

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

**Band:** 27 (1978)

**Artikel:** Möglichkeiten der Materialeinsparung in Metallkonstruktionen

**Autor:** Belenja, E.I.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-22162>

#### **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:** 01.02.2026

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

Ia

## **Möglichkeiten der Materialeinsparung in Metallkonstruktionen**

Possibilities of Material Economy in Steel Structures

Possibilités d'économie d'acier dans les constructions métalliques

### **E.I. BELENJA**

Professor Dr. Ing.

Kuibyshev-Institut für Ingenieurbau

Moskau, UdSSR

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Es werden Möglichkeiten eines geringeren Stahleinsatzes für Stahlkonstruktionen durch Verbesserung des Materials, der Berechnungsmethoden und rechnerischen Normen betrachtet.

Die Weiterentwicklung der Konstruktionsformen wird als Hauptmöglichkeit für eine Metalleinsparung angesehen.

### **SUMMARY**

Ways of economizing in steel by means of quality increase, improved methods of calculation and better design standards are being discussed.

The improvement of constructional forms is considered as the main possibility of economizing in steel and some principles are presented.

Some unsolved problems of steel economy are discussed.

### **RESUME**

Le rapport traite des possibilités d'économie d'acier grâce à l'amélioration de la qualité des matériaux, des méthodes de calcul et des normes de calcul.

L'amélioration des dispositions constructives est essentielle pour une économie d'acier; les principes de perfectionnement des formes constructives sont indiqués.

On mentionne les problèmes relatifs à l'économie d'acier qui ne sont pas encore résolus.

## I. PROBLEMSTELLUNG

Die Entwicklung der Metallkonstruktionen, die mit dem allgemeinen Fortschritt der Industrie, Wissenschaft und Kultur verbunden ist, zeigt sich im bedeutenden Jahreswachstum des Produktionsvolumens dieser Konstruktionen sowie in der wesentlichen Veränderung der Konstruktionsformen, was auf sich verändernde Anforderungen an viele Baukonstruktionen zurückzuführen ist.

Der technische Fortschritt ist mit einer Intensivierung technologischer Prozesse und einer Vergrösserung der Leistungsfähigkeit technologischer Ausrüstungen verbunden, was zur Erhöhung der Bauwerksgrössen und der Veränderung der Betriebsbedingungen der Bauwerke führt.

Die Entwicklung des Strassen- und Schienentransports erfordert die verstärkte Errichtung von Brücken, teilweise mit grossen Spannweiten.

Die intensive Entwicklung von Kooperationen zwischen verschiedenen Ländern auf dem Gebiete der Wissenschaft und Kultur sowie die Entwicklung der nationalen Wissenschaft und Kultur fordern eine breite Bautätigkeit in Bezug auf Gesellschaftsbauten - Ausstellungshallen, Sportanlagen, Kongressgebäude mit grossen Spannweiten.

Das alles führt zur Erhöhung der Bauwerksbelastung und folglich zur Vergrösserung der rechnerischen Beanspruchungen. Ein grosser Anteil von Bauwerken wird in Gebieten mit sehr kaltem oder heissem Klima errichtet, die weit von Industriezentren liegen.

Es werden neue Konstruktions- und Gebäudetypen für die Erschliessung des Kosmos, die Anwendung der Atomenergie für friedliche Zwecke, die Erdölgewinnung auf dem Meere bei grossen Tiefen usw. ausgearbeitet.

In der UdSSR soll das Produktionsvolumen von Metallkonstruktionen im Zeitraum von 1975 bis 1978 um 1,4-1,5 fache und zwar bis zur Erreichung von 8-10 Mln t im Jahr steigen.

Die Mineralschätze auf der Erde sind jedoch begrenzt, die Erzgewinnung ist mit steigenden technischen Schwierigkeiten und Erhöhung der Preise verbunden. Daraus folgt die dringende Notwendigkeit Metall einzusparen, besonders für Baukonstruktionen. In der UdSSR soll die Metalleinsparung im Bauwesen im Zeitraum von 1975 bis 1978 5-7% betragen.

Eine Metalleinsparung für Baukonstruktionen wird in drei Richtungen realisiert:

1. Bestimmung der rationellen Anwendungsgebiete von Metallkonstruktionen - Bestimmung der Bauwerke, in denen Metall höchsteffektiv seine spezifische Eigenschaften zeigt und sein Austausch gegen andere Materialien nicht zweckmässig ist;

2. Senkung des Metalleinsatzes in den Baukonstruktionen durch Verminderung der Querschnitte zur Kräfteaufnahme;

3. Erhöhung der Lebensdauer von Metallkonstruktionen.

Die erste Richtung stellt eine technisch-ökonomische Aufgabe dar, deren Lösung in gewissem Masse von konjunkturellen

Bedingungen abhangig ist, die sich mit der Zeit ändern und in verschiedenen Ländern nicht gleich sind.

Die zweite Richtung besitzt verschiedenste Lösungsmöglichkeiten in Abhängigkeit von den gestellten Aufgaben und ist in der Regel nicht konjunkturbedingt.

Die dritte Richtung löst am vollständigsten die Aufgabe der Erhaltung der Materialquellen. Sie ist heute sehr aktuell, da einerseits der Umfang der Bauobjekte wächst und folglich die Preise sich erhöhen und da andererseits der physische und moralische Verschleiss der Konstruktionen im Zeitalter des technischen Fortschrittes aufgrund rascher Änderungen der Betriebsbedingungen und Intensivierung der Produktion schneller wird.

Die Entwicklung der technologischen Produktionsprozesse führt zu einer früheren moralischen Amortisation der Gebäude und deren Konstruktionen, während der Umfang der Gebäude und deren physikalische Lebensdauer infolge der Verbesserung der Materialien, Projektierung und Herstellungsverfahren höher werden. Dieser Widerspruch muss durch Analyse der perspektivischen Entwicklung der Produktion gelöst werden. Die Ergebnisse dieser Analyse müssen Eingang in die Projektierung finden. Die Aufdeckung und wissenschaftliche Lösung dieses Widerspruches erlaubt dieses Problem zu beseitigen.

Im vorliegenden Beitrag werden Probleme zur Lösung von Aufgaben der zweiten Richtung, der Stahleinsparung, d.h. Möglichkeiten der Gewichtsverminderung von Metallkonstruktionen betrachtet. Das ist hauptsächlich eine ingenieur-technische Aufgabe, deren Lösung sich auf der Vervollkommnung der verwendeten Baumaterialien, Berechnungsmethoden und Bauformen gründet. Man muss dabei berücksichtigen, dass die Gewichtsverminderung für eine Konstruktion nicht das einzige Kriterium einer rationellen Projektierung ist.

Das Bestreben nach Materialeinsparung führt unbedingt zu Widersprüchen mit den Forderungen nach Reduzierung des Aufwandes für die Herstellung und in manchen Fällen der Montage von Konstruktionen.

Die schöpferische Aufgabe eines Ingenieurs besteht in der dialektischen Lösung dieses Widerspruches durch Suche einer optimalen Lösung für die Gesamtheit aller Kennwerte. Das allgemeinste Kriterium für eine optimale Konstruktion ist ihr Preis. Die optimale Lösung ist immer konjunkturrell bedingt. Sie kann für verschiedene Länder und verschiedene Zeiten verschieden sein, da das Verhältnis bezogener Materialkosten und Arbeit in verschiedenen Ländern zu verschiedener Zeit sich unterscheidet.

Wir werden unter "erleichterten" (leichteren) Konstruktionen solche verstehen, bei deren Entwurf das Hauptaugenmerk des Konstrukteurs auf Verringerung des Eigengewichts - Einsparung von Metall gerichtet war.

## II. MATERIALVERBESSERUNG

### II. 1. Anwendung von hochfesten Stählen

Die Qualitätsverbesserung des Materials, das in Metallkonstruktionen verwendet wird, entsprechend den Betriebsbedingungen



eines Bauwerkes und folglich den Bedingungen für die Projektierung, ist das erste Kriterium für die Verringerung des Konstruktionsgewichtes.

Die Lösung dieses Problems vollzieht sich in folgenden Richtungen:

- Erhöhung der Stahlfestigkeit;
- Anwendung von Stahlseilen und hochfesten Drähten;
- Anwendung von leichten Legierungen;
- Vervollkommnung des Profilangebotes.

Die Anwendung von hochfesten und niedriglegierten Stählen ist durch die obenerwähnte Tendenz zur Vergrößerung der Abmessungen von Gebäuden und Bauwerken, der Erhöhung technologischer und anderer Beanspruchungen und der damit verbundenen Notwendigkeit Konstruktionen zu projektieren, die Beanspruchungen bis zu einigen tausend Tonnen aufnehmen können, zu erklären.

Am Beispiel des Baues von Hochöfen ist ersichtlich, dass die Vergrößerung des Umfanges von technologischen Ausrüstungen die Anwendung von hochfesten Stählen fördert und den Stahlverbrauch für eine Fertigungseinheit (Abb. 1) verringert. Denselben Effekt erhält man bei der Vergrößerung von Behältern, Gasometern usw.

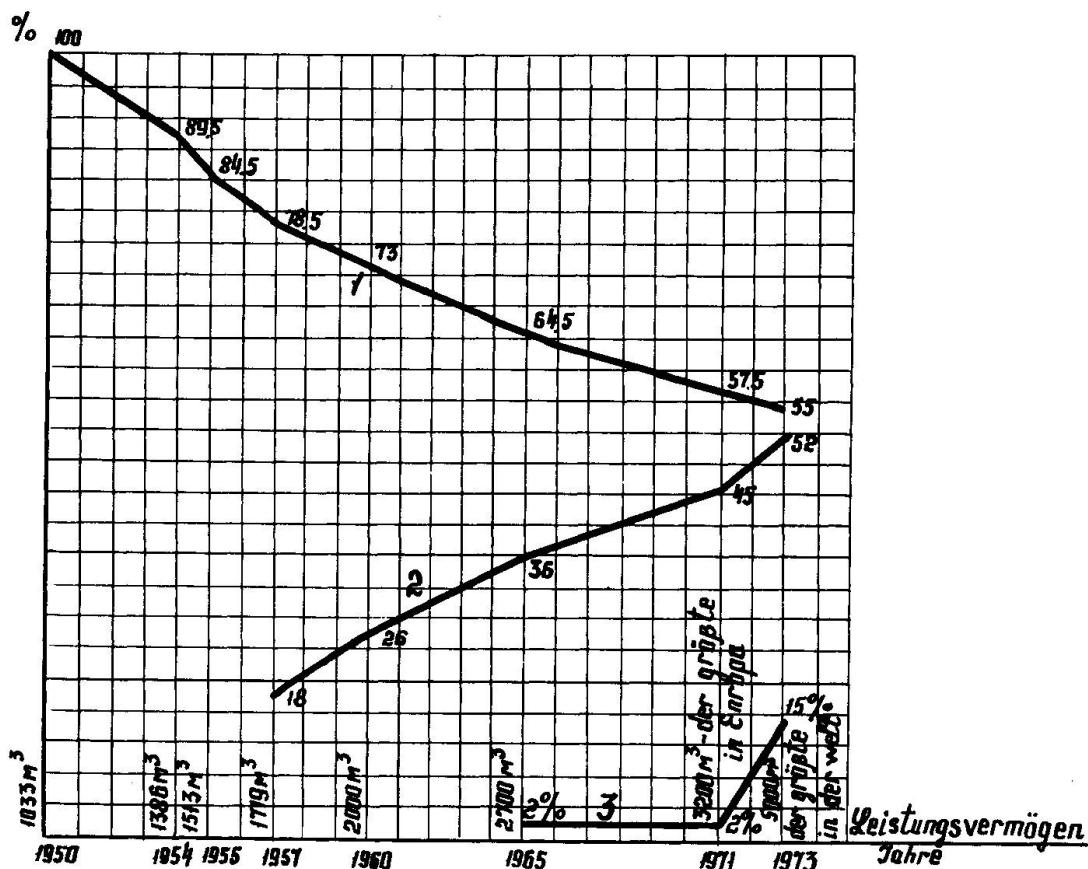


Abb. I. Vergrößerung des Hochöfenvermögens im Laufe der Zeit:

- 1 - Verminderung des Stahlverbrauches für die Herstellung von einer Tonne Roheisen;
- 2 - Anwendung von Stählen erhöhter Festigkeit;
- 3 - Verringerung des Einsatzes von hochfesten Stählen

Unter diesen Bedingungen sind Konstruktionen aus traditionellen Baustählen mit einer Fließgrenze von  $25-30 \text{ kp/mm}^2$  ungeeignet, da sie materialintensiver sind und in manchen Fällen ihre Herstellung technisch überhaupt nicht möglich ist.

Heute kommen für Stahlkonstruktionen Stähle bis zur Fließgrenze von  $120 \text{ kp/mm}^2$  zu Verwendung, in der Perspektive wird die Metallurgie Stähle mit noch höheren Bruchgrenzen anbieten (bis zu  $400-700 \text{ kp/mm}^2$ ). Durch Verwendung von hochfesten Stählen können in rationell projektierten Konstruktionen Metalleinsparungen von mehr als 60% erreicht werden (Abb.2). Besonders effektiv ist ihre

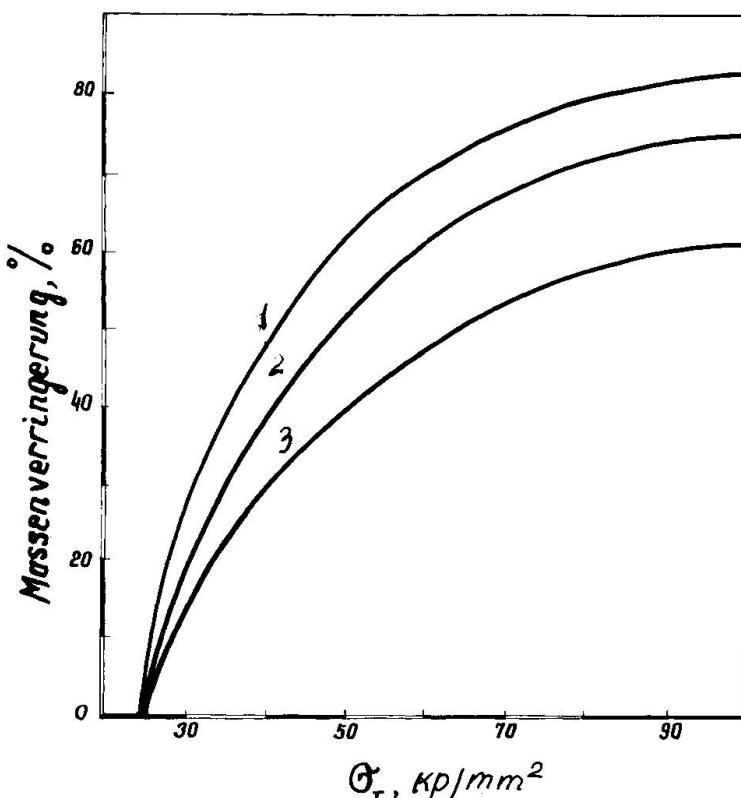


Abb. 2. Einfluss der Stahlfestigkeit auf Verminderung der Konstruktionsmasse:

- 1) Tragwerke;
- 2) zugbeanspruchte Elemente;
- 3) Rahmen von Industriegebäuden

Anwendung in Konstruktionen mit überwiegenden Zugbeanspruchungen - Rohrleitungen, Behälter und andere Gefäße mit hohem Innendruck - zugbeanspruchte Überdachungen (Membranen), weitgespannte Hängekonstruktionen usw. Effektiv ist die Anwendung von hochfesten Stählen für weitgespannte und verfahrbare Konstruktionen, wo die Eigenmasse Einfluss auf die rechnerischen Belastungen ausübt.

In den meisten Industrieländern werden gegenwärtig drei Gruppen niedriglegierter Stähle verwendet, die ihrer Festigkeit nach unterteilt werden in: 1) höherfeste Stähle mit  $\sigma_y = 30-40 \text{ kp/mm}^2$ ; 2) hochfeste Stähle mit  $\sigma_y = 45-100 \text{ kp/mm}^2$  und 3) höchstfeste Stähle mit  $\sigma_y = 120-200 \text{ kp/mm}^2$ .

Die Anwendung hochfester Stähle wird durch einige Faktoren behindert. Die Stahlfestigkeit kann durch Legierungsmetalle, ther-



mische und mechanische Behandlung (Recken) erhöht werden. Mit der Festigkeitserhöhung des Stahles steigt sein Preis, was die Verwendung von hoch- und höchstfesten Stählen bedeutend begrenzt.

Die Stahlpreise werden hauptsächlich durch die Legierungsmetalle erhöht (Molybdän, Vanadium u.a.). Eine der Möglichkeiten zur Kostensenkung hochfester Stähle ist die Erhöhung ihrer Festigkeit durch thermische und mechanische Behandlung.

Die Anwendung von hochfesten Stählen wird auch dadurch begrenzt, dass sie oft den hohen Anforderungen an die Stähle, die beim Entwurf vieler Haupttragteile von Metallkonstruktionen gestellt werden, nicht gerecht werden - Dauerfestigkeitsgrenze, Riss sicherheit und Kältebeständigkeit, gute Schweißbarkeit und Bearbeitbarkeit.

Die Dauerfestigkeitsgrenze der meisten hochfesten Stähle ist nicht viel höher als die des gewöhnlichen kohlenstoffarmen Stahles, darum ist ihre Anwendung für mehr oder weniger zyklisch beanspruchte Konstruktionen nicht zweckmäßig.

Konstruktionen aus hochfesten Stählen sind teurer als aus kohlenstoffarmen Stahl; die vorhandenen technologischen Ausrüstungen unterliegen einem schnelleren Verschleiss, erlaubt keine hohe Produktivität oder erweist sich sogar als überhaupt nicht anwendbar.

Die Ausnutzung von hochfesten Stählen für auf Druck und Druck und Biegung beanspruchte Elemente ist durch Stabilitätsbedingungen begrenzt. Dieses Problem wird nicht nur durch Erarbeitung entsprechender Konstruktionsformen sondern auch durch die Suche nach der Möglichkeit der Erhöhung des Elastizitätsmoduls gelöst werden.

Neben der Anwendung von hochfesten Stählen für Walzprofile wird eine bedeutende Verringerung des Konstruktionsgewichtes durch die Anwendung von Stahlseilen, die eine hohe Festigkeit besitzen, erreicht.

Deshalb sind für den breiten Einsatz hochfester Stähle in Baukonstruktionen intensive Untersuchungen zur Kostensenkung der Stähle, Erhöhung ihrer Dauerfestigkeit, Riss sicherheit und Kältebeständigkeit, zur Ausarbeitung rationeller Konstruktionsformen und zur Technologie der Herstellung von Konstruktionen notwendig.

Es muss betont werden, dass die Gebiete der rationellen Anwendung hochfester Stähle nicht genügend erforscht sind und gleichzeitig mit diesen Untersuchungen müssen neue Konstruktionsformen ausgearbeitet werden.

## II.2. Anwendung leichter Legierungen

Von den leichten Legierungen werden gegenwärtig im Bauwesen in vergleichweise grossem Umfange verschiedene Aluminiumlegierungen verwendet. Aluminiumlegierungen besitzen ein fast dreifach geringes spezifisches Gewicht als Stahl, woraus sich ihre Möglichkeiten bei der Gewichtsverminderung in Stahlkonstruktionen ergeben. Die Rohstoffbasis für Aluminium ist grösser als die für Stahl - die Erdrinde enthält 7,5% Aluminium und 4,5% Eisen, dies ist eine Voraussetzung für die breite Anwendung von Aluminiumlegierungen in Konstruktionen.

Mit der Anwendung von Aluminiumlegierungen wird eine Gewichtseinsparung in zwei Richtungen erzielt:

1. Durch die Anwendung von Aluminiumlegierungen für die Hüllkonstruktionen ergibt sich eine Verringerung der beständigen Belastung für die Tragkonstruktion und damit ihre kleineren Abmessungen.

2. Durch die Anwendung von Aluminiumlegierungen in Tragkonstruktionen.

### II. 3. Verbesserung des Profilangebots

Die Gewichtsverminderung von Baukonstruktionen und eine Metalleinsparung wird ebenfalls durch die Verbesserung des Profilangebots und Verwendung rationeller Profile erreicht. Die Ausarbeitung besonders rationeller Profile ist in erster Linie mit der Anwendung hochfester Stähle und Aluminiumlegierungen verbunden, für die gewöhnliche Profile oft unzweckmäßig sind, besonders in gedrückten Elementen.

Die Verbesserung von traditionellen Walzprofilen (I-, L-Profilen, Winkelstähle usw.) entwickelt sich in Richtung der Verminderung der Wandstärken ihrer Bestandteile (Gurte, Stege usw.), der Bestimmung eines wissenschaftlich begründeten Systems der Profilabstufung und der Ausarbeitung leistungsfähigerer Walzprofile. Die Änderung z.B. der geometrischen Kennwerte für das Sortiment der I-Profile, die im Forschungs- und Projektierungsinstitut für Stahlkonstruktionen in Moskau (ZNIIPSK) ausgearbeitet wurde, ergibt eine Erhöhung ihrer Effektivität von 5-7% (Abb.3).

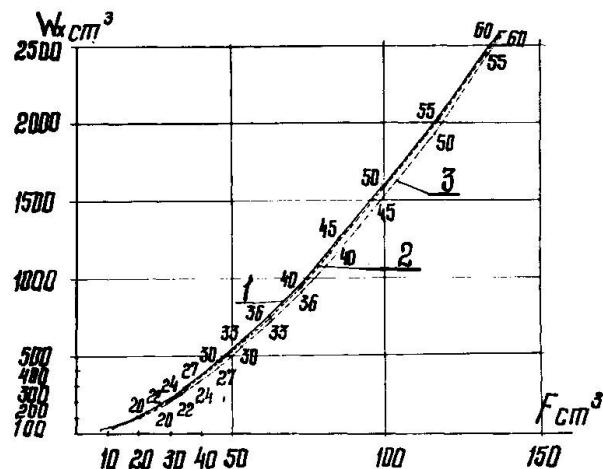


Abb. 3. Erhöhung der Effektivität der I-Walzprofile:

- 1) I-Profile mit parallelen Flanschen (ZNIIPSK);
- 2) I-Profile mit parallelen Flanschen (nach GOST 8239-72);
- 3) I-Profile mit parallelen Flanschen (nach EURONORM).



Im modernen Bauwesen wird eine steigende Verwendung von Rohrprofilen verzeichnet, die unter gewissen Umständen das Gewicht der Konstruktion wesentlich erniedrigt. Entsprechend den Besonderheiten von Rohren mit rundem Querschnitt wird die maximale Metalleinsparung dann erreicht, wenn sie für gedrückte Stäbe und in hohen windbelasteten Konstruktionen verwendet werden. Rohrprofile sind für Konstruktionen aus hochfesten Stählen und Aluminiumlegierungen besonders zweckmäßig, darum werden sie für diese Konstruktionen bevorzugt.

Der Austausch von Winkelprofilen durch Rohrprofile bei Verwendung von niedriglegiertem Stahl C 44/33 erlaubt eine Gewichtseinsparung bis zu 30%, bei dem hochfesten Stahl C 70/60 bis zu 50%. Bei offenen, auf Wind beanspruchten Bauwerken (Türme, Maste) kann eine Metalleinsparung bei Verwendung von Rohren bis 50% erreicht werden.

In Fachwerkbündeln werden Metalleinsparungen nicht nur durch die Verwendung "leichterer" Druckstäbe, sondern auch durch die Vereinfachung der Bauform, durch Verzicht auf zusätzliche Konstruktionsteile (Knotenbleche, Einlagen usw.) erreicht.

Neben den Rohrprofilen mit rundem Querschnitt finden Stabsysteme aus dünnwandigen Rohrprofilen mit rechteckigem Querschnitt weitestgehende Verwendung. Die konstruktiven Lösungen mit rechteckigen Rohren sind einfacher und technologiegerechter, deshalb besitzt ihre Anwendung eine grosse Perspektive.

Metalleinsparend sind Konstruktionen aus dünnwandigen kaltgeformten Profilen. Sie werden bevorzugt für Konstruktionen mit geringen Kräften in den Stäben, in Fällen, in denen die Standsicherheit dominierend ist oder wo Stäbe aus Walzprofilen mehrteilige Querschnitte fordern würden oder zu schwer wären. Das Konstruktionsgewicht erhöht sich durch positive Toleranzen in Walzprofilen. Die Verschärfung der Forderungen an die Genauigkeit der geometrischen Abmessungen der Walzprofile ergibt eine zusätzliche Metalleinsparung. Diese Frage ist noch nicht untersucht, fordert jedoch ihre Klärung.

### III. VERBESSERUNG DER BERECHNUNGSMETHODEN

Möglichkeiten der Gewichtsverringerung und der Metalleinsparung bestehen in der Vervollkommenung der Berechnungsmethoden für die Bauwerke. Die Berechnung nach Grenzzuständen, die in vielen Ländern üblich ist, kann hervorragend dazu beitragen, die auf diesem Gebiet vorhandenen Reserven aufzudecken und auszunutzen. Das Hauptgewicht wird dabei auf die Untersuchung und Präzisierung der Lasten und Einwirkungen gelegt, die von den Konstruktionen im Verlaufe der Errichtung und im Betriebszustand aufzunehmen sind.

Ungenügendes Wissen um faktische Belastungen und andere Einwirkungen führt zu nicht genügender Konstruktionssicherheit, aber noch öfter zu unnötigen Reserven, da der Projektant aus Mangel an zuverlässigen Entwurfsdaten gezwungen ist, für die Konstruktion eine zusätzliche Sicherheit einzuführen. Die Erforschung der Belastungen und Einwirkungen muss ein intensiver und ununterbrochener Prozess sein, da der Charakter und die Grösse der rechnerischen Lasten und Einwirkungen sehr verschiedenartig ist. Sie müssen infolge der Entwicklung aller Produktionsarten (technologi-

sche Belastungen), der Veränderung der Abmessungen und räumlich-gestalterischen Lösung der Bauwerke, der Ausarbeitung neuer Bauwerksarten und konstruktiven Formen, sowie der Erschliessung neuer Baugebiete (atmosphärische Belastungen) korrigiert werden.

Als Beispiel für eine ständig sich verändernde und verschiedenartige Einwirkung kann die Belastung durch Brückenkräne auf die Tragkonstruktion von Industriegebäuden genannt werden. Die Kranlasten sind von vielen Institutionen untersucht worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen erlaubten die normativen und technischen Kranlasten in den sowjetischen Baunormen etwas zu präzisieren, der Überlastungskoeffizient und die Kombinationsbeiwerte für Vertikaldruck in Abhängigkeit vom Arbeitsregime der Kräne und deren Tragfähigkeit zu differenzieren. Der Überlastungskoeffizient für Vertikaldrücke ist für schwere Kräne von 1,3 auf 1,2 vermindert worden, der Überlastungskoeffizient für die Berechnung der örtlichen Beanspruchungen wurde differenziert. Trotzdem können die erhaltenen Untersuchungsergebnisse gegenwärtig den sich ändernden Entwurfsbedingungen nicht ganz gerecht werden. Mit der Erhöhung der Tragfähigkeit der Brückenkräne bis 1000-1200 t ist wahrscheinlich eine weitere Differenzierung der Überlastungskoeffizienten notwendig. Bei ihrer Verminderung für Kräne grosser Tragfähigkeit ist eine weite Differenzierung der Kranbeanspruchungen (vertikale und horizontale) notwendig, die vom Charakter des durchzuführenden technologischen Prozesses abhängt, da Kräne ein und derselben Tragfähigkeit unter verschiedenen Betriebsbedingungen verschiedene Beanspruchungen der Konstruktion hervorrufen. Fast nicht erforscht sind auch die Beanspruchungen der Bauwerke infolge untergehängter Transporteinrichtungen, die in verschiedenen Industriezweigen weit verbreitet sind.

Reserven für die Gewichtsverminderung der Konstruktionen liegen in der Präzisierung der Kombinationsbeiwerte für alle Beanspruchungsarten sowohl für Tragkonstruktionen von Industriegebäuden als auch anderer Konstruktionsarten und Bauwerke.

Beim Entwurf turm- und mastartiger Bauwerke mit immer wachsender Höhe (bis 1000 m) ist es notwendig, alle atmosphärischen Beanspruchungen zu präzisieren (Abb. 4).

Atmosphärische Einwirkungen sind auch im Zusammenhang mit der Bauentwicklung in entfernt liegenden Gebieten mit wenig bekannten klimatischen Bedingungen zu untersuchen und zu präzisieren.

Die Möglichkeit der Senkung der Transportlasten bei Vergrösserung der Brückenspannweiten hat eine grosse Perspektive. Diese Frage ist nur wenig untersucht, obwohl in der ganzen Welt die Tendenz zur Vergrösserung der Brückenspannweiten zu verzeichnen ist.

Der Materialsicherheitskoeffizient für hochfeste Stähle, die eine breite Anwendung finden, ist ungenügend untersucht.

Besonders wenig erforscht sind Anpassungsfaktoren, besonders für räumliche und neue Konstruktionsformen. Die Erforschung dieser Koeffizienten kann nur dann zuverlässig sein, wenn sie:

- 1) auf der Grundlage einer theoretischen Verallgemeinerung der Untersuchungen des Verhaltens wirklicher Bauwerke durchgeführt wird,
- 2) wenn eine systematische Beobachtung der Bedingungen, unter denen die Konstruktionen im Betriebszustand arbeiten, vorgenommen wird,
- 3) wenn eine Sammlung statistischer und anderer Daten erfolgt und
- 4) wenn die physikalischen Materialeigenschaften untersucht werden.

Eine Materialeinsparung kann auch durch Verbesserung der Berechnungsmethoden auf dem Wege der Annäherung der Berechnungs-

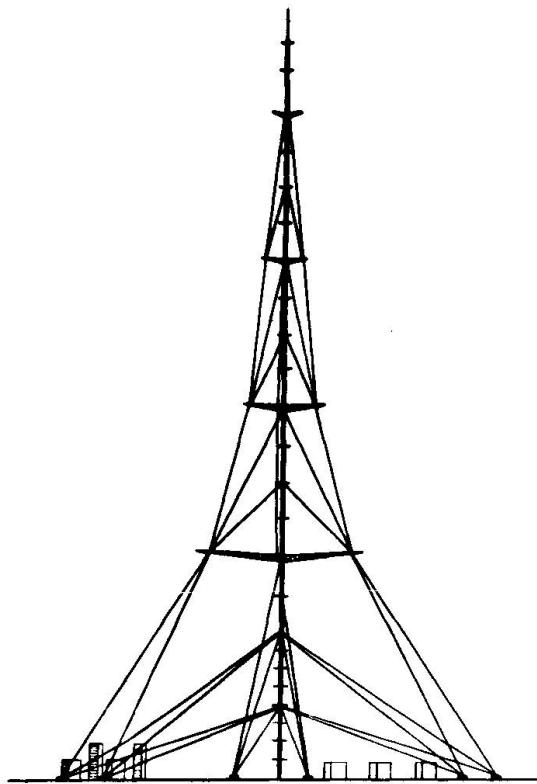


Abb. 4. Mast von 1000 m Höhe

schemas an das wirkliche Verhalten der Konstruktion erreicht werden. d.h. Berücksichtigung plastischer Verformungen, nichtlinearer Arbeit der Konstruktionen, räumliche Arbeit der Bauwerke usw.

In der UdSSR sind Probleme der räumlichen Arbeit der Tragstrukturen von Industriegebäuden bei Belastung durch Brückenkräne ausführlich erforscht werden. Die theoretischen und experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Berücksichtigung der räumlichen Tragwirkung der Bauwerke die rechnerischen Momente in den Querrahmen um 40-50% herabsetzt und die horizontalen Rahmenverschiebungen um das fünf- bis zehnfache vermindert. Die räumliche Arbeit des Tragwerkes wird bei horizontalen Kranbelastungen durch horizontale Verbände und bei untergehängten Transporteinrichtungen durch durchgehende vertikale Verbände gewährleistet, die zwischen den Dachbindern angeordnet werden.

Diese Möglichkeiten der Vervollkommenung der Berechnungsme-  
thoden werden heute durch Verwendung von Elektronenrechnern ermöglicht, die gestatten in praktischen Berechnungen zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen, die auf die Arbeit eines Bauwerkes Einfluss haben.

#### IV. ENTWICKLUNG DER KONSTRUKTIONSFORMEN

Die Entwicklung der Konstruktionsformen ist die Hauptrichtung in der Lösung des Problems der Gewichtsverringerung von Trag- und Hüllkonstruktionen. Sie schliesst in sich auch Probleme der Materialverbesserung und der Vervollkommenung der Berechnungsverfahren ein, gleichzeitig besitzt sie jedoch eine selbständige Bedeutung, hat ihre eigenen Entwicklungsprinzipien und Gesetzmässigkeiten.

Die Konstruktionsform bestimmt letztlich entscheidend die ökonomische Effektivität eines Bauwerkes.

Der Bauwerksentwurf muss bestimmte Betriebsanforderungen erfüllen und die Konstruktionsform muss diesen Anforderungen aufs beste gerecht werden. Den Betriebsanforderungen können verschiedene konstruktive Lösungen gerecht werden, darum sind die Konstruktionsformen verschiedenartig und die schöpferische Aufgabe eines Konstrukteurs besteht darin, aus einer Vielfalt der möglichen Lösungen diejenige auszusuchen, die außer der Gewährleistung der Betriebsbedingungen ökonomisch im Materialverbrauch und in technologischer Hinsicht ist.

Im vorliegenden Beitrag wird die Frage der Schaffung leichterer Konstruktionen, die dem Materialverbrauch nach optimal sind, betrachtet.

Zu der heutigen Zeit gibt es bestimmte Richtungen, Methoden und Tendenzen, deren Realisierung im einzelnen und besonders im komplexen eine wesentliche Senkung des Eigengewichts von Konstruktionen gestattet.

Diese Methoden und Tendenzen können als Grundprinzipien eines optimalen Entwurfs betrachtet werden, deren Ausnutzung die Gewichtsverringerung von Konstruktionen gewährleistet.

Die wesentlichsten Prinzipien sind folgende:

1. Optimierung der Konstruktionsform nach dem Materialverbrauch;
2. Anwendung vorgespannter Konstruktionen;
3. Kombination der Funktionen in einzelnen Bauteilen;
4. Materialkonzentration;
5. Anwendung von zugbeanspruchten Oberflächen und Seilen;
6. Anwendung räumlicher Systeme.

Die aufgezeigten Prinzipien sind am effektivsten in Zusammenwirkung, aber besitzt auch jedes eigenständige Bedeutung.

#### IV.1. Optimierung der Konstruktionsform

Unter Optimierung der Konstruktionsform versteht man den Erhalt eines analytisch ausgearbeiteten Konstruktionsschemas mit den geometrischen Abmessungen, den Stabkonstruktionen und ihren Verbindungen, sowie der Stahlmarke, bei dem das Gewicht der Konstruktion minimal wird. Beim Entwurf einer mehrschiffigen Brücke oder einer Kranbahn werden z.B. folgende Parameter gesucht: Spannweite der Hauptbinder (Balken), ihre Höhe, Fachwerktyp, Stabform (Walzprofile, Rohre, kaltgedrückte Profile), Verbindungsart usw.

Die grosse Anzahl von variablen Parametern, die eine optimale Konstruktionsform bestimmen, gibt bei analytischer Lösung der Aufgabe Bestimmungsgleichungen mit vielen unabhängigen Veränderlichen. Mit Hilfe von Elektronenrechnern können komplizierte Optimierungsaufgaben gelöst werden, dabei wird diese Technik mit allergrösster Effektivität eingesetzt.

Gegenwärtig wendet man in der Praxis zwei Formen der optimalen Projektierung an.

Die erste Form ist die Analyse von technisch-ökonomischen Varianten, die vom Ingenieur vorgegeben werden. Die Effektivität einer gewählten Variante hängt hier von der Erfahrung des Projektanten ab. Die getroffene optimale Lösung ist in diesem Falle nicht streng objektiv, gibt aber einen wesentlichen ökonomischen Effekt.



Die zweite Form der optimalen Projektierung ist die automatisierte Projektierung, in deren Programm die Optimierungsbedingungen eingegeben sind. In diesem Falle wird die optimale Lösung nicht vom Autor des Projekts beeinflusst, sie wird von der Maschine auf Grundlage der im Programm eingegebenen objektiven Daten erarbeitet.

Es ist eine weitere Vervollkommnung der Methode der optimalen Projektierung auf der Grundlage einer allgemeineren mathematischen Wiedergabe des wirklichen Verhaltens der Konstruktion, beruhend auf der Theorie der mathematischen Programmierung und Vervollkommnung der Rechentechnik möglich.

Eine besondere Bedeutung besitzt die Optimierung geometrischer und physikalischer Parameter von Bauwerken bei der Lösung von Problemen der Unifizierung und Standardisierung von Konstruktionsformen verschiedener Bauwerke und Konstruktionstypen. Typisierung und Standardisierung der Baukonstruktionen ist an und für sich schon eine progressive Richtung in der Entwicklung der Konstruktionsformen, aber in Verbindung mit der Optimierung ihrer Parameter führt sie zu einer wesentlichen Materialeinsparung in Massenkonstruktionen.

Ebenso wichtig ist es optimale geometrische und physikalische Parameter für unikale, komplizierte und wenig untersuchte Konstruktionsformen zu finden, für deren Projektierung nur geringe Erfahrungen vorhanden sind.

In der UdSSR wurden optimale Konstruktionslösungen für Tragelemente von Industriegebäuden (Binder, Stützen, Kranbalken von Brücken) sowie von Turm- und Mastkonstruktionen, weitgespannten Seilkonstruktionen für Dächer, Behältern, Luftleitungen, Luftherzern und vielen anderen Bauwerken untersucht.

#### IV. 2. Anwendung der Vorspannung und Steuerung der Belastungen

Die Schaffung einer Vorspannung in Metallkonstruktionen schafft die Möglichkeit ihre Effektivität zu erhöhen - es wird eine Festigkeit, Zuverlässigkeit und Steifigkeit erreicht, die den angegebenen Betriebsbedingungen gerecht wird; bei einem Materialverbrauch, der geringer ist als in vergleichbaren Konstruktionen ohne Vorspannung.

Die Forschungen betrafen allgemeine theoretischen Fragen, die Untersuchung des wirklichen Tragverhaltens der Konstruktionen, die Ausarbeitung von Berechnungsmethoden, die Schaffung neuer rationeller Konstruktionsformen und die Optimierung der geometrischen und physikalischen Parameter.

Technisch-ökonomische Untersuchungen wurden in Richtung der Bestimmung der effektiven Anwendungsgebiete der Vorspannung durchgeführt.

Es gibt eine ganze Anzahl ausgearbeiteter und erprobter technischer Verfahren zur Schaffung von Vorspannungen, die es gestatten diese praktisch in der Projektierung aller Arten von Konstruktionen und Gebäuden einzusetzen.

Die Vorspannung erweitert die Anwendungsmöglichkeiten von hochfesten Stählen, Stahlseilen und hochfesten Drähten (in Zugbändern, Hängekonstruktionen) und trägt damit zusätzlich zur Gewichtsverringerung der Konstruktionen bei.

Theoretisch ist bewiesen, dass durch Aufbringung von Druckvorspannungen in steifen Zugstäben mit Hilfe von Zugbändern eine

Metalleinsparung bis zu 50% erreicht werden kann.

Bei der Aufbringung von Vorspannungen mit Hilfe von Zugbändern kann in Einfeldträgern eine Metalleinsparung von 15-18%, in Bindern unter Verwendung von niedriglegierten und hochfesten Stählen bis zu 40% und in Vollwandrahmen von 10-15% erhalten werden.

Besonders effektiv ist die Anwendung von Aluminiumkonstruktionen, die mit Stahlzugbändern vorgespannt werden, da der Elastizitätsmodul eines Zugbandes um 2,5-3mal grösser als der der Aluminiumlegierungen ist. Die Festigkeit solcher Konstruktionen ist in der Regel höher und die Kosten sind besonders niedrig.

Sehr effektiv von seiten der Metalleinsparung ist die Versteifung von Druckstäben durch vorgespannte Sprengwerke. Solche Konstruktionen finden ihre Anwendung für Maste, Freileitungsmaste und ähnliche Systeme (Abb. 5).

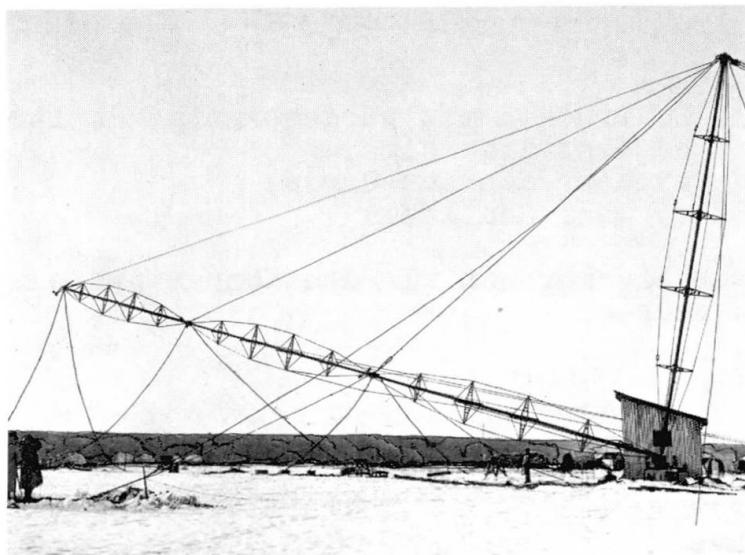


Abb. 5. Aufrichten eines Mastes mit vorgespanntem Sprengwerk

Für weitgespannte Überdeckungen ist eine weite Auswahl von konstruktiven Lösungen möglich, in denen sich die Aufbringung der Vorspannung in rationellem Umfang mit der gestalterischen Lösung paart. Als Beispiel kann die Überdachung des Sportsaales in Karlsruhe (BRD) angeführt werden.

Eine breite Verwendung findet die Vorspannung für Brückensfelder und Brückenübergänge. In den steifen Systemen der Brückensfelder (Träger, Binder) wird die Vorspannung durch Zugbänder, Auflagerversetzungen und zeitweilige Zusatzlasten aufgebracht.

In der UdSSR wurden einige Brücken entworfen und ausgeführt, in denen das Haupttragsystem der Brückentöffnung ein Binder aus Stahlseilen ist, dessen Steifigkeit durch Vorspannen gewährleistet wird (Abb. 6). Die Stäbe der Binder aus Stahlseilen können, da sie vorgespannt sind, Druckbeanspruchungen aus den zeitweiligen Belastungen aufnehmen.

Eine bedeutende Metalleinsparung kann durch Vorspannung des Körpers zylindrischer Gefässe und Rohrleitungen erreicht werden, indem sie mit hochfesten Seilen oder Bändern mit vorgegebener Zugspannung umgewickelt werden (Abb. 7). Dieses Verfahren

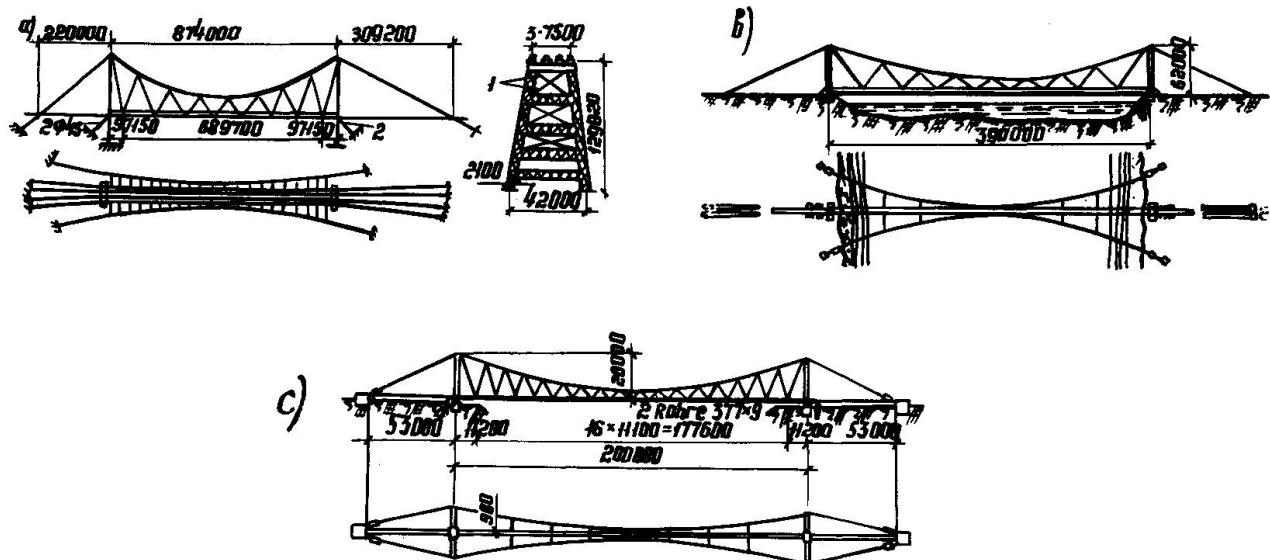


Abb. 6. Brücken mit vorgespannten Seiltragwerken  
 a) über die Wolga;  
 b) über den Amu-Darja;  
 c) über den Kuban

erlaubt den Metallverbrauch für den Körper zylindrischer Gefässer bis zu 40% zu senken.

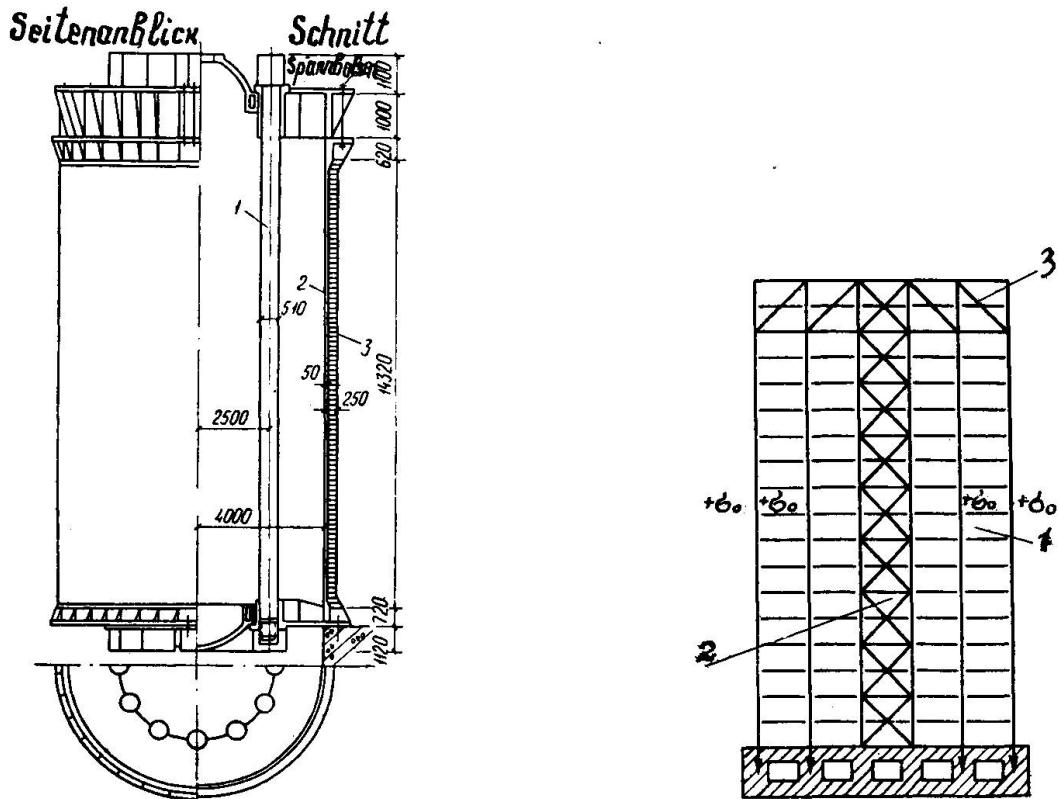


Abb. 7. Druckbehältergehäuse, mit Drähten vorgespannt

Abb. 8. Gebäudetragwerk mit vorgespannten Seilen:  
 1) Vorspannung;  
 2) Stahlwand;  
 3) gespannte Ummwicklung

Besonders effektiv sind solche Konstruktionen für Hochdruckbehälter, wo die Verminderung der Wandstärke des Gehäuses nicht nur den Metallverbrauch verringert, sondern auch die Herstellung vereinfacht.

Für die Tragkonstruktion mehrgeschossiger Gebäude werden Systeme verwendet, die aus einem steifen Zentralkern mit angehängten Stahlseilen bestehen, die die Zwischendecken tragen (Abb.8).

Bei vorgespannten Seilen gewinnt dieses System eine zusätzliche Steifigkeit, die eine Gewichtsverringerung der Konstruktion des steifen Kernes gestattet.

Die Vorspannung findet vielfältige Verwendung für leichte Dach- und Wandplatten mit dünnen Blechüberzügen. Das Aufbringen der Vorspannung in den Blechen gestattet es, sie in die gemeinsame Arbeit mit der Tragstruktur auf Druck einzubeziehen und erhöht die allgemeine Steifigkeit der Platten. Dachplatten mit vorgespannten Blechüberzügen haben Spannweiten von 6 bis 18 m. Bei Spannweiten von 12-18 m werden die Platten durch Gittersprengwerke und Fachwerke versteift. Die Ausbildung eines Hangardaches (Scheremetjewo) aus Deckenplatten von 12 m Spannweite und 3 m Breite mit einem Belag aus einer Aluminiumlegierung und einer Stahlgitterunterkonstruktion ergab eine Gewichtsverringerung der Konstruktion um etwa 300 t.

Eine bedeutende Gewichtsverringerung für Hüll- und Tragkonstruktionen kann dadurch erreicht werden, dass für Außenwände, untergehängte Decken und Dächer dünne Aluminiumbleche verwendet werden, die auf das Gebäude skelett aufgespannt werden.

Bei Errichtung des Hochspannungsgebäudes des Forschungsinstituts der Kabelindustrie in Moskau wurden die Fassadenwände und das Dach aus vorgespannten Al-Bändern hergestellt. Die Al-Blechhaut wurde als umhüllende Konstruktion und technologischer Dichtungsmantel eingesetzt.

#### IV.3. Kombination der Funktionen in einzelnen Konstruktionselementen

Bei Verwendung eines Konstruktionselementes für die Erfüllung mehrerer Funktionen ergibt sich eine bedeutende Gewichtsverringerung für die Metallkonstruktionen. Gewöhnlich werden die Funktionen der Hüll- und Tragkonstruktionen sowie der Dacheindeckung und der Kranbahne kombiniert.

Bei den obenerwähnten Deckenplatten werden zwei Grundsätze der optimalen Projektierung realisiert - Kombination der Funktionen der Trag- und Hüllkonstruktion und die Vorspannung.

Die gleichen Grundsätze werden beim Entwurf von Raumzellendecken weitgespannter Gebäude mit untergehängten Decken ohne Oberlicht verwirklicht.

Die Konstruktion wird als räumlicher Block mit zwei vertikalen Bindern und vorgespannten oberen und unteren Blechüberzügen (Abb. 9) ausgeführt.

Die Vorspannung des oberen Überzuges (Zug) gestattet es ihn zusammen mit den oberen Bindergurten auf Druck zu beanspruchen. Gleichzeitig erfüllt der obere Überzug die Funktion der Deckenplatte und seine Vorspannung erhöht die Steifigkeit des Systems. Die erhöhte Steifigkeit des Systems erlaubt es die Binderhöhe gegenüber dem ebenen System wesentlich zu vermindern und demzu-

folge auch die Wändehöhe und das Bauvolumen.

Im Raum zwischen den Bindern werden technologische Ausrüstung und Versorgungsleitungen angeordnet.

Die räumliche Steifigkeit der Konstruktion erlaubt eine Blockmontage ohne zusätzliche Hilfseinrichtungen. Raumblockdecken aus Stahl werden für verschiedene Bauwerke mit Spannweiten bis 90 m verwendet.

Besonders effektiv ist das Raumblocksystem bei Verwendung einer Aluminiumkonstruktion. Die erhöhte Steifigkeit der Konstruktion infolge der Vorspannung gleicht dem niedrigen Elastizitätsmodul der Al-Legierungen aus. Der Verbrauch von Al-Legierungen bei Blöcken mit Spannweiten von 30 bis 100 m beträgt nur  $13-28 \text{ kp/m}^2$ .

In Industriegebäuden mit schweren Brückenkranen und grossen Stützenabständen ist es zweckmässig in Längsrichtung kombinierte Kranbahnträger - Binderunterzüge zu verwenden. Die Binderuntergurte dienen als Kranbahn, auf die Obergurte werden die Dachbinder aufgelagert (Abb. 10).

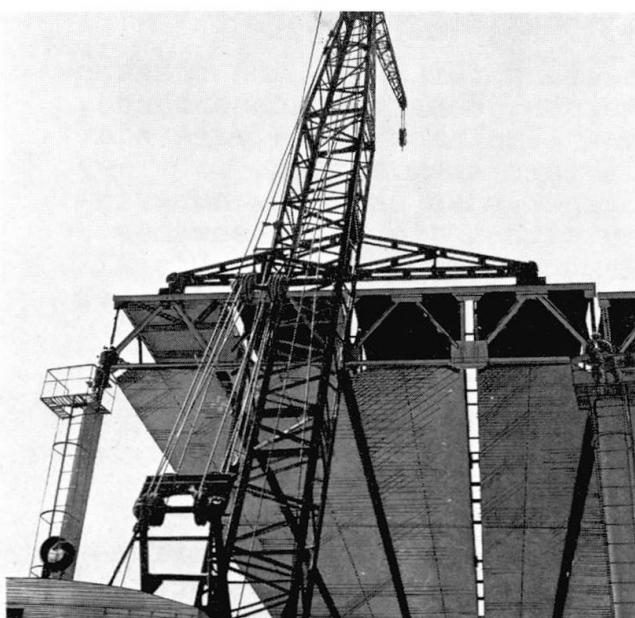


Abb. 9. Stahlblocküberdachung



Abb. 10. Kranbahn - Unterzugbinder

Kombination der Funktionen und die Metallkonzentration in den Kranbahnträger-Binderunterzügen, verbunden mit der Möglichkeit den Bindern eine grosse Höhe zu geben, gestatten Konstruktionen, die nach dem Stahlverbrauch wesentlich ökonomischer sind als getrennte Kranbahnträger und Binderunterzüge.

#### IV. 4. Materialkonzentration

Das Prinzip der Konzentration des Materials wurde in den obengenannten Kranbahnträger-Binderunterzügen realisiert. Dieses Prinzip wird in der Regel in weitgespannten Gebäuden bei grossen Belastungen verwirklicht, oft zusammen mit dem Prinzip der

### Kombination der Funktionen.

In einer grossen Montagehalle mit einer Spannweite von 120 m, einer Höhe von 68 m bis zur Unterkante der Dachbinder und mit Brückenkränen von 15 t Tragfähigkeit, die sich in Querrichtung bewegen, wurden die Querrahmenriegel als Kranbahnräger - Dachbinder entworfen (Abb. 11).

Der Rahmenabstand in Längsrichtung beträgt 36 m. Auf die Rahmenriegel sind 36m-Dachbinder aufgelegt. Die Riegeluntergurte haben einen Kastenquerschnitt und tragen die Schienen der Brückenkräne. Die Idee der Materialkonzentration wird durch Verminderung der Anzahl der Haupttragelemente mittels Vergrösserung der Rahmenabstände, bei gleichzeitiger Ausnutzung der Riegel für die Aufbringung der Kranbahnschienen verwirklicht. Mächtige Querrahmen erlauben die rationelle Verwendung des hochfesten Stahles C 60/45.

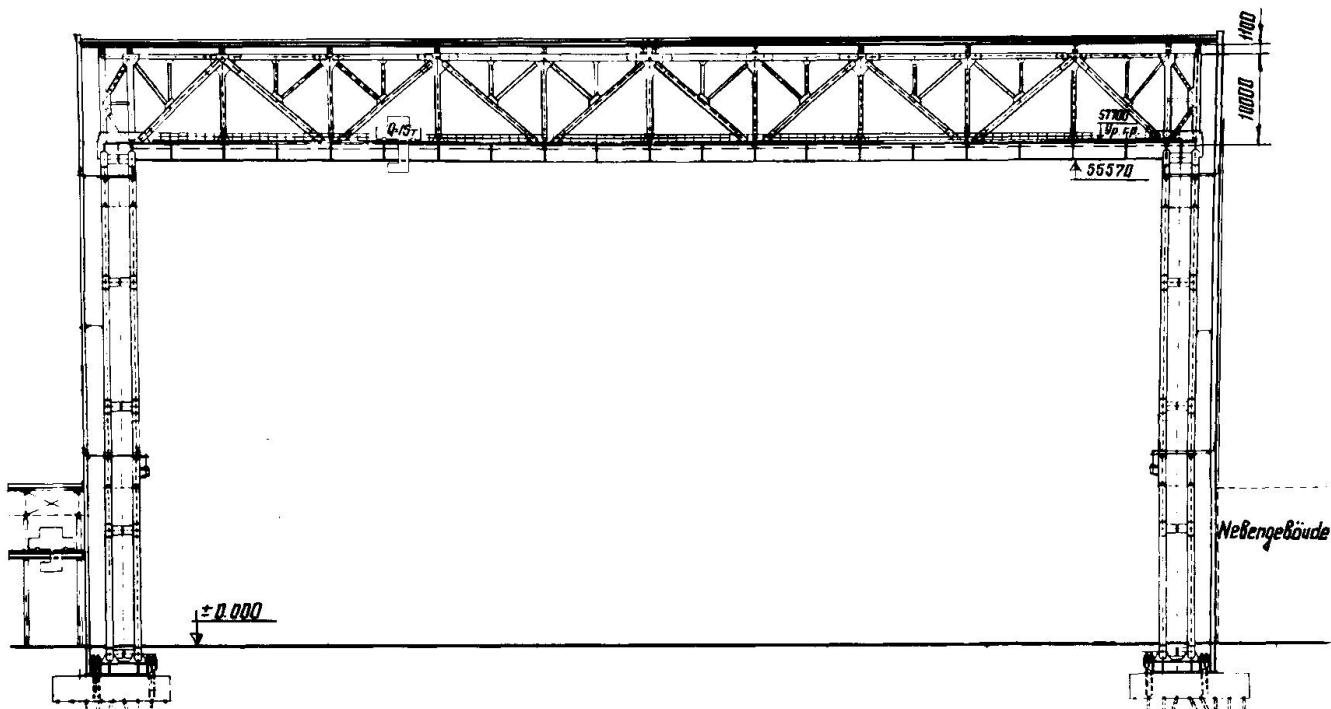


Abb. 11. Querrahmen mit einem Kranbahn Unterzugbinder

### IV. 5. Anwendung von gespannten Oberflächen und Seilen in tragenden Konstruktionen

Die physikalischen Eigenschaften der Metalle werden am weitesten in zugbeanspruchten Elementen ausgenutzt. Dieser Tatsache entsprechen Hängekonstruktionen, die als gespannte geschlossene Oberflächen - Membranen oder als Konstruktionen mit tragenden Elementen in der Form schlaffer (oder steifer) Seile - Seilsysteme ausgeführt werden. Die auf Zug beanspruchten Hängekonstruktionen sind für die breite Anwendung von hoch- und höchstfesten Werkstoffen sehr perspektivisch. Der Metallverbrauch wird dabei auf ein Minimum herabgesetzt, deshalb sind sie ideale leichtere Konstruktionen und werden in erster Linie für weitgespannte Bauwerke verwendet, wo die Gewichtsverringerung besonders wichtig ist.

Hängesysteme werden in der ganzen Welt hauptsächlich für den Gesellschafts- und Brückenbau eingesetzt, wo grosse Spannweiten zu überbrücken sind. Die konstruktiven Lösungen für Hängesysteme sind vielfältig, darum ist Auswahl im konkreten Fall eine schwierige Aufgabe. Eine der zu lösenden Fragen in der Projektierung von Hängesystemen ist deshalb Bestimmung der Gebiete für die rationelle Anwendung dieses oder jenes konstruktiven Systems. Im Gesellschaftsbau wird dieses Problem durch Architekturforderungen erschwert. Ein zweites Problem ist die Untersuchung der optimalen Parameter (geometrischen und physikalischen) verschiedener Systeme. Diese Frage wurde für einige Systeme, z.B. für zweigurtige Seilbinder, schon gelöst, aber im allgemeinen ist dieses Problem wenig erforscht.

Membranen und Seilsysteme sind Hängesysteme, die auf Schub arbeiten. Die Randstützkonstruktionen, die den Schub aufzunehmen haben, erhöhen den Metallverbrauch bedeutend. Darum ist die Suche nach rationellen konstruktiven Lösungen darauf gerichtet, das Gewicht der Schubkonstruktionen zu verringern und in erster Linie die Randkonstruktion der Membrane oder Hängekonstruktionen von den Biegebelastungen zu befreien. Ideell in diesem Sinne sind runde oder ovale Konturen. In letzter Zeit wurden jedoch auch rechteckige Systeme von Randkonstruktionen ausgearbeitet, bei denen die Schubkräfte auf die Ecken der Randsysteme oder auf starke Druckdiagonalen übertragen werden (Abb. 12). Diese Systeme erweitern bedeutend die Anwendungsgebiete von Hängekonstruktionen.

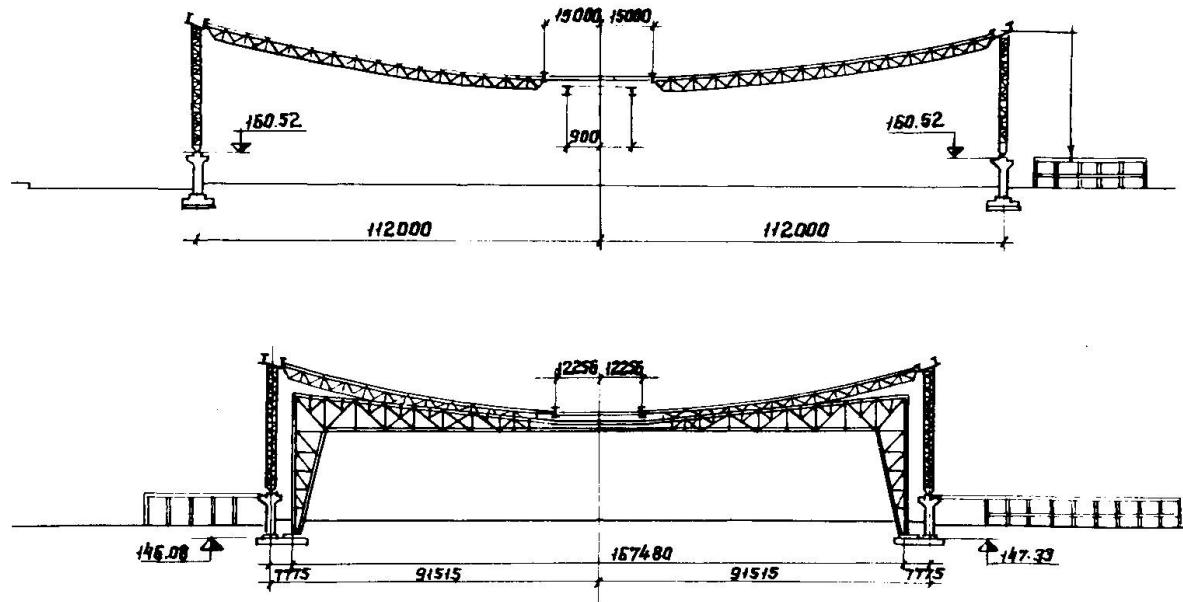


Abb. 12. Membranüberdachung bei gelenkiger Randaufklagerung

In Membransystemen wird das Prinzip der Vereinigung von Hüll- und Tragkonstruktion verwirklicht, was zusätzliche Möglichkeiten für die Senkung des Metallverbrauches gibt. Außerdem sind Membrankonstruktionen, projektiert auf einer geschlossenen Randkonstruktion, räumliche Tragwerke - Schalen und besitzen deren Vorteile in Bezug auf die Gewichtsverminderung.

Die Möglichkeit der vollständigen Ausnutzung der Festigkeit von hochfesten Stählen - eine weitere Reserve zur Senkung des

Gewichts der Membranen bei grossen Spannweiten.

Als Beispiel für eine Membranschale auf einer elliptischen geschlossenen Unterkonstruktion kann die Dachausbildung eines Mehrzweckstadions in Moskau dienen (Abb. 13.). Die Abmessungen der Hauptachsen der Ellipse betragen 224 x 183 m. Die Membrane, die

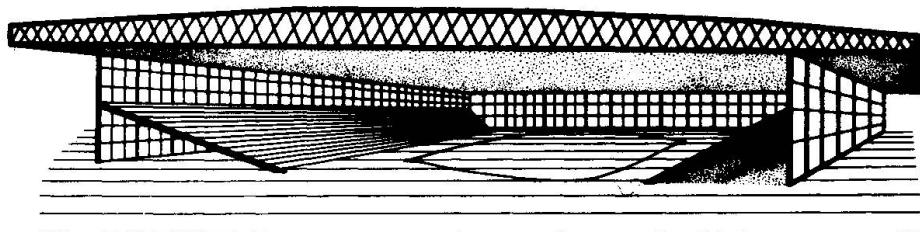


Abb. 13. Membranüberdachung des Olympischen Stadions in Moskau

aus einem kohlenstoffarmen Stahl von 5 mm Dicke besteht, wird durch ein System radialer und ringförmiger Rippen versteift. Das Rippensystem gewährleistet die Montage der Membrane, die Befestigung einer untergehängten akustischen Decke und die Anbringung technologischer Ausrüstungen. Die Membrane wird in einem monolithischen Stahlbetonring mit den Abmessungen von 5 x 1,75 m verankert. Der Ring wird durch Stützen in einem Abstand von 20 m getragen. Der Metallverbrauch für die Decke mit der Randkonstruktion beträgt 105 kp/m<sup>2</sup>.

Als weiteres Beispiel der gewagten Anwendung einer Membrankonstruktion stellt die Membranecke des Mehrzwecksporthauses mit einem Durchmesser von 160 m in Leningrad (Entwurf des Forschungsinstitut für experimentelle Projektierung in Leningrad - LENSNIIEP) dar. Die Membrane von 6 mm Dicke ist in einer Stahlbetonrandkonstruktion befestigt. Die Deckenstabilisierung wird durch die radikale Anordnung vorgespannter Seilbinder erreicht. Der Stahlverbrauch für diese Decke mit Stahlbetonring betrug 114 kp/m<sup>2</sup>.

Als Beispiel einer Membranecke auf rechteckigem Grundriss kann die Überdachung eines Mehrzwecksporthauses mit den Abmessungen des Hauptsales von 66 x 72 x 28,5 m und des Übungssales von 36 x 72 x 13; 5 m (Abb. 14) dienen.

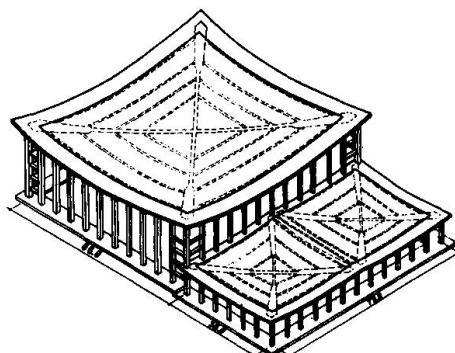


Abb. 14. Membranüberdachung im Grundriss

Die Abdeckung des Hauptsaales ist als Stahlmembran ausgeführt, die in den Diagonalen und über die Spannweite durch Stahlbänder ausgesteift ist. Die Membran hat im Umfang keine steifen Verbindungen mit der Stützkonstruktion. Die Membrankräfte werden über diagonale Aussteifungen auf die Randdecken übertragen, die im wesentlichen auf Druck beansprucht sind. Die krummlinige Kontur ist aus Stahlbetonfertigteilen mit einem Querschnitt von  $0,6 \times 6 \text{ m}$  ausgeführt worden. Die Membran wurde mit 2 mm Dicke projektiert. Der Übungssaal ist mit zwei Membranen desselben Systems überdeckt. Der Stahlverbrauch zusammen mit der Stützringbewehrung betrug  $58 \text{ kp/m}^2$ .

Eine originelle Membrandecke aus verflochtenen Aluminiumbändern ist im Forschungs- und Projektierungsinstitut für Stahlkonstruktionen in Moskau (ZNIIPSK) ausgearbeitet worden. Die Membran wird durch schachbrettartiges Ausrollen der Aluminiumrollen auf ebener Fläche hergestellt, in der Randkonstruktion befestigt und mit ihr zusammen auf die Projekthöhe angehoben.

Die Aluminiumbänder werden nicht miteinander verbunden. Die Membran erhält eine Wärmedämmung und Wasserabdichtung. Diese Konstruktion gestattet eine Fläche mit rundem oder elliptischem Grundriss und einer Spannweite von 25 bis 80 m zu überdecken.

Eine Membrandecke von 25 m Durchmesser aus Aluminiumbändern von 0,5 mm Dicke und 1050 mm Breite einer Stahlbetonrandkonstruktion, die in Moskauer Gebiet ausgeführt wurde, hatte einen Aluminiumverbrauch von  $3 \text{ kp/m}^2$ .

Decken aus Seilsystemen, sowohl ebene als auch räumliche in der Form von doppeltgekrümmten Schalen sind dem Metallverbrauch nach den Membrandecken ähnlich.

Ausser dem Problem der Gewichtsverringerung der Stützkonstruktionen, die den Schub aufnehmen, ist für Seilsysteme die Frage der Schaffung der notwendigen Steifigkeit sehr wichtig. Die erhöhte Verformbarkeit der Seilsysteme ist durch den erniedrigten Elastizitätsmodul von Stahlseilen, sowie durch die kinematischen Verschiebungen der schlaffen Seile unter Einwirkung von ungleichmässigen Belastungen bedingt. In Seilkonstruktionen wird oft die Vorspannung zur Erreichung der notwendigen Steifigkeit ausgenutzt. Seilsysteme haben Perspektive, sie können die einzige mögliche Lösung für zukünftige Spannweite von 500 m und mehr sein. Für Zwecke der Leuchtung kann das Netz aus hochfesten Seilen mit einer durchsichtigen Folie überzogen werden. Berechnungen zeigen, dass bei einem Durchmesser der Überdachung von 500 m der Stahlverbrauch etwa  $110 \text{ kp/m}^2$  beträgt, wobei etwa 30% auf die Randstützkonstruktion entfallen.

#### IV.6. Anwendung von räumlichen Systemen

Die Anwendung von räumlichen Systemen führt gewöhnlich zur Verringerung des Konstruktionsgewichts, darum können sie als Leichtbaukonstruktionen betrachtet werden. In räumlichen Konstruktionen wird in der Regel das Prinzip der Kombination der Funktionen und manchmal der Vorspannung realisiert, was ihre Effektivität bezüglich des Metallverbrauchs erhöht. Räumliche Konstruktionen werden heute in allen Bereichen des Bauwesens verwendet. Im Masse der Vervollkommenung der konstruktiven Formen der räumlichen Systeme, in erster Linie bezüglich ihrer Technolo-

giegerechtigkeit, werden sie einen immer grösseren Bereich des Bauwesens erfassen. Dazu wird auch die Verbesserung von praktischen Berechnungsmethoden mit Hilfe von Elektronenrechnern beigetragen.

Die breiteste Anwendung erhielten räumliche Konstruktionen für die Überdachung von Gesellschaftsbauten. Voraussetzungen dazu sind grosse Spannweiten dieser Gebäude und erhöhte architektonische Anforderungen. Räumliche Konstruktionen entsprechen in grösserem Masse diesen Anforderungen als andere konstruktive Systeme.

Eine Vielzahl von konstruktiven Schemen und Lösungen gibt die Möglichkeit räumliche Konstruktionen praktisch in allen Bauwerksarten zu verwenden.

Räumliche Seilkonstruktionen wurden schon behandelt. Für die Überdachung von Gesellschafts- und teilweise Industriebauten werden räumliche Stabstruktursysteme in grosser Anzahl verwendet. Für die weite Verwendung von Strukturen haben drei Hauptgründe beigetragen:

Technologiegerechtigkeit der Konstruktion;

Grossblockmontage;

architektonische Ausdrucksfähigkeit.

Im Prinzip besteht eine Strukturkonstruktion aus einem gleichartigen Konstruktionselement und einer getypten Knotenverbindung. Solche konstruktive Einheitlichkeit ermöglicht die Organisation einer Fliessfertigung von Bauelementen bei maximaler Automatisierung.

Strukturkonstruktionen mit kleinen und mittleren Spannweiten werden gewöhnlich auf der Erde montiert und dann als Raumblöcke mit leistungsfähigen Kränen in die Projektlage gebracht. Die grosse Steifigkeit der Struktur in vertikaler und horizontaler Richtung fordert während der Montage keine zusätzlichen Verbände.

In den meisten Fällen werden Strukturdecken als ebene Platten ausgeführt, aber es sind auch andere Bauarten möglich, die die architektonische Ausdrucksfähigkeit der Konstruktion erhöhen (Abb. 15).

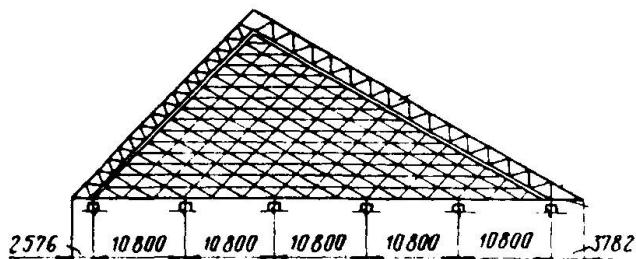
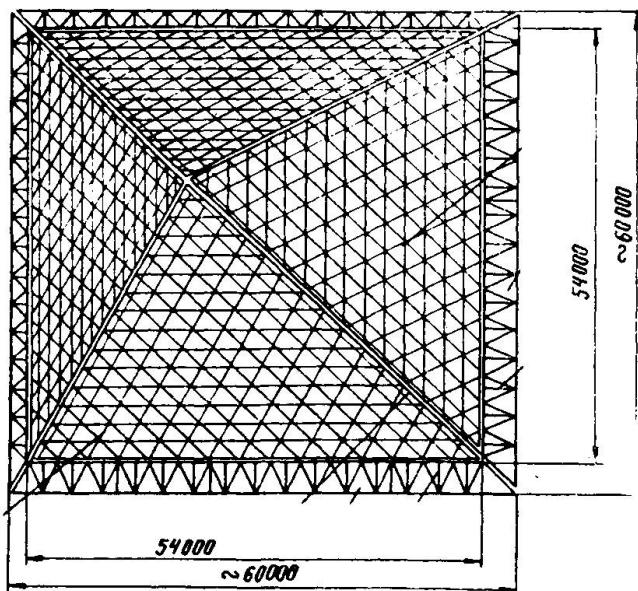


Abb. 15. Pyramidenartige 60-m-Strukturüberdachung des Marktes In Togliatti (an der Wolga)



Die konstruktiven Ausführungen von Stäben und Knoten sind sehr verschiedenartig, sie werden in der Suche nach optimalen Lösungen weiter entwickelt.

Das Rohr stellt eine optimale konstruktive Lösung für die Stäbe dar. Rohre sind jedoch teuer, können nicht in genügendem Massen zur Verfügung gestellt werden und als wichtigstes fordern eine komplizierte konstruktive Knotenlösung. Es werden kaltgedrückte Stäbe und Walzprofile verwendet. Das konstruktive Hauptproblem sind Knotenverbindungen. Im Forschungsinstitut für Stahlkonstruktionen in Moskau (ZNIIPSK) wurde ein Rohrstabknoten mittels Wannenschweissung ausgearbeitet (Abb. 16), der zu einer wesentlichen Verringerung des Konstruktionsgewichts führt und zu dessen Ausführung nur ein konstruktives Element notwendig ist.

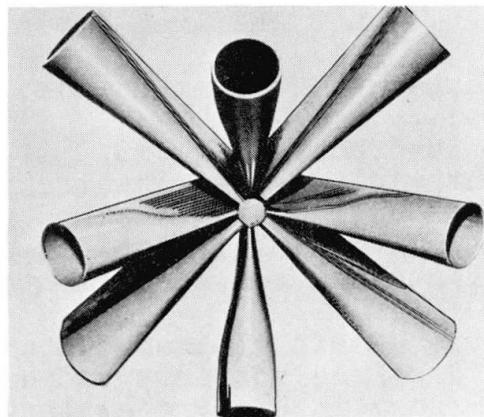


Abb. 16. Wannengeschweissster Knoten einer Strukturkonstruktion

Das Schweißen während der Montage ist jedoch arbeitsaufwendig. Die Verbesserung der Strukturkonstruktion geht in Richtung der Anwendung von Walzprofilen mit Schraubenverbindungen. Bei geringen Spannweiten von 18-24 m geben gewöhnliche Strukturen keine Metalleinsparung im Vergleich mit traditionellen Bauformen. Bei grossen Spannweiten ist die Strukturkonstruktion effektiver.

In Industriegebäuden ist die Anwendung von Strukturüberdachungen nur beim Vorhandensein von untergehängten Transportmitteln rationell.

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten der Gewichtsverringerung von Strukturkonstruktionen:

1. Einbeziehung des Metall- oder Stahlbetondeckenbelags in die Arbeit der Dachkonstruktion;
2. Differenzierung der Querschnittsflächen der Stäbe nach ihren Belastungen;
3. Anwendung von Vorspannung mittels Abstützung der Strukturen auf eine krummlinige Randkonstruktion;
4. Anwendung von hochfesten Stählen oder Aluminium;
5. Ausarbeitung einer rationellen Knotenverbindung;
6. Berücksichtigung des elastisch-plastischen Stadiums der Arbeit des Systems bei der Berechnung.

Geringere Verbreitung als Strukturen infolge ihrer geringeren Universalität erhielten Stabnetzschalen für die Überdachung von Gebäuden mit rechteckigem Grundriss (Abb. 17). Die Schalen können eingurtig oder zweigurtig sein. Die zweigurtigen Schalen haben eine zylindrische Oberfläche und die konstruktive Lösung

ähnelt denen ebener Strukturen. Stabnetzschalen sind nach dem Materialverbrauch ökonomischer als ebene Strukturüberdachungen, aber sie sind schwieriger in der Herstellung und Montage, was ihre breite Anwendung behindert.

Die Technologiegerechtigkeit und Effektivität nach dem Metallverbrauch der Zylinderschalen erhöht sich, wenn sie aus genormten rhombischen, rechteckigen und dreieckigen Elementen mit einem oder zwei vorgespannten Metallüberzügen hergestellt werden. Die Einbeziehung der Schale (Gewölbe) in die Druckbeanspruchung durch die vorgespannten Metallverkleidungen erhöht die Stabilität der Stäbe der Struktur und gestattet eine Schalenhöhe von 1/100 - 1/120 bei gelenkiger Auflagerung der Schale und bis zu 1/200 bei fester Auflagerung.



Abb. 17. Netzgewölbe

Die Vereinheitlichung der Elementabmessungen gestattet eine Massenfertigung. Schalen aus Plattenelementen können Spannweiten von 100 m und mehr überdecken.

Für die Überdachung von Gebäuden mit rundem Grundriss werden erfolgreich ein- oder zweigurtige Stabnetzkuppeln verwendet: die letzten bei grossen Kuppelabmessungen.

Kuppelkonstruktionen gehören zu den ökonomischen Konstruktionen in Hinsicht auf den Materialverbrauch. Wie die Zylinderschalen können sie aus einzelnen, die Dachhaut tragenden Stäben projektiert werden, oder aus Platten mit vorgespannten Verkleidungen, die in sich die Hüll- und Tragfunktionen vereinigen.

Rhombische Platten, verstärkt durch eine vorgespannte Außenverkleidung, wurden für den Entwurf der Kuppel über einer Laborhalle mit 227 m Durchmesser (Abb. 18) und 112,4 m Höhe verwendet. Der Metallverbrauch für die Hüll- und Tragkonstruktionen betrug 113,2 kg/m<sup>2</sup>. Die Entwicklung des Bauwesens in von Industriezentren abgelegenen Gebieten rief die Idee hervor, faltbare Schalen zu schaffen. Diese Konstruktionen können vollständig im Werk hergestellt und zur Baustelle im zusammengefalteten kompakten Zustand transportiert werden. Ihre Aufstellung in die Projektlage

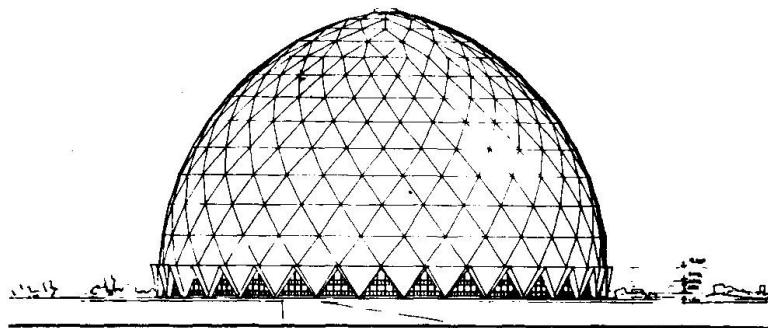


Abb. 18. Schematische Darstellung  
der Netzwerkkuppel

kann mittels eines Luftüberdruckes im Innenraum durchgeführt werden. Im Forschungs- und Projektierungsinstitut für Stahlkonstruktionen in Moskau (ZNIIPSK) wurde ein Steilstabfaltwerk ausgearbeitet, dessen Tragkonstruktion aus Aluminiumrohren und Stahlseilen besteht, die in den Knoten durch ein Kugelelement verbunden sind. Als Dachbelag der Seilstabkonstruktionen wird ein wasserdichtes Gewebe verwendet.

Eine errichtete sphärische Versuchungsfaltschale mit 12 m Durchmesser hat ein Gewicht von nur 300 kp und kann zu einem Paket von 0,8 x 0,8 x 2,5 m zusammengefaltet werden.

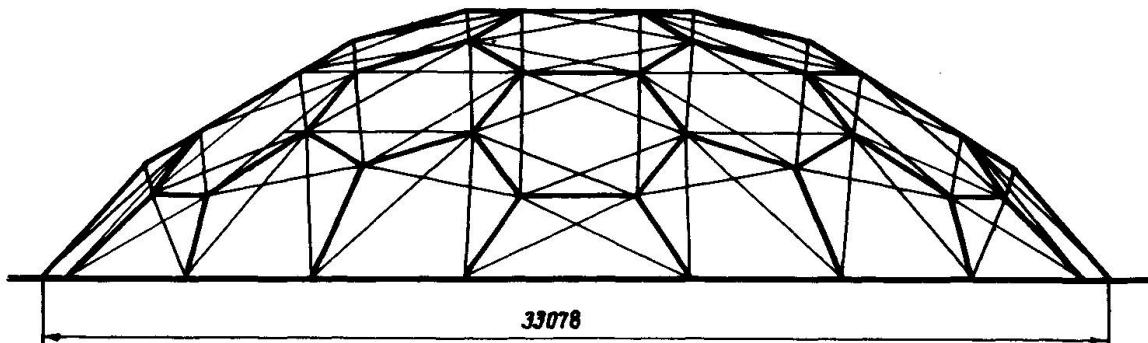


Abb. 19. Faltwerkkuppel von 33 m  
Durchmesser

Es wurde das Projekt eines Kuppeldaches mit 33 m Durchmesser ausgearbeitet mit einem Stahlgewicht von 3680 kp und einem Gewicht der Aluminiumkonstruktion von 3430 kp bei einem mittleren Metallverbrauch von 8,32 kp pro 1 m<sup>2</sup> Bodenfläche (Abb. 19).

Es ist anzunehmen, dass leichte Faltkonstruktionen in Zukunft ihr eigenes, genügend grosses Anwendungsgebiet finden werden, wobei es notwendig ist, diese Konstruktionen weiterzuentwickeln.

Die räumlichen Konstruktionen werden nicht nur für Gebäudeüberdachungen sondern auch für alle andere Bauwerke eingesetzt.

Für Brückenfahrbahnen werden geschlossene Kastenquerschnitte und orthotrope Platten (Abb. 20) eingesetzt. Für die Fahrbahn von Balken-, Bogen- und Hängebrücken ergibt sich im Vergleich mit Stahlbetonplatten eine Senkung des Gewichts der Tragkonstruktion um 25%. Je grösser die Spannweite der Brücken ist, desto grösser ist die Effektivität einer orthotropen Platte. Bei Doppelstockbrücken mit Fahrbahnen in zwei Ebenen erfüllt die orthotrope Platte die Rolle der Gurte (kombinierte Funktionen) und die Effektivität der Konstruktion erhöht sich.

Es werden auch Kranbahnkastenträger für mittlere Stützenreihen eingesetzt, was effektiver ist als die Anbringung von zwei ebenen Balken. Orthotrope Platten werden für Arbeitsbühnen in Industriegebäuden verwendet.

Ausser den Metallkonstruktionen mit grossen Spannweiten und Belastungen (was traditionell für dieses Material ist) werden in letzter Zeit in vielen Ländern für Industrie- und Gesellschaftsbauten "leichte Metallkonstruktionen" verwendet.

Unter "leichten Metallkonstruktionen" werden in diesem Falle solche Konstruktionen verstanden, die für Gebäude von geringeren Spannweiten 12-18-24 m mit leichten Dächern und leichten Wandellementen und in Industriegebäuden mit Kränen geringerer Hubkraft

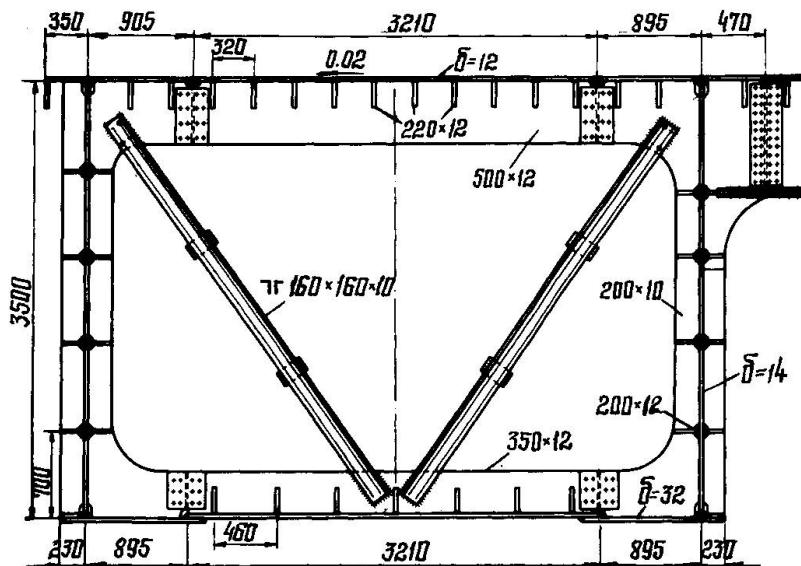


Abb.20. Kastenbrückenfahrbahn mit orthotroper Platte

- Brückenkräne bis 20 t und untergehängte bis 3 t, oder überhaupt ohne Kranausrüstung verwendet werden. In vielen Ländern werden leichte Metallkonstruktionen für Schul-, Handels-, Poliklinik-, Verwaltungs- (Abb.21) oder Landwirtschaftsgebäude, für Produktionsgebäude der Leicht- und Nahrungsmittel-, der elektrotechnischen, metallbearbeitenden Industrie usw. ausgearbeitet.

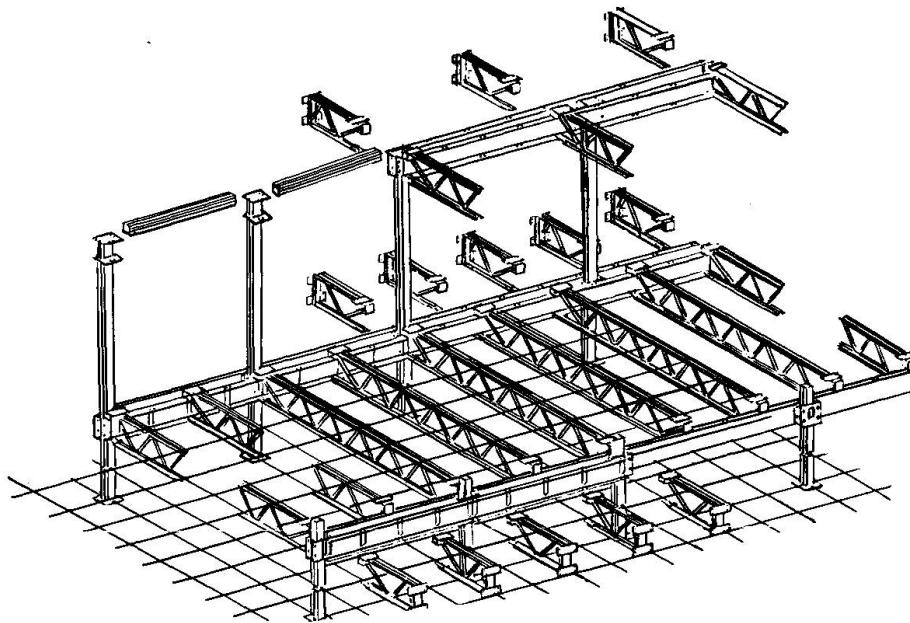


Abb.21. Leichte Metallkonstruktionen  
für Gesellschaftsbauten (CSSR)

Seit dem Jahre 1972 werden in der UdSSR leichte Metallkonstruktionen für Produktionsgebäude im grossen Umfang hergestellt.

Alle Hüll- und Tragkonstruktionen werden in spezialisierten Werken komplett hergestellt. Die Ausarbeitung von typisierten Konstruktionslösungen und die Spezialisierung der Werke nach Bauarten schafft die Voraussetzung für eine hohe Arbeitsproduktivität auf Grundlage der Fliessfertigung und mit einem hohen Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad. Die Montage der Dachelemente wird in grossen Blöcken ausgeführt. Die Gewichtsverringerung der Tragkonstruktionen wird durch Anwendung von raumabschliessenden Leichtkonstruktionen aus verzinkten profilierten Blechen und effektiven Wärmedämmungen sowie durch Anwendung rationeller komplexer Konstruktionen und gestalterischer Lösungen erreicht.

Es werden einige konstruktive Lösungen für Überdachungen ausgearbeitet: 1) Strukturen verschiedener Arte mit Rohr-, kaltgekrümmten und gewalzten Profile mit Verbindungselementen in Form von Bolzen-, Schrauben- und Schweißverbindungen; pfettenlose Überdachungen für ebene Dachbinder mit Fachwerkelementen aus Rohren (von rechteckigem oder rundem Querschnitt) und einzelnen Winkeln. Die Knotenverbindungen können geschraubt oder geschweisst ausgeführt werden. 2) Überdachungen für Binder mit gitterförmigen oder dünnwandigen Pfetten (Wanddicke 1/300 - 1/400 der Höhe). Die dünnwandigen Träger können nicht nur für Pfetten, sondern auch für Haupttragelemente der Überdachungen verwendet werden.

Durch die Wanddickenverminderung und das Fehlen an Aussteifungsrippen wird im Vergleich mit gewalzten Trägern eine Stahleinsparung bis zu 50% erreicht.

Besondere Aufmerksamkeit wird den Strukturkonstruktionen wegen ihren bedeutenden Vorteilen geschenkt - die Möglichkeit der

Projektierung veränderlicher Stützenabstände, Technologiegerechtigkeit, die Möglichkeit einer Grossblock - (Abb.22) und Fliess-

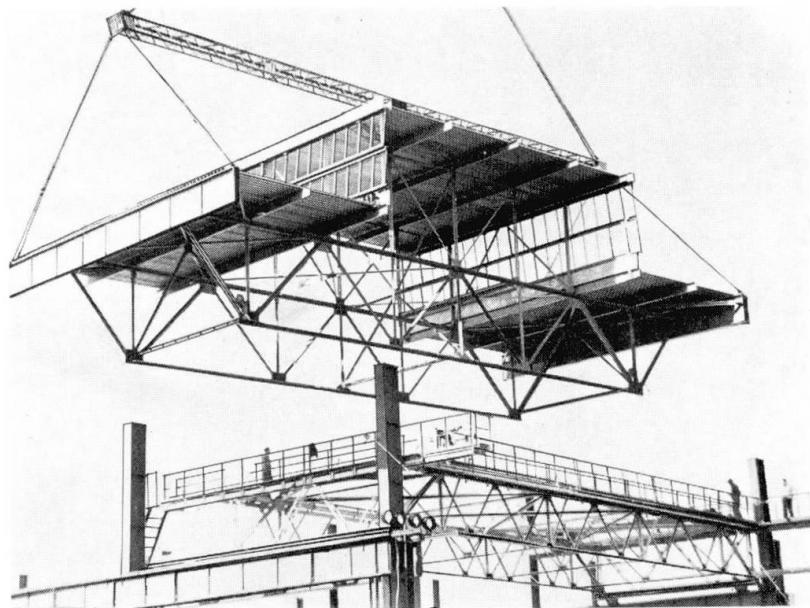


Abb. 22. Montage einer leichten Dachindeckung eines Industriegebäudes

bandmontage ohne jegliche zusätzliche Elemente, die die notwendige Steifigkeit der Konstruktion gewährleisten, die Abstützung des Dachbelags unmittelbar auf den oberen Gurten der Struktur, geringe Spannweiten für Befestigung der untergehängten Transporteinrichtungen und eine rationelle Arbeit des Systems (in zwei Richtungen) bei konzentrierten Belastungen aus dem untergehängten Transport.

Einige ebene Bauformen für die betrachteten Industriegebäude können aber nach dem Metallverbrauch und dem Kostenaufwand besser sind als die Strukturkonstruktionen.

Die vorhandene Vielfalt der ausgearbeiteten Konstruktionen für Industriegebäude zeigt, dass es vorläufig keine wissenschaftlich begründete optimale Lösung gibt. Diese Lösung kann man auf der Grundlage der Untersuchung der Gesetzmäßigkeiten des Gewichts und der Optimierung konstruktiver Lösungen unter Berücksichtigung aller technisch-ökonomischen Kennwerte mit Hilfe von Elektronenrechnern gewinnen.

Die in diesem Beitrag vorgestellte Übersicht zeigt grosse und vielfältige Möglichkeiten der Gewichtsverringerung von Konstruktionen aller Arten und Bestimmung, d.h. der Verbesserung eines der wichtigsten technisch-ökonomischen Kennwerte der Konstruktionen - der Ökonomie von Metall.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide