

**ANFORDERUNGEN AN UND ENTSCHEIDUNGS-
KRITERIEN FÜR DEN RECHNEREINSATZ BEI DER
PRODUKTION VON BETONFERTIGTEILELEMENTEN
AM BEISPIEL DER FASSADENELEMENT-FERTIGUNG**

Vom Fachbereich Bauwesen
der Universität Dortmund
genehmigte

D I S S E R T A T I O N

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

von
Dipl.-Ing.
TÜRKAN GÖKSAL /
aus Eskisehir

Dortmund
1992

**Andola Üniversitesi
Merkez Kütüphane**

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Baubetrieb und Planungsverfahren des Fachbereichs Bauwesen der Universität Dortmund. Insbesondere danke ich dessen Leiter Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. E. Petzschmann für seine Unterstützung.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Bauer danke ich für die Übernahme des Korreferates und für sein Interesse an dieser Arbeit. Weiter gilt mein Dank dem Vorsitzenden der Prüfungskommission Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.G. Schäfer.

Besonders verbunden bin ich der Universität Anadolu in Eskisehir / Türkei, die mir den Aufenthalt an der Universität Dortmund ermöglichte und meine Arbeit finanziell unterstützte.

Weiterhin danke ich Herrn Dipl.-Ing. D. Schwerm - Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteiltbau e.V., der Fa. Reymann Technik GmbH und den Fertigteiltwerken Fa. Imbau-Industrialisiertes Bauen, Fa. Kesting und Co KG, Fa. J. Lehde GmbH Stahlbetonwerk, Fa. Betonfertigteiltwerk Lösch und Fa. Müller-Gönnern für Ihre Anregung, freundliche Hilfe und Unterstützung.

Abschließend möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Fachgebiets Baubetrieb und Planungsverfahren, insbesondere Herrn cand. Ing. St. Schötz bedanken, die durch ihr Verständnis und ihre Hilfsbereitschaft zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Dortmund, 1992

Türkan Göksal

VORWORT

	Seite
INHALTSVERZEICHNIS	1
1. EINLEITUNG	7
1.1 Die besonderen Gegebenheiten des Fertigteilbaus	7
1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung	8
1.3 Grundlagen der Untersuchung und Stand der Wissenschaft	11
2. EINFÜHRUNG, ENTWICKLUNG UND HEUTIGER STAND DES EDV-EINSATZES BEI DER PLANUNG UND HERSTELLUNG VON BETONFERTIGTEIL- ELEMENTEN	13
2.1 Rechnergestützte Produktion	13
2.1.1 Begriff "rechnergestützte Produktion" und Entwicklung	13
2.1.2 Heutiger Stand des Einsatzes rechner- gestützter Produktionstechniken in den Fertigteilwerken	15
2.1.3 Zielsetzung und Voraussetzungen für die rechnergestützten Produktionskonzepte	17
2.2 Rechnergestützte Planung und Konstruktion (CAD) als Grundlage der rechnergestützten Produktion	18
2.2.1 Begriffe und Komponenten eines CAD-Systems	18
2.2.2 Vorteile des CAD-Einsatzes	22
2.3 CAD-Einsatz im Konstruktionsbüro eines Fertigteilwerkes	24
2.3.1 Integrationsmöglichkeiten des CAD-Systems	24
2.3.2 Rechnergestütztes Konstruieren	25
2.3.3 Konstruktionsvarianten der Fertigteil-Elemente	28
2.3.4 Konstruktionszeichnungen als Informationsträger	29
2.3.4.1 Konstruktionspläne	30
2.3.4.2 Stücklisten	33
2.4 Kopplung zwischen CAD und PPS - Systemen	36
2.4.1 Begriffsbestimmungen und Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung (PPS)	36
2.4.2 Ziel der CAD/PPS - Kopplungen	37
2.4.3 Der Datenfluß zwischen CAD und PPS - Systemen	38

	Seite
4.2.2 Lastabtragung der Fassadenelemente	79
4.2.2.1 Tragende Elemente	79
4.2.2.2 Selbsttragende Elemente	81
4.2.2.3 Nichttragende Elemente	81
4.2.3 Aufbau der Fassadenelemente	81
4.2.3.1 Fassadenplatten mit monolithischem Aufbau	82
4.2.3.2 Fassadenplatten mit mehrschichtigem Aufbau	82
4.3 Produktionsverfahren der Fassadenelemente	84
4.3.1 Allgemeines über die Fertigung	84
4.3.2 Stationäre Fertigung	86
4.3.2.1 Tischfertigung	86
4.3.2.2 Fertigung auf der Produktionslinie	87
4.3.3 Paletten-Umlauffertigung	89
5. ANALYSE DES PRODUKTIONSABLAUFS BEI DER FERTIGTEIL-PRODUKTION - ARBEITSSTUDIEN IN FERTIGTEILWERKEN	 92
5.1 Ziel der Analyse der Produktionsabläufe und Arbeitsstudien	 92
5.2 Vergleich der konventionellen Produktionsverfahren nach fertigungstechnischer Hinsicht	 93
5.2.1 Stationäre Fertigung auf Kipptischanlagen	94
5.2.1.1 Schalungsarbeiten	94
5.2.1.2 Bewehrungsarbeiten	97
5.2.1.3 Betonierarbeiten	99
5.2.1.4 Darstellung und Beurteilung der Fallstudie	 101
5.2.2 Paletten-Umlauffertigung	104
5.2.2.1 Entschalen	104
5.2.2.2 Reinigen der Palette	105
5.2.2.3 Einschalen der Elemente	105
5.2.2.4 Bewehren	105
5.2.2.5 Betonieren, Nachbehandeln und Erhärten	106
5.2.2.6 Beurteilung der Fallstudie	107
5.2.3 Vergleich der Fertigungsverfahren	109
5.3 Methoden der Datenermittlung - Schwachstellenanalyse	111
5.3.1 Datenermittlungsverfahren	111
5.3.2 Multimomentaufnahmen	113
5.3.2.1 Varianten der Multimomentaufnahmen	114

	Seite
7. STUFEN DER EINFÜHRUNG EINER RECHNER- GESTÜTZTEN PRODUKTION VON MEHR- SCHICHTIGEN FASSADENELEMENTEN	163
7.1 Randbedingungen und Voraussetzungen	163
7.2 Anforderungen an eine rechnergestützte Fassadenelement-Fertigung	165
7.2.1 Kalkulation und Arbeitsvorbereitung eines Projektes	165
7.2.2 Herstellung der Fertigteilelemente	166
7.2.2.1 Innerbetrieblicher Transport und Lagertechnik	167
7.2.2.2 Schalungstechnik	167
7.2.2.3 Bewehrungstechnik	168
7.2.2.4 Betonieretechnik	168
7.3 Konzeption zur CAD/CAM-gestützten Fassadenelement-Fertigung	169
7.4 EDV-Einsatz im konstruktiven Fertigteilwerk	172
7.4.1 Zielsetzung und Grundlagen	172
7.4.2 PPS - Aufgaben	174
7.4.3 Informationsfluß in der technischen EDV	174
7.4.4 Rechnergestützte Kapazitätsplanung	176
8. ZUSAMMENFASSUNG	188
Verwendete Abkürzungen	194
Literatur	195

1. EINLEITUNG

1.1 Die besonderen Gegebenheiten des Fertigteilbaus

Die Situation der Betonfertigteilindustrie ist einerseits gekennzeichnet durch einen scharfen Wettbewerb zwischen den einzelnen Fertigteilwerken, zu konventionellen Bauverfahren und auch zu alternativen Bauweisen wie z.B. Holz- oder Stahlbaukonstruktionen, darüber hinaus aber auch durch eine zunehmend individuelle Gestaltung der Bauwerke, steigende Qualitätsanforderungen und die Forderung nach immer kürzeren Bauzeiten.

Die Fertigungsziele haben sich von hoher Auslastung und Serienfertigung hin zu stärkerer Kundenorientierung, kurzen Lieferzeiten und Termintreue verschoben. ¹⁾ So hat sich aufgrund kurzer Bauzeiten eine erhebliche Verringerung der Auftragsdurchlaufzeit im Fertigteilwerk ergeben, die zu einer zeitlichen Überlappung von Planungs-, Arbeitsvorbereitungs-, Fertigungs- und Montagephasen führt und einen großen organisatorischen Aufwand erfordert.

Die in der Vergangenheit entwickelten Methoden zur standardisierten Serienfertigung, genormten Gebäuden, Bausystemen, Bauteilen und Detailpunkten sind letztendlich wegen der hohen Ansprüche an die Gestaltung gescheitert. ²⁾

Die veränderten Marktanforderungen und der Zwang zur Wirtschaftlichkeit verlangen eine Überarbeitung und Anpassung der fertigungstechnischen und organisatorischen Konzeptionen im Fertigteilwerk. Hierbei ist es angesichts der technischen Entwicklung besonders wichtig, die zum Teil bereits praktizierte rechnergestützte Planung und Konstruktion mit der rechnergestützten Bauelementfertigung zu koordinieren.

Darüber hinaus fordert der Mangel an Facharbeitskräften, die vorhandene Altersstruktur der Beschäftigten und, wie schon erwähnt, die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit des Betriebes bezüglich der Herstellungszeiten und Baukosten rationellere und flexiblere Produktionsverfahren. Außerdem soll mit Blick auf ein wachsendes Umweltbewußtsein eine Verbindung von industrieller Produktion mit umweltverträglichem Bauen hergestellt werden.

1) Häberle, A.: 'Fertigungsorganisation im Betonfertigteilwerk des konstruktiven Ingenieurbaus: Entwicklung eines computergestützten Modells zur Kalkulation, Planung, Steuerung und Überwachung der Fertigung', Ehningen bei Böblingen: Expert-Verlag 1991

2) Brandstetter, G.: 'Ein System zur Planung, Steuerung und Kostenkontrolle von Betonfertigteilwerken unter Einsatz der arbeitsplatzorientierten elektronischen Datenverarbeitung', Dissertation RWTH Aachen, 1980

Der Baustoff Beton bietet hinsichtlich seiner Gestaltungsmöglichkeiten und Erscheinungsformen vielfältige Variationen. Profilierung, dreidimensionale Gestaltung, unterschiedliche Strukturierung der Oberfläche, Dauerhaftigkeit, hohe Qualität und Anpassungsfähigkeit sowie optimale Schall- und Wärmeschutzzeigenschaften sind die Kriterien, durch welche den Fertigteil-Fassadenelementen im Bauwesen eine hohe Bedeutung zukommt.

Die beschriebene Situation der Baubranche und die Absicht, die Wirtschaftlichkeit zu verbessern sowie neue Qualitäten für funktionelle und gestalterische Lösungen zu erreichen, führt bei der Planung, Konstruktion und Fertigung zur Anwendung von rechnergestützten Verfahren. Das ist gleichzeitig eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Leistungsentwicklung im Fertigteilbau.

Rechnergestützte Systeme für Planung und Fertigung werden in anderen Industriezweigen bereits erfolgreich eingesetzt. In der Fertigteil-Produktion steht dieser Prozeß noch am Anfang. Aufgabe dieser Arbeit soll es deshalb sein, die bestehenden Wissenslücken zu schließen.

Eine wichtige Ausgangsbasis hierfür ist die genaue Analyse der Leistungs- und Funktionsfähigkeit der im Fertigteilbau zur Anwendung kommenden EDV. Um einen besseren Überblick zu bekommen wird in Kapitel 2 der derzeitige Stand des Einsatzes rechnergestützter Produktionstechniken in den Fertigteilwerken erläutert und die Voraussetzungen für die Realisierung eines rechnergestützten Systems beschrieben. Der Nutzen und die Integrationsmöglichkeiten der einzelnen Komponenten dieses Produktionskonzeptes, wie rechnergestütztes Planen und Konstruieren (CAD), Produktionsplanung und -steuerung (PPS) und rechnergestützte Fertigung (CAM), werden mit ihren Begriffs- und Zielbestimmungen erläutert.

Außerdem werden die Anforderungen und die Bedeutung des Datenflusses zwischen den genannten Komponenten (Bereichen) dargestellt, da der Grundgedanke beim rechnergestützten Arbeiten auf der einmaligen Erzeugung der Daten beruht.

In Kapitel 3 wird auf die technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Kriterien eingegangen, die den Rechnereinsatz von der Planung und Konstruktion bis zur Fertigung beeinflussen.

Im Bereich der Elementdeckenproduktion sind bisher die besten Erfolge bei der rechnergestützten Produktion erreicht worden. Deshalb ist im Rahmen der Untersuchungen die rechnergestützte Elementdeckenfertigung analysiert worden, um so die Einsatzbereiche und -möglichkeiten der EDV beim Konstruktions- und Fertigungsprozeß zu ermitteln. Die so gewonnenen Erkenntnisse bilden die

stig vorgenommener Änderungen in Verzug gerät.⁴⁾ Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn in den innerbetrieblichen Bereich neben der Weiterentwicklung der Fertigungstechnik vor allem Erkenntnisse moderner Unternehmensführung und -organisation Eingang finden. Voraussetzung hierfür ist die vollständige und rechtzeitige Informationsverarbeitung und -weitergabe. In Kapitel 6 wird deshalb die Auftragsabwicklung und der Informationsfluß im gesamten Planungs- und Fertigungsprozeß untersucht.

Dadurch werden alle Probleme, die von der Konstruktion bis zur Fertigung aus technischer und organisatorischer Sicht bei rechnergestützter Produktion auftreten können analysiert. Ziel ist es, die organisatorischen und wirtschaftlichen Grundlagen zur Einführung eines rechnergestützten Fertigungsverfahrens festzulegen mit dem Zweck der

- Verbesserung der Synchronisation der Auftragsabwicklung,
- Minimierung der Fertigungskosten,
- Verkürzung der Produktionszeit,
- Reduzierung schwerer körperlicher Arbeit,
- Steigerung des Qualitätsniveaus und der Flexibilität,
- Verbesserung des effektiven Einsatzes der Kapazitäten und
- Verringerung der Umweltbelastungen.

1.3 Grundlagen der Untersuchung und Stand der Wissenschaft

CAD-Techniken werden in Fertigteilverken zur Zeit vorwiegend im Konstruktionsbüro und in der Arbeitsvorbereitung eingesetzt, der Rechneinsatz für die Fertigung befindet sich noch im Anfangstadium seiner Entwicklung. Ursachen hierfür sind:

- Vielzahl unterschiedlicher Bauteile,
- geringe Stückzahl und der damit verbundene Programmieraufwand,
- Probleme bei der schrittweisen Umstellung des Fertigungsverfahrens von der konventionellen auf die rechnergestützte Fertigung,
- Anstieg des organisatorischen Aufwandes zwischen den einzelnen, voneinander abhängigen Fertigungsbereichen,
- Fehlen der Schnittstellen zwischen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung sowie
- Ausbildungsstand der Mitarbeiter.

4) Haller, P.: 'Produktionssteuerung von Stahlbeton-Fertigteilen' - Flexibilität durch EDV, Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH 1978

2. EINFÜHRUNG, ENTWICKLUNG UND HEUTIGER STAND DES EDV-EINSATZES BEI DER PLANUNG UND HERSTELLUNG VON BETON-FERTIGTEILELEMENTEN

2.1 Rechnergestützte Produktion

2.1.1 Begriff "rechnergestützte Produktion" und Entwicklung

Das Bauwesen ist einer der Bereiche, in denen bereits typische datenverarbeitende Programme, wie Systeme zur statischen Berechnung, Kalkulation oder AVA (Ausschreibung, Vergabe, Abrechnung) eingesetzt werden. Im Bauwesen haben sich Computer-Systeme zuerst in den Ingenieurabteilungen durchgesetzt, wo sie zum Erstellen von Berechnungen verwendet werden. Der Einsatz von Computern nimmt in Bauunternehmen ständig zu, nicht nur bei der Kalkulation sondern auch in den Planungs- und Fertigungsbereichen. Erst seit wenigen Jahren werden die graphischen Möglichkeiten der Computer-Systeme von Architekten und vereinzelt auch von Fertigteilunternehmen genutzt. Solche Systeme erweisen sich wegen der Interaktionsmöglichkeiten sowohl für Ingenieure, als auch für Zeichner in zunehmendem Maße als nützliches Hilfsmittel.⁵⁾

In / 6 / wird für die rechnergestützte Produktion von folgender Definition ausgegangen: "Rechnerintegrierte Fertigung (CIM) ist eine unternehmensstrategische Konzeption und Gesamtlösung, die eine geregelte Erfassung, Steuerung und Sicherung sowie interaktive Planung des Fertigungs-, Material- und Informationsflusses im industriellen Unternehmen im Sinne einer integrierten redundanzfreien Informationsverarbeitung umfaßt". Der Grundgedanke der rechnerintegrierten Fertigung besteht darin, daß einmal erzeugte Daten zur weiteren Bearbeitung in derselben Abteilung und auch in anderen Unternehmensbereichen angewendet werden können.

Im Gegensatz zu anderen Wirtschaftszweigen kommen rechnergestützte Prozesse im Fertigteilbau nur verzögert zum Einsatz. Lediglich in Planungs- und Konstruktionsbüros hat die rechnergestützte Konstruktion (CAD) einen festen Platz eingenommen, wobei sich der produktionsorientierte Rechnereinsatz (CAM) im Fertigteilwerk noch im Anfangsstadium befindet.

5) Konzelmann, E. F.: Studie: "CAM in der Bauwirtschaft Möglichkeiten und Grenzen" - Im Auftrag des Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e.V. CAM im Bauwesen 1987
6) Ehmer, M.: "Rechnerintegrierte Fertigung (CIM) im Fertigteilwerk", BFT 11/1988, S. 34

CAD- Computer Aided Design, rechnergestütztes Entwerfen und Konstruieren, bezeichnet den Einsatz des Rechners bei der Erstellung von geometrischen Daten und dazugehörenden Zeichnungen eines Produktes.

PPS - Produktions- Planung und Steuerung ist das Bindeglied, in welchem die Produktions- und Auftragsdaten, die Materialdisposition sowie die Kapazitäts- und Terminplanung zusammenfließen und in Stammdatensätzen verwaltet werden.

CAM- Computer Aided Manufacturing, rechnergestützte Fertigung, bezeichnet den Rechnereinsatz zur Steuerung einzelner Fertigungsbereiche oder der gesamten Fertigung.

CIM- Computer Integrated Manufacturing, rechnerintegrierte Produktion, bezeichnet den integrierten Einsatz von Rechnern in allen mit der Produktion zusammenhängenden Betriebsbereichen.

2.1.2 Heutiger Stand des Einsatzes rechnergestützter Produktionstechniken in den Fertigteilwerken

Die Entwicklung rechnergestützter Produktionstechniken ist in starkem Maße von den Ansprüchen und den Anforderungen des Anwenders/Unternehmens abhängig. Bei der Erfüllung dieser Anforderungen spielen die Entwicklungen in der Maschinenteknik und die Entwicklung von EDV-Komponenten eine wichtige Rolle. Laut / 10 / werden zur Zeit die vorhandenen technischen Möglichkeiten der Maschinenteknik und der Daten Verarbeitungs-Module von den Fertigteilwerken nicht voll ausgenutzt (Erfüllungsgrad ca. 60 bis 70 %).

In *Abb. 2-1* sind die einzelnen DV-Komponenten für die rechnergestützte Produktion nach dem derzeitigen Stand der Technik dargestellt. Außerdem zeigt die gleiche Abbildung die derzeitigen Trends und Funktionen, die zur Zeit noch nicht verfügbar, aber anzustreben sind.

Rechnergestützte Systeme für die Produktion sind in vielen Bereichen der Industrie noch überwiegend durch Insellösungen gekennzeichnet. Mit steigendem Bedarf nach integrierten Systemen ergibt sich die Forderung, Insellösungen in Gesamtkonzepten einzubinden. ¹¹⁾

10) Ehmer, M.: "Die C-Techniken in der Vorfertigung", Automation im Beton- und Fertigteilwerk - 35. Ulmer Beton- und Fertigteil-Tage 1991

11) Nedeß, C., Landvogt, F.B.: "Rechnerintegrierte Auftragsabwicklung-Kopplung von PPS und CA-Systemen als Grundlage eines CIM-Konzeptes", VDI-Z Bd. 128/1986 Nr.14, S. 540-547

2.1.3 Zielsetzung und Voraussetzungen für die rechnergestützten Produktionskonzepte

Durch das Erkennen von Schwachstellen und Mängeln, die bei der konventionellen Auftragsabwicklung auftreten, kann man für rechnergestützte Produktionskonzepte folgende Zielsetzungen ableiten: ¹⁵⁾ ¹⁶⁾

- Verbesserung der Synchronisation der Auftragsabwicklung, damit Übergangszeiten verkürzt und Tätigkeiten verstärkt parallel ausgeführt werden können;
- Fortlaufende Ergänzung der Auftrags-, Geometrie-, Technologie- und Betriebsdaten während der Auftragsbearbeitung, damit die wiederholte Grunddatenerfassung entfällt;
- Steigerung der Flexibilität im Konstruktions- und Fertigungsprozeß;
- Integration externer Informationen und Daten;
- Gestaltung einer übergreifenden Arbeitsweise der einzelnen Bereiche, statt starrer Trennung;
- Bereitstellen von komplexeren Produkten;
- Verbesserung der Produktivität und Kapazitätsauslastung sowie der Lieferbereitschaft;
- Sicherung und Steigerung der Qualität der Produkte;
- Reduktion von schwerer körperlicher Arbeit;
- Verringerung der Umweltbelastungen;

Das Ziel eines Computer-Systems ist eine integrierte Informationsverarbeitung im Unternehmen. Systemtechnisch bedeutet dies, daß die rechnergestützten Systeme CAD, PPS, CAM, CAQ und CAO miteinander verknüpft werden.

Die Integration der o.g. verschiedenen Teilsysteme eines rechnerintegrierten Konzeptes setzt folgende Komponenten voraus: ¹⁷⁾ ¹⁸⁾

- Hardwareprodukte,
- Softwaremodule,
- Schnittstellen,
- Fertigungsanlagen bzw. flexible Fertigungs- und Materialtransportsysteme und
- organisatorische Regelkreise.

15) Reyman, W., Orth, W.: "Neue Konzepte des Produktionsablaufs in Fertigteilwerken", BFT 10/1987, S. 683

16) Ehmer, M., a.a.O., BFT 11/1988, S. 33

17) Ebenda, S. 35

18) Reyman, W., Orth, W.: "CAD/CAM im Betonwerk - Lösungsansätze", BFT 4/1989, S. 92-96

Leistungsstand derzeit bekannter CAD-Systeme ist CAD als Baustein gesamtbetrieblicher Integrationsbemühungen zu verstehen. Diese Integrationsbemühungen voranzutreiben heißt, die in den rechnergestützten CAD-Bereichen einmal erzeugten Daten anderen vor- und nachgelagerten Bereichen mittels Schnittstellen zugänglich zu machen.

a) *Entwicklungsgeschichte*

Der Begriff CAD wurde erstmals bei der Entwicklung der Programmiersprache APT (Automatically Programmed Tools) am Massachusetts Institute of Technology (MIT) verwendet. APT wurde dort von 1952 bis 1956 entwickelt und war als Sprache für numerische Steuerung von Werkzeugmaschinen (Numeric Control of Machine Tools) gedacht, wobei in den entsprechenden Programmen nicht der Weg des Werkzeugs beschrieben, sondern das zu erzeugende Werkstück selbst geometrisch definiert wird.²⁵⁾ APT bildete somit den Ausgangspunkt der CAD-Entwicklung.

Im Verlauf der 60er Jahre wurden einige große Unternehmen der Flugzeug- und Automobilindustrie, wie General Motors, Lockheed, McDonnell-Douglas u.a., auf dem Gebiet der Computertechnik bzw. des CAD tätig und entwickelten entsprechende Software (CADAM, UNIGRAPHICS, DUCT) für den Produktentwurf und für die Vorbereitung der Fertigung. 1963 stellte General Motors mit DAC-1 das erste industriell entwickelte CAD-System vor.^{26), 27)}

In diesen Zeitraum fallen auch die Entwicklungen der ersten durchgängigen Anwendungsprogrammsysteme für das Bau- und Vermessungswesen. Die Bau-Statiker zählten mit den Vermessern ohnehin zu den Vorreitern der EDV-Anwendung im Bauwesen, da sie die abstrahierten Tragwerke (Knoten, Stäbe, Platten, Scheiben) leicht mathematisch modellieren konnten.²⁸⁾ Zur Zeit werden die graphischen Möglichkeiten der Computer-Systeme von Architekten und vereinzelt auch von Fertigteilerunternehmen genutzt. Das Schlagwort der 70er Jahre "Computer ins Betonwerk" hat sich zwischenzeitlich bis zur Produktion durchgesetzt. Anfang der 80er Jahre wurden bei der Planung und Herstellung von Stahlbetonfertigteile für die Universität Riyadh CAD/CAM-Techniken angewendet.

Die Verlegepläne, Grundrisse, Fassaden- und Konstruktionselemente wie Riegel und Stützen wurden mittels CAD-System gezeichnet. Dieses Projekt mit

25) Spur, G., Krause, F.L.: "CAD-Technik: Lehr- u. Arbeitsbuch für die Rechnerunterstützung in Konstruktion und Arbeitsplanung", München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1984

26) Ebenda, S. 23

27) Helmerich/Schwindt, a.a.O., S. 12

28) Kahlen, H., a.a.O., S. 85

b) *Komponenten eines CAD-Systems*

Ein universelles System zur Datenverarbeitung besteht aus zwei einander ergänzenden Bestandteilen: ³⁰⁾

- der *Hardware* und
- der *Software*.

Ein interaktives CAD-Computersystem setzt sich aus o.g. Bestandteilen der Datenverarbeitung und dem Personal zusammen.

Als *Hardware* werden die elektronischen, elektrischen und mechanischen Teile bezeichnet, aus denen eine Datenverarbeitungsanlage aufgebaut ist, während unter dem Begriff *Software* alle Programme und Daten zusammengefaßt werden, die zum Betrieb vorhanden bzw. notwendig sind. ³¹⁾ Der Verwendungszweck oder der Nutzen spielt bei dieser Definitionen keine Rolle. ³²⁾

- *Hardware*

Die Hardware einer DV-Anlage läßt sich zunächst unterteilen in die sogenannte Zentraleinheit (CPU für *Central Processing Unit*), die den eigentlichen Computer darstellt, wo alle Verarbeitungs- und Steuerungsvorgänge stattfinden, und in die Peripheriegeräte, die vom Computer funktional und zumeist auch räumlich abgetrennt sind und spezielle Funktionen übernehmen. ³³⁾

Im Gegensatz zu den herkömmlichen EDV-Anlagen verfügt der CAD-Arbeitsplatz über zusätzliche Peripheriegeräte, deren Aufgabe es ist, zum einen grafische Daten aus ihrer analogen Form in eine digitale, dem Rechner verständliche, Form umzuwandeln und zum anderen, die im Rechner enthaltenen mathematischen Funktionen über ein Ausgabegerät grafisch darzustellen. ³⁴⁾

Im folgenden wird eine Auflistung dieser Anlagen, ohne ihre spezifischen Eigenschaften zu erläutern, erfolgen. Dies sind: Eingabegeräte, die alphanumerische Tastatur, das Digitalisiertablett, die Funktionstastatur, der Lichtstift, Sichtgeräte, Rasterbildschirme, Vektorbildschirme und Ausgabegeräte als Hard-copy und Plotter.

30) Helmerich/Schwindt, a.a.O., S. 11 f.

31) Pfeffer, T.: "CAD für Architekten", Braunschweig:Friedr. Vieweg & Sohn, 1989

32) Kahlen, H., a.a.O., S. 52

33) Helmerich/Schwindt, a.a.O., S.16

34) Laufer, W., Garbers, M.: "Peripheriegeräte in CAD-Systemen", in Pawelski,M., Winke,J.:Leitfaden für Architekten, Karlsruhe: C.F.Müller GmbH Verlag, 1985

- *Bessere Qualität*

Durch die Verknüpfung von Geometrie und Bemaßung sowie die automatische>Listenerstellung wird die Fehlerrate für Einbauteile oder Bewehrungspositionen gesenkt.

- *Durchgängigkeit der Planung über verschiedene Planungsphasen*

Einmal erfaßte Zeichnungsinhalte sind Grundlage für eine Vielzahl von Folgeplänen, da die Daten mehrfach genutzt und in verschiedenen Planarten ergänzt werden können. Dadurch ergeben sich Rationalisierungsvorteile vom Entwurf über die Ausführungspläne bis hin zum Bestandsplan.

- *Leichterer Änderungsdienst*

Die bei der Planung üblichen Änderungen lassen sich schnell und sauber einarbeiten.

- *Bessere Dokumentationsmöglichkeiten*

Das Aufbewahren von Plandatensätzen, z.B. auf Disketten, erfordert sehr wenig Platz. Pläne werden durch Altern und häufige Änderungsarbeiten nicht beeinträchtigt.

- *Rationalisierung beim Zeichnen*

Der Konstrukteur wird bei Routinearbeiten wie Bemaßen, Beschriften, Schraffieren, sich wiederholende Darstellungen, Listenabzug u.ä. weitgehend entlastet. Dadurch werden die Zeiten für die Planerstellung kürzer.

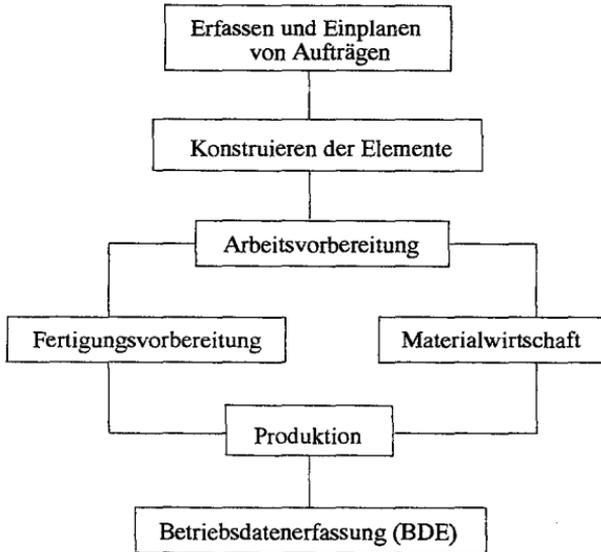


Abb. 2-3: Im CAD-System integrierte Produktionsbereiche, in Anlehnung an /41/

In diesem Kapitel werden die rechnergestützte Konstruktion der Elemente und die Ergebnisse des Konstruktionsprozesses untersucht, welche die erforderlichen Informationen für die nachfolgenden Bereiche, wie Arbeitsvorbereitung, Kalkulation und Fertigung zur Verfügung stellen.

2.3.2 Rechnergestütztes Konstruieren

In der konstruktionstechnischen Forschung ist in den letzten Jahrzehnten das methodische Konstruieren intensiv bearbeitet worden. Konstruktionsmethodik erleichtert das Finden optimaler Lösungen, vermittelt interdisziplinäre Wirkungen und fördert die elektronische Datenverarbeitung. Durch die Entwicklung von Konstruktionssystematik und Konstruktionsmethodik werden wichtige Voraussetzungen für die Einführung rechnergestützter Konstruktionsprozesse erbracht. ⁴²⁾

41) Nedeß, C., Landvogt, F.B., a.a.O., S. 541

42) Spur, G., Krause, F.L., a.a.O., S. 11

Konstruieren kann somit auch als rechnergestützte Informationsumsetzung während des Konstruktionsprozesses verstanden werden. Folglich ist die rechnergestützte Arbeitsplanung eine Informationsumsetzung während des Arbeitsplanungsprozesses (siehe hierzu Kapitel 3.2.1). In Abb. 2-5 ist der grundsätzliche Aufbau von CAD-Systemen dargestellt.

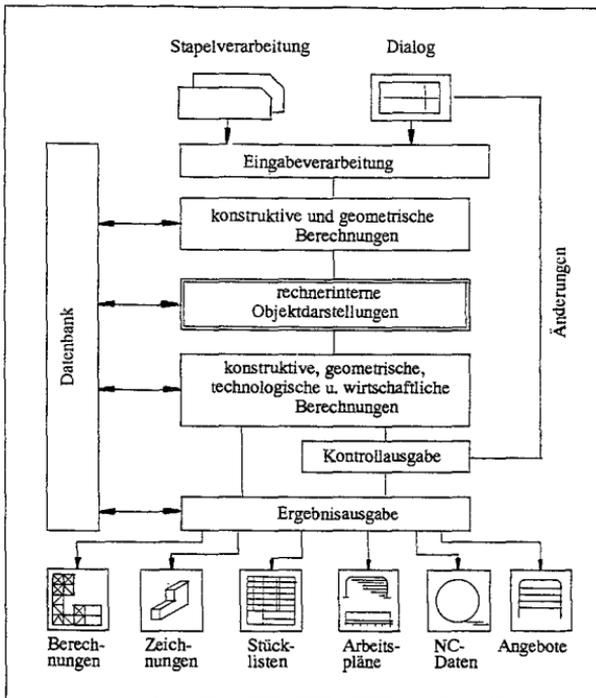


Abb. 2-5: Aufbau von CAD-Systemen / 46 /

Der erhebliche Umfang der zu lösenden Aufgaben erfordert die Aufteilung der CAD-Software in verschiedene Programmbausteine. Eine zentrale Stellung in CAD-Systemen nimmt der Modul zur rechnerinternen Darstellung von Objekten ein.

Im folgenden werden die Konstruktionsvarianten der Fertigteilelemente, die der Modul ermöglicht, näher beschrieben.

Die Funktionalitäten, die dem Anwender bei der Erzeugung des Makros zur Verfügung stehen, sind in der Literatur ausführlich beschrieben (vgl. hierzu 47, 48).

Die Erstellung der Elementpläne über Makros ermöglicht für das Fertigteilwerk eine wesentliche Zeitersparnis, da die Elementlisten zu einem früheren Zeitpunkt für die Kalkulation und somit auch für die Arbeitsvorbereitung zur Verfügung stehen.

2.3.4 Konstruktionszeichnungen als Informationsträger

Wie unter Punkt 2.3.1 beschrieben, werden im Produktionsbereich "Entwicklung und Konstruktion" die konstruktiven Unterlagen und Stücklisten erstellt.

Systemtechnisch wird das Konstruieren als Darstellung eines realen Systems bezeichnet, wodurch eine Ordnung von Elementen gebildet und mit Hilfe von Aussagefunktionen beschrieben wird.

Im Konstruktionsprozeß werden Aussagefunktionen numerisch bestimmt und als Menge der Aussagen über das System in grafischer, alphanumerischer oder kombinierter Angabe durch geeignete Informationsträger, wie z.B. Zeichnungen, Stücklisten, Arbeitspläne, NC-Steuerinformationen (vgl. hierzu Abb. 2-5), festgehalten. ⁴⁹⁾

Informationsträger sind die Hilfsmittel, die zur Erstellung, Übermittlung und Speicherung von Informationen dienen. ^{50), 51)}

Die zeichnerische Darstellung der Konstruktionsunterlagen steht als Grundlage der Ausführung zwischen der Idee und ihrer Verwirklichung. Als Ergebnis aus den mit CAD-Systemen erstellten Konstruktionszeichnungen können folgende Pläne und Listen für die Bereiche Kalkulation, Arbeitsvorbereitung und Fertigung geliefert werden:

a) Konstruktionspläne

- Fertigteilverlegepläne (auch Positionsplan genannt)
- Elementpläne in Form von Schalungs- und Bewehrungsplänen
- Übersichtspläne und
auf Grundlage des CAD-Systems in der Arbeitsvorbereitung erstellte
- Palettenbelegungspläne

49) Spur, G., Krause, F.L., a.a.O., S. 13

50) Heller, P., a.a.O., S. 27

51) REFA in der Baupraxis, Grundlagen Teil 1, 2. Aufl., Frankfurt/Main: ztv-Verlag, 1984, S. 38

Folgende Werte sind als Parameter zu betrachten: ⁵²⁾

- Positionsnummer
- Stabdurchmesser/Mattentyp
- Stababstand/Stabanzahl im Verlegefeld
- Länge der Haken
- Länge von korrigiertem Schenkel
- Randabstand der Bewehrung

Ein Beispiel für die Konstruktion einer Variante ist aus *Abb. 2-7 (Makro)* und *Abb. 2-8 (fertiger Plan)* zu ersehen.

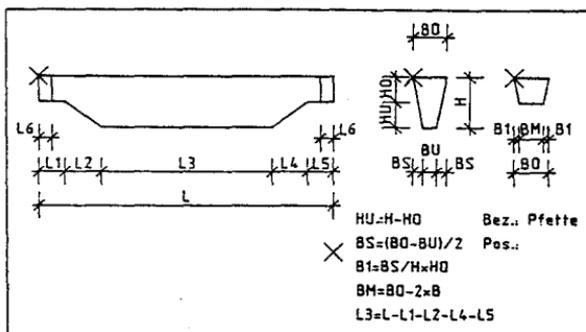


Abb. 2-7: Fertigteilepfette als Makro

2.3.4.2 Stücklisten

Die Stückliste stellt für ein Fertigungsunternehmen den wichtigsten Informationsträger dar. "Stücklisteninformationen sind *Zentralinformationen* der Technik, die zusammen mit den Zeichnungen die Ausgangsbasis für alle weiteren Tätigkeiten im Fertigungsablauf bilden".⁵³⁾

Die Stückliste ist

- Ausgangsbasis zur Ermittlung des Bedarfes an Baugruppen/Teilen/Rohmaterialien und deren Disposition
- Bereitstellungs- und Entnahmebeleg
- Grundlage zur Terminierung des Fertigungs- und Beschaffungsvorganges
- Dokumentation der konstruierten/gelieferten Erzeugnisse
- Voraussetzung für weitere Auswertungen, z.B.
 - Ersatzteile
 - Materiallisten
 - Typenübersichten
 - Einkaufslisten etc.

Der Inhalt einer Stückliste richtet sich nach der Art ihres Aufbaus und nach der Art ihrer Verwendung.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Stücklisten zur Darstellung der Zusammensetzung von Erzeugnissen aus Baugruppen, Einzelteilen und Ausgangsmaterialien dienen. Sie sollen den strukturellen Aufbau eines Erzeugnisses oder einer Baugruppe zum Ausdruck bringen und die Menge angeben.

Haller / 54 / unterscheidet die Stücklisten nach:

- a) **Verwendungszweck** (Kalkulation, Fertigung, Terminplanung, Materialdisposition) und
- b) **Darstellungsform** (Mengenübersichts-, Struktur- und Baukastenstückliste)

Im folgenden werden die vorher genannten Stücklisten nach ihrer Darstellungsform laut / 55 / kurz definiert:

Die Mengenübersichtsstückliste beinhaltet alle Bestandteile des Erzeugnisses ohne Rücksicht auf die Erzeugnisgliederung. Jedes Teil ist nur einmal mit Mengenangabe aufgeführt, die für das gesamte Erzeugnis gilt.

53) Hackstein, R.: 'Produktionsplanung und -steuerung (PPS)', Ein Handbuch für die Betriebspraxis, 2., überarb. Aufl., Düsseldorf:VDI-Verlag, 1978, S. 134

54) Haller, P., a.a.O., S. 33

55) Hackstein, R., a.a.O., S. 138 f.

Folgende Daten sind in der Produktionsliste bzw. Fertigteil-Stückliste enthalten:

- Auftragsnummer und Projektbezeichnung
- identifizierte Positionsnummer
- Klassifikationsnummer (verschlüsselte Beschreibung des Fertigteils)
- Stückzahl
- Abmessungen
- Betongüte und Fertigteilgewicht (je Stück und insgesamt)
- Stahlbedarf (je Stück und insgesamt) aufgeteilt nach Stahllarten
- Schalungsfläche je Element

b) *Stahl- und/oder Biegeliste*

Mit Hilfe des CAD-Systems kann außer Bewehrungszeichnungen automatisch eine Stahl- und/oder Biegeliste erstellt werden, die direkt von einem Steuerungsrechner eines Bügelautomaten oder von einer Längseisenmaschine eingelesen werden kann. Im Beschreibungsteil der Stahlliste sind folgende Angaben zu machen:

- Nummer der Biegeposition
- Stahlgüte, Stahldurchmesser, Biegeform
- Schnittlängen
- Gewicht (je Element und insgesamt)

c) *Einbauteilliste*

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Herstellung der Fertigteilenelemente sind die Einbauteile. Nach Abschluß der konstruktiven Bearbeitung wird für jedes einzelne Fertigteil eine Einbauteil-Stückliste als Auszug aus dem Schalplan erarbeitet. Dabei werden jeweils die entsprechenden Angaben der Fertigteil-Stückliste wie

- Auftragsnummer und Projektbezeichnung,
- identifizierende Positionsnummer,
- zugehörige Stücklistennummer,
- Einbauteileart und Stückzahl übernommen.

Die Konstruktion von Einbauteilen kann wiederum unter Verwendung der Variantentechnik erfolgen. Mittels CAD-Einsatz werden entsprechend der Konstruktionszeichnung die vollständigen Einbauteillisten automatisch erzeugt. Von entscheidendem Einfluß auf die Zeitersparnis und somit der Wirtschaftlichkeit ist die direkte Übergabe dieser Daten an ein PPS-System.

Die Aufgabe des PPS-Systems erstreckt sich von der Produktionsprogrammplanung bis hin zur Betriebsdatenerfassung (BDE), um die verschiedenen Teilaufgaben der Auftragsabwicklung zeitlich wie inhaltlich in einen organisatorischen Rahmen zu bringen. Laut / 61 / hat dies zur Folge, daß sich die Kopplung von CA-Systemen miteinander in diesem Rahmen bewegen muß. "Es bedeutet, daß die CA-Systeme durch das PPS-System angestoßen werden (Informationsfluß in Richtung des angekoppelten Systems) und ihre Ergebnisse zeitlich und inhaltlich gezielt dem PPS-System zur Verfügung stellen (Informationsfluß in Richtung des PPS-System)".

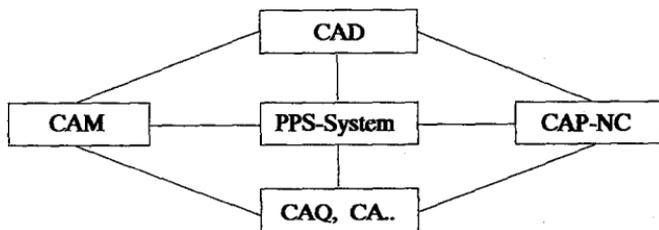


Abb. 2-10: Vereinfachte Darstellung des rechnerintegrierten Systems (CIM)

Der Grundgedanke der Systemkopplung und -integration liegt in der nur einmaligen Erstellung der Daten und ihrer rechnerinternen Verarbeitung. Das PPS-System liegt im Zentrum eines rechnerintegrierten Systems (Computer Integrated Manufacturing - CIM). *Abbildung 2-10* zeigt eine vereinfachte Darstellung des Zusammenwirkens aller Teilsysteme.

2.4.2 Ziel der CAD/PPS - Kopplungen

Die Kopplung der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) mit Systemen der rechnergestützten Konstruktion (CAD) sowie auch der maschinellen NC-Programmierung (CAM) ist ein Teilsystem der rechnerintegrierten Produktion.

Die CAD/PPS-Kopplung besteht prinzipiell darin, daß Daten des CAD-Systems mit interaktiven Kopplungsmodulen in das PPS-System unter Fortfall der manuellen Eingabe von Teilstämmen sowie der Stamm- und Auftragsstücklisten eingebracht und in umgekehrter Richtung der Konstruktion PPS-Daten zu Informationszwecken zugänglich gemacht werden. ⁶²⁾

61) Nedeß, C., Landvogt, F.B., a.a.O., S. 541 f.

62) Ebenda, S. 543

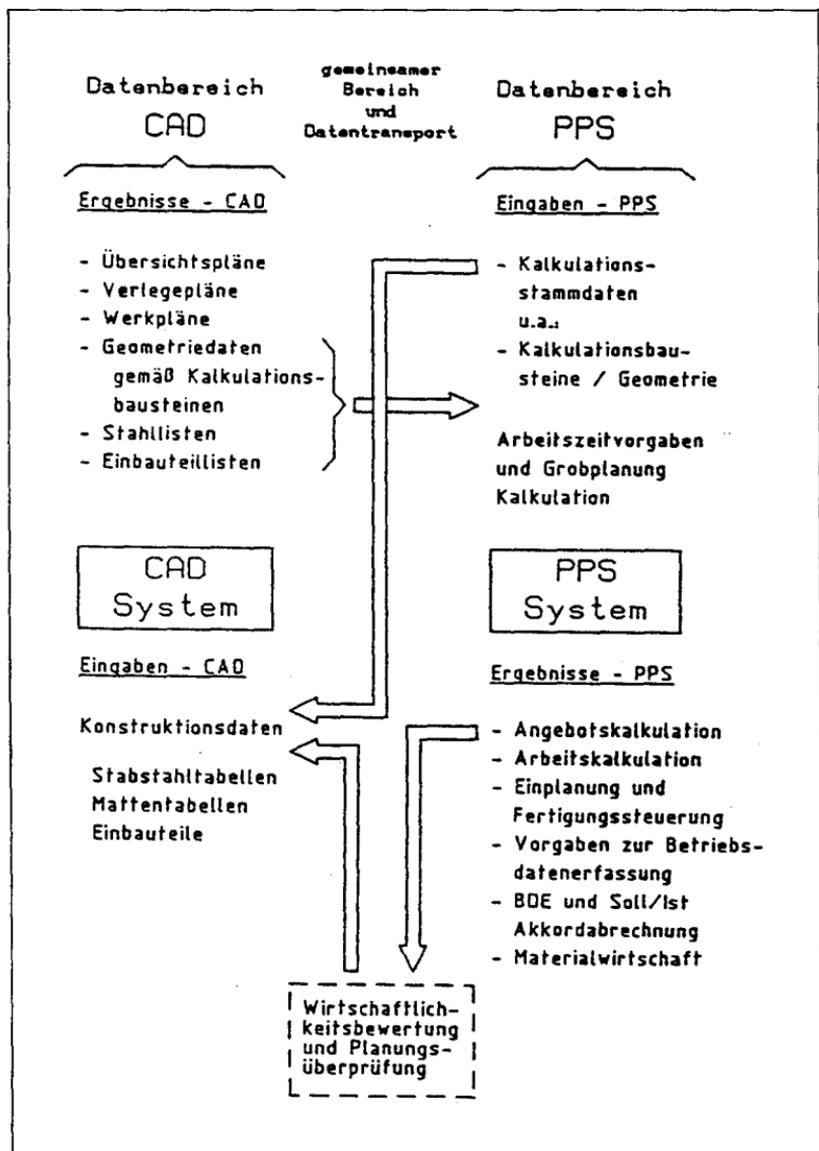


Abb. 2-12: Datenfluß bei kombiniertem CAD- und PPS-Einsatz

2.5 Integration des CAM-Systems in den Produktionsablauf

2.5.1 Begriff CAM

Der Grundgedanke bei der rechnergestützten Fertigung ist es, einmal erzeugte Daten sowohl in derselben Abteilung, als auch in anderen Unternehmensbereichen zur weiteren Bearbeitung heranziehen zu können.^{64), 65)} In der Literatur wird für den Begriff "CAM" (*Computer Aided Manufacturing*) folgende Definition gegeben:⁶⁶⁾

"CAM bezeichnet die EDV-Unterstützung zur technischen Steuerung und Überwachung der Betriebsmittel bei der Herstellung der Objekte im Fertigungsprozeß".

Dies bezieht sich auf die direkte Steuerung von Arbeitsmaschinen, verfahrenstechnischen Anlagen, Handhabungsgeräten sowie Transport- und Lagersystemen. Eine effektive CAM-Anwendung im Bauwesen kommt nur dann zustande, wenn die grafisch und numerisch erfaßten Daten einer Zeichnung zur Steuerung des Herstellungsvorganges verwendet werden können.

2.5.2 Voraussetzungen

Die Integration der EDV in die technische Abteilung sowie in die Produktionsstätten eines Betonfertigteilerwerkes, vor allen Dingen der Einsatz von CAD und die Weiterführung zum CAM, ist an strenge Voraussetzungen gebunden. Diese sind folgende:⁶⁷⁾

- Informationsintegration (CAD),
- Betriebsstruktur,
- Datenflußorganisation im gesamten Fertigungsprozeß mit Bezug auf ein rechnerintegriertes Gesamtsystem (CIM-Konzept).

2.5.2.1 Informationsintegration

Die wichtigste Grundlage eines jeden CAM ist die Informationsintegration. Der zentrale Kern eines solchen Systems ist ein *funktionierendes, leistungsfähiges CAD System*, indem die konstruktiven und ausführungstechnischen Informationen in einem Objektmodell verwaltet werden.

64) Ehmer, M., a.a.O., BFT 11/1988

65) Feymann, W., Orth, W., a.a.O., BFT 4/1989

66) Konzelmann, E.F., a.a.O., S. 5

67) Ebenda, S. 45

Informationen, die sich im Kopf des Mitarbeiters oder auf Notizzetteln befinden, lassen sich sehr schlecht transportieren. Sie sind oft Ursache von Fehlern und belasten die Mitarbeiter ständig. Die Informationen können als Check, Ergebnis oder sonstige Meldung ausgegeben werden. Dies ermöglicht das Materialisieren des enthaltenen Knowhows und das Abrufen für weitere Aufträge und Erfordernisse. Erfahrung und Knowhow stehen somit den unmittelbar Beteiligten und den am Rande Beteiligten zur Verfügung.

Eine klare, exakte, strukturierte Information ist wesentliche Voraussetzung für die CAM-Einführung. Die dabei notwendige partnerschaftliche Zusammenarbeit aller Beteiligten bildet außerdem einen bedeutenden Schritt in Richtung CAM.

2.5.2.2 Betriebsstruktur

Eine weitere Voraussetzung ist die passende Betriebsstruktur, sowohl in übergeordneter Bedeutung, als auch für die einzelnen Produktionsstätten. Der Material- und Produktfluß für das Fertigteilwerk ist in der Gesamtheit aufzuzeigen und als Detail und Gesamtheit zu betrachten.

Weiterhin ist der Material- und Produktfluß nach den entstehenden Transporteinheiten und den notwendigen Fertigungsstätten zu beurteilen.⁶⁹⁾

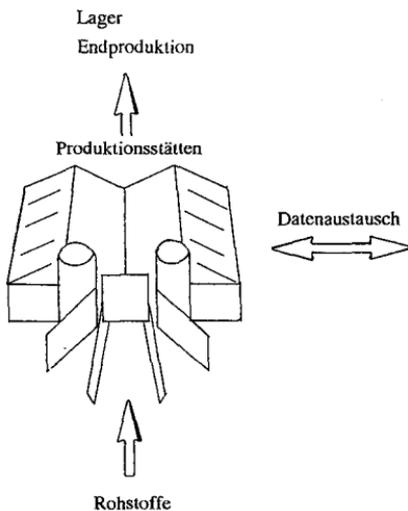


Abb. 2-16: Materialfluß in der CAM-gestützten Fertigung

69) Krömer, R.: "Transport- und Fördertechnik für Beton- und Fertigteilwerke", BFT 12/1984

2.5.3 Vorteile des CAM-Einsatzes

Rechnergestützte Fertigung (CAM) wird dort eingesetzt, wo es Vorteile und Erleichterungen gegenüber der manuellen Arbeit bringt. Die weitesten Fortschritte des CAM-Einsatzes existieren im Fertigteilbau auf dem Gebiet der Elementdeckenherstellung. Bei der Herstellung stabförmiger Bauteile, wie z.B. Stütze, Riegel, und dreidimensionaler Fassadenelemente befindet sich die Anwendung der CAM-Systeme noch im Anfangsstadium.

Die sich beim CAM-Einsatz ergebenden Vorteile sind: ⁷⁰⁾ ⁷¹⁾

- *Verbesserte Produktqualität*
 - Exaktes Bewehren und Einhalten der Fertigteilgewichte durch genaues Betonieren ermöglicht eine Verbesserung der Qualität und die Reduzierung von Fehlern in der Geometrie;
- *Reduzierung der Arbeitszeit*
 - durch Reduzierung der manuellen Arbeit werden die Durchlaufzeit in der Produktion verkürzt und die Herstellkosten gesenkt;
- *Ergonomisch günstige Arbeitsplätze*
 - Schaffung ergonomisch günstiger Arbeitsplätze durch Sauberkeit, Ordnung sowie Reduzierung der körperlich schweren Arbeit;
- *Wirtschaftlichkeit*
 - wirtschaftlicher Umgang mit den zur Produktion erforderlichen Ausgangsstoffen durch effiziente Ausnutzung des Stahlquerschnitts und des Betongewichts;
 - Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch Produkt- und Produktionsflexibilität;
- *Verringerung der Umweltbelastung*
 - Reduzierung der Umweltbelastungen durch Vermeiden von unnötigem Abfall und Lärm.

70) Reymann, W., Orth, W., a.a.O., BFT 4/1989

71) Ehmer, M., a.a.O., BFT 11/1988

Eine Produktivitätssteigerung kann nur erreicht werden, wenn der Informationsfluß von der Kalkulation bis zur Fertigung eine informationstechnische Verknüpfung aller vorhandenen oder zu planenden Elemente des Produktionsprozesses und der sie verbindenden Strukturen einschließt und berücksichtigt.

Das bedeutet, daß die Hard- und Softwaresysteme im Bereich rechnergestützter Fertigung homogen sein müssen und deshalb einer Harmonisierung bedürfen.

Da zur Zeit Lösungen für einen einheitlichen Computerstandard in der gesamten Produktionstechnik fehlen bzw. noch nicht realisiert sind, sieht man sich ständig mit dem Problem konfrontiert, die CAD-Anlage des Konstruktionsbüros mit dem PPS-System der Arbeitsvorbereitung zu verknüpfen und eine Anbindung an die Produktion bzw. an die kommerzielle Datenverarbeitungsanlage zu ermöglichen.

Diese Fakten erschweren wesentlich die Entscheidung für den Einsatz neuer rechnergestützter Produktionstechniken bei Fertigteilverken.

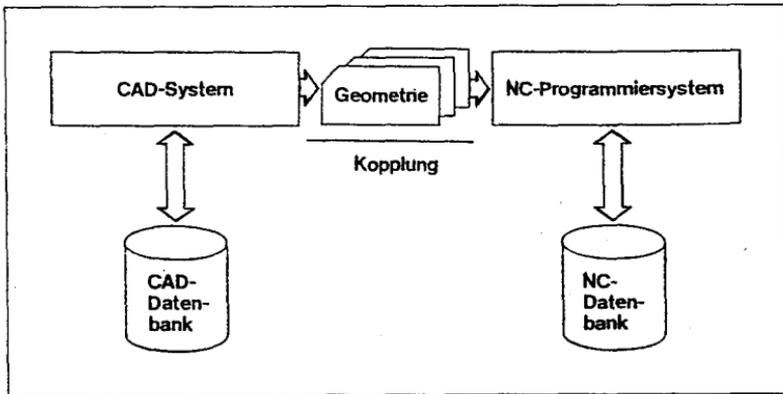


Abb. 2-17: Getrennte Strukturen in CAD- und NC-Systemen / 75 /

Den weitesten Fortschritt im Hinblick auf die rechnergestützte Fertigung von Fertigteilelementen erreichen zur Zeit Insellösungen im Konstruktions- und Fertigungsbereich, wobei in der Regel nur ein Optimum der Einzelfunktionen angestrebt wird, wie z.B. die Bewehrungsarbeiten und Betonierarbeiten. In Kapitel 3.0 werden die rechnergestützte Planung, die Arbeitsvorbereitung und die Übergabe der Daten zu rechnergestützten Maschinen für die Herstellung von Elementdecken untersucht, um den derzeitigen Stand der rechnergestützten Fertigung ausführlich darstellen zu können.

3. ANALYSE DES CAD/CAM - EINSATZES BEI DER ELEMENT-DECKENFERTIGUNG

3.1 Verknüpfung von CAD/CAM - Systemen

Die Einführung des Computers als Hilfsmittel bei der Planung und Konstruktion hat eine Entwicklung in Gang gesetzt, die nicht nur die Arbeitsweise des Konstrukteurs bei der Planung veränderte, sondern auch die Bemühungen um eine integrierte Datenverarbeitung zwischen Konstruktion und Fertigung startete. Die rechnergestützte Konstruktion bildet damit die Grundlage für eine rechnergestützte Fertigung. Die rechnergestützt erstellten Konstruktionsdaten und die daraus abgeleiteten Informationen für die folgenden Bereiche wie Kalkulation, Arbeitsvorbereitung und Fertigung, sind die sachliche Basis, auf der der anschließende Fertigungsprozeß aufbaut. ⁷⁶⁾

Rechnergestützte Systeme für die Produktion der Fertigteilenelemente sind, wie auch in den vorhergehenden Abschnitten erwähnt, noch überwiegend durch Inselösungen gekennzeichnet. Der steigende Bedarf an integrierten Systemen erfordert die Einbindung der Inselösungen in Gesamtkonzepte. Die Verknüpfung rechnergestützter Konstruktion mit rechnergestützter Fertigung ist als Teilsystem der rechnerintegrierten Auftragsabwicklung zu sehen.

Ziel der Verknüpfung von rechnergestützter Konstruktion mit rechnergestützter Fertigung ist, eine Integration zwischen technischen und organisatorischen Funktionen zur Produkterstellung zu realisieren. Darüber hinaus soll der CAD/CAM-Einsatz in den Fertigteilwerken zu einer zeit- und aufwandsparenden direkten Zusammenarbeit zwischen Planer, Konstrukteur, Unternehmer und Betonwerk führen. Die dem Betonwerk durch Rechner übermittelten Daten bilden die Grundlage für die werksinterne kaufmännische und technische Berechnung, Kalkulation und Optimierung der Produktion sowie einen sich anschließenden rechnergesteuerten und laufend kontrollierten Maschineneinsatz.

Die weitestgehende Automatisierung wurde bisher in der schlaff bewehrten Elementdeckenproduktion erreicht, so daß der Herstellungsaufwand für Elemente auf 0,06 - 0,08 Std/m² gesenkt werden konnte. Außerdem ist ein hoher Automatisierungsgrad in der vorgespannten und schlaff bewehrten Hohlkörperdeckenproduktion feststellbar.

76) Seifert, H.: "Von CAD zu CIM - Voraussetzung für die rechnerintegrierte Produktion ist die rechnergestützte Konstruktion", VDI-Z 128/86, Nr. 10, S. 327 - 331

Zu den wichtigen Aufgaben der Arbeitsvorbereitung gehört die Erstellung der Belegungspläne der Paletten und der Stapelliste, welche den Produktionsablauf bestimmen (siehe *Abb. 3-1*). Bei der Belegung der Paletten wird in erster Linie der Schwierigkeitsgrad der produzierten Teile berücksichtigt und die Paletten so belegt, daß ein gleichmäßiger Umlauf mit annähernd gleichen Einzelstationszeiten gewährleistet ist. Daher hat ein homogener Umlauf mehr Bedeutung und Priorität als ein möglichst großer Palettenflächennutzungsgrad, welcher bei der Gesamtleistung (Produktivität) eine wichtige Rolle spielt. Unabhängig von der belegten Fläche werden, z.B. bei der Elementdeckenherstellung, nicht mehr als 6 Elemente auf eine Palette angeordnet, um annähernd gleiche Stationszeiten im Umlauf zu erhalten (vgl. hierzu *Abb. 3-2*).

Bei der Erstellung der Stapelliste wird die Reihenfolge der Elemente beim Montageprozeß berücksichtigt. Damit können die Elementen ohne Zwischenlagerung auf der Baustelle direkt vom LKW verlegt werden.

In diesem Zusammenhang ist auch die Schalungsvorbereitung mit Hilfe des CAD-Systems von besonderer Bedeutung. Dem Bedienungspersonal werden die Schalungsteile für jedes herzustellende Element als Stückliste vorgegeben. Dadurch wird die Grundlage für eine EDV-mäßige Schalungsverwaltung erreicht.

STAPPELLISTE

Auftraggeber : Mayer u. Ruppert

Bauvorhaben : Franz Josef Rau, Waldmannsgasse

Bauort : 6701 Niederkirchen

Decke über : GA

Position	Stück	Breite (m)	Länge (m)	Fläche (m ²)
3	1	2.050	2.590	5.26
9	1	0.800	6.550	5.24
4	1	1.250	6.570	8.21
2	1	2.500	2.570	6.43
1	1	2.500	2.590	6.45
5	1	1.250	6.570	8.21
6	1	1.250	6.570	8.21
7	1	1.250	6.570	8.21
8	1	1.250	6.570	8.20
gesamt	9			64.42
pro Auftrag	9			64.42

Abb. 3-1: Die Stapelliste bestimmt die Reihenfolge der Elemente bei der Palettenbelegung (Fa. Lösch).

S C H N I T T L I S T E

Pos		Stk*lfm	6mm	8mm	10mm	12mm	14mm
1							Plattenanzahl: 1
	Traeger KT 812	2*2.59					
	Traeger KT 812	2*2.57					
	SchubTr KT 812	5*1.00					
	Laengseisen		16*2.81				
	Quereisen		8*2.50				
2							Plattenanzahl: 1
	Traeger KT 812	4*2.57					
	SchubTr KT 812	5*1.00					
	Laengseisen		16*2.81				
	Quereisen		8*2.50				
3							Plattenanzahl: 1
	Traeger KT 812	3*2.57					
	Traeger KT 812	1*2.55					
	SchubTr KT 812	5*1.00					
	Laengseisen		13*2.81				
	Quereisen		8*2.05				
4							Plattenanzahl: 1
	Traeger KT 812	3*6.57					
	SchubTr KT 812	4*1.00					
	Laengseisen		8*6.81			8*6.81	
	Quereisen		20*1.25	15*1.25			
5							Plattenanzahl: 1
	Traeger KT 812	3*6.57					
	SchubTr KT 812	4*1.00					
	Laengseisen		8*6.81			8*6.81	
	Quereisen		20*1.25	15*1.25			
6							Plattenanzahl: 1
	Traeger KT 812	3*6.57					
	SchubTr KT 812	4*1.00					
	Laengseisen		8*6.81			8*6.81	
	Quereisen		20*1.25	15*1.25			
7							Plattenanzahl: 1
	Traeger KT 812	3*6.57					
	SchubTr KT 812	4*1.00					
	Laengseisen		8*6.81			8*6.81	
	Quereisen		20*1.25	15*1.25			
8							Plattenanzahl: 1
	Traeger KT 812	2*6.57					
	Traeger KT 812	1*6.55					
	SchubTr KT 812	4*1.00					
	Laengseisen		8*6.81			8*6.81	
	Quereisen		20*1.25	15*1.25			
9							Plattenanzahl: 1
	Traeger KT 812	2*6.55					
	SchubTr KT 812	3*1.00					
	Laengseisen		5*6.81			5*6.81	
	Quereisen		20*0.80	15*0.80			
	Stahl ges.	kg	214.42	139.93	41.77		272.13
	Gesamtgewicht :	668.25 kg					

Abb. 3-3: Bewehrungsschnittliste der Elementdeckenfertigung (Fa. Lösch)

3.3 Analyse der CAD/CAM-gestützten Elementdecken-Fertigung

Beim CAD/CAM-Konzept ist der Ausgangspunkt ein CAD-System auf PC-Basis. Die Arbeitsvorbereitung beginnt am CAD-System mit der Erstellung von Stück- und Stapellisten sowie auch der Palettenbelegungspläne. Die weitere Arbeitsvorbereitung und die Unterstützung der Fertigung erfolgt dann mit Hilfe eines Leitrechners. Dieser Leitrechner übernimmt gleichzeitig die Koordination der verschiedenen Bearbeitungsmaschinen mit dem Materialzuführungssystem.

Wie *Abbildung 3-5* darstellt, ist ein derartiges System auf die technische Bearbeitung von Elementdecken spezialisiert und liefert neben den erforderlichen

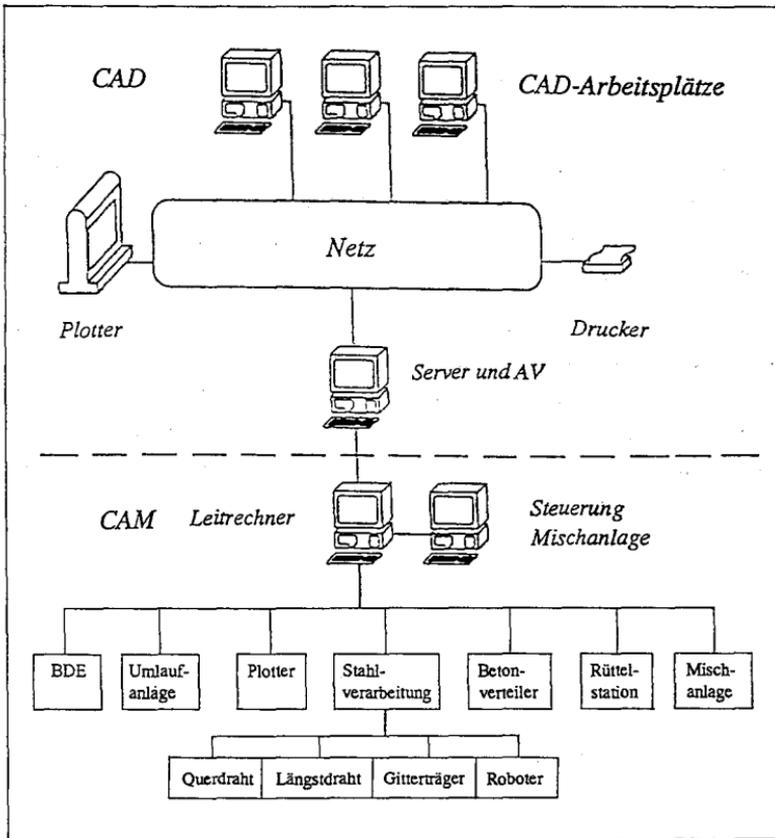


Abb. 3-5: CAD/CAM-Struktur einer automatischen Elementdeckenproduktion
78)

Die Steuerungsdaten kommen automatisch von der CAD-Arbeitsvorbereitung mittels Leitrechner. Als optische Kontrolle steht der Produktion ein vom CAD erstellter Palettenbelegungsplan zur Verfügung, nach dem das MRP-Gerät arbeitet (vgl. *Abb. 3-2*).

Schließlich ist der Schalungs-Roboter mit großen Reinigungsbürsten und entsprechenden Antrieben ausgerüstet, um die Palette zu Beginn zu reinigen.

Nicht nur das Zeichnen gehört zu den Aufgaben des Schalungsroboters, sondern er platziert auch Schalungsteile bzw. Querabsteller auf der Palette gemäß den Plattenurissen. Auf diese Weise übernimmt er die schwere körperliche Arbeit bei den Schalungsarbeiten.

Die nächste Station dient der Komplettierung der Schalung durch Einbauteile und Längsabstellprofile. Bedingt durch die immer anspruchsvollere Plattengeometrie bleibt die Handarbeit in dieser Station von großer Bedeutung, wobei sie durch optimierte Schalungs- und Einbauteillisten aus dem CAD-System unterstützt wird. Die Längsabstellprofile werden in verschiedenen Längen auch im Magazin gelagert. Als Zubehörteile sind Haftmagnete vorgesehen. Besonders vorteilhaft ist bei dem stets steigenden Paßplattenanteil, daß diese Teile eines Baukastensystems aus dem Lager- und Transportsystem direkt entnommen werden können. Damit entfallen die Arbeitswege und der Transport der schweren Schalungselemente.

Zur Schalung von schwierigen geometrischen Formen werden derzeit Styroporprofile mit Dreikantfase eingesetzt. Diese werden mit einer Heißklebepistole, die in das Arbeitsplatzsystem integriert ist, aufgeklebt. Nach dem Einschalen werden die belegten Flächen gemäß Palettenbelegungsplan mit Hilfe eines Flächenölers und die Längsabstellprofile sowie Aussparungskörper mit einem Handöler geölt. Die Schalungsarbeiten erfordern zwei Arbeitskräfte zur manuellen Ergänzung.

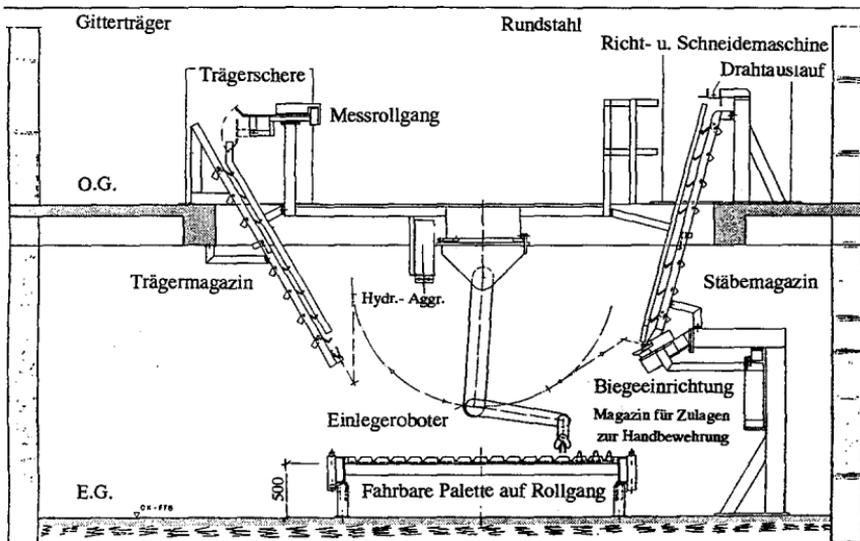


Abb. 3-7: Verlegen der Bewehrung einer Elementdecke durch einen prozeß-rechnergesteuerten Roboter / 80 /

3.3.4 Betoniertechnik

Die Betoniertechnik beinhaltet Herstellen, Transportieren, Verteilen und Verdichten des Betons sowie Oberflächenbehandlung, Aushärteprozeß und Reststoffrecycling.

Die Herstellung des Betons erfolgt zur Zeit fast ausnahmslos mit automatischen Mischanlagen. Nur der Transport stellt meistens einen Engpaß in der Fertigungshalle dar, wenn er nach herkömmlichen Verfahren durchgeführt wird, wie z.B. mit Kübeln durch einen flurgebundenen Transportwagen oder durch einen Halbenkran (siehe hierzu Abschnitt 5.2.1.).

Mit den CAD-Daten werden die Betonanforderungen an die Mischanlage übergeben, damit nur die für die Produktion benötigte Menge Beton bereitgestellt wird.

abgehoben und auf den Absetzböcken abgesetzt.

Das Aushängen und Zurückkehren an die Station erfolgt ebenfalls automatisch.

Längsabstellprofile, die vom MRP-Gerät nicht aufgenommen werden können, sammelt eine Arbeitskraft ein und legt sie auf den Transportwagen, der diese dann zur Reinigungstelle bringt. Die fertigen Palettentransportstapel werden von einem funkferngesteuerten Hubwagen ins Freilager transportiert. Hiermit ist der Kreislauf geschlossen.

$$\text{Fertigungsstapelnutzungsgrad} = \frac{\text{Anzahl genutzter Paletten eines Fertigungsstapels}}{\text{max. Anzahl der Paletten eines Fertigungsstapels (9)}}$$

$$\text{Anlagennutzungsgrad} = \frac{\text{Anzahl genutzter Paletten der Anlage}}{\text{mögliche Palettenanzahl (9 x 9= 81)}}$$

$$\text{Stapelplatznutzungsgrad} = \frac{\text{Anzahl der genutzten Stapelplätze eines AT in der Härtekammer}}{\text{mögliche Anzahl der Stapelplätze im Abbindebunker (T1-T9=9)}}$$

$$\text{Gesamtnutzungsgrad} = \frac{\text{durch das Element belegte Palettenfläche eines Produktions-Zeitraumes}}{\text{max. mögliche Palettenfläche bei max. möglicher Palettenanzahl eines Produktionszeitraumes}}$$

- Die Definitionen beziehen sich auf einmalige Belegung der Paletten je Arbeitstag;
- Pufferplatz T 10 der konzipierten Anlage wurde nicht mitgerechnet;
- bei durchschnittlich angegebenen Nutzungsgraden (NG) ist der Bezug zur Zeitdauer zu sehen.

Produktionsvoraussetzung:

störungsfreier Betrieb und Mindesttemperaturen
in Härtekammer bei Einfachbelegung + 25 °C

Betonverbrauch:

für 1000 m ² ED bei 4 cm Nenndicke:	ca. 44 m ³
Mischerkapazität / Charge:	0.7 m ³
Anzahl Chargen für 1000 m ² ED bei 4 cm Nenndicke:	ca. 63

Stahlverbrauch:

für 1000 m ² ED bei 6.5 kg Stahl/m ² incl. Verschnitt	ca. 6.75 t
davon Rundstahl vom Ring	ca. 4.55 t
und Gitterträger	ca. 2.20 t

im Dienstleistungsbereich und beim Personalbedarf*voraussichtlicher Personalbedarf:*

- Elementdeckenproduktion mit Palettenumlaufanlage
- Tagesproduktionsmenge: ca. 1000 m² Elementdecke bei Einschichtbetrieb, überlappte Arbeitszeit, einfacher Belegung der Paletten, Verwendung fertigbezogener Gitterträger und Dolch-Stangenabstandhalter

Arbeitsplatz Produktionsstation	Funktionen Aufgaben	Anzahl der AK	Qualifikation
1. U 2	Ausschalen Transportstapel bilden	1 Mann	Helfer
2. U 3	MRP-Gerät bedienen Abschalen, Reinigen, Einmessen, Schalen	1 Mann	Facharbeiter Elektriker
3. U 4	Schalung fertigstellen Einbauteile setzen	1 Mann	Helfer
4. Stahlverarbeitung im OG.	Rundstahl- u. Gitter- trägerverarbeitungs- anlage bedienen	1 Mann	Facharbeiter Elektriker
5. U 5/6/7	Bewehrung und Isolierung einlegen	3 Mann	Helfer
6. U 8	Betonieren, Verdichten	1 Mann	Facharbeiter Schlosser
7. Mischanlage	Beton herstellen	1/2 Mann	Helfer
8. Freilager	Elementdecken verladen	1/2 Mann	Helfer
9. z.b.V.	z.b.V.	1 Mann	Springer
Empfehlung: Universale Einarbeitung des Personals an allen Plätzen; Ausbildung von Springern		10 Mann + anteilig Führungspersonal	

Abb. 3-10: Darstellung Soll-Konzept im Bereich Dienstleistungen/Personal

Ermittlung des notwendigen RATIONALISIERUNGSEFFEKTES für Elementdeckenfertigung					SOLL											
Produktionsleistungen: m ²					geplantes Verfahren											
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>1982</td> <td>1983</td> <td>1984</td> <td>1985</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>m²</td> </tr> </table>					1982	1983	1984	1985						m ²		
1982	1983	1984	1985													
				m ²												
angenommene Basisleistung: Prognose: 240.000 m ²																
angenommener Marktpreis, netto ab Werk ohne Transport, Montage, Ortbetonarbeiten, einschließlich Konstruktionsleistung					DM/m ² (MP.)											
					kg/m ²	DM/kg	DM/m ²	DM für Ba- sisleistg.	% v.MP.							
1.0 Materialkosten																
1.1 Stahl/Bewehrung																
1.1.1 Rundstahl vom Ring					4,5	0,90	4,05	972.000								
1.1.2 Matten, Mattenbügel																
1.1.3 Gitterträger					2,0	1,05	2,10	504.000								
1.1.4 + 0,5 % Verschnitt 111/ 10% v. 1.1.3							- 23	55.200								
gesamt:							6,38	1.531.200								
1.2 Beton																
1.2.1 Zement Q40/44+ P2 35					15,79	0,1260	1,99	477.600								
1.2.2 Zuschlagstoffe; Sand, Kies					83,53	0,042	1,19	285.600								
1.2.3 Zusatzmittel: Füller, Verflüssiger					1,68	0,020	0,15	36.000								
1.2.4							- 33	79.200								
gesamt:							3,66	878.400								
1.3 Sonstige Materialien EB-Teile, Schalungsmaterial					in Geko											
gesamt:																
<u>Summe Materialkosten 1.0</u>							10,04	2.409.600								
							9,84	2.361.600	39,4%							
2.0 Lohn-, Gemein- und sonstige Kosten					h/m ²	DM/h										
2.1 Lohnkosten Stahlverarbeitung																
" Betonherstellung/-verteilung																
" Produktion																
" Stapeln, Verladen																
gesamt:					0,10	28,-	2,80	672.000,-								
2.2 Lohn-, Gehaltskosten, Aufsichtspers. Meister							- 81									
2.3 Verwaltungskosten allgemein							1,31									
2.4 Vertriebskosten							- 63									
2.5 Technische Bearbeitung intern							- 81									
extern							- 60									
2.6 Kosten Betriebs-/Geschäftsleitung, anteilig																
2.7 Gemeinkosten Energiekosten + Instandhaltg.							2,89									
2.7.1 Kosten für Heizung;							- 10									
<u>Summe Lohn-, Gemein- u. sonstige Kosten 2.0</u>							9,95	2.388.000	39,8%							
3.0 Kalkulatorische Kosten							7,33									
							- 12									
							847.200									
4.0 Provisionen 1.2 Rabatte Skonti 3/1%							2,52									
							- 55	132.000	16,3%							
5.0 Gesamtsumme 1-4							23,97	5.728.800								
6.0 Marktpreis ./. Gesamtsumme (5.0) = Überschuss/ Ertrags							1,13	+ 271.200	4,5%							

Abb. 3-12: Ermittlung des voraussichtlichen Rationalisierungseffektes für Elementdeckenfertigung beim geplanten Fertigungsverfahren

3.4.2 Kostenvergleichsrechnung beim CAD-Einsatz im technischen Büro

In diesem Abschnitt werden Kostenvergleichsrechnungen im Konstruktionsbereich dargestellt, wobei die Werte von Müller / 82 / herangezogen wurden.

Im folgenden wird der Aufwand für die manuelle Erstellung der Konstruktionszeichnungen im Vergleich zum CAD-Einsatz ermittelt.

Annahme: Werksjahresleistung - $100.000 \text{ m}^2 \Rightarrow 500 \text{ m}^2/\text{AT}$

a) manuelle Bearbeitung

Personalbedarf:

3 Zeichner: 120.000,- DM/Jahr

1 Hilfskraft: 35.000,- DM/Jahr

Summe 155.000,- DM/Jahr

Kosten/m²: 1,55 DM

b) CAD - Bearbeitung

Personalbedarf:

1 CAD-Sachbearbeiter: 55.000,- DM/Jahr

1 Teilzeitkraft: 20.000,- DM/Jahr

Summe 75.000,- DM/Jahr

Kosten/m²: 0,75 DM

Investitionskosten:

Hardware: 70.000,- DM

Software: 30.000,- DM

Nebenkosten:

Wartungskosten für Hardware: 8 % von Kosten für Hardware / Jahr

(70.000 x 0.08) 5.600,- DM

Pflegekosten für Programm: 7 % von Kosten für Software / Jahr

(30.000 x 0.07) 2.100,- DM

b) Plotter - Einsatz

Abschreibungsdauer: 6 Jahre

Zinssatz: 7 %

Wiederbeschaffungsfaktor: 1,15

Investitionskosten:	180.000,-	DM
(Kosten für MRP-Gerät)		
Gesamtinvestitionskosten:	207.000,-	DM
Gesamtzinsen:	37.800,-	DM
Wartung/Instandhaltung		
5 % von Investitionskosten	54.000,-	DM
	<hr/>	
Summe:	298.800,-	DM
Kosten/Jahr:	49.800,-	DM
Kosten/m ²	0,498	DM

Personalkosten

Eingabe / Kontrolle

(400 Std/Jahr x 45,- DM) : 100.000 m²

Kosten/m ²	0,18	DM
-----------------------	-------------	-----------

Gesamtkosten=>	0,67	DM/m²
--------------------------	-------------	-------------------------

<i>Gesamtkosten beim Plotter-Einsatz:</i>	<i>0,67</i>	<i>DM/m²</i>
---	-------------	-------------------------

<i>Kosten für manuelles Einmessen:</i>	<i>0,99</i>	<i>DM/m²</i>
--	-------------	-------------------------

<i>Einsparung=></i>	<i>0,32</i>	<i>DM/m²</i>
------------------------	-------------	-------------------------

<i>=></i>	<i>32.000</i>	<i>DM/Jahr</i>
--------------	---------------	----------------

Bei einer Werksjahresleistung von 100.000 m² Elementdeckenfertigung ergibt sich durch den Plotter-Einsatz im Schalungsbereich für den Teilvorgang Einmessen eine Einsparung von 32.000 DM/Jahr.

Geht man von einem einschichtigen Betrieb aus, so müßte demnach zumindest teilweise eine 2. Arbeitskraft zur Bewältigung dieser Aufgabenstellung mit eingesetzt werden. D.h. bei manuellen Einmessen werden ca. 1.38 Arbeitskräfte benötigt.

Personaleinsatz:

Diese Aussage ist abhängig vom Einsatzgebiet des Plotters. Wird er z.B. auf Bahnen eingesetzt, wird Personal für das Umsetzen benötigt. Außerdem muß davon ausgegangen werden, daß stichprobenartige Kontrollen und selbstverständlich auch Wartung erforderlich wird.

Belegung der Produktionsfläche:

Der Rechner ist nicht in der Lage die Palettenbelegung zusammenzustellen. Will man trotzdem einen hohen Auslastungsgrad erreichen, so muß die Belegung über Eingaben im technischen Bereich erfolgen. Das setzt produktionstechnische Kenntnisse und Kenntnisse des Fertigungsablaufes voraus, die die Mitarbeiter des technischen Bereiches in der Regel nicht besitzen. Diese Aufgabenstellung fällt eher in den Bereich der Arbeitsvorbereitung. Um die bereits angesprochene Optimierung der Palettenbelegung zu erreichen, sollen das technische Büro und die Arbeitsvorbereitung miteinander kommunizieren.

Erstellung, Reproduktion aller spezifischen Elementangaben:

Der Plotter ist derzeit in der Lage, alle auftretenden Formen auf die Paletten zu projizieren und den genauen Sitz der Einbauteile zu definieren.

Aus der Praxis ist erkennenbar, daß der Anteil der Paßplatten an der Gesamtproduktion sich stetig vergrößert. Hinzu kommt noch, daß aufgrund der häufig sehr verwinkelten Architekturpläne die Paßform immer komplizierter wird und damit der Aufwand für das Einmessen und Schalen sich erhöht. Dem Plotter bereiten diese komplizierten Formen jedoch in der Darstellung und im Aufriß keine Schwierigkeiten.

Die Einsatzmöglichkeiten eines derartigen Plotters sind nicht auf die Elementdeckenproduktion begrenzt. Selbstverständlich kann er auch für alle anderen flächigen Elemente, d.h. auch für Wandelemente eingesetzt werden. Voraussetzung ist eine Palettenumlaufanlage, bei der die Paletten in den Einmeßbereich gefahren werden.

4.2 Klassifizierung der Fassadenelemente

Mit Ausnahme der Wärmedämmung sind die vorher beschriebenen Anforderungen mit dem Baustoff Beton sehr gut zu bewältigen. Darüberhinaus bieten Betonfassaden einen guten Schall- und Brandschutz und können wegen ihrer hohen Festigkeit auch zur tragenden Funktion herangezogen werden.⁸⁶⁾

Im folgenden Abschnitt werden die Fassadenelemente unter Berücksichtigung statischer, konstruktiver, gestalterischer und bauphysikalischer sowie fertigungstechnischer Gesichtspunkte strukturiert und untersucht.

4.2.1 Form und Größe der Fassadenelemente

Die Fassadenelemente können nach ihrer Form in geschlossene und offene Elemente unterteilt werden.⁸⁷⁾

Geschlossene Elemente weisen nach ihrer Form eine hohe Stabilität auf und können sowohl mit als auch ohne Fensteröffnungen versehen werden. In die Schalung eingesetzte Fensterrahmen ermöglichen einen hohen Industrialisierungsgrad und eine damit verbundene Verkürzung der Montagezeit. Die steifen Elemente erleichtern den Transport sowie die Abhebe- und Montagearbeiten.

Obwohl die *offenen Elemente* bei der Planung und Gestaltung der Gebäudefassade mehr Möglichkeiten bieten, erfordern sie bei der Herstellung sowie bei Transport und Montage einen erhöhten Aufwand (z.B. mehr Handarbeit bei den Schalungs- und Bewehrungsarbeiten).

Nach ihrer Größe können die Fassadenelemente in Anlehnung an / 88 /, / 89 / in weitere Gruppen aufgeteilt werden:

- a) kleine Elemente mit einer Fläche von $\leq 1.5 \text{ m}^2$,
 - b) mittelgroße Elemente mit einer Fläche von $1.5 - 5.0 \text{ m}^2$,
 - c) große Elemente mit einer Fläche von $\geq 5.0 \text{ m}^2$.
- a) *Kleine Elemente* haben eine Breite von 30 bis 100 cm und können 1/3-, 1/2- und geschoßhoch sein. Aus statischer Sicht werden sie meistens als nichttragende Fassade betrachtet und, wie in *Abb. 4-1* dargestellt, zwischen oder vor die tragende Konstruktion gestellt bzw. an diese Konstruktion angehängt.

86) Steinle, A., Hahn, V., a.a.O., S. 71

87) P.C.I. Architectural Precast Concrete, Precast Concrete Institute, 1973

88) Ayaydin, Y.: "Tasiyici Duvar Perdeli Prefabrikte Yapilar", Istanbul: Yilmaz Ofset Matbaasi, 1987

89) Steinle, A., Hahn, V., a.a.O.

4.2.2 Lastabtragung der Fassadenelemente

Aus statischer Sicht können die Fassadenelemente in tragende, selbsttragende und nichttragende Elemente eines Gebäudes eingeteilt werden. Die Einteilung spielt beim Schichtenaufbau und somit auch beim Fertigungsprozeß eine besondere Rolle. Die folgende Abbildung stellt die Übertragung der Kräfte dar:⁹⁰⁾

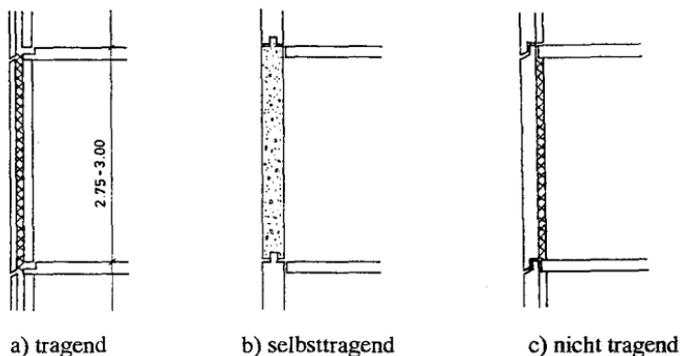


Abb. 4-2: Lastübertragung der Elemente

4.2.2.1 Tragende Elemente

Die Fassadenelemente können als raumabschließendes und zugleich tragendes Konstruktionsglied eingesetzt werden. Unter tragenden Fassaden versteht man die Elemente, welche in der Lage sind, sich selbst zu tragen, die Windkräfte aufzunehmen sowie Vertikallasten bzw. Kräfte aus dem Dach und/oder oberen Geschossen weiter in die Fundamente abzuleiten.⁹¹⁾ Sie sind besonders wirtschaftlich, wenn sie außer Gestaltungsfunktionen zugleich aussteifende Funktionen übernehmen können.

Tragende Fassadenelemente werden insbesondere für ein- bis dreigeschossige Gebäude über die gesamte Höhe durchgehend, aber auch als geschoßhohe und dann entsprechend breite Wandtafeln eingesetzt. Mehrgeschossige Wandtafeln sind aus montagetechnischen Gründen auf eine Höhe von etwa 12 bis 14 m begrenzt. Im Gegensatz zu den durchgehenden Fassadenelementen werden bei der Errichtung von Büro-, Verwaltungs- und Wohngebäuden i.a. geschoßhohe

90) Ayaydin, Y., a.a.O., S. 32

91) Brand, J.: "Fassaden-Konstruktion und Gestaltung mit Betonfertigteilen", Düsseldorf: Beton-Verlag, 1988
 Hrsg.: Fachvereinigung Betonfertigteilebau e.V. im Bundesverband Dt.Beton- u. Fertigteilindustrie e.V.

4.2.2.2 Selbsttragende Elemente

Selbsttragende Elemente können ebenfalls, wie unter Punkt 4.2.2.1 beschrieben, zu ein- oder mehrgeschoßhohen Elementen angeordnet werden. Die Elemente leiten die Lasten, die aus Eigengewicht und den darüber liegenden Elementen entstehen, in die Fundamente ab. Im Gegensatz zu tragenden Elementen bieten die selbsttragenden Elemente mehr Flexibilität und Freiheit bei der Öffnungs- und Aussparungsanordnung.

4.2.2.3 Nichttragende Elemente

Mehr als 80 % aller Fertigteil-Fassaden werden als nichttragende Elemente hergestellt.⁹³⁾ Die Lasten der nichttragenden Elemente werden von der Gebäudekonstruktion aufgenommen. Die Elemente können zwischen oder vor der Gebäudekonstruktion aufgestellt oder auch an diese angehängt werden. Durch die Aufeinanderstellung kleinformatiger Fertigteile kann man mehrgeschoßhohe Elemente erhalten. Die flexible Anordnung der Fenster und ihre Lage zur tragenden Konstruktion bietet hier bei der Planung mehr Gestaltungsmöglichkeiten als bei tragenden Elementen. Der Aufbau der Elemente kann, wie oben erwähnt, ein- oder mehrschalig sein, wobei sie meistens einschalig gefertigt und nach dem Montieren von innen mit einer zusätzlichen Wärmedämmschicht versehen werden (siehe *Abb. 4-4 c*).

4.2.3 Aufbau der Fassadenelemente

Die Konstruktion bzw. der Aufbau einer Fassadenplatte hängt von verschiedenen Hauptfaktoren ab. Das sind in erster Linie die physikalischen Komponenten wie Wärme- und Schalldämmung, Feuchtigkeitsisolierung sowie Brandschutz und die Gestaltung des Gesamtgebäudes.⁹⁴⁾ Je nach Bestimmung und Verwendungszweck des Raumes, dem Konstruktionsprinzip der Gesamtfassade und dem Gestaltungswunsch des Architekten kann eine Fassade einschalig oder mehrschalig ausgeführt werden.

93) Walter, I.: "Entwicklung und Aktueller Stand des Stahlbeton-Fertigbaues", Band 1, Ausburg 1984

94) Ebenda, S. 795

Die angegebenen Dicken beziehen sich auf den üblichen Anwendungsbereich im Hoch- und Industriebau unter Berücksichtigung statisch-konstruktiver, bauphysikalischer und fertigungstechnischer Gesichtspunkte.

Die maximalen Abmessungen werden durch die Produktions-, Transport- und Montagemöglichkeiten bestimmt. Aus wirtschaftlichen Gründen empfiehlt es sich, die Betonfertigteile möglichst groß zu wählen. Je kleiner die Elemente, umso größer die Stückzahlen. Dies bedeutet mehr Arbeitsgänge beim Verladen und Montieren, mehr Befestigungspunkte und mehr Fugen und damit höhere Kosten.

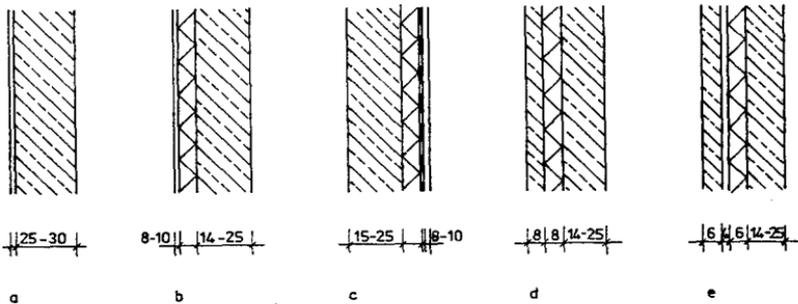


Abb. 4-4: Der Aufbau von Fassadenelementen

- a) einschalig
- b) zweischalig, mit Außendämmung
- c) zweischalig, mit Innendämmung
- d) dreischalig, mit Dämmung
- e) dreischalig, mit Dämmung und Luftschicht

Die ausführliche Erläuterung der einzelnen Schichten erfolgt im Abschnitt 5.2.1 unter der Analyse des Herstellungsvorgangs an den Fallstudien.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die liegende Fertigungstechnik bzw. die stationäre Fertigung und die Umlauffertigung für großformatige Fertigteil-Elemente untersucht. Die Herstellung in liegenden Einzelformen oder auf Paletten ermöglicht einen vielfältigen Schichtaufbau sowie beliebiges Einlegen von Aussparungsteilen in die Form. Daher ist vor allem diese Fertigungstechnik für die Herstellung von mehrschaligen Fassadenelementen am besten geeignet.

Die Fertigungsverfahren zur Herstellung von Stahlbeton-Fertigteilen sind bezüglich der werkstoffspezifischen Grundlagen der Betonaufbereitung sowie Schalungs- und Bewehrungsherstellung ähnlich. Der gesamte Fertigungsvorgang wird in Teilprozesse untergliedert. Man unterscheidet Haupt-, Neben- und Hilfsprozesse. Hauptprozesse beziehen sich direkt auf die Herstellung der Fertigteile, wobei sie immer Fertigungsprozesse sind. Nebenprozesse sind Fertigungsprozesse, die nicht direkt auf die Fertigteile bezogen sind. Sie gehen sowohl stofflich als auch wertmäßig in die Elemente ein.⁹⁸⁾ Bei den Hilfsprozessen handelt es sich um Förder-, Kontroll-, Steuer- und Wartungsvorgänge. Die Teilprozesse der Fertigung von Stahlbetonfertigteilen sind in *Abb. 4-6* dargestellt.

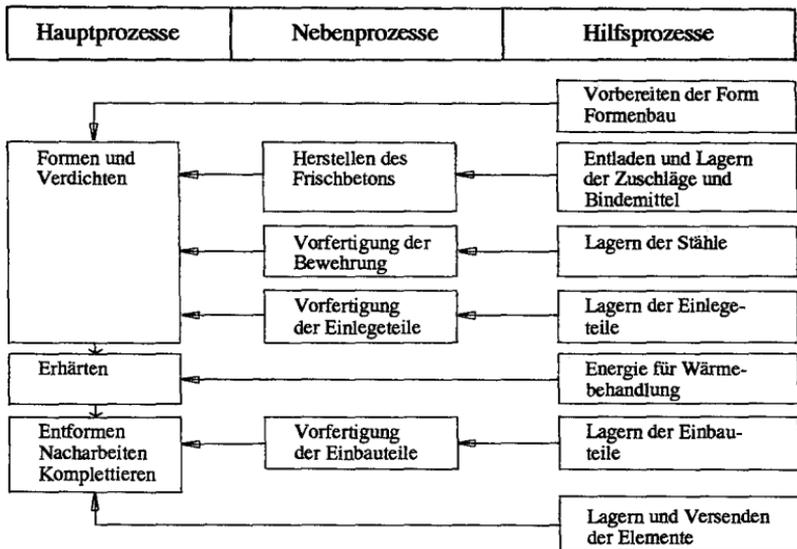


Abb. 4-6: Teilprozesse der Fertigung von Stahlbetonfertigteilen / 99 /

Die Teilprozesse beider Fertigungsverfahren werden in Kapitel 5.2. unter "Analyse der Produktionsabläufe" ausführlich beschrieben.

98) Weller, K.: "Industrialisiertes Bauen" Bd. 2, Stuttgart: Kohlhammer Verlag, 1985

99) Ebenda, S. 18

Die Kipptischanlagen bestehen aus dem Schalungs-Oberteil und der Kipp-Unterkonstruktion. Die beiden Teile der Anlage sind durch speziell entwickelte und verstellbare Federelemente miteinander elastisch verbunden, wodurch weniger Masse in Schwingung versetzt wird. Dieses konstruktive Merkmal macht sich besonders beim Verdichten des Betons bemerkbar, da die Tischoberfläche eine bestimmte vorgegebene Schwingung ausführt und relativ geringe Schallabstrahlung erzeugt. Somit leistet man einen Beitrag zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen.

Aus der Praxis ist bekannt, daß die Stahlschalungen im Zusammenhang mit Außenrüttlern die größten Lärmerzeuger im Fertigteilwerk sind. Trotzdem hat sich bei der Herstellung von Fassadenelementen die Betonverdichtung mit Außenrüttlern durchgesetzt. Eine Lärmreduzierung kann nur durch die Trennung des Schalungs-Oberteils von der Kippkonstruktion erreicht werden.

Durch die Anwendung von Schalungstechniken, wie höhenverstellbare Randschalungen und Magnetschalssysteme, werden zusätzlich die Lohnkosten reduziert. Für Kipptische sowie für Paletten entwickelte Randschalungssysteme sind an drei Seiten stufenlos höhenverstellbar und erfordern nur noch ein maßgenaues Kantholz als vierte Randschalung.

4.3.2.2 Fertigung auf der Produktionslinie

Die geänderte Marktsituation, gekennzeichnet durch kleinere Aufträge mit kleinen Serien, hohen Qualitätsansprüchen und die Forderung nach ergonomischen Arbeitsplätzen, erfordert eine ständige Verbesserung und Optimierung der Schalungs- und Fertigungseinrichtungen, um eine flexible Herstellung zu ermöglichen. Zum Beispiel läßt sich eine problemlose Materialversorgung zu den traditionellen Tischanlagen nur schwer lösen, da alle Materialien zu den ortsfesten Arbeitsplätzen durch die Fertigungshalle transportiert werden müssen.

Mit Berücksichtigung dieser Probleme ist in Finnland von der Firma Induco OY eine Linien-Fertigungsanlage zur Herstellung von ein- und mehrschichtigen Betonelementen, vor allem Fassadenelementen, entwickelt worden.¹⁰⁰⁾ Das System "KVT-Fertigungslinie" (Kippen, Verdichten, Transportieren) eignet sich für Klein- und Großelementherstellung und bedeutet eine Weiterentwicklung der traditionellen Kipptische, kombiniert mit den Vorteilen einer Umlaufanlage. Die Herstellung der Fertigteile erfolgt komplett auf der Fertigungslinie.

100) N.N. "Neuheiten und Verbesserungen in der Formen- und Schalungstechnik", BFT 1/1985

Zusammenfassend läßt sich bei dieser Produktionsweise, die eine Kombination von stationärem und mobilem Fertigungsverfahren ist, feststellen, daß sie

- einen höheren Automatisierungsgrad beim Betonieren,
- eine variable Nutzung der Fertigungslinie,
- eine kostengünstige Anschaffung und platzsparende Arbeitsweise sowie
- einen vorteilhaften Personaleinsatz, verbunden mit wartungsarmer Arbeitsweise ermöglicht.

Der Palettentransport darf hier nicht mit dem Umlauf der gesamten Anlage verwechselt werden. Der Transport bedeutet hier nur eine dichtere Plazierung der Paletten nebeneinander. Außerdem sollte nicht unerwähnt bleiben, daß der KVT-Wagen nur an einer Arbeitsstation eingesetzt werden kann, d.h. die Funktionen Kippen, Verdichten und Transportieren können nicht gleichzeitig durchgeführt werden. Dies bedeutet, daß durch die multifunktionale Eigenschaft des Wagens in der Produktion Verzögerungen und Wartezeiten entstehen können.

4.3.3 Paletten-Umlauffertigung

Im Rahmen der Entwicklung neuer Technologien wird die Herstellung von Fertigteilen wie z.B. Elementdecken und Fassadenelementen auf die Fertigungstechnik des Umlaufverfahrens umgestellt.^{102), 103)} Bei der Umlauffertigung besteht die Schalungsfläche aus mobilen Paletten. Der gesamte Produktionsablauf wird einem Kreislauf zugeordnet. Die Palettenumlauflogistik bildet somit das Kernstück der Produktion; sie umfaßt alle Bearbeitungsstationen und bestimmt das Tempo der Palettenbewegung. Die Bearbeitungsstationen sind auf einen vorgegebenen Takt abgestimmt.

Zusatzausrüstungen bestehen hierbei für die Schalungstechnik aus den unterschiedlichen Reinigungsgeräten, den Einölnern, den Schalungsrobotern sowie den Aussparungshilfen.

Auf Paletten wird das herzustellende Betonfertigteilelement auf einem vorgegebenen Umlauf zu den jeweiligen Bearbeitungsstationen transportiert. Die Bearbeitungsstationen sind:

- Entschalen und Reinigen der Paletten
- Einmessen und Schließen der Form
- Auftragen der Trennmittel und/oder Verzögerer

102) Steinle, A., Hahn, V., a.a.O., S. 143

103) Weiler, K., a.a.O., S. 19 f.

Durch den, dem jeweiligen Arbeitsablauf angepaßten, Produktionsraum wird eine Energieeinsparung ermöglicht. Darüber hinaus wird bei der Herstellung, nicht zuletzt durch die Verwendung hochwertiger Rasterschalungen und kontinuierlicher Abbindezeiten eine höhere Qualität sowie durch den Einsatz von System-Schalungen eine weitere Kosteneinsparung erzielt.

Planung und Steuerung des Herstellungsprozesses erfordern nicht nur Kenntnisse über zu erwartende Vorgangsdauern, sondern auch über zeitbestimmende Abhängigkeitsbeziehungen innerhalb einzelner und zwischen verschiedenen Arbeitsbereichen. Die meisten Probleme treten erfahrungsgemäß an den Berührungstellen bzw. in den Überschneidungsbereichen innerhalb des Produktionsablaufs auf.

Das Ziel der Untersuchungen ist es, mittels Arbeitsstudien Aussagen über die Zeitanteile von Teilvorgängen des Herstellungsprozesses in der Fertigteil-Produktion vor allem bei den Schal- und Bewehrungsarbeiten zu erhalten. Überdies hinaus sollten mit Schwachstellen behaftete Teilvorgänge erkennbar gemacht werden. Mit Hilfe der Arbeitsstudien erhält man eine Methodik zur Optimierung von Arbeitsaufwand und Arbeitsbedingungen nicht zuletzt zur Rationalisierung bzw. Automatisierung der Arbeitsvorgänge.

Im folgenden wird der Ablaufprozeß der konventionellen Produktionsverfahren von Fassadenelementen analysiert, wobei die Gliederung des Ablaufprozesses eine Basis für die Zeiterfassungs- bzw. Datenermittlungsarbeiten bildet.

5.2 Vergleich der konventionellen Produktionsverfahren nach fertigungs-technischer Hinsicht

Die hohen Anforderungen, die hinsichtlich Ästhetik und Gebrauchstüchtigkeit an Fassaden gestellt werden müssen, lassen sich nur mit darauf abgestimmten Produktionseinrichtungen, Produktionsverfahren und Baustoffqualitäten erfüllen. ¹⁰⁶⁾

Zu den Produktionseinrichtungen gehören nicht nur die Schalungen, in denen der Beton erhärtet, sondern auch die Geräte und Einrichtungen zum Lagern und Abmessen der Fertigteile, zum Mischen, Transportieren, Einfüllen und Verdichten des Betons, zum Ausheben, Transportieren und Lagern der Fertigteilelemente, zur Bearbeitung und nachträglichen Behandlung der Sichtflächen.

Aufgrund des hohen Schalungsaufwandes, ist die Fassadenelement-Herstellung eine lohnintensive Produktion. Verstärkt wird diese Tatsache dadurch, daß die vielen anfallenden Transportwege und die Einzelarbeitsplätze ein ständiges Pendeln der Mitarbeiter zwischen den Betriebsstellen erfordern.

Im folgenden werden anhand vor Ort durchgeführter Arbeitsstudien die Herstellungsvorgänge von mehrschaligen Fassadenelementen beschrieben.

106) Steinle, A., Hahn, V., a.a.O., S. 71 ff.

Einschalen

Die Abmaße der Elemente sowie die Lage der Einbauteile und Aussparungen werden auf der Palette markiert und gezeichnet, wobei die Bemaßung mit einem Zollstock erfolgt. Nach dem Plazieren und Justieren der Seitenabsteller auf der Palette werden diese untereinander und mit der Platte verbunden. Die Seitenabsteller sind kastenartige Holzkonstruktionen, die nach der Profilierung und den Maßen der herzustellenden Elemente in der Schreinerei erstellt werden.

Das günstige Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht und Kosten sowie die leichte Bearbeitbarkeit haben dem Werkstoff Holz einen breiten Anwendungsbereich im Schalungsbau geschaffen. Besonders die Fassadenelemente mit komplizierten geometrischen Formen werden fast ausnahmslos in den individuell erstellten Holzschalungen hergestellt. Trotz der o.g. positiven Eigenschaften des Materials Holz, erfordert bei mehrteiligen Schalungen der Zusammenbau, das Verschließen, das Einrichten und das Auseinandernehmen einen höheren Zeit- und Lohnaufwand als bei Schalungen mit standardisierten Teilen. Da die standardisierten Schalungselemente mit Klemmbügel oder Schnellspanner befestigt werden können, wird die Zeit verkürzt und die Arbeit erleichtert.

Trennmittel- und/oder Verzögererauftrag

Im nächsten Arbeitsschritt werden Maßnahmen für die Oberflächenbehandlung vorgenommen. Eng verbunden mit der Nachbehandlung sind einige Bearbeitungsweisen des Festbetons, vor allem des jungen Betons, bei dem z.B. die Zuschläge durch Abwaschen, Sandstrahlen und Absäuren freigelegt werden. Das Verfahren Abwaschen erfordert den geringsten Aufwand und wird vorgenommen, sobald die Festigkeit des Betonteils dies ermöglicht. Das kann erreicht werden, indem man das Erhärten des Betons an der auszuwaschenden Fläche verzögert. Die Betonschlämme wird vor der Erhärtung von der Elementoberfläche abgewaschen. Die dabei entstehende Oberflächenform wird deshalb als Waschbeton bezeichnet. Dazu werden vor dem Betonieren Kontaktverzögerer auf die Schalung aufgetragen (Negativverfahren), oder nach dem Abziehen des verdichteten Betons auf die Betonoberfläche gesprüht (Positivverfahren). Es werden auch Papierbahnen verwendet, die mit dem Verzögerer beschichtet sind.

Je nach Art und Auftragsdicke wirken diese Verzögerer mehr oder weniger tief ein und ermöglichen es, die Betonschlämme mit Wasserstrahl und Besen zu entfernen. Um eine gleichbleibende Auswaschtiefe zu ermöglichen, soll die Beschichtung gleichmäßig aufgetragen werden, sonst wirkt sie unterschiedlich ein und verursacht an der Oberfläche ein ungleichmäßiges und nicht annehmbares Aussehen.

Bei der Besichtigung eines Werkes ist aufgefallen, daß der Kontaktverzögerer durch Streichen aufgetragen wird, obwohl diese Arbeitsweise sehr viel Zeit in Anspruch nimmt. In diesem Fall könnte das Auftragen des Verzögerers durch den Einsatz von einem Handsprüherät rationalisiert werden. Zum Beispiel werden für drei Brüstungselemente mit den Abmaßen von 1,65 m x 3,75 m etwa 45 Minuten gebraucht (vgl. Abb. 5-5 Arbeits-Zeitdiagramm).

Insgesamt gesehen ist die Mechanisierung dieses Teilprozesses bei der Kipptisch-Fertigung noch nicht sehr weit entwickelt. Es besteht ein großer Bedarf an Rationalisierungsmaßnahmen.

5.2.1.2 Bewehrungsarbeiten

Rund 20 % der Gesamtkosten eines Fertigteils entfallen auf die Bewehrung.¹⁰⁷⁾ Dabei müssen einerseits die Anforderungen der statischen Berechnung, andererseits die Forderungen an eine wirtschaftliche Bewehrungsführung und ausreichende Betondeckung berücksichtigt werden.

In den Fertigteilwerken kommen heutzutage insbesondere Richt- und Abschneideanlagen zum Einsatz. Zur Zeit können Betonstähle mit vier verschiedenen Durchmessern (ϕ 6 bis 12) vom Ring zu geraden Stäben verarbeitet werden. Im allgemeinen werden die Bewehrungskörbe außerhalb der Schalung geflochten, d.h. vorgefertigt, während die Bewehrung der plattenförmigen Fertigteile z.B. der Elementdecken meist in der Schalung verlegt wird. Die Betonstahlverarbeitung vom Ring wird für wendelförmige Bügelkörbe mit runder, quadratischer oder achteckiger Form insbesondere im unteren Durchmesserbereich von 6 bis 12 mm bereits praktiziert. Hierbei ergeben sich keine Restlängen und es kann praktisch ununterbrochen gearbeitet werden. Die weitere Entwicklung geht in die Richtung einer automatischen rechnergesteuerten Betonstahlverarbeitung und -verlegung (Eine ausführliche Darstellung befindet sich hierzu unter Punkt 5.2.2).

Obwohl die Entwicklung in diesem Bereich weit fortgeschritten ist, erfolgt die Herstellung der Bewehrungskörbe von Fassadenelementen zum größten Teil von Hand. Nur das Schneiden und Biegen der Matten ist mechanisiert und wird mit handgesteuerten Geräten durchgeführt. Der Transport der Matten vom Bewehrungslager zur Schneide- und Biegemaschine und das Anheben der Körbe bleibt meistens körperlich schwere Arbeit. Nach der Fertigstellung erfolgt der Transport

107) Steinko, A., Hahn, V., a.a.O., S. 166

Nach der Fertigstellung werden die Bewehrungskörbe zum Teil mit dem Transportwagen und zum Teil mit dem Kran zum ortsfesten Arbeitsplatz transportiert und in die Schalung eingebracht. Infolge des Hallenkraneinsatzes treten oft Verzögerungen im Fertigungsablauf auf, da der Kran für die Fertigung verschiedener Fertigteil-Elemente benötigt wird.

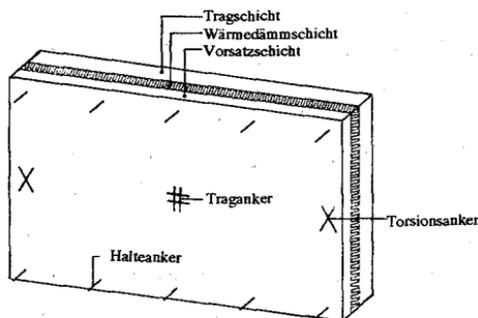


Abb. 5-2: Prinzip der Anordnung von Verbundankern

In diesem Bereich sollten für die von Hand durchgeführten Bewehrungsarbeiten, wie z.B. Verbinden der Verankerungselemente, Einsetzen der Abstandhalter und Flechten der Körbe, Rationalisierungs- und Mechanisierungsmöglichkeiten untersucht werden.

5.2.1.3 Betonierarbeiten

In den Werken mit stationären Fertigungstischanlagen erfolgt der Transport des Frischbetons mittels Flurfahrzeugen oder Hallenkran in Schüttkübeln von der Mischanlage zur Einbaustelle, wobei für das Einbringen in die Schalung meistens der Hallenkran eingesetzt wird. Der Beton wird in die Schalung in zwei Betoniervorgängen (Vorsatz- und Tragschale) eingebracht und verteilt. Die Betonierarbeiten werden manuell mit mehreren Arbeitern durchgeführt, da für den Transport, für das Einbringen, Verteilen und Verdichten mindestens je ein Arbeiter erforderlich ist.

Zum Verdichten der Vorsatzschale werden meistens Außenrüttler verwendet, die die gesamte Schalung zum Schwingen bringen. Der größte Lärm bei der Herstellung von Fertigteilen entsteht daher durch das Verdichten. Die Arbeiter in der Halle, besonders in diesem Bereich, sind einer hohen Lärmbelastung ausgesetzt.

5.2.1.4 Darstellung und Beurteilung der Fallstudie

In der Fallstudie wurde die Herstellung von mehrschichtigen Fassadenelementen untersucht.

Die Herstellung dieser Elemente erfolgte im Negativverfahren. Zur Fertigung der Sandwich-Brüstungselemente werden hydraulisch kippbare Schwingkipptische in den Größen von 4.0 m x 10.0 (15.0) m eingesetzt.

Die Schalungsoberfläche und die seitlichen Abschaltungen bestehen aus Holz und werden nach Bedarf in der Schreinerei angefertigt.

Die Merkmale der im beobachteten Zeitraum gefertigte Elemente sind:

- Größe: 1.65 m x 3.75 m
- Aufbau: dreischalig,

Vorsatzschale	70 mm	
Dämmung	60 mm Styropor und Bitumenpappe	
Tragschale	120 mm	
	—————	
		250 mm
- Waschbetonoberfläche mit einer Körnung von ϕ 8/16
- Nichttragende Brüstungselemente, die an die Stützen gehängt werden (siehe folgende *Abbildung 5-3*)

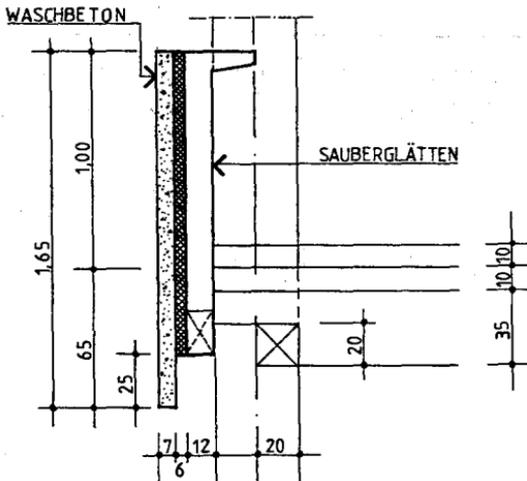


Abb. 5-3: Aufbau der Brüstungselemente eines Bürogebäudes (Fa. Lehde)

Beurteilung der einzelnen Vorgänge:

Die Ausschalarbeiten erfolgen in der Regel von Hand unter Zuhilfenahme mechanischer Lastaufnahmemittel, in diesem Fall durch den Einsatz eines Hallenkrans. Die Arbeiten in diesem Bereich sind sehr zeit- und personalaufwendig. Sie könnten mittels standardisierter Schalungselemente und Verbindungstechnik zum Teil rationalisiert werden.

Das Reinigen der Schaltische und der seitlichen Abschaltungen erfolgt manuell mit Bürsten und Druckluft. Durch den Einsatz handgesteuerter Reinigungsmaschinen könnte dieser Vorgang ebenfalls rationalisiert werden (vgl. Paletten-Umlauffertigung unter Punkt 5.2.2.).

Die Erstellung der Schalung ist genau wie die Ausschalarbeiten lohnaufwendig. Das Entfernen der Verbindungselemente, Ausrichten der Schalungsteile, Verspannen und Aussteifen der Elemente nimmt viel Zeit in Anspruch.

Der Auftrag von Trennmittel oder Verzögerer erfolgt durch Streichen der Schalungsoberfläche und der Schalungsteile. Bei der Besichtigung ist festgestellt worden, daß man für eine 18,5 m² große Fläche 45 Minuten benötigt. Diese Zeit könnte durch den Einsatz von Handsprüngeräten verkürzt werden.

Die Bewehrungsarbeiten sind zum Teil durch den Einsatz von Schneide- und Biegemaschinen mechanisiert. Der Transport und das Flechten der Matten erfolgt von Hand. Bei den körperlich schweren Transportarbeiten sollten Rationalisierungsmaßnahmen getroffen werden, wobei das Flechten als eine lohnaufwendige Handarbeit bleibt.

Bei den Betonierarbeiten wird der Beton gleichzeitig dosiert und verteilt, wobei der Transport und das Einbringen des Betons mittels handgesteuerter flurgebundener Fahrzeuge oder mit Hilfe eines Hallenkrans erfolgt. In modernen Werken erfolgen diese Arbeiten über schienengebundene Kübelbahn-Systeme, die mit der Steuerung der Mischanlage gekoppelt sind.

Der innerbetriebliche Transport in einem Betonwerk ist ein wesentlicher Kostenpunkt und Bedarf daher einer laufenden Überprüfung und Verbesserung. Ziel einer solchen Optimierung sollte die Senkung der Kosten und die Verbesserung der Übersichtlichkeit und Sauberkeit des gesamten Betriebes sein.

Eine optimale *Verdichtung des Betons* ist besonders im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit von großer Wichtigkeit. Zum Verdichten werden für die Vorsatzschale Außenrüttler und für die Tragschale Innenrüttler bzw. Flaschenrüttler eingesetzt. Beim Einsatz von Flaschenrüttlern ist besonders darauf zu achten, daß sich der Beton durch zu langes Rütteln nicht entmischt bzw. ausläuft.

5.2.2.2 Reinigen der Palette

Nachdem das Element von der Palette abgehoben wurde, fährt die Palette weiter zur nächsten Station. Eine Reinigungsmaschine säubert sowohl den Schalungsboden der Palette als auch die seitlichen Abschaltungen. Betonreste werden manuell mit einem Schaber gelöst, und maschinell abgekehrt und auftretender Kehrstaub abgesaugt. Die abgekehrten Betonreste werden mit Hilfe eines übergitterten Förderbandes transportiert und in einem Restbetonbehälter gesammelt. Das Reinigungsgerät wird von einer Arbeitskraft am Steuerpult bedient.

5.2.2.3 Einschalen der Elemente

Die Paletten haben eine Größe von 4.0 x 8.0 m; der Schalungsboden besteht aus Stahl, die seitlichen Schalelemente sind eine Kombination aus Holz und Stahl, die gleichzeitig an drei Seiten stufenlos höhenverstellbar sind.

An dieser Station werden die erforderlichen, teilweise bereits vorbereiteten Schalungsaufbauten und Einbauteile sowie Aussparungskörper eingelegt und befestigt. Für die Fassadenelemente mit einer komplizierten Geometrie wird als zusätzliches Schalmaterial Holz angewendet, das bei Bedarf in der Schreinerei angefertigt wird. Sollten diese Schalungsarbeiten die vorgegebene Taktzeit überschreiten, werden die Paletten auf die parallel angeordnete "Parkstraße" verschoben (vgl. *Abb. 5-6*).

Das Auftragen des Trennmittels oder Verzögerers erfolgt nach der Fertigstellung der Schalung durch Handsprühgeräte, die an einer Schwenkvorrichtung an der Station befestigt sind.

5.2.2.4 Bewehren

Die Erstellung der Bewehrungskörbe ist eine sehr arbeits- und zeitaufwendige Tätigkeit, da der Transport der Matten vom Lagerplatz zur Schneidemaschine und das Biegen der Matten nach vorgegebenen Maßen sowie das Flechten der Bewehrungskörbe von Hand erfolgt. Zusätzlich werden die Bewehrungskörbe manuell mit Verankerungselementen und Stecknadeln versehen.

Je nach Erfordernissen werden sie mit Hilfe des Hallenkranes in die Schalung eingelegt oder zwischengelagert. Die Bewehrungskörbe müssen aus fertigungstechnischen Bedingungen zweimal zwischengelagert werden. Die erste Zwischenlagerung ergibt sich aus der Folge, daß die Produktionshalle und Bewehrungshalle getrennt voneinander sind und nicht von einem Hallenkran

5.2.2.6 Beurteilung der Fallstudie

Anhand der vor Ort durchgeführten Beobachtungen und Analysen der beiden Fertigungsverfahren ist zu erkennen, daß die Paletten-Umlauffertigung im Gegensatz zur stationären bzw. Kipptischfertigung wesentliche Vorteile hat.

Im Grunde genommen erfolgt auch bei diesem Verfahren die Herstellung im Negativverfahren. Die gefertigten Elemente zeigten in ihrer Größe und Oberflächenbeschaffenheit sowie ihrem Schichtenaufbau während des Beobachtungszeitraums sehr unterschiedliche Merkmale. Die *Abbildung 5-6* gibt einen Überblick über die Fertigungshalle.

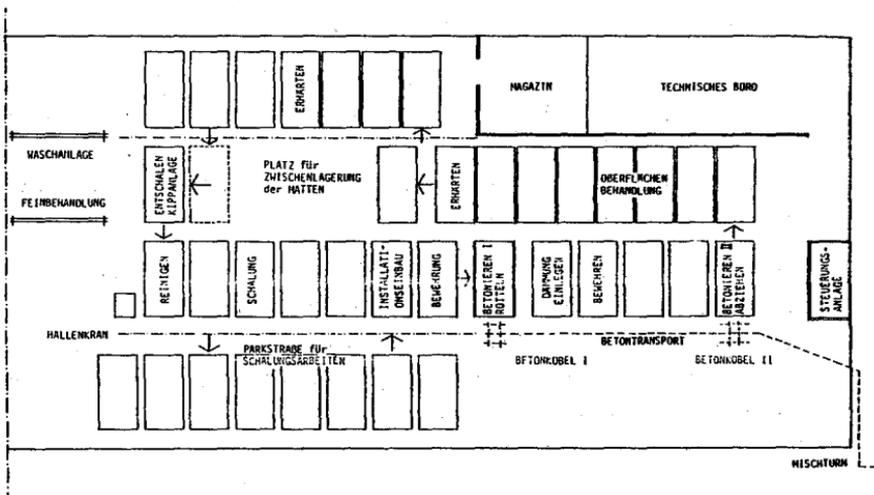


Abb. 5-6: Die Anordnung der Stationen bei der Palettenumlauffertigung

Der Ablaufprozeß der Ausschalarbeiten vereinfacht sich bei der Palettenumlauffertigung, da ein großer Teil der Seitenabschalungen nicht abgehoben werden braucht. Die seitlichen Abschalungen sind fester Bestandteil der Paletten. Das Abheben der Elemente von der Palette erfolgt wie bei der Kipptischfertigung.

Die Reinigungsarbeiten sind im Vergleich zum stationären Verfahren durch den Einsatz von Reinigungsgeräten weitgehend rationalisiert.

Auch die Schalungsarbeiten sind zum Teil vereinfacht und rationalisiert. Für die Elemente mit besonderen Formen wird als zusätzliches Schalmaterial Holz angewendet. Falls die Schalungsarbeiten eine längere Zeit als die vorgegebene

5.2.3 Vergleich der Fertigungsverfahren

Die bei der Untersuchung der beiden Verfahren gewonnenen Ergebnisse sind in einer Tabelle zusammengestellt, wobei besonders die Unterschiede der beiden Verfahren herausgestellt wurden.

Dabei wurde speziell auf den Arbeitskräftebedarf und Geräteeinsatz eingegangen und die Rationalisierungs- bzw. Automatisierungsmöglichkeiten werden herausgestellt.

Wesentliche verfahrenstechnische Unterschiede bei der Fassadenelement-Fertigung

<i>Ablauf</i>	<i>Stationäre Fertigung</i>	<i>Paletten-Umlauffertigung</i>
<i>Produktionsmittel</i>	feste Tischanlagen, alle Arbeiten werden von einer Arbeitskolonne durchgeführt	bewegliche Paletten, jeder Arbeitsbereich besitzt eigene Arbeitskolonnen und spezialisierte Arbeitskräfte
<i>Vorbereitung zum Entschalen</i>	manuell 2 Arbeitskräfte	manuell 1 Arbeitskraft
<i>Entfernen seitlichen Abschaltungen</i>	manuell + mittels Hallenkran 2 Arbeitskräfte	mittels Hallenkran 1 Arbeitskraft
<i>Abheben der Elemente</i>	mit Hallenkran 1-2 Arbeitskräfte	mit Hallenkran 1 Arbeitskraft
<i>Reinigungsarbeiten</i>	manuell, hoher Zeit- u. Personalaufwand 2 Arbeitskräfte	teilweise automatisiert 1 Arbeitskraft zur Bedienung der Maschine
<i>Messen, Markieren</i>	manuell, mit Zollstock fehleranfällig, 1-2 Arbeitskräfte	manuell, mit Meßstange 1-2 Arbeitskräfte
<i>Verschließen Aussteifen</i>	zeitaufwendige Arbeitsweise Fertigung erfolgt zum Teil in der Schreinerei und auf den Tischanlagen	Seitliche Schalungen werden in der Schreinerei gefertigt, bei Zeitüberschreitung Nutzung der Parkstraße
<i>Auftrag von Trennmittel und/oder Verzögerer</i>	manuell durch Streichen sehr zeitaufwendig, 1 Arbeitskraft	rationalisiert durch Handeinsprüngerät, 1 Arbeitskraft

5.3 Methoden der Datenermittlung - Schwachstellenanalyse

In diesem Abschnitt erfolgt zunächst eine kurze Beschreibung der im Bauwesen wissenschaftlich anerkannten Methoden der Datenermittlung zur Schwachstellenanalyse. Im Anschluß daran wird unter Punkt 5.3.2. die Auswahl der in dieser Arbeit gewählten Meßmethodik begründet und es werden die theoretischen Grundlagen vorbereitet und aufgezeigt.

5.3.1 Datenermittlungsverfahren

Für die Ermittlung der Daten bzw. Zeiten von Arbeitsabläufen stellt die "REFA-Methodenlehre des Arbeitsstudiums" eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung, die im wesentlichen für die Untersuchung Arbeiten in der stationären Industrie entwickelt worden sind. Die seit vielen Jahren entwickelten Verfahren des Arbeitsstudiums nach REFA gewinnen in der Baupraxis zunehmend an Bedeutung. Ziele und Aufgaben des Arbeitsstudiums werden in / 113/ wie folgt beschrieben:

"Das Arbeitsstudium besteht in der Anwendung von Methoden und Erfahrungen zur Untersuchung und Gestaltung von Arbeitssystemen mit dem Ziel, die Arbeit, unter Beachtung der Leistungsfähigkeit und der Bedürfnisse des Menschen, zu verbessern sowie die Wirtschaftlichkeit des Betriebes zu erhöhen".

Schwerpunkt ist dabei die Analyse des Arbeitsablaufes, um Schwachstellen aufzuzeigen und eine Verbesserung vorzunehmen.

Die entscheidende Voraussetzung für eine erfolgreiche Durchführung einer Arbeitsstudie ist die genaue Kenntnis der Arbeitsablaufes. Damit ist man in der Lage den Ablauf in Ablaufabschnitte und -arten bzw. Zeitarten zu gliedern, die Arbeitsbedingungen zu beschreiben und eine korrekte Zuordnung der Beobachtungen zu den gewählten Ablaufabschnitten und Ablaufarten vorzunehmen.¹¹⁴⁾

In der *Abb. 5-7* ist die Gliederung der Ablaufabschnitte nach REFA am Beispiel des Hochbaus dargestellt. Je detaillierter die Gliederung der Ablaufabschnitte ist, um so mehr Aussagen können von der beobachteten Bauarbeit gemacht werden. Die Gliederung in Teilvergänge bzw. Ablaufabschnitte erlaubt neben Aussagen über Soll-Zeiten auch die Ermittlung von Verlustquellen oder Schwachstellen des Produktionsablaufes. Verlustquellen oder Schwachstellen lassen sich nur durch Erfassen der Ist-Zeiten ermitteln.¹¹⁵⁾

113) REFA in der Baupraxis - Datenermittlung, Teil 2, Frankfurt/Main: ziv-Verlag, 1984, S. 12

114) Spranz, D., a.a.O., S. 71

115) Berner, F.: "Verlustquellenforschung im Ingenieurbau, Entwicklung eines Diagnoseinstrument unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit von Zeitaufnahmen", Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH, 1983, S. 20

- Multimomentaufnahme (mathematisch-statistisches Verfahren)
- Zeitmessung durch Tonband- und Filmaufnahmen

Die o.g. Verfahren sind in der Literatur ausführlich beschrieben.

Für die Analyse der Schwachstellen in dieser Arbeit ist die Multimomentaufnahme zur Datenermittlung bzw. Zeitenerfassung am geeignetsten und soll deshalb im folgenden näher erläutert werden.

5.3.2 Multimomentaufnahmen

Die Multimomentaufnahme ist eine Ist-Zeitermittlung auf der Grundlage von statistischen Verfahren.¹²⁰⁾ Nach REFA ist die Multimomentaufnahme folgendermaßen definiert:¹²¹⁾

"Die Multimomentaufnahme besteht in dem Erfassen der Häufigkeit zuvor festgelegter Ablaufarten an einem oder mehreren gleichartigen Arbeitssystemen mit Hilfe stichprobenmäßig durchgeführter Kurzzeitbeobachtungen".

Bei den Multimomentverfahren wird nach der Art der Intervalle zwischen den Beobachtungen unterschieden in:

- Multimomentverfahren mit unregelmäßigen Zeitintervallen und
- Multimomentverfahren mit regelmäßigen Zeitintervallen.

Das zuletzt genannte Verfahren wird häufig auch als systematische Multimomentaufnahme bezeichnet. Daher werden im folgenden die *Multimomentaufnahmen* kurz als MM-Aufnahmen und die *systematischen Multimomentaufnahmen* kurz als SMM-Aufnahmen bezeichnet.

Die MM-Aufnahme führt bei genügend großer Anzahl von Beobachtungen zum gleichen Ergebnis, wie eine Zeitaufnahme mit einer Uhr, nämlich zur Ermittlung der für eine Tätigkeit während der Beobachtungsdauer verbrauchten Zeit.

Je nachdem, ob bei solchen Beobachtungen nur die einzelnen Zeitarten oder zusätzlich auch die Ablaufabschnitte des Gesamtablaufs notiert werden, erhält man als Ergebnis den prozentualen Anteil der Zeitarten oder die Ist-Zeiten der Ablaufabschnitte.

Bei der MM-Aufnahme wird in bestimmten Zeitintervallen die augenblickliche Tätigkeit von Arbeitern oder Geräten beobachtet und in vorbereitete Listen, die abhängig von dem Zweck der Untersuchung nach Zeitarten, nach Ablaufabschnitten oder nach Beobachtungsobjekten unterteilt sind, in Form von Strichen, Zahlen oder Buchstaben eingetragen.

120) Berner, F., a.a.O., S. 16

121) REFA in der Baupraxis, a.a.O., S. 66

Bei den Untersuchungen, zur Erfassung von Schwachstellen im Mikrobereich der Schal-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten, werden SMM-Aufnahmen getrennt nach den genannten Arbeitsbereichen des Produktionsablaufs in den Fertigteilwerken erstellt.

Vor der Datenerhebung im Werk müssen die Arbeitsabläufe in ihre Vorgänge unterteilt (siehe *Abbildungen 5-8 und 5-9*) und folgendes festgehalten werden:

- Intervalldauer zwischen den Beobachtungen
- Anzahl der zu beobachtenden Arbeiter
- Beobachtungsdauer

Die Länge des Intervalls muß so gewählt werden, daß eine richtige Zuordnung der beobachteten Tätigkeiten und eine Beurteilung des Leistungsgrades möglich ist. Das heißt, um statistisch gesicherte Aussagen bei der MM-Aufnahme machen zu können, müssen die Beobachtungsintervalle kleiner als der kleinst gemessene Teilvorgang sein. Außer der Dauer des kleinsten Ablaufabschnittes beeinflussen weitere Faktoren die Wahl der Intervalldauer: ¹²⁴⁾ ¹²⁵⁾

- die Anzahl der zu beobachtenden Arbeiter
- die Anzahl der zu beobachtenden Arbeitsplätze und deren gegenseitige Entfernung
- die Übersichtlichkeit des Arbeitsplatzes
- die Zeit für evtl. zusätzliche Notizen
- die erforderliche Genauigkeit der Ablaufabschnitte und der Zeitarten

Unter diesen Gesichtspunkten ergeben sich in der Praxis Intervalldauern von einer halben bis zu zehn Minuten.

5.3.3 Durchführung und Vorgehensweise der Systematischen Multimomentaufnahme

Bei der Durchführung wird eine bestimmte Zahl von Arbeitern beobachtet. Welcher Vorgang gerade von welchem Arbeiter ausgeführt wird, ist in der betreffenden Zeile des Formblattes festzuhalten (siehe Formblätter).

Die SMM-Aufnahme wird am zweckmäßigsten mit Formblättern durchgeführt. In den Kopfdaten des Formblattes werden neben dem Beobachter, Blatt-Nr., Datum, Beobachtungszeit, Bauvorhaben, Gewerk und Art des Arbeitsablaufs erfaßt.

124) Spranz, D., a.a.O., S. 88

125) Haller-Wedel, E.: "Das Multimoment-Verfahren in Theorie und Praxis, Statistische Verfahren für Arbeitsstudien für Arbeitsstudien, Prüf- und Meßtechnik" - Band II, München: Carl Hanser Verlag, 1969

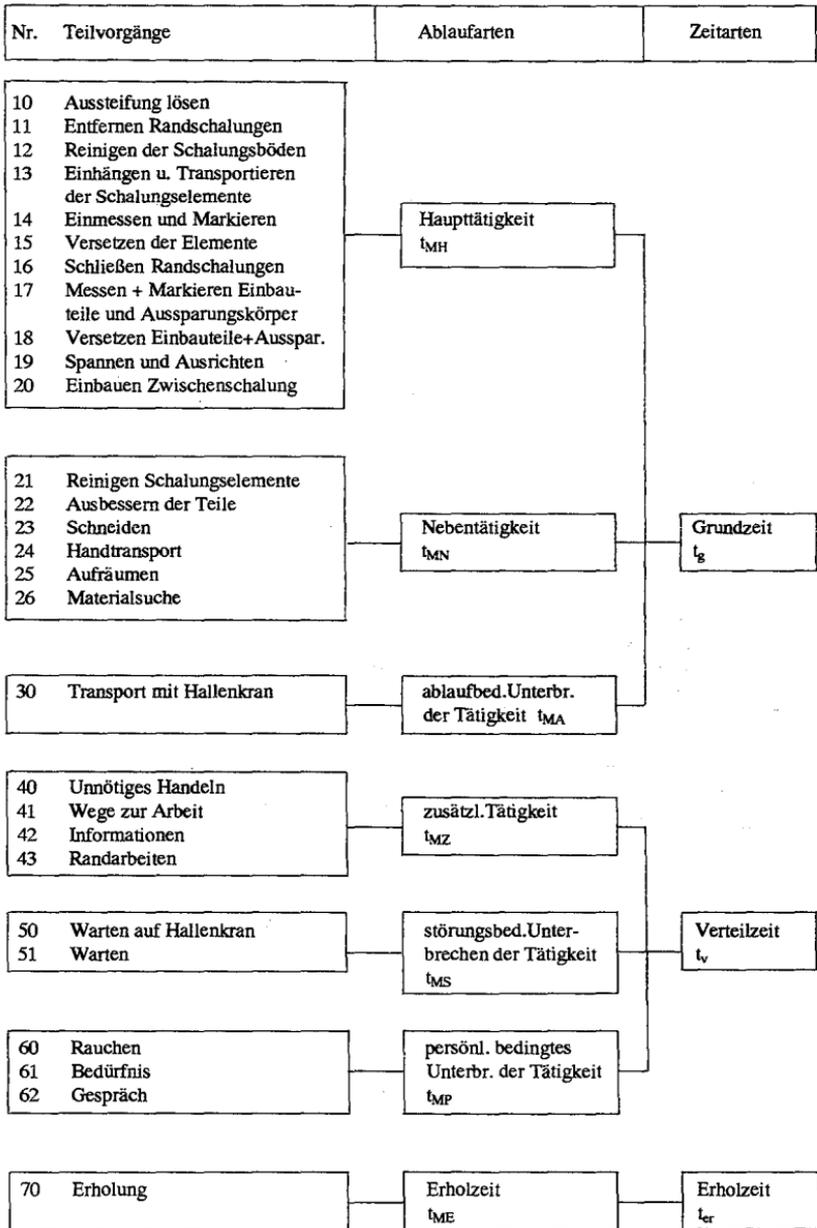


Abb. 5-8: Schrittweise Zuordnung der Teilvorgänge bei Wandelement-schalungen zu den Ablauf- und Zeitarten

III. Schritt:

Vor der SMM-Aufnahme ist folgendes festzuhalten:

- 1) Intervalldauer zwischen den Beobachtungen
- 2) Anzahl der zu beobachtenden Arbeiter
- 3) Beobachtungsdauer

zu 1: Bei der Festlegung der Beobachtungsintervalle wurden die von Berner durchgeführten Untersuchungen zur Genauigkeit von SMM-Aufnahmen mit herangezogen. In Abhängigkeit von der Gliederung und Zerlegung der Arbeitsvorgänge wird das Beobachtungsintervall festgelegt, wobei die zu untersuchenden Teilvorgangsdauern aus statistischen Gründen größer sein sollen, als das Beobachtungsintervall.

Zur Durchführung der einzelnen SMM-Aufnahmen bei den Gewerken (Schalungs- und Bewehrungsarbeiten) wurde eine Intervalldauer von einer halben Minute gewählt.

$$\begin{aligned}
 t_{\text{beo}} &= 0.5 \text{ min} \leq t_{\text{tvG}} \\
 t_{\text{beo}} &= \text{Beobachtungsintervall} \\
 t_{\text{tvG}} &= \text{Teilvorgangsdauer}
 \end{aligned}$$

zu 2: Die Anzahl der zu beobachtenden Arbeiter steht im Zusammenhang mit dem Beobachtungsintervall und der Kolonnenstärke. Da das Beobachtungsintervall 0.5 Minuten beträgt, sollte aus Erfahrung die Arbeiteranzahl nicht über vier liegen. Es wird hier eine Gruppe mit drei (max. vier) Arbeitern beobachtet.

zu 3: Beobachtungsdauer bzw. erforderliche Anzahl der Beobachtungen: Mit einem vorgegebenen relativen Abweichungsmaß ϵ kann die erforderliche Anzahl der Beobachtungen einer SMM-Aufnahme errechnet werden.

Nach REFA / 126 / wird bei Auslastungsstudien für den Vorgang mit dem größten Zeitanteil das absolute Abweichungsmaß f wie folgt festgelegt:

$$f \leq 2.5 \%$$

Bei einer Zeitaufnahme hängt die Größe der Zeitanteile von der Gliederungsstufe der Ablaufabschnitte ab. Je grober die Gliederung, desto größer sind die Zeitanteile der Ablaufabschnitte an der Gesamtzeit. Je feiner die Gliederung, desto kleiner sind die Zeitanteile. Entsprechendes gilt auch für den jeweilig größten Zeitanteil.

Im folgenden wird p als Zeitanteil des Teilvorganges an der Gesamtzeit bezeichnet. Abb. 5-10 stellt die erforderliche Mindestanzahl n der Beobachtungen für ein vorgegebenes p bei Anwendung der Multimomenthauptformel für die relativen Abweichungsmaße $\epsilon = 5\%$ und $\epsilon = 10\%$ dar.

Bei kleineren Zeitanteilen ($< 27\%$) steigt die erforderliche Anzahl der Beobachtungen sehr steil an.

(5.3) und (5.4) gelten nur bei genügend großer Anzahl n der Beobachtungen.

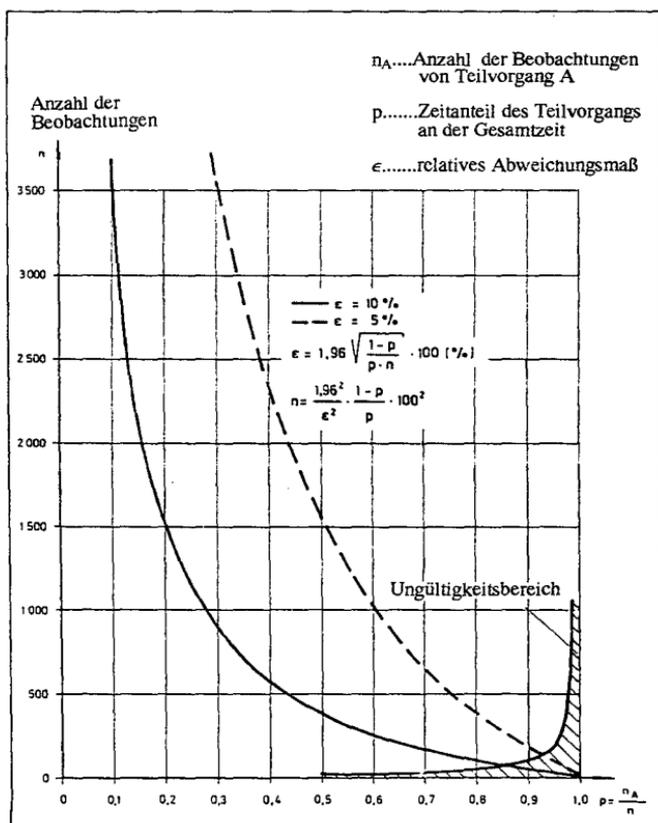


Abb. 5-10: Erforderliche Anzahl der Beobachtungen in Abhängigkeit vom Zeitanteil p bei Anwendung der Multimomenthauptformel

Berechnung der Beobachtungsdauer

Für den Zeitanteil der Teilvorgänge mit $p \geq 5\%$ an der Gesamtzeit wird ein relatives Abweichungsmaß $\epsilon \leq 5\%$ vorgegeben.

Für $p=5\%$ und $\frac{k}{n_a} = 50\%$ ergibt sich eine erforderliche Anzahl der Beobachtungen von $n=2200$.

Bei drei Arbeitern und einem Beobachtungsintervall von 0.5 Minuten ermittelt sich die Beobachtungsdauer D wie folgt:

$$D = \frac{2200 \text{ Beobachtungen}}{120 \frac{\text{Beobachtungen}}{\text{Stunden} \times \text{Arbeiter}} \times 3 \text{ Arbeiter}} = 6 \text{ Stunden}$$

Es ergibt sich eine Beobachtungsdauer von sechs Stunden bei drei Arbeitern.

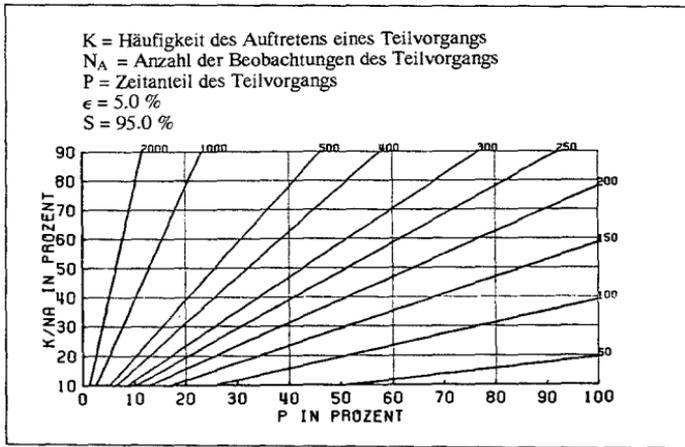


Abb. 5-12: Isoquantendarstellung der Zielgröße: Erforderliche Anzahl n der Beobachtungen aus Abb. 5-11

IV. Schritt:

Durchführung von Gruppenzeitaufnahmen in den Werken unter gleichzeitiger Erfassung aller maßgeblichen Einflußgrößen auf die Arbeitsproduktivität, z.B. bei Schalungsarbeiten:

- Schalverfahren
- Schalflächen der Schalungselemente
- Kolonnenstärke
- Geometrie der einzuschalenden Flächen
- Anzahl der Hebezeuge usw.

5.4 Untersuchungsergebnisse

5.4.1 Auswertung der SMM-Aufnahmen

Die Auswertung von Zeitaufnahmen ist ein grundlegendes Hilfsmittel bei der Optimierung von Arbeitsabläufen. Gleichzeitig können durch die Ist-Zeitermittlungen einer SMM-Aufnahme Aussagen über den Zeitbedarf einer künftig auszuführenden Arbeit abgeleitet und die mit Schwachstellen behafteten Teilvorgänge festgestellt werden. Dies ist mit einer statistischen Sicherheit von 95 % möglich.^{131), 132)}

Die Auswertung beginnt auf dem Aufnahmebogen. Es werden die Beobachtungen der Teilvorgänge einer Meßreihe (n_a) addiert und die Häufigkeit des Auftretens der Teilvorgänge (k) ermittelt. Die Ergebnisse aus den einzelnen Aufnahmebögen werden auf dem Auswertungsformblatt (siehe *Abb. 5-14*) zusammengefaßt.

Die Endauswertung der Multimomentaufnahme erfolgte bei den vorgenommenen Untersuchungen nach folgendem Schema:

- Feststellen der Gesamtzahl der Beobachtungen je Vorgang (n_a),
- Berechnen der prozentualen Anteile der Teilvorgänge (p) an der Gesamtzahl,
- Feststellen der Häufigkeit der Teilvorgänge (k),
- Ermittlung des absoluten Abweichungsmaßes (f),
- Ermittlung des relativen Abweichungsmaßes (ϵ),
- Ermittlung der unteren und oberen Grenze des Vertrauensbereiches (p_o , p_u),
- Darstellung der Ergebnisse,
- Interpretation der Ergebnisse.

5.4.2 Bewertung der Ergebnisse

5.4.2.1 Genauigkeit der Messungen

Die Ergebnisse der ausgewerteten SMM-Aufnahme sind zuerst auf ihre Genauigkeit hin zu überprüfen. Vor Beginn der Zeitaufnahme wurde gefordert, daß für $p \geq 5\%$ der Wert $\epsilon < 5\%$ sein muß. Wie die *Abbildungen 5-14 und 5-15* (Auswertungsbogen) zeigen, wurde diese Bedingung erfüllt. Man kann also nach REFA / 133 / bei $\epsilon < 5\%$ von einer hohen Genauigkeit der Ergebnisse sprechen.

131) Haller, Wedel., a.a.O.

132) Berner, F., a.a.O., S. 110

133) Vgl. Ebenda, S. 122

Folgendes Schema stellt einen Vergleich der im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Werte mit den in der Literatur angegebenen Mittelwerten für Schalarbeiten dar.

	prozentualer Anteil an der Gesamtzeit	Mittelwerte für Schalarbeiten (Berner)
Haupt-, Neben-, ablaufsbedingtes Unterbrechen der Tätigkeit	75.64 %	72 %
zusätzliche Tätigkeit, störungs- und persönlich bedingstes Unterbrechen der Tätigkeit	23.04 %	22 (13) %
Erholzeit	1.32 %	6 %

Abb. 5-13: Gegenüberstellung der prozentualen Zeitanteile der Ablaufarten

Für die Ablaufarten Haupttätigkeit, Nebentätigkeit und ablaufbedingstes Unterbrechen der Tätigkeit ergeben sich nach Abb. 5-14 bei der SMM-Aufnahme folgende Zeitanteile:

- *Haupttätigkeit (Teilvorgang Nr.10 bis 19)* : $p = 46.47 \%$
- *Nebentätigkeit (Teilvorgang Nr.20 bis 26)* : $p = 29.17 \%$
- *ablaufbedingtes Unterbrechen der Tätigkeit (Teilvorgang Nr.30)* : $p = 0.00 \%$

Die Haupttätigkeit ist die planmäßige, unmittelbar der Erfüllung der Arbeitsaufgabe dienende Tätigkeit. Sie sollte über 50 % der Gesamtzeit betragen, um einen Bauablauf ohne größere Zeitverluste zu gewähren. Bei der Untersuchung betrug der Zeitanteil nur ca. 46.5 %. Das bedeutet, daß bei den Schalarbeiten geringfügige Schwachstellen vorhanden sind.

Die Nebentätigkeit ist eine nur mittelbar der Erfüllung der Arbeitsaufgabe dienende Tätigkeit. Sie sollte bei optimalen Bauabläufen nur einen kleinen Anteil an der Gesamtzeit einnehmen. Da der Zeitanteil der Nebentätigkeit mit etwa 29.17 % mehr als die Hälfte der Haupttätigkeit beträgt, werden hier sicher Schwachstellen vorhanden sein, auf die im folgenden Kapitel näher eingegangen wird.

Bei den zusätzlichen Tätigkeiten gelten als schwachstellenverdächtig folgende Teilvorgänge:

- Nr.42 Informationen $p=4.73\%$ ($p_o=4.85\%$; $p_u=4.61\%$)
- Nr.43 Randarbeiten $p=4.71\%$ ($p_o=4.82\%$; $p_u=4.61\%$)

zusammen mit einem Zeitanteil von $p = 9.45\%$ an der Gesamtzeit.

Bei den störungsbedingten Unterbrechen der Tätigkeit gelten als schwachstellenverdächtig die Teilvorgänge:

- Nr.50 Warten auf Paletten $p=3.07\%$ ($p_o=3.11\%$; $p_u=3.03\%$)
- Nr.51 Warten $p=3.85\%$ ($p_o=3.92\%$; $p_u=3.77\%$)

zusammen mit einem Zeitanteil von $p = 6.92\%$ der Gesamtzeit.

Zu persönlich bedingtes Unterbrechen der Tätigkeit zählen die

Teilvorgänge Nr.60 bis Nr.62 mit einem Zeitanteil von

$p = 3.81\%$ an der Gesamtzeit.

Dieser geringe Anteil läßt erkennen, daß sie keine Verlustzeiten enthalten. Darüber hinaus kann man *Nr.70 Erholung mit 1.3 % Zeitanteil* an der Gesamtzeit nicht als Verlustzeit betrachten.

Fall 2: Bewehrungsarbeiten

Die prozentualen Zeitanteile der verschiedenen Zeitarten lassen sich nach *Abb. 5-15* (Auswertungsbogen) wie folgt ermitteln:

- *Grundzeitanteil* : Teilvorgänge *Nr.10 bis Nr.30* mit einem Prozentsatz von $p = 63.71\%$ an der Gesamtzeit (Haupttätigkeit, Nebentätigkeit, ablaufbedingtes Unterbrechen der Tätigkeit);
- *Verteilzeitanteil* : Teilvorgänge *Nr.40 bis Nr.62* mit einem Prozentsatz von $p = 34.82\%$ an der Gesamtzeit (zusätzliche Tätigkeit, störungsbedingtes Unterbrechen der Tätigkeit, persönlich bedingtes Unterbrechen der Tätigkeit);
- *Erholzeitanteil* : Teilvorgang *Nr.70* mit einem Prozentsatz von $p = 1.48\%$ an der Gesamtzeit (die Erholzeit).

Für die Ablaufarten Haupttätigkeit, Nebentätigkeit und ablaufbedingtes Unterbrechen der Tätigkeit ergeben sich nach Auswertungsbogen bei der SMM-Aufnahme folgende Zeitanteile:

Die Unterteilung der Verteilzeit

in zusätzliche Tätigkeit

- *Teilvorgang Nr.40 bis Nr. 43 mit $p = 21.26$ % Zeitanteil,*

in störungsbedingtes Unterbrechen der Tätigkeit

- *Teilvorgang Nr.50 bis Nr.51 mit $p = 6.88$ % Zeitanteil und*

in persönlich bedingtes Unterbrechen der Tätigkeit

- *Teilvorgang Nr.60 bis Nr.62 mit $p = 6.68$ % Zeitanteil* läßt erkennen, daß insbesondere die zusätzliche Tätigkeit mit Schwachstellen behaftet ist. Die Erholzeit *Nr. 70 mit 1.5 % Zeitanteil* an der Gesamtzeit läßt dagegen keine Verlustzeiten vermuten.

5.4.2.3 Schwachstellenverdächtige Teilvorgänge

Die Beurteilung eines jeden Teilvorgangs hinsichtlich seiner Notwendigkeit unter Berücksichtigung des Zeitanteils p und des zugehörigen Streubereichs (siehe SMM-Auswertungsbogen) führt zu Aussagen über Verlustquellen.

Manche Teilvorgänge lassen sich jedoch nur nach Kenntnis aller, das Baugeschehen beeinflussenden Faktoren auf Schwachstellen hin beurteilen. Auf die wesentlichen Schwachstellen wird im folgenden näher eingegangen.

Fall I: Schalarbeiten

Bei den, zu der Ablaufart "Nebentätigkeit" gehörenden, Teilvorgängen erweisen sich

<i>Nr.21 Reinigen Schalungselem.</i>	$p = 6.56$ % ($p_o = 6.67$ % ; $p_u = 6.45$ %)
<i>Nr.22 Ausbessern der Teile</i>	$p = 2.97$ % ($p_o = 3.07$ % ; $p_u = 2.88$ %)
<i>Nr.24 Handtransport</i>	$p = 1.10$ % ($p_o = 1.17$ % ; $p_u = 1.03$ %)
<i>Nr.26 Materialsuche</i>	$p = 15.54$ % ($p_o = 15.74$ % ; $p_u = 15.34$ %)

als Verlustquellen. Darüber hinaus sind die Teilvorgänge zum Teil mit körperlich schwerer Arbeit verbunden.

Bei den Teilvorgängen Reinigen und Ausbessern werden die seitlichen Schalungselemente, durch Befreien von Betonresten und Verbindungselementen wie z.B. Nägel, Schrauben sowie Einbauteilen, zur Wiederverwendung vorbereitet. Zusammen mit dem ebenfalls manuell durchgeführten *Teilvorgang Nr. 23 Schneiden+Bohren ($p = 0.81$ %)* haben sie einen Zeitanteil von $p = 10.34$ %.

Die Summe der Zeitanteile der hier aufgeführten schwachstellenbehafteten Teilvorgänge entspricht 42.54 % der Gesamtzeit. Im einzelnen:

- Nr. 21 Reinigen Schalelemente $p = 6.56 \%$
- Nr. 22 Ausbessern der Teile $p = 2.98 \%$
- Nr. 24 Handtransport $p = 1.10 \%$
- Nr. 26 Materialsuche $p = 15.54 \%$
- Nr. 42 Informationen $p = 4.73 \%$
- Nr. 43 Randarbeiten $p = 4.71 \%$
- Nr. 50 Warten auf Paletten $p = 3.07 \%$
- Nr. 51 Warten $p = 3.85 \%$

$$\Sigma p = 42.54 \%$$

Die prozentualen Anteile der Ablaufarten bei den untersuchten Schalarbeiten sind im folgenden Histogramm dargestellt.

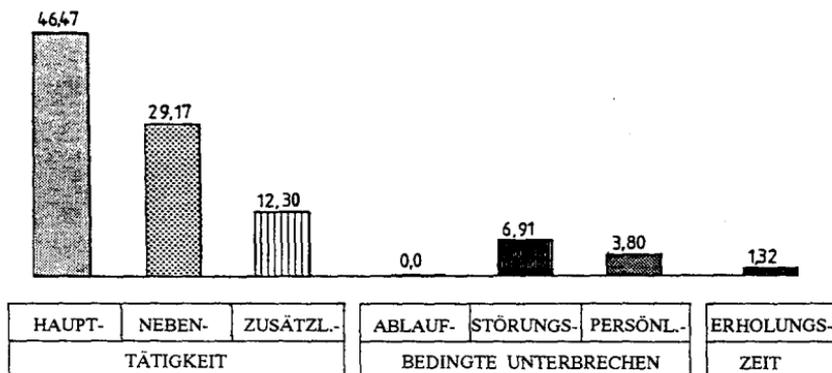


Abb. 5-16: Anteil der Ablaufarten bei den Schalarbeiten

Der zu "störungsbedingtes Unterbrechen" gehörende Teilvorgang *Nr.51 Warten* mit einem Anteil von $p=6.74\%$ ($p_o=6.84\%$; $p_u=6.65\%$) erweist sich ebenfalls als Verlustzeit.

Die Auswertung zeigt, daß persönlich bedingtes Unterbrechen der Tätigkeit einen Anteil von $p=6.68\%$ ($p_o=6.86\%$; $p_u=6.48\%$) hat. Darunter nehmen die Teilvorgänge *Nr.60 Rauchen* $p=2.18\%$ ($p_o=2.25\%$; $p_u=2.11\%$) und *Nr.61 Bedürfnis* $p=3.15\%$ ($p_o=3.21\%$; $p_u=3.10\%$) einen bedeutsamen Zeitanteil ein.

Die Summe der Zeitanteile der schwachstellenbehafteten Teilvorgänge, ausgenommen Flechten, ergibt einen Zeitanteil von 37.07% an der Gesamtzeit. Im einzelnen entsprechend:

<i>Nr.20 Materialsuche</i>	$p = 4.68\%$
<i>Nr.23 Handtransport</i>	$p = 4.80\%$
<i>Nr.41 Wege zur Arbeit</i>	$p = 4.07\%$
<i>Nr.43 Randarbeiten</i>	$p = 11.45\%$
<i>Nr.51 Warten</i>	$p = 6.74\%$
<i>Nr.60 Rauchen</i>	$p = 2.18\%$
<i>Nr.61 Bedürfnis</i>	$p = 3.15\%$
	$\Sigma p = 37.07\%$

Die Ergebnisse sowohl für die Schal- als auch für die Bewehrungsarbeiten zeigen, daß besonders die o.g. Teilvorgänge rationalisierungsbedürftig sind. Nur durch gezielte Analysen, wie sie in beiden Beispielen aufgezeigt wurden, lassen sich die Verlustquellen aufspüren und beurteilen. Daraus können dann Verbesserungsvorschläge im Bezug auf die Erhöhung der Produktivität und einer besseren Arbeitsplatzgestaltung abgeleitet werden.

Zusammenfassend werden einige Gründe von Verlustquellen stichwortartig wiedergegeben, die anhand der Zeitaufnahmen bemerkt wurden:

- wegen der relativen Unübersichtlichkeit werden Zubehörteile für Schalung gesucht;
- die innerbetrieblichen Wege zum Arbeitsplatz sind zu lang;
- beim Betonieren muß die Kolonne immer wieder auf Transportbeton warten, der nicht zur richtigen Zeit eintrifft;
- es werden sehr viel Informationen untereinander ausgetauscht;
- aufgrund der Überlastung des Kranes, müssen die Transportarbeiten zum Teil manuell ausgeführt werden;

Die Vorschläge zur Beseitigung von Verlustquellen und zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen sowie zur Steigerung des Ertrages können den folgenden Bereichen zugeordnet werden:

a) Innerbetriebliche Transporte:

Im Bereich innerbetriebliche Transporte sind Rationalisierungsreserven vorhanden. Der Einsatz von ferngesteuerten Betonbeschickereinrichtungen, von Kübelbahnen, von prozessorgesteuerten Stapelkran- und Krananlagen, ist noch in vielen Fertigteilverken keine Selbstverständlichkeit. Der Kran für alle Transport- und Hubvorgänge eingesetzt, besonders bei der stationären Fertigung, stellt einen ständigen Engpass im Fertigungsablauf dar. Hierdurch hervorgerufene, oft umfangreiche Verteilzeiten, werden meistens als selbstverständlich oder unvermeidlich hingenommen bzw. überhaupt nicht mehr registriert. Darüber hinaus stellen in ihrer Tragkraft unterdimensionierte Krananlagen eine weitere Schwachstelle im innerbetrieblichen Transportsystem dar.

Der in der Fertigteilindustrie oft übliche Einzelementtransport sowohl im Werk als auch auf dem Lagerplatz erfordert nicht nur einen hohen Transportaufwand, er verursacht Behinderungen im Fertigungsablauf der überfahrenen Bereiche und führt in den witterungungünstigen Monaten zu einem Wärmeverlust in den Produktionshallen. Teilweise automatisierte Transportsysteme sind derzeit möglich und lassen eine Minimierung des Transportaufwandes zu.

Im Lagerplatzbereich überwiegt der Einsatz flur- und kabinengesteuerter Portalkrananlagen. Durch Umrüstung auf eine Fernsteuerung sind Personaleinsparungen erreichbar, wie bei den Betonierarbeiten zum Teil schon realisiert. Als Begründung einer Kabinensteuerung wird die bessere Übersicht angeführt. Aber daß der in der Kanzel sitzende Kranführer häufig über längere Zeit hinweg untätig ist, wird übersehen bzw. nicht wahrgenommen.

Der Transport von schweren Bewehrungsmatten, Bewehrungskörben und großen Schalelementen erfolgt zum Teil durch menschliche Arbeitskraft. Um ergonomische Arbeitsplätze zu schaffen, sollte der Transport der genannten Elemente mittels Geräten durchgeführt werden.

d) Kritische Arbeiten:

Das Zusammenstellen der Schalungselemente erfordert einen erheblichen Zeit- und Kostenaufwand. Daher sollte nach Möglichkeit mit standardisierten Schalungselementen gearbeitet werden, da diese den Arbeitsaufwand in bedeutendem Maße verringern. Die Praxis zeigt, daß die Verbindung solcher Elementen relativ schnell und in kürzerer Zeit erfolgt (siehe hierzu Analyse Deckenelementfertigung, unter Punkt 3.2.2). Darüber hinaus erleichtert es die Arbeit und nicht zuletzt wird die Zahl der Einsätze erhöht.

Außer den Verbindungsarbeiten der Schalungsteile nehmen die Flechtarbeiten mit 21.7 % einen hohen Anteil an der Gesamtzeit ein, wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben ist. Zur Zeit gibt es in dieser Richtung noch keine konkreten Rationalisierungsvorschläge. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung wären jedoch vorstellbar, wie am Beispiel der Entwicklung von Bügelbiegeautomaten ersichtlich.

Beim Einbau der Einbauteile treten Schwierigkeiten mit der Bewehrung auf. Teilweise mußte eine bereits eingebaute Bewehrung wieder geöffnet werden, um die Einbauteile unterbringen zu können.

Bewehrung und Einbauteile müssen zeichnerisch aufeinander abgestimmt werden. Die Bewehrung muß eine größere Paßgenauigkeit haben.

Darüber hinaus sollten die Arbeiter ihr Werkzeug ständig bei sich führen. Sägen und Trennmittelspritzgeräte sollten sich in unmittelbarer Nähe der Arbeitsplätze befinden. Durch diese Maßnahmen lassen sich Laufzeiten reduzieren.

5.4.4 Zusammenfassung

Aus den durchgeführten Studien, in den Fertigteilwerken Fa. Lehde und Fa. Müller-Gönnern, kann man den Schluß ziehen, daß das stationäre Fertigungsverfahren rationalisierungsbedürftiger als die Paletten-Umlauffertigung ist. Das Umlaufverfahren bildet eine Voraussetzung für die automatisierte Fertigung. Der Nutzen der Paletten-Umlauffertigung im Gegensatz zur stationären Fertigung ist an folgenden Punkten sichtbar:

- mehr Ordnung und Übersicht infolge getrennter Arbeitsstationen,
- Gewährleistung eines ununterbrochenen Arbeitsablaufs,
- Erhöhung der Produktivität durch den Einsatz von spezialisierten Arbeitskräften,

6. AUFTRAGSABWICKLUNG UND INFORMATIONSFUSS IN FERTIGTEILWERKEN

6.1 Auftragsabwicklung im Fertigteilwerk

Fertigungsprozeß und Auftragsabwicklung sind durch die ausgeprägt kundenbezogene Auftragsfertigung eng miteinander verknüpft. Im folgenden wird eine in / 135 / erarbeitete Modellvorstellung zur Auftragsabwicklung im Fertigteilwerk dargestellt, die als Grundlage für die Steuerungssysteme der Produktion dient. In der Literatur wird die Auftragsabwicklung in vier auftragsbezogene Ablaufphasen gegliedert. Diese sind:

- Auftragsbeschaffung,
- Auftragsvorbereitung,
- Auftragsdurchführung und Auslieferung,
- Auftragsabrechnung.

6.1.1 Auftragsbeschaffung

Die Auftragsbeschaffung erfolgt durch den Vertrieb, wobei deren Kernstück die Angebotskalkulation ist, die ein verbindliches Preisangebot zum Ergebnis hat.

Die Aufgabe des Fertigteilwerks beschränkt sich in diesem Stadium darauf, im Rahmen der lang- und mittelfristigen Fertigungsplanung die technische und kapazitätsmäßige Realisierbarkeit des Auftrags zu überprüfen.

Die über die getroffenen Zeit- und Materialansätze ermittelten Kosten bilden die Zielvorgabe für die Fertigung. Dies ist charakteristisch für die kundenbezogene Auftragsfertigung im Bauwesen.

6.1.2 Auftragsvorbereitung

Bei der Auftragsvorbereitung bzw. -einplanung werden die Aufträge in Einzelaktivitäten aufgelöst und in den durch die kurzfristige Fertigungsplanung festgelegten Ablauf des vorhandenen Auftragsbestandes eingeplant.

Die eventuellen Änderungen der Auftragsdaten, die sich bis zum Fertigungsbeginn hinziehen können, sind zu berücksichtigen, um die Einplanung der Änderungswünsche kontinuierlich vornehmen zu können.

Als Ergebnis der Auftragseinplanung entsteht der Fertigungsplan. Er dient einerseits der Steuerung der fertigungsmäßigen Abwicklung des vorhandenen Auftragsbestandes, andererseits bildet er die Grundlage für eine auf die Fertigungssituation abgestimmte Beschaffung neuer Aufträge.

6.1.3 Auftragsdurchführung

Mit der Lieferung der genauen Ausführungspläne beginnt die Durchführungsphase. Die Eingangsstufe zur Fertigungssteuerung bildet die Arbeitskalkulation, da durch sie in Abstimmung auf den Fertigungsprozeß alle fertigungs- und kostenrelevanten Daten erfaßt werden.

Die Aufgaben der Fertigungssteuerung definiert Häberle folgendermaßen:

- die Feinplanung der Fertigung,
- die Veranlassung der Fertigung,
- die Sicherung des Ablaufs und
- die Sicherung des Fertigungsergebnisses durch die Qualitätsüberwachung.

Zunächst ist der durch die kurzfristige Planung vorgezeichnete und zur Realisierung anstehende Fertigungsablaufabschnitt entsprechend den Steuerungsanforderungen zu verfeinern.

Als zweckmäßig erweist sich für diese Planungsperiode ein ein- bis zweiwöchiger Zeitraum. Dies entspricht dem angestrebten Planvorlauf.

Bei der Erstellung dieses Feinablaufplans wird in analoger Weise, jedoch mit einem höheren Detaillierungsgrad als bei der Auftragsplanung, vorgegangen.

Die Fertigungsveranlassung erfolgt über Fertigungsanweisungen, da durch sie die Fertigungsorte, die einzelnen Arbeitsinhalte und die Fertigstellungstermine den jeweiligen Ausführungsstellen zugeleitet werden. Außerdem ist der Fertigungsablauf durch laufende Soll-Ist-Vergleiche und Auswertung von Störungsmeldungen zu überwachen.

Neben der Sicherung des Fertigungsablaufs sind durch die Qualitätssicherung die Betongüte und vor allem die geometrischen Abmessungen der Fertigteile sowie die geforderten Oberflächeneigenschaften zu überwachen.

Mit der Auslieferung der gefertigten Elemente an das Lager oder an die Montagebaustelle endet die Auftragsdurchführung. Da die Teile nach Möglichkeit unmittelbar vom Transportfahrzeug aus montiert werden, ist ein großes Zwischenlager erforderlich.

Häberle definiert die Zielsetzungen der Vorkalkulation in Fertigteilwerken folgendermaßen:

- Ermittlung verbindlicher Preise für den Kunden; sie unterliegen in der Regel einem Wettbewerb mit anderen Bietern (externe Ziele),
- Durchführung des Auftrags mit maximaler Wirtschaftlichkeit; die Kalkulation gibt auftragsbezogene Fertigungsdaten vor, anhand derer die Fertigung zu planen, zu steuern und zu kontrollieren ist (interne Ziele).

Die genannten Ziele auf ein stabiles Gleichgewicht zu bringen, erfordert rationalisierende Maßnahmen in der Auftragsabwicklung und besonders im Fertigungsprozeß.

Eine detaillierte Vorkalkulation setzt das Vorhandensein einer genauen Beschreibung des Auftrags nach Menge und Beschaffenheit voraus. Für die Belange des Fertigteilwerks wird dies durch eine, nachfolgend noch näher erläuterte, Grobstückliste erreicht. Die Grobstückliste wird je nach Auftragsstyp und Ausschreibungsart entweder durch ein Leistungsverzeichnis des Auftraggebers vorgegeben, oder sie ist im Rahmen der Angebotsbearbeitung durch unternehmensinterne Stellen, z.B. durch das Technische Büro, zu erarbeiten.

Die Grobstückliste ist ein Verzeichnis der zu liefernden Fertigteile, in der die Teile nach Menge, Art, Größe und Beschaffenheit so beschrieben sind, daß eine kostengerechte Kalkulation möglich ist. Die Aufgaben der Grobstückliste lassen sich in Anlehnung an Gerlach / 140 / folgendermaßen beschreiben:

- die Grobstückliste dient als Mengengerüst für die Vorkalkulation,
- die Grobstückliste gliedert den Auftrag nach Produkthauptgruppen für die an der Auftragsabwicklung beteiligten Stellen,
- die Grobstückliste schreibt den Auslieferungszustand des Auftrags fest,
- sie ist Grundlage für die Mengen- und Massenermittlung der Fertigteile und für die Terminierung der Fertigung,
- aus der Grobstückliste lassen sich weitere Listen ableiten, wie z.B. Materialbedarfsliste und Einbauteilliste, bei der die Teile nach Lager-, Beschaffungs- und Eigenfertigungsteilen zu differenzieren sind.

Die Grobstückliste ist damit eine wichtige Informationsunterlage für die Vorkalkulation, die Beurteilung der Durchführbarkeit des Auftrags und die spätere Auftragsabwicklung. Daher erfordert deren Erstellung eine große Sorgfalt.

140) Gerlach, H.-H.: "Stücklistenwesen, in: K. Brandkamp (Hrsg.): Handbuch der modernen Fertigung und Montage", München, 1975, S. 325 - 352

können mit denen der Auftragskalkulation verglichen werden, um Schwachstellen aufzudecken. ¹⁴¹⁾

Werden die in der Periode geleisteten Mengen an hergestellten, transportierten und montierten Fertigteilen erfaßt, so ergeben sich periodische Plankosten für die Kostenstellen und Aufträge, die sich wiederum mit den Istkosten und mit den budgetierten Kosten der Kostenstellen vergleichen lassen.

Außerdem können aus der Arbeitskalkulation Produktkosten je Produkt und Produkthauptgruppe auftragsweise ermittelt werden. In Verbindung mit den periodisch geleisteten Mengen erhält man mittlere Produktkosten je Periode für Planungszwecke. Betrachtet man zusätzlich die dazugehörigen Erlöse je Produkt, ergeben sich wichtige Hinweise für zukünftig gerichtete Planungsrechnungen.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Vorkalkulation sowie die Arbeitskalkulation wesentliche Ausgangsbasen für die Planung, Steuerung und Kontrolle des Fertigungsablaufs sind.

141) Brandstetter, G., a.a.O., S. 132 f.

- Berücksichtigung des Montagetermins, da dieser bei der Grobplanung von besonderer Bedeutung ist. Die Grobplanung soll nach Möglichkeit mind. 2 - 3 Monate Vorlauf haben.

b) Mittelplanungszeitraum:

Betrifft den Zeitraum, in dem die Fertigteile zwar in den Übersichtsplänen positioniert sind, so daß auch die Mengen je Position zählbar sind, aber die Elementpläne noch nicht gezeichnet oder zur Fertigung freigegeben sind.

c) Feinplanungszeitraum:

In diesem Zeitraum erfolgt die Feinplanung nach der Erstellung der Positionspläne und Fertigungsstücklisten der technischen Abteilung sowie nach dem Dispositionsplan, auf dem die Reihenfolge des Montageablaufes festgehalten wird.

Bei der Feinplanung werden die Positionen der einzelnen Fertigteile entsprechend Montagebedarf und Fertigteilart den einzelnen, zur Verfügung stehenden Schalungsformen und Betriebsmitteln (Paletten) zugeteilt. Montagetermin und produktive Belegung der Betriebsmittel haben dabei entscheidende Bedeutung.

Als Ergebnis der Feinplanung wird die Produktionsreihenfolge der Positionen festgelegt (vgl. *Abb. 6-1*, Informationsfluß in einem Fertigteilwerk).

Jeder Auftrag durchläuft diese drei Planungsstadien von Grob- bis Feinplanung, bis die Konstruktion des laut Auftrag zu errichtenden Objekts beendet ist. Durch eine sinnvolle Handhabung der Plantafel sind alle 3 Stadien komplett darstellbar und erkenntlich. Die Plantafel sollte etwa den Zeitraum von einem halben Jahr umfassen und verschiebbar aufgehängt sein, so daß nach 1 oder 2 Wochen der erledigte Tafelteil nach hinten versetzt und der Stichtag nach vorne verschoben werden kann. Dadurch wird der Aufwand für den Änderungsdienst klein gehalten.

Jedes Fertigteil wird mit Hilfe einer Karte dargestellt, wobei in den einzelnen Werken die unterschiedlichsten Kartenarten anzutreffen sind.

Die einzelnen Arbeitskarten sollten folgende Informationsinhalte haben, wobei die Auftragsnummer farblich, oder durch zusätzliche Symbole erkenntlich sein soll:

6.3.4 Elementpläne

Die Elementpläne beinhalten die Schal- und Bewehrungszeichnungen mit allen erforderlichen Abmessungen, Materialmengen und -güten, mit der Auftragsnummer, Objektbeschreibung, Bauteilangabe, Produktnummer, Positionsnummer, Stückzahl und mit allen Einbauteilen. Anhand der Elementpläne wird die Feinplanung von der Arbeitsvorbereitung festgelegt.

Die Elementpläne werden auf Vollständigkeit der Angaben und auf Wirtschaftlichkeit überprüft und für den Planungszeitraum (eine Woche) an die entsprechenden Fertigungsstellen zusammen mit den Arbeitsanweisungen verteilt. Ein Exemplar bleibt in der Arbeitsvorbereitung zu Zwecken der Erstellung der Arbeitskalkulation sowie zur Kontrolle und zur Dokumentation.

6.3.5 Stahl- und Einbauteillisten

Stahl Listen sind Schneide- und Biegelisten je Fertigteil für die Eisenbiegerei. Sie enthalten die Anzahl der Eisen, den Durchmesser, die Stahlgüte, die Art der Matten, die Biegeform, die Abmessungen und die Gewichtsermittlungen je Fertigteil. Nach den Angaben der Stahl Listen wird in der Arbeitsvorbereitung die Vorgabezeit ermittelt. Im Werk dienen sie als Fertigungsanweisung für die Bewehrungsarbeiten zum Schneiden, Biegen und Flechten.

Einbauteillisten sind die Listen, in denen die erforderlichen Stückzahlen angegeben sind. Für Normeinbauteile genügen Stückzahlangaben, wobei bei den Sondereinbauteilen eine konstruktive Zeichnung erforderlich ist.

Nach der Erstellung der Einbauteillisten erfolgt über die Arbeitsvorbereitung die Einbauteilbestellung oder -fertigung und die Einbauteilbereitstellung. Außerdem werden anhand der Bewehrungs- und Einbauteillisten die Mengen abgerechnet.

6.3.6 Stücklisten

Die Stücklisten werden anhand der Elementübersichtspläne erstellt. Alle Fertigteile werden in den Stücklisten mit Positionsnummer, Stückzahl, Abmessungen, Gewichten und Volumen auftragsweise zusammengestellt.

6.3.7 Montageablaufplan

Der Montageablaufplan beinhaltet die terminliche Abwicklung der Montage nach Bauabschnitten. Für die Grobplanung genügen große Bauabschnitte und die Festlegung der Montagerichtung nebst groben Terminabschnitten. Später wird der

Die Anweisung an den Schalungsbau ergeht wöchentlich; in ihr sind für die einzelnen Arbeitstage der folgenden Woche die auszuführenden Arbeiten wiedergegeben.

In dieser Anweisung sind folgende Daten enthalten:

- Auftragsnummer und Teilenummer des Elements, für das die Schalung umgebaut oder neu gefertigt werden muß,
- Nummer der Fertigungsstelle, an dem die Schalung umgebaut oder aufgebaut werden soll,
- Zeitvorgabe für die Schalungsherstellung (nur bei Leistungsentlohnung).

Bewehrungsarbeiten

Das Schneiden, Biegen und Flechten der Bewehrung wird in der Regel 1 oder 2 Arbeitstage vor dem Einbau ausgeführt.

Das bedeutet für die Produktionssteuerung, daß dem Biegebetrieb die Fertigungsanweisung eine halbe Woche vor der endgültigen Teileherstellung auszuhändigen ist.

Die Fertigungsanweisung für den Biegebetrieb hat den gleichen Aufbau wie die des Schalungsbaus.

Ergänzend muß zu den Vorgabezeiten gesagt werden, daß diese bei Entlohnung im Zeitlohn auf den Fertigungsanweisungen nicht ausgedruckt werden brauchen, aber für Zwecke der Kapazitätsplanung wäre die Angabe von Vorgabezeiten nützlich.

6.3.9 Produktionsrückmeldungen

Nach Fertigstellung der Arbeiten muß dieses an die Arbeitsvorbereitung gemeldet werden.

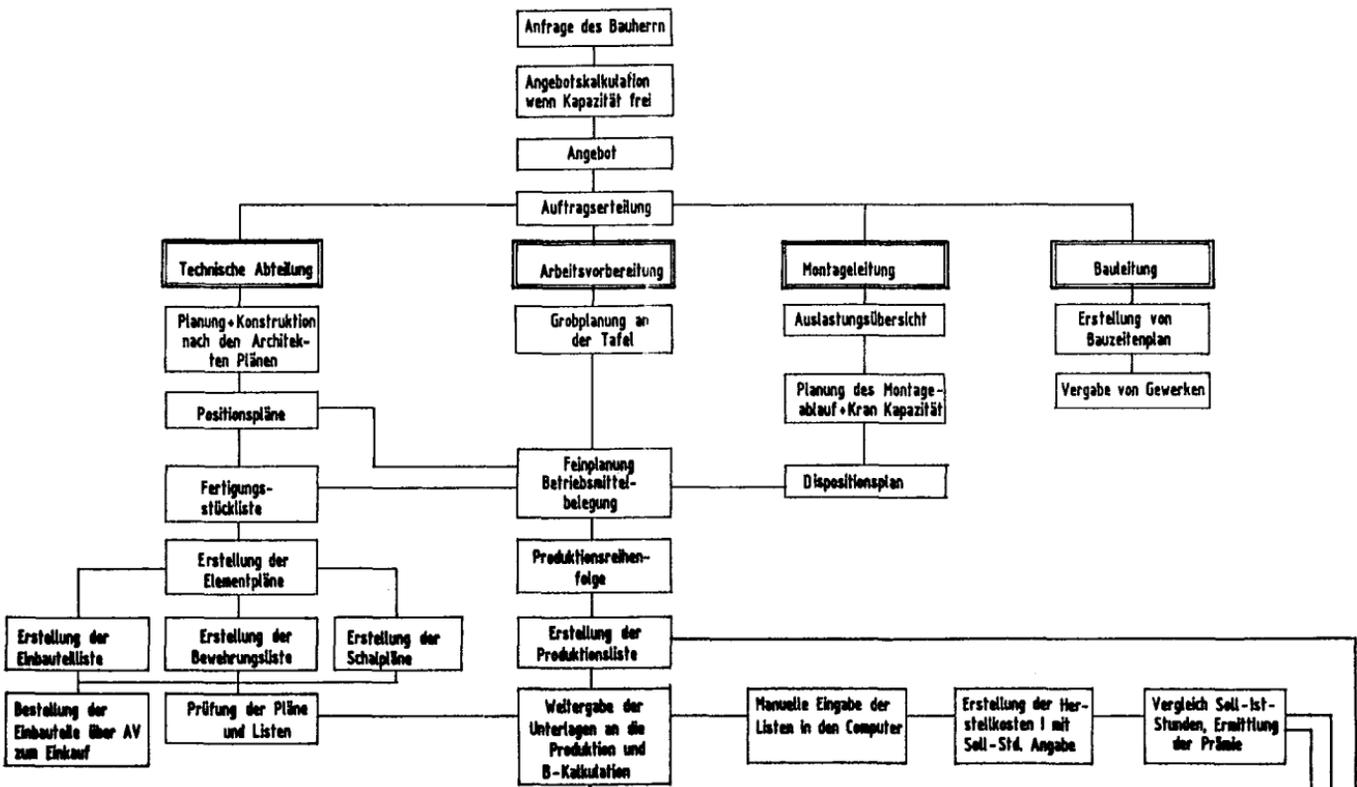
Es gibt folgende Möglichkeiten von Rückmeldungen:

- Schalung fertig / Schalung verändert,
- Bewehrungskorb fertig,
- Fertigteil produziert und gestapelt.

Dazu gehören die Angaben von:

- Datum,
- Auftragsnummer,
- Positionsnummer,
- Stückzahl,

INFORMATIONSFLOSS IN EINEM FERTIGTEILWERK



Fortsetzung nächste Seite

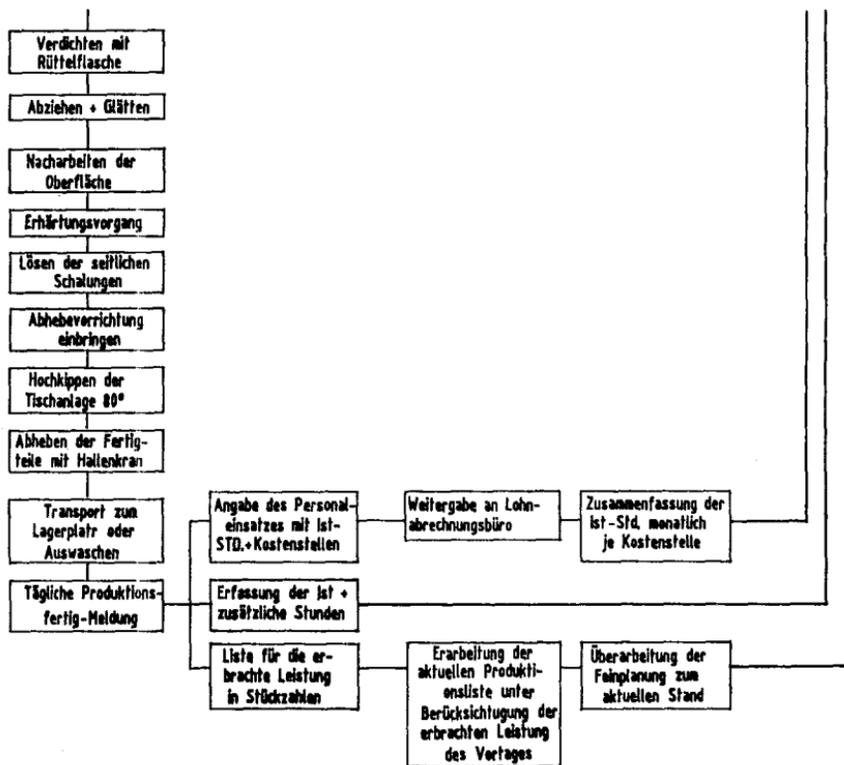


Abb. 6-1: Informationsfluß in einem Fertigteilwerk

Die betriebswirtschaftlichen Ziele sollen den Soll-Ist-Vergleich und die Ergebnisrechnung ermöglichen.

Um den Ist-Ablauf des Fertigungsprozesses in organisatorischer und wirtschaftlicher Hinsicht detailliert zu erfassen, wird jeweils die Ist-Dauer der angewiesenen Tätigkeiten an die Arbeitsvorbereitung rückgemeldet. Jede Tätigkeit kann einem Kostenträger, entweder einem bestimmten Fertigteile oder einer nicht auftragsbezogenen Gemeinkostenarbeit, zugeordnet werden. Die Summe der rückgemeldeten Tätigkeitszeiten muß mit der Gesamtarbeitszeit übereinstimmen.

Der Detaillierungsgrad der rückzumeldenden Arbeitsvorgänge stellt im Hinblick auf die Fertigungssteuerung und den Soll-Ist-Vergleich sowie die Ergebnisrechnung unterschiedliche Anforderungen.¹⁴⁵⁾

Die Beurteilung des terminlichen Auftragsfortschritts ist für die Fertigungssteuerung von besonderer Bedeutung und steht im Vordergrund. Daher ist festzustellen, welche der für einen bestimmten Zeitraum, z.B. ein Tag, angewiesenen Arbeiten durchgeführt und abgeschlossen wurden.

Es geht bei dem Soll-Ist-Vergleich und der Ergebnisrechnung um die Datenerfassung, die für die Beurteilung der Produktivität bzw. des wirtschaftlichen Erfolgs dient. Außerdem sind hierbei die durch die Arbeitskalkulation vorgegebenen Soll-Kosten den tatsächlichen Fertigungs-Ist-Kosten gegenüberzustellen.

Darüber hinaus sollen durch die Überwachung der verschiedenen Leistungsbereiche und Kostenstellen die Rationalisierungsmöglichkeiten aufgespürt werden.

6.4.3 Konzeption der Datenerfassung

Eine detaillierte Datenerfassung erfordert die Aufteilung des Fertigungsablaufes nach: / 146 /

- Auftragsfortschritt,
- Durchführungszeit und Menge,
- Einzelvorgangszeit.

a) Erfassung des Auftragsfortschritts

Durch die tageweise Erfassung des Auftragsfortschritts wird nur der Bearbeitungszustand der angewiesenen Arbeit oder der herzustellenden Fertig-

145) Häberle, A., a.a.O., S. 99 ff.

146) Ebenda

unterteilt werden.

Für die detaillierte Zeiterfassung wird noch zusätzlich ein auf die vorhandene Kostenfeldergliederung der Kalkulation ausgerichteter Katalog von Arbeitsvorgängen erstellt. Hierbei sind z.B. Einschalen, Bewehrungseinbau, Betonieren und nicht auftragsbezogene Gemeinkostenarbeiten kostenstellen- oder kostenplatzbezogen zu berichten. Die Rückmeldedaten bestehen dann aus den Angaben über

- die bearbeiteten Fertigteile (Kostenträger)
- die durchgeführte Arbeit und
- die dafür aufgewendete Arbeitszeit.

Nach Häberle sind maximal 3-5 Vorgänge je Kolonne und Tag zu berichten, um ein Optimum zwischen dem Aufwand der Rückmeldung und der Ausagesicherheit der Ist-Daten zu erreichen.

Um den Auftragsfortschritt abzubilden, wird der Bearbeitungszustand des einzelnen Fertigteils in seinen wesentlichen Stufen erfaßt. Demgegenüber werden die Durchführungszeiten arbeitsgangsbezogen erhoben.

Betrachtet man das Fertigungsgeschehen innerhalb einer Kostenstelle oder eines Kostenplatzes, wo in der Regel gleiche Produkttypen gefertigt werden, so ist festzustellen, daß in einem ersten Arbeitsschritt alle Teile nacheinander geschalt und bewehrt werden. Erst dann folgt als zweiter Arbeitsschritt das Betonieren der Fertigteile.

Aufgrund dieses Ablaufs ist eine genaue Ist-Zeit-Zuordnung zum einzelnen Fertigteil aus praktischen Erwägungen heraus kaum sinnvoll zu realisieren. Die einzelnen Zeitanteile sind zu klein, um sie in einem Berichtssystem getrennt erfassen zu lassen. Deshalb können nur die Summen der einzelnen Arbeitsvorgänge über z.T. mehrere Fertigteile erhoben werden.

Um einen Soll-Ist-Vergleich vollziehen zu können, ist jedoch eine Aufteilung der Ist-Zeiten auf die einzelnen Fertigteile notwendig. Um diese Aufteilung durchführen zu können, wird angenommen, daß die Ist-Stunden entsprechend dem Verhältnis der Soll-Werte der Arbeitskalkulation verteilt werden können. Extreme Abweichungen von Ist- und Soll-Werten sind im Einzelfall durch gezieltes Nachfragen oder durch ergänzende Bemerkungen zur Rückmeldung zu klären.

7. STUFEN DER EINFÜHRUNG EINER RECNERGESTÜTZTEN PRODUKTION VON MEHRSCICHTIGEN FASSADENELEMENTEN

7.1 Randbedingungen und Voraussetzungen

Steigender Bedarf an Bauelementen bei zunehmender Typenvielfalt, ständige Erhöhung der Lohnkosten und fortschreitender Mangel an Fachkräften sowie die vorher beschriebene Situation der Fertigteilwerke zwingen die Unternehmen zur Rationalisierung.

Mit besonderer Dringlichkeit stellt sich diese Aufgabe in der Fertigungstechnik, die einem hohen Personalaufwand und einer laufenden Zunahme der Einzel- und Kleinserienfertigung gegenübersteht.

Innerhalb eines Fertigteilunternehmens bilden Materialwirtschaft und Fertigungslohnkosten die weitaus höchsten Kostenanteile, wobei die Materialkosten 35-38 % und die Lohnkosten 33-35 % der Gesamtkosten betragen. ^{a)} Die o.g. Material- und Lohnkosten Anteile liegen bei den Fassadenelementen noch höher. Sie betragen hier ca. 40 % der Gesamtkosten. ^{b)} Die Forderungen nach höherer Wirtschaftlichkeit und Produktivität zwingen somit zur Rationalisierung und Automatisierung des Produktionsprozesses, vor allem in den Bereichen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Fertigung.

Die im technischen und organisatorischen Bereich auftretenden Mängel (Schwachstellen) sind oft die Ursache der Produktivitätsminderung, wobei diese durch die Rationalisierungsmaßnahmen, wie erhöhte Mechanisierung der Fertigungsabläufe und durch die Flexibilität der Fertigungstechnik verringert werden können.

Die Automatisierung, welche eine Form bzw. eine Folge der Rationalisierung ist, soll sich im Bereich der Fertigung auf die beiden Komponenten Informations- und Materialfluß erstrecken. Hierbei werden die Funktionen Ein- und Ausgaben, Speichern, Verarbeiten und Transportieren zusammengefaßt. Unter anderem stellt sich neben dem Zwang zur Automatisierung die Forderung nach einem höheren Maß an Flexibilität der Fertigungstechnik, d.h. einer besseren Anpassungsfähigkeit an sich schnell ändernde Fertigungsaufgaben.

a) Die genannten Werte gelten nach der Information von Fertigteilwerk Mark für die Elementdeckenfertigung bei den teilautomatisierten Fertigungsverfahren.

b) Nach der Information des Fertigteilwerks "Industrielles Bauen-Imbau"

Darüber hinaus stellen die Informationen, die aus der Analyse der rechnergestützten Elementdeckenfertigung gewonnen wurden (vgl. Kapitel 3.), einen Überblick über den Stand der Leistungsfähigkeit der in diesem Bereich angewandten Techniken dar.

7.2 Anforderungen an eine rechnergestützte Fassadenelement-Fertigung

Die zur Zeit für die Fassadenelement-Erstellung eingesetzten CAD-Programme sind noch nicht so leistungs- und funktionsfähig wie die Programme für die Elementdecken-Fertigung. Obwohl der Einsatz des CAD-Systems derzeit in vielen Fertigteilwerken als Arbeitserleichterung bei den Planungs- und Konstruktionsarbeiten dient, wird der Nutzen der CAD-Programme nur in wenigen Werken für die automatische Erstellung der Stahl-, Matten- und Einbauteillisten verwendet.

Im folgenden werden die an ein CAD-System gestellten Anforderungen für die Fassadenelement-Fertigung nach unterschiedlichen Gesichtspunkten der Kalkulation, der Arbeitsvorbereitung und des Fertigungsprozesses beschrieben.

7.2.1 Kalkulation und Arbeitsvorbereitung eines Projektes

Die Kalkulation der Kosten eines Projektes ist ein sehr wichtiges Glied im Managementsystem einer Unternehmung. Die Verbindung der grafischen Konstruktionszeichnungen mit dem Numerischen bildet die Grundlage für die Kalkulation und Arbeitsvorbereitung. Die genaue Bestimmung der Lohn- und Materialkosten dient dazu, die in jeder Werkhalle und an jedem Arbeitsplatz in Abhängigkeit von der Planung anfallenden Kosten festzulegen. Die Übertragung der Konstruktionsdaten an die Kalkulation und Arbeitsvorbereitung ist infolge der Qualität der Zeichnungen, der Richtigkeit der Daten und der Zeitersparnis von besonderer Bedeutung, wie unter Punkt 2.4.3 ausführlich behandelt wird.

Die beste und zuverlässigste Informationsquelle für die Kalkulation und Arbeitsvorbereitung sind die Fertigungszeichnungen und die daraus entnommenen Angaben, z.B.

- Querschnitte der Elemente,
- Maße, Anzahl, Art und Biegeform der Bewehrungsstäbe und -matten,
- Art und Anzahl von Einbauteilen sowie die Serienbezeichnung für Serieneinbauteile,
- Anzahl und Konstruktionszeichnungen der Sondereinbauteile,

7.2.2.1 Innerbetrieblicher Transport und Lagertechnik

Die wichtigste Voraussetzung zur Rationalisierung und somit für die automatisierte Fertigung ist die Einführung des Palettenumlaufverfahrens (siehe hierzu den Vergleich der beiden Produktionsverfahren unter Punkt 5.2.).

Die Kontinuität des innerbetrieblichen Transports kann mit der Anordnung einer durchgehenden Schnelltransportstraße für die Paletten gewährleistet werden. Eine weitere Voraussetzung für die Kontinuität ist das Vorhandensein einer Pufferzone oder Parkstraße.

In den Bereich der innerbetrieblichen Transport und Lagertechnik sollen folgende Tätigkeiten einbezogen werden:

- der Transport der Paletten zu den einzelnen Bearbeitungsstationen sowie innerhalb dieser Stationen,
- der Transport der Schalungselemente und die dazu erforderlichen Verbindungsgeräte und -werkzeuge,
- der Transport der Bewehrungsstäbe und -matten beim Herstellen der Bewehrung und das Einlegen der Bewehrungskörbe in die Schalung,
- der Transport und das Einbringen des Betons in die Schalung,
- der Einsatz des Hallenkrans zum Transport der Fertigteilelemente,
- die Überwachung des Fertigteillagers und der Fertigteilverladeeinrichtung,
- die Steuerung des Palettenstapelkrans und das Fahren in der Härtekammer.

7.2.2.2 Schalungstechnik

Wichtigster Bestandteil des Schalungssystems bei der flächigen Elementproduktion (Wand- und Deckenelemente) sind die Paletten.

Um durch ein CAD/CAM-System unterstützt zu werden, sollen folgende Bereiche der Schalungstechnik an die Palettenumlaufanlage angeschlossen werden:

- die Überwachung des Schalungslagers bzw. der standardisierten Schalungselemente,
- der Transport bzw. die Bereitstellung der Schalungselemente an die Bearbeitungsstationen,
- das Reinigen des Schalungsbodens und der seitlichen Abschalungen,
- das Einmessen und Plotten der Elementumrisse auf den Schalungsboden,
- das Einsetzen der Randschalungen auf die markierten Stellen,
- das Auftragen des Trennmittels und/oder Verzögerers auf den Schalungsboden,

7.3 Konzeption zur CAD/CAM-gestützten Fassadenelement-Fertigung

Die schematische Darstellung eines Fertigteilwerkes für die Herstellung von Fassadenelementen ist in *Abb. 7-1* ersichtlich.

Der Transport der Paletten erfolgt in Längs- und Querrichtung. Die Paletten bzw. die herzustellenden Elemente werden in Längsrichtung auf Gleisen und in Querrichtung auf Reibradantrieben transportiert.

Das Umlaufverfahren besteht aus den getrennt angeordneten Bearbeitungsstationen. Diese sind Entschalen, Einschalen, Bewehren und Betonieren.

Die Paletten haben an drei Seiten feste Randschalungen, die stufenlos höhenverstellbar sind. Dies ermöglicht eine Reduzierung der zeit- u. personalaufwendigen Verbindungsarbeiten. Außerdem verringert sich der Abnutzungsgrad, die Einsatzzahl kann erhöht werden und der innerbetriebliche Transport wird entlastet. Die Schalungsstation ist mit einem Plotter ausgestattet, der die Elementumrisse auf die Schalung entsprechend den CAD-Daten zeichnet. Damit verringert sich die Fehleranzahl gegenüber dem manuellen Einmessen. Eine weitere Reduzierung der Handarbeit wird durch den Einsatz eines Flächen-Öl-Gerätes erreicht. Mit dem Einsatz von beweglichen Regalen für die Lagerung der Verbindungselemente und Werkzeuge sowie der Einbauteile können die Arbeitswege verkürzt werden.

Für das Messen, Schneiden und Biegen von Stahlstäben werden derzeit rechnergesteuerte Maschinen eingesetzt, die die Daten mittels Leitrechner von CAD-Anlagen erhalten. Auch die Verarbeitung der Matten kann maschinell erfolgen, wobei das Flechten der Bewehrungskörbe als Handarbeit bleibt. Das Einlegen der Bewehrungsmatten und -körbe erfolgt wie üblich mittels Kraneinsatz.

Für die Betonierarbeiten sind zwei getrennte Station vorgesehen. Die I. Betonierstation für das Betonieren der Vorsatzschale und die II. Betonierstation für die Tragschale. Der Beton wird mittels Kübelbahn transportiert. Somit kann ein kontinuierlicher Fertigungsablauf gewährleistet werden.

Um eine Reduzierung des Lärmpegels beim Verdichten zu erreichen, werden verschiedene Maßnahmen getroffen. Das kann bei der I. Betonierstation durch die tiefergelegten Rüttlereinrichtungen und bei der II. Betonierstation durch das Verdichten in schalgedämmten Kammern erfolgen.

Für das Abziehen und Glätten der Elementoberfläche können ebenfalls Maschinen eingesetzt werden.

Um die Erhärtungszeit zu reduzieren, ist eine Härtekammer vorgesehen, wobei deren Anordnung für die einschaligen Elemente von besonderer Bedeutung ist.

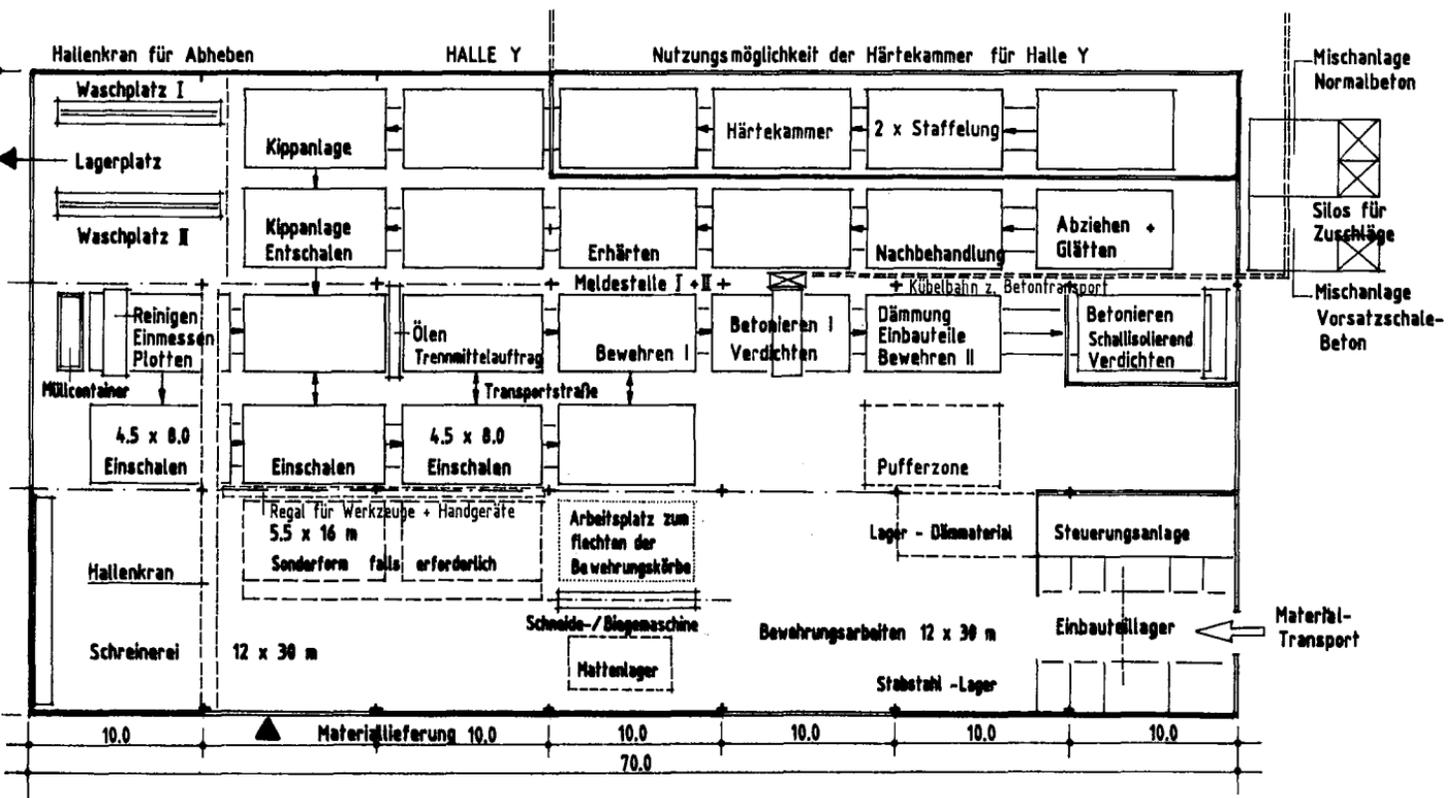


Abb. 7-1: Darstellung eines Palettenumlaufverfahrens für die Fassadenelement-Fertigung

Die Zielsetzungen der Angebots- und Auftragskalkulation (Vorkalkulation) sowie der Arbeitskalkulation sind unter Punkt 6.2 ausführlich beschrieben. Eine detaillierte Vorkalkulation setzt laut /Häberle/ das Vorhandensein einer genauen Beschreibung des Auftrags nach Menge und Beschaffenheit voraus. Für die Belange des Fertigteilwerks wird dies durch näher zu erläuternde Grobstücklisten erreicht.

Je nach Auftragsstyp und Ausschreibungsart wird die Stückliste entweder durch ein Leistungsverzeichnis vorgegeben, oder sie ist im Rahmen der Angebotsbearbeitung durch das technische Büro des Fertigteilwerks zu erarbeiten.

Die Bestimmung der Grundlagen für die Auftragsabwicklung erfolgt nach Erteilung des Auftrags mit Hilfe der Auftragskalkulation.

Die Aufgabe der Arbeitskalkulation ist es, die endgültigen Ausführungspläne im Hinblick auf die Feinplanung und Steuerung des Fertigungsablaufs auszuwerten. Arbeitskalkulation wird auf der Grundlage aller konstruktiven Details des einzelnen Fertigteils (Elementplan) durchgeführt, um Vorgabezeiten, Fertigungs- und Materialdisposition endgültig (im Sinne der Fertigungsplanung) festzulegen.

Durch sie ist für jedes Fertigteil der genaue Materialbedarf sowie Fertigungszeitvorgaben zu ermitteln. Die Angaben dienen der detaillierten Planung des Fertigungsablaufs. Darüber hinaus gibt die Arbeitskalkulation die nach Ablaufstufen aufgespalteten Soll-Kosten vor, so daß ein Soll-Ist-Vergleich möglich ist.

Die Angebotskalkulation und auch die Arbeitskalkulation wird auf der Basis einer typisierten Elementkalkulation vorgenommen. Die Berechnung der Aufwandswerte erfolgt in Abhängigkeit von ausgewählten, elementspezifischen Abmessungen.

Die rechnergestützte Erstellung von Übersichtsplänen ist sowohl für den Montageablauf und somit Fertigungsablauf als auch für die Kalkulation von besonderer Wichtigkeit. Aus den Übersichtsplänen können die exakte Lage und die genaue Anzahl jedes einzelnen Fertigteils entnommen werden.

Andererseits stellen die Elementpläne die einzelnen Fertigteile mit allen Bewehrungsangaben und allen Einbauteilen sowie allen Details dar (siehe hierzu Kapitel 2.3 und 6.3).

Außerdem enthält der Elementplan mit Angaben von Stückzahlen, Materialgütern, Gewichten und Montagehinweisen die konkreten Fertigungsanweisungen für ein spezielles Fertigteil.

die rechnergestützte Konstruktion (CAD), wobei sie Daten an Kalkulation und Arbeitsvorbereitung liefert (siehe *Abbildung 7-2*). Diese Daten werden dann an das PPS-System weitergegeben.

Im folgenden werden die als Datenlieferanten dienenden Pläne gleichzeitig ergänzend zu den Punkten 6.2 und 6.3 detailliert wiedergegeben.

Wie erwähnt, ist der Übersichtsplan ein wesentliches Dokument im gesamten Angebotsfeld, da er Informationen über

- den optischen Gesamteindruck der Baumaßnahme,
- die Stückzahl der verschiedenen Fertigteile,
- die Hauptabmessungen der einzelnen Fertigteile liefert.

Bei komplexeren Bauvorhaben ermöglicht das EDV-mäßig automatisierte Übertragen eine sichere Beherrschung der umfangreichen Datenmengen. Durch die frühzeitige Verfügbarkeit des Übersichtsplans, im Gegensatz zu den Elementplänen, wird ein vernünftiger Vorlauf der Arbeitsvorbereitung ermöglicht. Aus dem Übersichtsplan ergibt sich die notwendige Elementanzahl. Damit wird der Abruf der einzelnen Elementpläne zur Sicherung einer termin- und montagegerechten Fertigungsreihenfolge ermöglicht.

Der Montageablauf wird besonders bei größeren Bauvorhaben auf dem Übersichtsplan festgehalten. Das ermöglicht einen schnellen, optischen Überblick. Der Übersichtsplan ist infolge der Planung und Steuerung des Fertigungs- und Montageablaufs eine wichtige Grundlage, da durch ihn die Lage jedes einzelnen Teiles definiert wird.

Außerdem können die Probleme bezüglich Details, wie Geometrie und Abmessungen rechtzeitig erkannt und beseitigt werden.

Als weitere Datenlieferant wird der Elementplan erwähnt. Der Elementplan liefert Daten über die geometrische und materielle Beschreibung

- des Fertigteils,
- der Bewehrung des Fertigteils und
- aller Einbauteile des Fertigteils.

Auf der Grundlage des Elementplans wird der Schalungsbau durchgeführt. Anhand der geometrischen und materiellen Angaben ist das verlade- und montagerelevante Gewicht zu berechnen.

Eine entsprechend dem Montageablauf durchzuführende Auflistung der Elemente bietet die Grundlage für die rechtzeitige Bestellung bzw. Bereitstellung der Materialien.

Vorgehensweise bei der Kapazitätsplanung

Die Gesamtkapazität eines Werkes läßt sich in die technische und in die personelle Kapazität unterscheiden. Die technische Kapazität (Fertigungskapazität) stellt die obere Grenze der möglichen Fertigungskapazität dar. In Abhängigkeit von Größe und Anzahl der gegebenen Produktionsplätze kann eine bestimmte Menge an Fertigteilen hergestellt werden.

Die Personalkapazität beschreibt die Arbeitsleistung, die von dem eingesetzten Personal erbracht werden kann. Die Einplanung von zu produzierenden Fertigteilen richtet sich vorrangig nach der technischen Kapazität. D.h. unter Berücksichtigung des zu wählenden Termins der Fertigstellung wird jedem Teil ein technisch und wirtschaftlich geeigneter Fertigungsplatz zugewiesen. Die Personalkapazität wird dann auf diese Belegungssituation abgestimmt. Dies ist kurzfristig durch Veränderung der Arbeitszeit zu erreichen, aber auch durch Zusatzpersonal, das je nach Belastungssituation in verschiedenen Fertigungsbereichen eingesetzt werden kann.

Um Fertigteile den Produktionsplätzen zuteilen zu können, benötigt der Disponent der Arbeitsvorbereitung (AV) Informationen, die diese Fertigteile beschreiben. Es existieren zwei Wege, um diese Informationen bereitzustellen: entweder besteht bereits die Möglichkeit, rechnerintern Daten aus der Kalkulation zu übernehmen, oder diese Daten müssen manuell eingegeben werden. Beide Fälle sind zu berücksichtigen.

Dabei soll es möglich sein, Fertigteile einzuplanen, ohne daß diese Teile zur Identifizierung mit eindeutigen Kennziffern versehen werden müssen. Dies ist erforderlich, da nicht davon ausgegangen werden kann, daß von vornherein eine solch genaue Elementierung existiert. Eindeutige Nummern werden i.a. erst kurz vor Produktionsbeginn auf den Arbeitskarten für die Werkhalle vergeben. Der Disponent muß aber schon früher in der Lage sein festzustellen, ob der Platz für diesen Auftrag ausreicht.

Auswahl geeigneter Produktionsplätze

Nicht jeder Produktionsplatz ist für ein bestimmtes Fertigteil geeignet. Es muß eine Zuordnungsmatrix existieren, die es ermöglicht, eine sinnvolle Zuordnung Produktionsplatz/Fertigteiltyp vornehmen zu können.

Als Voraussetzung hierzu ist eine Möglichkeit zur Definition von Fertigteiltypen (Fassadenelement, Brüstungselement, Stütze) zu schaffen. Diese Definition soll

werden diese Arbeitsgänge aufgeteilt und verschiedenen Kolonnen übertragen.

Zur Beurteilung der personellen Kapazität müssen also folgende Informationen bereitgestellt werden: in Abhängigkeit vom Produktionsplatz sind die eingesetzten Kolonnen mit der Art ihres Einsatzes anzuzeigen, dazu die von ihnen bereits geleistete Arbeit in Stunden und Prozent der Regelarbeitszeit sowie die erforderliche personelle Kapazität für das Fertigteil in Stunden und Prozent.

Stand der Belegung

Theoretisch können auf einem Produktionsplatz, sofern die Fläche dafür ausreicht, mehrere Fertigteile gleichzeitig hergestellt werden. Dies gilt jedoch nur, wenn die herzustellenden Teile miteinander kompatibel sind. Dies ist aber oft nicht der Fall.

Ein Grund besteht in den meist unterschiedlichen Rüttelzeiten zweier Fertigteile. Der Beton des Elementes mit der kürzeren erforderlichen Rüttelzeit würde sich dabei entmischen. Die Rüttelzeiten sind im wesentlichen von der Geometrie und der Bewehrung eines Fertigteils abhängig sowie von der Betonrezeptur. Ein weiterer Grund ist z.B. unterschiedliche erforderliche Spannbewehrung von Fertigteilen, die auf der selben Spannbahn hintereinander gefertigt werden sollen.

Der Disponent muß also über den Stand der Belegung eines Produktionsplatzes an einem bestimmten Tag informiert sein, wenn er ein Fertigteil darauf einplanen will. Die Frage der Kompatibilität zweier Fertigteile ist von ihm zu beurteilen, da sie zu komplex ist, um sie durch allgemein gültige Regeln vom System lösen zu lassen. Als Grundlage für diese Entscheidung müssen zumindest die Hauptabmessungen, das Betonrezept und der Typ bereits eingeplanter Fertigteile bereitgestellt werden. Um den Einfluß der Bewehrung zu beurteilen, muß Einsicht in die Bewehrungspläne genommen werden. Da nicht davon ausgegangen werden kann, daß alle Pläne auf den Bildschirm geholt werden können, z.B. können sie extern erstellt worden sein und sind dadurch nicht im Bereich CAD gespeichert, muß der Disponent in der Lage sein auch anhand von bereitgestellten Auftragsdaten des einzuplanenden Fertigteils die entsprechenden Pläne herauszusuchen zu können.

(z.B. Binder-Spannbahn) oder flächenförmig nebeneinander (z.B. Palette, Schaltisch) gefertigt werden.

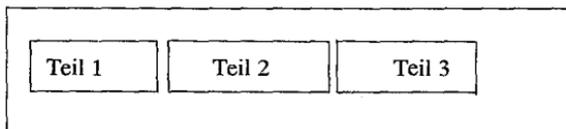


Abb. 7-3: Linienförmige Belegung eines Fertigungsplatzes

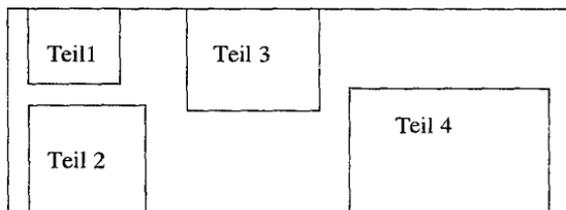


Abb. 7-4: Flächenförmige Belegung eines Fertigungsplatzes

Da von der Art der Belegung die Berechnung der vorhandenen Kapazität abhängt, muß deshalb ein Platzkriterium zur Unterscheidung vorhanden sein.

Qualitatives Beispiel:

Abmessungen Produktionsplatz: 10.0 x 3.0 (m)
 Fertigteil: 2.5 x 1.5 x 0.2 (m)

a) Linienförmige Belegung: $10.0 - 2.5 = 7.5$ (m)
 vorhandene Kapazität 75 %

b) Flächenförmige Belegung: $10.0 - 1.5 = 8.5$ (m)
 vorhandene Kapazität 85 %

In der Praxis werden fast alle flächenförmigen Plätze mit nur einem Fertigteil belegt. Ursache sind die bereits erwähnten meist unterschiedlichen Rüttelzeiten, aber auch stark unterschiedlicher Arbeitsaufwand zweier Fertigteile, was z.B. bei einer Palettenumlaufanlage zu Störungen des Arbeitstaktes führen kann. Auch die Möglichkeit des Abhebens mit dem Kran spielt eine Rolle und führt u.U. zur

Kalenderabhängige Daten

Die Kalenderabhängige Daten betreffen die technische und personelle Kapazität. Abhängig vom Datum soll für jeden Fertigungsplatz die vorhandene Kapazität prozentual dargestellt werden, für jede Arbeitskolonne die Ist-Stärke, die Soll-Arbeitsstunden und das prozentuale Verhältnis Soll-Stunden/Regelarbeitszeit. Vor Arbeitsbeginn müssen also die vorhandene technische Kapazität auf 100 % und die geplanten Soll-Stunden auf Null gesetzt werden.

Als Voraussetzung dafür muß rechnerintern ein Kalender geführt werden. Dabei soll jedes Datum mit dem entsprechenden Wochentag, der Woche, und einer laufenden Nummer verknüpft werden.

Beschreibung der vom System auszugebenden Daten

Die bisher beschreibenden Daten müssen in der Reihenfolge auf dem Bildschirm dargestellt werden, wie es der Vorgehensweise und dem Informationsbedürfnis der Kapazitätsplanung entspricht. Dabei soll das System die für ein Fertigteil geeigneten Produktionsplätze, sortiert nach ihrem Rang zur Auswahl stellen. Darüberhinaus ist es die Aufgabe des Systems, aus den Stammdaten eines Platzes sowie den bekannten Daten eines Fertigteils die zu seiner Herstellung erforderliche technische und personelle Kapazität zu berechnen. Abhängig von der erforderlichen technischen Kapazität sollen dann die Tage herausgesucht werden, an denen ein Platz mindestens diese Kapazität anbietet und die außerdem vor dem Fertig-Soll-Termin des Fertigteils liegen. Dabei ist von diesem Termin an abwärts zu suchen, um möglichst spät zu fertigen und damit Lagerkosten zu sparen. Die erforderliche Kapazität muß, um einfach vergleichen zu können, entsprechend der vorhandenen Kapazität dargestellt werden, also in Prozent und, beim Personal, in Arbeitsstunden.

Datenfluß bei Belegung eines Produktionsplatzes

Voraussetzung dafür, die Planungsaufgaben eines Disponenten zukünftig rechnergestützt zu lösen, ist die Unterteilung seiner bisherigen Vorgehensweise in programmierfähige Schritte. Es ist herauszufinden, welche Routinearbeiten vom Rechner zu übernehmen sind und an welchen Stellen nach wie vor Entscheidungen vom Disponenten zu treffen sind. Die bei dieser Analyse auftretenden Beziehungen innerhalb des planerischen Vorgehens haben Bedeutung für den anschließend vorzunehmenden Datenbankentwurf, bei dem diese Beziehungen (Relatio-

falls in einer bestimmten Reihenfolge.

Demzufolge müssen also nach Auswahl eines Platzes die möglichen Fertigungs-
termine dargestellt werden. Die Auswahl des Termins wird durch den Disponen-
ten vorgenommen.

Der nächste Schritt ist die Überprüfung der personellen Kapazität. Diese wird bei
konventioneller Vorgehensweise nicht im eigentlichen Sinne geplant. Es wird
vielmehr davon ausgegangen, daß bei "durchschnittlicher Produktionslage" je Tag
und Platz ein Element gefertigt werden kann. Der Platz wird belegt und der
Personaleinsatz abgestimmt. Stellt sich heraus, daß ein Element für diese Annah-
me zu arbeitsintensiv ist, verschieben sich entsprechend die nachfolgenden
Produktionstermine für den entsprechenden Fertigungsplatz.

Es soll jedoch in dieser Arbeit versucht werden, eine Möglichkeit zur Planung in
diesem Bereich zu schaffen.

Abhängig vom gewählten Produktionsplatz und -termin soll die gegebene Perso-
nalauslastung in Stunden und Prozent dargestellt werden. Der Disponent muß
dann entscheiden, ob bei dieser Personalauslastung das anstehende Element noch
produziert werden kann oder nicht. Für den Fall, daß ein arbeitsaufwendiges
Element nicht an einem Tag gefertigt werden kann, muß der Disponent festlegen,
welche Arbeitsgänge auf den nächsten Tag verschoben werden sollen. Dies kann
nicht durch das System erfolgen, da hier über den Ansatz von Überstunden ent-
schieden werden muß.

Als Voraussetzung für ein solches Vorgehen sind für das Element hinreichend
genaue Aufwandswerte aus der Kalkulation bereitzustellen.

Falls die Produktion eines Elements durch mehrere Kolonnen erfolgt, muß er-
kennbar sein, welcher Arbeitsaufwand auf die jeweilige Kolonne entfällt.

Als letzte Entscheidungsgrundlage vor der endgültigen Produktionsplatzbelegung
muß die evtl. bereits existierende Belegung dieses Platzes dargestellt werden,
zwecks Beurteilung der Kompatibilität bei Mehrfachbelegung.

Ist danach die Möglichkeit der Produktion festgestellt, bucht der Disponent das
Element zum festgelegten Termin auf dem entsprechenden Platz fest ein.

Sowohl die technische als auch die personelle Kapazität müssen danach für den
geplanten Tag der Fertigung aktualisiert werden, das Element wird aus der Liste
der einzuplanenden Fertigteile gestrichen.

ÜBERWACHUNG		FERTIGUNGSFOLGE - NUM			RAHMENPLAN		DO 21-06-90			
1 - F-PLATZ		3503			SYSTEM		L/H/B	16,00	0,60	0,80
FERT-DATUM	WOC	BGR	BQU	AUFTR	PAKET	POS	FA-TERM	SE-TERM		
MI 08-08-90	32	86	98	21935	LP-2010-02	LP-2010-04-01	21-06-90	20-08-90		
				21932		LP-2010-01-01	0	16-08-90		
DO 09-08-90	32	86	98	21935	LP-2010-02	LP-2010-04-01	21-06-90	20-08-90		
				21932		LP-2010-01-01	0	16-08-90		
FR 10-08-90	32	86	98	21935	LP-2010-02	LP-2010-05-01	21-06-90	27-08-90		
				21932		LP-2010-01-01	0	16-08-90		
MO 13-08-90	33	86	98	21935	LP-2010-02	LP-2010-05-01	21-06-90	27-08-90		
				21932		LP-2010-01-01	0	16-08-90		
DI 14-08-90	33	86	98	21935	LP-2010-02	LP-2010-05-01	21-06-90	27-08-90		
				21932		LP-2010-01-01	0	16-08-90		
Auswahl (weitere Inform = I, Änderung = A, Drucken = D, Exit = F7) :										

Abb. 7-5: Alpha-numerische Darstellung der Belegung eines Fertigungsplatzes /*/

ÜBERWACHUNG		PERSONALAUSLASTUNG - NUM			RAHMENPLAN		DO 21-06-90			
1 - F-BEREICH		34**			HAUPTFERTIGUNG BEREICH A					
2 - BESTAND		ARBEITSZEIT (STD/TAG)			8	ABWESENHEIT (%)		5		
		GEWERBL. PERSONAL			14	LEISTUNGSGRAD (%)		115		
3 - ZEITRAUM		EINHEIT			WO	AB ZEITPUNKT		MO 06-08-90		
WOCHE		--32-- --33-- --34-- --35-- --36-- --37-- --38-- --39-- --40--								
INGEPLANT	AH	575	554	516	569	553	538	503	479	564
VERFÜGBAR	AH	532	532	532	532	532	532	532	532	532
AUSLASTUNG	%	108	104	97	103	104	101	95	90	106
ARB.ZEIT	AH/D	8,6	8,3	7,8	8,3	8,3	8,1	7,6	7,2	8,5
IM DURCHSCHNITT		8,6	8,5	8,2	8,2	8,3	8,2	8,1	8,0	8,1
Auswahl (Drucken = D, Exit = F7) :										

Abb. 7-6: Alpha-numerische Darstellung der Personalkapazität /*/

FERT-ANWEISUNG MAGAZIN							18.06.90	
TÄTIGKEIT Einbauteile für Hauptfertigung bereitstellen							SEITE 2	
TERMIN	Dienstag, 19.06.90					ZEIT:	08.00 Uhr	
RÜCKMELDUNG	keine					ZEIT:		
=====								
PLATZ	EBT-NR	BEZEICHNUNG	AUFTR	POS	TEIL	PLAN	MENGE	AE
3502	TA1023	Kugelk.anker 4t	21935	AP-1010-02-01	3/24	KP10021	3	St
	HTV314	HTA 38/17V 350	21935	AP-1010-02-01	3/24	KP10021	4	St
3503	TA1021	Kugelk.anker 2t	21961	AP-2010-03-02	6/10	25/102	2	St
	WR0610	Wellrohr, d=50mm	21961	AP-2010-03-02	6/10	25/102	8	St
	GH2001	Gewindeh. VZ M110	21961	AP-2010-03-02	6/10	25/102	1	St
	KR0800	Kst.rohr, d=20mm	21961	AP-2010-03-02	6/10	25/102	2	St
	HT2051	HTU-Sch. 60/20/6	21961	AP-2010-03-02	6/10	25/102	6	St
3503	TA1021	Kugelk.anker 2t	21945	AP-1010-01-02	1/4	NM45001	3	St

Abb. 7-7: Aufbau einer fertigungsplatzbezogenen Einbauteilezusammenstellung

*) Häberle, A., Heinisch, M., a.a.O., BFT 6/1992

schaftlichkeitsbetrachtungen im gesamten Fertigungsprozeß - speziell beim Konstruieren der Fertigteilelemente (CAD-Einsatz im technischen Büro) und beim Plottereinsatz im Schalungsbereich - durchgeführt.

Laut Reymann/Orth läßt sich als Ergebnis des CAD/CAM-Einsatzes bei der Elementdecken-Fertigung feststellen:

- Qualitätssteigerung, da die Reklamationen um 60 - 70 % zurückgegangen sind;
- Reduktion der Durchlaufzeiten infolge der Minimierung der Wartezeiten;
- Reduktion schwerer körperlicher Arbeit; die Verlagerung der Arbeitsschwerpunkte von der Handarbeit hin zur Steuerung und Überwachung, die vor allem durch eine erhöhte Verantwortung des einzelnen für den Produktionsprozeß gekennzeichnet ist, hat positive Effekte auf Motivation und Arbeitsdisziplin;
- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit zur Sicherung der Zukunft des Werkes.
Bei einer Fertigungsmenge von 250.000 m² pro Jahr beträgt die Kostenreduzierung derzeit (1987) 1 Mio. DM ohne Berücksichtigung der AfA.

Die CAD/CAM-Technologie wird bei der Elementdecken-Produktion z.Z. in 11 Werken erfolgreich eingesetzt. Damit sind Stundenaufwandswerte, die nahezu bei 50 % der Aufwandswerte bisheriger Fertigungen liegen, zu erreichen.

Darüber hinaus geben die Informationen, die aus der Analyse der rechnergestützten Elementdeckenfertigung gewonnen wurden, einen Überblick über die Leistungsfähigkeit der angewandten Techniken.

Mit Hilfe systematischer Multimoment-Aufnahmen wurden einzelne Fertigungsbereiche bzw. Fertigungsabläufe der stationären, hauptsächlich aber der Umlauffertigung von Fassadenelementen analysiert und ausgewertet. Das Ergebnis der Auswertung ist die Ermittlung schwachstellenbehafteter Fertigungsabläufe bei den Schal- und Betonierarbeiten. Ausgehend davon können effektiv Rationalisierungs- bzw. Mechanisierungsmaßnahmen getroffen werden.

Die Feststellung der Schwachstellen im Fertigungsprozeß ist weiterhin für die Optimierungs- bzw. Rationalisierungsvorschläge von besonderer Bedeutung, da die Rationalisierung bzw. Mechanisierung der Arbeitsvorgänge die Basis für die Automatisierung bildet.

Anhand der vor Ort durchgeführten Beobachtungen und Analysen der beiden Fertigungsverfahren ist zu erkennen, daß die Paletten-Umlauffertigung gegenüber der stationären bzw. Kipptischfertigung wesentliche Vorteile hat.

Als Ergebnis der SMM-Aufnahmen wurde folgendes festgestellt:

Die unter Nebentätigkeit zusammengefaßten Teilvorgänge haben einen Zeitanteil von $p = 17.17\%$. Darunter fallen die Materialsuche mit $p = 4.68\%$ Zeitverlust und der Handtransport mit $p = 4.8\%$ als körperlich schwere Arbeit.

Wesentliche Ursache für die Zeitverluste sind die Entfernungen zwischen den Magazinen und den Arbeitsplätzen. Auch bei der Randarbeiten mit $p = 11.45\%$ macht sich das Fehlen einer Pufferzone bemerkbar.

Der Teilvorgang *Wege zur Arbeit* mit dem Anteil von $p = 4.07\%$ ist ebenfalls als Verlustzeit zu betrachten. Während der Zeiterfassung wurde festgestellt, daß jeder Arbeiter für den Weg vom Aufenthaltsraum bis zum Arbeitsplatz und zurück zwischen 7 - 10 Minuten braucht. Die Zeit läßt sich nur verringern, indem die Unterkünfte näher am Arbeitsplatz angeordnet werden; wobei dies bei der Werksplanung und -einrichtung unbedingt berücksichtigt werden muß.

Die Wirtschaftlichkeit des Fertigungsprozesses verbessert sich durch Zeitersparnis, durch bessere Nutzung der eingesetzten Maschinen, durch Verringerung der Wartezeiten und durch höhere und im Zeitablauf konstante Qualität. Nicht nur die Verbesserung der Qualität und die Verkürzung der Herstellungszeit, die zur Erhöhung der Produktivität führt, darf zu den wichtigen Zielen der Rationalisierung und Mechanisierung zählen. Vielmehr muß die Schaffung eines übersichtlichen, sicheren Arbeitsumfeldes und die Verbesserung der Arbeitsbedingungen mit im Vordergrund stehen. Bei Erfüllung dieser Bedingungen kann wiederum eine Erhöhung der Produktivität erreicht werden.

In Kapitel 6 werden die betriebliche Informationsversorgung und die Informationsträger der Konstruktion und Arbeitsvorbereitung dargestellt, da diese hinsichtlich der durchgängigen Nutzung der einmal erstellten Daten von besonderer Bedeutung sind.

Darauf aufbauend werden die Hauptelemente der Informationsversorgung betrachtet. Dazu zählen:

- die Konstruktion, als Basis eines rechnergestützten Systems,
- die Kalkulation, entsprechend ihrer Zielsetzung als Vor- oder Auftragskalkulation und
- die Betriebsdatenerfassung, um die Rückkopplung des Ist-Zustands der Fertigung zur Planung sicher zu stellen.

Den Abschluß dieses Kapitels bildet die Darstellung der Zielsetzung und der Konzeption einer BDE (Betriebsdatenerfassung) im Fertigteilwerk.

Im darauffolgenden Kapitel werden die Randbedingungen und Anforderungen an ein rechnergestütztes Fertigungsverfahren für die Fassadenelement-Produktion beschrieben.

bei der Einführung dieser innovativen Technologie die bereits vorhandenen Erfahrungen nutzen. Impulsgeber für den Produktionsablauf ist die Arbeitsvorbereitung, welche auf den Konstruktionsdaten beruht.

Den Schwerpunkt künftiger Rationalisierungsmaßnahmen bildet die Datenvernetzung und damit die Integration der Zeichnungs-, Kalkulations- und Konstruktionsarbeiten in CAD-Arbeitsplätze, deren Daten über die Arbeitsvorbereitung an die Produktion weitergeleitet und dort genutzt werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Ainedter, D.: Computereinsatz im mittelständischen Fertigteilwerk, BFT 3/1985
- /2/ Ainedter, D.: Das maßgeschneiderte CAD-Haus vom Band - Fertigteilwerk als Generalunternehmer?, BFT 3/1991
- /3/ Anderl, R.; Schilli, B.: STEP-Eine Schnittstelle zum Austausch integrierter Modelle in Weber, H.R.: CAD-Datenaustausch und -Datenverwaltung, Berlin Heidelberg: Springer Verlag 1988
- /4/ Arnold, G.: Lösungswege für eine schrittweise Durchsetzung von CAD/CAM-Systemen in der Betonfertigteilindustrie, IKIB 88, Leipzig
- /5/ Ayaydin, Y.: Tasiyici Duvar Perdeli Prefabrike Yapilar, Istanbul: Yilmaz Ofset Matbaasi 1987
- /6/ Babel, W.; Thaus, H.J.: Rechnerintegrierte Produktions-Erfahrungen aus der Praxis, VDI-Z 128/86 Nr.9 S.277-288
- /7/ Berner, F.: Verlustquellenforschung im Ingenieurbau, Entwicklung eines Diagnoseinstruments unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit von Zeitaufnahmen, Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH, 1983
- /8/ Brand, J.: Fassaden - Konstruktion und Gestaltung mit Betonfertigteilen, Düsseldorf: Beton-Verlag, 1988 Hrsg.: Fachvereinigung Betonfertigteilbau e.V. im Bundesverband Dt.Beton-u.Fertigteilind. e.V.
- /9/ Brandstetter, G.: Ein System zur Planung, Steuerung und Kostenkontrolle von Betonfertigteilwerken unter Einsatz der arbeitsplatzorientierten elektronischen Datenverarbeitung, Dissertation RWTH Aachen 1980
- /10/ Cziesielski, E.; Kötz, D.: Temperaturbeanspruchung mehrschichtiger Stahlbetonwände, BFT 4/1984
- /11/ Daubner, W.: Large Panel Housing Today, Concrete Precasting Plant and Technology, 12/1989

- /25/ Grabowski, H.; Glatz, R.: Schnittstellen zum Austausch produktdefinierender Daten, VDI-Z 128/86 Nr. 10
- /26/ Grottko, W.: Integration von Konstruktion und Arbeitsvorbereitung durch technologische Modellierung, Hanser Verlag, München; Wien, 1986
- /27/ Grüneis, H.: Betonfertigteile als konstruktive und gestalterische Elemente, BFT 6/1987
- /28/ Gudgeon, A.R.: Dekorative Oberflächen, BFT 8/1987
- /29/ Häberle, A.: Fertigungsorganisation im Betonfertigteilewerk des konstruktiven Ingenieurbaus:Entwicklung eine computergestützten Modells zur Kalkulation, Planung, Steuerung und Überwachung der Fertigung, Ehningen bei Böblingen:Expert Verlag, 1991
- /30/ Häberle, A.; Heinisch, M.: Computer-aided Planning and Control in the Precasting Plant of Structural Engineering, Concrete Precasting Plant and Technology, Issue 6/1992 page 65 - 69
- /31/ Hackstein, R.: Produktionsplanung und -steuerung (PPS), Ein Handbuch für die Betriebspraxis, 2.,überarb.,Aufl., Düsseldorf: VDI-Verlag, 1978
- /32/ Haeussler, E.: Gedanken zur Verwölbung und Rissebildung in Sandwichplatten, BFT 11/1984
- /33/ Haller, P.: Produktionssteuerung von Stahlbeton-Fertigteilen Flexibilität durch EDV, Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH, 1978
- /34/ Haller-Wedel, E.: Messen, Zählen, Auswerten und Beurteilen, Statistische Verfahren für Arbeitsstudien und Fertigung, Prüf- und Meßtechnik - Band I, Carl Hanser Verlag, München 2. Auflage
- /35/ Haller-Wedel, E.: Das Multimoment-Verfahren in Theorie und Praxis, Statistische Verfahren für Arbeitsstudien, Prüf- und Meßtechnik - Band II, Carl Hanser Verlag, München 1969
- /36/ Hebgen, H.; Heck, F.: Außenwandkonstruktionen mit optimalem Wärmeschutz, 2.Aufl. Braunschweig:Friedr. Viewag & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1977

- /52/ Koncz, T.: Fertigungstechnik - Typologie von Industriehallen und Geschößbauten in der Schweiz, E+F 1/1986
- /53/ Konzelman, E.F.: Studie: CAM in der Bauwirtschaft Möglichkeiten und Grenzen - Im Auftrag des Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft e.V. CAM im Bauwesen 1987
- /54/ Kotulla, B.; Urlau-Clever, B.P. Industrielles Bauen, Band 1, Böblingen: Expert Verlag, 1987
- /55/ Krömer, R.: Transport- und Fördertechnik für Beton- und Fertigteilwerke, BFT 12/1984
- /56/ Krömer, R.: Werkrationalisierung durch vollautomatische Universal - Kippmaschine , BFT 8/1985
- /57/ Krömer, R.: CAD/CAM-Konzept in der Elementdecken-Produktion am Beispiel des österreichischen Fertigteilwerkes Katzenberger, BFT 1/1989
- /58/ Krömer, R.: Arbeitsvorbereitung mit optimierter Gesamtkonzeption schafft Rationalisierungsnutzen, BFT 4/1987
- /59/ Krömer, R.: Moderne Deckenfertigung im Umlaufverfahren, BFT 4/1988
- /60/ Krömer, R.: Auftragsplanung im Fertigteilwerk - ein Beitrag aus der Praxis für die Praxis, BFT 10/1991
- /61/ Krömer, R.: Schrittweiser Erfolg eines mittelständischen Unternehmens mit konstruktiven Fertigteilen, BFT 9/1991
- /62/ Krömer, R.: The "Concrete Plant in the Computer", Concrete Precasting Plant and Technology, 8/1989
- /63/ Krömer, R.: 34. Ulmer Beton- und Fertigteil-Tage 1990: Grenzen - Menschen - Ideen - Beton, BFT 2/1990
- /64/ Krüger, R.: Sonder-Schalungen, Anforderungen und Konstruktionskriterien, BFT 2/1983
- /65/ Kuthe, E.O.: Automatisierte Deckenfertigung, BFT 7/1985
- /66/ Kuthe, E.O.: Ein Betonfertigteilwerk mit großer Produktpalette, BFT 7/1985

- /80/ N N.: Neues Produktionssystem für Fassadenelemente auf 60 Meter langen Kipptischen, BFT 4/1986
- /81/ N N.: Neuheiten und Verbesserungen in der Formen- und Schalungstechnik, BFT 2/1985
- /82/ N N.: Elementdeckenproduktion im Umlaufverfahren mit automatischem Stapelkran, BFT 4/1983
- /83/ N N.: Rationalisierung bei der Elementdeckenherstellung, BFT 4/1987
- /84/ N N.: Produktionslinie für Beton-Fassadenelemente, E+B 2/1989
- /85/ Orth, W.: Studie zur Modernisierung und Rationalisierung der Plattenelementfertigung KT 800
- /86/ Paschen, H.;
Wolff, H.M.: Entwerfen und Konstruieren mit Betonfertigteilen, Werner-Verlag, Düsseldorf 1975
- /87/ Pawelski, M.;
Winke, J.: CAD-Leitfaden für Architekten - Rechnergestütztes Zeichnen und Entwerfen, Karlsruhe:Verlag C.F.Müller GmbH, 1985
- /88/ Petzschmann, E.;
Hermes, N.: Rechnergestützte Kapazitätsplanung im Betonfertigteilwerk, Forschungsbericht - Universität Dortmund, 1992
- /89/ P.C.I. Architectural Precast Concrete, Precast Concrete Institut, 1973
- /90/ Pfeiffer, T.: CAD für Architekten, Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1989
- /91/ Pickel, U.: Ansteigende Tendenzen bei der Betonfassade, BFT 1/1987
- /92/ Pickel, U.: 75 Years of Cast Stone on the Facade, BFT 1/1988
- /93/ Pickel, U.: Finished Concrete Surfaces - Design and Processing, BFT 4/1989
- /94/ Poppy, W.: Betonwerk und Fertigteil-Technik, Schrittmacherfunktion in Richtung Hochtechnologie, BFT 4/89
- /95/ Rapp, H.: Bewertung von CAD-Systemen für den Einsatz in integrierten CAD/CAM-Anwendungen, Dissertationsarbeit, Universität Stuttgart, 1986

- Niederlanden, BFT 6/1991
- /112/ Schwarz, S.: Ein neues Betonsteinwerk setzt Maßstäbe - Konzeption für den Europamarkt, BFT 2/1992
- /113/ Schwarz, W.: Computerintegrierte Produktion (CIM) im Industriebau, IKIB 88 Leipzig
- /114/ Schwerm, D.: Gestaltung Fassaden aus Beton-Fertigteilen E+B 2/1984
- /115/ Schwerm, D.: Beton-Fassadenelemente - Bauen mit Betonfertigteilen, E+B 1/1985
- /116/ Seifert, H.: Von CAD zu CIM - Voraussetzung für die rechnerintegrierte Produktion ist die rechnerunterstützte Konstruktion, VDI-Z 128/86 Nr.10
- /117/ Spranz, D.: Arbeitszeiten im Baubetrieb - Ermittlung und Anwendung bei Kalkulation, Arbeitsvorbereitung und Leistungsentlohnung, Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH, 1975
- /118/ Spur, G.;
Krause, F.L. CAD-Technik: Lehr- u. Arbeitsbuch für die Rechnerunterstützung in Konstruktion und Arbeitsplanung, München; Wien: Carl Hanser Verlag, 1984
- /119/ Stadlmann, B.: Großplotter für die Fertigung von Betondecken-Elementen, E+B 3/1988
- /120/ Steinle, A.: CAD/CAM im Massivbau - Rechnerunterstützung bei Planung und Herstellung der Stahlbetonfertigteile für die Universität Riyadh, Beton-Stahlbetonbau, 7/1983
- /121/ Steinle, A.;
Hahn, V. Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, Berlin: Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 1988
- /122/ Strauch, J.: Betriebsdatenerfassung in Betonfertigteilterwerken - Automation im Beton- und Fertigteilterwerk, 35. Ulmer Beton- und Fertigteiltage 1991
- /123/ Suikka, A.: Neuzeitliche Herstellung und Standardisierung von Betonfertigteilen in Finnland, BFT 1/1987
- /124/ Van Acker, A.: Architectural Concrete Facades, Concrete Precasting Plant and Technology, 10/1989

FIRMENPROSPEKTE

Avermann: Maschinen und komplette Anlagen für Betonfertigteilwerke, Firmenprospekte, 1989

Deha: Verbundanker-Systeme, Fassadenanker-Systeme, Transportanker-Systeme. Firmenprospekt, 1989

Friedma: Verbundanker-System; Fassadenplattenanker-System. Firmenprospekt, 1989

Laier: Vibratoren-Fertigbau-Schalungen und Produktionseinrichtungen, Firmenprospekt, 1989

Technoplan: Universal-Modul-Schalssysteme, Hydraulische Stahlschalungen, Formen und Systeme für die Betonfertigteilindustrie, Firmenprospekt, 1989

Vollert-aktuell: Automatisierte Decken- und Wandfertigung, Firmenprospekt 1989

SEMINARUNTERLAGEN

Fachverband Schweiz. Betonvorfabrikanten, Die Fassade mit Beton-Elementen, Schellenberg-Druck, Pfäffikon ZH, April 1985

Studiengemeinschaft für Fertigbau e. V.

10. Deutscher Fertigbautag 24.10.85, Düsseldorf

11. Deutscher Fertigbautag 8.10.87, Mainz

Internationaler Kongreß der Beton- und Fertigteil-industrie - Zusammenfassungen
- 12 BIBM 1987

Fachtagung Betonfertigteilbau, 29.-30.09.86 Technische Hochschule Darmstadt

Lebenslauf

24. April 1962 geboren in Eskisehir / Türkei
- 1967 - 1972 Hauptschule, in Eskisehir und Bursa
- 1972 - 1975 Realschule, Mustafa Kemal Ortaokulu in Eskisehir
- 1975 - 1978 Gymnasium, Mustafa Kemal Lisesi in Eskisehir
Abschluß: Abitur
- 1978 - 1979 Besuch Goethe Institut in Hamburg
- 1979 - 1980 Studienkolleg für Ausländer in Neumünster
- 1980 - 1984 Studium an der Fachhochschule in Hamburg - Fachbereich
Architektur
Abschluß: Dipl.-Ing. FH
- 1983 - 1984 Tätigkeit in der Grundstücksabteilung der Hamburg - Mannheimer
Versicherungsgesellschaften in Hamburg
- ab Jan. 1985 Wissenschaftliche Angestellte an der Fakultät für Architektur
der Universität Anadolu in Eskisehir
- 1985 - 1988 Studium an der Universität Mimar Sinan in Istanbul
Abschluß: Magister
- ab Nov. 1988 Doktorandin an der Universität Dortmund, Fachbereich Bauwesen,
Fachgebiet Baubetrieb und Planungsverfahren
- 1989 - 1990 Tätigkeit im Architekturbüro Mertins und Partner in Dortmund
- ab Mai 1992 Freie Mitarbeiterin im Architekturbüro H. Heiermann in Dortmund