

Markus Korneli

*Integration lokaler  
CAP-Systeme in einen globalen  
Fertigungsdatenverbund*





Markus Korneli

*Integration lokaler  
CAP-Systeme in einen globalen  
Fertigungsdatenverbund*

Herausgegeben von  
Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,  
Lehrstuhl für  
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

**FAPS**



Meisenbach Verlag Bamberg

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	29. September 2000
Tag der Promotion:	2. Februar 2001
Dekan:	Prof. Dr.-Ing. H. Meerkamm
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann
	Prof. Dr.-Ing. habil. Wilfried Sauer

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

**Korneli, Markus:**

Integration lokaler CAP-Systeme in einen globalen Fertigungsdatenverbund /  
Markus Korneli. - Bamberg : Meisenbach, 2001  
(Fertigungstechnik - Erlangen ; 109)  
Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 2001  
ISBN 3-87525-146-6                      ISSN 1431-6226

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks  
und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus,  
vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des  
Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein  
anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichts-  
gestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich  
genannten Sonderfälle -, reproduziert oder unter Verwendung  
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder  
verbreitet werden.

© Meisenbach Verlag Bamberg 2001  
Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf  
Printed in Germany

**Meinem Sohn  
Clemens Vincent Aurelius  
gewidmet.**

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit habe ich während meiner Tätigkeit als Diplom-Ingenieur bei der Blaupunkt GmbH in Hildesheim erstellt.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann, dem Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, danke ich für die engagierte Förderung meiner Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. W. Sauer, dem Leiter des Institutes für Elektronik-Technologie der Technischen Universität Dresden, danke ich für die Übernahme des Koreferates.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. G.W. Ehrenstein danke ich für die Übernahme des Vorsitzes während der Promotionsprüfung.

Für die Korrekturlesung und die wertvollen fachlichen Hinweise möchte ich mich bedanken bei Frau Dr.-Ing. A. Dörnemann, Herrn A.Graen und Herrn W. Sager.

Einen besonderen Dank möchte ich Herrn Dr.-Ing. J. Sabotke und Herrn A. Graen für die engagierte Unterstützung zur Themenfindung und fachlichen Diskussion während meiner Arbeit aussprechen.

Ich danke meinen Eltern, die bereits in frühen Jahren die Basis für die Erreichung meiner beruflichen Ziele legten.

Mein herzlichster Dank gilt meiner Frau Dr. rer.-nat. Birgit Simmer-Korneli für die fortwährende moralische Unterstützung und Motivation sowie für die konstruktiven Anregungen zu meiner Arbeit.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einführung in die rechnerunterstützte Fertigung .....</b>	<b>4</b>
2.1	<b>Geschichtliche Entwicklung.....</b>	<b>4</b>
2.1.1	Die fünf Phasen bis Computer Integrated Manufacturing (CIM)...	4
2.1.2	Entwicklung in der Elektronikfertigung.....	6
2.1.3	Globales Produktionssystem.....	8
2.2	<b>Computer Integrated Manufacturing .....</b>	<b>9</b>
2.2.1	Begriffsdefinition.....	9
2.2.2	Bestandteile von CIM .....	10
2.2.3	Einordnung im Produktlebenslauf .....	12
2.2.4	CIM als Netzwerk .....	14
2.2.5	CAP in der Elektronikfertigung .....	15
<b>3</b>	<b>Softwareanalyse – Stand der Technik.....</b>	<b>18</b>
3.1	<b>Erstellung Anforderungskatalog.....</b>	<b>19</b>
3.2	<b>Analyse von Softwareprodukten.....</b>	<b>19</b>
3.2.1	CAD/CAP Schnittstelle .....	21
3.2.1.1	Koordinatenlistenaustausch .....	22
3.2.1.2	Austausch von Daten im neutralen Format .....	23
3.2.1.3	CAD-Dateiaustausch .....	24
3.2.2	Bauelementdatenverwaltung.....	26
3.2.3	Bestückoptimierung.....	26
3.2.4	Rüstooptimierung .....	29
3.2.5	NC Programmerstellung.....	30
3.2.6	Dokumentation der Fertigungsunterlagen .....	32
3.2.7	CAP/CAM-Schnittstelle .....	32
3.2.8	Maschinenkommunikation und -steuerung.....	35
3.2.9	Erfassung von Maschinen- und Prozessdaten.....	36
3.2.10	Gesamtdarstellung der Analyse für lokale Funktionen .....	37
3.3	<b>Datenaustausch zwischen Fertigungsstandorten.....</b>	<b>38</b>
3.3.1.1	Firmeninterne Intranets .....	39
3.3.1.2	Produktverlagerungen .....	40

3.3.1.3 Produktionsverlagerungen .....	41
<b>3.4 Benchmark Test .....</b>	<b>42</b>
<b>4 Konzeption eines globalen CAP-Systems.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Anforderungen an ein globales CAP-System .....</b>	<b>46</b>
4.1.1 Integration der bestehenden Insellösungen .....	46
4.1.2 Universelle Prozessbeschreibung .....	48
4.1.3 Maschinenübergreifende Optimierung .....	50
4.1.3.1 Optimierung von Multi-Vendor-Lines .....	50
4.1.3.2 Kinematische Maschinenmodelle.....	51
4.1.4 Relationale Datenbank als CIM-Schnittstelle .....	54
4.1.5 Prozesssimulation .....	55
4.1.6 Globale Systemverknüpfung .....	56
4.1.6.1 Produktdatenaustausch.....	56
4.1.6.2 Verteilte Datenbanken in CAP-Systemen .....	58
<b>4.2 Entwurf der Softwarestruktur.....</b>	<b>59</b>
4.2.1 Software Engineering .....	59
4.2.2 Lokale Softwarestruktur.....	60
4.2.3 Globale Softwarestruktur.....	61
<b>4.3 Integriertes Datenmodell .....</b>	<b>64</b>
4.3.1 Vorgehensweise zur Modellbildung.....	64
4.3.2 Analyse der Datenstrukturen.....	64
4.3.3 Entwicklung des Verzweigungsmodells.....	65
4.3.4 Umsetzung in eine relationale Datenbank.....	67
4.3.5 Globales Datenbankmanagement.....	68
<b>4.4 Alternative Lösungsansätze und deren Bewertung .....</b>	<b>70</b>
4.4.1 Interne Datenbank im Standardsystem .....	71
4.4.2 Verteilte Datenbanken in herstellerspezifischen Systemen.....	72
4.4.3 Bewertungsanalyse der Lösungsvarianten.....	73
<b>5 Entwicklung des globalen Datenbanksystems.....</b>	<b>77</b>
<b>5.1 Technische Umsetzung der Datenbankapplikation .....</b>	<b>78</b>
5.1.1 Einsatz der Viewtechnik .....	78
5.1.2 Serverstruktur.....	78
<b>5.2 Design der Datenbankanwenderschnittstelle.....</b>	<b>79</b>

5.2.1	Aufbau der Dialogmasken .....	79
5.2.2	Multilinguale Bedienung .....	82
5.2.3	Reporting und Hilfefunktionen .....	82
<b>5.3</b>	<b>Entwicklung des globalen Datenbankverbundes .....</b>	<b>83</b>
5.3.1	Globales System mit zentraler Datenverwaltung .....	83
5.3.2	Globales System mit Datenreplikation .....	86
<b>6</b>	<b>Entwicklung des Moduls zur globalen Jobverwaltung ....</b>	<b>89</b>
<b>6.1</b>	<b>Entwicklung der Jobstruktur.....</b>	<b>89</b>
6.1.1	Produktbezogene Daten.....	89
6.1.2	Prozessbezogene Daten .....	90
6.1.3	Jobverzeichnisstruktur .....	90
<b>6.2</b>	<b>Aufbau der Jobverwaltung im CAP-System.....</b>	<b>92</b>
6.2.1	Jobmanagement .....	92
6.2.2	Softwareoberfläche .....	94
<b>7</b>	<b>Ergebnisse der realisierten CAP-Module .....</b>	<b>96</b>
<b>7.1</b>	<b>Validierung der Module.....</b>	<b>97</b>
7.1.1	Jobmanager .....	97
7.1.2	Datenbank Browser.....	97
<b>7.2</b>	<b>Test der globalen Verknüpfung .....</b>	<b>98</b>
7.2.1	Erstellung und Austausch von Jobdaten .....	98
7.2.2	Informationsverbund für die Qualifizierung neuer Bauelemente.....	102
7.2.3	Vision der weltweiten Optimierung der Planungskapazität.....	106
<b>7.3</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen .....</b>	<b>109</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>112</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>114</b>





## Abkürzungsverzeichnis

AOI	Automatisches optisches Inspektionssystem
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BDE	Betriebsdatenerfassung
BE	Elektronisches Bauelement
BS	Betriebssystem
BOM	Bill of material
CAD	Computer aided Design
CAL	Computer aided Logistic
CAM	Computer aided Manufacturing
CAP	Computer aided Planning
CAQ	Computer aided Quality Management
CIM	Computer integrated Manufacturing
DB	Datenbank
ECAD	CAD für die Entwicklung elektronischer Schaltungen
EDI	Electronic Data Interchange
EDIFACT	Electronic Data Interchange for Administration Commerce and Transport
EDM	Engineering Data Management
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
FFS	Flexibles Fertigungssystem
GEM	Generic Equipment Model
HW	Hardware
LAN	Local Area Network
LPT	Leiterplatte
MCAD	CAD für die Entwicklung mechanischer Bauteile
PDM	Produkt-Daten-Management
PPS	Produktionsplanung und Steuerung
PC	Personalcomputer
QS	Qualitätssicherung
QM	Qualitätsmanagement
SECS II	Semiconductor Equipment Communication Standard II
SMD	Surface Mount Devices

SMT	Surface Mount Technology
SOP	Start of Production
SW	Software
THD	Through Hole Devices
THT	Through Hole Technology
TTM	Time to Market
WAN	Wide Area Network

## 1 Einleitung

Die weltweite Elektronikproduktion hat am Anfang des 21. Jahrhunderts eine immer größere volkswirtschaftliche Bedeutung aufgrund der hohen und stetig steigenden Durchdringungsrate in allen Produktbereichen./8/ Der Großteil der Elektronikunternehmen entwickeln und produzieren weltweit mit dem Ziel ihre Absatzmärkte global auszubauen und zu erweitern. Zunehmende Globalisierung der Unternehmen erlaubt neue Zielmärkte zu erschließen und u.a. Währungsschwankungen und Handelsbeschränkungen zu umgehen. /21/ Daraus folgt ein Trend innerhalb der Globalisierung, der dahin geht, dass die Endmontage der Produkte in die Zielmärkte verlagert wird, um die Kundennähe und die lokalen Marktvorteile zu nutzen, sowie die Anforderungen nach „local content“ erfüllen zu können./11/ In der Vergangenheit folgte die Globalisierung der Unternehmen einem bestimmten Schema, wobei die Ausgangssituation zunächst durch hoch produktive Fabriken und hohe Stückzahlen gekennzeichnet war.

Danach wurde die globale Expansion durch die Gründung von weiteren Produktionsstandorten in anderen Ländern, sogenannte Fraktale /57/, durchgeführt, was zu neuen Randbedingungen bezüglich der Produktivität, Organisations- und Verantwortungsstrukturen führte. Die bemerkenswerteste, unerwünschte Auswirkung war zunächst eine niedrigere Produktivität bei einer niedrigeren Wirtschaftlichkeit in den neuen Standorten. Zur Erreichung des ursprünglichen Zieles (s.o.) wurde das Konzept des „cooperative assembly“ entwickelt und umgesetzt, indem die verteilten Produktionsstandorte erweitert wurden, um die Fertigung weiterer Produkte unterschiedlicher Marken wirtschaftlicher zu gestalten. /11/

Die Entflechtung von Unternehmen über verschiedene Länder und Kontinente hinweg in unterschiedliche Standorte brachte auch erhebliche Veränderungen in den dezentralen Organisations- und Verantwortungsstrukturen der Unternehmen mit sich. Die Dezentralisierung unterteilte die Unternehmen in autonome Geschäftsbereiche, welche die Managementstrukturen verkomplizierten und sich negativ auswirkten. /57/

Die in einem neuen Produktionsstandort lokal optimierten und isolierten Anwendungen und Abläufe hatten einen steigenden Einfluss auf die

Inkompatibilitäten von Systemen und Prozessen zwischen den einzelnen Produktionsstandorten. /13/ Eine Verknüpfung der Unternehmensstandorte mit Hilfe von Datennetzwerken und die intensive Nutzung der Kommunikations- und Informationsmöglichkeiten zur Ausnutzung aller möglichen Synergien ist heute lebensnotwendig für ein globales Unternehmen geworden. /11/

Die heute bereits vorhandenen Möglichkeiten und Funktionen des Internets stellen eine Plattform für den weltweiten Datenaustausch zwischen Unternehmen bereit. Firmeneigene Datennetze, sogenannte Intranets, eröffnen neue Perspektiven für die plattformübergreifende Integration von Geschäftsprozessen. Sie verbinden den Office- mit dem Produktionsbereich und mit den planenden und steuernden Systemen. Konsequenterweise muss diese Technik des Intranets auch von Automatisierungssystemen in Produktionsanlagen unterstützt und erweitert werden. Begünstigt wird dies durch den immer stärkeren Einsatz von PC-Lösungen für Automatisierungsaufgaben. /21/

In der vorliegenden Arbeit wird eine Modell-Systemlösung vorgestellt, die die Globalisierung in der Elektronikfertigung durch die Integration von Systemen zur Planung und Optimierung der Leiterplattenbestückung durch einen globalen und standardisierten Datenverbund unterstützt und wirtschaftlicher gestaltet.

Dafür wurde zunächst ein Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Automatisierung und der Stand der Technik im Computer Integrated Planning (CAP) Umfeld dargestellt. Basierend auf der Fachliteratur wurden die Funktionen der CAP-Softwareprodukte mit Hilfe einer umfassenden Marktanalyse analysiert und bewertet. Der so ermittelte Stand der Technik und die Anforderungen an eine zukunftsorientierte Informations- und Kommunikationstechnologie dienten als Grundlage für das Konzept eines globalen Computer Aided Planning (CAP) Systems. Dieses Konzept beinhaltet als Kern ein prozessübergreifendes Datenmodell in Form einer relationalen Datenbankstruktur, welche alle wichtigen Informationen für die Optimierung, Simulation und Programmierung von Automaten für die Bestückung von elektronischen und elektromechanischen Bauelementen enthält. Ausgehend von lokalen Modellen wurden die Charakteristiken auf

---

globale Systemstrukturen übertragen, um ein globales Datenvernetzungs-Modell zu erstellen. Hierbei spielte die Schnittstellenproblematik zur Verwaltung und dem Austausch von Fertigungsdaten eine besondere Rolle. Zur Realisierung der benötigten Schnittstellen wurden globale Softwaremodule unter Anwendung der bestehenden Webtechnologie zur Verknüpfung der lokalen CAP-Systeme entwickelt.

Ein Test des neu entwickelten, globalen CAP-Systems und die durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung schließen die Arbeit ab.

## 2 Einführung in die rechnerunterstützte Fertigung

### 2.1 Geschichtliche Entwicklung

Die industrielle Entwicklung der letzten 50 Jahre war hauptsächlich durch die steigende Automatisierung in allen Bereichen des Maschinenbaues geprägt. Die allgemeine Einführung der NC (Numeric Control) Technik vollzog sich in den Jahren von 1965 bis 1975 jedoch schleppend. Es war die Furcht vor den Anfangsschwierigkeiten und den daraus resultierenden Ausfallzeiten der Produktion, die zur Zurückhaltung bei der Beschaffung von NC-Maschinen führten. Hinzu kamen die damit verbundenen erheblichen Mehrkosten für Maschine, Steuerung, Programmierung und für die Ausbildung der Mitarbeiter. /27/ Getrieben durch die Miniaturisierung in elektrischen und elektronischen Baugruppen, durch die Steigerung der Stückzahlen und den zunehmenden Kostendruck durch den internationalen Wettbewerb, vollzog sich die Einführung der NC-Technik in der Elektronikfertigung rasant, jedoch zeitversetzt zur allgemeinen Entwicklung im Maschinenbau.

#### 2.1.1 Die fünf Phasen bis Computer Integrated Manufacturing (CIM)

Die geschichtliche Entwicklung von der einfachen Mechanik bis zur komplizierten digitalen Rechnersteuerung wurde in fünf Phasen unterteilt und in der nachfolgenden Darstellung beschrieben. Die Voraussetzungen zur Planung moderner und flexibler Fertigungseinrichtungen haben sich im Verlauf der letzten 50 Jahre ebenfalls stark verändert. Gründe dafür waren: Die heutige rechnerunterstützte Technik ist weitaus komplizierter, wesentlich teurer und das Risiko ist noch größer als bei einzelnen NC-Maschinen. Die oben erwähnten fünf Zeitphasen lassen sich wie folgt stichpunktartig charakterisieren:

1. Phase: 1950 - 60 mit langen Produktlebenszyklen, Aufbau der Fertigungen nach dem Krieg. Maschineninvestitionen wurden noch nach dem alten Muster getätigt, Automatisierung spielte noch keine Rolle.

2. Phase: 1960 - 70 Erweiterung und Rationalisierung der Produktionen durch neue Maschinensysteme, erstmals spürbarer Wettbewerb im Export- und Importgeschäft.

3. Phase: 1970 - 80 die Elektronik hält Einzug in alle Bereiche der Fertigungstechnik, kürzere Produktlebenszyklen, sinkende Stückzahlen, höhere Varianzen, Einführung der NC-Maschinentechnik, in USA erste Verkettungen von NC-Maschinen.

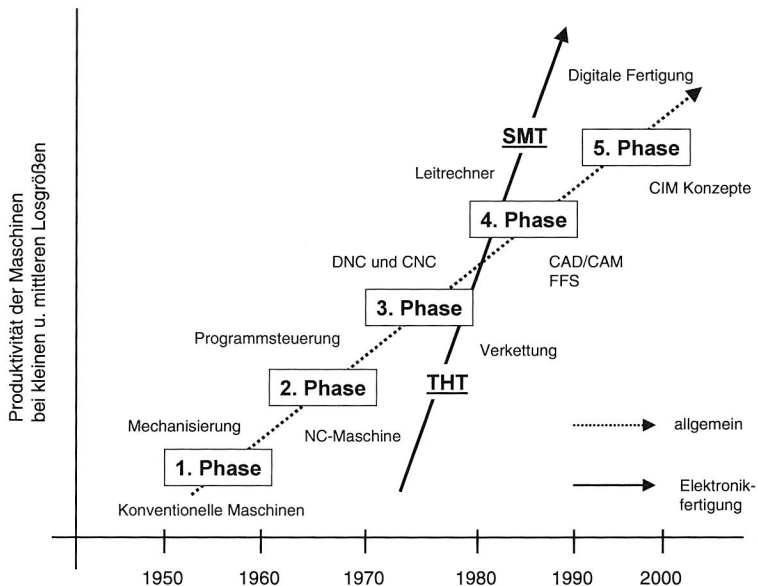


Bild 1: Die fünf Entwicklungsphasen im allgemeinen Maschinenbau und der Elektronikfertigung von konventionell bis Computer Integrated Manufacturing nach /27/

4. Phase: 1980 - 90 Insellösungen, NC-Maschinentechnik, höhere Anforderungen nach Flexibilität und Produktivität, fehlende Datenintegration innerhalb der Fertigung und der Fertigung mit anderen Firmenbereichen.

5. Phase: ab 1990 Schnellere Maschinen, automatische Transportsysteme, Einführung von Computer Aided Design (CAD)/ Computer Aided

Manufacturing (CAM) und Computer Integrated Manufacturing (CIM), Wegbereitung zur Digitalen Fabrik. /26/

Die 5 Phasen von konventionell bis CIM spiegeln die schrittweise Erhöhung der Produktivität der mechanischen Fertigungssystemen für kleinere und mittlere Losgrößen wieder. Dazu trugen im wesentlichen die Weiterentwicklungen auf 5 Gebieten bei:

1. Maschinen,
2. Mechanische Automatisierungseinrichtungen,
3. Steuerungstechnik,
4. Rechnertechnik,
5. Datennetze, CAD/CAM. /27/

Neue Informationstechnologien haben ebenfalls die Fertigungsumgebungen in den letzten Jahren dramatisch verändert. Computer Integrated Manufacturing war und ist immer noch im Focus der Unternehmen. In der Vergangenheit wurden die Systemfunktionen an den traditionellen Arbeitsweisen der seriellen und sequenziellen Arbeitsabläufe ausgerichtet. Die neuen Anforderungen mit kürzeren Lebenszyklen und Just in time (JIT) Fertigung als globale Herausforderung stellten neue Anforderungen an die Unternehmen und deren traditionelle Arbeitsabläufe. Die neuen Anforderungen nach parallelen und simultanen Arbeitsabläufen in allen Unternehmensbereichen veränderten die Randbedingungen der Unternehmensfunktionen und der CIM-Systeme grundlegend.

Neue Technologien und deren Unterstützung durch CIM-Systeme können nur dann durchgängig erfolgreich sein, wenn die neuen notwendigen Funktionen analysiert, angepasst oder neu entwickelt und in einen neuen Ablauf gebracht werden. Davon sind jedoch nicht nur die operativen, sondern auch administrativen Funktionen eines Unternehmens betroffen. /1/

### *2.1.2 Entwicklung in der Elektronikfertigung*

Die Steigerung der Produktivität in der Elektronikfertigung wurde maßgeblich durch die Einführung der Through Hole Technology (THT) in den 70-ziger Jahren und die Surface Mount Technology (SMT) in den 80-ziger Jahren ausgelöst. Die schnelle Entwicklung in der Elektronikfertigung in den letzten



30 Jahren übertraf die allgemeine Entwicklung des Maschinenbaus, so dass die Steigerung der Produktivität wesentlich schneller voranging als erwartet (siehe Bild 1). Die Einführung und Weiterentwicklung der Technologien THT und SMT, welche den gesamten Prozess von der Bauelementherstellung bis zur Verarbeitung umfassen, brachte einen großen Fortschritt für die gesamte Elektronikfertigung. /28/,/39/

Um die rasante Entwicklung in der Elektronikfertigung nachvollziehbar erklären zu können, sollen zunächst die Technologien näher untersucht werden. Die Abläufe in der Fertigung von elektronischen Flachbaugruppen lassen sich vereinfacht als hochautomatisierte Kombination der klassischen Montage- und Teilefertigung charakterisieren. Der Schwerpunkt in der Montagefertigung ist dabei die optimierte Bereitstellung (Teileanzahl, Zeitpunkt und Ort) der zu montierenden Einzelteile und Baugruppen an den jeweiligen Montageplätzen. Die Steuerungs- und Positionierungsaufgaben ( $X, Y, \alpha$ ) für die einzelnen Fügeprozesse entsprechen dagegen der mechanischen Teilefertigung.

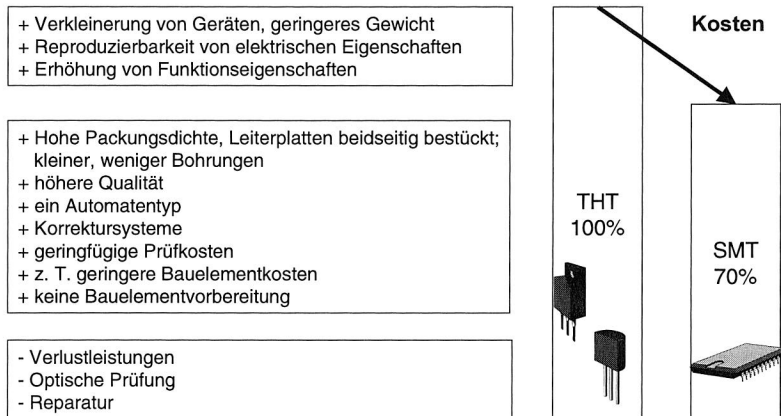


Bild 2: Erzielbare Kostenreduzierung durch die Substitution der THD durch SMD nach /39/

Durch die Entwicklung und Standardisierung der bedrahteten Bauelemente (THD) wurde es möglich diese mit Hilfe von Bestückungsmaschinen auf die

Flachbaugruppen automatisiert zu fördern und zu bestücken. Dadurch konnte die Produktivität erheblich gegenüber der manuellen Bestückung gesteigert werden. Doch die Verkleinerung der elektronischen Geräte löste einen weiteren Innovationsschub bei der Entwicklung von elektronischen Bauelementen aus. Die nachfolgenden, oberflächenmontierbaren Bauelemente (SMD) sind u.a. in der Packungsdichte und dem Platzbedarf den THD-Bauelementen überlegen. Durch die schnelle Substitution der THD- durch die SMD-Bauelemente konnte ein weiterer noch größerer Rationalisierungseffekt erzielt werden. Die Einführung der SMT-Technologie hatte jedoch nicht nur positive Einflüsse auf den eigentlichen Bestückungsprozess sondern auch auf die vorgelagerten und nachgeschalteten Prozesse (Lotpaste auftragen, Reflowlöten, etc.). So konnte der Gesamtprozess optimiert und somit die Produktivität erheblich und nachhaltig gesteigert werden. Der erzielbare Kosteneinsparungseffekt wurde auf 30% beziffert, siehe Bild 2.

Die Verknüpfung der hochautomatisierten und rechnerunterstützten Bestückungssysteme in der Leiterplattenbestückung zu vernetzten Systemen war und ist die Aufgabe der heutigen und zukünftigen Ingenieure. Die Verknüpfung kann heute jedoch nicht mehr auf lokale Fertigungsgrenzen beschränkt werden, sondern muss im Rahmen der Globalisierung auf globale Produktionssysteme übertragen werden.

### *2.1.3 Globales Produktionssystem*

Von einem globalen Produktionssystem kann man dann sprechen, wenn sich in mindestens zwei voneinander durch Staatsgrenzen getrennten Ländern mindestens jeweils eine Produktionsstätte eines Unternehmens befindet, die gemeinsam zum Leistungserstellungsziel des Gesamtunternehmens beitragen. Diese Unternehmen zeichnen sich dadurch aus, dass ihre Präsenz und wirtschaftliche Aktivität in geographisch oft weit voneinander entfernten Ländern liegen. Sie operieren daher in zum Teil wirtschaftlich, sozial, politisch, legislativ, ethnisch und klimatisch unterschiedlichen Umfeldern. /14/, /17/, /34/

Globalisierung kann weiterhin unterschieden werden nach extern und intern. Die Transferierbarkeit von Fertigungsaufgaben in andere Unternehmens-

standorte, welche geografisch voneinander getrennt sind, nennt man externe Globalisierung. Interne Globalisierung kann als Antwort kleinerer und mittlerer lokaler Unternehmen auf die externe Globalisierung zur Vermeidung der Verluste und Verbesserung der internen Abläufe und Prozesse mit „Design for Production“ angesehen werden. /41/

Eine datentechnische Unterstützung der globalen Produktion löst somit eine Erweiterung des bestehenden CIM (Computer Integrated Manufacturing) Begriffes aus. Die dazu notwendigen Grundlagen sowie eine genauere Begriffserklärung und Darstellung der CIM-Strategie erfolgt im nachfolgenden Kapitel.

## **2.2 Computer Integrated Manufacturing**

Zur Verwirklichung von “Digitalen Fabriken” müssen die verschiedenen Rechnerwelten eines Unternehmens zusammenwachsen, denn ohne den Einsatz der Informations- und Kommunikationstechnologie ist eine wirtschaftliche und technische Umsetzung schwer denkbar. Seit den 90-ziger Jahren wird deshalb verstärkt an durchgängigen Systemen basierend auf der CIM-Technologie geforscht und entwickelt. Zum besseren Verständnis wird im nächsten Abschnitt in die Entwicklung und die Bestandteile der CIM-Technologie eingeführt.

### *2.2.1 Begriffsdefinition*

CIM - Computer Integrated Manufacturing - ist ein häufig gebrauchter Begriff für den Einsatz von Informationstechnologien im Produktionsprozeß. CIM ist ein Sammelbegriff, der in weiten Teilen der Produktion noch nicht verwirklicht wurde. Das Denken in Teilbereichen und Einzeloptimierungen wird erst langsam durch das Denken von Fertigung als Gesamtsystem ersetzt. Als Gesamtsystem ist hier der Produktionsbetrieb gemeint. Ohne das Denken im Gesamtsystem und dessen daraus folgende Bild im Rechnersystem des Produktionsbetriebes entstehen heute operative Lücken, weil die Produktionsstrukturen und die Mensch-Technik-Organisation nicht mehr zeitgemäß sind.

Die Geschichte des CIM-Begriffes ist noch nicht alt. Der Begriff wurde in Deutschland mit der Hannover Messe 1985 das erste Mal offiziell publiziert und verwendet. Auf dieser Messe traten erstmals große Unternehmen der Informationstechnik mit dem Begriff auf. „Seitdem darf in der Fertigung und im Unternehmen Integration wieder als strategisches Ziel gelten.“ /15/ In den USA dagegen wurde der Begriff CIM bereits 1973 durch die Autoren J. Harrington und A. D. Little publiziert. /15/

Der eigentliche Begriff CIM und die Abgrenzung der einzelnen CA-Begriffe gegeneinander wurde u.a 1986 durch den Ausschuß des AWF (Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung) vorgenommen. CIM wurde dabei definiert als "Das informationstechnische Zusammenwirken zwischen CAD, CAP, CAM, CAQ, PPS und entspricht weitgehend der vorangegangenen Beschreibung.“ CIM steht weiterhin für die Strategie die informationstechnischen Anwendungen CAD, CAP, PPS, CAM und CAQ in ein Gesamtsystem zu integrieren.

Die Interpretation des Begriffes ist nicht einheitlich. Ein Schwerpunkt des Verständnisses liegt sicher darin, dass die Dateneingaben, welcher Art auch immer, in allen diesen Systemen nur ein einziges Mal vorgenommen werden. Das heißt, dass die anderen Systeme, falls sie dieselben Eingaben benötigen, diese aus vorgelagerten entnehmen müssen. Dies wiederum bedeutet, dass den Systemen zumindest in der groben Struktur, die gleichen konzeptionellen Modelle zugrunde liegen müssen. /56/

### *2.2.2 Bestandteile von CIM*

Die genannten CA-Komponenten decken den größten Teil der Entwicklungs- und Produktionsprozesse ab, wobei CAD für (Computer aided Design) die rechnerunterstützte Entwicklung und Konstruktion, CAP für (Computer aided Planning) die rechnerunterstützte Arbeitsplanung, CAM für (Computer aided Manufacturing) die rechnerunterstützte Fertigung, CAQ für (Computer aided Qualitymanagement) die rechnerunterstützte Qualitätssicherung und PPS für die rechnerunterstützte Produktionplanung und Steuerung stehen. Die Integration der CA-Komponenten in einem CIM-System wird im Bild 3 dargestellt. Der Schwerpunkt dieser Darstellung liegt dabei auf den informationstechnischen Hilfsmitteln.

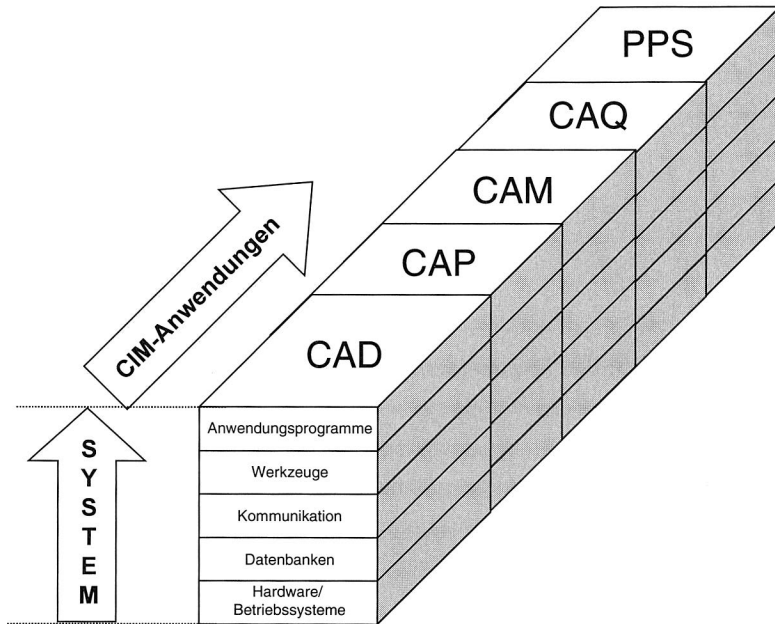


Bild 3: Schichtendarstellung der Systemstrukturen und CIM-Komponenten nach IBM /54/

Folgende Basisfunktionen sind für eine CIM-Lösung Voraussetzung:

1. Kommunikation der EDV-Anlagen über Netzwerke mit standardisierten Netzprotokollen,
2. Einheitliche Datenformate und Zugriffe für den Informationsaustausch zwischen den Bereichen und
3. Koordination des Informationsflusses. /54/

In den nachfolgenden Abschnitten wird der CIM-Begriff aus unterschiedlichen technischen Beschreibungsweisen näher erläutert.

Der Aufbau der einzelnen CA-Komponenten folgte in dem Bild 3 immer der gleichen Systematik. Die Basis stellten die Hardware und die Betriebssysteme dar. Darauf bauen die Datenbanken, Kommunikationstools, Werkzeuge und Anwendungsprogramme auf. Die Darstellung der CA-Komponenten als Anwendungen sind dabei in keiner bestimmten Reihenfolge skizziert.

Die prognostizierten Entwicklungen im CIM-Umfeld bis hin zur *digitalen Fabrik*, sind am Ende des 20. Jahrhunderts immer noch Vision. Die Vernetzung und Integration der Systeme hat bereits durch die rasante Entwicklung der Hard- und Softwaretechnologien wesentliche Fortschritte gemacht. Bezogen auf die CIM-Darstellung nach IBM kann von einer dynamischen Entwicklung der Systemgrundlagen „Hardware und Betriebssystem“ gesprochen werden. Die darüber liegenden Systemteile entwickelten sich dagegen nur zögernd.

Die derzeit in vielen Unternehmen bestehenden datentechnischen Inseln könnten so zu einem Gesamtsystem wachsen, wenn die Kommunikations- und Anwendungssysteme schneller und bedarfsorientierter an die Notwendigkeiten in der Fertigung angepasst werden würden.

Weitere Motoren für die fortschreitende Integration der CA-Komponenten sind die wachsenden Anforderungen an einen kürzeren Time to Market (TTM) Prozess und das umfassende Qualitätsmanagement über den gesamten Produktionszyklus gesehen.

### 2.2.3 Einordnung im Produktlebenslauf

Eine weitere Betrachtungsweise der CIM-Technologie entsteht durch die Einordnung der CA-Komponenten anhand des allgemeinen Produktlebenszyklusses (siehe Bild 4). Die Komponenten kommen hierbei in den jeweiligen Produktstadien unterschiedlich zum Einsatz.

Die CAD-Komponente wird frühzeitig in der Konstruktionsphase für die Erstellung der Entwicklungsproduktdateien eingesetzt. Ein breiter und hochentwickelter Einsatz der CAD-Komponente ist allen technischen Bereichen gemeinsam und trägt hauptsächlich dem Umstand Rechnung, dass in der Entwicklung über zwei Drittel der Produktkosten festgelegt werden. Deshalb wurden bereits in der Vergangenheit hohe Investitionen in die Rechnerunterstützung im Entwicklungsprozeß vorgenommen und dann die ersten planerischen Fertigungsdaten in der Prototyping Phase mit Hilfe der CAP-Komponente generiert. Die planerische Funktion (CAP) im CIM-System hat während der Produkterprobung eine große Bedeutung für die Optimierung des „Designs for Manufacturing“, um dann mit Hilfe der Simulation die Maschinen und Einrichtungen wirtschaftlich zu konfigurieren.

Neben den Komponenten CAD und CAP kommt mit dem Start der ersten Vorserien innerhalb der Produktentstehung eine weitere CIM-Komponente zum Einsatz: PPS.

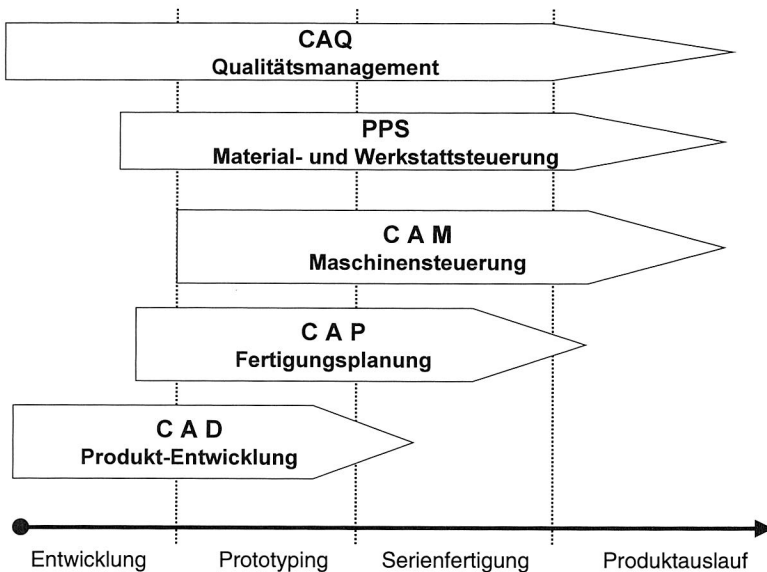


Bild 4: Einordnung von CIM im Produktlebenszyklus

Der Einsatz eines PPS-Systems wird durch die komplizierten Mechanismen zur Steuerung des Materials, der zu fertigenden Aufträge und zur Steuerung der Fertigungswerkstätten unabdingbar. Nach der Simulation und Optimierung der Produktdaten im CAP-System werden sie durch das CAM-System maschinennah bereitgestellt. Die CAM-Komponente übernimmt die Datenversorgung und Steuerung der Maschinensysteme in den Fertigungswerkstätten. Eine prozessbegleitende Funktion hat der CAQ-Baustein, der während des gesamten Produktlebenszykluses zum Einsatz kommt. Von der Produktidee über die Entwicklung und Fertigung der Produkte ist eine kontinuierliche Sicherstellung der Qualität zur Zufriedenheit der Kunden zwingend notwendig. Als wichtige Basis für die Maßnahmen zur

Qualitätssicherung (nach QS9000 durchgeführt) wird ein rechnerunterstütztes CAQ-System zu deren Umsetzung und Verfolgung eingesetzt.

Das optimale Zusammenspiel aller CIM-Komponenten CAD, CAP, CAM, CAQ und PPS ist für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens von größter Bedeutung. Das Leistungsvermögen von CIM-Systemen ermöglicht jedoch nicht nur Aufgaben zu bewältigen, die bisher gar nicht oder noch nicht wirtschaftlich gelöst werden konnten, es beinhaltet ebenfalls bei deren durchgängigem Einsatz ein großes zusätzliches Einsparungspotential. Dadurch gelingt es die Entwicklung, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Qualitätssicherung mit den kaufmännischen Bereichen enger zu verknüpfen und monetäre Zusammenhänge im Produktionszyklus transparenter zu machen. /35/

Für einen reibungslosen Datenaustausch müssen die einzelnen CA-Komponenten in ein unternehmensweites Netzwerk eingebunden werden. Die CIM-Technologie als Datennetzwerk zwischen den einzelnen Unternehmensbereichen wird im nächsten Kapitel beschrieben.

#### *2.2.4 CIM als Netzwerk*

Die datentechnische Verknüpfung der einzelnen CA-Komponenten und deren Funktionen in einem Netzwerk lässt die Kostenvorteile der vollen CIM-Funktionalität erst richtig wirksam werden. Die Übersicht über die Funktionen der einzelnen CA-Komponenten in dem Bild 5 verdeutlicht die informationstechnischen Abhängigkeiten untereinander.

Der datentechnische Informationsfluss von der CAD über die CAP zur CAM-Komponente ist ein wesentlicher, direkter Pfad zwischen Entwicklung und Produktion.

Die gezeigten Komponenten PPS und CAQ stellen, wie bereits oben beschrieben, sogenannte Basis- und/oder Querschnittsfunktionen im CIM-System bereit. So werden die logistischen Informationen im PPS-Teilsystem erfasst, optimiert und wieder zur Verfügung gestellt. Die CAQ-Komponente übernimmt dann die Erfassung, Verdichtung und Auswertung aller qualitätsrelevanten Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus.



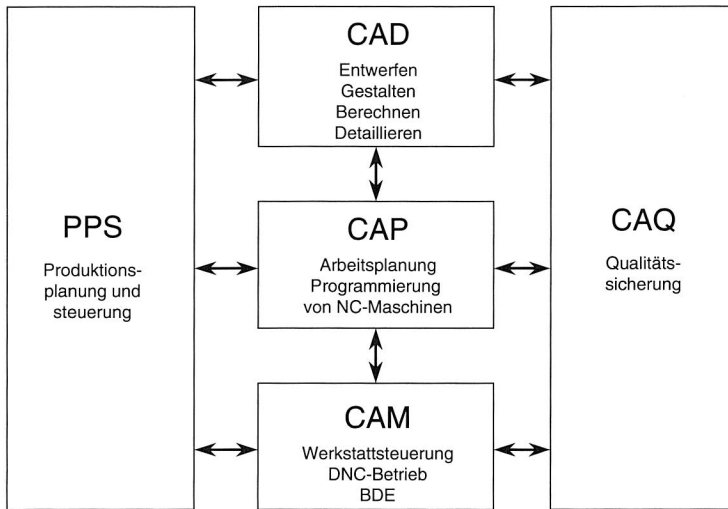


Bild 5: Funktionsübersicht der CIM-Komponenten in der rechnerintegrierten Produktion /56/

Die informationstechnische Verknüpfung zwischen diesen Systemen zum CIM-System ist dann erfolgreich abgeschlossen, wenn Informationen, welche in einem nachfolgenden System benötigt werden, aus dem voranstehenden System ohne manuellen Aufwand übernommen werden können. Sogenannte Medienbrüche werden beseitigt und inkonsistente Daten verhindert.

### 2.2.5 CAP in der Elektronikfertigung

Die CIM-Komponente für die Unterstützung der Fertigungsplanung (CAP) soll in diesem Abschnitt detaillierter beschrieben werden, um einen kausalen Zusammenhang zwischen dem allgemeinen CIM-Modell und dem Thema dieser Arbeit aufzubauen. In den vorangegangenen Abschnitten und Bildern wurde die zentrale Stellung der CAP-Komponente innerhalb des CIM-Modells deutlich. Die CAP-Komponente hat innerhalb der klassischen CAD/CAM-Prozesskette eine besondere Bedeutung aufgrund der vielfältigen Schnittstellen zu allen anderen CAX-Komponenten. Die zentrale Position im CIM-Modell verdeutlicht bei dieser Komponente die Forderung nach einem

durchgängigen System, bei dem alle benötigten Daten aus den vorangegangenen System digital übernommen werden müssen. Die Durchgängigkeit eines CIM-Systems stellt die entscheidende Grundlage für den wirtschaftlichen Einsatz dar.

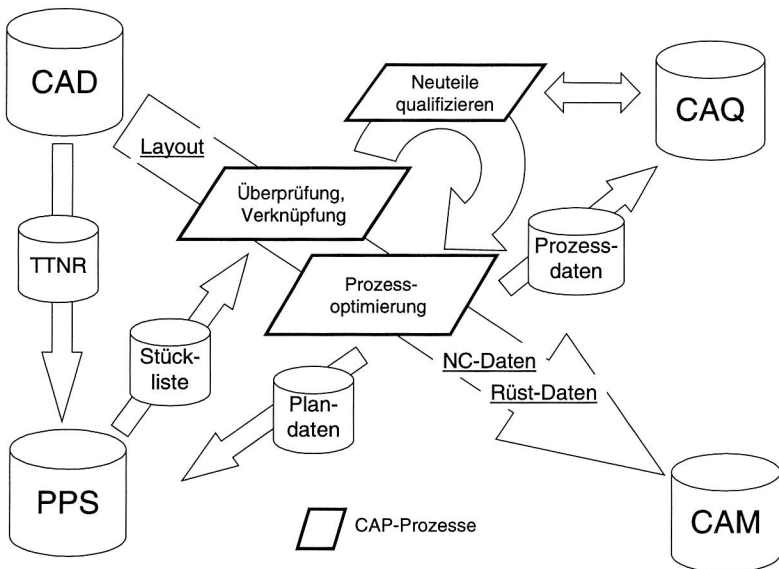


Bild 6: Abläufe und Datenflüsse ausgewählter Prozesse innerhalb der CAD/CAM-Prozesskette der Elektronikfertigung

Die CAP-Komponente kann eine Vielzahl von planerischen Aufgaben unterstützen. Auf die folgenden Aufgaben aus dem Umfeld der Elektronikfertigung soll im Besonderen eingegangen werden:

- Überprüfung der Entwicklungsdaten auf Bestückbarkeit,
- Untersuchung und Festlegung der Maschineneignung von elektronischen Bauelementen,
- Prozessoptimierung bzgl. Takt- und Rüstzeiten und
- die Bereitstellung der Arbeitsplan- und Maschinensteuerungsdaten.

Am Anfang der CAD/CAM-Prozesskette steht die Festlegung des Layouts der Flachbaugruppe. Die Rechnerunterstützung erfolgt hierbei durch den

Einsatz der CAD-Systeme im Entwicklungsprozess. Dabei werden die Bestückpositionen, die Bauformen und die Typteilenummern festgelegt und digital im CAD-File sowie der dazugehörigen Stückliste dokumentiert. Die Verwaltung und Disposition der Stückliste erfolgt jedoch im nachgelagerten PPS-System. Bevor die Entwicklungsdaten in der CAP-Komponente weiterverarbeitet werden können, ist es notwendig eine Plausibilitätsprüfung der Layout- und Stücklistendaten durchzuführen. Notwendige Korrekturen müssen danach in die vorgelagerten CAX-Prozesse zurückgeführt werden. Die Entwicklungsdaten sind somit die Basis für alle weiteren CAP-Prozesse. Sind in den Entwicklungsdaten Neuteile enthalten, so müssen entsprechende Eignungsuntersuchungen durchgeführt werden. Dabei werden die einzelnen Parameter untersucht, ggf. erprobt sowie festgelegt und wiederum für die nachfolgenden Prozesse zur Verfügung gestellt.

Der Schwerpunkt der CAP-Komponente innerhalb der CAD/CAM-Prozesskette ist die Optimierung der Takt- und Rüstzeiten. Die Ergebnisse beeinflussen erheblich die Produktivität in der Flachbaugruppenfertigung. Der Ablauf kann grob in zwei Schritte unterteilt werden, wobei im ersten Schritt die Entwicklungsdaten (Bestückungsposition und Stückliste) miteinander verknüpft und im zweiten Schritt takt- und rüstzeitminimiert den Bestückungsmaschinen zugeordnet werden. Für diese Zuordnung sind komplexe Algorithmen notwendig, um optimierte Ergebnisse in kürzester Rechnerbearbeitungszeit zu bekommen. Die Ergebnisse werden danach in Form von Arbeitsplandaten dem PPS-System zur Verfügung gestellt sowie die Maschinensteuerungsdaten (NC-Programme, Rüstinformationen, Arbeitsdokumentation, etc.) werden mit Hilfe der CAP-CAM-Schnittstelle den Fertigungswerkstätten bereitgestellt. Die Abläufe und Abhängigkeiten innerhalb der CAP- und zwischen den anderen CAX-Komponenten sind in dem Bild 6 schematisch dargestellt. Für die datentechnische Unterstützung dieser Abläufe und Prozesse müssen leistungsfähige CAP-Softwaresysteme eingesetzt werden. Die Auswahl eines geeigneten CAP-Softwaresystems soll durch die folgende Analyse der marktverfügbaren CAP-Softwaresysteme unterstützt werden.

### 3 Softwareanalyse – Stand der Technik

Der Ausprägung der CIM-Systeme wurde in den 80-er und 90-er Jahren durch die zur Verfügung stehende Hardware beeinflusst. Die existierenden Großrechnersysteme bildeten das informationstechnische Rückgrat im Unternehmen. Softwareanwendungen unter diesen Systemen unterstützten Funktionen der Entwicklung (CAD) der Logistik (PPS) und der planerisch-technischen Abteilungen (CAP). Die Steuerung und Programmierung der Maschinensysteme erfolgte dagegen maschinennah mit Hilfe von herstellerspezifischen Softwarelösungen.

Neuere Softwareanwendungen für die CAP-, CAM- und CAQ-Funktionen wurden dagegen als Insellösungen auf Personalcomputern (PC) entwickelt. Der Datenaustausch zwischen den verschiedenen CAX-Komponenten und deren Hard- und Softwaresystemen war von den Herstellern nur schwierig zu realisieren, so dass Medienbrüche entstanden und erhebliche Datenmengen mit hohem manuellem Aufwand konsistent gehalten werden mussten.

In dieser Arbeit sollte zunächst ein CAP-Softwaresystem zur Optimierung und Erstellung von NC-Programmen zur Bestückung von Flachbaugruppen aus den bereits bestehenden Softwareprodukten ausgewählt und mit dem Stand der Technik verglichen werden.

Der Umfang der Softwaresysteme konnte dann mit Hilfe einer Marktanalyse untersucht und dokumentiert werden. Die Analyse wurde auf bereits vorhandene Systeme für die CIM-Teilbereiche CAP und CAM für die Elektronikfertigung begrenzt, da auf diese Funktionen in dieser Arbeit besonders eingegangen werden sollte. Die Analyse wurde in den folgenden Schritten durchgeführt:

1. Vorbereitung: Erstellung Anforderungskatalog
2. Analyse von Softwareprodukten inkl. Datenschnittstellen
3. Benchmark Test von ausgewählten Softwareprodukten.

### 3.1 Erstellung Anforderungskatalog

Für die Analyse von Softwareprodukten musste zuerst eine Anforderungsliste mit allen technischen Parametern für ein funktionsoptimales CAP/CAM-System erstellt werden. Die einzelnen Funktionen wurden einerseits aus der Literatur /15/,/30/,/49/,/51/,/56/ und andererseits durch eine Analyse der vorhandenen Unternehmensprozesse erhoben und in mehrere Funktionsgruppen separiert. Die Funktionsgruppen orientierten sich dabei am technischen Arbeitsablauf:

- Hard- und Software allgemein
- CAP-Funktionen:
  - Dateninput (Schnittstellen zu CAD-Systemen)
  - Bauelement-Datenverwaltung, Datenbank
  - Prozessoptimierung
  - Rüstopтимierung
  - NC-Programmgenerierung
  - Datenoutput (Unterlagen, Dokumente)
- CAM-Funktionen:
  - Datentransfer (Schnittstelle zu CAP)
  - Erfassung von Maschinen und Prozessdaten

Die so entstandene Anforderungsliste stellte die Basis für die Marktanalyse dar. Einschlägige Fachmessen für die Elektronikfertigung und deren Softwareprodukte, wie z.B. Productronica/Electronic in München, CeBit in Hannover und SMT in Nürnberg boten die Möglichkeit in kurzer Zeit einen umfassenden Überblick zu bekommen.

Der nächste Schritt umfasste eine theoretische Untersuchung der Softwareprodukte anhand der Anforderungsliste.

### 3.2 Analyse von Softwareprodukten

Die theoretische Untersuchung erfolgte auf Basis der Literatur und Demonstrationssoftware der Hersteller. Dabei wurden fünf Softwaresysteme von externen Herstellern (keine Maschinenhersteller), welche 90% des CAP/CAM-Marktes für die Elektronikfertigung abdeckten, einbezogen. Der

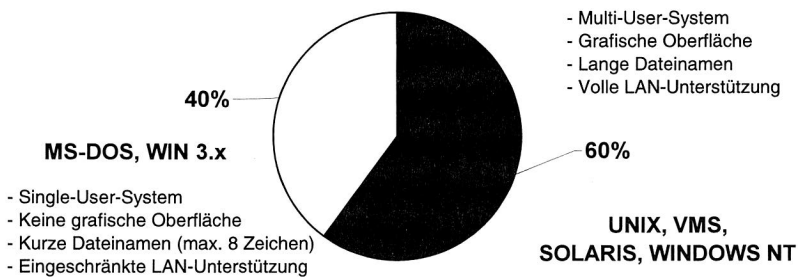
erste Punkt in der Anforderungsliste bezog sich auf die allgemeinen Parameter der Hard- und Software.

- Hard- und Software allgemein:

Anforderungen: 32-bit Betriebssystem mit grafischer Anwenderoberfläche, Netzwerkfähigkeit, komplette Unterstützung Dateinamen über 8 Zeichen, multitasking, multiuser fähig

Ergebnis: 60% der Systeme basierten auf einem 32-bit BS (UNIX/SUN SOLARIS, VMS, WIN NT) und 40% der Systeme basierten auf 8- oder 16-bit BS.

Die Anforderungen konnten nicht von allen Produkten erfüllt werden. Vor allen Dingen die PC basierten Produkte auf Basis des MS-DOS oder WIN 3.x Betriebssystemen (40%) konnten außer der bedingten Netzwerkfähigkeit keine der Anforderungen erfüllen. Anhand des zweiten Punktes sollten die Dateninput-Schnittstellen der Produkte überprüft werden.



*Bild 7: Ergebnis der untersuchten CAP-Systeme hinsichtlich der eingesetzten Betriebssysteme und deren Charakteristiken*

Der Datenaustausch zwischen CAD und CAP ist ein wichtiger Bestandteil des rechnerunterstützten Daten- und Informationsflusses innerhalb des Produktentstehungsprozesses. Deshalb werden zunächst die informations-technischen Grundlagen noch näher beschrieben.

### 3.2.1 CAD/CAP Schnittstelle

Im allgemeinen werden die wichtigsten Entwicklungsdaten für ein Produkt mit Hilfe von sogenannten EDA-Systemen erstellt. In der Praxis wird nach zwei Haupttypen von EDA-Systemen unterschieden: MCAD und ECAD. Im Bereich MCAD (Mechanical CAD) werden heute marktverfügbare 3D-Systeme und im ECAD (Electronical CAD) 2D-Systeme unterschiedlicher Hersteller eingesetzt. Für die automatische Bestückung von elektronischen Flachbaugruppen stellen die Daten aus dem ECAD-Systemen die eigentliche Grundlage für die weitere Verarbeitung im CAP-System dar. Während des Prozesses im ECAD-System erfolgt die digitale Beschreibung der elektrischen Schaltungen auf der Leiterplatte. Bereits dabei muss den fertigungstechnischen Gesichtspunkten Rechnung getragen werden. Um die schaltungstechnischen Anforderungen mit den fertigungstechnischen Möglichkeiten zu verbinden, verfügen die heutigen Systeme über Teilebibliotheken und Simulationstools mit Hilfe derer die bestehenden Designrules eingearbeitet und überprüft werden können. Diese unterstützen eine fehlerfreie Weiterverarbeitung der CAD-Daten in CAP-Systemen.

Der Informationsaustausch zwischen CAD- und CAP-Systemen bedingt eine standardisierte Schnittstelle für den elektronischen Datenaustausch. Der elektronische Datenaustausch ist bereits eine Weiterentwicklung gegenüber dem früheren Austausch mittels Papierlisten, welche am Anfang der Entwicklung standen. Der Austausch von Listen zwischen der Entwicklungs- und Fertigungsabteilung war sehr fehlerträchtig. Die CAD-Daten wurden so manuell in das nachfolgende System eingegeben und dann weiterverarbeitet. Eine wesentliche Verbesserung dieser Schnittstelle stellt der elektronische Austausch der CAD-Daten dar.

Folgende grundlegende Technologien können prinzipiell eingesetzt werden:

- Koordinatenlistenaustausch
- Austausch von Daten im neutralen Format
- CAD-Dateiaustausch

Diese Technologien werden im folgenden näher erklärt und miteinander verglichen.

### 3.2.1.1 Koordinatenlistenaustausch

Der Inhalt dieses Datenaustausches beschränkt sich auf die Basisdaten des ECAD-Produktlayouts und werden in einem separaten Postprozess nach der Datenerstellung generiert (Bild 8). Darin werden die Informationen: Referenzpunkt (Designator), Koordinaten in X- und Y-Richtung (bezogen auf einen standardisierten Nullpunkt), der Aufsetzwinkel (bezogen auf eine standardisierte Nullgradlage der BE) sowie die Leiterplattenseite (Ober- oder Unterseite) für jedes einzelne BE auf der LPT beschrieben.

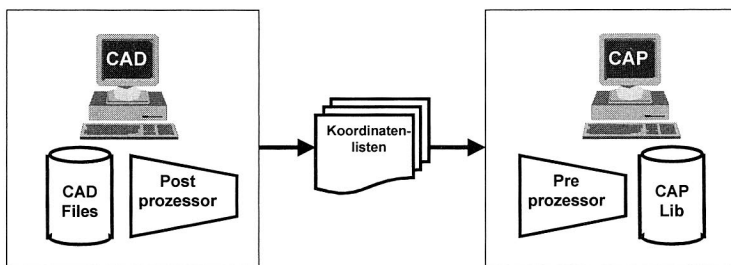


Bild 8: Datenfluss beim Koordinatenlistenaustausch

**Vorteile:** Alle Informationen sind übersichtlich und damit schnell überprüf- und anpassbar. Weiterhin können diese Daten, während datentechnischer Störungen in der elektronischen Netzwerkverbindung, ebenfalls einfach und schnell manuell übertragen werden (Notfalllösung).

**Nachteile:**

1. Es werden nicht die kompletten CAD-Daten übertragen; wichtige Bauelement (BE)-Daten wie z.B. die Bauform (Länge, Breite, Höhe, Beinchenanzahl), die BE-Polung sowie die LPT-Outline werden nicht mit übertragen.
2. Das CAD-Layout ist auf Basis dieser Daten nicht grafisch darstellbar.

**Anwendung:** Der Austausch von ECAD-Daten in ein CAP-System auf Basis der Koordinatenlisten stellt eine ausreichende Anwendung im Bereich des Prototyping (Musterbau) dar. In diesem Bereich ist es vielfach notwendig bereits NC-Daten für Prototypen auf Basis von Entwicklungsentwürfen zu erstellen.



### 3.2.1.2 Austausch von Daten im neutralen Format

Der Austausch von Daten im neutralen Format (Bild 9) wurde vor dem Hintergrund einer breiten, marktverfügbaren Palette von ECAD-Systemen und deren Dateiformate auf der einen Seite und einem vielfältigen Angebot von CAP/CAM-Systemen auf der anderen Seite etabliert.

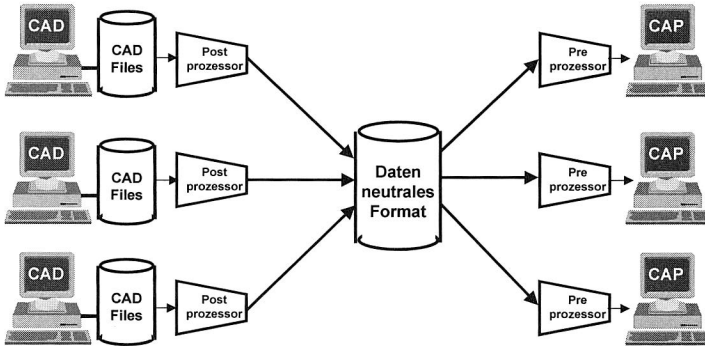


Bild 9: Datenfluss für den Austausch im neutralen Format

Aufgrund der Vielfalt von verschiedenen Systemen und Schnittstellen wird ein neutrales Format zwischen die CAD- und CAP-Systemen generiert und standardisiert. Die Standardisierung ermöglicht vorhandene, unterschiedliche ECAD-Systeme weiter zu nutzen und Daten in unterschiedliche CAP-Systeme vereinheitlicht zu übertragen. Der Inhalt der neutralen Daten umfasst normierte BE-Informationen auf Basis des kleinsten gemeinsamen Nenners der berücksichtigten CAD- und CAP-Systeme. Dabei werden die Original-CAD-Daten gefiltert und in die standardisierten Inhalte konvertiert.

#### Vorteile:

1. Standardaustausch Datenformat
2. Verknüpfung von mehreren unterschiedlichen ECAD- und CAP-Systemen

#### Nachteile:

1. Es werden nicht die kompletten ECAD-Daten übertragen.

2. Durch die Konvertierung und Filterung der BE-Informationen verringert sich der Umfang und die Genauigkeit der ECAD Daten.
3. Der Pflegeaufwand solch einer Schnittstelle ist aufgrund der schnellen Weiterentwicklung im CAD- und CAP-Bereich sehr aufwendig und kostenintensiv.

Die Entwicklung und der Einsatz einer Schnittstelle zum Austausch von Daten im neutralen Format lässt sich wirtschaftlich nur bedingt begründen. Der Standardisierung steht ein hoher Aufwand zur Erstellung und Pflege der Schnittstelle gegenüber.

### 3.2.1.3 CAD-Dateiaustausch

Der Austausch der kompletten CAD-Files zwischen ECAD- und CAP-Systemen stellt die umfangreichste Datenschnittstelle zwischen CAD und CAP dar. Die Grundlage dafür sind das Output-File des jeweiligen ECAD-Systems sowie der Importgenerator des CAP-Systems. (siehe Bild 10) Marktgängige ECAD-Systeme stellen dokumentierte Dateien im ASCII-Format zur Verfügung. Diese enthalten alle Informationen bzgl. der Leiterplatte (LPT) und der zu bestückenden BE.

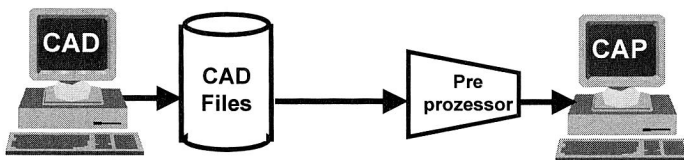


Bild 10: Datenfluss für den CAD Dateiaustausch

#### Vorteile:

1. Komplette ECAD-Informationen werden ausgetauscht.
2. Höchster Datenumfang und Datenkonsistenz

#### Nachteile:

1. Komplette ECAD-Dateien benötigen mehr Speicherplatz.
2. Dateiinhalte sind komplizierter aufgebaut.

Die Ergebnisse des Vergleiches werden in Tabelle 1 nochmals übersichtlich zusammengefasst.

<b>CAD/CAP-Schnittstellen</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>	<b>Einsatzgebiet</b>
<b>Koordinaten-File (low level)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor ECAD Layout verfügbar</li> <li>• Übersichtlich</li> <li>• Einfach anpassbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellung im Postprozess, gefilterte Daten</li> <li>• Unvollständige Informationen</li> <li>• Nicht für grafische Visualisierung geeignet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototyping, bevor komplette CAD-Daten vorliegen</li> </ul>
<b>Neutrales Format (neutral level)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umfangreichere BE-Informationen gegenüber „low level Schnittstelle“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellung im Postprozess, gefilterte „Daten im neutralen Format“</li> <li>• Unvollständige Informationen</li> <li>• Hoher Entwicklungs- und Pflegeaufwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verknüpfung marktnüblicher bzw. firmenspezifischer CAD und CAM-Systeme</li> </ul>
<b>CAD-Datei (high level)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Austausch der Original-Daten</li> <li>• Voller Datenumfang</li> <li>• Hohe Datenkonsistenz</li> <li>• SW-Module auf dem Markt verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BE Informationen im CAD-File komplexer beschrieben und benötigen mehr Speicherplatz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD/CAP Datenaustausch für anspruchsvolle und zukunftsorientierte CAP-Systeme</li> </ul>

Tabelle 1: Übersicht der analysierten CAD/CAP-Schnittstellen für den Einsatz in einem CAP-System

Im Folgenden wird die durchgeführte Marktanalyse bezogen auf den Punkt CAD/CAP-Schnittstellen fortgeführt. Die Analyse der Softwareprodukte wurde anhand der beschriebenen Techniken vorgenommen.

Anforderung: Unterstützung des Austausches von kompletten CAD-Dateien der meistverbreiteten ECAD Systeme.

Ergebnis: Jedes Softwareprodukt konnte mindestens drei verschiedene Formate mittels Einlesemodule (Importgeneratoren) weiterverarbeiten. Der Austausch von kompletten CAD-Dateien wurde von 80% der Produkte unterstützt. Eines der Produkte konnte nur CAD-Daten auf Basis von Koordinatenlisten verarbeiten.

### 3.2.2 Bauelementdatenverwaltung

Nach dem Einlesen der CAD-Daten müssen im allgemeinen noch weitere Informationen zur Beschreibung des Produktes verarbeitet werden. Diese Informationen beschreiben die Bauelemente hinsichtlich ihrer geometrischen Bauformen, Verpackungen und Maschinenzuordnungen. Die Informationen können auf verschiedene Art und Weise mit interner Filestruktur oder interner Datenbank verwaltet werden. Die Verknüpfung eines CAP-Systems mit einer externen Datenbank ermöglicht eine einfache Integration in ein bestehendes CIM-System mit einer bestehenden Produktdatenbank.

Anforderungen: Aufbau der Systeme auf einer strukturierten (relationalen) Datenbank, einfache Erweiterbarkeit, Schnittstelle zu einer externen Datenbank.

Ergebnis: 60% der Systeme basierten auf File- oder Recordstrukturen und 40% auf einer internen relationalen Datenbank. Für eine Verknüpfung an eine externe Datenbank existierten in keinem Softwareprodukt einsetzbare Schnittstellen.

### 3.2.3 Bestückoptimierung

Nach dem Import und der Verarbeitung der CAD- und Stücklistendaten erfolgt die Optimierung der Maschinendaten. Die Optimierung wird allgemein in drei Grundschrte unterteilt: Aufteilen (Separieren), Austaktung der Maschinen (Line Balancing) sowie Bestückweg- und Rüstop Optimierung (Path and setup optimization). (vgl. /7/)

Aufteilen bedeutet, dass alle zu bestückenden Bauelemente aufgrund ihrer Maschineneignung oder zugrundeliegenden Prozesstechnik auf die einzelnen Maschinen oder Stationen der Linie verteilt werden. Können Bauelemente auf mehreren Maschinen bestückt werden, so werden die

Bauelemente zusätzlich unter Beachtung der Anzahl der bereits verteilten Bauelemente verteilt.

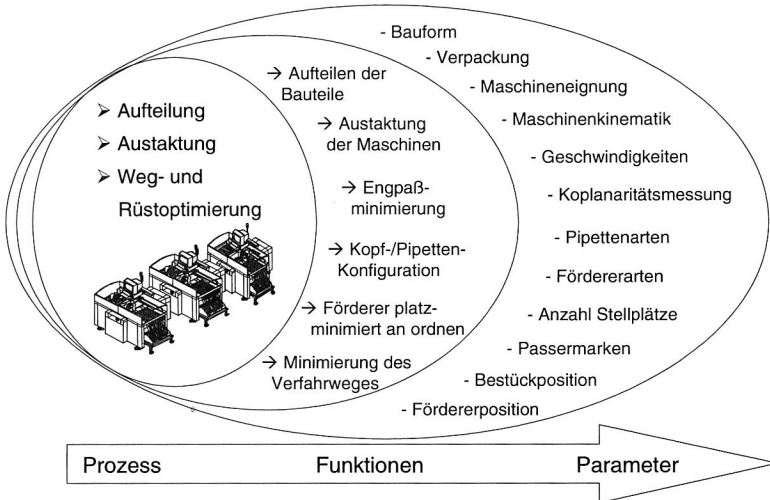


Bild 11: Dreistufiges Schichtenmodell zur Beschreibung der Prozesse zur Optimierung von Bestückungsmaschinen in der CAP-Komponente

Nach dem Aufteilen erfolgt das Austakten der Maschinen untereinander. Bauelemente werden dabei zwischen den konfigurierten Maschinen und/oder zwischen verschiedenen Maschinenseiten unter Berücksichtigung der verfügbaren Bauelement-Fördererplätze aufgeteilt und verschoben. Das Optimierkriterium ist dabei der minimale Taktzeitunterschied zwischen den Maschinen innerhalb der Bestückungslinie.

Als dritter Schritt wird der exakte Verfahrensweg zur Bestückung der Bauelemente berechnet. Dabei spielt die Minimierung der zurückzulegenden Wege zwischen den Abholpositionen auf den Bauelement-Förderern und der Bestückungspositionen auf der Leiterplatte die Hauptrolle. Zusätzlich muss die Belegung der Bestückköpfe und damit vorgegebenen Bestückzyklen pro Bestückungstakt optimiert werden. Die Festlegung von Bauelementen auf die Fördererplätze auf den Maschinen wird als Rüstung bezeichnet.

Die Randbedingungen für diese Optimierungsschritte sind minimale Taktzeiten unter Beachtung der Nebenzeiten, der Fördererbelegung und der Verfahrwege in den Bestückungsmaschinen.

Diese drei Schritte sollten in einen iterativen Prozess (siehe Bild 11) eingebunden werden, um in mehreren Durchläufen das Optimum zu finden.

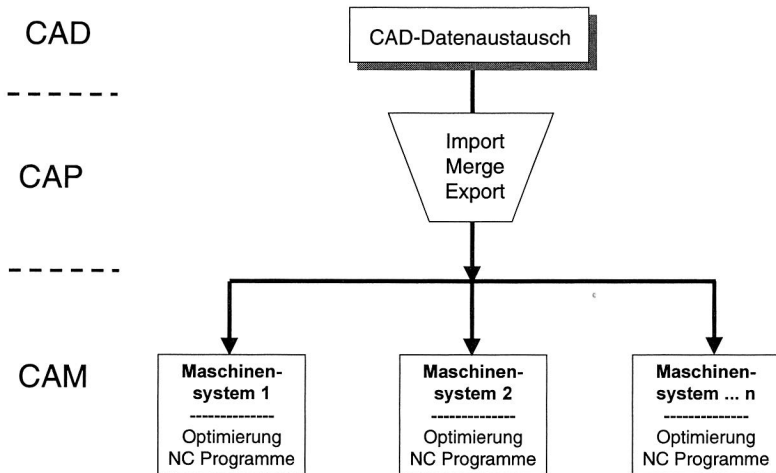


Bild 12: Ablaufdiagramm zur Beschreibung der klassischen CAD/CAM-Prozesskette mit maschineneigener Bestückoptimierungsfunktion in den CAM-Systemen

#### Anforderungen:

- Optimierung der Maschinensysteme auf Basis der Grundschrte der Optimierung (vgl. Bild 11) unter Einbeziehung von Zeitmodellen verschiedener Maschinentypen.
- Unterstützung mehrerer Bestücketechniken: SMD und THD
- Linienausstattung über eine Linie mit verschiedenen Maschinen unterschiedlicher Hersteller (Multi-Vendor-Lines).

#### Ergebnis:

1. Eine Optimierung auf Basis von theoretischen Zeitmodellen wurde von 34% der Systeme unterstützt. Alle anderen Systeme kalkulierten keine theoretische Taktzeit, da diese die Optimierung und NC-

Programmerstellung den nachgeschalteten herstellerspezifischen CAM-Systemen überlassen (vgl. Bild 12).

2. Nur die Systeme mit theoretischen Zeitmodellen konnten mehrere Maschinen unterschiedlicher Hersteller in einer Bestückungslinie optimieren.

Neben der Taktzeit- und Verfahrensoptimierung ist es weiterhin notwendig die optimale Rüstung der Bauelemente auf den Maschinen und Förderern vorzunehmen. Aufgrund der Komplexität dieser Aufgabe wird im nächsten Abschnitt gesondert darauf eingegangen.

### 3.2.4 Rüstopтимierung

Diese Optimierungsaufgabe basiert auf den fertigungstechnischen Anforderungen nach minimalen Wechselzeiten zwischen verschiedenen Aufträgen. Der Umfang des Wechselaufwandes richtet sich dabei nach der Varianz der Bauelemente und der Leiterplatten der zu produzierenden Produkte. Mit Hilfe von Algorithmen [19]/[51] ist es möglich den Wechselaufwand, Rüstaufwand genannt, zu minimieren. Dazu gibt es prinzipiell mehrere Strategien.

1. Erstellung einer Maschinenbelegung (Rüstung) für eine Leiterplatte für eine Bestückungslinie,
  - weitere Leiterplatten und deren zusätzlichen Bauelemente werden zugerüstet ohne die bestehende Rüstung zu verändern oder
  - ein Teil der Maschinenbelegung werden als feste Rüstung und andere Teile als flexible Rüstung innerhalb einer Bestückungslinie festgelegt und alle weiteren Leiterplatten und deren zusätzliche Bauelemente werden nur im flexiblen Teil gerüstet, wobei zwischen den Leiterplatten die flexible Rüstung komplett gewechselt wird
2. Erstellung einer sogenannten Grundrüstung; diese ergibt sich aus verschiedenen Leiterplatten, indem diese zusätzlich mit Hilfe von weiteren Parametern (z. Bsp. Losgröße) gewichtet werden. Auch bei dieser Strategie können zusätzliche Bauelemente zu gerüstet werden und/oder Fest- und flexible Rüstbereiche erstellt werden.

Die Softwareanalyse basiert auf folgenden Anforderungen:

- Unterstützung der verschiedenen Rüststrategien
- Flexible Unterstützung von zusätzlichen mobilen Rüsttischen (offline) für Bestückungsmaschinen
- Hilfsmodule zur Verwaltung von bestehenden Maschinenbelegungen

Ergebnis:

1. Mit Hilfe von 80% der Softwareprodukte konnten Maschinenbelegungen auf Basis der ersten Strategie erstellt und verwaltet werden.
2. Nur 40% der Produkte stellten Module zur Optimierung von Grundrüstungen (2. Strategie) zur Verfügung.
3. Keines der Softwareprodukte konnte mobile Rüsttische innerhalb der Rüstopтимierung berücksichtigen.

Nach den Anforderungen an die Taktzeit- und Rüstopтимierung folgt im Prozessablauf die Maschinenprogrammierstellung (NC - Numeric Control), um die optimierten Daten in einem maschinenlesbaren Format zur Verfügung zu stellen.

### 3.2.5 NC Programmerstellung

Jeder Maschinentyp besitzt ein eigenes Programmformat zur Steuerung der internen Prozessabläufe. Deshalb müssen für jeden Maschinentyp spezielle Softwaremodule entwickelt werden, welche die optimierten Bestückungsdaten in die maschinenlesbaren Programme umsetzen. Die Hersteller von Bestückungsmaschinen stellen zur Verarbeitung dieser NC-Programme unterschiedliche Schnittstellen zur Verfügung. Dabei kann zwischen direkten und indirekten Schnittstellen unterschieden werden.

Mit Hilfe der direkten Schnittstellen ist es möglich die kompletten Maschinenprogramme in einem CAP-System zu erstellen und ohne Nachbearbeitung im herstellerspezifischen System in der Maschine zu verarbeiten. Die Optimierung im übergeordneten System geht dabei nicht verloren. Auf der Basis der indirekten Schnittstellen müssen die CAP-Bestückungsdaten im maschinennahen CAM-System nachbearbeitet und



aufbereitet werden, bevor diese von der Maschine verarbeitet werden können. Die vorangegangene Optimierung geht zumeist verloren und wird auf die herstellerspezifischen Systeme bezogen neu erstellt.

Anforderungen:

Erstellung von maschinenlesbaren Programmen für marktverfügbare SMD- und THD-Maschinensysteme.

Ergebnis:

Systemanbieter →	A	B	C	D	E
Hersteller 1, SMD-Prozess	N	N, O	N	N, O	N, O
Hersteller 2, SMD-Prozess	-	N, O	N	-	N, O
Hersteller 3, THD-Prozess	N	-	N	N, O	N
Hersteller 4, SMD-Prozess	N	N, O	N	-	N
Hersteller 5, SMD-Prozess	-	-	-	N, O	-
Hersteller 3, SMD-Prozess	N, O	N, O	N	-	-
<b>Punkte</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>20</b>
<b>Erfüllungsgrad</b>	<b>30%</b>	<b>33%</b>	<b>20%</b>	<b>50%</b>	<b>41%</b>
Legende: N = NC-Programmerstellung, O = mit Optimierung $P = (\text{Anzahl Prozesse}) \times \sum_{\text{Hersteller}(1)}^{\text{Hersteller}(n)} \text{Anzahl}^n N^n + 3(\text{Anzahl}^n O^n)$					

*Tabelle 2: Unterstützung der Systemanbieter von Standardmaschinen unterschiedlicher Hersteller und Prozesse*

Bei allen Maschinen handelte es sich um Standardbestückungsmaschinen, jedoch konnte keiner der Systemanbieter alle geforderten Maschinensysteme zu 100% (= 48 Punkte) unterstützen. Neben der reinen

NC-Programmerstellung wurden die vorhandenen Optimierungsmodule für die einzelnen Maschinensysteme mit berücksichtigt, um die Qualität und das Know-how der Systemanbieter mitzubewerten. Die erzielte Punktezahl wurde nach der vorgegangenen Formel berechnet.

### *3.2.6 Dokumentation der Fertigungsunterlagen*

Die Erstellung der Fertigungsunterlagen schließt normalerweise den CAP-Prozess ab. Diese dient einerseits der Information und Kommunikation zwischen den planerischen und produzierenden Bereichen eines Unternehmens, andererseits ist die Dokumentation im Sinne der Qualitätsstrategie TQM zwingend notwendig.

Mit der Einführung der Rechnertechnik ergeben sich somit weitere Kommunikations- und Informationsmöglichkeiten neben der früheren Papierdokumentation. So können mit Hilfe von zusätzlichen Softwaremodulen, sogenannten Viewstations, alle CAP-Informationen in den produzierenden Bereichen digital bereitgestellt werden.

Die durchgeführte Softwareanalyse beinhaltete deshalb folgende Anforderungen:

1. Flexible und einfache Erstellung von Dokumenten und Listen über die CAP-Prozessinformationen.
2. Softwaremodule zur Bereitstellung der CAP-Informationen papierlos (digital).

#### Ergebnis:

1. Allgemein: Die Generierung von Fertigungsunterlagen und Dokumenten war mit Hilfe vordefinierter Berichte möglich.
2. 40% der Produkte beinhalteten Reportgeneratoren zur Erstellung neuer, speziell formatierter Berichte und Listen.
3. Zur Bereitstellung der CAP-Informationen verfügten 80% der Produkte über sogenannte Viewstations.

### *3.2.7 CAP/CAM-Schnittstelle*

Die Übertragung der CAP-Daten in den CAM-Bereich kann prinzipiell mit Hilfe zweier Methoden: „Hol- oder Bringprinzip“ erfolgen. Dabei spielen

weniger maschinentechnische Fragen eine Rolle, sondern vielmehr die organisatorischen Verantwortlichkeiten sowie datentechnische Überlegungen.

Die erste Übertragungsmethode „holen“ unterstützt den diskontinuierlichen Datentransfer, so dass nur Daten kopiert werden, welche vom CAM-System angefordert wurden (siehe Bild 13). Der große Vorteil dieser Methode ist, dass nur geringe Datenmengen im CAM-Bereich verwaltet werden müssen.

### Übertragungsmethode 1: NC-Programme „holen“

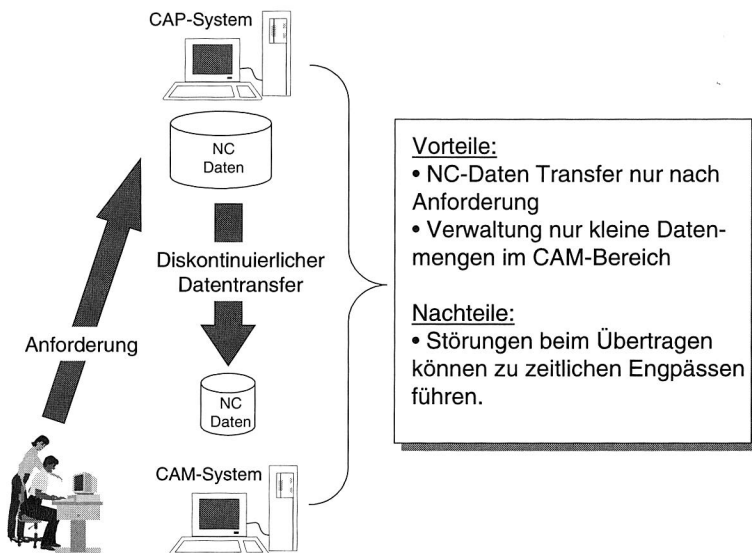


Bild 13: Methodik für den diskontinuierlichen Datentransfer zwischen den CAP- und CAM-Systemen

Weiterhin können so die benötigten Daten bedarfsorientiert der jeweiligen Bestückungsmaschine oder Bestückungslinie transferiert werden. Nicht benötigte Daten sind nur im CAP-System vorhanden und können dort zentral verwaltet werden.

Die zweite Übertragungsmethode „bringen“ basiert auf der Vorgehensweise mit einem kontinuierlichen Datentransfer (siehe Bild 14), so dass die CAP-Daten kontinuierlich nach der Erstellung in das CAM-System übertragen werden.

Das Holprinzip hat aufgrund der klar abgegrenzten Verantwortlichkeiten und des bedarfsgesteuerten Ablaufes große Vorteile gegenüber dem Bringprinzip. Durch vordefinierte Abläufe zur Übertragung der CAP-Daten können die nachteiligen Risiken minimiert werden.

Ein Einsatz der jeweiligen Methode hängt weiterhin von den internen Unternehmensabläufen im CAP- und CAM- Umfeld ab. Grundsätzlich ist jedoch eine rechnerunterstützte Übertragung der NC-Daten und Fertigungsunterlagen in den Fertigungsbereich notwendig.

Für eine sichere und nachvollziehbare Übertragung der CAP-Daten müssen weitere Module innerhalb der Softwareprodukte zur Verfügung stehen.

### Übertragungsmethode 2: NC-Programme „bringen“

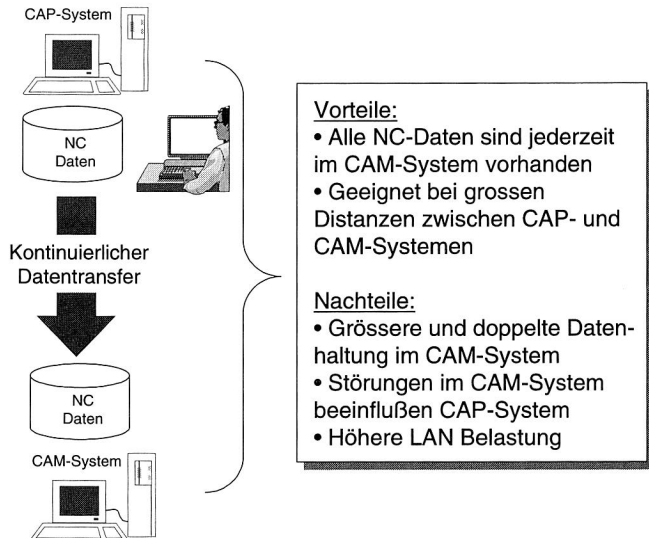


Bild 14: Methodik für den kontinuierlichen Datentransfer zwischen den CAP- und CAM-Systemen

Folgende Anforderungen wurden untersucht:

Anforderungen:

1. Softwaremodul für rechnergestützten Datentransfer
2. Systematische Vorgehensweise linienorientiert, d.h. alle CAP-Daten können automatisch für eine gesamte Bestückungslinie übertragen werden.

Ergebnis:

1. Die vorhandenen Viewstations deckten den rechnerunterstützten Datentransfer ab. Die hardwaretechnischen Anforderungen der Viewstations waren unterschiedlich und durch die verwendeten Betriebssysteme bedingt. (vgl. 3.2)
2. Die Vorgehensweise orientierte sich bei allen Produkten an den einzelnen Maschinensystemen, so dass ein linienorientierter Datentransfer nicht möglich war.

Die Übertragungsmöglichkeiten der NC-Daten auf die Maschinensysteme hängt im Allgemeinen direkt von der jeweiligen hardware- und softwaretechnischen Konfiguration der Maschinensysteme ab. Durch den Einsatz von PC-Systemen zur Kommunikation und Steuerung von Maschinen veränderten sich die Transfermöglichkeiten grundlegend.

### *3.2.8 Maschinenkommunikation und -steuerung*

Die maschinennahen Systeme übernehmen nach der NC-Programmoptimierung ebenfalls die Maschinenkommunikation und -steuerung. Darunter werden die Übertragung der NC-Programme auf die Stationsrechner, die Versorgung der Stationen mit spezifischen Maschinendaten, das Fehler- und Störungsmanagement sowie die Speicherung von MDE-Daten verstanden.

Die datentechnische Anbindung der einzelnen Stationen und Maschinen an die Steuerungsrechner stellt sich sehr unterschiedlich dar. Ältere Maschinensysteme verfügen über serielle Schnittstellen (RS232) oder Schnittstellen mit HP-Bus-Anbindung, neuere Maschinen dagegen können mittels LAN-Netzwerktechnik sowie SECS-II-GEM komfortabel angeschlossen werden. Die Anbindungsmöglichkeiten unterliegen einerseits der technischen Entwicklung, andererseits aber auch der jeweiligen

Philosophie der Maschinenhersteller. Eine standardisierte und leistungsfähige Schnittstelle zwischen den Systemen spielt auch im CAM-Bereich eine entscheidende Rolle bei der Verknüpfung und Integration im Sinne von CIM. Die Verknüpfung der Maschinen mittels LAN stellt im lokalen Produktionsbetrieb einen leistungsfähigen Standard dar. Die Übertragung im LAN erfolgt heute zumeist mit Hilfe des standardisierten Protokolls „TCP/IP“, welches heute von den meisten Rechnersystemen unterstützt wird.

Die Anforderungen innerhalb der Analyse an die Softwareprodukte:

- Netzwerkfähigkeit und serielle Kommunikationsmodule zur Datenübertragung

Ergebnis:

1. Die Netzwerkfähigkeit der Systeme war bei allen Viewstations gegeben.
2. Keines der Produkte unterstützte serielle Kommunikationsschnittstellen.

### *3.2.9 Erfassung von Maschinen- und Prozessdaten*

In den vergangenen Abschnitten wurden die Prozesse und Schnittstellen zur Erstellung von optimierten NC-Programmen sowie die Kommunikationswege zwischen den CAP- und CAM-Systemen beschrieben. In diesem Abschnitt soll nun auf die Erfassung der Maschinen- und Prozessdaten aus dem laufenden Produktionsprozess eingegangen werden. Die Sammlung der Daten wurde schon über mehrere Maschinengenerationen mit unterschiedlichen Mitteln und Ausprägungen realisiert. Durch die nicht vernetzten Insellösungen konnten jedoch die Maschinendaten zumeist nicht online weitergeleitet, verdichtet und ausgewertet werden, da die Maschinensysteme von den Anderen datentechnisch separiert waren und erhebliche Unterschiede in den Datenprotokollen, -formaten und -inhalten bestanden.

Neuere Entwicklungen hin zu standardisierten Kommunikationsprotokollen werden durch die Maschinenanwender in der Halbleiterfertigung vorangetrieben. Dabei handelt es sich um die Schaffung eines standardisierten Protokolls zur Übertragung der Maschinendaten von den Maschinen auf übergeordnete Rechnersysteme. Das genannte Protokoll wird mit der Abkürzung: „SECS II GEM“ bezeichnet. In der Semiconductor

Equipment and Material International haben sich Anwender aus der Halbleiterindustrie zur Definition von Kommunikationsprotokollen, die nutzbringend in den Fertigungen eingesetzt werden sollen, zusammengeschlossen. Einer der Gründe dafür ist, dass in der Halbleiterindustrie bereits Equipment unterschiedlicher Hersteller miteinander verkettet eingesetzt werden. Die Ziele dabei sind die kostengünstige und funktionell hochwertige Visualisierung, eine Dokumentation von Prozessdaten für die computerintegrierte Fertigung (CIM). /23/ Auf der Basis dieses Protokolls können mit Hilfe einer standardisierten Schnittstelle Maschinendaten automatisiert online gesammelt, übertragen, verdichtet und ausgewertet werden.

Viele Hersteller neuester Bestückungsmaschinentechnik integrieren seit etwa 1998 diese Schnittstelle in Ihre Maschinenrechner zur Verknüpfung in einem MDE/CAM-Datennetz.

Die so erhaltenen Informationen, welche wichtige Informationen über die Leistung und Qualität der Maschinen und Produkte enthalten, müssen nicht nur im CAM-Bereich, sondern auch für andere CIM-Bereiche, im speziellen dem CAP-Bereich zur Verfügung gestellt werden. Eine Planung und Vorbereitung der Fertigung auf Basis von vorhandenen Fertigungsdaten minimiert die Kosten und erhöht die Wirtschaftlichkeit aller Aktivitäten im CAP-Bereich. Aus den vorgenannten Prämissen entstand folgende

Anforderung:

Standardisierte Datenformate und Software zur Maschinendatenerfassung und –auswertung.

Ergebnis:

Die Softwareanalyse zu dieser Funktion ergab, dass keines der Systeme die Prozess- und Maschinendatenerfassung sowie eine Datenauswertung unterstützen konnte.

### *3.2.10 Gesamtdarstellung der Analyse für lokale Funktionen*

Die Softwaremarktanalyse konnte erfolgreich durchgeführt werden und gibt so einen umfassenden Überblick über die Konzepte und deren Ausprägungen in den verschiedenen Softwareprodukten. Der Stand der Produkte entsprach jedoch nicht den Ansprüchen an eine

Elektronikproduktion mit einer durchgängigen Rechnerunterstützung der Datenverwaltung und geeigneten Schnittstellen zu anderen Softwaresystemen im Unternehmen. Nur 40% der untersuchten Systeme beinhalteten eine relationale Datenbank und stellten damit eine Standarddatenschnittstelle zu anderen Systemen bereit. Weiterhin bestand großer Verbesserungsbedarf zu einer breiteren Unterstützung verschiedener Maschinensysteme unterschiedlicher Hersteller. Es konnten lediglich nur 40% Optimierungsmodule für mehrere verschiedene Maschinentypen anbieten. Die Einbindung von neuen Technologien, wie z.B. das Internet und die elektronische Post (eMail) mussten durch die Hersteller von CAP-Systemen mit Hochdruck vorangetrieben und weiterentwickelt werden.

Einen Überblick über den Status der CAP-Softwareprodukte bezüglich von Funktionalitäten für die globale Verknüpfung von CAP-Systemen erläutert der nächste Abschnitt.

### **3.3 Datenaustausch zwischen Fertigungsstandorten**

Die Beschreibung des Stands der Technik wird nach der Analyse der lokalen CAP- und CAM-Funktionen im nachfolgenden Abschnitt um die globalen Funktionen für einen unternehmensweiten Datenaustausch erweitert.

Die existierenden Informations- und Kommunikationsstrukturen können überbetriebliche Produktentstehungsprozesse nur bedingt unterstützen. Diese Bewertung gilt auch für die überbetrieblichen Automatisierung von Geschäftsprozessen z.B. durch EDI, wodurch bei geeignetem Anwendungsfeld beträchtliche Zeitgewinne und Prozesssicherheit zu gewinnen sind, sowie für den Einsatz marktgängiger EDM-Systeme auf der Grundlage Internet-basierter Informationssysteme. /22/,/31/,/47/

Die Nutzung von firmeninternen Intranets für die Verbesserung der Informations- und Kommunikationswege ist der erste Schritt für ein globales CIM-System.



### 3.3.1.1 *Firmeninterne Intranets*

Die Verknüpfung von mehreren Rechnern zu einem Netzwerk ist Stand der Technik. Man unterscheidet dabei zwischen lokalen (LAN) und globalen Netzwerken (WAN). Ein Netzwerk wird unter folgenden Zielsetzungen betrieben: Datenverbund, Lastverbund, Leistungsverbund und Verfügbarkeitsverbund./50/ Innerhalb des Rechnernetzwerkes gibt es sogenannte Knotenpunkte, welche Rechner mit einer besonderen Funktionalität darstellen. Bei diesen Rechnern handelt sich um sogenannte Server. Die Bereitstellung zentraler Funktionen wie z.B. Organisation von Druckaufträgen, Bereitstellung von gemeinsamen Dateispeichern oder gemeinsamer Zugriff auf Hostapplikationen sind die Hauptanwendungen für Serversysteme. /50/

Für die Bereitstellung und Visualisierung der gespeicherten Informationen in einem Rechnernetzwerk muss jedoch ein universelle und anwenderfreundliche Schnittstelle zur Verfügung stehen. Dafür wurden in der Vergangenheit umfangreiche Softwaresysteme, sogenannte Browser, programmiert und den Anwendern zur Verfügung gestellt. Diese Software stellt eine programmierte Schnittstelle dar, um Anwendern die Suche nach Informationen sowie den Austausch und Darstellung von Daten im Netzwerk zu vereinfachen. Die entstandenen Informationsnetzwerke bezeichnet man als „Internet“, wenn die Informationen weltweit zur Verfügung stehen oder als „Intranet“, wenn der Zugriff auf die Informationen auf einen bestimmten Anwenderkreis oder ein Unternehmen begrenzt sind. Ein Intranet innerhalb einer Firma stellt die Basis für einen leistungsfähigen Informationsaustausch zwischen allen Rechnern und Servern und damit verbundenen Abteilungen sowie Mitarbeitern des Unternehmens.

Der Aufbau eines Intranets erfolgt nach den Regeln des ISO-OSI Referenzmodells /43/ und stellt eine zukunftsorientierte Plattform für den Austausch von Produkt- und Fertigungsdaten dar. Jedoch müssen wiederum angepasste Anwenderschnittstellen bereitgestellt oder bestehende Browser anwendungsspezifisch erweitert werden. Zusätzlich ist es notwendig die CAX-Komponenten direkt in die Kommunikationsnetze einzubinden, um mit Hilfe dieser die Produktdaten effizient austauschen zu können.

Neben den täglichen Informationen, welche zwischen Unternehmensbereichen ausgetauscht werden müssen, stellen die globalen Aufgaben: „Produkt- oder/und Produktionsverlagerungen“ eine besondere Situation dar. Dafür müssen zusätzlich erhebliche Mengen von Informationen zwischen den entsprechenden Fertigungsstandorten über die Maschinen und Einrichtungen ausgetauscht werden.

Im CAD-Umfeld gibt es zumeist dafür bereits ausgeprägte Kommunikationswege zwischen verschiedenen Standorten. Die Funktionalität dieser Wege sind jedoch spezialisiert und stellen sogenannte Einbahnstraßen zwischen dem Entwicklungs- und Fertigungsstandort dar. Die Nutzung dieser Kommunikationswege für andere Informationen aus anderen CIM-Komponenten ist oft nicht möglich. Begründet ist dies durch die vorherrschenden Rechner- und Netzwerktechniken, (zumeist Hostanwendungen) die beim Aufbau dieser Systeme in der Vergangenheit den Stand der Technik darstellten. Zukünftige Entwicklungen werden die neuen Kommunikationswege und firmeninterne Intranets nutzen.

Der weltweite Austausch von Qualitäts- und Servicedaten (CAQ) ist bei Automobilherstellern bereits tägliche Praxis. Diese Daten werden mit speziellen Schnittstellenstandards, wie z.B. EDIFACT ausgetauscht./40/

Für die Verknüpfung von CAP- und/oder CAM-Komponenten zwischen verschiedenen Standorten der Elektronikhersteller gibt es lediglich Ansätze in der Zukunft Intranetstrukturen für den Datenaustausch zu nutzen. Die Praxis zeigt, dass die firmeninternen eMail-Systeme als Zwischenlösung geeignet erscheinen, jedoch von Ihrer Leistungsfähigkeit und den Handhabungsmechanismen einem Alltagsbetrieb nicht gewachsen sind. Eine Erweiterung der Softwaresysteme ist daher dringend notwendig, um einen schnellen, transparenten und dokumentierten Datenaustausch zwischen diesen wichtigen CIM-Komponenten zu gewährleisten.

### 3.3.1.2 *Produktverlagerungen*

Die Entwicklung von elektrischen Schaltungen an einem Standort und deren Produktion und/oder Montage an einem anderen Standort ist heute bereits weit verbreitet und trägt der voranschreitenden Globalisierung Rechnung.

Die Gründe für Produktverlagerungen sind in wirtschaftlichen Vorteilen, z.B. durch günstigere Lohnkostenstrukturen, zu suchen. Weiterhin sind Marktvorteile und Marktpräsenz wichtige Gründe für Produktverlagerungen. Aber auch der Ausgleich von weltweiten Fertigungskapazitäten spielt bei globalen Unternehmen eine entscheidende Rolle (vgl. Kapitel 1).

Produktverlagerungen können nach primär und sekundär unterschieden werden. Das Unterscheidungsmerkmal dabei ist der Zeitpunkt der Verlagerung. Werden Produkte vor Mengenstart (SOP) verlagert, so spricht man von einer primären Produktverlagerung. Eine sekundäre Verlagerung dagegen findet nach Mengenstart des Produktes statt. Für die datentechnische Unterstützung der Produktverlagerung gibt es verschiedene Zeitpunkte. Zum Zeitpunkt einer primären Produktverlagerung liegen die Entwicklungsdaten in Form von CAD- und Stücklisten-Daten bereits komplett vor. Die Bauelement-Stammdaten dagegen sind zumeist noch unvollständig und es kann noch nicht auf mengenerprobte Parameter zur Bestückung zurückgegriffen werden. Ebenfalls stehen zu diesem Zeitpunkt noch keine verwertbaren optimierten Maschinenrüstungen und einsetzbare NC-Programme zur Verfügung. Dagegen kann bei einer sekundären Produktverlagerung davon ausgegangen werden, dass die Entwicklungsdaten, die mengenerprobten BE-Stammdaten sowie NC-Programme und Rüstinformationen vorliegen.

Der globale Datenaustausch zwischen Unternehmensbereichen spielt daher nicht nur bei Produktverlagerungen, sondern auch bei der Verlagerung von Maschinen und Einrichtungen eine wichtige Rolle.

### 3.3.1.3 *Produktionsverlagerungen*

Werden die notwendigen Maschinen und Einrichtungen für ein Produkt oder eine Produktfamilie komplett von einem Fertigungsstandort in einen anderen Fertigungsstandort transportiert und wieder in Betrieb genommen, so spricht man von einer Produktionsverlagerung.

Aus der datentechnischen Sichtweise handelt es sich um eine erweiterte sekundäre Produktverlagerung, da die Verlagerung zumeist nach Mengenstart der jeweiligen Produkte stattfindet. Zu diesem Zeitpunkt im Produktlebenszyklus stehen bereits alle Bestückungsdaten komplett zur

Verfügung. Zusätzlich zu diesen Daten müssen auch Anlagenbeschreibungen, Projektunterlagen und Arbeitsdokumente transferiert werden. Die Anforderungen an einen globalen Datenaustausch sind für Produktionsverlagerungen höher im Vergleich zu Produktverlagerungen aufgrund komplizierterer Datenstrukturen, welche alle CAx-Komponenten eines CIM-Systems umfassen (siehe Bild 5). CAP- und CAM-Systeme bilden davon nur einen Teilbereich der Dateninhalte ab und können so den Datenumfang einer Produktionsverlagerung nur teilweise abdecken und unterstützen.

Für CAP- und CAM-Softwareprodukte zur Unterstützung einer Produkt- oder Produktionsverlagerung wurden die *Anforderungen* ermittelt:

1. Standardisierte Schnittstellen und Formate zum digitalen Daten- und Informationsaustausch
2. Softwaremodule für einen systematischen und automatisierbaren Datenaustausch

Ergebnis:

Es fehlten standardisierte Datenformate. So konnten vorhandene Produktdaten zwischen den Fertigungsstandorten zwar ausgetauscht werden, mussten jedoch mit einem hohen manuellen Aufwand nach bearbeitet werden. Marktverfügbare CAP- und CAM-Systeme stellten nach der Analyse der Softwareprodukte keine Zusatzmodule für einen automatisierten globalen Datenaustausch zur Verfügung.

### **3.4 Benchmark Test**

Die ermittelten Ergebnisse der durchgeführten Softwareanalyse zeigen das enorme Verbesserungspotential im Softwaremarkt für CAP-Softwareprodukte. Einerseits mussten die planerischen Funktionen (CAP) für die Optimierung und Simulation erweitert und verbessert werden. Andererseits genügten die Produkte den globalen Anforderungen für einen unternehmensweiten Datenaustausch nicht, womit eine konzeptionelle Erweiterung der Produkte erforderlich ist. Um einen noch detaillierteren Einblick in die technischen Möglichkeiten der verfügbaren Produkte zu bekommen sollten zwei der Produkte in einem Benchmark Test mit realen

Produktdaten getestet und bewertet werden. Aus der Gruppe der bereits analysierten Produkte wurden die zwei Produkte ausgewählt, welche die Anforderungen aus den vorangegangenen Kapiteln auf Basis einer qualitativen Bewertung am besten erfüllen konnten. Zur Vorbereitung des Benchmark Tests installierten die zwei ausgesuchten Produkthersteller jeweils eine Testinstallation. Die potentiellen Produkthanwender wurden durch eine Schulung in die Bedienung der Softwareprodukte eingewiesen.

Die Ergebnisse wurden in Tabelle 3 tabellarisch zusammengefasst. Die Bewertung der Systeme wurde ebenfalls anhand der Anforderungsliste (vgl. Kapitel 3.1) vorgenommen, jedoch diesmal unter Berücksichtigung der realen, praktischen Einsatzbedingungen.

Kriterien	Produkt A	Produkt B
32 bit BS	Ja (UNIX)	Nein (WIN 3.x)
Import von kompletten CAD-Files	Ja	Ja
Integrierte Datenbankstruktur	Ja	Ja
Einsatz von Zeitmodellen für die Optimierung von Multi-Vendor-Lines	Ja	Nein
Unterstützung von Bestückungslinien mit Doppelspurbestückung	Nein	Nein
Optimierung von Grundrüstungen für mehrere Leiterplatten	Ja	Nein
Generierung von NC-Programmen (Abdeckung an Maschinentypen in %)	50%	67%
Vordefinierte Berichte zur Dokumentation von Fertigungsunterlagen vorhanden	Nein	Ja
Viewstation vorhanden	Ja	Ja
Erfassung von Maschinen- und Prozessdaten möglich	Nein	Nein
Schnittstellen und Module für globalen Datenaustausch	Nein	Nein

Tabelle 3: Ergebnisübersicht des Benchmarks der CAP-Systeme

Die Verbesserungspotentiale werden nochmals deutlich aufgezeigt. Für eine Integration eines der Produkte in ein globales CAP-System sollten jedoch grundlegende konzeptionelle Bedingungen zur Erweiterung und Anpassung erfüllt sein. Dazu zählten der Import von kompletten CAD-Files, eine integrierte Datenbankstruktur und die herstellerübergreifende Maschinen- und Rüstopтимierung auf Basis von kinematischen Zeitmodellen. Diese wurden jedoch nur vom Produkt A erfüllt. Damit resultierte aus dem Benchmark Test, dass das Produkt A die Bedingungen für eine Integration in ein globales CAP-System erfüllt. Eine Erweiterung und Anpassung der vorhandenen Module innerhalb des Softwareproduktes A war jedoch notwendig. Der nun folgende Entwurf eines globalen CAP-Systems stützte sich einerseits auf die Ergebnisse der Softwareanalyse und orientiert sich andererseits an den Erfordernissen an ein globales Produktions-, Informations- und Kommunikationssystem für die Elektronikfertigung.

## 4 Konzeption eines globalen CAP-Systems

Ausgehend von der Beschreibung der CIM-Technologie in Kapitel 2.2 sowie den Anforderungen in Kapitel 3.1 und in Kapitel 3.3 konnte das Konzept des globalen CAP-Systems entworfen werden. Dazu wurden die Anforderungen zunächst in die drei Hauptfunktionsfelder: Jobdaten, Optimierung und Bauelementdaten gruppiert (siehe Bild 15).

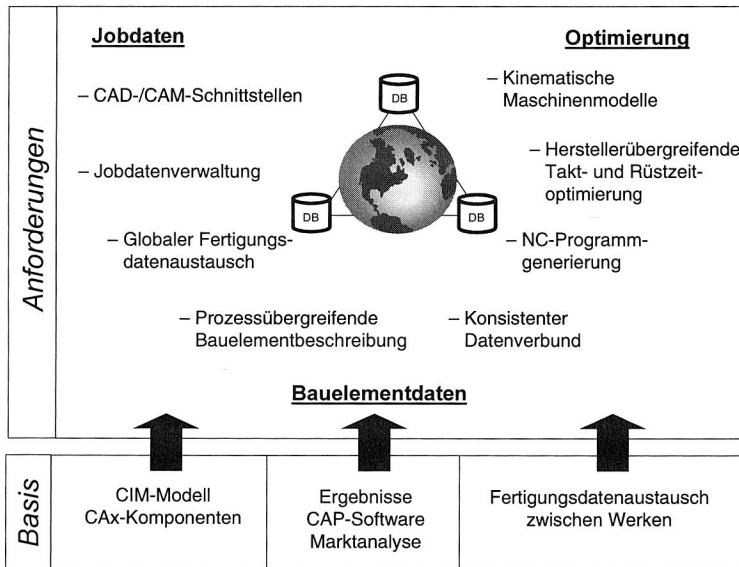


Bild 15: Konzeptstruktur bestehend aus den Hauptfunktionsfeldern für die Entwicklung des globalen CAP-Systems

Mit Hilfe der Funktionsgruppen konnten die beschriebenen Anforderungen systematisch in ein Gesamtkonzept eingeordnet und deren Abhängigkeiten in den nächsten Abschnitten weiter detailliert werden. Die Herausforderungen dabei bestanden in der Transformation der lokalen Gegebenheiten in einen globalen Gesamtzusammenhang unter Beachtung der CIM-Prinzipien.

#### 4.1 Anforderungen an ein globales CAP-System

Ein globales CAP-System muss den Anforderungen eines globalen Produktionssystems (vgl. Kapitel 1 und 2.1.3) genügen.

*Die notwendigen Funktionen und Schnittstellen zur Integration in ein CIM-System, zur Unterstützung einer zukunftsorientierten Elektronikproduktion mit flexiblen Produktionseinrichtungen sowie zur Realisierung eines globalen Datenaustausches müssen bereitgestellt werden.*

- Die Integration in ein CIM-System setzt standardisierte Schnittstellen für die Anbindung an andere CIM-Komponenten und ein gesamtheitliches Datenmodell voraus, so dass die entsprechenden Daten jeweils aus dem vorgelagerten Systemen oder Komponenten ohne Datenverlust und manuellem Aufwand entnommen werden können.
- Der Einsatz von Multi-Vendor-Lines bedingt eine herstellerübergreifende Maschinenoptimierung auf Basis einer universellen und konsistenten Prozessdatenbeschreibung. Bestehende Qualitätsanforderungen an den CAP-Prozess fordern den Einsatz von Simulationswerkzeugen zur Überprüfung der Ergebnisse während der Optimierung und Generierung der CAP-Daten.
- Anwenderfreundliche Hard- und Software wird für einen schnellen und dynamischen Datenaustausch zwischen mehreren CAP-Systemen benötigt. Dazu müssen zukunftsorientierte Technologien und Tools, wie z.B. Intranetlösungen, eingesetzt werden.

##### 4.1.1 Integration der bestehenden Insellösungen

In der Vergangenheit wurden zumeist maschinennahe Insellösungen aufgebaut und im Laufe der Zeit erweitert. Die darin enthaltenen Funktionen mussten dahingehend untersucht werden, ob die Zuordnung im Sinne der CIM-Funktionsstruktur (siehe Bild 5) richtig ist oder verändert werden musste. Mit dieser Vorgehensweise erfolgte eine Entflechtung von komplexen Softwaresystemen („all in one Systeme“) zu übersichtlichen und exakt voneinander getrennten Modulen und CAx-Komponenten. Nicht vorhandene CAx-Komponenten konnten so entstehen und in ein neu



strukturiertes CIM-System eingebunden werden. Die neu entstandenen Systemgrenzen müssen transparent und standardisiert sein, im Sinne des internen Datenaustausch zwischen den vorgelagerten und nachgelagerten Systemen. Entstandene Systemlücken konnten durch die Integration von marktverfügbaren oder eigenentwickelten Modulen und Tools geschlossen werden.

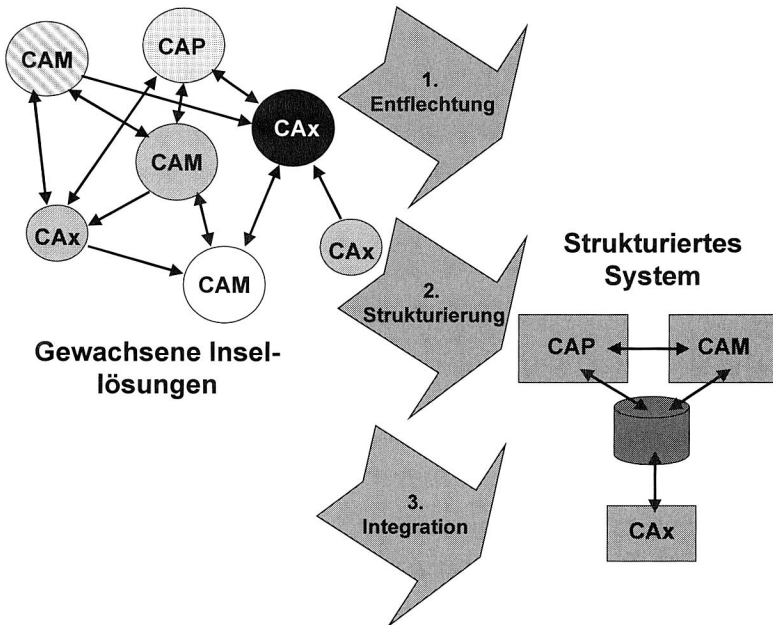


Bild 16: Systematische Vorgehensweise für die Entflechtung und Neustrukturierung der bestehenden Insellösungen in ein neue IV-Systemumgebung

Die Entflechtung eines bestehenden CAM-Systems wird in dem Bild 16 dargestellt. Dabei werden einzelne CAP-Funktionen herausgelöst, ggf. erweitert und modular zu einer neuen CAP-Komponente zusammengefasst. Zwischen den Komponenten entsteht dann eine neue Systemgrenze, welche mit Hilfe einer standardisierten Schnittstelle neu gestaltet werden muss.

Einen erheblichen Vorteil zeigt die Entflechtung und Neugestaltung von bestehenden CAX-Komponenten und alten Softwaresystemen.

Durch die Überarbeitung der bestehenden Daten- und Filestrukturen, die Vereinfachung der Abläufe, eine höhere Systemtransparenz und eine Anpassung und/oder Neugestaltung der Anwenderschnittstellen wird ein strukturiertes System erzeugt.

#### *4.1.2 Universelle Prozessbeschreibung*

Die umfassende Beschreibung der Prozessdaten zur Bestückung von Bauelementen unter Anwendung der SMT- und THT-Technologien war die Grundlage für die Optimierung, Simulation und Datengenerierung innerhalb des CAP-Systems. Die herstellerepezifischen CAM-Systeme verfügten zumeist über eine Beschreibung der Bauelement- und Maschinendaten. Übergeordnete CAP-Systeme verfügten nur über wenige Beschreibungsdaten je nach Unterstützungsgrad der Bestückdatenoptimierung. Je weniger Optimierung im CAP-System unterstützt wurde, desto weniger Bauelementinformationen wurden im CAP-System benötigt und verwaltet. Die generelle Arbeitsweise dieser „low level“ Systeme besteht (vergleiche mit 3.2.5 und 3.2.3) in der Verarbeitung der Entwicklungsdaten (CAD, BOM, Panel Informationen) zu einer Datenbasis. Danach erfolgt in einem nachfolgenden herstellerepezifischen CAM-System die Optimierung der Bestückprogramme und NC-Programmgenerierung. Zukünftige CAP-Systeme müssen für die herstellerübergreifende Optimierung und NC-Programmgenerierung eine umfassende Bauelement- und Maschinendatenbeschreibung verwalten können, um bereits im CAP-Prozess diese Daten in die Optimierung mit einbeziehen zu können.

Jedes Maschinensystem zur Bestückung von Bauelementen verwaltete seine eigene Bauelementbeschreibung. Die Komplexität war dabei jedoch sehr unterschiedlich. Bestückungssysteme konnten nach dem Umfang der integrierten optischen Prüfsysteme klassifiziert werden. Maschinen ohne Kamerasysteme zur Überprüfung der Bauelemente während des Bestückungsvorganges verwalteten z.B. nur sehr wenige BE-Informationen. Bestückungssysteme mit einfachen oder komplexeren Kamerasystemen dagegen verwalteten wesentlich mehr BE-Informationen.

Die Komplexität der Bauelementbeschreibungen und die Maschinenfähigkeit der Bestückungsmaschinen nahm mit der Komplexität der integrierten Prüfsysteme zur optischen Überwachung des Prozesses zu. Optische Prüfsysteme arbeiteten zumeist unter Verwendung der Methode der Schattenwurf oder Lasertriangulation zur Lageerkennung und Bauelementidentifizierung. Die Klassifizierung der Bestückungsmaschinen anhand der Komplexität der Prüfsysteme wurden in der Tabelle 4 erläutert.

Klassen	Optisches System	Werkzeuge	BE Typen	Sonstiges
0	Nein	Mechanische Greifer	Einfache Passive BE	-
1	Ja	Mechanische Greifer	Standard BE	-
2	Ja	Pneumatisch, Pipetten	Standard, IC-BE	Komplexere Bauformen
3	Ja	Pneumatisch, Pipetten	IC, Stecker, Sonder-BE	Koplanaritätsmessung mgl.

*Tabelle 4: Klassifizierung der Bestückungsmaschinen*

Mit steigender Klasse nimmt die Komplexität der integrierten Prüfsysteme zu. Die Maschinen aus der Klasse 0 sind für die Bestückung einfacher passiver Bauelemente geeignet, dagegen Maschinen der Klasse 3 können hochkomplizierte Sonderbauelemente mit einer entsprechend hohen Maschinenfähigkeit bestücken.

Die verteilten BE-Beschreibungen stellen ein großes Risiko für Dateninkonsistenzen zwischen den einzelnen Systemen dar und müssen mit hohem Aufwand gepflegt und abgeglichen werden. Jede Änderung muss so mehrmals konsistent vorgenommen werden.

Zur Verwaltung der Bauelementstammdaten sollte deshalb in dieser Arbeit eine herstellerübergreifende Datenbank auf Basis der herstellerspezifischen BE-Beschreibungen entwickelt werden, da nur so eine konsistente Verwaltung der Bauelementinformationen möglich ist.

#### 4.1.3 Maschinenübergreifende Optimierung

Die Forderung nach einer maschinenübergreifenden Optimierung in der Elektronikbestückung basierte auf dem Anspruch hochqualitative und kostenoptimierte Produkte produzieren zu können. Bezugnehmend auf die Kapitel 3.2.5 und 3.2.3 sollte der CAP-Prozess dahingehend erweitert werden, so dass der Einsatz von marktverfügbaren Bestückungsmaschinen flexibel an die Produkt- und Prozessrandbedingungen angepasst werden konnte. Das Ziel war die systematische Zuordnung von funktionsoptimalen Maschinen zu den jeweiligen Prozessen innerhalb einer Fertigungslinie. /29/

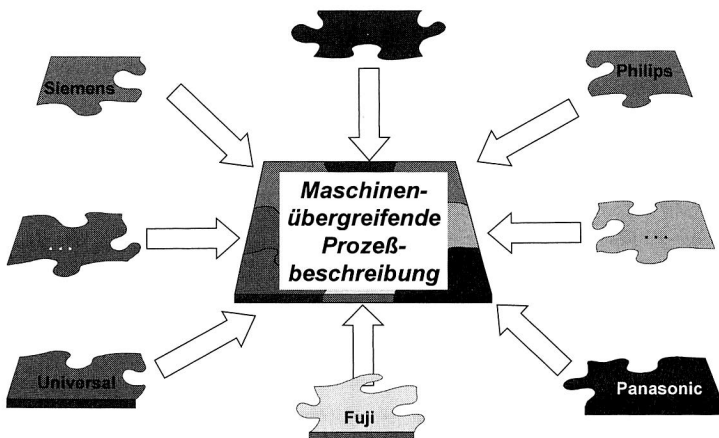


Bild 17: Integration der verschiedenen Bauelement-Beschreibungen der maschinennahen CAM-Insellösungen

##### 4.1.3.1 Optimierung von Multi-Vendor-Lines

Der Aufbau von Multi-Vendor-Lines in der Elektronikfertigung ist ein großer Innovationsvorsprung gegenüber konventionellen Konfigurationen. In der Vergangenheit wurden die Bestückungslinien meistens als Systemlösungen von einem Maschinenhersteller homogen gestaltet. /29/

Die prozessgerechte Segmentierung einer Bestückungslinie war die innovative Idee und bedeutete, dass für die Erfüllung der jeweiligen Prozessanforderungen auf dem Weltmarkt die jeweils funktionsoptimalen Maschinen ausgewählt werden. Mit der Integration von Maschinen

unterschiedlicher Hersteller in eine Bestückungsline entsteht eine Multi-Vendor-Line. /29/

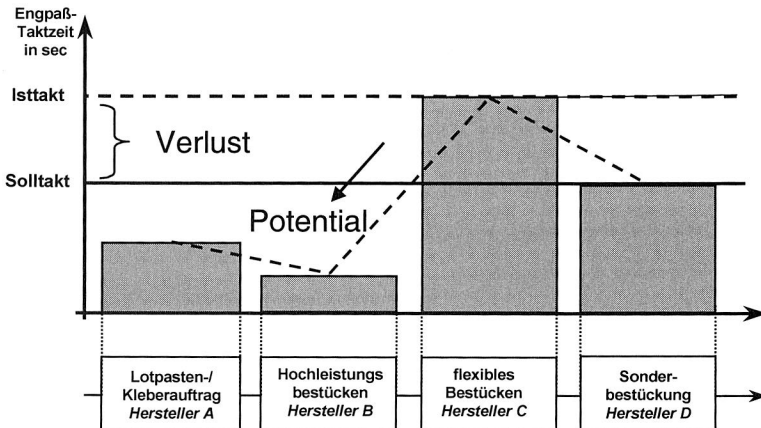


Bild 18: Engpassbetrachtungen bei der Taktzeitminimierung in gemischten Bestückungslinien (Multi-Vendor-Lines)

Die Vorteile einer Multi-Vendor-Line sind:

- Einsatz der funktionsoptimalsten Maschinen vom Weltmarkt
- Herstellerunabhängige Bewertung und Auswahl der Maschinen
- Flexibleres, partielles Update der Maschinenteknik möglich

Eine optimale Ausnutzung der so konfigurierten Bestückungsline kann nur mit Hilfe eines Softwaresystems erreicht werden, welches eine Linienausstattung, ein Linebalancing, über alle Maschinen der Linie unterstützt. Auf Basis von kinematischen Maschinenmodellen ist eine solche Linienausstattung rechnerunterstützt möglich.

#### 4.1.3.2 Kinematische Maschinenmodelle

Die Optimierung von Multi-Vendor-Lines muss im Allgemeinen ebenso auf den drei Grundschritten (vgl. 3.2.3) Aufteilen, Austakten und Weg-/Rüstop Optimierung aufgebaut werden. Jedoch verändern sich die Funktionszuordnung und die Schnittstellen innerhalb der CAD-CAP-CAM

Prozessstruktur. Die Optimierung wird aus der CAM-Komponente in die CAP-Komponente transferiert, um so die maschinenübergreifenden Abläufe durchführen zu können (siehe Bild 19).

Die Optimierung der Bestückungsdaten im CAP-Prozess muss zusätzlich auf die Grundlage von kinematischen Maschinenmodellen gestellt werden. Die kinematischen Modelle beinhalten die Beschreibung der kinematischen Grundprinzipien von Bestückungsmaschinen und ermöglichen somit eine exaktere Berechnung der Verfahrenswege und Taktzeiten.

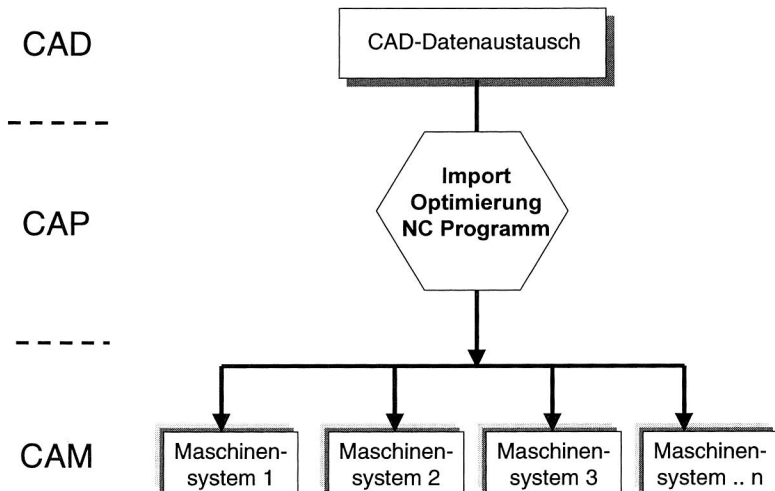


Bild 19: Darstellung der CAD/CAM-Prozesskette für die herstellerübergreifende Optimierung von Bestückungsmaschinen

Die existierenden SMD-Maschinen konnten anhand von kinematischen Grundprinzipien in verschiedene Bestückungsklassen eingeteilt werden. Dies ermöglichte gerade im Hinblick auf die erforderlichen Optimierungsalgorithmen eine zusammenfassende Betrachtungsweise für Maschinen unterschiedlicher Hersteller. /51/

Für jede Bestückungsklasse (im Bild 20) wird ein eigenes Zeitmodell benötigt. Neben den kinematischen Grundprinzipien mussten weitere

wichtige Kriterien in die kinematischen Maschinenmodelle eingearbeitet werden:

- Zuführeinrichtungen (Förderertypen)
- Platzbedarf
- Werkzeugkonfigurationen (Pipetten)
- Optische Prüfeinrichtungen, z.B. Passermarkenerkennung
- Wechselwirkung mit anderen Komponenten
- Zeit für die einzelnen Funktionen und Wege
- Stellmöglichkeiten
- Entsprechende Leistungsklasse der Maschine

Die Kriterien wurden aus /51/ entnommen und erweitert.

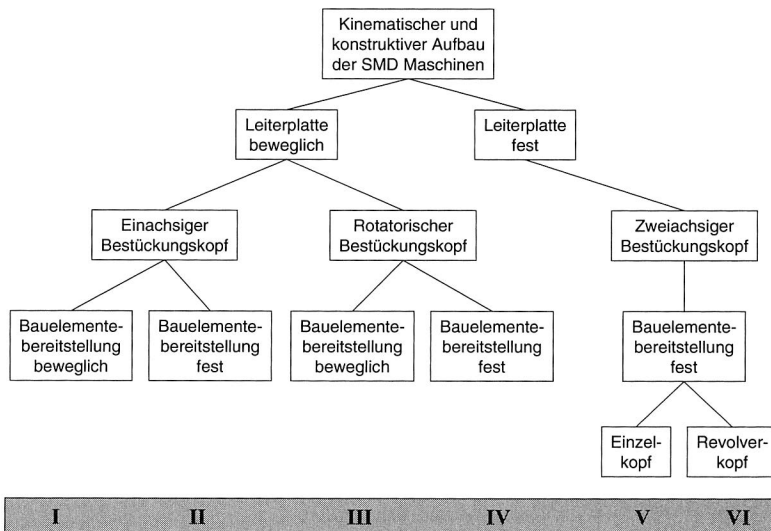


Bild 20: Klassifizierung der SMD-Bestückungsmaschinen anhand der unterschiedlichen kinematischen Maschinenkonzepte /51/

In der Literatur werden verschiedene Optimierungsalgorithmen für die Zeitmodelle beschrieben. /51/

Marktverfügbare CAP-Systeme verwendeten zur Programmoptimierung nur teilweise kinematische Zeitmodelle (siehe Marktanalyse Kapitel 3.2.3). Der

Einsatz von Zeitmodellen war jedoch eine Grundlage für eine optimale Ausnutzung der Bestückungskapazität. Die darin enthaltenen Algorithmen mussten mit den notwendigen Informationen bzgl. der Bauelemente, wie z.B. Bauformparameter, Maschineneignung, Fördererzuordnung, Werkzeugzuordnungen, etc. versorgt werden.

#### 4.1.4 Relationale Datenbank als CIM-Schnittstelle

In der Vergangenheit wurden die Bauelementinformationen maschinennah im CAM-Bereich verwaltet und standen damit im CAP-Umfeld nicht direkt zur Verfügung. Zukünftige CAP-Systeme mussten deshalb auf einer relationalen Datenbank basieren, um eine Standarddatenschnittstelle zur Verfügung stellen zu können.

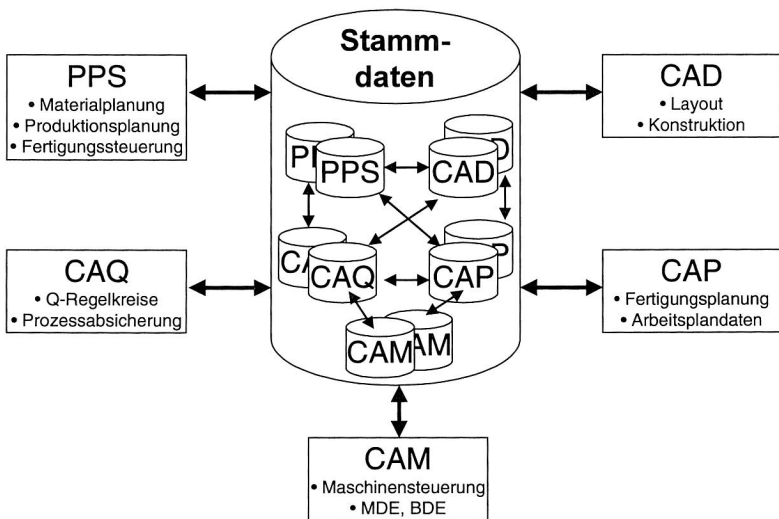


Bild 21: Führende Stammdatenbank als Integrationsfaktor und Schnittstelle in einem durchgängigen CIM-System

Die relationale Datenbank sollte unter anderem alle wichtigen BE-Informationen enthalten, welche mit Hilfe der universellen Prozeßbeschreibung (vgl. 4.1.2) analysiert werden konnten. Dieser Ansatz ist mit dem CAQ-Datenmodell von Köppe vergleichbar. /30/



Die Integration einer Datenbank in das CAP-System stellte weiterhin eine flexible Schnittstelle für externe BE Informationen zur Verfügung. Zukünftige CAP-Systeme könnten so einfach in bestehende CIM-Systeme eingebunden werden und Daten mit anderen CA-Komponenten austauschen.

Die Speicherung von technologischen und prozessbezogenen Daten in einer übergreifenden, produktorientierten Datenbank als Kernstück eines Unternehmens wird auch in der Literatur als wichtige Voraussetzung beschrieben und gefordert. /46/

#### 4.1.5 Prozesssimulation

Bei der Bestückung von Leiterplatten kommen oft hochkomplexe und kapitalintensive Bestückungsautomaten zum Einsatz. Die Planung und Optimierung von modernen Bestückungssystemen wird dadurch immer komplexer und hängt von immer mehr Faktoren ab. Die entstehenden technologischen und wirtschaftlichen Risiken sollten daher wenn möglich bereits in der Planungsphase minimiert werden. Eine Simulation stellt dazu ein effektives Instrument zur Unterstützung bei dieser verantwortungsvollen Aufgabe dar. /7/, /20/ Eine Simulation der von einem Automaten ausgeführten Bestückungsvorgänge ermöglicht nicht nur eine fundierte Analyse der Leistungsfähigkeit eines bereits installierten Produktionssystems, sondern gestattet vor allem eine realistische Prognose der Produktionsleistung. /20/

Die Produktionsleistung wird durch den sogenannten *Makespan* bestimmt. Dieser setzt sich aus den Faktoren Rüstzeit und Bestückungszeit inklusive Störzeit zusammen. Der Makespan wird über 24 Stunden analysiert und anhand der Gesamtausbringung (Stückzahl) der betrachteten Bestückungseinheit bewertet.

Zusätzlich zu der Optimierung und Simulation des Bestückungsprozesses wird die Minimierung der Rüstzeiten immer wichtiger. Dies spiegelt den Trend zu immer kleineren Losgrößen und steigender Varianz der Bauelemente in der Elektronikfertigung wider. Mehr als 35% der theoretischen Bestückleistung einer SMD-Fertigungslinie werden durch das Rüstverhalten und die zum Einsatz kommenden Rüststrategien beeinflusst. /7/ Die Aufgabe eines rechnerunterstützten Simulationswerkzeuges sollte

deshalb die Simulation der Rüststrategien, die Optimierung der Auftragsreihenfolge und die Simulation des Bestückprozesses umfassen. /19/,/45/,/51/ Eine Minimierung des Makespan ist eines der Hauptziele der Simulation zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit in der Elektronikfertigung. Marktverfügbare Systeme lösen diese Aufgabe mit Hilfe von unterschiedlichen Algorithmen und mathematischen Modellen: wie z.B. heuristische Algorithmen, Evolutionstrategien und genetische Algorithmen. /26/, /51/ Zur Unterstützung des Anwenders bei der Durchführung von Simulationaufgaben sollten marktverfügbare Standardsysteme in das globale CAP-System integriert werden.

#### *4.1.6 Globale Systemverknüpfung*

Bevor die in der Arbeit ausgewählten lokalen CAP-Systeme (s. Kapitel 3.4) zu einem globalen Datenverbund verknüpft werden konnten, mussten Schnittstellen und standardisierte Datenformate implementiert werden. Dazu konnte auf bestehende Standardformate der CAD-Daten und maschinenspezifischen NC-Daten aufgebaut werden.

Für die Integration eines marktverfügbaren CAP-Systems konnte auf der Grundlage eines Verknüpfungsgrades die Eignung der Systeme bewertet werden. Der globale Verknüpfungsgrad von CAP-Systemen setzte sich aus vier Faktoren zusammen:

- Schnittstelle Entwicklungsdaten,
- Schnittstelle Bauelementdaten,
- Schnittstelle Rüstinformationen,
- Schnittstelle NC Daten.

Die Gewichtung der Faktoren wurde theoretisiert und zu gleichen Teilen vorgenommen, so dass jeder Faktor 25% des Verknüpfungsgrades repräsentiert. (siehe Bild 22)

##### *4.1.6.1 Produktdatenaustausch*

Die Verknüpfung von lokalen CAP-Systemen zu einem globalen Daten- und Systemverbund kann in verschiedenen Ausbaustufen erfolgen. Welcher Verknüpfungsgrad jedoch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll ist,

wird im Bild 22, basierend auf den Erkenntnissen aus dem Kapitel 3.3 dargestellt.

Die Zusammenhänge sind wie folgt zu interpretieren: Für eine primäre Produktverlagerung steht ein Datenumfang von 50% zur Verfügung, sodass für einen globalen Datenaustausch mindestens ein CAP-Systemverknüpfungsgrad von 50% notwendig ist.

Analog dazu muss für eine Produktionsverlagerung mit einem existierenden Datenumfang von 100% der CAP-Verknüpfungsgrad ebenfalls 100% betragen, um auf wirtschaftliche Art und Weise Daten global austauschen zu können.

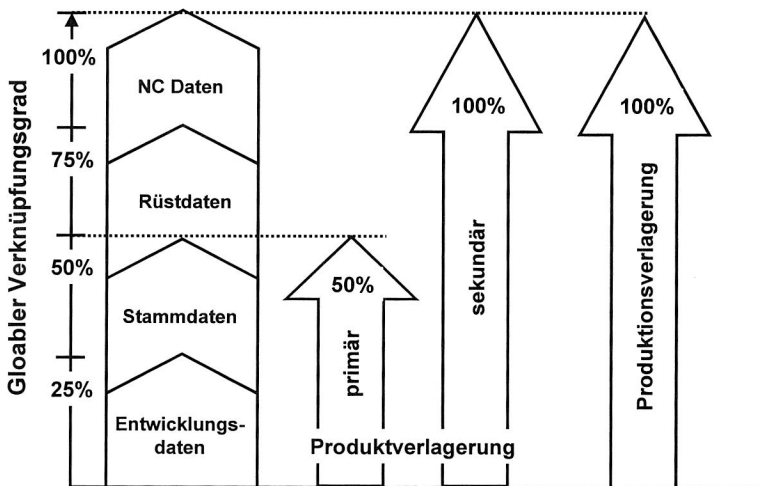
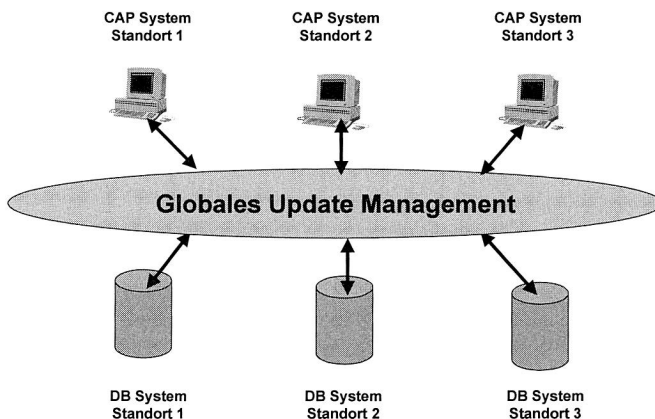


Bild 22: Zusammenhang des digitalen Datenaustausches für Produkt- und/oder Produktionsaustausch zum globalem Verknüpfungsgrad von CAP-Systemen

Die resultierende Wirtschaftlichkeit eines globalen CAP-Systems ist damit u.a. abhängig vom Umfang des notwendigen Datenaustausches im Zusammenhang mit Verlagerungen von Produkten und Maschinen.

#### 4.1.6.2 Verteilte Datenbanken in CAP-Systemen

Befinden sich mehrere CAP-Systeme in einem globalen Datenverbund, so spricht man von verteilten Systemen. Große Distanzen, lange Antwortzeiten und hohe Sicherheitsanforderungen können in einem WAN verteilte CAP-Systeme notwendig machen. Jeder Fertigungsstandort würde in so einem Fall ein eigenes CAP-System mit einer relationalen Datenbank benötigen. Bei verteilten Datenbeständen besteht jedoch die Möglichkeit, dass die wichtigen Bauelement-Stammdateninformationen inkonsistent werden. Dies würde bedeuten, dass gleiche Produkte in unterschiedlichen Unternehmensstandorten unterschiedlich produziert werden würden. Kompatibilitäts- und Qualitätsprobleme wären die Folge.



*Bild 23: Entwurf der Lösungsstruktur für die globale Verknüpfung von Fertigungsstandorten und deren Bauelementdatenbanken*

Daraus ergab sich die Forderung für konsistente Stammdaten der zu generierenden Datenbank, dass die Pflege der verteilten Stammdatenbanken durch ein globales Änderungsmanagement (Update Management) softwaretechnisch unterstützt werden muss. Ziel dieser Softwareunterstützung war es, notwendige autorisierte Änderungen in den Stammdaten konsistent über die verteilten Datenbanken zu organisieren.

Dazu mussten die notwendigen Abläufe beschrieben und in Software umgesetzt werden.

## 4.2 Entwurf der Softwarestruktur

### 4.2.1 *Software Engineering*

Software Engineering umfasst den gezielten Einsatz von Beschreibungsmitteln, Methoden und Werkzeugen für die systematische Entwicklung und Wartung von Software. /50/

Die Entstehung eines Softwareproduktes vollzieht sich in den verschiedenen Abschnitten. Dieser Entwicklungsprozess in mehreren Schritten wird auch Lebenszyklus oder „Lifecycle“ genannt. Die Anforderungen an die systematische Softwarekonstruktion umfassen: Korrektheit, Bedienungskomfort, Portabilität, Adaptierbarkeit, Wartbarkeit, Änderbarkeit und Lesbarkeit. /50/

Die Definition und Anforderungen können auf Softwaresysteme übertragen werden. Mit zunehmender Komplexität kann die Fehlerhäufigkeit und damit die Erstellungszeit von Software zu und die Qualität der Software abnehmen. Um die Qualität der Software trotzdem sicherzustellen zu können, müssen aufwendige Einzel- und schrittweise Integrationstests unternommen werden. In dieser Arbeit sollte eine Softwarestruktur zur Integration von Standardsoftware und spezifischen Softwaremodulen zu einem CAP-System entworfen und umgesetzt werden. Zur Vereinfachung der Softwarekonstruktion wurde der Entwicklungsprozess in zwei Abschnitte unterteilt. Im folgenden ersten Abschnitt wird die lokale Struktur beschrieben. Die lokale Struktur dient zur Erfüllung der Aufgaben in jedem einzelnen Unternehmensstandort. Aufbauend auf der lokalen Struktur wurde dann die globale Struktur entworfen. Die globale Struktur stellt dann eine erweiterte lokale Struktur dar, mit deren Hilfe die globalen Aufgaben erfüllt werden können.

#### 4.2.2 Lokale Softwarestruktur

Die Anforderungen an die Funktionen der lokalen Struktur konnten direkt an den Aufgaben der Anwender ermittelt werden:

- Optimierung und Erstellung von NC-Programmen und Bestückinformationen für die Elektronikfertigung
- Erstellung und Pflege von Bauelement-Stammdaten in einer externen relationalen Datenbank
- Standardisierte Bereitstellung der Bestückungsdaten
- Erfüllung der allgemeinen Anforderungen an Software, siehe 4.2.1

Für die Bedienung der Software musste eine grafische Oberfläche zur Verfügung gestellt werden, wobei Standardsoftware eingesetzt wurde. Die Auswahl des jeweiligen Betriebssystems orientierte sich an der verfügbaren Hardware und der Kompatibilität zu den weiteren Softwaremodulen. Im CAD/CAP Bereich sowie im Datenbank- und Applikationsserverbereich kam das Betriebssystem UNIX und deren Derivate zum Einsatz. Im Fileserver und Frontend-Bereich wurde auch zunehmend das WINDOWS-NT-Betriebssystem eingesetzt.

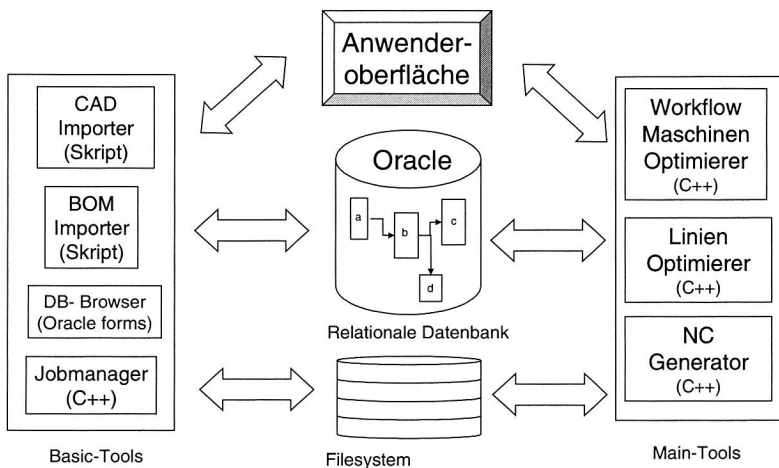


Bild 24: Software- und Datenstruktur eines lokalen CAP-Systems mit relationaler Datenbank

Die Softwaremodule für die Erstellung und Optimierung der NC-Programme und Bestückinformationen wurden in Toolgruppen unterteilt: Main-Tools und Basic-Tools (siehe Bild 24).

Die Maintools: Maschinen-Optimierer, Linien-Optimierer und NC-Generator sollten durch Standardsoftware abgedeckt werden. Die darin enthaltenen Funktionalitäten mussten die Standardabläufe und Algorithmen, welche in der Elektronikfertigung (siehe vorangegangene Kapitel) benötigt werden, abdecken. Die Schnittstellen zwischen den Modulen mussten dokumentiert und standardisiert sein, so dass ein einfacher Datenaustausch möglich wurde.

Die Basic-Tools umfassten die Eingangsschnittstellen für die Entwicklungsdaten: CAD und BOM sowie den Jobmanager und die Datenbankschnittstelle. Bei diesen Tools wurde besonders großer Wert auf die Adaptierbarkeit, Wartbarkeit und Änderbarkeit gelegt, da diese Module die Bedienbarkeit von dynamischen Schnittstellen sicherstellten. Dies ist auch der Grund dafür, dass diese Module nicht mit Standardsoftware abgedeckt werden konnten, sondern spezifisch erstellt und angepasst werden mussten. Um eine schnelle und einfache Adaptierbarkeit zu erhalten, sollten die Module für den CAD- und BOM-Import in leicht verständlicher Skriptsprache programmiert werden. Die Bereitstellung der Bestückungsdaten und die Organisation der Daten, wie z.B. erstellen, sortieren, löschen, kopieren, umbenennen, freigeben, etc. innerhalb des CAP-Systems sollte mit Hilfe des Jobmanagers und des Filesystems erfolgen. Diese stellen eine wichtige Ergänzung zu den Main- und Basictools dar.

Weitere Softwaremodule wie z.B. Comandtool, Printtool, allgemeiner Filemanager, etc. wurden standardmäßig durch das jeweilige Betriebssystem zur Verfügung gestellt.

#### *4.2.3 Globale Softwarestruktur*

Auf Basis der lokalen Struktur und durch erweiterte Aufgaben und Funktionen wurde die globale Softwarestruktur erstellt.

Mit der lokalen Softwarestruktur entstanden die standortbezogenen lokalen CAP-Systeme zur planerischen Unterstützung der Leiterplattenbestückung in der Elektronikfertigung. Durch die Installation der lokalen CAP-Systeme in zwei oder mehreren Fertigungsstandorte eines Unternehmens wurde eine globale Verknüpfung dieser Systeme notwendig. Die wirtschaftlichen Aspekte werden im Kapitel 7 dargestellt.

Im lokalen CAP-Prozess entstehen im jeweiligen Unternehmensstandort Fertigungsdaten, welche im Filesystem und in der Datenbank verwaltet werden. Ein Vorteil für das Unternehmen ist es, wenn diese Fertigungsdaten produktbezogen zwischen allen Unternehmensstandorten verglichen und ausgetauscht werden könnten. Ziel einer solchen Verknüpfung sollte es sein, eine gemeinsame Datenbasis innerhalb des Unternehmens aufzubauen, welche es erlaubt, die Prozesse und Abläufe in der Elektronikfertigung global zu standardisieren.

Die sich daraus ergebenden Aufgaben konnten wie folgt beschrieben werden:

- Aufbau von standardisierten Schnittstellen zwischen den lokalen CAP-Systemen
- Vergleichsfunktionen für die lokalen Datenbestände untereinander, produktbezogen
- Tools zur Steuerung des globalen Datenaustausches
- Sicherstellung der Konsistenz der gemeinsamen Datenbasis

Die Datenschnittstellen zwischen den CAP-Systemen wurden durch die Datenbank und den Jobmanager definiert. Der Vergleich und der Austausch von Daten zwischen lokalen Datenbanken erfolgte auf Basis der Datenbankstruktur und deren Tabellen. Dazu stellten die Datenbanksysteme geeignete Hilfstools zur Verfügung. Die Gestaltung der Datenbankstruktur wurde dadurch beeinflusst und im Kapitel 4.3 bearbeitet.

Eine produktbezogene Verwaltung der Fertigungsdaten erleichterte den Vergleich und den globalen Austausch. Der Jobmanager organisierte deshalb die produktbezogene Fileverwaltung im lokalen CAP-System und im globalen CAP-Verbund. Die Fertigungsdaten (außer BE-Informationen in der Datenbank) mussten deshalb produktbezogen im Filesystem als Job



gespeichert und verwaltet werden. Die Neuerstellung, die Änderung und der Austausch von Job's musste automatisiert werden.

Die Erweiterungen zur globalen Softwarestruktur werden in dem Bild 25 dargestellt. Die dargestellten, lokalen CAP-Systeme wurden hinsichtlich der Datenbanken und der Filesysteme durch zusätzliche Softwaremodule verknüpft. Die darin enthalten Grundfunktionen wurden mit „Update und Verify“ für die Datenbankebene und mit „Import und Export“ auf der Filesystemebene benannt. Alle anderen Strukturen im lokalen Bereich blieben unverändert.

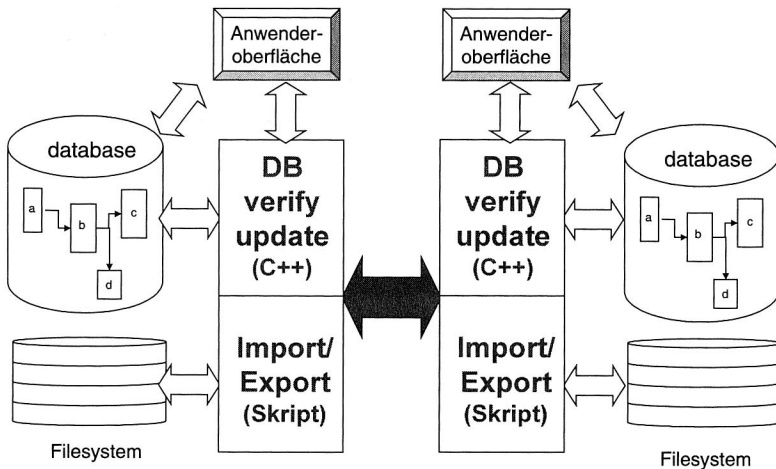


Bild 25: Modulare Systemstruktur eines globalen CAP-Systems basierend auf der Verknüpfung von lokalen Software- und Datenstrukturen

Analog dazu muss für eine Produktionsverlagerung mit einem existierenden Datenumfang von 100% der CAP-Verknüpfungsgrad ebenfalls 100% betragen, um auf wirtschaftliche Art und Weise Daten global austauschen zu können.

Die Darstellung der Entwicklung der beschriebenen Softwaremodule zur globalen Verknüpfung der lokalen CAP-Systeme wird in den Kapiteln 5 und 6 beschrieben.

### 4.3 Integriertes Datenmodell

#### 4.3.1 Vorgehensweise zur Modellbildung

Die Forderung nach einem Datenmodell wurde in vorangegangenen Abschnitten mehrfach festgeschrieben, um die verteilten Bauelementinformationen in den existierenden CAM-Systemen mit Hilfe einer universellen Prozessbeschreibung dem CAP-Prozess zur Verfügung stellen zu können.

Komplizierte und umfangreiche Aufgaben können einfacher gelöst werden, wenn diese in einfache Teilprobleme zerlegt und diese einzeln gelöst werden. /50/,/25/ Dadurch erfolgte eine Abstraktion, welche in der Programmierung mit Hilfe von Datenstrukturen und deren Beziehungen zueinander beschrieben werden konnten. Mit Hilfe solcher Datenstrukturen war es möglich, sich auf die relevanten Eigenschaften zu konzentrieren und ein neues Modell zu erstellen.

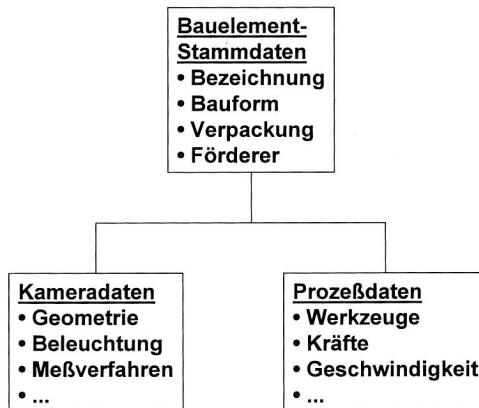


Bild 26: Basismodell der Bauelementdatenstrukturen von CAM-Systemen

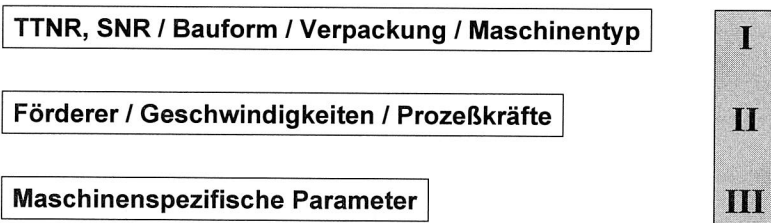
#### 4.3.2 Analyse der Datenstrukturen

Im analysierten, existierenden CAM-Bereich wurden die angesprochenen Bauelementinformationen in herstellerspezifischen Systemen verwaltet, welche zumeist noch mit einem Hostrechner ausgestattet waren. Die

Hostrechner waren mit den einzelnen Maschinen in der Fertigung zu einem Netzwerk verknüpft, wobei die Stammdaten auf dem Hostsystem verwaltet wurden.

Die Stammdaten wurden nach optischen Kameradaten und Prozessdaten unterschieden. Die Kameradaten enthielten die Informationen zur optischen Erkennung und Überprüfung der Bauelemente in der Maschine. Mit den Prozessdaten wurden die verschiedenen Parameter bzgl. der Werkzeuge (Greifer, Zangen, Pipetten), der Bestückgeschwindigkeit, der Prozesskräfte, etc, und damit indirekt eine Zuordnung zu bestimmten Maschinentypen festgelegt (siehe Bild 26 ).

Die Verknüpfung der Kamera- und Prozessdaten erfolgte über die Bauelementparameter: Bezeichnung, Bauform, Verpackung und Förderer. Eine eindeutige Nomenklatur für die Bezeichnung der Bauelemente wurde unternehmensspezifisch über eine sogenannte Typ-Teilenummer (TTNR) oder Sachnummer (SNR) vorgenommen.



*Bild 27: Klassifizierung der Bauelementparameter anhand des Basismodells*

Die für den CAP-Prozess wichtigen Parameter konnten auf Basis der Analyse wie im Bild 27 klassifiziert werden. Mit Hilfe dieser drei Klassen war es nun möglich ein gemeinsames Verzweigungsmodell zu erstellen.

#### 4.3.3 Entwicklung des Verzweigungsmodells

Die klassifizierten Parameter und deren Zusammenhänge sollten mit Hilfe von Baumstrukturen als gemeinsame Datenstruktur entwickelt und dargestellt werden. Die direkten Zusammenhänge ergaben sich aus Beziehungen (Relationen) zwischen den Parametern.

Ein Bauelement lässt sich z.B. nach Bild 28 mit der TTNR/SNR, dem elektrischen Typ, dem Barcode und weiterer spezifischer Parameter eindeutig beschreiben. Analog dazu steht eine Maschine zur Bestückung von Bauelementen in direkter Beziehung zu den Werkzeugen (Tools), der Maschinengruppe und den dazugehörigen Förderern. Die grauen Parameter stellen die Klasse I (vgl. Bild 27) dar.

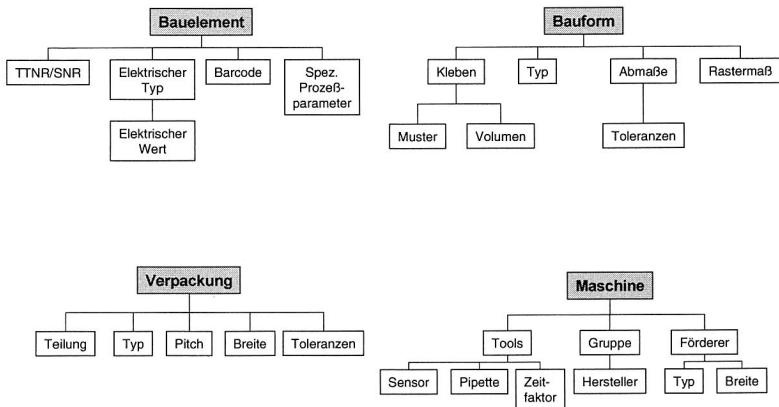


Bild 28: Bauelementbeschreibung mit Hilfe der klassischen Baumstrukturen

Als nächster Schritt zur Modellbildung mussten noch die Parameter der Klasse I in Relation zueinander gebracht werden. Auch diese Parameter lassen sich in eine logische Beziehung zueinander setzen. Mit Hilfe des sogenannten Entitäten-Beziehungsmodells (entity relationship model) /3/ soll die Klassen-I-Relation dargestellt werden.

Die so definierten Verbindungen stellen das Grundgerüst des relationalen Datenmodells dar. Zur einer besseren Übersicht werden die Relationen zumeist in Tabellen dargestellt.

Die Bestückbarkeit eines Bauelementes stellt sich nach dem Entitäten-Beziehungsmodells im Bild 29 so dar, dass eine 1:1:n Relation zwischen der Bauelementverpackung, der Bauelementbauform und der Bestückungsmaschine sowie eine 1:1 Relation zwischen Bauelement und Bauform und eine 1:n Relation zwischen Bauelement und Verpackung besteht. Prozesstechnisch erklärt bedeutet dies, dass ein bestimmtes

Bauelement mit einer bestimmten BE-Verpackung und mit einer bestimmten Bauform auf einer oder mehreren Bestückungsmaschinen verarbeitet werden kann.

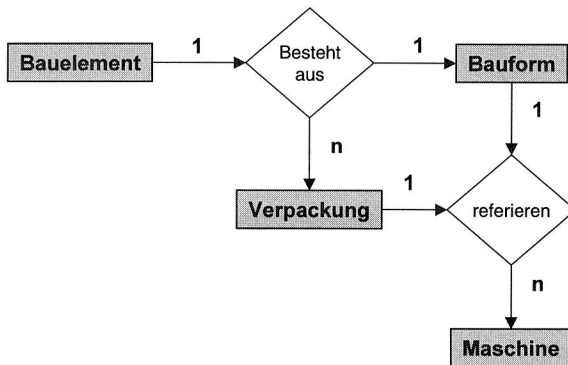


Bild 29: Entitäten Beziehungsmodell Bauelement-Bauform-Verpackung

#### 4.3.4 Umsetzung in eine relationale Datenbank

Für die Umsetzung der Tabellen in eine relationale Datenbank mussten noch die Primärschlüssel der einzelnen Tabellen festgelegt werden. Weiterhin mussten die Tabellen mit allen notwendigen Attributen zu einer umfassenden BE-Beschreibung vervollständigt werden.

Die Auswahl des Datenbanksystems stützte sich einerseits auf die Erfahrungen von Datenbankspezialisten und andererseits auf die Marktdurchdringung von Standardsystemen. Dabei fiel die Wahl auf ORACLE als ein Marktführer unter den professionellen Anbietern.

Die entwickelte, relationale Datenbankstruktur enthält alle notwendigen BE-Parameter, welche im CAP-Prozess für die Leiterplattenbestückung benötigt werden. Dabei handelt es sich insgesamt um 23 Tabellen mit 210 Attributen. Der wichtigste Primärschlüssel ist der Bauelementbezeichnung (TTNR, SNR) zugeordnet worden, da diese eineindeutig ist und damit den wichtigsten Parameter in der Datenbank und im CAP-Prozess darstellt.

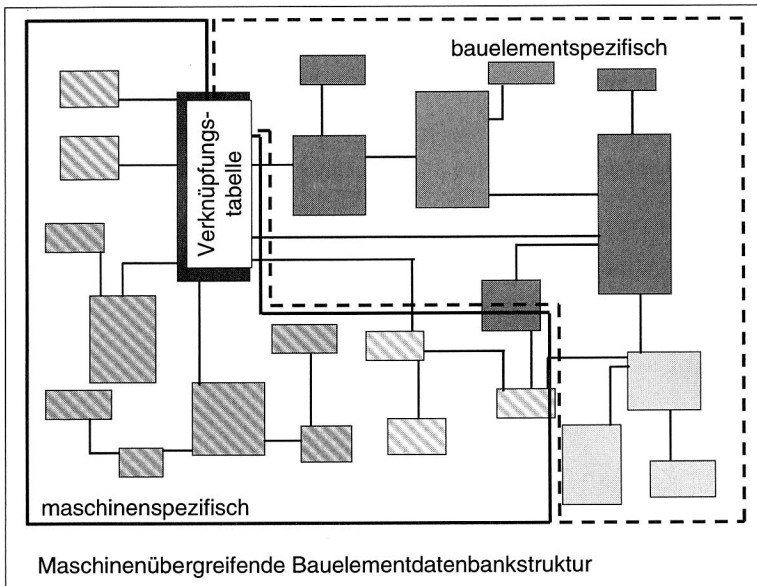


Bild 30: Relationale Tabellenstruktur des maschinenübergreifenden Modells zur Beschreibung der elektronischen Bauelemente in einem globalen CAP-System

Für die Pflege und Wartung der Daten wurden bedienerfreundliche Dialogmasken benötigt. Die Datenbanksoftware stellte dafür spezielle Softwaremodule zur Erstellung dieser bereit. Die Entwicklung des web-basierten Datenbankbrowsers wurde in Kapitel 5 näher beschrieben.

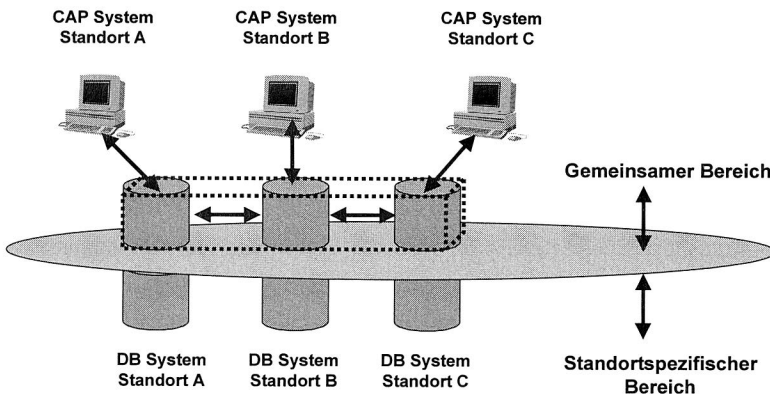
#### 4.3.5 Globales Datenbankmanagement

Wie bereits im Abschnitt 4.2.3 beschrieben, soll in dieser Arbeit das Ziel hochqualitative Produkte im globalen Fertigungsverbund wirtschaftlicher fertigen zu können verfolgt werden. Dazu soll als Grundlage eine gemeinsame globale Fertigungsdatenbasis verwendet werden. In jedem lokalen CAP-System sollte basierend auf dem Datenbankmodell (vgl. Abschnitt 4.3.4), eine lokale Fertigungsdatenbank für die Leiterplattenbestückung aufgebaut werden.

Die darauf folgende Verknüpfung der lokalen Datenbanken zu einer gemeinsamen globalen Fertigungsdatenbasis musste sich an den Anforderungen im Kapitel 4.1.6.2 orientieren. Dies bedeutete die Konzeption und Implementierung eines globalen Datenbankmanagements.

Mit diesem Vorgehen wurde jedoch nicht die produktive Flexibilität der einzelnen Unternehmensstandorte eingeschränkt. Vielmehr wurde eine Standardisierung zum Vorteil aller Standorte erreicht.

Das Konzept für ein globales Datenbankmanagement sieht nun vor, dass das Datenbankmodell hinsichtlich des globalen Fertigungsverbundes in verschiedene Bereiche unterteilt wird.



*Bild 31: Verknüpfung und Einteilung der Datenbankinhalte in globale Datenbereiche zur effizienteren globalen Verwaltung*

Die Datenbank wurde daher in einen gemeinsamen Bereich und die standortspezifischen Bereiche unterteilt. Damit sollte erreicht werden, dass die Daten und Parameter, welche standardisierbar sind, im gemeinsamen Bereich verwaltet und jedem Unternehmensstandort gleichermaßen, als ein Datensatz, zur Verfügung gestellt werden. Änderungen sind in dieser Ebene nur mit Hilfe des Update Managements möglich und bedürfen strikter Abläufe und Verantwortlichkeiten. Alle anderen standortspezifischen Parameter sollten in den standortspezifischen Bereichen eigenverantwortlich verwaltet werden.

Die Festlegung der Bereiche musste unternehmensspezifisch erfolgen und den vorhandenen Anforderungen sowie den lokalen und globalen Gegebenheiten Rechnung tragen. Nach einer Analyse war folgender Entwurf für eine Aufteilung praktikabel:

- Gemeinsamer Bereich: Informationen bzgl. der Parameter *Bauelement, Bauform, Verpackung*
- Standortspezifische Bereiche: Informationen bzgl. der Parameter *Maschine*

Die Ergebnisse aus der Leiterplattenbestückung zeigten, dass die Beschreibungen für die Bauelemente, Bauformen und Verpackungen allgemeingültig waren und bestimmte darin enthaltene Parameter sogar internationalen Standards unterliegen. Diese Beschreibungen konnten deshalb dem gemeinsamen Bereich zugeordnet werden. Die Beschreibungen der Maschinen sind dagegen wesentlich dynamischer und konnten daher nur schwer standardisiert werden. Eine teilweise Vereinheitlichung der Maschinensysteme über mehrere Unternehmensstandorte hinweg wäre vorstellbar und von Vorteil, was den standortspezifischen Bereich dann unter Umständen überflüssig machen würde.

#### **4.4 Alternative Lösungsansätze und deren Bewertung**

Das Konzept des globalen CAP-Systems zur Optimierung der Leiterplattenbestückung in der Elektronikfertigung wurde in den Kapiteln 4.2 bis 4.3.5 entwickelt und dargestellt. Darin wurden mehrere Lösungsansätze systematisch in ein globales Gesamtmodell eingearbeitet. Der Lösungsansatz für die lokale Softwarestruktur (vgl. Kap. 4.2) soll in diesem Kapitel mit weiteren Alternativen verglichen und bewertet werden. Die Bewertung der Alternativen wird unter Berücksichtigung der beschriebenen Anforderungen (vgl. Kap. 4.1) erfolgen.



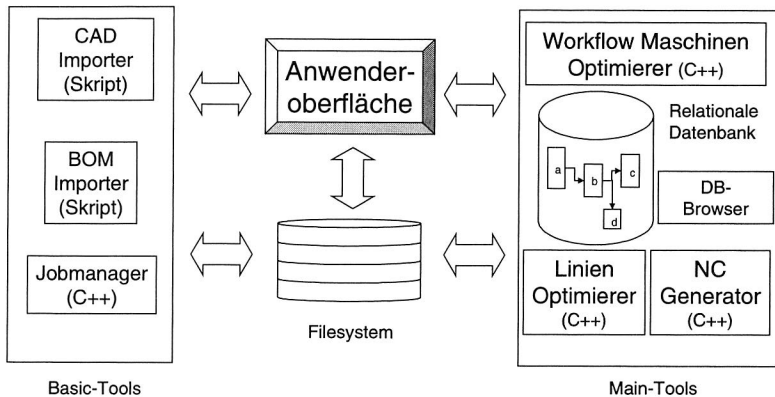


Bild 32: Lösungsvariante für ein Softwarekonzept mit interner Datenbank in einer CAP-Standardsoftware

Folgende Alternativen zu einer lokalen Softwarestruktur werden vorgestellt:

- Interne Datenbank in einem CAP-Standardsoftwaresystem
- Verteilte Datenbanken in herstellerspezifischen Systemen

#### 4.4.1 Interne Datenbank im Standardsystem

Dieser Ansatz enthält ein marktverfügbares CAP-Softwaresystem mit einer integrierten Datenbank zur BE-Beschreibung. Die Schnittstellen zur Pflege und Bedienung der Datenbank sind intern. In dem Bild 32 wird das dazugehörige Softwarekonzept dargestellt.

Die Basic Tools für den Import der Entwicklungsdaten sowie der Jobmanager sind gleich. Durch die Integration der relationalen Datenbank in das CAP-System ist eine flexible Erweiterung nur bedingt möglich und vom Hersteller des CAP-Systems abhängig. Weiterhin sind nur bedingt weitere CAP-Informationen im Sinne einer CIM-Schnittstelle integriert, da die interne Datenbank auf die Anforderungen der internen Prozesse abgestimmt ist.

Das Konzept des globalen Datenbankmanagement sowie die Anforderungen nach Standardschnittstellen im globalen Fertigungsverbund wäre nur dann optimal einsetzbar, wenn in allen Unternehmensstandorten das gleiche CAP-System zur Optimierung der Leiterplattenbestückung implementiert wäre.

#### 4.4.2 Verteilte Datenbanken in herstellerspezifischen Systemen

Das Konzept für diese Alternative baut auf der aktuellen Ist-Situation der Elektronikfertigung auf. Bestehende maschinennahe und herstellerspezifische Insellösungen (CAM-Systeme) würden an eine CAP-Systemebene angebunden werden. Eine Integration wäre aufgrund der zu unterschiedlichen Abläufe und Schnittstellen zwischen den einzelnen CAM-Systemen nicht möglich.

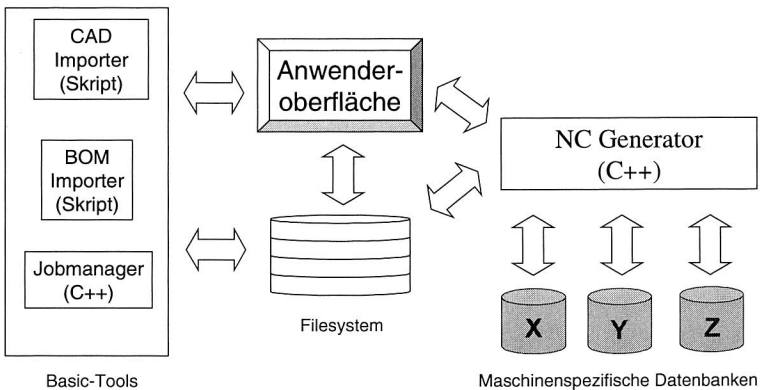


Bild 33: Lösungsvariante für ein Softwarekonzept mit verteilten Datenbanken im herstellerspezifischen CAM-Umfeld

Die Funktion „Optimierung“ soll hierbei weiterhin im CAM-Bereich von den herstellerspezifischen Systeme durchgeführt werden. Im CAP-System sollen auch weiterhin die Funktionen „NC-Generierung“ sowie die Basic Tools zum Import der Entwicklungsdaten und zur Organisation der NC-Daten realisiert werden.(siehe Bild 33)

Der Einmalaufwand zum Aufbau dieser Softwarestruktur wäre geringer gegenüber den beiden anderen Konzepten, da auf bestehende Systeme aufgebaut werden könnte. Die Pflege und Verwaltung der BE Beschreibungen sowie NC-Daten wäre wesentlich aufwendiger, um eine Konsistenz der Daten erreichen zu können. Das Konzept des globalen Datenbankmanagement könnte mit dieser Systemlösung nicht erfüllt werden.

Die Anforderungen nach Standardschnittstellen im globalen Fertigungsverbund könnten nur bezogen auf NC-Daten unterstützt werden.

#### 4.4.3 *Bewertungsanalyse der Lösungsvarianten*

Für die Bewertung der beschriebenen Lösungsvarianten wurde die Problemlösungs- und Entscheidungsstrategie nach Kepner Tregoe /38/ eingesetzt. Diese Strategie ist ein erfolgreiches Werkzeug des Projektmanagements zur systematischen Bewertung von Lösungsmöglichkeiten, inkl. der Darstellung der Risiken der jeweiligen Varianten. Der Ablauf wird in zwei Stufen unterteilt:

- Qualitative Bewertung der Varianten anhand der Muss-Kriterien
- Punktebewertung der Varianten anhand der Soll-Anforderungen.

In der ersten Stufe ist es wichtig, dass alle Varianten die grundlegenden Bedingungen für die potentielle Realisierung erfüllen. Gibt es Varianten, welche die Muss-Kriterien nicht erfüllen können, so scheiden diese Varianten in der zweiten Stufe von vornherein aus und müssen nicht weiter betrachtet werden. Die Muss-Kriterien wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich untersucht und beschrieben:

1. Konsistenz der Bauelement-Daten
2. Maschinenübergreifende Beschreibung der Bauelement-Daten
3. Optimierung von Maschinen-(NC)-Daten
4. Globaler Austausch von Fertigungsdaten

Die zweite Stufe gibt die Möglichkeit die Lösungsvarianten anhand von Soll-Anforderungen zu bewerten. Die folgenden Sollanforderungen stellen dabei eine detailliertere Form der Muss-Kriterien dar.

1. Relationale Datenbank als CIM Schnittstelle
2. Kinematische Modelle für die Optimierung
3. Optimierung von Multi-Vendor-Lines
4. Standardisierte Schnittstellen für globalen Datenaustausch
5. Globale gemeinsame Fertigungsdatenbasis

Anhand dieser lassen sich die funktionalen Abdeckungsgrade der einzelnen Varianten genauer analysieren und bewerten.

<b><u>Soll-Anforderungen</u></b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(3)</b>	<b>(4)</b>	<b>(5)</b>
(1) Relationale Datenbank als CIM-Schnittstelle	-	1	0	2	1
(2) Kinematische Modelle für die Optimierung	1	-	1	2	2
(3) Optimierung von Multi-Vendor-Lines	2	1	-	2	2
(4) Standardisierte Schnittstellen für globalen Datenaustausch	0	0	0	-	1
(5) Globale gemeinsame Fertigungsdatenbasis	1	0	0	1	-
<b>Gewichtung</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>6</b>
Legende: 0 = unwichtiger, 1 = gleich wichtig, 2 = wichtiger					

*Tabelle 5: Gewichtung der Anforderungen für die Bewertungsanalyse der verschiedenen Lösungsvarianten*

Bevor jedoch mit der Bewertung begonnen werden konnte, mussten die folgenden Soll-Anforderungen gewichtet werden. Die Gewichtung wurde mit Hilfe einer Vergleichsmatrix durchgeführt und in Tabelle 5 dargestellt. Die Gewichtungen werden in der zweiten Stufe der Entscheidungsstrategie mit den Bewertungen multipliziert und zu einer Gesamtpunktzahl addiert. Die Durchführung der Strategie nach Kepner Tregoe wurde in der Tabelle 7 dokumentiert. Die Bewertung der Lösungsalternativen kam zu folgendem Ergebnis:

Lösungsvarianten	„Externe DB“ (Vgl. Kap. 4.2)	„Interne DB“ (vgl. Kap. 4.4.1)	„Verteilte DB“ (vgl. Kap. 4.4.2)
Bewertung	91	51	24

*Tabelle 6: Ergebniszusammenfassung der Bewertungsanalyse nach Kepner Tregoe*

Eine Entscheidung für eine der möglichen Lösungsvarianten fiel anhand dieses Ergebnisses nicht schwer, da die erzielten Punktzahlen sich deutlich unterscheiden. Die Lösung auf Basis einer „Externen Datenbank“ im CAP-Umfeld wurde mit der höchsten Punktzahl bewertet. Der prinzipielle Vorteil dieser Lösung gegenüber den beiden anderen Lösungsansätzen lag in der externen Datenbank, welche die höchste Flexibilität und Modularität gegenüber den Anforderungen nach einer DB-CIM-Schnittstelle, nach standardisierten Schnittstellen zum Datenaustausch und nach einem globalen Datenbankmanagement darstellt. Der prinzipielle Nachteil im Lösungsansatz „Verteilte herstellerspezifische Datenbanken“ lag in den spezifischen, abgeschlossenen Systemen der jeweiligen Maschinenhersteller.

Die Bewertung der Analyse bestätigte die Vorgehensweise in dieser Arbeit zur Konzeption und Realisierung eines globalen CAP-Systems für die Leiterplattenbestückung.

Anforderungen		Lösungsansatz 1			Lösungsansatz 2			Lösungsansatz 3		
Muß-Anforderungen		Externe DB			Interne DB			Verteilte herstellerspez. DB		
Konsistenz der BE-Daten		Gewährleistet			Gewährleistet			Mit hohem Aufwand möglich		
Komplette BE-Beschreibung		Gewährleistet			CAP-System abhängig			CAM-System abhängig		
Optimierung von NC-Daten		Gewährleistet			Gewährleistet			Nur homogene Linien		
Globaler Datenaustausch möglich		Gewährleistet			CAP-System abhängig			CAP/CAM-System abhängig		
Können alle Muß-Anforderungen erfüllt werden?				✓			✓			✓
Soll-Anforderungen	Gew.		Bew	Σ		Bew	Σ		Bew	Σ
Relationale Datenbank als CIM-Schnittstelle	4	Im Konzept enthalten	5	20	Ist System abhängig	3	12	Ist nicht Bestandteil der Lösung	0	0
Kinematische Modelle für die Optimierung	2	Ist System abhängig	2	4	Ist System abhängig	2	4	Ist System abhängig	2	4
Optimierung von Multi-Vendor-Lines	1	Ist System abhängig	2	2	Ist System abhängig	2	2	Nicht möglich	0	0
Standardisierte Schnittstellen für globalen Datenaustausch	7	Im Konzept enthalten	5	35	Bedingt gleiches CAP System in jedem Standort	3	21	Nur bedingt möglich, nicht für BE Stammdaten	2	14
Globale gemeinsame Fertigungsdatenbasis	6	Im Konzept enthalten	5	30	Bedingt möglich s.o.	2	12	Bedingt möglich s.o.	1	6
Ergebnis				91			51			24

Tabelle 7: Ergebnis der Bewertung der Lösungsansätze nach Kepner Tregoe

## 5 Entwicklung des globalen Datenbanksystems

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Anforderungen und Konzepte für die Entwicklung des globalen Informations- und Kommunikationssystem beschrieben. Den Kern des globalen System bildet dabei das maschinenübergreifende Modell zur Abbildung der Bauelementbeschreibungen. Zur Bereitstellung der Strukturen und Datenbankinhalte für den Anwender im CAP-System muss das Modell zunächst in eine technische Datenbankapplikation umgesetzt und mit Hilfe der Intranet-Technologie verteilt werden.

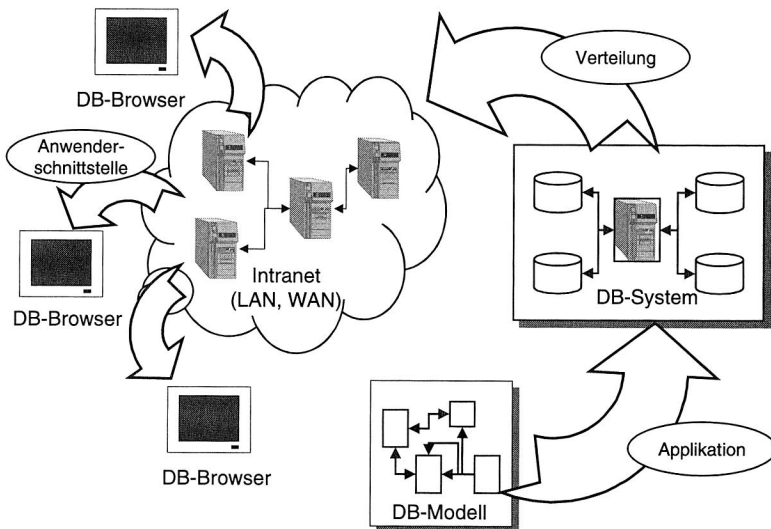


Bild 34: Vorgehensweise zur Erstellung der notwendigen Systemarchitektur für die Bereitstellung des Datenbankmodells in einem globalen Datenbanksystem

Durch die weltweite Verfügbarkeit des firmeninternen Intranets konnten dann flächendeckend die Anwenderschnittstellen zur Verfügung gestellt werden. Die Umsetzung der Anwenderschnittstelle wurde auf Basis eines Intranetbrowsers und dazu anwendungsorientierten Dialogmasken realisiert. Die weltweite Datenkonsistenz über alle CAP-Datenbanken im

Fertigungsverbund konnte durch den Einsatz der Datenreplikation sichergestellt werden.

## **5.1 Technische Umsetzung der Datenbankapplikation**

Die allgemeine Bedienung und Pflege von Datenbanken bedingt bedienerfreundliche und portierbare Dialogmasken, in Form von programmierten Softwaremodulen, welche auf die Strukturen der jeweiligen Datenbank angepasst sind. Portierbar heißt, die Anwenderschnittstelle auf einem beliebigen Frontendsystem weltweit einsetzen und bedienen zu können. Die Schnittstellen zur Bedienung und Pflege der Datenbankinhalte sowie zum Datenaustausch mit den Main Tools lokal und global werden in diesem Kapitel beschrieben.

### *5.1.1 Einsatz der Viewtechnik*

Die Schnittstelle zwischen der Datenbank und den Main Tools erforderte eine hohe Update-Flexibilität auf beiden Seiten. Darunter ist zu verstehen, dass der Datenaustausch stabil funktionieren muss, auch wenn sich die Datenbankstruktur und/oder die Datenstruktur eines Main Tools ändern bzw. erweitern sollten. Die Viewtechnik bietet dazu Standardfunktionen an und ist Bestandteil von Datenbanksystemen. Basierend auf den Datenbanktabellen können mit Hilfe der Viewtechnik beliebige View-Tabellen erstellt werden, deren Inhalte beliebig zusammengestellt werden. Die sogenannten Sichten (Views) stellen somit die eigentliche Schnittstelle zwischen der Datenbank und den Main Tools dar.

Die Gestaltung der Schnittstelle erfolgte in Zusammenarbeit mit den Datenbank- und Main Tool Spezialisten. Dabei wurden die Inhalte und Formate der Views abgestimmt, getestet und aktiviert.

### *5.1.2 Serverstruktur*

Die Anwenderschnittstelle zur Bedienung und Pflege der Datenbank sollte als Intranet Applikation programmiert werden. Die Intranetumgebung bot für die Gestaltung und den globalen Einsatz die optimale Basis. Eine direkte Einbindung der Datenbank in die Intranetumgebung war nicht möglich,



sondern bedingte den Einsatz einer entsprechenden Serverstruktur. Zusätzlich zum Datenbankserver wurde ein Web-Applikationsserver benötigt. Dieser stellte die Schnittstelle zwischen dem Datenbanksystem und dem Intranet dar. (siehe Bild 35)

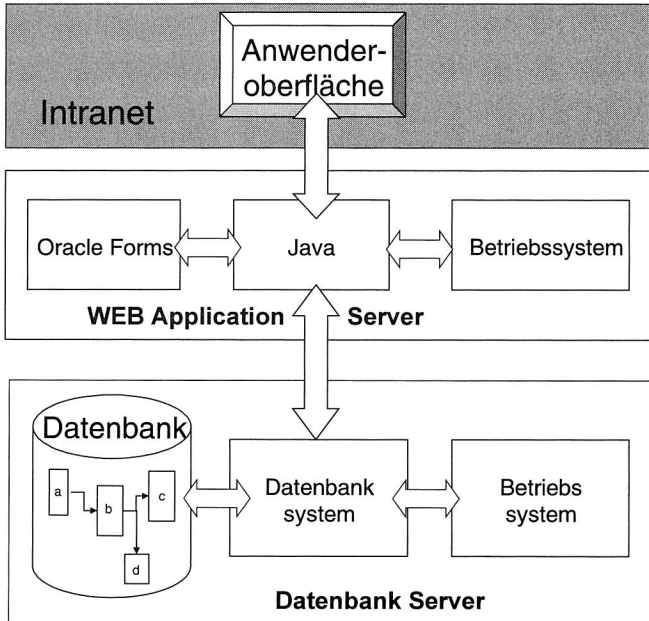


Bild 35: Serverstruktur für die Webdatenbank-Browser-Technik

Das Softwareentwicklungswerkzeuge Oracle-Forms und die Programmiersprache Java bieten die Möglichkeiten, um die notwendigen Dialogmasken intranetfähig erstellen und verfügbar zu machen.

## 5.2 Design der Datenbankanwenderschnittstelle

### 5.2.1 Aufbau der Dialogmasken

Der Standard für die Darstellung von Dialogmasken ist die WINDOW-Technik. Darunter versteht man das „Lock and Feel“ analog dem

Betriebssystem WINDOWS. Die WINDOW-Technik ermöglicht zugehörige Informationsgruppen jeweils in einem eigenen Fenster darzustellen. Für den Anwender ergibt sich die Möglichkeit Informationsgruppen separiert und übersichtlich zu erfassen und bearbeiten zu können.

Weiterhin bietet es dem Anwender die Möglichkeit zwischen mehreren Fenster beliebig zu wechseln, ohne die angezeigten Informationen zu verlieren.

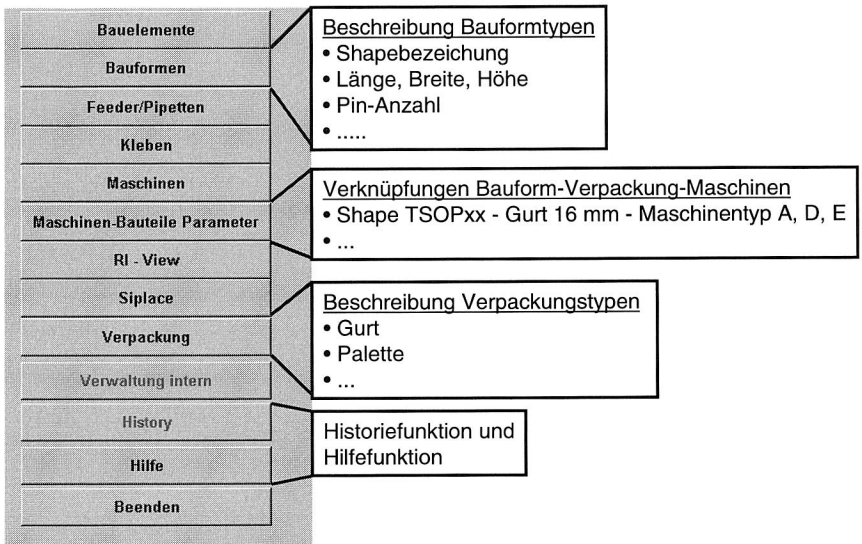


Bild 36: Steuerschaltflächen des Web Browsers

Für die Bedienung der relationalen Datenbank (vgl. Bild 30) mussten mehrere Informationsgruppen in mehreren Dialogmasken zusammengefasst werden. Insgesamt ergaben sich dadurch neun direkte Dialogmasken zur Bearbeitung der Datenbank und vier zusätzliche indirekte Dialogmasken mit Hilfs-, Verwaltungs- und Steuerfunktionen. (siehe Bild 36)

Die Browser Applikation wurde so aufgebaut, dass sich nach dem Start der entsprechenden Intranetseite der Anwender erfolgreich autorisieren muss, um mit den Dialogmasken arbeiten zu können. Die Steuerschaltfläche wird

automatisch nach dem Start des Browsers zur Steuerung der einzelnen Dialogmasken sowie Hilfs- und Verwaltungsfunktionen eingeblendet.

Die Dialogmasken des Browsers wurden in drei Bereiche unterteilt. (siehe Bild 37) Im oberen Teil der Maske befindet sich der Arbeitsbereich. Die Daten können in diesem Bereich bearbeitet werden. Je nach Zugriffsberechtigung können die Anwender Daten suchen, ändern, löschen, hinzufügen oder drucken. Im linken Bereich der Maske kann dazu jeweils die entsprechende Funktion per Mauseklick ausgeführt werden.

The screenshot shows a software interface with a vertical toolbar on the left containing icons for file operations, search, and help. The main area is divided into three horizontal sections:

- Top Section:** Contains input fields for 'Sachnr', 'Bauform', 'Verpackung', 'Maschinen Gruppen', 'Priorität', 'Best-Winkel', 'Best-X', and 'Best-Y'. Each field has an associated 'Ident' label and a small input box.
- Middle Section:** Features a tabbed interface with tabs labeled 'Pan-MK', 'Pan-MPA', 'Pan-MV', 'Philips', 'Siplace', 'Universal', 'Grundig', and 'Handplatz'. Below the tabs are input fields for 'Feederbreite', 'Feederspür', 'Geschwindigkeit', 'Zeitfaktor', and 'Sensdaten'.
- Bottom Section:** Contains a table with four columns: 'Bauform', 'Verpackung', 'Maschinen Gruppen', and 'Pri'. The table has five rows of data.

Bild 37: Anwenderschnittstelle (Dialogmaske) zur Anzeige und Pflege der Baelementdaten

Im unteren Teil der Dialogmaske befindet sich der Informationsteil, indem jeweils die Ergebnissdaten einer Suche selektiv dargestellt werden. Dieses Maskenschema unterstützt eine einfache und bedienerfreundliche Handhabung für den Anwender. Die Verwaltungsfunktionen wurden der Administratorgruppe vorenthalten. Die entsprechenden Zugriffsrechte wurden über die Autorisierung organisiert. Mit dieser Funktion können die

Zugriffsrechte der Anwender jeweils auf die einzelne Dialogmaske bezogen verwaltet werden.

### *5.2.2 Multilinguale Bedienung*

Die Entwicklung des webbasierten Datenbank Browsers als globales Datenbankwerkzeug muss multilingualen Anforderungen gerecht werden, da in einem globalen Fertigungsverbund mehrere Landessprachen beteiligt sein können. Die Browserbedienungssprache musste deshalb adaptierbar gestaltet werden. Dies umfasste die Bezeichnungen innerhalb der Dialogmasken, die Browsermeldungen und die verfügbaren Hilfetexte. Eine einfache und übersichtliche Methode war, die Inhalte dieser Attribute ebenfalls in einer extra Tabelle zu verwalten und diese jeweils mit den Feldern in den Dialogmasken zu verknüpfen. Zur Auswahl der gewünschten Browsersprache musste die Steuerschaltfläche noch um die Funktionsfläche Sprache erweitert werden. Mit der Ausführung dieser Funktion wird der Anwender in die Lage versetzt die jeweils unterstützte Sprache auszuwählen.

### *5.2.3 Reporting und Hilfsfunktionen*

Eine bedienerfreundliche Software unterstützt den Anwender mit einer Berichts- (Report-) und Hilfsfunktion. Die abrufbaren Berichte wurden in Zusammenarbeit mit den Anwendern abgestimmt und entwickelt. Per Mausklick (vgl. Bild 37) kann der Anwender zwei formatierte Standardberichte sofort, bezogen auf den jeweiligen Inhalt der Dialogmaske, erstellen und ausdrucken. Weitere zukünftige Berichte können nach Abstimmung einfach in die Masken zusätzlich integriert werden. Die Hilfsfunktion steht in jeder Dialogmaske zur Verfügung und soll die Bedienung der Datenbank erleichtern. Darin wurden die jeweiligen Dialogfelder inklusive Syntax und Semantik näher beschrieben. Die Hilfsfunktion kann online durch die Administratorengruppe gepflegt werden.

### 5.3 Entwicklung des globalen Datenbankverbundes

Auf Basis des lokalen Datenbankbrowsers und der relationalen Datenbankstruktur mussten zuerst die Dateninhalte analysiert und in die gemeinsamen und die standortspezifischen Bereiche unterteilt werden.

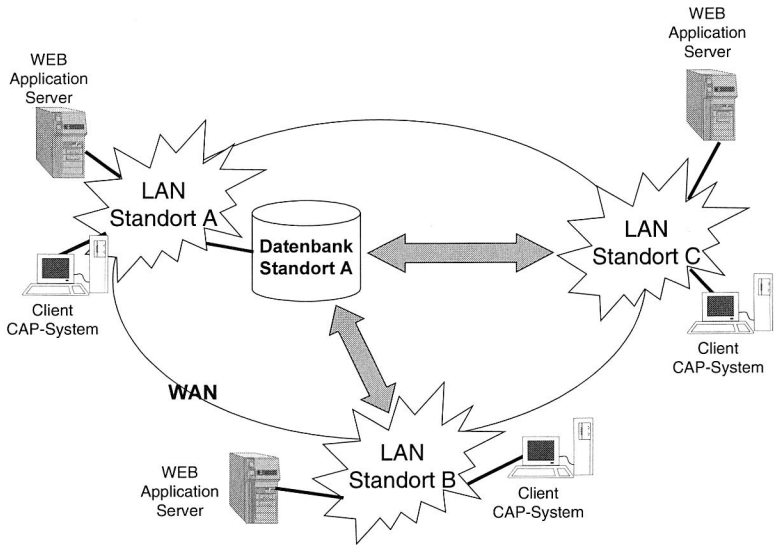
Die Verwaltung der Daten über mehrere Standorte hinweg kann prinzipiell entweder zentral oder verteilt erfolgen. Beide Möglichkeiten haben Vor- und Nachteile, welche dabei besonders beachtet und bewertet werden müssen. Aufgrund der großen territorialen Distanzen zwischen den Standorten wurde in diesem Falle die verteilte Variante mit einer besonderen Ausprägung ausgewählt. Um die Datenkonsistenz in den verteilten Datenbanken trotz der dezentralen Verwaltung zu gewährleisten, wurde eine Replikationsfunktion über alle verteilten Datenbanken abgebildet. Die Umsetzung dieses globalen Datenbankmanagements erfolgte dann in zwei Stufen. Die erste Stufe beinhaltete eine zentrale Datenbank für alle Standorte für einen ausgewählten Datenbereich innerhalb des gemeinsamen Bereiches der Standorte. Dadurch wurde die gemeinsame Pflege dieser Daten standortübergreifend möglich und es konnten erste gemeinsame Erfahrungen im Umgang mit der Datenbank gesammelt werden. Die Verteilung und Bereitstellung der Daten wurde jedoch bereits mit Hilfe der Intranettechnologie umgesetzt.

#### 5.3.1 Globales System mit zentraler Datenverwaltung

Das Konzept für das zentrale Datenbankmanagement sieht technisch eine einzige Datenbank im gesamten Fertigungsdatenverbund vor. Diese kann mit Hilfe des webbasierten Datenbankbrowsers von allen Standorten weltweit gepflegt und genutzt werden. Der Datenaustausch zwischen der Datenbank und den lokalen CAP-Systemen erfolgt über das firmenspezifische WAN. (siehe Bild 38) Aufgrund der großen Distanzen zwischen den Standorten ist jedoch der Austausch großer Datenmengen nicht performant möglich.

Während der Analyse der Datenbankinhalte wurde der Bereich zur Beschreibung der Bauelementerprobung zur Qualifizierung von neuen Bauelementen für die erste Stufe ausgewählt. Diese Dateninhalte wurden für

die CAP-Prozesse nur indirekt genutzt und deshalb zur Optimierung oder Simulation nicht in das CAP-System übertragen. Der Datenaustausch zwischen der zentralen Datenbank und dem CAP-System war daher sehr gering und via WAN performant möglich.



*Bild 38: Zentrale Verwaltung der Bauelementdaten mit Zugriff über das firmenspezifische Wide-Area-Network*

Die Dateneingabe und Pflege erfolgte mittels einer speziellen Dialogmaske im Web-Browser. (siehe Bild 39) Der Anwender sieht sofort die wichtigsten Informationen, den jeweiligen Status der Bauelementerprobung pro Fertigungsstandort bezogen auf die Typteilennummer, ohne weitere Dialogmasken öffnen zu müssen. Diese Dialogmaske ermöglicht weiterhin allen Anwendern weltweit die selbe Maske zu verwenden, um Informationen abzufragen und/oder Daten zu pflegen. Unterstützt werden zusätzlich zwei verschiedene Dialogsprachen, um allen Anwendern eine verständliche Handhabung in Landessprache zu ermöglichen.

Der Aufbau der Maske entspricht konzeptionell der Maske im Bild 37. Auf der linken Seite befindet sich die Kontrollschaltflächen, im unteren Bereich

die Ergebnisdarstellung bzgl. einer bestimmten Datenauswahl und im oberen Fensterbereich die Detaildarstellung für einen Datensatz.

Freigabe Nr.	Sachnummer	Standort A	Standort B	Standort C

*Bild 39: Dialogmaske zur Anzeige und Pflege der Bauelementdaten zur weltweiten Prozessqualifikation*

Das Ergebnis einer Suche wird im unteren Teil so dargestellt, dass der Anwender die Erprobungsergebnisse von allen Standorten sehen kann. Falls der Anwender weitere Detailinformationen haben möchte, so muss dieser lediglich mit einem Doppelklick auf den jeweiligen Datensatz in der Ergebnisdarstellung klicken und bekommt im oberen Detailbereich die gewünschten Informationen angezeigt. Im Detailbereich werden dem Anwender alle wichtigen Informationen über die theoretische und/oder praktische Erprobung neuer elektrischer und elektromechanischer Bauelemente angezeigt. Dabei ist die Eignung der jeweiligen Typteilenummer für die einzelnen Maschinentypen übersichtlich dargestellt.

### 5.3.2 Globales System mit Datenreplikation

Die zweite Stufe der Realisierung (Roll-out) umfasst die Portierung der gesamten Datenbank in die anderen Fertigungsstandorte. Dazu muss in dem jeweiligen Standort ein eigener Datenbankserver bereitgestellt werden. Die datentechnische Verknüpfung wird wiederum via firmenspezifischen Wide-Area-Network realisiert. (siehe Bild 40)

Die Replikationsfunktion ist eine Erweiterung des eingesetzten Datenbanksystems. Diese Funktion bewirkt, dass die Datenbestände zwischen den verteilten Datenbanken konsistent gehalten werden. Jede Änderung der Daten zieht ein inkrementales Update nach sich. Die Replikationsfunktion arbeitet vollautomatisch, wobei die Änderungen und damit zusammenhängender Datenaustausch gering sind und das WAN nur gering belasten.

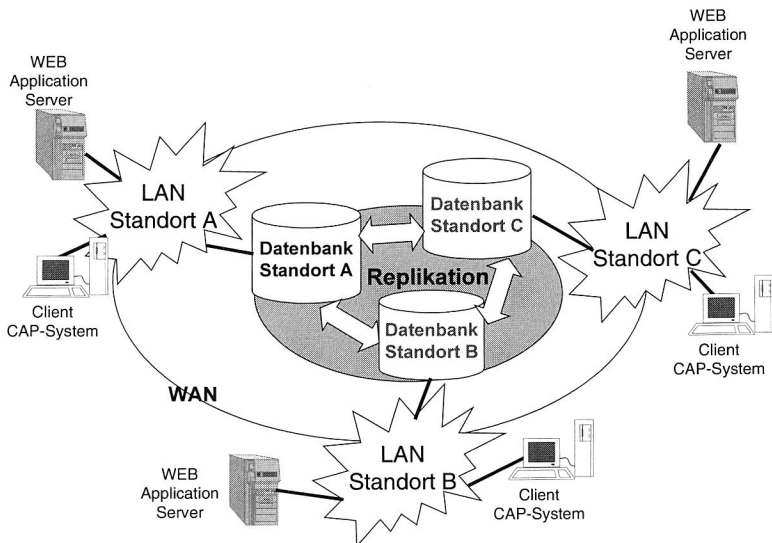


Bild 40: Globale Verwaltung der Bauelementdaten auf Basis einer replikativen Verknüpfung



Das globale replikative Datenbankmanagement stellt sicher, dass alle darin enthaltenen elektrischen und elektromechanischen Bauelemente firmenweit einheitlich beschrieben und verarbeitet werden. Eine Anpassung der Parameter wirkt sich online auf alle Standorte voll aus.

Zur Sicherstellung einer hochqualitativen und wirtschaftlichen Fertigung in allen Standorten muss einem transparenten und eigenverantwortlichen Arbeitsablauf durch sogenannte Administratoren Rechnung getragen werden.

Die standortspezifischen Inhalte in der Datenbank beziehen sich auf die unterschiedlichen Maschinentypen in den jeweiligen Standorten. Diese Daten werden in einem Model abgebildet, welches im standortspezifischen Datenbereich unterschiedliche standortspezifische Maschinentypbezeichnungen vorsieht. (siehe Bild 41)

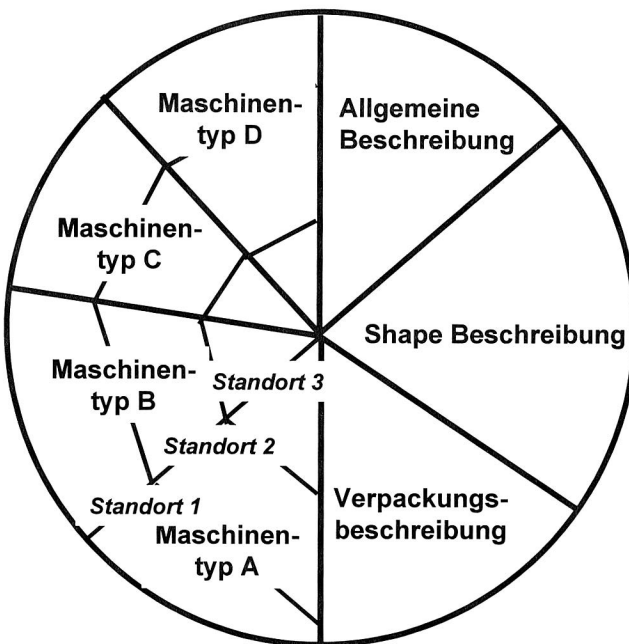


Bild 41: Datenbankstruktur zur Abbildung des gemeinsamen und der standortspezifischen Datenbereiche

Die Beschreibung der allgemeinen Parameter sowie die Beschreibung der Bauformen und Verpackungen der Bauelemente sind in der Datenbank eindeutig abgebildet. Das Modell charakterisiert die Beschreibung der Maschinentypen nach den einzelnen Typen und innerhalb der Typen nach Standorten. Damit können die unterschiedlichen, standortspezifischen Gegebenheiten je nach Maschinentyp unterstützt werden. Eine Unterscheidung ist dabei jedoch nicht zwangsläufig vorgeschrieben. Falls in der Zukunft eine Standardisierung der Maschinentypen erfolgen sollte, so kann dies mit Hilfe des flexiblen Datenmodells schnell und einfach unterstützt werden.

Der Datenaustausch zwischen den Datenbanken und den jeweiligen lokalen CAP-Systemen erfolgt dagegen innerhalb der lokalen Local-Area-Networks und ist somit hoch performant und praktikabel einsetzbar. (siehe Bild 40)

## 6 Entwicklung des Moduls zur globalen Jobverwaltung

### 6.1 Entwicklung der Jobstruktur

Der Austausch von Produkt- und Fertigungsdaten zwischen Unternehmensstandorten musste auf Basis von standardisierten Schnittstellen und Datenformaten aufgebaut werden. Nur so konnten alle technischen und wirtschaftlichen Vorteile eines globalen Datenverbundes umgesetzt werden.

Strukturierte Datenbäume sind die Grundvoraussetzung in einem modularen und offenen Softwaresystem. Alle Daten und Informationen mussten deshalb in einem CAP-System joborientiert und produktbezogen abgebildet werden. Unter einem Job wird ein hier eindeutiges Datenpaket verstanden, welches in einem transparenten Verzeichnisbaum alle produkt- und prozessspezifischen Daten umfasst.

Bezugnehmend auf das Kapitel 4.1.6 mussten die CAP-Schnittstellen und deren Datentypen mit standardisierten Formaten ausgestattet werden. Die Datentypen „Entwicklungsdaten“, „BE-Stammdaten“, „Rüstdaten“ und „NC-Programmdaten“ wurden in produkt- und prozessspezifische Daten unterteilt und systematisch in der globalen Jobstruktur abgebildet.

#### 6.1.1 Produktbezogene Daten

Die Datentypen „Entwicklungs- und BE-Stammdaten“ wurden in die Kategorie Produktdaten einsortiert, da diese weitestgehend von den nachfolgenden Prozessen in der Elektronikfertigung unabhängig waren.

Die Schnittstelle für den Datentyp „Entwicklungsdaten“ (CAD und BOM) wurde hauptsächlich durch die Entwicklungssysteme und dem CAD-Schnittstellentyp (vgl. Kap. 3.2.1) bestimmt. Durch die CAD-Systeme waren die jeweiligen CAD-Formate durch die verfügbaren Standardoutputformate vorgegeben. Eine Standardisierung der eingesetzten CAD-Systeme im gesamten Unternehmen erhöht die Effektivität der Standardoutputformate und minimiert die Kosten für evtl. Anpassung zwischen den CAX-Komponenten. Diese Vorgehensweise orientierte sich an der Variante „CAD-

Dateiaustausch“ (vgl. Bild 10) mit all seinen Vorteilen für einen kostenoptimierten CIM-Datenaustausch. Die Entwicklungsdaten wurden in der Jobstruktur als Quelldaten in einem eigenen Verzeichnis gespeichert. Die Handhabung der BE-Stammdaten, welche in der relationalen Datenbank gespeichert wurden, gestaltete sich auf Basis des Datenbanksystems durch die Nutzung der systeminternen Softwaretools bereits performant und funktionsoptimiert. Eine zusätzliche Unterstützung dieser CAP-Schnittstelle durch das globale Jobmanagement war aus diesem Grund nicht notwendig. Die BE-Stammdaten liegen deshalb in der Jobstruktur nur indirekt in den prozessspezifischen Datentypen vor.

#### *6.1.2 Prozessbezogene Daten*

In die Kategorie der prozessbezogenen Daten wurden die Typen „Rüst- und NC-Daten“ einsortiert. Diese Datentypen enthielten die optimierten CAP-Informationen in Form von maschinenverarbeitbaren Programmen, Files und sonstigen Fertigungsdokumenten. Zur Strukturierung wurden diese Daten in folgende Unterkategorien unterteilt:

- Maschinenbelegungslisten (Rüstlisten)
- NC-Programme
- Prozessdokumentation

Die prozessspezifischen Daten mussten im lesbaren ASCII-Format erstellt und gespeichert werden. Zum Austausch zwischen dem CAP- und dem CAM-System sowie im globalen Datenverbund unterlagen diese Daten den maschinenspezifischen Schnittstellen. Jeder Maschinenhersteller hatte seine eigene Beschreibung der Prozessdaten. Auf dieser Basis sollten die CAP-Systeme die Prozessdaten erstellen, speichern und austauschen. Interne unternehmensspezifische Datenformate stellten wiederum einen höheren Pflege- und Schnittstellenaufwand dar und sollten deswegen vermieden werden.

#### *6.1.3 Jobverzeichnisstruktur*

Die Jobdatenstruktur wurde nun analog zur Erstellung des Datenbankmodells (vgl. Kapitel 4.3) mit Hilfe von Verzweigungsbäumen

beschrieben. Die Baumstruktur in relationalen Datenbanken und Filesystemen wurde symmetrisch aufgebaut. /50/ Die Wurzel des Verzeichnisbaumes ist der eindeutige Jobname im CAP-System, welcher zumeist mit der Typteilenummer des Produktes referiert. Dieser enthält eine Verknüpfung zum Produkt und weitere Klassifizierungsmerkmale, wie z.B. Indizes und/oder Releases. Anhand der Jobnamen können damit im CAP-System die produkt- und prozessspezifischen Datentypen unterteilt und verwaltet werden.

Der Verzeichnisbaum erstreckt sich von der Wurzel aus in mehrere Teilbäume (siehe Bild 42 )

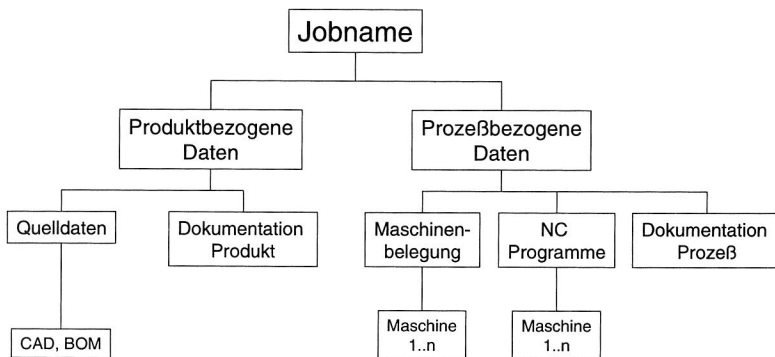


Bild 42: Lösungsstruktur für die systematische Organisation der erstellten Jobdaten in einem CAP-System

Die Knoten des Verzeichnisbaumes referieren die jeweilige Unterteilung in produkt- und prozessspezifische Daten sowie in die genannten Unterkategorien.

Die entwickelte Jobstruktur wird so den Anforderungen von lokalen und globalen CAP-Systemen unter Berücksichtigung der beschriebenen Datenformate gleichermaßen gerecht und vereinfacht dadurch deutlich den Austausch der Jobs zwischen verschiedenen CAP-Systemen.

Zur Verwaltung der Joddaten wird ein Softwaremodul benötigt, welches auf Basis der Jobstruktur, die einzelnen Files automatisch in die Struktur

einordnet und konsistent verwaltet. Die Vorgehensweise und Abläufe wurden dazu im nächsten Abschnitt detailliert entwickelt und beschrieben.

## 6.2 Aufbau der Jobverwaltung im CAP-System

### 6.2.1 Jobmanagement

Die zu erstellende Organisation der Jobs sollte jederzeit einen konsistenten Datenbestand im CAP-System gewährleisten. Die Grundfunktionen Hinzufügen, Ändern, Umbenennen, Kopieren, Listen und Archivieren mussten deshalb im Jobmanagement unterstützt werden. Der Anwender sollte mit Hilfe eines bedienerfreundlichen Softwaremoduls diese Funktionen innerhalb der Anwenderschnittstelle zur Verfügung gestellt bekommen. (siehe Bild 24) Eine Integration des Jobmanagers in die CAP-Softwarestruktur war zwingend erforderlich, um die gesamte Organisation der Jobdaten im CAP-System zu gewährleisten.



Bild 43: Funktionsübersicht des Moduls zur Verwaltung der Jobdaten im globalen CAP-System

Vorhandene interne Tools zur Organisation von Jobdaten sollten in marktverfügbaren CAP-Softwaresystemen entweder auf die Anforderungen des globalen Jobmanagement erweitert oder durch einen extern entwickelten Jobmanager ersetzt werden.

Zusätzlich zu den lokalen Funktionen mussten die globalen Funktionen „Import und Export“ in den Jobmanager integriert werden (Siehe Bild 43), um alle Abläufe zum globalen Datenaustausch zwischen CAP-Systemen unterstützen zu können. Dies bedeutete, dass Jobdaten aus einem CAP-System exportiert und von einem anderen CAP-System importiert werden können, wobei diese vor der Weiterverarbeitung im Zielsystem von Hand nicht nachbearbeitet werden sollten. Der Datentransfer sollte analog Kapitel 3.2.7 nach dem Holprinzip erfolgen, d. h. im CAP Ausgangssystem sollten die Jobdaten mit Hilfe der Exportfunktion auf dem lokalen Server bereitgestellt werden. Im Zielsystem können dann mit Hilfe der Importfunktion die Jobdaten geholt (transferiert) und zur Weiterverarbeitung importiert werden.

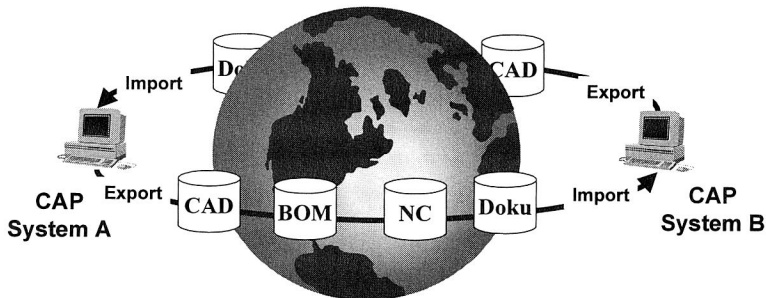


Bild 44: Prozessübersicht zum Austausch der Jobdaten zwischen verschiedenen Fertigungsstandorten im globalen CAP-System

Die Software des Jobmanagers sollte diese Funktionen soweit automatisieren, so dass der Anwender die jeweiligen Jobs über Dialogmasken und Mauszeiger nur noch auswählen und bestätigen muss. Für eine exakte Rückverfolgbarkeit werden alle Aktionen des Jobmanagers in einem Reportfile dokumentiert.

### 6.2.2 Softwareoberfläche

Die Bedienung des Jobmanagers wurde anwenderfreundlich gestaltet. Dazu konnte wiederum die Fenstertechnik (vgl. Kapitel 4.2.2) angewendet werden. Die Bedieneroberfläche wurde vertikal in zwei Bereiche geteilt und am unteren Rand durch eine Statusleiste abgeschlossen. Auf der linken Seite stehen in einer Schaltflächenleiste alle Jobmanagerfunktionen zur Verfügung. Im rechten Teil des Fensters werden jeweils die Jobinformationen angezeigt, welche für die jeweilige Funktion zur Verfügung stehen. Der Anwender kann so einfach und übersichtlich die Funktionen und Jobs auswählen, die Abläufe überwachen und bei Bedarf den Inhalt des rechten Fensters per Mausklick formatiert ausdrucken.

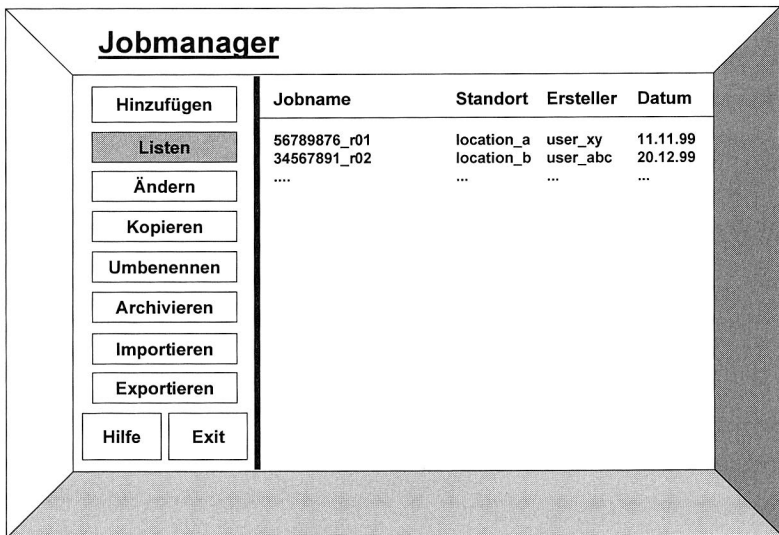


Bild 45: Entwurf Softwareoberfläche Jobmanager

Die Hilfefunktion zur Erklärung der Dialogmasken und Funktionen ist ebenfalls per Knopfdruck im linken Teil der Oberfläche leicht erreichbar. Die Dialogsprache wurde jeweils in der länderspezifischen Sprache programmiert (vgl. Kapitel 5.2.2).



---

Für eine einfache Installation und Wartbarkeit dieses Moduls sollte der Jobmanager über ein Konfigurationsfile parametrisierbar sein. Die Bild der jeweiligen Job- und Dateistrukturen musste schnell und transparent im Jobmanager möglich sein.

## 7 Ergebnisse der realisierten CAP-Module

Die Überprüfung der entwickelten Module und deren Verknüpfung mit Modulen in anderen Unternehmensstandorten erfolgte anhand qualitativer und quantitativer Tests.

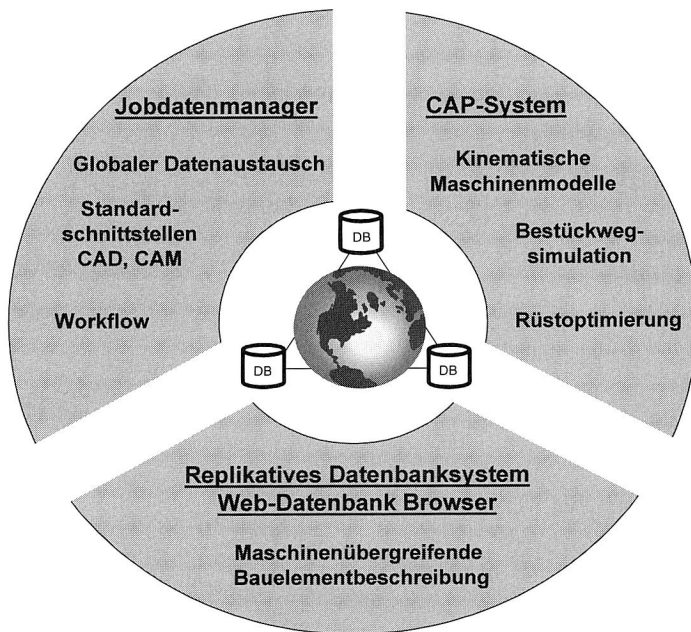


Bild 46: Drei Hauptfelder der Lösungsstruktur im globalen CAP-System

Zuerst wurde die Funktionalität der Module: Jobmanager und Datenbank Browser validiert. Dazu wurden diese in der Praxis getestet und gemäß den Vorgaben des Software Engineering auf Bedienungskomfort, Korrektheit und Portabilität qualitativ bewertet. Der quantitative Test umfasste die zwei Teilbereiche: Jobdatenaustausch und Informationsaustausch für die Qualifizierung neuer Bauelemente. Zur Strukturierung der Tests wurden die jeweiligen Standardabläufe für diese Prozesse zugrunde gelegt.

Die dadurch erhaltenen Ergebnisse werden danach wirtschaftlich betrachtet und der Nutzen durch den Einsatzes des globalen CAP-Systems beschrieben.

## **7.1 Validierung der Module**

### *7.1.1 Jobmanager*

Die Softwareoberfläche und die Funktionen wurden mit Hilfe einer Skriptsprache programmiert. Die Bedienung durch den Anwender ist einfach und übersichtlich gestaltet. Alle beschriebenen Funktionen stehen heute per Mausklick zur Verfügung. Die Führung des Anwenders erfolgt über einfache Dialogboxen. Mit Hilfe der Fenstertechnik steht eine Kontrollfläche des Jobmanagers jederzeit zur Verfügung und kann schnell in den Vordergrund der Anwenderoberfläche geblendet werden. Dies spiegelt den hohen Bedienungskomfort wider.

Die Korrektheit des Moduls wurde anhand des Pflichtenheftes für jede einzelne Funktion überprüft. Es traten dabei keine Fehler auf, so dass die volle Funktionalität gegeben ist.

Auf Basis der Skriptsprache ergaben sich eine leichte Portierbarkeit und Änderbarkeit des Moduls. Mit einfachen Mitteln, wie z.B. einem normalen Texteditor kann der Programmcode visualisiert und ggf. angepasst werden. Der Dateizugriff wurde jedoch eingeschränkt, so dass nur die Systemadministratoren Änderungen vornehmen können.

Die Validierung des Jobmanagermoduls konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Dieses Modul befindet sich bereits im praktischen Einsatz.

### *7.1.2 Datenbank Browser*

Für dieses Modul wurde die Softwareumgebung des Intranets gewählt, weil damit ein weltweiter und firmeninterner Zugriff jederzeit möglich ist. Die Datenbank-Dialogmasken werden im Intranet mit Hilfe eines Standardinternetbrowsers (z.B. Netscape oder MS Explorer) per Mausklick über eine bestimmte HTML-Seite, zur Verfügung gestellt. Die Auswahl des

Betriebssystems wurde daher vollkommen offen gestaltet und ist nur von der Verfügbarkeit der Standardinternetbrowser abhängig. Alle gängigen BS (UNIX, SUN, OS/2, WINDOWS) werden bereits unterstützt. Die Portierbarkeit bzgl. der Anwenderschnittstelle wurde damit erarbeitet.

Die Korrektheit des Moduls wurde von mehreren Anwendern in verschiedenen Abteilungen und Fertigungsstandorten des Unternehmens getestet indem der Datenzugriff, die Datenvisualisierung und die Datenmanipulation überprüft wurden. Die Funktionalität entsprach den Anforderungen im Lastenheft.

Der hohe Bedienerkomfort wurde mit Hilfe der Fenstertechnik und selbsterklärenden, bildhaften Schaltflächen (ICONS) erreicht. Per Mausklick stehen dem Anwender u.a. Hilfetexte zu jedem Dialog schnell und einfach zur Verfügung. Eine multilinguale Bedienbarkeit wurde über die Integration der Sprachen Deutsch und Englisch sichergestellt. Der Sprachenumfang kann einfach durch ein Programmierupdate erweitert werden.

Dieses Modul wurde erfolgreich getestet sowie bereits praktisch eingesetzt.

## **7.2 Test der globalen Verknüpfung**

### *7.2.1 Erstellung und Austausch von Jobdaten*

Dieser Test sollte am Prozessablauf zur Erstellung der Jobdaten systematisch vorgenommen werden. Der zugrundeliegende Grobablauf ist in dem Bild 47 dargestellt. Der Anwender nutzt zur Erstellung eines Jobs mehrere Module des CAP-Systems, wobei der Jobmanager eine Sonderfunktion als sogenanntes *Frame* darstellt.

An vier Stellen im Ablauf ergeben sich Schnittstellen zum Austausch mit standardisierten Formaten. (siehe Tabelle 8) Mit Hilfe dieser Schnittstellen wurden im Test die Daten in ein anderes CAP-System transferiert. Die Steuerung des Datenaustausches wurde durch das Modul Jobmanager gewährleistet. Nach der Festlegung des Testobjektes wurde die Joberstellung gestartet. Mit Hilfe eines vorgegebenen, konfigurierbaren Arbeitsablaufes wurde der Anwender durch die Joberstellung geführt.

Einfache Abfrage- und Hilfsdialoge unterstützen den Anwender bei der Eingabe der notwendigen Daten und überprüfen automatisch die manuellen Dateneingaben auf Plausibilität. Alle Aktionen und Ergebnisse wurden vom System automatisch in sogenannten „Log-Files“ gespeichert.

<b>Dateninhalt</b>	<b>Schnittstellenformat</b>
Entwicklungsdaten <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD</li> <li>• BOM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-System      ASCII-Output Format</li> <li>• Unternehmensspezifisch</li> </ul>
Produktdaten, inkl. BE-Stammdaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neutrales Format, CAP-System spezifisch</li> </ul>
Maschinendaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASCII-Files,      CAP-System spezifisch</li> </ul>
Rüstdaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neutrales ASCII-Format</li> </ul>
NC-Daten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASCII-Format,      Maschinen-spezifisch</li> </ul>

*Tabelle 8: Benötigte Schnittstellenformate für den automatischen Datenaustausch im globalen CAP-System*

Die Erstellung der Jobdaten wurde anhand von Zwischenergebnissen überprüft und wiederum auf Plausibilität geprüft. Nach Beendigung des lokalen Jobs wurden die optimierten Rüst- und NC-Daten auf einer realen Bestückungslinie getestet. Alle Informationen konnten ohne Nacharbeit von den vorhandenen Maschinensystemen im CAM-Bereich verarbeitet werden. Die anschließende Testbestückung verlief erfolgreich. Damit konnte die korrekte lokale Funktion der einzelnen Module qualitativ nachgewiesen werden.

Nach dem erfolgreichen Test der lokalen Joberstellung sollte nun auch der globale Datenaustausch getestet werden. Vor dem Aufbau und Einsatz des CAP-Systems wurden die Daten per eMail oder Diskette im jeweils vorliegenden Format versandt.

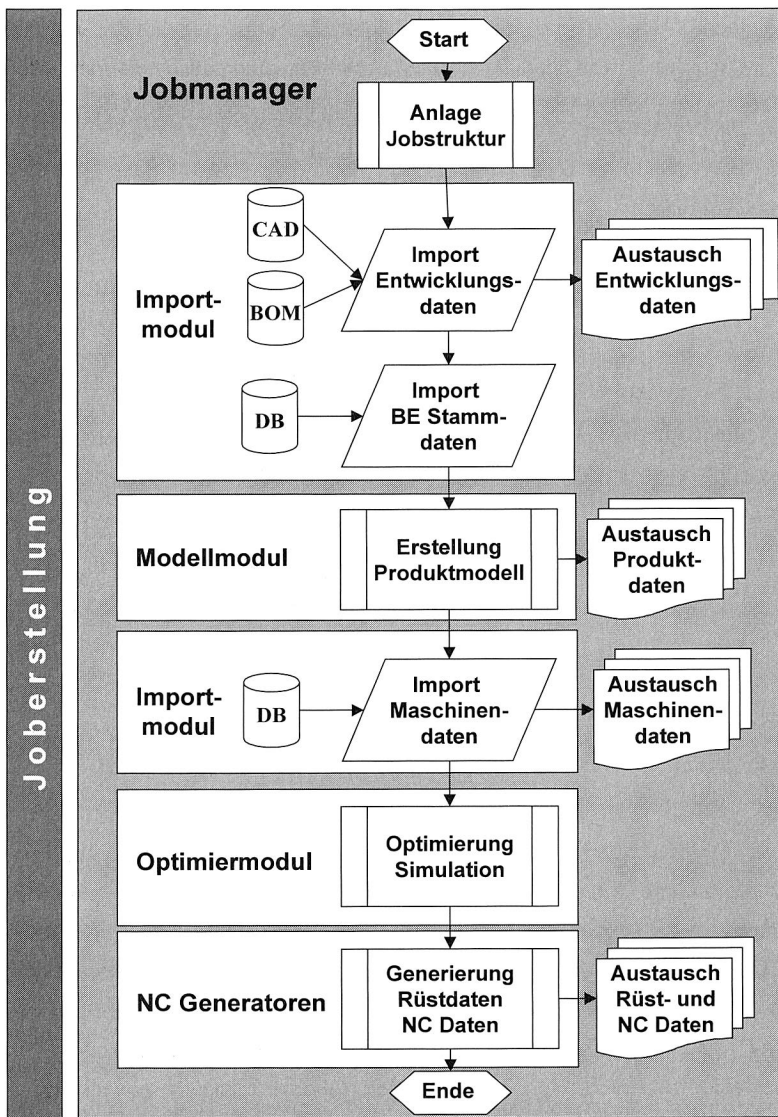


Bild 47: Flussdiagramm für den Grobablauf der Joberstellung mit Schnittstellen für den Datenaustausch im globalen CAP-System

Eine manuelle Nacharbeit war in jedem Falle durch den Empfänger notwendig. Eine Ausnahme stellten die Entwicklungsdaten dar, da für diese Daten schon vorher Standardaustauschformate im CAD-Bereich bestanden. Der Ablauf zum Austausch der Daten konnte in drei Abschnitte unterteilt werden:

1. Daten exportieren und lokal bereitstellen
2. Daten zwischen den Fertigungsservern transferieren
3. Daten in das CAP-System importieren und verifizieren

Der erste Abschnitt wurde vom Absendersystem gesteuert und überwacht. Die exportierten Daten wurden auf dem lokalen Server des Absendersystems zwischengespeichert und dem Empfängersystem global zur Verfügung gestellt. Nach dem Export erfolgte der Datentransfer zwischen den Servern, vom Absender zum Empfänger, welcher durch die Importfunktion des Empfängersystems initiiert wurde. Das Empfängersystem steuerte und überwachte nun diesen Ablauf. Nachdem alle Jobdaten fehlerfrei übertragen wurden, konnten diese vom CAP-Importmodul eingelesen und auf Plausibilität sowie Vollständigkeit überprüft werden. War der Import der Daten fehlerfrei abgeschlossen, konnten diese Daten nun im Empfängersystem automatisch weiterverarbeitet werden. Die Ergebnisse der Tests sind in Tabelle 9 dargestellt.

Die Ergebnisse wurden wie folgt ausgewertet:

1. Mit dem neuen globalen CAP-System wurden zwei neue Prozesse zum Austausch der Produkt- und BE Stammdaten sowie der Maschinendaten aufgebaut.
2. Der Datenaustausch allgemein erfolgte mit Hilfe des neuen Systems in Form der Jobstruktur. Dies steigerte die Qualität und die Sicherheit des Transferprozesses erheblich.
3. Die manuelle Nacharbeit durch die Anwender im Empfängersystem konnte praktisch beseitigt werden. Dies entspricht einer 100% Verbesserung. Der Zeitgewinn war produktabhängig und schwer quantifizierbar.
4. Die Transferzeiten konnten durch den automatischen Austausch drastisch reduziert werden. Dabei wurden Einsparungen zwischen 66% und 100% erzielt. (siehe Bild 48)

Dateninhalt		Vorher	Nachher	Bewertung
<b>Entwicklungs- daten</b>	Format	Standard	Standard	Status quo
	Transfer	Halbautomatisch /automatisch 15' / 5'	Automatisch 5' / 5'	Verbesserung -66% / 0%
	Nacharbeit	Ja, produktabhängig	Nein	Verbesserung -100%
<b>Produktdaten, BE Stamm- daten</b>	Format	-	Standard	Neuer Prozess
	Transfer	-	Automatisch 3'	Neuer Prozess
	Nacharbeit	-	Nein	Neuer Prozess
<b>Maschinen- daten</b>	Format	-	Standard	Neuer Prozess
	Transfer	-	Automatisch 2'	Neuer Prozess
	Nacharbeit	-	Maschinen- abhängig	Neuer Prozess
<b>Rüst- und NC Daten</b>	Format	Standard	Standard	Status quo
	Transfer	Manuell 30'	Automatisch 5'	Verbesserung - 83%
	Nacharbeit	Ja, produktabhängig	Nein	Verbesserung -100%
<b>Datentransfer allgemein</b>	Transfer- systematik	nicht strukturiert	Strukturiert, Jobformat	Verbesserung

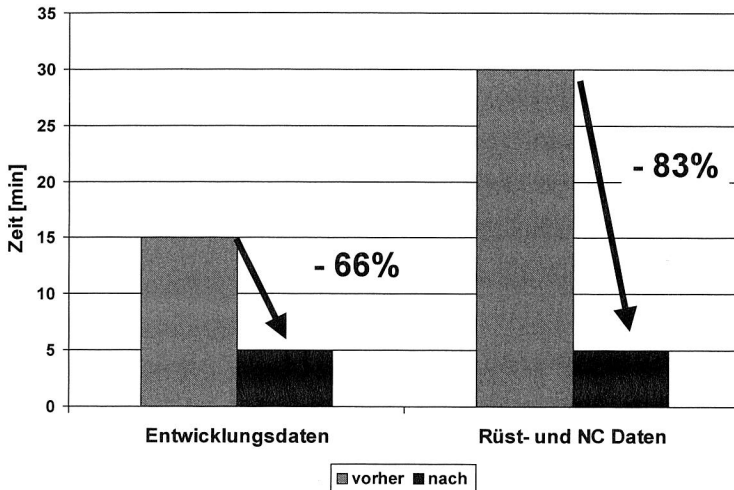
Tabelle 9: Zusammenfassung der Testergebnisse beim Jobdatenaustausch

### 7.2.2 Informationsverbund für die Qualifizierung neuer Bauelemente

Die Technologie der SMD Bauelemente hat sich in den letzten 10 Jahren stark verändert. Das typische Rastermaß (Pitch) von IC Bauelementen lag 1986 noch bei 0,8 mm, so liegt dieses am Anfang des 21. Jahrhunderts



bereits bei 0,3 mm. Das kleinste passive Bauelement hatte 1986 die Bauform „0805“ und hat sich bis zum Jahr 2000 zur Bauform „0201“ verkleinert./28/ Dies sind klare Indizien für die fortschreitende Miniaturisierung der Bauelemente und sich daraus ergebenden, wachsenden Anforderungen an die Prozesse in der Elektronikfertigung.



*Bild 48: Grafische Darstellung der Haupteinsparungspotentiale durch den rechnerunterstützten Datenaustausch mit Hilfe des Jobmanagers*

Aus produkt- und/oder elektrotechnischen Gründen müssen immer wieder neue Bauelemente und Bauformen in die Produkte einfließen. Dies bedeutet eine ständige Qualifizierung und Erprobung neuer Bauelemente für die automatische Bestückung. Die zur Verfügung stehende Zeit reduziert sich ebenfalls ständig durch die wachsenden Anforderungen aus dem Time to Market Prozess. Zur Lösung dieses Spannungsfeldes müssen die Abläufe und Prozesse zur Qualifizierung von Bauelementen ständig optimiert werden.

Aus dem Blickwinkel der globalisierten Fertigung müssen die Bauelemente und deren Verarbeitung über alle Fertigungsstandorte standardisiert werden. Nur durch einen konsequenten Einsatz von standardisierten Bauelementen

können die wachsenden Anforderungen im globalen Fertigungsverbund erfolgreich gelöst werden. Das vorliegende Konzept und die bereits umgesetzten Module für einen globalen CAP-Verbund unterstützen eine schnellere und hochwertigere Qualifizierung der Bauelemente durch die Verknüpfung der Datendokumentations- und Informationssysteme im gesamten Unternehmen. Die universelle Datenbeschreibung in der relationalen Datenbank liefert dazu die Grundlage und der webbasierte Datenbank Browser die globale Informationsschnittstelle. Durch einen konsequenten Einsatz dieser Rechnerverknüpfung kann der bestehende Qualifizierungsprozess optimiert und verbessert werden.

Die Ausgangssituation für den erarbeiteten Test des Informationsverbundes war, dass mit neuen Produkten oft auch neue Bauelemente für die weltweite Verarbeitung qualifiziert werden müssen. Die Untersuchung und Bewertung der Bauelemente erfolgte parallel zur Prototypingphase unter Verwendung der realen Fertigungseinrichtungen im potentiellen Fertigungsstandort. Die Dokumentation der Erprobungsergebnisse erfolgte dann in der bestehenden Bauelementdatenbank und stellte damit diese allen anderen Fertigungsstandorten sofort zur Verfügung. (vgl. Kapitel 5.3) Zur Analyse und Bewertung des gesamten Verbesserungspotentials sollte die beschriebene Vorgehensweise, welche in dem Bild 49 konzeptionell dargestellt wurde, getestet werden.

Hierbei handelt es sich um eine Erweiterung der lokalen Vorgehensweise auf Basis des globalen CAP-Systems.

Der Test des Informationsverbundes wurde in drei Stufen unterteilt:

1. Erprobung und Dokumentation der Ergebnisse lokal
2. Bereitstellung der Ergebnisse über den Datenverbund
3. Erweiterte Erprobung und Ergänzung der Dokumentation global, Kommunikation der Spezialisten → Standardisierung

Die erste Stufe entsprach bzgl. der theoretischen und praktischen Erprobung dem bestehenden Ablauf. Die anschließende Dokumentation der Ergebnisse wurde nun nicht nur in den Erprobungsunterlagen vorgenommen, sondern zusätzlich in der BE-Datenbank. Mit der digitalen Dokumentation in der Datenbank war die erste Stufe abgeschlossen.

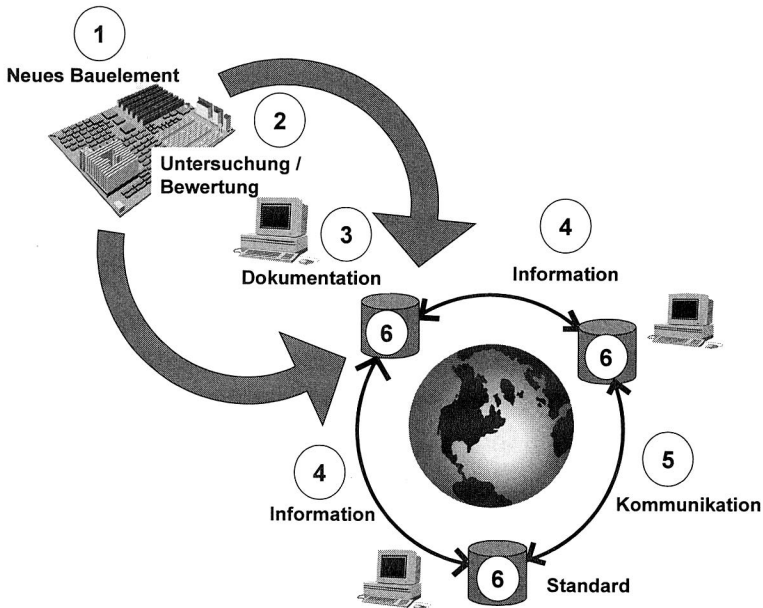


Bild 49: Lösungskonzept zur rechnerunterstützten Neuteilequalifizierung im globalen CAP-System

Der automatische Transfer der Ergebnisse in die Datenbanken der anderen Fertigungsstandorte war der Inhalt der zweiten Stufe. Die logische Vorgehensweise zum Datenabgleich im globalen Datenverbund wurde wie folgt aufgebaut. Die Erprobungsergebnisse wurden mit dem Datensatz der jeweiligen TTNR in einer 1:n Beziehung verknüpft, damit für jeden Fertigungsstandort eine spezifische Dokumentationsmöglichkeit zur Verfügung stand. Der automatische Transfer kopierte die jeweilige standortspezifische Dokumentation in die entsprechenden Tabellen der Datenbanken im globalen Datenverbund. Jedem Fertigungsstandort wurden somit alle aktuellen Ergebnisse, TTNR bezogen, zur Verfügung gestellt. Der Datenabgleich war ein kontinuierlicher, automatischer Prozess. (vgl. Kapitel 5.3.2) In der dritten Stufe wurden die vorliegenden Ergebnisse analysiert und anhand der vorhandenen Maschinenkonfigurationen dahingehend bewertet, ob eine weitere Erprobung für spezielle lokale Maschinen und Einrichtungen

vorgenommen werden musste. Nicht in jedem Falle würde dies notwendig sein, da der zusätzliche Aufwand vom Standardisierungsgrad der Maschinenteknik abhängig ist. Nachdem alle drei Fertigungsstandorte die Erprobung und Dokumentation des neuen Bauelementes abgeschlossen hatten, konnten die Spezialisten der jeweiligen Unternehmensstandorte in einer Telefonkonferenz die Erprobungsergebnisse abstimmen und die Parameter für eine standardisierte Verarbeitung festlegen. Diese Parameter wurden dann von einem der Systemadministratoren in den gemeinsamen Bereich der Datenbank (vgl. Bild 31) eingetragen und global im Datenverbund verteilt. Die dritte Stufe konnte somit ebenfalls erfolgreich beendet werden.

Die einzelnen Testergebnisse und Verbesserungspotentiale werden in Tabelle 10 übersichtlich zusammengefasst. (ZA = Zeitaufwand)

Die größten Verbesserungen konnten in der dritten Stufe erreicht werden. Die Reduzierung des Erprobungsaufwandes um 50 – 90%, sowie die um 80% schnellere globale Standardisierung der Bauelementdaten gemessen am Zeitaufwand stellt eine deutliche Verbesserung dar. Aber auch in der ersten Stufe wurde ein hoher qualitativer Nutzen durch die standortweite Bereitstellung der Erprobungsergebnisse erreicht. Der Aufwand für die BE-Untersuchungen in weiteren Standorten konnte bzgl. Kosten und Zeit erheblich reduziert werden, da auf den Ergebnissen des anderen Standortes aufgebaut wurde.

Dadurch werden die Informations- und Kommunikationsbarrieren innerhalb eines Standortes und eines globalen Unternehmens entscheidend abgebaut und die Time to Market Situation wesentlich verbessert.

### *7.2.3 Vision der weltweiten Optimierung der Planungskapazität*

Die technischen Planungsaktivitäten eines Unternehmens sind u.a. durch die Bedürfnisse der Kunden und die Innovationsfreudigkeit des Unternehmens bestimmt. Dies ist ein dynamischer Prozess und lastet die bestehenden Kapazitäten (Technik, Personenpower, Ressourcen) nicht konstant sondern dynamisch aus. Ein dynamischer Kapazitätsausgleich zwischen verschiedenen Standorten des Unternehmens wäre deshalb sehr

wünschenswert. Dazu sind natürlich entsprechende organisatorische und verantwortungstechnische Strukturen im Unternehmen erforderlich.

<b>Stufen</b>		<b>Vorher</b>	<b>Nachher</b>	<b>Bewertung</b>
<b>1. Stufe</b>	Erprobung	100% ZA	100% ZA	Status quo
	Digitale Dokumentation	-	100% ZA (30')	- Erhöhter Aufwand für die manuelle Dateneingabe, + Daten stehen im lokalen Standort allen Abt. sofort zur Verfügung
<b>2. Stufe</b>	Globale Bereitstellung der Ergebnisse	-	k. z. ZA	+ Automatischer Abgleich stellt die Daten global bereit
<b>3. Stufe</b>	Erweiterte Erprobung	100% ZA	10-50% ZA	+ Einsparung ZA 50-90% (BE und Produkt abhängig)
	Digitale Dokumentation	-	100% ZA (30')	- Erhöhter Aufwand für die manuelle Dateneingabe + Daten stehen allen Standorten sofort zur Verfügung
	Standardisierung	100% ZA	20% ZA	+ globale Standardisierung, Einsparung ZA um 80%

*Tabelle 10: Testergebnisse der Neuteilequalifizierung mit und ohne der globalen Rechnerunterstützung*

Die notwendige informationstechnische Vernetzung des Unternehmens kann auf Grundlage des vorliegenden globalen CAP-Systems vorgenommen werden. Weitere Hilfsmittel zur Überwindung von Kommunikationsproblemen können das Intranet und die elektronische Post (eMail) sein.

Der theoretische Ansatz für eine solche Anwendung war, dass u.a. Planungsaufgaben zur Optimierung und Simulation der automatischen Leiterplattenbestückung als Dienstleistung innerhalb der Fertigungsstandorte erbracht werden könnten. Der Test dieses Ansatzes sollte virtuell an folgendem Beispiel durchgeführt werden.

Ausgangssituation: Standort A plant eine neue Bestückungslinie. Standort B simuliert für zwei Produktfamilien die optimale Linienkonfiguration auf Basis des optimalen Makespan. Die Standorte sind mit einem globalen CAP-System vernetzt.

Testbeschreibung: Standort B übernimmt als Dienstleister für Standort A diese Planungsaufgabe. Standort A stellt Standort B die PPS-Planungsdaten (Stückzahlen pro Monat) per eMail zur Verfügung. Standort B erstellt die Jobdaten für die Produktfamilien und simuliert mit einer virtuellen Bestückungslinie im CAP-Optimiermodul die Takt- und Rüstzeiten. Während der Simulation erfolgt ein kontinuierlicher Kommunikationsaustausch zwischen beiden Standorten über die möglichen Lösungsvarianten. Als Ergebnis präsentiert der Standort B dem Standort A die Ergebnisse und stellt dem Standort A die kompletten Optimierungsdaten im Fertigungsverbund zur Verfügung. Mit Hilfe des standardisierten Datenaustausches könnten so die CAP-Daten automatisiert transferiert und 1:1 übernommen werden.

Testbewertung: Ohne die Dienstleistung des Standortes B hätte der Standort A die Planungsaufgabe entweder mit Hilfe von Outsourcing lösen oder die Planungsaufgabe zeitlich verschieben müssen. Der Vorteil am Outsourcing ist, dass der Terminplan theoretisch eingehalten werden könnte. Der Nachteil ist, dass die Optimierungsdaten für das CAP-System im Standort A trotzdem intern erstellt werden müssten, da der externe Dienstleister nicht in das globale CAP-System eingebunden sein würde. Ein weiterer Nachteil ist der Know How Verlust des Unternehmens gegenüber dem externen Dienstleister.

Die zeitliche Verschiebung der Planungsaufgabe ist nicht denkbar, da ein konsequenter Time to Market Prozess dies nicht zulässt.

Ergebnis der Betrachtung: Die Vernetzung der Unternehmensstandorte mit Hilfe des globalen CAP-Systems beeinflusst die planerische Zusammenarbeit der Standorte überaus positiv und stellt eine technische Voraussetzung für die Verschiebung von Optimierungs- und Simulationsaufgaben zwischen den Standorten dar. Der interne Know How Transfer wird erheblich gefördert.

### 7.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die Globalisierung und Standardisierung sind strategische Ziele eines Unternehmens, deren Erfolg und Wirtschaftlichkeit sich multifaktoriell zusammensetzt. Eine gesamtheitliche Betrachtung in dieser Arbeit würde jedoch den Rahmen des Themas sprengen.

Die Verbesserung der globalen Informations- und Kommunikationswege in einem Unternehmen stellt einen wesentlichen Anteil am wachsenden Erfolg dar. Die Ergebnisse in Kapitel 7.2 bekräftigen diese Aussage und lassen eine Quantifizierung der Einsparungspotentiale zu. So sollten die Einsparungen durch den Austausch von globalen CAP-Daten und die Reduzierung des Arbeitsaufwandes zur BE-Qualifizierung näher betrachtet werden.

Durch den Einsatz des globalen CAP-Systems konnten bei der Übertragung der Jobdaten die Transferzeiten zwischen 66% und 83% reduziert sowie die manuelle Nacharbeit komplett beseitigt werden. Für die Kalkulation der entstehenden Kosten galten folgende Grunddaten als Voraussetzung:

- Erstellung ein Job (lokal) = 2 Stunden
- Manuelle Nacharbeit im Zielsystem = 2 Stunden
- Pro Stunde fallen z. Bsp. 150 Geldeinheiten (GE) Gesamtkosten an.
- Datentransferzeit: lokal CAP = 67,5 min; global CAP = 15 min

Im Bild 50 sind die kalkulierten Kosten in y und die Anzahl globaler Jobs in x grafisch dargestellt. Das Volumen des Einsparungspotentials ist abhängig

von der Anzahl globaler Jobs, so dass sich bei 5 Jobs eine Einsparung von etwa 2 Tausend GE und bei 30 Jobs bereits eine Einsparung von etwa 11 Tausend GE ergeben.

Weitere qualitative Vorteile liegen in der höheren Qualität der Daten und damit sinkenden Fehlerwahrscheinlichkeit durch den Wegfall der manuellen Nacharbeiten. Der Dokumentationsaufwand reduziert sich aufgrund der automatischen Ablaufberichte, welche vom System erstellt werden.

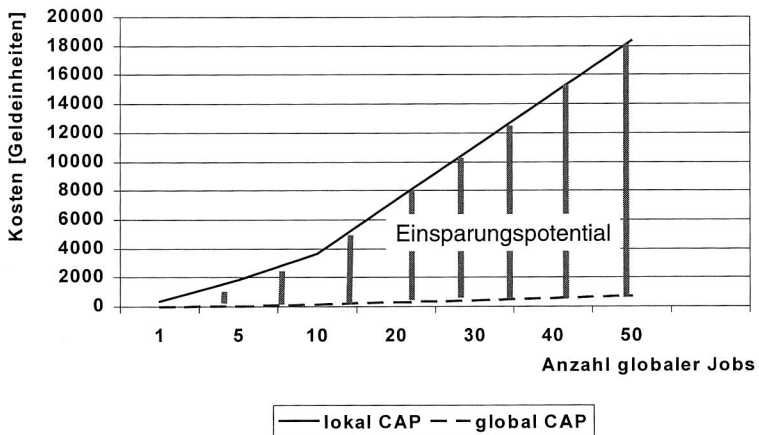


Bild 50: Darstellung des möglichen Einsparungspotential durch den Einsatz des globalen CAP-Systems für den weltweiten Datenaustausch

Der Test zur Erprobung und Qualifizierung der Bauelemente für die automatische Leiterplattenbestückung ergab, dass sich der globale Arbeitsaufwand von 50% bis zu 90% reduziert. Zur Kalkulation der Kostenersparnisse wurden folgende Grunddaten einbezogen.

- BE Qualifizierung lokal, Zeitaufwand = 9 Zeiteinheiten (ZE) pro Standort, dies entspricht einem Gesamtaufwand von 27 ZE bei 3 Standorten
- Reduzierung des Zeitaufwandes um 50% global auf = 4,5 ZE, wobei der 1. Standort weiterhin 9 ZE benötigt und die zwei anderen Standorte zusammen nur noch 4,5 ZE in einer parallelen Bearbeitungsphase gemäß dem Ablauf im Bild 49 benötigen.



- Zusätzlicher Faktor aufgrund der parallelen Erprobung von etwa 4 BE gleichzeitig pro Zeiteinheit.

Die Ergebnisse der Kostenkalkulation sind in dem Bild 51 grafisch dargestellt. In der x-Achse wurde die Anzahl der zu qualifizierenden BE und in der y-Achse der Zeitaufwand in Wochen aufgetragen.

Das Einsparungspotential steigt mit der Anzahl der Bauelemente und beträgt bei einem Bauelement 4,5 ZE und bei 10 Bauelementen bereits 46,2 ZE.

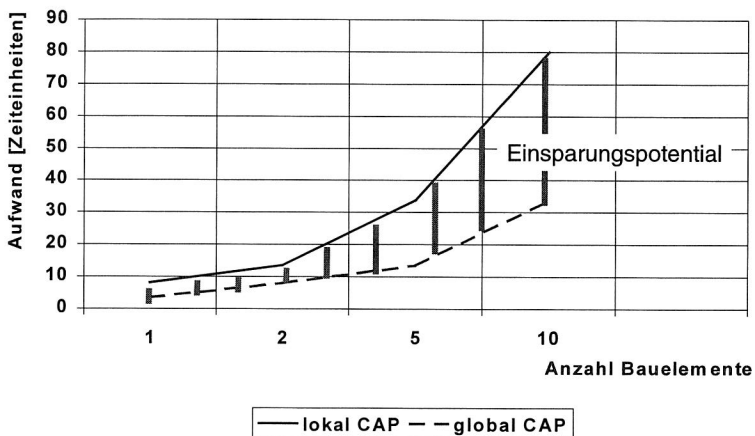


Bild 51: Darstellung der erzielbaren Einsparungen durch den Einsatz des globalen CAP-System für die rechnerunterstützte Neuteilequalifizierung

Qualitative Vorteile ergaben sich aufgrund der schnelleren globalen Standardisierung der Bauelemente im gesamten Unternehmen und dem steigenden Know How Austausch zwischen den Spezialisten der einzelnen Fertigungsstandorte.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen wiederum auf, dass nur der konsequente Einsatz eines globalen CAP-Systems wirtschaftlich ist und erhebliche Qualitätsvorteile für die einzelnen Abläufe mit sich bringt.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Die fortschreitende Globalisierung in der Elektronikfertigung stellt wachsende Anforderungen an die technologischen und organisatorischen Strukturen der Unternehmen. Nur durch konsequenten Einsatz einer globalen Informations- und Kommunikationstechnologie kann in Zukunft eine effiziente Produktivität gewährleistet werden.

Die datentechnische Verknüpfung mehrerer Fertigungsstandorte zur Überwindung von Informations- und Kommunikationsbarrieren und zur besseren globalen Nutzung der vorhandenen Ressourcen war das Ziel der Arbeit. Die Entwicklung der neuen Daten- und CAP-Modelle wurde systematisch auf der Grundlage der Beschreibungen der CIM-Strategie und der Analyse des verfügbaren Marktpotentials für CAM- und CAP-Systeme begonnen. Sich daraus ergebende Spannungsfelder wurden aufgezeigt und zusammen mit den Anforderungen der neuen technischen Innovationen in einem neuen Gesamtkonzept gelöst. Die technischen Planungsebenen mussten als erstes in jedem Standort mit einem effizienten lokalen CAP-System zur Optimierung der Leiterplattenbestückung ausgestattet werden. Dafür wurde eine Marktanalyse erstellt, die zusammen mit dem Stand der Technik und einem nachfolgenden Benchmark zur Auswahl des geeigneten CAP-Systems führte. Jedoch keines der untersuchten Module konnte ohne Anpassung in das globale CAP-System eingebunden werden, so dass notwendige Erweiterungen zum Beispiel herstellerübergreifende Maschinenrüstroptimierung auf der Basis von kinematischen Zeitmodellen geplant werden mussten.

Das erstellte Datenbankmodell ist die zentrale Schnittstelle der CAP-Module. Sie ist die integrale Schnittstelle im übergeordneten CIM-System und stellt einen der Hauptteile der Arbeit dar. Zur Generierung wurden die bestehenden maschinenspezifischen Datenbeschreibungen analysiert und in eine universelle Prozessdatenbeschreibung überführt sowie mit Werkzeugen des wissenschaftlichen Datenbankdesigns weiterentwickelt. Zur Bedienung und Verwaltung dieser Prozessdaten wurde eine multilinguale und multiportierbare Anwenderoberfläche mit Hilfe der Intranet-Technologie

erstellt. Das damit zur Verfügung stehende Dateninformationssystem kann mit einem hohen Bedienungskomfort in jeder Abteilung und in jedem Standort des Unternehmens im firmeninternen Intranet übergreifend eingesetzt werden.

Der Austausch und die Verwaltung der optimierten CAP-Daten konnte durch die Entwicklung eines weiteren Moduls sichergestellt werden. Das Jobmanagemodul strukturiert die kompletten Daten als Job und organisiert mit Hilfe der Import- und Exportfunktionen den effizienten Austausch der CAP-Daten zwischen mehreren Standorten. Die dazu notwendigen Abläufe und Datenschnittstellen wurden standardisiert und in eine übersichtliche Bedienerführung integriert.

Auf der Basis der durchgeführten Tests können erhebliche Reduzierungen der Datentransferzeiten und die Beseitigung der erheblichen manuellen Nacharbeiten in den Zielsystemen erreicht werden. Weiterhin kann durch den konsequenten Einsatz der neuen informationstechnischen Vernetzung ein erheblicher Unternehmensvorteil im Time to Market Prozess erarbeitet werden. Die Integration der entwickelten und ausgewählten Module zu einem globalen Gesamtsystem stellt eine leistungsfähige und wirtschaftliche Lösung für die Verknüpfung von Fertigungsstandorten dar.

Insgesamt wurden externe marktverfügbare Optimierungs- und Simulationsmodule sowie neu entwickelte Module zur - globalen Datenverwaltung sowie zum globalen Datenaustausch um eine neu entwickelte zentrale Prozessdatenbank als offene CIM-Schnittstelle gruppiert und somit ein globales Modell zu einem globalen Fertigungsdatenverbund erarbeitet und getestet.

Durch die zukünftigen Erweiterungen innerhalb der interkontinentalen Internetverbindungen wie z.B. die Erhöhung der Datentransferraten wird ein verbesserter Einsatz der realisierten Module in einem globalen CAP-Fertigungsdatenverbund möglich sein.

## 9 Literaturverzeichnis

- 1 Alting, L.; Zhang, H.:  
Trends in the Development of the future integrated manufacturing systems, Production of Manufacturing International '90, Vol.3, International Aspects of Manufacturing, ASME, Atlanta, GA, USA, 1990, Seite 7 ff
- 2 Bläsing:  
Qualitätssicherung unter CIM-Zielen, Vieweg-Verlag Braunschweig, 1990
- 3 Chen, P. P.:  
Entity-Relationship Approach: The Use of ER Concept in Knowledge Representation, Fourth Int. Congress on Entity-Relationship Approach, Chicago 1985, IEEE Computer Society Press, Washington 1985
- 4 Doumeingts G.; Ducq Y.; Clave F.; Malhene N.:  
From CIM to Global Manufacturing, Konferenz-Einzelbericht: CAPE95, Proc. Beijing China, May, 1995, Seiten 379-388
- 5 Feldmann, K.; Rottbauer, H.:  
Achieving and Maintaining Competitiveness by electronically networked and globally distributed Assembly Systems, Manufacturing Systems, 1998, Vol 27, Seiten 369-374
- 6 Feldmann, K.; Götz, K.; Sturm, J.:  
CAD/CAM Process Planning for Laser soldering in Electronics Assembly, Proceedings of the CIRP-Seminars – Manufacturing Systems, Vol. 24, 1995, No. 5, Seiten 459-465

- 
- 7      Feldmann, K.; Luchs, R.:  
Computer Aided Production Systems for innovative Electronics, 5<sup>th</sup>  
International Conference FAIM 95 – Flexible Automation & Intelligent  
Manufacturing, Stuttgart 1995, Seiten 519-530
  
  - 8      Feldmann, K.;  
Elektronikproduktion – eine volkswirtschaftliche Schlüsseltechnologie,  
Wt Produktion und Management 87, 1997, Heft 5
  
  - 9      Feldmann, K.; Rottbauer, H.; Stöckel, T.:  
Information Systems Architecture for Collaborative Manufacturing in  
Virtual Enterprises, Proceedings of the Prolamat, Hrsg.: G. Jacucci,  
Trento Italien 1998, Seiten 711-723
  
  - 10     Feldmann, K.; Schlögl, W.:  
Optimierung von automatisierten Bestückssystemen, ZWF, 1998, Heft  
10, Seiten 497-499
  
  - 11     Feldmann, K.; Roth, N.; Rottbauer, H.:  
The Impact of Globalization on the Location and Structure of  
Assembly Systems, Siemens Zeitschrift Special FuE Winter 1996/97,  
S. 25-28
  
  - 12     Franke, J.: Standardisierung der CAD/CAM-Verfahrensketten für die  
Bestückung von Leiterplatten, Vortragsband zur FED-Konferenz  
1993, Hrsg. Fachverband Elektronik Design, Berlin 1993
  
  - 13     Freund, B.; König, H.; Roth, N.: Impact of Information Technology on  
Manufacturing, FAIM, Stuttgart 1995
  
  - 14     Gabler:  
Gablers Wirtschaftslexikon. 13. Auflage, Wiesbaden, 1993

- 15     Geitner, U. W. (Hrsg.):  
      CIM Handbuch, Vieweg Verlag Braunschweig 1991
  
- 16     Gehring, M. R.:  
      Wege für eine bessere Kommunikation zwischen CAD- und CAM  
      Abteilungen, Elektronik 16, München, 1998, Seiten 76-81
  
- 17     Glaum, M.:  
      Internationalisierung und Unternehmenserfolg. Wiesbaden: Gabler,  
      1996.
  
- 18     Gunther R.; Feldmann, K.:  
      Simulation – Schlüsseltechnologie der Zukunft? < Stand und  
      Perspektiven > Herbert Utz Verlag Wissenschaft, München, 1997
  
- 19     Günther, H. O.; Gronalt, M.; Zeller, R.:  
      Job sequencing and component set-up on a surface mount  
      placement machine, Production Planning & Control 9, 1998
  
- 20     Günther, H.-O.; Föhrenbach, A.; Grunow, M.:  
      Simulation von Bestückungsautomaten in der Elektronikfertigung,  
      Zeitschrift ZWF, Carl Hanser Verlag, München 1998, Seiten 255-258
  
- 21     Haller, M.; Döppke, W.; Eversheim, W.:  
      Internationale Produktion-Tendenzen, Risiken und Chancen der  
      Globalisierung. Globalisierung der Wirtschaftseinwirkungen auf die  
      Betriebswirtschaftslehre. Bern, Stuttgart, Wien 1993
  
- 22     Helga, K.:  
      Neugestaltung überbetrieblicher Produktentstehung, ZWF 4/1997,  
      Carl Hanser Verlag, München, Seiten 161-164

- 
- 23 Herzberg, H.:  
Neue Möglichkeiten der Automatisierung in der SMT Fertigung durch  
standardisierte Kommunikationsprotokolle (GEM), Siemens AG,  
München 1997, Seiten 1-7
- 24 Hirsch, B.E.; Kuhlmann, T.; Maßow, C.:  
Decentralized and collaborative production management –  
A prerequisite for globally distributed manufacturing,  
Konferenz-Einzelbericht: CAPE95, Proc. Beijing China, May, 1995,  
Seiten 441-449
- 25 Hoare, C.A.R.:  
Notes on Data Structuring, In Structured Programming Academic  
Press, London/ New York, 1972
- 26 <http://pm.box.wv.tu-berlin.de/dfg/welcome.dfg.html>
- 27 Kief, H. K.:  
FFS Handbuch, 4. Auflage, Carl-Hanser-Verlag, 1998
- 28 Klein Wassink, R. J.; Verguld, M. M. F.:  
Manufacturing Techniques for Surface Mount Assemblies,  
Electrochemical Publications LTD, Port Erin, Isle of Man, 1995
- 29 Korneli, M.:  
Kostenoptimierter Einsatz von Multi-Vendor-Lines, Fachaufsatz,  
productronic Nr.: 6/1998, Fachzeitschrift für Elektronik-Fertigung,  
Hüthig Verlag Heidelberg, 1998
- 30 Köppe, D.:  
CAQ-Datenmodell, VDI-Verlag, Düsseldorf 1992

- 31 Krause, F.-L.; Doblies, M.:  
Sicherheitsaspekte Internet-basierter Informationssysteme, ZWF 7-8/1996, Carl Hanser Verlag, München
  
- 32 Lee J.:  
Manufacturing Globalization: New Challenges for the Computer-Integrated Manufacturing, Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology, Proc. of the 4<sup>th</sup> Internat. Conf., Troy, USA, Oct 10-12, 1994, Seiten 206-207
  
- 33 Lei, David; Goldhar, Joel D.:  
Computer Integrated Manufacturing (CIM): Redefining the Manufacturing Firm into a Global Service Business, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 11, No. 10, 1991, Seiten 5-18
  
- 34 Nackmayr, J.:  
Globalisierungspotentiale im Maschinenbau  
Dissertation in Berichte aus dem Produktions-technischen Zentrum Berlin, Prof. Dr. G. Spur (Hrsg), Berlin 1997
  
- 35 Nann, R.; Wittmann, R.:  
CAD-CAM-CAQ-Integration im Werkzeugbau und Formenbau, Zeitschrift Werkstatt und Betrieb 131, Carl Hanser Verlag, München 1998, Seiten 48-52
  
- 36 N.N.:  
CAD-CAM-EDM Handbuch, CAD-CAM Verlag für Computergrafik, München 1998
  
- 37 N.N.:  
Computer-Grafik-Markt 1999/2000, Ein Leitfaden für die C-Technologien, Dressler Verlag, Heidelberg 1999



- 
- 38 N.N.:  
Deutsches Institut für Normung (Hrsg.), DIN Fachbericht 15:  
Normung von Schnittstellen für die rechnerintegrierte Produktion  
(CIM), Beuth Verlag, Berlin Köln 1987
- 39 N.N.:  
Die Welt der Surface Mount Technology, Messeausgabe  
Productronica 1997, Siemens AG, München
- 40 N.N.:  
DIN 16561 Teil 1: EDIFACT, Einheitlicher Nachrichtentyp  
Beuth Verlag GmbH, Berlin 1990
- 41 N.N.:  
Leiterplatte 1998, GMM-Fachbericht, 18., VDE Verlag, 1997
- 42 N.N.:  
Problemlösungs- und Entscheidungsstrategie nach Kepner Tregoe,  
Bosch Weiterbildungsunterlage, Stuttgart, 1998
- 43 N.N.:  
Taschenbuch für den Maschinenbau, Dubbel, 17. Auflage,  
Springer-Verlag Berlin 1990
- 44 Pack, L.:  
Zur Berücksichtigung von Rüstzeiten im klassischen  
Maschinenbelegungsproblem, Zeitschrift für Betriebswirtschaftslehre  
68, 1998, 5, Seiten 497-524

- 45    Peters, B. A.:  
      Subramanian, G.: Analysis of partial setup strategies for solving the  
      operational planning problems in parallel machine electronic  
      assembly systems, International Journal of Production Research 34,  
      1996
- 46    Peters, J.; Pinte, J.:  
      CIM and the Globalization of the manufacturing Process in SME,  
      Production of Manufacturing International '90, Vol.3, International  
      Aspects of Manufacturing, ASME, Atlanta, GA, USA, 1990, Seiten 1-6
- 47    Reinhardt, G.; Brandner, S.:  
      Integration von Zulieferern in das Daten- und Prozeßmanagement,  
      ZWF 9/1996, Carl Hanser Verlag, München
- 48    Reinhardt, G.; Feldmann, K.:  
      Simulation – Schlüsseltechnologie der Zukunft? Stand und  
      Perspektiven, Herbert Utz Verlag Wissenschaft, München, 1997
- 49    Rembold (Hrsg.):  
      CAM-Handbuch, Springer Verlag, Berlin, 1990
- 50    Rembold, U. (Hrsg.):  
      Einführung in die Informatik, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag,  
      München, 1991
- 51    Rothhaupt, A.:  
      Modulares Planungssystem zur Optimierung der Elektronikfertigung,  
      Fertigungstechnik – Erlangen, Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Feldmann, Prof.  
      Dr.-Ing. Dr. h.c. Geiger, Carl Hanser Verlag München 1995, Seite 30ff
- 52    Scheer, A.-W.:  
      CIM Computer Integrated Manufacturing, Springer Verlag Berlin 1987

- 
- 53 Schmidt, T.:  
Dudenhausen, H.-M.: Grobplanung in Produktionsnetzen mit  
genetischen Algorithmen und neuronalen Netzen, Zeitschrift ZWF,  
Carl Hanser Verlag 1997
- 54 Scholz-Reiter B.; Issendorf C. von:  
CIM-Schnittstellen in der Praxis, CIM Management, Band 10, 1994,  
Heft 1, Seiten 37-44
- 55 Sutter, R.:  
Fertigungsverfahren, 1. Auflage, Vogel Verlag Würzburg 1997
- 56 Warnecke:  
CIM Handbuch, Vieweg Verlag Braunschweig 1991
- 57 Warnecke, H. J.:  
Revolution der Unternehmenskultur, Springer Verlag Berlin, 1993
- 58 Westkämper, E.:  
Integrationspfad Qualität, Springer Verlag, Berlin 1991



---

## Lebenslauf

Markus Korneli

Geboren am 29. November 1967 in Dresden

Verheiratet, 2 Kinder

Koordinator und Projektleiter für technische IV-Projekte  
in der elektronischen Flachbaugruppenfertigung

- |             |   |
|-------------|---|
| Seit 1996   | Mitarbeiter in der Fertigungsplanung<br>Abteilung Technische Funktionen<br>Blaupunkt GmbH Hildesheim, BOSCH Gruppe      |
| 1993 – 1995 | Wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl FAPS,<br>Universität Erlangen-Nürnberg,<br>Leiter: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann |
| 1989 – 1995 | Studium der Fertigungstechnik<br>an der Universität Erlangen-Nürnberg<br>Abschluß 12/1995: Dipl.-Ing. (Univ.)           |
| 1988 – 1989 | Studium Maschinenbau<br>Technische Universität Dresden  |
| 1987 – 1988 | Programmier- und Operatorausbildung<br>Rechenzentrum ILKA Dresden   |
| 1984 – 1987 | Berufsschule des Edelstahlwerkes Freital/Dresden<br>Abschlüsse 07/1987: Abitur, Facharbeiter                            |
| 1974 – 1984 | Polytechnische Oberschule in Dresden  |



# Reihe

# Fertigungstechnik

# Erlangen

Band 1

Andreas Hemberger

**Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme**

208 Seiten, 107 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 2

Detlef Classe

**Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montage-systeme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte**

194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 3

Friedrich-Wilhelm Nolting

**Projektiertung von Montagesystemen**

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.

Kartoniert.

Band 4

Karsten Schlüter

**Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz der Simulationstechnik**

177 Seiten, 97 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 5

Shir-Kuan Lin

**Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern**

168 Seiten, 46 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 6

Rudolf Nuss

**Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität im Fertigungssystem Laserstrahlschneiden**

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 7

Wolfgang Scholz

**Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen**

194 Seiten, 89 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 8

Hans-Jürgen Wißmeier

**Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens von Hartmetall-Fließpreßmatrizen**

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 9

Rainer Eisele

**Konzeption und Wirtschaftlichkeit von Planungssystemen in der Produktion**

183 Seiten, 86 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 10  
Rolf Pfeiffer  
**Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der Schraubtechnik**  
216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartoniert.

Band 11  
Herbert Fischer  
**Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung der rechnerintegrierten Teilefertigung**  
201 Seiten, 82 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 12  
Gerhard Kleinedam  
**CAD/CAP: Rechnergestützte Montagefeinplanung**  
203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 13  
Frank Vollertsen  
**Pulvermetallurgische Verarbeitung eines übereutektoiden verschleißfesten Stahls**  
XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartoniert.

Band 14  
Stephan Biermann  
**Untersuchungen zur Anlagen- und Prozeßdiagnostik für das Schneiden mit CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasern**  
VIII + 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 15  
Uwe Geißler  
**Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle**  
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 16  
Frank Oswald Hake  
**Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen**  
XIV + 166 Seiten, 77 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 17  
Herbert Reichel  
**Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung**  
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 18  
Josef Scheller  
**Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen für rechnergeführte Montagezellen**  
198 Seiten, 65 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 19  
Arnold vom Ende  
**Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize**  
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 20  
Joachim Schmid  
**Beitrag zum automatisierten Bearbeiten von Keramikguß mit Industrierobotern**  
XIV + 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991. Kartoniert.



Band 21

Egon Sommer

**Multiprozessorsteuerung für kooperierende Industrieroboter in Montagezellen**

188 Seiten, 102 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 22

Georg Geyer

**Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der Montage**

192 Seiten, 112 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 23

Rainer Flohr

**Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik in der Oberflächenmontage (SMT)**

186 Seiten, 79 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 24

Alfons Rief

**Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und –schweißen in der Rohkarosseriefertigung**

VI + 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 25

Christoph Thim

**Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation**

188 Seiten, 74 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 26

Roland Müller

**CO<sub>2</sub>-Laserstrahlschneiden von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen**

141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992. Kartoniert.

Band 27

Günther Schäfer

**Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung**

195 Seiten, 76 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 28

Martin Hoffmann

**Entwicklung einer CAD/CAM-Prozeßkette für die Herstellung von Blechbiegeteilen**

149 Seiten, 89 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 29

Peter Hoffmann

**Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und –schweißen : Prozeßführung und Systemtechnik in der 3D–Laserstrahlbearbeitung von Blechformteilen**

186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992. Kartoniert.

Band 30

Olaf Schrödel

**Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen**

180 Seiten, 84 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 31

Hubert Reinisch

**Planungs- und Steuerungswerkzeuge zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen**

XI + 212 Seiten, 112 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 32  
Brigitte Bärnreuther  
**Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens  
von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen**  
XI + 179 Seiten, 71 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 33  
Joachim Hutfless  
**Laserstrahlregelung und Optikdiagnostik in der Strahlführung  
einer CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaseranlage**  
175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 34  
Uwe Günzel  
**Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative  
und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung**  
XIV + 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 35  
Bertram Ehmann  
**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener  
Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**  
XV + 167 Seiten, 114 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 36  
Harald Kolléra  
**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems  
für das Laserstrahlschneiden**  
129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993. Kartoniert.

Band 37  
Stephanie Abels  
**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen  
in einem integrierten Simulationssystem**  
188 Seiten, 88 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 38  
Robert Schmidt-Hebbel  
**Laserstrahlbohren durchflußbestimmender  
Durchgangslöcher**  
145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 39  
Norbert Lutz  
**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe mit  
XeCl-Excimerlaserstrahlung**  
187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994. Kartoniert.

Band 40  
Konrad Grampp  
**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung an  
Steuerungssoftware von SMD-Bestücklinien**  
178 Seiten, 88 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 41  
Martin Koch  
**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung  
in der Investitionsgüterindustrie**  
169 Seiten, 68 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 42  
Armin Gropp  
**Anlagen- und Prozeßdiagnostik beim Schneiden mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser**  
160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 43  
Werner Heckel  
**Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biegewinkelmessung mit dem Lichtschnittverfahren**  
149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 44  
Armin Rothhaupt  
**Modulares Planungssystem zur Optimierung der Elektronikfertigung**  
180 Seiten, 101 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 45  
Bernd Zöllner  
**Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion**  
195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 46  
Bodo Vormann  
**Beitrag zur automatisierten Handhabungsplanung komplexer Blechbiegeteile**  
126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 47  
Peter Schnepf  
**Zielkostenorientierte Montageplanung**  
144 Seiten, 75 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 48  
Rainer Klotzbücher  
**Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung in flexiblen Fertigungssystemen**  
156 Seiten, 62 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 49  
Wolfgang Greska  
**Wissensbasierte Analyse und Klassifizierung von Blechteilen**  
144 Seiten, 96 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 50  
Jörg Franke  
**Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3-D MID)**  
196 Seiten, 86 Bilder, 4 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 51  
Franz-Josef Zeller  
**Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter**  
190 Seiten, 102 Bilder, 9 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 52  
Michael Solvie  
**Zeitbehandlung und Multimedia-Unterstützung in Feldkommunikationssystemen**  
200 Seiten, 87 Bilder, 35 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 53

Robert Hopperdietzel

**Reengineering in der Elektro- und Elektronikindustrie**

180 Seiten, 109 Bilder, 1 Tabelle. 1996. Kartoniert.

Band 54

Thomas Rebhan

**Beitrag zur Mikromaterialbearbeitung mit Excimerlasern –  
Systemkomponenten und Verfahrensoptimierungen**

148 Seiten, 61 Bilder, 10 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 55

Henning Hanebuth

**Laserstrahlhartlöten mit Zweistrahltechnik**

157 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 56

Uwe Schönherr

**Steuerung und Sensordatenintegration für flexible Fertigungszellen  
mit kooperierenden Robotern**

188 Seiten, 116 Bilder, 3 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 57

Stefan Holzer

**Berührungslose Formgebung mit Laserstrahlung**

162 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 58

Markus Schultz

**Fertigungsqualität beim 3D-Laserstrahlschweißen von Blechformteilen**

165 Seiten, 88 Bilder, 9 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 59

Thomas Krebs

**Integration elektromechanischer CA-Anwendungen über einem STEP-  
Produktmodell**

198 Seiten, 58 Bilder, 8 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 60

Jürgen Sturm

**Prozeßintegrierte Qualitätssicherung  
in der Elektronikproduktion**

167 Seiten, 112 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 61

Andreas Brand

**Prozesse und Systeme zur Bestückung räumlicher  
elektronischer Baugruppen (3-D MID)**

182 Seiten, 100 Bilder. 1997. Kartoniert

Band 62

Michael Kauf

**Regelung der Laserstrahlleistung und der Fokusparameter einer  
CO<sub>2</sub>-Hochleistungslaseranlage**

140 Seiten, 70 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert

Band 63

Peter Steinwässer

**Modulares Informationsmanagement in der integrierten  
Produkt- und Prozeßplanung**

190 Seiten, 87 Bilder. 1997. Kartoniert.

Band 64

Georg Liedl

**Integriertes Automatisierungskonzept für den flexiblen Materialfluß  
in der Elektronikproduktion**

196 Seiten, 96 Bilder, 3 Tabellen. 1997. Kartonierte.

Band 65

Andreas Otto

**Transiente Prozesse beim Laserstrahlschweißen**

132 Seiten, 62 Bilder, 1 Tabelle. 1997. Kartonierte.

Band 66

Wolfgang Blöchl

**Erweiterte Informationsbereitstellung an offenen CNC-Steuerungen  
zur Prozeß- und Programmoptimierung**

168 Seiten, 96 Bilder. 1997. Kartonierte.

Band 67

Klaus-Uwe Wolf

**Verbesserte Prozeßführung und Prozeßplanung zur Leistungs- und  
Qualitätssteigerung beim Spulnwickeln.**

186 Seiten, 125 Bilder. 1997. Kartonierte.

Band 68

Frank Backes

**Technologieorientierte Bahnplanung für die 3D-Laserstrahlbearbeitung**

138 Seiten, 71 Bilder, 2 Tabellen. 1997. Kartonierte.

Band 69

Jürgen Kraus

**Laserstrahlumformen von Profilen**

137 Seiten, 72 Bilder, 8 Tabellen. 1997. Kartonierte.

Band 70

Norbert Neubauer

**Adaptive Strahlführungen für CO<sub>2</sub>-Laseranlagen**

120 Seiten, 50 Bilder, 3 Tabellen. 1997. Kartonierte.

Band 71

Michael Steber

**Prozeßoptimierter Betrieb flexibler Schraubstationen  
in der automatisierten Montage**

168 Seiten, 78 Bilder, 3 Tabellen. 1997. Kartonierte.

Band 72

Pfestorf, Markus

**Funktionale 3D-Oberflächenkenngrößen in der Umformtechnik**

162 Seiten, 84 Bilder, 15 Tabellen. 1997. Kartonierte.

Band 73

Volker Franke

**Integrierte Planung und Konstruktion von Werkzeugen  
für die Biegebearbeitung**

143 Seiten, 81 Bilder. 1998. Kartonierte.

Band 74

Herbert Scheller

**Automatisierte Demontagesysteme und recyclinggerechte  
Produktgestaltung elektronischer Baugruppen**

184 Seiten, 104 Bilder, 17 Tabellen. 1998. Kartonierte.

Band 75

Arthur Meißner

**Kaltmassivumformung metallischer Kleinstteile**

**– Werkstoffverhalten, Wirkflächenreibung, Prozeßauslegung –**

164 Seiten, 92 Bilder, 14 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 76

Mathias Glasmacher

**Prozeß- und Systemtechnik zum Laserstrahl-Mikroschweißen**

184 Seiten, 104 Bilder, 12 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 77

Michael Schwind

**Zerstörungsfreie Ermittlung mechanischer Eigenschaften von  
Feinblechen mit dem Wirbelstromverfahren**

124 Seiten, 68 Bilder, 8 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 78

Manfred Gerhard

**Qualitätssteigerung in der Elektronikproduktion durch Optimierung  
der Prozeßführung beim Löten komplexer Baugruppen**

179 Seiten, 113 Bilder, 7 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 79

Elke Rauh

**Methodische Einbindung der Simulation in die betrieblichen Planungs-  
und Entscheidungsabläufe**

192 Seiten, 114 Bilder, 4 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 80

Nieder Korn Sorin

**Meßeinrichtung zur Untersuchung der Wirkflächenreibung bei  
umformtechnischen Prozessen**

99 Seiten, 46 Bilder, 6 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 81

Stefan Schuberth

**Regelung der Fokusslage beim Schweißen mit CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasern  
unter Einsatz von adaptiven Optiken**

140 Seiten, 64 Bilder, 3 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 82

Armando Walter Colombo

**Development and Implementation of Hierarchical Control Structures  
of Flexible Production System Using High-Level Petri Nets**

216 Seiten, 86 Bilder. 1998. Kartoniert.

Band 83

Otto Meedt

**Effizienzsteigerung bei Demontage und Recycling durch flexible  
Demontagetechnologien und optimierte Produktgestaltung**

186 Seiten, 103 Bilder. 1998. Kartoniert.

Band 84

Knuth Götz

**Modelle und effiziente Modellbildung zur Qualitätssicherung  
in der Elektronikproduktion**

212 Seiten, 129 Bilder, 24 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 85

Ralf Luchs

**Einsatzmöglichkeiten leitender Klebstoffe zur zuverlässigen Kontaktierung  
elektronischer Bauelemente in der SMT**

176 Seiten, 126 Bilder, 30 Tabellen. 1998. Kartoniert.

Band 86

Frank Pöhlau

**Entscheidungsgrundlagen zur Einführung räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID)**

144 Seiten, 99 Bilder. 1999. Kartoniert.

Band 87

Roland Kals

**Fundamentals of the miniaturization of sheet metal working processes**

128 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 88

Gerhard Luhn

**Implizites Wissen und technisches Handeln am Beispiel der Elektronikproduktion.**

253 Seiten, 61 Bilder, 1 Tabelle. 1999. Kartoniert.

Band 89

Axel Sprenger

**Adaptives Streckbiegen von Aluminium-Strangpreßprofilen**

114 Seiten, 63 Bilder, 4 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 90

Hans-Jörg Pucher

**Untersuchungen zur Prozeßfolge Umformen, Bestücken und Laserstrahllöten von Mikrokontakten**

158 Seiten, 69 Bilder, 9 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 91

Horst Arnet

**Profilbiegen mit kinematischer Gestalterzeugung**

128 Seiten, 67 Bilder, 7 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 92

Doris Schubart

**Prozeßmodellierung und Technologieentwicklung beim Abtragen mit CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung**

133 Seiten, 57 Bilder, 13 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 93

Adrianus L. P. Coremans

**Laserstrahlsintern von Metallpulver – Prozeßmodellierung, Systemtechnik, Eigenschaften laserstrahlgesinterter Metallkörper**

184 Seiten, 108 Bilder, 12 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 94

Hans-Martin Biehler

**Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung**

199 Seiten, 105 Bilder. 1999. Kartoniert.

Band 95

Wolfgang Becker

**Oberflächenausbildung und tribologische Eigenschaften Excimerlaserstrahlbearbeiteter Hochleistungskeramiken**

175 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 96

Philipp Hein

**Innenhochdruck-Umformen von Blechpaaren: Modellierung, Prozeßauslegung und Prozeßführung**

129 Seiten, 57 Bilder, 7 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 97

Gunter Beitinger

**Herstellungs- und Prüfverfahren für  
thermoplastische Schaltungsträger**

176 Seiten, 92 Bilder, 20 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 98

Jürgen Knoblach

**Beitrag zur rechnerunterstützten verursachungsgerechten Angebotskalkulation  
von Blechteilen mit Hilfe wissensbasierter Methoden**

156 Seiten, 53 Bilder, 26 Tabellen. 1999. Kartoniert.

Band 99

Frank Breitenbach

**Bildverarbeitungssystem zur Erfassung der Anschlußgeometrie  
elektronischer SMT-Bauelemente**

168 Seiten, 92 Bilder, 12 Tabellen. 2000. Kartoniert.

Band 100

Bernd Falk

**Simulationsbasierte Lebensdauervorhersage für Werkzeuge  
der Kaltmassivumformung**

134 Seiten, 44 Bilder, 15 Tabellen. 2000. Kartoniert.

Band 101

Wolfgang Schögl

**Integriertes Simulationsdaten-Management für Maschinenentwicklung  
und Anlagenplanung**

157 Seiten, 101 Bilder, 20 Tabellen. 2000. Kartoniert.

Band 102

Christian Hinsel

**Ermüdungsbruchversagen hartstoffbeschichteter  
Werkzeugstähle in der Kaltmassivumformung**

130 Seiten, 80 Bilder, 14 Tabellen. 2000. Kartoniert.

Band 103

Stefan Bobbert

**Simulationsgestützte Prozessauslegung für das Innenhochdruck-Umformen  
von Blechpaaren**

123 Seiten, 77 Bilder. 2000. Kartoniert.

Band 104

Harald Rottbauer

**Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement  
in der Elektronikproduktion**

176 Seiten, 106 Bilder. 2000. Kartoniert.

Band 105

Thomas Hennige

**Flexible Formgebung von Blechen durch Laserstrahlumformung**

120 Seiten, 50 Bilder. 2001. Kartoniert.

Band 106

Thomas Menzel

**Wissensbasierte Methoden für die rechnergestützte Charakterisierung und  
Bewertung innovativer Fertigungsprozesse**

152 Seiten, 71 Bilder. 2001. Kartoniert.

Band 107

Thomas Stöckel

**Kommunikationstechnische Integration der Prozeßebene in Produktionssysteme  
durch Middleware-Frameworks**

162 Seiten, 65 Bilder, 5 Tabellen. 2001. Kartoniert.



Band 108

Frank Pitter

**Verfügbarkeitssteigerung von Werkzeugmaschinen durch Einsatz  
mechatronischer Sensorlösungen**

158 Seiten, 131 Bilder, 8 Tabellen. 2001. Kartoniert.

Band 109

Markus Korneli

**Integration lokaler CAP-Systeme in einen globalen Fertigungsdatenverbund**

125 Seiten, 53 Bilder, 11 Tabellen. 2001. Kartoniert.