

Andreas Schaller

*Modellierung eines nachfrageorientierten
Produktionskonzeptes für mobile
Telekommunikationsgeräte*

Andreas Schaller

*Modellierung eines nachfrageorientierten
Produktionskonzeptes für mobile
Telekommunikationsgeräte*

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: 01. Oktober 2008
Tag der Promotion: 13. Januar 2009
Dekan: Prof. Dr.-Ing. habil. Johannes Huber
Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
Prof. Dr.-Ing. habil. W. Sauer, TU Dresden

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-87525-289-7
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 2009
Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf
Printed in Germany

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Fertigungsingenieur bei der Motorola GmbH, Abteilung Corporate Research, in enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls am Institut für Maschinenbau, danke ich sehr herzlich für die engagierte Förderung meiner Arbeit und das mir dabei entgegengebrachte Vertrauen, das mir ein eigenverantwortliches wissenschaftliches Arbeiten parallel zu meiner beruflichen Tätigkeit ermöglichte. Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Wilfried Sauer, TU Dresden, danke ich für die interessierte und engagierte Übernahme des Koreferates. Darüber hinaus möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Sticht, Professor für Bioinformatik am Lehrstuhl für Biochemie, als weiteres Mitglied des Prüfungskollegiums und bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing- E.h. Dr. h.c. mult. A. Weckenmann, dem Leiter des Lehrstuhls für Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik, für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes bedanken.

Bei den Mitarbeitern des Lehrstuhls bedanke ich mich für die hervorragende Unterstützung, insbesondere bei Herrn Dipl.-Ing. Claudius Schimpf sowie Herrn Dipl.-Ing. Tobias Schmuck. Ferner danke ich allen Studenten, die mich am Lehrstuhl tatkräftig unterstützt haben. Darüberhinaus danke ich Prof. Sawik, Universität Krakau, für die langjährige gute Kooperation.

Meinen Kolleginnen und Kollegen bei Motorola sei an dieser Stelle herzlich für die hervorragende Zusammenarbeit bei der Implementierung der Ergebnisse und den zahlreichen fachlichen Diskussionen gedankt; namentlich hervorzuheben sind hier Dr.-Ing. Siegfried Pongratz, Dr.-Ing. Katrin Müller, Dr. rer. nat. Markus Riester, Ph. D. Thomas Tirpak, Dipl.-Ing. Johannes Jordt und Dipl.-Übers. Ulrike Bühler.

Besonderen Dank richte ich an meine Mutter, die mich auf meinem Bildungsweg stets gefördert und unterstützt hat, was für ein erfolgreiches Gelingen einer solchen Arbeit unabdingbar ist. Ihr sei diese Arbeit gewidmet.

Wiesau, im Januar 2009

Andreas Schaller

Modellierung eines nachfrageorientierten Produktionskonzeptes für mobile Telekommunikationsgeräte

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Globale Herausforderungen für die Elektronikproduktion	3
2.1	Technologische Herausforderungen	3
2.2	Marktabhängige Parameter	7
2.3	Organisatorische Strukturen	11
3	Die Logistik in der Elektronikproduktion	17
3.1	Einkauf und Beschaffung	17
3.2	Bestückung und Montage	21
3.3	Postponement und Distribution	25
3.4	Vertrieb	30
4	Grundlagen zur Optimierung der Supply Chain	32
4.1	Supply Chain Management	32
4.1.1	Begriffliche Einordnung	32
4.1.2	Modell des Supply Chain Netzwerkes	34
4.2	Optimierungsindikatoren	35
4.2.1	Durchsatz, Durchlaufzeit und Auslastung	35
4.2.2	Variabilität und Push vs. Pull	37
4.2.3	Prinzipien zur Optimierung des Supply Chains	40

5 Modell der Elektronikproduktion	42
5.1 Modell der Supply Chain Planung.....	42
5.2 Auftragsmodell.....	44
5.3 Produktmodell.....	46
5.4 Supply-Chain-Modell.....	48
6 Konzept zur Auswahl und Ablaufoptimierung von Fertigungslinien	57
6.1 Fabrikoptimierung.....	57
6.1.1 Produktion.....	57
6.1.2 Ablaufoptimierung in der Produktion.....	59
6.2 Distributionszentrum.....	63
6.2.1 Distribution.....	63
6.2.2 Ablaufoptimierung in der Distribution.....	64
7 Güte der Lösungen	67
7.1 Stückzahlgetriebene Produktion.....	67
7.2 Ablaufplanung in der Distribution.....	69
7.3 Nachfrageorientierte Distribution.....	72
8 Anwendungsszenarien	79
8.1 Umsetzung der Optimierungslösungen.....	79
8.1.1 Fertigungslinien in der Produktion.....	79
8.1.2 Fertigungslinien in der Distribution.....	82
8.1.3 Produktion und Distribution.....	86
8.2 Szenarien.....	88
8.2.1 Stückzahlgetriebene Fertigungslinien.....	88
8.2.2 Nachfrageorientierte Fertigungslinien.....	90

9 Zukunftsorientierte Unterstützung der Fertigungslogistik durch drahtlose Kommunikation	92
9.1 Beschreibung der Technologien	92
9.1.1 Radio Frequency Identification Technologien.....	92
9.1.2 EPC Code	94
9.2 Konzept der durchgehenden Lösung.....	94
9.2.1 Collaborative Planning, Forecasting und Replenishment Process	94
9.2.2 Consumer Controlled Company	96
9.2.3 Lösungsansatz	100
9.3 Ansatz für eine durchgehende Lösung	105
9.3.1 Ablaufsimulation	105
9.3.2 Simulation einer durchgehenden Lösung	106
9.3.3 Ergebnisse	107
10 Zusammenfassung und Ausblick	111
Summary	113
Literaturverzeichnis	115

1 Einleitung

Moderne Telekommunikationsgeräte sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Die ständige Benutzung drahtloser Kommunikation ist in alle Teile unseres täglichen Lebens vorgedrungen, ob zu Hause, in der Arbeit oder unterwegs. Unabhängig von dem Ort, an dem wir uns befinden, wir können immer mit der gesamten Welt in Kontakt treten.

Mobiltelefone verfügen über eine Fülle zusätzlicher Funktionen, die über die reine Übermittlung von Sprache hinausgehen. Die Telefone haben sich zu komplizierten multifunktionalen Geräten weiterentwickelt, die man mit Computern vergleichen kann.

Während sich die grundlegenden Fertigungsprozesse für die Herstellung dieser Telekommunikationsgeräte nicht maßgeblich verändert haben, muss die Supply Chain von Mobiltelefonen ständig angepasst werden, um mit der zunehmenden Produktkomplexität und ihrer globalen Verteilung mithalten zu können.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Modell für ein nachfrageorientiertes Produktionskonzept entwickelt. Dabei werden die für die Optimierung der Produktion von Mobiltelefonen wichtigen Parameter analysiert, die es dem Hersteller ermöglichen, sowohl seine Fertigung als auch seine Distribution optimal auszuliegen.

Dabei wird insbesondere auf die Ablaufoptimierung der verschiedenen Fertigungslinien innerhalb der Supply Chain eingegangen. Um die Güte der Lösung zu untersuchen, wird das entwickelte Produktionsmodell verschiedenen Marktszenarien unterworfen, welche sich vor allem durch ihr Nachfrageverhalten unterscheiden.

Abschließend wird das entwickelte und überprüfte Modell eines Produktionskonzeptes für mobile Telekommunikationsgeräte auf ein stückzahlgetriebenes und ein nachfragegetriebenes Praxisbeispiel angewandt.

Im letzten Kapitel wird ein kurzer Ausblick auf zukünftige Optimierungsmöglichkeiten des Fertigungsablaufes mittels Radio Frequency Identifikation Tags gegeben und deren Einsatz insbesondere bei einer Erweiterung der Supply Chain in Richtung der Konsumenten näher analysiert.

2 Globale Herausforderungen für die Elektronikproduktion

Die Produzenten von elektronischen Konsumgütern/Verbrauchsgütern wie Fernsehgeräten, Stereoanlagen und mobilen Endgeräte stehen seit einigen Jahren verschiedenen globalen Herausforderungen gegenüber. Zum einen ermöglicht eine durchgehende Digitalisierung die Verschmelzung zuvor getrennt produzierter Endgeräte, zum anderen verändern sich die Organisationsstrukturen innerhalb der Unternehmen, um sich auf das Kerngeschäft des Unternehmens zu fokussieren. Diese Herausforderungen werden in den nächsten Kapiteln am Beispiel eines Mobiltelefons näher erläutert.

2.1 Technologische Herausforderungen

Die Anzahl an Funktionen von Mobiltelefonen hat sich seit ihrer Markteinführung in den 1990er Jahren bedeutend vergrößert. Zu Beginn wurde das von Europa genutzte „Global System for Mobile Communications“ (GSM) hauptsächlich zur Übermittlung von Sprachdiensten auf Mobiltelefonen benutzt. Durch die steigende Nachfrage nach Endgeräten wurde schon bald zusätzlich zum 900MHz Frequenzband über weitere Frequenzbänder nachgedacht. So wurden in Europa das 1800 MHz und in Nordamerika das 850MHz und 1900 MHz Band für den Betrieb von GSM freigegeben. Die technologische Antwort hierauf waren Multibandmobiltelefone für globale Sprachdienste.

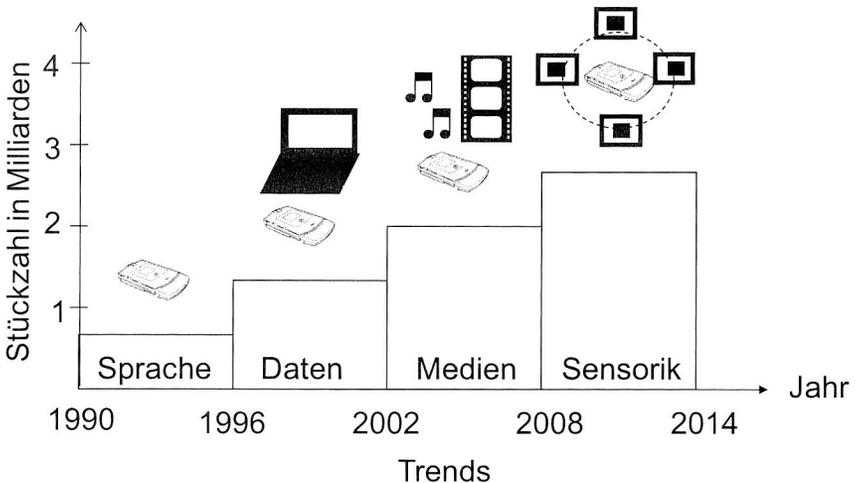


Bild 1: Verschiedene Trends für mobile Telekommunikationsgeräte

Bereits bei der Standardisierung von GSM wurden neben den Sprachdiensten auch die ersten Datendienste definiert. Dabei ist vor allem der Short Message Service (SMS) zu nennen, der nach anfänglichen Akzeptanzschwierigkeiten die Grundlage für alle weiteren datenbasierte Dienste lieferte. Die sprachbasierten mobilen Dienste wurden durch weitere globale Standards zur Datenübermittlung ergänzt.

Hier ist insbesondere der General Packet Radio Service (GPRS) zu nennen, der den ersten Schritt zum mobilen Internet darstellte. GPRS ermöglicht den Zugang zum Internet sowohl über das Mobiltelefon selbst als auch als Modem für angeschlossene Laptops oder Personal Computer. GPRS verfügt allerdings nur über eine begrenzte Übertragungsbandbreite, was zu einer Weiterentwicklung des GSM Standards zum Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) führte. Diese Entwicklung vom reinen sprachbasierten zum datenbasierten System erhöhte wiederum die Anzahl von Multi-band-Anwendungen auf mobilen Telefonen. Des Weiteren stellte auch die Anpassung der Display-Technologie eine zusätzliche Herausforderung dar, da mit der Verknüpfung zum Internet auch eine Weiterentwicklung vom reinen monochromen zum farbigen Multipixel-Bildschirm einherging. Aufgrund der verfügbaren Datenbandbreite konnten sich die Multimedia Anwendungen entwickeln. Hier liegt der Schwerpunkt auf Fotos, Musik, Video und digitalem Fernsehen. Während in den Jahren zuvor die Verbesserung der drahtlosen Nachrichtentechnik im Vordergrund stand, ist es nun die Integration und Miniaturisierung von neuen Komponenten. Hauptkomponenten sind die digitale Kamera für Foto- und Videoaufnahmen sowie Stereo-Lautsprecher und integrierte digitale Musikabspielgeräte.

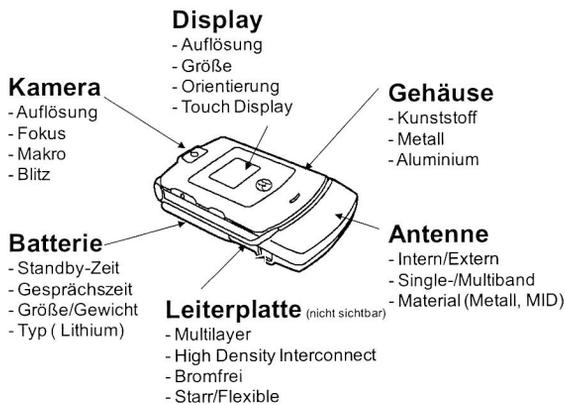


Bild 2: Hauptkomponenten eines Mobiltelefons und deren Eigenschaften [76]

In den letzten Jahren haben sich vor allem die technologischen Eigenschaften der eingebauten Kameras deutlich verändert. Besaßen die ersten verwendeten Kameras noch

deutlich schlechtere technologische Eigenschaften als die Kompaktkameras, so sind diese mittlerweile in Auflösung, optischen Eigenschaften und Zubehör (z.B.: Blitz) nicht mehr von den digitalen Standardmodellen zu unterscheiden. Getrieben vom mobilen Internet Boom und den Erfolg des Apple iPhones erlebt derzeit die Systemkomponente Display eine technologische Aufwertung. Hochwertige Modelle werden derzeit vor allem über Display-Eigenschaften, wie Touch-Display, höhere Auflösung und Orientierungserkennung vermarktet.

Auch bei den verwendeten Gehäusematerialien geht der Trend zu hochwertigen Oberflächen bei dünnem Wanddicken. In Folge werden immer mehr Telefone statt mit PC und PC/ABS mit metallischen Gehäusen, wie Aluminium und Magnesium, ausgeliefert.

Bei der Antennentechnologie haben sich integrierte Lösungen aus gespritzten Metall oder Mehrkomponentenkunststoff (MID's) gegenüber den langjährig verwendeten externen Antennen durchgesetzt.

Die Leiterplatte hat sich als ein wesentlicher Technologieträger innerhalb des Mobiltelefons entwickelt. So hat sich die Anzahl der verwendeten Leiterplattenlagen in den letzten Jahren stetig vergrößert und High Density Interconnect-Lagen ermöglichten erst den Einsatz neuer Halbleitertechnologien in den Endgeräten. Zudem wurde aufgrund der europäischen Umweltgesetzgebung das Basismaterial auf bromfreie Werkstoffe umgestellt. Durch die zunehmende Integration von neuen Komponenten ist im Moment vor allem ein erhöhter Bedarf an flexiblen Leiterplattenlösungen und integrierten passiven Bauelementen zu erkennen [9].

Aufgrund des steigenden Energiebedarfs der Mobiltelefone bleibt die Batterietechnologie eines der wichtigsten technologischen Entwicklungsgebiete. Um den Bedarf der zusätzlichen Funktionen ohne negativen Einfluss auf Standby- und Gesprächszeit decken zu können, muss langfristig über einen Ersatz der verwendeten Lithium Batterien nachgedacht werden.

Zukünftig stehen, wie schon in den Jahren zuvor, Miniaturisierung und Systemintegrationen im Vordergrund. Höherwertige Kameras müssen weiter verkleinert werden, um sich in das Design der neuen Mobilfunkgeräte einzupassen. Neben den Kameras werden auch Sensoren aller Art Einzug in das Mobiltelefon finden. Erste Modelle aus dem Bereich Sport wurden bereits vorgestellt [75]. Diese Zunahme an neuen Funktionen führt, ähnlich wie in der Automobilindustrie, zur Entstehung von Systemlieferanten und fördert den modularen Aufbau. Als Beispiel seien hier Displaymodule, Kameramodule sowie Sensormodule zu nennen.

Um dem Bedarf an „Lifestyle“-Anwendungen gerecht zu werden, werden neben der Miniaturisierung von Systemkomponenten auch verschiedene Technologien für die Kommunikation im Nahbereich in die bereits bestehende Multiband-Architektur integriert. Dabei ist neben Bluetooth auch das kabellose, lokale Netzwerk (WLAN) und die Nahfeld-Kommunikation (Near Field Communication (NFC) [122] zu nennen. Neben den bereits bestehenden GSM (850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz) und UMTS Bändern (2100 MHz) kommen daher noch Bluetooth, WLAN und Zigbee (2,4 GHz) sowie RFID und Near Field Communication (13,56 MHz) hinzu.

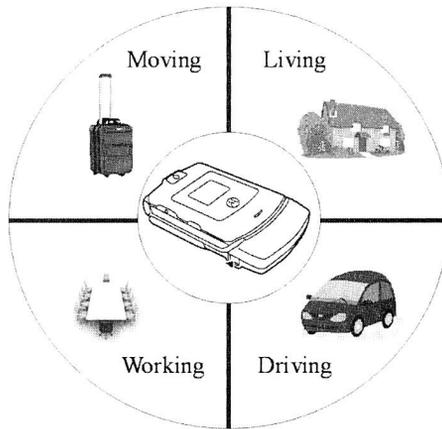


Bild 3: Zukünftige „Lifestyle“-Anwendungsfelder für mobile Endgeräte

Durch diese erweiterten Kommunikationsmöglichkeiten sollen neben der traditionellen Nutzung von Mobilkommunikation auf Reisen und im Fahrzeug neue, zusätzliche Anwendungsfelder insbesondere in den Bereichen der mobilen Arbeit (mobile Enterprise) und des intelligenten Hauses (Smart Home) erschlossen werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die technologischen Herausforderungen in der Entwicklung einer Multiband-Architektur für Nah- und Fernkommunikation sowie auf der modularen Integration neuartiger Sensorfunktionen liegen. Für den Bereich der Supply Chain bedeutet dies eine stetige Steigerung der Anzahl an hochwertigen Teilen pro Endgerät und damit der Material- und Lagerkosten. Für eine zukünftige Supply Chain werden deswegen eine Verringerung der Fertigungspuffer und eine Optimierung der gesamten Supply Chain immer wichtiger.

2.2 Marktabhängige Parameter

Die weltweite Einführung des Mobiltelefons war von Beginn an durch zwei konkurrierende Standards geprägt: GSM und Code Division Multiple Access (CDMA). Letzterer, hauptsächlich von den amerikanischen Chiphersteller Qualcomm unterstützter Standard, findet vor allem in Nord- und Südamerika seine Anwendung und weist dort auch die meisten Kunden auf.

Der ursprünglich auf Europa zugeschnittene GSM Standard verbreitete sich nach seiner Einführung sehr schnell und setzte sich letztlich weitgehend gegenüber den CDMA Standard durch. Im Jahre 2002 überschritt die Gesamtzahl der mobilen Telefonkunden die 1-Milliarden-Grenze und bereits im Jahre 2006 wurde die 2-Milliarden-Grenze erreicht [82].

Während die erste Milliarde Kunden hauptsächlich aus Europa und Nordamerika kamen, ist das starke Wachstum ab 2002 auf den Ausbau der Netze in Nordasien (China) zurückzuführen. Bild 4 zeigt die Verkaufszahlen für Mobiltelefone von 1999 bis 2006. Aus dem Zahlen wird zudem auch der Einfluss des Internetbooms aus dem Jahre 2000 besonderes deutlich. Von 1999 auf 2000 verzeichnete der Mobilfunkmarkt einen Anstieg von 50%, was weltweit zu einem explosionsartigen Anstieg der Produktionskapazitäten führte. Die nachfolgende Nachfragedelle, auch bedingt durch das schlagartige Ende des weltweiten Internetbooms an den Börsen, konnte dank einer gleichmäßigen Steigerung der Verkaufszahlen um ca. 30% zwei Jahre später wieder ausgeglichen werden. Gemessen an den Verkaufszahlen von 2006 sind die Märkte Europas (inklusive Russland) und Nordasiens fast gleich groß, beide Regionen werden allerdings in den nächsten Jahren von den weltweiten Wachstumsmärkten (Südasiens, Indien, Afrika) überholt werden. Dies ist vor allem auf die fehlende Infrastruktur für Festnetztelefonie zurückzuführen. In den ländlichen Gebieten ersetzt, im Gegensatz zu Westeuropa, das Mobiltelefon nahezu völlig die fehlende Infrastruktur und ist somit ein wichtiger Bestandteil für die Menschen in diesen Regionen.

In Europa hat die Marktsättigung in vielen Ländern bereits die 100%-Marke erreicht oder bereits überschritten [69], so dass diese Märkte mittlerweile zu reinen Austauschmärkten geworden sind. Um auf diesen Märkten erfolgreich zu sein, müssen immer schneller neue Produkte auf den Markt gebracht werden. Mittlerweile geht man deshalb von einem durchschnittlichen Produktlebenszyklus von zwölf Monaten aus. Um dies zu erreichen, müssen hohe Investitionen im Bereich Design von Mobilfunkgeräten getätigt werden. Gleichzeitig ist ein schneller und breiter Marktzugang erforderlich um den Absatz der neuen Geräte zu bewerkstelligen.

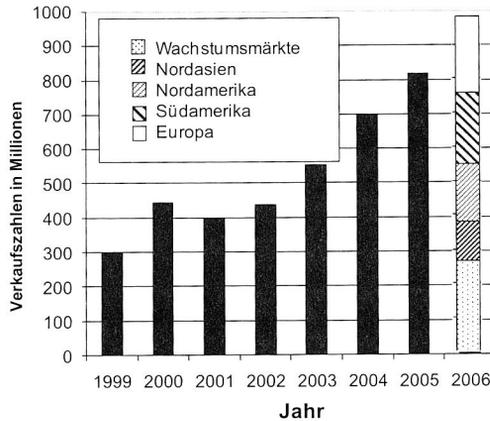


Bild 4: Weltweite Verkaufszahlen von Mobilfunkgeräten in den letzten Jahren [78]

Obwohl der Austausch der Geräte weitgehend von einer Erneuerung der bestehenden Mobilfunkverträge, welche eine Laufzeit von 12-24 Monaten aufweisen, abhängt, verkürzt sich der Produktlebenszyklus ständig. War in der Vergangenheit die Markteinführung hauptsächlich vom Weihnachtsgeschäft und dem starken Verkäufen im 4. Quartal geprägt, geht der Trend zunehmend zu einem mehr saisonalen Verkauf, ähnlich wie dem in der weltweiten Modeindustrie. Um diesem Trend gerecht zu werden, wird es für die Hersteller immer wichtiger, auf einige wenige stabile Produktplattformen zu setzen, auf deren Basis schnell und unkompliziert zahlreiche neue Produkte auf den Markt geworfen werden können.

Trotzdem ist in den letzten Jahren der durchschnittliche Verkaufspreis aller Hersteller Produktportfolios stetig gefallen. Wegen der steigenden Nachfrage in den Entwicklungsländern sank der durchschnittliche Verkaufspreis pro Mobiltelefon ständig und beträgt im Moment ca. 100 € pro Endgerät [74].

Dies ist der Grund dafür, dass die durchschnittliche Gewinnspanne pro Mobilfunkgerät in den letzten Jahren weiter rückläufig ist. Um zukünftig wettbewerbsfähig zu sein, müssen sich die Hersteller entweder auf die Herstellung von hochwertigen Telefonen konzentrieren oder ihren Marktanteil stetig steigern. Diese Marktsituation führt einerseits zu einer ständig steigenden Konkurrenzsituation zwischen den verschiedenen Anbietern von Mobiltelefonen andererseits aber auch zu neuen Nischenanbietern im Bereich hochwertiger Telefone, sogenannter Smart Phones. Hier haben sich insbesondere die Firmen Apple (iPhone) und RIM (Blackberry) hervorgetan. Auffallend ist das beide Hersteller sich nicht nur über das jeweilige Smart Phone sondern auch über einen direkt damit verbundenen drahtlosen Service: iPhone mit Musik und Blackberry mit E-Mail auf dem Markt positionieren.

Infolge des verstärkten Wettbewerbs hat sich der Marktanteil der drei führenden Mobilfunkhersteller von knapp 55 % auf fast 75 % im Jahre 2006 erhöht. Auf die fünf weltweiten führenden Anbieter entfallen derzeit fast 90 % des Marktes. Im Zuge dieses harten Wettbewerbs ging die Anzahl der Anbieter von Mobilfunkgeräten in den letzten Jahren erheblich zurück und es ist davon auszugehen, dass sich diese Marktkonzentration auf einige wenige Anbieter weiter verstärken wird.

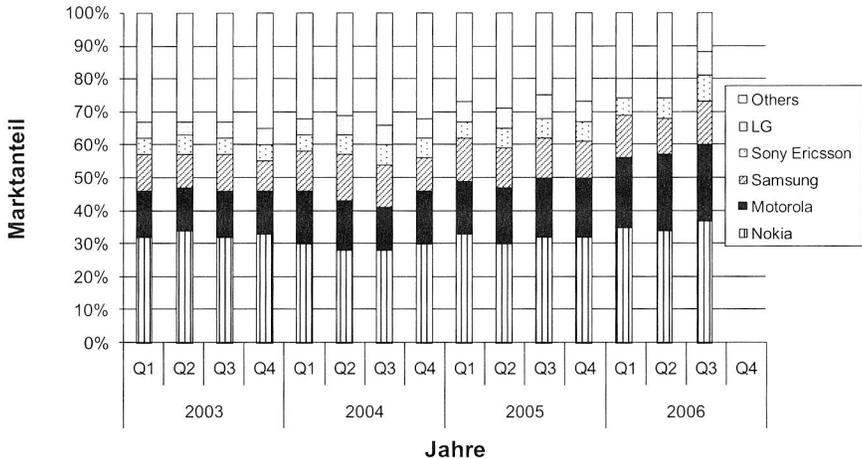


Bild 5: Marktanteile der führenden Hersteller von Mobiltelefonen [60]

Durch die Veränderungen des Marktes kommt es nicht nur bei den Herstellern von Mobiltelefonen zu sinkenden Gewinnspannen, auch bei den Anbietern von mobilen Kommunikationsdiensten entstand, insbesondere in den gesättigten Märkten Europas, eine neue Marktsituation. Diese Konkurrenzsituation wird durch die Gründung von kostengünstigen, virtuellen Mobilfunkbetreibern, die über kein eigenes Netz verfügen, weiter verstärkt. Deren Geschäftsmodell baut auf der 100 % Sättigung des Marktes auf und verzichtet daher weitgehend auf eine Subventionierung der Mobiltelefone bei Vertragsabschluss. Stattdessen bieten die virtuellen Mobilfunkbetreiber besonders billige Tarife für Telefonate und SMS-Dienste an. Dies wiederum vermindert den Marktzugang der Hersteller für den Verkauf neuer Mobiltelefone.

Diese Situation führt zur Fokussierung der Mobilfunkbetreiber auf ihr Kernprodukt, die Übermittlung drahtloser Dienste. Als Folge davon verstärkt sich der Druck auf die Hersteller zur Entwicklung neuartiger Dienste in den Trendbereichen Medien und Lifestyle.

Als Beispiel kann man den Start der „Ovi“ Web-Plattform von Nokia ansehen. Diese ermöglicht die Anwendung mobiler Internetdienste, wie Navigation, E-Mail, Instant Messaging, Musik oder Videosharing für jeden Kunden ohne zusätzliche Softwareinstallationen. Nokia tritt damit in direkten Wettbewerb zu den bestehenden Mobilfunkbetreibern und kopiert das Erfolgsmodell von RIM und Apple auf sein gesamtes Produktportfolio.

Des Weiteren drängen die Mobilfunkbetreiber darauf, dass die Hersteller bisher von den Betreibern selbst erbrachte Leistungen z.B. in den Bereichen Wartung und Supply Chain selbst übernehmen. Die Betreiber von Mobilfunknetzen gehen größtenteils dazu über, nicht nur ihre gesamte Infrastruktur von den Hardwareherstellern installieren, sondern auch komplett betreiben zu lassen. Dies gilt mittlerweile nicht nur für die Netzwerke, sondern auch für die Endgeräte und deren Verkauf, Reparatur und Wartung.

Hinsichtlich der marktabhängigen Parameter kann man zusammenfassen, dass die neuen Wachstumsmärkte in Afrika, Indien und Südasien nach kostengünstigen Mobilfunkgeräten in hohen Stückzahlen verlangen, während in den bereits gesättigten Märkten Mobilfunkgeräte mit neuen Diensten im Vordergrund stehen. Dadurch erhöht sich einerseits der Kostendruck auf die Mobilfunkhersteller, während andererseits eine Steigerung der technischen Leistungsfähigkeit der Geräte vorausgesetzt wird.

Diese Marktsituation, die bei niedrigen Gewinnmargen gleichzeitig eine hohe Investition in Technologie voraussetzt, führt sowohl zu einer Konzentration der Hersteller von Mobilfunkgeräten als auch zu deren Fokussierung auf eine schnelle, kundenspezifische Produktentwicklung und einen breiten Marktzugang. Deswegen ist eine Modellstrategie basierend auf wenige Plattformen und einer Verstärkung des eigenen Vertriebs über den Einzelhandel notwendig. Des Weiteren werden zusätzliche Nutzungspotentiale, wie Mobiltelefone als Zugfahrkarte oder Geldbörse für die Bezahlung an der Supermarktkasse immer wichtiger.

Für die Supply Chain bedeutet diese Marktsituation, dass ein Massenmarkt taugliches, nachfrageorientiertes Optimierungsmodell sowohl für die Produktion als auch für die Distribution benötigt wird. Innerhalb dieser Arbeit wird zur Überwindung dieser Herausforderung durch die Bereitstellung eines Lösungsansatzes, sowohl anhand eines Modells als auch durch die Entwicklung von Optimierungskonzepten für Fertigungslinien, beigetragen.

2.3 Organisatorische Strukturen

Mit den technologischen und marktorientierten Herausforderungen haben sich auch die organisatorischen Strukturen innerhalb der Unternehmen verändert. Betrachtet man die Supply Chain von Mobiltelefonen in Europa von den Zulieferern bis zu den Endkunden lassen sich klare Tendenzen für Veränderungen in den organisatorischen Strukturen der Supply Chain erkennen [21] [34].

Abbildung 6 zeigt diese Veränderung in der Supply Chain am Beispiel eines Mobilfunkherstellers an vier exemplarischen Szenarien auf. Zu Beginn der 90er Jahre, am Anfang des Mobilfunk-Zeitalters, lag der Schwerpunkt der Mobilfunkhersteller auf der Fertigung der Endgeräte. Durch eine schnelle Beschaffung von Zulieferteilen und die Fähigkeit, Mobilfunkgeräte in hoher Stückzahl produzieren zu können, wurde versucht, einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz aufzubauen [23]. Aufgrund des schnell wachsenden Marktes musste man sich nicht so sehr um die Optimierung der Geräte-distribution kümmern. Dieses Szenario lässt sich deshalb am besten mit einer stückzahlgetriebenen Fertigung charakterisieren.

Durch die stetig ansteigende Nachfrage kam es zu ersten Veränderungen innerhalb der Organisationsstrukturen der Mobilfunkhersteller. Die Kapazitäten der eigenen Fertigungsstätten waren ausgereizt und man begann, die Fertigungsspitzen durch Auslagerung an Fertigungsdienstleister (Contract Manufacturer) abzufangen. Dies führte zur Entstehungen von Unternehmen, die rein auf die Fertigung von Elektronikprodukten spezialisiert waren, wie Flextronics, Compal usw., die von den Fabriken der Mobilfunkhersteller nach Bedarf gesteuert wurden [17] [39]. Diese Auftragssteuerung bezieht sich nur auf die Vergabe der Bestückung und Endmontage. Sowohl die Distribution als auch die kundenspezifische Anpassung bleibt in der Hand des Herstellers (OEM). Ein weiterer wichtiger Punkt war der unveränderte zentrale Einkauf alle benötigten Bauelemente und Materialien durch den OEM. Um aufgrund der niedrigeren selbst produzierten Stückzahlen keine Rabattnachteile beim Einkauf des Materials erleiden zu müssen, muss der Fertigungsdienstleister alle benötigten Materialien aus dem jeweiligen Zuliefererkontingent des OEM beziehen. Nur dadurch ist es möglich, den Kostenvorteil des Dienstleisters voll auf die Herstellungskosten zu übertragen. Ansonsten würden die niedrigeren Fertigungskosten durch eigene erhöhte Materialkosten kompensiert werden. Um diese Art der Materialteilung zu ermöglichen, waren die Zulieferer gezwungen, den jeweiligen Abruf des Materials durch OEM und Fertigungsdienstleister selbst zu organisieren und zu managen.

Diese Struktur des Supply Chains erlaubte den Herstellern, ohne große zusätzliche eigene Investitionen in Fabriken und Maschinen die Nachfrage in den Boom Jahren der Internetblase zu erfüllen.

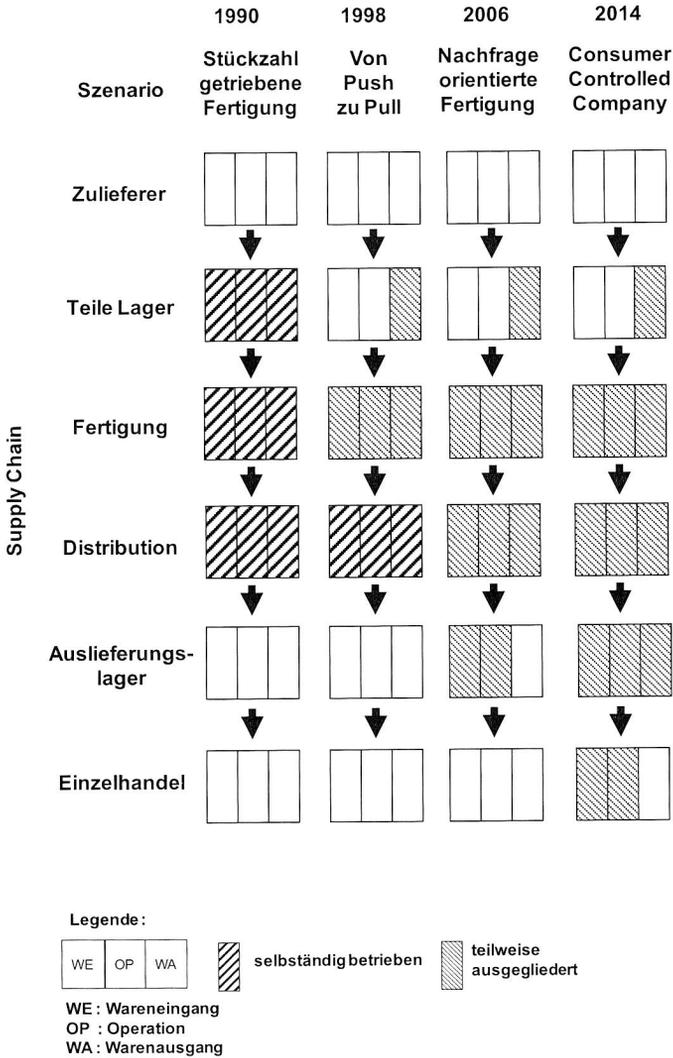


Bild 6: Supply Chain eines Mobilfunkherstellers in Europa [92]

Durch den Rückgang der Nachfrage nach Mobiltelefonen in Europa ab 2001 kam es zu weiteren Veränderungen in der Fertigungskette. Um weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben, ist eine Veränderung von einer reinen „Push“ zu einer „Pull“ Fertigung bei gleichzeitiger Optimierung der Fertigungskosten notwendig

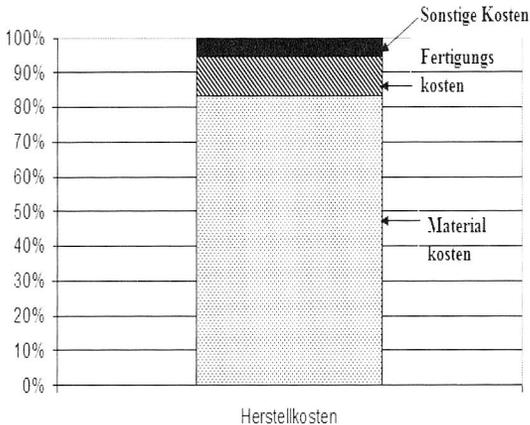


Bild 7: Aufteilung der Herstellkosten eines Mobiltelefons [39]

Derzeit sind mehr als 80 % der Herstellungskosten eines Mobiltelefons materialabhängig. Durch den zentralisierten weltweiten Einkauf und bedarfsgerechte Lieferungen an die Fertigung wurden die Materialkosten gesenkt, gleichzeitig wurden die Fertigungsdienstleister nicht mehr nur zu Übernahme der Nachfragespitzen, sondern auch zur Senkung der Fertigungskosten durch Verlagerung in Niedriglohnländer eingesetzt [18] [28] [128].

Die Fertigungsdienstleister übernehmen die Bestückung und Montage für das untere Segment der Produktplattformen. Aus ausgewählten Niedriglohnländern erfolgt die Lieferung der Produkte für den jeweiligen regionalen Markt. Die Auftragsvergabe erfolgt nicht mehr über einzelne Fabriken sondern global für ganze Plattformen mit mehreren Produkten. Zudem werden erstmals nicht nur Fertigungsaufträge sondern auch Designaufträge an Fertigungsdienstleister vergeben. Besonders in Südkorea und Taiwan entstehen die ersten „kompletten“ Dienstleister für Mobiletelefone. Die bekanntesten sind wohl in Deutschland BenQ und HTC.

Durch diese reine „Push“ zur „Pull“ Fertigung stand für die Fabriken der Mobilfunkhersteller neben der Stückzahloptimierung auch die Optimierung der Fertigungsflexibilität im Vordergrund. Dies hat auch Auswirkungen auf den Ablauf innerhalb der Fertigung. Wurden vorher die Fertigungslinien für einzelne Produkte individuell optimiert und konfiguriert, müssen die gleichen Linien jetzt in der Lage sein, je nach Kundenauftrag verschiedene Produkte ohne größere Umrüstzeiten zu fertigen.

Aufgrund des Wandels des Mobilfunkgerätes zu einem Multimediagerät verändert sich die Supply Chain mehr in Richtung der etablierten Verbrauchsgüterelektronik. Die komplexeren Funktionsmodule führten zur verstärkten Bildung von Systemlieferanten für hochwertige Module, wie z.B. Display oder Kamera und damit auch zu einer Straffung der Anzahl der Zulieferer. Um dem Bedarf an Verbrauchsgüterelektronik gerecht zu werden, sind zusätzlich zu den eigenen Distributionskanälen auch neue, mehr endkundenorientierte Vertriebswege notwendig. Diese Umorganisation führt zu einer Verlagerung der Aktivitäten der Mobilfunkhersteller in Richtung des Einzelhandels und somit zu einer Optimierung der eigenen Fertigung und Distribution auf die neuen Randbedingungen [56].

Dies geschieht zum einen durch die Einführung der Erweiterung der Tätigkeiten innerhalb des Distributionszentrums. Um den individuellen Wünschen der Mobilfunkdienstleister besser gerecht zu werden, müssen die Produkte individuell angepasst werden. Dies geschieht sowohl durch unterschiedliche Software als auch durch Gehäusefarben und Aufkleber. Des Weiteren werden die notwendigen Distributionszentren in den verschiedenen Wachstumsmärkten nicht mehr selbstständig betrieben, sondern über Logistikdienstleister (z.B. DHL, Avarto) abgewickelt. Diese Dienstleister bekommen alle bestellten Produkte direkt von der Fabrik des Herstellers zugesandt und verteilen diese entsprechend der Kundenaufträge [116].

Dieser Trend zur Erweiterung des Verantwortungsbereiches der Mobilfunkhersteller innerhalb der eigenen Supply Chain in Richtung Einzelhandel wird weiter anhalten. Grund dafür ist das Bestreben der europäischen Mobilfunkbetreiber ihre Lagerhaltungskosten zu senken und sich komplett durch die Bereitstellung neuartiger drahtloser Wertschöpfungsketten am Endkunden und seiner Nachfrage auszurichten („Consumer Controlled Company“).

Letztendlich nähert sich die Supply Chain für Mobiltelefone immer mehr der Modebranche mit ihrem saisonalen Hauptgeschäft und immer kürzer werdenden Produktzyklen (z.B. Modekette Zara) an. Dieses Konzept wird auch von den Mobilfunkdienstleistern favorisiert, welche daran interessiert sind, die Lager innerhalb ihrer Vertriebsketten (z.B.: T-Punkt) komplett in den Verantwortungsbereich des Herstellers zu übergeben.



Bild 8: Globale Märkte mit unterschiedliche Fertigungsszenarien

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die europäische Supply Chain von Mobiltelefonen aus Sicht der Hersteller hauptsächlich von folgenden Faktoren geprägt wird:

- Ausgliederung von Fertigungsschritten an Fertigungsdienstleister
- Verringerung der Fertigungspuffer
- Zentralisierung des Einkaufs und Fokussierung auf Systemlieferanten
- Einführung einer nachfrageorientierten Massenfertigung
- Vergrößerung des Verantwortungsbereiches innerhalb der Supply Chain in Richtung Einzelhandel und damit einhergehend
- Optimierung der gesamten Supply Chain.

Diese Veränderungen der europäischen Supply Chain in den unterschiedlichen Marktphasen des Mobiltelefons lassen sich auf die weltweit unterschiedlichen Märkte (China, Indien usw.) übertragen. Indien und Südasien befinden sich derzeit in der Phase der stückzahlgetriebenen Fertigung während China und Südamerika sich gerade von einen Push- in einen Pull-Markt entwickeln.

3 Die Logistik in der Elektronikproduktion

Unter dem Begriff Logistik werden in der Theorie alle Prozesse zusammengefasst, die der Raumüberbrückung sowie der Zeitüberbrückung dienen. Es handelt sich dabei um alle Prozesse, die Transport und Lagerhaltung dienen [7].

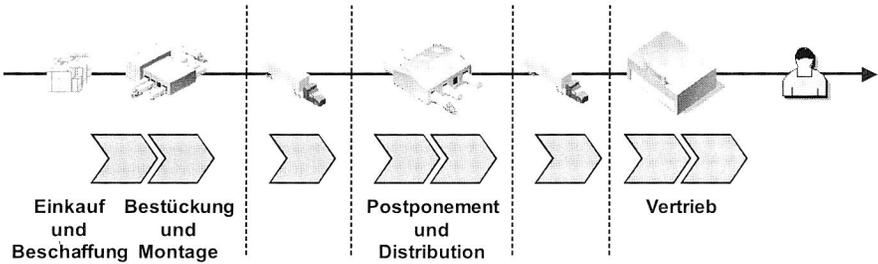


Bild 9: Überblick auf den Supply Chain einen Mobiltelefons

Die Logistik in der Elektronikproduktion lässt sich in die Bereiche Einkauf und Beschaffung, Bestückung und Montage, Personalisierung und Distribution sowie den Vertrieb und seine Vertriebsstrukturen untergliedern.

3.1 Einkauf und Beschaffung

Wie bereits im Kapitel 2 „Organisatorische Strukturen“ kurz beschrieben, haben die Hersteller von Mobiltelefonen begonnen, große Teile der Einkaufsorganisation in Asien zu zentralisieren [61]. Ziel dieser Reorganisation ist es, alle Lieferanten zentral zu verwalten und alle weltweiten Standorte aus einem gemeinsamen Sammellager zu versorgen. Dies führt zu einer Verbesserung in den Beziehungen zu den Lieferanten und zu einer vereinfachten Beschaffungslogistik. Insbesondere durch die Konsolidierung in den Sammellagern sind die Lieferungen besser planbar und damit kommt es durch fest buchbare Kapazitäten und eine bessere Auslastung der Volumina zu besseren Frachtraten [5].

Durch die Zentralisierung der Lagerhaltung wird zudem die Überwachung der Lagerbestände vereinfacht. Den Zulieferern kann regelmäßig eine Übersicht über die Lagerbestände ihrer Materialien zur Verfügung gestellt werden und bindende Vorschläge für weitere Materialbestellungen auf der Grundlage der vorliegenden Kundenbestellungen, der jetzigen Lagerbestände und der maximal erlaubten Lagerbestände gegeben werden. Deswegen können die Lagerbestände insgesamt reduziert und die Umschlagshäufigkeit dadurch erhöht werden.

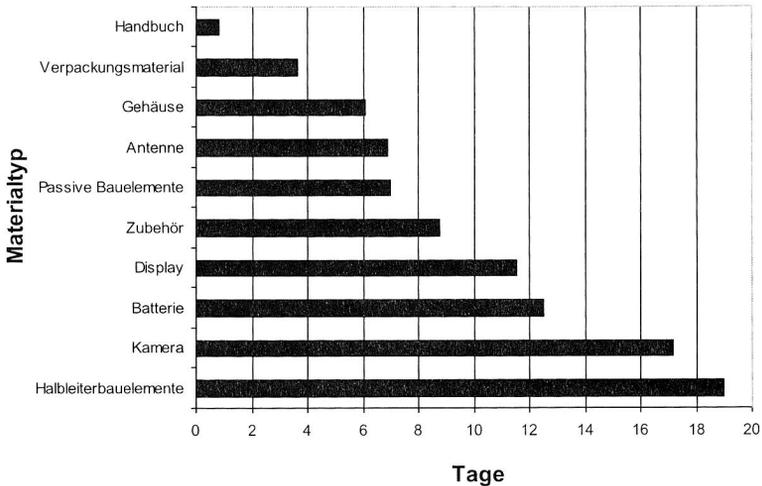


Bild 10: *Beispielhafte durchschnittliche Bestellvorlaufzeit in Tagen [77]*

Das Verfolgen einer globalen Strategie mit zentralisierten Sammelagern sowie Produktionsstandorten überall auf der Welt führt auch zu Veränderungen beim Transport. Im Rahmen der Konzentration auf die Kernkompetenzen eines Unternehmen werden diese Transportleistungen an Logistikdienstleister („Third Party Logistics Provider“ - 3PL) ausgegliedert, wobei aus Sicherheitsgründen das gewünschte Verkehrsmittel vom Mobilfunkhersteller selbst vorgegeben wird.

Das Abrufen und die Bestellung von Material beim Lieferanten und der damit verbundene Transport beruhen sowohl auf Bedarfsprognosen als auch auf Bestellungen von Kunden. Teile, die eine lange Bestellvorlaufzeit haben, werden auf der Grundlage der Bedarfsprognose bestellt. Zu diesen Teilen gehören Halbleiterbauelemente, Displays, Kameras und Batterien. Die Bestellungen für Teile mit kurzen Lieferzeiten werden ausgelöst, sobald eine Kundenbestellung vorliegt [89].

Durch diese Beschaffungszeiten ergibt sich eine notwendige Gesamtvorlaufzeit für die Fertigung von Mobiltelefonen von derzeit etwa drei Monaten für die Fabriken und etwa einer Woche für die Distributionszentren. Dieser Unterschied in den Beschaffungszeiträumen des Materials für die Fabrik und das Distributionszentrum ist eine der Herausforderungen bei einer direkten Kopplung zwischen diesen beiden Einheiten. Die weitere Ausdehnung der Distribution in Richtung Einzelhandel verschärft aufgrund der erforderlichen verkürzten Reaktionszeiten diese Situation noch zusätzlich.

Zurzeit bietet jeder der drei führenden Mobilfunkhersteller bis zu 100 verschiedene Produktvarianten in Europa an. Varianten können sich dabei z.B. durch die aufgespielte Software oder kundenspezifische Aufkleber und „Brandings“ unterscheiden. Während für ein Multimedia-taugliches UMTS-Mobiltelefon (Smart Phones) bis zu 400 Einzelteile beschafft werden müssen, liegt diese Zahl mit ca. 100 Teilen bei einfachen GSM-Telefonen deutlich darunter. Dieser Unterschied wird sich durch die Zunahme der Systemlieferanten für Display- oder Kameramodule weiter verringern.

Vergleicht man die Bestellvorlaufzeiten je Materialtyp und ihren Anteil an der Gesamtzahl der Einzelteile wird die Abhängigkeit der Mobilfunkhersteller von der optimalen Beschaffung von Halbleiterbauelementen deutlich sichtbar. Andererseits stellen die Mobilfunkhersteller mittlerweile die größte Gruppe von Abnehmern für Halbleiterbauelemente dar, was zu einer beidseitigen hohen Abhängigkeit führt. Deswegen arbeitet die Halbleiterindustrie verstärkt an integrierten Systemlösungen, um die Anzahl der benötigten Bauelemente weiter zu verringern. Ein Beispiel hierfür ist die Integration von WiFi, Bluetooth, GPS und FM-Radio als sogenanntes „Short Range Communication“-Modul in eine Ein-Chip Lösung. Gleiches gilt für die GSM/UMTS Chipsätze, für welche ebenfalls schon erste Ein-Chip Lösungen auf dem Markt gezeigt wurden.

Durch die zukünftige Anwendung derartiger Ein-Chip Lösungen kommt es auch zu einer „Standardisierung“ der aus passiven Bauelementen bestehenden Umgebungselektronik dieser Chipsätze auf der Leiterplatte. Deswegen liegt es nahe, mittelfristig auf eine Bestückung dieser immer gleichen passiven Schaltungen zu verzichten und diese stattdessen bereits beim Leiterplattenlieferant in die jeweilige Leiterplatte integrieren zu lassen. Die Technologien dafür (Drucken, Bestücken) stehen weitgehend zur Verfügung, müssen aber noch bezüglich ihrer Qualität optimiert werden. Dies wird es in Zukunft ermöglichen, die Anzahl der vom Hersteller zu beschaffenden passiven Bauelemente dramatisch zu reduzieren, und wertet zudem den Leiterplattenhersteller als Systemlieferanten auf.

Des Weiteren müssen im Durchschnitt für ein versandfertig gepacktes Telefon, außer dem Gerät an sich, noch ca. 15 weitere Teile beschafft werden [67]. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Verpackungsmaterial und Zubehörteile. Auch hier wird stetig an einer Reduzierung der Teile und der Verpackungsmaterialien gearbeitet. Ein wichtiger Schritt hierbei war die Änderung der Verbraucherschutzbestimmungen, wodurch es zukünftig erlaubt ist, auf das Beilegen des Handbuchs in gedruckter Form oder auf CD zu verzichten. Zudem können die benötigten Ladegeräte in immer dünnerer und kompakterer Form hergestellt werden, was die Verpackungsgröße zusätzlich reduziert. Eine weitgehende Standardisierung auf USB Schnittstellen in Mobiltelefonen erlaubt schließlich, das beiliegende Datenkabel für den PC auch als Ladekabel zu benutzen. Batterien, Kopfhörer und Informationsmaterial bleiben somit neben dem Datenkabel die wichtigsten zu beschaffenden produktspezifischen Zubehörteile.

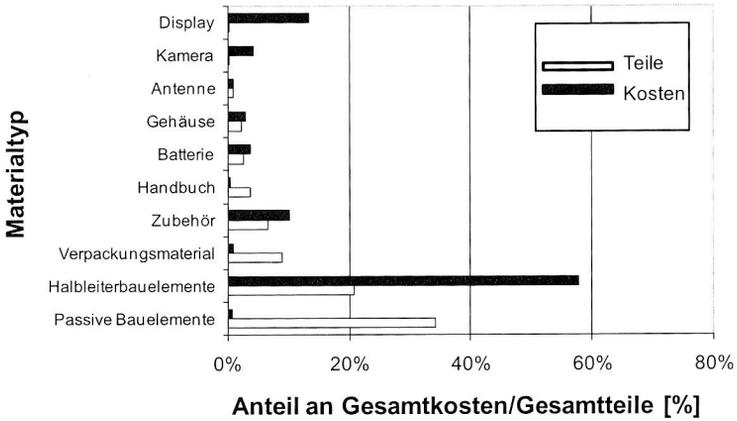


Bild 11: Prozentualer Anteil an den eindeutigen Einzelteilen nach Materialtyp [71]

Neben dem prozentualen Anteil an der Gesamtteilzahl sind in Abbildung 11 auch die entsprechenden Kostenanteile aufgezeigt. Hier wird deutlich, dass die Halbleiterbauelemente zwar nur 20 % der Teile darstellen aber für mehr als 50 % der Materialkosten verantwortlich sind. Dies zeigt wiederum die enge Verzahnung und gegenseitige Abhängigkeit zwischen den Mobilfunkherstellern und der Halbleiterindustrie. Im Gegensatz dazu stellen die passiven Bauelemente zwar 30 % der Teile sind aber nur für einen geringen Anteil der Materialkosten verantwortlich.

Displays und Kamera stellen einen erheblichen prozentualen Anteil der Materialkosten dar. Obwohl maximal zwei Displays und Kameras pro Gerät zu finden sind, ergibt dies dennoch einen Anteil von 20 % für beide Komponenten. Dies zeigt, dass es die Lieferanten dieser Elemente geschafft haben, sich bereits als Systemlieferanten zu etablieren und ihre Bauelemente mit den entsprechenden Eigenschaften (z.B. Touchdisplay) erfolgreich zu vermarkten.

Wie bereits oben beschrieben wird durch Standardisierung (USB-Schnittstelle) und Reduzierung der Verpackungsmaterialien ebenfalls versucht, den Kostenanteil (derzeit 10 %) der Zubehörteile an den Gesamtkosten zu senken.

Da die Materialkosten den größten Anteil an den Herstellungskosten aufweisen, sind alle beschriebenen Aktivitäten der Hersteller von extremer Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen.

3.2 Bestückung und Montage

Ein Kernprozess bei der Fertigung von Mobiltelefonen ist die Bestückung der Leiterplatte und die anschließende Montage des Gerätes. Während bei der Verarbeitung der Leiterplatte ausschließlich automatisierte Prozesse zum Einsatz kommen, erfolgt die Montage des Gerätes weitgehend manuell.

Eine Fertigungslinie für die Bestückung einer Leiterplatte lässt sich in drei Prozesse untergliedern [11].

- Pastenauftrag
- Bestückung
- Verbindungstechnik

Die automatisierte Bestückung begann in den 60er Jahren mit der Einführung von Automaten für die Verarbeitung von bedrahteten Bauelementen. Diese sogenannte Durchsteckmontage wurde durch die Verbindungstechnik des Wellenlötens, einem Verfahren, bei dem die Bauelemente durch eine flüssige Lotwelle gefahren werden, ergänzt. Nicht zuletzt durch den steigenden Bedarf an Mobiltelefonen und der damit verbundenen Nachfrage nach größeren Integrationsdichten und steigenden Anschlusszahlen von Bauelementen auf der Leiterplatte wurde die Durchstecktechnik durch die Technik der oberflächenmontierbaren Bauelemente (SMT) weitgehend ersetzt [87] [95].

Hier erfolgt der Auftrag der Lotpasten meistens durch Schablonendruck, daneben ist bei kleineren Losgrößen auch das Dispensieren verbreitet. Beim Schablonendruck wird die Lotpaste von einer Rakel durch die Öffnungen der Schablone auf die Leiterplatte gedrückt. Anschließend wird die Schablone abgehoben und die nächste Leiterplatte bedruckt [46].

Die Bestückung der elektronischen Bauelemente auf dem Lotdepot ist dadurch gekennzeichnet, dass jedes einzelne Bauelement einzeln von einer Bereitstellungsposition auf den Schaltungsträger gesetzt werden muss. Dabei werden sowohl die Position der Leiterplatte als auch die Orientierung der Bauelemente vor dem Platzieren mit Bilderkennungssystemen erfasst und entsprechend korrigiert. Da dieser Arbeitsgang die Arbeitsgeschwindigkeit der Fertigungslinie besonders beeinflusst, haben die Maschinenhersteller verschiedene Kinematikkonzepte entwickelt, um den entgegenzuwirken. So entstanden rotierende Bestückköpfe, bei denen die Bilderkennung parallel zur Bestückung eines anderen Bauelementes stattfindet (z.B. Fuji CP6). Zudem setzen verschiedene Hersteller auf die gleichzeitige Benutzung mehrerer Bestückköpfe sowie zwei separate Leiterplattenzuführungen, um die anfallenden Nebenzeiten zu verkürzen. Jede dieser Bestückköpfe kann je nach Hersteller bis 20 verschiedene Bauelemente nacheinander aufnehmen und auf der Leiterplatte platzieren [43] [110].

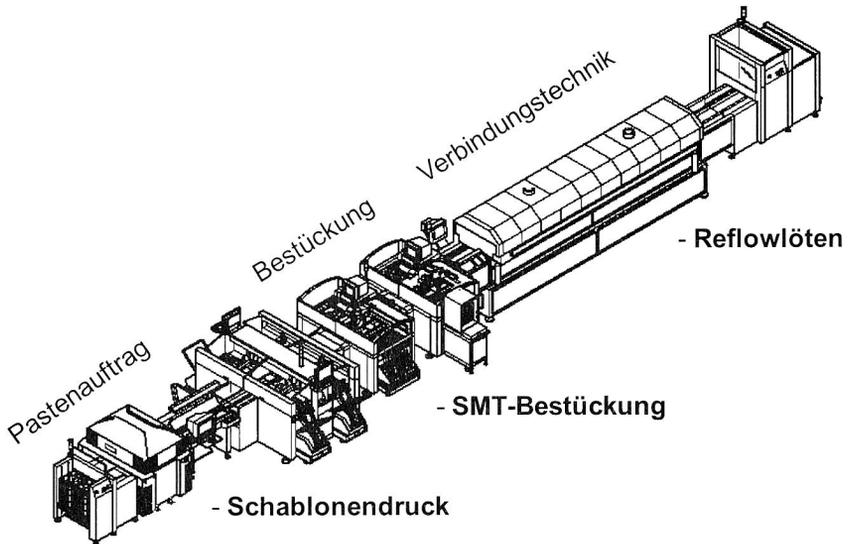


Bild 12: SMT-Fertigung vom Pastenauftrag bis zum Reflowofen [30]

Die dauerhafte Verbindung von Bauelementen und Leiterplatte wird durch das Reflowlöten hergestellt. Dabei wird die bestückte Leiterplatte im Lötöfen über die Schmelztemperatur des Lotes erwärmt. Hierbei ist zu beachten, dass an jeder Lötstelle ein vollständiges Aufschmelzen erreicht wird, gleichzeitig muss aber eine thermische Schädigung des Bauelements vermieden werden.

Eine gewöhnliche SMT-Linie zur Fertigung von Mobiltelefonen besteht daher aus einem Schablonendrucker zum Auftragen der Lotpaste auf die Leiterplatte, mehreren vollautomatischen Automaten zur Bestückung der SMT-Bauelemente und dem abschließenden Prozess des Reflowlötens, in dem die vorher aufgetragene Lotpaste bei bis zu 250°C (bleifreie Lotpaste) aufgeschmolzen wird, so dass nach dem Abkühlen eine feste Verankerung zwischen den Bauelementen und der Leiterplatte entsteht.



Bild 13: Foto einer exemplarischen SMT-Bestückungsline [72]

In Abhängigkeit vom Produktdesign kann es zu verschiedenen Ausprägungen dieser SMT-Linien kommen. Mobiltelefone im unteren Preissegment verfügen heutzutage über eine einseitig zu bestückende Leiterplatte während für medientaugliche Endgeräte eine Leiterplatte in der Regel beidseitig zu bestücken ist. Letztere muss die Bestücklinie entweder zweimal durchlaufen oder die Bestücklinie muss entsprechend verlängert werden. Man spricht in diesen Zusammenhang auch von halben und ganzen Bestücklinien.

Ein weiterer Faktor für die Auslegung von Bestücklinien ist die Anzahl und das Verhältnis von passiven zu Halbleiterbauelementen. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an den Bestückprozess (Bauelementgröße, Bestückgenauigkeit, Bestückkraft usw.) stehen hierzu unterschiedliche Arten von Bestückautomaten zur Verfügung. Bestücklinien für die Mobilfunkfertigung bestehen daher meist aus mehreren Bestückautomaten für passive und Halbleiterbauelemente [26].

Zusätzlich verfügen neuartige Bestückautomaten und Lötöfen über mehrere Zuführspuren für Leiterplatten, was den Durchsatz der Fertigungslinien weiter erhöht. Des Weiteren werden die Bauelemente durch die Hilfe von schnell austauschbaren Zuführsystemen bereitgestellt, so können die Hersteller sehr schnell von einem Produkt zu einem anderen wechseln [50].

Um die Qualität der Fertigungslinien dauerhaft zu gewährleisten, verfügen diese oft über zusätzliche optische Qualitätssysteme, welche sowohl die Genauigkeit des Lotpastenauftrags als auch die der Bestückungsmaschinen untersuchen [100].

Im Gegensatz zur vollautomatisierten Bestückung von Leiterplatten hat sich bei der Montage des Mobilfunkgerätes eine derartige Automatisierung trotz zahlreicher Initiativen nicht durchgesetzt. Dies liegt zum einen an der Flexibilität, die von einer derartigen automatischen Montagelinie gefordert wird. Durch die kurzen Produktzykluszeiten muss sich jede Investition innerhalb nur eines Jahres voll rechnen, was bei der Vielzahl verschiedener Modelle eine große Herausforderung darstellt. Zum anderen hat sich die Komplexität in den Montagelinien stetig erhöht. Um alle technischen Funktionen eines so genannten „Smart Phones“ im jeweiligen Gehäuse unterzubringen, wird mehr und mehr auf zusätzliche flexible Verbindungen gesetzt. Diese sind jedoch in ihrer Anzahl schwer zu automatisieren und die neuen Prozesse benötigen größtenteils auch noch eine höhere Genauigkeit als ihre Vorgänger.

Nur für das Aufspielen der Betriebssoftware (Flexen) hat sich eine Teilautomatisierung durchgesetzt. Da die Mobiltelefone mit der USB-Schnittstelle über eine weltweit standardisierte Schnittstelle verfügen, können diese leicht automatisiert kontaktiert werden. Lediglich die Produkthalterung muss je nach Design des Produktes angepasst werden. Zudem ist es möglich, über unabhängige USB Schnittstellen die Anzahl der gleichzeitig bearbeitbaren Produkte an einem Arbeitsplatz stetig mit neuen PC Generationen zu erhöhen.

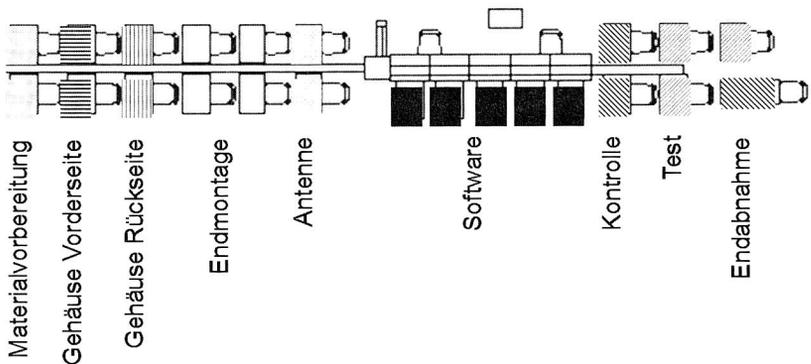


Bild 14: Typisches Layout einer Montagelinie für Mobiltelefone

Die Montage kann in Gruppenarbeit und als sequentieller Prozess durchgeführt werden. Abbildung 14 zeigt beispielhaft die verschiedenen Schritte der sequentiellen Montage eines Mobiltelefons auf. Nach der Materialvorbereitung wird sowohl die Gehäusevorderseite als auch die -rückseite für die Endmontage vorbereitet. Anschließend wird das Gerät zusammengesetzt und die Antenne montiert. Ist das Mobilfunkgerät fertig montiert, wird das Betriebssystem installiert. Anschließend erfolgt sowohl die visuelle Qualitätskontrolle als auch der elektrische Gerätetest. Nach erfolgreichem Test wird am Ende

der Montagelinie die Qualitätsendabnahme durchgeführt. Das fertige Mobiltelefon wird dann für die Distribution freigegeben.



Bild 15: Foto einer exemplarischen Montagelinie [72]

3.3 Postponement und Distribution

Nach der Montage werden die fertigen Telefone von den Fabriken in weltweit niedergelassene Distributionszentren transportiert. Die Bedeutung der Distributionszentren in der Logistik der Mobiltelefone hat aufgrund der Marktsättigung zugenommen. Aufgrund der notwendigen stärkeren Ausrichtung zu den Service-Betreibern veränderte sich der Aufgabenbereich von der reinen Distribution hin zu sogenannten „Customer Fullfilment Center“ (CFC). Diese Veränderung bestätigt die These Webers [123], dass sich der Charakter moderner Distributionszentren immer mehr von bestandsführenden Lagern zu Umschlagsknotenpunkten verändert.

Durch die Veränderung und den Zuwachs an Aufgaben lassen sich die Tätigkeiten des CFC in die Bereiche Postponement und Distribution unterteilen. Unter Postponement versteht man hierbei die spätest mögliche Kundenspezifizierung innerhalb eines Produktionsprozesses [70]. Für Mobiltelefone sind dies insbesondere unterschiedliche Produktspezifikationen der Mobilfunkbetreiber als auch länderspezifische Anpassungen. Letzteres ist vor allem für Europa von hoher Wichtigkeit, da hier verglichen mit Nordamerika (Englisch, Französisch, Spanisch) sehr viele unterschiedliche Sprachen und Sprachkombinationen unterstützt werden müssen. Dies führt zu einer Vielzahl von unterschiedlichen Sprachpaketen, bei denen erst kurz vor der Auslieferung feststeht, welches Paket vom jeweiligen Kunden gefordert wird. Dieser Effekt verstärkt sich noch durch die Tatsache, dass alle führenden Mobilfunkbetreiber mittlerweile Mobilfunknetze in ganz Europa betreiben und deswegen auch kurzfristig die Unterstützung unterschiedlicher Sprachen anfordern.

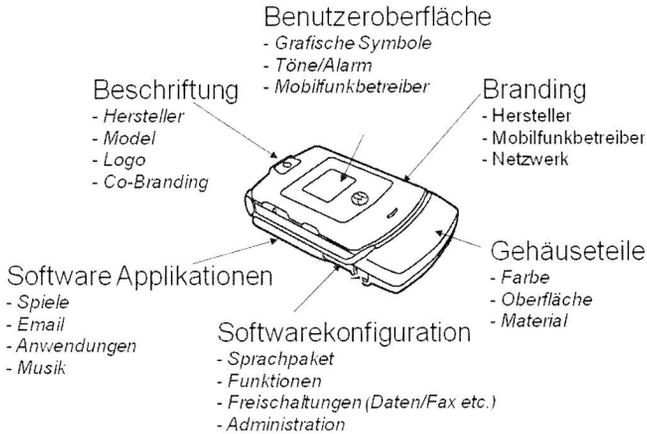


Bild 16: Postponement Prozesse bei einem Mobiltelefon [62]

Neben den Sprachpaket spielen auch noch weitere Softwareanpassungen eine große Rolle innerhalb des Postponements von Mobiltelefonen. Dies ist zum einen die bei den Mobilfunkbetreibern immer beliebter werdende eigene Benutzeroberfläche und Benutzerführung, die sich sowohl in Funktionalität als auch in Design von denen der Mitbewerber unterscheiden soll. Dazu gehört auch eine kundenspezifische Softwarekonfiguration, die vorhandene Produktfunktionalitäten dem Kundenwunsch entsprechend definiert.

Insbesondere bei Multimedia-Telefonen nimmt der Anteil der Softwareapplikationen am Postponement stark zu. Vordefinierte Softwarepakete, insbesondere Spiele, Fotos, Logos und Klingeltöne werden immer wichtigere Unterscheidungsmerkmale, die zum Kauf des Produktes anregen sollen.

Neben den beschriebenen Softwareanpassungen finden innerhalb des CFC auch einige Hardwareveränderungen statt. Diese sollen die Besonderheit des Produktes und die Identität des Mobilfunkbetreibers nach außen deutlich machen. Neben den Produktbrandings, also der Nennung des Namens des Mobilfunkbetreibers auf dem Gerät, sind dies unterschiedliche Beschriftungen, z.B. ein kundenspezifischer Produktname oder ein Produktlabel. Nicht selten werden sogar Teile des Gehäuses durch andersfarbige Elemente ausgetauscht, um der „Corporate Identity“ des Mobilfunkbetreibers zu entsprechen [105] [106].

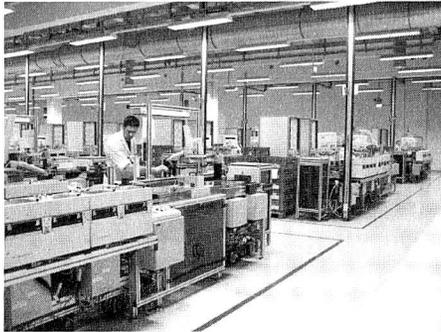


Bild 17: Foto einer halb-automatischen Linie zur Softwarekonfiguration [72]

Sobald eine Kundenbestellung eingeht, werden die Bestelldaten mit dem Lagerbestand im CFC verglichen. Die Bestellung enthält Informationen über die bestellten Produkte bzw. Produktvarianten, die Mengen und den gewünschten Liefertermin. Auf der Grundlage aller eingehenden Bestellungen wird ein Bedarfssignal erzeugt, d.h. das System ermittelt aus den zu den Bestellungen gehörigen Produkten den Bedarf für alle benötigten Einzelteile. Daraufhin wird die gewünschte Anzahl der angefragten Telefone aus dem Lager entnommen und dem Postponement Prozess zugeführt.

Dieser Prozess beinhaltet zuerst einige manuelle Vorarbeiten am Mobiltelefon. Um den steigenden Anteil der Softwaremodifikationen gerecht zu werden, wird versucht, diesen Bereich weiter zu automatisieren. Als Beispiel dafür dient die Automatisierung der Betriebssoftwareinstallation (Flexen) im Bereich der Montage. Softwareanteile, die in großen Mengen nachgefragt werden, werden in einem separaten Prozess auf das Mobiltelefon übertragen (Vorflashen), während der flexible Softwareanteil und die Konfiguration in einem zweiten Schritt vorgenommen werden.

Im Anschluss daran werden die notwendigen Hardwareanpassungen vorgenommen. Auch hier orientiert man sich an den Erfahrungen aus der Fabrikmontage. Je nach erforderlichem Umfang der Arbeiten wird dies in Gruppenarbeit oder Einzelfertigung erledigt. Diese Anpassungen lassen sich, wie in Bild 16 zu sehen, in Beschriftung, Branding bzw. den Austausch von Gehäuseteilen gruppieren. Durch den verstärkten Wettbewerb der Mobilfunkbetreiber hat das Branding mit einem Logo (z.B. Vodafone, T-Mobile) stark zugenommen. Auch bestimmte neue Farbkombinationen innerhalb des Gehäuses (T-Mobile: rosa Rückseite) können hier realisiert werden. Zudem ist es möglich, das Produkt länderspezifisch mit einem neuen Label für den Produktnamen zu versehen.



Bild 18: Beispielhafter Postponement Arbeitsplatz [72]

Sobald der Postponement-Prozess für eine Kundenbestellung abgeschlossen ist, kommt es zur Verpackung und zur eigentlichen Distribution der Ware an den Kunden. Dazu wird die Bestellung einer Packlinie zugeteilt, an der mehrere Arbeiter das Mobiltelefon gemeinsam mit den Zubehörteilen in einen meist produkt- und kundenspezifischen Verkaufskarton verpacken. Anschließend erfolgt die Konsolidierung der Kundenaufträge, dieser Prozess besteht wie der des Packens aus mehreren Stationen. In einem ersten Schritt werden die einzelnen Mobiltelefonkartons mit einem Label beklebt. Danach wird jeder Karton einzeln gewogen um den korrekten Inhalt zu überprüfen. Entspricht das Gewicht den Vorgaben werden jeweils zehn Kartons in ein sogenanntes Overpack verpackt und anschließend auf einer Palette platziert.

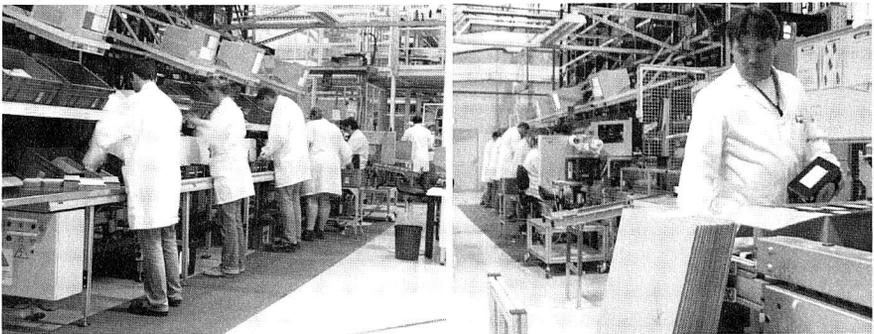


Bild 19: Verschiedene Verpackungsprozeduren bei Mobiltelefonen [72]

Je nach Größe der Palette können 300 oder mehr Produkte auf einer Palette gestapelt werden. Insbesondere hier zeigt sich der Vorteil von besonders kleinen Verkaufsboxen. Diese ermöglichen bei vorgegebener maximaler Palettenhöhe eine Verdoppelung von bis zu 1000 Produkten pro Palette. Insbesondere im Falle eines anschließenden Lufttransportes stellt dies einen zusätzlichen Kostenvorteil da.

Um dem zunehmenden Umweltschutzgedanken Rechnung zu tragen wird neuerdings auch auf die Overpack Verpackung verzichtet und die Verkaufsboxen direkt auf die Paletten gestapelt. Dies empfiehlt sich besonders bei Lieferungen an Einzelhandelsketten, für die sofort nach der Lieferung eine Vereinzelnung der Lieferung unabdingbar ist.

Bevor die Paletten auf einen LKW verladen und zum Kunden transportiert werden können, werden die Paletten noch einzeln mit Folie überzogen und entsprechend der Frachtvorschriften beschriftet. Danach wird die Bestellung in ein separates Auslieferungslager gebracht. Ist eine gesamte Bestellung komplett auf Paletten verpackt im Auslieferungslager angekommen, kann mit der Beladung der LKWs begonnen werden.

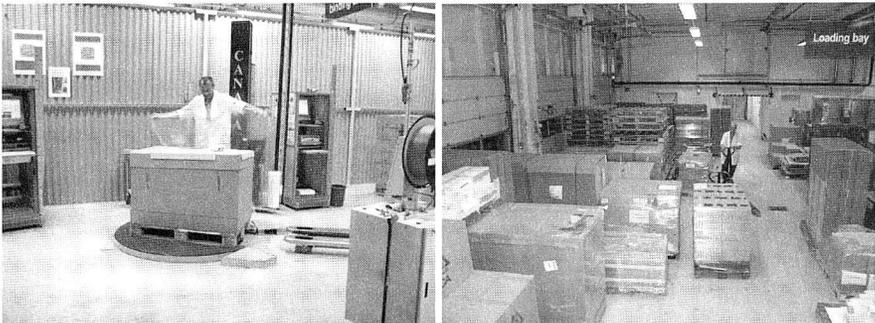


Bild 20: Bereitstellung der Paletten für die Verladung [72]

3.4 Vertrieb

Die Vertriebsstrukturen innerhalb der Telekommunikationsbranche sind hauptsächlich durch die Kopplung des Verkaufs von Endgeräten mit den Dienstleistungen geprägt. Dabei steht der Verkauf der Dienstleistung (Mobilfunkvertrag) im Vordergrund. Um den Abschluss eines Mobilfunkvertrags für den Endkunden möglichst attraktiv zu gestalten, bezuschussen die Mobilfunkbetreiber den Kauf eines Mobilfunkgerätes, so dass dieses sozusagen als Zugabe zu einem erfolgreich abgeschlossenen Vertrag mitgegeben wird. Diese starke Kopplung zwischen Verkauf eines Mobilfunkvertrages und eines Mobilfunkgerätes wurde erst durch die auf den Markt drängenden sogenannten „Virtuellen Mobilfunkbetreiber“ (MVNO) teilweise durchbrochen [63]. Diese besitzen kein eigenes Mobilfunknetzwerk, sondern kaufen Nutzungskontinente von bestehenden Betreibern an, um diese dann meist auf eine bestimmte Zielgruppe ausgerichtet weiterzuverkaufen. Diese Art des Vertriebes baut darauf, dass in Europa bereits eine vollkommene Marktdurchdringung für Mobiltelefone erreicht ist, so dass jeder Kunde bereits über ein funktionierendes Mobilfunkgerät verfügt. Demgegenüber stehen allerdings die etablierten Mobilfunkbetreiber, die neuartige Dienstleistungen und die dazu notwendigen neuen Endgeräte verkaufen wollen. Deswegen ist eine gute und vorausschauende Planung zwischen Mobilfunkbetreiber und Hersteller eine wichtige Grundlage für den beiderseitigen geschäftlichen Erfolg.

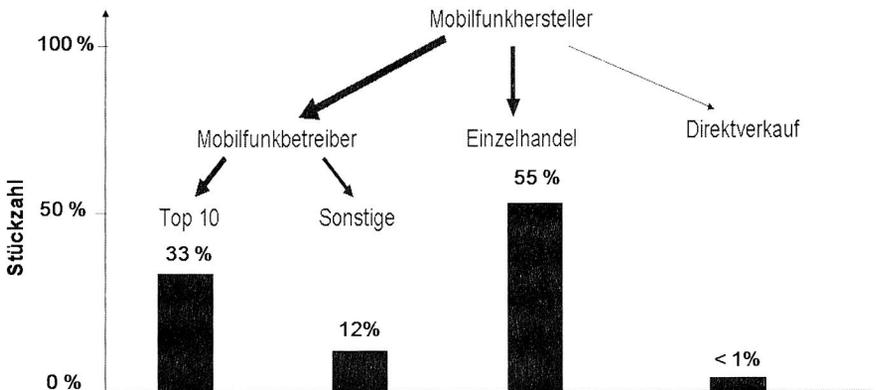


Bild 21: Vertriebswege der Mobilfunkhersteller in Europa [80]

Diese Verbindung zwischen Dienstleistungen und Endgerät hat zur Folge, dass der direkte Internetverkauf der Mobilfunkhersteller ein Nischendasein führt, und die benutzten Vertriebswege hauptsächlich über die Mobilfunkbetreiber und deren Vertriebswege (Ladengeschäft, Internet) oder den Einzelhandel erfolgen. Dabei kommt letzteren in den vergangenen Jahren eine immer stärkere Bedeutung zu, da der Einzelhandel über eine bessere Marktpräsenz verfügt. Für alle drei Hauptvertriebswege kommt als Endkunde-vertriebsmedium sowohl der Internetverkauf als auch das traditionelle Ladengeschäft in Frage.

Vom Distributionszentrum des Mobilfunkherstellers wird die Ware an dessen Lager oder das des Spediteurs/3PL geschickt. Der Transport dorthin kann je nach Entfernung sowohl per LKW als auch per Flugzeug erfolgen. Erst bei der Übergabe der Ware an die Warenannahme des Lagers gehen die bestellten Mobiltelefone in den Besitz des Mobilfunkbetreibers über. Die Ware verbleibt in diesen Lagern bis die Auslieferung direkt an den Endkunden (Internetbestellung) oder den Einzelhandel erfolgt (Vendor Managed Inventory) [81].

4 Grundlagen zur Optimierung der Supply Chain

4.1 Supply Chain Management

4.1.1 Begriffliche Einordnung

Die Bezeichnung „Supply-Chain-Management“ (SCM) deckt weite Gebiete ab, daher stößt man in der Literatur auf unterschiedliche Definitionen. Allgemein kann das SCM als eine Methode oder ein Verfahren zur Organisation und Koordinierung logistischer Verkettungen durch Gestaltung eines Wertschöpfungsnetzwerkes beschrieben werden. Dafür müssen die Relationen zwischen den betrachteten Organisationseinheiten wahrgenommen, definiert und optimiert werden [127].

Ein starkes Gewicht lag bisher auf der Betrachtung der IT-Vernetzung sowie dem stärkeren Einbinden der Planung [45]. Hierbei ist festzuhalten, dass zwei Begriffsauffassungen zum Thema SCM existieren:

1. SCM als Begriff, der die verschiedenen Bereiche der Produktion überdeckt
2. SCM als Bezeichnung für rechnergestützte Werkzeuge, die eine optimierende Planung von vernetzten Geschäftsprozessen auf der Grundlage moderner Algorithmen ermöglichen

Obwohl der Begriff des „Supply-Chain-Managements“ unterschiedlich interpretiert wird, kann doch festgestellt werden, dass es im Supply-Chain-Management um die Planung und Steuerung der Logistikkette (Versorgungs- oder Lieferkette) eines produzierenden Unternehmens von seinen Lieferanten bis zum Kunden geht.

Um nun eine Supply Chain hinreichend gut zu gestalten, sind drei Aspekte zu beachten:

1. Die Abbildung von vernetzten im Allgemeinen über die Bereichsgrenzen hinausgehenden Strukturen
2. Die Nutzung moderner Kommunikationstechnologien (insbesondere zum Datenaustausch) zur Vernetzung der am jeweiligen Schnittstellen Problem beteiligten Bereiche
3. Der Einsatz von Software mit modernen Planungs- und Steuerungsmethoden, im allgemeinen unterstützt durch mathematische Algorithmen

Bei näherer Betrachtung einer typischen Lieferkette, erkennt man, dass die Lieferkette bei einem Rohstoff- bzw. Bauteillieferanten beginnt. Die Lieferkette nimmt dann ihren Weg über die Produktion und Distribution sowie den Handel bis hin zum Endkunden. Die entsprechenden betrieblichen Prozesse sind Beschaffung, Produktion und Distribution. Dabei umfasst das Supply-Chain-Management alle strategischen, taktischen sowie operativen Planungsaufgaben zur Steigerung der Produktivität innerhalb einer Lieferkette [112] [121].

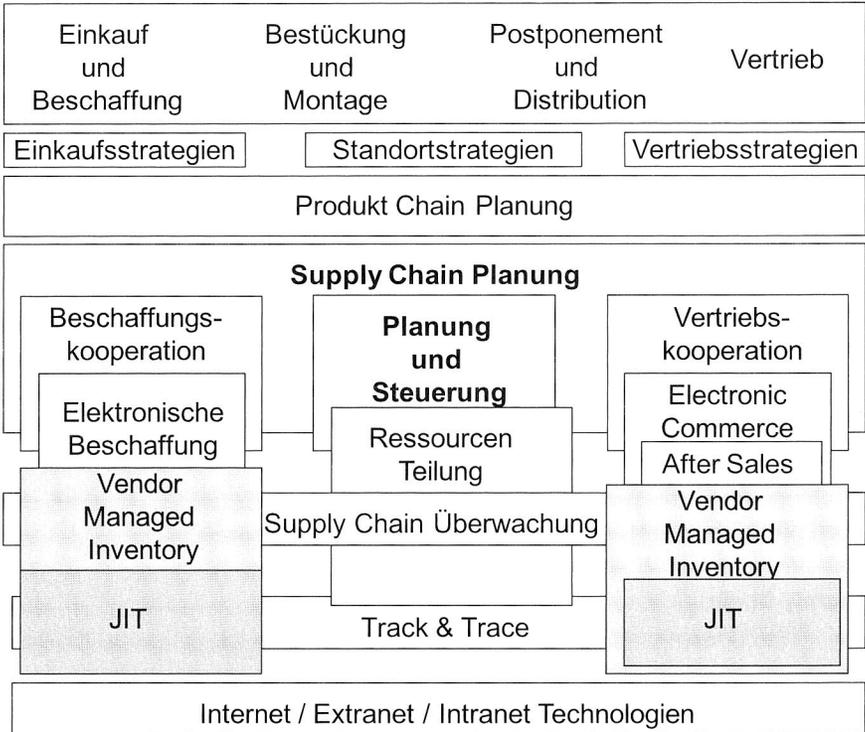


Bild 22 : Supply Chain Management [108]

Ausschlaggebend für ein erfolgreiches Supply-Chain-Management sind eine organisatorische Gestaltung des Unternehmens und eine prozessorientierte Ausrichtung auf die Lieferkette [57]. Dies ist durch den Einsatz moderner Kommunikations- und Informationstechnologien zu realisieren, die die Grundlage aller Supply-Chain-Bereiche darstellen. Sie sind für die Zusammenarbeit der Partner sowie die unternehmensübergreifende

Kollaboration unentbehrlich. Diese Technologien werden durch Softwarepakete bereitgestellt, die die Planungs- und Steuerungsmöglichkeiten unterstützen [58].

4.1.2 Modell des Supply Chain Netzwerkes

Reale Supply Chain Systeme sind, in ihrer ganzen Breite betrachtet, komplizierte Systeme. Deswegen muss der betrachtende Umfang des Supply Chains mit Hilfe von vereinfachten Annahmen auf eine Größe reduziert werden, die eine genaue Analyse ermöglichen. Ein erster Schritt ist dabei die Reduzierung der Komplexität des Supply Chain Netzwerkes von Zulieferern, Fabriken und Kunden. Deswegen muss man als erstes festlegen, auf welcher Ebene man die Modelle erstellen will. Einerseits wären Modelle, die die Gesamtheit der wirtschaftlichen Prozesse erfassen viel zu umfangreich, andererseits ist eine Modellierung auf reiner Prozessebene bzgl. der Güte der Supply Chain Linien und Abläufe wenig aussagekräftig [47] [48] [83].

Betrachtet man ein Supply Chain Netzwerk als ein zielorientiertes Netzwerk aus Prozessen und Puffern oder Lagern, um Güter an den Kunden zu liefern, kann man den Fokus auf den Produktfluss richten. Diese Vorgehensweise erlaubt eine Beschränkung der Definition aller notwendigen Parameter auf den Produktfluss innerhalb der Supply Chain. Diese Vorgehensweise erlaubt zum einen eine Vereinfachung der Modelle und zugleich eine Übertragung der Modelle auf ähnliche Strukturen innerhalb der Supply Chain. Die Puffer und Lager sind ein wichtiger Bestandteil eines erfolgreichen SCM. Diese Lager können sowohl geplante Lager in Form von Einzelhandelslagern als auch Zwischenlager innerhalb von Fertigungslinien zum Ausgleich von Produktionsschwankungen sein. Diese Prozesse und Lager bilden ein Netzwerk, das die verschiedenen Flüsse, die ein Produkt durch den Supply Chain nehmen kann, beschreibt.

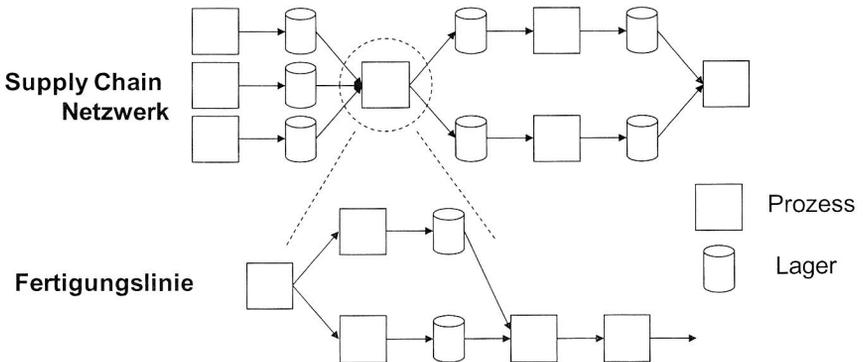


Bild 23: Supply Chain Netzwerk [119]

In Bild 23 ist ein derartiges Netzwerk beispielhaft dargestellt. Sowohl für eine Supply Chain als auch für eine Fertigungslinie ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten der Konfiguration. Deswegen ist es sinnvoll, diese komplexe Netzwerkstruktur in einfache Teilbereiche herunterzubrechen. Diese Teilbereiche lassen sich aufgrund des gleichartigen Aufbaus aus Prozessen und Lagern sowohl für Supply Chain Netzwerke als auch für Fertigungslinien untersuchen.

Supply Chain Netzwerke sind zielorientierte Netzwerke. Deswegen ist es sinnvoll, die Ziele vorab zu definieren. Aus der Fertigungsperspektive lassen sich diese Ziele in die Bereiche Kosten, Qualität, Geschwindigkeit, Liefertreue und Flexibilität unterteilen.

Allerdings kann die Gewichtung dieser Ziele je nach Art der Fertigungslinie stark unterschiedlich sein.

Um das Verhalten einer Supply Chain besser zu verstehen, ist es zuerst notwendig, sich mit den Grundlagen eines einzelnen Prozesses und eines Lagers vertraut zu machen. Darauf aufbauend kann dann die Fertigungslinie und ihre Konfigurationen näher untersucht werden. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf dem Prozessfluss durch die Fertigungslinie. Das komplette Supply Chain Netzwerk setzt sich dann aus verschiedenen Fertigungslinien und Produkten zusammen, die gemeinsam koordiniert werden müssen.

4.2 Optimierungsindikatoren

4.2.1 Durchsatz, Durchlaufzeit und Auslastung

Das grundsätzliche Ziel bei der Planung einer Fertigungslinie konzentriert sich darauf, einen optimalen Produktionsfluss zu erreichen. Für fast alle Fertigungslinien sind die folgenden Leistungsindikatoren ausschlaggebend [118]:

- **Durchsatz:** Die Frequenz mit der die Produkte gefertigt werden können
- **Work in Progress (WIP):** Die Anzahl der Produkte, die sich in einer Fertigungslinie befinden
- **Durchlaufzeit:** Die Zeit die ein Produkt benötigt, um die gesamte Fertigungslinie zu durchlaufen.

Typischerweise ist das Ziel einer Optimierung, den Durchsatz möglichst hoch und den WIP und die Durchlaufzeit möglichst klein zu halten.

Einer der Hauptparameter für die Leistung einer Line ist deren Kapazität. Diese ist mit Durchsatz, WIP und der Durchlaufzeit eng verknüpft. Die Kapazität ist definiert als der maximale Durchsatz, den eine Fertigungslinie erreichen kann. Damit ist die Kapazität aber auch eine Funktion jedes einzelnen Prozesses der Fertigungslinie. Ein Prozess, der die Gesamtkapazität begrenzt, wird als „Bottleneck“-Prozess bezeichnet.

Er stellt den Engpass der Fertigungslinie dar. Normalerweise ist der langsamste Prozess auch der Bottleneck-Prozess; dies gilt allerdings nicht, falls alle Produkte den gleiche Fertigungsfluss haben, ansonsten lässt sich der „Bottleneck“- Prozess über die Auslastung eines Prozesses definieren: $\text{Auslastung} = \text{Durchsatz} / \text{Kapazität pro Station}$.

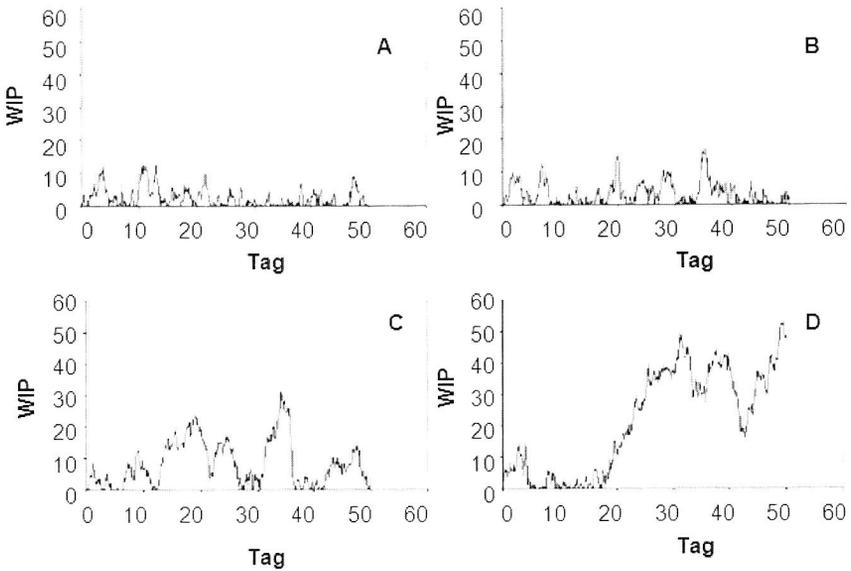


Bild 24: *Beispielhafte WIP Verläufe bei:
einer Kapazitätsauslastung < 100%(A),
einer Kapazitätsauslastung < 100% und steigendem Durchsatz (B)
einer Kapazitätsauslastung über 100% (C),
einer Kapazitätsauslastung über 100% bei steigendem Durchsatz (D)*

Der Bottleneck-Prozess einer Fertigungslinie lässt sich dann als die Station mit der höchsten Auslastung definieren.

Daraus ergeben sich folgende Grundsätze für eine Fertigungslinie [119] :

- Kapazität: Die Anzahl der produzierten Produkte niemals gleich oder größer sein als der Durchsatz (TH) der Fertigungslinie.
- Auslastung: Die Durchlaufzeit (CT) steigt mit der Erhöhung der Auslastung an.
- WIP: Über einen langen Zeitraum betrachtet verhalten sich WIP, Durchsatz und Durchlaufzeit eines stabilen Prozesses nach der Regel:
WIP = Durchsatz x Durchlaufzeit.
- Höchste Leistung: Für jede Fertigungslinie mit dem „Bottleneck“-Durchsatz r_b , der Prozess Zeit T_0 und WIP w gilt :
 - $TH \leq \min\{w/T_0, r_b\}$
 - $CT \geq \max\{T_0, w/r_b\}$
- Schlechteste Leistung: Für jede Fertigungslinie mit dem „Bottleneck“-Durchsatz r_b , der Prozess Zeit T_0 und WIP w gilt :
 - $TH \geq 1/T_0$
 - $CT \leq wT_0$

4.2.2 Variabilität und Push vs. Pull

Bei jeder Supply Chain Optimierung wird also versucht, das System dahingehend zu optimieren, das es möglichst wenig WIP und eine kurze Durchlaufzeit aufweist. Allerdings ist in der Praxis ein weiterer Faktor für die Effektivität innerhalb der Logistik ausschlaggebend: Die Variabilität der Prozesse. Innerhalb der Logistik können dies Taktzeiten, Maschinenlaufzeiten, Stillstandzeiten oder Auftragsgrößen sein. Um die Variabilität von Prozessen zu messen, benutzt man in der Mathematik die Standardabweichung. Um verschiedene dimensionslose Standardabweichungen besser vergleichen zu können, benutzt man den einheitslosen Koeffizient der Abweichung (CV), welcher als $CV = \text{Standardabweichung} / \text{Mittelwert}$ definiert ist.

Mit Hilfe des CV lassen sich Parameter mit niedriger Variabilität ($CV < 1$), mittlerer ($CV \sim 1$) und hoher Variabilität definieren.

Für die Variabilität von einzelnen Prozessen innerhalb einer Supply Chain gibt es zwei Haupteinflussfaktoren: Das Ankunftsintervall und die eigentliche Prozesszeit. Wobei unter dem Ankunftsintervall die Zeit zwischen zwei hintereinander ankommenden Produkten zu verstehen ist, und unter der Prozesszeit der gesamte Zeitraum vom Start bis zum Ende eines Prozesses. Grundsätzlich lässt sich für logistische Prozesse sagen, dass beide Parameter sowohl hohe (bis $CV = 10$), mittlere als auch niedrige ($CV = 0$) Variabilität aufweisen können.

Zur Optimierung der Supply Chain ist es daher notwendig, die Variabilität der vorhandenen Prozesse besser zu kontrollieren. Diese Variabilität innerhalb einer Fertigungslinie kann man durch eine Kombination von Lagererweiterungen, Kapazitätserhöhungen und zusätzlicher Zeit abfedern [96].

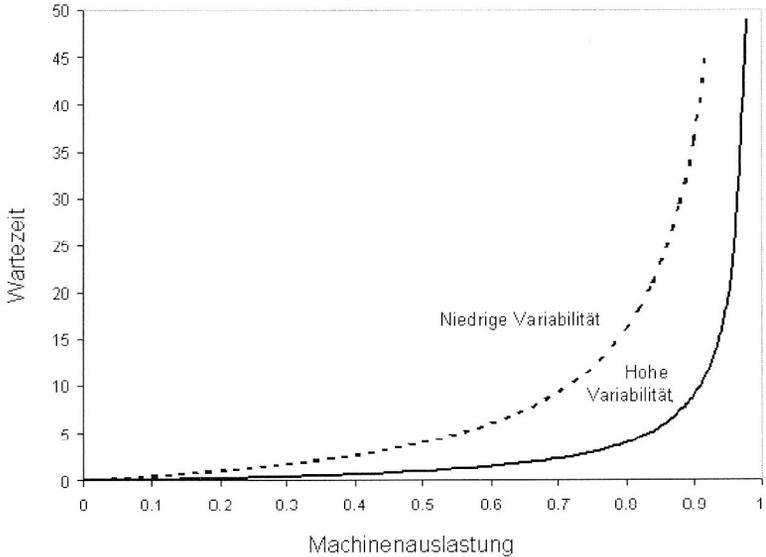


Bild 25: Einfluss der Variabilität auf die Wartezeit in Abhängigkeit von der Maschinenauslastung

In der Praxis lässt sich die Variabilität nicht nur durch eine Kombination von Lagern, Kapazitäten und Zeit kontrollieren, sondern auch durch ein flexibles Supply Chain Management. Flexibilität bedeutet hierbei, dass Variabilitätspuffer verschiedene Aufgaben erfüllen können. So können Bestandslager nicht nur lokal für eine Fertigungslinie angelegt werden, sondern zentral für eine ganze Fabrik. Andere Beispiele sind Fertigungsmaschinen, die eine ganze Produktgruppe fertigen können und nicht nur ein einzelnes Produkt. Deswegen kann man generell sagen, dass eine höhere Flexibilität die Anzahl der notwendigen Puffer (Lager usw.) innerhalb einer Supply Chain oder Fertigungslinie erniedrigt.

Da jegliche Art von zusätzlichen Puffern Geld kostet, ist eine Minimierung der Puffer bei gleichzeitig hoher Kontrolle der Variabilität ein Schlüssel für eine „schlanke,“ Fertigung. Da jegliche Art von zusätzlichen Puffern Kosten verursacht, ist eine Minimierung der Puffer bei gleichzeitig hoher Kontrolle der Variabilität ein Schlüssel für eine „schlanke“ Fertigung [126].

Der Nutzen eines zusätzlichen Lagers oder Fertigungspuffers bei der Kompensation der Variabilität ist seine Lage innerhalb der Fertigungslinie. Der Grund hierfür ist, dass WIP, Durchsatz und Durchlaufzeit in hohem Maße vom „Bottleneck“-Prozess bestimmt werden. Deswegen hat ein Puffer, der den Bottleneck-Prozess positiv beeinflusst, eine höhere Wirkung auf die Fertigungslinie als ein anderer Puffer.

Für die Position eines Puffers kann man deswegen zusammenfassend sagen: Für eine Fertigungslinie mit festem Beladungsintervall und gleichen Prozessen mit einer identischen Anzahl von Pufferpositionen gilt [119]:

Die maximale Senkung von WIP und Durchlaufzeit durch Hinzufügen eines Puffers, kann man erreichen, indem man den Puffer vor oder nach dem Bottleneck-Prozess hinzufügt.

Die maximale Senkung von WIP und Durchlaufzeit durch Erhöhung einer Pufferkapazität, kann man erreichen, indem man die Kapazität eines Puffers vor oder nach dem Bottleneck-Prozess erhöht.

Eine weitere Supply Chain Strategie für eine schlanke Fertigung ist „Just In Time“. Durch diese Strategie wurde das „Pull“-Prinzip innerhalb der Fertigung eine alltägliche Vorgehensweise. Das berühmteste Beispiel hierfür ist das sog. „Kanban“-Prinzip von Toyota. Das „Pull“-Prinzip beruht auf dem einfachen Konzept, dass jeder Prozess seine Teile von dem davor liegenden Prozess anfordert, sobald sie gebraucht werden (pull).

Um den Vorteil eines Pull- gegenüber einem Push-Systems besser zu verstehen, muss man zunächst einmal den Unterschied verstehen. Ein „Pull“-System ist ein System, in dem Teile aufgrund des Status des Gesamtsystems freigegeben werden und es besitzt eine systematische Begrenzung des WIP. Ein „Push“-System ist ein System, in dem Teile unabhängig vom Status des Systems freigegeben werden und das deshalb keine systematische Begrenzung des WIP aufweist.

Zusammenfassend kann man sagen, dass „Pull“-Systeme die Anzahl der Teile einer Fertigungslinie begrenzen, indem sie eine Obergrenze für WIP setzen. Deswegen kann man für „Pull“-Systeme folgende Aussagen treffen:

Effektivität: Ein „Pull“-System wird einen höheren Durchsatz mit der gleichen Anzahl von WIP erreichen als ein „Push“-System.

Robustheit: Ein „Pull“-System ist weniger anfällig für Fehler bzgl. des WIP als ein „Push“-System bzgl. Fehler beim Ankunftsintervall der Fertigungslinie.

4.2.3 Prinzipien zur Optimierung des Supply Chains

Der gesamte Lagerbestand ist die entscheidende Größe bei der Optimierung einer Supply Chain. Dabei spielt es keine Rolle, ob sich der Lagerbestand auf eine Fertigungslinie, einen Transport oder auf ein Distributionslager bezieht. Die entscheidende Frage bei allen Lagerbestandsystemen ist es, Kosten gegen Liefertreue zu optimieren. Viele Teile in einen Lager zu haben, erzeugt verschiedene Arten von Kosten wie z.B. Lagerhaltungskosten, Zinsen und Gebäudekosten, auf der anderen Seite führen viele Teile auf Lager allerdings auch zu einer verbesserten Liefertreue gegenüber den Kunden.

Es gibt viele Gründe für Lager innerhalb der Supply Chain. Grundsätzlich benötigt jeder Prozess eine Art Lager mit dem er arbeiten kann. Auf der anderen Seite gibt es auch Zwischen- oder Endlager, die nicht mit einem Prozess verbunden sind. Für die Supply Chain Optimierung sind die Lager ausschlaggebend, die einen Sicherheitsbestand gewährleisten.

Für die Sicherheitsbestände dieser Lager gilt, dass die Bestände sich vergrößern, je größer der Zeitraum der Wiederbefüllung ist und je größer die Schwankungen der Nachfrage sind. Deswegen gelten auch für Lagerbestände die Gesetze für die Verringerung von Variabilität wie bei Fertigungslinien. Insbesondere ist die Möglichkeit des SCM von Bedeutung, durch Zusammenfassung von Lagerbeständen den notwendigen Mindestbestand, für eine vorgegebene Liefertreue, zu verringern.

Des Weiteren lässt sich auch für die Lage eines Lagers innerhalb der Supply Chain, ähnlich wie für Puffer in Fertigungslinien, zusammenfassend sagen:

Um eine hohe Liefertreue mit den geringsten Kosten zu erreichen, sollten Teile mit hoher Schwankung in der Nachfrage, niedriger Nachfrage oder aber hohen Stückkosten möglichst zentral gelagert werden. Andererseits sollten billige Teile mit niedrigen Volumen- und Nachfrageschwankungen dezentral und kundennah am unteren Ende der Supply Chain gehalten werden.

Zudem ist es ratsam, bei Produkten mit langer Durchlaufzeit, das Auslieferungslager möglichst nahe am Endkunden zu positionieren, um die Reaktionszeiten zu verkürzen. Das gilt insbesondere wegen des sog. „Bullwhip“-Effektes [51], der besagt, dass wegen des Bestellverhaltens des Kunden, Marketingkampagnen usw., die Variabilität der Bestellungen vom Einzelhandel bis zur Produktion stetig zunimmt.

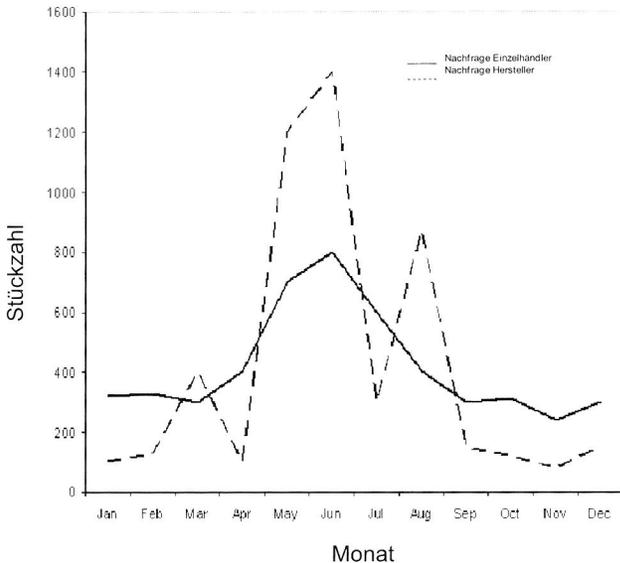


Bild 26: „Bullwhip“ Effekt [119]

Der Begriff Bullwhip-Effekt (Peitschenschlag-Effekt) beschreibt folgende Erscheinung in mehrstufigen logistischen Ketten, z.B. Händler, Produzent, Lieferant: obwohl die Variabilität der Nachfrage beim Händler gering ist, zeigt die Nachfrage, der sich der Lieferant gegenüber sieht, bereits größere Schwankungen. Je weiter man stromaufwärts in der Supply Chain ist, umso größer ist die Variabilität der Nachfrage.

Deswegen ist es ratsam, mit dem Kunden intensiv zu kooperieren und die Risiken, die sich durch derartige Unsicherheiten ergeben, abzufangen und ggf. zu teilen. Dazu eignen sich insbesondere eine Zentralisierung der Beschaffung, die Verbesserung des Informationsaustausches zwischen den verschiedenen Ebene der Supply Chain, sowie eine Verkürzung der Reaktionszeiten. In Kapitel 9 werden Maßnahmen zur Verbesserung des Informationsaustausches sowie zur Verkürzung der Reaktionszeiten näher untersucht.

5 Modell der Elektronikproduktion

5.1 Modell der Supply Chain Planung

Allgemein ermöglicht ein Supply-Chain-Planungswerkzeug die Koordination aller für die Fertigungsprozesse notwendigen Schritte nach den vorgegebenen Zielen. Dabei entsteht ein realisierbarer Gesamtplan, der hinsichtlich einer optimierten Reihenfolgenplanung erzeugt wird [20].

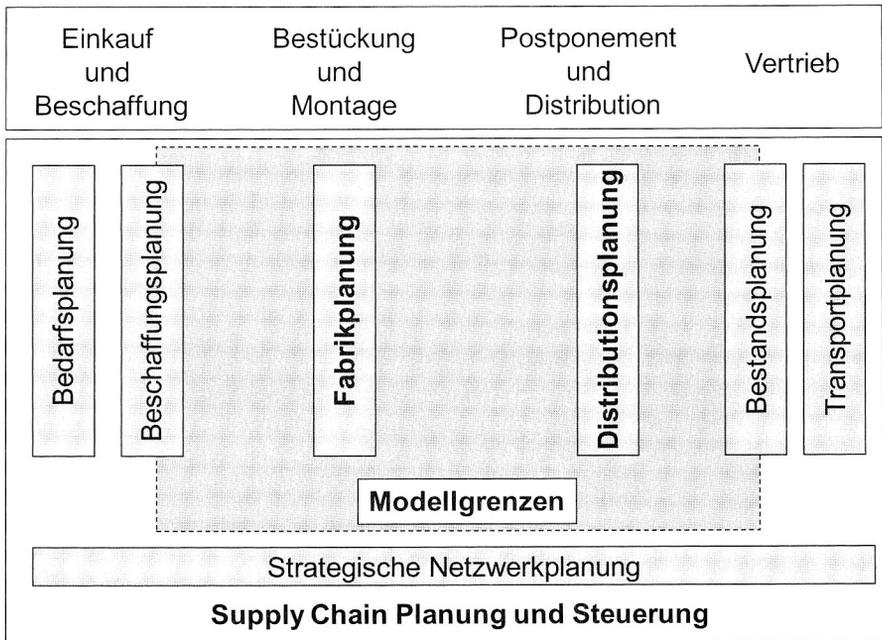


Bild 27: Modellgrenzen für die Supply Chain Planung

Obige Abbildung beschreibt die Architektur und Modellgrenzen des im Weiteren untersuchten Supply Chain Netzwerkes. Wie im Kapitel 3 beschrieben kann die Supply Chain von Mobiltelefonen in die vier Bereiche Einkauf und Beschaffung, Bestückung und Montage, Postponement und Distribution sowie den Vertrieb unterteilt werden. Das modellierte Fertigungskonzept für Mobiltelefone bezieht sich im Weiteren auf die Fabrik-

und Distributionsplanung, wobei die Beschaffungs- und Bestandsplanung die Grenzen des zu modellierenden Systems darstellen [10] [38].

Die eingegangenen Kundenbestellungen bilden dabei die maßgebliche Eingangsgröße des Systems. Diese legen die Anzahl der Einheiten, den Termin und das Fertigungsprodukt, sprich Mobiltelefon, das hergestellt werden soll, fest. Aufgrund der in Kapitel 2 beschriebenen besonderen markttechnischen Herausforderungen der Mobilfunkindustrie, wie zum Beispiel der Kurzlebigkeit der Produkte und der saisonalen Schwankungen, ist die Fabrik- und Distributionsplanung als eine Art Schlüsselrolle innerhalb des Supply Chains Netzwerkes zu betrachten. Hier ist trotz limitierter Fertigungskapazitäten eine Flexibilität zu schaffen, um die Kundennachfrage optimal befriedigen zu können. Deswegen ist eine optimierte Reihenfolgenplanung nötig, um die verschiedenen Aufträge nach ihrer Anzahl und dem Ausliefertermin zu steuern und zu planen [36] [37].

Neben den allgemeinen Anforderungen an die zu entwickelnde Supply-Chain-Planungslösung soll zudem auf eine benutzerfreundliche Architektur geachtet werden. Dies bezieht sich nicht nur auf das gesamte Modell, sondern auch auf die zu entwickelnden Optimierungsalgorithmen, da die endgültige Softwarelösung an jedem Computer ausgeführt werden soll. Ein modularer Aufbau der Supply-Chain-Planung sichert die Möglichkeit, verschiedene Konzepte zur Reihenfolgenoptimierung, z.B. für die Produktion, die Endmontage und die Distribution, gemeinsam zu integrieren [32] [99].

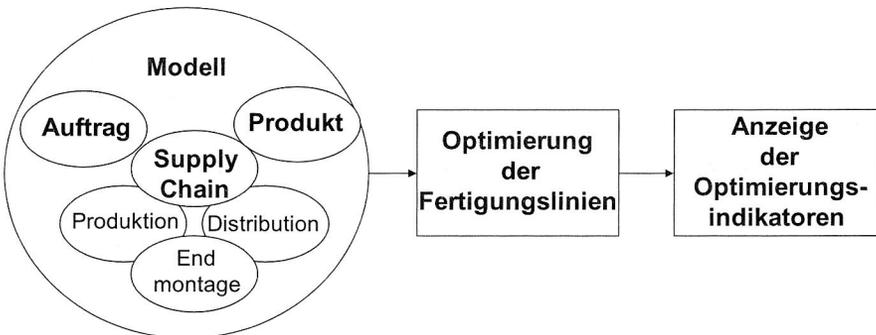


Bild 28: Modularer Aufbau zur Lösung des Optimierungsproblems [32]

Auf diese Weise wird eine transparente Gestaltung der Fertigungsabläufe für die Supply-Chain-Planung möglich, welche auch komplexere Strukturen abbilden kann. So kann die Planung automatisiert und der Anwender im Tagesgeschäft entlastet werden.

Um die Transparenz sicherzustellen, besteht das entwickelte Modell der Elektronikfertigung aus drei Teilmodellen, welche alle für die Reihenfolgeoptimierung notwendigen Kennzahlen liefert. Das erste Modell beschreibt die Parameter der zu bearbeitenden Kundenaufträge, das zweite den strukturellen Aufbau der einzelnen Produkte und das

dritte die Supply-Chain-Netzwerk-Struktur, bestehend aus Produktion, Endmontage und Distribution [6] [103] [104].

1. Auftragsmodell: Der Auftragseingang wird hier hinsichtlich der Kundenwünsche konfiguriert.
2. Produktmodell: Die zu fertigenden Produkte werden hier mit für die Supply Chain relevanten Kennzahlen beschrieben.
3. Supply Chain (Fabrik / Distributionszentrum) Modell: Hier wird das Netzwerk, bestehend aus Prozessen und Lagern, innerhalb der Fabrik und Distribution beschrieben. Das Netzwerk wird hierbei, je nach Erfordernis, mit den Untermodellen für die Fabrik (Produktion, Endmontage) und das Distributionszentrum aufgebaut.

Auf den Aufbau und die beinhalteten Kennzahlen der einzelnen Datenmodelle soll im Folgenden näher eingegangen werden.

5.2 Auftragsmodell

Für die Supply-Chain-Planung muss zunächst ein Kundenauftrag generiert werden. Für den Auftrag ist es wichtig, alle notwendigen Information über den Kundenauftrag, wie das bestellte Produkt, die bestellte Anzahl und den gewünschten Liefertermin zu erfassen. Diese Daten werden von der Bedarfsplanung zur Verfügung gestellt. Zusätzlich müssen weitere Informationen, wie Auftragsnummer und die sich bereits auf Lager befindlichen Produkte angegeben werden. Die Information über den Starttermin bildet dabei die Schnittstelle zur Bedarfsplanung. Durch sie wird festgelegt, wann mit einem Kundenauftrag frühestens gestartet werden kann. Durch diese Art der Modellierung wird sichergestellt, dass mit einen Auftrag erst dann begonnen wird, wenn auch das gesamte Material für diesen Kundenauftrag zur Verfügung steht.

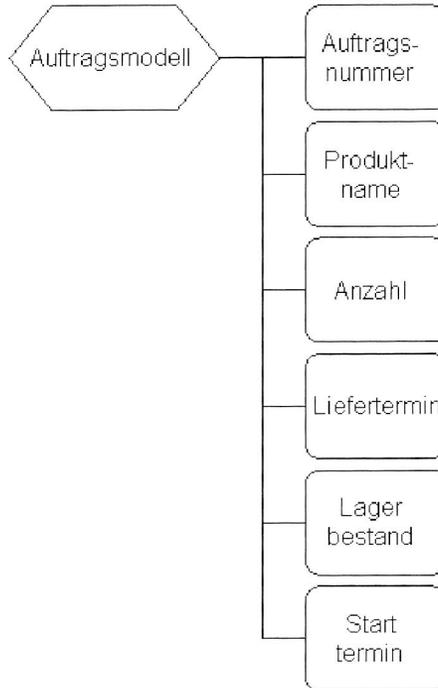


Bild 29: Aufbau und Struktur des Auftragsmodells

Das Auftragsmodell lässt sich in die folgenden sechs Punkte untergliedern.

- **Auftragsnummer:** Eindeutige Auftragsidentifizierungsnummer
 - **Produktname:** Bestelltes und zu produzierendes Produkt
 - **Anzahl:** Menge des vom Kunden bestellten Produktes
 - **Liefertermin:** Der vom Kunden gewünschte Liefertermin
 - **Lagerbestand:** Anzahl der auf Lager befindlichen vorproduzierten Produkte
 - **Starttermin:** Schnittstelle zur Beschaffungsplanung
- Gibt an, wann frühestens mit der Produktion begonnen werden kann. Damit kann sichergestellt werden, dass das benötigte Material zum Produktionsbeginn vorhanden ist

5.3 Produktmodell

Das hier entwickelte Produktmodell umfasst alle Informationen, die ein Produkt spezifizieren und für die Reihenfolgenoptimierung der Fertigungslinien von Bedeutung sind, wie zum Beispiel Name, Eigenschaften, Prozesszeiten, und Losgrößen.

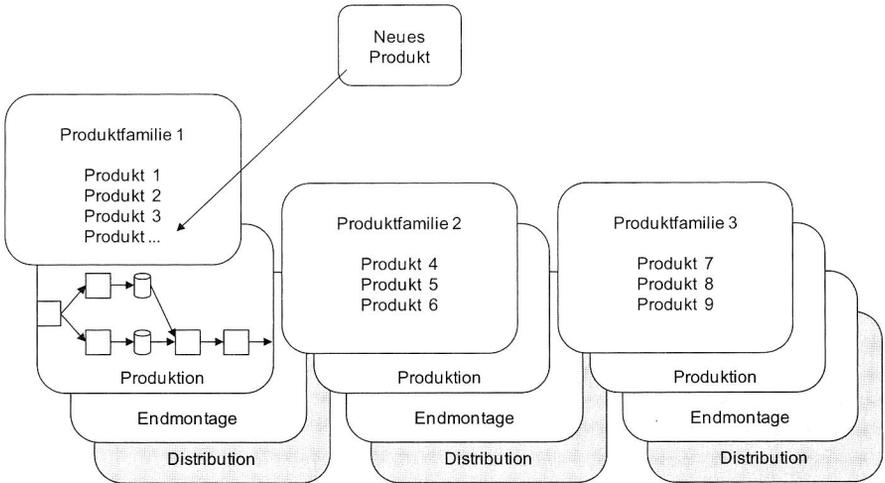


Bild 30: Verschiedene Produktfamilien im Produktmodell

Jedes Produkt wird einer Produktfamilie zugeordnet, denn so lässt sich um das Produktmodell erweitern. Durch diese Zuordnung erreicht man, dass nicht für jedes neue Produkt ein komplett neuer Datensatz über den Fertigungsprozess geniert werden muss. Stattdessen kann man auf bereits vordefinierte Supply-Chain-Netzwerke bestehend aus Fertigungslinien für die Bereiche Produktion, Endmontage und Distribution zurückgreifen [8].

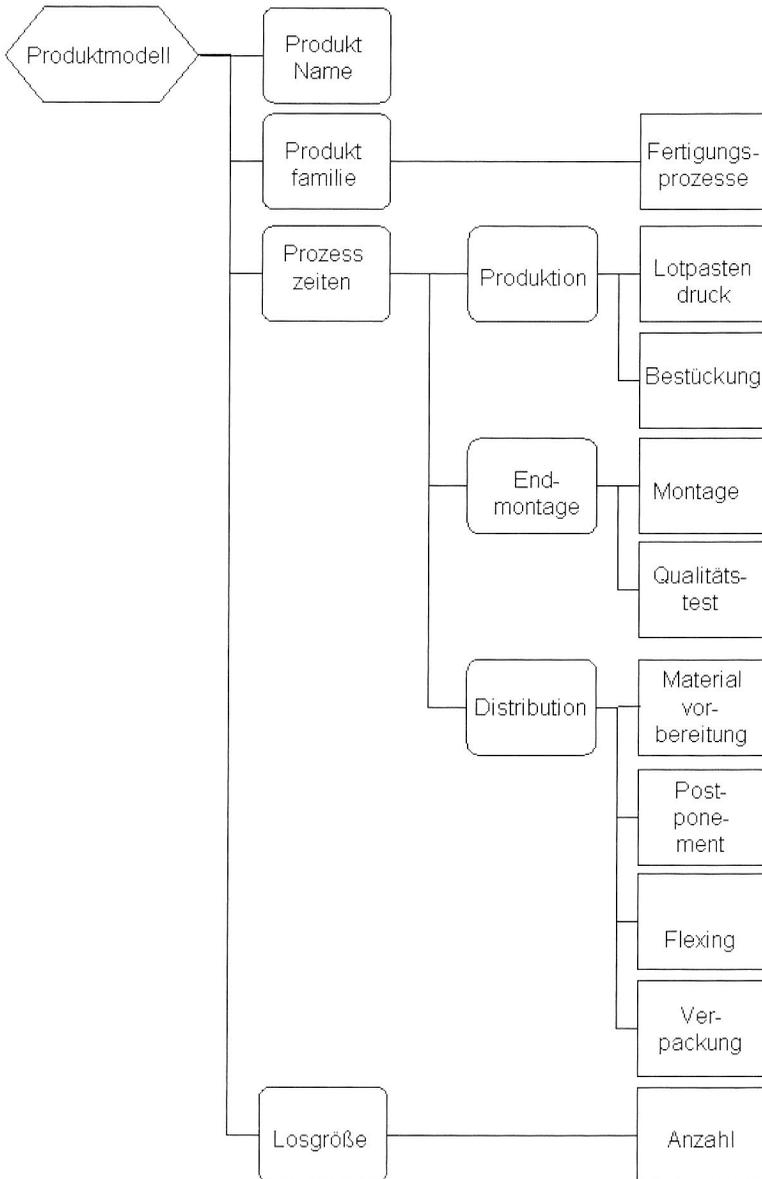


Bild 31: Aufbau und Struktur des Produktmodells

Das Produktmodell enthält, neben der Definition der vom Produkt zu durchlaufenden Fertigungslinien, noch die produktspezifischen Prozesszeiten, für jeden, durch die Zuordnung des Produktes zu einer Produktfamilie, festgelegten Fertigungsprozess. Abgeschlossen wird das Produktmodell durch die Angabe der Losgröße, diese produktabhängige Größe definiert die Anzahl der zu einem Fertigungslos zusammengefassten Produkte und kommt hauptsächlich im Bereich der Distribution zum Einsatz.

Das in Bild 31 gezeigte Produktmodell ist untergliedert in:

- **Produktname:** Name des zu fertigenden Produktes
- **Produkt Familie:** Zuordnung eines Produktes zu einer Produktfamilie. Durch die Zuordnung zu einer Produktfamilie werden alle zu durchlaufenden Prozesse sowohl in der Fabrik als auch in der Distribution definiert.
- **Prozesszeiten:** Angabe der Taktzeiten der einzelnen Prozessschritte innerhalb der zu durchlaufenden Fertigungslinie. Jeder Prozess beinhaltet dabei eine individuelle Zeit, um den entsprechenden Prozessschritt durchzuführen.
- **Losgröße:** Die Losgröße legt die Menge an Produkten fest, die gemeinsam von einem Fertigungsprozess zum nächsten transportiert werden.

5.4 Supply-Chain-Modell

Das Supply-Chain-Modell stellt das zu betrachtende Supply-Chain-System innerhalb der definierten Modellgrenzen dar. Durch das Modell lassen sich die Fertigungslinien für die Fabrik und das Distributionszentrum frei konfigurieren. So kann eine Fabrik aus einem Produktionsmodell für den Lotpastenauftrag und die SMT-Bestückung und einem Endmontagemodell für den abschließenden Zusammenbau und Qualitätstest des Mobiltelefons bestehen.

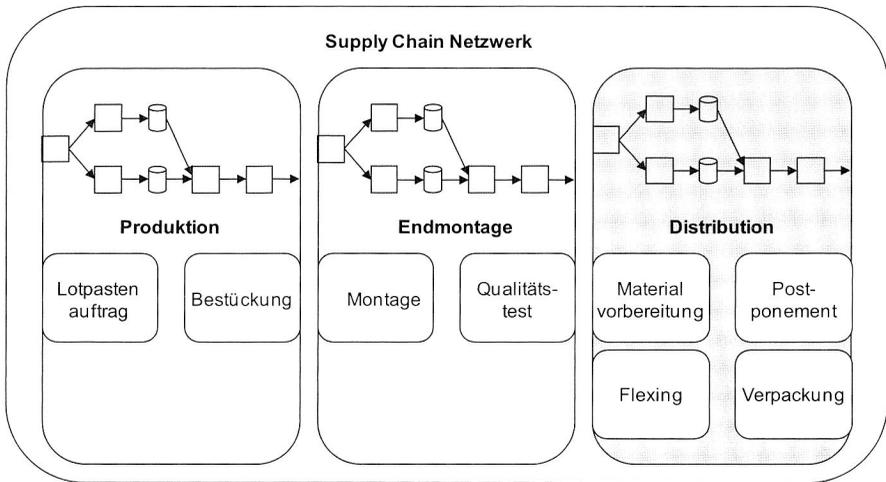


Bild 32: Übersicht des Supply-Chain-Modells

Die Daten des Supply-Chain-Modells lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Fabrik:** Name der zu definierenden Fabrik innerhalb des Supply-Chain-Netzwerkes
- **Produktion:** Definition der vorhandenen Produktionsprozesse innerhalb der Fabrik. Dies sind der Lotpastenauftrag sowie zwei verschiedene Bestückprozesse für SMT und IC-Bestückung
- **Endmontage:** Definition der vorhandenen Endmontageprozesse innerhalb der Fabrik. Diese setzen sich aus zwei unterschiedlichen Montageprozessen sowie dem Qualitäts-test zusammen
- **Distributionszentrum :** Name des zu definierenden Distributionszentrums innerhalb des Supply-Chain-Netzwerkes. Definition der vorhandenen Produktionsprozesse innerhalb des Distributionszentrums. Dies sind die Prozesse Materialvorbereitung, Postponement, Flexing und Verpackung

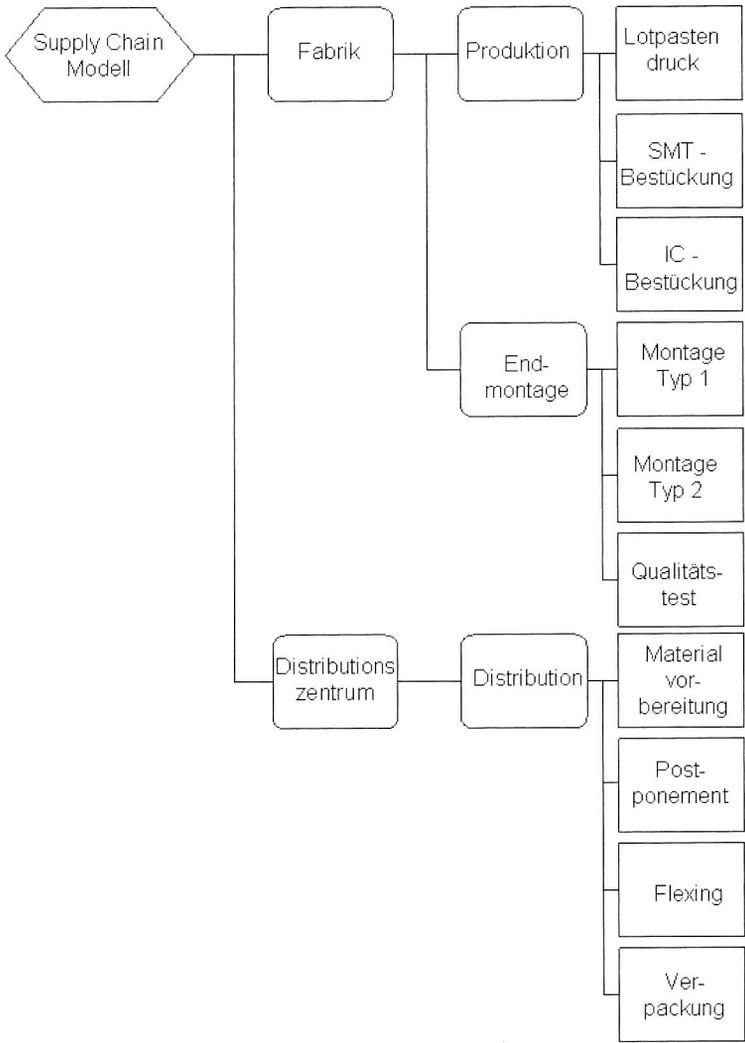


Bild 33: Aufbau und Struktur des Supply Chain Modells

Im Folgenden werden nun die einzelnen Modelle für die Produktion, Endmontage und Distribution im Einzelnen beschrieben. Das abstrahierte Modell der Produktion zeigt eine Fertigungslinie, bestehend aus einem Lotpastendrucker und zwei Arten von Bestückungsmaschinen [3] [115].

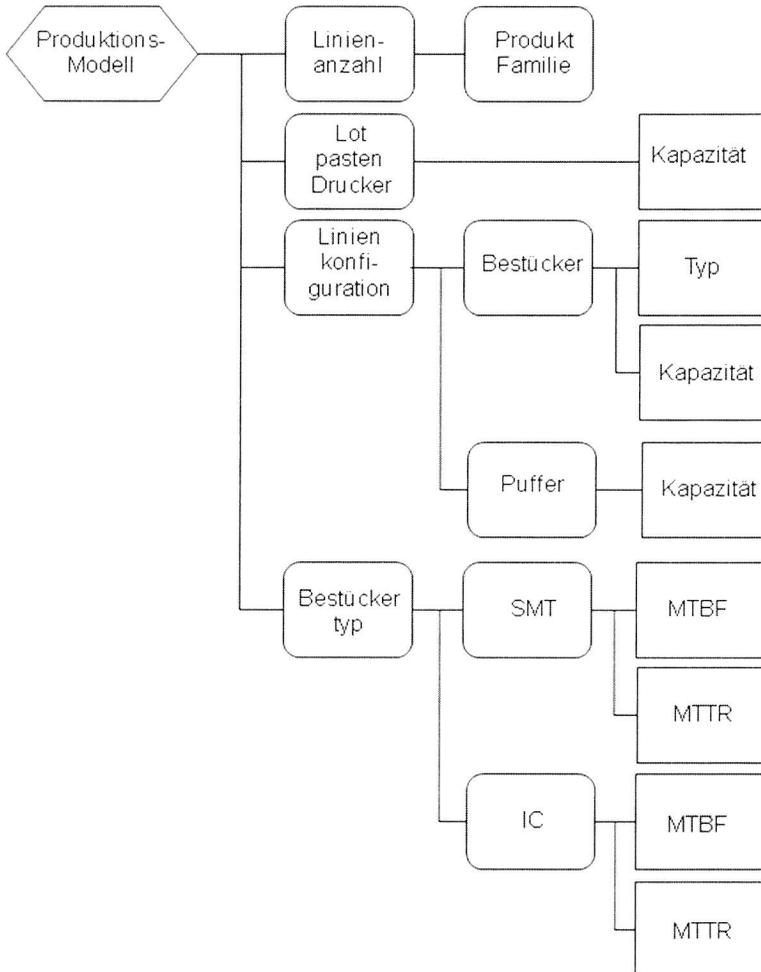


Bild 34: Aufbau und Struktur des Produktionsmodells

Die Linienkonfiguration kann individuell beschrieben werden, dies gilt sowohl für die Reihenfolge der Maschinen als auch für die Anzahl der dazwischen liegenden Puffer. Durch die Zuordnung von Produktfamilien für jede Linie wird festgelegt welche Produkte auf jeder Fertigungslinie produziert werden können. Der Lotpastendrucker ist standardmäßig die erste Maschine der Fertigungslinie und wird durch einen Puffer von den nachfolgenden Bestückern getrennt. Die darauffolgenden Bestücker können sowohl vom Typ SMT oder IC sein. Um das Störverhalten dieser Maschinen abzubilden, werden zwei weitere Parameter pro Maschinentyp definiert: MTBF (Mean Time between failure) und MTTR (Mean Time to Repair) [73].

- **Linienanzahl:** Anzahl der in der Fabrik vorhandenen Linien und deren Zuordnung zu den im Produktmodell definierten Produktfamilien.
- **Lotpastendrucker:** Definition des Lotpastendruckers hinsichtlich seiner Kapazität.
- **Linienkonfiguration:** Angabe der Reihenfolge der Bestücker in der Line nach Typ, Kapazität und Zwischenpuffer.
- **Bestückertyp :** Definition des Störverhaltens der Bestückungsmaschinen unter Zuhilfenahme der beiden Störgrößen MTBF und MTTR. MTBF: Dieser Parameter gibt die mittlere Zeitspanne zwischen zwei Maschinenausfällen wieder und ist somit ein statistischer Durchschnittswert für die störungsfreie Betriebsdauer einer Station. MTTR : Dieser Parameter gibt die Zeit an, die eine Station in einem fehlerhaften Zustand verbleibt. Sie ist die Zeitspanne vom Auftreten eines Fehlers bis zu dessen Beseitigung oder Reparatur. Während dieser Zeit kann die angedachte Aufgabe der Station nicht durchgeführt werden.

Sind im Produktionsbereich der Fabrik die Fertigungslinien hochautomatisiert, so kommen für die Produktionsabläufe im Bereich der Endmontage vornehmlich manuelle Montagetätigkeiten zum Einsatz [2].

Das abstrahierte Modell der Endmontage ähnelt dennoch dem der Produktion, da diese ebenso aus mehreren seriell angeordneten Prozessen modelliert werden kann. Äquivalent zum Produktionsmodell wurden zwei verschiedene Montageprozesse definiert, welche durch einen dritten Prozessschritt, dem Qualitätstest, abgeschlossen werden [113].

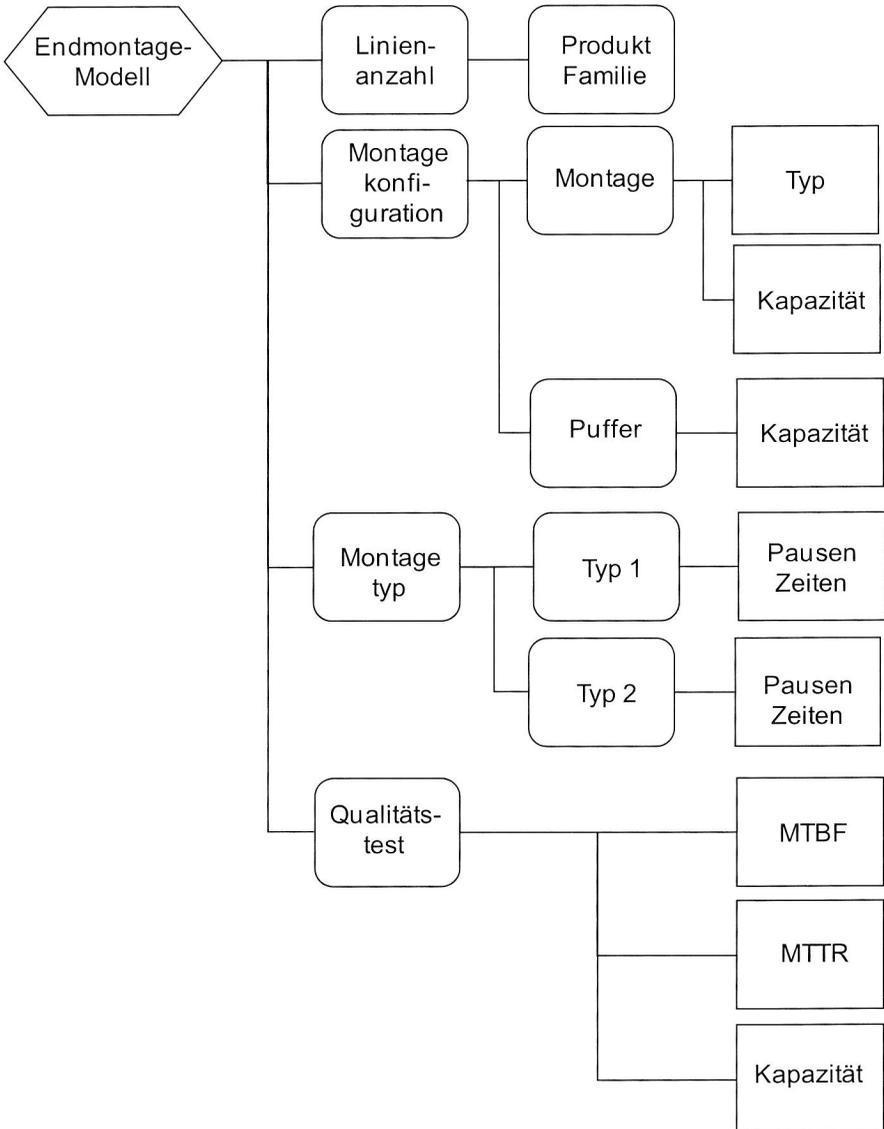


Bild 35: Endmontage Modell

Zusammenfassend setzt sich das Endmontagemodell wie folgt zusammen

- **Linienanzahl:** Anzahl der in der Fabrik vorhandenen Linien und deren Zuordnung zu den im Produktmodell definierten Produktfamilien.
- **Linienkonfiguration:** Angabe der Reihenfolge der Montageprozesse in der Line nach Typ, Kapazität und Zwischenpuffer.
- **Montagetyp:** Im Gegensatz zu der vollautomatisierten Produktion werden die Störzeiten der Montageprozesse durch die Pausenzeiten der Arbeiter festgelegt.
- **Qualitätstest:** Definition des Prozessschritts Qualitätstest, hinsichtlich seiner Kapazität und seines Störverhaltens (MTBF, MTTR)

Den Abschluss der Supply-Chain-Netzwerk-Modelle bildet das Distributionsmodell. Im Gegensatz zu den starr verketteten Fertigungslinien im Bereich Produktion und Endmontage muss das Distributionsmodell in der Lage sein, ein flexibles System, basierend auf Fertigungslosen, die mehrere hintereinander geschaltete Prozesse durchlaufen, abzubilden [117]. Der Fluss des Produktes durch die einzelnen Fertigungsprozesse wird ausschließlich durch die Zugehörigkeit des Produktes zu einer Produktfamilie bestimmt. Das Distributionsmodell besteht aus der Definition der Prozesse Materialvorbereitung, Postponement, Flexing und Verpackung, hinsichtlich ihrer Anzahl, Kapazität und Zugehörigkeit zu einer Produktfamilie.

- **Materialvorbereitung:** Anzahl, Kapazität und Produktfamilienzuordnung der vorhandenen Ressourcen.
- **Postponement:** Basierend auf die vorliegenden unterschiedlichen Verfahren (manuell, maschinenunterstützt) werden zwei Typen von Postponement-Prozessen hinsichtlich ihrer Anzahl, Kapazität und Produktfamilienzuordnung definiert.
- **Flexing :** Ähnlich wie bei Postponement-Prozessen werden für die beiden Verfahren (manuell, maschinenunterstützt) zwei Typen von Flexing-Prozessen hinsichtlich ihrer Anzahl, Kapazität und Produktfamilienzuordnung definiert
- **Verpackung:** Anzahl, Kapazität und Produktfamilienzuordnung der vorhandenen Ressourcen

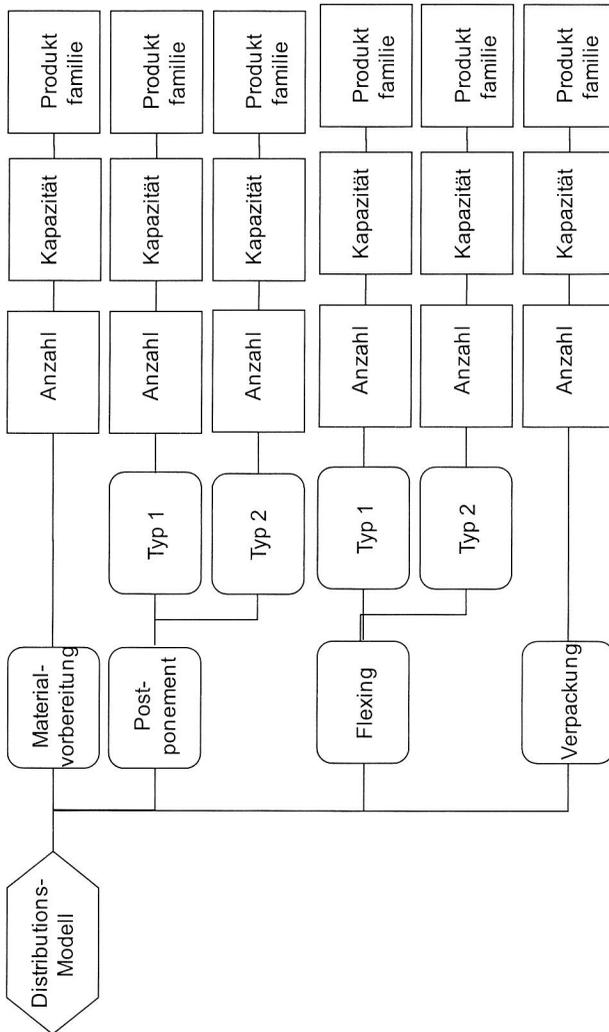


Bild 36: Distributionsmodell

Die untere Abbildung (Bild 37) zeigt eine Zusammenfassung des gesamten Modells und das Zusammenspiel der Einzelmodelle. Zudem ist die Einbindung der Optimierungsalgorithmen, die im nächsten Kapitel eingehend besprochen werden, zu erkennen.

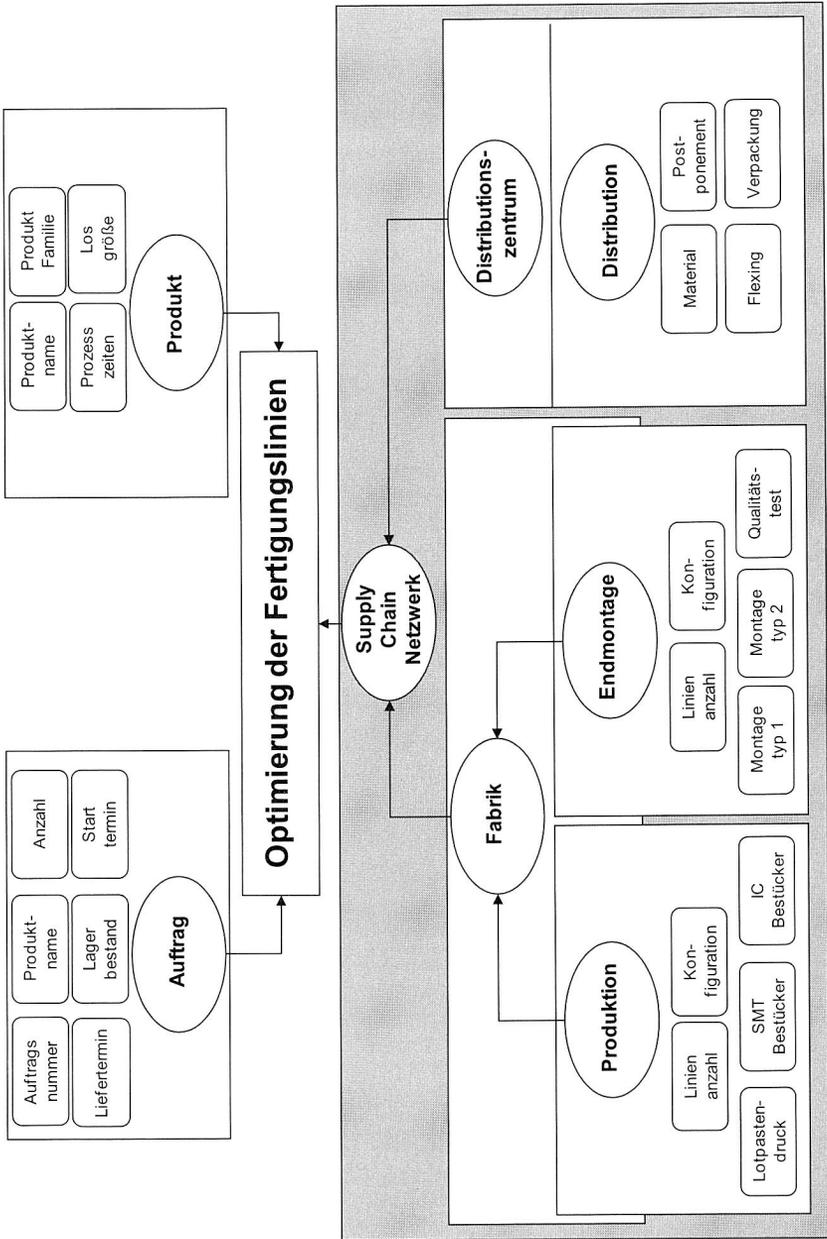


Bild 37: Datenmodell auf einem Blick

6 Konzept zur Auswahl und Ablaufoptimierung von Fertigungslinien

6.1 Fabrikoptimierung

6.1.1 Produktion

In der Elektronikproduktion kommen unterschiedliche Konfigurationen von Fertigungslinien vor. Manche Produkte durchlaufen nur einfache, halbseitige Linien, um vollständig bestückt zu werden, andere müssen so genannte doppelte Linien durchlaufen, um beidseitig mit Bauelementen bestückt zu werden.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, ist eine SMT-Linie ein typisches Beispiel für eine Fertigungslinie mit begrenzten Zwischenpuffern und einem parallelen Maschinen-Setup; sie ist in der Lage verschiedene Produkte zu fertigen, wobei jedes Produkt jede Maschine durchlaufen muss [25].

Die zwei Hauptprobleme bei der Optimierung der Planung und Steuerung der Elektronikfertigung sind die Austaktung der Fertigungslinien und die Ablaufplanung der einzelnen Aufträge [120]. Ziel der Optimierung der Austaktung ist es, die verschiedenen Bestückungsinhalte optimal auf die vorhandenen Maschinen zu verteilen [27] [91]. Dabei sind insbesondere die Restriktionen der einzelnen Bestückungsmaschinen zu berücksichtigen. Diese Thematik wurde intensiv in der Arbeit von Armin Rothhaupt, Modulares Planungssystem zur Optimierung der Elektronikfertigung, behandelt [97] [98].

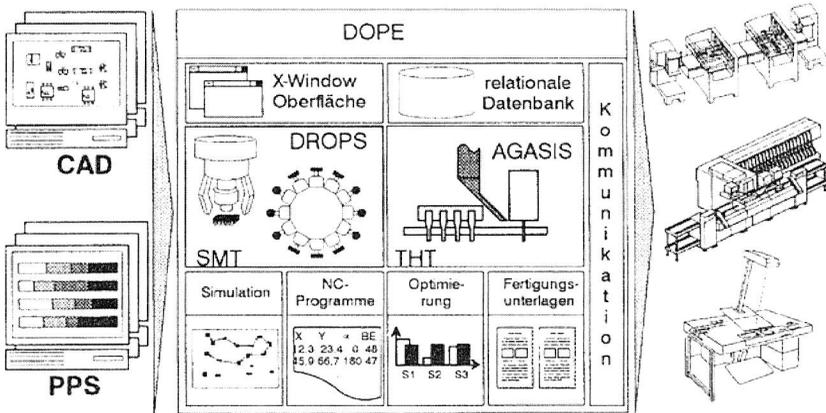


Bild 38: Modulares Planungssystem zur Optimierung der Elektronikfertigung [98]

Des Weiteren ist eine dynamische Ablaufplanung der SMT Fertigungslinien von Bedeutung, die neben der Maschinenverfügbarkeit auch die Variabilität der verschiedenen Maschinenzeiten, hervorgerufen durch Stillstandzeiten, mitberücksichtigt (Siehe Bild 39) [31].

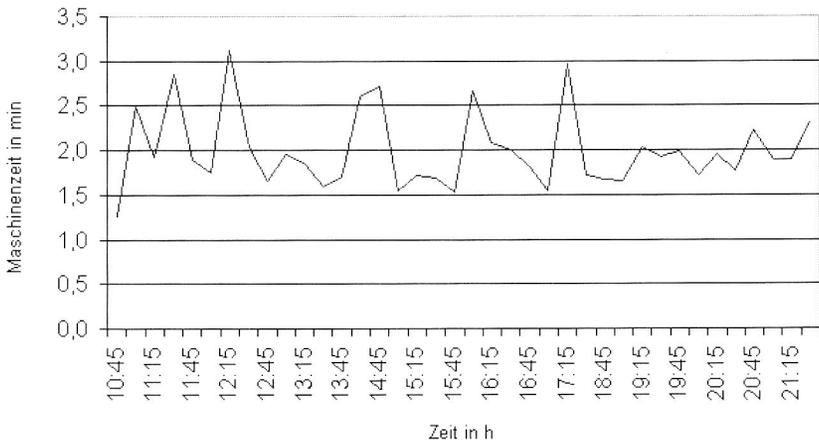


Bild 39: Durchschnittliche Maschinenzeiten einer Bestückungsmaschine

Das Optimierungsziel der Ablaufplanung ist es, die detaillierte Reihenfolge und den zeitlichen Ablauf jedes einzelnen Prozesses der Fertigungslinien so festzulegen, dass die Auslastung, der Durchsatz der Linie und die Durchlaufzeit jedes einzelnen Produktes optimiert werden [1] [4] [86].

Das Ergebnis der Austaktung und Ablaufoptimierung einer SMT Linie und insbesondere der Durchlaufzeiten einer Fertigungslinie hängt von der Linienkonfiguration, z.B. dem Ort und der Größe der Zwischenpuffer, ab. Die begrenzte Anzahl der Puffer zwischen den Maschinen resultiert in Warte- und Blockadezeiten während der Produktion [41].

Dies geschieht insbesondere wegen der unterschiedlichen Taktzeiten der einzelnen Maschinen, so gilt etwa für eine „Bottleneck“-Maschine, dass der Eingangspuffer sich während der Produktion füllt, während sich der Ausgangspuffer tendenziell immer leert. Deswegen pflanzen sich die Blockadezeiten stetig in Richtung Linienanfang fort, während sich die Wartezeiten in Richtung Linienende ausbreiten. Maschinenblockaden und Wartezeiten können auch durch Fehler im Prozess oder Schichtpausen entstehen, sich dann weiter ausbreiten und schließlich zu einer Reduzierung des Liniendurchsatzes führen [12].

Eine andere wichtige Entscheidung bezüglich des Linienlayouts, die einen Einfluss auf den Liniendurchsatz hat, ist die Anordnung der Maschinen in der Linie, so kann man eine „Push“-oder „Pull“-artige Konfiguration erzeugen, indem man die langsamste Maschine zu Beginn oder am Ende der Linie positioniert. Um die Leistung einer SMT Linie bezüglich des Durchsatzes und des Durchlaufzeit zu maximieren, ist es notwendig, verschiedene Linienlayouts zu evaluieren [19] [84].

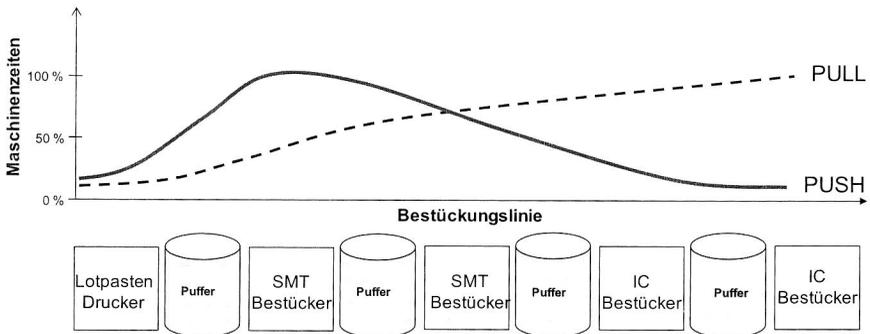


Bild 40: „Push“-oder „Pull“-artige Linienkonfiguration

6.1.2 Ablaufoptimierung in der Produktion

Die optimale Reihenfolge für die Bestückung von SMT-Linien kann für kleinere Optimierungsprobleme durch die Verwendung von „Integer-Programming“ ermittelt werden. [35] [101] Dabei können kommerziell verfügbare Softwarelösungen verwendet werden. Die Komplexität zur Lösung der Reihenfolgenoptimierung bei SMT-Linien ist vor allem auf folgende Faktoren zurückzuführen [22] [42] [49]:

- begrenzte Zwischenpuffer, welche zu Blockadezeiten oder Wartezeiten der einzelnen Maschinen führen und damit den Durchsatz der Linien erniedrigen;
- parallele Maschinenabläufe, welche zusätzliche Zuweisungsentscheidungen benötigen;
- Bestückung verschiedener Produkte auf einer Linie;
- Hochvolumige Produktion, welche die Größe des Optimierungsproblems vergrößert;
- begrenzte Maschinenverfügbarkeit aufgrund von Maschinenstörungen und Pausen;

Die grundsätzlichen Entscheidungen die bei einer Ablaufoptimierung zu treffen sind, lauten:

- Sequenzierung der Produkte
- Zuteilung der Produkte auf parallele Prozesse
- Berechnung der kompletten Durchlaufzeit sowie
- der Fertigstellungszeitpunkt bei jeder Maschine

Nachfolgend wird nun eine Vorgehensweise erläutert, mit der Fertigungsablauf verschiedener SMT-Fertigungslinien optimiert werden kann. Damit ist es möglich, optimale Lösungen der Ablaufoptimierung für praktische Probleme in der Fertigung zu finden, wo nur geringe Computerleistungen zur Verfügung stehen [111] [114].

Die Vorgehensweise hat eine hierarchische Struktur, basierend auf der Aufteilung des Optimierungsproblems in zwei Phasen: Sequenzierung und Zuteilung/Zeitberechnung.

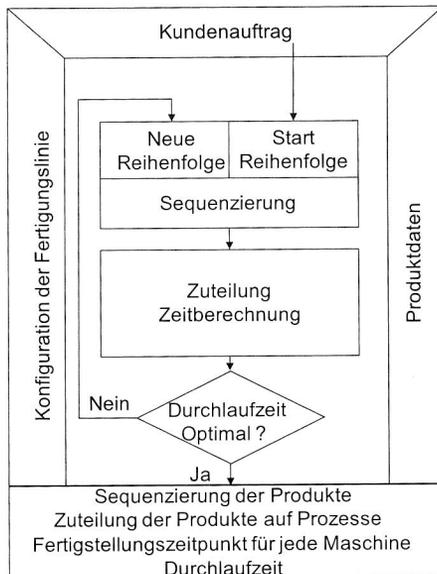


Bild 41: Phasen der Ablaufoptimierung in der Produktion

Die Aufgabe der Sequenzierungsphase ist, die Reihenfolge aller Produkte für jeden Prozess und jede Maschine festzulegen, während die Zuteilung/Zeitberechnung alle Produkte den Prozessen zuordnet und dabei die notwendigen Prozesszeiten berechnet. Beide Unterprobleme werden nacheinander gelöst. In jeder Iteration wählt die Sequenzierungsroutine eine neue mögliche Eingangsreihenfolge aus, die berechnet werden soll. Daraufhin berechnet die Zuteilung/Zeitberechnungsroutine die genaue Reihenfolge für alle Prozesse und die daraus resultierende Durchlaufzeit.

Die beschriebene Methode sucht über viele verschiedene Reihenfolgen, indem sie kleine Veränderungen an der Startreihenfolge vornimmt. Dabei geht der Suchalgorithmus folgendermaßen vor: Die Prozedur startet mit einer Anfangsreihenfolge und sucht nun in der Nachbarschaft, gekennzeichnet durch Reihenfolgen mit kleinen Veränderungen, nach Reihenfolgen, welche eine kürzere Durchlaufzeit haben. Um die Durchlaufzeit für jede neue Reihenfolge berechnen zu können, ist es notwendig unter Zuhilfenahme der Zuteilungsprozedur die Verteilung auf die Maschinen zu ermitteln. Ist eine kürzere Durchlaufzeit gefunden, beginnt der Algorithmus erneut nach leicht veränderten Reihenfolgen zu suchen. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis die vordefinierten Terminierungsbedingungen erfüllt sind.

Die Aufgabe der Zuteilung/Zeitberechnungsphase ist es, jedes Produkt pro Prozess genau einer Maschine zuzuweisen und daraufhin die gesamte Durchlaufzeit zu berechnen. Die vorgestellte Methode geht davon aus, dass die Reihenfolge für jeden Prozess identisch mit der Eingangsreihenfolge ist. Die Zeitberechnung wird sukzessive für alle Produkte gemäß der Eingangsreihenfolge durchgeführt. Bei jeder Iteration werden alle Prozess- und Maschinenzeiten für das neue Produkt berechnet und den bereits berechneten Prozess- und Maschinenzeiten zugefügt. Dadurch entsteht für jedes durchlaufene Produkt ein neuer, aufdatierter Zeitplan, der alle bereits die Fertigungslinie durchlaufenen Produkte mit beinhaltet.

Das vorgestellte Konzept für die Ablaufoptimierung ist eine flexible Methode, die leicht an verschiedene Randbedingungen der Fertigung angepasst werden kann. So kann die Methode zum Beispiel verwendet werden zur:

- Los-Reihenfolgenoptimierung

Um die Reihenfolge von Produktlose, anstatt einzelner Produkte zu optimieren, ist es allerdings notwendig die Produktreihenfolge zweier ganzer Lose gemeinsam zu verändern und nicht nur die Reihenfolge zweier einzelner Produkte. Dies führt zu einer Erhöhung der Rechenleistung, weshalb für geringe Rechenleistungen die Anzahl der Lose weniger als 10 Lose betragen sollte.

- Umgehen eines Prozesses

Um Produkte abbilden zu können, welche einen Prozess in der Fertigungslinie umgehen, ist eine Neudefinition der Fertigungslinie für dieses Produkt notwendig.

- Stillstandzeiten

Stillstandzeiten werden als vordefinierte virtuelle Produkte angesehen, welche bereits zu bestimmten Zeiten und Maschinen zugeteilt sind. Deswegen durchlaufen diese Produkte nicht die Zuteilungs-/Zeitberechnungsroutine. Das Problem der Stillstandzeiten wird dadurch gelöst, dass das Reihenfolgeproblem erst ohne Störungen vollständig gelöst wird und danach die Störungen zu den geplanten Zeiten hinzuaddiert werden. Dazu wird die Verfügbarkeit der Maschine durch die „Produktion“ des virtuellen Produktes verändert, so dass sich alle nachfolgenden Zeitpunkte für alle Produkte und Prozesse entsprechend verschieben.

6.2 Distributionszentrum

6.2.1 Distribution

Ablaufoptimierung ist nicht nur in der Fertigung sondern auch in der Distribution von hoher Bedeutung, insbesondere in einem Distributionszentrum mit einer nachfrageorientierten Fertigungsumgebung.

Eines der Hauptziele der Optimierung ist hierbei die Maximierung des Kunden Services Levels, also die Maximierung aller Auftragsabwicklungen vor oder zum vereinbarten Auslieferungstermin. Eine typische Maßeinheit ist hierbei auch die Minimierung der verspäteten Kundenlieferungen [13].

Gleichzeitig erfordert der immer stärker werdende Konkurrenzkampf zwischen den Herstellern fallende Stückkosten durch bessere Ausnutzung von Ressourcen von Mensch und Maschine und durch Minimierung der Lagerhaltung. Sowohl das Eingangslager der Lieferanten als auch das Ausgangslager mit den Kundenbestellungen sollen zudem noch minimiert werden. Das Ziel einer optimierten Distribution sollte also die Minimierung der Anzahl der verspäteten Kundenaufträge bei gleichzeitiger Reduzierung des für den Auslieferungszeitraums notwendigen Materials im Eingangslagers sein. Gleichzeitig erreicht man durch eine Minimierung der zu früh fertiggestellten Aufträge eine Reduzierung des Ausgangslagers.

Im Gegensatz zu den fest verketteten Fertigungslinien in der Produktion findet man in der Distribution keine reinen Linienstrukturen vor, sondern vielmehr ein Netzwerk bestehend aus den fünf Prozessschritten Materialvorbereitung, Postponement, Flexing und Verpackung. Zudem entsteht durch die Vielzahl an unterschiedlichen Kundenaufträgen und deren Abwicklung in Form von Fertigungslosen, ein verglichen zu den Fertigungslinien in der Produktion unterschiedliches Optimierungsproblem. Des Weitern soll bei diesem Konzept stärker auf die Nachfrageorientierung und deren Auswirkung auf die Fertigungssteuerung eingegangen werden.

In Folgendem Kapitel wird nun ein Konzept vorgestellt, welches optimierte Lösungen für monatliche Planungsaufgaben in der Distribution, gepaart mit einer täglichen Ablaufoptimierung, erstellt.

6.2.2 Ablaufoptimierung in der Distribution

Das Bild 42 zeigt ein hierarchisches Konzept für eine Fertigungsoptimierung in einer Make-to-Order Umgebung. Um die Planung des Auslieferungstermins zu optimieren, werden zunächst in der monatlichen Planung die Kundenaufträge auf die einzelnen Tage verteilt. Danach werden die täglichen Aufgaben, wie das Aufteilen von Aufträgen in Losgrößen, optimiert. Schließlich werden die erzeugten Lose auf die verfügbaren Maschinen verteilt und der detaillierte Ablauf für jede Maschine so festgelegt, dass der Durchsatz der Fertigungslinien erhöht bzw. die Durchlaufzeit erniedrigt wird.

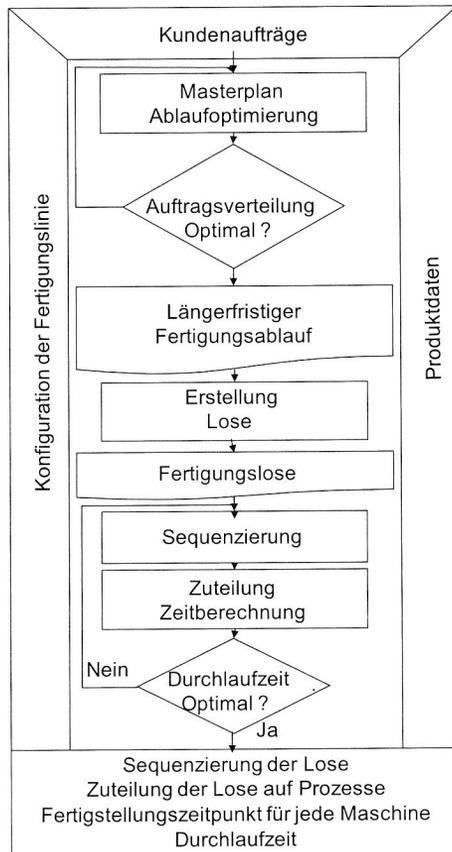


Bild 42: Hierarchisches Konzept in der Distribution

Bei der Erstellung des langfristigen Fertigungsablaufes wird eine vorgegebene Liste von Kundenaufträgen über verschiedene Produkte und unterschiedliche Liefertermine so auf die vorhandenen Maschinen verteilt, dass alle Aufträge innerhalb der langfristigen Planungsperiode abgewickelt werden können. Dabei wird die Nachfrage nach der benötigten Kapazität mit der verfügbaren Kapazität für jeden Prozess und jeden Kundenauftrag mit gleichem Auslieferungstermin in Verbindung gebracht. Dies führt dazu, dass die einzelnen Kundenaufträge bestimmten Tagen zugeordnet und die notwendigen Maschinen ausgewählt werden. Dabei ist die Optimierungsaufgabe des langfristigen Fertigungsplanes die Minimierung der Anzahl der verspäteten und der zu früh fertiggestellten Kundenaufträge. Dieses Vorgehen führt u.a. auch dazu, dass das Ausgangslager und Eingangslager klein gehalten und damit die Lagerhaltungskosten gering gehalten werden können. Des Weiteren führt dieser Ansatz zu einer besseren Maschinenauslastung und niedrigeren Fertigungskosten, da der Abgleich der Maschinenzuteilung über einen gesamten Monat optimiert wird.

Bei dem Konzept für die längerfristige Planung gelten die folgenden Randbedingungen für die Auftragszuteilung der Kundenaufträge auf die einzelnen Tage und Maschinen:

- Jeder Kundenauftrag wird genau einem Tag zugeordnet.
- Für jeden Tag und jeden Prozessschritt ist die durch die Kundenaufträge zugeordnete Kapazität nicht größer als die Kapazität der ausgewählten Maschinen.
- Die Anzahl der ausgewählten Maschinen ist nicht größer als die maximale Anzahl der zur Verfügung stehenden Maschinen.
- Die Anzahl der ausgewählten Maschinen pro Prozessschritt ist nicht größer als die maximale Anzahl der zugeordneten Kundenaufträge.
- Für jeden Tag kann die Anzahl der vor ihren Auslieferungstermin produzierten Produkte und der auf Auslieferung wartenden Produkte nicht die Kapazität des Ausgangslagers übersteigen.

Die Aufgabe der kurzzeitigen Ablaufoptimierung ist es nun, für jeden Tag, aufgrund der zugeordneten Fertigungslose und der dazugehörigen Maschinenzuteilungen, die Lose auf entsprechende Maschinen zu verteilen und einen detaillierten Zeitplan zu erstellen. Dabei ist es das Ziel der kurzzeitigen Ablaufoptimierung ist es die Anzahl der benötigten Maschinen und die Durchlaufzeit zu minimieren.

Das Konzept für die kurzfristige Ablaufoptimierung basiert auf einem zweistufigen Ansatz. Die Kundenaufträge, die einem bestimmten Tag zugeordnet wurden, werden in Fertigungslose aufgeteilt und danach einzeln weiterverarbeitet. Als erstes wird das Problem der Maschinenzuteilung gelöst, um die Fertigungslose bestmöglich auf die vorhandenen Maschinen zu verteilen. Die Aufgabe der Maschinenzuteilung innerhalb der Ablaufoptimierung ist es, die Zuteilung der Fertigungslose zu den Maschinen so zu ermitteln, dass zum einen die Anzahl der benötigten Maschinen und zum anderen die Durchlaufzeit minimiert wird. Dabei stehen, wie in Kapitel 5 beschrieben, für jeden Prozessschritt verschiedene parallele Maschinen zur Verfügung. Ebenfalls besteht die Möglich-

keit, dass je nach Zuordnung des Produktes zu einer entsprechenden Produktfamilie jedes Los verschiedene Prozesse durchlaufen kann, wobei einzelne Prozesse ausgelassen werden können. Alle Produkte eines Fertigungsloses werden nacheinander in der gleichen Maschine verarbeitet und miteinander zum nächsten Prozess weitertransportiert. Maschinenrüstzeiten zwischen den einzelnen Produkten werden nicht berücksichtigt und die Größe des Produktionsloses hängt ausschließlich von der Art des Produkts ab [102].

Danach wird die beste Reihenfolge für die Produktion der Lose ermittelt.

Für den ersten Schritt der Maschinenzuteilung gelten dabei folgende Randbedingungen bei der Produktzuteilung:

- Für jeden Prozess wird jedes Los genau einer Maschine zugeteilt
- Jede ausgewählte Maschine erhält mindestens ein Los zugeteilt
- Die gesamte Durchlaufzeit für alle Lose auf einer Maschine beträgt nicht mehr als einen Tag.

Im zweiten Schritt wird unter Berücksichtigung der nachstehenden Randbedingungen die Reihenfolge der Lose festgelegt:

- Es kann nicht mehr als ein Los, das einer Maschine zugeteilt wurde, gleichzeitig bearbeitet werden.
- Jedes Los muss alle ihm zugeteilten Prozesse durchlaufen
- Jedes Los umgeht diejenigen Prozesse, denen es nicht zugeteilt ist
- Jedes Los muss so fertiggestellt werden, dass noch alle Prozesse rechtzeitig durchlaufen werden können
- Die maximale Durchlaufzeit des letzten Prozesses für alle Lose legt die minimale Durchlaufzeit für den gesamten Tag fest.
- Die gesamte Durchlaufzeit ist nicht geringer als der maximale Arbeitsaufwand einer Maschine und darf auch nicht mehr als einen Tag betragen.

Der vorgeschlagene Lösungsweg ist insbesondere für Fertigungsabläufe mit Prozessen von hoher Kapazität, wie sie in der Distribution vorkommen, geeignet. Allerdings können auch andere Fertigungsprobleme aus dem Bereich Make-to-Order damit gelöst werden.

7 Güte der Lösungen

7.1 Stückzahlgetriebene Produktion

Im Folgenden soll nun das in Kapitel 6 beschriebene Konzept zur Optimierung von Fertigungslinien auf eine Problemstellung in der Elektronikproduktion angewendet werden. In einer stückzahlgetriebenen Fertigung ist der Durchsatz einer Linie ein typischer Indikator für die Leistung einer SMT-Fertigungslinie (siehe Kapitel 4). Mit Hilfe des Produktionsmodells aus Kapitel 5 und des entwickelten Konzeptes der Ablaufoptimierung soll nun die Auswirkung der wichtigsten Parameter auf den Durchsatz einer Fertigungslinie näher untersucht werden, um dadurch eine optimale Linienkonfiguration zu finden [85].

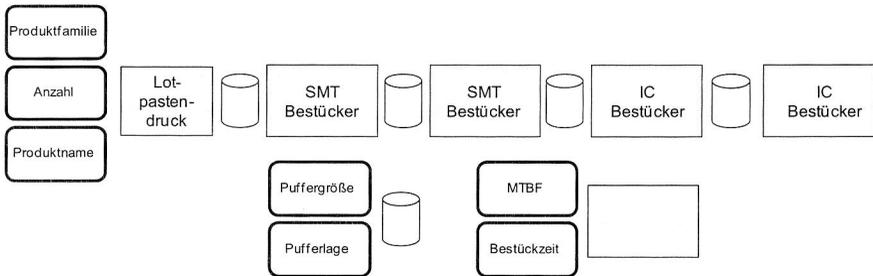


Bild 43: Modell einer Fertigungslinie in der Produktion

Bei der Konfiguration der zu untersuchenden Fertigungslinie soll hierbei von einer einseitigen Linie mit vier Bestückungsmaschinen, wie in Bild 43 dargestellt, ausgegangen werden. Auf dieser Linie soll nun der Einfluss von folgenden Modellparametern auf den Liniendurchsatz näher untersucht werden [90]. Dabei wird für jeden der Modellparameter ein Höchst- und ein Tiefstwert angesetzt und anschließend der optimale Liniendurchsatz für alle Szenario Möglichkeiten berechnet.

- Anzahl: Die Anzahl von Produkten, die produziert werden sollen. Der Höchstwert wird mit 70% des maximalen Durchsatzes angenommen und der Niedrigstwert mit 20%.
- Produktfamilien: Gibt die Ähnlichkeit der Produktfamilien in Bezug auf ihre Bestückzeiten an, daraus lässt sich eine Aussage über die Ausstattung der Linie zwischen den einzelnen Produktfamilien machen. Die Variabilität der Bestückzeiten zwischen den einzelnen Produktfamilien wird mit Hilfe des Variantenkoeffizient (CV) der Bestückzeiten festgelegt. (Variantenkoeffizient =0 vs. Variantenkoeffizient =0.7).
- Produktname: Die Anzahl der verschiedenen Produkte, die auf der Fertigungslinie produziert werden sollen. Hier wird von einem Höchstwert mit sechs verschiedenen Produkten ausgegangen und einem geringsten Wert mit einem Produkt.

- Bestückzeiten: Austaktung zwischen den einzelnen Bestückmaschinen: Gibt den Taktzeitunterschied zwischen den einzelnen Maschinen an. Auch hier wird wiederum die Variabilität der Bestückzeiten als Faktor benutzt. (Variantenkoeffizient =0 vs. Variantenkoeffizient =0.7).
- Puffergröße: Anzahl der Produkte, die ein Zwischenpuffer maximal aufnehmen kann. (vier Pufferpositionen vs. einer verfügbaren Pufferposition)
- Pufferlage: Lage der Puffer zwischen den einzelnen Maschinen oder nur an der "Bottleneck"-Maschine
- MTBF: Die Zeit, die eine Maschine läuft, bis es zu einem Maschinenstillstand kommt

Für jedes der möglichen Szenarien wird die nun eine optimale Fertigungsreihenfolge und die dazugehörige minimale Durchlaufzeit berechnet. Anschließend wird der Effekt jeder Parameterkombination auf die Durchlaufzeit ermittelt. Das Ergebnis zeigt, dass, wie erwartet, die zu produzierende Stückzahl den größten Einfluss auf den Liniendurchsatz hat, gefolgt von der Linienaustattung und der Lage und Größe der Zwischenpuffer.

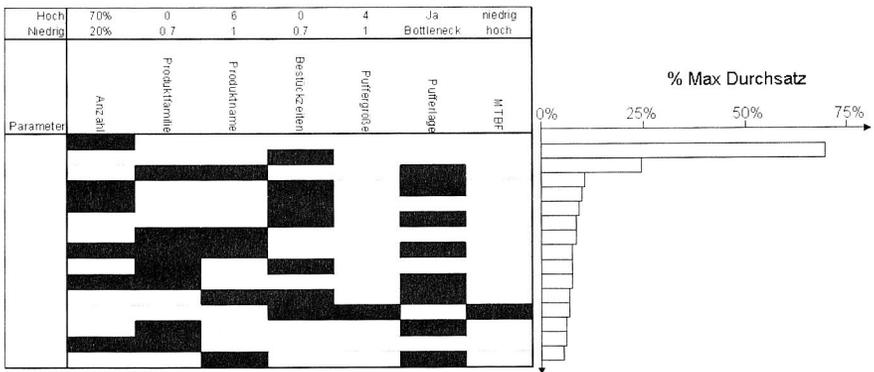


Bild 44: Einfluss der Modellparameter auf den Liniendurchsatz

Das Ergebnis bestätigt die Aussage, dass neben einer optimalen Austattung der Fertigungslinie auch die Lage und Größe der Zwischenpuffer in einer fest verketteten Linie von Bedeutung für einen hohen Durchsatz sind. Für letzteren Punkt haben die Modellläufe mit den verschiedenen Parameterkombinationen auch gezeigt, dass der Einfluss von Maschinenstörungen auf die Durchlaufzeiten nicht nur von der Lage und Größe der Zwischenpuffer abhängt, sondern auch von ihrer Position innerhalb der Linie, insbesondere zwischen der gestörten Maschine und der "Bottleneck"-Maschine der Fertigungslinie. Genügend Pufferkapazität vor und nach einer störanfälligen Maschine kann den Anstieg der Durchlaufzeit einer Linie verringern helfen.

Die erzielten Resultate bezüglich des Liniendurchsatzes bestätigen die Grundlagen der Supply-Chain-Optimierung und können daher als Beweis für die Richtigkeit des Modells und des Optimierungskonzeptes gedeutet werden.

Unter der Voraussetzung dass die Linie ausgetaktet ist, das heißt die Taktzeiten aller Maschinen einer Linie optimal ausbalanciert sind, lässt sich deswegen zusammenfassend sagen, dass ein größerer Durchsatz in einer Fertigungslinie in der Elektronikproduktion auch durch zusätzliche Pufferpositionen erreicht werden kann.

7.2 Ablaufplanung in der Distribution

Das in Kapitel 5 erstellte Datenmodell und das Konzept der Ablaufoptimierung für das Distributionszentrum wird jetzt auf eine typische Konfiguration aus dem Bereich des Mobilfunks übertragen, um seine Anwendbarkeit auf das Problem zu beweisen. Dabei wird das Distributionszentrum als ein Fertigungsnetzwerk mit vordefinierten Prozessen modelliert. In diesem ersten Schritt sollen insbesondere die Optimierungsphasen der Sequenzierung und der Maschinenzuteilung innerhalb der Ablaufoptimierung eines Distributionszentrums auf ihre Anwendbarkeit überprüft werden.

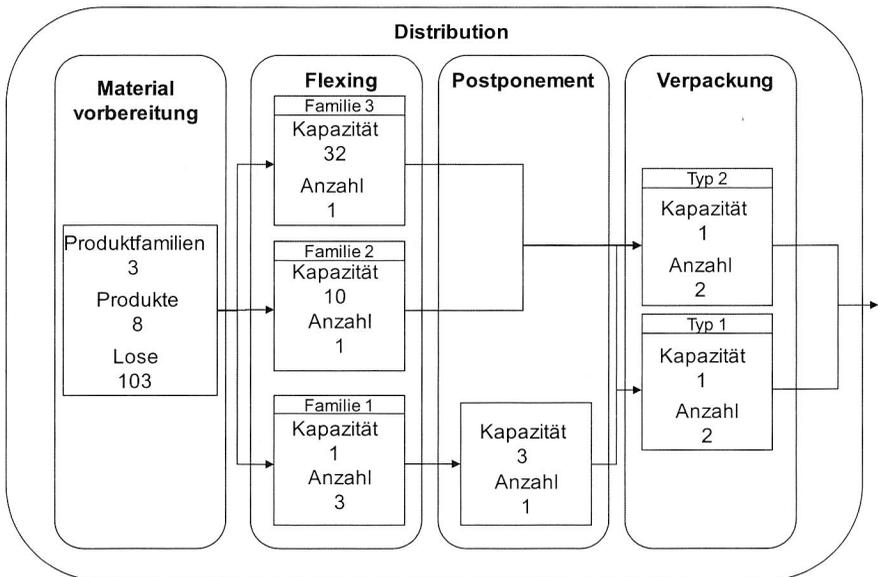


Bild 45: Modellierung des Distributionszentrums mit verschiedenen Abläufen

Das modellierte Distributionszentrum besteht aus den drei Prozessschritten Flexing, Postponement und Verpackung. Durch die Materialvorbereitung werden die für den zu planenden Fertigungstag notwendigen Produkte bereitgestellt. In dem zu untersuchenden Beispiel werden acht verschiedene Produkte benötigt, die drei unterschiedlichen Produktfamilien zugeordnet werden können. Dabei ist jede Maschine innerhalb des Flexing-Prozesses in der Lage, genau eine Produktgruppe zu verarbeiten. Die zu optimierenden Kundenaufträge werden vorab in 103 Fertigungslose aufgeteilt und jedes dieser Lose wird einzeln innerhalb eines Tages durch das Distributionszentrum geschleust.

Dabei werden unterschiedliche Taktzeiten für die einzelnen Prozesse und Produkte angenommen (Flexing 4-10 min. pro Produkt, Postponement $\frac{1}{2}$ - 1 min pro Produkt, Verpackung 20-60 min. pro Los). Die Optimierungsaufgabe besteht nun darin die Anzahl der notwendigen Maschinen für die Tagesproduktion und gleichzeitig die Durchlaufzeit zu minimieren.

Das Ergebnis der Reihenfolgenoptimierung für das Szenario ist dem unterem Gantt-Chart zu entnehmen. Die X-Achse stellt dabei die Zeitskala für die verfügbare Arbeitszeit an einem Tag dar. In der Y-Achse sind die verschiedenen Prozesse, die ein Produkt durchlaufen muss, von unten nach oben aufgetragen. Zuerst der Flexing-Prozess, danach der Postponement-Prozess und abschließend der Verpackungsprozess.

Unter Zuhilfenahme des Distributionsmodells und des Optimierungskonzeptes für Fertigungslinien in der Distribution wurde ein optimaler Ablaufplan aller an diesem Tag zu verarbeitenden Kundenaufträge erstellt. Die unterschiedlichen Farben stellen hierbei die verschiedenen Kundenaufträge dar, und die einzelnen Boxen stehen für die verschiedenen zu verarbeitenden Fertigungslose. Dabei wurde auch die notwendige Gesamtzahl der Maschinen, unter Berücksichtigung der maximal verfügbaren Arbeitszeit, minimiert. Dies wird durch die Verwendung von nur zwei statt der verfügbaren vier Verpackungslinien deutlich.

Das erzielte Ergebnis zeigt die Anwendbarkeit der entwickelten Lösung auf ein Distributionszentrum innerhalb der Supply Chain für Mobiltelefone. Durch die beschriebene Modellierung des Distributionszentrums ist eine gezielte Anwendung des Optimierungsalgorithmus möglich, was im Weiteren (Kapitel 8) durch die Anwendung auf ein reales Beispiel gezeigt wird.

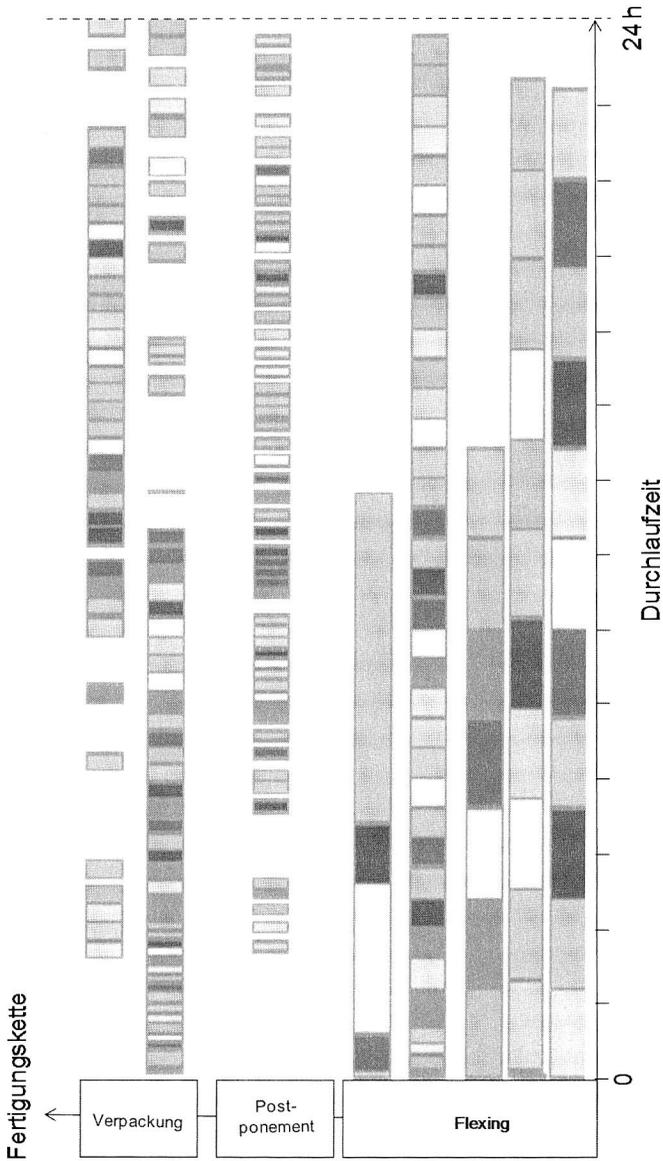


Bild 46: Ergebnis der Sequenzierung und Maschinenzuteilung

7.3 Nachfrageorientierte Distribution

Bedingt durch die relativ kurze Produktlebensdauer von 12-18 Monaten für ein Mobiltelefon und der Nachfrageschwankung in diesen Zeitraum kommt es zu sehr kurzen Zeitspannen zwischen dem Eingang der Bestellung und der gewünschten Auslieferung. In Abbildung 47 ist die Nachfrageschwankung in Abhängigkeit von einer durchschnittlichen Produktlebensdauer (12 Monate) aufgetragen. Deutlich ist eine Einführungsphase mit einem abschließenden steilen Anstieg der Nachfrage zu erkennen. Nach dem Durchlaufen einer Sättigungsphase kommt es zu einem Rückgang der Nachfrage. Diese wird durch einen kurzen Nachfrageschub, ausgelöst durch einen Preisrückgang des Produktes, unterbrochen. Nach ca. 12-18 Monaten wird das Produkt meist durch ein Nachfolgemodell ersetzt.

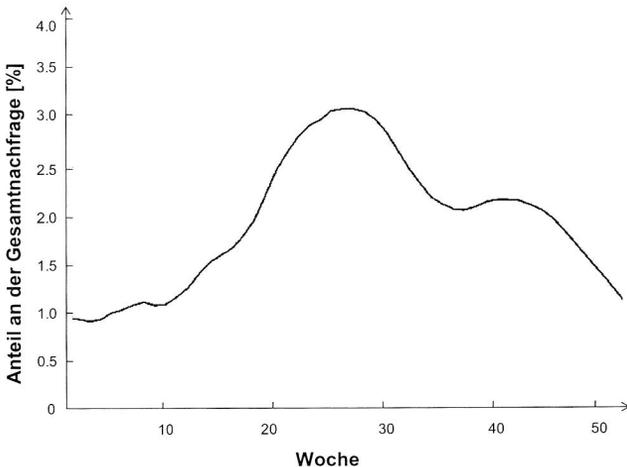


Bild 47: Lebenszyklus eines Mobiltelefons [64]

Um diese Nachfrageschwankungen besser in den Griff zu bekommen und die Qualität der Distribution zu steigern, ist es für den Hersteller von Mobiltelefonen notwendig, eine enge Partnerschaft mit den Mobilfunkanbietern einzugehen. In diesem Abschnitt wird nun die Anwendung des Modells und des Konzept der Ablaufoptimierung für eine nachfrageorientierte Supply Chain illustriert. Dabei wird wieder von einem typischen Distributionszentrum in einer Telekommunikation Supply-Chain ausgegangen und die kurzfristige Ablaufplanung durch eine längerfristige Optimierung ergänzt.

Das Distributionszentrum kann in diesem Fall als Netzwerk mit vier Prozessschritten und einem Ausgangslager modelliert werden. Wie in Bild 48 beschrieben sind dies die vier Prozessschritte Materialvorbereitung (10 Maschinen), Postponement (10 Maschinen), Flexing (20 Maschinen je Maschinentyp) und der abschließende Prozess des Verpackens (10 Linien). Den Abschluss bildet ein Ausgangslager mit begrenzter Aufnahmekapazität. Als Planungshorizont wird in dem zu Grunde gelegten Beispiel ein kompletter Planungsmonat (30 Tage) angenommen.

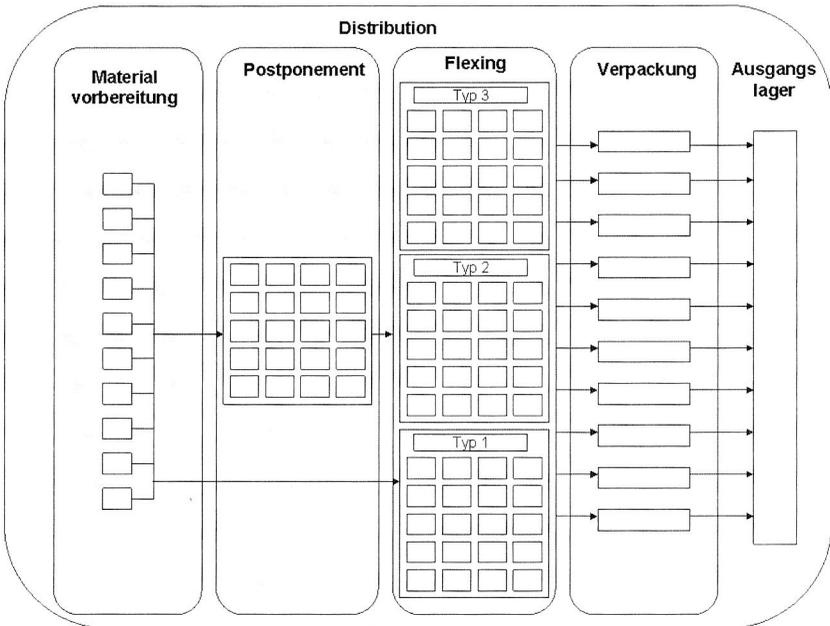


Bild 48: Model des Distributionszentrums

Das zu lösende Aufgabe besteht aus zehn Produkten, die sich in drei verschiedene Produktgruppen zusammenfassen lassen und die für verschiedene Kunden gefertigt werden. Die Kundenaufträge sollen alle Prozesse durchlaufen, bevor die Auslieferung zum Kunden erfolgen kann. Allerdings benötigen einige Kundenaufträge keine spezielle Kundenanpassung, so dass der Prozess des Postponements für diese Produkte entfällt.

Eine Tagesproduktion besteht aus verschiedenen Losen mit unterschiedlichen Kundenaufträgen. Jeder Kundenauftrag soll innerhalb eines Tages erfüllt werden und wird in verschiedene Lose mit fest vorgegebenen Größen aufgeteilt. Die Taktzeiten der einzelnen Maschinen ergeben sich aus dem Produkt selbst sowie der Kapazität der einzelnen Maschinen.

Um das erstellte Modell und das in Kapitel 6 beschriebene Optimierungskonzept für einen längerfristigen Ablaufplan zu überprüfen, wird das Modell des Distributionszentrums nun verschiedenen Nachfrageszenarien unterworfen

1. Ansteigende Nachfrage mit einem Anstieg am Ende Monats.
2. Abfallende Nachfrage mit einem Abfall am Ende Monats.
3. Unimodale Nachfrage mit einer Spitze in der Mitte und freien Kapazitäten zu Beginn und am Ende des Monats.
4. Bimodale Nachfrage mit Spitzen zu Beginn und am Ende des Planungshorizontes und einem Nachfragetief in der Mitte.

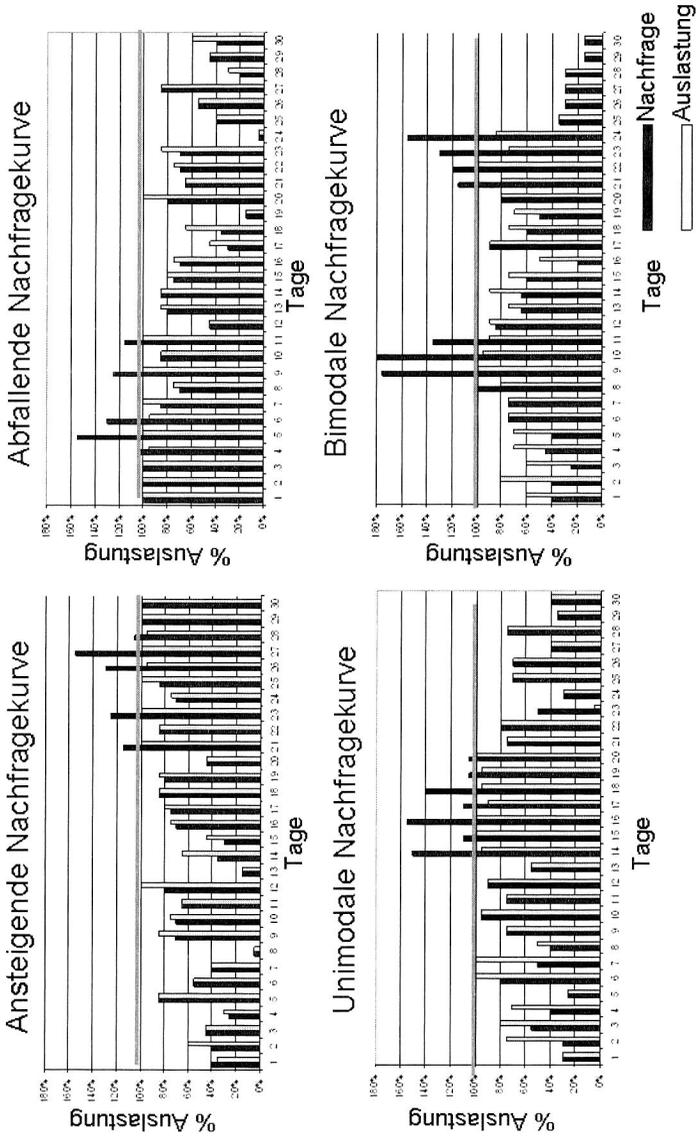


Bild 49: Auslastung des gesamten Distributionszentrums

In Abbildung 50 sind die Optimierungsergebnisse der Probeläufe mit verschiedenen Nachfragekurven zu sehen. Die Abbildungen zeigen sowohl die Nachfrage pro Tag als auch das dazugehörige Fertigungsvolumen. Beide Parameter werden in % der maximalen Auslastung aller Fertigungslinien dargestellt. Das Optimierungskonzept konnte für jedes der zu untersuchenden Szenarien eine optimale Lösung finden.

Im ersten Szenario mit einer ansteigenden Nachfrage müssen einige Kundenaufträge früher fertiggestellt werden, um die Nachfrage am Ende bewältigen zu können. Dementsprechend müssen im 2. Szenario einige Kundenaufträge ausgewählt werden, die auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden, sobald wieder Fertigungskapazität zur Verfügung steht. Szenario 3 und 4 ist eine Kombination von zu früh und verspätet fertiggestellten Aufträgen.

Die Tatsache, dass der optimierte Ablaufplan für die fallende Nachfrage einen fast spiegelverkehrten Plan zur steigenden Nachfrage darstellt, spricht für die Robustheit des Lösungskonzeptes.

Das Ergebnis für die Maschinenauslastung zeigt, dass für alle vier Szenario-Nachfragekurven die optimierte Ablaufreihenfolge direkt von der Nachfrage am Ende des Planungshorizontes abhängt. Deswegen schwankt die Anzahl der benötigten Maschinen am Ende des Monats für alle Nachfragekurven besonders stark. Dies gilt allerdings nicht für die ansteigende Nachfrage, da hier die Kapazität am Ende des Planungshorizontes überschritten wird. Die Maschinenzuteilung wird optimal genutzt und ausbalanciert, sobald die Kapazität des Distributionszentrums erreicht ist, so zum Beispiel bei der fallenden Nachfrage am Beginn des Planungshorizontes. Am Beispiel der bimodalen Nachfragekurve ist zu erkennen, dass das Modell in der Lage ist auch größere Schwankungen innerhalb eines Planungshorizontes durch einen optimalen Ablauf der Kundenaufträge auszugleichen.

Zusätzlich wird, wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, für jeden Tag des Monats ein detaillierter und optimierter Fertigungsablauf für alle Prozesse erstellt. Ein Beispiel hierfür ist in der unteren Abbildung zu sehen. Diese zeigt beispielhaft das Ergebnis für den 15ten Tag bei einem steigenden Nachfrageszenario. Alle Kundenaufträge wurden hierbei in 34 verschiedene Fertigungslose aufgeteilt und diese innerhalb eines Tages durch die alle notwendigen Fertigungsprozesse, wie Materialvorbereitung, Postponement, Flexing und Verpacken geschleust.

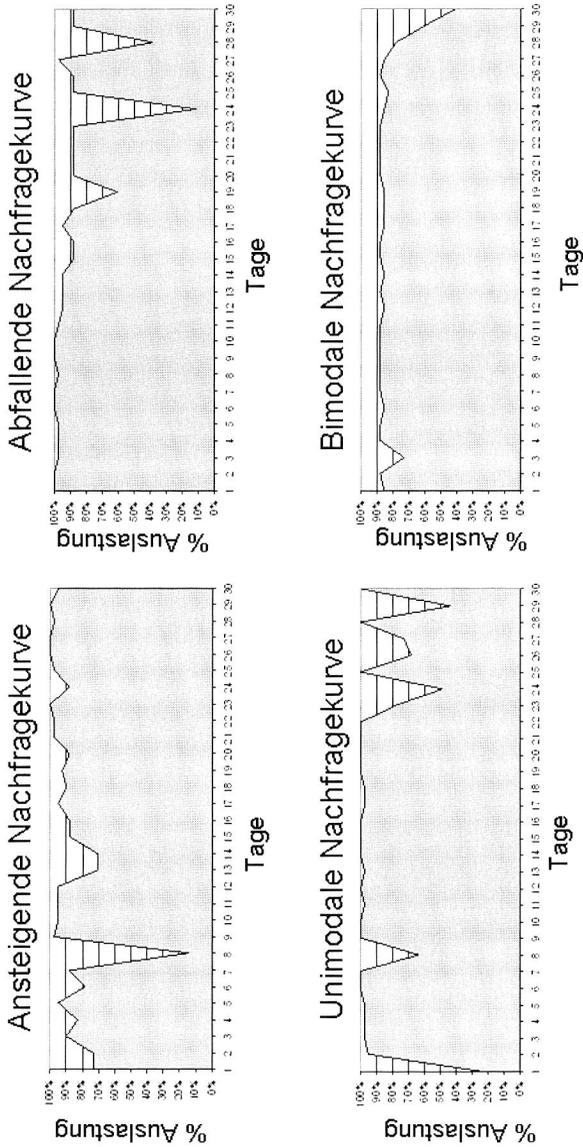


Bild 50: Auslastung des vorhandenen Maschinenparks

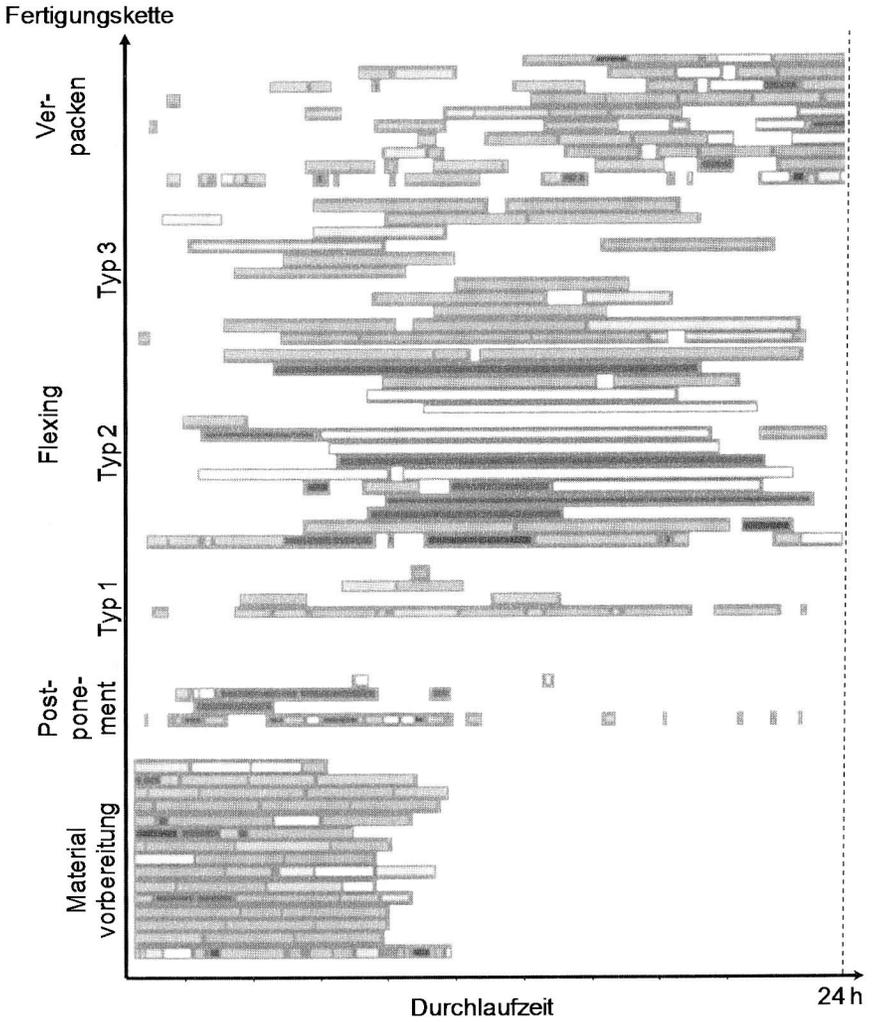


Bild 51: Ablaufplan des Distributionszentrums bei steigender Nachfrage

8 Anwendungsszenarien

8.1 Umsetzung der Optimierungslösungen

8.1.1 Fertigungslinien in der Produktion

Ein Ziel bei der Entwicklung der Ablaufoptimierung ist es, diese möglichst so zu gestalten, dass sie jedem Fertigungsplaner zur Verfügung gestellt werden kann. Deswegen wurde auf der Basis der Datenmodelle und des Optimierungskonzeptes eine Softwarelösung erstellt, die es ermöglicht, mit relativ niedriger Berechnungsleistung das entwickelte Optimierungskonzept einzusetzen. Diese schnelle Optimierungsmethode besteht aus einem Tabu-basierten Suchalgorithmus sowie einigen zusätzlichen Regeln, die aus den ermittelten Randbedingungen für das Optimierungsproblem ermittelt wurden [42]. Dadurch ist es möglich, das Modell und Optimierungskonzept auf nahezu jedem Computer zu installieren. Die erstellte Softwarelösung löst das in Kapitel 6 beschriebene Reihenfolgen-Optimierungsproblem, bei der die minimale Durchlaufzeit für alle zu produzierende Produkte errechnet wird. Außerdem erfüllt es die ebenfalls in Kapitel 6 beschriebenen Randbedingungen für Fertigungslinien in der Produktion.

Die entwickelte Lösung ist in der Lage folgende Fragen eines Fertigungsleiters zu beantworten:

- Was ist die beste Reihenfolge für die verschiedenen Produkte in meiner Fertigungslinie?
- Welche Maschinen durchlaufen meine Produkte und wie ist deren Auslastung?
- Wie sieht der optimale Fertigungsplan für meine Fertigungslinie aus?

Die Softwarelösung kann also jederzeit zur Lösung von Problemen der Reihenfolgenoptimierung mit begrenzten Zwischenpuffern in der Elektronikproduktion verwendet werden. Die Programmierung des Algorithmus erfolgte in C++ und wurde für Windows-Systeme kompiliert. Folgende aus dem Datenmodell gebildete Konfigurationsdateien sind für einen reibungsfreien Ablauf notwendig:

1. Datafile.dat: Diese enthält die exakten Dateinamen der folgenden vier notwendigen Konfigurationsdateien.

```
Line.dat
Cycletime.dat
Auftrag.dat
Downtime.dat
```

2. Line.dat: Beschreibt die Konfiguration der Fertigungslinien, sowohl die Anzahl der Maschinen auch als die Größe und Lage der Zwischenpuffer.

```
19
% MPM B ----HS50---- ----HS50--- --GSM-- B --GSM--
% 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
    1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
    1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0
    0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0
```

3. Cycletime.dat: Diese Datei enthält sowohl die Namen aller zu produzierenden Produkte als auch die dazugehörigen jeweiligen Taktzeiten für jede einzelne Maschine.

```
1
% Produkt 1
30
46
46
40
40
27
20
```

4. Auftrag.dat: In dieser Datei werden die zu bearbeitenden Kundenaufträge für jedes Produkt aufgelistet.

```
1
% 1
% wie viele Produkte sollen gebaut werden
59
```

5. Downtime.dat: Hier werden die Stillstand- und Störzeiten der einzelnen Maschinen hinterlegt.

```
6 1 1687 1701
...
11 1 1124 1281
...
14 1 274 410 18 1 315 443
...
```

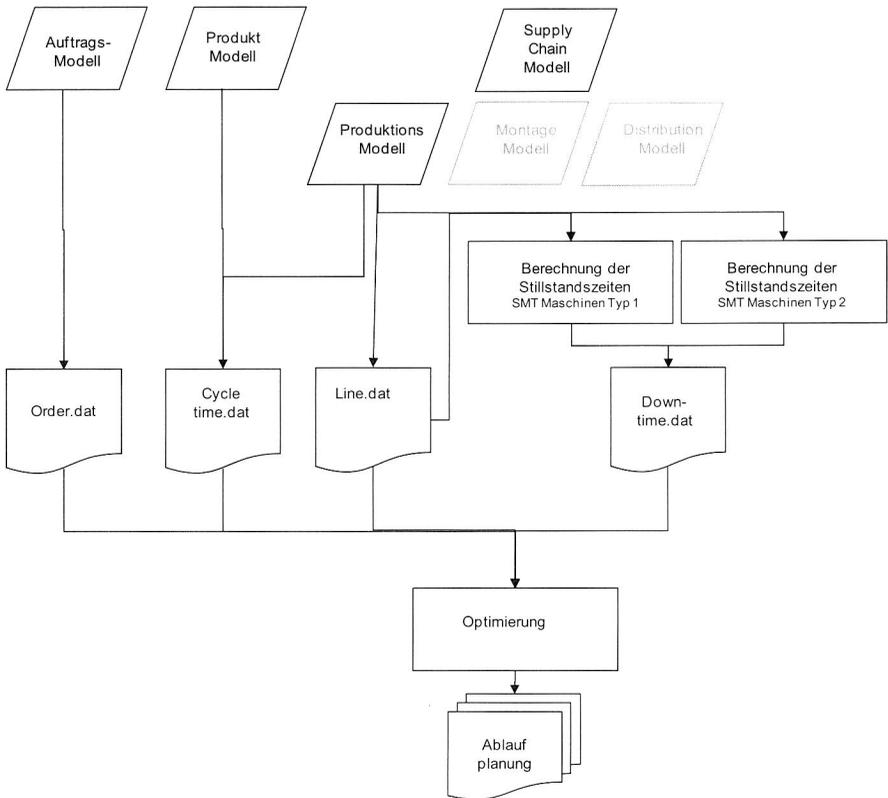


Bild 52: Softwarelösung für die Optimierung der Produktion

Alle Datendateien werden von dem C++ Programm eingelesen und auf ihre Korrektheit und Konsistenz überprüft. Danach werden alle Eingabedaten in eine neue separate Datei geschrieben und der Optimierungsalgorithmus gestartet. Bei Fehlern in den Eingabedaten werden diese in einer entsprechenden Log-Datei hinterlegt. Nach der erfolgreichen Ausführung des Algorithmus wird der detaillierte Reihenfolgenplan einschließlich aller Zeiten in einer entsprechenden Ausgabedatei abgespeichert.

Das obige Flussdiagramm zeigt die Verknüpfung zwischen dem in Kapitel 5 beschriebenen Datenmodell für die Kundenaufträge, das Produkt, der Fabrik und den verschiedenen Eingabedateien des Optimierungsalgorithmus. Die verschiedenen Datenmodelle werden so weiterverarbeitet, dass die notwendigen Eingabedateien des Optimierungsprogramms generiert werden können. Dazu wird zum einen aus dem Produktionsmodell

die entsprechende Fertigungslinie abgebildet (Line.dat) zum anderen werden entsprechend des Maschinentyps die voraussichtlichen Störungen berechnet (Downtime.dat). Die noch fehlenden Eingabedaten fließen aus den Informationen des Ordermodells bzw. des Produktmodells ein. Danach wird das in Bild 52 dargestellte Konzept der Optimierung durchlaufen und der optimierte detaillierte Ablaufplan der Fertigungslinie ausgegeben.

8.1.2 Fertigungslinien in der Distribution

In Anlehnung an die Vorgehensweise bei der Produktionsoptimierung wurde auch für das Distributionszentrum ein Optimierungsprogramm erstellt, welches sich aus den Parametern des Gesamtmodells bedient. Neben den Maschinen- und den Auftragsdaten spielen hier jetzt sowohl die Anzahl der notwendigen Maschinen als auch eine Beschreibung der Fertigungskette aller zur Fertigstellung eines Produktes notwendigen Prozesse eine Rolle.

Um den Optimierungsalgorithmus starten zu können sind zwei Eingabedateien notwendig:

1. Config.dat: Sie enthält die Konfiguration des Distributionszentrums einschließlich aller Maschinen und deren Kapazität und Produktkompatibilität

```
configuration = [  
  'flensburg',  
  ['flexing',  
   ['turbo-legacy', 2, 10, 10], # 1  
   ['manual-legacy', 5, 1, 1], # 2  
   ['automatik-p2k', 1, 32, 32], # 3  
   ['turbo-p2k', 4, 10, 10], # 4  
   ['manual-p2k', 4, 1, 1], # 5  
   ['manual-accer', 4, 1, 1] # 6  
  ],  
  ['postponement',  
   ['postponement', 1, 1, 1] # 1  
  ],  
  ['packing',  
   ['small line', 4, 1, 3], # 1  
   ['middle line', 2, 2, 4], # 2  
   ['large line', 2, 4, 6] # 3  
  ]  
]
```

2. Demand.dat: Beschreibt sowohl die abzuarbeitenden Kundenaufträge als auch die zur Fertigstellung notwendigen Prozesse.

```

route = {
  'legacy': [[1,2], [], [3]],
  'p2k':    [[3,4,5], [], [3]],
  'p2k_pp': [[3,4,5], [1], [3]],
  'accel':  [[6], [], [3]],
  'packing': [[], [], [3]]
}

demand = [
  'sample1', # name of data set
  1400,      # length of shift
  [ 1, 29, [1200, 15, 24], 'p2k_pp' ],
  [ 2, 27, [1200, 15, 24], 'p2k_pp' ],
  [ 3, 3, [1200, 0, 24], 'p2k' ],
  [ 4, 2, [1000, 12, 20], 'p2k_pp' ],
  [ 5, 1, [960, 0, 24], 'p2k' ],
  [ 6, 1, [640, 0, 16], 'p2k' ],
  [ 7, 2, [600, 0, 15], 'p2k' ],
  [ 8, 1, [440, 0, 5], 'accel' ],
  [ 9, 1, [400, 0, 10], 'p2k' ],
  [10, 1, [200, 0, 5], 'p2k' ],
  [11, 1, [200, 0, 2], 'accel' ],
  [12, 1, [80, 0, 1], 'accel' ],
  [13, 1, [50, 0, 1], 'accel' ],
  [14, 1, [40, 0, 1], 'p2k' ],
  [15, 1, [32, 0, 1], 'legacy' ],
  [16, 1, [10, 0, 1], 'accel' ],
  [17, 2, [8, 0, 1], 'legacy' ],
  [18, 7, [0, 0, 20], 'packing' ],
  [19, 11, [0, 0, 12], 'packing' ],
  [20, 2, [0, 0, 10], 'packing' ],
  [21, 1, [0, 0, 8], 'packing' ]
]

```

Wie auch bei der Optimierung der Fertigungslinien in der Produktion werden die Eingabedateien zuerst auf ihre Korrektheit und Plausibilität geprüft, bevor der eigentliche Optimierungsalgorithmus gestartet wird. Nachdem der Algorithmus eine Lösung gefunden hat, werden die Ergebnisse in einer separaten Ausgabedatei abgespeichert.

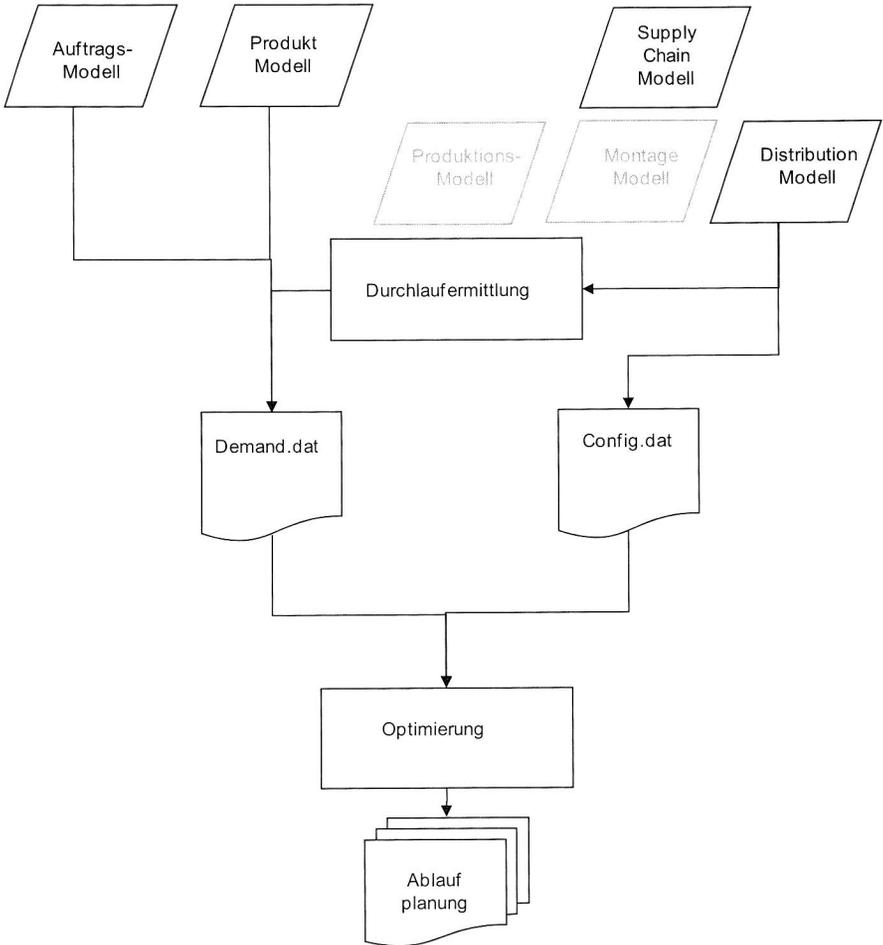


Bild 53: Softwarelösung für die Optimierung der Distribution

Das obige Flussdiagramm zeigt den Ablauf des gesamten Optimierungsprozesses. Die notwendigen Daten des Distributionszentrums werden aus dem Distributionsmodellausgelesen. Daraus werden die für die Abbildung des Distributionszentrums notwendigen zwei Dateien generiert, Config.dat und Demand.dat.

Für die Datei Config.dat werden die erforderlichen Maschinen und Linienkonfigurationen aus dem Distributionsmodell ausgelesen. Diese sind beispielsweise die Maschinenanzahl und die Kapazität der einzelnen Maschinen. Um die Datei Demand.dat zu konfigurieren, muss auf verschiedene Modelle zugegriffen werden. Aus dem Auftragsmodell filtert die Applikation die Auftragsnummer, die bestellte Anzahl und den Produktnamen aus. Die Produktfamilie und die dazugehörige Prozesszeit für jede Station wird aus dem Produktmodell gelesen. Um anschließend noch den notwendigen Durchlauf durch das Distributionszentrum zu bestimmen, muss die Konfiguration des Distributionszentrums einmal komplett durchlaufen werden.

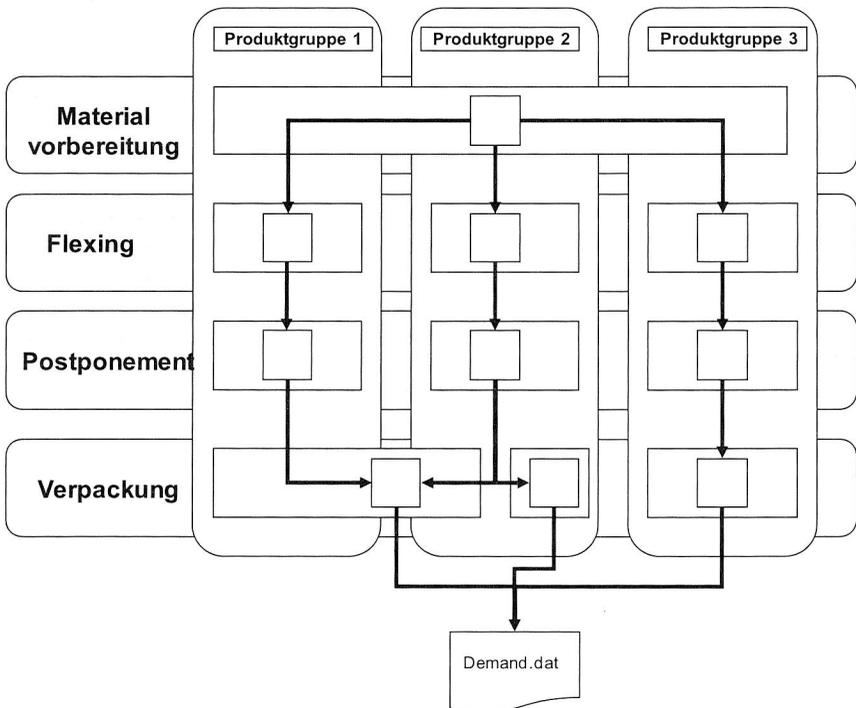


Bild 54: Durchlauf durch das Distributionszentrum

Das obige Bild 54 beschreibt die Erstellung der Demand.dat Datei. Da die Materialvorbereitung in jeder Familie vorkommt, wird dafür jeweils ein Prozess vorgesehen. Für das Postponement und das Flexing wird zunächst geprüft, welche Maschinen vorhanden sind. In diesem Beispiel wird der Produktfamilie 1, 2 und 3 jeweils genau eine Maschine zugeordnet. Für das Verpacken gibt es hier verschiedene Möglichkeiten an Stationstypen. Eine Maschine stellt dabei eine „Allround-Station“ dar, die alle Mobiltelefone

der Familien 1 und 2 verarbeiten kann, während der Familie 3 genau eine Maschine zugeordnet wird. Diese verschiedenen Durchlaufmöglichkeiten müssen in der Datei Demand.dat an entsprechender Stelle vermerkt werden. Danach stehen die für die Optimierung notwendigen Dateien Demand.dat und Config.dat als Eingabedateien den Algorithmen zur Verfügung.

8.1.3 Produktion und Distribution

Für eine zusammenhängende Optimierung der Produktion und der Distribution ist es notwendig, nicht nur die gleiche Datenbasis für beide Aufgaben zu verwenden, sondern auch eine längerfristige Ablaufoptimierung in die Analyse mit einzubeziehen. Diese an der Supply Chain ausgerichtete Lösung beruht auf demselben Produkt, Auftrags- und Supply-Chain-Modell wie die zuvor besprochene Fertigungs- und Distributionsoptimierung (Kapitel 5).

Nachdem die notwendigen Auftrags-, Produkt-, Produktions- und Distributionsdaten zur Verfügung gestellt werden, ist die Softwarelösung in der Lage nicht nur eine Optimierung für bestimmte Tage, sondern auch über einen ganzen Monat zu erstellen. Eine neuartige Verknüpfung ermöglicht die Zusammensetzung von Fertigungslinien in der Fabrik und in der Distribution zu kompletten Szenarien, wobei auf die zuvor entwickelten Fabrik und Distributionsmodelle zurückgegriffen wird.

Die neue übergreifende Softwarelösung besteht jetzt aus den drei Bereichen Produktion, Endmontage und Distribution und ermöglicht sowohl eine kurz- als auch eine langfristige Ablaufoptimierung der einzelnen Bereiche. Der Montagebereich ist so abgebildet, dass es aus den manuellen Montage- und Testprozessen der Mobiltelefonproduktion besteht. Eine Montagelinie kann hierbei aus verschiedenen Montagestationen und einer Teststation aufgebaut werden. Der Planungsablauf bei der Montage ist analog der Optimierung der Produktion [29].

Die kurzfristige Distributionsplanung erfolgt wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben und ist in die Prozesse Materialvorbereitung, Postponement, Flexing und Verpacken untergliedert. Bei der langfristigen (z.B. monatlichen) Distributionsplanung wird sowohl die Auslastung jeder Maschine als auch die des gesamten Distributionsbereiches analysiert. Der Zeitraum der längerfristigen Planung kann von Bediener frei gewählt werden. Zusätzlich wird der Lagerbestand des Ausgangslagers für jeden Tag der ausgewählten Periode berechnet. In den nachstehenden Bildern sind die verschiedenen möglichen grafischen Ausgaben näher gezeigt.

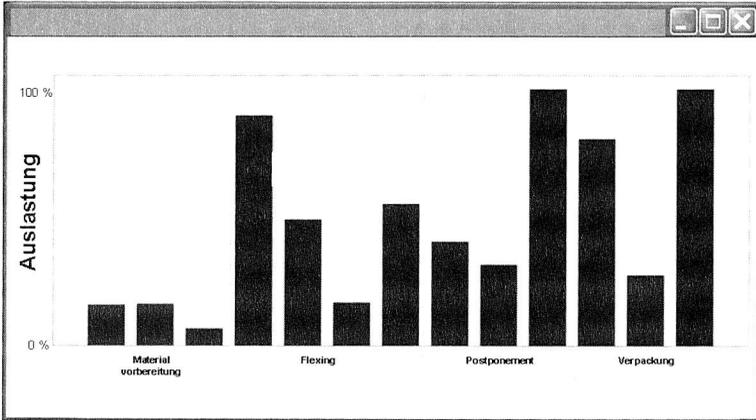


Bild 55: Ergebnisdarstellung einer täglichen DC-Planung

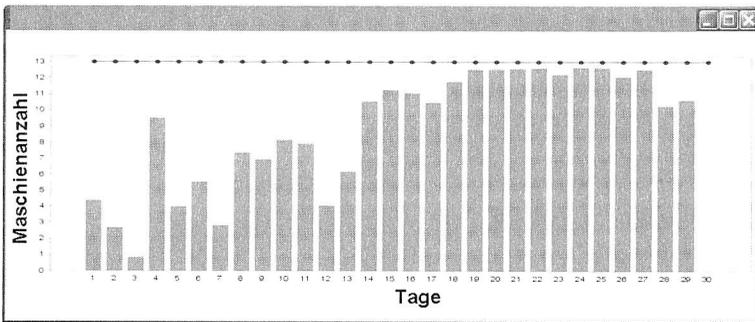


Bild 56: Tägliche Maschinenanzahl für den Bereich Postponement

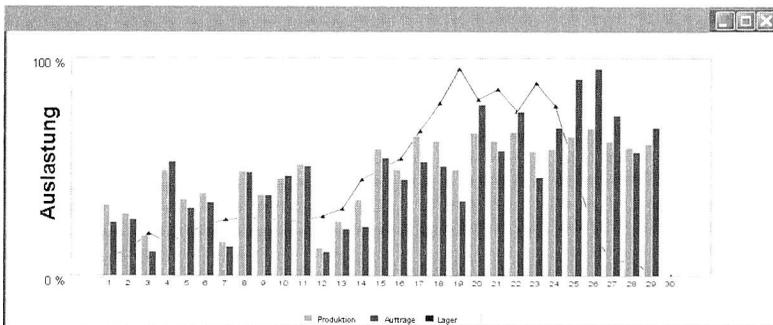


Bild 57: Auslastung der Fertigungslinien

8.2 Szenarien

8.2.1 Stückzahlgetriebene Fertigungslinien

In diesem Kapitel wird nun die Reihenfolgenoptimierung auf die Linienkonfiguration einer realen SMT-Fertigungslinie angewandt. Die ausgewählte Fertigungslinie ist identisch mit der in Bild 58 beschriebenen Konfiguration. Sie besteht aus einem Schablonendrucker zum Lotpastenauftrag auf die Leiterplatte, danach folgen zwei SMT-Bestücker und am Ende befinden sich zwei weitere Bestücker für die IC-Komponenten,

Wie in Kapitel 4 und 7 beschrieben, gibt es verschiedene Ansatzmöglichkeiten wie man das Layout einer Fertigungslinie auf der Basis der bestmöglichen Durchlaufzeiten und der Auftragsgröße optimieren kann.

Diese Möglichkeiten der Linienoptimierung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Ändern des Linienflusssystemes von einem Push- in ein Pull-Prinzip
- Vergrößern der Zwischenpufferkapazität vor und nach der Bottleneck-Maschine
- Verbesserung der Austaktung durch Verschieben von Bestückinhalten von langsameren auf schnellere Maschinen

Natürlich können alle Möglichkeiten gleichzeitig umgesetzt werden. Jedoch ist es aufgrund der bestehenden Randbedingungen wie maximale Linienlänge, Produktdesign und Auftragsgestaltung oft nicht möglich alle Verbesserungspotentiale voll auszuschöpfen, so dass die effektivsten Ansätze ausgewählt werden müssen.

Mit Hilfe der in Kapitel 8.1 beschriebenen Softwarelösung werden nun die verschiedenen Möglichkeiten der Linienoptimierung durchgespielt. Die unterem Graphen (Bild 58) zeigen das Ergebnis der verschiedenen Simulationsdurchläufe. Der linke Graph stellt den Fertigungsverlauf für ein unverändertes Linienlayout dar. Jede rechteckige Box steht für ein Produkt, welches durch die Linie läuft. Die X-Achse repräsentiert den notwendigen Zeit-verlauf für die Bearbeitung des Kundenauftrages. In der Y-Achse ist die Linienkonfiguration einschließlich der definierten Zwischenpuffer aufgetragen.

Der rechte Graph zeigt das Ergebnis der Optimierungsdurchläufe. Die Linienkonfiguration wurde von einer Push- in eine Pull-Line umgestellt und durch eine zusätzliche Pufferposition vor der Bottleneck-Maschine ergänzt. Durch diese Maßnahmen konnte die Durchlaufzeit auf 94 % der ursprünglichen Durchlaufzeit gesenkt werden, was einer Erhöhung des Liniendurchsatzes um ca. 6% entspricht.

Das entwickelte Modell- und Optimierungskonzept hat ein zusätzliches Verbesserungspotential für den Liniendurchsatz in der SMT-Fertigung aufgedeckt. Dieses Potential könnte auf eine existierende Fertigungslinie übertragen und die Korrektheit der Maßnahmen insbesondere auch in der Höhe der Durchsatz Verbesserung bewiesen werden.

8.2.2 Nachfrageorientierte Fertigungslinien

Das Distributionsmodell für die Reihenfolgenoptimierung in der Distribution wird nun auf ein reales Szenario übertragen. Dieses besteht, wie im Modell beschrieben, aus einem Distributionscenter mit den vier verschiedenen Prozessen Materialvorbereitung, Postponement, Flexing und Verpackung. Den Abschluss bildet ein Ausgangslager mit einer beschränkten Lagerhaltungskapazität, in welchen die Kundenaufträge bis zu Auslieferung zwischengelagert werden.

Auf Basis der Kundennachfrage für den lateinamerikanischen Markt wurde eine Simulation der Distribution für diesen Markt durchgeführt. Dabei wurde sowohl eine kurzfristige als auch eine langfristige Ablaufplanung erstellt.

Auftrag	Auslieferungstag	Produkt 1	Produkt 2	Produkt 3	Produkt 4	Produkt 5	Summe
Auftrag 1	3	120	30	30	150	30	360
Auftrag 2	6	150	30	60	270	30	540
Auftrag 3	9	360	60	120	990	150	1680
Auftrag 4	12	300	360	570	1020	150	2400
Auftrag 5	15	450	240	270	660	180	1800
Auftrag 6	18	270	60	120	450	30	930
Auftrag 7	21	120	150	60	220	150	700
Auftrag 8	24	900	930	1080		810	3720
Auftrag 9	27	600	750	800	1470	600	4220
Auftrag 10	30	660	600	880	1400	650	4190
Summe		3930	3210	3990	6630	2780	20540

Bild 59: Auftragsvolumen

Die obere Graphik (Bild 59) zeigt die Kundenaufträge der Distributoren für diesen Markt. Jede Zeile steht für einen Kundenauftrag. Dieser besitzt ein spezielles Auslieferungsdatum und besteht aus verschiedenen Produkten.

Als erstes wird nun auf der Basis der Kundenaufträge ein langfristiger Fertigungsplan erstellt, um daraufhin einen detaillierten Plan für jeden Tag und jeden Prozessschritt zu ermitteln. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, ist es das Ziel der langfristigen Optimierung, die Anzahl der verspäteten Lieferungen so gering wie möglich zu halten und zudem eine optimale Austaktung über den gesamten Planungshorizont herzustellen. Das Ziel der kurzfristigen Reihenfolgenoptimierung ist es, daraufhin die Anzahl der notwendigen Maschinen und gleichzeitig die Durchlaufzeit zu minimieren.

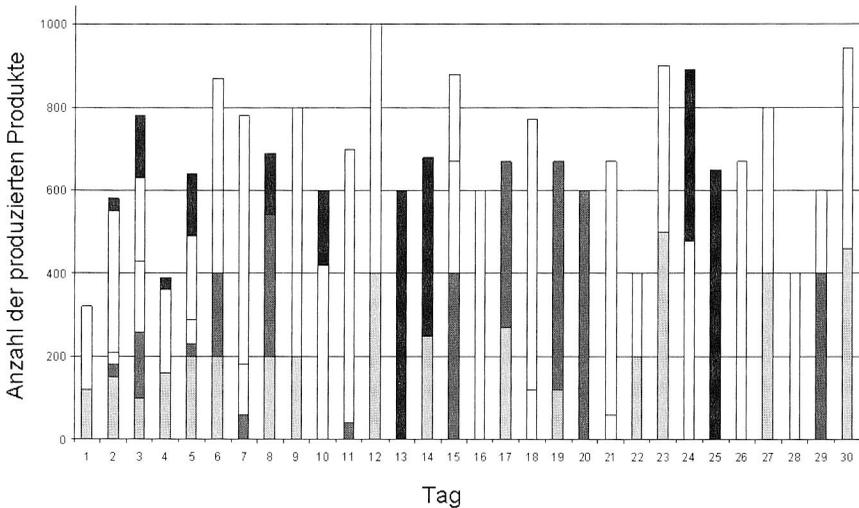


Bild 60: Monatlicher Ablaufplan

In Bild 60 ist der monatliche Ablaufplan für das Distributionszentrum abgebildet. Dabei stellen die unterschiedlich gefärbten Balken die verschiedenen zu fertigenden Produkte dar. Der ermittelte Ablaufplan ermöglicht die Auslieferung aller Aufträge zu den vorgegebenen Auslieferungsterminen.

Um das erzielte Optimierungsergebnis insbesondere bezüglich der Maschinenausnutzung mit bestehenden Lösungen vergleichen zu können, bietet sich an, die durchschnittlichen Herstellungskosten im Distributionszentrum heranzuziehen. Verglichen mit den derzeit genutzten Verfahren der Ablaufoptimierung und Maschinenzuteilung konnte eine um 2,2% verbesserte Version bezüglich der Herstellungskosten ermittelt werden, was im dem ausgewählten Beispiel einem Ersparnispotential von 0,2 US\$ pro Produkt entspricht.

9 Zukunftsorientierte Unterstützung der Fertigungslogistik durch drahtlose Kommunikation

Im folgenden Kapitel soll nun eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Logistikprozesse in der Supply Chain betrachtet werden. Diese besteht bei der Verwendung von Radio Frequency Identifikation Tags (RFID) in der Verfolgung und Automatisierung der Warenströme. Allgemein betrachtet stellt RFID eine Möglichkeit dar, Objekte und Personen mit Hilfe drahtloser Kommunikation zu identifizieren. Die Identifizierung wird dabei durch die Verwendung einer eindeutigen Nummer (Electronic Product Code = EPC) für jedes Objekt sichergestellt. Die Identifikationsnummer (EPC) wird in einen Mikrochip gespeichert und kann automatisch ausgelesen werden. Diese Eigenschaft stellt einen großen Vorteil gegenüber herkömmlichen, auf Barcode-basierten, Identifikationssystemen dar.

9.1 Beschreibung der Technologien

9.1.1 Radio Frequency Identification Technologien

Die beiden Hauptbestandteile eines RFID-Systems sind der Transponder und das Lesegerät. Der Transponder beinhaltet eine Antenne und einen elektrischen Mikrochip. Ein Lesegerät besteht in der Regel aus einem Hochfrequenzmodul mit Sender und Empfänger, einer Kontrolleinheit und einer auf den Transponder abgestimmten Antenne. Der Datenaustausch zwischen dem Transponder und dem Lesegerät wird mit Hilfe magnetischer oder elektromagnetischer Felder erreicht. Wenn der Transponder über keine eigene Spannungsversorgung verfügt, versorgen die Felder den Transponder mit der notwendigen Energie.

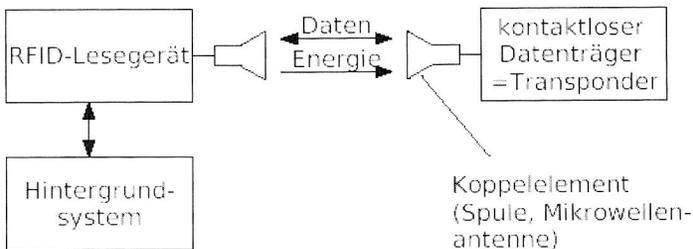


Bild 61: Hauptbestandteile eines RFID System [33]

Die RFID-Systeme gibt es in sehr vielen Varianten. Zunächst kann zwischen aktiven und passiven Transpondern unterschieden werden. Die benötigte Energie wird den passiven Transpondern durch das magnetische oder elektromagnetische Feld des Lesegeräts zugeführt. Sie besitzen daher keine eigene Energiequelle und verhalten sich außerhalb des Einflussbereiches des Lesegeräts vollkommen passiv. Vorteilhaft ist, dass sie eine fast unbegrenzte Lebensdauer besitzen und kostengünstig sind. Nachteilig ist die geringe Reichweite im Vergleich zu aktiven Transpondern. Aktive Transponder besitzen dagegen eine eigene Batterie, von der die Nutzungsdauer abhängig ist. Sie haben eine große Reichweite und ihre Lesegeschwindigkeit ist meist höher als bei passiven Transpondern. Die Kosten sind jedoch bei aktiven Transpondern höher.

Die RFID-Systeme verwenden verschiedene Frequenzbereiche. Es gibt den Langwellenbereich bei 125 kHz, den Kurzwellenbereich bei 13,56 MHz, den Ultra-Kurzwellenbereich bei 868 MHz u.a. für Europa und den Mikrowellenbereich bei 2,45 GHz. Prinzipiell lässt sich sagen, dass mit steigender Frequenz die Lesereichweite und Lesegeschwindigkeit steigt. Die Pulk-Erfassung, d.h. die gleichzeitige Erfassung mehrerer Transponder ist vor allem bei höheren Frequenzen möglich [109].

Vorteile von RFID

- Pulk- Erfassung
- große Speicherkapazität
- auch Schreiben auf RFID möglich
- keine Sichtverbindung notwendig
- Kommunikation über mehrere Meter möglich
- hohe Lesegeschwindigkeit
- keine Funktionsbeeinträchtigung durch widrige Umgebungseinflüsse

Nachteile von RFID

- Kosten
- keine durchgehende Standardisierung
- Datenschutzbedenken der Verbraucher
- keine Lesbarkeit durch Personen

Bild 62 Vor- und Nachteile der Technologie RFID [33]

Zurzeit wird für die Identifikation weitgehend der Barcode eingesetzt. RFID hat im Vergleich dazu einige Vor- und Nachteile. Zu den Vorteilen von RFID gehören die höhere speicherbare Datenmenge auf dem Chip, die höhere Lesegeschwindigkeit und die höhere maximale Entfernung zwischen Transponder und Lesegerät. Vorteilhaft ist auch, dass keine Sichtverbindung zwischen Datenträger und Lesegerät notwendig ist und eine Pulk-Erfassung möglich ist. Nachteilig sind vor allem die vergleichsweise höheren Kosten und die Variantenvielfalt trotz der existierenden Standardisierungsaktivitäten. Ein Nachteil, der auch bedingt für Barcodes gilt, ist die nicht gegebene Lesbarkeit durch Personen.

9.1.2 EPC Code

Für die Speicherung der Informationen gibt es verschiedene Möglichkeiten: Zum einen können die gewünschten Informationen direkt auf dem Chip gespeichert sein. Diese direkte Speicherung der Informationen ermöglicht eine dezentrale Steuerung und Verwaltung sowie eine schnelle Veränderung der Informationen auf dem Chip. Zum anderen kann auf dem Chip eine eindeutige Identifikationsnummer gespeichert sein, für den in einer Datenbank die zugehörigen Informationen hinterlegt sind. Durch diese Art der Speicherung der Informationen in einer zentralen Datenbank können einfachere und günstigere Transponder verwendet werden. Hauptgrund hierfür ist die Tatsache, dass die Größe des notwendigen Silizium-Chips, ein Hauptkostenanteil des RFID Transponders, direkt mit der Größe des benötigten Speichers zusammenhängt. Deswegen wird diese Art der Speicherung bei vielen Supply-Chain-Anwendung statt RFID bevorzugt. Die Identifizierung erfolgt hierbei über den Electronic Product Code (EPC). EPC ist ein 96-Bit-Code zur Identifizierung von Objekten, wie Produkten, Umkartons oder Paletten innerhalb der Supply Chain. Der EPC baut auf bereits existierenden Nummerierungssystemen wie EAN.UCC oder UID auf.

Wie viele andere kommerziell genutzte Identifikationssysteme kann jeder EPC in verschiedene Nummern unterteilt werden, die sowohl eindeutig den Hersteller als auch das Produkt identifizieren. Allerdings verfügt der EPC auch noch über eine Seriennummer, über die sich jedes Teil eindeutig identifizieren lässt.

Kopf	Hersteller	Objekt	Seriell Nummer
------	------------	--------	-------------------

Bild 63: Aufbau des Electronic Product Codes (EPC) [47]

Der EPC ist der Schlüssel zu den Produktinformationen, er enthält neben einem Kopf, der den verwendeten Typ und die Länge des EPC beschreibt, sowohl den Hersteller als auch das Produkt und die eindeutige serielle Nummer dieses Produktes.

9.2 Konzept der durchgehenden Lösung

9.2.1 Collaborative Planning, Forecasting und Replenishment Process

Für weltweit operierende Unternehmen stellt RFID ein Supply-Chain-Integrationskonzept für Produktion und Logistik in Verbindung mit RFID dar. Supply Chain Management strebt eine an der Nachfrage orientierte, integrative Steuerung der gesamten Prozesskette an, mit der eine unternehmensübergreifende Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit realisiert werden soll. Der Fokus richtet sich auf das Management physischer Güter und ihrer begleitenden Informationen entlang der Supply Chain. Eine große Bedeutung kommt daher der Integration jener betrieblichen Funktionen zu, die

das Management von Gütern verantworten. Das Konzept der durchgehenden Lösung basiert auf der Transparenz der Absatz- und Steuerungsinformationen. Um diese Nachfrageschwankungen besser in den Griff zu bekommen und die Qualität des Vertriebs zu steigern, ist es für den Hersteller von Mobiltelefonen notwendig, eine enge Partnerschaft mit den Mobilfunkanbietern einzugehen. Eine Möglichkeit diese Partnerschaft durchzuführen ist der Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) Prozess. CPFR fußt auf der Grundidee der gemeinsamen Nutzung und Zusammenführung von Informationen auf Hersteller- und Providerseite zur Schaffung einer gemeinsamen Vertriebsstrategie und eines Marketingkonzeptes. Ausgehend von Marktprognosen wird eine gemeinsame Planung erstellt, die Produktion und Lagerhaltung der tatsächlichen Nachfrage anpasst und Warenfluss und Verkaufsförderungsmaßnahmen aufeinander abstimmt [124] [125].

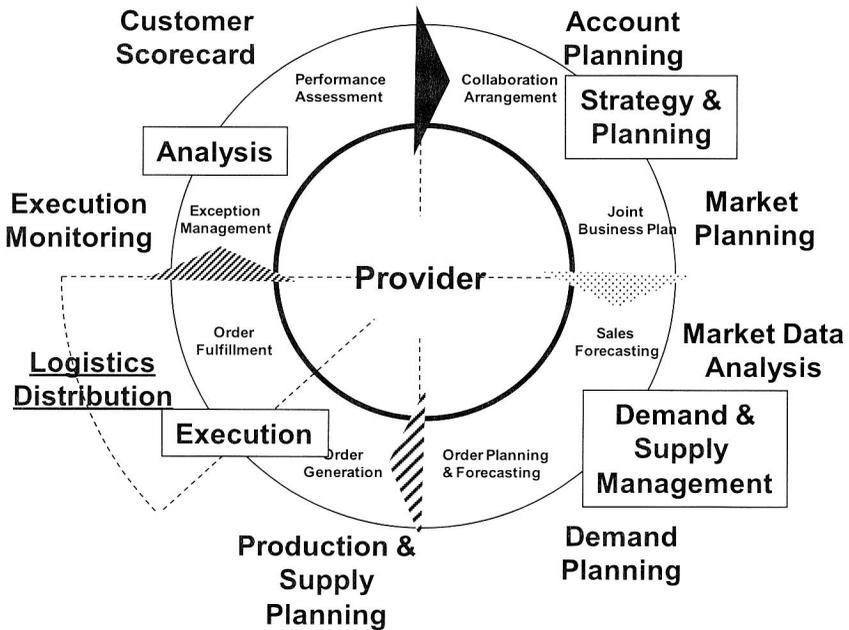


Bild 64: Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment (CPFR) [68]

Mit RFID als einer der ersten Anwendungen des ubiquitären Computings im großen Maßstab steht ein mächtiges Werkzeug zur Generierung von Daten über Materialflüsse zur Verfügung. Während diese Systeme bisher den Verbleib von Gütern sozusagen buchhalterisch mitschrieben und nur an bestimmten, definierten Prozessschnittstellen ein Abgleich mit der realen Welt stattfand, ermöglicht RFID eine viel umfassendere Ver-

folgung von Vorprodukten und Waren zu geringen variablen Kosten. Der Einsatz der Funkchips auf Articlebene erlaubt darüber hinaus die Generierung von Absatzdaten in Echtzeit. Weiterhin soll die RFID-Technologie zur Eindämmung des Handels mit gefälschten Produkten beitragen, also zum Schutz geistigen Eigentums und daraus resultierender Verwertungsansprüche.

Mit der Entwicklung der RFID Technologie werden daher in der Zukunft massive Veränderungen und eine Neuausrichtung von Logistik- und Produktionsprozessen mit dem Ziel der Effizienz- und Qualitätssteigerung einhergehen.

Die Entwicklung des Supply Chain Managements von der reinen Organisation einer Transportabwicklung zwischen zwei oder mehreren Punkten hin zu einer integralen Betrachtungsweise der gesamten Prozesskette ist ein konkretes Beispiel dieser Entwicklung und erfordert entsprechende, zum Teil völlig neue technische Voraussetzungen, die im Folgenden anhand der Hersteller von Mobilfunkgeräten erläutert werden sollen.

9.2.2 Consumer Controlled Company

In der Vergangenheit wurde jeder einzelne Prozessschritt separat betrachtet und als einzelne Box mit technischen Mitteln ausgestattet, die meist ausschließlich innerhalb des entsprechenden Prozessschrittes verwendet werden konnte. Eine Verwendung in weiteren Prozessschritten innerhalb der Supply Chain kam meist nur für den sich unmittelbar anschließenden Teilschritt in Betracht. Mit der Erweiterung des Blickfeldes über möglichst viele Teilschritte des Supply Chain Managements bis hin zum Verbraucher entstanden veränderte technische Anforderungen an die innerhalb der Prozesskette verwendeten Systeme. Die Anforderungen der Kunden gehen mehr und mehr in Richtung stärkere Transparenz der Warenströme und Bestände, sowohl hinsichtlich der sich im Transit befindlichen Ware als auch der in verschiedenen Zwischenlagern liegenden Produkten. In Zukunft ist mit einer verstärkten Aktivität der Hersteller von Mobiltelefonen im Bereich des Einzelhandels zu rechnen (consumer controlled company). Aus dieser Tatsache lassen sich drei wichtige Faktoren für den Einsatz von RFID ermitteln: Zum einen muss der Schwerpunkt auf der Beschaffungslogistik von hochwertigen Zukaufsteilen, wie z.B. Displays und Halbleiter, liegen. Zum anderen liegt der Nutzen von RFID in der Reduzierung der Lagerhaltungskosten für fertige Produkte. Der dritte Faktor bezieht sich auf die Auswahl der optimalen RFID-Technologie um beide RFID-Einsatzfelder (Beschaffung und Lagerhaltung) bestmöglich abdecken zu können.

Diese Entwicklung der Supply Chain in Richtung lückenloser Verfolgung der Produkte vom Hersteller bis zum Verbraucher stellt vor allem die Distribution für Mobiltelefone vor neue Herausforderungen. Um Warenströme und damit einhergehend Kundenzufriedenheit sicherzustellen, genügt es nicht mehr, „nur“ die Ware zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort in der gewünschten Qualität anzuliefern. Vielmehr stehen inzwischen auch Themen wie Datentransfer auf Produktnummer-Ebene bei Warenausgang, Inventory Management, Nachverfolgung von Sendungen sowie Maßnahmen zur Verhinderung von Diebstahl im Mittelpunkt des Kundeninteresses. Um diesen Anforderungen gerecht

zu werden, ist ein lückenloses Zusammenspiel zwischen dem Hersteller, Versender, dem Spediteur und dem Kunden unerlässlich. Eine gute Basis für eine gemeinsame Technologieplattform, mit der so viele Teilbereiche als möglich innerhalb der Supply Chain arbeiten und kommunizieren können, ist der Einsatz von RFID-Technologie. Diese bietet die Möglichkeit, die für die Erfüllung von Supply-Chain-Anforderungen notwendige Information direkt mit der Ware zu liefern. Ein weiterer Vorteil ist, dass dieselbe Technologie zur Vereinfachung operativer Tätigkeiten eingesetzt werden kann.

Innerhalb der Supply Chain für die Distribution von Mobilfunkgeräten lassen sich die verwendeten Verpackungseinheiten in vier Stufen mit unterschiedlicher Komplexität unterteilen. Die niedrigste Stufe bildet das Item sprich Produkt selbst (Stufe 0). Diese Stufe ist wegen der preislichen Hochwertigkeit des Produktes in der Konsumgüterindustrie für RFID besonders geeignet. Trotz des zu erwarteten positiven Return of Invest (ROI) bei der direkten Verwendung von RFID auf Mobiletelefone sind wegen der Anforderungen an Taggröße und Materialien noch viele technische Detailfragen offen, um den theoretischen ROI auch praktisch umzusetzen. Einfacher ist dies bei der Stufe 1, der Verkaufsbox, die bereits über einen eindeutigen Barcode Label, einschließlich IMEI-Nummer verfügt. Im so genannten Umkarton (Overpack) Stufe 2 werden ca. 10–12 Verkaufsboxen zu einer Einheit zusammengefasst, was einen größeren RFID-Transponder erlaubt und eine mögliche Pulk-Erfassung damit vereinfacht. Die höchste Einheit ist die Palette, Stufe 3, die aus ca. 25 Overpacks (Stufe 2) oder 300 Einzelobjekten zusammengesetzt ist. Eine Einzelerfassung von 300 Objekten verschiedener Materialien mit einer 100%igen Erfassungsqualität stellt derzeit noch eine Herausforderung für die Technik da, so dass zurzeit eine Bündelung der Informationen auf Palettenebene anzustreben ist.

Grundsätzlich stehen drei verschiedene passive RFID-Transponder-Technologien für die Stufen 0 bis 3 zur Verfügung. Dies sind RFID-Transponder im niedrigen, hohen und ultrahohen Frequenzbereich. In der obenstehenden Tabelle wurden diese drei unterschiedlichen RF-Technologien den Verpackungsebenen zugeordnet, wobei die Zuordnung nach einer technischen Realisierbarkeit im Distributionszentrum erfolgte. Neben der technischen Realisierbarkeit ist der ROI einer möglichen RFID-End-to-End-Lösung von ausschlaggebender Bedeutung, was im Rahmen einer stufenweisen Einführung untersucht werden soll.

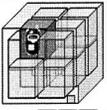
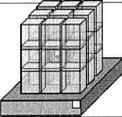
	Verpackung	Beispiel
Objekt <input type="checkbox"/> Level 0		
Verkaufskarton <input type="checkbox"/> Level 1		
Umverpackung <input type="checkbox"/> Level 2		
Palette <input type="checkbox"/> Level 3		

Bild 65: Die verschiedenen Verpackungstypen bei Mobiltelefonen [51]

Aus Sicht des Mobiltelefonherstellers bietet RFID eine vielversprechende Plattform zur Lösung der angesprochenen Aufgaben. Dementsprechend werden im Rahmen verschiedener Pilotprojekte operative Arbeitsschritte durch den Einsatz von RFID untersucht und die Auswirkungen getestet. So werden zum Beispiel in einem Versuch von KPN in den Niederlanden, die in den Versandbereich ein- und ausgehende Ware erfasst und automatisch auf den entsprechenden Lagerort gebucht. Hierzu werden die Paletten an den entsprechenden Punkten durch so genannte Reader-Gates gefahren, die an den Ein- und Ausgängen angebracht sind. Damit können die Mitarbeiter auf relativ einfache Art und Weise erfassen, welche Waren aus dem operativen Pick-Pack-Bereichen dem Versandbereich übergeben wurden - nicht nur buchhalterisch sondern tatsächlich auch physisch. Derselbe RFID-Tag kann dann zur Verfolgung von Bewegungen innerhalb des Versandbereiches bis hin zur Verladung verwendet werden, wobei ein einfaches Durchfahren eines Reader-Gates, das einzelne Bereiche abgrenzt, genügt. In einem späteren Projektschritt soll der RFID-Tag beim Durchfahren von Reader-Gates nicht nur den Lagerort verändern, sondern für den Versandprozess wichtige Buchungen, automatisch anstoßen.

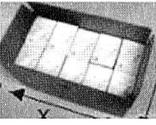
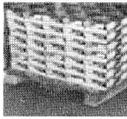
Verpackungen		Passive RFID		
		LF	HF	UHF
Objekt		●	●	●
Verkaufskarton		X	●	●
Umverpackung		X	●	●
Palette		X	X	●

Bild 66: Der Einsatz von RFID Technologien/Standards mit Mobiltelefonen [88]

Die Verladung und der Transport von wertvollen Massenprodukten wie Mobiltelefonen sind von besonderem Interesse, weil hierbei die Verantwortung vom Hersteller auf den Spediteur übergeht. Hier bietet die RFID-Technik eine relativ einfache Möglichkeit der klaren Erfassung. Nachdem die Ware das Distributionszentrum verlassen hat, kann derselbe RFID-Tag und dessen Information vom Spediteur direkt übernommen werden. Bei entsprechender technischer Ausstattung kann der Spediteur als das nächste größere Glied der Supply Chain, die eigenen Prozesse optimieren und vereinfachen. Das kann von der Erfassung und Zuordnung der Ware zu einem bestimmten Lkw bis hin zur Optimierung der internen Logistik gehen. Ebenso kann bei Ankunft im Lager des Kunden derselbe RFID-Tag mit entsprechender Information für die Wareneingangsprozesse dort verwendet werden, was auch hier zu einer Vereinfachung der Prozesse führen wird. Im weiteren Verlauf können weitere Optimierungen erfolgen, immer basierend auf dem RFID-Tag, solange bis die Palette aufgebrochen wird.

9.2.3 Lösungsansatz

Sind die RFID-Tags zunächst an den jeweiligen Paletten angebracht, bringt das Anbringen von Transpondern auf Umkartons oder einzelnen Verkaufsboxen eine weitere Prozessiefe und Möglichkeiten der Nutzung der RFID-Technik, sowohl in den operativen Bereichen als auch im Bereich der Verkaufsläden, in denen das Thema Verfügbarkeit der Ware und Verlust durch Diebstahl wichtig ist. Die ideale Lösung wäre ein RFID-Label anstelle des derzeitigen Produktlabels eines Mobiltelefons. Dann könnten auch die logistischen Prozesse von zum Beispiel in Asien gefertigten Produkten, die in Europa mit der kundenspezifischen Software versehen werden, und letztendlich das komplette Telefon, das für den Kunden fertig gepackt wird, vereinfacht werden. Dies wäre für den gesamten Logistikprozess der Supply Chain in den am Ende der Kette stehenden Verkaufsläden ein großer Gewinn.

Der Ansatz, das Produktlabel als RFID Tag zu benutzen, wurde mit unterschiedlichen Label-Designs untersucht. Dabei wurde auf eine möglichst 100% Lesbarkeit der RFID Tags geachtet. Um dies zu erreichen ist es bei den gängigen Produktdesigns zunächst ratsam, einem Luftabstand zwischen der RFID Antenne und dem oft metallischen Gehäuse zu schaffen.

Ein erster Ansatz ist hierbei das sog. „Fahnen-Label“. Dabei wird der RFID Tag leicht versetzt zum eigentlichen Gehäuse angebracht. Dieses Vorgehen soll das Lesen vieler Telefone auf einer Palette oder in einem Umkarton vereinfachen, da dadurch die Antenne nicht durch ein metallisches Gehäuse verdeckt wird. Das Aufbringen des RFID Tags ist ohne größere Probleme durch ein Überstreifen des „Fahnen-Labels“ über die Klappe eines Mobiltelefons möglich.

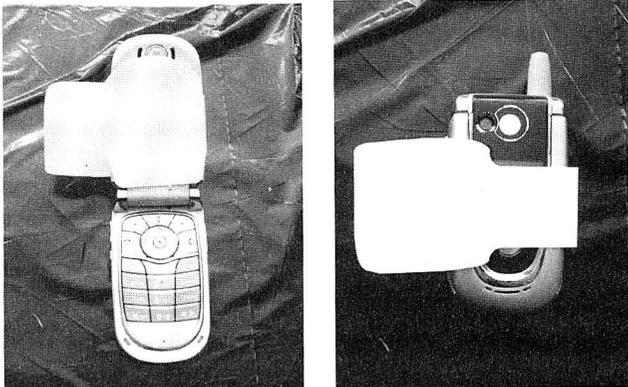


Bild 67: RFID „Fahnen Label“ auf der Klappe eines Mobiltelefons

Eine weitere Möglichkeit des Einsatzes dieser Technik bildet das Überstreifen des RFID Labels über das Batteriefach. Durch den Luftspalt zwischen dem metallischen Gehäuse und dem Label wird eine gute Leserate gewährleistet.



Bild 68: RFID „Fahren Label“ über dem Batteriefach

Das Batteriefach kann auch anderweitig als Position für den RFID Label benutzt werden. Durch den Einsatz eines leeren Batteriegehäuses ist es möglich eine einfache Montagehilfe für RFID Tags innerhalb des Gehäuses zu realisieren.

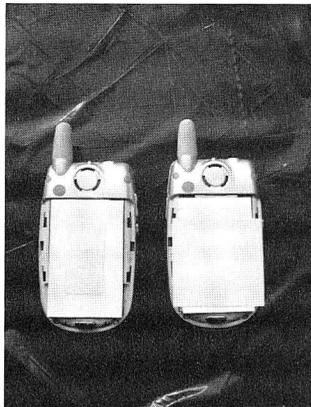


Bild 69: RFID Label auf Batteriegehäusen als Träger

Die verschiedenen Möglichkeiten des Aufbringens eines RFID Tags würde nun für den Verpackungstyp der Umverpackung getestet. In den durchgeführten Testläufen werden jeweils 10 Verkaufskartons in eine Umverpackung gepackt und die durch RFID markier-

ten Telefone danach mit Hilfe eines RFID Lesegerätes ausgelesen. Die folgende Tabelle bezieht sich auf die Ergebnisse der Benutzung eines RFID Labels über dem Batteriefach.

Produkt	Gehäusematerial	Umverpackungsgröße in mm	%
Produkt 1	Metal	228x390x175	100
Produkt 2	Plastik	400x298x207	100
Produkt 3	Metal	545x393x156	90
Produkt 4	Metal	228x390x175	100
Produkt 5	Metal	400x298x207	100
Produkt 6	Plastik	228x390x175	100
Produkt 7	Plastik	400x298x207	100

Bild 70: RFID Testergebnisse

Die Ergebnisse des Versuches zeigen das die 10 verpackten Telefone sehr gut mit der Methode des RFID Tags oberhalb des Batteriefaches gelesen werden konnten. Bei 6 der 7 getesteten Produkte traten keine Schwierigkeiten bei der Erkennung der Produkte auf. Allerdings war die Erkennungsrate bei einem vollmetallischen Produkt (Produkt 3) nur 90%, was aufgrund der bekannten Probleme mit metallischen Produkten nicht überraschend ist. Die zukünftige technische Herausforderung liegt nun darin eine kostengünstige Materiallösung zu finden, die die gleiche Antennenperformance für RFID Labels garantiert, wenn diese direkt in das Batteriefach aufgebracht werden. Die Entwicklung wird sich hierbei besonderen auf effiziente Ferritschichten und gedruckte RFID Tags konzentrieren müssen, um das Ziel, der Ersetzung des Produktlabels mit einem RFID Label, zu ermöglichen.

In den nachfolgenden Tabellen werden nun die Vorteile für den Einsatz von RFID in den Bereichen des Wareneingangs, der Lagerung, der Fertigung, der Verpackung und schließlich des Versands aufgezeigt. Die Vorteile sind nach den Unternehmenszielen Kostensenkung, höherer Umsatz, größerer Marktanteil und höhere Qualität gegliedert. Gleichzeitig wird sowohl die genutzte Eigenschaft des RFID Tags sowie dessen Position (Objekt, Verpackung, Palette) und der Einsatzbereich aufgelistet.

Wareneingang

Ziel	RFID Eigenschaft	RFID Einfluss	RFID Einsatz	RFID auf
Kostensenkung	Automatisches Scannen Identification	Automatisierung von Unterprozessen	Palettenmanagement	Palette / Umverpackung
	Automatisches Scannen Identification	Automatisches Ermitteln der korrekten Anzahl	Wertvolle und hochvolumige Teile	Object
	Automatisches Scannen Track&Trace	Diebstahlsicherung	Wertvolle und hochvolumige Teile	Object
	Suppl Chain Visibility	Komplexitätsreduktion	Supply Chain Management	Palette
Höhere Umsätze	Automatisches Scannen Track&Trace	Automatisierung zur Verringerung der "Time to Market"	Hochvolumige Teile	Palette
	Track&Trace	Visibility des Go-To-Market Channels	Supply Chain Management	Palette
Größerer Marktanteil	Echtzeit Information	Reduzierung der Reaktionszeiten	Supply Chain Management	Objekt
Höhere Qualität	Lese&Schreib- speicher Track&Trace	Rückrufaktionen/ Garantiesprüche	Wertvolle und technisch hochwertige Teile	Objekt
	Automatisches Scannen Identification	Fehlervermeidung	Wertvolle und hochvolumige Teile	Objekt

Bild 71: RFID im Wareneingang

Lagerung

Ziel	RFID Eigenschaft	RFID Einfluss	RFID Einsatz	RFID auf
Kostensenkung	Echtzeit Information	Verminderung von "Out-of-Stock"	Direktversand	Verkaufsverpackung
	Automatisierung der Bestellung Echtzeitinformationen	Niedrigere Auslösebestände	JIT, Push to Pull, Kanban	Objekt / Verkaufsverpackung
	Automatisierung der Bestellung Echtzeitinformationen	Automatisierung von Unterprozessen	Wertvolle und hochvolumige Teile	Objekt / Palette
	Lagerhaltung Track & Trace	Diebstahlsicherung	Wertvolle und hochvolumige Teile	Objekt
	Automatisches Scannen Real Time Information	Distributionsmanagement	Große Teilevielfalt, hochvolumige Teile	Palette
Höhere Umsätze	Echtzeit Information	Erhöhung der Turnover Rate	Kurze Produktlebenszeit	Palette
Größerer Marktanteil	Echtzeit Information	Verkürzung der Reaktionszeiten	Supply Chain Management	Objekt
	Track&Trace	Imageverbesserung	Marketing Promotion	Objekt
Höhere Qualität	Automatisches Scannen Identification	Fehlervermeidung	Wertvolle und hochvolumige Teile	Objekt

Bild 72: RFID in der Lagerung

Fertigung

Ziel	RFID Eigenschaft	RFID Einfluss	RFID Einsatz	RFID auf
Kostensenkung	Lese&Schreibspeicher Track&Trace	Automatisierung	Selbstorganisation	Objekt
	Echtzeit Information Track & Trace Identifikation	Niedrige Bestände	JIT, Push to Pull, Kanban	Objekt
	Automatisches Scannen Track&Trace	Automatisches Ermitteln der korrekten Anzahl	Wertvolle und Kritische Teile	Objekt
Höhere Umsätze	Echtzeitinformation Track& Trace Identifikation	Verkürzung der Reaktionszeiten	Höhere Personalisierung	Objekt
	Automatisches Scannen Track&Trace	Automatisierung von Unterprozessen	Große Teilevielfalt, hochvolumige Teile	Objekt
Größerer Marktanteil	Echtzeit Information	Verkürzung der Reaktionszeiten	Marketing Promotion	Objekt
	Echtzeit Information	Flexibilität der Fertigung	Direktversand	Objekt
Höhere Qualität	Lese&Schreib- speicher Track&Trace	Rückrufaktionen/ Garantienansprüche	Konsumentenschutzgesetz	Objekt

Bild 73: *RFID in der Fertigung*

Verpackung

Ziel	RFID Eigenschaft	RFID Einfluss	RFID Einsatz	RFID auf
Kostensenkung	Automatisches Scannen Identifikation	Automatisierung von Unterprozessen	Wertvolle und hochvolumige Teile	Objekt
	Track&Trace Identifikation	Diebstahlsicherung	Wertvolle Teile	Objekt
Höhere Umsätze	Automatisches Scannen Echtzeitinformation	Verkürzung der Reaktionszeiten	Marketing Promotion	Objekt
	Lese&Schreibspeicher Track&Trace	Komplexitätsmanagement	Einzelteulfertigung	Objekt
Größerer Marktanteil	Track&Trace	Imageverbesserung	Marketing Promotion	Objekt
Höhere Qualität	Identifikation	Fehlervermeidung	Wertvolle und hochvolumige Teile	Objekt

Bild 74: *RFID in der Verpackung*

Versand

Ziel	RFID Eigenschaft	RFID Einfluss	RFID Einsatz	RFID auf
Kostensenkung	Automatisches Scannen Track&Trace Identifikation	Automatisierung von Unterprozessen	Wertvolle und hochvolumige Teile	Objekt
	Track&Trace Identifikation	Diebstahlsicherung	Wertvolle Teile	Objekt
	Track&Trace Identifikation	Optimierung der Logistik	Transport Logistik	Container
Höhere Umsätze	Automatisches Scannen Echtzeitinformation	Automatisierung von Unterprozessen	Wertvolle und hochvolumige Teile	Objekt
Größerer Marktanteil	Track&Trace	Imageverbesserung	Marketing Promotion	Objekt
	Echtzeit Information Track & Trace	Verkürzung der Reaktionszeiten	Marketing Promotion	Objekt
Höhere Qualität	Automatisches Scannen Identifikation	Fehlervermeidung	Wertvolle und hochvolumige Teile	Objekt

Bild 75: *RFID im Versand*

Trotz dieser viel versprechenden Perspektiven sei der Hinweis erlaubt, dass sich der Einsatz von RFID-Systemen derzeit vor allem bei hochwertigen Gütern und in denjenigen Branchen rechnet, in denen aufgrund hoher Nachweispflichten höchste Prozesssicherheit erforderlich ist.

9.3 Ansatz für eine durchgehende Lösung

9.3.1 Ablaufsimulation

Um Erkenntnisse über einen möglichen zukünftigen Einsatz von RFID zu bekommen, wird als Verfahren die Simulation eingesetzt. Die Simulation hat den Vorteil, dass sie für ein breites Anwendungsspektrum geeignet ist und Systeme anschaulich darstellen kann. Ein Berechnungsverfahren wird hier auf Grund seines komplexen mathematischen Hintergrunds und der aufwendigen Erstellung nicht eingesetzt. Ein reales System kann nicht verwendet werden, da die Einführung von der RFID-Technologie noch nicht vollzogen wurde und somit nicht zu Verfügung steht. Nach der Definition ist die Simulation "das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind" [40] [44] [79]. Die Vorgehensweise bei einer Simulationsstudie gliedert sich in mehrere Phasen [24] [32].

In der Vorbereitungsphase wird zunächst überprüft, ob die Simulation die richtige Methode für die Problemstellung ist. Als nächstes ist es wichtig, Aufgaben und Ziele zu definieren. Dies ist notwendig, um ein geeignetes Simulationsmodell zu erstellen und um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten. Im Folgenden werden die notwendigen Daten erfasst. Dies ist sehr zeitaufwendig, da oft nicht alle Daten ermittelt werden können oder diese nicht in der gewünschten Genauigkeit zu Verfügung stehen. Die Erstellung des Simulationsmodells erfolgt in zwei Stufen. Zunächst wird ein konzeptionelles Modell entwickelt. Hierbei müssen sowohl die exakten Systemgrenzen als auch der Detaillierungsgrad festgelegt werden [14] [16]. Meist ist eine möglichst exakte Abbildung der Realität nicht sinnvoll. Sie sollte nur so detailliert sein, wie es für die zu untersuchenden Ziele notwendig ist, da eine höhere Genauigkeit unnötige Kosten verursacht und nicht zu einer signifikanten Verbesserung des Ergebnisses beiträgt. In der zweiten Stufe wird das konzeptionelle Modell in ein Softwaremodell umgesetzt. Dies kann auf zwei verschiedene Weise erfolgen entweder mit Hilfe einer Programmiersprache oder mit der Modellwelt eines Simulators. Zum Schluss wird in der Vorbereitungsphase das Modell validiert [93] [94].

Für die Erzielung sinnvoller und verwendbarer Ergebnisse ist eine Überprüfung, des Modell anhand der Realität wesentlich. Hierbei ist zu beachten, dass die Validierung ein kontinuierlicher Prozess sein sollte. Es muss daher bereits während der Modellbildung immer wieder überprüft werden, ob das Modell noch hinreichend genau und vor allem richtig ist. Hierbei ist auch der Anfangszustand zu beachten. Viele Systeme sind zu Beginn nicht leer. Dies kann zum Verfälschen des Simulationsergebnisses führen. Um

dies zu vermeiden, kann der gewünschte Anfangszustand durch eine Initialisierung der betroffenen Elemente des Modells erreicht werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, bei der Durchführung der Simulationsläufe die Betrachtung und Aufzeichnung erst nach einer gewissen Zeit, wenn ein realitätstypischer Zustand oder zumindest eine Art Gleichgewicht erreicht ist, zu beginnen. Die nächste Phase einer Simulationsstudie ist die Durchführung der Simulationsexperimente. Abhängig von den definierten Zielen werden die zu variierenden Parameter definiert. Dabei sollte versucht werden, die Anzahl der zur Erreichung des Simulationsziels notwendigen Simulationsläufe so gering wie möglich zu halten. In den meisten Fällen ist die Durchführung der Simulation ein systematisches Probieren, wobei aus den Ergebnissen der vorherigen Durchläufe das nächste Simulationsexperiment bestimmt wird. Die Simulation an sich ist kein Optimierungswerkzeug. Sie kann durch Auswertungen und durch die daraus resultierenden neuen Werte der Parameter zur Optimierung genutzt werden. Es kann jedoch nicht garantiert werden, dass sich unter den Ergebnissen das Optimum befindet. In der letzten Phase werden die Simulationsexperimente ausgewertet und die Ergebnisse analysiert. Diese Phasen werden bei der Modellentwicklung und -nutzung wiederholt durchlaufen. Konnte ein zufriedenstellendes Ergebnis gefunden werden, muss es anschließend noch in dem realen System umgesetzt werden [55] [79].

9.3.2 Simulation einer durchgehenden Lösung

Um die durchgehende Lösung zu simulieren wird eine komplette Supply Chain von der Fabrik bis zum Kunden modelliert [15]. Das Modell basiert auf den bekannten Datensätzen (Kapitel 5) für die Fabrik und das Distributionszentrum. Erweitert wird dieses Modell durch ein zusätzliches Distributionszentrum, welches vom Spediteur (3rd Party Logistikprovider) des Mobilfunkherstellers betrieben wird. Dieses besteht hauptsächlich aus einem Lager, das im Auftrag der Hersteller die vom Kunden bestellten Telefone bereithält. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Szenarien, bleiben diese Produkte das Eigentum des Herstellers bis diese vom Kunden abgerufen werden (Vendor Managed Inventory – VMI) [52] [54]

Das Hauptaugenmerk bei der Optimierung der Fertigungslinien in der Distribution liegt nun nicht mehr nur auf der pünktlichen Fertigstellung eines Kundenauftrages, sondern vor allem auf einer optimierten Lagerhaltung (VMI).

In dem ausgewählten Szenario werden nun die Aufträge von sechs verschiedenen Kunden über einen Simulationszeitraum von einem Jahr näher beleuchtet. Für jeden dieser Kunden übernimmt der Mobilfunkhersteller die Lagerhaltung und übergibt diese Tätigkeit an seinen Spediteur. Die bestellten Produkte durchlaufen während dieses Jahres jeweils einen kompletten Produktlebenszyklus (Bild 76).

Mit Hilfe der Methode der Ablaufsimulation wurde sowohl nach einer optimalen Lagerhaltungsstrategie gesucht als auch der Einfluss auf die Fertigungslinien innerhalb des Distributionszentrums untersucht. Dabei wurden sowohl verschiedene Kundennachfragen als auch verschiedene Lagerhaltungsstrategien durchlaufen [59].

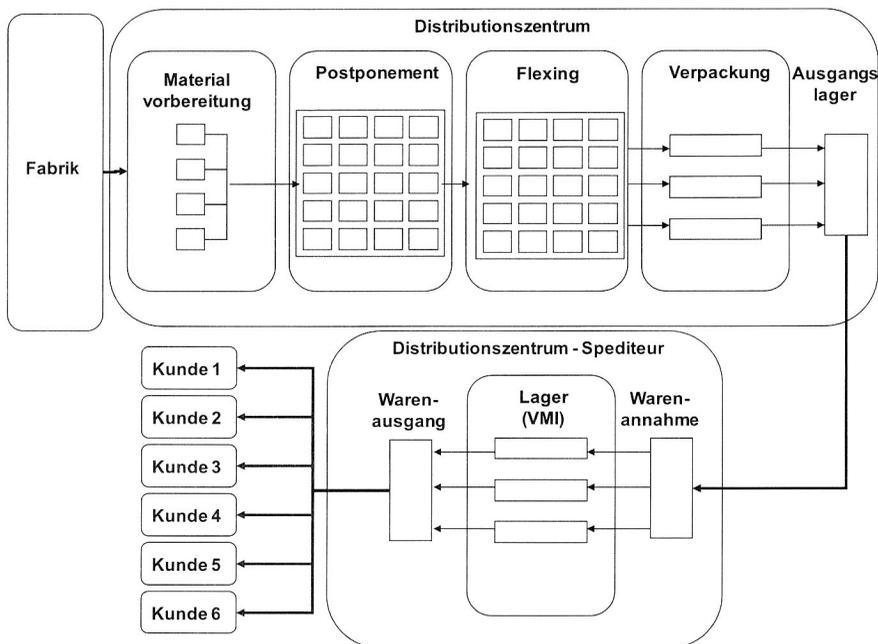


Bild 76: Modell zur Untersuchung einer durchgehenden Lösung

9.3.3 Ergebnisse

Als Basis für die erzielten Ergebnisse dienen verschiedene Simulationläufe mit einem Rhythmus zur Lagerkontrolle von einem, drei und fünf Tagen und mit einer konstanten und einer dynamischen Nachfrageverhalten. Durch die Ablaufsimulation konnte eine Lagerhaltungsstrategie als besonders vorteilhaft ausgewählt werden. Bei der gewählten Vorgehensweise wird versucht, durch die Bestellung einen festgelegten Sollbestand zu erreichen. Es werden immer so viele Mobiltelefone eines Modells nachbestellt, wie seit der letzten Bestellung entnommen wurden, zuzüglich der Differenz zwischen einem vorgegebenen Sollbestand und dem aktuellen Lagerbestand im Ausgangslager. Sollte die Nachfrage konstant sein, so wird immer genau so viel nachbestellt, wie entnommen wurde. Steigt die Nachfrage, so wird mehr nachbestellt, sinkt die Nachfrage, wird weniger nachbestellt, als seit der letzten Bestellung entnommen wurde.

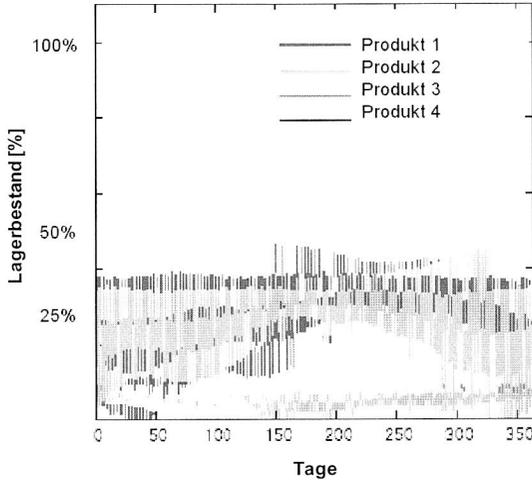


Bild 77: Lagerbestand beim konstanten Nachfrageverhalten [107]

Bild 77 beinhaltet den Lagerbestand beim konstanten Nachfrageverhalten und einem Bestellrhythmus von drei Tagen. Die maximalen Lagerbestände der einzelnen Provider konnten mit dieser Bestellstrategie und einem Bestellrhythmus von drei Tagen um bis zu 50 Prozent gesenkt werden. Bei dem ausgewählten Verfahren ist der Lagerbestand konstanter und die starken Ausschläge können vermieden werden. Auch bei schwankender Nachfrage sind die Lagerbestände, bei der ausgewählten Bestelltaktik, tendenziell kleiner als bei den anderen untersuchten Strategien. Das gleiche gilt für einen Bestellrhythmus von fünf Tagen. Bei einem Bestellrhythmus von einem Tag wurde kein großer Unterschied zwischen den verschiedenen untersuchten Strategien ermittelt, was an einer generellen Überlastungen des Supply Chain Systems für diese Parameterkombination liegt.

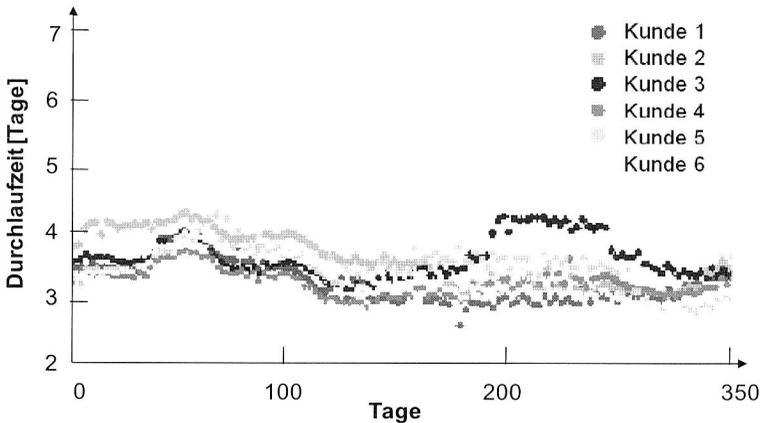


Bild 78: Durchlaufzeiten für einen Bestellrhythmus von drei Tagen

Auch bei den Durchlaufzeiten ist bei der ausgewählten Strategie eine Verbesserung bei den Bestellrhythmen von drei und fünf Tagen eingetreten. In Bild 78 sind die zeitlichen Verläufe der Durchlaufzeiten für die untersuchten sechs Kunden bei einem konstanten Nachfrageverhalten dargestellt. Die Streuung der Durchlaufzeit ist deutlich geringer als bei anderen Strategien. Dies gilt nicht nur bei einer konstanten sondern auch bei einer stark schwankenden Nachfrage.

Die Simulationsergebnisse für die Durchlaufzeiten bestärken die Erkenntnisse für den optimalen Bestellrhythmus. Auch hier erweist sich der Bestellrhythmus von drei Tagen als die beste Variante und zudem kann eine Überlastung des Systems vermieden bzw. vermindert werden.

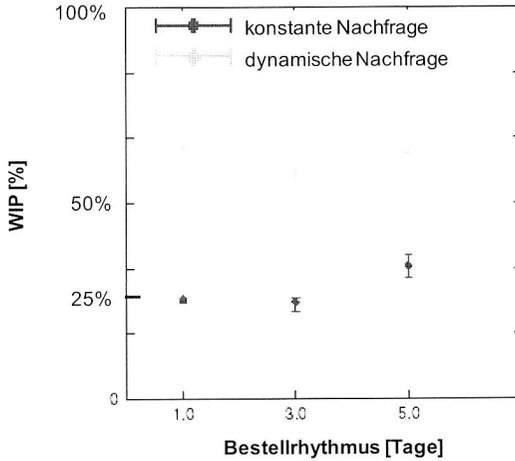


Bild 79: WIP vs. Bestellrhythmus bei konstanter und dynamischer Nachfrage

Außerdem wird mit diesem Bestellrhythmus der geringste WIP erreicht (Bild 79). Der ausgewählte Bestellrhythmus vereint also die Vorteile des geringen WIPs und der geringsten Durchlaufzeiten. Dies erlaubt nun auch eine Aussage über die Steuerungsanforderungen der Fertigungslinien innerhalb des Distributionszentrums die einen Planungshorizont von 3 Tagen haben sollte.

Auch bezüglich der Anwendung und der Vorteile von RFID in der Supply Chain lassen sich Rückschlüsse aus den erzielten Ergebnissen ziehen. Da ein Bestellrhythmus von einem Tag nicht das Minimum des WIP für den Supply Chain des Mobilfunkherstellers darstellt, lässt sich daraus schließen dass eine Echtzeitanbindung der Kundeneinheiten im Distributionszentrum über RFID ausschließlich Vorteile im Bereich der Datengenauigkeit und der Länge der Reaktionszeit hat. Dies bedeutet jedoch keine automatische Verringerung sowohl der Lagerhaltungs- als auch der Fertigungskosten für den Mobilfunkhersteller. Letztlich liegt der besondere Vorteil von RFID hauptsächlich in der Automatisierung der Supply Chain Steuerung und der dazugehörigen Fertigungsplanung.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Die Hersteller von mobilen Telekommunikationsendgeräten stehen vor der Aufgabe, ihre Produktionskonzepte den neuen globalen Herausforderungen anzupassen. Durch die steigende Anzahl hochwertiger und komplexer Bauteile wird eine Optimierung der gesamten Supply Chain immer wichtiger. Das oberste Ziel ist es, die eigenen Fertigungspuffer zu verringern. Dabei verlangen die neuen Wachstumsmärkte in Afrika, Indien und Südostasien nach kostengünstigen Mobilfunkgeräten in hohen Stückzahlen, während in den bereits gesättigten Märkten Mobilfunkgeräte verlangt werden, die mit kundenspezifischen Zusatzdiensten gekoppelt sind. Aus Sicht der Hersteller wird die europäische Supply Chain von Mobiltelefonen hauptsächlich von der Ausgliederung von Fertigungsschritten an Fertigungsdienstleister, der Zentralisierung des Einkaufs bei gleichzeitiger Fokussierung auf Systemlieferanten sowie der Einführung einer nachfrageorientierten Massenfertigung geprägt. Zudem vergrößert sich der Produkt-Verantwortungsbereich des Herstellers innerhalb der Supply Chain zunehmend in Richtung des Einzelhandels.

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Lösungsansatz basierend auf einem massenmarktauglichen nachfrageorientierten Optimierungsmodell zur Überwindung dieser neuen Herausforderung bereitzustellen, der dabei helfen kann, angepasste Optimierungskonzepte für Fertigungslinien in der Produktion und der Distribution zu entwickeln.

Generell lässt sich die Supply Chain in der Elektronikproduktion in die Bereiche Einkauf und Beschaffung, Bestückung und Montage, Personalisierung und Distribution sowie den Vertrieb und seine Vertriebsstrukturen untergliedern. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf den Bereichen Bestückung bis Distribution mit den Schnittstellen Beschaffung und Vertrieb.

Die Bestückung von Mobiltelefonen erfolgt in einer Fertigungslinie, die aus einem Schablonendrucker zum Auftragen der Lotpaste auf die Leiterplatte, mehreren vollautomatischen Maschinen zur Bestückung der elektronischen Bauelemente und dem abschließenden Prozess des Lötens besteht. In Abhängigkeit vom Produktdesign kann es zu verschiedenen Layout-Ausprägungen dieser Fertigungslinien kommen.

Nach der Bestückung werden die fertigen Telefone in die Distributionszentren transportiert, deren Standorte sich weltweit verteilen. Die notwendige stärkere Ausrichtung auf die Bedürfnisse der Telekommunikationsdienstleister veränderte den Aufgabenbereich von der reinen Distribution hin zu sogenannten „Customer Fulfillment Centers“ (CFC), in denen sowohl länder- als auch kundenspezifische Anpassungen in dafür vorgesehenen Fertigungslinien vorgenommen werden. Dadurch und durch die Marktsättigung hat die Bedeutung der Distributionszentren innerhalb der Supply Chain zugenommen.

Um das Verhalten der Supply Chain besser zu verstehen, wurden die Grundlagen der einzelnen Prozesse und Lager und darauf aufbauend die Fertigungslinien und ihre unterschiedlichen Konfigurationen näher untersucht.

Bei der Planung der Fertigungslinien wurde ein optimaler Produktionsfluss dadurch erreicht, dass die Indikatoren Durchsatz, Work in Progress und Durchlaufzeit sowie deren Variabilität berücksichtigt wurden.

Dank eines modularen Aufbaus der Supply-Chain-Planung bestehend aus Auftrags-, Produkt- und Supply Chain Modell können verschiedene Integrationskonzepte zur Optimierung der Fertigungslinien in der Produktion und der Distribution abgebildet werden. Auf diese Weise wird eine transparente Gestaltung der Fertigungsabläufe für die Supply-Chain-Planung sichergestellt.

Unter Verwendung des modularen Modells wurde eine effiziente Vorgehensweise entwickelt, damit der Fertigungsablauf für verschiedene Fertigungslinien optimiert werden kann. Die Vorgehensweise hat eine hierarchische Struktur basierend auf der Aufteilung des Optimierungsproblems in die zwei Phasen der Sequenzierung und der Zuteilung/Zeitberechnung.

Die Methode ist äußerst flexibel und kann deswegen leicht an verschiedene Randbedingungen der Fertigung angepasst werden. Dies wurde durch die Anpassung an kurzfristige Ablaufoptimierungen innerhalb der Produktion als auch an die längerfristige Planungsaufgaben in einem Distributionszentrum mit einer nachfrageorientierten Fertigungsumgebung bewiesen.

Um die Güte des Modells und der Methode sicherzustellen, wurden die Optimierungslösungen einer stückzahlgetriebenen Produktion und einer nachfrageorientierten Distribution analysiert. Die erzielten Resultate bezüglich des Liniendurchsatzes bestätigten die Grundsätze der Supply-Chain-Optimierung und können daher als Beweis für die Richtigkeit des Modells und des Optimierungskonzeptes gedeutet werden.

Um die Entwicklung jedem Fertigungsplaner zur Verfügung stellen zu können, wurde auf Grundlage der Datenmodelle und des Optimierungskonzeptes eine Softwarelösung erstellt, die es ermöglicht, mit relativ niedriger Berechnungsleistung das entwickelte Optimierungskonzept einzusetzen.

Die Softwarelösung wurde an verschiedenen Anwendungsbeispielen erfolgreich erprobt. Es konnte gezeigt werden, dass das entwickelte Modell- und Optimierungskonzept in der Lage ist, Verbesserungspotentiale für den Liniendurchsatz in der Fertigung aufzudecken. Dieses Potential könnte auf existierende Fertigungslinien in der Produktion und der Distribution übertragen und die Korrektheit der Maßnahmen, insbesondere auch in der Höhe der Durchsatzverbesserung, bewiesen werden.

Im abschließenden Kapitel wird ein Ausblick auf die Möglichkeiten zur Verbesserung der Logistikprozesse in der Supply Chain unter Verwendung von Radio Frequency Identifikation Tags (RFID) gegeben. Eine Echtzeitanbindung der Kundenentnahmen im Distributionszentrum über RFID bietet demnach Vorteile in der Datengenauigkeit und der Verkürzung der Reaktionszeit. Dies bedeutet jedoch keine automatische Verringerung der Lagerhaltungs- und Fertigungskosten für den Mobilfunkhersteller. Letztlich liegt der besondere Vorteil von RFID hauptsächlich in der Automatisierung der Supply-Chain-Steuerung und der dazugehörigen Fertigungsplanung.

Summary

The manufacturers of mobile communication devices are challenged by new global changes and have to adjust their production strategies and concepts. Due to the increasing number of components of higher complexity and value an end-to-end optimization of their supply chain becomes increasingly important. The main goal is the reduction of their owned production buffers and storages. Whereas the new growth markets in Africa, India and South-East Asia are demanding cheap mobile phones in high numbers, the already saturated markets are asking for devices linked with new added value services. From the producer's point of view the European Supply Chain is mainly driven by outsourcing all supply chain steps, centralization of the sourcing activities and focusing on system component suppliers, as well as the introduction of a demand-driven mass production concept. In addition, the responsibility of the manufacturer in the supply chain is more and more extending towards the retail shop.

The objective of this work is to provide a concept based on a mass market capable, demand-driven optimization model to solve these new challenges by developing adjusted optimization solutions for production and distribution of mobile phones.

In general, the supply chain of electronics can be divided into sourcing, component placement and final assembly, postponement and distribution as well as shipping and sales. The main focus of the work is on the areas from component placement to distribution with the boundaries of sourcing and sales.

The component placement on printed wired boards (PWB) of mobile phones is done in production lines equipped with a screen printer for applying the solder paste on the PWB, a couple of fully automated surface mount component assembly machines as well as an reflow oven for soldering the components. Depending on the product design different production line layouts are possible.

After component placement and assembly the mobile phones are sent from the factories to the distribution centers, located all over the world. To fulfill the necessary changes, depending on the needs of the telecommunication providers, the tasks of the distribution centers has been extended towards a so called "customer fulfillment center", which not only handles distribution but also postponement manufacturing lines in order to fulfill customer specific needs. Due to this move as well as the saturation of the markets the position of the distribution centers inside the supply chain has been increased.

To better understand the behavior of the supply chain itself, the basics of each process, buffer and the resulting manufacturing lines as well as their configurations has been closely investigated.

During the planning process of the manufacturing lines an optimal production flow was achieved by taking indicators like throughput, work in progress and makespan as well as its variability into account.

Due to the modular structure of the supply chain planning consisting of an order , product and supply chain model different integration concepts for optimizing manufacturing lines in factories and distribution centers could be modeled. Because of this approach a transparent structure of the manufacturing tasks for the supply chain planning could be ensured.

Leveraging the modular model an efficient approach has been developed to optimize the manufacturing process of different manufacturing lines. The optimization strategy has been built on a hierarchical structure by splitting the optimization problem in two phases: order sequencing and assignment and timing.

The method has been proven to be extremely flexible and therefore it can be adjusted easily to different manufacturing boundary conditions. This has been shown by leveraging the method for short-time sequencing optimization issues as well as long-time optimization tasks in a distribution center with a demand driven environment.

To ensure the quality of the models and the method, the optimization solutions of a mass volume production and a demand driven distribution has been analyzed. The achieved results of the line throughput confirms the basic rule set of the supply-chain optimization and therefore this can be seen as a proof for the correctness of the models and optimization concepts.

To allow every manufacturing planer globally to use the established solution, a software program based on the models and the optimization concept was developed, which runs with limited computer power and calculates optimal results.

The software solution has been successfully implemented in different application examples. It could be shown, that the developed model and optimization concept is capable to identify improvement potentials for the line throughput in manufacturing. These potential could be successfully implemented in existing manufacturing lines in factories and distribution centers and the correctness of the results, especially the throughput improvement, has been proven.

In the final chapter the possibilities for the improvement of the logistic processes by using RFID tags in the supply chain of mobile phones are highlighted. A real time connectivity of the customer orders in a distribution center leveraging RFID is providing the advantage of data correctness and a reduction of the reaction time. However, this does not automatically lead to a reduction of storage or manufacturing costs for the phone manufacturers. Finally, the pros of RFID are in automating the supply chain control and the belonging manufacturing planning process.

Literaturverzeichnis

- [1] AART,E.; KORST, J: *Simulated Annealing and Boltzman machine*. John Wiley and sons, Chichester. 1989
- [2] ABELS,S : *Modellierung und Optimierung von Montageanlagen in einem integrierten Simulationssystem*. München Wien: Hanser, 1993
- [3] BAO, H.O.: An Expert System for SMT printed Circuit Board Assembly. In: *Manufacturing Review* 1 (1988), S. 275-280
- [4] BAYERISCHER FORSCHUNGSVERBUND SIMULATIONSTECHNIK: *Simulationsbasierte Werkzeuge für die Produktionstechnik*. Erlangen: 2003 - Forschungsbericht
- [5] BIERWIRTH, T.: Virtuelle Logistikplanung für die Automobilindustrie, Methoden und Modelle im Rahmen der digitalen Fabrik. In: Bracht, U. (Hrsg.): *Innovationen der Fabrikplanung und -organisation*, Bd.10., Aachen: Shaker Verlag, 2004
- [6] BLEY, H.; FRANKE, C.: Integration von Produkt- und Produktionsmodell mit Hilfe der Digitalen Fabrik. In: *wt-Werkstatttechnik* 91 (2001), S. 214-220
- [7] BLOECH, J.: *Großes Logistik Lexikon*. München: 1997, S. 589
- [8] BODNER, D.A.; DAMRAU M. ET. AL.: Virtual Prototyping of electronics assembly systems. In: *Electronics manufacturing Engineering*, Vol 14. No3. Dearborn : USA Society of manufacturing Engineers 1999, S1-5
- [9] BOIGER, M.; ABACH, A.; FLECKENSTEIN, M.: Trends in der Elektronik, In: Feldmann. K.;Geiger, M. (Hrsg.): *Produktionssysteme in der Elektronik*. Bamberg: Meisenbach 2001, S. 483-490
- [10] BRACHT, U.: VDI 4499 Blatt 1 – *Digitale Fabrik, Modellbildung und Simulation in der Praxis*, VDI Berichte Band 1989. Düsseldorf: VDI Verlag , 2007, S.99-109
- [11] BRAND A.: *Prozesse und Systeme zur Bestückung räumlicher elektronischer Baugruppen*, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg. Bamberg: 1997
- [12] CALA, M.; SHIHARI, K.: Knowledge based Process Planning in Surface Mount Technology. New York: *Proceedings of the IEEE/CHMT IEMT Symposium*, 1991
- [13] CARRAVILLA, M.A.: Hierarchical production planning in a make-to-order company: a case study. In: *European Journal of Operational Research* 86 (1995), S.43-56
- [14] CHRISTOPH, F.: *Durchgängige Simulationsgestützte Planung von Fertigungseinrichtungen der Elektronikproduktion*, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg. Bamberg: 2003
- [15] CHRISTOPH, F.: COLLISI, T. et. all.: Durchgängiger Einsatz der Simulationstechnik, In : *VDI-Z 144* (2002), 3/2002, S.30-33
- [16] COLLISI, T.: *Ein informationslogistisches Architekturkonzept zur Akquisition simulationsrelevanter Daten*, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg. Bamberg: 2002
- [17] CRUM, S.: Convergence promise Profits for Contract manufacturer. In: *EP&P Electronic Packaging and Production*, 10 /2000, S. 32-40
- [18] DÄUMLER, K.-D.: GRABE, J.: *Kostenrechnungslexikon, ABC der Kostenrechnung*. Herne Berlin: Verlag neue Wirtschaftsbriefe, 1992
- [19] DEUTSCHLÄNDER, A.: Integrierter Ansatz zur Reduzierung der Durchlaufzeit in der Leiterplattenmontage. In: *ZwF CIM* 86 (1991) S. 160-165
- [20] DOMBROWSKI, U.; TIEDEMANN, H.; BOTHE, T.: Visionen für die Digitale Fabrik. In: *ZWF* 96(2003), Nr.3, S. 96-100
- [21] EVERSHEIMER, W.: *Organisation in der Produktionstechnik, Band 1:Grundlagen*. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1981
- [22] FELDMANN, K.; REINHART,G.: *Simulation in der Produktionstechnik*, Multimedia-CD. Erlangen München: 2001.

- [23] FELDMANN, K.; *Wettbewerbsfähig durch Integration neuer Technologien und optimale Prozessketten*, Fachtagung „Flexible Produktionssysteme für innovative Elektronik“. Productronica 1993
- [24] FELDMANN, K.; CHRISTOPH, F.: Maschinennahe Simulation- Anwendung in Maschinenentwicklung und Betrieb. In: Panreck, K.; Dörrschneidt, F. (Hrsg.): *Frontiers in Simulation*. Tagungsband zum 15. Symposium Simulationstechnik. Paderborn: 2001, S. 131-136
- [25] FELDMANN, K.; GRAMPP K.; Koch, M.; Rothhaupt, A.: Optimale Rüst- und Umrüststrategien steigern Produktivität. In: *Leiterplattentechnik*, Carl Hanser Verlag. 1992 S.46-50
- [26] FELDMANN, K.; ROTH, N.: Optimization of Set-up strategies for Operating Automated SMT Assembly Lines. In: *Annals of the CIRP*, Vol. 40/1/1991
- [27] FELDMANN, K.; ROTHHAUPT, A.: An Intelligent optimization Tool for the Electronics Production. In: *Proceedings of the Surface Mount International*, 1994, S.704-710
- [28] FELDMANN, K.; WUNDERLICH, J.: Simulation Based Costing (SBC) in Production Systems. In: Deschaine, L.M. (Hrsg.): *Proceedings of the business and Industry Symposium*. San Diego: SCS 2001, S. 149-154
- [29] FELDMANN, K.; ZÖLLNER B.: Verfügbarkeit durch Diagnose. In: *Produktionsautomatisierung*, München: Oldenbourg Verlag, 1993, S. 29-32
- [30] FELDMANN, K.: In FAPS Werbebroschüre: *Elektronikproduktion*, 1997
- [31] FELDMANN, K.; SCHLÖGL W.: Optimierung von automatisierten Bestücksystemen. In: *ZWF* 93, 10/1998, S. 497-499
- [32] FELDMANN, K.: Simulation im betrieblichen Alltag. In: Feldmann, K.; Reinhardt, G. (Hrsg.): *Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. S. 1-12
- [33] FINKENZELLER, K.: *RFID- Handbuch*. München: Carl Hanser Verlag, 2002
- [34] FUHRMANN, J.: Der Elektronikfertigungsmarkt 2000 aus der Sicht des VDMA. In: *Productronic*, 4/1001, S.58-60
- [35] GOLDBERG, D.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Verlag, 1993
- [36] GRONAU, N.: *Management von Produktion und Logistik mit SAP R/3*. München: Oldenbourg Verlag, 1999.
- [37] GÜNTHER, H.-O.; MATTFELD, D.; SUHL, L.: *Supply Chain Management und Logistikoptimierung, Simulation, Decision Support*. Heidelberg: Physica-Verlag, 2005
- [38] GÜNZEL, U.: *Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung*. München: Carl Hanser Verlag, 1993
- [39] HARPER, H.: *Cost Accounting*. London: 1993
- [40] HARTBERGER, H.: *Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme*. München: Springer-Verlag, 1991
- [41] MILBERG, J. ;REINHART G.: *Ablaufsimulation: Anlagen effizient und sicher planen und betreiben*. München: Herbert Utz Verlag Wissenschaft, 1998
- [42] KACZMARCZYK, W.: *Optimal versus heuristic scheduling of SMT lines*. In: Taylor & Francis, 2004, S. 2083-2110
- [43] KEMENAS, J.: Unterschiedliche Bestückprinzipien aus einer Hand. In: *SMT Surface Mount Technology* 12 (1999), 11,/1999, S.22-24
- [44] KOSTURIK, J.: *Simulation von Produktionssystemen*. Wien, New York: Springer, 1995

- [45] KREUZFELD, J.; SCHMIDT, B.: Integrierte Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung. In: *CIM Management* 3 (1992) S. 53-60
- [46] KRUPS, R.: *SMT Handbuch*. Würzburg: Vogel Verlag, 1991
- [47] KUHN, A.; RABE, M.: *Simulation in Produktion und Logistik - Fallbeispielsammlung*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 1998
- [48] KÜHN, W.: *Digitale Fabrik*. München: Hanser Verlag, 2006
- [49] KÜPPER, H.-U.; HELBER, S.: *Ablauforganisation in Produktion und Logistik*. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 1995
- [50] LEA, C.: *A scientific Guide to Surface Mount Technology*. Ayr, Scotland : Electrochemical Publications limited
- [51] LEE, H.L.: The Bullwhip Effect in Supply Chains. In: *Sloan Management Review* 38(3), 1997, S. 93-102
- [52] LULAY, W.; REINHARDT, G.: Internetbasierte, betriebsbegleitende Simulation zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen. In: Feldmann, K.; Reinhardt, G.(Hrsg.): *Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2000
- [53] LYNCH, C.: *Logistic Outsourcing*. Council of Logistics Management, 2000
- [54] MEIER H.; HOMUTH, M.: Erschließung der Potenziale der Digitalen Fabrik in heterogener Systemlandschaft. In: *ZWF* 100(2005), Nr. 1/2, S20-24
- [55] MEIER H.; QUDE, N.: Planungsunterstützung durch Integration hierarchischer Modelle in das System Digitale Fabrik. In: *wt-werkstattstechnik* online 97 (2007), Nr. 1/2, S. 25-29
- [56] MENGE, M.: *Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte*. Essen: Vulkan-Verlag, 2001
- [57] MERTENS, P.: E-Business - Supply Chain Management Betriebliche Software-Bausteine. In: *FORWIN - Bayerischer Forschungsverbund Wirtschaftsinformatik*. Bamberg, Bayreuth, Erlangen-Nürnberg, Regensburg, Würzburg: 2000.
- [58] MERTENS, P.; GRIESE, J.: Integrierte Informationsverarbeitung 2 – Planungs- und Kontrollsysteme in der Industrie. Wiesbaden : Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, 2000
- [59] MÖßNER, H.; REINHARDT, G.: Simulationsbasierte Regelung zeitvarianter Produktionssysteme. In: Feldmann, K.; Reinhardt, G.(Hrsg.): *Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. S. 55-82
- [60] N.N.: *Business Intelligence Report*. Motorola: Q4/2006
- [61] N.N.: Motorola launches international trading centre. In: Economic Development Board of the Singapore Government, 2003, http://www.edb.gov.sg/edb/sg/en_uk/index/news_room/news/2003/1.html: Zugriff 23.08.2007.
- [62] N.N.: *Handbuch Razr*. Motorola, 2004
- [63] N.N.: *Mobilfunk Discounter*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Mobilfunk-Discounter> : Zugriff 10.01.2007
- [64] N.N.: *Produktlifecycle Study*. Motorola, 2005
- [65] N.N.: *Tag Data Standard 1.3.1*. GS1, 2007
- [66] N.N.: *Verpackungsdefinition*. EPCGlobal, 2005
- [67] N.N.: *Breakdown Report*. Prisma Partners LLC, 2006
- [68] N.N.: *CPRF Definition*. <http://www.vics.org/committees/cprf/>: Zugriff 10.01.2008
- [69] N.N.: *Handy-Markt stagniert 2006 auf hohem Niveau*. Bitkom: http://www.bitkom.de/de/presse/8477_41678.aspx, Zugriff 23.08.2007

- [70] N.N.: In: *Logistik Lexikon*, Postponement. <http://www.logistiklexikon.de/?main=/ccPiid694> :Zugriff 23.08.2007
- [71] N.N.: *Mobile Handset Analysis*. iSupply Cooperation, 2006
- [72] N.N.: *Motorola Werk Flensburg*, 2007
- [73] N.N.: *MTBF*. http://de.wikipedia.org/wiki/Mean_Time_Between_Failures Zugriff 23.08.2007
- [74] N.N.: *Nokia baut Anteil am Handymarkt aus*. Tecchannel, <http://www.tecchannel.de/kommunikation/news/467988/>, Zugriff 23.08.2007
- [75] N.N.: *Produktbeschreibung Nokia 55500 Sport*. Nokia Cooperation, http://www.nokia.de/de/mobiltelefone/modelluebersicht/5500_sport/startseite/211274.html, Zugriff 23.08.2007
- [76] N.N.: *Produktbeschreibung V3*. Motorola, 2004
- [77] N.N.: *Supply Chain Report*. Motorola, 2005
- [78] N.N.: *Telekommunikationsmarkt*. GFZ, 2006
- [79] N.N.: VDI Richtlinie 3633: *Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen*. Grundlagen, 2003
- [80] N.N.: *Vertriebswege in Europa*. Motorola, 2005
- [81] N.N.: *VMI*. http://de.wikipedia.org/wiki/Vendor_Managed_Inventory: Zugriff 10.01.2008
- [82] N.N.: *GSM Hits Two Billion Milestone*. GSM Association Press Release 13, Juni 2006, http://www.gsmworld.com/news/press_2006/press06_29.shtml, 23.08.2007
- [83] NEUMANN, K.; MORLOCK M.: *Operations Research*. München: Carl Hanser Verlag, 1993
- [84] OELTJENBRUNS, H.: *Organisation der Produktion nach dem Vorbild Toyotas - Analyse, Vorteile und detaillierte Voraussetzungen sowie die Vorgehensweise zur erfolgreichen Einführung am Beispiel eines globalen Automobilkonzerns*. Aachen: Shaker Verlag, 2000.
- [85] PAPAAGEORGIOU, M.: *Optimierung*. München: Oldenbourg Verlag, 1991
- [86] PARKER, G.R.; RARDIN L.R.: *Discrete optimization*. Academic Press Inc, 1988
- [87] PAWLISCHEK, H.: SMT-Bestücketechniken. In: *Handbuch der Leiterplattentechnik*, Band 2, Saalgau: Eugen G.Leuze Verlag, 1991
- [88] PHILIPP, O.: *Das X-Internet - Verbindung zwischen physischer und Cyber-Welt*. In: *Internet der Dinge*, Springer Verlag, 2007
- [89] PIONTEK, J.: *Global Sourcing - Managementwissen für Studium und Praxis*. München: R.Oldenbourg Verlag, 1997.
- [90] PLAPP, C.: Detaillierte Kapazitätsplanung und Reihenfolgeoptimierung unterstützen die Fertigungssteuerung, In: *ZWF CIM* 86 (191) 11 S.542-545
- [91] PÖHLS, A.: Rüstoptimierung in der SMT-Baugruppenbestückung, In: *Feinwerkstechnik & Messtechnik*, München: Carl Hanser Verlag, 1999
- [92] PONGRATZ, S: Motorola's R&D in RFID. In: Tagungsband : *RFID in Europe*, London: IDTechEX, 2006
- [93] REINHART, G.; FELDMANN, K.: *Simulation – Schlüsseltechnologie der Zukunft ?*. München: Herbert Utz, 1997
- [94] REINHART, G.: Simulation - ein Experiment am digitalen Modell. In: Feldmann, K.; Reinhardt, G.(Hrsg.): *Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2000, S. 13-30
- [95] REITINGER, M.: SMT-Montage in der Flachbaugruppenfertigung- heute und morgen. In: *Tagungsband Leiterplatte*. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1994
- [96] ROTHER, M.: *Learning to See*. Brookline, 1999

- [97] ROTHHAUPT, A.: Durchlaufzeitverkürzung in der SMD-Bestückung durch Rüst- und Umrüstoptimierung. In: *Tagungsband SMT, ASIC, Hybrid*. Nürnberg: 1991
- [98] ROTHHAUPT, A.: *Modulares Planungssystem zur Optimierung der Elektronikfertigung*, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg. Bamberg: 1995
- [99] ROTTBAUER, H.: *Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion*, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg. Bamberg: 2001
- [100] SAUER, W.; WOLTER, K. Et. Al.: Qualitätssicherung in der SMT-Bestückung-Bestimmung von Prozess- und Maschinenfähigkeitskoeffizienten. In: *Tagungsband zum Symposium Elektronik-Technologie*. Dresden, 1996
- [101] SAWIK, T.: *Production Planning and Scheduling in Flexible Assembly Systems*. Berlin: Springer Verlag, 1990
- [102] SCHINDLER, H.; MÜLLER, G.: Rüstoptimierung bei der SMD-Bestückung. In: *Tagungsband zur AME*, Essen, 1991
- [103] SCHLÖGL, W.: *Integriertes Simulationsdaten-Management für Maschinenentwicklung und Anlagenplanung*, Dissertation Universität Erlangen. Bamberg: 2000
- [104] SCHLÖGL, W.: Referenzmodell maschinennaher Simulationskomponenten. In: Wenzel, S. (Hrsg.): *Referenzmodelle für die Simulation in der Produktion und Logistik*. Delft: SCS, S. 151-170
- [105] SCHMUCK, T., Simulation von Distributionsprozessen bei Produkten der Konsumelektronik. In: *Tagungsband Simvis*. Magdeburg: 2007, S. 87-96
- [106] SCHMUCK, T., SCHALLER A.: Simulation als Werkzeug zur Flexibilisierung von Anlagen und Abläufen in der Elektronikproduktion. In: *Seminar Band Elektronikproduktion*. Erlangen: 2001
- [107] SCHMUCK, T.: *Supply Chain Planner*. Erlangen: Projektbericht, 2005
- [108] SCHMUCK, T.: *Strategic Supply Chain Management*. Erlangen: Projektbericht, 2006
- [109] SCHOBLOCK, R.: *RFID Radio Frequency Identification*. Poing: Franzis Verlag GmbH, 2005
- [110] SCHRAFT, R.D.; WOLF, E.; LEICHT, T.R.: *Bestückungsautomaten*. Heidelberg: Hüthig Verlag, 1989
- [111] SCHRÖDER, T.: Digitale Produktion mit Tücken. In: *Financial Times Deutschland*, 17.01.2002, S.30
- [112] SEBASTIAN, H.-J.; GÜNERT, T.: *Logistik Management - Supply Chain Management und e-Business*. Stuttgart/ Leipzig/Wiesbaden: B.G.Teubner GmbH, 2001
- [113] SPUR, G.; MERTINS, K.J.: Planung und Steuerung von Fertigungszellen für die Montage elektrischer Baugruppen. In: *ZWF 84* (1989) 4, S. 169-175
- [114] THIM, C.: *Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflussstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation*. Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg. Bamberg: 1992
- [115] TIRPAK, T.: Design-to-Manufacturing information management for electronics assembly, In: Shaw M.(Hrsg.): *Information Based Manufacturing technology and Management*, Kluwer, 1999
- [116] VAN GASTEL, S.: Trends in der Elektronikfertigung. In: *Productronic* 6/2002, S. 11-15
- [117] WAGUIH, H.: Integration Assembly Planning and Scheduling- CAPP Related issues. In: *Annals of the CIRP*, Vol. 41, 1992
- [118] WALLACE, H.: *Factory Physics*. Chicago, 1996
- [119] WALLACE, H.: *Supply Chain Science*. Chicago, 2003

- [120] WANG, W.: Optimization of high-speed multistation SMT placement machines using evolutionary algorithms. In: *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 1999, S 137-146
- [121] WANNENWETSCH, H.; NICOLAI, S.: *E-Supply-Chain-Management - Grundlagen Strategien Praxisanwendungen*. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, 2002.
- [122] WANT, R: An introduction to RFID technology. In: *Pervasive Computing*, IEEE, Heft 1(2006), S. 25- 33
- [123] WEBER, J.; BAUMGARTEN, H.: *Handbuch Logistik - Management von Material und Warenfluss*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 1999.
- [124] WESTKÄMPER, E.; BIERCHENK, S.; KUHLMANN, T.: Digitale Fabrik – nur was für die Großen?. In: *wt-werkstattstechnik* online 93 (2003), Nr. 1/2, S.22-26
- [125] WIENDAHL, H.P.: Auf dem Weg zur Digitalen Fabrik, In: *wt-werkstattstechnik* online 92 (2002), Nr. 4, S.121
- [126] WILDEMANN, H.: *Lean Management - Strategien zur Erreichung wettbewerbsfähiger Unternehmen*. Frankfurt a. M.: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 1993
- [127] WU, B.: *Supply Chain Planner*, Studienarbeit. Erlangen 2005
- [128] WUNDERLICH, J.: *Kostensimulation- Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsregelung komplexer Produktionssysteme*. Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg. Bamberg: 2002.

Reihe Fertigungstechnik - Erlangen

www.mb.uni-erlangen.de/diss

Band 1 - 52

Carl Hanser Verlag, München

ab Band 53

Meisenbach Verlag, Bamberg

45,-- Euro

Band 1: Andreas Hemberger

Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme

208 Seiten, 107 Bilder. 1988.

Band 2: Detlef Classe

Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montagesysteme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte

194 Seiten, 70 Bilder. 1988.

Band 3: Friedrich-Wilhelm Nolting

Projektierung von Montagesystemen

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.

Band 4: Karsten Schlüter

Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen

durch den Einsatz der Simulationstechnik

177 Seiten, 97 Bilder. 1989.

Band 5: Shir-Kuan Lin

Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern

168 Seiten, 46 Bilder. 1989.

Band 6: Rudolf Nuss

Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität

im Fertigungssystem Laserstrahlschneiden

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989.

Band 7: Wolfgang Scholz

Modell zur datenbankgestützten Planung

automatisierter Montageanlagen

194 Seiten, 89 Bilder. 1989.

Band 8: Hans-Jürgen Wißmeier

Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens

von Hartmetall-Fließpreßmatrizen

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989.

Band 9: Rainer Eisele

Konzeption und Wirtschaftlichkeit

von Planungssystemen in der Produktion

183 Seiten, 86 Bilder. 1990.

Band 10: Rolf Pfeiffer

Technologisch orientierte Montageplanung

am Beispiel der Schraubtechnik

216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990.

Band 11: Herbert Fischer

Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung

der rechnerintegrierten Teilefertigung

201 Seiten, 82 Bilder. 1990.

- Band 12: Gerhard Kleineidam
CAD/CAP: Rechnergestützte Montageeinplanung
203 Seiten, 107 Bilder. 1990.
- Band 13: Frank Vollertsen
Pulvermetallurgische Verarbeitung eines übereutektoiden verschleißfesten Stahls
XIII u. 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990.
- Band 14: Stephan Biermann
Untersuchungen zur Anlagen- und Prozediagnostik für das Schneiden mit CO₂-Hochleistungslasern
VIII u. 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991.
- Band 15: Uwe Geißler
Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991.
- Band 16: Frank Oswald Hake
Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen
XIV u. 166 Seiten, 77 Bilder. 1991.
- Band 17: Herbert Reichel
Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991.
- Band 18: Josef Scheller
Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen für rechnergeführte Montagezellen
198 Seiten, 65 Bilder. 1991.
- Band 19: Arnold vom Ende
Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991.
- Band 20: Joachim Schmid
Beitrag zum automatisierten Bearbeiten von Keramikguß mit Industrierobotern
XIV u. 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991.
- Band 21: Egon Sommer
Multiprozessorsteuerung für kooperierende Industrieroboter in Montagezellen
188 Seiten, 102 Bilder. 1991.
- Band 22: Georg Geyer
Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der Montage
192 Seiten, 112 Bilder. 1991.
- Band 23: Rainer Flohr
Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik in der Oberflächenmontage (SMT)
186 Seiten, 79 Bilder. 1991.
- Band 24: Alfons Rief
Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen in der Rohkarosseriefertigung
VI u. 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991.
- Band 25: Christoph Thim
Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation
188 Seiten, 74 Bilder. 1992.
- Band 26: Roland Müller
CO₂-Laserstrahlschneiden von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen
141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992.
- Band 27: Günther Schäfer
Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung
195 Seiten, 76 Bilder. 1992.

- Band 28: Martin Hoffmann
Entwicklung einer CAD/CAM-Prozesskette für die Herstellung von Blechbiegeteilen
149 Seiten, 89 Bilder. 1992.
- Band 29: Peter Hoffmann
**Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und –schweißen :
Prozessführung und Systemtechnik in der 3D–Laserstrahlbearbeitung
von Blechformteilen**
186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992.
- Band 30: Olaf Schrödel
Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen
180 Seiten, 84 Bilder. 1992.
- Band 31: Hubert Reinisch
**Planungs– und Steuerungswerkzeuge
zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen**
XI u. 212 Seiten, 112 Bilder. 1992.
- Band 32: Brigitte Bärnreuther
**Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens
von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen**
XI u. 179 Seiten, 71 Bilder. 1992.
- Band 33: Joachim Huffless
**Laserstrahlregelung und Optikiagnostik
in der Strahlführung einer CO₂-Hochleistungslaseranlage**
175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993.
- Band 34: Uwe Günzel
**Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative
und strategische Probleme der Produktionsplanung und –steuerung**
XIV u. 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993.
- Band 35: Bertram Ehmman
**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung
auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**
XV u. 167 Seiten, 114 Bilder. 1993.
- Band 36: Harald Kolléra
**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems
für das Laserstrahlschneiden**
129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993.
- Band 37: Stephanie Abels
**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen
in einem integrierten Simulationssystem**
188 Seiten, 88 Bilder. 1993.
- Band 38: Robert Schmidt–Hebbel
Laserstrahlbohren durchflußbestimmender Durchgangslöcher
145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993.
- Band 39: Norbert Lutz
**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe
mit XeCl–Excimerlaserstrahlung**
187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994.
- Band 40: Konrad Grampp
**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung
an Steuerungssoftware von SMD–Bestücklinien**
178 Seiten, 88 Bilder. 1995.
- Band 41: Martin Koch
**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung
in der Investitionsgüterindustrie**
169 Seiten, 68 Bilder. 1995.
- Band 42: Armin Gropp
**Anlagen– und Prozessdiagnostik
beim Schneiden mit einem gepulsten Nd:YAG–Laser**
160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Band 53: Robert Hopperdietzel
Reengineering in der Elektro- und Elektronikindustrie
180 Seiten, 109 Bilder, 1 Tabelle. 1996.
ISBN 3-87525-070-2

Band 54: Thomas Rebhan
Beitrag zur Mikromaterialbearbeitung mit Excimerlasern – Systemkomponenten und Verfahrensoptimierungen
148 Seiten, 61 Bilder, 10 Tabellen. 1996.
ISBN 3-87525-075-3

Band 55: Henning Hanebuth
Laserstrahlhartlöten mit Zweistrahltechnik
157 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1996.
ISBN 3-87525-074-5

Band 56: Uwe Schönherr
Steuerung und Sensordatenintegration für flexible Fertigungszellen mit kooperierenden Robotern
188 Seiten, 116 Bilder, 3 Tabellen. 1996.
ISBN 3-87525-076-1

Band 57: Stefan Holzer
Berührungslose Formgebung mit Laserstrahlung
162 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 1996.
ISBN 3-87525-079-6

- Band 58: Markus Schultz
Fertigungsqualität beim 3D-Laserstrahlschweißen von Blechformteilen
165 Seiten, 88 Bilder, 9 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-080-X
- Band 59: Thomas Krebs
Integration elektromechanischer CA-Anwendungen über einem STEP-Produktmodell
198 Seiten, 58 Bilder, 8 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-081-8
- Band 60: Jürgen Sturm
Prozeßintegrierte Qualitätssicherung in der Elektronikproduktion
167 Seiten, 112 Bilder, 5 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-082-6
- Band 61: Andreas Brand
Prozesse und Systeme zur Bestückung räumlicher elektronischer Baugruppen (3D-MID)
182 Seiten, 100 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-087-7
- Band 62: Michael Kauf
Regelung der Laserstrahlleistung und der Fokusparameter einer CO₂-Hochleistungslaseranlage
140 Seiten, 70 Bilder, 5 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-083-4
- Band 63: Peter Steinwasser
Modulares Informationsmanagement in der integrierten Produkt- und Prozeßplanung
190 Seiten, 87 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-084-2
- Band 64: Georg Liedl
Integriertes Automatisierungskonzept für den flexiblen Materialfluß in der Elektronikproduktion
196 Seiten, 96 Bilder, 3 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-086-9
- Band 65: Andreas Otto
Transiente Prozesse beim Laserstrahlschweißen
132 Seiten, 62 Bilder, 1 Tabelle. 1997.
ISBN 3-87525-089-3
- Band 66: Wolfgang Blöchl
Erweiterte Informationsbereitstellung an offenen CNC-Steuerungen zur Prozeß- und Programmoptimierung
168 Seiten, 96 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-091-5
- Band 67: Klaus-Uwe Wolf
Verbesserte Prozeßführung und Prozeßplanung zur Leistungs- und Qualitätssteigerung beim Spulenwickeln
186 Seiten, 125 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-092-3
- Band 68: Frank Backes
Technologieorientierte Bahnplanung für die 3D-Laserstrahlbearbeitung
138 Seiten, 71 Bilder, 2 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-093-1
- Band 69: Jürgen Kraus
Laserstrahlumformen von Profilen
137 Seiten, 72 Bilder, 8 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-094-X
- Band 70: Norbert Neubauer
Adaptive Strahlführungen für CO₂-Laseranlagen
120 Seiten, 50 Bilder, 3 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-095-8

- Band 71: Michael Steber
**Prozeßoptimierter Betrieb flexibler Schraubstationen
in der automatisierten Montage**
168 Seiten, 78 Bilder, 3 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-096-6
- Band 72: Markus Pfestorf
Funktionale 3D-Oberflächenkenngrößen in der Umformtechnik
162 Seiten, 84 Bilder, 15 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-097-4
- Band 73: Volker Franke
**Integrierte Planung und Konstruktion
von Werkzeugen für die Biegebearbeitung**
143 Seiten, 81 Bilder. 1998.
ISBN 3-87525-098-2
- Band 74: Herbert Scheller
**Automatisierte Demontagesysteme und recyclinggerechte
Produktgestaltung elektronischer Baugruppen**
184 Seiten, 104 Bilder, 17 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-099-0
- Band 75: Arthur Meßner
**Kaltmassivumformung metallischer Kleinstteile
– Werkstoffverhalten, Wirkflächenreibung, Prozeßauslegung**
164 Seiten, 92 Bilder, 14 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-100-8
- Band 76: Mathias Glasmacher
Prozeß- und Systemtechnik zum Laserstrahl-Mikroschweißen
184 Seiten, 104 Bilder, 12 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-101-6
- Band 77: Michael Schwind
**Zerstörungsfreie Ermittlung mechanischer Eigenschaften
von Feinblechen mit dem Wirbelstromverfahren**
124 Seiten, 68 Bilder, 8 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-102-4
- Band 78: Manfred Gerhard
**Qualitätssteigerung in der Elektronikproduktion durch Optimierung
der Prozeßführung beim Löten komplexer Baugruppen**
179 Seiten, 113 Bilder, 7 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-103-2
- Band 79: Elke Rauh
**Methodische Einbindung der Simulation
in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe**
192 Seiten, 114 Bilder, 4 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-104-0
- Band 80: Sorin Niederkorn
**Meßeinrichtung zur Untersuchung der Wirkflächenreibung
bei umformtechnischen Prozessen**
99 Seiten, 46 Bilder, 6 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-105-9
- Band 81: Stefan Schubert
**Regelung der Fokusslage beim Schweißen mit CO₂-Hochleistungslasern
unter Einsatz von adaptiven Optiken**
140 Seiten, 64 Bilder, 3 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-106-7
- Band 82: Armando Walter Colombo
**Development and Implementation of Hierarchical Control Structures
of Flexible Production Systems Using High Level Petri Nets**
216 Seiten, 86 Bilder. 1998.
ISBN 3-87525-109-1
- Band 83: Otto Meedt
**Effizienzsteigerung bei Demontage und Recycling
durch flexible Demontagetechnologien und optimierte Produktgestaltung**
186 Seiten, 103 Bilder. 1998.
ISBN 3-87525-108-3

- Band 84: Knuth Götz
Modelle und effiziente Modellbildung zur Qualitätssicherung in der Elektronikproduktion
212 Seiten, 129 Bilder, 24 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-112-1
- Band 85: Ralf Luchs
Einsatzmöglichkeiten leitender Klebstoffe zur zuverlässigen Kontaktierung elektronischer Bauelemente in der SMT
176 Seiten, 126 Bilder, 30 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-113-7
- Band 86: Frank Pöhla
Entscheidungsgrundlagen zur Einführung räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID)
144 Seiten, 99 Bilder. 1999.
ISBN 3-87525-114-8
- Band 87: Roland T. A. Kals
Fundamentals on the miniaturization of sheet metal working processes
128 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-115-6
- Band 88: Gerhard Luhn
Implizites Wissen und technisches Handeln am Beispiel der Elektronikproduktion
252 Seiten, 61 Bilder, 1 Tabelle. 1999.
ISBN 3-87525-116-4
- Band 89: Axel Sprenger
Adaptives Streckbiegen von Aluminium-Strangpreßprofilen
114 Seiten, 63 Bilder, 4 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-117-2
- Band 90: Hans-Jörg Pucher
Untersuchungen zur Prozeßfolge Umformen, Bestücken und Laserstrahllöten von Mikrokontakten
158 Seiten, 69 Bilder, 9 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-119-9
- Band 91: Horst Arnet
Profilbiegen mit kinematischer Gestalterzeugung
128 Seiten, 67 Bilder, 7 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-120-2
- Band 92: Doris Schubart
Prozeßmodellierung und Technologieentwicklung beim Abtragen mit CO₂-Laserstrahlung
133 Seiten, 57 Bilder, 13 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-122-9
- Band 93: Adrianus L. P. Coremans
Laserstrahlsintern von Metallpulver – Prozeßmodellierung, Systemtechnik, Eigenschaften laserstrahlgesinterter Metallkörper
184 Seiten, 108 Bilder, 12 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-124-5
- Band 94: Hans-Martin Biehler
Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung
194 Seiten, 105 Bilder. 1999.
ISBN 3-87525-126-1
- Band 95: Wolfgang Becker
Oberflächen Ausbildung und tribologische Eigenschaften excimerlaserstrahlbearbeiteter Hochleistungskeramiken
175 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-127-X
- Band 96: Philipp Hein
Innenhochdruck-Umformen von Blechpaaren: Modellierung, Prozeßauslegung und Prozeßführung
129 Seiten, 57 Bilder, 7 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-128-8

Band 97: Gunter Beitinger
**Herstellungs- und Prüfverfahren
für thermoplastische Schaltungsträger**
169 Seiten, 92 Bilder, 20 Tabellen, 1999.
ISBN 3-87525-129-6

Band 98: Jürgen Knoblach
**Beitrag zur rechnerunterstützten verursachungsgerechten Angebotskalkulation von
Blechteilen mit Hilfe wissensbasierter Methoden**
155 Seiten, 53 Bilder, 26 Tabellen, 1999.
ISBN 3-87525-130-X

Band 99: Frank Breitenbach
**Bildverarbeitungssystem zur Erfassung der Anschlußgeometrie
elektronischer SMT-Bauelemente**
147 Seiten, 92 Bilder, 12 Tabellen, 2000.
ISBN 3-87525-131-8

Band 100: Bernd Falk
**Simulationsbasierte Lebensdauervorhersage
für Werkzeuge der Kaltmassivumformung**
134 Seiten, 44 Bilder, 15 Tabellen, 2000.
ISBN 3-87525-136-9

Band 101: Wolfgang Schögl
**Integriertes Simulationsdaten-Management
für Maschinenentwicklung und Anlagenplanung**
169 Seiten, 101 Bilder, 20 Tabellen, 2000.
ISBN 3-87525-137-7

Band 102: Christian Hinsel
**Ermüdungsbruchversagen hartstoffbeschichteter
Werkzeugstähle in der Kaltmassivumformung**
130 Seiten, 80 Bilder, 14 Tabellen, 2000.
ISBN 3-87525-138-5

Band 103: Stefan Bobbert
**Simulationsgestützte Prozessauslegung
für das Innenhochdruck-Umformen von Blechpaaren**
123 Seiten, 77 Bilder, 2000.
ISBN 3-87525-145-8

Band 104: Harald Rottbauer
**Modulares Planungswerkzeug
zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion**
166 Seiten, 106 Bilder, 2001.
ISBN 3-87525-139-3

Band 105: Thomas Hennige
Flexible Formgebung von Blechen durch Laserstrahlumformen
119 Seiten, 50 Bilder, 2001.
ISBN 3-87525-140-7

Band 106: Thomas Menzel
**Wissensbasierte Methoden für die rechnergestützte Charakterisierung
und Bewertung innovativer Fertigungsprozesse**
152 Seiten, 71 Bilder, 2001.
ISBN 3-87525-142-3

Band 107: Thomas Stöckel
**Kommunikationstechnische Integration der Prozeßebene
in Produktionssysteme durch Middleware-Frameworks**
147 Seiten, 65 Bilder, 5 Tabellen, 2001.
ISBN 3-87525-143-1

Band 108: Frank Pitter
**Verfügbarkeitssteigerung von Werkzeugmaschinen
durch Einsatz mechatronischer Sensorlösungen**
158 Seiten, 131 Bilder, 8 Tabellen, 2001.
ISBN 3-87525-144-X

Band 109: Markus Korneli
**Integration lokaler CAP-Systeme
in einen globalen Fertigungsdatenverbund**
121 Seiten, 53 Bilder, 11 Tabellen, 2001.
ISBN 3-87525-146-6

Band 110: Burkhard Müller
Laserstrahljustieren mit Excimer-Lasern – Prozeßparameter und Modelle zur Aktorkonstruktion
128 Seiten, 36 Bilder, 9 Tabellen. 2001
ISBN 3-87525-159-8

Band 111: Jürgen Göhringer
Integrierte Telediagnose via Internet zum effizienten Service von Produktionssystemen
178 Seiten, 98 Bilder, 5 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-147-4

Band 112: Robert Feuerstein
Qualitäts- und kosteneffiziente Integration neuer Bauelementetechnologien in die Flachbaugruppenfertigung
161 Seiten, 99 Bilder, 10 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-151-2

Band 113: Marcus Reichenberger
Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten alternativer Elektroniklote in der Oberflächenmontage (SMT)
165 Seiten, 97 Bilder, 18 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-152-0

Band 114: Alexander Huber
Justieren vormontierter Systeme mit dem Nd:YAG-Laser unter Einsatz von Aktoren
122 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-153-9

Band 115: Sami Krimi
Analyse und Optimierung von Montagesystemen in der Elektronikproduktion
155 Seiten, 88 Bilder, 3 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-157-1

Band 116: Marion Merklein
Laserstrahlumformen von Aluminiumwerkstoffen - Beeinflussung der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften
122 Seiten, 65 Bilder, 15 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-156-3

Band 117: Thomas Collisi
Ein informationslogistisches Architekturkonzept zur Akquisition simulationsrelevanter Daten
181 Seiten, 105 Bilder, 7 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-164-4

Band 118: Markus Koch
Rationalisierung und ergonomische Optimierung im Innenausbau durch den Einsatz moderner Automatisierungstechnik
176 Seiten, 98 Bilder, 9 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-165-2

Band 119: Michael Schmidt
Prozeßregelung für das Laserstrahl-Punktschweißen in der Elektronikproduktion
152 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-166-0

Band 120: Nicolas Tiesler
Grundlegende Untersuchungen zum Fließpressen metallischer Kleinstteile
126 Seiten, 78 Bilder, 12 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-175-X

Band 121: Lars Pursche
Methoden zur technologieorientierten Programmierung für die 3D-Lasermikrobearbeitung
111 Seiten, 39 Bilder, 0 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-183-0

Band 122: Jan-Oliver Brassel
Prozeßkontrolle beim Laserstrahl-Mikroschweißen
148 Seiten, 72 Bilder, 12 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-181-4

Band 123: Mark Geisel

Prozeßkontrolle und –steuerung beim Laserstrahlschweißen mit den Methoden der nichtlinearen Dynamik
135 Seiten, 46 Bilder, 2 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-180-6

Band 124: Gerd Eßer

Laserstrahlunterstützte Erzeugung metallischer Leiterstrukturen auf Thermoplastsubstraten für die MID-Technik
148 Seiten, 60 Bilder, 6 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-171-7

Band 125: Marc Fleckenstein

Qualität laserstrahl-gefügter Mikroverbindungen elektronischer Kontakte
159 Seiten, 77 Bilder, 7 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-170-9

Band 126: Stefan Kaufmann

Grundlegende Untersuchungen zum Nd:YAG- Laserstrahlfügen von Silizium für Komponenten der Optoelektronik
159 Seiten, 100 Bilder, 6 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-172-5

Band 127: Thomas Fröhlich

Simultanes Löten von Anschlußkontakten elektronischer Bauelemente mit Diodenlaserstrahlung
143 Seiten, 75 Bilder, 6 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-186-5

Band 128: Achim Hofmann

Erweiterung der Formgebungsgrenzen beim Umformen von Aluminiumwerkstoffen durch den Einsatz prozessangepasster Platinen
113 Seiten, 58 Bilder, 4 Tabellen
ISBN 3-87525-182-2

Band 129: Ingo Kriebitzsch

3 - D MID Technologie in der Automobilelektronik
129 Seiten, 102 Bilder, 10 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-169-5

Band 130: Thomas Pohl

Fertigungsqualität und Umformbarkeit laserstrahlgeschweißter Formplatinen aus Aluminiumlegierungen
133 Seiten, 93 Bilder, 12 Tabellen. 2002
ISBN 3-87525-173-3

Band 131: Matthias Wenk

Entwicklung eines konfigurierbaren Steuerungssystems für die flexible Sensorführung von Industrierobotern
167 Seiten, 85 Bilder, 1 Tabelle. 2002.
ISBN 3-87525-174-1

Band 132: Matthias Nегandancк

Neue Sensorik und Aktorik für Bearbeitungsköpfe zum Laserstrahlschweißen
116 Seiten, 60 Bilder, 14 Tabellen
ISBN 3-87525-184-9

Band 133: Oliver Kreis

Integrierte Fertigung – Verfahrenintegration durch Innenhochdruck-Umformen, Trennen und Laserstrahlschweißen in einem Werkzeug sowie ihre tele- und multimediale Präsentation
167 Seiten, 90 Bilder, 43 Tabellen
ISBN 3-87525-176-8

Band 134: Stefan Trautner

Technische Umsetzung produktbezogener Instrumente der Umweltpolitik bei Elektro- und Elektronikgeräten
179 Seiten, 92 Bilder, 11 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-177-6

Band 135: Roland Meier

**Strategien für einen produktorientierten Einsatz räumlicher
spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID)**

155 Seiten, 88 Bilder, 14 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-178-4

Band 136: Jürgen Wunderlich

**Kostensimulation – Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsregelung
komplexer Produktionssysteme**

202 Seiten, 119 Bilder, 17 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-179-2

Band 137: Stefan Novotny

**Innenhochdruck-Umformen von Blechen aus Aluminium- und
Magnesiumlegierungen bei erhöhter Temperatur**

132 Seiten, 82 Bilder, 6 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-185-7

Band 138: Andreas Licha

**Flexible Montageautomatisierung zur Komplettmontage flächenhafter
Produktstrukturen durch kooperierende Industrieroboter**

158 Seiten, 87 Bilder, 8 Tabellen. 2003.
ISBN 3-87525-189-X

Band 139: Michael Eisenbarth

**Beitrag zur Optimierung der Aufbau- und Verbindungstechnik
für mechatronische Baugruppen**

207 Seiten, 141 Bilder, 9 Tabellen. 2003.
ISBN 3-87525-190-3

Band 140: Frank Christoph

**Durchgängige simulationsgestützte Planung von
Fertigungseinrichtungen der Elektronikproduktion**

187 Seiten, 107 Bilder, 9 Tabellen. 2003.
ISBN 3-87525-191-1

Band 141: Hinnerk Hagenah

**Simulationsbasierte Bestimmung der zu erwartenden
Mäßhaltigkeit für das Blechbiegen**

131 Seiten, 36 Bilder, 26 Tabellen. 2003.
ISBN 3-87525-192-X

Band 142: Ralf Eckstein

**Scherschneiden und Biegen metallischer Kleinstteile –
Materialeinfluss und Materialverhalten**

148 Seiten, 71 Bilder, 19 Tabellen. 2003.
ISBN 3-87525-193-8

Band 143: Frank H. Meyer-Pittroff

**Excimerlaserstrahlbiegen dünner metallischer Folien
mit homogener Lichtlinie**

138 Seiten, 60 Bilder, 16 Tabellen. 2003.
ISBN 3-87525-196-2

Band 144: Andreas Kach

**Rechnergestützte Anpassung von Laserstrahlschneidbahnen
an Bauteilabweichungen**

139 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 2004.
ISBN 3-87525-197-0

Band 145: Stefan Hierl

**System- und Prozeßtechnik für das simultane Löten mit
Diodenlaserstrahlung von elektronischen Bauelementen**

124 Seiten, 66 Bilder, 4 Tabellen. 2004.
ISBN 3-87525-198-9

Band 146: Thomas Neudecker

**Tribologische Eigenschaften keramischer Blechumformwerkzeuge-
Einfluss einer Oberflächenendbearbeitung mittels Excimerlaserstrahlung**

166 Seiten, 75 Bilder, 26 Tabellen. 2004.
ISBN 3-87525-200-4

- Band 147: Ulrich Wenger
Prozessoptimierung in der Wickeltechnik durch innovative maschinenbauliche und regelungstechnische Ansätze
132 Seiten, 88 Bilder, 0 Tabellen. 2004.
ISBN 3-87525-203-9
- Band 148: Stefan Slama
Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Montagestrukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz
188 Seiten, 125 Bilder, 0 Tabellen. 2004.
ISBN 3-87525-204-7
- Band 149: Thomas Wurm
Laserstrahljustieren mittels Aktoren – Entwicklung von Konzepten und Methoden für die rechnerunterstützte Modellierung und Optimierung von komplexen Aktorsystemen in der Mikrotechnik
122 Seiten, 51 Bilder, 9 Tabellen. 2004.
ISBN 3-87525-206-3
- Band 150: Martino Celeghini
Wirkmedienbasierte Blechumformung: Grundlagenuntersuchungen zum Einfluss von Werkstoff und Bauteilgeometrie
146 Seiten, 77 Bilder, 6 Tabellen. 2004.
ISBN 3-87525-207-1
- Band 151: Ralph Hohenstein
Entwurf hochdynamischer Sensor- und Regelsysteme für die adaptive Laserbearbeitung
282 Seiten, 63 Bilder, 16 Tabellen. 2004.
ISBN 3-87525-210-1
- Band 152: Angelika Hutterer
Entwicklung prozessüberwachender Regelkreise für flexible Formgebungsprozesse
149 Seiten, 57 Bilder, 2 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-212-8
- Band 153: Emil Egerer
Massivumformen metallischer Kleinstteile bei erhöhter Prozesstemperatur
158 Seiten, 87 Bilder, 10 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-213-6
- Band 154: Rüdiger Holzmann
Strategien zur nachhaltigen Optimierung von Qualität und Zuverlässigkeit in der Fertigung hochintegrierter Flachbaugruppen
186 Seiten, 99 Bilder, 19 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-217-9
- Band 155: Marco Nock
Biegeumformen mit Elastomerwerkzeugen
Modellierung, Prozessauslegung und Abgrenzung des Verfahrens am Beispiel des Rohrbiegens
164 Seiten, 85 Bilder, 13 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-218-7
- Band 156: Frank Niebling
Qualifizierung einer Prozesskette zum Laserstrahlsintern metallischer Bauteile
148 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-219-5
- Band 157: Markus Meiler
Großserientauglichkeit trockenschmierstoffbeschichteter Aluminiumbleche im Presswerk
Grundlegende Untersuchungen zur Tribologie, zum Umformverhalten und Bauteilversuche
104 Seiten, 57 Bilder, 21 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-221-7

Band 158: Agus Sutanto

**Solution Approaches for Planning of Assembly Systems
in Three-Dimensional Virtual Environments**

169 Seiten, 98 Bilder, 3 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-220-9

Band 159: Matthias Boiger

**Hochleistungssysteme für die Fertigung elektronischer Baugruppen
auf der Basis flexibler Schaltungsträger**

175 Seiten, 111 Bilder, 8 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-222-5

Band 160: Matthias Pitz

Laserunterstütztes Biegen höchstfester Mehrphasenstähle

120 Seiten, 73 Bilder, 11 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-223-3

Band 161: Meik Vahl

**Beitrag zur gezielten Beeinflussung des Werkstoffflusses
beim Innenhochdruck-Umformen von Blechen**

165 Seiten, 94 Bilder, 15 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-224-1

Band 162: Peter K. Kraus

**Plattformstrategien – Realisierung einer varianz- und
kostenoptimierten Wertschöpfung**

181 Seiten, 95 Bilder, 0 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-226-8

Band 163: Adrienn Cser

Laserstrahlschmelzabtrag – Prozessanalyse und -modellierung

146 Seiten, 79 Bilder, 3 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-227-6

Band 164: Markus C. Hahn

**Grundlegende Untersuchungen zur Herstellung von
Leichtbauverbundstrukturen mit Aluminiumschaumkern**

143 Seiten, 60 Bilder, 16 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-228-4

Band 165: Gordana Michos

Mechatronische Ansätze zur Optimierung von Vorschubachsen

146 Seiten, 87 Bilder, 17 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-230-6

Band 166: Markus Stark

Auslegung und Fertigung hochpräziser Faser-Kollimator-Arrays

158 Seiten, 115 Bilder, 11 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-231-4

Band 167: Yurong Zhou

**Kollaboratives Engineering Management in der integrierten virtuellen
Entwicklung der Anlagen für die Elektronikproduktion**

156 Seiten, 84 Bilder, 6 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-232-2

Band 168: Werner Enser

**Neue Formen permanenter und lösbarer elektrischer
Kontaktierungen für mechatronische Baugruppen**

190 Seiten, 112 Bilder, 5 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-233-0

Band 169: Katrin Melzer

**Integrierte Produktpolitik bei elektrischen und elektronischen
Geräten zur Optimierung des Product-Life-Cycle**

155 Seiten, 91 Bilder, 17 Tabellen. 2005.
ISBN 3-87525-234-9

Band 170: Alexander Putz

**Grundlegende Untersuchungen zur Erfassung der realen Vorspannung von
armierten Kaltfließpresswerkzeugen mittels Ultraschall**

137 Seiten, 71 Bilder, 15 Tabellen. 2006.
ISBN 3-87525-237-3

- Band 171: Martin Prechtl
Automatisiertes Schichtverfahren für metallische Folien – System- und Prozesstechnik
154 Seiten, 45 Bilder, 7 Tabellen. 2006.
ISBN 3-87525-238-1
- Band 172: Markus Meidert
Beitrag zur deterministischen Lebensdauerabschätzung von Werkzeugen der Kaltmassivumformung
131 Seiten, 78 Bilder, 9 Tabellen. 2006.
ISBN 3-87525-239-X
- Band 173: Bernd Müller
Robuste, automatisierte Montagesysteme durch adaptive Prozessführung und montageübergreifende Fehlerprävention am Beispiel flächiger Leichtbauteile
147 Seiten, 77 Bilder, 0 Tabellen. 2006.
ISBN 3-87525-240-3
- Band 174: Alexander Hofmann
Hybrides Laserdurchstrahlsschweißen von Kunststoffen
136 Seiten, 72 Bilder, 4 Tabellen. 2006.
ISBN 978-3-87525-243-9
ISBN 3-87525-243-8
- Band 175: Peter Wöflück
Innovative Substrate und Prozesse mit feinsten Strukturen für bleifreie Mechatronik-Anwendungen
177 Seiten, 148 Bilder, 24 Tabellen. 2006.
ISBN 978-3-87525-246-0
ISBN 3-87525-246-2
- Band 176: Attila Komlódi
Detection and Prevention of Hot Cracks during Laser Welding of Aluminium Alloys Using Advanced Simulation Methods
155 Seiten, 89 Bilder, 14 Tabellen. 2006.
ISBN 978-3-87525-248-4
ISBN 3-87525-248-9
- Band 177: Uwe Popp
Grundlegende Untersuchungen zum Laserstrahlstrukturieren von Kaltmassivumformwerkzeugen
140 Seiten, 67 Bilder, 16 Tabellen. 2006.
ISBN 978-3-87525-249-1
ISBN 3-87525-249-7
- Band 178: Veit Rückel
Rechnergestützte Ablaufplanung und Bahngenerierung Für kooperierende Industrieroboter
148 Seiten, 75 Bilder, 7 Tabellen. 2006.
ISBN 978-3-87525-250-7
ISBN 3-87525-250-0
- Band 179: Manfred Dirscherl
Nicht-thermische Mikrojustiertechnik mittels ultrakurzer Laserpulse
154 Seiten, 69 Bilder, 10 Tabellen. 2007.
ISBN 978-3-87525-251-4
ISBN 3-87525-251-9
- Band 180: Yong Zhuo
Entwurf eines rechnergestützten integrierten Systems für Konstruktion und Fertigungsplanung räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3D-MID)
181 Seiten, 95 Bilder, 5 Tabellen. 2007.
ISBN 978-3-87525-253-8
- Band 181: Stefan Lang
Durchgängige Mitarbeiterinformation zur Steigerung von Effizienz und Prozesssicherheit in der Produktion
172 Seiten, 93 Bilder. 2007.
ISBN 978-3-87525-257-6
- Band 182: Hans-Joachim Krauß
Laserstrahlinduzierte Pyrolyse präkeramischer Polymere
171 Seiten, 100 Bilder. 2007.
ISBN 978-3-87525-258-3

Band 183: Stefan Junker

**Technologien und Systemlösungen für die flexibel automatisierte Bestückung
permanent erregter Läufer mit oberflächenmontierten Dauermagneten**
173 Seiten, 75 Bilder, 2007.
ISBN 978-3-87525-259-0

Band 184: Rainer Kohlbauer

**Wissensbasierte Methoden für die simulationsgestützte Auslegung
wirkmedienbasierter Blechumformprozesse**
135 Seiten, 50 Bilder, 2007.
ISBN 978-3-87525-260-6

Band 185: Klaus Lamprecht

**Wirkmedienbasierte Umformung tiefgezogener Vorformen unter besonderer
Berücksichtigung maßgeschneiderter Halbzeuge**
137 Seiten, 81 Bilder, 2007.
ISBN 978-3-87525-265-1

Band 186: Bernd Zolleiß

**Optimierte Prozesse und Systeme für die Bestückung
mechatronischer Baugruppen**
180 Seiten, 117 Bilder, 2007.
ISBN 978-3-87525-266-8

Band 187: Michael Kerausch

**Simulationsgestützte Prozessauslegung für das Umformen lokal
wärmebehandelter Aluminiumplatten**
146 Seiten, 76 Bilder, 7 Tabellen 2007.
ISBN 978-3-87525-267-5

Band 188: Matthias Weber

**Unterstützung der Wandlungsfähigkeit von Produktionsanlagen
durch innovative Softwaresysteme**
183 Seiten, 122 Bilder, 3 Tabellen 2007.
ISBN 978-3-87525-269-9

Band 189: Thomas Frick

**Untersuchung der prozessbestimmenden Strahl-Stoff-Wechselwirkungen
beim Laserstrahlschweißen von Kunststoffen**
104 Seiten, 62 Bilder, 8 Tabellen 2007.
ISBN 978-3-87525-268-2

Band 190: Joachim Hecht

**Werkstoffcharakterisierung und Prozessauslegung für die wirkmedienbasierte
Doppelblech-Umformung von Magnesiumlegierungen**
107 Seiten, 91 Bilder, 2 Tabellen 2007.
ISBN 978-3-87525-270-5

Band 191: Ralf Völk

**Stochastische Simulation zur Werkzeuglebensdaueroptimierung und
Präzisionsfertigung in der Kaltmassivumformung**
178 Seiten, 75 Bilder, 12 Tabellen 2008.
ISBN 978-3-87525-272-9

Band 192: Massimo Tolazzi

Innenhochdruck-Umformen verstärkter Blech-Rahmenstrukturen
164 Seiten, 85 Bilder, 7 Tabellen 2008.
ISBN 978-3-87525-273-6

Band 193: Cornelia Hoff

**Untersuchung der Prozesseinflussgrößen beim
Presshärten des höchstfesten Vergütungsstahls 22MnB5**
133 Seiten, 92 Bilder, 5 Tabellen 2008.
ISBN 978-3-87525-275-0

Band 194: Christian Alvarez

**Simulationsgestützte Methoden zur effizienten Gestaltung von
Lötprozessen in der Elektronikproduktion**
149 Seiten, 86 Bilder, 8 Tabellen 2008.
ISBN 978-3-87525-277-4

Band 195: Andreas Kunze

**Automatisierte Montage von makromechatronischen
Modulen zur flexiblen Integration in hybride Pkw-Bordnetzsysteme**
160 Seiten, 90 Bilder, 14 Tabellen 2008.
ISBN 978-3-87525-278-1

Band 196: Wolfgang Hußnätter
Grundlegende Untersuchungen zur experimentellen Ermittlung und zur Modellierung von Fließortkurven bei erhöhten Temperaturen
152 Seiten, 73 Bilder, 21 Tabellen 2008.
ISBN 978-3-87525-279-8

Band 197: Thomas Bigl
Entwicklung, angepasste Herstellungsverfahren und erweiterte Qualitätssicherung von einsatzgerechten elektronischen Baugruppen
175 Seiten, 107 Bilder, 14 Tabellen 2008.
ISBN 978-3-87525-280-4

Band 198: Stephan Roth
Grundlegende Untersuchungen zum Excimerlaserstrahl-Abtragen unter Flüssigkeitsfilmen
113 Seiten, 47 Bilder, 14 Tabellen 2008.
ISBN 978-3-87525-281-1

Band 199: Artur Giera
Prozesstechnische Untersuchungen zum Rührreißschweißen metallischer Werkstoffe
179 Seiten, 104 Bilder, 36 Tabellen 2008.
ISBN 978-3-87525-282-8

Band 200: Jürgen Lechler
Beschreibung und Modellierung des Werkstoffverhaltens von presshärtbaren Bor-Manganstählen
154 Seiten, 75 Bilder, 12 Tabellen 2009.
ISBN 978-3-87525-286-6

Band 201: Andreas Blankl
Untersuchungen zur Erhöhung der Prozessrobustheit bei der Innenhochdruck-Umformung von flächigen Halbzeugen mit vor- bzw. nachgeschalteten Laserstrahlfügeoperationen
120 Seiten, 68 Bilder, 9 Tabellen 2009.
ISBN 978-3-87525-287-3

Band 202: Andreas Schaller
Modellierung eines nachfrageorientierten Produktionskonzeptes für mobile Telekommunikationsgeräte
120 Seiten, 79 Bilder, 0 Tabellen 2009.
ISBN 978-3-87525-289-7