

# EINIGE PROBLEME DER ANWENDUNG DER LEICHTBAUWEISE IN UNGARN

B. OTTMÁR und B. PETRÓ

Lehrstuhl für Baukonstruktionslehre, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 19. Dezember 1970)

Vorgelegt von Prof. Dr. L. GÁBOR

## 1. Allgemeine Überlegungen

Die Verbreitung der Leichtbauweise bringt eine Strukturveränderung des Bauwesens mit sich.

In der klassischen Organisation des Bauwesens wurde dem Entwurfsarchitekten eine besondere Rolle zugeordnet. Der Architekt wurde vom Bauherrn aufgefordert, ein seinen Ansprüchen und materiellen Kräften entsprechendes Gebäude zu entwerfen. Der Architekt wählte nach Gutdünken — im wesentlichen beliebig — Werkstoffe und Form, entwarf also das Gebäude. Das Gebäude wurde anhand von Einzelentwürfen mit hohem Einsatz an Baustellenarbeit ausgeführt.

Das Wesen der Leichtbauweise besteht in der Anwendung von Bauteilen, die in großer Anzahl in Reihenfertigung hergestellt werden; beim Entwerfen eines Bauwerks im Auftrag des Bauherrn hat der Architekt hinsichtlich der Gestaltung bedeutend weniger »Freiheit«, da er lediglich die zur Verfügung stehenden Grundelemente und nichts anderes anwenden kann. Aus diesen muß von ihm das Gebäude entworfen und vom Baubetrieb erbaut werden.

Diese neue Struktur weist klar darauf hin, welche neue Forderungen, neue Ansprüche, neue Bedingungen mit der Verbreitung der Leichtbauweise gestellt werden und der allgemeinen Einführung vorausgehend gelöst werden müssen. Sie beweist, daß der fabrikmäßig hergestellte Bauteil in den Vordergrund rückt, da dieser der Träger sämtlicher Elemente von architektonischer und funktionsmäßiger Gestaltung, von Gebäudeerscheinung, Rhythmus, Proportionen, Farbe ist, für den Menschen den Maßstab der Befriedigung der physischen und psychischen Anforderungen bestimmt, für einfache Herstellbarkeit und Montage verantwortlich ist.

Unter der Voraussetzung großer Serien wird die richtige Wahl der geometrischen Abmessungen durch die womöglich hohe Flexibilität bestimmt.

Durch die konstruktive Gestaltung des Bauteils ist eine vielseitige Befriedigung der physikalisch-mechanischen Forderungen, die sich aus den verschiedenen Funktionen ergeben, zu ermöglichen.

Durch den Entwurf der Verbindungen zwischen Bauteilen soll die Möglichkeit des Austausches von Fertigteilen verschiedener Systeme gewährleistet werden.

Bei herkömmlichen  
Bausystemen



Bei Leichtbauweisen

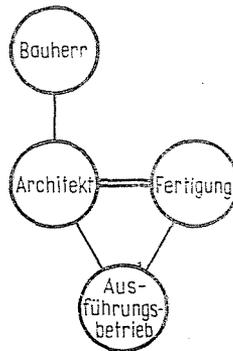


Abb. 1

## 2. Überlegungen

Die baulichen Überlegungen gehen bei der Leichtbauweise von zwei grundsätzlichen Faktoren aus: von den Vorstellungen über das Gebäude und über das Bauverfahren (Fertigung, Transport, Montage):

2.1. Gegenwärtig haben sich die *an das Gebäude* gestellten Ansprüche wesentlich verändert;

— die Funktionsänderung des Gebäudes (technologische Vorgänge, Wohnflächenbedarf usw.) erfolgt in der Regel rascher als die Veralterung der Tragkonstruktionen, ja sogar das Zugrundegehen der Umfassungen; daher ist eine Variabilität der raumabschließenden Teile anzustreben, sowohl im Grundriß als auch hinsichtlich der Fassadenkonstruktion.

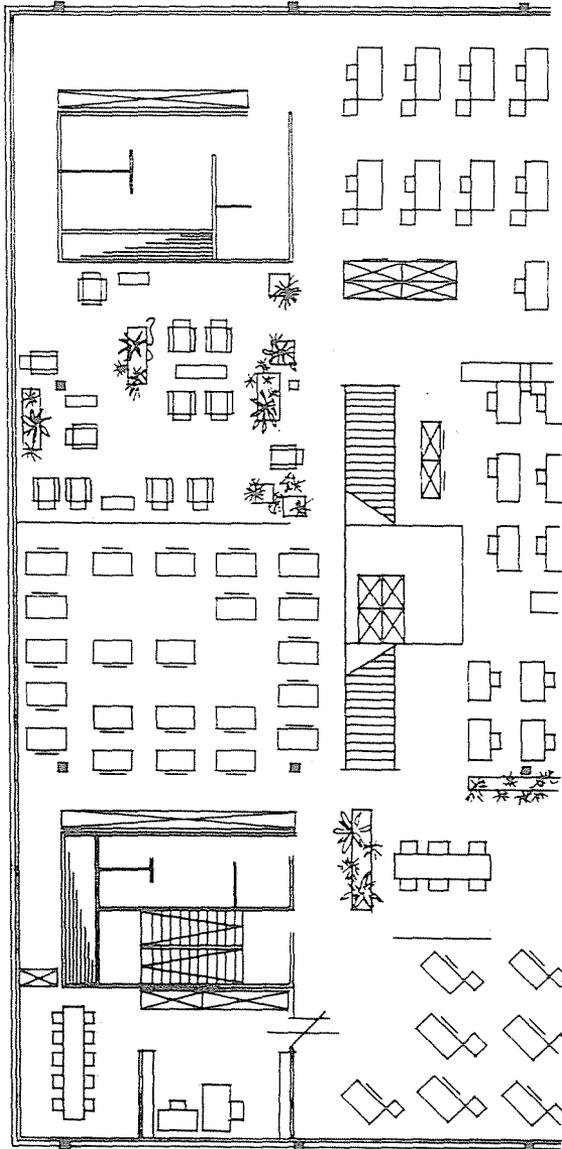


Abb. 2

Die Variabilität wird durch die vollständige Trennung von Tragkonstruktionen und Umfassungswänden ermöglicht, die eine fast beliebige Befriedigung der Ansprüche hinsichtlich veränderlicher Gestaltung erlaubt.

Durch die Erstellung einer geeigneten Auswahl an Konstruktionen und Werkstoffen wurde die Errichtung von sog. »Zweckbauten« in den Vordergrund gerückt und ermöglicht, wobei die für eine bestimmte Zeitdauer (z.B. fünf Jahre) geplanten und errichteten, billigen Bauten ihre Funktion erfüllen und in verhältnismäßig kurzer Zeit rationell abgeschrieben werden.

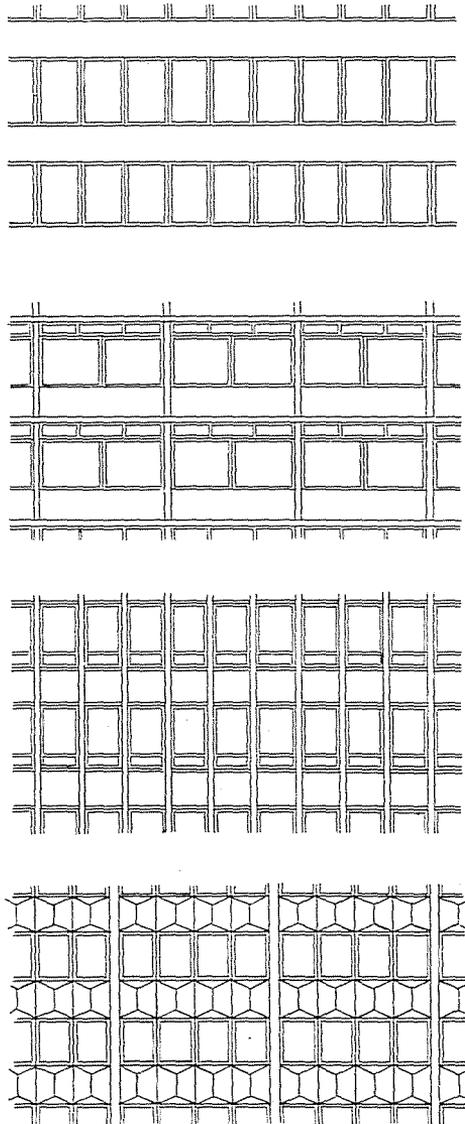


Abb. 3. Die Struktur des Bauens

Dank der großen und sich ständig erweiternden Auswahl an Werkstoffen sind die Gebäude in Leichtbauweise auch geeignet, die Phantasie des Entwurfsarchitekten in ihrer baulichen Erscheinung, sowohl hinsichtlich der Farben als auch der plastischen Gestaltung zu befriedigen, obwohl mit der Einführung der neuen Konstruktionen zweifellos auch neue ästhetische Wirkungen zur Geltung kommen.

Es ist selbstverständlich und logisch, daß Entwurf und Gestaltung von neuen, dünnwandigen Leichtbauten nach den alten »Baumeistermethoden«, lediglich erfahrungsmäßig nicht möglich sind; es ist eine neue »Konstruktions-theorie« auf wissenschaftlicher Grundlage auszugestalten, in deren Besitz vom »Entwurfsteam« unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Anforderungen und Möglichkeiten die optimale Konstruktion entworfen wird (siehe Abschnitt 7).

Ein bedeutender Fortschritt ist auch in installationstechnischer Hinsicht zu verzeichnen.

Zur Gewährleistung der Behaglichkeit und wegen der komplexen Gebäudedefunktionen nehmen die zeitgemäße Haustechnik und modernen Armaturen in Gebäudeentwurf und -gestaltung einen wachsenden Platz ein. Eine Voraussetzung dafür ist jedoch die Serienfertigung der zusätzlichen Armaturen, unabhängig von den Baukonstruktionen. Selbstverständlich lassen sich die Zielsetzungen unter Anwendung von herkömmlichen Armaturen und Energieträgern überhaupt nicht oder nur mit Schwierigkeiten erreichen, daher ist in der Leichtbauweise eine grundsätzlich neue Installationstechnik einzuführen (siehe Abschnitt 10).

2.2. Bei ihren beschriebenen und bekannten Vorteilen sind jedoch die Leichtbausysteme im Vergleich zu den herkömmlichen *Bauverfahren* kostspielig.

Die Mehrkosten können aber durch Reihenfertigung wesentlich herabgesetzt werden; die Voraussetzung letzterer ist die Einführung einer einheitlichen (auch für die Leichtbauweise geeigneten) Maßordnung, die es ermöglicht, in den verschiedensten Bereichen der Bauindustrie gegenseitig auswechselbare Elemente zu verwenden (siehe Abschnitt 7).

Die Bauteile für Leichtbaukonstruktionen sind Halbfertigwaren fabrikmäßiger Herstellung, die sich von den herkömmlichen Baukonstruktionen auch hinsichtlich des Transports (in Behälter verpackt), des Einbaues (Montage) wesentlich unterscheiden. Die Abweichung macht sich naturgemäß auch in der Beziehung der Baukosten empfindlich fühlbar (siehe Abschnitt 8).

Entwicklung und Verbreitung des neuartigen Bauverfahrens werden durch ein optimales Gleichgewicht zwischen

- der Baustoffbasis
- den Konstruktionssystemen und
- den Forderungen ermöglicht (siehe Abschnitt 9).

### 3. Konstruktionsmäßige Überlegungen

Ein grundlegendes Merkmal der Leichtbausysteme besteht in der funktionsmäßigen Trennung der Tragkonstruktionen von den Umfassungen.

Die Tragkonstruktion ist in der Regel eine Stahlkonstruktion (eingehender siehe Abschnitt 5).

Die leichten Umfassungen können im Prinzip je nach Lage und konstruktiver Gestaltung

— Großplattensysteme (nichttragende Wand- oder Deckenplatten, hochgradig vorgefertigt, zur Baustelle befördert, mit leicht ausführbarer Befestigung montiert; kennzeichnender Anwendungsbereich: Wohnbauten oder Kommunalbauten),

— Sprossenwerk- oder Vorhangwandsysteme darstellen (vor oder zwischen den tragenden Bauteilen wird ein sekundäres Pfettensystem angeordnet, wobei in den auf diese Weise entstandenen Feldern Vollwände oder Fenster und Türen den funktionmäßigen Forderungen gemäß vorgesehen werden).

Die leichten äußeren Umfassungen lassen sich bauphysikalisch in drei grundlegende Systeme einordnen:

- atmende,
- Druckausgleich-,
- belüftete, abgeschirmte Konstruktionen.

atmendes  
Schichtensystem

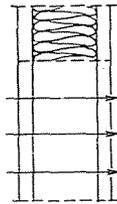


Abb. 4

Dampfdruckaus-  
gleichendes  
Schichtensystem

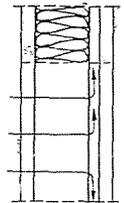


Abb. 5

Belüftetes,  
abgeschirmtes  
Schichtensystem

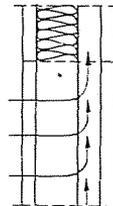


Abb. 6

Die Bedeutung der dreifachen Gruppierung besteht darin, daß Verwendbarkeit, Knotenpunktgestaltung sowie Entwurf der raumabschließenden Teile (bauphysikalische Messungen, Berechnungen) durch die verschiedenen Schichtensysteme stark beeinflußt werden.

Bei der Forschungsarbeit erwies sich für eingeschobige Kommunalbauten die Anwendung eines belüfteten, abgeschirmten Systems in Maßordnung als günstig, weil dann die sommerliche Wärmebelastung durch Sonnenbestrahlung bei zweckmäßiger Gestaltung der Konstruktion um 30 bis 50% herabgesetzt werden kann. In dieser Ausführung wurde auf dem Gelände der Technischen Universität Budapest der Versuchsabschnitt eines Prototypengebäudes (mit 72 m<sup>2</sup> Grundfläche) errichtet.

Für die Gestaltung der Knotenpunkte von Leichtbauten gelten folgende Überlegungen:

— gemäß dem Prinzip der gegenseitigen Austauschbarkeit sollen die Verbindungen nicht nur zwischen den einzelnen raumabschließenden Teilen, sondern auch zwischen diesen und den tragenden Bauteilen gleichwertig und gleichartig sein,

— die verschiedenen Toleranzwerte sollen nach einem einheitlichen Prinzip, womöglich in der Montagezone angesetzt werden können (siehe Abschnitt 6),

— die *Knotenpunkte* sollen mit Rücksicht auf eine etwaige Funktionsänderung mit lösbaren Verbindungen ausgeführt werden;

— an den Anschlußstellen von metallischen, also wärmeleitenden Elementen soll der Entstehung von Kältebrücken vorgebeugt werden.

#### 4. Bauphysikalische Probleme

##### *Allgemeines*

Grundsätzlich müssen Fenster und Türen sowie raumabschließende Teile von Leichtbauten dieselben Funktionen annehmen, wie die herkömmlichen Baukonstruktionen. Während jedoch bei herkömmlichen Konstruktionen die Realisierung gewisser Funktionen bereits durch die Wahl der Bauausführung sichergestellt ist, muß die Befriedigung dieser Forderungen bei den neuartigen Konstruktionen durch eine ausführliche Berechnung überprüft werden.

##### *Massive Umfassungen*

*Wärmedurchgangszahl.* Durch die Anwendung von zeitgemäßen Dämmstoffen lassen sich in den sog. »Normalschnitten« durch Umfassungen in Leichtbauweise hohe Wärmeleitwiderstände erzielen, die Gewährleistung einer guten Wärmedämmung und einer Oberflächentemperatur über dem Taupunkt

verursacht also keine Schwierigkeiten. Problematisch ist das Temperaturfeld bei den Anschlüssen von Bauteilen, bei den »Kältebrücken«, das sich durch die Lösung der Differentialgleichung des zweidimensionalen Temperaturfeldes oder mit Hilfe eines Analogmodells berechnen läßt.

*Sommerlicher Wärmebelastungswert.* Die durch die Umfassungen eindringende Wärme rührt teils aus dem Wärmefluß durch Konvektion infolge des Unterschiedes zwischen Außen- und Raumtemperatur, teils aus dem durch die Oberfläche absorbierten Anteil der Energiezufuhr der Sonnenbestrahlung her. Der Wärmefluß wird aus der Gleichgewichtsgleichung für die Außenfläche ermittelt:

$$\frac{1}{\alpha_i + \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_j}} (t_{kf} - t_i) + aI + \alpha_a (t_{kf} - t_a) = 0$$

In dieser und den folgenden Gleichungen bedeuten:

$\alpha_i$  = innere Wärmeübertragungszahl in kcal/m<sup>2</sup> h °C

$\alpha_a$  = äußere Wärmeübertragungszahl in kcal/m<sup>2</sup> h °C

$\alpha_l$  = Wärmeübertragungszahl auf den Begrenzungsflächen der Luftschicht in kcal/m<sup>2</sup> h °C

$R$  = Wärmeleitungswiderstand in m<sup>2</sup> h °C/kcal

$h$  = Höhe in m

$a$  = Absorptionsfaktor

$J$  = Energiegehalt der Sonnenbestrahlung in kcal/m<sup>2</sup> h

$t_a$  = Außenlufttemperatur in °C

$t_i$  = Temperatur der aus dem Luftspalt entweichenden Luft in °C

$t_l$  = Lufttemperatur im Luftspalt in °C

$t_i$  = Innentemperatur in °C

$t_{kf}$  = Temperatur der Wandaußenfläche in °C

$F$  = Flächengröße des untersuchten Oberflächenelements in m<sup>2</sup>

$L$  = Massenstrom der den Luftspalt durchströmenden Luft in m<sup>3</sup>/h/Flächeneinheit

$I$  = Luftdichte in kg/m<sup>3</sup>

$c$  = spezifische Wärme der Luft in kcal/kg °C

$d$  = Stärke in m

$h$  = Wärmeleitungskoeffizient in kcal/m h °C

Die sonstigen Kurzbezeichnungen sind die allgemein gebräuchlichen.

Der in den Innenraum eindringende Wärmefluß läßt sich durch einen belüfteten Luftspalt, der sich infolge der konstruktionsmäßigen Eigenheiten der Leichtbauten einfach herstellen läßt, wesentlich herabsetzen.

Für diesen Fall lautet die Gleichgewichtsgleichung wie folgt:

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + R_{in} + \frac{1}{\alpha_l}} \cdot \frac{1}{h} \int_0^h t_i dx + L_{oc} (t_i - t_a) + \frac{1}{F} +$$

$$+ \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + R_{aus} + \frac{1}{\alpha_l}} \left( t_a + \frac{aI}{\alpha_a} - \frac{1}{h} \int_0^h t_i dx \right) = 0$$

Durch eine eingehende Analyse wird nachgewiesen, daß ein belüfteter Luftspalt, vor allem im Falle einer für die Wärmebelastung ungünstigen östlichen oder südlichen Orientierung, sehr wirksamen Schutz gewähren kann (bis zu 50% der Wärmeenergie werden durch den Luftspalt abgeführt). Eine hohe Wirksamkeit ist auch bei Flachdächern zu verzeichnen (30% der Wärmeenergie lassen sich aus der Luftschicht abführen). Da der Schwerkraftauftrieb allein zur Aufrechterhaltung einer intensiven Luftbewegung in der belüfteten Luftschicht eines Flachdaches nicht genügen würde, werden hier Deckenventilatoren eingebaut, deren Betrieb durch die Temperatur der Luftschicht gesteuert werden kann.

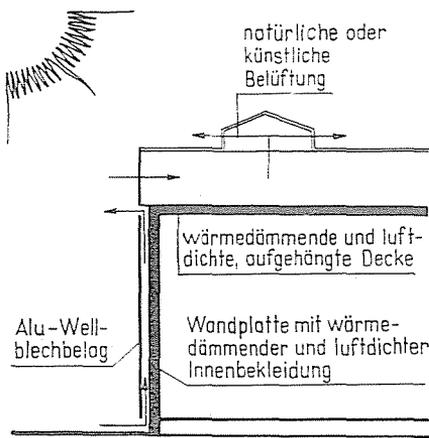


Abb. 7. Wand- und Deckenkonstruktion mit belüfteter Luftschicht

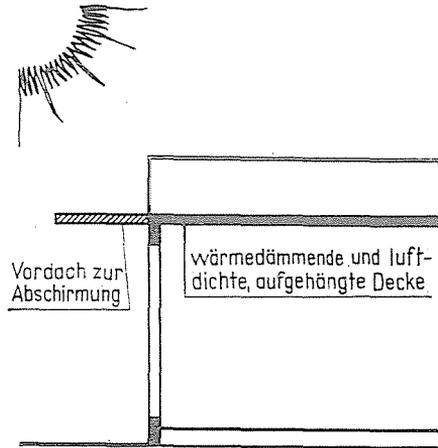


Abb. 8. Abschirmung einer Glasfläche

**Wärmeträgheit.** Über die leichten Umfassungen hat sich die irrthümliche Ansicht verbreitet, daß diese keine Wärmeträgheit haben. Nach den Bezie-

hungen für die Wärmeträgheit gilt:

$$\nu = \left[ chR \sqrt{\frac{2\pi i}{\tau_0} \lambda c \varrho} + \frac{\alpha_i}{\sqrt{\frac{2\pi i}{\tau_0} \lambda c \varrho}} shR \sqrt{\frac{2\pi i}{\tau} \lambda c \varrho} \right]$$

Dabei bedeuten die neu eingeführten Kurzbezeichnungen:

- $\nu$  Wärmeträgheit in  $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$
- $i$  imaginäre Einheit
- $\tau_0$  Periodendauer in h
- $k$  Wärmedurchgangszahl in  $\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^{\circ}\text{C}$

Für eine extrem leichte Konstruktion mit  $c \rightarrow 0$ , läßt sich unter Anwendung der l'Hospital-Regel für das zweite Glied nachweisen, daß die Wärmeträgheit der Gesamtkonstruktion

$$\nu_{k \min} = \frac{\alpha_i}{k}$$

nicht unterschreitet. In Anbetracht der hohen Dämmung der Leichtbauten werden also die Sollwerte befriedigt.

Unter Anwendung von Umfassungen mit belüfteten Luftschichten nimmt die Wärmeträgheit in bedeutendem Maße zu, weil durch die Innenkonstruktion nicht die Tages-Lufttemperaturschwankungen gedämpft werden, sondern lediglich die geringeren Temperaturschwankungen des Luftstromes im Luftspalt. Diese Wirkung ist bei weit auseinanderfallenden Maxima von Strahlungsenergiezufuhr und Außenlufttemperatur besonders beträchtlich.

*Dampfdiffusion.* Der Dampfniederschlag im Inneren der Konstruktion läßt sich in der Regel durch eine dampfbremsende Innenflächenbildung vermeiden. In manchen Fällen werden durch stark dampfbremsende oder dampfsperrende Außenschichten Schwierigkeiten verursacht. Durch die Anwendung einer belüfteten Luftschicht wird auch das Problem der Dampfableitung gelöst. Atmende oder Dampfdruckausgleichsschichten dürfen ebenso wie in herkömmlichen Konstruktionen angewendet werden.

*Luft Eindringung.* Bei Leichtbaukonstruktionen ist kaum mit der Luftströmung durch die Schichten zu rechnen. Für die Verhinderung von Ein- und Ausströmung sind jedoch hochwertige Fugenverbindungen zwischen den Bauteilen erforderlich. Die in die Räume eindringende Luft übt nämlich nicht nur eine Abkühlwirkung aus, sondern sie kann durch die Abkühlung der Verbindungsteile der Elemente auch Kondenswasserbildung verursachen. Daher ist es wichtig, die Bedingungen der Verhinderung der Luftbewegung innerhalb der einzelnen Schichten zu untersuchen, die im Fachschrifttum selten behandelt werden.

*Schalldämmung.* Die Schalldämmung läßt sich in einem Bereich durch das sog. Gewichtsgesetz ausdrücken. Die Umfassungen in Leichtbauweise

sind in der Regel mehrschichtig, wobei die Schalldämmung hauptsächlich durch die richtige Schichtenfolge, die schallschluckende Zwischenschicht und den asymmetrischen Schichtenaufbau bedingt ist. Es ist sehr wichtig, daß in der Konstruktion keine Schallbrücken vorhanden sind; aus dieser Sicht ist der einwandfreien Lösung von Fugenverbindungen und elektrischen Armaturen die größte Wichtigkeit beizumessen.

### *Fenster und Türen*

Für zeitgemäße Bauten sind offene Fassaden und der zunehmende Anteil an verglasten Flächen kennzeichnend. Dieser Umstand erfordert eine befriedigende Lösung des Wärmeschutzes von verglasten Flächen. Es kann sich um einen aktiven Wärmeschutz (Lüftung, Klimatechnik) oder um einen passiven Wärmeschutz handeln. Als Mittel für letzteren bieten sich Wärmeschutzgläser, spezifische Verschlusssysteme und Abschirmungen an.

Die auf die verglasten Flächen einfallenden Sonnenstrahlen dringen größtenteils durch die Verglasung in den Innenraum ein und werden durch die Innenkonstruktionen verschluckt. Diese strahlen die absorbierte Wärme nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz mit einer größeren Wellenlänge aus, die die Verglasung nicht durchdringen kann und sich daher aus dem Raum lediglich durch Konvektion entfernt.

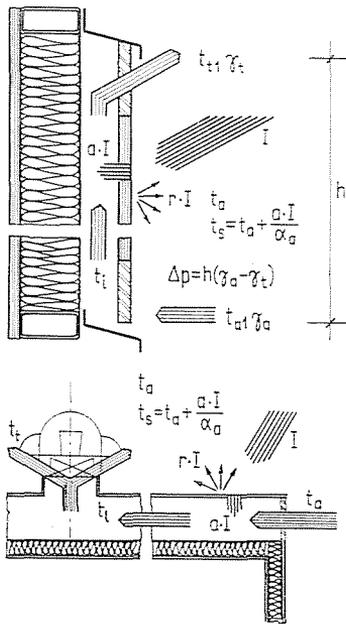
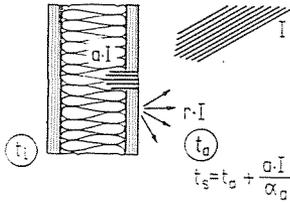
Die Art der Verglasung kann zum *Wärmeschutz* derart beitragen, daß durch Erhöhung der absorbierten oder reflektierten Anteile der durchgelassene Anteil vermindert wird. Letztere Maßnahme ist vor allem im infraroten Bereich von Bedeutung, da die Energiezufuhr der Infrarotstrahlung die Hälfte jener der Besonnung erreicht, während sie in der Raumbelichtung keine Rolle spielt.

Die *Wärmeabsorption* der Gläser wird durch verschiedene Beimengungen erhöht. Damit nimmt die Durchlässigkeit der Absorptionsgläser ab, doch wird durch die absorbierte Wärme das Glas erwärmt und gibt diese teils in Form von langwelliger Strahlung, teils durch Konvektion ab, wodurch es sich als sekundäre Wärmequelle geltend macht. Die durch die Absorptionsverglasung dem Raum abgegebene Wärmemenge läßt sich durch die Kombination dieser mit einer Normalverglasung vermindern.

Das *Reflexionsvermögen* der Gläser kann durch Auftragung einer sehr dünnen Metallschicht erhöht werden. Da die benutzten Metalle (Nickel, Gold) an sich teuer sind, und die Technologie der Beschichtung, die um eine Verzerrung der Farben zu vermeiden, große Genauigkeit erfordert (Vakuumaufdampfen, Ionenverstäubung), sehr umständlich ist, sind diese Glassorten ziemlich kostspielig. Durch ihren Einsatz läßt sich jedoch eine wesentliche Einsparung an Kühlleistung und Kühlenergie erzielen.

Eine geeignete Lösung für die Verglasungen stellt Phototropglas mit Silberjodidbeimengung dar, dessen Durchlässigkeit sich in Abhängigkeit von der einfallenden Sonnenbestrahlung verändert.

Auch unter Anwendung von Normalglasscheiben können Spezialkonstruktionen mit verminderter Durchlässigkeit hergestellt werden. Der absor-



- kurzwellige Strahlung
- langwellige Strahlung
- Wärmeübertragung durch Konvektion
- absorbierte Wärme

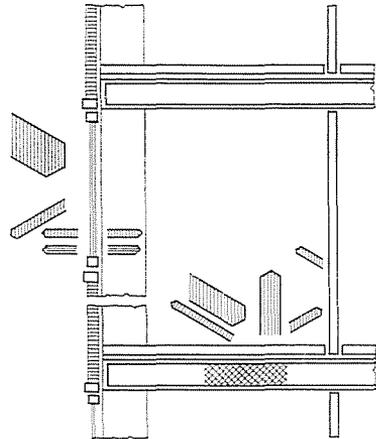


Abb. 9

Abb. 10

bierte Anteil wird durch eine Glasfasermatte zwischen zwei Normalglasscheiben erhöht. Eine Erhöhung des reflektierten Anteils wird durch eine auf die Innenfläche der Hermapan-Verglasung aufgeklebte Kunststoff-Folie ermöglicht. Durch eine spezifische Flüssigkeitsfüllung zwischen zwei Normalglasscheiben erhält man eine Verglasung, deren Durchlässigkeit sich in Abhängigkeit von der auftreffenden Bestrahlung verändert.

Die Wirksamkeit der Abschirmungen ist in bedeutendem Maße von deren Anordnung abhängig. Am günstigsten sind Außenabschirmungen, weil die durch diese absorbierte Wärme an die äußere Umgebung abgegeben wird.

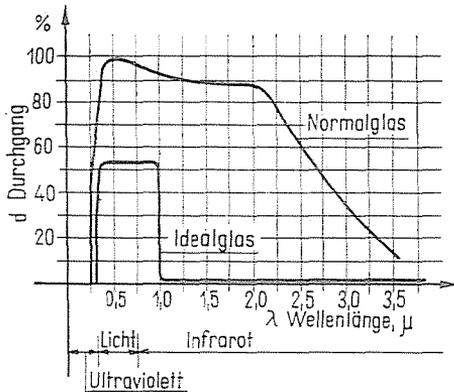


Abb. 11

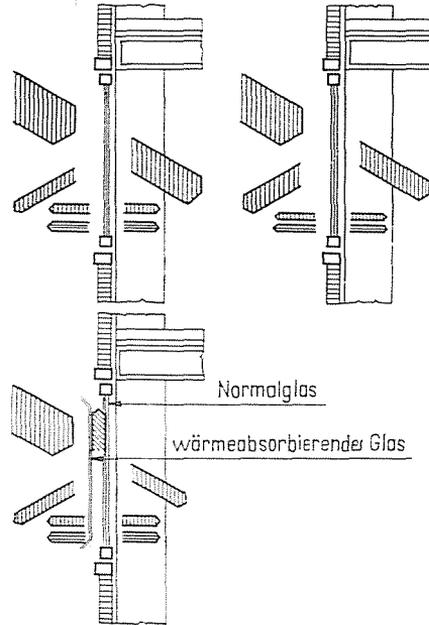


Abb. 12

### 5. Forderungen hinsichtlich der Tragkonstruktion

5.1. Eine der Voraussetzungen für die ausgedehnte Anwendung der Leichtbauweise ist die Wirtschaftlichkeit, daher ist auch bei den Tragkonstruktionen unter Berücksichtigung der gegebenen Werkstoffkennwerte, Fertigungsbedingungen und technischen Forderungen die sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht günstigste Lösung anzustreben.

— In der Leichtbauweise werden vorwiegend Stahlkonstruktionen angewandt. In Ungarn werden verschiedene derartige Konstruktionen verwendet. Die Balken und Stützen sind in der Regel aus kaltgebogenen Blechen verschweißte Profile. Die Herstellung der vorgefertigten Profile ist arbeitsaufwendig und enthält zahlreiche Fehlerquellen, vor allem hinsichtlich der Qualität der Schweißnähte. Die automatisierte Vorfertigung von verschiedenen Trägerprofilen mit Hilfe von Einzweckmaschinen wäre von großem Vorteil. Bei Verminderung der Anzahl der Schweißnähte und ihrer gütemäßigen Verbesserung würde durch die Fertigung der Profile auf Lager ein massenhafter Mehrzweckeneinsatz der Träger ermöglicht.

— Bei der Gestaltung der Tragwerke stellen die Knotenpunkte eine bedeutende Schwierigkeit dar. Schraubenverbindungen erfordern eine besondere Maßgenauigkeit und besondere Verbindungselemente. Die Schweißarbeiten

auf der Baustelle beinhalten beträchtliche Fehlermöglichkeiten und auch die notwendigen Einrichtungen stehen nicht jederzeit zur Verfügung. Es erscheint zweckmäßig, die Stahlskelette mit Verbindungen ohne Verbindungselemente zu gestalten, durch die die Montagearbeit vereinfacht und die Momentenübertragung auf die Knotenpunkte geeignet ist.

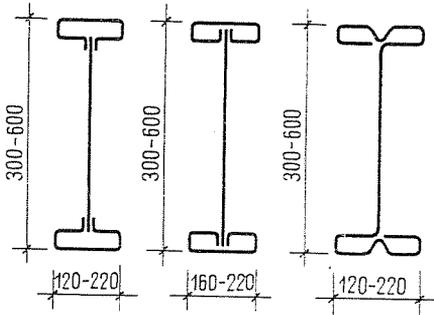


Abb. 13. Hauptträger

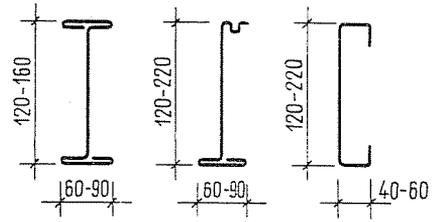


Abb. 14. Pfetten

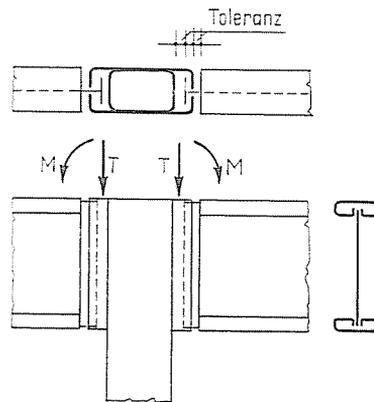


Abb. 15

— Die Gestaltung der Tragkonstruktionen und der Umfassungen von Leichtbauten muß in engem Zusammenhang erfolgen. Ein übermäßiger Materialaufwand läßt sich manchmal dadurch vermeiden, daß keine Skelettkonstruktion ausgeführt wird, sondern die tragenden und raumabschließenden Elemente entsprechender Tragfähigkeit zusammengebaut werden. Nach diesem Verfahren können mit einer einfachen Bautechnologie wenig materialaufwendige Bauten mit Spannweiten bis 10—12 m für die Befriedigung von komplexen Ansprüchen errichtet werden.

— Bei der Gestaltung der leichten Umfassungen, vor allem von Decken, scheint es zweckmäßig, das tragende Zusammenwirken von Außen- und

Innenschalen sicherzustellen. Auf diese Weise werden wärmedämmende und raumabschließende Konstruktionen hergestellt, die zugleich auf Biegung beansprucht werden können. Werkstoff und Stärke der Dämmschicht können unterschiedlich sein, die Bauteile können belüftet und mit einem Belag versehen werden. Außen- und Innenschale werden auf verschiedene Weise verbunden, z. B. durch Rippenverbindungen oder punktweise Verbindungen. Die zu verbindende Elemente können beliebig ausgestaltete Trapezplatten, Wellbleche, Rippenplatten usw. sein.

— Bei der Ausgestaltung von leichten raumabschließenden Teilen als Tragkonstruktionen sind die Werkstoffeigenschaften, die günstig ausgenutzt

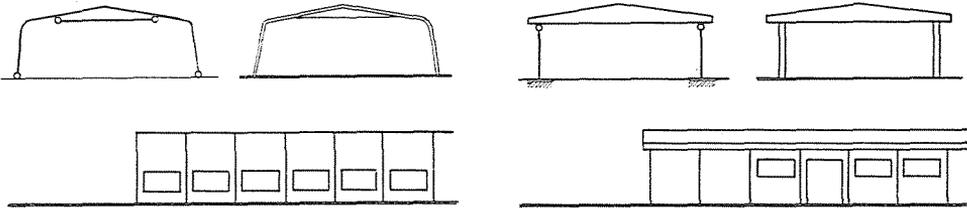


Abb. 16

Abb. 17

werden können, in erhöhtem Maße zu berücksichtigen. Durch die erreichbaren Einsparungen an in der Regel hochwertigen Materialien wird die Wirtschaftlichkeit der Baukonstruktion wesentlich beeinflusst. Metallplatten lassen sich z. B. als auf Zug beanspruchte Bauteile, glasfaserverstärkte Kunstharzplatten als bogenförmige Schalen zweckmäßig einsetzen.

— Für Umfassungen kommen auch einschalige, homogene Konstruktionen in Frage, wenn sie hinreichende Festigkeit und Wärmedämmung besitzen. Daher ist eine erhöhte Anwendung bzw. die Prüfung der Anwendbarkeit von Schaumaluminium, spezifischer Schaumgläser, ferner von verschiedenen Holzfaserplatten, Schäbepreßplatten, u. U. von Magor-Platten zu empfehlen. Durch diese Konstruktionen werden die Aufgaben der Lasttragung, Wärmedämmung und Raumabschließung gleichzeitig erfüllt.

— Die verschiedenen leichten Umfassungen müssen neben der tragenden Funktion, den bauphysikalischen und konstruktionsmäßigen Forderungen auch fertigungstechnische Anforderungen erfüllen. Bei einer Massenfertigung in großen Serien können auch kostspieligere Werkstoffe mit befriedigender Wirtschaftlichkeit verwendet werden. Auf dieser Grundlage scheint die Fertigung von tragenden und wärmedämmenden »Grundelementen« für Umfassungen in Reihenfertigung zweckmäßig zu sein, aus denen sich im Werk oder auf der Baustelle beliebige Baukonstruktionen bilden lassen. Als Grundelemente können Preßstücke aus Metall, glasfaserverstärkte Polyesterstücke mit Wärmedämmschicht und Innenverkleidung, mit geeigneten Profilen für die Verbindung in Frage kommen.

— Das Anwendungsgebiet der Leichtbauten wird durch eine Erhöhung des Vorfertigungsgrades wesentlich ausgedehnt. Gebäudesektionen aus Raumzellen befriedigen die Forderungen der Tragfähigkeit und Technologie sowie die bauphysikalischen Belange, wobei fast gar keine Baustellenarbeit erforder-

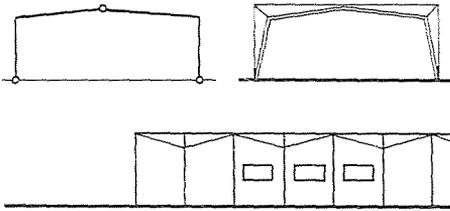


Abb. 18

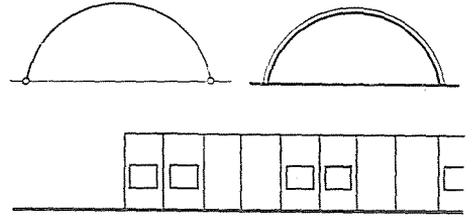


Abb. 19

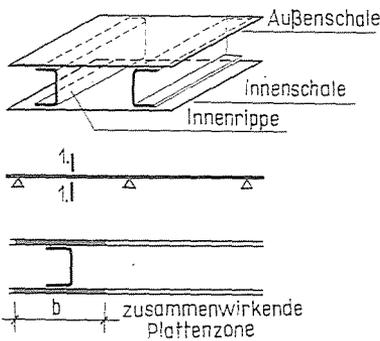


Abb. 20. Platte mit Rippenverbindungen

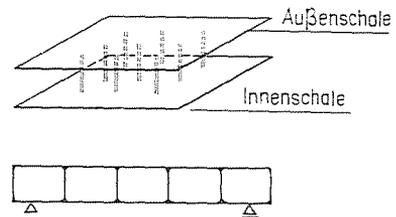


Abb. 21. Platte mit Punktverbindung

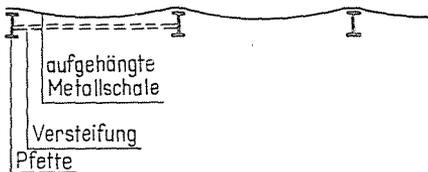


Abb. 22. Aufgehängter Metallplattenbelag

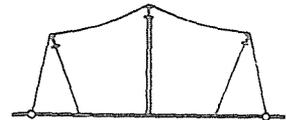


Abb. 23. Auf eine Gerippekonstruktion gespannte Metallplattenbekleidung

lich ist. Abmessungen und Struktur der Raumzellen können je nach Bedarf gewählt werden.

— Skelettkonstruktion und Umfassungen lassen sich durch Verbindung verschiedener Werkstoffe günstig erstellen. Bei der Anwendung von Werkstoffkombinationen für Tragkonstruktionen sind vor allem die Fragen der Verzerrung, Wärmedehnung sowie der Technologie zu lösen. Beispielsweise

können stahl-, holz- und glasfaserverstärkte Polyesterstrukturen, Holz-Metallverbundträger, Glas-Metallkonstruktionen genannt werden.

— Die verschiedenen pneumatischen, abgehängten, ausgespreizten Schalen aus Kunststoffen oder Textilgut und Profilen, die gespannt oder nachträglich versteift werden, stellen ein Entwicklungsgebiet der Leichtbauweise dar. Es empfiehlt sich, deren Anwendungsmöglichkeiten einer näheren Untersuchung zu unterziehen.

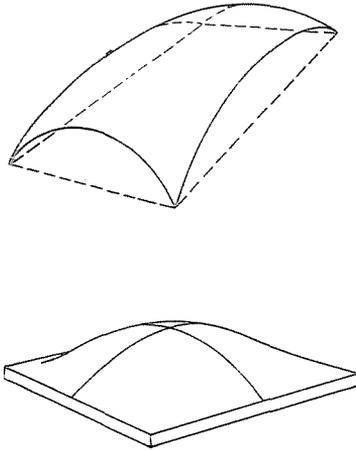


Abb. 24. Glasfaserverstärkte Polyesterschalen

5.2. In der Leichtbauweise stellen sich verschiedene spezifische Probleme auf den Gebieten der Festigkeitslehre und der Tragkonstruktionen, durch deren Ungelöstheit oder Vernachlässigung die Standfestigkeit des Gebäudes empfindlich benachteiligt wird. Diese Probleme sind teils allgemeiner Natur, teils rühren sie aus Materialeigenschaften her.

Neben den Fragen der Festigkeitslehre und der Tragkonstruktionen stellt die Ausarbeitung der Bemessungsverfahren, Richtlinien und Prüfverfahren eine wichtige Frage dar. Die Untersuchung der Tragkonstruktionen für Leichtbauten erfordert komplexe Stabilitäts-, konstruktionsmäßige Analysen und Untersuchungen auf dem Gebiet der Materialkunde.

5.3. Eine grundsätzliche Voraussetzung für die Anwendung der Leichtbauweise ist die befriedigende Lösung der Korrosionsprobleme. Für Stahlkonstruktionen würde die Anwendung von Korstählen eine grundlegende Lösung darstellen. Es können auch verschiedene Platten und Profile mit fabrikmäßig aufgetragener Korrosionsschutzschicht ausgedehnte Anwendung finden.

Die Umfassungs- und Skelettelemente oder Halberzeugnisse, die keine weitere stahlkonstruktionsmäßige Bearbeitung erfordern, können feuerverzinkt ausgeführt werden. Eine Voraussetzung für diese Ausführungen besteht

in der weiteren Vervollkommnung der Beschichtungs- oder Feuerverzinkungstechnologien und der dafür bestimmten Einrichtungen. Im Falle von Aluminiumkonstruktionen erscheint der Einsatz von gegen atmosphärische und betriebliche Einwirkungen widerstandsfähigen Legierungen begründet.

Glasfaserverstärkte Kunstharz-Bauteile werden durch Spezialbeschichtungen gegen Oberflächenkorrosion geschützt.

## 6. Maßordnung

### *Bestimmung der Geometrie eines Bauteils*

Die Voraussetzung einer ausgedehnten Anwendung von fabrikmäßig hergestellten, austauschbaren Bauteilen besteht in der Einführung des Maßordnungssystems, die zum Ziel hat, die Anzahl der für die Errichtung von Mehrzweckbauten unumgänglich notwendigen Grundtypenelemente der Leichtbauweise einzuschränken.

Die Maßordnung erfüllt bei der Durchführung dieser Aufgabe eine dreifache Funktion: *a)* sie gibt ein Maßsystem für den architektonischen Entwurf; *b)* bestimmt die genauen Abmessungen sämtlicher Elemente; *c)* schließlich bestimmt sie den Platz der einzelnen Elemente am Gebäude. Diese Funktionen werden praktisch wie folgt realisiert:

— beim Entwerfen werden, neben den Forderungen der Gebäudefunktion, die Möglichkeiten bzw. Beschränkungen aus der Anwendung von Fertigteilen berücksichtigt;

— bei der Fertigung werden bereits die voraussichtlichen Forderungen der Gebäudefunktion, und der architektonischen Gestaltung berücksichtigt;

— und schließlich ist es offenbar, daß das Gebäude von einer intuitiven Synthese der zwei vorangehenden Belange ausgehend errichtet wird.

Bei der Wahl einer die genannten Anforderungen befriedigenden Maßordnung sind folgende Hauptprobleme zu lösen:

- Wahl eines richtigen Grundmaßes;
- Vervielfachung des Grundmaßes (Wahl von geeigneten Maßreihen),
- Abstimmung der Bauteile und des Rasters aufeinander,
- Bestimmung der Abmessungen innerhalb des Grundmaßes,
- Verbindung der Elemente.

*Die Abmessung des Grundmaßes* beträgt 10 cm. Dieses anscheinend einfache Maß wurde nach langen Forschungen und Untersuchungen angenommen. Nachträglich — nach den Untersuchungen — läßt sich bereits die Richtigkeit der Wahl leicht einsehen, da die Mehrzahl der Maße der Baustoffe und Bauteile ganzzahlige Dezimeter beträgt.

*Vervielfachung des Grundmaßes.* Das Grundmaß ist die Einheit der Abmessungen in verschiedene Richtungen der Bauteile, deren tatsächliche

Abmessungen ganzzahlige Vielfache des Grundmaßes darstellen, durch die eine einfache, ganzzahlige Nebeneinanderstellung von Bauteilen verschiedener Größe ermöglicht wird. Diese Wahl wäre günstig, wenn dadurch das größere Maß aus sämtlichen, kleineren Abmessungen ausgelegt werden könnte. Dieser Anspruch läßt sich jedoch eindeutig nicht befriedigen, daher scheinen die in Abb. 25 im Dreieck angegebenen Zahlen als wahlfreie Abmessungen annehm-

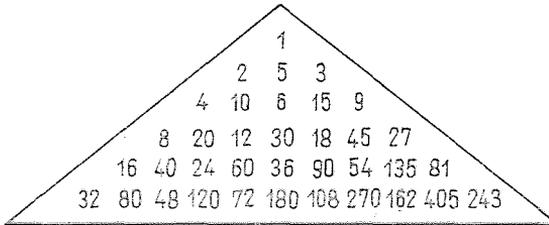


Abb. 25. Großmodul  $M = 3 \text{ m} = 30 \text{ cm}$ . Die wählbaren Vielfachen des Großmoduls  $M$

bar zu sein. Die gezeigte Zahlenmenge besteht aus zwei geometrischen Reihen ( $c = 2^n$  und  $s = 3^n$ ) sowie aus den sog. Sekundärzahlen zwischen diesen, die aus den Grundzahlenreihen durch doppelte oder dreifache Multiplikation erstellt werden.

Um einen besseren Überblick zu gewinnen, scheint es zweckmäßig, eine Matrix mit der Angabe der Abmessungen des Bauteils in zwei Richtungen einzuführen, mit deren Hilfe die aus der Reihe stark herausfallenden Elemente leicht wahrzunehmen und die mögliche Verteilung leicht zu erkennen sind.

Im gezeigten Maßordnungssystem können nicht sämtliche Elemente beliebig miteinander verbunden werden, es befriedigt also die Kriterien eines sog. offenen Systems nicht, doch scheint es, daß beim gegenwärtigen Entwicklungsstand die Voraussetzungen eines solchen weder in theoretischer noch in technischer Hinsicht ausgereift sind, daher scheint auch die Herausbildung eines sog. halboffenen Systems zweckmäßig zu sein.

Für die Einfügung der Bauteile in das Raster sind verschiedene Methoden bekannt. Meistens wird die Achsenlinie des Bauteils dem Raster angepaßt. Dieses Verfahren eignet sich für die Bestimmung der Tragkonstruktionsteile, doch sind die Abmessungen der Füllkörper keine Modulmaße. Auch diejenige Ausführung hat manche Nachteile, wo eine der Längsseiten der Hauptkonstruktionsteile an das Raster angepaßt wird. Es hat sich besser bewährt, in das Raster eine Konstruktionszone einzufügen.

Die letzte Figur in Abb. 27 soll die Vorteile der vorgeführten Lösungen vereinen. Das Wesen des Vorschlags ist, daß in Abhängigkeit von Funktion und Konstruktion — fast beliebig — einzelne Grundmaßzonen die Rolle einer

Konstruktionsmaßzone spielen. Innerhalb dieses Grundmaßes fallen die Konstruktionsachsen in eine Halbmaßeilung; sowohl die Spannweiten als auch die Abmessungen der nichttragenden Wände werden ganzzahlige Vielfache von  $M$  sein. Die Dicke der Bauteile bestimmt die sog. »Montagezone«, wo ihre gegenseitigen Verbindungen ausgeführt werden.

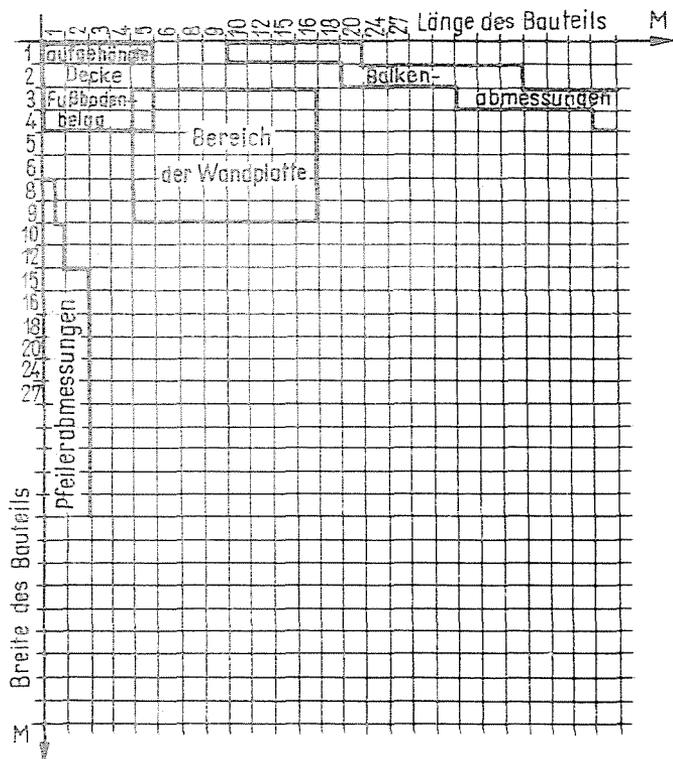


Abb. 26. Matrix der wählbaren Bauteilabmessungen

Die Passung der Bauteile ist ein wichtiges Problem der Montagebauweisen. Um die Fugenabdichtung zwischen den Bauteilen richtig vorzusehen, muß man bereits beim Entwerfen die voraussichtliche, tatsächliche Fugenbreite kennen. Wird angenommen, daß die Veränderungen der Abmessungen, der Anordnung und Aussteckung der Elemente der Normalverteilung folgen (was noch des Nachweises bedarf), und daß die Durchschnittswerte der Zufallsveränderlichen bekannt sind, dann können der voraussichtliche Wert für die Fugenbreite und dessen Verteilung nach der Methode in Abb. 28 berechnet werden.

In Kenntnis der wirklichen Gestaltung (des Hystogramms) der Fertigungs- und Ausführungsfehler läßt sich jedoch auch die tatsächliche Fugen-

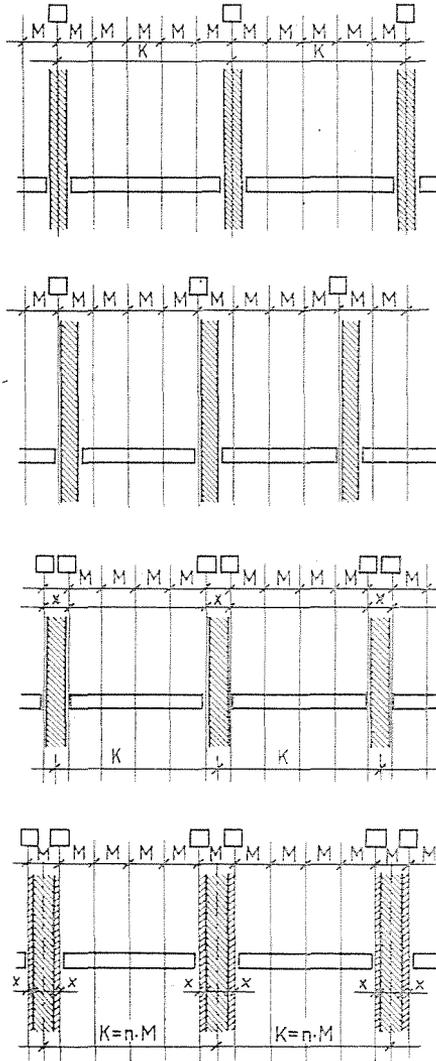


Abb. 27

breite genau ermitteln; die Zusammensetzung beider Dichtefunktionen ergibt nämlich die Dichtefunktion der tatsächlich entstehenden Fugenbreiten. Ein Rückschluß ermöglicht die Ermittlung der Dichtefunktion der sog. Ausführungsfehler; es werden an bestehenden Gebäuden die Fugenbreiten gemessen, und in Kenntnis der Veränderungen der Fertigteilmäße kann auf die Verteilungsfunktion des Ausführungsfehlers zurückgeschlossen werden (durch Matrizeninversion).

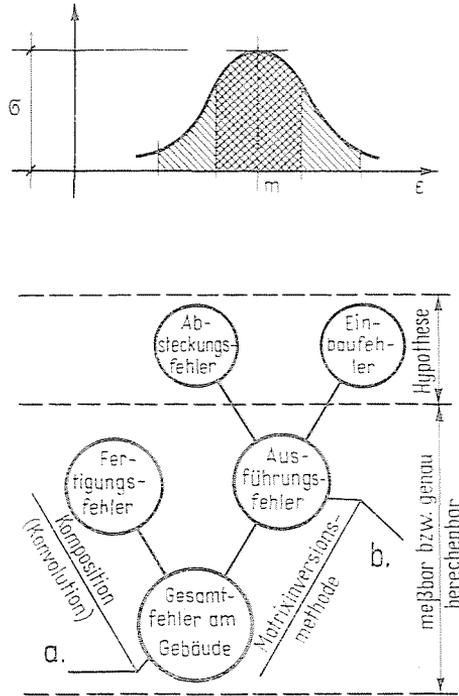


Abb. 28. Bestimmung der voraussichtlichen Fugenbreite. Durchschnittswerte der Zufallsveränderlichen:  $\varepsilon_k$ ,  $\varepsilon_{el}$ ,  $\varepsilon_{gy}$ . Voraussichtlicher Wert der Fugenbreite:  $m = \varepsilon_k + \varepsilon_{el} + \varepsilon_{gy}$ . Varianzwert:  $\sigma = \sqrt{\varepsilon_k^2 + \varepsilon_{el}^2 + \varepsilon_{gy}^2}$ . Voraussichtliche Streuung der Fugenbreite (unter der Voraussetzung einer Normalverteilung der  $\varepsilon$ -Werte)

In Abb. 29 sind die Zusammenhänge von verschiedenen Toleranzkategorien analysiert. Wie es aus der Abbildung zu erkennen ist, handelt es sich um eine an eine Achse angepaßte Konstruktion, so sind die Toleranzwerte unabhängig; bei einer Anordnung mit Konstruktionszone ist die Maßänderung des größeren Bauteils auf die Fugen der kleineren zu verteilen.

## 7. Organisation des Produktionsprozesses

Eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung des Leichtbauprogramms ist die wirtschaftliche Erzeugung. Gegenwärtig ist eine der gewichtigsten Einwendungen gegen die Leichtbauten die Kostspieligkeit. Die Kostensenkung ist also eine der Schwerpunktfragen, die bei einer serienmäßigen Anwendung der Bauteile durch eine nach fortschrittlichen mathematischen Methoden gesteuerte, wirtschaftliche Fertigung gelöst werden soll. Für die Organisation des Fertigungsprozesses schlagen wir das folgende Modell vor.

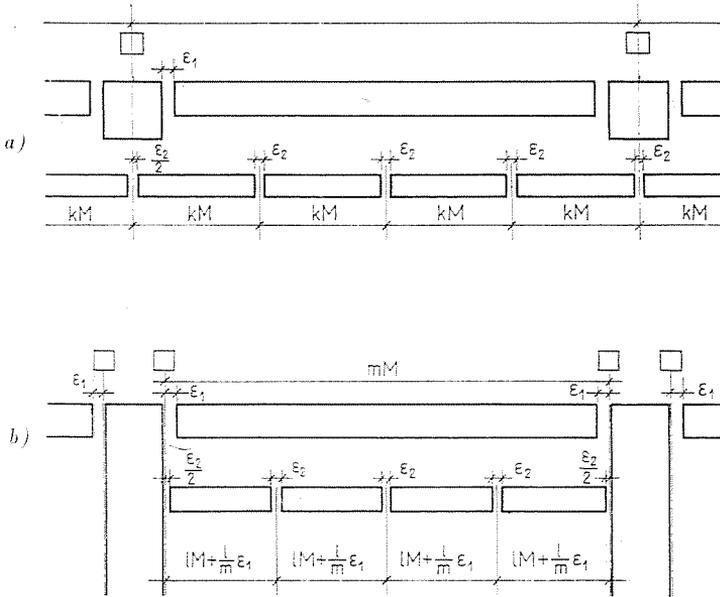


Abb. 29. a) Die Toleranz  $\epsilon_2$  der kleineren Elemente ist vom Maßtoleranzwert  $\epsilon_1$  der größeren Elemente unabhängig; b) Die Toleranz  $\epsilon_2$  der kleineren Elemente ist von der Toleranz  $\epsilon_1$  der größeren Elemente nicht unabhängig. Nach dem Einbau der größeren Elemente werden die kleineren Elemente wieder abgesteckt

Die Volkswirtschaft verfügt über Grundstoffbasen  $B_1, B_2 \dots B_n$ , mit den Mengen  $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$ . ( $B_j$  bedeutet z. B. Hungarozell,  $\beta_1$  die zur Verfügung stehende Hungarozellmenge in Tonnen.)

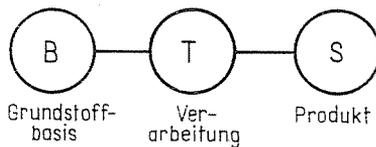


Abb. 30. Schematisierung des Produktionsprozesses

Der volkswirtschaftliche Bedarf wird durch  $S_1, S_2 \dots S_s$  bezeichnet, mit den Mengen  $\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_m$ . (Es bedeuten zum Beispiel  $S_1$  den Bedarf an Schulen,  $\sigma_1$  die Menge des Bedarfs an Schulen z.B. in der Einheit 10 000 m<sup>2</sup> Grundfläche.)

Der Bedarf wird aus der Grundstoffbasis durch die Produktionsbetriebe  $T_1, T_2, \dots T_t$  hergestellt, ihrer jeweiligen Technologie und Kapazität entsprechend.

	$B_1$	$B_2$	$\dots$	$B_j$	$\dots$	$B_b$	$C_k$
$S_1$	$\alpha_{11}^{(k)}$	$\alpha_{12}^{(k)}$	$\dots$	$\alpha_{1j}^{(k)}$	$\dots$	$\alpha_{1b}^{(k)}$	$\gamma_1^{(k)}$
$S_2$	$\alpha_{21}^{(k)}$	$\alpha_{22}^{(k)}$	$\dots$	$\alpha_{2j}^{(k)}$	$\dots$	$\alpha_{2b}^{(k)}$	$\gamma_2^{(k)}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$S_i$	$\alpha_{i1}^{(k)}$	$\alpha_{i2}^{(k)}$	$\dots$	$\alpha_{ij}^{(k)}$	$\dots$	$\alpha_{ib}^{(k)}$	$\gamma_i^{(k)}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$S_s$	$\alpha_{s1}^{(k)}$	$\alpha_{s2}^{(k)}$	$\dots$	$\alpha_{sj}^{(k)}$	$\dots$	$\alpha_{sb}^{(k)}$	$\gamma_s^{(k)}$

Abb. 31. Matrix der technologischen Kapazität

Schematisiert gelten die Grundstoffbasis der Volkswirtschaft und die Kapazität der Bearbeitungsbetriebe als »Input« der Produktion, aus dem über das technologische System das Produkt, das »Output« zustande kommt.

Nehmen wir an, daß die technologischen Systeme und Kapazitäten sämtlicher Produktionsbetriebe  $T_k$  bekannt sind, so werden diese zweckmäßigerweise in der Matrix Abb. 31 zusammengefaßt:

Dabei bedeutet  $\alpha_{ij}^{(k)}$  die Menge, die durch den Betrieb  $T_k$  von der Grundstoffbasis  $B_i$  für die Herstellung einer Einheit des Produktes  $S_i$  verbraucht wird.

$\gamma_i^{(k)}$  ist die prozentuale Inanspruchnahme der Betriebskapazität  $T_k$  bei der Herstellung einer Einheit des Produkts  $S_i$ .

$\xi_i^{(k)}$  ist der Betriebsstand, d. h., daß der Betrieb  $T_k$  vom Produkt  $S_i$  eine Menge  $\xi_i^{(k)}$  herstellt.

In Kenntnis der technologischen und Kapazitätswerte sowie des Betriebsstandes erhält man auf einfache Weise das Input-Output des Produktionssystems.

Kann ein Betriebsstand  $\xi_i^{(k)}$  vorgeschrieben werden (läßt sich der Produktionsprozeß derart organisieren), daß durch den Produktionsprozeß die Input-Output-Beschränkungen befriedigt, d. h. die Ungleichheiten erfüllt werden, so ist mit diesem Betriebsstand  $\xi_i^{(k)}$  der Produktionsprozeß bestimmt:

$$\sum_{(k)} \sum_{(i)} \xi_i^{(k)} \alpha_{ij}^{(k)} = \text{von } B_j \text{ verbrauchte Menge}$$

$$\sum_{(i)} \gamma_i^{(k)} = \text{Kapazitätsausnutzung des Betriebs } T_k \text{ in } \%$$

$$\sum_{(k)} \xi_i^{(k)} = \text{vom Produkt } S_i \text{ hergestellte Menge}$$

Im allgemeinen gibt es jedoch keine derartige, Nachfrage und Angebot befriedigende Lösung. In diesem Falle kann das Problem anhand von zwei

verschiedenen Lösungen, genauer Forderungen, geprüft werden; es werden entweder der Bedarf (Output-Beschränkung) oder Grundstoffbasis und Kapazität (Input-Beschränkung) als Bestwerte betrachtet. Im ersteren Falle stellt sich die Frage, wie Basis und Kapazität mit »minimalem« Kostenaufwand so erhöht werden können, daß bei der erhöhten Beschränkung die Befriedigung von ( $\neq$ ) möglich ist. In ähnlicher Weise fragt sich im zweiten Falle, wie bei den gegebenen Input-Beschränkungen der Bedarf »maximal« befriedigt werden kann. In beiden Fällen (»minimal«; »maximal«) ist eine Bewertung einzuführen. Bei der Bewertung leistet — selbstverständlich unter Berücksichtigung von ökonomischen Überlegungen — die Analyse des Pendantes des linearen Ungleichheitssystems unter ( $\neq$ ) eine große Hilfe. (Da nämlich ( $\neq$ ) unlösbar ist, ist sein Pendant lösbar.)

Modell der linearen Ungleichheit des Produktionsprozesses:

$$\sum_{(k)} \sum_{(i)} \xi_i^{(k)} \alpha_{ij}^{(k)} \leq \beta_j \quad (j = 1, \dots, b)$$

$$\sum_{(i)} \gamma_i^{(k)} \leq 100 \text{ (\%)} \quad (k = 1, \dots, t)$$

$$\sum_{(k)} \xi_i^{(k)} \geq \sigma_i \quad (i = 1, \dots, s)$$

Unter Umständen können bei einer günstigen Bewertung sowohl die Input- als auch die Output-Beschränkung durch einen gleichzeitigen Optimierungsversuch aufgehoben werden.

Es ist zu bemerken, daß obwohl die Ungleichung ( $\neq$ ) praktisch sehr groß sein kann, ihre Lösung bzw. im Falle ihrer Unlösbarkeit die Lösung ihres Pendantes mit Hilfe einer Rechenanlage möglich ist.

Die Verfasser sprechen hiermit für die hochwertige Mitarbeit den Herrn Dipl. Math. E. Klafszky, Oberassistent A. Zöld, wiss. Abteilungsleiter Dr. M. Winkler und wiss. Mitarbeiter L. Kiszely ihren besten Dank aus.

### Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der Rüstung der Industrie, des Bedarfs und der zur Verfügung stehenden Grundstoffe in Ungarn, darf die Einführung eines sog. halboffenen Leichtbausystems vorgeschlagen werden, das mit befriedigender Wirtschaftlichkeit die Erzeugung von Bauteilen in verhältnismäßig großen Serien ermöglicht;

— in Anbetracht der Kostspieligkeit der Kühlenergie sind die Belüftung und Abschirmung der Baukonstruktionen zur Zeit der sommerlichen Wärmebelastung zu gewährleisten;

— die Baukonstruktion in Leichtbauweise muß sich jederzeit ohne wesentlichere Aufwendungen (mit einfacher Ummontierung) der rasch veränderlichen Funktion anpassen.

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