

Heft 59

R. Herterich, M. Zell

**Interaktive Fertigungssteuerung
teilautonomer Bereiche**

November 1988

Inhalt:

1 Problemstellung	1
2 Grundidee der dezentralen Fertigungssteuerung	2
3 Gestaltung von Planungsalgorithmen	4
3.1 Zielkriterien	4
3.1.1 Minimierung der Fertigungskosten	4
3.1.2 Minimierung der Durchlaufzeit	4
3.1.3 Maximierung der Kapazitätsauslastung	4
3.1.4 Maximierung der Termintreue	5
3.2 Randbedingungen des Fertigungssystems im teilautonomen Bereich	5
3.2.1 Endtermin	5
3.2.2 Eilaufträge	5
3.2.3 Einfahraufträge	5
3.2.4 Schichtmodell	6
3.3 Strategien zur Fertigungssteuerung	6
3.3.1 Berücksichtigung von Prioritäten	6
3.3.2 Vorwärtsterminierung	6
3.3.3 Rückwärtsterminierung	7
3.3.4 Arbeitsgang-Splitting	7
3.3.5 Arbeitsgang-Raffung	7
3.3.6 Auftrags-Mix	7
3.3.7 Nachtprogramm	7
3.3.8 Engpaßplanung	8
3.3.9 Mehrteileaufspannung	9
4 Aufbau des Fertigungssteuerungssystems	11
4.1 Konzept eines Rechnerverbundsystems für die dezentrale Fertigungssteuerung	11
4.2 Gestaltung des Rumpfarbeitsplans	13
4.3 Detaillierte Arbeitspläne	14
4.4 Der dispositive Faktor	14
4.5 Das Prinzip der rollierenden Planung	15
4.6 Das Prinzip der schichtgenauen Planung	16
4.7 Das Zeitkonto für freigegebene Aufträge	18
4.8 Das Kapazitätskonto eines Betriebsmittels	19

4.9	Planungsalgorithmen	19
4.9.1	Planungsalgorithmus "Nachtprogramm"	19
4.9.2	Planungsalgorithmus "Engpaßmaschine"	21
5	Integration von Simulations- und Animationstechnik	23
5.1	Problemformulierung	24
5.2	Sammlung von Daten	24
5.3	Festlegen von Zielsetzungen	25
5.4	Aufbau des Modells und graphische Abbildung	25
5.5	Verifikation und Validierung des Modells	26
5.6	Planung von Analysen und Experimenten	26
5.6.1	Simulation von Fertigungsabläufen	27
5.6.1.1	Variable Auftragsreihenfolgen	27
5.6.1.2	Alternativbearbeitungen	28
5.6.1.3	Variable Arbeitsgangfolgen	29
5.6.1.4	Arbeitsgangsplitting und -raffung	29
5.6.1.5	Außerplanmäßige Fertigungsabläufe	29
5.6.2	Simulation der Verfügbarkeit von Ressourcen	29
5.6.2.1	Ermittlung von Engpässen	30
5.6.2.2	Engpaßbeseitigungsstrategien	30
5.6.3	Simulation von Unterbrechungen des Fertigungsprozesses	30
5.6.3.1	Vorhersehbare Unterbrechungen	31
5.6.3.2	Unvorhergesehene Unterbrechungen	31
5.7	Simulation	32
5.8	Analyse und Präsentation der Simulationsresultate	32
5.8.1	Animation	32
5.8.2	Bewertung der Simulationsgrößen	33
5.9	Entscheidung und Durchsetzung	35
6	Schnittstellen zwischen Simulation und Fertigungsleitstand	36
7	Verstärkung der Interaktion	37
7.1	Bestimmung der relevanten Zielsetzungen	37
7.2	Auswahl der geeigneten Steuerungsstrategien	38
7.3	Simulation von Fertigungsabläufen unter veränderten Bedingungen	38
7.4	Bewertung der Terminierungsergebnisse und Alternativenvergleich	38
7.5	Manuelle Korrekturen unter Anwendung eigenen Erfahrungswissens	38
7.6	Auslösen individuell gestaltbarer Auswertungen und Analysen	38

1 Problemstellung

Im Bereich der Produktion haben sich in den letzten Jahren durch technologische Veränderungen neue Anforderungen an die Produktionsplanung und -steuerung ergeben. Während bei den bisherigen PPS-Systemen die Fertigungssteuerung in Form von Batch-Läufen durchgeführt wurde, erzwingen die Anforderungen des Marktes nach Flexibilität, kleinen Losgrößen, Variantenvielfalt sowie geringen Durchlaufzeiten eine zeitlich nähere Disposition im Net-Change-Verfahren, um der Anfälligkeit durch unvorhergesehene Störungen in der Fertigung zu begegnen [1].

Aus diesen Anforderungen ergeben sich organisatorische Konsequenzen; so ist im Bereich der Fertigung ein Trend zur Dezentralisierung erkennbar, d.h. zur Bildung kleinerer Fertigungsbereiche, die weitgehend autonom arbeiten. Für diese dezentralen, teilautonomen Fertigungsbereiche existieren eigene Regelkreise zur Fertigungssteuerung; sie erhalten nur Rahmendaten in Form von Rumpfarbeitsplänen von der übergeordneten Produktionsplanung und -steuerung (PPS) und melden auch nur verdichtete Daten zurück.

Zur Planung und Steuerung der dezentralen Fertigungsbereiche müssen zunächst deren spezifische Anforderungen an ein Fertigungssteuerungssystem definiert werden. Nicht jeder Fertigungsbereich ist organisatorisch gleich aufgebaut, denn Erzeugnisspektrum, Erzeugnisstruktur, Fertigungsart und Fertigungsstruktur wirken sich auf die Organisation der Fertigung aus [2]. Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Schwerpunkt auf den Aspekt der flexiblen Automatisierung gelegt werden, denn gerade für die Zielgruppe der Klein- und Mittelbetriebe erweisen sich flexible Fertigungssysteme und Fertigungszellen als bedeutend [3].

Der Einsatz fertigungsgerechter Steuerungsstrategien erfordert die Entwicklung eines dialogorientierten, interaktiven Steuerungssystems, das in der Lage ist, diesen vielseitigen Anforderungen gerecht zu werden.

Das System soll im Hinblick auf die Benutzerfreundlichkeit so konzipiert sein, daß es auch von dem Mitarbeiter benutzt werden kann, der nicht täglich damit umgeht, bzw. für den die Fertigungssteuerung nur ein Teil des Aufgabenfeldes darstellt. Ein Beispiel dafür ist der Meister in einem teilautonomen Fertigungsbereich, der die Reihenfolge von zu bearbeitenden Aufträgen und Arbeitsgängen festlegt.

Da zur Steuerung eines Fertigungsbereichs unterschiedliche Strategien denkbar sind, soll zur Unterstützung des Benutzers bei Auswahl und Auswertung von Steuerungsstrategien die Simulationstechnik eingesetzt werden. Um die Ergebnisse unterschiedlicher simulierter Strategien in einer anwendergerechten Darstellungsweise abzubilden, bietet sich die Animation als graphische Visualisierungstechnik an.

[1] Vgl. Scheer, A.-W.: *Wirtschaftsinformatik - Informationssysteme im Industriebetrieb*. 2.Aufl., Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo 1988, S. 248

[2] Vgl. Schomburg, E.: *Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau*. Diss., RWTH Aachen 1980.

[3] Vgl. Fix-Sterz, J.; Lay, G.; Schultz-Wild, R.: *Flexible Fertigungssysteme und Fertigungszellen*. Stand und Entwicklungstendenzen in der BRD. In: VDI-Z 128(1986)11, S.370.

2 Grundidee der dezentralen Fertigungssteuerung

Bei der grundsätzlichen Gestaltung der Fertigungssteuerung lassen sich zwei divergierende Managementpositionen beobachten, wie eine Analyse von Manske u.a. [4] zeigt. Die erste setzt auf die zentralisierte Totalplanung, während die zweite für eine zentralisierte Planung mit Rahmendaten und dezentral verteilten Steuerungsfunktionen bzw. -kompetenzen eintritt. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, daß das dezentrale Steuerungskonzept vor allem für Klein- und Mittelbetriebe des Maschinenbaus besser geeignet ist [5].

Ein weiterer Trend zur Dezentralisierung deutet sich durch die Einführung der flexiblen Automatisierung an. Die dezentrale Fertigungssteuerung würde damit dem Konzept der Kooperation zwischen Mensch und Maschine/Computersystem gerecht werden, wie es von Dostal [6] beschrieben wird. Die Technik (Maschine) übernimmt eher die Routineaufgaben, während der Mensch die vorwiegend kreativen bzw. unvorhergesehenen Aufgaben übernimmt. Vor allem bei mit Werkstückspeicher aufgerüsteten Bearbeitungszentren besteht aufgrund der hohen Flexibilität der Fertigungseinheit die Notwendigkeit, Steuerungsfunktionen auf die Maschinenebene zu übertragen.

Der konzeptionelle Aufbau des im Rahmen des Projektes entwickelten Steuerungssystems DEPROS (DEzentrale PROduktionsplanung und -Steuerung) erfolgte nicht unter dem von Ingenieuren oft verfolgten Aspekt, daß der höchste Grad der Automation auch der zweckmäßigste sei (darunter ist sowohl die Automation der Fertigung, als auch deren Planung und Steuerung zu verstehen), sondern als umfassende (interdisziplinäre) Gestaltungsaufgabe mit Wahlmöglichkeiten [7]. Der Benutzer des Fertigungssteuerungssystems kann die Steuerungsstrategie selbst bestimmen und wird nur bei aufwendigen Terminierungsrechnungen vom System unterstützt. Damit werden ihm eine Reihe von Freiheitsgraden bei der Planung eingeräumt. Die Steuerungsstrategie bestimmt also der Disponent und nicht das EDV-System, wodurch zudem die Erfahrung des Mitarbeiters, der die Probleme "vor Ort" am besten kennt, mit berücksichtigt wird.

Es erscheint also sinnvoller, die Fertigungssteuerung aus dem PPS-System herauszunehmen, wobei ein oder mehrere verschiedene Steuerungsbereiche entstehen können, die selbständige Entscheidungseinheiten darstellen. Jede dieser Entscheidungseinheiten steuert einen organisatorisch abgegrenzten Fertigungsbereich. Ein solcher Bereich kann nach Produkten, Verfahren oder Verfahrensfolgen gegliedert werden.

Existieren mehrere Steuerungsbereiche, bedarf es einer Koordination zwischen den Einheiten, um Entscheidungsinterdependenzen berücksichtigen zu können. Die Koordination der Entscheidungseinheiten kann entweder durch das PPS-System erfolgen oder durch eine übergeordnete Koordinationsebene.

In Abbildung 1 ist der organisatorische Zusammenhang zwischen dem PPS-System und einem Fertigungsbereich dargestellt.

[4] Vgl. Manske, F.; Wobbe-Ohlenburg, W.; Mickler, O.: *Rechnergestützte Systeme der Fertigungssteuerung in der Kleinserienfertigung*. Bericht KfK-PFT 90 Kernforschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe 1984, S.3f.

[5] Vgl. Manske, F.; Wobbe-Ohlenburg, W.: *Fertigungssteuerung im Maschinenbau aus der Sicht von Unternehmensleitung und Werkstattpersonal*. In: *VDI-Z* 127(1985)12, S.489ff.

[6] Vgl. Dostal, W.: *Personal für CIM*. In: *CIM-Management* 1/1988, S.5.

[7] Vgl. Martin, T.; Ulich, E.; Warnecke, H.-J.: *Angemessene Automation für flexible Fertigung*. In: *wt Werkstatttechnik* 78(1988)1, S.17.

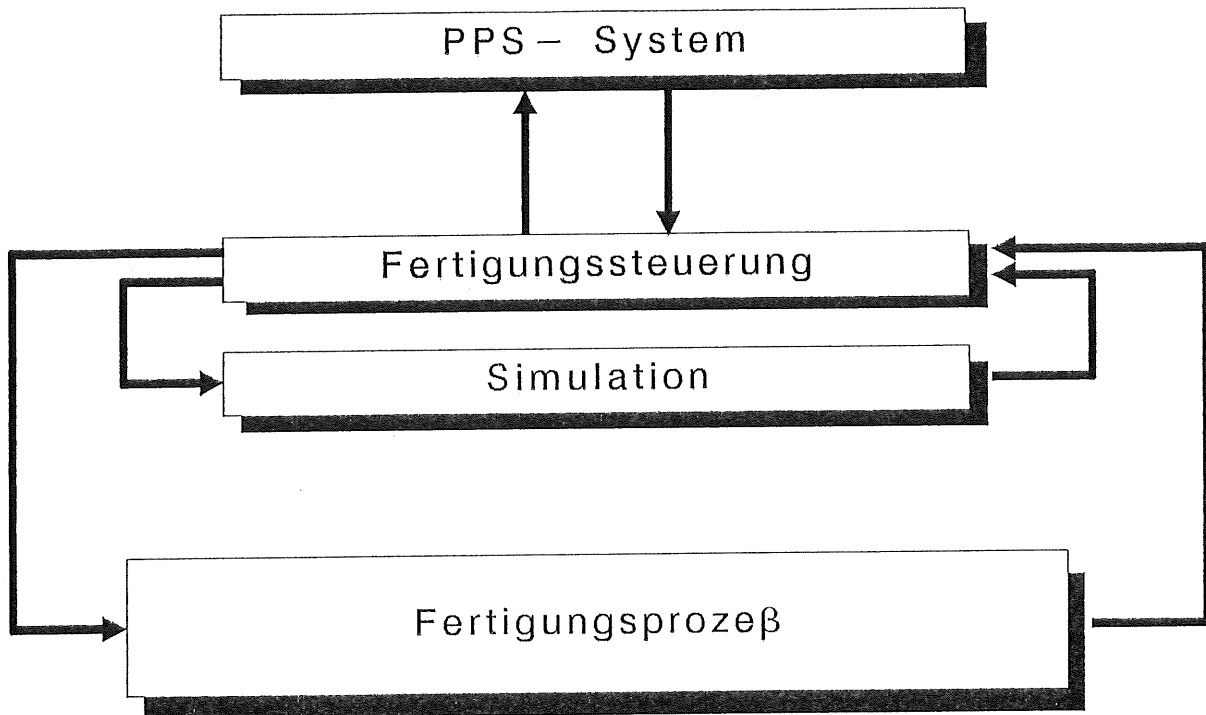


Abb. 1: Regelkreis PPS-Fertigungssteuerung

Die parallelen, entgegengesetzten Pfeile deuten an, daß zwischen dem PPS-System und der Fertigungssteuerung ein Datenaustausch stattfindet.

Aus dem übergeordneten PPS-System werden die Auftragsdaten an einen Fertigungsleitstand zur Fertigungssteuerung übergeben. Die Fertigungssteuerung führt eine Feinterminierung und eine Maschinenbelegung durch, steuert und überwacht den Fertigungsauftrag im Fertigungsbereich und greift bei Störungen regelnd ein. Nach der Bearbeitung wird der Auftrag wieder an das PPS-System als fertig zurückgemeldet. Wie, wann und auf welcher Maschine der Auftrag bearbeitet wurde, ist für das PPS-System nicht relevant.

Vom Fertigungsleitstand werden die terminierten Arbeitsgänge der einzelnen Aufträge an die entsprechenden Maschinen übergeben. Dieser Vorgang ist durch den von der Fertigungssteuerung zum Fertigungsprozeß laufenden Pfeil angedeutet.

Um möglichst genau über die aktuelle Situation in der Werkstatt informiert zu sein, sind die begonnenen Arbeitsgänge anzumelden und die beendeten abzumelden. Ebenso sind alle Störungen und Maschinenstillstände, möglichst mit Ursache, dem Leitstand zu melden.

Neben effizienten Planungsalgorithmen ist die Betriebsdatenerfassung (BDE) für die Fertigungssteuerung von großer Bedeutung. Je genauer die Erfassung von Betriebs- und Maschinendaten erfolgt, desto genauer ist der Disponent über die tatsächliche Situation in der Fertigung informiert.

Die BDE wird in Abbildung 1 durch den vom Fertigungsprozeß zur Fertigungssteuerung verlaufenden Pfeil dargestellt.

Zur Optimierung der Planung und zur Erarbeitung von alternativen Bearbeitungsreihenfolgen bedient sich der Planer der Simulation.

Treten Engpässe auf, z.B. verursacht durch den Ausfall einer Maschine, kann der Disponent mit Hilfe des Systems Bearbeitungsalternativen entwickeln, diese Alternativen am Bildschirm simulieren und graphisch darstellen. Die günstigste Alternative plant er dann in das Fertigungssteuerungssystem ein.

3 Gestaltung von Planungsalgorithmen

Ein Fertigungssteuerungssystem muß die vom Unternehmen verfolgten Ziele im Fertigungsbereich berücksichtigen. Zur Erreichung dieser Ziele im Rahmen des Steuerungsprozesses werden Strategien zur Verfügung gestellt, denen unterschiedliche Planungsalgorithmen zugrunde liegen. Die Algorithmen sind in ihrer Anwendbarkeit aufgrund organisatorischer und technologischer Randbedingungen beschränkt, die bei der Steuerung berücksichtigt werden müssen.

3.1 Zielkriterien

Es können unterschiedliche Zielkriterien festgelegt werden, wobei zu beachten ist, daß zwischen den einzelnen Zielsetzungen Interdependenzen bzw. Widersprüche existieren können.

3.1.1 Minimierung der Fertigungskosten

Das Oberziel einer wirtschaftlichen Fertigung ist die Minimierung der Fertigungskosten unter Berücksichtigung der im folgenden genannten Unterziele.

3.1.2 Minimierung der Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit eines Auftrags besteht in der Regel aus vier Komponenten: Bearbeitungszeit, Transportzeit, Kontrollzeit und Liegezeit. Kurze Durchlaufzeiten implizieren jedoch hohe Kapazitätsbestände.

3.1.3 Maximierung der Kapazitätsauslastung

Das konkurrierende Ziel zur Durchlaufzeitminimierung ist die Maximierung der Kapazitätsauslastung. Vor allem bei kostenintensiven Betriebsmitteln muß auf eine optimale kapazitative Auslastung geachtet werden.

3.1.4 Maximierung der Termintreue

Das Ziel der Termintreue erfordert hohe Material- und Kapazitätsbestände, was den beiden oben genannten Zielen diametral entgegensteht.

3.2 Randbedingungen des Fertigungssteuerungssystems

Die Restriktionen für die Gestaltung von Planungsalgorithmen beziehen sich auf Aufträge, Kapazitäten und Arbeitszeiten.

3.2.1 Endtermin

Der Endtermin, zu dem ein Teil fertiggestellt werden muß, ist für den teilautonomen Bereich ein Datum, das nicht verändert werden kann.

3.2.2 Eilaufträge

Eilaufträge werden häufig ohne eine vorherige Einplanung durch das PPS-System in die Fertigungssteuerung übernommen.

Damit sind eine Vielzahl negativer Einflüsse verbunden, da bereits eingeplante und mit einem festen Endtermin versehene Fertigungsaufträge zurückgestellt werden müssen.

Die Folgen sind erhöhter Rüstaufwand, mangelnde Verfügbarkeit von Fertigungshilfsmitteln für bereits eingeplante Aufträge und die Notwendigkeit der zusätzlichen Einplanung, Steuerung und Kontrolle des Eilauftrags in der Fertigung.

3.2.3 Einfahraufträge

Vor allem bei der automatischen Bearbeitung von Fertigungsaufträgen muß vorausgesetzt werden, daß sämtliche Komponenten (z.B. NC-Programme, Vorrichtungen) der Maschine für das Werkstück "eingefahren" sind. Einfahraufträge sind Fertigungsaufträge, die erstmalig auf einer NC-Maschine gefertigt werden und für die bisher noch kein NC-Programm existiert.

Da das NC-Programm möglicherweise Fehler aufweist, muß zumindest der Maschinenbediener die Bearbeitung überwachen und gegebenenfalls in den Bearbeitungsprozeß eingreifen.

Je nach Spezialisierung der Mitarbeiter in der Fertigung sind beim Einfahren eines Auftrags Programmierer, Meister, Einrichter und Werkzeugvoreinsteller anwesend [8]. Somit erfordern Einfahraufträge in der Regel einen hohen Personaleinsatz.

Die Anzahl der Einfahraufträge wirkt sich auch auf die Fertigungssteuerungsfunktion Verfügbarkeitsprüfung (vor allem von Personal und Betriebsmitteln) aus, da nicht in jeder Schicht ein Programmierer, Einrichter oder Werkzeugvoreinsteller anwesend ist. Das System darf also Einfahraufträge nur in Schichten einplanen, in denen das benötigte Personal auch zur Verfügung steht.

3.2.4 Schichtmodell

Voraussetzung für die Ermittlung der zur Verfügung stehenden Kapazität ist die Anzahl verfügbarer Schichten. Hinzu kommen Pausen, Feiertage oder Wochenendschichten, wobei vor allem letztere in der Diskussion im Rahmen der flexiblen Automatisierung eine wichtige Rolle spielen.

3.3 Strategien zur Fertigungssteuerung

Die Strategien stellen für den Fertigungssteuerer den Möglichkeitsbereich dar, mit dem er Aufträge in den Fertigungsbereich einplanen kann.

3.3.1 Berücksichtigung von Prioritäten

Prioritätsregeln sind in diesem Zusammenhang Vereinbarungen über die Reihenfolge der Durchführung verschiedener Aufträge.

Die Festlegung der Priorität eines Auftrags erfolgt durch die übergeordnete Produktionsplanung und -steuerung. Die Priorität wird mit dem Rumpfarbeitsplan des Auftrags an das Fertigungssteuerungssystem übergeben.

3.3.2 Vorwärtsterminierung

Ausgehend vom Starttermin werden bei der Vorwärtsterminierung alle Anfangstermine für die Arbeitsgänge und der Endtermin des Auftrags ermittelt.

[8] Vgl. Cziudaj, M.; Pfennig, V.: *Arbeitsorganisation an NC-Maschinen*. In: *FIR-Mitteilungen* Nr. 44, Aachen 1982, S.9ff.

3.3.3 Rückwärtsterminierung

Ausgehend vom Endtermin des Auftrags werden bei der Rückwärtsterminierung alle Endtermine für die Arbeitsgänge und der Starttermin des Auftrags ermittelt.

Bei der Vorwärts- und Rückwärtsterminierung sind zusätzlich zum Starttermin (Endtermin) folgende Zeiten relevant:

- Vorgabe- oder Durchführungszeit für die einzelnen Arbeitsschritte,
- Zwischenzeiten (auch Übergangszeiten genannt) und
- Zusatzzeiten [9].

3.3.4 Arbeitsgang-Splitting

Existieren für einen Werkstattauftrag alternative Arbeitspläne oder kann ein Arbeitsgang an mehreren Maschinen ausgeführt werden, so läßt sich ein Los auf mehrere Bearbeitungseinheiten verteilen.

Geteilte Arbeitsgänge erhalten eine Splittnummer.

3.3.5 Arbeitsgang-Raffung

Bei der Arbeitsgang-Raffung werden Arbeitsgänge von verschiedenen Aufträgen zu einem Los zusammengefaßt, wenn dies aufgrund gleicher Rüstvorgänge, gleicher Werkzeuge oder gleicher Vorrichtungen möglich ist.

3.3.6 Auftrags-Mix

Bei dem Auftragsmix oder der Simultanfertigung werden verschiedene Aufträge parallel auf der gleichen Maschine eingelastet, d.h. zur Bearbeitung freigegeben. Dadurch läßt sich der Endtermin nicht mehr - wie sonst üblich - aus dem Starttermin und der Belegungszeit berechnen.

3.3.7 Nachtprogramm

Insbesondere bei flexiblen Fertigungszellen oder flexiblen Fertigungssystemen ist es möglich und ein häufig angestrebtes Ziel, die Fertigungseinrichtung im Abschaltbetrieb während einer bedienerarmen oder

[9] Vgl. REFA: *Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 2: Datenermittlung. München 1972, S.119.*

bedienerlosen Schicht zu fahren. Ist bei bedienten Schichten die Kapazitätsauslastung noch relativ genau bestimmbar, sieht man einmal von unvorhergesehenen Störungen ab, so läßt sich die Nutzungsdauer von flexiblen Fertigungszellen und -systemen im Abschaltbetrieb nur schwer abschätzen.

Die Nutzungsdauer ist abhängig von

- dem Arbeitsvorrat im Maschinenspeicher und
- dem störungsfreien Betrieb während der Bearbeitung.

Meist wird jedoch nicht der mögliche Arbeitsvorrat im Werkstückspeicher abgearbeitet, wie eine Untersuchung des Forschungsinstituts für Rationalisierung (FIR) bei flexiblen Fertigungszellen ergab [10], sondern die Maschine schaltet schon vorher aufgrund einer Störung ab.

Deshalb sollten in der bedienerarmen oder bedienerlosen Schicht nur Werkstücke aus zerspanunkritischen Werkstoffen bearbeitet werden. Dazu ist ein entsprechender Vermerk im Arbeitsplan erforderlich.

Weiterhin dürfen im Nachtprogramm keine Aufträge eingeplant werden, die besondere Rüstvorgänge erfordern.

3.3.8 Engpaßplanung

Dieses Kriterium ist vor allem bei der flexiblen Automatisierung von Bedeutung. Flexible Fertigungszellen und -systeme zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität aus, die aber nur dann sinnvoll genutzt werden kann, wenn auch die Flexibilität des technischen Umfeldes gegeben ist.

Zudem sind die Kosten für diese Fertigungseinrichtungen sehr hoch, so daß auf eine möglichst hohe Kapazitätsauslastung geachtet werden muß.

- Engpaß Werkstückspeicher

Je nach Art der Disposition können Engpässe bei den Werkstückspeichern von flexiblen Fertigungszellen und -systemen auftreten. Diese müssen bei der Planung mit berücksichtigt werden.

- Engpaß Transportgerät

Bei flexiblen Fertigungssystemen muß das Werkstück zu der entsprechenden Maschine gefahren und nach der Bearbeitung wieder abgeholt werden. Bei mehreren Maschinen im System und kurzen Bearbeitungszeiten kann sich das Transportgerät als Engpaß herausstellen.

[10] Vgl. Förster, H.; Hirt, K.: *Entwicklung von Anforderungsprofilen flexibel automatisierter Fertigungskonzepte an die Produktionsplanung und -steuerung. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 134 der Stiftung zur Förderung der Forschung für die gewerbliche Wirtschaft. Aachen 1987, S.69ff.*

- Engpaß Personal

Ein weiteres Merkmal der flexiblen Automatisierung ist das hauptzeitparallele Rüsten, d.h. ein großer Teil der Rüstaufgaben kann bereits erfolgen, während die Bearbeitungseinheit noch den vorherigen Auftrag bearbeitet. Das führt jedoch zu neuen Anforderungen an die Verfügbarkeitsprüfung des Personals, vor allem dann, wenn ein Mitarbeiter mehrere Maschinen bedient.

Das Fertigungssteuerungssystem muß also die personelle Kapazität mit berücksichtigen, um unnötige Stillstände der Maschine auszuschließen.

3.3.9 Mehrteileaufspannung

Oft können mehrere Werkstücke auf einer Vorrichtung montiert werden. Dies ist bei der Losbildung zu berücksichtigen.

Für einen Maschinenauftrag sollte deshalb immer ein ganzzahliges Vielfaches der Anzahl Werkstücke je Werkstückträger eingeplant werden, um zeitraubende Luftschnitte zu vermeiden.

Falls z.B. auf einem Spannwürfel vier Werkstücke montiert werden können, sollte die einzuplanende Losgröße ein ganzzahliges Vielfaches von vier betragen.

Abbildung 2 zeigt die Relevanz der obengenannten Kriterien für verschiedene flexibel automatisierte Fertigungseinheiten.

Kriterien	KF	DZ	BAZ	FFZ	FFS
Berücksichtigung von Prioritäten	*	*	*	*	*
Vorwärtsterminierung	*	*	*	*	*
Rückwärtsterminierung	*	*	*	*	*
Arbeitsgang – Splitting	*	*	*	*	*
Arbeitsgang – Raffung	*	*	*	*	*
Auftragsmix			*	*	*
Eilaufträge	*	*	*	*	*
Einfahraufträge		*	*	*	*
Nachtprogramm		*	*	*	*
Engpassmaschine			*	*	*
Engpass Werkstückspeicher				*	*
Engpass Transportgerät					*
Engpass Personal			*	*	*
Mehrteileaufspannung			*	*	*

KF: Konventionelle Fertigung

DZ: Fertigung mit großem Anteil Drehzellen

BAZ: Fertigung mit großem Anteil Bearbeitungszentren

FFZ: Fertigung mit großem Anteil flexibler
Fertigungszellen

FFS: Fertigung mit flexiblen Fertigungssystemen

Abb. 2: Kriterien für Planungsalgorithmen

4 Aufbau des Fertigungssteuerungssystems

Bei der Beschreibung des Aufbaus eines dezentralen Fertigungssteuerungssystems sind vor allem folgende Fragen wichtig:

- wer speichert wo welche Daten und darf diese verändern,
- wie zeitgenau wird die Planung durchgeführt?

Der strukturelle Aufbau des Systems DEPROS folgt dem Prinzip, Planungs- und Steuerungsaufgaben möglichst dort abzuwickeln, wo das entsprechende Know-how besteht. Für viele Funktionen der Fertigungssteuerung existiert dieses Wissen in den Fertigungsbereichen; deshalb ist das System so konzipiert, daß alle Planungs- und Steuerungsfunktionen im System vorhanden sind, die sich durch das Personal in der Werkstatt bearbeiten lassen.

4.1 Konzept eines Rechnerverbundsystems für die dezentrale Fertigungssteuerung

Die Flexibilisierung der Fertigung setzt eine Optimierung der Ablaufplanung und Fertigungssteuerung voraus. Dazu gehört nicht nur die Termin- und Kapazitätsplanung sowie die Feinterminierung, sondern auch die Bereitstellung von Personal, Material, Werkzeugen und Vorrichtungen, NC-Programmen sowie gegebenenfalls Spann- und Prüfmitteln.

Der funktionale Ablauf der Planung und Steuerung der Produktion erfolgt aufgrund der komplexen Abläufe nicht zentral, sondern sinnvollerweise in einem Rechnerverbundsystem. Es bieten sich vier verschiedene Rechnerebenen an [11][12][13]:

- Betriebsebene
- Leitebene
- Zellen- bzw. Systemebene
- Maschinenebene

Es ergibt sich eine Rechnerstruktur gemäß Abbildung 3:

[11] Vgl. Rühle, W.: Datenkommunikation. In: *Industrie-Anzeiger* 107(1985)79/80, S.30ff

[12] Vgl. Hammer, H.: Hierarchie im Rechnerverbund. In: *FB/IE* (1985)5, S.247ff

[13] Vgl. Scheer, A.-W.: *CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb*. 3.Aufl., Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo 1988, S.75ff.

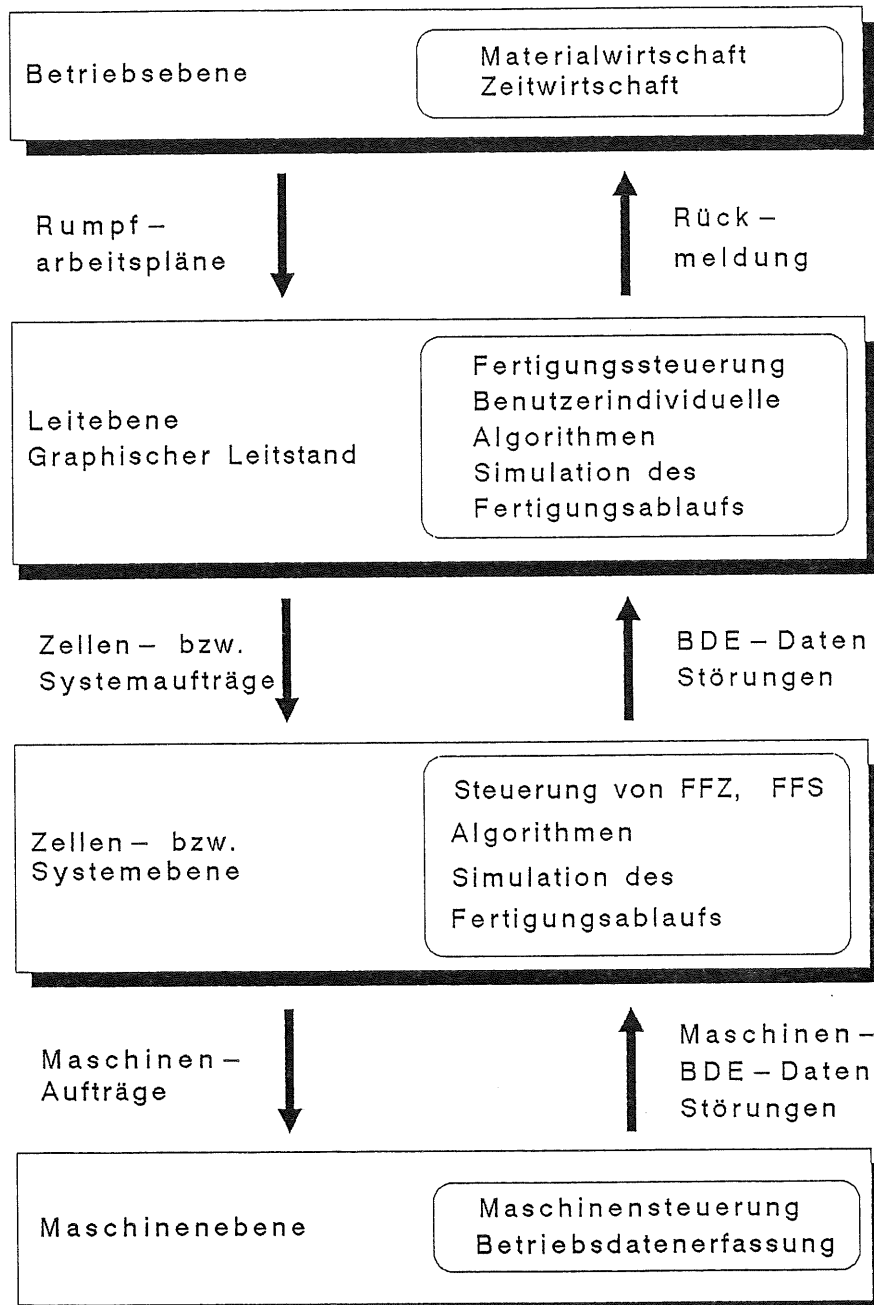


Abb. 3: Rechnerstruktur

Bei der Verteilung von PPS-Funktionen muß von folgenden Voraussetzungen ausgegangen werden:

- Bestimmte Funktionen werden nicht streng gegliedert und auf die Rechnerebenen verteilt, sondern sind auf mehreren Ebenen vorhanden.
- Die Planungs- und Steuerungsgenauigkeit ergibt sich vor allem aus der Qualität der auf der Rechnerebene zur Verfügung stehenden Daten.
- Mit zunehmender Prozeßnähe nimmt die Menge und die Aktualität der Daten zu.

Auf der Maschinenebene fallen während des Fertigungsprozesses Daten (z.B. Steuerungsdaten der Bahnachsen) an, die nur auf dieser Rechnerebene benötigt werden. Eine Weitergabe solcher Daten an die Zellenebene ist nicht erforderlich.

Auf der Zellenebene werden nur solche Daten von der Maschinenebene gespeichert, die der Maschinenbediener zur Steuerung der Maschine benötigt.

Vergleichbar verhält es sich zwischen Zellenebene und Leitebene. Nicht alle auf der Zellenebene anfallenden Daten werden an die Leitebene weitergegeben, sondern nur diejenigen, die das Fertigungssteuerungssystem benötigt.

Fertigungsaufträge werden nicht mehr einzeln vom PPS-System (Betriebsebene) durch den Fertigungsbereich gesteuert, sondern als Auftragsbündel mit einem festgelegten Terminrahmen. Die Feinsteuerung der Arbeitsgänge erfolgt auf der Leitebene.

Aus der oben dargestellten Bildung einer Rechnerhierarchie folgt letztlich, daß Daten in verschiedenen Aggregationsstufen auf den Hierarchieebenen gespeichert und verwaltet werden. Mit zunehmendem Planungsfortschritt verfeinert sich die Datenqualität und damit die Planungsgenauigkeit. Im Gegenzug nimmt mit zunehmendem Planungsfortschritt der Planungshorizont ab.

4.2 Gestaltung des Rumpfarbeitsplans

Die zentrale Arbeitsplanung bestimmt zunächst das Rohteil. Mit der Wahl des Rohteils wird vor allem der Werkstoff festgelegt. Der Werkstoff wiederum bestimmt die technologischen Fertigungsmöglichkeiten und damit den Fertigungsbereich, in dem das Teil bearbeitet werden kann.

Bei Wiederholteilen läßt sich aus dem Rumpfarbeitsplan der Fertigungsbereich und damit auch die Rahmendaten, z.B. die Durchlaufzeit durch den Fertigungsbereich, bestimmen.

Ähnliches kann auch für die Fertigung von Varianten gelten, wenn im Fertigungsbereich für die Teilegruppe entsprechende Arbeitspläne existieren. Für den Rumpfarbeitsplan ergeben sich kaum oder keine Veränderungen.

Bei erstmalig zu fertigenden Teilen (Einfahraufträge) wird ein neuer Rumpfarbeitsplan erstellt.

4.3 Detaillierte Arbeitspläne

Die Verwaltung und Speicherung detaillierter Arbeitspläne erfolgt im dezentralen Fertigungsbereich. Die genaue Gestaltung dieser Arbeitspläne ist für das PPS-System nicht relevant, genausowenig wie das Vorhandensein von Alternivarbeitsplänen. Dadurch erhalten die dezentralen Fertigungsbereiche einen gewissen Grad an Autonomie.

Für das PPS-System ist nur von Bedeutung, daß der entsprechende Fertigungsbereich, an den ein Auftrag erteilt wurde, die im Rahmen des Rumpfarbeitsplans vorgegebenen Termine einhält.

4.4 Der dispositive Faktor

Das große Problem bei der Produktionsplanung und -steuerung ist, daß man versucht, stochastisch verteilte Ereignisse deterministisch abzubilden; das Resultat sind pseudogenaue Planungsergebnisse. Es werden also bewußt Planungsungenauigkeiten in Kauf genommen, da sich die Zukunft nicht sicher vorhersagen läßt. Sinnvoller erscheint es, nicht feste Termine vorzugeben, sondern die Aufträge mit einem Terminrahmen zu versehen, in dem der Auftrag gefertigt werden kann.

Aufgrund der Vorgabe eines Terminrahmens durch das PPS-System, der größer ist als die tatsächliche Bearbeitungszeit inklusive aller Nebenzeiten, wird jeder Werkstattauftrag mit einem dispositiven Faktor versehen. Es handelt sich also dabei um einen zusätzlichen Zeitfaktor, die eine gewisse Flexibilität bei der Disposition von flexibel automatisierten Fertigungseinheiten gestatten soll, so daß Aufträge nach internen Kriterien des Fertigungsbereichs terminlich geplant und gesteuert werden können. Je nach Auftragsituation in dem Fertigungsbereich wird der zusätzliche Zeitfaktor mehr oder weniger in Anspruch genommen, wobei der späteste Endtermin, zu dem ein Auftrag zurückzumelden ist, nicht überschritten werden darf.

Ein fixes Datum ist nur der früheste Anfangstermin und der späteste Endtermin. An dieser Stelle sei auf die Eignung der Simulation hingewiesen, innerhalb derer Wahrscheinlichkeitsverteilungen berücksichtigt werden können, was den realisierbaren Durchlaufzeiten näherkommt. Ergebnisse eines Simulationslaufs sind voraussichtliche Endtermine, die vor dem vom PPS-System gesetzten Endtermin liegen, zu denen ein Auftrag fertiggestellt ist. Durch die fest vorgegebenen "spätesten Endtermine" lautet das Planungsergebnis: Auftrag x wird spätestens zum Zeitpunkt y oder früher fertig.

Der dispositive Faktor gestattet somit dem Personal im teilautonomen Fertigungsbereich, Aufträge nicht mehr zu einem bestimmten, vom PPS-System festgelegten Zeitpunkt bearbeiten zu müssen, sondern innerhalb eines definierten Zeitrahmens. Damit lassen sich auch kleinere Störungen abfangen. Zu welchem genauen Zeitpunkt der Fertigungsauftrag bearbeitet wird, ist dabei für das PPS-System nicht von Bedeutung, solange keine Terminverletzung auftritt.

Von diesem Konzept profitiert zunächst der Disponent des dezentralen Fertigungsbereichs, der Aufträge nach der aktuellen Situation in seinem Verantwortungsbereich einplanen kann.

Gliedert sich ein Werkstattauftrag in mehrere Maschinenaufträge, läßt sich jeder Maschinenauftrag ebenfalls mit einem dispositiven Faktor versehen, was vor allem für die flexible Automatisierung wichtig ist. Oft ist der Disponent des Leitstandes nicht über alle Einzelheiten der aktuellen Situation an der Maschine informiert. Zudem entstehen durch Mehrmaschinenkonzepte (z.B. bei flexiblen Fertigungssystemen) komplexe Problemstellungen, die sich vom Leitstand nicht vollständig überschauen lassen.

Die Länge des dispositiven Faktors läßt sich beliebig, je nach den Anforderungen im Fertigungsbereich, festlegen; bei einfachen Handarbeitsplätzen kann er auch Null sein, wenn es nicht sinnvoll erscheint, den Maschinenbediener die Auftragsreihenfolge wählen zu lassen. Der dispositive Faktor wird umso länger sein, je schwieriger sich die Planung und Steuerung einer Maschine darstellt, d.h. je flexibler das Maschinenkonzept aufgebaut ist. Der dispositive Faktor ist bei einem flexiblen Fertigungssystem länger als bei einer flexiblen Fertigungszelle, deren dispositiver Faktor wiederum länger ist als bei einem Bearbeitungszentrum. Damit läßt sich das Fertigungssteuerungssystem flexibel an die Anforderungen des Fertigungsbereichs anpassen.

Ein weiterer, in seiner Wichtigkeit nicht zu unterschätzender Gesichtspunkt ist der Gedanke, dem hochqualifizierten Maschinenbediener Freiheiten bei der Bearbeitung von Aufträgen einzuräumen und ihn nicht durch feste Bearbeitungsreihenfolgen an das Steuerungssystem zu binden. Oft kennt er die auftauchenden Probleme "seiner Maschine" am besten und kann entsprechend darauf reagieren. Zudem gibt ihm der dispositive Freiraum das Gefühl, trotz EDV-System eigenständige Entscheidungen treffen zu können.

4.5 Das Prinzip der rollierenden Planung

Herkömmliche PPS-Systeme führen zumeist eine zyklische Planung durch, d.h. das Wochenprogramm (Montag bis Freitag) wird am Ende der Vorwoche festgelegt und in der darauffolgenden Woche abgearbeitet. Die zu bearbeitenden Aufträge nehmen mit jedem Wochentag ab, wodurch sich der Dispositionshorizont verringert. Besser erscheint eine rollierende Planung, wobei das Fertigungssteuerungssystem mehrmals je Woche einen Planungshorizont von z. B. einer Woche festlegt, der bei jedem Neuaufwurf fortgeschrieben wird [14][15]. Abgearbeitete Aufträge oder Arbeitsgänge berücksichtigt das Fertigungssteuerungssystem bei dem Neuaufwurf nicht mehr.

[14] Vgl. Mertins, K.: *Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme*. München-Wien 1985, S.99

[15] Vgl. Wiendahl, H.-P.: *Belastungsorientierte Fertigungssteuerung*. Wien 1987, S.297.

Das System DEPROS nimmt täglich einen Neuaufwurf vor, um den Anforderungen der schichtgenauen Planung (siehe Kap. 4.6) gerecht zu werden. Nur so läßt sich z.B. ein nicht abgearbeitetes Nachtprogramm in der nächsten Früh- oder Spätschicht berücksichtigen.

Dazu muß das System vier Stati für Maschinenaufträge kennen:

- Maschinenaufträge, die bereits eingeplant, aber noch nicht an der Maschine zur Bearbeitung angemeldet sind,
- Maschinenaufträge, die zur Bearbeitung angemeldet, aber noch nicht fertiggestellt sind,
- Maschinenaufträge, deren Bearbeitung begonnen, aber inzwischen unterbrochen wurde,
- Maschinenaufträge, die fertiggestellt und abgemeldet wurden.

Für bereits eingeplante, aber noch nicht bearbeitete Aufträge, die also im Auftragspool vor der Maschine stehen, wird mit jedem Tag der Termin kritischer, bis sie letztlich im ungünstigsten Fall zum "spätest möglichen Anfangstermin" zu bearbeiten sind.

Ist ein Auftrag zur Bearbeitung an einer Maschine angemeldet oder die Bearbeitung bereits abgeschlossen und sind weitere Schritte für die Bearbeitung des Werkstattauftrags notwendig, besteht die Möglichkeit, im Rahmen des Neuaufwurfs den Fertigungsauftrag an der Folgemaschine einzuplanen. Diese Möglichkeit ist besonders für die planungskritischen Aufträge des Nachtprogramms wertvoll.

4.6 Das Prinzip der schichtgenauen Planung

Der Forderung nach einer schichtgenauen Planung von Förster/Hirt [16] bei flexiblen Fertigungszellen folgend, um z.B. die personalintensive Frühschicht bzw. personalarme Nachtschicht optimal zu nutzen, läßt sich mit dem System DEPROS jede Schicht einzeln planen, steuern und kontrollieren.

Durch die hohen Investitionskosten bei flexiblen Fertigungszellen und flexiblen Fertigungssystemen ist man bemüht, eine möglichst optimale kapazitative Auslastung der entsprechenden Maschinen zu erreichen, was z.B. durch einen 3-Schichtbetrieb möglich ist. Ein Hauptziel flexibler Automatisierungskonzepte ist die Nutzung der Maschinen im Abschaltbetrieb in der personalarmen (meistens 3.) Schicht. Das Problem besteht darin, daß sich die tatsächliche Nutzung der verfügbaren Kapazität in der personalarmen Schicht nicht wie bei konventionellen Maschinen exakt bestimmen läßt. Planungsungenauigkeiten ergeben sich häufig aus technischen, aber auch organisatorischen Störungen, die zum Stillstand der Maschinen führen, wodurch sich die Nutzungsdauer erheblich vermindert. Störungen, die zum Abschalten der Maschinen führen, können schon nach sehr kurzer Bearbeitungszeit oder erst gegen Ende der personalarmen Schicht auftreten. Die Zahl der in dieser Schicht bearbeiteten Maschinenaufträge ist also mehr oder weniger zufällig und nur sehr schwer bestimmbar.

[16] Vgl. Förster, H.; Hirt, K.: *Entwicklung von Anforderungsprofilen flexibel automatisierter Fertigungskonzepte an die Produktionsplanung und -steuerung. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 134 der Stiftung zur Förderung der Forschung für die gewerbliche Wirtschaft. Aachen 1987, S.74.*

Daraus ergeben sich Anforderungen an das Planungs- und Steuerungssystem, die nachfolgend erläutert werden.

Das System DEPROS sieht folgende Aufteilung vor:

- Fröhschicht

In der Fröhschicht werden alle personalintensiven Aufträge eingeplant. Dazu gehören in erster Linie alle Einfahraufträge, aber auch Eilaufträge.

Einfahraufträge, die in dieser Schicht begonnen, aber nicht beendet wurden, werden im Werkstückspeicher "geparkt" und am nächsten Morgen mit demselben Personal weiterbearbeitet. Eilaufträge sind dagegen schichtübergreifend (1. und 2. Schicht) disponierbar.

Aufgrund des hohen Personaleinsatzes in der Fröhschicht ist damit zu rechnen, daß auftretende Störungen kurzfristig behoben werden können. Damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, Planungsvorgaben durch den Leitstand auf der operativen Ebene tatsächlich einzuhalten. Planungsungenauigkeiten ergeben sich vor allem aufgrund der stochastischen Verteilung des Zeitaufwands für Einfahraufträge.

- Spätschicht

In dieser Schicht werden alle sonstigen Aufträge eingeplant, sowie das zu einem bestimmten Termin nicht bearbeitete Nachtprogramm. Berücksichtigung finden in der Spätschicht Fertigungsaufträge mit hoher Wiederholhäufigkeit oder/und hoher Losgröße. Beide Kriterien sollen die Ausfallsicherheit erhöhen bzw. den Personaleinsatz vermindern. Wiederholteile zeichnen sich beispielsweise durch einen geringeren Aufwand bei der Auftragsbereitstellung und Verfügbarkeitsprüfung aus. Die Losgröße wiederum bestimmt entscheidend die Intensität der Bereitstellungsfrequenz von Fertigungshilfsmitteln und die Belegungszeit an der Maschine; beides wirkt sich letztlich auf die Personalintensität im Fertigungsbereich aus.

- Nachtschicht

In der Nachtschicht lassen sich alle bearbeitungsunkritischen, nachtprogrammtauglichen Aufträge einplanen.

Zunächst müssen Aufträge, die sich im Nachtprogramm bearbeiten lassen, im Arbeitsplan gekennzeichnet sein. Nachtprogrammtauglich sind alle Aufträge, die sich durch gutes Zerspanverhalten, weiche Werkstoffe, problemloses Handling bei der Bearbeitung (z.B. Bearbeitung in einer Aufspannung) und hohe Wiederholhäufigkeit auszeichnen.

Läßt sich die Planung des Nachtprogramms unabhängig von den bedienten Schichten durchführen und existiert ein Auftragspool "Nachtprogramm" mit entsprechendem dispositivem Spielraum, wirken sich die Planungsfehler, die sich aus dem Abschaltbetrieb ergeben, geringer auf die bedienten Schichten aus. Aufträge, die aufgrund eines vorzeitigen Abschaltens der Maschine noch nicht bearbeitet wurden, lassen sich erneut in der kommenden Nachtschicht einplanen. Dies ist solange möglich, bis ein definierter "spätester Starttermin" eines Auftrags für das Nachtprogramm überschritten wird. Der "späteste Starttermin" (Nachtprogramm) ist so festgelegt, daß noch genügend Zeit besteht, den Auftrag in einer der beiden personalintensiven Schichten zu bearbeiten. Konnte also ein Auftrag im Nachtprogramm nicht fertiggestellt werden, so wird er in die erste oder zweite Schicht eingeplant. Durch den täglichen Neuaufwurf lassen sich solche Aufträge ohne Zeitverlust neu terminieren.

Diese Strategie kann natürlich zu einer Verlängerung der Durchlaufzeit für einen bestimmten Auftrag führen, wenn Werkstücke eines Auftrags in mehreren Nachtschichten nicht bearbeitet werden konnten. Letztlich verringert sich aber die Durchlaufzeit aller Aufträge durch die Nutzung der zusätzlich verfügbaren Kapazität der 3. Schicht.

4.7 Das Zeitkonto für freigegebene Aufträge

Für jeden an der Maschine freigegebenen Auftrag wird ein detailliertes Zeitkonto geführt. Mit der Freigabe von Aufträgen innerhalb des Fertigungsbereichs durch den Leitstand wird ein Zeitkonto angelegt, die entsprechenden Zeiten werden dem Arbeitsplan entnommen.

Von dem Zeitkonto werden die Zeiten von teilweise bearbeiteten Aufträgen abgebucht. Somit kann im Rahmen des täglichen Neuaufwurfs die für einen Maschinenauftrag noch verbleibende Restbearbeitungszeit errechnet werden. Z.B. läßt sich bei Einfahraufträgen, die in der Frühschicht nicht vollständig bearbeitet wurden und am nächsten Tag in der ersten Schicht weiter zu bearbeiten sind, mit Hilfe des Zeitkontos die noch in Anspruch zu nehmende Kapazität ermitteln.

Gleiches gilt für Aufträge, die zum Ende der 2. Schicht bearbeitet und zugunsten des Nachtprogramms unterbrochen wurden. Diese sind in der 1. oder der 2. Schicht des folgenden Tages mit ihrer restlichen Bearbeitungszeit zu berücksichtigen.

Das nur teilweise bearbeitete Nachtprogramm wird gegebenenfalls im Werkstückspeicher geparkt und in der kommenden Nachtschicht weiter bearbeitet. Für das begonnene Teil ist die bereits geleistete Bearbeitungszeit von der Gesamtbearbeitungszeit abzubuchen.

Voraussetzung für das Führen von Zeit- und Kapazitätskonten (siehe unten) ist eine detaillierte Betriebsdatenerfassung. Jeder Auftrag sowie jede Störung und Unterbrechung muß an der Maschine an- bzw. abgemeldet werden.

4.8 Das Kapazitätskonto eines Betriebsmittels

Für jedes Betriebsmittel wird ein Kapazitätskonto geführt. Bei der Maschinenauftragsfreigabe erfolgt die Belastung des Kapazitätskontos mit der Bearbeitungszeit des Auftrags. Parallel zu den geführten Zeitkonten der Aufträge wird von den Kapazitätskonten die Bearbeitungszeit abgebucht. Bei jedem Neuaufwurf der Planung läßt sich somit die aktuelle, freie und frei gewordene Kapazität eines Betriebsmittels berücksichtigen. Dem Prinzip der schichtgenauen Planung folgend, existiert für jede Schicht ein unabhängiges Kapazitätskonto.

4.9 Planungsalgorithmen

Im folgenden werden zwei Planungsalgorithmen genauer vorgestellt, anhand derer das planerische Vorgehen des Systems DEPROS erläutert wird.

4.9.1 Planungsalgorithmus "Nachtprogramm"

Anhand des Nachtprogramms soll die grundsätzliche Vorgehensweise bei der schichtgenauen Terminierung von Aufträgen (siehe Kap. 4.6) beispielhaft gezeigt werden.

Vom PPS-System werden die Fertigungsaufträge mit den Rumpfarbeitsplandaten an den teilautonomen Fertigungsbereich übergeben und dort mit den detaillierten Arbeitsplandaten angereichert. Schon hier können sich für den Disponenten Freiräume bei der Planung, z.B. durch Alternivarbeitspläne, ergeben. Gerade für die bedienerarme oder bedienerlose Schicht bei flexiblen Fertigungszellen und -systemen erscheint es sinnvoll, nachtprogrammtaugliche Arbeitspläne mit entsprechenden NC-Programmen (z.B. mit niedrigeren Schnittwerten durch geringeren Vorschub und NC-Programme, bei denen kein manueller Eingriff nötig ist) zu verwalten, wodurch sich die Ausfallsicherheit der Maschine erhöht.

Aus der detaillierten Auftragsdatei werden die nachtprogrammtauglichen Fertigungsaufträge in einer gesonderten Datei gespeichert. Für diese Aufträge erfolgt zunächst eine Verfügbarkeitsprüfung der Betriebs- und Hilfsmittel, bevor sie nach Gesichtspunkten der Ausfallsicherheit sortiert werden. Die sich ergebende Bearbeitungsreihenfolge des Nachtprogramms wird dem Disponenten zur Beurteilung vorgelegt, da möglicherweise bei der automatischen Reihenfolgeplanung nicht alle Aspekte eines unkritischen Arbeitvorrats berücksichtigt wurden.

Nach der Beurteilung durch den Disponenten wird für das ermittelte Nachtprogramm die Reservierung bzw. die feste Ressourcenzuteilung vorgenommen.

Zu erwähnen ist noch, daß mit dem Nachtprogramm zusätzlich ein Auftrag für die erste Schicht freigegeben wird. Damit sollen Stillstandszeiten durch anfallende Rüst- und Spanntätigkeiten in der Frühschicht vermieden werden. Zudem lassen sich so organisatorische Probleme, die durch den Neuaufwurf im Rahmen der schichtgenauen Planung entstehen können, verhindern.

Abbildung 4 verdeutlicht die Vorgehensweise beim Planungsalgorithmus "Nachtprogramm".

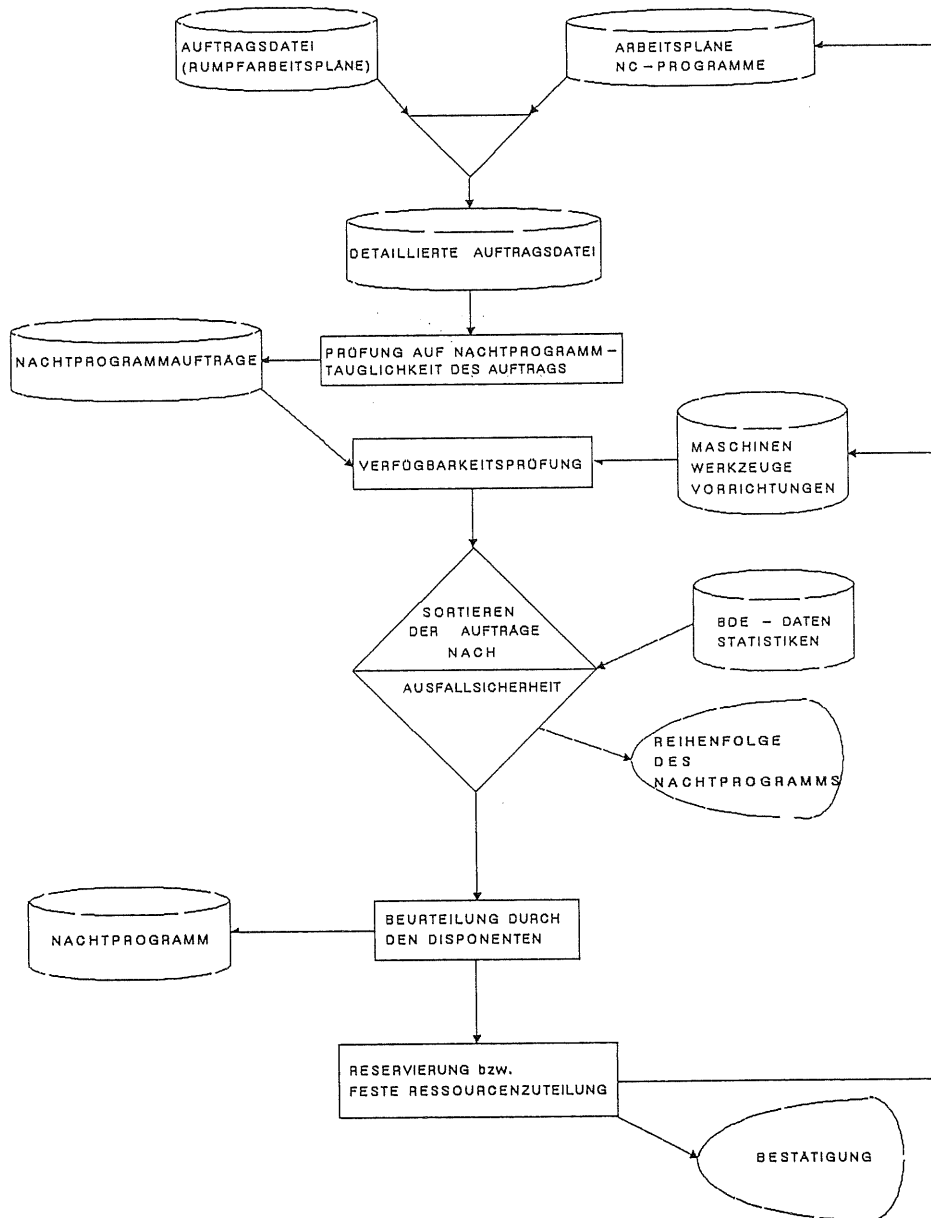


Abb.4: Planungsalgorithmus "Nachtprogramm"

4.9.2 Planungsalgorithmus "Engpaßmaschine"

Unter "Engpaßmaschine" wird ein Betriebsmittel verstanden, das aufgrund der hohen Investitionskosten kapazitativ möglichst hoch ausgelastet werden soll. Dies ist z.B. für teilautonome Bereiche interessant, die eine flexible Fertigungszelle oder ein flexibles Fertigungssystem als Leitmaschinenkonzept in einer sonst überwiegend konventionellen Fertigung beinhalten.

Prämissen des Modells sind:

- Keine Kapazitätsschranken bei vor- und nachgelagerten Maschinen (Handarbeitsplätzen).
- Selbst zeitparallel liegende gleiche, der Engpaßmaschine vor- und nachgelagerte Arbeitsgänge von unterschiedlichen Fertigungsaufträgen stellen kein Problem für die Engpaßplanung dar (z.B. weil mehrere gleiche vor- und nachgelagerte konventionelle Arbeitsplätze vorhanden sind).
- Die maximale Kapazität der Engpaßmaschine ist bekannt.
- Jeder Auftrag kann über die Engpaßmaschine laufen.
- Für jeden Auftrag gibt es mindestens einen vor- und einen nachgelagerten Arbeitsgang.

Ziel des Planungsalgorithmus ist die maximale (optimale) Kapazitätsauslastung des Engpaßaggregats.

Wird der Algorithmus "Engpaßplanung" für einen bestimmten Auftrag angestoßen, so sucht das System zunächst aus der Arbeitsplandatei den Arbeitsgang an der Engpaßmaschine heraus und plant diesen ein. Erst in einem zweiten Schritt werden die vor- und nachgelagerten Arbeitsgänge terminiert. Ausgehend von dem Anfangstermin an der Engpaßmaschine werden die vorgelagerten Arbeitsgänge rückwärtsterminiert, die nachfolgenden Arbeitsgänge werden ausgehend vom Endtermin an der Engpaßmaschine in einer Vorwärtsterminierung eingeplant.

Unter den angegebenen Prämissen bzw. Nebenbedingungen minimiert sich gleichzeitig die Durchlaufzeit durch den Fertigungsbereich.

Abbildung 5 zeigt einen Programmablaufplan zur Planung einer Engpaßmaschine.

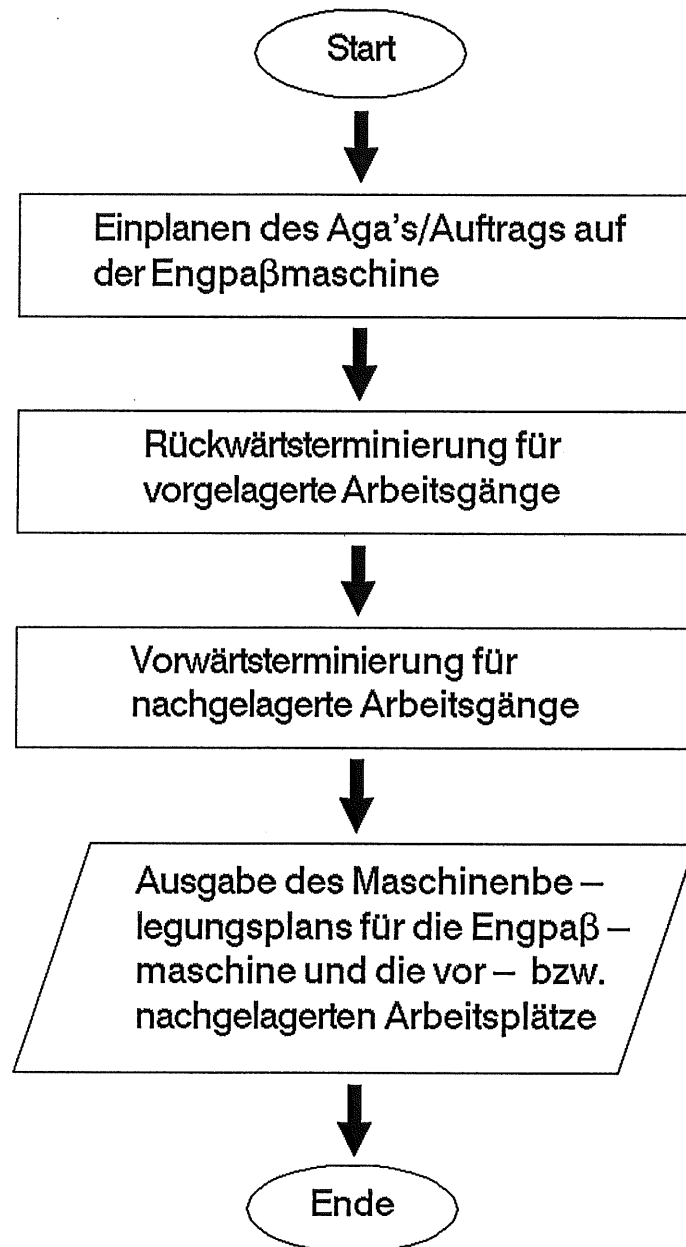


Abb.5: Planungsalgorithmus "Engpaßmaschine"

5 Integration von Simulations- und Animationstechnik

Im Bereich der Fertigung wird von vielen Unternehmen mittlerweile die Simulationstechnik zur Unterstützung von planerischen und dispositiven Aufgaben eingesetzt. Die Simulation bietet die Möglichkeit, das reale Verhalten eines Fertigungssystems anhand eines mathematischen Modells nachzubilden und Experimente durchzuführen, ohne daß das reale System direkt davon beeinflusst wird. Dabei lassen sich folgende Schwerpunkte für den Einsatz der Simulation erkennen:

- Planung und Rationalisierung von Fertigungssystemen:

Neu aufzubauende Fertigungssysteme können vor ihrer Realisierung als Modell abgebildet werden, es können Abläufe und Dimensionen festgelegt und Planvarianten getestet werden. Bestehende Fertigungssysteme können überprüft und gegebenenfalls durch Ändern von Systemkomponenten und Abläufen Rationalisierungserfolge erzielt werden [17].

- Steuerung von Fertigungssystemen:

Die Simulation kann zur Planung und Steuerung von Fertigungssystemen eingesetzt werden, indem Fertigungsaufträge unter Anwendung bestimmter Steuerungsstrategien eingeplant und die Auswirkungen unterschiedlicher Strategien analysiert werden.

Im folgenden soll, aufbauend auf die in den vorhergehenden Kapiteln aufgeführten Ansätze, der zweite Aspekt näher ausgeführt werden.

Die Durchführung einer Simulation zur Fertigungssteuerung erfolgt nach einem Stufenkonzept. Die einzelnen Schritte sind [18]:

1. Problemformulierung
2. Sammlung von Daten
3. Festlegen von Zielsetzungen
4. Aufbau des Modells und graphische Abbildung
5. Verifikation und Validierung des Modells
6. Planung von Analysen und Experimenten
7. Simulation
8. Analyse und Präsentation der Simulationsergebnisse
9. Entscheidung und Durchführung

[17] Vgl. Spiegl, P.: *Simulation - ein Planungsinstrument flexibler fertigungstechnischer Einrichtungen*. In: *CIM-Management* 1/1987, S.53

[18] Vgl. Yancey, D.P.: *Database Management Systems Can Provide Way To Manage Information Generated In A Computer Simulation Program*. In: *Industrial Engineering* 5/87, S.50

5.1 Problemformulierung

Die Zielsetzung der Fertigungssteuerung ist es, ein gegebenes Auftragspektrum terminlich den vorhandenen Kapazitäten zuzuordnen, so daß eine möglichst kostengünstige Fertigung gewährleistet ist.

Probleme entstehen dadurch, daß für den Fertigungssteuerer bei der Disposition terminliche und kapazitative Restriktionen existieren, die er berücksichtigen muß. Hierbei kann es sich um späteste Endtermine für die Aufträge handeln, um beschränkte Maschinenkapazitäten oder die Notwendigkeit der Verfügbarkeit von Material, Werkzeugen und Personal für die Auftragsdurchführung. Da unterschiedliche Aufträge um die vorhandenen Kapazitäten konkurrieren, muß simuliert werden, welche Strategie zur Auftragssteuerung am erfolgversprechendsten bezüglich der verfolgten Zielsetzung ist.

5.2 Sammlung von Daten

Für die Durchführung einer Simulation zur Fertigungssteuerung müssen Daten über das Auftragspektrum, die durchzuführenden Aktivitäten, die organisatorischen Abläufe sowie die vorhandenen Kapazitäten bereitgestellt werden, auf die die Simulation zugreifen kann. Im einzelnen sind dies:

- Auftragspektrum:
 - Zahl der Aufträge
 - Art der Aufträge
 - Auftragsmengen
 - Terminrahmen
 - externe Prioritäten

- Aktivitäten:
 - Bearbeitungszeiten
 - Rüstzeiten
 - Transportzeiten
 - dispositive Faktoren
 - Wartungen
 - Unterbrechungen, Störungen

- Abläufe:
 - Bearbeitungsreihenfolgen (Arbeitsplan)
 - Transport- und Zwischenlagervorgänge
 - Transportwege
 - Ausschußquoten, Nacharbeit

- Kapazitäten:
 - Maschinen
 - Personal
 - Werkzeuge
 - Vorrichtungen
 - Transportmittel
 - Zwischenlager
 - Werkstückspeicher

5.3 Festlegen von Zielsetzungen

Ein entscheidender Punkt bei der Erstellung eines Simulationsmodells zur Steuerung teilautonomer Bereiche ist die Festlegung der Zielsetzungen, die durch den Einsatz unterschiedlicher Steuerungsstrategien verfolgt werden sollen. Generell lassen sich die Zielsetzungen bei der Fertigungssteuerung auf das Oberziel einer möglichst kostengünstigen Fertigung zurückführen. Je nach Ausprägung des Fertigungsbereichs bzw. der individuellen Zielansprüche lassen sich verschiedene auftrags-, kapazitäts- oder ablaufbezogene Kriterien unterscheiden, wie sie in Kapitel 3.1 angesprochen sind.

Aus den unterschiedlichen Kriterien kann der Anwender sich seine individuelle Zielfunktion zusammenstellen, indem die einzelnen Bewertungsgrößen miteinander verknüpft und gewichtet werden. Hier bieten sich als Bewertungsmaßstab die ablaufabhängigen Kosten an (vgl. Kap. 5.8.2).

5.4 Aufbau des Modells und graphische Abbildung

Sind die zu berücksichtigenden Komponenten und Abläufe sowie die verfolgten Zielsetzungen festgelegt, erfolgt als nächster Schritt der Aufbau des Simulationsmodells. Da das Modell die Aufgabe hat, die tatsächlichen Abläufe möglichst realitätsnah abzubilden, müssen die vorhandenen Betriebsmittel mit ihren spezifischen Daten erfaßt und abgebildet werden, ebenso das im Planungszeitraum zu bearbeitende Auftragsspektrum und die Abläufe innerhalb des Fertigungsbereichs (Bearbeitungen, Transporte, Warteschlangen, Lagervorgänge). Für zeitlich nicht genau zu determinierende Größen wie Störungen werden geeignete Verteilungen definiert.

Ein Hilfsmittel bei der Erstellung eines Simulationsmodells zur Fertigungssteuerung ist die graphische Abbildung des betrachteten Fertigungsbereichs. Inzwischen werden bereits Systeme entwickelt, die es ermöglichen, ohne spezielle Kenntnisse einer Simulationssprache anhand graphikunterstützter Eingabe der Simulationsdaten ein Simulationsmodell zu generieren [19].

[19] Vgl. Kettner, P.; Thome, H.G.: *Simulation im Umfeld des Computer Integrated Manufacturing*. In: *ASIM - Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, Fachtagung, München 1987, S.305.*

Für die einzelnen Komponenten des Fertigungsbereichs werden verständliche Symbole definiert und zur Abbildung des Materialflusses und der sonstigen logistischen Abläufe Wegstrecken, Transportmittel und Zwischenlager graphisch dargestellt. Hierbei ist darauf zu achten, einen Kompromiß zu finden zwischen einer detaillierten, aber aufgrund der Informationsmenge nur schwer verständlichen Darstellung sowie einer Darstellung, die sich nur auf die wesentlichen Abläufe beschränkt und demzufolge nicht alle Einzelheiten abbilden kann. Gegebenenfalls erscheint es sinnvoll, das Layout des Fertigungsbereichs auf mehreren Ebenen abzubilden, indem eine Ebene die groben Abläufe innerhalb des Fertigungsbereichs enthält, eine andere Ebene z.B. speziell die Abläufe in einem zum Fertigungsbereich gehörenden Bearbeitungszentrum anzeigt.

5.5 Verifikation und Validierung des Modells

Bei der Transformation des Modells auf einen Computer ist sicherzustellen, daß das Modell vom Computerprogramm so ausgeführt wird, wie es bei der Modellerstellung vorgesehen wurde [20]. Dieser Vorgang wird als Verifikation bezeichnet.

Im Anschluß daran muß nachgewiesen werden, daß das abstrakte Modell auch das Verhalten des betrachteten realen Systems in einer befriedigenden Weise repräsentiert [21]. Da das reale System in der Regel mehr Einflußgrößen enthält als im Modell abbildbar sind, ist zwangsläufig eine vollständige Übereinstimmung nicht möglich. Die Validierung soll zeigen, daß das Modell und das reale System innerhalb gewisser Toleranzgrenzen übereinstimmen. Es müßten also über einen bestimmten Zeitraum hinweg die tatsächlichen Fertigungsabläufe mit den vorher simulierten verglichen werden.

5.6 Planung von Analysen und Experimenten

Ist das Modell erstellt, auf einen Computer transformiert und eine ausreichende Übereinstimmung mit dem realen Fertigungsbereich sichergestellt, wird geplant, welche Situationen bzw. Abläufe simuliert werden sollen. Der Anwender legt Parameter fest, die innerhalb der einzelnen Simulationsläufe variiert werden können. Anhand solcher Parameter kann eine Vielzahl von Einflußgrößen auf ihre Auswirkungen hin überprüft werden, wobei folgende Schwerpunkte zu berücksichtigen sind:

- Simulation von Fertigungsabläufen
 - Auftragsreihenfolgen
 - Alternativbearbeitungen
 - variable Arbeitsgangfolgen
 - Splitten und Raffeln von Arbeitsgängen
 - außerplanmäßige Abläufe (z.B. Ausschuß)

[20] Vgl. Pritsker, A.A.B.: *Introduction To Simulation And SLAM II*. 1.Aufl., West Lafayette, Indiana 1986, S.11

[21] Vgl. Schmidt, B.: *Modellaufbau und Validierung*. In: Biethahn, J.; Schmidt, B. (Hrsg.): *Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe*. Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo 1987, S.57.

- Simulation der Verfügbarkeit von Ressourcen
 - Ermittlung von Engpässen (Personal, Maschinen, Pufferlager, Werkzeuge)
 - Engpaßbeseitigungsstrategien

- Simulation von Unterbrechungen des Fertigungsprozesses
 - vorhersehbare Unterbrechungen (z.B. Wartungen)
 - unvorhersehbare Unterbrechungen (z.B. Störungen)

5.6.1 Simulation von Fertigungsabläufen

Bei der Simulation von Fertigungsabläufen lassen sich verschiedene Problembereiche festlegen. Zum einen kann von einer festen Arbeitsgangreihenfolge innerhalb der einzelnen Aufträge ausgegangen werden. In diesem Fall liegt der Schwerpunkt der Planung auf der Bildung günstiger Auftragsreihenfolgen vor Maschinen. Ist die Arbeitsgangreihenfolge mehr oder weniger flexibel oder können Arbeitsgänge alternativ auf unterschiedlichen Maschinen gefertigt werden, existieren zusätzliche Spielräume für die Simulation. Können innerhalb eines Fertigungsbereichs, z.B. durch Entstehung von Ausschuß und notwendiger Nacharbeit, zusätzliche außerplanmäßige Abläufe entstehen, ergeben sich auch hier Ansatzpunkte für die Simulation.

5.6.1.1 Variable Auftragsreihenfolgen

Ein wesentliches Problem der kurzfristigen Fertigungssteuerung ist die Festlegung der Reihenfolge, mit der die Aufträge auf den einzelnen Maschinen zu bearbeiten sind. Durch die Einlastung von Aufträgen vor Maschinen bilden sich dort Warteschlangen, die nach bestimmten Regeln (Prioritätsregeln) abgebaut werden können. Beispiele für einfache Reihenfolgekriterien sind [22]:

- **FIFO:**
Die Aufträge werden nach der Reihenfolge ihrer Ankünfte an der Maschine bearbeitet.

- **GRB:**
Die Aufträge werden nach der längsten noch verbleibenden Restbearbeitungszeit geordnet.

- **KOZ:**
Der Auftrag mit der kürzesten Operationszeit an der Maschine wird zuerst bearbeitet.

[22] Vgl. Berg, C.C.: *Prioritätsregeln in der Reihenfolgeplanung*. In: Kern, W. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*. Stuttgart 1979, S.1427ff

- **FFT:**
Der Auftrag mit dem frühesten Fertigstellungstermin wird zuerst bearbeitet.
- **FT-BZ:**
Der Auftrag in der Warteschlange wird zuerst berücksichtigt, bei dem die Differenz zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Fertigstellungsstermin und der noch verbleibenden Restbearbeitungszeit (Schlupfzeit) am geringsten ist.
- **Wertregel:**
Der Auftrag mit dem höchsten Produktendwert erhält die höchste Priorität.

Weiterhin können beliebige externe Prioritäten existieren, die dem Auftrag aufgrund zeitlicher, wertmäßiger oder kundenabhängiger Merkmale ein bestimmtes Gewicht verleihen. So können Eilaufträge durch das Vergeben einer hohen externen Priorität schnell durch das System geschleust werden, indem sie anderen Aufträgen in der Warteschlange vorgezogen werden bzw. sogar laufende Aufträge unterbrechen können.

Bei der Simulation eines Nachtprogramms geht es darum, die Fertigungsaufträge in eine solche Reihenfolge zu bringen, daß weniger störanfällige Aufträge in der bedienerarmen oder bedienerlosen Schicht gefertigt werden. Beim Auftreten einer Störung (z.B. Werkzeugbruch) schaltet die Maschine ab. Zur Simulation eines Nachtprogramms werden den Aufträgen auf der Maschine bestimmte Störanfälligkeitsgrößen, z.B. in Form einer Zufallsverteilung der zeitlichen Ausfälle, zugeordnet. Durch das Verlegen unterschiedlicher Aufträge in die bedienerlose Schicht wird getestet, bei welcher Belegung die Zeitspanne bis zum Abschalten am größten ist.

5.6.1.2 Alternativbearbeitungen

Können Arbeitsgänge wahlweise auf mehreren Maschinen gefertigt werden, wird mittels der Simulation ermittelt, ob es eventuell sinnvoll ist, von der für den Arbeitsgang vorgesehenen Standardmaschine abzuweichen und den Arbeitsgang auf ein Ausweichaggregat zu legen. Das bietet sich z.B. dann an, wenn die Standardmaschine mit Aufträgen überlastet ist und ein Einreihen des Arbeitsgangs in die Warteschlange mit unzumutbaren Durchlaufzeitverlängerungen verbunden wäre. Ergibt die Simulation, daß durch Ausweichen auf eine andere Maschine eine Einsparung an Durchlaufzeit erreicht wird, die nicht durch eventuelle Mehrkosten der Alternativfertigung wieder aufgehoben wird, kann eine dementsprechende Umplanung vorgenommen werden.

5.6.1.3 Variable Arbeitsgangfolgen

Eine weitere Möglichkeit zur Simulation in diesem Bereich ist die Änderung von Arbeitsgangreihenfolgen innerhalb eines Auftrags. Hier wird getestet, ob es möglicherweise sinnvoll ist, einen Arbeitsgang mit einer langen Warteschlange vor der entsprechenden Maschine, falls technisch möglich, zu überspringen und zunächst einen anderen Arbeitsgang zu fertigen, bevor der übersprungene Arbeitsgang gefertigt wird.

5.6.1.4 Arbeitsgangsplitting und -raffung

Beim Arbeitsgangsplitting werden unterschiedliche Simulationsläufe durchgeführt, mit denen ermittelt wird, ob ein Arbeitsgangsplitting zu der gewünschten Durchlaufzeitverkürzung führt. Dabei kann die Zahl und die Größe der neu gebildeten Lose variiert werden. Beim Raffen von Arbeitsgängen ergeben sich Simulationsansätze bezüglich der Zahl der zusammenzufassenden Arbeitsgänge, die Auswirkungen von neu gebildeten Losen auf Rüstzeiten und Durchlaufzeiten werden überprüft.

5.6.1.5 Außerplanmäßige Fertigungsabläufe

Außerplanmäßige Fertigungsabläufe treten z.B. dann auf, wenn aufgrund von Fehlern im Bearbeitungsprozeß Teile von Aufträgen mangelhaft gefertigt werden, so daß es zur Aussonderung dieser Teile (Ausschuß), zu Neubearbeitungen oder zu der Notwendigkeit von Nacharbeit kommt.

Mittels der Simulation lassen sich hier die Auswirkungen von unterschiedlichen Ausschußraten veranschaulichen; falls Nacharbeit erforderlich ist, ist es möglich, die zeitlichen und kapazitätsmäßigen Konsequenzen zu verfolgen.

5.6.2 Simulation der Verfügbarkeit von Ressourcen

Zur Durchführung von Bearbeitungs-, Transport- und Lagervorgängen stehen innerhalb eines Fertigungsbereichs Ressourcen in Form von Maschinen, Werkzeugen, Vorrichtungen, Personal, NC-Programme, Werkstückspeicher usw. zur Verfügung. Aus Kostengründen ist die Zahl der vorhandenen Ressourcen begrenzt, was bedeutet, daß die Aufträge, die den Fertigungsbereich durchlaufen, um die knappen Ressourcen konkurrieren. Es ist deshalb auch Aufgabe der Fertigungssteuerung, die Verfügbarkeit der Ressourcen zu sichern und Engpässe, soweit möglich, zu verhindern. Es bilden sich somit als Schwerpunkte die Ermittlung von kapazitätsmäßigen Engpässen einerseits sowie das Testen von Engpaßbeseitigungsstrategien andererseits.

5.6.2.1 Ermittlung von Engpässen

Engpässe lassen sich im Rahmen eines Simulationsmodells durch die Modellierung von Warteschlangen vor Ressourcen erkennen, in die die Aufträge eingereiht werden. Eine Warteschlange ist in der Regel auf eine bestimmte Anzahl begrenzt (wenn z.B. ein Pufferlager vor einer Maschine nur eine bestimmte Anzahl an Werkstücken aufnehmen kann). Hohe Wartezeiten eines Auftrags vor einer Ressource bzw. lange Warteschlangen deuten darauf hin, daß hier ein Engpaß vorhanden ist. So ist innerhalb eines Simulationsmodells zur Fertigungssteuerung die Erfassung folgender potentieller Engpaßstellen sinnvoll:

Pufferlager vor Maschinen:

Je nach Auftragspektrum kommt es vor einer Maschine zum Stau von Werkstücken, was zur Folge hat, daß dort lange Wartezeiten entstehen und Pufferlager überlaufen. Vor allem durch Eilaufträge und Einfahraufträge treten unvorhergesehene zeitliche und kapazitative Auswirkungen auf.

Personal:

Im Rahmen der flexiblen Automatisierung können Rüstvorgänge sehr personalintensiv sein. Es kann deshalb zu Stillstandszeiten der Maschinen durch mangelnde Rüstkapazität kommen.

Transport:

Zum Transport von Teilen zwischen Maschinen bzw. Lagern können Transportsysteme verschiedenster Art eingesetzt werden (Gabelstapler, fahrerlose Transportsysteme), wobei die Fahrzeuge nur in begrenzter Zahl zur Verfügung stehen. Es kann somit zu Engpässen kommen, wenn die Fahrzeuge stark beansprucht werden bzw. in zu geringer Anzahl vorhanden sind.

5.6.2.2 Engpaßbeseitigungsstrategien

Vorhandene Engpässe lassen sich durch geeignete Maßnahmen beseitigen. Innerhalb der angesprochenen Engpaßstellen ergeben sich vor allem Möglichkeiten durch den Einsatz zusätzlicher Kapazitäten, wobei zu berücksichtigen ist, ob die eintretende Ersparnis die Mehrkosten rechtfertigt. Stehen Alternativarbeitspläne zur Verfügung, können durch Simulation unterschiedliche Engpaßbeseitigungsstrategien getestet werden.

5.6.3 Simulation von Unterbrechungen des Fertigungsprozesses

Jeder Fertigungsprozeß ist gekennzeichnet durch vorhersehbare oder unvorhersehbare Unterbrechungen, die bei der Steuerung der Aufträge berücksichtigt werden müssen, da sie die Abläufe in der Fertigung verzögern oder behindern.

5.6.3.1 Vorhersehbare Unterbrechungen

Zu den vorhersehbaren Unterbrechungen des Fertigungsprozesses gehören vor allem Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, die in regelmäßigen Zeitabständen, nach einer bestimmten Anzahl von Betriebsstunden oder zu festgelegten Zeiten nach einem Maschinenausfall durchgeführt werden [23]. Für die Wartungsdauern sind oft keine genauen Zeiten feststellbar, so daß hier Wahrscheinlichkeitsverteilungen zugrundegelegt werden müssen. Die unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien werden simuliert und ihre Auswirkungen auf den Auftragsdurchlauf ermittelt. Sind die Zeitpunkte für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen abhängig von auftretenden Maschinenausfällen bzw. ausfallbedingten Reparaturen, werden diese Zusammenhänge im Simulationsmodell berücksichtigt.

5.6.3.2 Unvorhergesehene Unterbrechungen

Innerhalb des Fertigungsprozesses treten häufig Störungen auf, die den geplanten Fertigungsablauf unterbrechen und zu terminlichen und räumlichen Änderung des Auftragsdurchlaufs führen. Diese Störungen sind in ihrem zeitlichen Auftreten schwer vorauszusehen, müssen aber bei der Planung des Fertigungsprozesses in irgendeiner Form berücksichtigt werden, da die Ergebnisse der Planung sonst unrealistisch werden.

Bei der Verursachung von Störungen können alle am Fertigungsprozeß beteiligten Faktoren beteiligt sein [24]:

- Ausfall von Maschinen (technische Defekte, Fehler bei der Bedienung)
- Ausfall von Personal (Nichtvorhandensein von Maschinenbedienern)
- Ausfall von Transportgeräten (Nichtvorhandensein, Defekte)
- Ausfall von wichtigen Unterlagen (Fehlen von Arbeitspapieren, NC-Programmen)
- Ausfall von Werkzeugen (Werkzeugbruch, vorzeitiges Erreichen der Standzeit)

Dabei ist jeder Ausfall gekennzeichnet durch den Zeitpunkt, zu dem der Ausfall auftritt, sowie die Dauer des Ausfalls.

Für die Berücksichtigung von Störgrößen in einem Simulationsmodell ist entscheidend, diese Daten möglichst genau abzubilden. Dazu lassen sich Zufallsvariablen definieren, die die Wahrscheinlichkeit des Ausfalls eines Betriebsmittels bzw. die Dauer des Ausfalls beschreiben. Damit kann im Simulationsmodell näherungsweise das Auftreten von Störungen und deren Auswirkungen auf den Fertigungsprozeß überprüft werden.

Weiterhin läßt sich simulieren, welche Maßnahmen zur Umgehung einer Störung am geeignetsten sind. Solche Maßnahmen bestehen z.B. in der Nutzung von Ausweichbetriebsmitteln oder der Anwendung von Alternativarbeitsplänen.

[23] Vgl. Kilger, W.: *Industriebetriebslehre I*. 1.Aufl., Wiesbaden 1986, S.383ff.

[24] Vgl. Lampkemeyer, U.; Soliman, M.: *Betriebsmittelbezogene Störungsquellen im prozeßnahen Bereich und ihre Simulation*. In: *ZwF* 82(1987)9, S.534ff.

5.7 Simulation

Bei dem eigentlichen Simulationsvorgang wird das mathematische Modell ausgeführt und die definierten Modellgrößen berechnet. Durch Veränderungen von Parametern kann der Anwender die geplanten Experimente durchführen und unterschiedliche Alternativen entwickeln. Durch das Starten mehrerer Simulationsläufe kann die Zuverlässigkeit der Ergebnisse erhöht werden.

5.8 Analyse und Präsentation der Simulationsergebnisse

Die Ausführung eines Simulationsmodells für die Fertigungssteuerung führt zu einer Vielfalt an Ergebnissen. Gegenwärtige Simulationssprachen (z.B. SLAM II, SIMAN) stellen ihre Resultate standardmäßig in wenig übersichtlichen "Summary-Reports" dar.

Zur Unterstützung der Zahlenergebnisse bieten verschiedene Systeme auch graphische Auswertungen an; z.B. lassen sich Verteilungen in Form von Histogrammen oder Tortendiagrammen darstellen.

5.8.1 Animation

Eine andere Form der Darstellung, die den Anforderungen an eine erhöhte Benutzerfreundlichkeit entgegenkommt, ist die Animation oder Prozeßvisualisierung, die es erlaubt, den Fertigungsablauf in bewegten Bildern zu verfolgen.

Die Animation bietet in graphischer Form sehr anschauliche Informationen über das Einsatzverhalten des gesamten betrachteten Systems [25]. Auf dem Bildschirm sind die wesentlichen Komponenten des Fertigungsbereichs mittels Symbolen dargestellt (Maschinen, Puffer, Transportgeräte, Lager). Der räumliche und zeitliche Ablauf eines Auftrags wird anhand eines definierten Weges beschrieben, den der Auftrag am Bildschirm in einer bestimmten Zeit zurücklegt. Wesentliche Veränderungen, wie z.B. der Wechsel eines Auftrags von "in Bearbeitung" zu "fertig", werden durch farbliche oder gestaltliche Veränderungen gekennzeichnet, Zustände von Maschinen (z.B. belegt, frei, gestört) in geeigneter Weise dargestellt. Da die Animation im Zeitraffer arbeitet, ist darauf zu achten, daß eine zur Verfolgung der Abläufe günstige Zeiteinstellung gewählt wird.

Die Animation ermöglicht es, auf eine realitätsnahe Art und Weise Abläufe zu erkennen, zu überprüfen und Schwachstellen zu analysieren. So lassen sich offensichtliche Fehlentscheidungen sofort erkennen, die sonst möglicherweise erst nach längerer Analyse von Auswertungsdaten entdeckt würden.

[25] Vgl. Schlüter, K.: *Graphischer Modellaufbau und graphische Prozeßverfolgung als Hilfsmittel der Simulation in der Fertigungstechnik*. In: Blethahn, J.; Schmidt, B.: *Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe*. Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo 1987, S. 158.

Das Verständnis des Anwenders für die von der Simulation gelieferten Statistiken wird durch die Möglichkeit der Beobachtung des Fertigungsprozesses erhöht, die hinter dem Prozeß steckende Logik wird transparent [26].

Ein Mangel der Animation ist, daß nur ein Teil der vorhandenen Informationen auf dem Bildschirm dargestellt wird und sich die Analysemöglichkeiten auf diesen Teil beschränken. Diesem Mangel kann durch eine Abbildung des Fertigungsbereichs in unterschiedlichen Detaillierungsstufen entgegengewirkt werden.

Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für eine Animation eines Fertigungsbereichs:

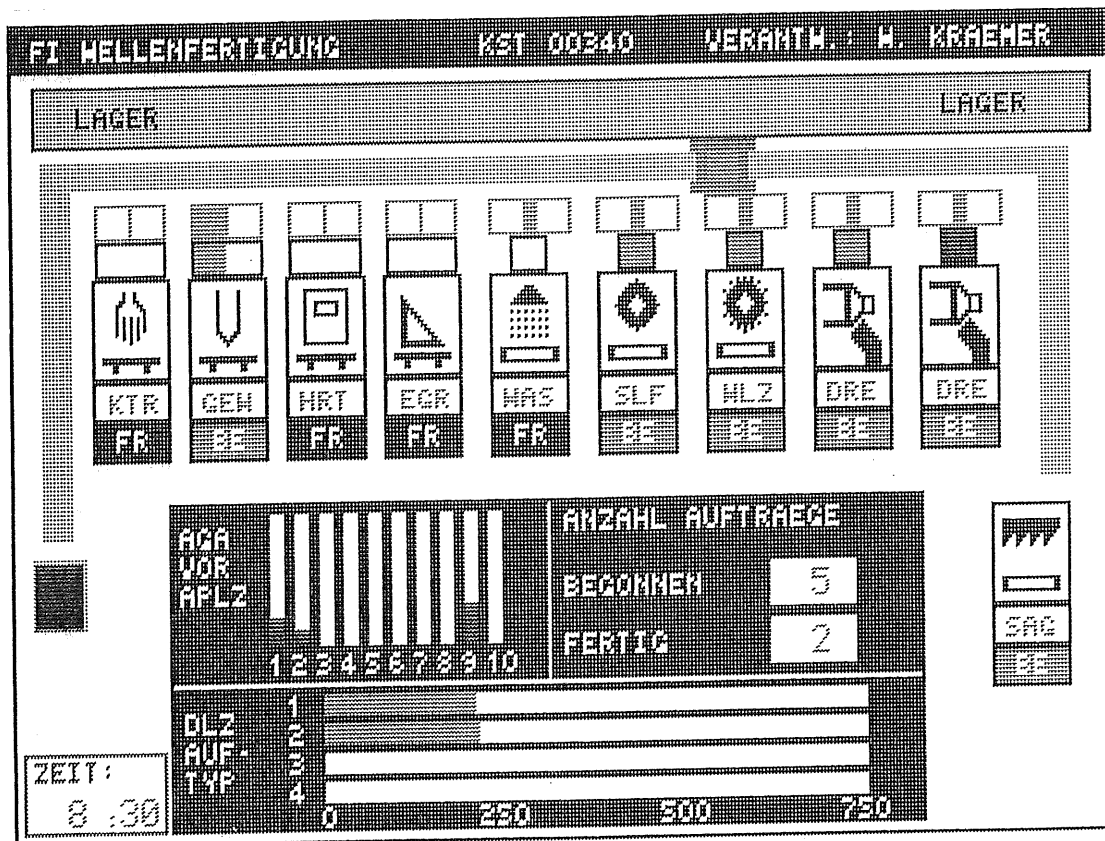


Abb.6: Animation eines Fertigungsbereichs

5.8.2 Bewertung der Simulationsgrößen

Die Bewertung der erfaßten Simulationsgrößen ergibt sich aus den in Kapitel 5.3. angegebenen Zielsetzungen. Probleme ergeben sich dort, wo mehrere konkurrierende Zielsetzungen existieren. Hier entsteht die Notwendigkeit, eine Zielfunktion mit gewichteten und kombinierten Zielgrößen zu bilden. Auch sind eventuell Randbedingungen zu definieren, die nicht verletzt werden dürfen (z.B. dürfen die Endtermine der Aufträge nicht überschritten werden, auch wenn dies zur Verschlechterung der anderen Zielerreichungsgrade führen würde).

[26] Vgl. Smith, R.L.; Platt, L.: Benefits Of Animation In The Simulation Of A Machining And Assembly Line. In: Simulation 48(1987)1, 1987, S.29.

Zur Ermittlung einer einheitlichen Zielfunktion empfiehlt sich die Bewertung der Fertigungsvorgänge mit den entsprechenden Kosten. Es lassen sich folgende ablaufabhängigen bzw. dispositiven Kosten unterscheiden [27]:

- **Zwischenlagerungskosten:**
Diese entstehen durch Kapitalbindung der zwischengelagerten Werkstücke. Hierbei entsteht das Problem der Bestimmung des Werkstückwerts. Bei kurzen Zwischenlagerungszeiten bleibt die Frage, ob es sinnvoll ist, eine Verzinsung der Werkstücke vorzunehmen.
- **Rüstkosten:**
Die Rüstkosten sind insofern ablaufabhängig, als daß durch eine an den notwendigen Rüstvorgängen orientierte Einplanung von Arbeitsgängen oder durch Raffung von Arbeitsgängen Rüstzeiten und damit Rüstkosten verringert oder vermieden werden können.
- **Leerkosten:**
Bei der Nichtbelegung von Maschinen fallen Leerkosten an, die durch Änderung der Fertigungsabläufe im Hinblick auf eine bessere Kapazitätsauslastung verringert werden können. Insbesondere bei kostenintensiven Engpaßmaschinen kann eine ablaufabhängige Leerzeit zu hohen Kosten führen.
- **Transportkosten:**
Die ablaufabhängigen Transportkosten beziehen sich auf die Zahl der durchzuführenden Transportvorgänge sowie die dabei zurückgelegten Wegstrecken.
- **Verzugskosten:**
Durch Überschreitung von Endterminen entstehen für das Unternehmen Kosten, z.B. in Form von Konventionalstrafen. Solche Terminüberschreitungskosten lassen sich als Produkt der Terminüberschreitung mit dem Konventionalstrafenkostensatz, in Abhängigkeit von dem betroffenen Auftrag, berechnen. Zusätzlich können aber auch nicht in Geldeinheiten zu messende "Kosten" entstehen, wenn z.B. bei dem Kunden aufgrund einer Terminüberschreitung ein Vertrauensschwund eintritt.
- **Kosten durch Ausweichen auf Alternativarbeitspläne:**
Weicht der Fertigungsablauf aufgrund von Maschinenstörungen oder sonstigen Einflüssen von dem üblichen Verlauf ab, entstehen Mehrkosten, wenn davon ausgegangen wird, daß der Standardarbeitsplan die kostengünstigste Alternative darstellt.

[27] Vgl. Knoop, J.: *Online-Kostenrechnung für die CIM-Planung*. Berlin 1986, S.47ff.

- **Kosten für Wartungen, Reparaturen sowie störbedingte Stillstandskosten:**
Wird davon ausgegangen, daß auftretende Störungen und notwendige Instandhaltungsmaßnahmen abhängig sind von der Beanspruchung der Maschine, müssen auch diese Kosten bei der Bewertung einer Terminierungsstrategie berücksichtigt werden. Eine intensivere Nutzung einer Maschine erhöht in der Regel die Störanfälligkeit, bei Instandhaltungsmaßnahmen, die sich an der Zahl der Betriebsstunden orientieren, werden die Kosten ebenfalls durch die vorgegebene Strategie beeinflusst.

Mittels der obengenannten Kostenkomponenten kann eine Zielfunktion beschrieben werden, die etwa aus der Minimierung der Summe der einzelnen Kostenkomponenten besteht.

Abbildung 7 zeigt eine Bildschirmmaske zur Erfassung der ablaufabhängigen Kosten als Resultat eines Simulationslaufs.

Zwischenlagerkosten	320.00
Rüstkosten	940.00
Leerkosten	800.00
Transportkosten	540.00
Verzugskosten	400.00
Wartungskosten	320.00
Reparaturkosten	480.00
Stillstandskosten	700.00
Kosten gesamt	4500.00

Abb.7: Ablaufabhängige Kosten eines Fertigungsbereichs

5.9 Entscheidung und Durchsetzung

Aufgrund der erzielten Simulationsergebnisse wird die Einplanungsalternative mit dem höchsten Zielerreichungsgrad ausgewählt und als Anweisung an den Fertigungsbereich übergeben. Die Zuverlässigkeit der simulierten Lösung läßt sich aus einem Vergleich mit den tatsächlich realisierten Fertigungsabläufen ableiten. Werden starke Abweichungen zwischen Simulationsmodell und Realität festgestellt, ist eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Änderung der Modellannahmen notwendig.

6 Schnittstellen zwischen Simulation und Fertigungsleitstand

Im Rahmen einer simulationsunterstützten Fertigungssteuerung besteht zwischen dem Fertigungsleitstand einerseits und der Simulation andererseits die Notwendigkeit des Austauschs von Daten. Vom Leitstand werden zur Durchführung einer Simulation insbesondere folgende Daten bereitgestellt:

- Einzuplanende Aufträge mit Zeiten und Mengen
- Terminierungsstrategien
- Fertigungsunterbrechungen.

Innerhalb des Simulationslaufs werden wiederum Daten erzeugt, die vom Leitstand ausgewertet werden:

- Maschinenbelegungen
- Durchlaufzeiten
- Länge von Warteschlangen, Wartezeiten.

Aufgrund der Interdependenzen von Simulationssystem und Leitstand ergibt sich die Notwendigkeit zur Integration. Um ein Simulationssystem in ein Leitstandskonzept zu integrieren, sind bestimmte Anforderungen zu erfüllen [28]:

- Die im Simulationsmodell beschriebenen Abläufe müssen eine den Anforderungen des Leitstandes entsprechende Abbildungsgenauigkeit besitzen.
- Der Leitstand muß die von der Simulation benötigten Daten in geeigneter Form bereitstellen, ebenso müssen die im Simulationslauf erzeugten Daten vom Leitstand übernommen werden können.
- Es muß eine komfortable, möglichst graphische Oberfläche existieren, die es dem Benutzer ermöglicht, von der Leitstandsebene aus auf Parameter des Simulationsmodells zuzugreifen.
- Es muß eine Auswahl an möglichen Strategien bereitgestellt werden, die der Benutzer mittels der Simulation testen kann.
- Aktuelle BDE-Daten, wie z.B. der Ausfall einer Maschine, müssen der Simulation sofort zur Verfügung stehen.
- Auswertungen des Simulationssystems müssen in geeigneter Form vom Leitstand visualisiert werden, z.B. als graphische Maschinenbelegungspläne.
- Vom Leitstand müssen alternative Bewertungsmöglichkeiten für die simulierten Fertigungsabläufe bereitgestellt werden.

Die Simulation soll als ein Hilfsmittel zum Testen verschiedener Steuerungsstrategien verstanden werden. Anhand eines Simulationsmodells kann überprüft werden, wie sich das reale System bei Anwendung einer bestimmten Strategie aller Voraussicht nach verhält, ohne diese Strategie direkt am realen System auszuprobieren. Insofern bieten die Simulationsresultate eine gute Grundlage einer darauffolgenden Entscheidung für eine ausgewählte Planungsstrategie.

[28] Vgl. Schmidt, R.: Einsatzmöglichkeiten der Simulation in der Werkstattsteuerung. In: Hallin, J. (Hrsg.): Simulationstechnik, 4. Symposium Simulationstechnik, Proceedings. Zürich 1987, S.524f.

7 Verstärkung der Interaktion

Kennzeichen vieler heutiger EDV-Systeme ist, daß der Benutzer im Hintergrund ablaufende Algorithmen nicht direkt beeinflussen kann, wenn er keine Programmierkenntnisse besitzt. Ähnliches gilt auch für die Systeme zur Fertigungssteuerung. Oft erlauben diese Systeme nur eine Vorwärts- und/oder Rückwärtsterminierung und nehmen dabei keine Rücksicht auf die speziellen Anforderungen eines Fertigungsbereichs sowie auf bestimmte aktuelle Situationen in der Fertigung. Dies hat zur Folge, daß der Benutzer mit unbefriedigenden Ergebnissen konfrontiert wird. Oft werden z.B. Eilaufträge nicht in das Fertigungssteuerungssystem eingeplant; dennoch werden diese Aufträge gefertigt, nehmen also Kapazität in Anspruch. Damit entspricht der Fertigungsplan des Steuerungssystem nicht mehr der realen Situation, die Disponenten treffen eigene, vom System abweichende Entscheidungen. Ungenügende Akzeptanz oder zeitraubende manuelle Optimierungsbemühungen sind die Folge.

Um eine flexible, anwenderorientierte Fertigungssteuerung zu ermöglichen, wird dem Fertigungssteuerer neben einem breiten Spektrum an Algorithmen zur Unterstützung unterschiedlicher Steuerungsstrategien eine Vielzahl von Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt. Dadurch kann er jederzeit in den Steuerungsprozeß eingreifen, sein Erfahrungswissen mit einfließen lassen und sich individuell benötigte Informationen beschaffen.

Die Schwerpunkte der Interaktion werden nachfolgend beschrieben.

7.1 Bestimmung der relevanten Zielsetzungen

Der Benutzer wählt aus, welche Zielsetzung der Algorithmus verfolgen soll. Dies kann auf die Gesamtheit der Aufträge wie auch auf den einzelnen Auftrag bezogen sein.

Bei der Festlegung der Ziele sind folgende Entscheidungsgrundlagen denkbar:

- Maximierung oder Minimierung eines Ziels (z.B. Durchlaufzeitminimierung)
- Bilden einer Zielhierarchie, d.h. bei Zielgleichheit eines Oberziels entscheidet ein anderes, untergeordnetes Zielkriterium (z.B. Einhaltung der Endtermine vorrangig, danach entscheidet die benötigte Durchlaufzeit)
- Gewichtung mehrerer Zielkriterien (z.B. Durchlaufzeit und Engpaßbelastung)
- Ausschluß potentieller Lösungen bei Nichterreichen eines bestimmten Zielfunktionswertes in einer relevanten Zielsetzung (z.B. Verletzen des spätesten Endtermins)

Der Benutzer entscheidet nicht nur, welche Zielsetzung er ansprechen will, sondern er legt auch fest, in welcher Reihenfolge und mit welcher Gewichtung er diese Ziele betrachtet. Ebenso kann er Grenzwerte festlegen, die nicht überschritten werden dürfen.

7.2 Auswahl der geeigneten Steuerungsstrategien

Ausgehend von den im vorhergehenden Schritt festgelegten Zielsetzungen kann der Anwender nun Strategien auswählen, die diese realisieren. Die einzelnen Algorithmen sollten durch Parameter abänderbar sein, damit unterschiedliche Gewichtungen realisiert werden können.

7.3 Simulation von Fertigungsabläufen unter veränderten Bedingungen

Damit die Ergebnisse der Simulation in der weiteren Disposition berücksichtigt werden können, ist eine benutzerfreundliche Schnittstelle zwischen Simulation und Fertigungssteuerung notwendig, die es ermöglicht, problemlos Simulationsparameter zu ändern und erhaltene Simulationsdaten sofort für weitere Dispositionen zu verwenden.

7.4 Bewertung der Terminierungsergebnisse und Alternativenvergleich

Es sind Maßgrößen festzulegen, mit deren Hilfe eine Gesamtbewertung der durch die Strategie bewirkten Situation, z.B. einer konkreten Maschinenbelegung, erfolgen kann, damit sinnvolle Vergleiche der Alternativen und eine fundierte Entscheidung ermöglicht werden.

7.5 Manuelle Korrekturen unter Anwendung eigenen Erfahrungswissens

Bestimmte Steuerungsstrategien innerhalb der Fertigung sind nicht in einem Algorithmus erfassbar, sondern sind sinnvollerweise der Erfahrung des Fertigungssteuerers zu überlassen. So muß dieser die Möglichkeit haben, nach einer automatischen Einlastung der Aufträge manuell am Fertigungssteuerungssystem Veränderungen vorzunehmen, bzw. auch auf unvorhergesehene Ereignisse, wie z.B. Störungen, flexibel zu reagieren.

7.6 Auslösen individuell gestaltbarer Auswertungen und Analysen

Zur Dispositionsunterstützung sind graphische Auswertungen und Analysen, wie z.B. Maschinenbelegungspläne, Personaleinsatzpläne, Nutzungsgrade der Maschinen oder Störstatistiken ein wertvolles Hilfsmittel. Der Anwender hat die Möglichkeit, sich solche Auswertungen nach individuellem Bedarf selbst zu gestalten.

Verzeichnis der Abbildungen:

Abb. 1: Regelkreis PPS-Fertigungssteuerung	3
Abb. 2: Kriterien für Planungsalgorithmen	10
Abb. 3: Rechnerstruktur	12
Abb. 4: Planungsalgorithmus "Nachtprogramm"	20
Abb. 5: Planungsalgorithmus "Engpaßmaschine"	22
Abb. 6: Animation eines Fertigungsbereichs	33
Abb. 7: Ablaufabhängige Kosten eines Fertigungsbereichs	35

Verwendete Literatur:

Berg, C.C.:

Prioritätsregeln in der Reihenfolgeplanung.

In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, S. 1425-1432.

Cziudaj, M.; Pfennig, V.:

Arbeitsorganisation an NC-Maschinen.

In: FIR-Mitteilungen Nr.44, Aachen 1982.

Dostal, W.: Personal für CIM.

CIM-Management 1/87, S.4-11.

Fix-Sterz, J.; Lay, G.; Schultz-Wild, R.:

Flexible Fertigungssysteme und Fertigungszellen. Stand und Entwicklungstendenzen in der BRD.

In: VDI-Z 128(1986)11, S. 369-379.

Förster, H.-U.; Hirt, K.:

Entwicklung von Anforderungsprofilen flexibel automatisierter Fertigungskonzepte an die Produktionsplanung und -steuerung. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 134 der Stiftung zur Förderung der Forschung für die gewerbliche Wirtschaft.

Aachen 1987.

Hammer, H.:

Hierarchie im Rechnerverbund.

In: FB/IE (1985)5, S. 247-254.

Kettner, P.; Thome, H. G.:

Simulation im Umfeld des Computer Integrated Manufacturing.

In: ASIM - Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik (Hrsg.): Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, Fachtagung, München 1987.

Kilger, W.:

Industriebetriebslehre I.

1.Aufl., Wiesbaden 1986.

Knoop, J.:

Online-Kostenrechnung für die CIM-Planung.

Berlin 1986.

Lampkemeyer, U.; Soliman, M.:

Betriebsmittelbezogene Störungsquellen im prozeßnahen Bereich und ihre Simulation.

In: ZWF 82(1987)9, S. 534-537.

Manske, F.; Wobbe-Ohlenburg, W.; Mickler, O.:

Rechnergestützte Systeme der Fertigungssteuerung in der Kleinserienfertigung.

Bericht KfK-PFT 90 Kernforschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe 1984.

Manske, F.; Wobbe-Ohlenburg, W.:

Fertigungssteuerung im Maschinenbau aus der Sicht von Unternehmensleitung und Werkstattpersonal.

In: VDI-Z 127(1985)12, S. 489-494.

Martin, T.; Ulich, E.; Warnecke, H.-J.:

Angemessene Automation für flexible Fertigung.

In: wt Werkstatttechnik 78(1988)1, S. 17-23.

Mertins, K.:

Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme.

München-Wien 1985.

Pritsker, A. Alan B.:

Introduction to Simulation and SLAM II.

1.Aufl., West Lafayette, Indiana 1986.

REFA:

Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 2: Datenermittlung.

München 1972.

Rühle, W.:

Datenkommunikation.

In: Industrieanzeiger, 107(1980)79/80, S. 30-34.

Scheer, A.-W.:

Wirtschaftsinformatik - Informationssysteme im Industriebetrieb.

2.Aufl., Berlin-Heidelberg-New York-London-Tokyo 1988.

Scheer, A.-W.:

CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb.

3.Aufl., Berlin-Heidelberg-New York-Paris-Tokyo 1988.

Schlüter, K.:

Graphischer Modellaufbau und graphische Prozeßverfolgung als Hilfsmittel der Simulation in der Fertigungstechnik.

In: Biethahn, J.; Schmidt, B. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe.
Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo, 1987.

Schmidt, B.:

Modellaufbau und Validierung.

In: Biethahn, J.; Schmidt, B. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe,
Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo 1987.

Schmidt, R.:

Einsatzmöglichkeiten der Simulation in der Werkstattsteuerung.

In: Halin, J. (Hrsg.): Simulationstechnik, 4. Symposium Simulationstechnik, Proceedings.
Zürich 1987.

Schomburg, E.:

Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau.
Diss., RWTH Aachen 1980.

Smith, R.L.; Platt, L.:

Benefits Of Animation In The Simulation Of A Machining And Assembly Line.

In: Simulation 48(1987)1, S. 28-30.

Spiegel, P.:

Simulation - ein Planungsinstrument flexibler fertigungstechnischer Einrichtungen.

In: CIM - Management 1/87, S. 53-57.

Wiendahl, H.P.:

Belastungsorientierte Fertigungssteuerung.

München-Wien 1987.

Yancey, D. P.:

Database Management Systems Can Provide Way To Manage Information Generated In A Computer Simulation Program.

In: Industrial Engineering 5/87, S.50-53.

Die Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik (IWi) im Institut für empirische Wirtschaftsforschung an der Universität des Saarlandes erscheinen in unregelmäßiger Folge.

- Heft 1: A.-W. Scheer u. Th. Schünemann: TRIMDI - Ein Planspielkonzept zum Einsatz von LP-Entscheidungsmodellen, Oktober 1975; erschienen in: Schriften zur Unternehmensführung, Band 25, Wiesbaden 1978
- Heft 2: A.-W. Scheer u. Th. Schünemann: Computer Output des TRIMDI-Systems, Anhang zu: TRIMDI - Ein Planspielkonzept zum Einsatz von LP-Entscheidungsmodellen, Oktober 1975 (wird nicht mehr verlegt)
- Heft 3: A.-W. Scheer: Produktionsplanung auf der Grundlage einer Datenbank des Fertigungsbereichs, März 1976; erschienen unter gleichem Titel im Verlag R. Oldenbourg, München-Wien 1976 (wird nicht mehr verlegt)
- Heft 4: C. Helber: Einführung neuer Produkte mit GERT, Juni 1976; erschienen in: Der Markt, Zeitschrift der Österreichischen Gesellschaft für Absatzwirtschaft, Heft 63, Wien 1977, S. 62 - 73
- Heft 6: L. Bolmerg: Implementierung des Hoss-Algorithmus in ein Datenbankkonzept zur Produktionssteuerung, Dezember 1976; Kurzfassung erschienen in: Angewandte Informatik, 19. Jg. (1977), Heft 3, S. 316 (wird nicht mehr verlegt)
- Heft 7: A.-W. Scheer: Datenschutzgesetze; Vortrag anlässlich der Generalversammlung 1976 der Buchungsgemeinschaft Saar e. G., Juli 1976; erschienen in: Angewandte Informatik, Heft 11, 1976 (wird nicht mehr verlegt)
- Heft 8: A.-W. Scheer: Flexible Projektsteuerung, Dezember 1976; erschienen in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 47. Jg. (1977)
- Heft 9: A.-W. Scheer u. C. Helber: Kombination von Optimierungs- und Datenermittlungsverfahren beim Investitionsproblem der Hardwareauswahl, Mai 1977; erschienen in: Schriften zur Unternehmensführung, Wiesbaden 1978. Englische Fassung: Combination of an Optimization Model for Hardware Selection with Data Determination Methods, erschienen in: SIMULETTER (Hrsg. SIGSIM der ACM) und PER (Hrsg. SIGMETRICS der ACM) 1977 (wird nicht mehr verlegt)
- Heft 10: A.-W. Scheer: Produktionsplanung mit EDV, Dezember 1977; Teil I erschienen in: Das Wirtschaftsstudium 10/77, Teil II erschienen in: Das Wirtschaftsstudium 11/77, 6. Jg.
- Heft 11: L. Bolmerg, I. Dammasch, C. Helber: A Comparison of the Algorithmus of Zeleny, Isermann and Gal for the Enumeration of the Set of Efficient Solutions for a Linear Vector Maximum Problem, Dezember 1977 (wird nicht mehr verlegt)
- Heft 12: A.-W. Scheer: Wirtschaftsinformatik - Versuch einer Standortbestimmung, Februar 1978; erschienen in: Wirtschaft und Erziehung Nr. 6, 1978

- Heft 13: A.-W. Scheer: Optimal Project Management under a Present Value Objective, April 1978; Vortrag anlässlich d. European Institute for Advanced Studies in Management, Seminar am 27./28.4.78 in Brüssel
- Heft 14: A.-W. Scheer, V. Brandenburg, H. Krcmar: CAPSIM, Computer am Arbeitsplatz-Simulation, Ein Hilfsmittel zur Gestaltung wirtschaftlicher CAP-Systeme, März 1979
(wird nicht mehr verlegt)
- Heft 15: A.-W. Scheer, V. Brandenburg, H. Krcmar: Wirtschaftlichkeitsrechnung und CAP-Systeme, Ergebnisse einer Umfrage, Mai 1979
(wird nicht mehr verlegt)
- Heft 16: A.-W. Scheer, V. Brandenburg, H. Krcmar: Methoden zur Ermittlung der Auswirkungen des CAP auf Arbeitsplatzprofile, Juni 1979; erschienen in: Angewandte Informatik, 21. Jg. (1979), Heft 8
(wird nicht mehr verlegt)
- Heft 17: P. Brendel, H. Demmer, L. Kneip, H. Krcmar, G. Spies: Zusammenfassung der Diskussionsbeiträge zum Anwendergespräch PRODUKTIONSPLANUNG UND -STEUERUNG IM DIALOG, Juli 1979
- Heft 18: A.-W. Scheer: Datenbanksysteme im Marketing, Oktober 1979
- Heft 19: A.-W. Scheer: Rationalisierung durch EDV-Einsatz im Fertigungsbereich - Schwerpunkte und Tendenzen im Maschinenbau, November 1979; Vortrag auf der VDMA/DMI-Informationstagung 'Datenverarbeitung mit Bildschirmen in Klein- und Mittelbetrieben des Maschinenbaues - Erfahrungsberichte' am 28./29. November 1979 in Hannover
- Heft 20: A.-W. Scheer: Datenverwaltung im Fertigungsbereich, Januar 1980; ersch. in: Informatik Spektrum
- Heft 21: A.-W. Scheer: Elektronische Datenverarbeitung und Operations Research im Produktionsbereich, Februar 1980, ersch. in OR-Spektrum
- Heft 22: A.-W. Scheer: Kriterien für integrierte betriebswirtschaftliche Lösungen mit den heutigen Möglichkeiten der EDV, März 1980; Vortrag anlässlich des SIEMENS-Seminars "Datenverarbeitung in der Grundstoff- und Investitionsgüterindustrie" am Eibsee vom 3. - 5.3.1980
(wird nicht mehr verlegt)
- Heft 23: I.E. Dammasch: Effizienz varianzreduzierender Methoden bei der Simulation, August 1980
- Heft 24: T. Brettar u. G. Schmeer: Übersicht über Programme zur Kostenrechnung September 1980, überarbeitete Fassung einer Hausarbeit zum Seminar zur Wirtschaftsinformatik im Sommer-Semester 1980, Leitung: Prof. Dr. A.-W. Scheer
(wird nicht mehr verlegt)
- Heft 25: A.-W. Scheer, 3 Beiträge zu aktuellen Problemen der Produktionsplanung mit EDV, Dezember 1980
- Heft 26: L. Kneip, A.-W. Scheer, N. Wittemann, PROMOS, Ein Produktionsplanungs-Modellgenerator-System zur Bestimmung des Primärbedarfs im Rahmen eines PPS-Systems, Januar 1981
(wird nicht mehr verlegt)

- Heft 27: C.-O. Zacharias, Ein heuristisches Verfahren zur Behandlung des LOST-SALES Falles bei der (s,S,T) - Bestellpolitik, Februar 1981
- Heft 28: R. Brombacher, DEMI, Dezentrales Marketing-Informationssystem Dialogsystem zur Auswahl geeigneter Datenanalyse- und Prognoseverfahren, Juli 1981
- Heft 29: A.-W. Scheer, 3 aktuelle Beiträge zur Datenverwaltung, März 1982
(wird nicht mehr verlegt)
- Heft 30: A.-W. Scheer, Neue Chancen für eine sinnvoll integrierte Produktionsplanung und -steuerung, März 1982, Vortrag anlässlich des Anwenderforums 1981 "Betriebsdatenerfassung und Fertigungssteuerung auf dem Prüfstand der Praxis" am 5.-6. Okt. 81 in Zürich
- Heft 31: A.-W. Scheer, Stand und Trend von Planungs- und Steuerungssystemen für die Produktion in der Bundesrepublik Deutschland, März 1982, Vortrag anlässlich des Kongresses PPS 81 in Böblingen vom 11. -13.11.81
(wird nicht mehr verlegt)
- Heft 32: A.-W. Scheer, Einfluß neuer Informationstechnologien auf Methoden und Konzepte der Unternehmensplanung, März 1982, Vortrag anlässlich des Anwendergespräches "Unternehmensplanung und Steuerung in den 80er Jahren in Hamburg vom 24. - 25. 11. 1981
- Heft 33: A.-W. Scheer, Disposition- und Bestellwesen als Baustein zu integrierten Warenwirtschaftssystemen, März 1982, Vortrag anlässlich des gdi-Seminars "Integrierte Warenwirtschafts-Systeme" in Zürich vom 10. -12. Dezember 1981
- Heft 34: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert, EPSOS - Ein Ansatz zur Entwicklung prüfungsgerechter Software-Systeme, Saarbrücken, im Mai 1982
- Heft 35: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert, EPSOS-D, Konzept einer computergestützten Prüfungsumgebung, Saarbrücken, im Juli 1982
- Heft 36: A.-W. Scheer, Rationalisierungserfolge durch Einsatz der EDV - Ziel und Wirklichkeit, im August 1982, Vortrag anlässlich der 3. Saarbrücker Arbeitstagung "Rationalisierung" in Saarbrücken vom 4. - 6. 10. 1982
- Heft 37: A.-W. Scheer, DV-gestützte Planungs- und Informationssysteme im Produktionsbereich, September 1982
- Heft 38: A.-W. Scheer, Interaktive Methodenbanken: Benutzerfreundliche Datenanalyse in der Marktforschung, Mai 1983
- Heft 39: A.-W. Scheer, Personal Computing - EDV-Einsatz in Fachabteilungen, Juni 1983
- Heft 40: A.-W. Scheer, Strategische Entscheidungen bei der Gestaltung EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, August 1983, Vortrag anlässlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. -28.9.83

- Heft 41: H. Krcmar: Schnittstellenprobleme EDV-gestützter Systeme des Rechnungswesens, Vortrag anlässlich der 4. Saarbrücker Arbeitstagung "Rechnungswesen und EDV" in Saarbrücken vom 26. -28.9.83, August 1983
- Heft 42: A.-W. Scheer (Hrsg.): Factory of the Future, Vorträge im Fachausschuß "Informatik in Produktion und Materialwirtschaft" der Gesellschaft für Informatik e.V., Dezember 1983
- Heft 43: A.-W. Scheer: Einführungsstrategie für ein betriebliches Personal-Computer-Konzept, März 1984
- Heft 44: A.-W. Scheer: Schnittstellen zwischen betriebswirtschaftlicher und technischer Datenverarbeitung in der Fabrik der Zukunft, Juli 1984
- Heft 45: J. Ahlers, W. Emmerich, H. Krcmar, A. Pocsay, A.-W. Scheer, D. Siebert-Biehl, EPSOS-D Ein Werkzeug zur Messung der Qualität von Software-Systemen, August 1984
- Heft 46: H. Krcmar, Die Gestaltung von Computer am-Arbeitsplatz-Systemen - ablauforientierte Planung durch Simulation, August 1984
- Heft 47: A.-W. Scheer, Integration des Personal Computers in EDV-Systeme zur Kostenrechnung, August 1984
- Heft 48: A.-W. Scheer, Kriterien für die Aufgabenverteilung in Mikro-Mainframe Anwendungssystemen, April 1985
- Heft 49: A.-W. Scheer, Wirtschaftlichkeitsfaktoren EDV-orientierter betriebswirtschaftlicher Problemlösungen, Juni 1985
- Heft 50: A.-W. Scheer, Konstruktionsbegleitende Kalkulation in CIM-Systemen, August 1985
- Heft 51: A.-W. Scheer, - Strategie zur Entwicklung eines CIM Konzeptes -Organisatorische Entscheidungen bei der CIM Implementierung, Mai 1986
- Heft 52: P. Loos, T. Ruffing, Verteilte Produktionsplanung und -steuerung unter Einsatz von Mikrocomputern, Juni 1986
- Heft 53: A.-W. Scheer, Neue Architektur für EDV-Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung, Juli 1986
- Heft 54: U. Leismann, E. Sick, Konzeption eines Bildschirmtext-gestützten Warenwirtschaftssystems zur Kommunikation in verzweigten Handelsunternehmungen, August 1986
- Heft 55: D. Steinmann, Expertensysteme (ES) in der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) unter CIM-Aspekten, November 1987, Vortrag anlässlich der Fachtagung "Expertensysteme in der Produktion" am 16. und 17.11.1987 in München
- Heft 56: A.-W. Scheer: Enterprise wide Data Model (EDM) as a Basis for Integrated Information Systems, Juli 1988
- Heft 57: A.-W. Scheer: Present Trends of the CIM Implementation (A qualitative Survey), Juli 1988

- Heft 58: A.-W. Scheer: CIM in den USA - Stand der Forschung, Entwicklung und Anwendung, November 1988
- Heft 59: R. Herterich, M. Zell: interaktive Fertigungssteuerung teilautonomer Bereiche, November 1988