führte zu einer neuartigen, modernen Projektierungsmethode der Baukonstruktionen, die als Optimierung der Baukonstruktionen bezeichnet werden soll.

Das Wesen dieser Konstruktionsentwurfsmethode besteht darin, für eine gegebene Gebäudefunktion die optimale Baukonstruktion oder Baukonstruktionen in Abhängigkeit vom Faktor Zeit, unter gleichzeitiger Berücksichtigung der objektiven und subjektiven, der technischen und wirtschaftlichen Parameter zu bestimmen.

Im Anfangsabschnitt der Forschung setzten wir uns die Optimierung der leichten Außenwandkonstruktionen zum Ziele. Dieses Vorhaben wurde später ausgedehnt und umgestaltet.

Die Aufgabe bestand in der Ausarbeitung einer Konstruktionsentwurfsmethode, die die Wahl der komplexen Anforderungen angepaßten, *optimalen konstruktiven Lösung* gestattet und sich sowohl in der Projektierung als auch im Unterricht der Baukonstruktionslehre anwenden läßt.

Durch die veränderte Zielsetzung weitete sich das Forschungsvorhaben aus, wurde mannigfaltig und komplex. Die Lösung wurde auch durch den Umstand erschwert, daß es kein wesentliches Vorbild für die Optimierung von Baukonstruktionen gab, und auch heute nicht gibt (lediglich in anderen Industriezweigen, z. B. im Maschinenbau, sind konkrete Optimierungsmethoden vorhanden, in der Bauindustrie wurden jedoch nur für die Gestaltung von Tragkonstruktionen sowie für den wirtschaftlichen Transport von Fertigteilen beachtenswerte Optimierungsversuche gemacht); ferner ist für die Optimierung von Baukonstruktionen die im Prinzip und auch mathematisch einfache Optimierungsfunktion

$$y = f(x, u, v \dots z)$$

(wo y die Zielfunktion ist, und $x, u, v \dots z$ verschiedene technische Parameter bedeuten) schwieriger anzuwenden. Der Grund hierfür liegt einerseits in den unterschiedlichen Maßeinheiten der Parameter, die verglichen werden sollen (kgcal/m²·h·°C, dB, kg/cm² usw.), andererseits in dem Umstand, daß die Parameter zum Teil objektiver Natur sind, also nach reellen Verfahren, durch Berechnung oder Messung ermittelt werden können (z. B. Wärmedämmung, Schalldämmung usw.), andere hingegen einen subjektiven Charakter haben (z. B. ästhetischer Eindruck, Proportionalität, Bequemlichkeit usw.).

Die Optimierung der Baukonstruktionen wird neben diesen Problemen noch durch eine Anzahl von Faktoren erschwert (z. B. die fiktive Natur der Kostenfaktoren, die unterschiedliche Beurteilung der der Lebensdauer beige-messenen Bedeutung, der relative Charakter der Kosten für die Gebäudenutzung (z. B. für Heizung, Kühlung, Klimatisierung insgesamt usw.). Diese Probleme mußten im Laufe der Forschungsarbeit ausgewertet werden.

Der Beschreibung der entwickelten Optimierungsmethoden vorangehend müssen einige im Laufe der Forschungen geformte allgemeingültige Gedanken erörtert werden:

— Die Optimierung stellt eigentlich keine neue Bestrebung dar, der Entwurfsarchitekt oder der Ingenieur war immer bestrebt, die ihm gestellte Aufgabe nach bestem Wissen und womöglich wirtschaftlich zu lösen.

— Früher und auch jetzt noch versucht die Projektierung lediglich die im Zeitpunkt des Entwerfens wirtschaftlichste Konstruktion zu liefern; die Kostenwirkungen der Gebäudefunktion werden beiseite gelassen oder kaum geprüft, obwohl die funktionsmäßigen Kosten, d. h. die für die Gebäudenutzung auf die Gebäudelebensdauer bezogen ein Mehrfaches der Baukosten erreichen; daher ist diese Art des Entwerfens als »stationär« zu bezeichnen.

— Die bei der Forschungsarbeit ausgestaltete Methode, die auch den Zeitfaktor berücksichtigt, ist also »instationären Charakters«, und betrachtet durch die Analyse der Gebäudefunktion die ganze Lebensdauer (Biophysio-logie) des Gebäudes.

— Diese Optimierungsmethode wird die raum- und formgestalterische Freiheit des Architekten im wesentlichen nicht beeinträchtigen; unserer Meinung nach kann sich sogar die schöpferische Phantasie mit größerer Wirksamkeit, konzentriert geltend machen, wenn die möglichen Konstruktionsvarianten nach objektiven Methoden bestimmt sind.

— Die Optimierung darf nicht zur Uniformierung der Baukonstruktionen führen (siehe weiter unten, beim Begriff des »Optimumbereichs«).

Die komplexe Projektierung der Baukonstruktionen, deren allgemeine Einführung, erfordert die Ausgestaltung eines neuen wissenschaftlichen Fachgebiets, die Ausarbeitung einer Konstruierungstheorie. Aus dem Umfang und der Vielseitigkeit der Aufgabe folgt, daß sich eine Lösung nur durch mehr-jährige, u. U. jahrzehntelange Bemühungen von Arbeitsgruppen erreichen

lassen wird. Ein engerer, jedoch wesentlicher Teil dieses Wissensgebiets ist die Optimierung der Baukonstruktionen.

Im Laufe der Forschungen wurden zur Optimierung der Baukonstruktionen vier Methoden ausgestaltet, die eine sukzessiv zunehmende Zahl von objektiven Elementen enthalten.

1. Optimierung mit Hilfe der Funktionswertanalyse

Im wesentlichen gründet sich diese Methode auf ein subjektiven Werturteil, doch wird durch den organisierten, gelenkten Menschenverstand auch dieses Verfahren weitgehend objektiviert.

Durch die Methode wird im wesentlichen

— nicht geprüft, wie sich eine vorhandene oder geplante Konstruktion billiger, mit weniger Kostenaufwand herstellen ließe, wie das in der Regel heute bei den Kostensenkungsbestrebungen der Fall ist (obwohl auch die Kostensenkung eine notwendige Ergänzung dieser Methode darstellt), sondern

— es werden die für die Gebäudefunktion in Frage kommenden Konstruktionsarten bestimmt, und von diesen werden jene ausgewählt, die die funktionsmäßigen Anforderungen restlos erfüllen und dabei den verhältnismäßig kleinsten Kostenfaktor aufweisen.

Ein derartiges Herangehen an das Problem ist auf dem Gebiet der Projektierung von Baukonstruktionen als neu zu bezeichnen, da es u. U. zu bedeutenden Kosteneinsparungen führt.

Zwei grundlegende Fragen sind zu beantworten: Von wem soll die Wertanalyse durchgeführt werden? Was, welche Konstruktionen sollen analysiert werden?

Auf die erste Frage ergibt sich aus den bei der Forschungsarbeit am Lehrstuhl gemachten Erfahrungen eine eindeutige Antwort:

Die Wertanalyse ist von einem »heterogenen Arbeitsteam« vorzunehmen, das bei einem konkreten, wertanalytischen Konstruktionsentwurf (z. B. in der Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der äußeren Umfassungswände aus glasfaserverstärktem Polyester) aus

drei Architekten,
zwei Statikern,
einem Installationsingenieur,
einem Chemiker,
einem Ingenieurökonom und
einem Mathematiker,

also insgesamt aus neun Fachleuten besteht.

Die Antwort auf die zweite Frage ergibt sich aus den Grundsatzfällen »A, B, C«. Der Einsatz des zu selbständigem Schaffen und Denken fähigen, fachmännischen Verstands ist kostspielig, darum muß mit ihm sparsam umgegangen werden.

Im Falle »A« ist die Optimierung in allen Fällen durchzuführen, wo die Konstruktion nur 5 Prozent des Gesamtvolumens erreicht, ihre Kostenwirkung sich dennoch auf 75% der Gesamtkosten erstreckt;

im Falle »B« ist die Notwendigkeit der Optimierung von Fall zu Fall zu beurteilen, wenn 20% der Konstruktion mit einer Kostenwirkung von 20% verbunden sind;

im Falle »C« erübrigt sich die Optimierung, wenn durch 75% der Konstruktion nur eine Kostenänderung von 5% herbeigeführt wird.

Als Wertanalyseverfahren sind bei der Projektierung von Konstruktionen zu unterscheiden:

die Form der Kontrolle (Value Analysis) und die Form des Entwurfs (Value Engineering).

Diese Konstruktionsentwurfsmethode ließe sich gegenwärtig in fast allen Instituten und Anstalten der Bauindustrie einführen, da ihre Anwendung nur ein Kollektiv von befähigten Fachleuten der Wertanalyse erfordert.

2. Optimierung der Grenzwerte und der Gesteigungskosten

Nach diesem Verfahren wird der klassische »stationäre« Konstruktionsentwurf mit Hilfe der Rechenanlage durchgeführt, daher gewährleistet es die Prüfung einer großen Anzahl von Konstruktionsvarianten.

In den verschiedenen technischen Vorschriften, Normen, in der in- und ausländischen Fachliteratur sind für die einzelnen technischen Parameter »Grenzwerte« festgelegt.

Für die projektierten Konstruktionssysteme werden die Schichtenfolgenprojekte, technischen Kennwerte (z. B. Wärmedämmung, Schalldämmung usw.) durch bauphysikalische Berechnungen, unter Anwendung der vorgegebenen Baustoff-Kennwerte mit Hilfe der Rechenanlage bestimmt, und von den zahlreichen Varianten werden wiederum auf rechentechnischem Wege jene ausgewählt, deren Konstruktionskennwerte die Grenzwerte befriedigen; sodann ordnet die Rechenanlage die einzelnen Konstruktionen nach den Gesteigungskosten in Gruppen ein (Abb. 1 und 2).

Diese Methode läßt sich bei einer großen Anzahl der Schichtenprojekte für Baukonstruktionen aus verschiedenen Baustoffen ohne Zweifel gut verwenden, wo die Analyse der Konstruktionen manuell nicht mehr wirtschaftlich durchgeführt werden kann.

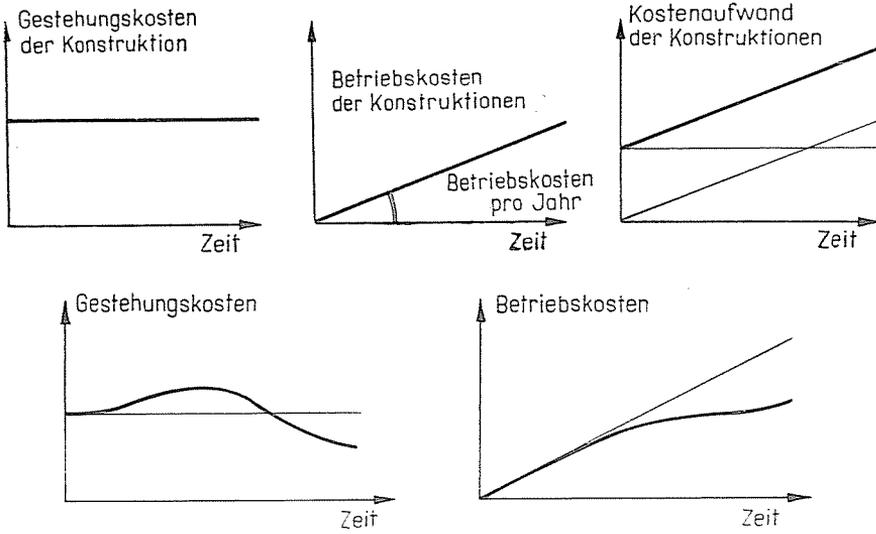


Abb. 1

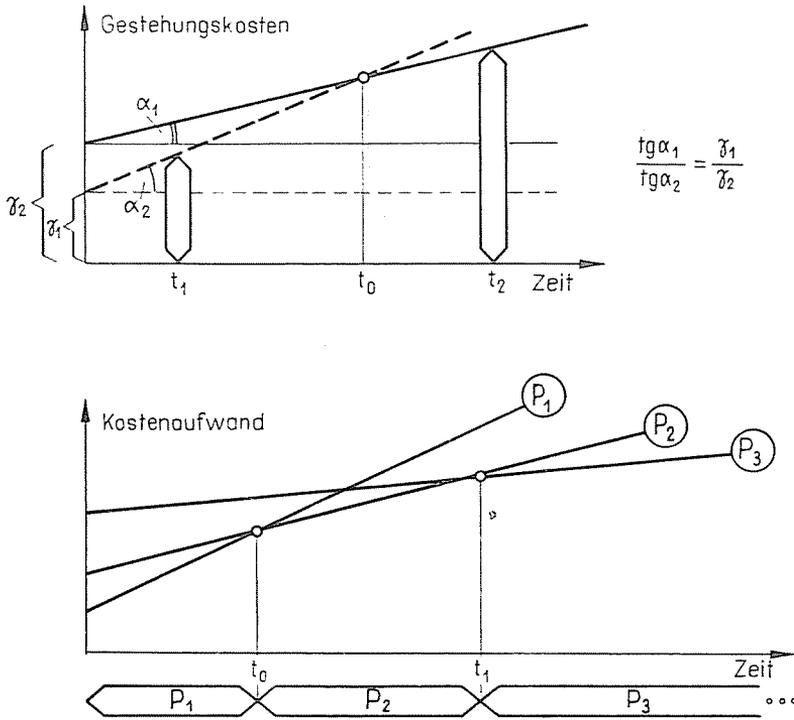


Abb. 2

Ihr Nachteil ist, daß sich bei einer Vergleichsberechnung nur herausstellt, ob die geprüfte Konstruktion die Anforderungen der Grenzwerte befriedigt, doch bleibt es ungeklärt, um wie viel sie besser und aus der Sicht der Gebäudefunktion nützlicher ist; diese Vorteile können also nicht ausgenutzt werden.

Es wird versucht, mit Hilfe der zwei im weiteren vorgeschlagenen Optimierungsmethoden diese stationäre Betrachtungsweise des Konstruktionsentwurfs zu ändern.

3. Optimierung aufgrund der primären Funktion der Bauwerke

Es gibt eine Anzahl von Gebäudetypen, wo die funktionsmäßigen Kosten im wesentlichen durch einen einzigen, charakteristischen technischen Parameter beeinflusst werden (z. B. Kühlhäuser, Kühllager, Wärmebetriebe, einzelne Gebäude der Viehhaltung usw.), daher ist es in diesem Falle nicht erforderlich, sämtliche Parameter zu prüfen (siehe die Prinzipien ABC), die optimale Konstruktionsvariante wird allein anhand des kennzeichnenden Parameters ermittelt.

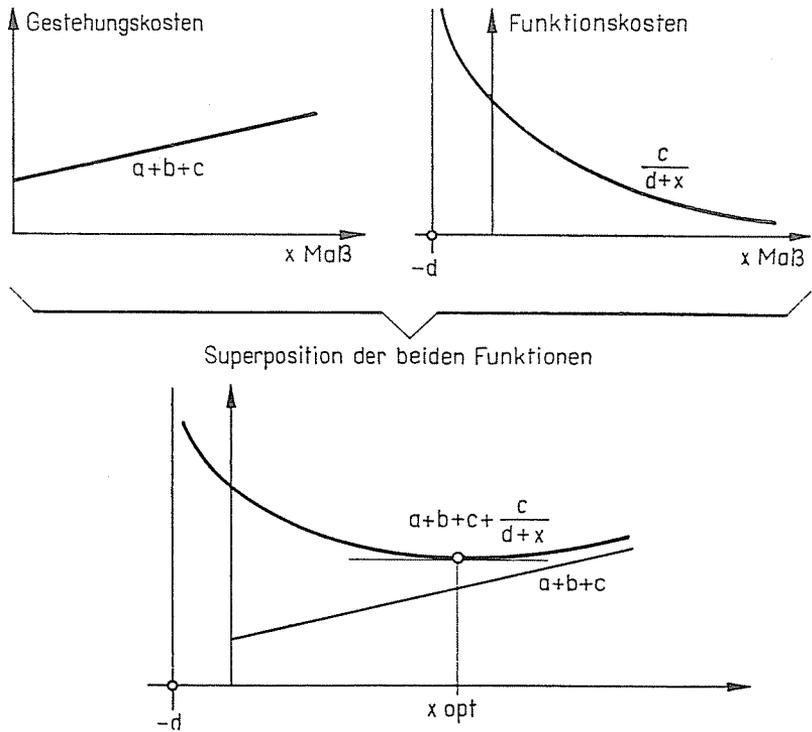


Abb. 3

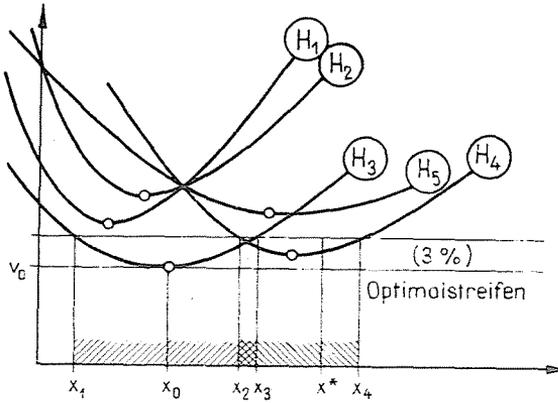


Abb. 4

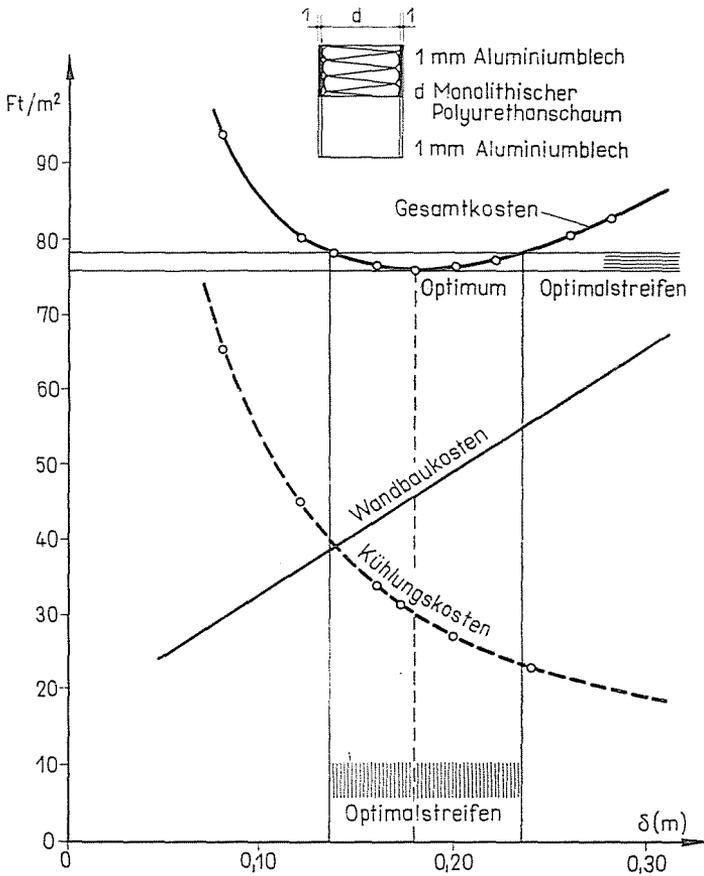


Abb. 5

Verlauf der Optimierung:

- Bestimmung der von der konkreten Konstruktion unabhängigen, lediglich von den Werten des technischen Parameters abhängigen Funktionskostenkurve.
- Ermittlung der Gestehungskostenkurven für die einzelnen Konstruktionen.

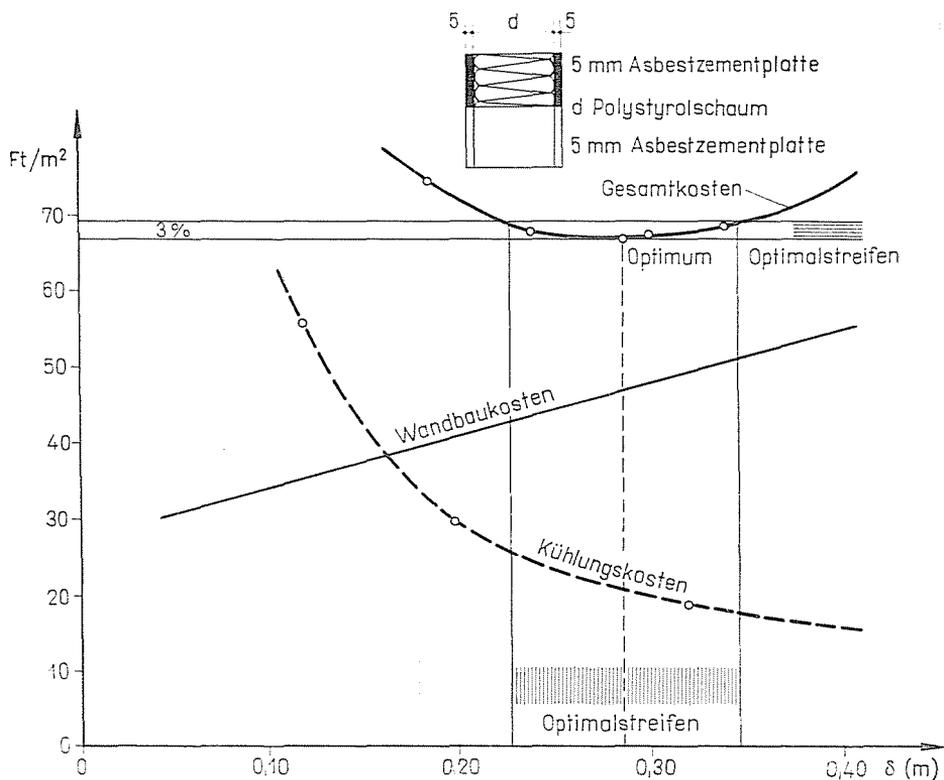


Abb. 6

— Ermittlung des Minimums der durch Superposition der Kurven gebildeten Gesamtkostenkurve, die die optimale Konstruktion angibt (Abb. 3).

Wegen der Fehlerprocente der Berechnungen und Messungen sowie um die Uniformierung der Konstruktionen zu vermeiden, schien es erforderlich, den Begriff des »Optimumbereichs« einzuführen, der dem Architekten reell ermöglicht, unter sämtlichen Konstruktionsarten frei zu wählen, deren Kennwerte in diesen Bereich fallen (Abb. 4).

Um die Brauchbarkeit dieser Methode und Theorie zu veranschaulichen, wird die Umfassungswand in Leichtbauweise des Kühlhauses in den Abbildungen 5 und 6 analysiert, wo zwei Wandkonstruktionen mit unterschiedlichen Schichtenanordnungen und Baukosten, doch unter Anwendung gleichwertiger

Wärmedämmstoffe — bei 17 cm Stärke zum Preis von 76 Ft/m² bzw. bei 27 cm Stärke zum Preis von 67 Ft/m² — die optimale Ausführung darstellen. (Es ist zu bemerken, daß in der Baupraxis im allgemeinen früher und auch heute geringere Abmessungen als die genannten verwendet werden.)

Die Optimierung aufgrund der primären Funktion des Bauwerks stellt eine objektive Form der instationären Projektierung von Baukonstruktionen dar, die sich lediglich für bestimmte Gebäudetypen mit gutem Erfolg anwenden läßt.

4. Komplexe Optimierung

Der überwiegende Teil der Bauten läßt sich selbstverständlich nicht durch einen einzigen Parameter kennzeichnen, daher mußte im Laufe der Forschungsarbeit eine Optimierungsmethode erarbeitet werden, die die objektiven und subjektiven Parameter gemeinsam und gleichzeitig berücksichtigt. Diese ist die komplexe Optimierung.

Verlauf der Optimierung:

— Ermittlung der Kosten für die Gebäudenutzung, der funktionsmäßigen Kosten, anhand der kennzeichnenden technischen Parameter (Kurven zur Darstellung der funktionsmäßigen Kosten FK_{1-n}).

— Ermittlung der objektiven technischen Parameter und Gestehungskosten (BK) für die fraglichen Konstruktionstypen. Durch eine Anzahl der technischen Parameter werden die funktionsmäßigen Kosten direkt beeinflußt, andere bestimmen die Qualität der konkreten Konstruktion, beeinflussen deren Wert (BK). Die Einflußfaktoren (λ_{1-n}) sind je nach Gebäudetyp zu bestimmen.

— Die allgemeine Form des technischen Wertes (TW) einer Konstruktion läßt sich mit der Formel

$$TW = FK + \frac{BK}{\left(\prod_{j=k+1}^n \lambda_j \right)^{n-k}}$$

ausdrücken.

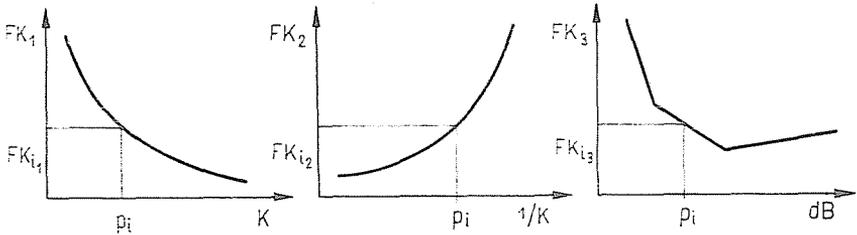
— Die für die verschiedenen Konstruktionslösungen kennzeichnenden technischen Größen in Form eines Säulendiagramms (Abb. 7) aufgetragen, erhält man den Optimumbereich, d. h. alle Konstruktionen, deren technische Größen in diesem Bereich liegen, können als optimal gelten.

— Welches unter den als optimal bezeichneten Konstruktionen das fragliche Optimum ergibt, wird durch die Wertsumme aus der Rangkorrelation der subjektiven Parameter bestimmt. Die mathematische Rangkorrelation, durch die die Realität oder der zufallsbestimmte Charakter der Ansichten zum Ausdruck kommt, dient zur Objektivierung der subjektiven Parameter.

Die praktische Anwendbarkeit dieser Methode wird am Beispiel in Abb. 8 nachgewiesen. Hier ist die Optimierung der Außenwandkonstruktion eines Supermarkets dargestellt, wo Baustoffe und Schichtenbau des Vollwandteils verändert wurden, während das Flächenverhältnis unverändert blieb.

In der fachmännischen Praxis gelten die drei Schichtensysteme für annähernd gleichwertig. Die Optimierung brachte jedoch für diese drei Beispiele überraschende Ergebnisse.

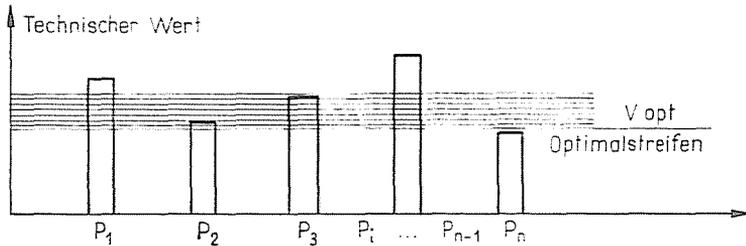
Bestimmung der Gestehungskosten (BK).



Bestimmung der Einflussfaktoren der Gestehungskosten (λ) (z. B. Dampf, Oberflächentemp., Schalldruck).

Bestimmung des technischen Wertes.

Bestimmung des Optimumbereiches.



Rangkorrelation der Elemente p_1, p_i, p_k

Abb. 7. Bestimmung der funktionsmäßigen Kosten aufgrund der technischen Parameter

Nach der komplexen Optimierungsberechnung ergeben sich für die äußeren Umfassungen die Kostenfaktoren:

Fall A 181,7 Ft/spezif. m^2 . Jahr

Fall B 537,5 Ft/spezif. m^2 . Jahr

Fall C 234,0 Ft/spezif. m^2 . Jahr.*

* Variante A, Schichtenfolge (von innen nach außen):

Asbestzement 0,5 cm
Styroporschaum 6,0 cm
belüfteter Luftspalt
Aluminiumbekleidung

Luftspalt
Asbestzement 0,5 cm
Variante C, Schichtenfolge:

Variante B, Schichtenfolge:
Holzfaserplatte 0,5 cm
Hartpolyurethanschaumstoff 6,0 cm

Aluminiumblech
Hartpolyurethanschaumstoff 6,0 cm
Aluminiumblech.

Auch durch dieses Beispiel wird die allgemein bekannte Tatsache bestätigt, daß Konstruktionen aus billigen, minderwertigen Materialien tatsächlich teurer zu stehen kommen.

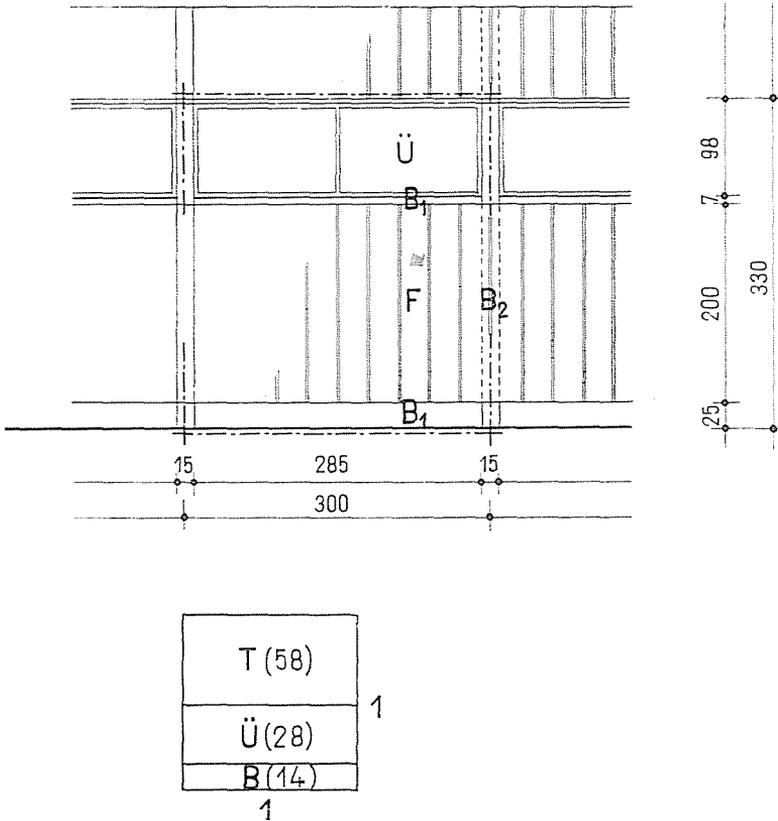


Abb. 8. Fassadendetail bzw. Flächeneinheit des Supermarkts in Balatonzamárdi

Zusammenfassung

Die Optimierung von Baukonstruktionen steht in der Bauwissenschaft erst am Anfang ihres Entwicklungsganges.

Je nach dem Zweck sind mehrere Optimierungsmethoden möglich; die Wahl wird einerseits durch die Art der Aufgabe, andererseits durch den Bestand an einsatzfähigen Fachleuten und den zur Verfügung stehenden Rechner bestimmt.

Eine gewissermaßen neue Form der Projektierung von Baukonstruktionen ist im Begriff sich auszugestalten; die gegenwärtig in Normen, technischen Vorschriften niedergelegten, konkreten Werte der Ansprüche und Forderungen werden zum Teil auch in den klassischen Bauweisen durch eine entwerferische Betrachtungsweise abgelöst, die die Gebäudfunktion in instationärer Weise berücksichtigt, wo sich die Werte der maßgebenden technischen Parameter aus Gebäudfunktion und -lebensdauer (als notwendige Optima) ergeben, also nicht vorbestimmt sind.

Die modernen Konstruktionsarten, komplizierten Schichtensysteme, die verschiedenartigen Baustoffe, deren große Anzahl sowie die mannigfaltigen bauphysikalischen Zusammenhänge gestatten nicht mehr, die Konstruktionen in traditioneller Weise zu entwerfen, wie früher, als noch die Wahl mehr oder weniger durch die Kenntnisse, die Fach Erfahrungen des Projektanten bestimmt war. Es sind objektive Berechnungen und Entwurfsverfahren erforderlich, wobei die optimale Konstruktion anhand von reellen Werten, unter Berücksichtigung auch des Zeitfaktors, in instationärer Weise ermittelt wird. Dazu sollen die von den Verfassern vorgeschlagenen Optimierungsmethoden dienen.

Oberassistenten Béla OTTMÁR }
Dr. Bálint PETRÓ } Budapest, XI. Múegyetem rkp. 3.,
Ungarn