

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

**Band:** 8 (1971)

**Artikel:** Konzept für Entwurf und Fertigung im Stahlbau

**Autor:** Jungbluth, Otto / Pegels, Georg / Zwanzig, Wilfried

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-9522>

#### 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>**

## II

### **Konzept für Entwurf und Fertigung im Stahlbau**

Concept of Design and Manufacturing of Steel Structures

Principe pour la conception et la fabrication dans la construction métallique

**OTTO JUNGBLUTH**  
Prof. Dr.-Ing.

**GEORG PEGELS**  
Dipl.-Ing.  
Bochum, Deutschland

**WILFRIED ZWANZIG**  
Dipl.-Ing.

#### **1. Gründe für industrialisiertes Bauen**

Daß der Produktionsprozeß "Bauen" noch stärker als bisher industrialisiert werden muß, darüber herrscht in der Fachwelt Einmütigkeit. [1] [2]. Vielfach wird kritisiert, daß die Bautechnik nicht mit der Entwicklung anderer technischer Disziplinen Schritt halten würde. Für die Notwendigkeit stärkerer technischer Rationalisierung des Bauens sprechen viele Gründe, so z. B.:

In den hoch industrialisierten Ländern kann das stark wachsende Bauvolumen bei nahezu gleichbleibender Anzahl der Arbeitskräfte nur durch eine hohe Produktivitätssteigerung bewältigt werden. Eine Untersuchung des Ifo -Instituts prognostiziert für die Bundesrepublik Deutschland die folgenden Wachstumsraten:

Sektor	1968	1980	Kostensteigerung %
	Kosten (Mrd DM)	Kosten (Mrd DM)	
Hochbau	58,1	82,8	50
davon:			
Wohnungsbau	33,2	34,5	4
Nichtwohnungsbau	24,9	48,3	95

Tabelle 1

Es ist volkswirtschaftlich auf die Dauer nicht zu vertreten, daß ein Wirtschaftszweig, der bezüglich der Zahl der Beschäftigten an der Spitze aller Wirtschaftszweige liegt, mit der geringen Produktivität von durchschnittlich 43.000 DM Umsatz/Beschäftigten arbeitet (Vergleich Ernährungsindustrie über 100.000 DM Umsatz/Beschäftigten).

Für die Bauwirtschaft selbst ist die Industrialisierung auch zur Verbesserung ihrer Ertragslage unbedingt nötig. Bisher lagen die Bauaktiengesellschaften meist im letzten Viertel der Gewinnskala aller Industriezweige.

## 2. Marktsituation für Stahlbauten

Das Fragen nach den Marktchancen für Bauten aus Stahl ist zugleich immer auch ein Abwägen der Möglichkeiten für Konkurrenzbaubeweisen.

Vielleicht ist die verallgemeinerte Feststellung nicht so abwegig, daß die Stahl- und die Stahlbetonbauweise auf theoretischem Gebiet in den letzten 20 Jahren in etwa gleichem Maße große Fortschritte gemacht haben, daß aber die Konstruktions- und Fertigungstechnik des Stahlbetons in demselben Zeitraum vergleichsweise schneller vorangekommen ist als die des Stahlbaus. Falls diese Vermutung richtig ist und damit den dominierenden Marktanteil des Stahlbetons am Bau geschehen begründet, dann wäre für den Stahlbau tatsächlich der Mut zu einem "größeren Sprung nach vorn" vonnöten.

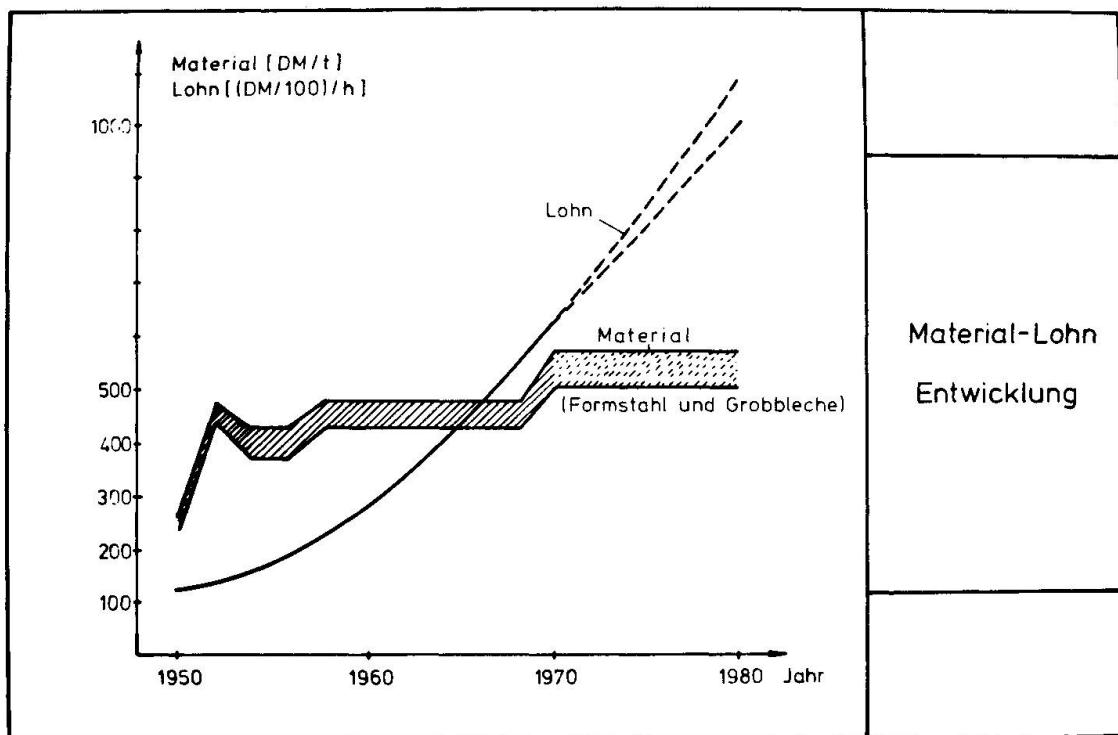
Wenn das Problem "Bauen für Heute und Morgen" möglichst optimal gelöst werden soll, dann dürfen sich nicht wie bisher die Anstrengungen nur auf ein Gebiet, z. B. die Theorie, beschränken, dann muß man vielmehr das Problem in seiner ganzen Breite und Vollständigkeit angehen, nämlich in allen vier Bereichen: Werkstoff, Berechnung, Konstruktion und Herstellung, wobei unter Herstellung die Fertigung und die Montage verstanden sein soll. Das Bauwerk für morgen soll wegen der wachsenden Innovationsgeschwindigkeit der Wohn-, Arbeits- und Transportformen leicht veränderbar sein, d. h. variabler Ausbau, Anbauten und Verstärkungen sollen möglich sein. Auch leichte Demontierbarkeit bei möglichst geringem Gewicht wird gefordert, zumindest soll der Abbruch kostenlos sein, d. h. der Verschrottungserlös soll die Abbruchkosten decken. Diese Forderungen werden gut mit Bauteilen aus Stahl erfüllt.

Die bekannten Nachteile des Bauens mit Stahl, Korrosions- und Brandverhalten, sind zwar gemildert, aber noch nicht hinreichend überwunden. Immerhin ist die Korrosionsgefahr durch Verbesserung der Lackiertechnik, durch Kunststoffbeschichtung und durch Entwicklung von wetterfesten Baustählen, die eine beständige Deckschicht bilden, bei entsprechendem Kostenaufwand beherrschbar geworden. Kritischer sind die Probleme des Brandschutzes, vor allem im Geschoßbau. Mit besonderer Genugtuung sind daher die Bemühungen der Baubehörden zu werten, hier zu sinnvoller Vorschriften zu kommen, die die tatsächlichen Brandbelastungen und Schadenswahrscheinlichkeiten besser als bisher berücksichtigen.

Es ist eigentlich kaum verständlich, daß man die hervorragende Eignung des Stahls für die automatisierte Fertigung von Bauteilen und Bauten bisher in so unzureichender Weise genutzt hat. Der Stahlbau, der zur Gestaltung seiner Bauelemente keine Schalungen benötigt und dessen Werkstoff bereits im Augenblick der Herstellung die erforderliche Gebrauchsfestigkeit besitzt, hat sich wohl bemüht, die einzelnen technischen Verrichtungen wie Sägen, Schneiden, Schweißen, Bohren, Stanzen, Abkanten, Profilieren usw. auf einen hinreichend modernen Stand zu bringen. Den entscheidenden Schritt zur Lösung des Transportproblems aber hat der Stahlbau bisher nicht gewagt. Dazu müßten

die verschiedenen Einzeltechniken verkettet und weitgehend automatisierte Linien aufgebaut werden.

Wenn es dem Stahlbau gelingt, im gesamten Fertigungsbereich ein dem Maschinenbau entsprechendes technologisches Niveau zu erreichen, wobei die größeren Toleranzen des Bauwesens oft entgegenkommen, dann wird er seine Wettbewerbsfähigkeit in einer Zeit, in der sich das Material-/Lohnkostenverhältnis (Bild 1) immer stärker auswirkt, entscheidend verbessern können.



### 3. Industrielle Lösungsformen des Problems "Bauen"

Das wachsende Bauvolumen und die Verknappung menschlicher Arbeitskraft geben den Anstoß, anstelle der klassischen Lösung des Bauproblems, nämlich dem Errichten individuell gestalteter Objekte, bei denen die graduellen Möglichkeiten der kostensparenden Vereinheitlichung nicht systematisch genutzt wurden, günstigere Lösungsformen zu finden. Diese sind:

Typisierte Serienbauten

Bauen mit Systemen aus typisierten Elementen

Maßgeschneiderte Bauten aus fertigungstechnisch ähnlichen Elementen

#### 3. 1 Maßgeschneidertes Bauen mit fertigungstechnisch ähnlichen Elementen

Bauten, die nicht auf der "grünen Wiese" errichtet werden, müssen vielen einschränkenden Randbedingungen angepaßt werden, z.B.

Lücken, die durch den Abriß alter Häuser entstehen und dadurch ganz spezielle Abmessungen der Gebäude verlangen.

Auch der individuelle Gestaltungswille des Architekten und die Eigenwünsche des Bauherrn schränken bei freiem Markt und bei Vermeidung staatlicher Eingriffe den Markt für Serien- und Systembauten ein. Wenn auch Serienbauten oder Bausysteme keineswegs eintönig oder unästhetisch wirken müssen, so wäre es doch bedauerlich, wenn einerseits durch Rationalisierungsmaßnahmen, die durch ein höheres technisches Niveau der Fertigung ermöglicht werden, und andererseits durch erhöhte Lohnkosten, die durch wachsenden Lebensstandard entstehen, diese schöpferischen Impulse individueller Gestaltung zurückgedrängt würden. Oft machen auch durch den Verwendungszweck bedingte Bauformen, etwa beim Geschoßbau in der chemischen Industrie, die serienmäßige Lösung unmöglich. Alle diese Gründe machen es wahrscheinlich, daß auch in Zukunft dem maßgeschneiderten Bauen ein großer Marktanteil erhalten bleiben wird.

Nun können aber auch solche individuellen Lösungen durchaus kostengünstig auf industrielle Weise als Stahlbauteile gefertigt werden, wenn nur die Einzelteile eines solchen Bauwerks bestimmte, durch die Fertigungsanlagen festgelegte Anforderungen erfüllen. Vergleicht man systematisch die Einzelteile von Stahlbauten, so stellt man fest, daß diese fertigungstechnisch oft sehr ähnlich sind. Faßt man nun terminlich zusammenpassende "Ähnlichkeitsteile" für einen gemeinsamen Produktionsdurchlauf zusammen, so entsteht eine Teilefamilie. Teilefamilienfertigung (Abs. 5) ist aber eine Serienfertigung. Die Möglichkeit zur Serienfertigung wird gegenüber dem klassischen Bauen dadurch erreicht, daß man die fertigungstechnische Ähnlichkeit von Bauteilen gezielt anstrebt und diese Ähnlichkeit in der Fertigung systematisch nutzt. Dies ist die unterste Stufe der Vereinheitlichung.

### 3. 2 Bauen mit Systemen aus typisierten Elementen

Diese Art des Bauens stellt die nächsthöhere Stufe der Vereinheitlichung dar. Bausysteme werden nicht speziell für einen konkreten Anwendungsfall entworfen. Projekte, die nur ihrer Struktur nach gleich sind, können aus allgemein verwendbaren Elementen zusammengesetzt werden. Eine eindeutige Zuordnung der Elemente untereinander ist nicht mehr notwendig, vielmehr entstehen Bauwerke, die bezüglich Typ, Abmessung und Architektur im allgemeinen nicht identisch sind.

Das Bauen mit Systemen verlangt weit mehr vorausschauende Planungsarbeit als das maßgeschneiderte Bauen; den Fragen von Rasterwahl und Modulfestlegung und der detaillierten Durchbildung der Anschlüsse ist große Aufmerksamkeit zu schenken, damit die Elemente des Bausystems für längere Zeit kompatibel bleiben. Der Erfolg eines Bausystems ist schwer abzuschätzen. Wegen der hohen Investitionskosten für die Systementwicklung und den Bau rationeller Fertigungsanlagen ist der Entschluß zur Schaffung eines Bausystems risikoreich, wenn nicht am Anfang ein großer Auftrag steht, der eine gewisse Grundauslastung der Produktionsanlagen über einen längeren Zeitraum sicherstellt.

Bisher standen dem Bauen mit Systemen hauptsächlich folgende Schwierigkeiten entgegen:

1. Ungenügende oder falsche Marktanalysen
2. Zeitlich zu kurz angesetzte Durchhaltezeit des Herstellers (Durststrecke)
3. Das Fehlen gut ausgebildeter Systementwickler
4. Wunschdenken der Ideologen, die mit schöngeistigen Theorien allein die Welt zu verbessern suchen [3].

Diese Schwierigkeiten sollten jedoch nicht davon abhalten, gute Bausysteme zu entwickeln, denn diese sind sicher ein hervorragendes Mittel in der Hand experimentierfreudiger Architekten und Ingenieure, denen der vielerorts geäußerte Appell, humaner zu bauen, Ansporn und Verpflichtung sein sollte.

### 3.3 Typisierte Serienbauten

Die höchste Stufe der Vereinheitlichung ist bei typisierten Serienbauten erreichbar. Liegt ein Projekt oder ein vermuteter Bedarf für eine größere Stückzahl von ähnlichen Bauten vor und kann man sich entschließen, sie identisch zu gestalten, z. B. für

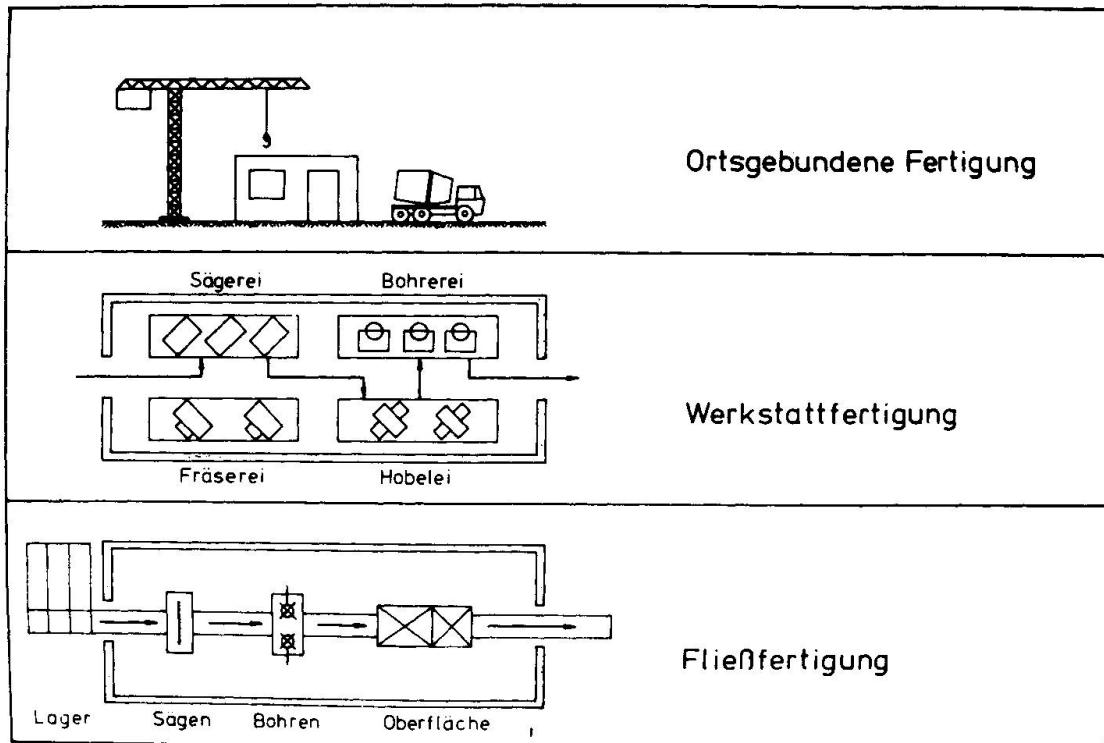
- Industriehallen
- Kindergärten
- Schulen
- Universitätsbauten
- Wohnblocks
- Wochenendhäuser
- Brücken

so wird eine Serienproduktion die geringsten Kosten und Bauzeiten erbringen. Für die Einzelemente dieser Serienbauten sollte man die unteren Stufen der Vereinheitlichung nach Möglichkeit nutzen, damit durch große Lose der Einzelteile besonders wirtschaftliche Fertigungsverfahren angewendet werden können.

Solche Projekte erfordern neben einer umfassenden Marktanalyse hohen planerischen Aufwand, genaue Durcharbeitung aller Details, insbesondere auch der Montage, damit solche Serienbauten zu einem wirtschaftlichen Erfolg werden. Wie groß das Risiko von Fehlplanungen oder Serienfehlern ist, hat der Automobilbau oft genug gelehrt.

**4. Allgemeine Folgerungen für die Fertigungstechnik:  
Entwurfskonzept für Stahlbau-Fertigungsanlagen**

**4.1 Prinzipielle Arten der Fertigung**



**4.1.1 Ortsgebundene Fertigung**

Das Werkstück steht fest, die Bearbeitungsmaschinen werden zum Werkstück gebracht, z. B. beim Haus- und Straßenbau konventioneller Art und beim traditionellen Schiffbau.

**Vorteil:** Das Werkstück wird im Hinblick auf hohes Gewicht oder großes Volumen nicht bewegt; die Variierbarkeit der Arbeitsanordnung ist sehr flexibel; die Arbeit ist leistungsanreizbar.

**Nachteil:** Es besteht nur eine geringe Möglichkeit der Automatisierung und Rationalisierung; ein wirksames Kontrollsysteem und eine leistungsfähige Fertigungssteuerung sind notwendig; qualifizierte Facharbeiter sind erforderlich.

**4.1.2 Verrichtungsprinzip (Werkstättenfertigung)**

Gleichartige Maschinen sind örtlich und organisationsmäßig zusammengefaßt. Die Werkstücke werden zur Bearbeitung in die betreffenden

Abteilungen transportiert.

Vorteil: Diese Fertigungsart ist wenig störanfällig und bei Wechsel des Teilespektrums sehr flexibel, da sich die Maschinen gegenseitig ergänzen und ersetzen können; durch Fertigungssteuerung ist eine gleichmäßige Kapazitätsauslastung möglich; die technischen Möglichkeiten aller Maschinen sind gut ausnutzbar und die Arbeit kann leistungsanreizbar gestaltet werden.

Nachteil: Es entstehen Zwischenlager- und Transportkosten; die lange Durchlaufzeit erhöht die Kapitalbindung des Umlaufvermögens; ein wirksames Kontrollsysteem und eine leistungsfähige Fertigungssteuerung sind zur Nutzung der Vorteile notwendig; die erforderlichen qualifizierten Facharbeiter bedingen höhere Personalkosten.

#### **4.1.3 Fließprinzip**

Gemäß dem technischen Ablauf der Bearbeitung des Werkstücks sind die zugehörigen Maschinen hintereinander angeordnet.

Vorteil: Bis auf Kurzzeitpuffer sind keine Zwischenlager erforderlich; die Durchlaufzeit ist gering und der gesamte Durchlaufprozeß ist zeitlich gut erfaßbar; die Kontrollmöglichkeit ist erleichtert; bei geringerem Personalbedarf sind auch angelernte Kräfte einsetzbar, da die Aufgaben spezieller sind.

Nachteil: Die stärkere Produktabhängigkeit des Maschinenparks führt zu größeren Schwierigkeiten, den Maschinenpark gleichmäßig auszulasten; weitere, nur für spezifische Automationsarten gültige Vor- und Nachteile werden bei der genaueren Besprechung des Fließprinzips erörtert.

#### **4.2 Bestimmung des stahlbaugerechten Fertigungsprinzips durch Analyse des Werkstückspektrums mit Hilfe eines Erfassungssystems**

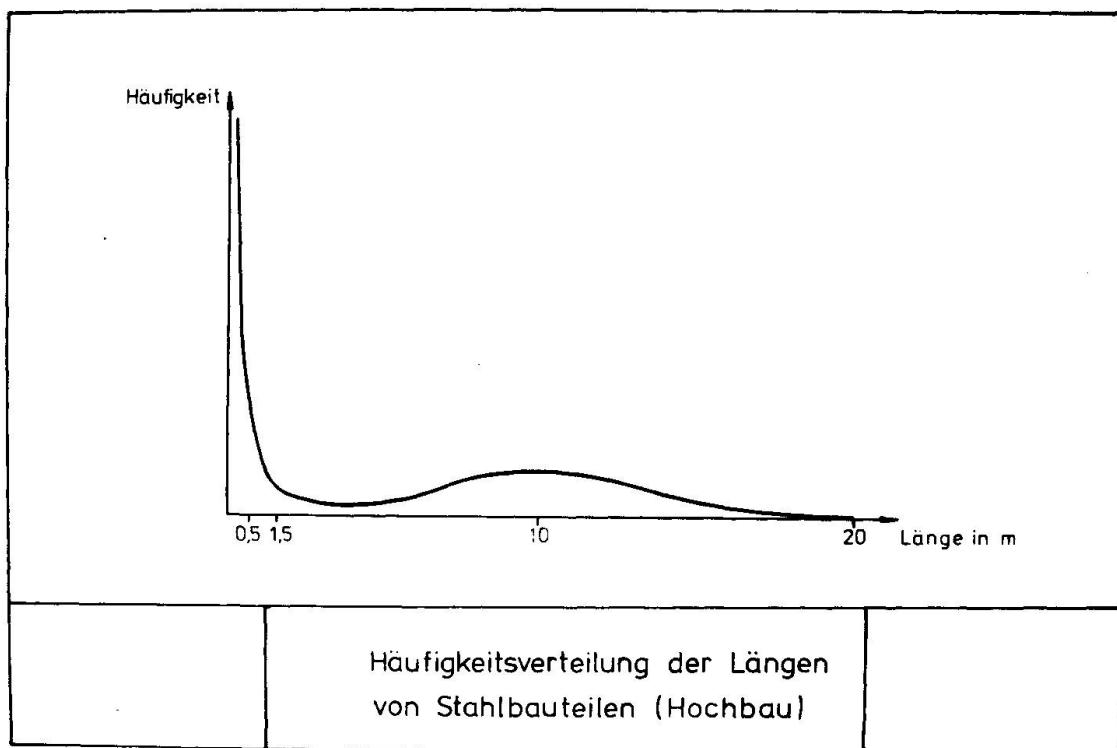
Entscheidungen, die die Gesamtstruktur einer Fertigung bestimmen, sollte man nur in unumgänglichen Fällen der Intuition überlassen. Intuitive Entscheidungen sind in unkontrollierbarer Weise von unbewußten Einflüssen abhängig, so daß der Entscheidungsprozeß nicht mit Sicherheit im jeweils möglichen Maße auf rationaler Basis stattfindet.

Daher sollen im folgenden die Grundzüge eines Werkstück-Erfassungssystems vorgestellt werden, das nach unserer bisherigen Erfahrung die für die Stahlbaufertigung typischen Entscheidungsdaten liefern kann. Durch das Erfassungssystem werden die charakteristischen Stammdaten eines repräsentativen Teils der bisherigen oder zukünftig geplanten Werkstücke z. B. auf Lochkarten erfaßt. Aus diesen Stammdaten lassen sich zahlenmäßige Entscheidungsgrundlagen für die Fragen aufbereiten, die vom Werkstückspektrum her anstehen. Dieser Vorgang soll am Beispiel "Bestimmung des stahlbaugerechten Fertigungsprinzips" erläutert werden:

Der Erfassungsschlüssel gliedert sich in folgende Hauptgruppen:

- Identifizierung
- Geometrie des Ausgangsmaterials
- Abweichungen von der Ausgangsgeometrie
- Löcher
- Schweißoperationen
- Fügeoperationen
- Betriebsspezifische Bearbeitung oder Behandlung

Wenn nun das stahlbaugerechte Fertigungsprinzip bestimmt werden soll, dann stellt man durch Analyse der Hauptgruppen fest, wo die Schwerpunkte der gemeinsamen Merkmale von Stahlbauteilen liegen. Dabei stellt sich über die Häufigkeitsverteilung in der Hauptgruppe "Geometrie des Ausgangsmaterials" heraus, daß sich die Stahlbauteile recht gut aufteilen lassen in Kleinteile (Kopfplatten, Steifen, Knäggen, Beiwinkel) und Großteile (Stützen, Träger, Pfetten, Riegel).



Die weiter detaillierte Analyse ergibt folgende Schwerpunkte:

Kleinteile bestehen meist aus Flachmaterial oder leichten L-Profilen.

Großteile besitzen meist im Vergleich zur Länge eine geringe Breite und Höhe (lineare Elemente). Außerdem besitzen sie in Längsrichtung zumeist einen konstanten Querschnitt.

Weiterhin zeigen die übrigen Schlüsselhauptgruppen, daß fast alle Teile vom Rohmaterial abgelängt, mit Löchern versehen, gestrahlt, konserviert und gestrichen werden. Ein hoher Prozentsatz der Großteile wird zudem durch Fügen mit Kleinteilen versehen und/oder aus geklinkt.

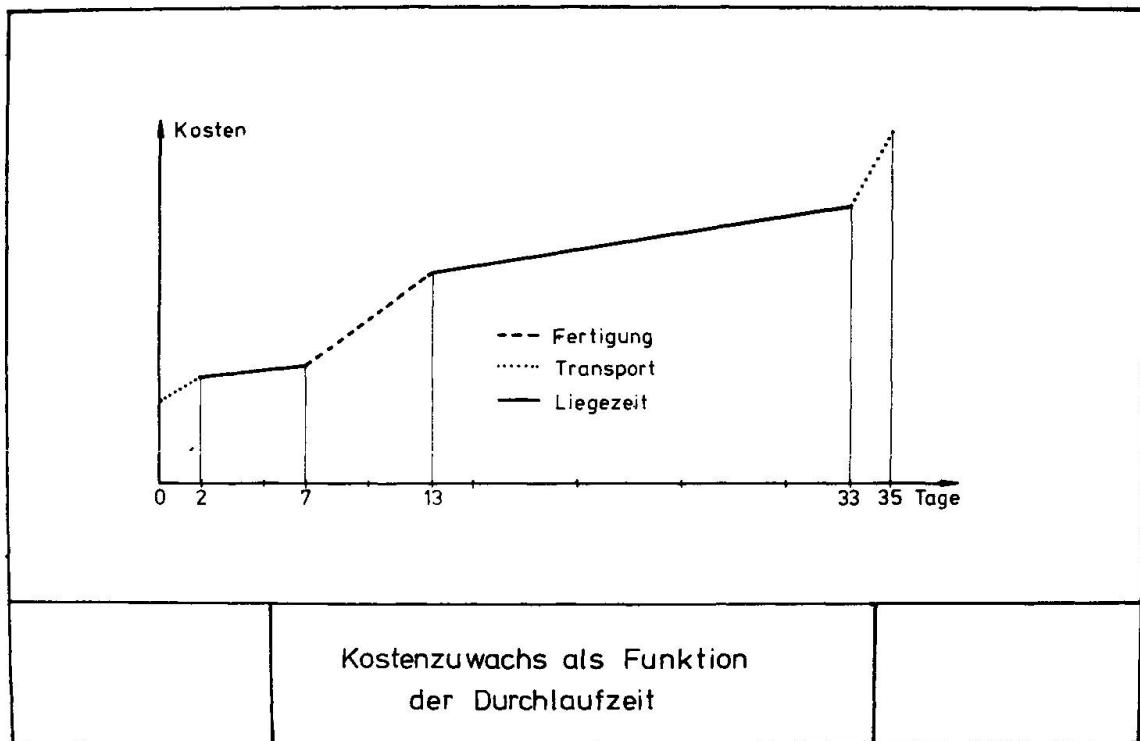
Diese Analyse legt schon durch die sehr unterschiedlichen Transportmöglichkeiten von Kleinteilen und Großteilen eine Zweiteilung der Fertigung nahe:

1. Kleinteilefertigung
2. Großteilefertigung

Für die Kleinteilefertigung ergibt sich aufgrund der in Abschnitt 4.1 beschriebenen Vor- und Nachteile als optimale Fertigungsart das Verrichtungsprinzip (Werkstättenfertigung). Dadurch ist am ehesten eine gleichmäßige Auslastung des Maschinenparks und eine Nutzung der technischen Möglichkeiten einzelner Maschinen bei erträglichen Transportkosten gegeben. Der Transport erfolgt dabei in Kästen oder auf Paletten durch Gabelstapler. Bei diesem Fertigungsprinzip sind die Werkstätten bzw. Maschinengruppen räumlich so anzurichten, daß im Mittel der Transportaufwand minimal wird. Eine einfache mathematische Methode zur Lösung dieses Problems ist z. B. der Simplex Algorithmus [4].

Für die Großteilefertigung bietet sich hingegen aus folgenden Gründen das Fließprinzip an:

Mit Hilfe des Erfassungsschlüssels konnte festgestellt werden, daß die Mehrzahl der Großteile eine ausgeprägte fertigungstechnische Ähnlichkeit besitzt. Die Großteile werden vom Rohmaterial abgelängt, mit Löchern versehen, ausgeklinkt, gestrahlt, gefügt und gestrichen. Manche Firmen haben darüber hinaus noch weitere Schwerpunkte, z. B. Umformen. Die Reihenfolge der Arbeitsoperationen ist im allgemeinen aus funktionalen Gründen gleich bzw. kann zumeist ohne größere Schwierigkeiten vereinheitlicht werden. Damit sind die notwendigen Bedingungen für eine Fließfertigung in starkem Maße erfüllt.



Mit der Fließfertigung wird eine besonders kostengünstige Art des Werkstücktransports möglich: Der Transport auf Rollbahnen und Querschleppern (als Puffer). Die spezielle "lineare" Geometrie, die die Großteile vor der Operation Fügen besitzen, kommt dieser Transportart in idealer Weise entgegen, so daß besonders einfache Ausführungen von Rollbahnen genügen. Gegenüber dem meist üblichen Krantransport ist diese Art weniger personalintensiv und automatisierbar. Der Transport erfolgt im allgemeinen nur auf einem Niveau. Es gibt innerhalb des Flusses kein Be- und Entladen. Jeder Arbeitsplatz hat seine eigenen Transportmittel. Dadurch entstehen keine unnötigen Stillstandszeiten. Die Durchlaufgeschwindigkeit ist gegenüber dem Krantransport erheblich verbessert. Dies führt durch Verringerung des Umlaufvermögens zu bedeutender Kosteneinsparung, wie sich aus Bild 4 ergibt.

Es ist deshalb erstaunlich, daß das im Maschinen- und Fahrzeugbau so bewährte Fließprinzip mit seinen günstigen Transportmöglichkeiten nur zögernd Eingang in die Stahlbaufabrikation findet. Dies liegt möglicherweise an der im Vergleich zu Maschinenbaufabriken schwächeren Finanzkraft von Stahlbaufirmen, an den höheren Anforderungen an die Arbeitsvorbereitung und Organisation, und an dem Fehlen von Maschinenbauingenieuren in den Unternehmensleitungen von Stahlbaufabriken. Zudem konnten in der Vergangenheit bei günstiger Marktlage auch unwirtschaftlich arbeitende Betriebe ihr Auskommen finden, zumal wenn die Konkurrenzbetriebe mit gleicher Unwirtschaftlichkeit arbeiten.

#### 4. 3 Bestimmung der richtigen Automationsart in Abhängigkeit von Fertigungsprogramm und Absatzmenge

Obwohl das Verrichtungsprinzip (Werkstättenfertigung) für die Kleinteilefertigung im Stahlbau weitgehend bekannt ist, sollten auch für diese Fertigungsart und hier speziell auf dem Gebiet der Arbeitsvorbereitung, also der Fertigungsplanung und -steuerung, noch erhebliche Verbesserungen durchgeführt werden, um das hohe Niveau des allgemeinen Maschinenbaus zu erreichen.

Da im Stahlbau aber die Großteilefertigung die bedeutendsten Schwierigkeiten bereitet, soll im weiteren nur auf das Fließprinzip eingegangen werden. Hinsichtlich des Fließprinzips sind für mittlere und große Stahlbaufabriken heute drei Automationsarten von Bedeutung:

1. Die Fließfertigung mit handgesteuerten und halbautomatischen Maschinen
2. Die Fertigungslinie mit numerisch-gesteuerten Maschinen (Numeric Control)
3. Die Transferstraße (Taktstraße)

Bei der Fließfertigung mit handgesteuerten und halbautomatischen Maschinen wird der bisher benutzte Maschinenpark weiter verwendet und nur das Transportproblem durch Rollgänge und Querschlepper besser gelöst. Dieses niedrige Automationsniveau dürfte aber in Anbetracht der steigenden Lohnkosten nur eine Zwischenlösung sein. Eine zukunfts-

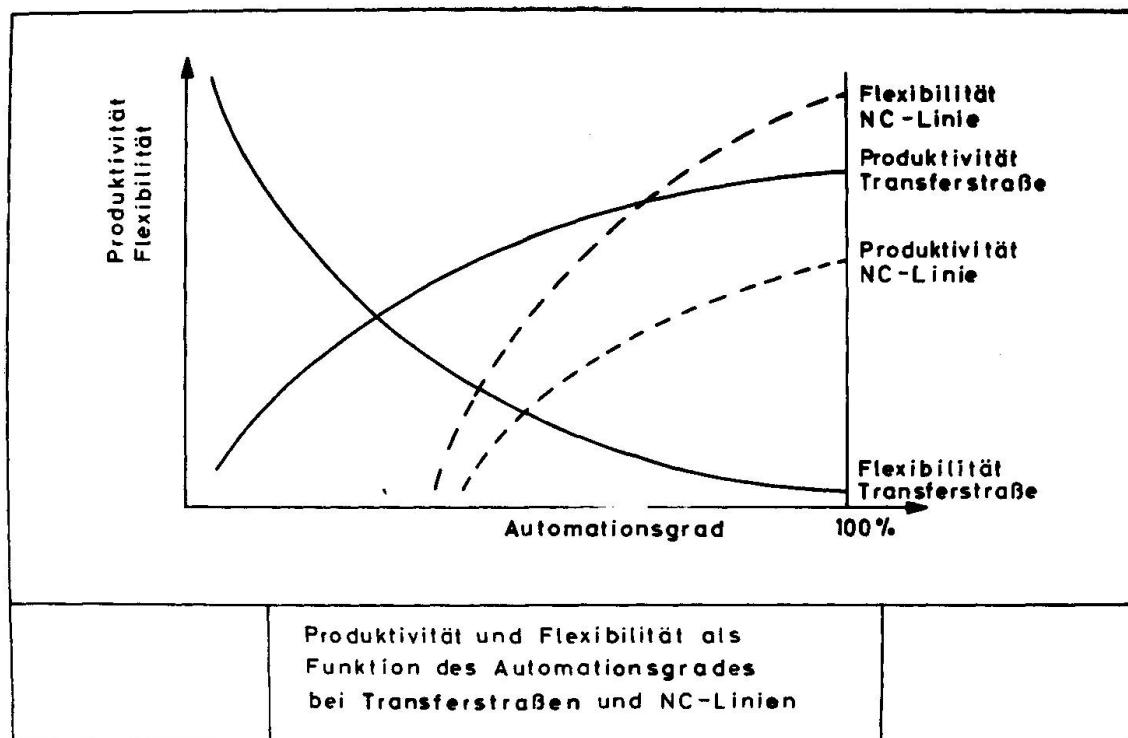
sichere Lösung ist hingegen die Fertigungsline mit numerisch gesteuerten Maschinen. Sie hat folgende spezifische Merkmale:

Die Steuerung der Einzelmaschinen erfolgt nicht wie bisher durch Einstellen der Maschine von Hand, sondern durch Eingabe eines Lochstreifens. Dieser Lochstreifen, der sämtliche notwendigen Maschinenbefehle enthält, wird in der Abteilung Arbeitsvorbereitung von einer qualifizierten Fachkraft erstellt. Dadurch ist z. B. die numerisch gesteuerte Portal-Bohrmaschine in der Lage, nacheinander Träger oder Flachmaterial mit völlig verschiedenen Bohrbildern zu bohren, ohne daß ein Bedienungsmann eingreifen muß. Allerdings dürfen nur Bohrdurchmesser verwendet werden, die im Werkzeugmagazin der Maschine vorhanden sind; außerdem müssen die Werkstücke mit der gleichen Spannvorrichtung zu spannen sein.

Innerhalb der gesamten technischen Möglichkeiten der NC-Maschine sind also allein durch Bereitstellen des Lochstreifens und des rohen Werkstücks bei Teilefamilienfertigung alle Variationen in beliebiger Reihenfolge durchzuführen. Nur beim Wechsel von einer Teilefamilie auf die nächste muß auf andere Spannmittel oder Werkzeuge umgerüstet werden. Die NC-Maschine ist also im höchsten Maße flexibel und somit prädestiniert für die Einzel- und Kleinserienfertigung. Dadurch unterscheidet sich die NC-Maschine grundsätzlich von der Transferstraße.

Die Transferstraße hat ein einziges festes Programm, das nur mit erheblichem Zeit- und Personalaufwand geändert werden kann. Da die Transferstraße in ihren technischen Möglichkeiten nur für eine einzige Aufgabe ausgelegt ist, läßt sie sich für diese eine Aufgabe derart optimieren, daß keine andere Automationsart kostengünstiger arbeiten kann.

Ohne eine ausreichend hohe, eventuell durch Verträge gesicherte Absatzmenge jedoch ist die Transferstraße wegen ihrer mangelnden Flexibilität nicht rentabel und zu risikoreich. Sie wird daher nur für Großfirmen in Betracht kommen, die über längere Zeit die gleichen Elemente in so hoher Stückzahl verkaufen können, daß damit eine Transferstraße ständig ausgelastet wird. Die große Verlockung, aber auch die große Gefahr, diese Art von Automation - kennzeichnenderweise auch Detroit-Automation genannt - einzuführen, verlangt von der Geschäftsleitung eine schwerwiegende strategische Entscheidung, die nur dann mit gutem Gewissen vertreten werden kann, wenn die Marktanalyse als Grundvoraussetzung ein entsprechend sicheres, langfristiges Absatzgebiet garantiert. Bei der derzeitigen Marktlage des Stahlbaus sind daher nur in Ausnahmefällen Transferstraßen in der Stahlbaufertigung realisierbar. Durch die in den letzten Jahren stärker einsetzende Normung der Einheiten, aus denen sich eine Transferstraße zusammensetzt, wird es in Zukunft allerdings möglich, bei Änderung des Programms die meisten Elemente der alten Transferstraße für die neue Anlage wieder zu verwenden. Außerdem ist seit einiger Zeit die Tendenz zu verspüren, daß der Markt bei entsprechendem Preis auch streng typisierte Bauten oder Bauelemente ohne jede Änderung, z. B. im Typenhallenbau, aufnimmt. Aufgrund dieser neueren Entwicklungen ist es für die Zukunft wahrscheinlicher, daß einige Fir-



men das Risiko einer wenig flexiblen Transferstraße wagen können und diesen beschränkten Marktbereich aufgrund ihrer niedrigen Herstellkosten beherrschen, während andere Firmen den vorerst noch umfangreicheren Markt des Systembaus und des maßgeschneiderten Bauens durch NC-gefertigte Stahlbauten beliefern werden.

#### 4. 4 Auswahl des optimalen Maschinenparks

Zur Auswahl des optimalen Maschinenparks muß selbstverständlich das Fertigungsprogramm und die Fertigungsmenge bekannt sein. Unter Berücksichtigung dieser Daten ermittelt man durch einen betriebswirtschaftlichen Verfahrensvergleich das optimale Fertigungsverfahren, z. B. ob man das Werkstück stanzen oder bohren soll. Oft wird aber dieser Verfahrensvergleich nicht nur durch technische und kaufmännische Faktoren bestimmt, sondern auch durch die Bestimmungen der Baunormen, deren mittlere Laufdauer bekanntlich zwischen 20 und 30 Jahren liegt.

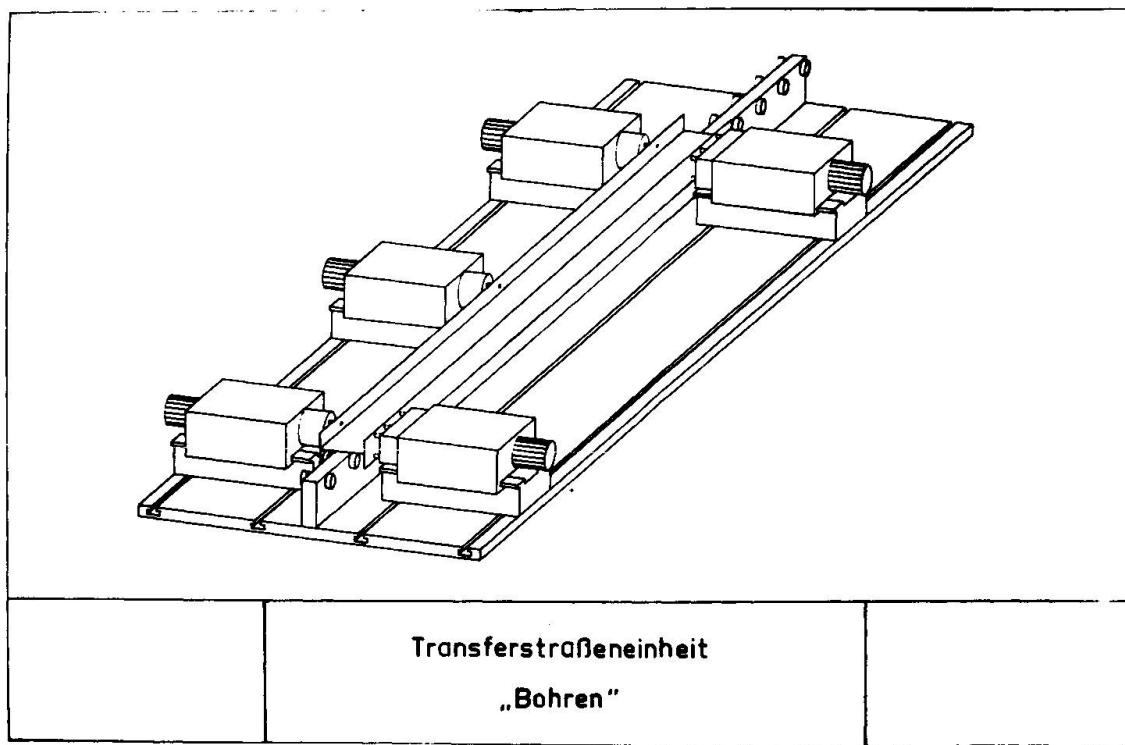
Der Verfahrensvergleich liefert den Grobentwurf des Maschinenparks, der dann anhand der auf dem Markt angebotenen Maschinen wei-

ter zu verfeinern ist. Durch die unterschiedlichen Anforderungen an die Flexibilität einer Transferstraße und einer numerisch gesteuerten Fertigungsline geht man beim Feinentwurf für die Anlagen unterschiedlich vor.

#### 4. 4. Auswahl des Maschinenparks für Transferstraßen

Das Werkstückspektrum einer Transferstraße ist denkbar klein: Es besteht nur aus einem einzigen Werkstück. Dieses Werkstück wird in sehr großer Serie gefertigt. Dabei muß die Absatzplanung möglichst genau definieren, welche Stückzahl pro Tag angestrebt wird, wie lange die Serie laufen und in welchem Ausmaß sich die Transferstraße für diese Serie amortisieren soll. Daraus ergibt sich, inwieweit die Transferstraße für spätere Serien umrüstbar sein muß.

Beim Feinentwurf ergeben sich meist eine Reihe von Alternativlösungen durch die technischen Daten der Maschinen, Preise, Lieferbedingungen, die notwendigen Sondervorrichtungen, die Transporteinrichtungen und durch die Möglichkeiten, die Anlage auf ein neues Programm umzurüsten. Während die Auswahl der Maschinen hinsichtlich ihrer Leistung noch hinreichend gut durch eine genaue Berechnung der Maschinenstundenkosten und der Fertigungszeiten für das einzige Werkstück zu optimieren ist, kann der Nutzeffekt einer mehr oder minder großen Flexibilität kaum in vergleichbaren Zahlen ausgedrückt werden. Da aber im Stahlbau die Serien weit kleiner sein werden als z. B. im Automobilbau, für den die Transferstraßen entwickelt wurden, ist gerade auf eine gewisse Umbau- und Umstellmöglichkeit großer Wert zu legen. Zur Anregung ist dazu in Bild 6 eine mögliche Lösung einer



relativ flexiblen Transferstraße für den Stahlbau skizziert.

#### 4.4.2 Auswahl des optimalen Maschinenparks für Fertigungslien mit gemischter Fertigung durch rechnergestützten Vergleich des Werkstückspektrums mit dem geplanten Maschinenpark

Wenn eine Fertigungsline nicht - wie die Transferstraße - für ein einziges Werkstück ausgelegt werden soll, sondern für ein Werkstückspektrum mit einer erheblichen Variationsbreite, so wird man nur eine Kompromißlösung finden können. Dabei die beste aller möglichen Kompromißlösungen auszuwählen, war in der Vergangenheit kaum möglich, da die große Menge der vom Werkstückspektrum her anstehenden Daten nicht mit sinnvollem Aufwand aufbereitet werden konnte und vor allem keine geeigneten Methoden zum Vergleich eines Werkstückspektrums mit einem Maschinenpark zur Verfügung standen.

In neuerer Zeit sind Erfassungssysteme (Abs. 4.2) entwickelt worden, die aufgrund der erfaßten Stammdaten den Katalog aller Anforderungen enthalten, die ein Werkstück an den Maschinenpark stellt. Ebenso kann man die jeweils relevanten Stammdaten einer Werkzeugmaschine und sogar einer Fertigungsline erfassen. Über ein Rechenprogramm, das im wesentlichen nach der Art einer kaufmännischen Einzelteilkalkulation aufgebaut ist, lassen sich Werkstück und Maschine miteinander verknüpfen. Mit Hilfe dieses Rechenprogramms läßt sich dann der Durchlauf eines Werkstücks oder eines Werkstückspektrums durch die Fertigungsline simulieren, so daß man die Durchlaufzeit und die Herstellkosten abfragen kann. Durch den Vergleich von geplantem Umsatz mit der Durchlaufzeit des Werkstückspektrums ist die Auslastung und zusammen mit den Herstellkosten auch die Wirtschaftlichkeit bestimmt. Wenn man nun ein Werkstückspektrum simuliert über die Alternativlösungen einer Fertigungsline laufen läßt, so stellt sich über die jeweiligen Herstellkosten dieses Spektrums und über die Durchlaufzeit heraus, welche Lösung optimal ist. Dies soll an einem Beispiel erläutert werden:

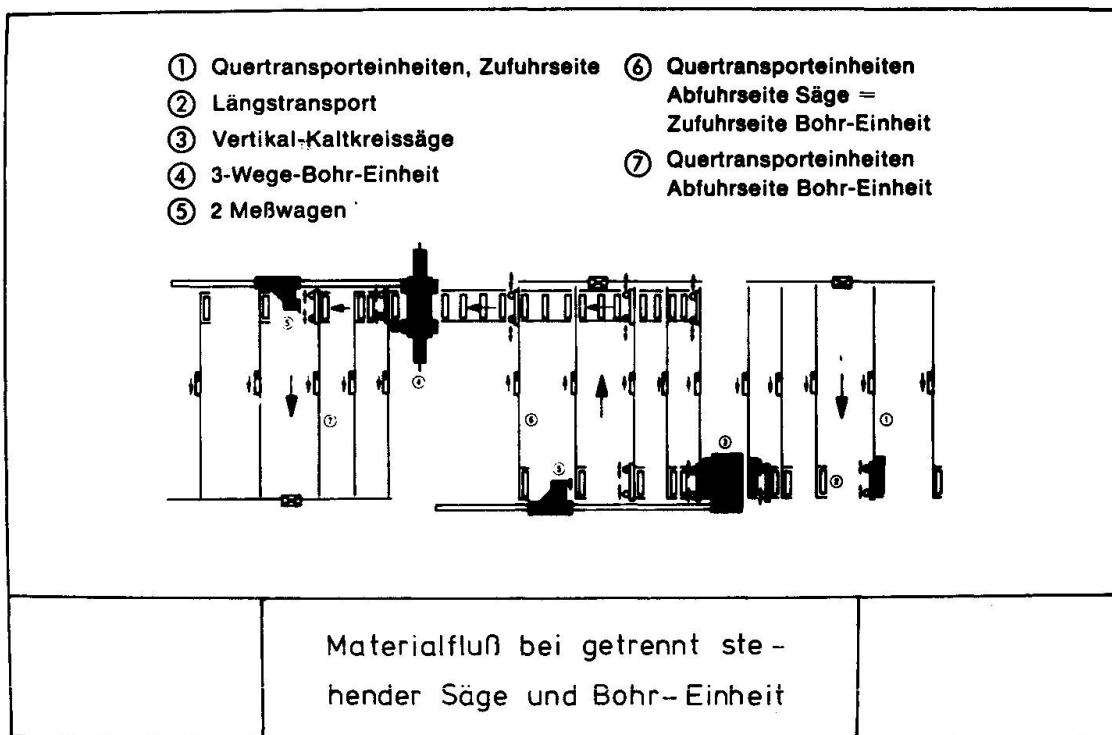
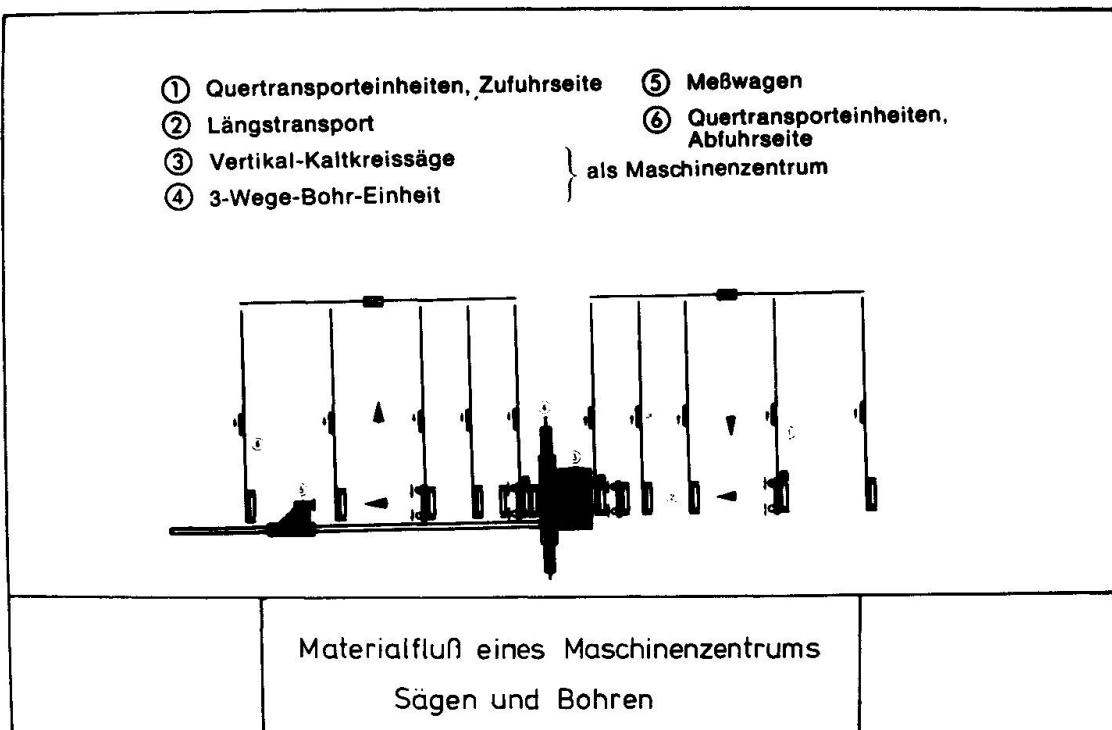
Zum Sägen und Bohren von Flach- und Formstahl stehen zwei Alternativlösungen zur Wahl (mittlere Stahlbaufabrik mit gemischter Fertigung):

1) NC-Maschinenzentrum aus Säge- und Bohreinheit

Merkmal: Wenn gesägt wird, kann nicht gebohrt werden und umgekehrt. Das Maschinenzentrum benötigt nur eine Längemeßeinheit und Transportanlage (Bild 7).

2) NC-Säge und NC-Bohrmaschine

Merkmal: Bohren und Sägen erfolgen unabhängig voneinander. Es werden zwei Längeneinheiten und eine umfangreichere kombinierte Transportanlage benötigt (Bild 8).



Um den Aufwand möglichst gering zu halten, wählt man aus der vorhandenen bzw. geplanten gemischten Fertigung ein repräsentatives Werkstücksspektrum aus. Die für die Fertigung relevanten Stammdaten der Werkstücke des Spektrums werden - neben Daten für andere Auswertungszwecke - nach dem bereits erwähnten Erfassungssystem auf Lochkarten gespeichert. Ebenso werden die Stammdaten des Maschinenparks gespeichert. Der weitere Ablauf des Simulationsprozesses wird aus dem Flußdiagramm (Bild 9) ersichtlich.

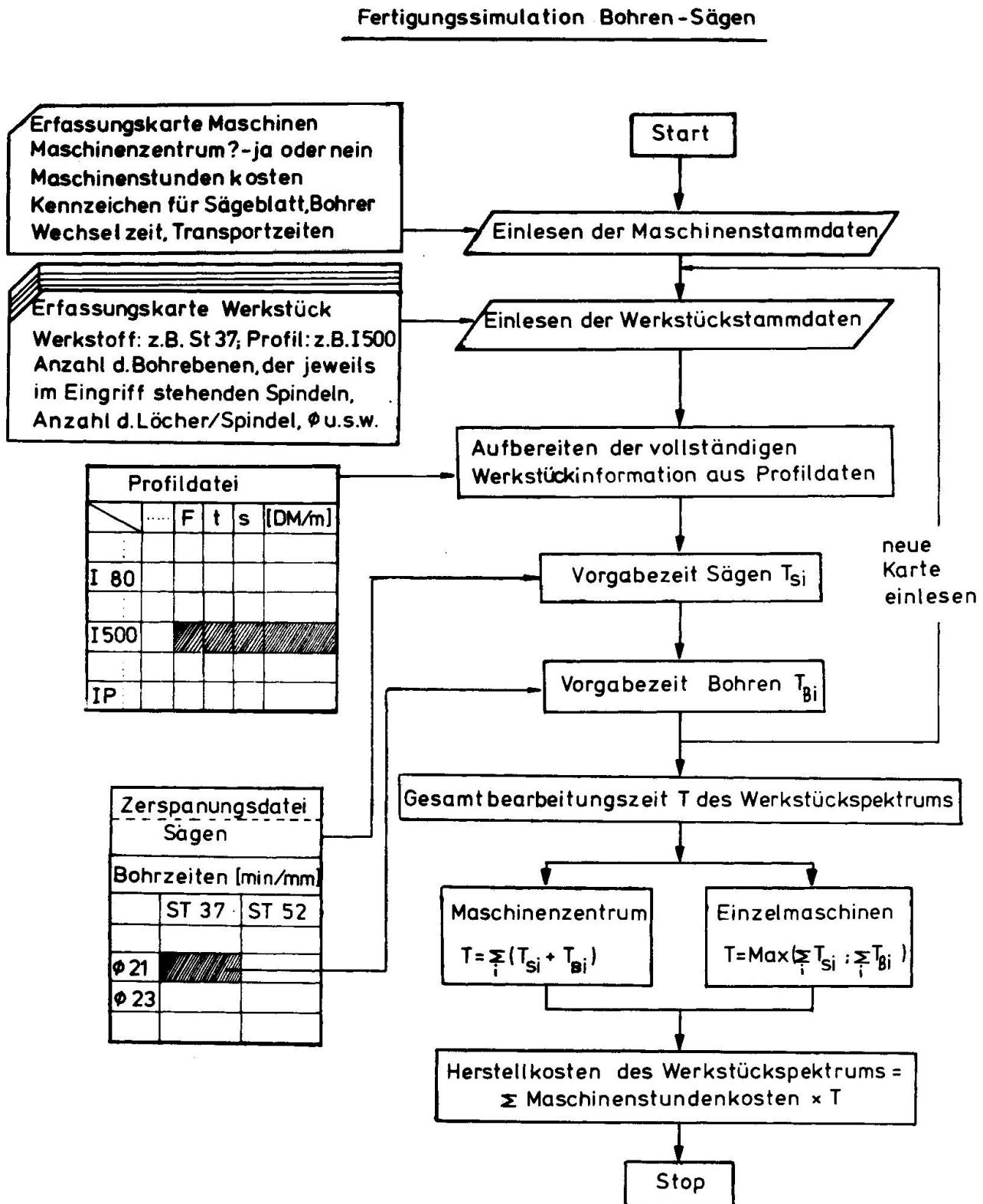


Bild 9

Ähnlich wie im beschriebenen Beispiel läßt sich mit Hilfe des Erfassungssystems auch feststellen, ob die Engpässe der Fertigung beim Sägen oder Bohren liegen, ob überhaupt alle Werkstücke des Spektrums auf der Fertigungsline gefertigt werden können, ob die Anlagen in ihrer Leistungsfähigkeit und in der Vielfalt ihrer technischen Variationsmöglichkeiten sinnvoll genutzt sind und vieles mehr.

## 5. Fertigungsgerechte Konstruktion der Einzelbauteile

Noch vor 10 bis 20 Jahren war es wirtschaftlich, durch einen hohen Lohnkostenanteil handwerkliche Arbeit aufzuwenden, um Material zu sparen. Eine Konstruktion, die an allen Stellen gleichmäßig hoch beansprucht wird, ist als Körper gleicher Festigkeit hinsichtlich des Werkstoffverbrauchs als optimal zu werten. Konstruktionen gleicher Festigkeit und Sicherheit erzielt man im Stahlbau, indem man die Steifigkeitsverläufe von Trägern und Stützen durch Vouten, abgestufte Flansche und Stege sowie durch Verwendung verschiedener Stahlgüten den statischen und stabilitätstheoretischen Erfordernissen anpaßt.

Heute und erst recht in Zukunft schlagen aber die Lohnkosten gegenüber den Materialpreisen immer mehr zu Buch (Bild 1). Deshalb ist man darauf angewiesen, den handwerklichen Arbeitseinsatz zu reduzieren und die Fertigungsleistungen durch Maschineneinsatz zu erbringen. Die Verwirklichung dieser Forderung setzt Konstruktionen voraus, die möglichst einfache und gleichmäßige Gestalt haben, z. B. Stützen und Träger konstanten Querschnitts. Walzprofile oder Profile, die auf einer automatischen Vielnahtschweißanlage herstellbar sind, sollten deshalb solchen vorgezogen werden, die z. B. durch zusätzliches Aufschweißen von Lamellen entstehen. Prinzipiell zwar könnten auch die Längskehlnähte solcher Lamellen von automatischen Schweißanlagen hergestellt werden, aber die Positionierung der Lamellen am Träger und das Schweißen der Stirnkehlnähte müßte von Hand geschehen. Heute ist daher ein glatter Träger mit konstantem Querschnitt oft wirtschaftlicher.

Auch Details, wie z. B. Ausklinkungen, die man bisher zu den rein handwerklichen Arbeitsoperationen rechnen muß, lassen sich bei fertigungsgerechter Gestaltung stärker in die automatisierte Bearbeitung einbeziehen. Wenn man nämlich bei der maßgeblichen Festlegung der Ausklinkungshöhe K darauf achtet, daß das Abbohrloch im Steg mit dem Durchmesser möglichst in der Bohreinheit mitgebohrt werden kann, braucht nach der automatisierten Bearbeitung nur noch der Flansch autogen von Hand abgetrennt zu werden. Dies ist aber nur dann möglich, wenn

$$K \geq m + 0,5 d$$

ist, wobei m das Maß von der Flanschoberkante bis zum Mittelpunkt der Ausrundung des Profils an der Stegseite ist. Bei geringerer Ausklinkungshöhe kann das Abbohrloch wegen der Gefahr des Bohrabbrechens erst gebohrt werden, wenn der Flansch bereits abgetrennt ist. Dies kann aber erst nach der automatisierten Fertigung geschehen.

Wie im Kapitel 4.3 dargelegt, ist für den Stahlbau mit gemischtem Fertigungsprogramm die numerisch gesteuerte Fertigungsline besonders günstig. Welchen Bedingungen muß nun das zu fertigende Bauteil genügen, damit es kostengünstig auf der NC-Linie bearbeitet werden kann?

Durch die räumliche Anordnung der Fertigungsmaschinen zueinander wird die maximale Länge des Bauteils vorgeschrieben, durch das kleinste Bearbeitungsportal der verschiedenen Maschinen sind die maximalen Höhen und Breiten des Bauteils vorgegeben und durch die Leistungen der Säge- und gegebenenfalls Stanzmaschinen die Blechdicke begrenzt.

Um nun Bauteile, deren Maximalabmessungen innerhalb der oben definierten Grenzen liegen, besonders wirtschaftlich fertigen zu können, muß man sie zu Teilefamilien zusammenfassen, die terminlich zusammen passen und die Fertigungsline gemeinsam durchlaufen, ohne daß die Maschinen zwischendurch umgerüstet werden. Dazu müssen die Anforderungen der Teile an

- 1) Spannmittel
- 2) Bearbeitung
- 3) Meßmittel

gleich sein.

#### zu 1) Spannmittel

Profil	Anforderungen an die Spannmittel
H — ⊥ □ ⊣	gleich ohne Hilfseinrichtungen
O ⊣	verschieden, jeweils besondere Hilfseinrichtung
— ⊣	selbst mit Hilfseinrichtung schlecht spannbar, daher zu vermeiden

Tabelle 2

Der Konstrukteur sollte sich daher auf Profile beschränken, die ohne Hilfseinrichtung spannbar sind.

zu 2) Bearbeitung

Bearbeitungsvorgang	Bearbeitungsmittel
Sägen	gleiches Sägeblatt
Bohren	gleiches Durchmesser- spektrum
Sandstrahlen	gleiches Strahlmittel
Oberflächenschutz	gleiches Deckschicht-Mittel

Tabelle 3

Dabei wird man beim Sägen nicht immer das optimale Sägeblatt für jedes einzelne Werkstück wählen können, weil sonst die Teilefamilien zu klein würden. Dieser Kompromiß dürfte im allgemeinen günstiger sein als ein häufiger Sägeblattwechsel.

Beim Bohren muß man sich auf die Anzahl der Durchmesser beschränken, die das Werkzeugmagazin der Bohrmaschine aufnehmen kann. Um die Möglichkeit zur Teilefamilienfertigung nicht zu sehr einzuziehen, sollte man sich daher in der Konstruktion auf Vorzugsloch-durchmesser beschränken.

Heute vom Markt angebotene NC-Bohrmaschinen für den Stahlbau sind im allgemeinen Portalmaschinen mit zwei Horizontal- und einem Vertikalbohrer, die jeweils ein Werkzeugmagazin für 4 - 12 Bohrer besitzen. Damit läßt sich das Spektrum der im Stahlbau üblichen Loch-durchmesser im allgemeinen bestreichen. Die Lochbilder eines Bauteils sollen möglichst Löcher gleichen Durchmessers haben, um Werkzeugwechselzeiten zu sparen. Außerdem soll ein Werkstück möglichst wenig Bohrebenen besitzen, um Verfahrzeiten zu sparen. Eine Bohrebene ist dabei die Ebene, die durch die Bohrer eines Bearbeitungsportals aufgespannt wird. Die Dauer des Arbeitstaktes einer Bohrebene ist hauptsächlich durch die maximale Anzahl der Löcher, die ein Bohrer pro Ebene zu bohren hat, festgelegt. Daher sind die Bohrbilder nach Möglichkeit so zu gestalten, daß der Vertikalbohrer und die Horizontalbohrer gleichzeitig in Eingriff sind.

Schließlich soll das Bauteil wenig aufzuschweißende Winkel und Knaggen haben, denn die Positionierung dieser Kleinteile, ihr Aufspannen und Anschweißen von Hand ist zeitraubend. Daher sollen diese Kleinteile möglichst angeschraubt werden, was zusätzlich den Vorteil leichter Demontage bringt. Sperrige Kleinteile, die aus der linearen glatten Trägerform herausragen, machen u. U. den Transport auf Roll-

bahnen und Querschleppern unmöglich und erschweren einen automatischen Oberflächenschutz, so daß man sie - falls sie konstruktiv wirklich nötig sind - möglichst erst am Ende des Fertigungsprozesses anfügen sollte.

Anschlußkonstruktionen sollte man möglichst als Schraubverbindungen ausführen. Entsprechende Löcher können automatisch gebohrt und die Muttern mit dem Schlagschrauber schnell angezogen werden, während beim Schweißen das Positionieren und Fixieren im allgemeinen von Hand erfolgen muß und daher zeitraubend ist.

Bei Kopfplattenanschlüssen soll man sich auf werksgenormte Ausführungen beschränken, da sich dann spezielle automatische Haltevorrichtungen rentieren.

Obwohl die Maschinen die Formenvielfalt der Werkstückelemente beschränken, sind Längen, Dicken, Profilgrößen, Anschlußorte usw. individuell wählbar. Die Forderung an den Konstrukteur heißt lediglich: Morphologische Typisierung.

Die fertigungsbedingte Gleichmäßigkeit der Konstruktion ist aber noch allgemeiner zu sehen. Mit Hilfe des Erfassungsschlüssels ist die Konstruktion ohne Schwierigkeit darauf hin zu untersuchen, ob Träger und Stützen mit nur wenig unterschiedlichen Profilgrößen und Anschlußformen verwendet werden. Falls diese Unterschiede nicht unbedingt von der Funktion her vorgeschrieben sind, sollte man die Teile zu einem Wiederholteil vereinheitlichen, wenn auch dadurch einzelne Bauteile etwas überdimensioniert werden. Daß dadurch die durch die Gewichtsschinderei der Vergangenheit laufend vermindernden Sicherheitsreserven nunmehr durch fertigungsgerechte Konstruktion wieder auf ein vernünftiges Maß aufgefüllt werden, kann nur jeder verantwortungsbewußte Ingenieur begrüßen.

Eine noch höhere Gleichmäßigkeit erreicht man durch Konstruktionen mit weniger, aber dafür längeren Einzelteilen. Diese Konstruktion kommt mit weniger Anschlußpunkten aus. Macht man außerdem die Stützweiten größer, müssen zwar im allgemeinen die Querschnitte stärker dimensioniert werden, man spart aber teure Anschlußkonstruktionen und gewinnt überdies den Vorteil eines großräumigeren Bauwerks, was im übrigen dem derzeitigen Entwicklungstrend entspricht.

Zusammenfassend lautet die allgemeine Richtlinie für eine fertigungsgerechte und kostengünstige Konstruktion: "Die Konstruktion soll glatt sein!"

## 6. Folgerungen für die Berechnungsverfahren

Ähnlich wie eine Veränderung des Lohn-/Materialkostenverhältnisses und der Fertigungstechnik ein anderes Konstruktionskonzept bewirkt, so beeinflußt auch die Konstruktionsform die anzuwendenden Berechnungsverfahren.

Handwerkliche Fertigung ist gut geeignet für abgestufte Träger und Stützen, deren Steifigkeit den Beanspruchungen folgt. Im Idealfall

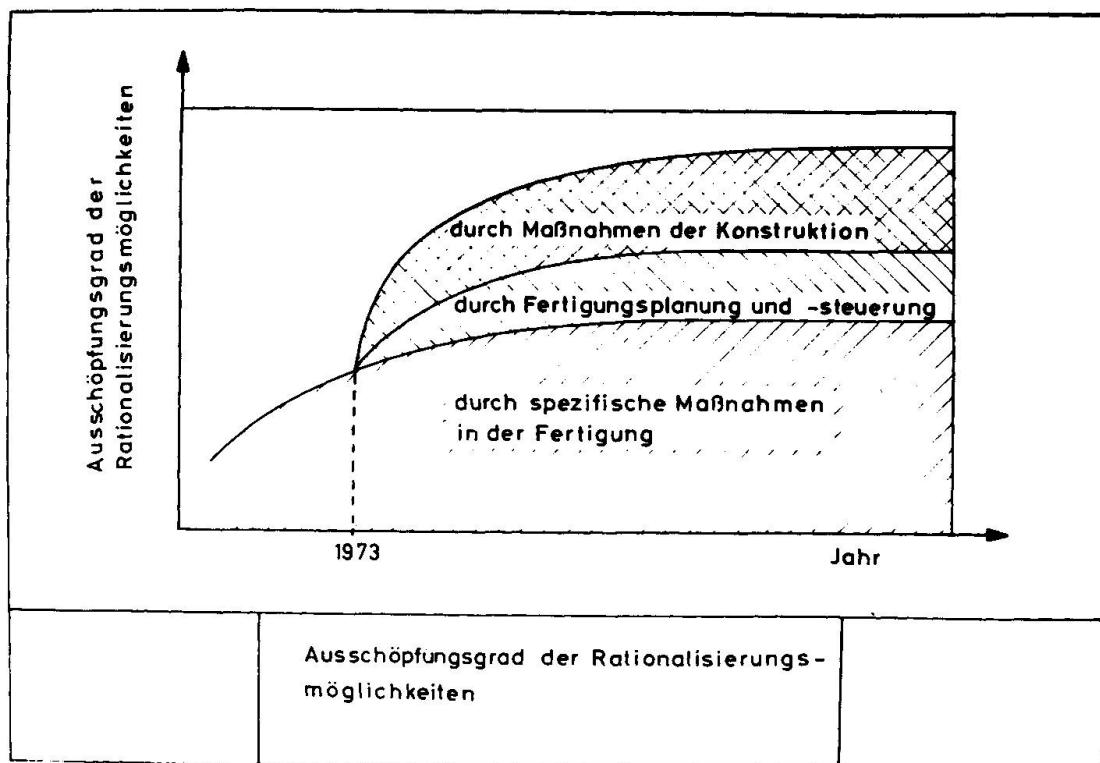
würde man Konstruktionen erhalten, die fast überall bis zur zulässigen Spannung ausgenutzt wären. Ihre Berechnung erfolgt im allgemeinen nach der Elastizitätstheorie. Die Anwendung des die plastischen Reserven des Baustahls nutzenden Traglastverfahrens würde keine Materialeinsparung erbringen, da die kleinste Traglast den  $\gamma$ -fachen Wert der Last hat, die in der Konstruktion gerade noch zulässige Spannungen hervorruft. Es existieren dann nämlich keine Randspannungsspitzen, die bei proportionaler Erhöhung der Lasten zu örtlich konzentrierten Fließgelenken führen können. Es gibt also keine Reihe von diskreten Zusammenbruchsmechanismen, vielmehr würde die Konstruktion an allen Stellen gleichzeitig plastizieren.

Bei automatisch gefertigten glatten Konstruktionen ist hingegen der Ausnutzungsgrad der Querschnitte über die Stablänge ungleichmäßig, und es können sich örtlich konzentrierte plastische Gelenke ausbilden. Bei gegebener Belastung und Konstruktion ist der Sicherheitsgrad gegen den Zusammenbruch des ganzen Tragwerks größer als der gegen nur örtliches, die Standsicherheit nicht gefährdendes Fließen der maximal beanspruchten Stellen. Man wird daher bei automatisch gefertigten, glatten Konstruktionen das Traglastverfahren anwenden, das bei sinnvoller Festlegung der Sicherheitsbeiwerte leichtere Konstruktionen ergibt als bei Bemessung der gleichen glatten Konstruktion nach der Elastizitätstheorie.

Diese engen Zusammenhänge zwischen kostengünstiger Produktionsart, Konstruktionskonzept und Berechnungsverfahren sind sicher ein Grund dafür, daß das Traglastverfahren, dessen theoretische Grundlagen in Mitteleuropa in den Jahren zwischen den Weltkriegen von Maier-Leibnitz, Bleich, Grüning, Girkmann, Melan - nur um die bedeutendsten Namen zu nennen - entwickelt wurden, bis vor kurzem keinen breiteren Eingang in die europäischen Stahlbauvorschriften und damit für die baupraktische Anwendung gefunden hat. In den angelsächsischen Ländern, vor allem in den USA, wo die Marktverhältnisse schon seit Jahrzehnten zu lohnsparenden, aber dafür materialintensiveren Konstruktionen zwingen, wird das Traglastverfahren seit längerer Zeit, z. B. auch für Stockwerkrahmen angewendet und ist in den Vorschriften entsprechend verankert. Dieser Sachverhalt ist ein Beweis dafür, daß eine nach wissenschaftlichen Methoden arbeitende Fertigungstechnik und eine aus dieser abgeleiteten fertigungsgerechten Konstruktionstechnik auch die theoretischen Berechnungsverfahren rückwirkend befriedigen. Es besteht eben - auch im Stahlbau - eine enge Verflechtung zwischen Werkstoff, Theorie, Konstruktion und Fertigung.

## 7. Stufenweise Einführung integrierter Entwurfs- und Fertigungstechnik im Stahlbau

Die kombinierte Entwurfs- und Fertigungstechnik im Sinne des vorliegenden Konzepts wird zweckmäßig zeitlich gestaffelt eingeführt. Der Einrichtung verketteter Fließlinien folgt eine auf sie abgestimmte Fertigungsplanung und -steuerung, die schließlich durch Maßnahmen der fertigungsgerechten Konstruktionstechnik ergänzt werden (Bild 10).



### 7.1 NC-gesteuerte Fertigung

Vorschläge zur Neugestaltung des gesamten Produktionsbereiches sind nur dann realistisch, wenn die notwendigen Änderungen ohne wesentliche Störung der laufenden Produktion durchgeführt werden können und die finanzielle Belastung in sinnvollem Rahmen bleibt.

Man wird daher die Neugestaltung in Einzelschritten vornehmen. Es ist zweckmäßig, im Fertigungsbereich zu beginnen, und zwar mit der Automatisierung der Bearbeitungsvorgänge Anreißen, Sägen, Bohren, Sandstrahlen und Grundieren. Die Automatisierung erfolgt dabei mit NC-Steuerungen, die - wie meist bei Neuerungen - oft recht skeptisch beurteilt werden. Man muß aber gerade hier unterscheiden zwischen Bahnsteuerungen für beliebig gekrümmte Kurven, Streckensteuerungen für Geraden und Punktsteuerungen. Für die Operation Sägen und Bohren kommt im Stahlbau nur die einfachste und daher sicherste Art der NC-Steuerung in Betracht, nämlich die Punktsteuerung. Zudem wird inzwischen eine Anzahl speziell für den Stahlbau konstruierter robuster Maschinen angeboten, die sich im rauen Betrieb zuverlässig bewähren und ganz offensichtlich zu erheblichen Kosteneinsparungen führen.

Ersetzt man die traditionelle Fertigung durch eine Fließfertigung mit NC-Maschinen, so entfallen sämtliche Anreiß-, Säge- und Bohrplätze, sofern man nicht eine kleine Reserve für Sonderfälle beibehält. Durch den Wegfall der entsprechenden großen Lagerplätze wird genügend Platz für die Säge- und Bohranlage frei, so daß die Maschinen der nachfolgenden Bearbeitungsstufen nicht gleichzeitig verändert wer-

den müssen. Da diese Bearbeitungsstufen - speziell der Zusammenbau - bei vorgeschalteter Fließlinie sicher zum Engpaß der Fertigung werden, sollte man hier die frei werdenden Anreißer einsetzen. Ein besonders zuverlässiger Anreißer kann für das Erstellen der Steuerlochstreifen umgeschult werden. Im Gegensatz zu weitverbreiteten Anschauungen sind weitere Änderungen in der Fertigung oder in der Betriebsorganisation für diese Ausbaustufe noch nicht erforderlich. Die Investitionskosten liegen im Rahmen von 1 bis 2 Millionen DM.

Bereits vorhandene Sandstrahlanlagen und Rollbahnen können ebenso wie automatische Grundierungsanlagen an die Fließfertigung für Sägen und Bohren angefügt werden, so daß der weitere Ausbau bis zum Zusammenbau im allgemeinen keinen so hohen Investitionseinsatz erfordert. Der Zusammenbau selbst wird immer personalintensiv und nur teilautomatisierbar bleiben. Wie aber der Automobilbau zeigt, ist es durchaus möglich, im Zusammenbau die gleiche Durchlaufgeschwindigkeit wie in der Fließstraße zu erreichen, wenn man nur geeignete Fügeverfahren (s. Abs. 5) wählt und die Arbeitsvorbereitung leistungsfähig genug ist. Hier zeigt sich, daß bei der letzten Ausbaustufe, also bei weitgehender Automatisierung der Fertigung vom Materiallager bis zur Auslieferung, die Arbeitsvorbereitung und die Konstruktion in die Neugestaltung mit einzogen werden müssen, damit die sich bietenden Rationalisierungsmöglichkeiten genutzt werden.

Selbstverständlich ist es auch schon bei geringeren Ausbaustufen kostensparend, wenn das Konstruktionsbüro sich an Richtlinien nach Abs. 5 hält. Wenn aber eine voll ausgebauten automatisierte Fertigungsline durch nicht leistungsadäquate Arbeitsvorbereitungs- und Entwurfsabteilungen zu unnötigen Teilstillstandszeiten gezwungen wird, geht der Gewinn der Automatisierung wegen des hohen Kapitaldienstes verloren.

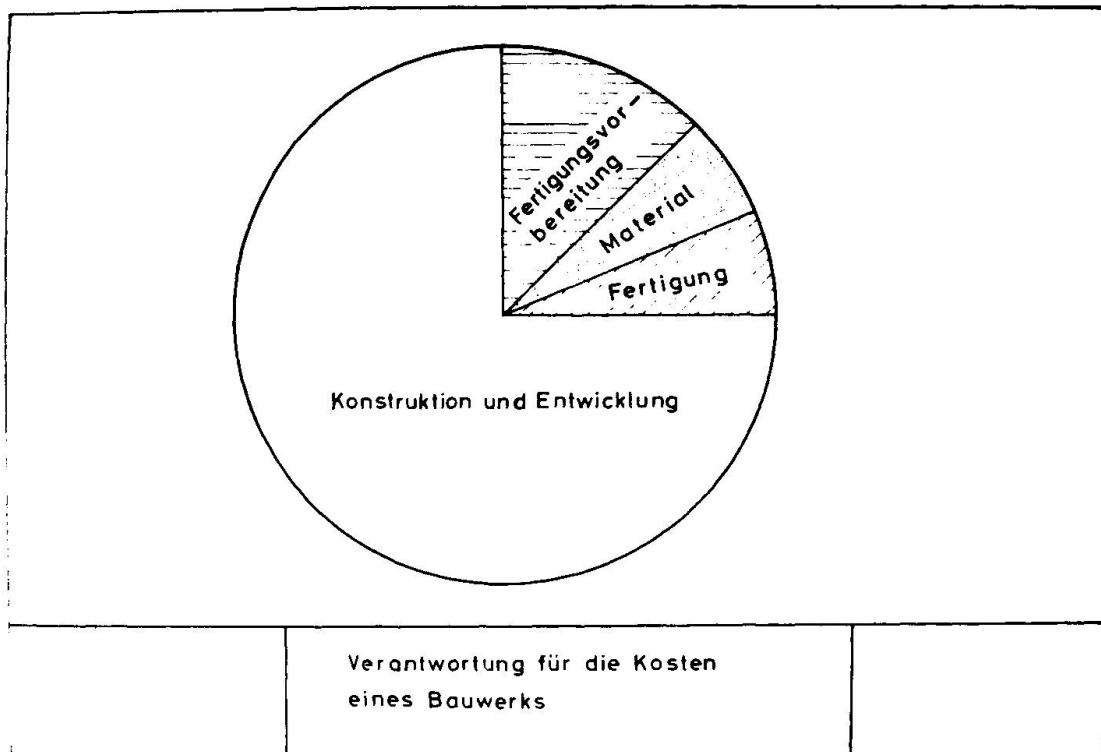
Mit fortschreitendem Ausbau der Fertigung müssen also auch die vorgeschalteten Abteilungen leistungsfähiger werden. Für die Arbeitsvorbereitung ergibt sich dabei die Aufgabe, terminlich zusammenpassende Werkstücke ausgeprägter fertigungstechnischer Ähnlichkeit für einen gemeinsamen Produktionsdurchlauf zu Teilefamilien zusammenzufassen. Bei unübersichtlichem Fertigungsprogramm wird man dazu ein Erfassungssystem einführen müssen. Die Zusammenfassung zu Teilefamilien erfordert je nach Umfang des Spektrums einen kleinen bis mittleren Rechner, wie er auch heute schon in Stahlbaufirmen für statische Berechnungen benutzt wird. Durch den gleichen Rechner kann auch die Materialwirtschaft automatisiert werden, also die Stücklistenauflösung mit angeschlossener Bestands- und Bestellrechnung bis hin zur Losgrößenoptimierung, Materialtransport und Lagerung.

Insgesamt muß die Arbeitsvorbereitung einen wesentlich besseren Überblick im Terminwesen - auch in Details - bekommen, denn nicht genügend exakte Einstieuertermine von Kleinteilen können zu erheblichen Engpässen im Zusammenbau führen, wenn der Zusammenbau die gleiche Durchlaufgeschwindigkeit wie die NC-gesteuerte Fließfertigung besitzen soll. Zur Lösung dieses Problems ist bei größeren Aufträgen

sicher die Netzplantechnik notwendig.

### 7. 2 Rechnergestützte Entwurfstechnik

Die stärkste Verantwortung für die Kosten trägt jedoch nicht die Arbeitsvorbereitung, sondern das Konstruktionsbüro, wie Bild 11



verdeutlicht. Deshalb sollte man gerade hier alle Möglichkeiten nutzen, die sich durch eine konsequente Anwendung von Rechner und Erfassungssystem bieten. Diese sind im Fertigungsbereich:

Systematische Erzeugnisgliederung

Verwendung von Wiederholteilen, -baugruppen und Ähnlichkeitsteilen

Einschränkung der Formenelementenvielfalt unter Berücksichtigung der Spannmöglichkeiten

An die Fertigungsmöglichkeiten des Betriebs angepaßte Konstruktion.

Dieser Katalog stellt Anforderungen an den Konstrukteur, die bei bisheriger Arbeitsweise nicht mit vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand zu lösen sind. Das noch weiter gesteckte Ziel, nämlich bei einer Konstruktion auch Alternativen nach echten Kosten zu beurteilen, war bisher erst recht nicht allgemein zu erreichen. Hier wurde nach Gewohnheit und persönlicher Auffassung des Konstrukteurs entschieden. Daß dieses Glücksspiel eigentlich nicht vertretbar ist, zeigt Bild 11.

Da es also nötig ist, Entwurf und Kalkulation eng zu verknüpfen und permanente Kontrollen der Konstruktionskosten nach dem Grundsatz der Fertigungsgerechtigkeit durchzuführen, wird am Institut des Verfassers z. Z. ein Rechenprogramm für

"Computer-Aided-Design im Stahlbau"

entwickelt. Das Computerprogrammsystem mit dem Namen QUANTO COSTA, das die statische Berechnung und die Preiskalkulation von Stahlskeletten für Hallen und Geschoßbauten liefert, soll den Projekt-ingenieur von Routinearbeit entlasten und ihm helfen, fertigungsgerecht und somit kostengünstig zu konstruieren. Das prinzipielle Flußdiagramm des Programms QUANTO COSTA (Bild 12) zeigt, daß nur noch Geometrie, Verkehrslastannahmen und geschätzte Träger- und Stützenabmessungen in den Rechner einzugeben sind. Der Rechner führt die statische Berechnung und die von den einschlägigen DIN-Vorschriften geforderten Spannungs- und Standsicherheitsnachweise durch. Aufgrund der Anzeige, wie diese erfüllt sind, kann der Ingenieur gezielt die Abmessungen des Tragwerks ändern. Sind alle Nachweise erfüllt, so werden die betriebsspezifischen Herstellkosten ermittelt und nach diesen Daten die Konstruktion weiter optimiert. Damit läßt sich in kurzer Zeit die Konstruktion finden, die bei genügender Sicherheit und geringsten Kosten die Wünsche des Kunden am besten erfüllt.

Damit der Optimierungsprozeß schnell konvergiert, ist es aller Erfahrung nach unbedingt nötig, daß der Ingenieur gezielt in den Optimierungsprozeß eingreifen kann. Sein reicher Erfahrungsschatz und seine Intuition sind nämlich dem Computer bisher nicht mitteilbar. Die Erfahrung, daß "Konstruieren eine Kunst" sei, wird durch "Computer Aided Design" nicht widerlegt; der "Künstler" wird lediglich von schematischer Rechenarbeit befreit und gewinnt Zeit für schöpferische menschlichere Arbeiten.

Abschließend soll das Bild 13 zeigen, welche Kriterien für einen Bauherrn maßgebend sein werden, wenn er sich für eine typisierte oder maßgeschneiderte Lösung seines Bauvorhabens entscheiden soll. Beide Varianten kann der Stahlbau wie kaum eine andere Bauweise schnell und kostengünstig anbieten, wenn er nur alle Rationalisierungsmöglichkeiten vom Entwurf bis zur Montage konsequent nutzt.

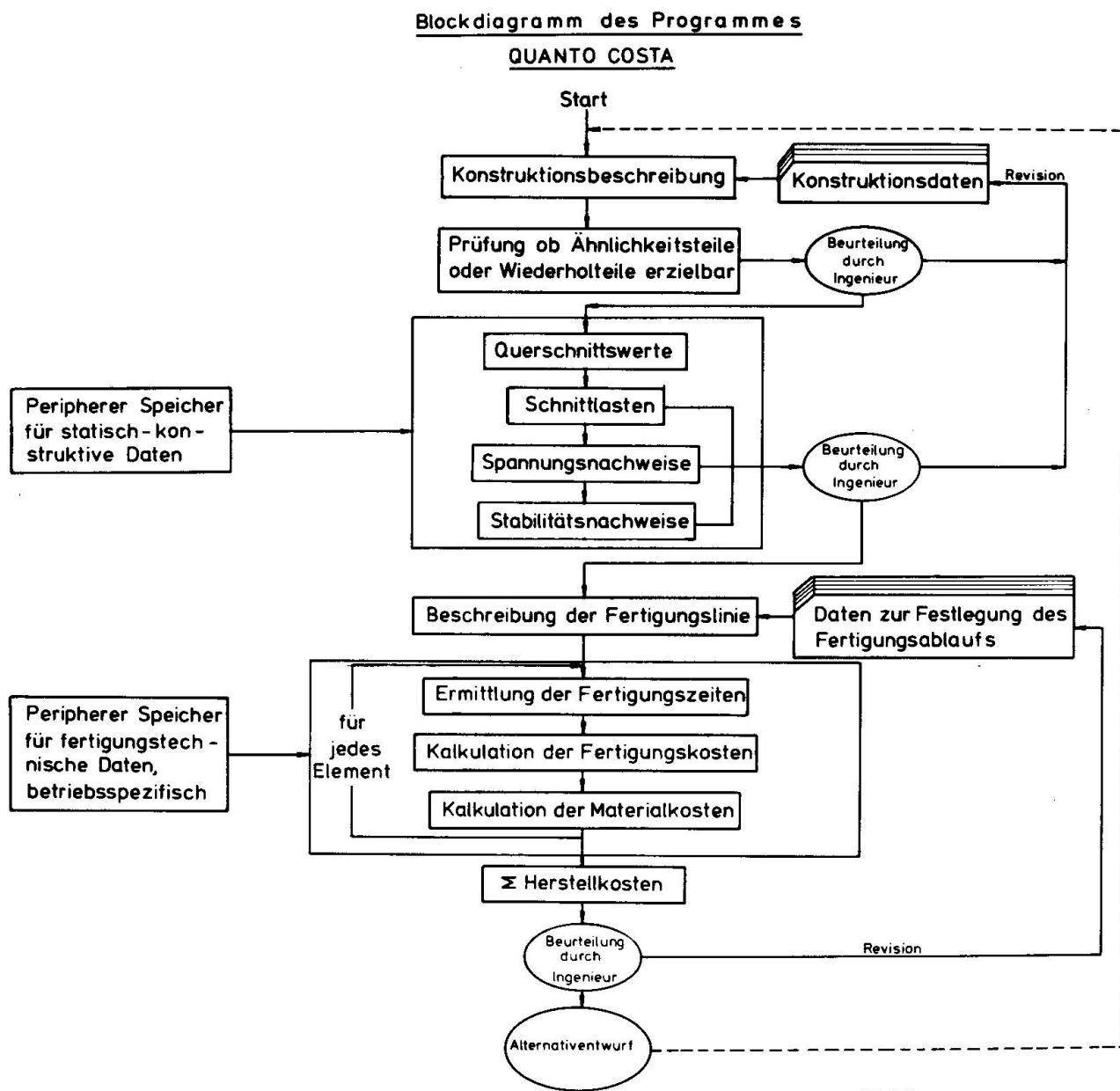


Bild 12

## Auswahlkriterien und Rückkopplungseffekte einer Problemlösung

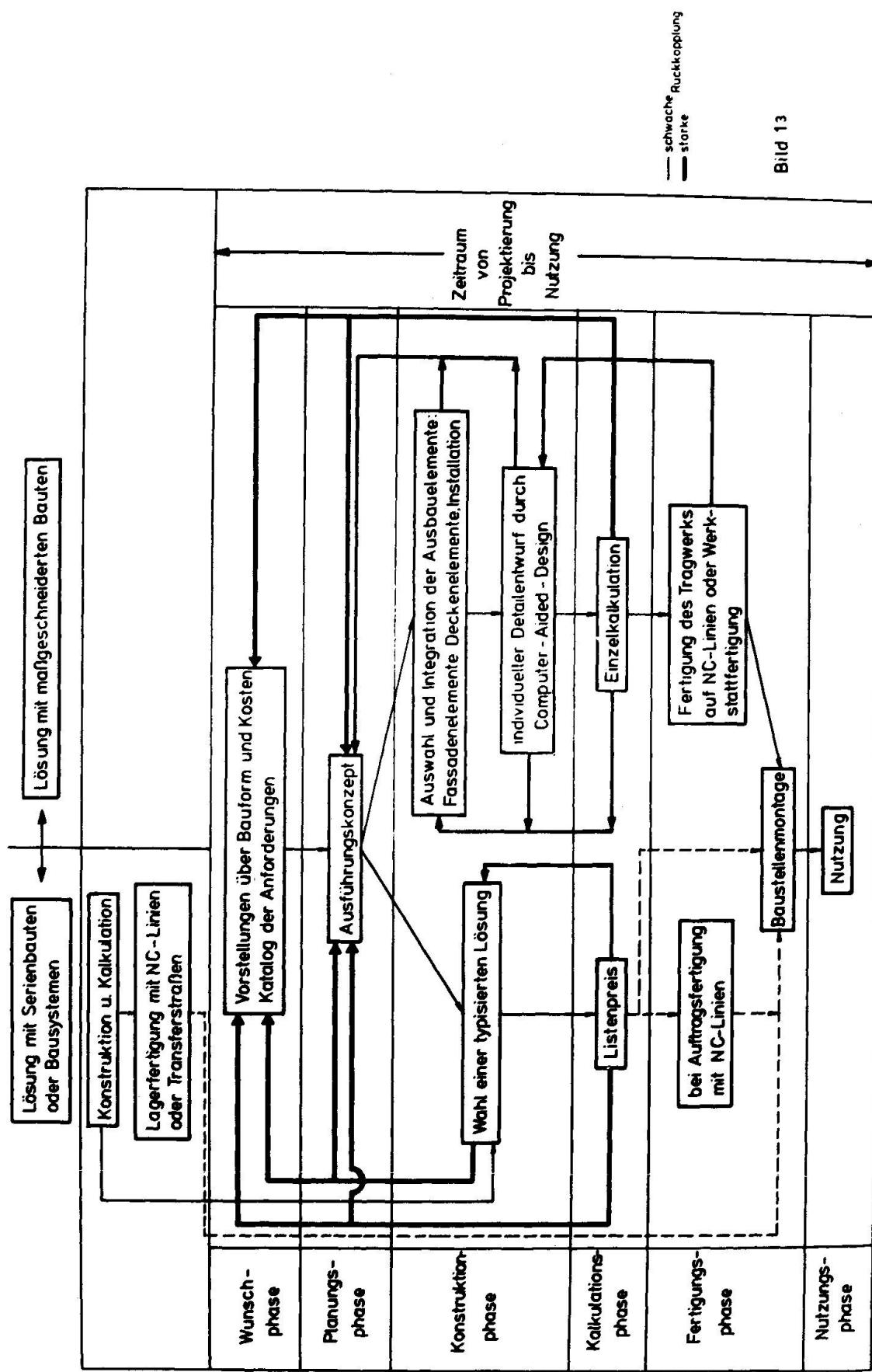


Bild 13

Literaturverzeichnis

- [1] Professor Dr. Reinitzhuber  
Vortrag auf der Plenarsitzung der Europäischen Konvention  
der Stahlbauverbände; 1969
- [2] Dipl. - Ing. F. Nather  
Industrialisierung im Bauwesen; 1969
- [3] Schmid / Testa  
Bauen mit Systemen; 1969
- [4] Béla Kreko  
Lehrbuch der linearen Optimierung; Berlin 1969

Zusammenfassung:

Der Marktbedarf nach maßgeschneiderten Bauten, Bauten aus Systemen und Serienbauten kann in Zukunft nur mit stahlbaugerechten Fertigungslien bei konkurrenzfähigen Preisen gedeckt werden. Da hierbei Entwurf und Fertigung zur Kostenoptimierung eng verknüpft werden müssen, wird die Neugestaltung der Fertigung vom stahlbaugerechten Fertigungsprinzip bis zur Auswahl des optimalen Maschinenparks beschrieben, Richtlinien zur zugehörigen fertigungsgerechten Konstruktion gegeben, die Folgerungen für die Berechnungsverfahren erläutert und die Möglichkeiten des Computer Aided Design im Stahlbau aufgezeigt.

Summary:

The demand of the market of made to measure structures, modular systems and mass-produced structures can, in future, only be fulfilled by suitable production lines at competitive prices. As design and production are to be connected closely with cost optimization, it is reported: the reorganization of the manufacturing principle up to the selection of the optimal machinery, rules of the corresponding suitable construction. Conclusions of the computation methods are illustrated and the possibility of the computer-aided design of steel structures are shown.

Résumé

A l'avenir, ce n'est qu'avec des chaînes de fabrication propres à la construction métallique et des prix concurrentiels que l'on pourra couvrir les besoins du marché en constructions soit individuelles, soit basées sur des systèmes, soit encore faites en série.

Par suite de la liaison étroite entre le projet, la fabrication et l'optimisation des coûts, on décrit ici la nou-

uelle conception de la fabrication, depuis les principes de fabrication propres à la construction métallique, jusqu'au choix optimum du parc à machines; on donne des règles de construction basées sur ces principes de fabrication; on en explique les conséquences sur les méthodes de calcul et l'on présente enfin les possibilités du Computer Aided Design pour la construction métallique.

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