

Elke Rauh

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

Elke Rauh

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

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

FAPS



Meisenbach Verlag Bamberg

Methodische Einbindung der Simulation in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe

- Inhaltsverzeichnis -

1	Einleitung	1
2	Simulationsbasierte Unterstützung von Planungsaufgaben	4
2.1	Analyse von Einsatzmöglichkeiten der Systemsimulation	5
2.1.1	Entwicklung der Simulationsmethoden	5
2.1.2	Klassische Anwendungsgebiete	6
2.1.3	Defizite	8
2.2	Bewertung von Ansätzen zur Unterstützung des Simulationseinsatzes ..	12
3	Neue Herausforderungen für Planungsmethoden	14
3.1	Aufgaben der Unternehmens- und Anlagenplanung	15
3.1.1	Analyse des betrieblichen Umfeldes der Produktionsplanung ...	15
3.1.2	Differenzierung von Planungsdimensionen	16
3.2	Analyse von Methoden zur Unterstützung der Planungsaufgaben	19
3.2.1	Bewertung des aktuellen Vorgehens bei der Problemlösung	19
3.2.2	Anforderungen an die Unterstützung der Planungsaufgaben	21
3.3	Systematik zur umfassenden Unterstützung der Planung	24
4	Integration zusätzlicher Funktionen in Simulationssysteme	26
4.1	Konzeption der erweiterten Funktionalität	26
4.2	Berücksichtigung des Personals in der Systemsimulation	27
4.2.1	Anforderungen an die Modellierung	28
4.2.2	Analyse bestehender Ansätze	30
4.2.3	Verhaltensmodelle des Menschen	32
4.2.4	Stufenkonzept zur Modellierung personalrelevanter Faktoren ...	36
4.2.5	Aufbau des Bausteinkastens pers-fakt	37
4.3	Integration von funktionalen und betriebswirtschaftlichen Entscheidungsgrundlagen durch die Simulation	41
4.3.1	Motivation für simulationsbasierte Kostenbetrachtungen	42
4.3.2	Anforderungen an Methoden zur betriebswirtschaftlichen Bewertung von Produktionssystemen	43

4.3.3 Analyse von alternativen Kostenrechnungssystemen	45
4.3.4 Erörterung bestehender Ansätze für simulationsbasierte Kostenbetrachtungen	48
4.3.5 Konzeption und Realisierung des Bausteinkastens cost	52
4.3.6 Konzept des Moduls cost-analysis zur systemunabhängigen Kalkulation	57
5 Entwicklung eines modularen Systems zur Planungsunterstützung auf Basis hierarchischer Simulationsmodelle	60
5.1 Analyse von Anforderungen an die Funktionalität	60
5.2 Aufbau der Systemarchitektur	63
5.2.1 Definition der Systemmodule	63
5.2.2 Konzeption des Systemaufbaus	65
5.2.3 Modularisierung von Simulationswerkzeugen	66
5.3 Diskussion von Hierarchisierungsansätzen für Simulationsmodelle	68
5.3.1 Analyse von Hierarchisierungssystematiken in der Simulation ...	68
5.3.2 Hierarchisierungsansatz für die Konzeption des Gesamtmodells .	71
5.3.3 Konzeption hierarchischer Systemmodelle für die Planungsebenen	74
5.3.4 Anforderungen für die Umsetzung des Hierarchiekonzepts	77
6 Entwurf eines Informationssystems zur Bereitstellung von Planungsdaten	79
6.1 Konzept der Plandatenbasis	79
6.1.1 Anforderungen an das Datenmodell	79
6.1.2 Analyse von Ansätzen zum Aufbau von Informationsmodellen ...	80
6.1.3 Entwurf der Plandatenbasis	84
6.2 Struktur des Datenmodells	85
6.2.1 Erörterung von Modellierungsparadigmen	85
6.2.2 Aufbau des Informationsmodells	86
6.2.3 Strukturierung der Daten	88
6.2.4 Entwurf des Relationenmodells der Plandatenbasis	91
6.3 Lösungsansätze zur Erfüllung spezieller Anforderungen	92
6.3.1 Ansatz zur Lösung der Zeitproblematik	92
6.3.2 Szenariomanagement für Simulationsanwendungen	95
6.3.3 Betriebszeitmodelle für die Planungsebenen	96
6.3.4 Realisierung des Datenaustauschs und des Benutzermanagements	99

7 Konzeption und Implementierung von Modulen des Gesamtsystems . .	105
7.1 Anbindung der Simulation an die Plandatenbasis	105
7.1.1 Modul EXPERT zur effizienten Nutzung des Gesamtsystems	105
7.1.2 Koordinierung des Datenaustauschs im Gesamtsystem	108
7.2 Bereitstellung von Simulationsmodellen durch das Modul MODELL . . .	109
7.2.1 Modellbank zur Verwaltung von Simulationsmodellen	109
7.2.2 Speicherung von Modellen in der Modellbank	115
7.2.3 Funktionalität zur automatisierten Modellgenerierung	116
7.3 Entwicklung von STORE zur Experiment- und Ergebnisverwaltung	117
7.4 Komponente zur anwendungsbegleitenden Validierung	119
7.4.1 Abgrenzung des Begriffes Validation	120
7.4.2 Systematik des Validierungsprozesses	121
7.4.3 Auswahl und Klassifizierung von Validierungsverfahren	123
7.4.4 Konzeption eines Validationssystems	126
7.4.5 Funktionalität und Implementierung von VALDAT	130
8 Realisierung von Anwendungen zur Unterstützung ausgewählter Planungsaufgaben	135
8.1 Konzept der prototypischen Realisierung	135
8.1.1 Aufgaben der Belegungsplanung	135
8.1.2 Entwurf des Systemkonzepts	138
8.1.3 Konzeption von Modellen für die Anwendungen	140
8.2 Implementierung der Systemmodule	145
8.2.1 Auswahl von Werkzeugen für die prototypische Realisierung	145
8.2.2 Funktionalität der Anwendungsmodule	147
8.3 Erfahrungen aus dem Einsatz des Prototypen	151
8.3.1 Nutzenpotentiale durch das Gesamtsystem	152
8.3.2 Lösungsansätze für spezielle Teilprobleme	152
9 Zusammenfassung und Ausblick	156
Literatur	159

1 Einleitung

Die Unternehmen sind heute mit einem Markt konfrontiert, der durch eine hohe Wettbewerbsintensität gekennzeichnet ist. Der Wandel vom nationalen Verkäufermarkt zum internationalen Käufermarkt erhöht den Druck auf die Unternehmen, ihre Innovationsfähigkeit zu verbessern [15].

Die Herausforderung für die Unternehmen resultiert dabei aus der Kernaufgabe, in kurzen Zyklen innovative Produkte zu entwickeln und diese zu einem wettbewerbsfähigen Preis bei hoher Qualität und großer Termintreue auf dem Markt anzubieten. Um sich dieser Herausforderung zu stellen, sind Veränderungen bei Mensch und Organisation sowie im Umfeld der Unternehmen, aber insbesondere auch bei der Entwicklung von Produkten und Produktionsprozessen, notwendig [100].

Die Gestaltung von neuen Produkten ist mit der Entwicklung von innovativen Technologien, Prozessen und Strukturen eng verbunden. Produkt- und Prozeßentwicklung werden dabei zunehmend parallelisiert. Dieser Zusammenhang resultiert zum einen aus dem Design der Produkte und zum anderen aus der Notwendigkeit, schneller von der Idee zur Innovation zu gelangen. Damit wächst aber gleichzeitig die Komplexität der Produkt- und Prozeßentwicklung. Um dabei dennoch wettbewerbsfähig zu bleiben, kommt es entscheidend auf deren Beherrschbarkeit an [71].

Zunächst ist dazu eine systematische Unterstützung der Produktentwicklung und der Planung von Produktionsprozessen und -strukturen erforderlich. Die Simulationstechnik ist dabei von großer Bedeutung, da durch ihre Anwendung eine effiziente Entscheidungsfindung erreicht werden kann. Dabei unterstützt auf der einen Seite der Einsatz von verschiedenen Simulationstechnologien die Produktentwicklung. Beispielsweise ist es hierdurch möglich, die mechanische Beanspruchung von Bauteilen vorab zu analysieren. Auch können dynamische Montagestudien durchgeführt werden. Auf der anderen Seite vermittelt die Simulation im Rahmen der Planung von Produktionsprozessen und -strukturen ein besseres Verständnis der Abläufe und des Prozeßverhaltens. Auch unterstützt sie dabei die Ermittlung von potentiellen Engpässen und von Gestaltungsalternativen [7]. Über die Unterstützung der einzelnen Arbeitsschritte bei der Entwicklung von Produkten und der Planung von Produktionsprozessen und -strukturen hinaus bietet der Simulationseinsatz weitere Nutzenpotentiale zur Beherrschung der Komplexität (Bild 1). So gelingt es, mit der Simulation objektive Entscheidungen herbeizuführen. Darüber hinaus können im Rahmen der Datenermittlung und der Modellierung die bestehenden Abhängigkeiten bewußt gemacht werden.

Durch konsequente Nutzung dieser Leistungseigenschaften kann die Simulation einen wesentlichen Beitrag zur Verzahnung der Arbeitsschritte und Aufgaben im Rahmen der Entwicklungs- bzw. Planungsprozesse aber auch der Prozesse untereinander leisten. Damit wird das Finden abgestimmter Lösungen für Produkte, Produktionsprozesse und -strukturen unterstützt.

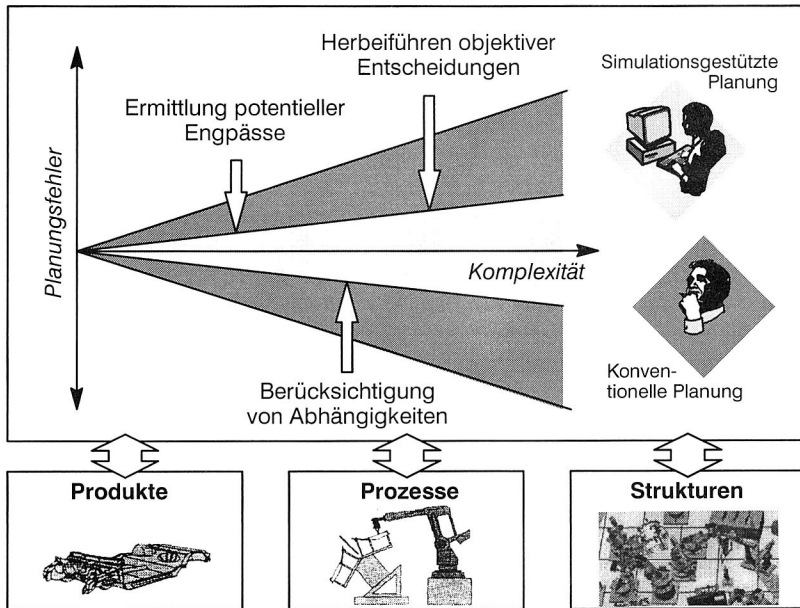


Bild 1: Potentiale zur Beherrschung der Komplexität durch konsequente Nutzung der Simulationstechnik

Voraussetzung hierfür ist die Integration der Simulation in die Planungs- und Entwicklungsprozesse. Für die Produktentwicklung gibt es diesbezüglich bereits Lösungsansätze. Durch den integrierten Einsatz verschiedener Simulationsmethoden auf der Basis einer datentechnischen Kopplung können die Produkte bereits vor Beginn der Produktion in einer virtuellen Umgebung kostengünstig durch Einsparung von Folgekosten optimiert werden. Dabei zeichnet sich bereits eine Verzahnung von Produkt- und Prozeßentwicklung ab.

Entsprechende Integrationslösungen im Bereich der Produktionsprozesse und -strukturen gibt es demgegenüber noch nicht. Dennoch wird die Simulation als zukünftig bedeutendes Planungswerkzeug für die Unternehmen angesehen, um sowohl einzelne Systeme lebenszeitbegleitend zu optimieren als auch neue Produktionsstrukturen und -abläufe zu konzipieren und zu realisieren [98]. Dabei sind den Fabrik- und Fertigungsplanern adäquate Lösungsansätze zur Verfügung zu stellen, damit auch hier die wachsende Komplexität der Aufgaben beherrscht werden kann.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen deshalb die genannten Potentiale der Simulation systematisch genutzt werden, um für die Planer von Produktionsprozessen und -strukturen eine umfassende Entscheidungsunterstützung zu realisieren. Hierfür ist die Simulation systematisch in die Planungs- und Entscheidungsabläufe zu integrieren

und mit geeigneten organisatorischen, informationstechnischen und technologischen Methoden, Werkzeugen und Verfahren zu verbinden.

Für die Entwicklung eines entsprechenden Lösungsansatzes sind mehrere Schritte notwendig. Die Grundlage bildet dabei eine umfassende Analyse der Funktionalität von Simulationswerkzeugen und der Defizite beim bisherigen Einsatz der Simulationstechnik in Unternehmen. Darüber hinaus werden die Anforderungen an die Simulation als Planungsmethode, die aus den aktuellen und zukünftigen Planungsaufgaben erwachsen, ermittelt.

Auf dieser Basis konzentriert sich die Arbeit im nächsten Schritt auf die umfassende simulationsbasierte Unterstützung beim Lösen konkreter Problemstellungen mit Hilfe der Simulation. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der flexiblen Berücksichtigung aller für die Entscheidungsfindung wesentlichen Modellierungs- und Bewertungsaspekte, um eine optimale Anpassung an die jeweilige Problemstellung und den Planungsfortschritt zu erreichen. Bei der bisher technikorientierten Simulation von Systemen soll deshalb insbesondere der Einsatz des Personals analysiert und eine betriebswirtschaftliche Bewertung durchgeführt werden können.

Trotz der Berücksichtigung aller relevanten Modellierungs- und Bewertungskriterien birgt die Bearbeitung einzelner Problemstellungen die Gefahr der Suboptimierung. Im nächsten Schritt wird deshalb ein Konzept entwickelt und implementiert, das neben der fortlaufenden simulationsbasierten Unterstützung einzelner Problemstellungen auch den Abgleich mit anderen Entscheidungen auf verschiedenen Planungsebenen ermöglicht und damit die Entwicklung ganzheitlich optimaler Lösungen bei der Planung von Produktionsprozessen und -strukturen unterstützt.

2 Simulationsbasierte Unterstützung von Planungsaufgaben

Für alle Unternehmen ist die optimale Nutzung und die vorausschauende, abgesicherte Planung der Produktion ein wichtiger Wettbewerbsfaktor, da hiervon sowohl die Produktionskosten als auch die Produktionsergebnisse maßgeblich beeinflusst werden [118]. Grundsätzlich sind im Rahmen der unternehmensinternen Planungs- und Entscheidungsprozesse vielfältige Aufgabenstellungen, in die verschiedenste Funktionsbereiche eingebunden sind, zu bearbeiten. Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung der in diesem Aufgabenfeld tätigen Personen stehen verschiedene rechnergestützte Hilfsmittel zur Verfügung, die auf erprobten Methoden basieren. Besondere Bedeutung hat dabei die Simulationstechnik [65, 76].

Im klassischen Sinne umfaßt die Simulation in der Produktionstechnik drei Bereiche: die Kinematiksimulation, die Steuerungssimulation und die Systemsimulation. Für jeden Bereich sind bestimmte Anwendungen charakteristisch, bei denen bestimmte Simulationsmethoden und -systeme zum Einsatz kommen (Bild 2).

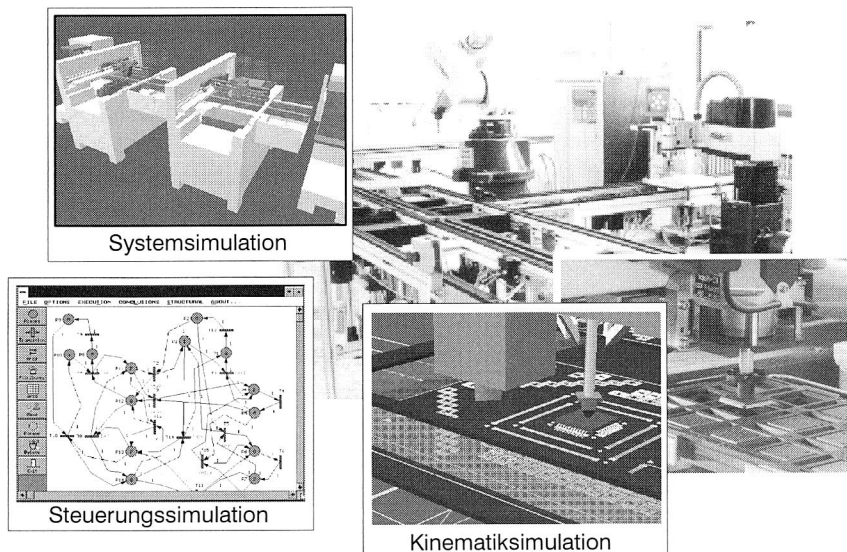


Bild 2: Einsatzgebiete für die Simulation in der Produktionsplanung

Die Systemsimulation hat bereits ein sehr breites Anwendungsgebiet [57]. Bei genauer Analyse des Einsatzes der Systemsimulation ergeben sich allerdings Defizite bezüglich der Effizienz der simulationsbasierten Planung.

2.1 Analyse von Einsatzmöglichkeiten der Systemsimulation

Im Laufe der vergangenen Jahrzehnte hat sich die Simulationstechnik von einem Teilgebiet des Operations Research zu einem umfangreichen Forschungs- und Anwendungsfeld entwickelt. Parallel zur Entwicklung von Simulationsmethoden und -werkzeugen werden Anwendungsfelder für die Systemsimulation erschlossen.

2.1.1 Entwicklung der Simulationsmethoden

Die Simulation wird häufig mit der Optimierung verwechselt. Beide Verfahren bauen auf Modellen des zu betrachtenden Systems auf, die nach [42] klassifiziert werden können. Auf diese Modelle werden Verfahren angewendet, die Lösungen für bestimmte Problemstellungen und Ziele liefern sollen. Der grundlegende Unterschied besteht in der größeren Leistungsfähigkeit der verfahrensspezifischen Modelle. Darüber hinaus werden in der Praxis Simulationsansätze zur Unterstützung von Planungsaufgaben besser akzeptiert als Optimierungsverfahren [114].

Der heutige Begriff "Simulation" geht auf die Monte-Carlo-Methode zurück, die Ende der vierziger Jahre entwickelt wurde. Im Laufe der Zeit entstand eine Vielfalt an Simulationsmethoden für unterschiedlichste Aufgaben. Für die Modellierung von Produktionssystemen ist die ereignisorientierte Simulation die wichtigste Simulationsmethode. Sie ist geprägt durch die sogenannte "Weltansicht": Änderungen in der Realität werden als Ereignisse aufgefaßt und modelliert (Bild 3).

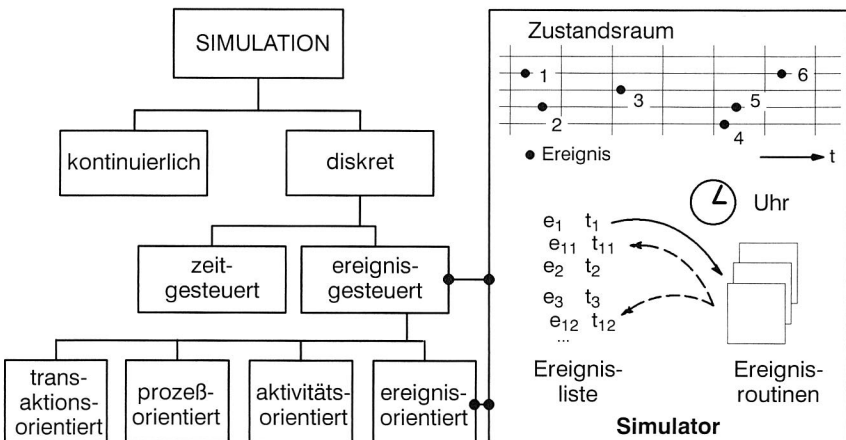


Bild 3: Einordnung der ereignisorientierten Simulation in die konventionellen Simulationsmethoden

Die Modelldefinition erfolgt in Abhängigkeit von der Problemstellung. Dabei wird das zu betrachtende System unter systemtechnischen Gesichtspunkten definiert. Es können im wesentlichen drei Beschreibungsebenen unterschieden werden. Die Zahl der zu berücksichtigenden Beschreibungsebenen bestimmt dabei den Komplexitätsgrad des Modells bzw. der Simulation (Bild 4).

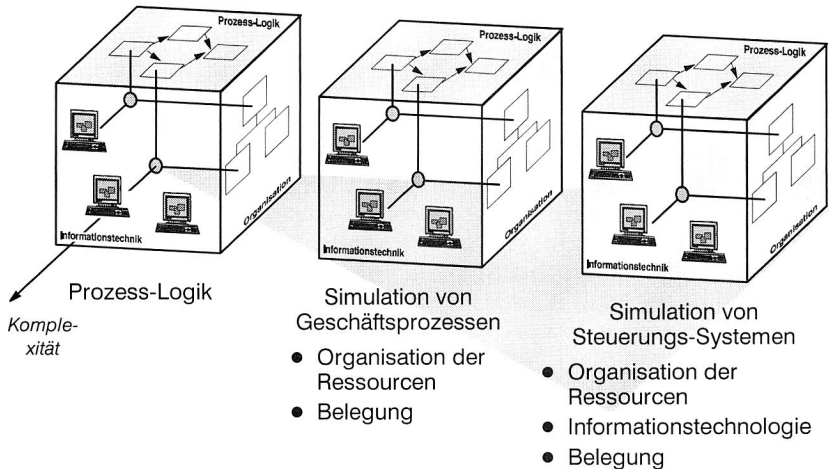


Bild 4: Komplexitätsgrade der Simulation (nach [40])

Ausgehend von Simulationssystemen, die auf einer höheren universellen Programmiersprache basierten, wurden in den vergangenen Jahren komfortable benutzerfreundliche Simulationsumgebungen entwickelt. Heute stehen kommerzielle Simulationspakete zur Unterstützung der Planung von Produktionssystemen zur Verfügung. Diese graphischen Simulationssysteme bieten bei erweiterten Anwendungsmöglichkeiten eine benutzerfreundliche und komfortable Unterstützung bei der Modellierung. Es sind nahezu alle Geschäftsprozesse und unternehmenstypischen Prozeßketten in beliebigen Abstraktionsgraden mit Hilfe von vorgegebenen oder selbstdefinierten Bausteinen abbildbar. Damit sind die wesentlichen Voraussetzungen erfüllt, um die Simulation direkt in den Fachbereichen einzusetzen.

Den einzigen umfassenden Überblick über die große Anzahl verfügbarer Simulationssoftware im Fertigungssektor gibt die Marktübersicht von [89].

2.1.2 Klassische Anwendungsgebiete

Die Systemsimulation unterstützt einen systematischen Erkenntnisgewinnungsprozeß, der für die Anwendung in den aktuell und zukünftig vorherrschenden komplexen Planungs- und Entscheidungsprozessen prädestiniert ist. Die Leistungsmerkmale der

Simulation sind ihre Vorgehensweise, ihre Methodik und ihre Einsatzmöglichkeiten. Sie wird dann bevorzugt angewendet, wenn entweder der Aufwand für den Einsatz alternativer mathematischer, analytisch exakter Berechnungs- und Planungsverfahren zu hoch ist, oder Untersuchungen am realen System zu aufwendig bzw. prinzipiell nicht möglich sind.

Der Simulation liegen Modelle zugrunde, bei denen es nicht so sehr auf die detailgetreue Abbildung der Realität im Computer ankommt, sondern darauf, daß die Problemstellung in adäquater Weise wiedergegeben wird. Dabei bietet die Simulation eine Methodik, die es ermöglicht, verschiedene Szenarien zu betrachten und damit komplexe Zusammenhänge zu strukturieren. Das schrittweise Vorgehen bei der Simulation ermöglicht eine systematische, zielorientierte Problemformulierung. Darüber hinaus werden die Konzentration auf das Wesentliche und eine geeignete und strukturierte Informationsgewinnung unterstützt. Ein wesentlicher, nicht zu unterschätzender Aspekt ist der Informationsabgleich, der parallel zur Informationsgewinnung erfolgt.

Der Nutzen, der aus dem Einsatz der Simulationstechnik zur Unterstützung der Produktionsplanung gezogen werden kann, ist von den Anwendern allgemein anerkannt. Er resultiert aus der generellen Verbesserung des Systemverständnisses, aus dem Sicherheitsgewinn, der Erhöhung der Flexibilität sowie aus der Kostenersparnis [17].

Der konventionelle Einsatz der Systemsimulation konzentriert sich auf den anlagen- und maschinennahen Bereich. Die klassischen Untersuchungsziele der Systemsimulation sind die Analyse des dynamischen Prozeßverhaltens, der Vergleich von alternativen Szenarien und die Ermittlung des Leistungsverhaltens (Bild 5).

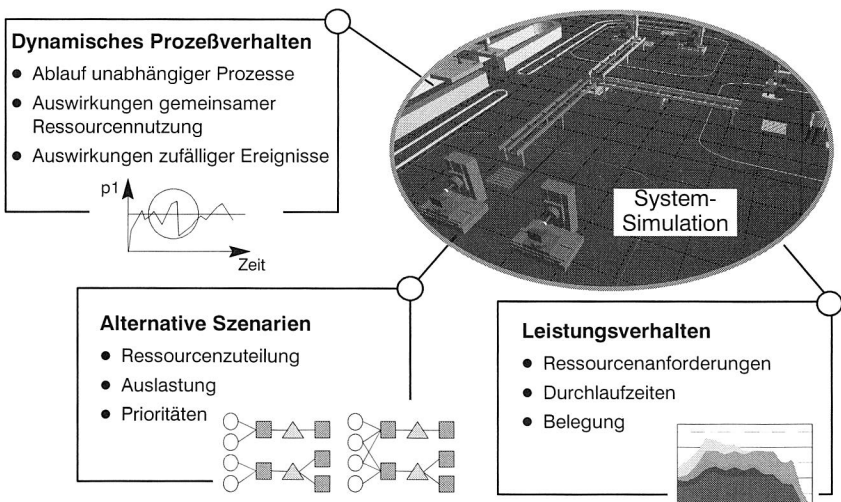


Bild 5: Konventionelle Ziele der Systemsimulation

2.1.3 Defizite

Die Systemsimulation hat in der Praxis ein breites Anwendungsgebiet. Dies läßt sich anhand einer Vielzahl von publizierten Einsatzbeispielen veranschaulichen [126, 64]. In Zusammenarbeit mit der Industrie wurde allerdings immer wieder festgestellt, daß die Simulation noch kein allgemein eingeführtes Werkzeug ist. Anhand dieser Erfahrungen können aber nur Hypothesen bezüglich der Ursachen aufgestellt werden. Ziel einer breit angelegten Simulationsumfrage ist es deshalb, fundierte Aussagen über den aktuellen Stand der Simulationstechnik zu erhalten, um damit den zukünftigen Handlungsbedarf zu manifestieren [30].

Die Umfrage wurde vom Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der TU München initiiert und durchgeführt. Sie fand in der Industrie großes Interesse. Aus den Ergebnissen der Studie, die in [102] veröffentlicht sind, kann der aktuelle Stand des Einsatzes der Simulationstechnik ermittelt werden (Bild 6).

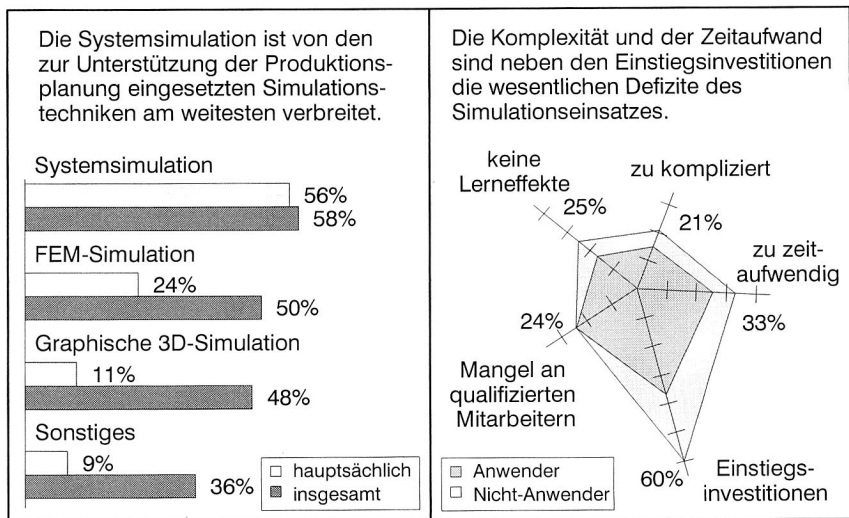


Bild 6: Ergebnisse der Befragung von Planungsabteilungen zum Einsatz der Simulationstechnik

Insgesamt ist festzustellen, daß in vielen Unternehmen noch Akzeptanzprobleme bezüglich des Simulationseinsatzes bestehen. Die Ursache ist im wesentlichen in dem üblichen Vorgehen zu suchen, den Aufwand und Nutzen des Simulationseinsatzes zu quantifizieren. Dieser Vergleich fällt oft zu Ungunsten der Simulation aus, da einige Nutzenaspekte nicht berücksichtigt werden. Es handelt sich um Leistungen, die nicht quantifizierbar und somit nur schwer der Leistung der Simulation zuzuordnen sind.

Allerdings haben sie einen wesentlichen Anteil an der Sicherung der Planungsqualität und -genauigkeit.

Beispielsweise wird durch die Simulation ein Datenabgleich zwischen den beteiligten Bereichen erreicht. Den weiteren Entscheidungen dieser Bereiche kann damit eine genauere Datenbasis zugrunde gelegt werden. Gleiches gilt für den von der Simulation geleisteten Beitrag zur Verbesserung der Abläufe durch systematisches Vorgehen und interdisziplinäre Zusammenarbeit. Insgesamt macht daher eine ausschließlich wirtschaftliche Begründung des Simulationseinsatzes wenig Sinn. Stattdessen sollte der Simulationseinsatz eine strategische Entscheidung des Unternehmens darstellen.

Weiterhin wird die Systemsimulation bisher überwiegend für die Unterstützung der Entscheidungsfindung bei speziellen Problemstellungen eingesetzt. Dies ist überwiegend während der Konzeptions- und Definitionsphase im Rahmen der Projektierung von Produktionssystemen der Fall. Hierfür können wesentliche Erfolgsfaktoren des Simulationseinsatzes ermittelt werden (Bild 7).

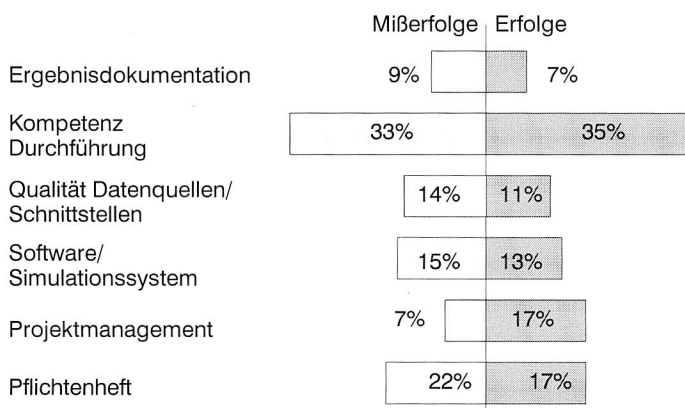


Bild 7: Strukturierung der wichtigsten Erfolgsfaktoren beim Einsatz der Systemsimulation

Die Ergebnisse der Studie bestätigen die Thesen zu den Defiziten der Simulationstechnik. Diese lassen sich bezüglich Anwenderunterstützung, Betrachtungsaspekte bei Modellierung und Bewertung sowie Integration der Simulation strukturieren.

Anwenderunterstützung

Zur Simulation eines Systems sind mehrere Arbeitsschritte durchzuführen [127]. Diese unterscheiden sich bezüglich des Umfangs und der Komplexität der zu bewältigenden Aufgaben. Der jeweils benötigte Zeitaufwand ist dabei auch in recht großem Maße von der durchführenden Person und der Unterstützung abhängig. Insgesamt besteht in

allen Schritten noch großes Potential, die Effizienz und Effektivität der Simulationsanwendung zu steigern (Bild 8).

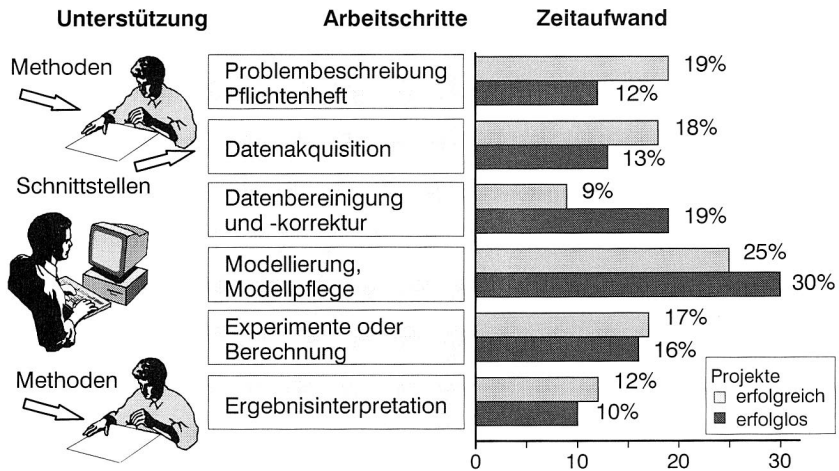


Bild 8: Analyse der Arbeitsschritte bei der Simulation bezüglich Unterstützung und Zeitaufwand

Die heute verwendeten Simulationssysteme führen nicht nur die Simulationsexperimente durch, sondern unterstützen auch die Modellierung durch Bereitstellung von Modellbausteinen, die Bewertung durch Animation und Auswertefunktionen. Darüber hinaus leisten sie einen Beitrag bei der Optimierung durch die Möglichkeit, Alternativen durchzuspielen. Die bezüglich der Anwenderunterstützung vorhandenen Defizite sind nicht allein in der mangelhaften Nutzung spezieller Methoden, z. B. zur Datenaufbereitung, Experimentplanung oder Optimierung, begründet. Insbesondere wird bisher auch die Unterstützung der Validierung als zwar zwingend notwendige, aber unproduktive Aufgabe kaum berücksichtigt.

Betrachtungsaspekte bei der Modellierung und Bewertung

Die Modellierung und Bewertung eines Systems erfolgt mit bisherigen Simulationssystemen fast ausschließlich anhand technologisch-, mengen- und zeitbehafteter Kriterien [54] (Bild 9). Dem selbst auferlegten Anspruch 'universell einsetzbar' werden die Systeme aber damit bezüglich der bei der Modellierung zu berücksichtigenden Aspekte und der zur Verfügung stehenden Bewertungsalternativen nur teilweise gerecht. Vor allem bestehen diesbezüglich Defizite bei der Berücksichtigung des Mitarbeiters in der Systemsimulation und der Bereitstellung einer Möglichkeit, Kosten als Bewertungskriterium zur Verfügung zu stellen, um damit mikroökonomische Entscheidungen fundiert zu unterstützen.

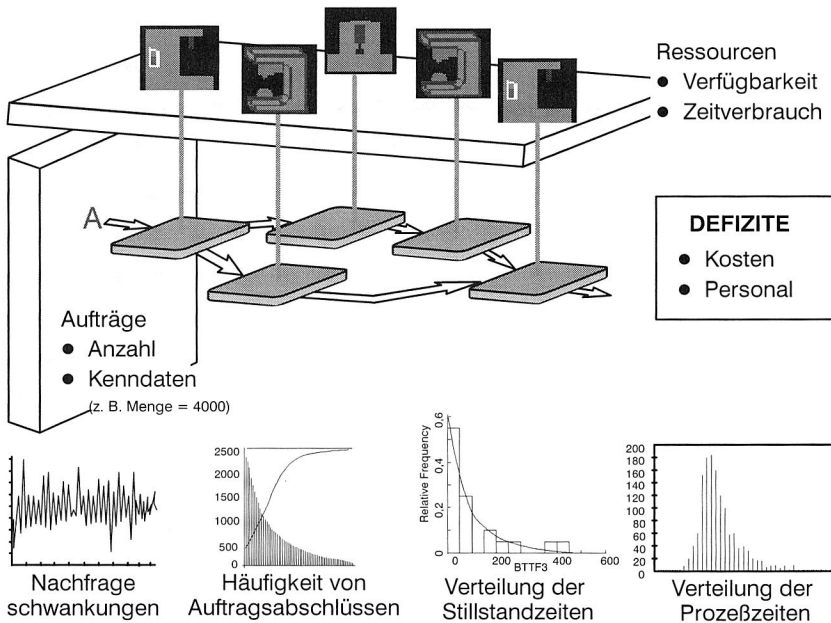


Bild 9: Konventionelle Betrachtungs- und Bewertungsaspekte bei der Systemsimulation

Integration der Simulation

Grundlage aller Planungs- und Entscheidungsprozesse sind Informationen anhand derer die Lösungsfindung vollzogen wird. Bei der Simulation dienen sie auch der Definition eines dynamischen Modells der Realität. Der Ursprung der Informationen liegt meist in unterschiedlichen Abteilungen.

Ein Großteil dieser Daten ist bereits in vielen Unternehmen in verschiedenen DV-Systemen vorhanden. Daneben haben sich in den vergangenen Jahren auch in kleineren Unternehmen Planungshilfsmittel, wie z. B. CAD- und PPS-Systeme durchgesetzt, die auf eigenen Datenbanken basieren. Darin sind bereits Informationen über Zustände sowie Strukturen und Abläufe verteilt abgelegt. Diese Informationsquellen werden aber noch nicht konsequent genutzt [58].

Selbst Simulationssysteme, die über geeignete Schnittstellen verfügen, sind nicht in die DV-Landschaft integriert. Daraus resultiert ein erheblicher Aufwand bei der Datenermittlung und -aufbereitung für die Modellierung, der mit einigen Risiken bezüglich der Datenqualität verbunden ist. Es ist auch nicht möglich, die Ergebnisse konsequent zu nutzen.

2.2 Bewertung von Ansätzen zur Unterstützung des Simulationseinsatzes

Als ein großes Defizit beim Einsatz der Simulation wird immer noch der damit verbundene hohe zusätzliche Zeitaufwand und die Anforderungen an die Qualifikation der Anwender gesehen [102]. Dabei ist die Unterstützung der Anwender bei der Modellierung und Durchführung von Simulationsexperimenten für die effiziente Anwendung der Simulation von großer Bedeutung [63].

Um den Aufwand für die Durchführung einer Simulationsstudie zu reduzieren, wurden bereits verschiedene Konzepte entwickelt. Diese konzentrieren sich im wesentlichen auf einzelne Arbeitsschritte, die den Umgang mit dem verwendeten Simulationssystem direkt betreffen. Beispielsweise sollen diese Konzepte den Planer in die Lage versetzen, ein Modell der betrachteten Anlage schnell zu erstellen oder mit Hilfe einer simulationsbasierten Unterstützung wirkungsvolle Verbesserungen der Anlagenkonfiguration zu ermitteln [122, 129, 32]. Eine umfassende Unterstützung bei der Durchführung einer Simulationsstudie wird dadurch allerdings nicht erreicht.

Deshalb wurde eine integrierte Modellierungs- und Optimierungsumgebung für die Simulation geschaffen. Sie wurde speziell für den Anwendungsbereich der flexibel automatisierten Montageanlagen konzipiert (Bild 10).

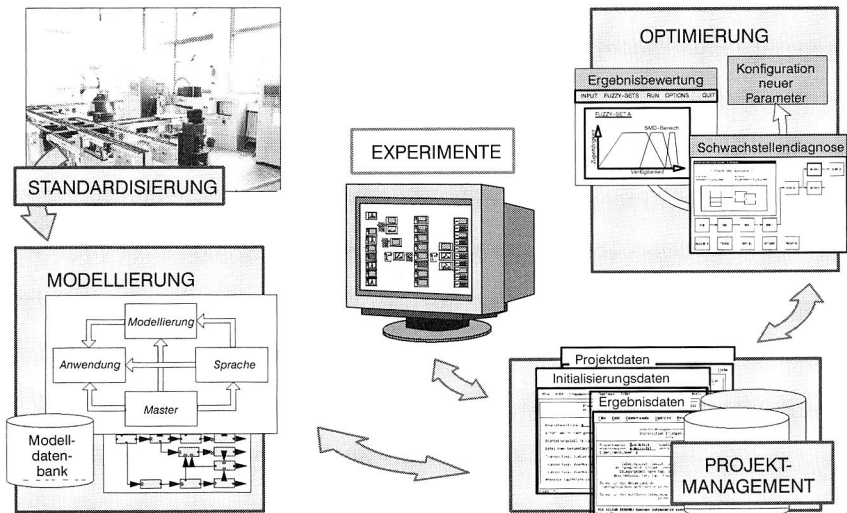


Bild 10: Gesamtkonzept und Teilmodule der Arbeitsumgebung SIMULATION

Bei dem Gesamtsystem *SIMULATION* handelt es sich um eine durchgängige, modulare Systemlösung, die auch wissensbasierte Methoden nutzt. Das Gesamtsy-

stem umfaßt drei Teilmodule: ein Modellierungssystem zur automatisierten Generierung von Modellen, ein System zur wissensbasierten Optimierung von Simulationsmodellen sowie ein System für das Management von Simulationsdaten zur Unterstützung der Projektverwaltung, Initialisierung von Simulationsmodellen und Speicherung der Experimentdaten [2, 3]. Die Module sind datentechnisch miteinander verbunden. Auf diese Weise soll die notwendige Flexibilität und Unabhängigkeit gewährleistet werden, die zur Anpassung an konkrete Aufgabenstellungen während des Lebenszyklus einer Montageanlage notwendig ist [29].

Die Funktionalität des Systems wurde an einem Projekt verifiziert [133]. Dabei konnte das Gesamtsystem mit seinen Teilkomponenten hinsichtlich ihrer Anwendungsrelevanz bewertet und Ansatzpunkte für Erweiterungen identifiziert werden: Das Konzept des Gesamtsystems konzentriert sich stark auf die Simulation. Zentrale Komponente ist das verwendete Simulationssystem. Während andere Ansätze (z. B. [46]) auf speziell entwickelten Simulatoren basieren, wird hier SIMPLEX II [110] genutzt. Mit der Sprache SIMPLEX-MDL können Modelle modular beschrieben werden: Einzelne Modellkomponenten werden dabei einfach durch Kopie der jeweiligen Komponentenklasse beschrieben. Die Verknüpfung der Systemkomponenten ist allerdings in einer übergeordneten Komponente zu beschreiben. Das Modularitätsprinzip wird nicht durchgängig verfolgt. Somit wird eine Kapselung von Subsystemen nicht unterstützt und gleichzeitig der Aufbau von komplexen Modellen erheblich erschwert.

Das Datenmodell des Systems für das Management von Simulationsdaten ist an diese Modellstrukturen angepaßt. Daher ist eine Verwendung des Systems bei Wechsel des Simulators nahezu unmöglich. Auch enthält das Datenmodell ausschließlich die für die Lösung der jeweiligen Aufgabenstellung relevanten Informationen. Somit dient es als zentrale Datenbasis für die Simulation und gewährleistet den Bezug zwischen Ergebnis, Initialisierungsdaten sowie Zielen [4]. Dadurch wird der Aufwand für die Bereitstellung und Nutzung der Daten bei gleichzeitiger Sicherung der Datenkonsistenz optimiert. Allerdings kann das Datenmodell kaum für die Lösung anderer Planungsaufgaben verwendet werden [115]. Das Modellierungssystem basiert auf Ansätzen, die universell verwendbar sind. Es dient jedoch nur der Modellierung neuer Komponenten. Die Verwendung bestehender Modelle wird nicht unterstützt. Die Leistungsfähigkeit des Optimierungssystems wird maßgeblich vom implementierten Regelwerk bestimmt [31]. Damit können die Ansätze vor allem der Unterstützung der betriebsbegleitenden Simulation einer konkreten Montageanlage zugrunde gelegt werden.

Insgesamt zeigt sich bei dieser Analyse, daß für alle einzelnen Arbeitsschritte bei der Durchführung einer Simulationsstudie eine umfassende Unterstützung notwendig ist. Für die Akzeptanz und den Nutzen eines Systems zur simulationsbasierten Unterstützung ist dessen Handhabbarkeit von ausschlaggebender Bedeutung. Deshalb müssen solche Systeme an die Bedürfnisse der Anwender angepaßt werden. Bezüglich der Anwender sind dabei Entwickler, Anwendungsexperten und Anwender zu differenzieren, damit beispielsweise der Anwendungsexperte seine Aufgabe ohne Kenntnis der Implementierungsdetails erledigen kann.

3 Neue Herausforderungen für Planungsmethoden

Die Planung ist ein geordneter, informationsverarbeitender Prozeß, der zu Entwürfen führt, wie zukünftige Ziele vorausschauend erreicht werden können [74]. Dabei betreffen vielschichtige markt- und technologiebedingte Veränderungen immer öfter das gesamte interne und externe betriebliche Umfeld. Diese resultieren aus den Aktivitäten der Unternehmen, sich an wechselnde Marktanforderungen, technische Innovationen und die fortlaufende Änderung der Märkte anzupassen. Ziel ist es dabei, den aus den Veränderungen resultierenden Anforderungen zu entsprechen, um auch langfristig die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens zu sichern. Neben hoher Leistungsfähigkeit und Produktivität ist ein hoher Grad an Flexibilität bezüglich der Prozesse und Funktionen notwendig. Bereiche und Prozesse eines Unternehmens müssen dafür in geeigneter Weise gestaltet werden (Bild 11).

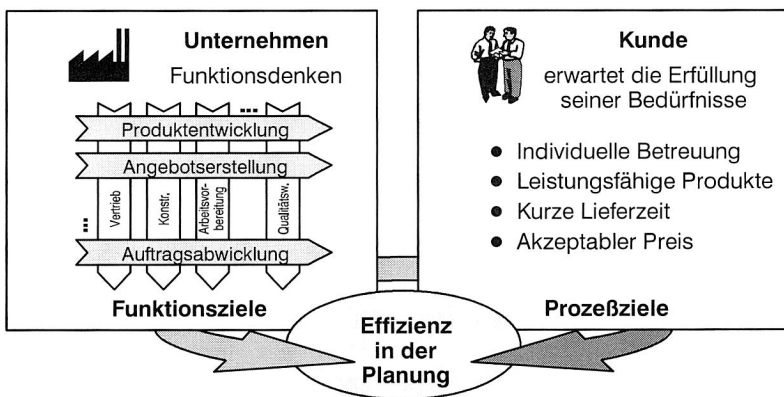


Bild 11: Ganzheitliche Berücksichtigung des Umfeldes als Voraussetzung für eine effektive Planung (nach [95])

Die Anpassung an diese Veränderungen hat weitreichende unternehmensinterne Konsequenzen, deren Ergebnis neue Produktions- und Organisationskonzepte sind. Dabei lassen sich nicht nur Großunternehmen, die weltweit als Global Player auftreten, sondern in zunehmendem Maße auch kleine und mittelständische Unternehmen ähnlich charakterisieren.

Hieraus resultieren insbesondere auch neue Aufgaben und größere Umfänge im Bereich der Produktionsplanung. Die Abhängigkeiten der Planungsaufgaben ergeben ein komplexes Netzwerk. In diesem Netzwerk ist eine effiziente Abstimmung auf einer fundierten und aktuellen Entscheidungsbasis unter Zuhilfenahme geeigneter Planungsmethoden ein Schlüsselfaktor für den Unternehmenserfolg.

3.1 Aufgaben der Unternehmens- und Anlagenplanung

Generell sind die Aufgaben der Fabrikplanung klar strukturiert. Sie umfassen die Planung und Auslegung industrieller Produktionsstätten sowie die Überwachung der Realisierung bis zum Anlauf der Produktion [130]. Durch Veränderungen im betrieblichen Umfeld der Planung werden die Zusammenhänge der Aufgaben immer komplexer. Bei der Planung kommt deshalb der Berücksichtigung von aufgaben- und bereichsübergreifenden Zusammenhängen eine besondere Bedeutung zu. Um dabei eine optimale Unterstützung durch geeignete Methoden und Werkzeuge zu ermöglichen, ist eine Strukturierung der Entscheidungsprozesse erforderlich.

3.1.1 Analyse des betrieblichen Umfeldes der Produktionsplanung

Die aktuell sich ständig verschärfende Wettbewerbssituation, in der sich die Unternehmen befinden, wird von verschiedenen Faktoren, angefangen von der Globalisierung und den veränderten Anforderungen der Märkte bis hin zu technischen Innovationen, bestimmt (Bild 12).

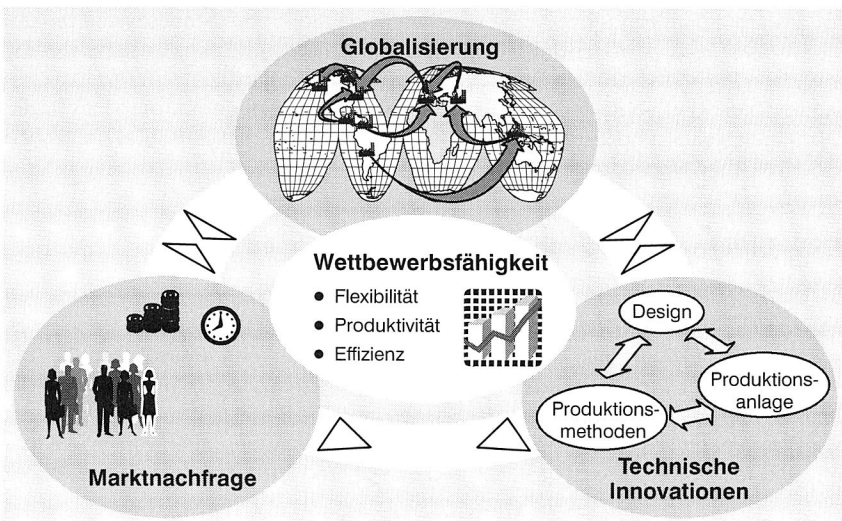


Bild 12: Motivationsaspekte zur methodischen Unterstützung von Planungs- und Entscheidungsprozessen

Globalisierung

Die Zahl der Wettbewerber steigt auch auf dem Gebiet der High-Tech-Produkte. Deshalb lassen sich heute selbst hochwertige Produkte an vielen Standorten rund um

den Erdball produzieren. Auch aufgrund der aktuell angestrebten Markt- und Kundennähe sind Produktionsstätten von Unternehmen zunehmend weltweit lokalisiert. Die sich daraus ergebenden aufbau- und ablauforganisatorischen Strukturen lassen sich wie folgt kennzeichnen: Konzentration auf wertschöpfende Kernprozesse, Dezentralisierung der Produktion in selbstverantwortliche Bereiche und Konzeption neuer Formen der Arbeitsorganisation unter Bündelung des Know-Hows durch herstellerübergreifende Zusammenarbeit [121].

Veränderung der Marktanforderungen

Zusätzlich gibt es im Gegensatz zur Vergangenheit keine stabilen Märkte mehr. Dies zeigt sich im ständigen Wandel des Verbraucherverhaltens und der Kundenwünsche. Der Kunde fordert von den Unternehmen individuelle Betreuung, leistungsfähige Produkte, kurze Lieferzeit und akzeptable Preise. Um den aktuellen Marktanforderungen zu entsprechen, ist ein hoher Grad an Flexibilität bei preis- und mengenoptimaler Produktion und hoher Lieferfähigkeit erforderlich [136].

Technische Innovationen

Vor allem auf dem High-Tech-Markt verkürzen sich die Produktlebenszyklen rapide. Die Produkte verändern sich dabei bezüglich ihrer Funktion und ihres Designs. Daraus erwächst eine immer größere Bedeutung der Innovationsfähigkeit von Produktionstechnologien und -abläufen. In dieser Wettbewerbssituation werden Flexibilität, Leistungsfähigkeit und Produktivität eines Unternehmen mittlerweile als entscheidende Wettbewerbsfaktoren angesehen.

3.1.2 Differenzierung von Planungsdimensionen

Die Planung im Unternehmen hat im wesentlichen zwei Aufgaben: die Entwicklung eines gewinnträchtigen Produktes und die optimale Fertigung desselben. Dabei ist es Aufgabe der Produktionsplanung, Produktionsmengen und Ressourcen für die Herstellung aller Produkte des jeweiligen Betriebes festzulegen [101]. Ziel ist die Optimierung des Nutzungsgrades der Ressourcen. Die Flexibilität und die Strukturen eines Unternehmens sind dabei unter Einbeziehung der Änderungen von Produktpalette und Technologien so zu gestalten und fortwährend anzupassen, daß zu jeder Zeit eine optimale Produktion gewährleistet wird.

Je nach Unternehmensgröße, Produktpalette und Randbedingungen ist eine einzelne Person oder sind viele Abteilungen in weltweit lokalisierten Standorten mit den Planungsaufgaben betraut. Je komplexer die Aufgabenstellung ist, desto aufwendiger ist die Abstimmung der an der Planung beteiligten Teams. Allein bei der Planung der Produktion an einem Standort sind verschiedenste Faktoren zu berücksichtigen und aufeinander abzustimmen (Bild 13). Ein Unternehmen stellt in der Regel mehrere Produktreihen her. Die Produkte selbst weisen oft eine hohe Komplexität hinsichtlich ihrer Varianten aber auch bezüglich ihrer Zahl an Bestandteilen und an Produktionsstu-

fen auf. Die einzelnen Produktreihen und deren Varianten werden oftmals in unterschiedlichsten Stückzahlen produziert. Diese Faktoren bestimmen die Gestaltung und Auslegung der Produktionseinrichtungen. Gegebenenfalls ist dabei eine Abkehr von konventionellen Fertigungsprinzipien notwendig, um wirtschaftlicher zu fertigen. Die Abläufe dieser neuartigen Prinzipien sind u. a. durch Mehrfachnutzung von Maschinen so komplex, daß sie kaum mehr nachvollziehbar sind [113, 123].

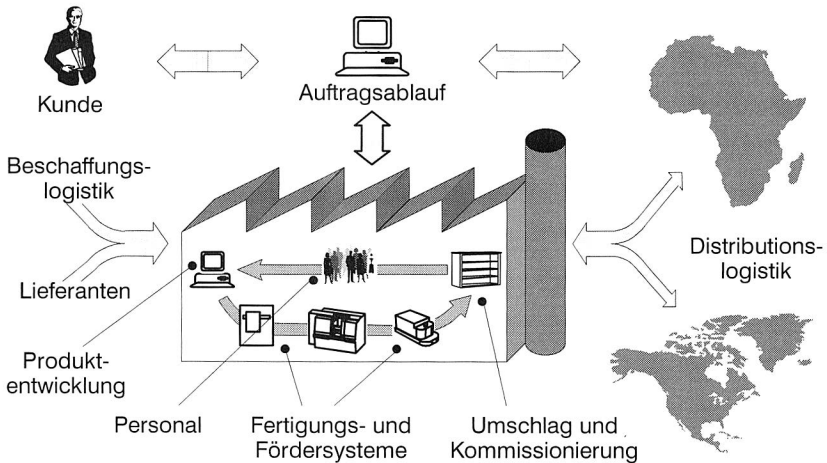


Bild 13: Wichtige Aspekte bei der Planung der Produktion

Zusätzlich müssen für die Produktion komplexerer Produkte mehrere Produktionsbereiche durchlaufen werden. Die Produktionsbereiche können sich an unterschiedlichen Produktionsstandorten befinden. Dabei sind die Unternehmen in zunehmendem Maße in ein sich fortlaufend veränderndes Netzwerk eines virtuellen Unternehmens eingebunden. In diesem Netzwerk bestehen bidirektionale Abhängigkeiten: Partnerfirmen können Zulieferer von Produktionsstätten bzw. -bereichen sein und vice versa. Die Folge sind vielfältige Interdependenzen zwischen den Produktionsstätten z. T. mehrerer Firmen, die sich bezüglich verschiedenster Kriterien, z. B. Leistungsvermögen, Fertigungstiefe, Kapazitäten und Logistikkonzepte, unterscheiden.

Dieses Szenario verändert sich mit der Zeit allein aufgrund der bereits angesprochenen Aspekte, insbesondere aber auch wegen der unterschiedlichen Länge der Lebenszyklen der einzelnen Produktreihen. Dadurch verläuft die Planung von Produkten und Prozessen wie folgt: Während die Marketingabteilung neue Produkte und deren Absatzmöglichkeiten ermittelt, werden zeitgleich parallel dazu für andere Produkte Produktionsstrategien erörtert und wiederum andere Produkte weiterentwickelt. Weiterhin spielt die Einbindung von strategischen Entscheidungen, die oftmals bereits lange Zeit vor Beginn der Lebenszyklen zukünftiger Produkte anstehen, eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Lenkung der Unternehmensge-

schicke. Hier kann sich nicht mehr ein einzelnes Team mit der Entwicklung eines Produktes, der Planung der Fertigungsabläufe und -einrichtungen sowie der Inbetriebnahme der Anlagen beschäftigen. Vielmehr sind lokal verteilte Einheiten mit speziellen Planungsaufgaben betraut, wobei gleichzeitig mehrere Projekte in Bearbeitung sein können. Je komplexer das System Unternehmen und je vernetzter die Strukturen sind, desto wichtiger sind strukturierte Entscheidungsprozesse unter Einbeziehung der bereichsübergreifenden Zusammenhänge, damit auch hier die Auswirkungen von Entscheidungen auf die Gesamtziele, wie Kosten und Lieferbereitschaft, absehbar und nachvollziehbar sind. Insgesamt sind dabei die Unternehmen gezwungen, Ordnung in ein komplexes Geflecht von Anforderungen und Randbedingungen zu bringen und in adäquate Produktionsprozesse umzusetzen [135].

Mögliche Strukturierungskriterien sind in einem ersten Ansatz die Abstraktion der Unternehmensstruktur selbst, die Funktionen bzw. die Prozesse und die Zeit. Da auf jeder Ebene charakteristische Entscheidungsprozesse mit konkretisierbarem Zeithorizont vorliegen, können diese Kriterien den Hierarchieebenen der Unternehmensstruktur zugeordnet werden (Bild 14).

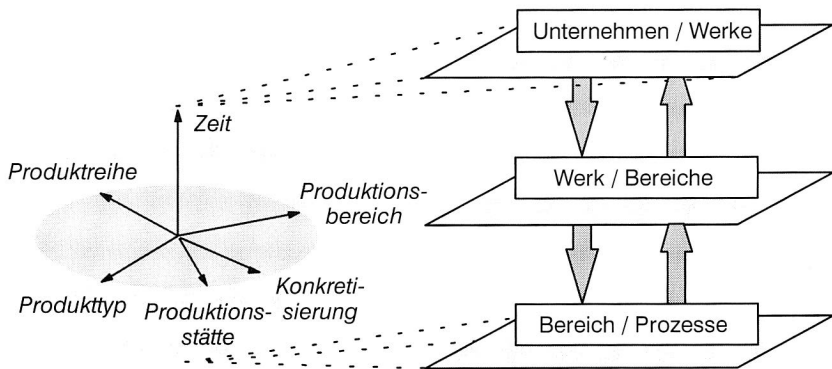


Bild 14: Zusammenfassung alternativer Dimensionen der Fabrikplanung in den Hierarchieebenen eines Unternehmens

So sind auf der Ebene des Produktionsverbunds strategische Entscheidungen mit langfristigem Zeithorizont, z. B. bei der Erarbeitung zukünftiger globaler Strategien, vorherrschend. Von Interesse ist die zukünftige Nutzung der bestehenden Kapazitäten in den Produktionsstätten mit dem Ziel, Investitionen zu lokalisieren, zu spezifizieren und zeitlich festzulegen. Dies ist beispielsweise notwendig, wenn eine zukünftige Produktreihe zur Produktpalette hinzukommt oder eine bestehende Produktreihe ablöst. In einem solchen Fall muß eine geeignete Produktionsstätte ermittelt werden, wobei zunächst die Nutzung der bestehenden Kapazitäten der Ressourcen zu überprüfen ist, um die Notwendigkeit von Investitionen ermitteln zu können. Daneben muß es beispielsweise möglich sein, Marktverschiebungen, die sich auf die prognostizierten zu

produzierenden Stückzahlen auswirken, kostenoptimal zu kompensieren. Hierbei kann es auch notwendig sein, Produktionsverlagerungen in Betracht zu ziehen.

Auf Werksebene steht die Abstimmung der Produktionseinheiten in der Folge der Produktionsstufen der Produktreihen im Vordergrund. Hier sind Aspekte, wie die Auslastung der Produktionseinheiten und deren Robustheit gegenüber Schwankungen der Aufträge bezüglich Reihenfolge und Stückzahl, von wesentlichem Interesse. Erkenntnisse daraus können wiederum eine Vielzahl von Randbedingungen beeinflussen, wie die Festlegung von fertigungsspezifischen Produkt-Restriktionen in einzelnen Einheiten, die Gestaltung der Arbeitszeitmodelle für die einzelnen Produktionseinheiten.

Auf Anlagenebene steht die Planung und der Betrieb der einzelnen Produktionsanlagen innerhalb der Produktionseinheiten im Vordergrund. Die Anlagen sind dabei so auszulegen und zu betreiben, daß sie die Vorgaben erfüllen. Hier sind auch im kurzfristigen Bereich im Rahmen der Werkstattsteuerung Entscheidungen zur Auftrags- und Terminplanung zu treffen, aber auch die Aufträge zu überwachen und die vorgegebenen Termine zu kontrollieren.

Als weitere Detaillierungsebene kann die Maschinen- und Zellenebene definiert werden. Auf dieser Ebene sind ähnliche Betrachtungen wie auf der Anlagenebene, jedoch in konkretisierterer Form, anzustellen. In Abhängigkeit vom jeweiligen Unternehmen kann es notwendig sein, zusätzliche Abstraktionsebenen zu definieren. Grundsätzlich muß aber die Gesamtstrukturierung so offen sein, daß auch Betrachtungen über mehrere dieser Ebenen hinweg möglich sind. Dies ist Voraussetzung für eine aufgabenübergreifende, ganzheitliche und methodisch unterstützte Planung.

3.2 Analyse von Methoden zur Unterstützung der Planungsaufgaben

In Kap. 3.1 wurden die aktuellen Aufgaben der Fabrikplanung aufgezeigt. Sie umfassen neben der Erledigung der konkreten Aufgabe den aufgaben- und bereichsübergreifenden Abgleich als zusätzliche herausfordernde Komponente. Für die Entscheidungsprozesse ist deshalb eine umfassende, methodische und projekttechnische Unterstützung notwendig. Dazu sind geeignete Planungsmethoden erforderlich.

3.2.1 Bewertung des aktuellen Vorgehens bei der Problemlösung

Die Konstruktion ist mit CAD-Systemen gut ausgerüstet und die Produktion verfügt über komplexe automatisierte Anlagen. Meist fehlt allerdings bereits den Fertigungsplanern die entsprechende Computerunterstützung, um mit der steigenden Komplexität Schritt halten zu können. Deshalb hat das ganzheitliche Konzept des "Computer Aided Production Engineering" die Kombination von integrierten Software-

Werkzeugen und Methoden zur Automatisierung von Planungs- und Konstruktionsprozessen zum Ziel (Bild 15). Der Simulation kommt dabei eine Schlüsselrolle zu.

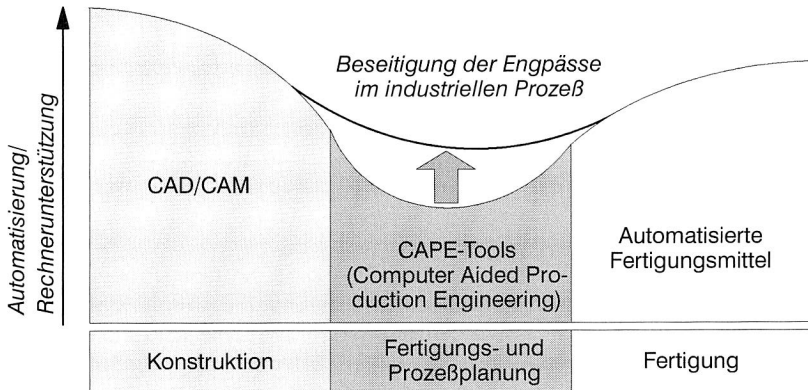


Bild 15: CAPE-Tools schließen die Automatisierungslücke zwischen Konstruktion und Fertigung (nach [48])

Im Rahmen von verschiedenen Kooperationsprojekten konnten immer wieder grundsätzliche Defizite bei der Anwendung der Simulation zur Lösung von Planungsaufgaben im Rahmen der Fertigungsplanung ermittelt werden. Dabei bestätigten sich die in Kap. 2.2 aufgezeigten Schwachstellen bisheriger Ansätze zur umfassenden simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung (Bild 16).

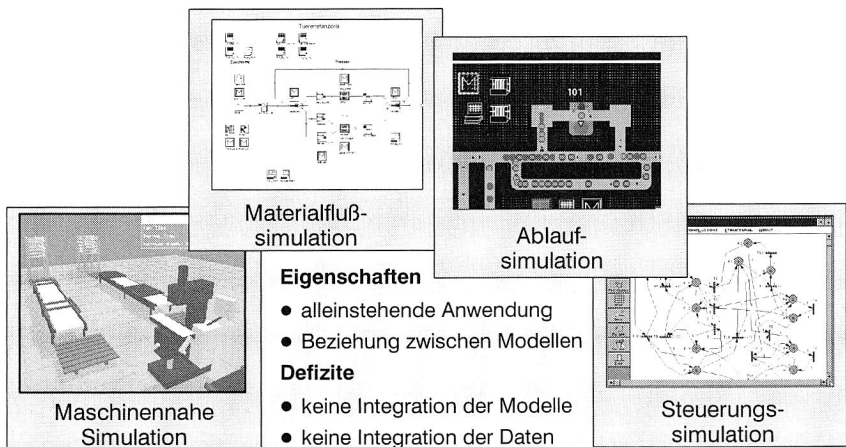


Bild 16: Konventionelle Einsatzfelder der Simulation und Hauptdefizite

Es handelt sich um Anwendungen für bestimmte Problemstellungen in einem konkreten Einsatzfeld der Simulation. Da die Problemstellungen voneinander abhängig sind, bestehen auch Interdependenzen zwischen den Modellen und Daten, auf denen die verschiedenen Anwendungen basieren. Da es sich um Insellösungen handelt, ist weder eine Integration der Modelle noch der Daten möglich. Es wird somit der aufgaben- und bereichsübergreifende Abgleich nicht direkt unterstützt.

Es ist deshalb ein Ansatz für den aufgaben- und ebenenübergreifenden Einsatz der Simulation notwendig, um die aufgezeigten Schwachstellen zu beheben. Ziel ist es dabei, ähnlich wie bei der Parallelisierung von Produkt- und Prozeßentwicklung, eine Durchgängigkeit der Daten, eine unternehmensweite Informationsverarbeitung und damit ein frühzeitiges Optimieren der Prozesse im Sinne eines Digital Manufacturing zu erreichen (Bild 17).

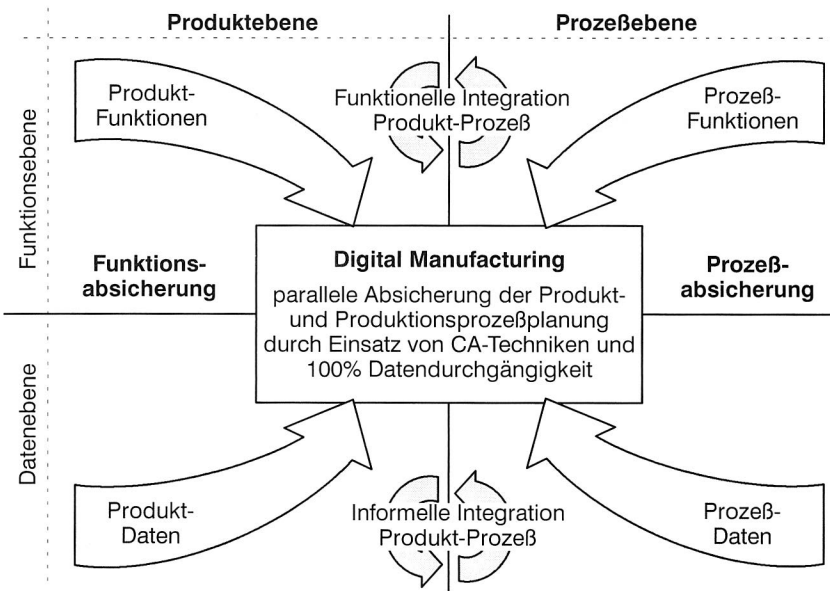


Bild 17: Integration von Produkt- und Prozeßplanung beim Digital Manufacturing

3.2.2 Anforderungen an die Unterstützung der Planungsaufgaben

Die Organisations- und Fertigungskonzepte im komplexen Abhängigkeitsgefüge eines Unternehmens sind nur so erfolgreich wie sie geplant und genutzt werden. Deshalb stellt die ganzheitliche optimierte Planung und Nutzung der Produktion in einem Unternehmen eine große Herausforderung dar.

Um unter den beschriebenen Randbedingungen der Produktionsplanung die richtigen Lösungsansätze zu finden, müssen sämtliche Aspekte einer Aufgabe in einem integrierten Ansatz betrachtet werden können. Dieses ist schwieriger geworden, weil im Zuge der immer stärkeren Spezialisierung das ganzheitliche Denken in vielen Bereichen verlorengegangen ist. Oft sind es Generalisten, die mit einem Blick auf das Ganze ein Problem mit seinen unterschiedlichen Facetten erkennen und einordnen und so den Weg zur Lösung vorzeichnen können. Jedoch benötigen auch sie fachübergreifende Planungsmethoden und Modelle, um die Gesamtkomplexität zu verkleinern und damit handhabbar zu machen [117].

Der Erfolg der Planungsarbeit hängt darüber hinaus von der Effizienz und Effektivität der Zusammenarbeit ab. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Kommunikation zwischen den Beteiligten: Ein Simulationsexperte denkt vornehmlich in den abstrakten Strukturen von Simulationsmodellen. Er muß die realen Zusammenhänge mit allen relevanten Details, die ihm nur ein Fachmann vermitteln kann, in ein abstraktes Modell transformieren. Umgekehrt ist ein Planer primär an konkreten Strukturen interessiert. Er steht vor der Schwierigkeit, ein konkretes betriebliches System in einem Simulationsmodell wiederzuerkennen und Fragen des Simulationsexperten, welche die Validität des Modells betreffen, zu beantworten.

Noch schwieriger ist es für den Planer, aus Simulationsergebnissen gesicherte Schlußfolgerungen für die konkrete Gestaltung eines betrieblichen Systems zu ziehen. Häufig müssen erzeugte Daten mittels zusätzlicher Auswertungen, die in der Regel nur ein Simulationsexperte vornehmen kann, in aussagefähige Kennzahlen umgesetzt werden. Eine direkte Bedienung der Werkzeuge durch den Planer ist damit insbesondere für die Simulation nicht möglich.

Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge ist eine zielgerichtete und aufgabenspezifisch optimal unterstützte Produktionsplanung von großer Bedeutung. Die Bewältigung dieser Aufgabe im Sinne eines Gesamtoptimums setzt Denken und Handeln in ganzheitlichen funktionsübergreifenden Geschäftsprozessen voraus. Deshalb müssen mehrere Methoden, jede gezielt für die Lösung eines Teilproblems, unter Austausch der Informationen zur Anwendung kommen. Dafür sind die Methoden selbst anzupassen und die Voraussetzungen für die universelle Verwendung zu schaffen.

Aus der Vernetzung der einzelnen Aufgabenbereiche erwachsen weitere Anforderungen bezüglich der aufgabenübergreifenden Bereitstellung von Informationen, Wissen und Erfahrung. Es sind somit die Voraussetzungen für eine ganzheitliche Betrachtungsweise bezüglich aller Planungsaufgaben durch Bereitstellung aller Informationen und Modelle zu schaffen und die Methoden und Werkzeuge so weiterzuentwickeln, daß sie universell und anwenderfreundlich eingesetzt werden können (Bild 18).

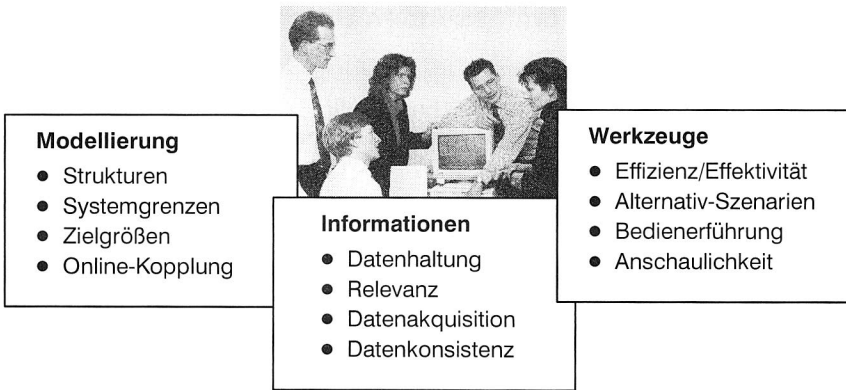


Bild 18: Strukturierung der Arbeitsgebiete für die Realisierung einer durchgängig unterstützten Produktionsplanung

Dabei kann die in Kap. 3.2.1 beschriebene direkte Zusammenarbeit zwischen Planern und Simulationsexperten entfallen, wenn der Planer auf seine Bedürfnisse zugeschnittene Werkzeuge nutzen kann. An diese Werkzeuge sind folgende Anforderungen zu stellen: Sie müssen einfach handhabbar sein, damit der Anwender die Funktionen des Werkzeugs auf einfache Weise ohne Kenntnisse einer speziellen Sprache abrufen und ohne umfangreiche Anwenderkenntnisse bedienen kann. Der Abstraktionsgrad der zugrunde liegenden Modelle sollte an die Denk- und Sprachwelt des jeweiligen Planers angepaßt sein. Hauptsächliche Motive sind hier die Anwendungsfreundlichkeit und die Möglichkeit der Zeiteinsparung bei der Modellierung. Langfristig ist jedoch die automatische Modellgenerierung anzustreben und die interaktiven Eingaben auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren. Zusätzlich sollten die Ergebnisse der Anwendung praxisnah durch Transformation in Kennzahlen bzw. durch Aufbereitung und Ergebnispräsentation ausgewertet werden.

Die Ergebnisse der Entscheidungen, die im Rahmen eines Lösungsfindungsprozesses getroffen werden, beeinflussen das reale System. Davon betroffen ist nicht nur das jeweils betrachtete problemspezifische Teilsystem, sondern meist auch andere Bereiche innerhalb des Unternehmens infolge der bestehenden vielschichtigen Abhängigkeiten. Es ist deshalb notwendig, die Entscheidungen so nah wie möglich am jeweiligen Prozeß zu unterstützen und dabei die Interdependenzen durch systematische und umfassende Nutzung der Informationen zu berücksichtigen.

In den Unternehmen sind bereits umfangreiche Informationen über Geschäfts- und Marktvorgänge aller Art in großen Datenmengen verborgen. Da diese bislang meist gar nicht bzw. nur sehr schwer erschlossen werden können, sind diesbezüglich Verbesserungsmaßnahmen dringend erforderlich [79].

3.3 Systematik zur umfassenden Unterstützung der Planung

Für eine durchgängige Unterstützung der Entscheidungsfindung ist es notwendig, die Simulation zusammen mit anderen Methoden in das betriebliche Informationsmanagement so einzubinden, daß konkrete Entscheidungsprozesse effizient im Sinne des Gesamtunternehmens unterstützt werden.

Dazu bedarf es eines methodischen Vorgehens. Grundlage ist die Strukturierung der Anwendungsmöglichkeiten der Simulation, um einen aufgabenübergreifenden Einsatz realisieren zu können (104). Bild 19 veranschaulicht dies anhand der Dimensionen Abstraktionsebenen, Einsatzgebiete und Zeit.

Eine horizontale Integration kann entlang des Lebenszyklus einer Anlage erfolgen: von der Anlagenkonzeption über die Layout- und die Ablaufplanung bis zur Inbetriebnahme und schließlich zum Betrieb der Anlage. Bei einer Integration entlang eines Produktzyklus kommen verschiedene Simulationsverfahren zum Einsatz. Mit der Finite-Element-Simulation werden die dynamischen Eigenschaften des Produkts untersucht und optimiert. Fertigungs-, Montage- und Demontageabläufe können bereits während der Produktentwicklung mit Hilfe der Kinematik- und Ablaufsimulation geplant und aufeinander abgestimmt werden. Deshalb sollten Simulationsmodelle, die in der Konzeption und Planung entstanden sind, z. B. zur Unterstützung des Betriebs einer Anlage weiterverwendet werden. Mit Hilfe der Simulation können dann z. B. Auswirkungen von dispositiven Entscheidungen in der Zukunft bestimmt, Fehlentwicklungen frühzeitig erkannt und nur schwer meßbare Informationen über die Anlage gewonnen werden. Schließlich kann die Simulation aber auch für prozeßbegleitende Aktivitäten, die Kosten- und die Investitionsrechnung oder die Schulung der Mitarbeiter genutzt werden.

Für die horizontale Integration müssen die Simulationssysteme die erforderliche Funktionalität bereitstellen. Dabei ist auch eine Parallelisierung des Simulationseinsatzes, z. B. für Abläufe und zur Kosten- und Investitionsrechnung zu ermöglichen. Hier bestehen noch Defizite, weshalb zusätzliche Funktionen in konventionelle Simulationssysteme zu integrieren sind.

Die zweite Dimension der Nutzenerweiterung stellt die vertikale Integration über verschiedene Abstraktionsebenen dar. Ziel ist es, Simulationsmodelle auf unterschiedlichen Detaillierungs- und Abstraktionsebenen durchgängig miteinander zu vernetzen. Damit wird sichergestellt, daß die Ergebnisse einzelner Planungsschritte unmittelbar allen Simulationsanwendungen zur Verfügung stehen und somit die Konsistenz der Simulationsergebnisse gewährleistet ist. Eine integrierte Betrachtungsweise ermöglicht hier eine ganzheitliche Bewertung der Auswirkungen dieser Maßnahmen auf einzelne Prozesse und auf die komplette Anlage. So kann z. B. ein Produktionslayout vom Fabrik- über das Hallen- bis schließlich zum Zellenlayout mit Hilfe der Simulation geplant und optimiert werden. Durch einen durchgängigen Datenfluß bzw.

ein einheitliches Modell kann sichergestellt werden, daß Entscheidungen, die im Rahmen der Fabrikplanung getroffen werden, unmittelbar bei der Zellenplanung berücksichtigt werden. Durch eine Abbildung der Entscheidungslogik und der internen Modellzusammenhänge ist es darüber hinaus in gewissem Rahmen möglich, bei der Änderung von Vorgaben automatische Anpassungen auszulösen.

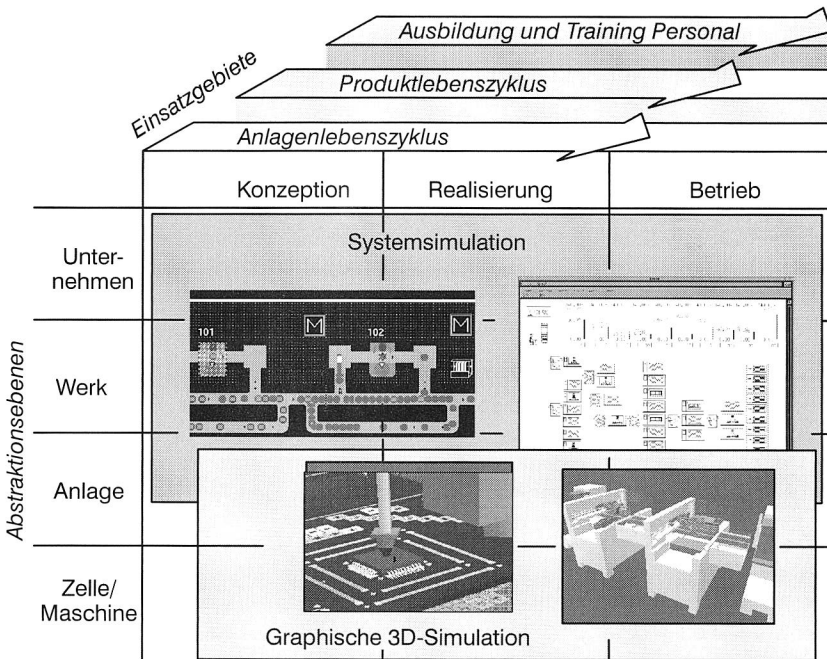


Bild 19: Erweiterung des Nutzens durch Integration der Simulation

Während bei der horizontalen Integration die Bereitstellung planungsbegleitender, umfassender Funktionen zur Untersuchung und Bewertung zentrale Aufgabe ist, steht bei der vertikalen Integration der umfassende Austausch von Informationen im Mittelpunkt. Dazu ist der Erkenntnisgewinnungsprozeß der Simulation ganzheitlich anzuwenden. Eine effiziente Nutzung der Simulation setzt dabei eine Modularisierung der Werkzeuge in einem modularen System zur Entscheidungsunterstützung voraus. Insgesamt bedeutet jede Art von Integration einen Schritt in Richtung einer permanenten Simulations- und damit Planungsbereitschaft, also der Fähigkeit, jederzeit zur Untersuchung aktueller Fragestellungen die Simulation ohne großen Aufwand einzusetzen.

4 Integration zusätzlicher Funktionen in Simulationssysteme

Bei der Simulation von Produktionssystemen werden fast ausschließlich technische Kennwerte berücksichtigt und optimiert. Allerdings werden dabei Aspekte außer Acht gelassen, die bei flexiblen Produktionssystemen für die Auslegung eine wichtige Rolle spielen können und eine umfassendere Bewertung von Systemalternativen ermöglichen. Zur flexiblen Erweiterung der Modellierung werden hierfür spezielle Module konzipiert und realisiert.

4.1 Konzeption der erweiterten Funktionalität

Wie bereits in Kap. 2 aufgezeigt, konzentrieren sich die bisherigen Arbeiten auf die Bereitstellung von Modellbausteinen für Maschinen und Anlagenkomponenten. Diese Bausteine können zwar komfortabel für die Modellerstellung verwendet werden, lassen aber bei der Simulation im wesentlichen nur eine Analyse und Optimierung technischer Kriterien zu.

In vielen Fällen ist die Entscheidungsfindung im Rahmen der Simulation von Produktionssystemen umfassender zu unterstützen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Modellierung des Personals und die betriebswirtschaftliche Bewertung von Systemalternativen. Nur so kann die Entscheidung zu Gunsten einer vermeintlich "besten" Lösung vermieden werden.

Vor allem in teilautonomen Produktionssystemen übt der Mensch als 'Produktionsfaktor' einen nicht mehr vernachlässigbaren Einfluß auf das Anlagenverhalten aus [49]. In solchen Fertigungs- und Montagesystemen werden Handarbeitsplätze für diejenigen Arbeitsgänge innerhalb des Herstellungsprozesses vorgesehen, deren Automatisierung nicht rentabel ist. Neben dieser Haupttätigkeit haben die für diese Arbeitsplätze zuständigen Mitarbeiter meist auch Umfeldaufgaben, wie die Überwachung und Entstörung der automatischen Stationen, wahrzunehmen, um eine vollständige Auslastung ihrer Kapazität zu erreichen. Bezüglich des Anlagenverhaltens ist hier die Entkopplung von Mensch und Maschine von wesentlichem Interesse. Bei der Planung und Gestaltung müssen somit neben technischen und organisatorischen Gesichtspunkten auch anthropologische Aspekte Beachtung finden können [138]. Dazu muß der Mensch im Modell abgebildet und sein Verhalten anhand von anthropologischen Größen bewertet werden können. Mit solch einem Modell können dann die Faktoren Technologien und Mitarbeiter berücksichtigt werden.

Als drittes Schlüsselkriterium der Produktionsplanung wurden in Kap. 3 die Kosten genannt. Durch die Verlagerung der unternehmerischen Aktivitäten in Richtung Finalbereich, in dem die Wertschöpfung am größten ist, kommt der Produktion eine erhebliche Kostenverantwortung zu. Deshalb ist eine direkte Bewertung der

Produktion auch im Modell anhand von Kosten sinnvoll und notwendig. Durch die Berücksichtigung der Aspekte Mensch und Kosten in der Simulation ist eine umfassende Modellierung und Bewertung des Systems möglich (Bild 20).

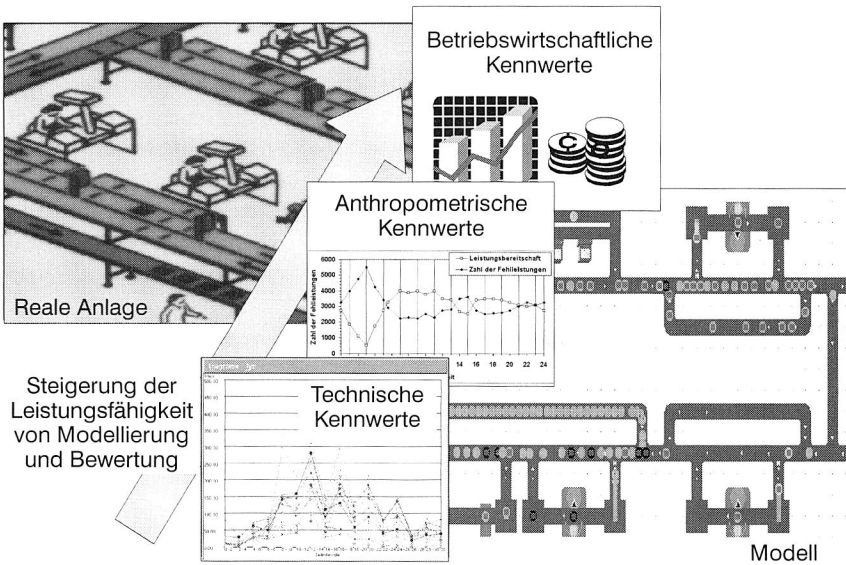


Bild 20: Erweiterung der Modellierungsmöglichkeiten als Grundlage zur umfassenden Bewertung

Aufgrund der Komplexität der Aspekte Mensch und Kosten sind bei der Bereitstellung von Funktionalitäten für die Modellierung vielfältige Anforderungen und Randbedingungen zu berücksichtigen. Von besonderer Bedeutung für die Anwendung in der Praxis ist ein flexibler Detaillierungsgrad der Modellierung und der dabei berücksichtigten Kennwerte. Deshalb ist es notwendig, aufbauend auf einer Analyse der Aspekte Mensch und Kosten, eine Funktionalität zu konzipieren, die es ermöglicht, beide Aspekte, auch getrennt voneinander, flexibel, in unterschiedlichen Abstraktionsgraden zu berücksichtigen.

4.2 Berücksichtigung des Personals in der Systemsimulation

Generell ist eine Anthropozentrierung der Technik zu beobachten. Vor allem in komplexen Produktionsstrukturen ist oftmals der menschliche Einfluß auf das Anlagenverhalten nur noch unter Verwendung modellbasierter Werkzeuge nachvollziehbar. Dies betrifft vor allem die Analyse des Zusammenspiels von

Anlagenstruktur, Fertigungssteuerung und Personal. Deshalb wird ein Konzept für einen benutzerfreundlichen Bausteinkasten entwickelt, mit dem die Einflüsse des Personals auf das Anlagenverhalten in frei wählbarem Detaillierungsgrad und Umfang auf einfache Weise untersucht werden können.

4.2.1 Anforderungen an die Modellierung

Für die Modellierung des Personals wird ein Anforderungskatalog definiert. Dieser legt die zu berücksichtigenden Personalaspekte und Anforderungen an deren Modellierung fest.

Relevante Personalaspekte für die Modellierung

Von grundsätzlicher Bedeutung für die Berücksichtigung des Personals in der Simulation ist die Modellierung derjenigen Personalaspekte, die das menschliche Verhalten bei den Tätigkeiten in Produktionssystemen repräsentieren. Deshalb ist das Verhalten der Mitarbeiter an ihrem Arbeitsplatz beim Ausüben ihrer Haupttätigkeit und beim Beheben von Maschinenstörungen zu modellieren. Dabei ist auch die Arbeitsorganisation zu berücksichtigen, da diese das Verhalten ebenfalls beeinflusst [43] (Bild 21).

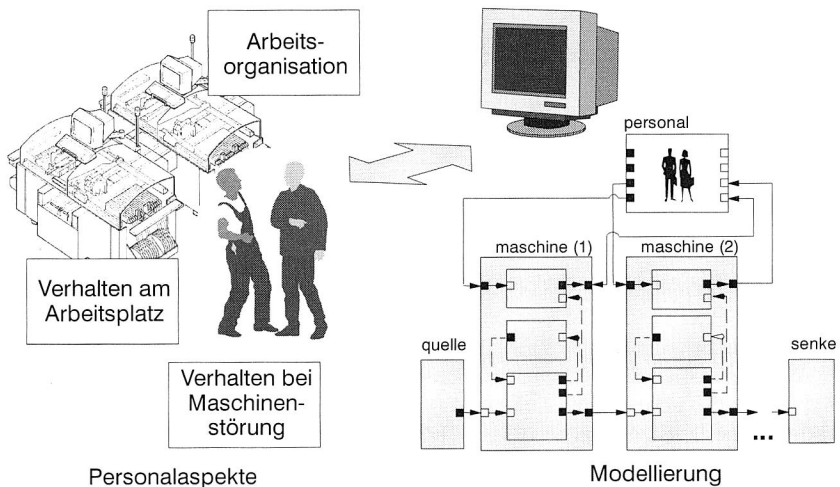


Bild 21: Wesentliche Aspekte für die Modellierung des Personaleinsatzes

- Verhalten am Arbeitsplatz

Bisher wird der Mensch fast ausschließlich als "Normalmensch" unter Annahme von durchschnittlichen Leistungskennwerten in der Simulation abgebildet [49]. Allerdings

ist in den Sozialwissenschaften im Gegensatz zu den Naturwissenschaften die Aussage "normal = konstant" ungültig. Das bedeutet, daß bei den sogenannten "Normalmenschen" nicht nur mit großen Leistungsschwankungen, sondern auch mit Verhaltensschwankungen in beachtlichem Ausmaß zu rechnen ist. Es wird zwischen interindividuellen sowie intraindividuellen Leistungs- und Verhaltensschwankungen differenziert [106]. Intraindividuelle Schwankungen beziehen sich dabei auf die naturgemäß vorhandenen Leistungs- und Verhaltensschwankungen einer Person zu verschiedenen Zeitpunkten im Laufe von Arbeitsstunden, Arbeitstagen oder Arbeitsjahren.

Neben der Berücksichtigung von Leistungs- und Verhaltensschwankungen der Arbeitspersonen durch unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeiten sind bei der Beschreibung des Verhaltens des Personals am Arbeitsplatz auch mitarbeiterbedingte Arbeitsunterbrechungen abzubilden.

- Verhalten bei Maschinenstörung

Das Entstören von Maschinen, z. B. Automatikmodulen, kann das Anlagenverhalten wesentlich beeinflussen, wenn dafür kein separates Personal vorgesehen ist. In diesem Fall sind verschiedene Aspekte abzubilden und zu analysieren:

Tritt eine Störung auf, dann vergeht zunächst eine bestimmte Zeit, bis der Mitarbeiter, der für die Fehlerbehebung zuständig ist, die aufgetretene Störung bemerkt. Dabei sind u. U. die Zuständigkeiten der einzelnen Mitarbeiter vom Fehlertyp und vom Fehlerort abhängig. Dann verläßt der Mitarbeiter seinen eigenen Arbeitsplatz, um die jeweilige Maschine zu entstören. Wiederum vergeht Zeit, zum einen bis zum Beginn der Entstörung und zum anderen bis die Störung behoben ist. Schließlich währt die Unterbrechung an, bis der Mitarbeiter seine Haupttätigkeit wieder aufnimmt.

- Einfluß der Arbeitsorganisation

Generell sind alternative Formen der Arbeitsorganisation zu berücksichtigen. So kann entweder die Entstörungsverantwortung für bestimmte Maschinen starr an bestimmte Mitarbeiter gebunden werden oder die Mitarbeiter dürfen frei entscheiden, wer für die Entstörung der einzelnen Maschinen zuständig ist. Die Entstörzeitpunkte können von verschiedenen Faktoren abhängen, wie die aktuelle Auslastung des Arbeitsplatzes der für die Entstörung zuständigen Person. Weiterhin bestehen verschiedene Möglichkeiten der Pausengestaltung und Verteilzeitgestaltung. Diese werden durch unterschiedliches Ermüdungsverhalten der Mitarbeiter hervorgerufen, was wiederum einen relevanten Einfluß auf das Arbeitsergebnis und auf die Pufferdimensionierung zur Folge haben kann [80].

Berücksichtigung der Personalaspekte bei der Modellierung

Das Personal soll jeweils entsprechend der Untersuchungsziele und dem aktuellen Planungsstadium abgebildet werden können, um den Abstraktionsgrad an das

aktuelle Planungsstadium flexibel anzupassen. Dazu müssen die zu berücksichtigenden Personalaspekte frei wählbar sein.

Maschinelle und personelle Aspekte sollten strikt voneinander getrennt werden. Auch sollte die Zuordnung von Funktionen und Betriebsmitteln flexibel sein. Zusätzlich müßte das individuelle Leistungsverhalten der eingesetzten Personen in Abhängigkeit von ihrer Qualifikation berücksichtigt werden können. Darüber hinaus ist die Simulation von schichtabhängigen Personalbesetzungen und die Abbildung unterschiedlicher Arbeitsablaufprinzipien zu ermöglichen.

4.2.2 Analyse bestehender Ansätze

Auf Basis des Anforderungskatalogs werden bestehende Ansätze für die Modellierung des Personals analysiert. Die Untersuchungen ergeben, daß bis auf wenige spezielle Ansätze bisher fast ausschließlich die Haupttätigkeiten des Personals an bestimmten Arbeitsstationen in der Systemsimulation berücksichtigt werden.

In der Praxis beschränkt sich die Modellierung des Personals meist auf die Abbildung von Handarbeitsplätzen. Damit kann im wesentlichen die Haupttätigkeit von Personen berücksichtigt werden. Die Modellierung erfolgt analog zu der von Maschinen. Das Verhalten dieser Arbeitsplätze wird über die Standardparameter definiert (Bild 22).

Die Modellierung von Nebentätigkeiten und von anthropometrischen Aspekten wird von kommerziellen Simulationssystemen kaum unterstützt. Es ist deshalb schwierig, die Auswirkungen der Nebentätigkeiten auf die Haupttätigkeiten und damit auf das gesamte Anlagenverhalten, z. B. für die Dimensionierung der Puffer und die Auslegung der Strategien, in der Simulation zu analysieren. Gerade bei der Pufferdimensionierung und der Auslegung von Strategien für flexible Produktionssysteme mit Personaleinsatz werden somit kaum kalkulierbare Risiken in Kauf genommen.

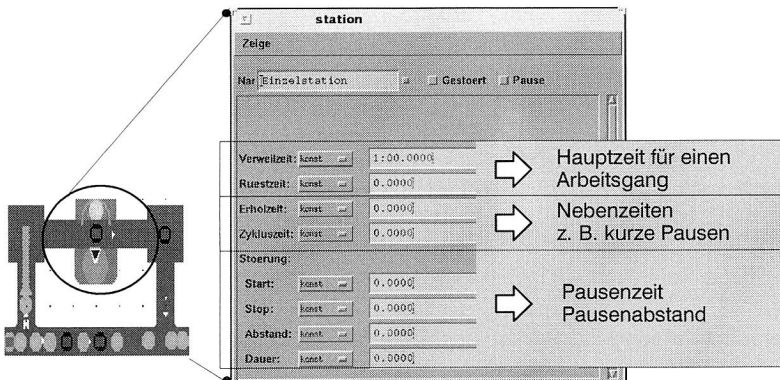


Bild 22: Konventionelle Modellierung des Verhaltens eines Handarbeitsplatzes

Zur umfassenderen Berücksichtigung des Personaleinsatzes in der Simulation wurden bereits spezielle personalorientierte Simulatoren entwickelt. Diese können einzelne Aspekte der Tätigkeit von Menschen in Produktionssystemen abbilden.

Das Simulationsprogramm PERSIMO dient der Simulation arbeitsorganisatorischer Aspekte der Montagesystemplanung [16]. Die Mitarbeiter werden als eigenständig disponierbare Elemente mit Berücksichtigung unterschiedlicher Qualifikationen modelliert. Hierbei können Auswirkungen sowohl verschiedener Arbeitszeitmodelle als auch unterschiedlicher Personalstärken untersucht werden [99]. Die Qualifikation wird mit Hilfe eines an die individuell verschiedenen Leistungsvoraussetzungen angepaßten Leistungsgrades berücksichtigt [131].

Als Planungshilfe zur Gestaltung der Arbeitsteilung bei NC-Arbeitssystemen wurde NC-APSIM konzipiert [52], das unter dem Namen SIMULAST (Simulation von Arbeitsstrukturen) in der Industrie weiterentwickelt und dabei in seiner Funktionalität ausgebaut wurde [24]. Damit steht ein personenorientiertes Modell zur Planung von Arbeitsstrukturen zur Verfügung [139]. Die Abbildung der Mitarbeiter erfolgt durch eine Beschreibung der Qualifikation, der personell bedingten Unterbrechungen und der Zuweisung der Mitarbeiter zu bestimmten Betriebsmitteln [67]. Damit lassen sich alternative Personalstrukturen (Mehrmaschinenbedienung, Gruppenarbeit) mit unterschiedlichen Qualifikationsstrukturen (Spezialisten, Universalien) abbilden [140].

Aufbauend auf den Erfahrungen mit SIMULAST wurde FEMOS (Fertigungs- und Montagesystemsimulator) entwickelt, mit dem sowohl Abhängigkeiten zwischen Einflußgrößen und Strategien der Fertigungssteuerung als auch personal- und qualitätsorientierte Aspekte der Organisationsstruktur im Produktionsbereich untersucht werden können [44, 138]. Personen werden anhand ihrer Qualifikationen und Zuverlässigkeit bestimmten Personalgruppen zugeordnet [141, 138].

Mit Hilfe von sogenannten PSFs (Performance Shaping Factors), die mit den Expertensystemen THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) [125] oder ESAT (Expertensystem für Aufgaben-Taxonomie) [12] ermittelt werden können, wird ein Beschreibungsfaktor für die menschliche Zuverlässigkeit bestimmt. Die Zuständigkeit der Mitarbeiter für die jeweiligen Maschinen richtet sich nach der für die Maschinenbedienung erforderlichen Personalgruppe. Damit lassen sich Auswirkungen unterschiedlicher Qualifikations- und Organisationsstrukturen sowie Arbeitszeitmodelle untersuchen [142]. Zusätzlich ist das System mit einer graphischen Animation und Ergebnisauswertung ausgestattet [67].

Insgesamt sind die im Rahmen dieser Arbeit analysierten, speziell personalorientierten Ansätze leistungsfähig. Allerdings weisen sie bezüglich Flexibilität und Universalität einige Defizite auf. In Kooperationsprojekten bestätigte sich immer wieder die Notwendigkeit, den Mensch analog zu den Anlagenkomponenten als Modellbaustein zu definieren, der flexibel an den aktuellen Stand der Planung anpaßbar ist.

Auch ein kommerzielles Simulationssystem bietet für die Modellierung des Menschen Zusatzbausteine an [87]. Diese sind ohne die konventionellen Bausteine des Systems verwendbar. Allerdings ist deren Flexibilität bezüglich des Abstraktionsgrads der Modellierung von menschlichen Aspekten gering. Auch werden hier Betrachtungsschwerpunkte gesetzt. Gruppenarbeit kann beispielsweise gut modelliert werden, ein flexibel automatisiertes Fertigungssystem hingegen weniger. Ziel ist es deshalb, ein Konzept für einen benutzerfreundlichen Bausteinkasten als Ergänzung zu einem konventionellen Universalsimulator zu entwickeln, mit dem die Einflüsse des Personals auf das Anlagenverhalten in frei wählbarem Detaillierungsgrad und Umfang auf einfache Weise untersucht werden können.

4.2.3 Verhaltensmodelle des Menschen

Das menschliche Verhalten wurde bereits vielfältig untersucht, woraus verschiedene, an bestimmte Kriterien angepaßte Verhaltensmodelle des Menschen entstanden sind. Grundlage für die Berücksichtigung des Personals in der Simulation sind Modelle für die Beschreibung der in Kap. 4.2.1 genannten Personalaspekte [50]. Diese Aspekte sind in Bild 23 verdeutlicht.

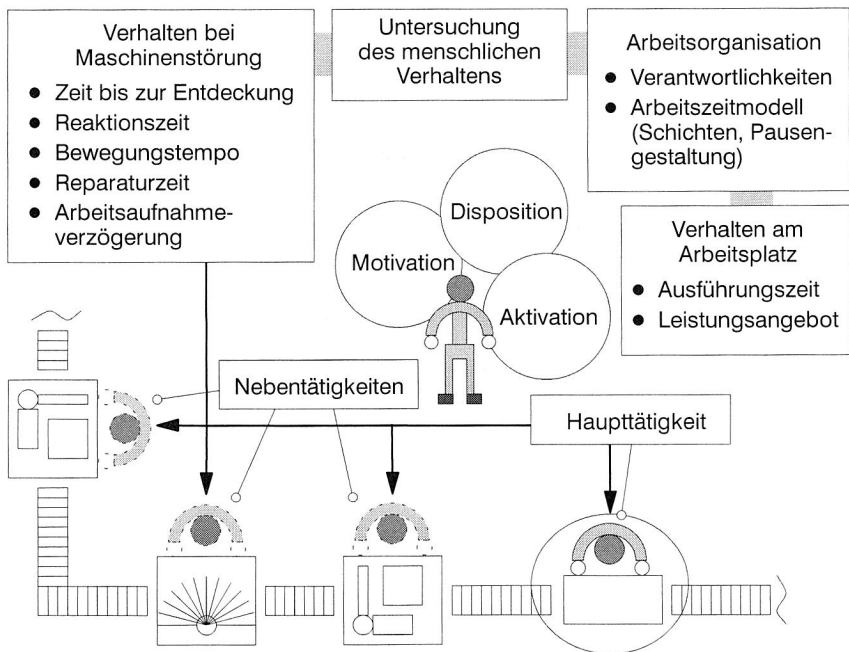


Bild 23: Relevante Untersuchungsgegenstände menschlichen Verhaltens für die Modellierung

Leistungsangebot und Ausführungszeit

Das Modell der Mensch-Umwelt-Beziehung wird als Basis angesehen, um die grundlegenden Beziehungen des Menschen bei der Arbeit und um Einflüsse und Ursachen auf unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeiten von Mitarbeitern bei Montage und Reparaturtätigkeiten zu erklären [81, 84].

Individuelle Unterschiede zwischen verschiedenen Menschen lassen sich durch das menschliche Leistungsangebot beschreiben. Dabei ist eine Differenzierung des Leistungsangebots zwischen verschiedenen Tätigkeiten notwendig. Im Modell wird deshalb diesbezüglich zwischen Haupttätigkeiten (z. B. Montage) und Umfeldaufgaben (z. B. Entstören von Automatikmodulen, Materialdisposition) unterschieden.

Untersuchungen zeigen, daß bei sensomotorischen, kontrollierenden und mentalen Tätigkeiten Leistungsschwankungen von $\pm 25\%$ zu erwarten sind [77, 83]. Diese großen Leistungsschwankungen machen in Verbindung mit einer hier vorliegenden Abhängigkeit zwischen Mensch und Maschine eine gesonderte Berücksichtigung der individuellen Leistungsvoraussetzungen der Mitarbeiter an ihren Arbeitsplätzen notwendig.

Die individuellen Leistungsvoraussetzungen des Mitarbeiters sind hier für das Arbeitsergebnis und den Beanspruchungsgrad maßgeblich. Sie werden durch die beiden Faktoren Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft bestimmt. Bei unterschiedlichen Leistungsvoraussetzungen wird das Arbeitsergebnis in Abhängigkeit vom Ausführenden ausfallen. Geeignete Arbeitsbedingungen vorausgesetzt, liefert ein qualifizierter, geschickter Mitarbeiter in der Regel mehr Teile mit besserer Qualität in der gleichen Zeit, als ein wenig qualifizierter, unerfahrener Mitarbeiter. Auf diese Weise können beispielsweise Auswirkungen von Leistungsunterschieden zwischen angelernten und qualifizierten Mitarbeitern beim Ausüben der Tätigkeiten auf das Systemverhalten analysiert werden.

Das Leistungsverhalten läßt sich durch den Leistungsgrad mathematisch beschreiben [82, 83]. Der Leistungsgrad wird nach [131] der Berechnung der Ausführungszeit zugrunde gelegt und kann auf diese Weise in das Modell eingebunden werden.

$$\text{Ausführungszeit} = \text{Vorgabezeit} \times \text{Leistungsgrad} \quad (1)$$

$$\text{mit} \quad \text{Leistungsgrad} = \frac{\text{Soll-Zeit}}{\text{Ist-Zeit}} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

Signifikante Parameter des Leistungsverhaltens, das von den individuellen Leistungsfähigkeiten und Leistungsbereitschaften bestimmt wird, sind die Motivation, die Aktivierung und die Disposition der Mitarbeiter sowie deren Umgebungsbedingungen. Diese Faktoren werden deshalb bei der Ermittlung des Leistungsgrades berücksichtigt. Um dabei den unterschiedlichen Einfluß der vier Faktoren auf das Leistungsverhalten zu berücksichtigen, werden die Faktoren gewichtet.

$$LG(t) = \frac{a_T \cdot T(t) + a_A \cdot A + a_M \cdot M + a_U \cdot U}{N_1} \quad (3)$$

a := Gewichtungsfaktor
 $T(t)$:= Disposition (Zeit)
 A := Aktivation
 M := Motivation
 U := Umgebungsbedingungen

Gewichtung	
a_T	= 2
a_A	= 4
a_M	= 4
a_U	= 1

Die Disposition (T) schwankt zwischen 1,25 und 0,75 in bezug auf die Normalleistung in Abhängigkeit von der Zeit t . Diese Schwankungen können mit Hilfe einer exponentiellen Regressionsanalyse als Funktion $f(t)$ ausgedrückt werden.

Da die Schwankung des Leistungsgrades maximal $\pm 25\%$ beträgt, müssen in der Leistungsgradfunktion (3) Normierungen vorgenommen werden. Der Normierungsfaktor N_1 ergibt sich aus der Summe der Gewichtungsfaktoren. Weil die Disposition nicht wie die übrigen Faktoren eine Schwankungsbreite zwischen 0,75 und 1,25 aufweist, stellt sich eine lineare Abweichung ein, so daß der Maximalwert des Leistungsgrades nicht erreicht wird.

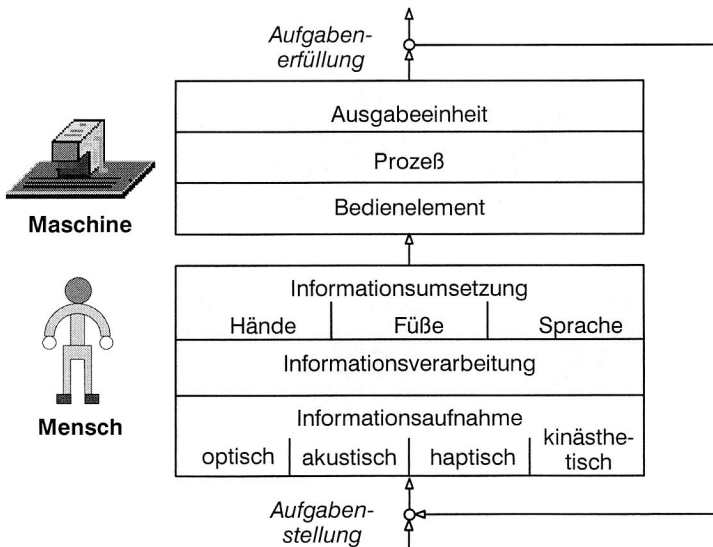


Bild 24: Mensch-Maschine-System zur Beschreibung des Informationsflusses bei Interaktionen zwischen Mensch und Maschine

Störungswahrnehmung

Modelle des Mensch-Maschine-Systems (MMS) dienen der Beschreibung des Informationsflusses beim Zusammenspiel zwischen Menschen und Maschinen, z. B. das Verhalten der Mitarbeiter bei der Wahrnehmung einer Störung [13, 39]. Ein MMS-Modell verknüpft Erkenntnisse aus der Ergonomie mit der Kybernetik und basiert auf einer regelungstechnischen Beschreibung des Verhaltens von Systemen (Bild 24) [78].

Zur Beschreibung der Wahrscheinlichkeit der Störungswahrnehmung wurden Verfahren wie z. B. ESAT (Expertensystem für Aufgabentaxonomie) oder THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) entwickelt. Sie klassifizieren beliebige Aufgaben im Mensch-Maschine-System (MMS) unter dem Gesichtspunkt der Zuverlässigkeit ihrer Durchführung [14].

Die Entdeckungswahrscheinlichkeit (p) eines Ereignisses wird wie folgt berechnet:

$$p = 1 - \text{HEP} \quad (4)$$

Die Beschreibungsfaktoren für die menschliche Zuverlässigkeit (ZK) und die Fehlerwahrscheinlichkeit (HEP) werden mit Hilfe dieser Expertensysteme bestimmt.

Dabei erfolgt in Abhängigkeit von der Arbeitsumgebung und der Aufgabenstellung eine standardisierte und reproduzierbare Aufgabenbeschreibung. Unter Berücksichtigung des zeitlichen Ablaufs der Tätigkeit wird anhand von gewichteten Performance Shaping Factors (PSF) ein Belastungsvektor des jeweiligen Mitarbeiters ermittelt. Im Belastungsvektor wird zwischen fünf verschiedenen PSFs – Aufgabentyp (PSF1), Aufgabencharakteristik (PSF2), Personalfaktoren (PSF3), Umgebungsfaktoren (PSF4) und Systemfaktoren (PSF5) – differenziert. Die Fehlerwahrscheinlichkeit (HEP) und die Zuverlässigkeitsklasse (ZK) können als Funktion aus der Schwierigkeit der Aufgabe und der Gewichtung der PSFs ausgedrückt werden [14]:

Berechnung der Zuverlässigkeitsklasse (ZK)

$$\text{ZK} = |K| \quad (5)$$

$$\text{mit} \quad K = n \cdot \log G + S1 \leq 10,0 \quad (6)$$

$$\text{und} \quad n = 1,2 \cdot G \quad (7)$$

$$\text{und} \quad G = S1 + S2 + S3 + S4 + S5 \quad (8)$$

K := berechnete Zuverlässigkeitsklasse

G := Gesamtgewicht

S1 - S5 := Gewichtung der PSFs

n := Normierungsfaktor aus Erfahrungswerten

Die Fehlerwahrscheinlichkeit (HEP) wird aus der linearen Interpolation zwischen unterer und oberer Grenze der zu errechnenden Zuverlässigkeitsklasse (ZK) gemäß dem zugehörigen HEP-Bereich ermittelt [12].

$$\text{HEP} = \text{Fract}(K) \cdot D(\text{ZK}) + \text{HEP min}(\text{ZK}) \quad (9)$$

$$\text{mit} \quad \text{Fract}(K) = K - |K| \quad (10)$$

Fract(K) := Abweichung von Zuverlässigkeitsklasse
 D(ZK) := Intervallbreite der Zuverlässigkeitsklasse
 HEP min(ZK) := minimale Fehlerwahrscheinlichkeit
 K := berechnete Zuverlässigkeitsklasse

4.2.4 Stufenkonzept zur Modellierung personalrelevanter Faktoren

In der Simulation ist die Darstellung signifikanter Einflüsse auf das zu untersuchende Systemverhalten wesentlich [49]. Mit der Zahl der bei den Betrachtungen berücksichtigten Parameter wächst die Gefahr, daß Wechselwirkungen zwischen einzelnen Parametern kaum mehr erkannt werden und gleichzeitig Unschärfen in den Ergebnissen der Simulationsexperimente auftreten.

Diese Zusammenhänge haben sich bei der Durchführung von Projekten bestätigt. Ein Top-Down-Vorgehen, d. h. von der Analyse der wesentlichen Zusammenhänge zur Betrachtung von Details, ist deshalb am effizientesten. Dies ist insbesondere bei der Modellierung des Personals der Fall, da bei der Konzeption von flexiblen Fertigungssystemen die Art des Personaleinsatzes zunächst grundsätzlich zu planen ist. Dies ist in Bild 25 für verschiedene Typen von Fertigungssystemen über den Anlagenlebenszyklus veranschaulicht.

So ist in Abhängigkeit von der geforderten Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems erst zu klären, ob und wie das Personal im System flexibel eingesetzt werden kann. Grundlage dieser Entscheidungen sind generelle Vorgaben, die eine Analyse des Grundverhaltens des Systems ermöglichen. Für diese Systembetrachtungen sind neben der Steuerungslogik und den durchlaufzeitbestimmenden Systemgrößen, wie Bearbeitungszeiten, Transportzeiten und Störzeiten, auch die Arbeitszeitmodelle von Mensch und Maschine zu berücksichtigen.

In den weiteren Detaillierungsschritten sind auch Worst-Case- und Best-Case-Analysen des Systemverhaltens durchzuführen. Ziel dieser Untersuchungen ist es, Systemkomponenten, die bezüglich des homogenen Gesamtverhaltens kritisch sind, zu identifizieren und Möglichkeiten zu ermitteln, um diese Schwachstellen zu beheben. Auch ist es hierbei erforderlich, die Einsatzalternativen des Personals genauer zu analysieren. Die Tätigkeiten des Personals sind zu modellieren und in das Verhalten der übrigen Systemkomponenten zu integrieren.

In einem weiteren Schritt können auf dieser Grundlage Feinbetrachtungen vorgenommen werden. Beispielsweise ist nun bei Vorgabe von detaillierten Produktionsplänen die Feinoptimierung des Personaleinsatzes sinnvoll und möglich. Dabei sollte die Berücksichtigung der Betrachtungsaspekte bezüglich des Personals immer auf die Aufgaben des Personals und damit die möglichen Auswirkungen der einzelnen Aspekte auf das Anlagenverhalten abgestimmt werden.

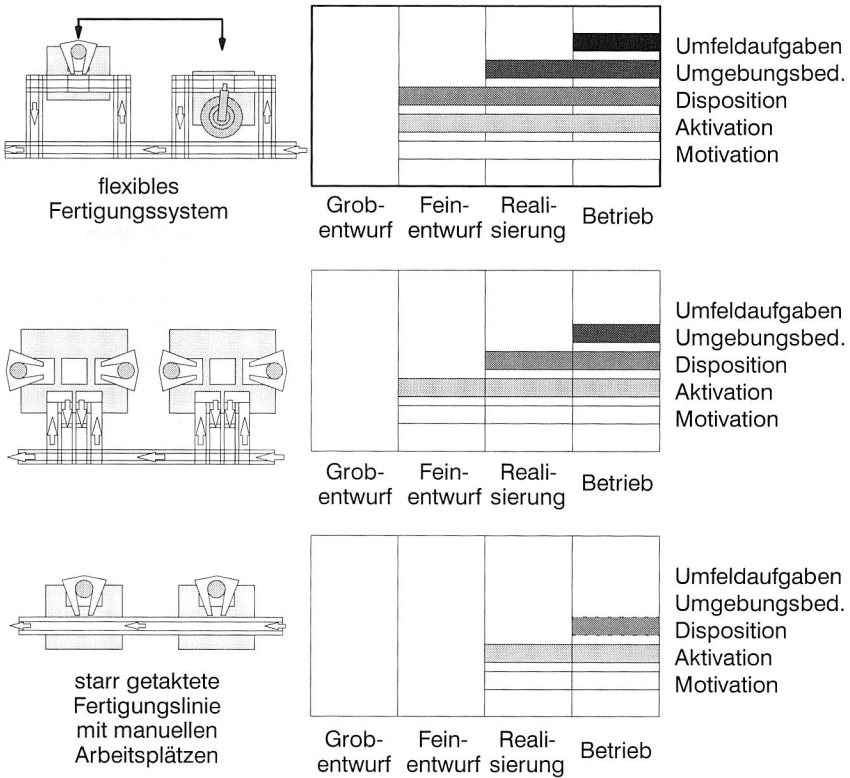


Bild 25: Schrittweise Detaillierung der Betrachtungsaspekte bei der Berücksichtigung des Personals in der Simulation

4.2.5 Aufbau des Bausteinkastens *pers-fakt*

Auf Basis dieses schrittweisen Vorgehens für die Modellierung personalrelevanter Faktoren und des erstellten Anforderungskatalogs wird ein Bausteinkasten entwickelt. Dieser beinhaltet einzelne Grundfunktionalitäten bereits realisierter Personalsimulatoren. Er wird dabei so konzipiert, daß er als Ergänzung in bestehende Simulationssysteme

steme implementiert werden kann. Damit wird eine flexible Anpassung an die spezifischen Untersuchungsziele einer Simulation ermöglicht.

Der Bausteinkasten wird so konzipiert, daß neben einer Haupttätigkeit auch verschiedene andere Zuständigkeiten definiert bzw. flexibel ergänzt werden können. Die Berücksichtigung menschlichen Verhaltens ist so angelegt, daß bei Ermittlung der signifikanten Personalaspekte ausgewählt werden kann, welche Parameter in der Simulation berücksichtigt werden sollen. Damit besteht die Möglichkeit, bestimmte Gesichtspunkte menschlicher Eigenschaften auszuklammern. Die Architektur des Bausteinkastens wird objektorientiert konzipiert. Dabei wird eine Strukturierung vorgenommen, um die Übersichtlichkeit der Modelle zu gewährleisten (Bild 26).

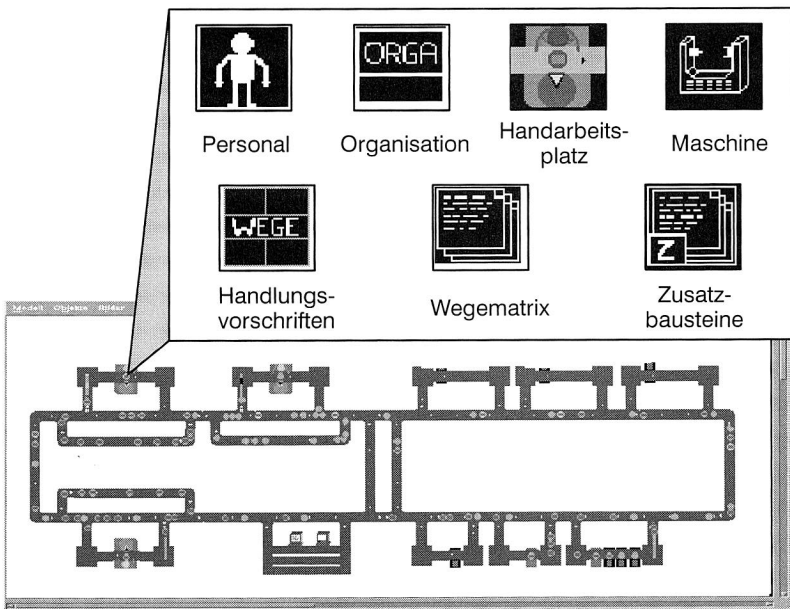


Bild 26: Strukturierung des Bausteinkastens pers_fakt

Organisation

Im Baustein Personalorganisation werden alle organisatorischen Randbedingungen, die das Personal im System betreffen, definiert (Bild 27). Zunächst ist das Arbeitszeitmodell des Systems festzulegen. Es legt die Schichten inklusive ihrer Dauer und der Pausen fest. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Umgebungsbedingungen (neutral, belastend oder fördernd), die ebenfalls bei der Ermittlung des Leistungsangebots berücksichtigt werden, zu spezifizieren.

Darüber hinaus ist die Mensch-Maschine-Zuordnung, d. h. die Zuordnung der Mitarbeiter zu bestimmten Handarbeitsplätzen oder Maschinen, und auch die Zuordnung von Umfeldaufgaben in Abhängigkeit von der Schicht festzulegen. Dies betrifft die Verantwortung für die Entstörung bestimmter Automaten oder für die Erledigung von Umfeldaufgaben, z. B. die Materialdisposition, in Abhängigkeit von der Schicht. Durch Vergabe von Prioritäten kann eine mögliche Überlappung der Zuständigkeiten mehrerer Personen geregelt werden. Dabei ist es möglich, den Betrieb einzelner Stationen in Abhängigkeit von der Schicht individuell festzulegen.

Auch können Parameter, die für die Berechnungen wichtig sind, wie die Reparaturzeiten für die einzelnen Maschinen, zentral definiert werden. Weiterhin kann über die Art der Entstörung (pufferabhängig oder -unabhängig) entschieden werden.

	1	2	3	4	5	6
1		HP1	HP2	HP3	M_1	M_2
2	2060	1	0	0	1	2
3	2061	0	1	0	2	1
4	2062	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0

Bild 27: Festlegen der organisatorischen Randbedingungen über Schaltflächen des Bausteins Organisation

Personal

Mit Hilfe des Personalbausteins werden die Mitarbeiter mit ihren individuellen Eigenschaften modelliert. Dabei werden die persönlichen Kennzeichen abgeleitet und eingetragen. Die Kennwerte dienen als Grundlage für die Ermittlung des Verhaltens des jeweiligen Mitarbeiters beim Ausüben der einzelnen Tätigkeiten.

Es werden nur grundsätzliche Elemente menschlichen Handelns modelliert, um Unschärfen in den Simulationsergebnissen infolge von Wechselwirkungen verschiedener Einflußfaktoren auf das Leistungsverhalten zu vermeiden. Deshalb sind die Aktivierung und die Leistungsmotivation in drei Stufen mit den Werten vorgelegt (0,75 für "minimal", 1 für "durchschnittlich", 1,25 für "maximal"). Die Werte können vom Benutzer in der Eingabemaske geändert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit,

den tageszeitlichen Verlauf der Disposition zu berücksichtigen. Ermüdungs- und Erholungsvorgänge sind generell bereits in der Arbeitszeit enthalten [80]. Das Leistungsangebot wird auf Basis der individuellen Einstellungen im Personalbaustein mit Hilfe eines speziellen Zusatzbausteins ermittelt und der Berechnung für die Dauer der einzelnen Tätigkeiten zugrunde gelegt. Auch besteht die Möglichkeit, Verteilzeiten für den Mitarbeiter zu definieren, um kurze Unterbrechungen der Tätigkeiten während der Arbeitszeit abbilden zu können.

Personal

Personal-Nr.

Haupttätigkeit

Aktivierung ☐ normal ☐ minimal ☐ maximal

Motivation ☐ normal ☐ minimal ☐ maximal

Unfeldaufgaben

Aktivierung ☐ normal ☐ minimal ☐ maximal

Motivation ☐ normal ☐ minimal ☐ maximal

Disposition ☐ nein ☐ ja

Personalkosten (DKVa)

OK Anwenden Abbruch

Wegmatrix

Ablage Bearbeiten Format Extra

Ablage	real	real	real	real	real	real
0	HP1	HP2	HP3	M_1	M_2	M_3
1	9.00	10.00	15.00	20.00	22.00	30.00
2	10.00	9.00	10.00	15.00	25.00	25.00
3	15.00	10.00	0.00	5.00	15.00	30.00
4	20.00	10.00	5.00	5.00	5.00	10.00
5	22.00	25.00	15.00	5.00	0.00	5.00
6	30.00	28.00	30.00	10.00	5.00	0.00
7	40.00	23.00	23.00	15.00	12.00	14.00
8	43.00	36.00	25.00	17.00	17.00	18.00

Bild 28: Definition des Personals und der Wege des Fertigungssystems

Wegematrix

Der Baustein Wegematrix dient als Grundlage für die Ermittlung der Gehzeiten des Personals, falls die einzelnen Mitarbeiter verschiedene Tätigkeiten auszuüben haben. Er legt die Entfernung der Gehwege zwischen den Modellkomponenten des betrachteten Fertigungs- bzw. Montagesystems als sogenannte "Von-Nach-Beziehung" fest.

Handlungsvorschriften

Die Bausteine der Handlungsvorschriften beschreiben die einzelnen Vorgänge und Abläufe im System, die das Personal betreffen, wie die Durchführung der Haupttätigkeit oder den Ablauf bei Störung eines Montageautomaten.

Ein Baustein führt die Initialisierung der Personalbausteine entsprechend der Eingaben bzw. der Vorgaben beim Start der Simulation durch. Eine Zeitüberwachung auf Basis des definierten Arbeitszeitmodells regelt die Unterbrechung der Arbeit bei Pausen und den Schichtwechsel. Aus der Vorgabezeit für die Durchführung des jewei-

ligen Arbeitsschritts und dem jeweiligen Leistungsgrad wird durch einen weiteren Baustein die individuelle Arbeitszeit ermittelt und an den aufrufenden Systembaustein übergeben. Die Vorgabezeit wird dabei aus dem Arbeitsplan entnommen, während der Leistungsgrad von einem Zusatzbaustein zur Verfügung gestellt wird.

Bei Störung eines Montageautomaten wird ein Baustein aktiviert, der den durchführenden Mitarbeiter und die Dauer der Störung (MTTR) ermittelt und das Ergebnis dem aufrufenden Baustein übergibt. Es wird hierfür ein schrittweises Vorgehen implementiert, das zunächst die zuständigen Mitarbeiter bestimmt. Dann wird die Entstörerlaubnis in Abhängigkeit von den Pufferfüllständen erteilt und der Mitarbeiter unter Berücksichtigung der Prioritäten und des Entstörungswillens ermittelt. Schließlich wird die Entstörung durchgeführt.

Zusatzbausteine

Zusatzbausteine stellen besondere Routinen zur Verfügung, die Zuständigkeiten regeln und Berechnungen durchführen. Die Ergebnisse werden den aufrufenden Bausteinen übermittelt. Beispielsweise wird der individuelle Leistungsgrad eines Mitarbeiters zu einem bestimmten Zeitpunkt in Abhängigkeit von den aktuellen Parametereinstellungen für die Aktivierung, die Motivation, die Disposition und die Umgebungsbedingungen mit Hilfe der Formel (3) berechnet. Für die Berechnung der Zeitdauer bis zur Wahrnehmung einer Störung wird hier das Verfahren ESAT nach [12] (Kap. 4.2.3) genutzt. Die Handlungsentscheidung eines zuständigen Mitarbeiters bei einer Maschinenstörung ist so konzipiert, daß verschiedene Gesichtspunkte für die Entscheidung, wie der Vergleich der Leistungsgrade bei Normal- und Entstörtätigkeit, der aktuelle Aufenthaltsort sowie die Entstörzeit, berücksichtigt werden können.

Handarbeitsplatz und Maschine

Die neu entwickelten Bausteine von pers_fakt müssen mit den Arbeitsstationen bzw. Maschinen im Modell interagieren können. Deshalb wird der Baustein, der eine Maschine repräsentiert um Methoden erweitert. Es entsteht damit ein Baustein Handarbeitsplatz und ein Baustein Maschine, die in der Lage sind, die möglichen Ereignisse zu repräsentieren und die deren Koordination unterstützen.

4.3 Integration von funktionalen und betriebswirtschaftlichen Entscheidungsgrundlagen durch die Simulation

Im Gegensatz zu statischen, produktorientierten Methoden zur Schätzung der Kosten können unter Nutzung der Simulationstechnik die Kosten für eine geplante Produktion genauer ermittelt werden. Aufbauend auf den Ergebnissen einer Analyse zur Ermittlung von Produktionskosten entsteht ein Stufenkonzept für simulationsbasierte Kostenbetrachtungen.

4.3.1 Motivation für simulationsbasierte Kostenbetrachtungen

Bei der Konzeption und Einführung von Produktionssystemen sind heute Entscheidungen in einem Spannungsfeld zwischen technischen, kaufmännischen und arbeitnehmerischen Anforderungen zu treffen. Für den Produktionsplaner wird es immer wichtiger, die Kostenentstehung gezielt zu beeinflussen, entscheidungsorientierte und verursachungsgerechte Kostennachweise zu ermöglichen und den kostenrelevanten Datenbestand der Fertigungssteuerungen zu nutzen [25]. Auf diese Weise gelingt es, Rationalisierungseffekte bei der Produktionsplanung dual zu erschließen (Bild 29).

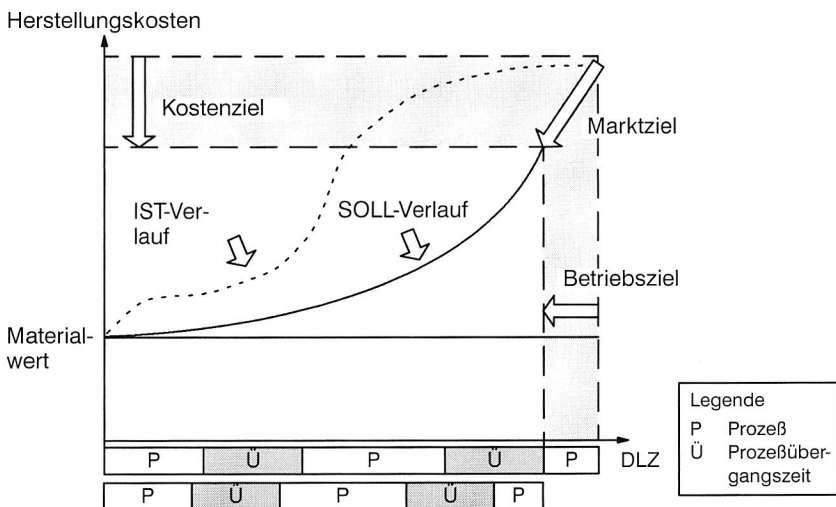


Bild 29: Duales Optimierungspotential durch Straffung der Wertschöpfungskette (nach [23])

Bei der Bewertung komplexer Technologien sollte auch in der Planungsphase ein koordiniertes, sich gegenseitig unterstützendes Handeln zwischen technischem und kaufmännischem Bereich möglich sein. Gordon Shillinglaw motiviert entsprechend die Ermittlung von Herstellkosten ex-ante, da das Management Produkt- und Produktionsentscheidungen auf Basis prognostizierter Kosten und Erlöse trifft [119]. Ziel ist es, dem Bediener ein Instrumentarium an die Hand zu geben, das es ihm ermöglicht, unabhängig von einem detaillierten Verständnis betriebswirtschaftlicher Zusammenhänge wirtschaftliche Bewertungen durchzuführen.

Mit Hilfe der Simulation können die zeitbehafteten Einflußfaktoren auf den Werteverzehr unabhängig von der Realität auch ex-ante sehr genau ermittelt werden. Die Simulation kann deshalb auch die betriebswirtschaftliche Entscheidungsfindung

fundiert unterstützen. Voraussetzung hierfür ist die Konzeption eines geeigneten simulationsbasierten Instrumentariums.

Der Nutzen, der aus der Bereitstellung eines solchen Instrumentariums resultiert, ist vielfältig: Mit Hilfe einer zeitnahen Kostenrechnung kann ein Wirtschaftlichkeitsnachweis der Produktionssysteme erbracht werden. Durch eine zweckorientierte Auswahl von Bewertungsverfahren wird hierbei eine verursachungsgerechte Kostenverteilung und Leistungsverrechnung unter Abbau fehlerhafter Bezuschlagung realisiert. Zusätzlich wird die Darstellung der beeinflussbaren Kostenanteile verbessert.

4.3.2 Anforderungen an Methoden zur betriebswirtschaftlichen Bewertung von Produktionssystemen

Um ein leistungsfähiges Instrumentarium bereitzustellen, ist ein umfassender, flexibel erweiterbarer Ansatz zu entwickeln. Dabei sind nicht nur geeignete Verfahren für den Wirtschaftlichkeitsnachweis bereitzustellen, sondern auch die Entscheidungsprozesse transparent zu gestalten und alle kostenrelevanten Daten zu erfassen, die sowohl für die Investitionsplanung als auch für die Kostenrechnung erforderlich sind. Gleichzeitig muß die Möglichkeit geschaffen werden, die Daten universell zu nutzen, wie z. B. für die Stückkostenkalkulation, die Preisfindung oder den Soll-Ist-Vergleich.

Eine verursachungsgerechte Kostenrechnung sollte sich an den Funktionen, die zur Erstellung des Produktes erforderlich sind, orientieren. Hier ist die Fertigung nicht isoliert, sondern in Verbindung mit den vor- und nachgelagerten Bereichen zu betrachten. Aufgrund des möglicherweise hohen Anteils der Fixkosten ist es erforderlich, die Gemeinkosten differenziert nach dem Verursachungsprinzip zu verrechnen. Bei Bedarf sollte die Möglichkeit bestehen, die Kosten auf die Produkte umzulegen.

Dementsprechend sollten unterschiedliche Systemgrenzen und Bewertungsansätze zur Wahl stehen. Zusätzlich sind die Kostendaten so darzustellen, daß eine Kongruenz zwischen der unternehmerischen Zielsetzung und dem wirtschaftlich quantifizierenden Bewertungsschema entsteht. Darüber hinaus sind nicht nur die Berechnungsgänge feiner zu differenzieren, um eine verursachungsgerechtere Kostenzuteilung zu erreichen, sondern auch die ermittelten Kosten, um die jeweilige Entscheidungsrelevanz zu verdeutlichen. Gleichzeitig sollte eine Kostenbewertung auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen durchgeführt werden können.

Dazu muß es neben dieser hohen Detaillierung bei der Kostenberechnung auch möglich sein, die Nutzung der betrachteten Systemkomponenten über eine einzige Bezugsgröße zu verrechnen. Grundvoraussetzung ist hierfür, entgegen der konventionellen betrieblichen Praxis, eine Datenkonsistenz der technischen und betriebswirtschaftlichen Bewertung von der Planungs- bis zur Betriebsphase zu realisieren (Bild 30).

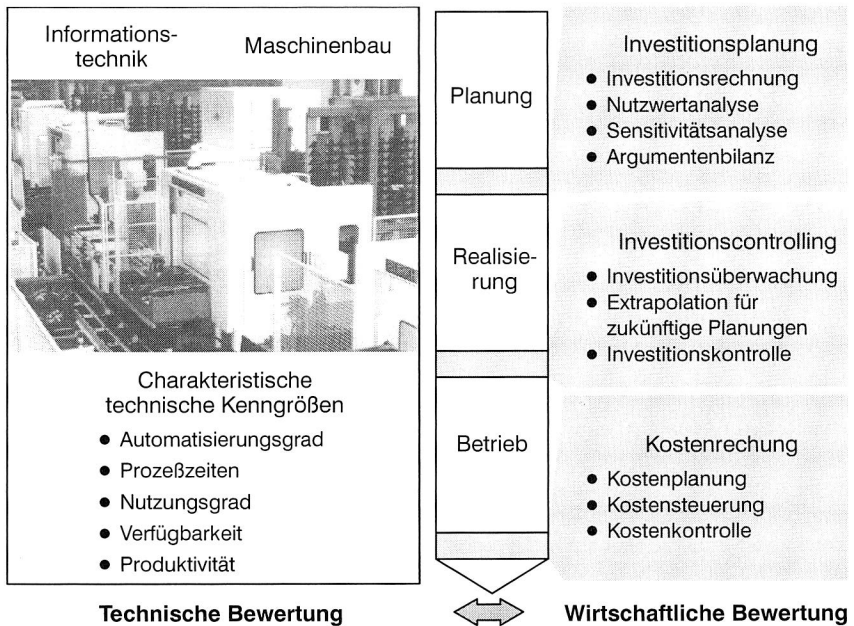


Bild 30: Technische und wirtschaftliche Bewertung flexibler Fertigungssysteme

Auch sind die ermittelten Kosteninformationen graphisch aufbereitet zu präsentieren, um einen guten Überblick und einen Kostenvergleich zu ermöglichen.

Für die Dokumentation der Entwicklung der Herstellungskosten eines Produkts oder Auftrags im Laufe der Produktion können zeitbezogene Wertzuwachskurven verwendet werden. Sie zeigen den Einfluß von zeit- und qualitätsbezogenen Faktoren auf die Stückkostenentwicklung.

Grundlage hierfür ist die Aufzeichnung wichtiger Kennzahlen für das Produktionsmanagement, wie z. B. die tatsächliche Durchlaufzeit eines Auftrages, der schrittweise Wertzuwachs, bestehend aus Material- und Veredelungsanteilen, sowie Aufwendungen für Ausschuß und Nacharbeit, die unproduktiven Zeitanteile (z. B. Liegezeiten) und die Höhe der Kapitalbindung (Bild 31).

Weiterhin können Kennzahlen die Beurteilung und Entscheidungsfindung unterstützen. Hierfür sind die Funktionen zur Ermittlung der Kennzahlen, wie Deckungsbeitrag, Kapitalbindung, Amortisationszeit oder Gewinn, zu hinterlegen und die Verknüpfungen zu den jeweils benötigten Kostendaten herzustellen.

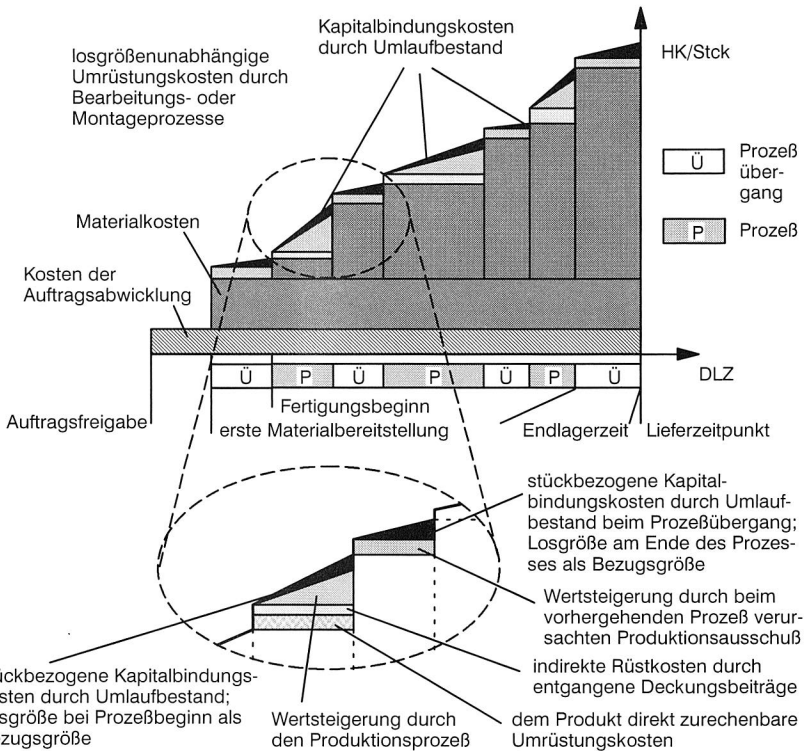


Bild 31: Dokumentation der Herstellungskosten eines Produktes mit zeitbezogenen Wertzuwachskurven [105]

4.3.3 Analyse von alternativen Kostenrechnungssystemen

Die Auswirkung neuer Technologien auf die Kostenrechnung wurde bereits vielfältig untersucht und aufbauend auf den dabei ermittelten Erkenntnissen Ansätze zur geeigneteren Verrechnung entwickelt [60, 132]. Entsprechend der in Kap. 4.3.2 definierten Anforderungen ist ein Kostenrechnungssystem, wie die Prozeßkostenrechnung und die funktional-differenzierte Kostenrechnung, erforderlich, welches die Gemeinkostenanteile verursachungsgerecht auflöst.

• Prozeßkostenrechnung

Die Prozeßkostenrechnung ist kein völlig neues Kostenrechnungssystem. Sie basiert auf der Kostenarten- und Kostenstellenrechnung, wobei einzelne Veröffentlichungen Parallelen zur Grenzplankostenrechnung darstellen [38, 96].

Haupteinsatzgebiet der Prozeßkostenrechnung sind die fertigungsunterstützenden Bereiche. Es werden alle in einem Unternehmen erbrachten Leistungen als Prozesse definiert und der jeweilige Leistungsverzehr auf Vollkostenbasis erfaßt, wobei mehrere Ziele verfolgt werden [26]. Insgesamt ermöglicht die Prozeßkostenrechnung eine verursachungsgerechte Kostenzuordnung in den indirekten Bereichen. Allerdings sollte sie aufgrund der in Bild 32 dargestellten Defizite im Rahmen von flexiblen Fertigungssystemen nicht uneingeschränkt, sondern unter Berücksichtigung der Bewertungsaufgabe zusammen mit anderen Kostenrechnungssystemen zur Anwendung kommen.

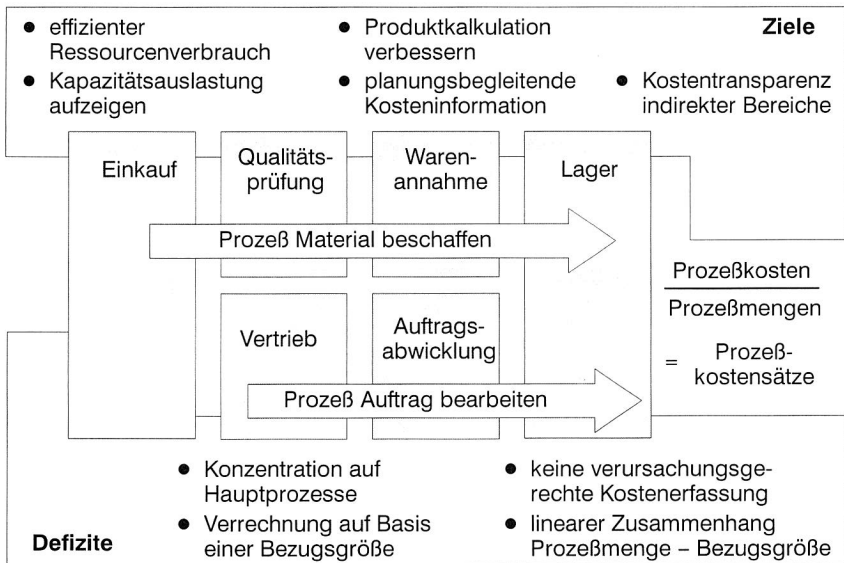


Bild 32: Prinzip der Prozeßkostenrechnung und Schwächen beim Einsatz im produktiven Bereich (nach [116])

- Funktional-differenzierte Kostenrechnung

Ebenso wie die Prozeßkostenrechnung nutzt die funktional-differenzierte Kostenrechnung die weit verbreitete Gliederung der betrieblichen Kostenrechnung in Kostenarten-, Kostenstellen- und Kostenträgerrechnung auf Vollkostenbasis. Grundgedanke der differenzierten Kostenbewertung ist es, alle beim Produktionsprozeß anfallenden Kostenarten separat und detailliert zu erfassen, diese verursachungsgerecht auf die Kostenträger zu verrechnen und damit eine Kostenkontrolle einzelner Funktionen bei der Produktherstellung zu ermöglichen. Deshalb ist sie für eine Produktkalkulation geeignet. Bild 33 zeigt eine mögliche Differenzierung eines Produktionssystems anhand der funktional-differenzierten Kostenrechnung.

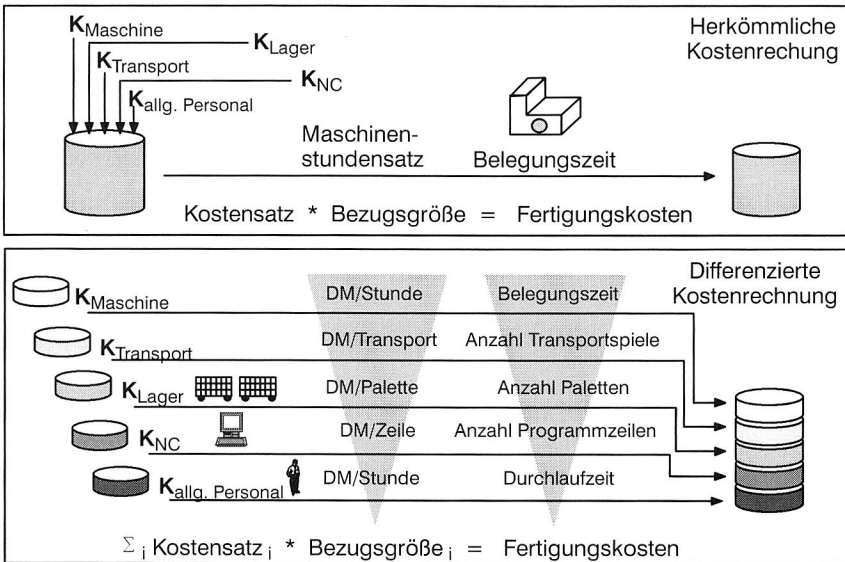


Bild 33: Prinzip der funktional-differenzierten Kostenrechnung (nach [27])

Im Gegensatz zur herkömmlichen Kostenrechnung, bei der die Fertigungskosten einzig über die Systembelegungszeit und den Systemstundensatz ermittelt werden, orientiert sich hier die Bewertung an den zur Herstellung eines Produktes erforderlichen Unternehmensfunktionen innerhalb der Wertschöpfungskette. Den Funktionen werden weitere Elemente wie Produktionsfaktoren, ressourcenspezifische Verbrauchsfunktionen und Bezugsgrößen zugeordnet.

Ziel ist es, den Gemeinkostenblock so weit wie möglich aufzuschlüsseln, um eine verursachungsgerechte Kostenzuteilung je Kostenplatz zu gewährleisten und eine Kostenkontrolle einzelner Funktionen bei der Produkterstellung zu ermöglichen und damit die Kostentransparenz und die Beeinflussbarkeit einzelner Kostenanteile zu erhöhen.

Voraussetzung für die Anwendung der Verfahren ist die Bildung verursachungsgerechter Kalkulationssätze und die Erfassung zusätzlicher Daten, wie z. B. die Durchlaufzeit. Dies ist ex-ante mit Hilfe der Simulation möglich. Der Bewertungsansatz, der für die Anlagen- und Maschinenauswahl ausgelegt wurde, ermöglicht die differenzierte Berücksichtigung der technischen Vor- und Nachteile der verschiedenen Systemkonzepte in der Kostenrechnung. Darüber hinaus wird die Einleitung gezielter Maßnahmen zur Veränderung der Produktionsabläufe unterstützt.

4.3.4 Erörterung bestehender Ansätze für simulationsbasierte Kostenbetrachtungen

Verschiedene Autoren sehen die simulationsgestützte Entscheidungsfindung unter Berücksichtigung von Kosten als primäres Ziel der Informationstechnologie [22, 28]. Grundsätzlich kann die simulationsbasierte Kostenberechnung auf unterschiedliche Weise durchgeführt werden.

Sie kann simultan zum Simulationslauf erfolgen oder aber erst nach dessen Beendigung angestoßen werden. Eine simultane Kostenberechnung unterstützt die Online-Verfolgung der Kostenentwicklung, wobei allerdings die Gemeinkosten bei variablem Ausbringungsverhältnis nur ungenau zugeteilt werden können. Deshalb sollte diese Art der Kostenberechnung nur für die Ermittlung des ungefähren Kostenverlaufs herangezogen werden. Erst nach Beenden eines Simulationslaufes ist eine abschließende Kostenrechnung auf Basis eines genauen Ausbringungsverhältnisses durchführbar. Während die im System erbrachten Leistungen grundsätzlich vom Simulationssystem ermittelt werden müssen, kann die eigentliche Kostenrechnung, also die Verknüpfung mit den Kostensätzen, sowohl simulationsintern als auch außerhalb des Simulationssystems erfolgen (Bild 34).

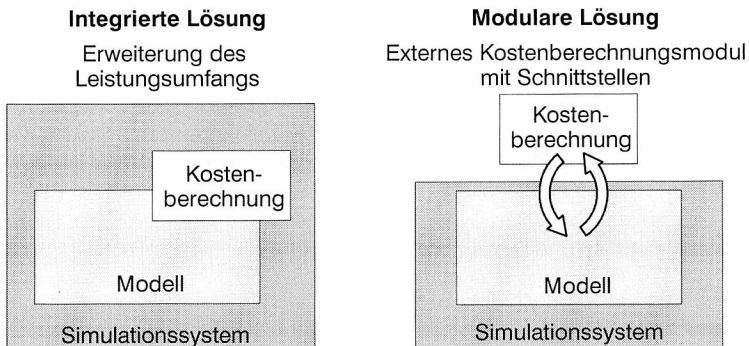


Bild 34: Alternativen zur Realisierung simulationsbasierter Kostenbetrachtungen

Nur wenige der marktgängigen Simulationssysteme bieten Funktionen zur Kostenberechnung. Diese beschränken sich allerdings im wesentlichen auf die Maschinenstundensatzrechnung, weshalb sie vor allem Defizite bezüglich ihrer Leistungs- und Aussagefähigkeit aufweisen. Umfassendere Konzepte zur Kostenberechnung in der Simulation, die bisher entwickelt und realisiert wurden, entstanden jeweils auf Basis spezieller Simulatoren. Die am häufigsten publizierten Ansätze werden im Rahmen dieser Arbeit näher analysiert.

Ein Kostenrechnungsansatz wurde für den Fertigungssimulator OSIRIS, der auf SIMPLEX II basiert, entwickelt [55]. Der Ansatz ist komponenten- und zustandsorien-

tiert. In jeden Baustein ist ein spezieller Kalkulationsalgorithmus, der an die jeweiligen Eigenschaften angepaßt ist, integriert. In Abhängigkeit von Art und Dauer der Zustände, in denen sich die einzelnen Werkstücke befinden, werden die einzelnen kalkulierten Kosten mit einem speziellen Kostenattribut der Werkstücke additiv verrechnet (Bild 35).

Der Zugriff auf extern abgelegte bzw. in vorherigen Kalkulationen ermittelte Kosteninformationen ist zwar möglich [56], allerdings nur per Filetransfer realisierbar. Zusätzlich können die integrierten Kostenberechnungsalgorithmen nicht beliebig modifiziert und an die verschiedenen Eigenschaften der unterschiedlichen Fertigungsstrecken bzw. sämtliche gewünschte Auswertungskonzepte und -verfahren angepaßt werden. Auch werden die Daten in einem unübersichtlichen zweistufigen Verrechnungsalgorithmus verknüpft. Änderungen des Kalkulationsalgorithmus müssen daher auf mindestens zwei Ebenen durchgeführt werden: Einerseits lokal, da die Kosten auf der Ebene der einzelnen Modellelemente erfaßt werden, andererseits an der übergeordneten Summenfunktion, die alle ermittelten Kosteninformationen zusammenfaßt.

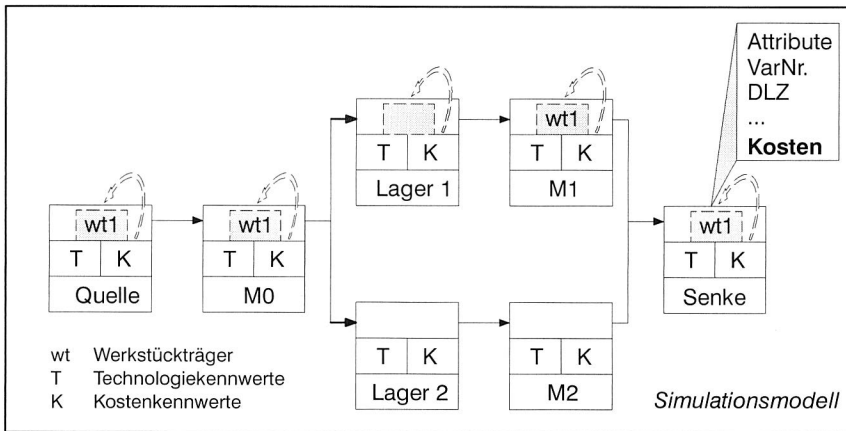


Bild 35: Kostenbewertung anhand von in Modellkomponenten integrierte Kostenfunktionen

In das Simulationssystem GISA (Graphisch Interaktive Simulation und Animation) wurde ein Kostenrechnungsprogramm integriert, mit dem sich der Werteverzehr einer simulierten Produktionsanlage rechnergestützt erfassen läßt. Die Beanspruchung der einzelnen Ressourcen der Anlage wird dabei anhand der Simulationsergebnisse ermittelt: Alle während des Produktionsprozesses anfallenden Kosten werden separat und detailliert erfaßt und verursachungsgerecht auf die Kostenträger verrechnet. Die Eingabe der einzelnen Daten, anhand derer die jeweiligen Kostenverrechnungssätze gebildet werden, erfolgt dabei über menügesteuerte Kalkulationsblätter [28] (Bild 36).

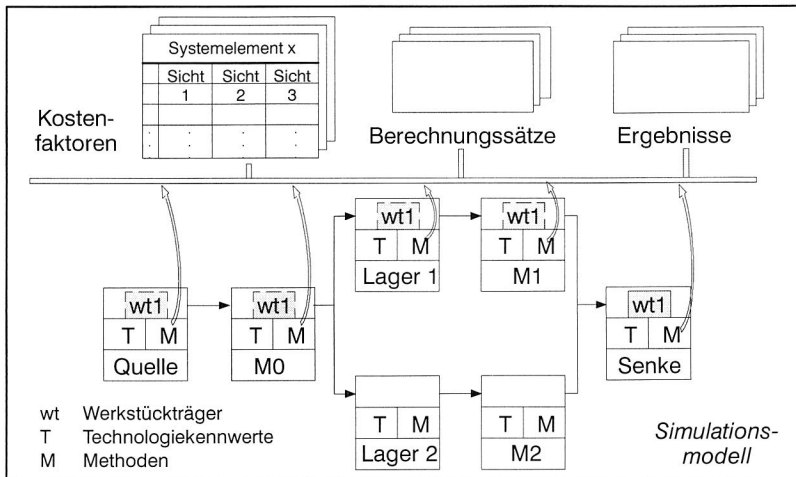


Bild 36: Simulationssysteminterne Kostenbewertung durch spezielle Modellkomponenten

Bei diesem Konzept können zwar die entstehenden Kosten auf die einzelnen Kostenträger und Kostenstellen sehr fein aufgeschlüsselt und zugewiesen werden, jedoch sind nur anhand der vorgegebenen Kalkulationsblätter Kostenanalysen durchführbar. Zusätzlich beschränkt sich die Kostenbewertung auf das Ressourcenverfahren.

Bei den beiden in ein Simulationssystem integrierten Lösungsansätzen kann die Kostenberechnung individuell an die aktuellen Ziele angepaßt und zusätzlich auf Basis der gleichen Programmkonstrukte wie das herkömmliche Simulationsmodell erstellt werden. Allerdings sind kostenspezifische Parameter direkt im Simulationsmodell zu berücksichtigen und deshalb auch explizit zu initialisieren.

Zusätzlich ist die Kostenberechnung kaum portierbar. Die berücksichtigten kostenspezifischen Daten müssen bei Veränderung aktualisiert werden. Bei manueller Eingabe stellt dies einen zusätzlichen Unsicherheitsfaktor bezüglich der Datengenauigkeit und -zuverlässigkeit dar. Auch die Ergebnisse der Kalkulation werden von systeminternen Variablen festgehalten. Unabhängig davon ist die Präsentation der Ergebnisse, die systemintern oder -extern erfolgen kann. Allerdings ist die interne Ergebnisdarstellung abhängig von der Leistungsfähigkeit des verwendeten Simulationsprogramms.

Bei der Prozeßkostensimulation von Produktionsanlagen durch das System KOSIMO (Kostenanalyse bei Simulationsmodellen) wird der während einer Simulation anfallende Ressourcenverbrauch unter Berücksichtigung der aktuellen Auslastungssituation ermittelt, bewertet und den Aufträgen prozeßorientiert zugeordnet [124] (Bild 37).

Durch ein externes Modul zur Kostenberechnung ist diese Lösung offener und seine Nutzungsmöglichkeiten sind generell vielfältiger. Zwar können bei diesem Konzept die unterschiedlichsten Kostenarten berücksichtigt werden, jedoch wird der Anwender auch hier auf nur einen Berechnungsansatz festgelegt.

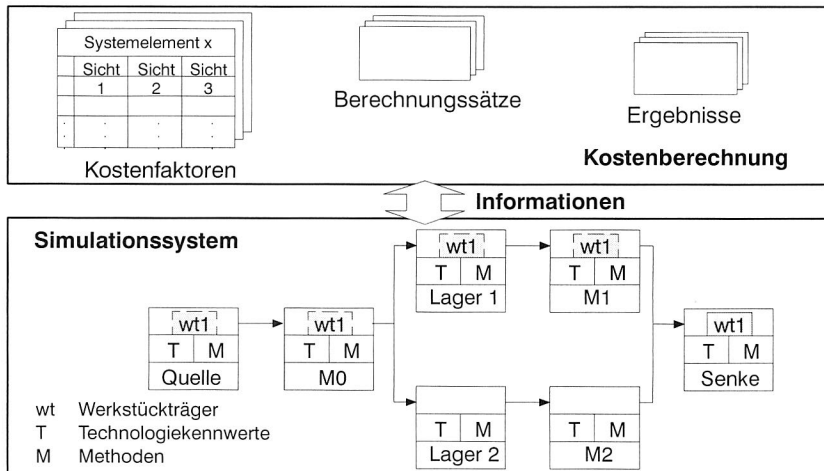


Bild 37: Kostenbewertung in einer externen Komponente auf Basis des simulierten Ressourcenverbrauches

Diese in Ansätzen vorgestellten Konzepte zur simulationsdatengestützten Kostenerfassung sind zwar leistungsfähiger als die Kostenbewertung in marktgängigen Simulationssystemen, weisen jedoch immer noch einige wesentliche Defizite auf. Beispielsweise ist die Erfassung von kostenverursachenden Leistungen und von Produktkosten ungenau. Darüber hinaus weisen diese Systeme eine geringe Flexibilität bezüglich der Erweiterbarkeit, dem Datenaustausch und der Ergebnisdarstellung auf.

Insbesondere können die für die Simulation und Kostenbewertung notwendigen Daten nicht auf einfache und flexible Weise von anderen Datenquellen übernommen werden. Der Benutzer ist eingeschränkt in der Wahl der Modellelemente bzw. kann nur die angebotenen Eigenschaften zur Abbildung der zu untersuchenden Fertigungsstrecke nutzen. Auch ist die Auswertung der Simulationsdaten und Kosteninformationen fest vorgegeben. Außerdem lassen sich die Systeme vor allem aufgrund ihrer engen Bindung an bestimmte Simulationssysteme nicht in beliebige Fertigungsplanungs-umgebungen integrieren.

Es ist aus den genannten Gründen ein Konzept zu entwickeln, das es ermöglicht, auch auf Basis kommerzieller Simulationssysteme eine flexible betriebswirtschaftliche Bewertung der Simulationsergebnisse durchzuführen.

4.3.5 Konzeption und Realisierung des Bausteinkastens cost

Analog zum im Kap. 4.2 beschriebenen Bausteinkasten *pers-fakt* wird ein Bausteinkasten *cost* für die simulationsbasierte Kostenerfassung konzipiert und realisiert, der die in Kap. 4.3.2 definierten Anforderungen erfüllt. Ziel ist es dabei, in einem ersten Schritt einen internen ereignisgesteuerten Kostenkalkulator zu realisieren, dessen Konzept aber gleichfalls eine Implementierung als externes und damit flexibleres simulationsbasiertes Kostenberechnungssystem erlaubt.

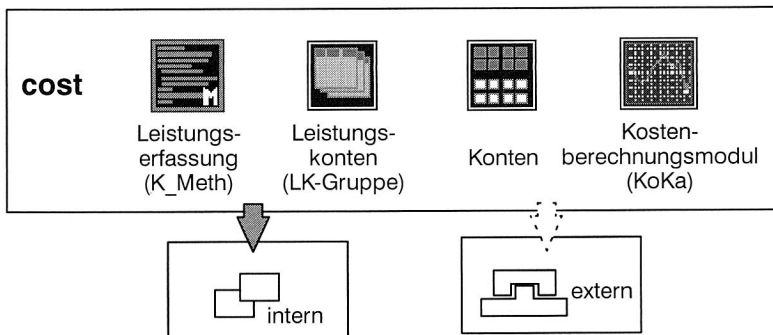


Bild 38: Flexibel implementierbare Module des Bausteinkastens *cost*

Der Bausteinkasten besteht aus mehreren Bausteinen, die jeweils eine spezielle Funktionalität bereitstellen (Bild 38). Die Bausteine K-Meth, LK-Gruppe und Konten dienen dazu, betriebstechnische Informationen, die für die Kostenberechnung benötigt werden, mit Hilfe der Simulation strukturiert zu erfassen und auszuwerten. Dabei werden die vom Kostenträger in Anspruch genommenen Leistungen auf einem Konto geführt und die Kosten mit Hilfe der zugehörigen Leistungssätze ermittelt (Bild 39).

Kostenberechnungsmodul

Das Netzwerk KoKa ist das interne Kostenberechnungsmodul. Es enthält Tabellen und Methoden zur Kostenberechnung. Diese sind so definiert, daß die Art und der Detaillierungsgrad der Berechnung vom Benutzer festgelegt werden können. Der Anwender kann selbst die jeweils relevanten Kostenfunktionen, die mit geeigneten Kostenparametern zu belegen sind, aktivieren.

Dabei stehen drei verschiedene Sichten zur Wahl. Die Systemsicht ermittelt die Kosten für das Gesamtsystem. Demgegenüber erlaubt es die Produkt- bzw. Auftragsicht, die Herstellungskosten für die Produkte einer Variante bzw. für einen Auftrag zu ermitteln.

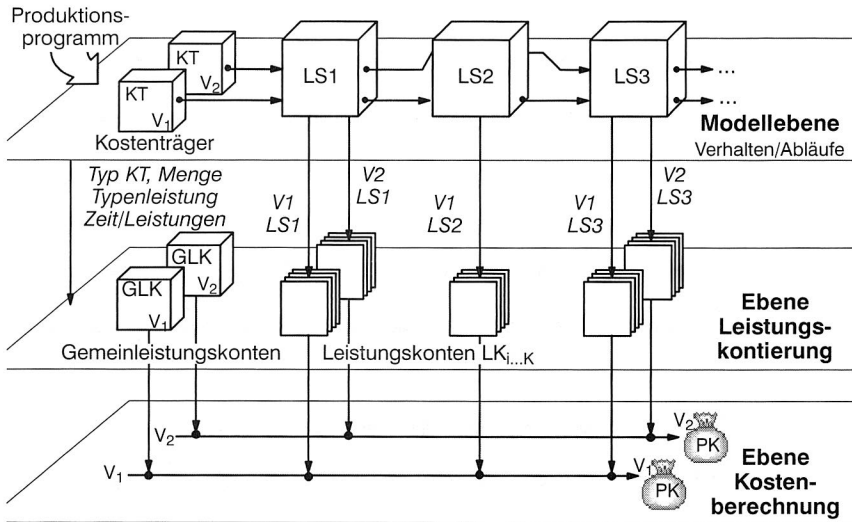


Bild 39: Ebenenkonzept für die simulationsbasierte Kostenberechnung

Aus den betriebstechnischen Zeit- und Mengengrößen werden mit Hilfe von Kostenfaktoren des Rechnungswesens (Tabelle 1) und hinterlegten Berechnungsfunktionen betriebswirtschaftliche Kenngrößen ermittelt. Die ereignisgesteuerte Kostenrechnung (activity-based cost accounting) dient der verbrauchsgesteuerten Zuordnung von Gemeinkosten [19]. Die Produkt- und kundenspezifische Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung (unit cost calculation, unit contribution margin) ermöglicht die optimale Kostenkontrolle bei verschiedenen Produkten oder Produktvarianten. Eine wertzuwachsbildende Kostenintegration ermöglicht die Ermittlung von prozeßbezogenen Individualkosten der Produktionseinheiten.

Für die verschiedenen Leistungsstellen sind unterschiedliche Einflußfaktoren für den produktbezogenen Wertzuwachs relevant. Hierfür werden jeweils spezielle Leistungskonten definiert (Tabelle 2).

Ein Problem bei der Ermittlung der jeweils durch einen Kostenträger in Anspruch genommenen Leistung ist die anteilige Nutzung von Leistungsstellen. Dies betrifft beispielsweise Maschinen mit Parallelbearbeitung, Transportsysteme, die verschiedene Mengen und Typen gleichzeitig aufnehmen können, und Lager. Insbesondere verschärft sich die Problematik, wenn nicht nur die Mengen und Typen, sondern auch die Dauer der durch den Kostenträger in Anspruch genommenen Leistung variabel sind. So kann es vorkommen, daß zwei gleichartige Produkte zwar gleichzeitig eingelagert werden, die Zeitpunkte für die Auslagerung aber verschieden sind.

Produktionskosten	Wertzuwachsbildende Kosten		Enthaltene Kosten
Kosten der zugeführten Leistungen	K_M	Maschinenbelegung	<u>fixe Maschinenkosten</u> z. B. kalkulatorische Abschreibungen kalkulatorische Zinsen, Raum-, Versicherungs- und Anlagenmietkosten, anteilige Steuern <u>variable Maschinenkosten</u> z. B. Betriebsmaterial-, Instandhaltungs-, Betriebsmittel-, Energiekosten
	K_{SP}	Systemperipherie	z. B. Logistikkosten/dispositive Kosten, Aufwendungen für den Leitstand, sekundäre Produktionsfaktoren
	K_L	Lagerhaltung	z. B. Anschaffungs-/Betriebskosten
	K_T	Transport	z. B. Bereitstellungskosten
	K_P	Personal: direkte Tätigkeiten	z. B. Bearbeiten, Montage, Prüfen, Verpacken
	K_{PI}	Personal: indirekte Tätigkeiten	z. B. Überwachung, Anlagenbedienung
Einzelkosten	K_{FM}	Fertigungsmaterialien	z. B. Roh-, Norm-, Zukaufteile
	K_{HM}	Hilfsmaterialien	z. B. Kühlflüssigkeiten, Chemikalien
system- und variantenspezifische Kosten	K_{RD}	direktes Rüsten	Rüstvorgänge in der Hauptzeit
	K_{RI}	indirektes Rüsten	hauptzeitparallele Rüstvorgänge
	K_A	Ausschuß	Kosten durch Reinigung, Entsorgung
	K_F	Fehler	Nachbesserung, Reparatur, Umtausch
Kapitalbindung	K_{KU}	Kalkulatorische Zinsen	Kapitalbindung durch Umlaufbestand

Tabelle 1: Einflußfaktoren auf den produktbezogenen Wertzuwachs

Leistungsstelle	Spezifikation	Leistungskontos
automatische Station	Bearbeitung Handhabung Montage, Prüfung	$K_{SR}, K_M, K_{FM}, K_R, K_{MA}, K_A, K_F$
Handarbeitsplatz	Montage Prüfung Reparatur	$K_{SR}, K_M, K_{FM}, K_R, K_{MA}, K_A, K_F$
Transportmittel	Fahrzeug Transportband Handhabung	K_{SR}, K_T, K_P
Lager	Warenlager Materiallager Pufferplatz	$K_{SR}, K_L, K_P, K_{PI}, K_{FM}$
allgemeiner Arbeitsplatz	Leitstand Wartung Instandhaltung	$K_{SR}, K_M, K_R, K_{HM}, K_{RI}$

Tabelle 2: Zuordnung von Kosten zu Modellelementen

In solchen Fällen sind also die im System bewegten Elementareinheiten, die für jedes Produkt unterschiedlich sein können, wie z. B. Einzelprodukt oder eine mit mehreren gleichartigen Produkten bestückte Palette, wesentlich. Für diese Elementareinheiten müssen die Ein- und Austrittszeitpunkte bezogen auf die jeweilige Leistungsstelle und deren aktuelle Auslastung ermittelt werden, die dann in die Kostenberechnung einfließen. Hingegen müssen die Kosten eines Lagers, das sich außerhalb der Grenzen des Modells befindet, als Gemeinkosten verrechnet werden.

Die Kosten werden in Tabellen abgelegt. Für jede Sicht sind spezielle Berechnungen definiert, die eine bestimmte Zuordnung der Kosteninformationen erfordern. Deshalb werden für jede Sicht spezielle Ergebnistabellen definiert, die auch die Ermittlung von Wertzuwachskurven ermöglichen.

Konten

Im Baustein Konten sind eine Kontogruppe GK für die Erfassung der Gemeinkosten und eine variable Anzahl an Kontogruppen für die Erfassung der im System für die Herstellung der Varianten erbrachten Leistungen enthalten. Die Anzahl der Konten kann über die Variable AnzVers, die der Anzahl der gefertigten Varianten entspricht, festgelegt werden. Verschiedene Methoden steuern und überprüfen die Einträge in die Listen.

Die Anzahl der Listensätze, die durch die Produkte, Varianten und Aufträge sowie durch einen Satz Gemeinkonten bestimmt wird, ist bei Erstellung des Simulationsmodells festzulegen. Dabei wird die Länge der Listen variabel gehalten, um eine flexible Anpassung an die Modellgröße zu erreichen und die Ressourcen bedarfsgerecht zu nutzen. Dies macht allerdings eine dynamische Listenverwaltung im Simulationssystem erforderlich.

Gemeinkosten können keinem Kostenträger direkt zugeordnet werden. Auch ist ihre Ermittlung nicht für die Simulation relevant, da sie nicht von betriebstechnischen Faktoren abhängen. Für die Zuteilung dieser Kosten werden Kostenträgerhilfskonten definiert. Mit Hilfe von speziellen Verteilungsschlüsseln wird dann in der Kalkulation die Höhe der anteiligen Gemeinkosten für den jeweiligen Empfänger ermittelt.

Leistungskonten

Die in den Modellelementen während der Produktion erbrachten Leistungen werden ereignisgesteuert in speziellen Tabellen, den Leistungs- und Gemeinleistungskonten des Bausteins LK-Gruppe, abgelegt. Für die Produkt- und Auftragssicht muß für jede Variante bzw. jeden Auftrag eines Produktes ein separater Satz von Leistungskonten definiert werden. Eine los- bzw. stückspezifische Führung von Konten ist bei einer Serien- oder Massenfertigung nicht erforderlich, da stück- bzw. losbezogene Kosten durch Division ermittelt werden können. Für Leistungen, die nicht direkt zugeordnet werden können, wie Leitstandstätigkeiten, werden Gemeinleistungskonten definiert.

Hier ist jeweils nur die Art und die Dauer der in Anspruch genommenen Leistung festzuhalten.

Für die einzelnen Kostenträger werden Basiselemente konzipiert, die alle jeweils relevanten Leistungskonten beinhalten. Von diesen Basiselementen können bei der Modellierung beliebig viele Elemente abgeleitet und in die entsprechenden Modellelemente eingebunden werden.

Die Methoden zum Beschreiben der Tabellen werden ebenfalls zur Verfügung gestellt. Die Tabellen wurden als globale Listen mit speziellem Format definiert, damit bei Modifikation eines Modells keine Anpassung der Listenstruktur erforderlich ist. Zusätzlich können Listenvariablen bestimmten Systemvariablen leicht auf Betriebssystemebene zugeordnet werden. Auch ist die Implementierung einer Datenschnittstelle bzw. die Kopplung mit einer Datenbank auf einfache Weise möglich.

Leistungserfassung

Der Baustein K-Meth stellt Methoden für die Leistungserfassung bereit. Diese sind in die konventionellen Modellbausteine einzufügen und mit bestimmten Ereignissen zu verknüpfen. Zusätzlich stehen Methoden zur Verfügung, um die Leistungserfassung zu steuern und die Netzwerkmodule von *cost* zu koordinieren. So dient die Methode Einschwingung dazu, die Einschwingphase des Modells von der Erfassung der Informationen für die technologische und betriebswirtschaftliche Bewertung zu trennen. Erst nach Erreichen des Einschwingzeitpunktes wird mit dem Eintrag in die Listen und mit der Bewertung begonnen.

Anwendung des Bausteinkastens *cost*

Der Bausteinkasten *cost* kann flexibel, d. h. sowohl für die Modellierung eines neuen Simulationsmodells als auch zur Ergänzung bereits bestehender Modelle in die verwendete Modellbibliothek geladen werden. Sein Konzept und dessen Leistungsfähigkeit werden an einem Simulationsmodell überprüft.

Dazu werden die Bausteine Konten und KoKa in das Modell integriert und die Modellelemente um die beschriebenen Methoden zur erweiterten Leistungserfassung ergänzt. In diesem Modell stellt die Verrechnung der Transportkosten einen Sonderfall dar. Die Stationen sind alle mit einem Transportband verbunden, auf dem eine variable Anzahl von Werkstückträgern transportiert werden kann. Die Auslastung der Streckenelemente ist aufgrund der Modellstruktur unterschiedlich. Zusätzlich wird ein Werkstückträgertyp gleichzeitig für den Transport von zwei verschiedenen Produkttypen verwendet.

Für die Leistungsverrechnung bezüglich des Transportbandes wird über die Anzahl der Werkstückträger eine mittlere Auslastung des gesamten Bandes ermittelt, die dann mit der Transportzeit des betrachteten Werkstückträgers verrechnet wird.

Demgegenüber wird die anteilige Nutzung des Werkstückträgers aus dem Quotienten zwischen den interpolierten Gesamtstückzahlen des jeweiligen Bautyps und der interpolierten Summe der Gesamtzahlen aus den beiden Bautypen ermittelt.

Im Modell wird der interne Kalkulator KoKa implementiert, wobei die System- und die Produktsicht realisiert werden. Zusätzlich wird die Kennzahl Stückkosten definiert und ebenfalls für die Kostenberechnung verwendet.

Neben der Visualisierung des Verlaufs der Stückkosten über die Zeit und der Wertzuwachskurven können die Kostenanteile an einem Produkt dargestellt werden.

Bei der Verifizierung des Bausteinkastens cost zur simulationsbasierten Kostenermittlung zeigte sich deutlich, daß kaum alle Informationen, insbesondere die benötigten Kostenfaktoren, für eine umfassende Kostenberechnung zur Verfügung stehen. Es ist deshalb sinnvoll, ein variables, flexibel adaptierbares System zur Kostenberechnung zur Verfügung zu stellen. Dabei kann die Bedienung erleichtert und die Effizienz der Anwendung gesteigert werden, wenn das System die ermittelbaren Kostenkennzahlen dem Benutzer visualisiert.

Insgesamt erweitert das simulationsbasierte Kostenmodul die Bewertungsalternativen für ex-ante-Betrachtungen von Systemen und deren dynamischem Verhalten. Es ist damit die Optimierung eines Systems unter Berücksichtigung von technischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten und Randbedingungen möglich. Insgesamt steht ein leistungsfähiges Managementwerkzeug zur umfassenden Unterstützung der Entscheidungsfindung zur Verfügung.

4.3.6 Konzept des Moduls cost-analysis zur systemunabhängigen Kalkulation

Betriebstechnische Daten können nicht nur unabhängig von der Realität mit Hilfe der Simulation ermittelt, sondern auch im realen System während des Betriebs über ein BDE-System erfaßt werden. Ein separates Kostenberechnungsmodul, das an verschiedene Systeme angebunden werden kann, kann vielseitiger, auch für die Nutzung betriebstechnischer und betriebswirtschaftlicher Informationen von verschiedenen Datenquellen verwendet werden.

Das im Rahmen dieser Arbeit konzipierte externe Berechnungsmodul besteht aus dem eigentlichen Kostenberechnungssystem, einem externen Datenspeicher und Schnittstellen zu anderen Systemen, die vom Modul benötigte Daten bereitstellen bzw. Daten des Berechnungsmoduls, z. B. zur Präsentation, weiterverarbeiten (Bild 40).

Das Kostenberechnungssystem kann im ersten Schritt die Funktionalität des Bausteins KoKa aus Kap. 4.3.5 übernehmen. Allerdings sollten die Algorithmen erweitert werden, um flexibel, unter gezielter Nutzung der unterschiedlichen Datenquellen sowie Weiterverarbeitungs- und Präsentationstools, verschiedenste

Berechnungen durchführen zu können. Damit sind auch die Voraussetzungen für eine benutzerfreundliche Anbindung, die über eine Bedienoberfläche zu realisieren ist, gegeben. Die Bedienoberfläche sollte den Benutzer bei der Auswahl der Berechnungsalgorithmen und der Präsentationsformen aktiv unterstützen und dabei verschiedene Kostenzuweisungsmodelle und Ansätze für die Auswertung anbieten.

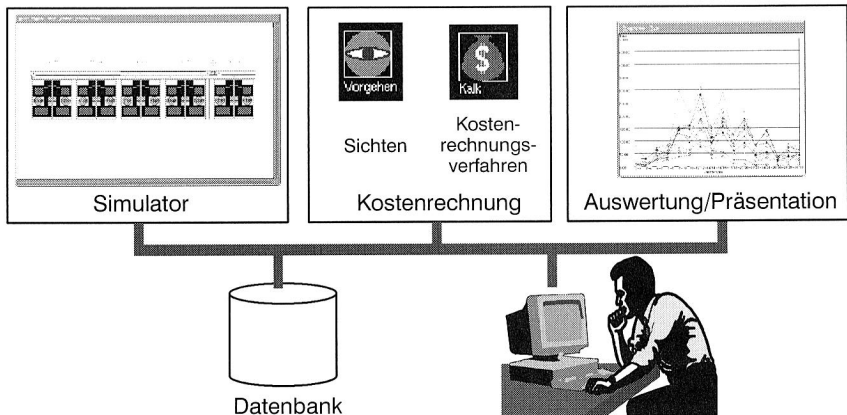


Bild 40: *Modulares Konzept zur flexiblen, systemunabhängigen simulationsbasierten Kostenberechnung*

Voraussetzung für die Anwendung des externen Moduls für die Kostenbewertung anhand von in der Simulation ermittelten Daten ist die Bereitstellung der benötigten Kosteninformationen. Während bei der internen Kostenberechnung das Modell an die jeweiligen Bedürfnisse explizit angepaßt werden muß, ist für die externe Kostenbewertung eine feste Erweiterung der Modellbausteine erforderlich. Dabei müssen spezielle Methoden dafür sorgen, daß die Konten für die Leistungserfassung in der richtigen Anzahl in den Modellelementen definiert werden. Die Einträge in den Konten müssen automatisch über die Datenbankschnittstelle in eine spezielle Datenbank übertragen werden. Der modulare Aufbau ermöglicht es, einzelne Module unabhängig voneinander zu modifizieren und zu optimieren.

Generell ist durch eine produktionsdatengestützte Kostenerfassung eine wirtschaftliche und effiziente Bewertung eines Systems möglich. Dabei können durch die verursachungsgerechte Verrechnung der während der Produktion anfallenden Kosten die wesentlichen Kosteneinflussfaktoren identifiziert werden. Das offene und flexible Systemkonzept ist besser für die Anwendung unterschiedlicher Ansätze der Kostenermittlung und -auswertung geeignet. Das Konzept ist in ein umfassendes System zur Unterstützung von Planungsentscheidungen integrierbar. Dadurch wird ein wesentlicher Beitrag geleistet, um wirtschaftliche und betriebstechnische Zusammenhänge transparent zu machen und damit eine gesamtheitliche Optimierung des

Systems und der Fertigungsstrategien zu ermöglichen. Gleiches gilt für den Vergleich von alternativen Struktur-, Verfahrens- oder Steuerungskonzepten. Dadurch werden Kosten-Nutzen-Analysen, "Make-or-Buy"-Entscheidungen und die betriebliche Kennzahlenbildung unterstützt. Während der laufenden Produktion wird eine Kostenkontrolle, die über die konventionelle Überwachung von Zeit- und Mengendaten hinausgeht, ermöglicht.

5 Entwicklung eines modularen Systems zur Planungsunterstützung auf Basis hierarchischer Simulationsmodelle

In Kap. 3 wurde bereits darauf hingewiesen, daß eine simulationssysteminterne Erweiterung der Funktionalität zwar notwendig, aber nicht hinreichend ist, um die gesamte Planung zu unterstützen. Dies bestätigte sich in Kap. 4 bei der Ergänzung der Funktionalität für konventionelle Simulationssysteme, um bei der Entscheidungsfindung die jeweils relevanten Modellierungs- und Bewertungsaspekte direkt berücksichtigen zu können. Insbesondere bei der Konzeption der simulationsbasierten Kostenbewertung wurde deutlich, daß eine Modularisierung erforderlich ist, um Modelle und Informationen mit verschiedenen Planungsmethoden und damit ganzheitlich zur individuellen und umfassenden Unterstützung der Produktionsplanung anwenden zu können.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird im Rahmen dieser Arbeit ein Ansatz verfolgt, speziell die Simulation als begleitendes Entscheidungshilfsmittel in die Unternehmens- und Fabrikplanung einzubinden. Damit soll eine ganzheitliche Betrachtung der Systemzusammenhänge über verschiedene Systemgrenzen hinweg ermöglicht und die Durchgängigkeit für alle Planungsphasen sowohl bezüglich der Analyse von Alternativen als auch der Verwendung von Entscheidungen gewährleistet werden.

5.1 Analyse von Anforderungen an die Funktionalität

Voraussetzung für eine umfassende Entscheidungsunterstützung bei der Planung ist die Entwicklung eines Systems, das die in Kap. 3.3 entwickelte Systematik beinhaltet. Die Grundlage dieses Systems bilden Informationen, Modelle und Modellierungsmethoden, mit deren Hilfe die Produktion mit ihren Teilsystemen auch über die Hierarchieebenen hinweg geplant, analysiert und optimiert werden kann.

Es sind bereits verschiedene Modelle und Modellierungsmethoden hinsichtlich der in Kap. 2 formulierten Anforderungen untersucht und bewertet worden. Defizite bestehen in der unvollständigen Abdeckung der Gestaltungsfelder; d. h. meist werden nur die technischen Aufgaben oder nur bestimmte Teilbereiche, wie z. B. flexible Fertigungssysteme, betrachtet. Weiterhin ist die Systematisierung und Formalisierung der Planungsinformationen unzureichend, wodurch Planungsergebnisse nicht objektivierbar sind. Zusätzlich kann die Konsistenz und Widerspruchsfreiheit von Aussagen nicht überprüft werden, da die Verbindung zwischen den Beschreibungen der verschiedenen Aspekte, vor allem zwischen Funktionen, Abläufen und Daten, unzureichend ist.

Zur Behebung dieser Defizite ist eine Funktionalität bereitzustellen, die es erlaubt, unterschiedliche Sichtweisen auf ein Produktionsunternehmen zu definieren. Gleichzeitig sind die für die jeweiligen Planungsaufgaben relevanten Eigenschaften

der Produktion in geeigneten und durchgängigen Modellen bereitzustellen. Die wesentlichen Anforderungen an ein solches System, das die Lösung von Aufgaben bei der Produktionsplanung umfassend unterstützt, werden in [72] genannt.

Diese Anforderungen können nach den Aspekten Planungsmethoden, Modelle und Informationen sowie Benutzereinbindung strukturiert werden (Bild 41).

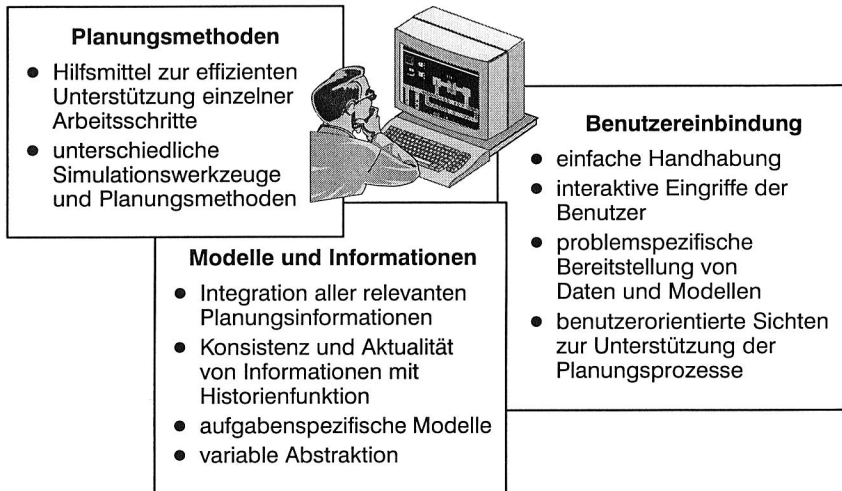


Bild 41: Strukturierung der Anforderungen an die Funktionalität des Gesamtsystems

Planungsmethoden

Neben Simulationswerkzeugen sind Methoden und Hilfsmittel bereitzustellen, die einzelne Arbeitsschritte, z. B. die Optimierung und Validierung, bei der simulationsbasierten Entscheidungsfindung gezielt unterstützen können. Eine generelle Anforderung an Modellierungsmethoden ist die vollständige Abbildbarkeit aller Betriebselemente, -abläufe und -eigenschaften, die für die Planung und Implementierung relevant sind. Dabei ist eine größtmögliche Realitätsnähe und einfache Modellerstellung anzustreben, damit sich auch die ungeübten Anwender leicht an der Planung beteiligen können.

Die Werkzeuge müssen über definierte Schnittstellen zu einer gemeinsamen Datenbasis verfügen, um die für die jeweilige Anwendung benötigten Informationen bereitstellen zu können. Einzelne Werkzeuge sollen beliebig austauschbar und erweiterbar sein, um eine optimale Anpassung an die Anforderungen zu gewährleisten.

Modelle und Informationen

Durch eine ganzheitliche Planung können Wechselwirkungen zwischen Entscheidungen und die aus Entscheidungen resultierenden Auswirkungen auf Teilsysteme fundiert analysiert und beurteilt werden. Dies wurde bereits in vorhergehenden Kapiteln veranschaulicht. Daraus resultiert eine Planungssituation, die gekennzeichnet ist durch eine Vielzahl von bereichsübergreifenden Themen. Für diesbezügliche Entscheidungen werden daher Informationen aus unterschiedlichen Bereichen benötigt. Diese sind einheitlich und durchgängig bereitzustellen. Eine Integration aller für die Planungsentscheidungen relevanten Informationen ist daher sinnvoll und notwendig. Dabei sind zum einen Planungsvorgaben und Informationen aus der Realität zu berücksichtigen. Zum anderen sollen aber auch die Ergebnisse von Planungsentscheidungen einfließen, da sie wiederum als Grundlage für das Lösen anderer Aufgaben fungieren können.

Alle Informationen sind fortlaufend unter Gewährleistung der Konsistenz und Redundanzfreiheit zu aktualisieren. Dabei müssen geeignete Mechanismen dafür sorgen, daß bei Änderung einzelner Werte eine umfassende Aktualisierung aller Informationen durchgeführt wird. Die zu ändernden Werte sollen dabei aber nicht überschrieben werden, um die Änderung der Informationen über die Zeit nachvollziehen zu können.

Aufgrund der Komplexität der einzelnen Planungsaufgaben ist nur eine Abbildung der jeweils entscheidungsrelevanten Aspekte in einem aufgabenspezifischen Modell sinnvoll. Dabei ist eine Durchgängigkeit der einzelnen Modelle von der Grobplanung bis zur Feinspezifikation erforderlich, um eine ganzheitliche Planung zu ermöglichen. Die einzelnen Modelle sind dafür entsprechend zu definieren. Bei der Modellierung sind deshalb die unterschiedlichen Sichtweisen, die für die verschiedenen Planungsaufgaben benötigt werden, zu berücksichtigen. Die Komponenten von Modellen sollen dabei weitestgehend anwendungsprogramm- und szenarionneutral bereitgestellt werden.

Die Informationsstrukturen und Datentypen müssen kompatibel sein und miteinander verbunden werden können, um eine universelle Verwendbarkeit zu gewährleisten. Da sich die Planungs- und Produktionsprozesse fortlaufend ändern, ist nicht nur eine Modifikation von vorhandenen Informationen, sondern auch die Abbildung von neu hinzukommenden Informationen oder von veränderten Relationen zu ermöglichen. Die Modelle und die zugehörigen Informationen müssen demzufolge flexibel anpaßbar und erweiterbar sein.

Benutzereinbindung

Der Benutzer ist in das System so einzubinden, daß ein komfortabler und effizienter Umgang mit den Planungsmethoden, den Modellen und den Informationen möglich ist. Die Handhabung von Methoden sollte benutzerfreundlich sein. Dazu sind rechnergestützte Werkzeuge notwendig, die eine zielführende Entscheidungsfindung

unterstützen. Die Benutzer sollen dabei an allen Schnittstellen interaktiv eingreifen können, um beispielsweise Vorschläge von Programmen zu übernehmen oder aber zu verwerfen und um eigene Werte einzutragen. Der hierfür bereitzustellende Benutzerdialog sollte individuell anpaßbar sein.

Die Bereitstellung der Daten und Modelle soll entsprechend der Problemstellung in geeignet aufbereiteter Form erfolgen. Durch die Definition von Sichten kann der Benutzer bei der Auswahl der Modelle und der Bereitstellung der zugehörigen Informationen unterstützt werden. Ein Szenario kann dabei alle Informationen, die für das Experimentieren zur Unterstützung der Entscheidungsfindung benötigt werden, beinhalten. Auf diese Weise können alle Modelle und Informationen, die zur Verfügung stehen, universell verwendet werden (Bild 42).

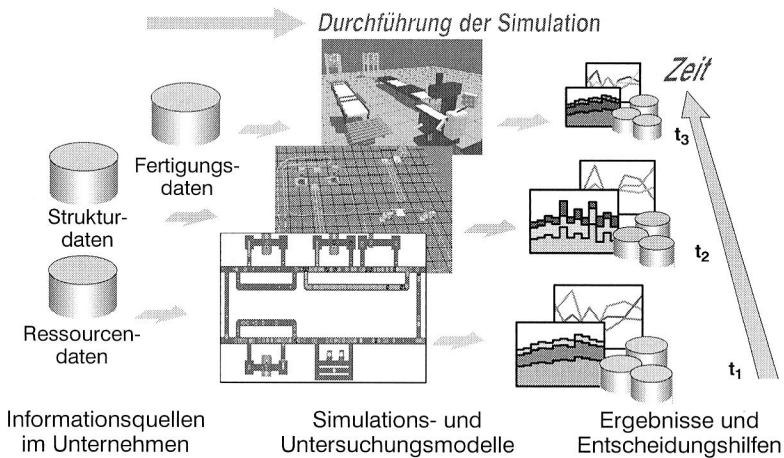


Bild 42: Gesamtszenario für den Einsatz der Simulation zur umfassenden Entscheidungsunterstützung

5.2 Aufbau der Systemarchitektur

Auf Basis der Anforderungen an die Funktionalität des Gesamtsystems können die einzelnen Module definiert und die Systemarchitektur abgeleitet werden.

5.2.1 Definition der Systemmodule

In Kap. 5.1 wurden die Anforderungen an die Funktionalität des Gesamtsystems zur umfassenden simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung strukturiert nach Planungsmethoden, Modellen und Informationen sowie Benutzereinbindung. Um eine universelle Unterstützung bei verschiedenen Planungsentscheidungen zu erreichen,

ist die erforderliche Gesamtfunktionalität in mehreren Modulen bereitzustellen. Damit können verschiedene anwenderspezifische Funktionalitäten und Sichten zur Verfügung gestellt werden und gleichzeitig wird die nötige Flexibilität bezüglich der Nutzung von Methoden und Werkzeugen gewährleistet [35].

Die Module sind so zu definieren, daß damit eine koordinierte Bereitstellung der Funktionalität, die für die Unterstützung der jeweiligen Entscheidung benötigt wird, möglich ist. Die Unterstützung soll dabei alle Arbeitsschritte bei der Entscheidungsfindung umfassen. Dazu ist die Gesamtfunktionalität, die das System bereitstellen soll, auf geeignete Weise zu strukturieren. Bei der Strukturierung ist eine Orientierung an den wichtigsten Arbeitsschritten sinnvoll. Wie bereits in Kap. 2.2 gezeigt wurde, orientieren sich auch bisherige Ansätze grob an dieser Gliederung, indem sie zwischen Datenmanagement und Unterstützung bei wesentlichen Schritten, wie Modellgenerierung und Optimierung, differenzieren. Diese Ansätze dienen aber nur der Unterstützung konkreter Planungsaufgaben.

Um die Entscheidungsfindung bei verschiedenen Planungsaufgaben, bei denen unterschiedliche Modelle zur Anwendung kommen, parallel unterstützen zu können, ist eine feinere Strukturierung erforderlich (Bild 43).

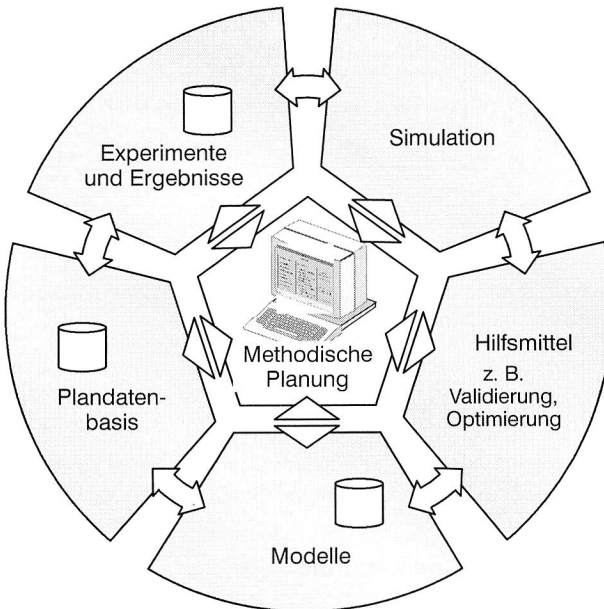


Bild 43: Module des Systems zur Entscheidungsunterstützung für die methodische Planung von Produktionsabläufen

Bezüglich der Daten ist zwischen Daten, die allgemein als Planungsgrundlage verwendet werden können, und experimentspezifischen Daten bzw. Ergebnisdaten zu differenzieren. Alle planungsrelevanten Daten sind konsistent für die Anwendungen bereitzustellen. Diese Aufgabe übernimmt das Modul Plandatenbasis. Neben der Koordination der Zugriffe soll eine geordnete und reglementierte Modifikation, Aktualisierung und Erweiterung dieser Plandatenbasis vorgenommen werden können. Die Experimentdaten, zu denen auch die Ergebnisdaten gehören, beziehen sich jeweils auf eine Problemstellung. Durch die Trennung von der Plandatenbasis ist eine größtmögliche Unabhängigkeit von dieser während des Experimentierens gewährleistet. Damit besteht gleichzeitig die Möglichkeit, die Verwaltung der Experimentdaten umfassend zu unterstützen. Die Simulationswerkzeuge und Hilfsmittel sowie die Modelle und Informationen sind als separate Systemkomponenten bereitzustellen. Bezüglich der Informationen wird zwischen Plandaten und Daten, die Experimente und Ergebnisse beschreiben, differenziert. Auf diese Weise können zum einen, wie gefordert, alle planungsrelevanten Daten universell verwendbar in einer Plandatenbasis bereitgestellt werden. Zum anderen besteht dann die Möglichkeit, jeden Anwender gezielt durch eine separate Experiment- und Ergebnisverwaltung zu unterstützen.

Die Modelle, die den Experimenten zugrunde gelegt werden, sind unter Berücksichtigung der diesbezüglich in Kap. 5.1 formulierten Anforderungen ebenfalls universell verwendbar bereitzustellen. Der Definition des Modellaufbaus kommt dabei besondere Bedeutung zu, da diese die Datenbereitstellung und die aus den Modellexperimenten resultierenden Ergebnisse wesentlich beeinflusst.

Bezüglich der Werkzeuge wird wie bei den konventionellen Ansätzen zwischen der Simulation als Planungsmethode und den Hilfsmitteln differenziert. Damit können die Voraussetzungen geschaffen werden, um die jeweiligen Planungsschritte effizient und problemorientiert zu unterstützen.

5.2.2 Konzeption des Systemaufbaus

Das Gesamtsystem wird als verteiltes Client/Server-System [92] konzipiert, das aus weitgehend autonomen Subsystemen besteht, die koordiniert kooperieren, um die Planungsaufgaben zu erfüllen. Jedes Subsystem umfaßt dabei eines der in Kap. 5.2.1 definierten Module des Gesamtsystems zur Planungsunterstützung.

Die einzelnen Module werden über eine Kommunikationsplattform miteinander verbunden. Diese Plattform übernimmt die Funktion einer universellen Benutzerschnittstelle, indem sie den Zugriff auf die einzelnen Systemmodule koordiniert.

Die Plandatenbasis fungiert als Integrationsplattform zwischen den Unternehmensbereichen und den Anwendungen zur Planungs- bzw. Entscheidungsunterstützung. Auf diese Weise kann sowohl für die Bereiche als auch für die Anwendungen zur Unterstützung der Planung ein universeller Zugriff auf die Plandatenbasis ermöglicht werden.

Die Informationen der Plandatenbasis können von den Unternehmensbereichen bereitgestellt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Funktionalität zur Beschaffung bestimmter Informationen aus der Plandatenbasis durch die Bereiche bereitzustellen. Zur Unterstützung von Planungsentscheidungen greifen die einzelnen Anwendungen auf die zentrale Plandatenbasis zu. Die Anwendungen definieren dabei die Nutzung der Systemmodule. Darin kann beispielsweise auch festgelegt werden, welche Modelle und Methoden angewendet bzw. für die Anwendung angeboten werden sollen. Die Datenflüsse sind zu steuern, zu überwachen und bei Bedarf zu protokollieren. Speziell für die Simulation sind hierfür, wie bereits gefordert, Modelle, Modellkomponenten und Initialisierungsdaten zu verwalten. Zusätzlich sind für die Modellierung Mechanismen zur Modell- und Komponentenauswahl bereitzustellen. Auch eine Unterstützung der Initialisierung von Simulationsmodellen, der Ergebnisinterpretation und -darstellung sowie der Optimierung ist erforderlich. Die Konzeption der einzelnen Systemmodule muß eine flexible Modifikation und Ergänzung ermöglichen (Bild 44).

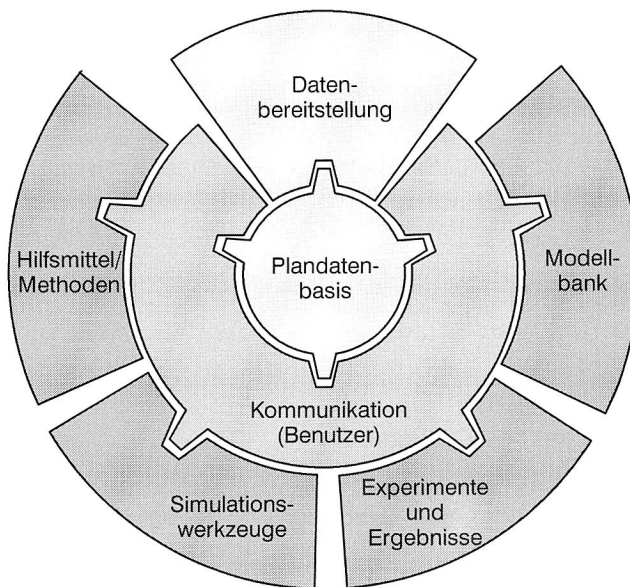


Bild 44: Aufbau des modularen simulationsbasierten Gesamtsystems zur Planungsunterstützung

5.2.3 Modularisierung von Simulationswerkzeugen

Simulationswerkzeuge sind in der Regel zentralistisch organisiert. Sie stellen damit selbst die wesentlichen Funktionen, die für die Modellierung und das Experimentieren

benötigt werden, zur Verfügung. Diese Werkzeuge stellen aber meist Schnittstellen bereit, die genutzt werden können, um die Integration dieser Simulationswerkzeuge in das Konzept des Gesamtsystems zu erreichen. Dazu sind die Daten und Modelle schrittweise zu extrahieren (Bild 45). Ziel ist es dabei, die Simulationswerkzeuge in das Gesamtsystem einzubinden, so daß der Simulationskern die vom Gesamtsystem zur Verfügung gestellten Informationen zur Modellierung und Initialisierung nutzen und die Ergebnisse dem Gesamtsystem bereitstellen kann. Der Simulationskern übernimmt dabei die Aufgabe, für ein initialisiertes Modell innerhalb eines festzulegenden Zeitraums die Zustände und die Zustandsübergänge mit ihrer Stochastik zu ermitteln.

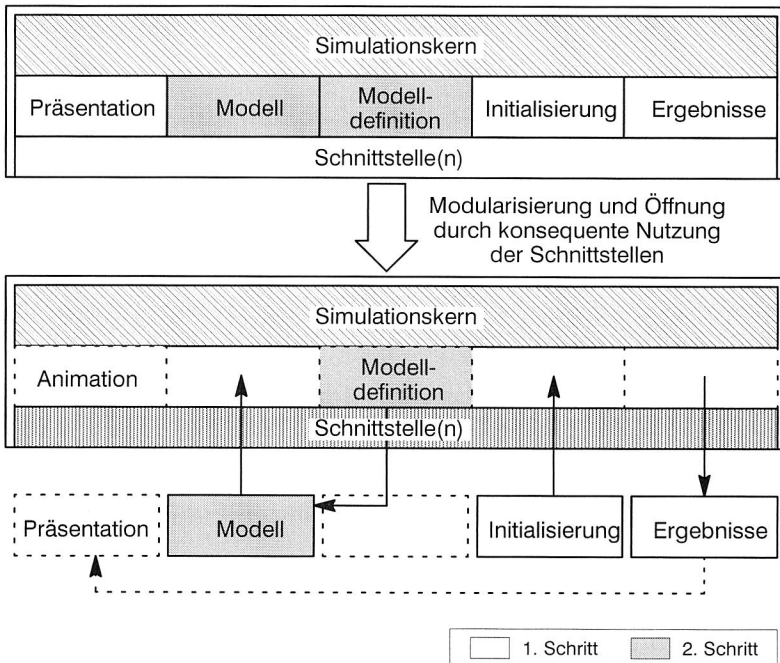


Bild 45: Schrittweise Modularisierung zentralistisch organisierter Simulationswerkzeuge

Die systematische Öffnung zentralistischer Simulationswerkzeuge erfolgt in mehreren Schritten: Im ersten Schritt werden die Initialisierungs- und Ergebnisdaten extern verwaltet. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, um diese Daten unabhängig vom Simulationssystem einzugeben, zu modifizieren und zu verwenden. Durch das gemeinsame Herauslösen von Initialisierungsdaten und Ergebnisdaten ist eine eindeutige Zuordnung dieser Informationen möglich. Auf dieser Basis werden die Initialisierungs- und Simulationsparameter bei der Durchführung von Simulations-

experimenten erst zur Laufzeit von extern übernommen und die Ergebnisse wieder nach extern zurückgeschrieben.

In einem weiteren Schritt werden die Modelle ebenfalls extern in einer Modelldatenbank abgelegt und verwaltet. Damit ist die Möglichkeit gegeben, über die Definition von Sichten auf die Plandatenbasis und die Modelldatenbank Szenarien für Experimente zu definieren und die Informationen über das ausgewählte Modell mit der Initialisierung an das Simulationssystem für den Modellaufbau und die Durchführung des Simulationslaufs zu übermitteln. Die zurückgeschriebenen Informationen können dann mit geeigneten, vom Gesamtsystem zur Verfügung gestellten Hilfsmitteln weiterverarbeitet werden.

5.3 Diskussion von Hierarchisierungsansätzen für Simulationsmodelle

Voraussetzung für die Realisierung des Gesamtkonzepts und insbesondere die Konzeption der Plandatenbasis ist die Entwicklung eines Strukturierungsansatzes für die einzelnen Modelle. Die Modellierung von Produktionssystemen ist generell eine komplexe Aufgabenstellung. Aus Gründen der Effizienz ist jeweils ein Modell bereitzustellen, das die Charakteristika der jeweiligen Planungsaufgabe genau genug und trotzdem auf möglichst hohem Abstraktionsniveau abbildet. Dabei ist oftmals eine Entscheidung Grundlage für andere Entscheidungen, die Bereiche betreffen, die bei der Modellierung nicht berücksichtigt wurden. Falls die Auswirkungen durch die gegenseitigen Abhängigkeiten nicht überprüft werden, besteht die Gefahr einer Suboptimierung. Diese kann sich auf den Gesamtzusammenhang negativ auswirken. Es genügt deshalb nicht, sich wie bisher auf die Unterstützung der Simulation eines Modells zu beschränken. Zusätzlich ist auch die Überprüfung der Auswirkungen von Entscheidungen zu unterstützen. Dies kann zum einen mit Hilfe eines anderen Modells und zum anderen über einen geeigneten Informationsabgleich mit der Plandatenbasis erfolgen.

Hierfür ist eine Modellierungssystematik notwendig, die es ermöglicht, den Gesamtzusammenhang einzelner Modelle in dem hierarchischen Systemgefüge der Planungsbereiche zu wahren. Diese Systematik kann dann der Konzeption der Plandatenbasis zugrunde gelegt werden.

5.3.1 Analyse von Hierarchisierungssystematiken in der Simulation

Um die Modellierung und die Modelle selbst zu systematisieren und zu strukturieren, wird die Hierarchisierung bereits vielfältig genutzt [41].

In der Simulation ist zwischen zwei Hierarchisierungsarten zu differenzieren: der Hierarchisierung durch Klassifizierung bzw. Spezialisierung und der Hierarchisierung durch unterschiedlichen Detaillierungsgrad (Bild 46).

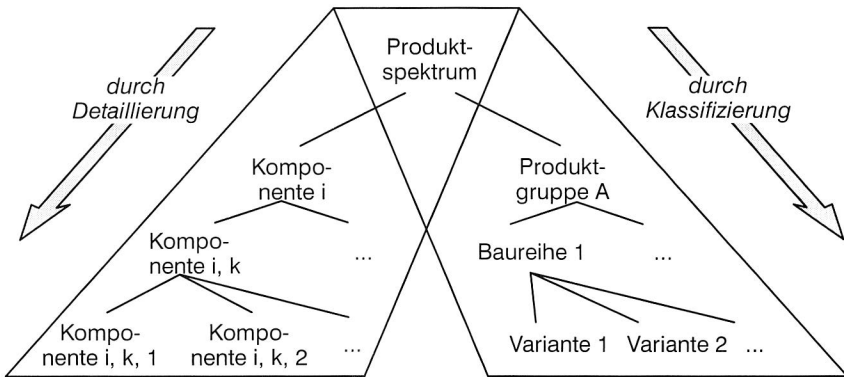


Bild 46: Differenzierung zwischen alternativen Hierarchisierungsarten

Hierarchisierung durch Klassifizierung

Bei der Hierarchisierung durch Klassifizierung werden Unterklassen einer Oberklasse durch Spezialisierung oder Erweiterung gebildet. Es gilt die Beziehung, daß die Eigenschaften einer Klasse in ihren Unterklassen enthalten sind. Ein Beispiel ist die Variantenstückliste. Die Hierarchisierung durch Klassifizierung wird in der Simulation zur methodischen Strukturierung von Modellkomponenten, wie z. B. Stationen oder Puffern, angewendet. Auf diesem Prinzip basiert auch die Objektorientierung und Vererbung.

Hierarchisierung durch Detaillierung

Bei der Hierarchisierung durch Detaillierung repräsentieren die verschiedenen Hierarchiestufen unterschiedliche Detaillierungsgrade. Hier gilt die Beziehung, daß eine Klasse aus der Summe ihrer Unterklassen besteht. Ein Beispiel ist die Strukturstückliste.

Auch die alternativen Systematiken zur Modellierung basieren auf dem Ansatz der Hierarchisierung durch Detaillierung. Eine umfassende Analyse der Modellierungssystematik von marktgängigen Werkzeugen der Systemsimulation ergibt, daß hierbei drei Ansätze zu unterscheiden sind. Diese werden im folgenden als graphische, interne und externe Modellhierarchisierung bezeichnet (Bild 47).

Graphische Modellhierarchisierung

Ziel der graphischen Modellhierarchisierung ist es, die Darstellung eines Modells zu vereinfachen. Es werden graphische Methoden zur Verfügung gestellt, mit denen eine Darstellung für einen Teil eines Modells definiert werden kann. Der modellierte Informations- und Materialfluß wird dadurch nicht verändert. Damit hat die graphische Hierarchisierung keinen Einfluß auf die Laufzeit des Modells.

Interne Modellhierarchisierung

Die interne Modellhierarchisierung erfolgt im Simulationsmodell. Auf der obersten Hierarchieebene werden die einzelnen Hauptkomponenten des Modells und die Beziehungen zueinander definiert. Das charakteristische Verhalten der einzelnen Komponenten kann in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung für einzelne Teilbereiche oder insgesamt auf mehreren Hierarchieebenen detailliert werden. Der Anwender kann bei Existenz mehrerer Modellierungsebenen frei wählen, welche Hierarchieebene der Modellkomponente jeweils für ein konkretes Experiment aktiv sein soll. Der Material- und Informationsfluß erfolgt entsprechend hierarchieebenenübergreifend über die aktivierten Ebenen der einzelnen Modellkomponenten [88].

Vorteilhaft an diesem Ansatz ist die Möglichkeit, ein Simulationsmodell gezielt zu präzisieren. Weiterhin unterstützt dieser Ansatz das Top-Down-Vorgehen bei der Modellierung. Bereits während der Datenerhebung kann mit der Grobmodellierung der Teilbereiche begonnen werden, die dann bei besserem Informationsstand konkretisiert werden können.

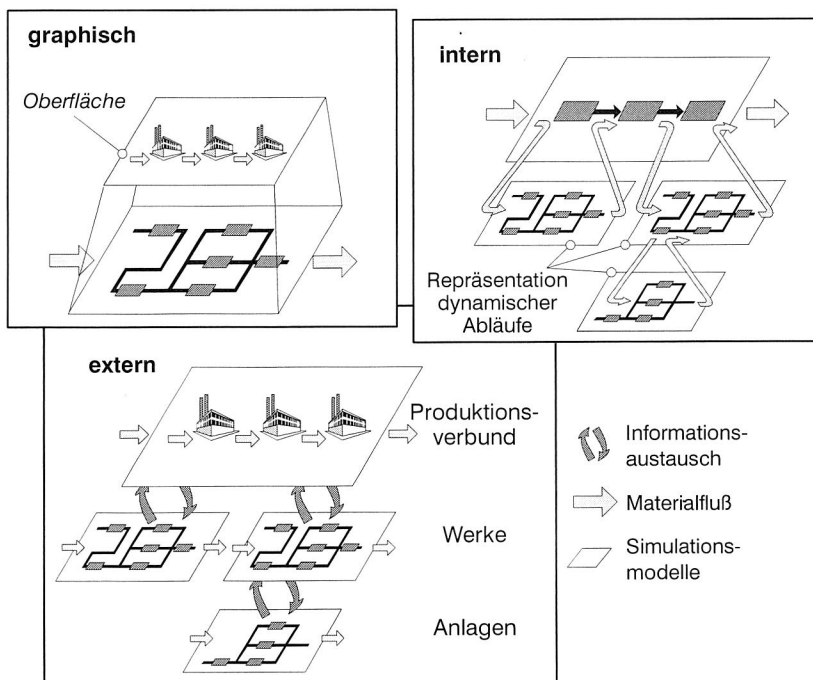


Bild 47: Differenzierung von Hierarchisierungsansätzen für Simulationsmodelle

Externe Modellhierarchisierung

Analog zur internen Modellhierarchisierung werden bei der externen Modellhierarchisierung verschiedene Hierarchieebenen definiert. Diese Ebenen beschreiben Teilmodelle mit unterschiedlich hohem Detaillierungsgrad. Allerdings sind nicht alle Teilmodelle in einem Modell enthalten. Vielmehr bestehen mehrere, für sich lauffähige Modelle nebeneinander. Beispielsweise könnte ein Modell die einzelnen Teilbereiche einer Fertigung abbilden, während ein weiteres Modell einen bestimmten Teilbereich davon detaillierter repräsentiert.

Somit können bei der externen Modellhierarchisierung die Vorteile der internen Modellhierarchisierung für die Definition der Teilmodelle genutzt werden. Bei Existenz von verschiedenen Teilmodellen ist es darüber hinaus möglich, eine gesamtheitliche Optimierung der in den Teilmodellen repräsentierten Teilsysteme zu erreichen. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine geeignete informationstechnische Verknüpfung der Teilmodelle.

5.3.2 Hierarchisierungsansatz für die Konzeption des Gesamtmodells

Die aufgezeigten Hierarchisierungsalternativen sind bezüglich ihrer Eignung für die Konzeption des Gesamtmodells zu untersuchen. Ziel ist es, einen geeigneten Ansatz für die Definition von Modellen und deren Verknüpfung zu schaffen, so daß unter Wahrung des Gesamtzusammenhangs neben speziellen Sichten auch das Verhalten des Gesamtsystems repräsentiert werden kann. Dabei wird die Verknüpfung von Modellkomponenten bzw. Teilmodellen im Sinne der internen Modellhierarchisierung mit der systematischen Verwaltung von Modellen mit Hilfe der externen Modellhierarchisierung verglichen. Beide Ansätze basieren dabei auf dem Ansatz der Hierarchisierung durch Klassifizierung.

Interne Hierarchisierung des Gesamtmodells

Bei Verwendung des Ansatzes der internen Hierarchisierung zur Modellierung des Gesamtsystems wird das Gesamtmodell durch miteinander verknüpfte Teilmodelle repräsentiert. Die Teilmodelle repräsentieren jeweils Teile des Gesamtsystems. Sie können beliebig detailliert werden.

Die Teilmodelle können generell sequentiell simuliert werden. Dadurch sind die Simulationsergebnisse eines Teilmodells als Eingangsgrößen für die Simulation des nachfolgenden Teilmodells verwendbar. Für die Ermittlung von Wechselwirkungen oder für die Auslegung übergreifender Fertigungssteuerungen sind allerdings die jeweiligen Teilmodelle miteinander zu verknüpfen.

Auch sind Aussagen über das Gesamtverhalten nur möglich, wenn die Teilmodelle zu einem Gesamtmodell verbunden werden. Im Gesamtmodell müssen die

bereichsübergreifenden Komponenten, wie Transportsysteme oder Lager ergänzt bzw. zusammen mit den Arbeitszeitmodellen und den Fertigungssteuerungen modifiziert werden. Aus der Verknüpfung von detaillierten Teilmodellen resultiert ein großes komplexes Gesamtmodell (Bild 48).

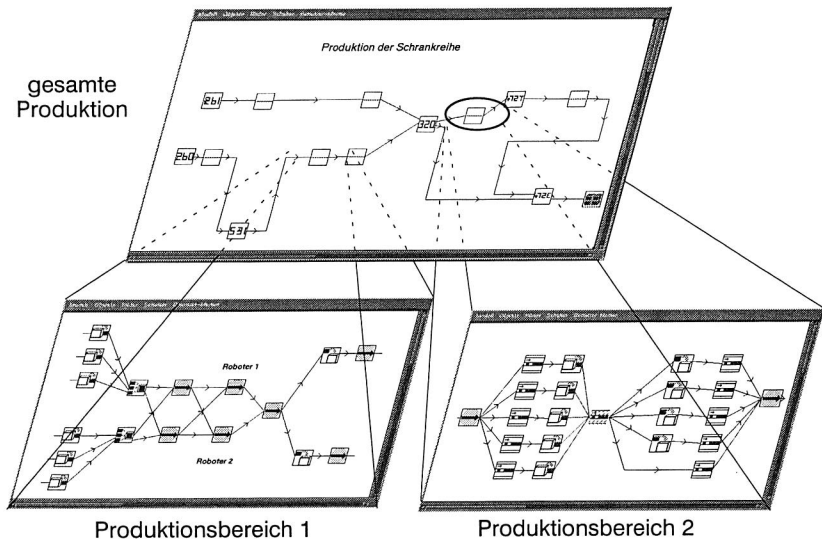


Bild 48: Modellaufbau mit Hilfe der internen Hierarchisierung und der Klassifikation

Für die Einbindung der Detailmodelle in das Gesamtmodell muß hier ein Simulator durchgängig verwendet werden. Weiterhin sind beim Festlegen von Verknüpfungen zwischen Modellkomponenten im Rahmen der Modellierung spezielle Anforderungen zu berücksichtigen. Beispielsweise sind bestimmte Namenskonventionen zu beachten. Das Laufzeitverhalten der Simulation des komplexen Gesamtmodells kann durch verteilte Simulation der miteinander verknüpften Teilmodelle auf verschiedenen Rechnern verbessert werden. Dabei muß generell die Synchronisation der Simulationsläufe gewährleistet sein.

Externe Hierarchisierung des Gesamtmodells auf Basis der Klassifikation

Alternativ dazu können die Ergebnisse aus der Simulation der Teilmodelle in ein Gesamtmodell eingebunden werden. Das Verhalten jedes Teilmodells wird hier abstrakt durch eine Modellkomponente repräsentiert. Beispielsweise muß die Modellkomponente, die das Teilmodell eines Produktionsbereiches repräsentiert, jedem Werkstück bzw. Produkt, das den Bereich passiert, die Durchlaufzeit des Teilmodells zuweisen. Bei Simulation des Gesamtmodells können Wechselwirkungen zwischen den abstrakten Modellkomponenten ermittelt werden. Im Gegensatz zur vorher

beschriebenen Alternative kann hier eine übergreifende Fertigungssteuerung mit einem Modell geringer Komplexität ausgelegt bzw. optimiert werden. Allerdings erfordert diese Alternative eine spezielle Konzeption der verschieden abstrakten Modelle und ihrer Modellkomponenten, um den Informationsaustausch im Sinne der externen Hierarchisierung realisieren zu können. Die Dokumentation der Ergebnisse aus der Simulation der Teilmodelle muß auf eine Weise erfolgen, die der im Gesamtmodell erforderlichen Initialisierungskonvention entspricht.

Auf Basis der externen Hierarchisierung werden somit die Systemeigenschaften eines Teilmodells auf der nächsthöheren Hierarchieebene in einer Modellkomponente synthetisiert (Bild 49). Dabei muß das Eingangs-, das Durchlauf- und das Ausgangsverhalten sowie das Verhalten in Abhängigkeit von der Systembefüllung modelliert werden. Beispielsweise soll hierbei eine Charakteristik der Durchlaufzeit für die einzelnen Modellkomponenten angegeben werden und kein Hinterlegen der Ergebnislisten für die Durchlaufzeit aus der Simulation der Teilmodelle erfolgen.

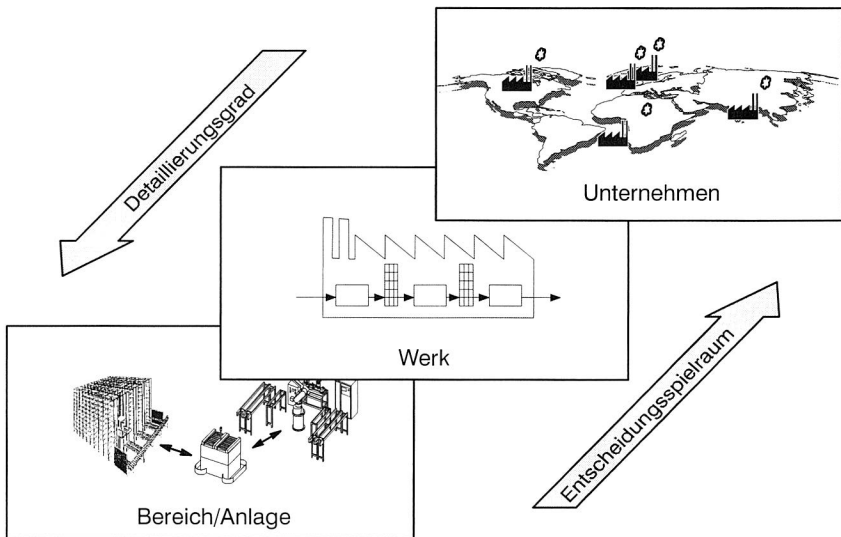


Bild 49: Aufbau eines Gesamtmodells mit Hilfe der externen Hierarchisierung auf Basis der Klassifikation

Durch die externe Hierarchisierung werden die Vorteile der detaillierten und der abstrakten Modellierung vereinigt. Die Detailmodelle können unabhängig voneinander modelliert, getestet und verwendet werden. Sie liefern darüber hinaus konkretere Ergebnisse, die gezielt einem größeren Gesamtmodell zur Verfügung gestellt werden können. Im Gegenzug kann unabhängig von den Teilmodellen mit

dem Gesamtmodell experimentiert werden und die daraus resultierenden Vorgaben dann im Top-Down-Vorgehen in den Teilmodellen verifiziert werden.

Die gegenseitige Unabhängigkeit der Modelle bietet auch die Möglichkeit, reale Daten in den Modellen zu nutzen. Insgesamt sind bei der externen Hierarchisierung die Modelle, die Daten und die Werkzeuge klar voneinander getrennt. Somit sind sie eine geeignete Basis für das modulare simulationsbasierte System zur Entscheidungsunterstützung.

5.3.3 Konzeption hierarchischer Systemmodelle für die Planungsebenen

Erst durch eine ganzheitliche Betrachtung kann ein Produktionssystem in seinem Gesamtverhalten ermittelt und verstanden werden. Die Gesamtbetrachtung stellt die Basis dar, um untereinander konforme Anforderungen an die Teilbereiche stellen zu können. Dabei ist es notwendig, eine geeignete Abgrenzung des Gesamtsystems vorzunehmen. Deshalb sollten nur die für die Produktion relevanten Bereiche betrachtet werden. Durch eine geeignete Definition der Systemeingänge und -ausgänge kann bei Bedarf ein Abgleich zwischen Modellen, die aneinander angrenzen, erreicht werden. Dies betrifft beispielsweise den Vertrieb der Produkte.

Aus den Abhängigkeiten der Informationen zwischen den Anwendungswerkzeugen resultieren Anforderungen an einen Ansatz zur einheitlichen Systemmodellierung. Dabei ist eine vollständige Systembeschreibung erforderlich, um auf der einen Seite eine Vorstellung der Systemzusammenhänge und auf der anderen Seite die Anwendung beliebiger Anwendungswerkzeuge bei Kooperation von Experten und Entscheidungsträgern zu ermöglichen.

Bei der Analyse der zur Verfügung stehenden Strukturierungsmethoden zeigt sich, daß die in Kap. 3.1.2 vorgenommene aufgabenorientierte Strukturierung der Produktionsplanung eine geeignete Grundlage für die Konzeption eines umfassenden Gesamtmodells ist. Der Aufbau des Gesamtmodells wird dabei auf Basis der externen Hierarchisierung vorgenommen.

In einem ersten Ansatz wird das Ziel verfolgt, in dem Modell drei Planungsebenen zu berücksichtigen und diese der Modellhierarchie zugrunde zu legen (Bild 50). Es handelt sich um die Ebenen Produktionsverbund, Werke und Bereiche/Anlagen. Für diese Ebenen wird ein Unternehmensmodell, ein Werkemodell und ein Bereichs-/Anlagenmodell entwickelt. Die Modelle müssen die charakteristischen Randbedingungen und Optimierungskriterien berücksichtigen, um das Lösen der jeweiligen Aufgaben zu unterstützen. Eine Detaillierung dieses Gesamtmodells ist durch Definition zusätzlicher Hierarchieebenen möglich.

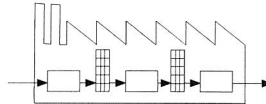
Randbedingungen

- Kapazitäten
- Produkttypen und -mengen
- Märkte

**Produktionsverbund****Optimierungskriterien**

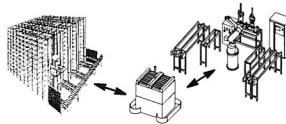
- Kosten
- Kapazitätsauslastung
- Logistikaufwand

- Produktmix
- Arbeitszeiten
- Fertigungsbereiche

**Werksebene**

- Termine
- Puffergrößen
- Robustheit

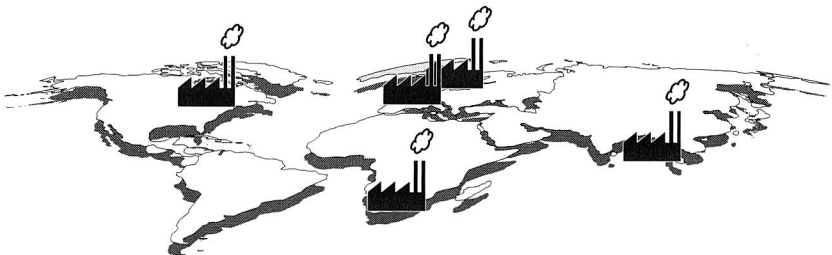
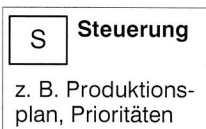
- Bearbeitungszeiten
- Arbeitspläne
- Layout

**Anlagenebene**

- Flexibilität
- Durchlaufzeit
- Bestände

Bild 50: Aufgaben und Randbedingungen der Ebenen des Modellkonzepts**Unternehmensmodell zur strategischen Absicherung von Entscheidungen**

Auf der Ebene des Produktionsverbundes wird der Werkeverbund eines Unternehmens betrachtet (Bild 51). Ziel ist die Verteilung der Produkte auf die Werke, um die Kapazitäten optimal zu dimensionieren und auszulasten.

**Bild 51:** Gestaltungsmerkmale des Unternehmensmodells

Dabei sind unterschiedliche Faktoren, z. B. Standortvorteile, Kapazitätsbedarf der Produkte, Produktionsmöglichkeiten und -kosten, zu berücksichtigen. Die Ergebnisse können bei einem Top-Down-Vorgehen als Grundlage für die Planungsentscheidungen auf der nächsten Hierarchieebene dienen.

Werkmodell für die Optimierung des Gesamtverhaltens

Gegenstand des Werkmodells ist die Modellierung des Fertigungsablaufs in einem Werk durch Abbildung der Produktionsbereiche (Bild 52).

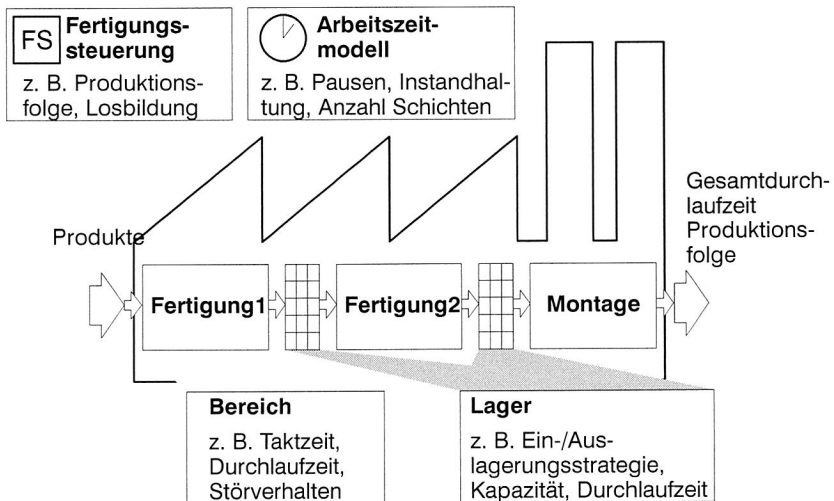


Bild 52: Prinzipieller Aufbau eines Werkmodells

Diese Modellebene ist geeignet, um die Kapazitäten einzelner Bereiche aufeinander abzustimmen, Investitionen zu planen, Lager zur Entkopplung der Bereiche ausulegen und Arbeitszeitmodelle zu entwerfen. Durch Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens der Bereiche kann das Verhalten und die Leistungsfähigkeit eines Werkes hinsichtlich der Produktionsziele analysiert werden. Der Materialfluß wird abstrahiert betrachtet, da hier seine Gesamtdynamik von Interesse ist.

Bereichsmodell zur detaillierten Systembetrachtung

Für detaillierte Systembetrachtungen und -untersuchungen ist die Modellierung der Komponenten sowie der Material- und Informationsflüsse eines Bereiches bzw. einer Anlage erforderlich (Bild 53). Auf dieser Modellebene kann beispielsweise überprüft werden, ob die einzelnen Bereiche die Produktionsvorgaben erfüllen können.

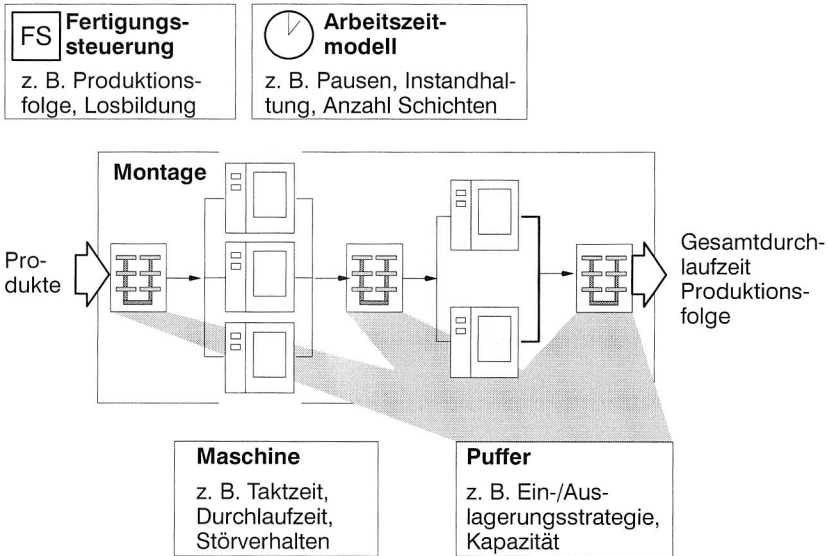


Bild 53: Charakteristischer Aufbau eines Bereichs-/Anlagenmodells

5.3.4 Anforderungen für die Umsetzung des Hierarchiekonzepts

Ziel ist es, das Gesamtmodell auf unterschiedliche Weise in verschiedenen Dimensionen zu nutzen. Auf der einen Seite gibt es auf den einzelnen Hierarchieebenen Planungsaufgaben, die regelmäßig wiederkehren. Dies betrifft beispielsweise die fortlaufende Aktualisierung der Produktpalette verbunden mit der Einplanung der Produkte auf die Produktionsressourcen des Unternehmens.

Wie anhand Bild 54 veranschaulicht wird, kann das hierarchische Gesamtmodell aber nicht nur auf den einzelnen Hierarchieebenen, sondern auch ebenenübergreifend verwendet werden. Es dient dann beispielsweise der Unterstützung bei der projektbegleitenden Planung. Auf diese Weise gelingt es, die Produktionsbereiche aufeinander abzustimmen, um die lokale Bereichsoptimierung in eine globale Optimierung für die Produktion zu überführen. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Auslegung und Abstimmung von bereichsinternen und bereichsübergreifenden Fertigungsstrategien.

Damit müssen verschiedenste Aktivitäten im Rahmen der Planung umfassend und effizient durch das Gesamtmodell unterstützt werden. Die Systemsimulation dient dabei als Methode, um Experimente mit Teilmodellen und -komponenten des hierarchischen Modells durchzuführen. Um dabei die Durchgängigkeit von Planungsentscheidungen auch über Ebenen hinweg zu gewährleisten, ist bei der Umsetzung

des Hierarchisierungskonzeptes die Durchgängigkeit von Modellen und Daten über die Ebenen hinweg ein wesentlicher Aspekt.

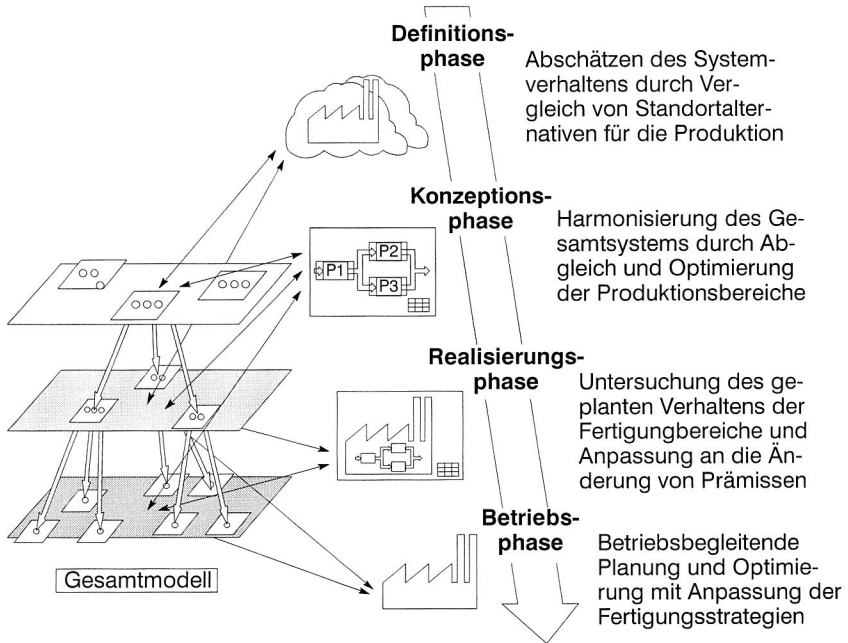


Bild 54: Untersuchungsziele im Planungszyklus am Beispiel der Einführung einer neuen Produktgeneration

Es ist somit ein allgemeingültiges hierarchisches Datenmodell einschließlich der Beziehungen zwischen den Hierarchieebenen aufzubauen. Von essentieller Bedeutung sind dabei die Kommunikation und Abstimmung zwischen den Hierarchieebenen, den Bereichen und dem Projektmanagement eines Unternehmens sowie die effiziente Unterstützung der Aufgaben durch Bereitstellung von geeigneten Methoden und Hilfsmitteln.

6 Entwurf eines Informationssystems zur Bereitstellung von Planungsdaten

Wissensgebundene Dienstleistungen entscheiden zunehmend über den Erfolg von Unternehmen. [137] zeigt bereits die großen Chancen zur besseren Entscheidungsunterstützung auf sämtlichen Hierarchieebenen durch Datenverarbeitung und Informationsmanagement auf. Wesentlich ist dabei die kurzfristige Bereitstellung der richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort.

Wie bereits in Kap. 5.2 deutlich wurde, ist das Informationssystem zentraler Bestandteil in der Struktur des Planungssystems. Es stellt eine Grundvoraussetzung dar, damit alle Planungsbereiche der Produktion eine gemeinsame Sprache durch Nutzung eines Modells sprechen. Das System muß alle Informationen über die Struktur, die Dimensionierung und die Steuerung des Gesamtsystems und der Teilsysteme enthalten. Das Informationsmodell ermöglicht damit durch Kopplung mit Planungswerkzeugen, wie z. B. der Simulation, eine effiziente methodische Entscheidungsunterstützung auf der Basis von durchgängig und konsistent bereitgestellten Informationen.

6.1 Konzept der Plandatenbasis

Vor der Erstellung des Konzepts für das Informationssystem sind die Art und der Umfang der zu verwaltenden Informationen sowie deren Verwendung zu analysieren. Auf dieser Basis können die Daten strukturiert, Datenstrukturen und Schnittstellen für den Datenaustausch konzipiert sowie Lösungsansätze für besondere Probleme entwickelt werden.

6.1.1 Anforderungen an das Datenmodell

Um bessere Entscheidungen treffen zu können, wird die aktuelle Situation, in der sich ein Unternehmen befindet, nicht nur auf Basis von Ist-Daten analysiert. Vielmehr sind auch die Auswirkungen möglicher Entscheidungen für die Zukunft zu bewerten, z. B. "Wie verändert sich der Gewinn des Unternehmens, wenn der Wettbewerbsdruck weitere Preissenkungen bei der umsatzstärksten Artikelgruppe erfordert?" oder "Wie wirken sich Wechselkursänderungen bei den einzelnen Tochtergesellschaften auf das Gesamtergebnis des Konzerns aus?". Derartige Fragen können mit Hilfe einer betriebswirtschaftlichen Modellbildung gelöst werden. Allerdings sind insbesondere auch organisatorische, produktionstechnische und technologische Problemstellungen, z. B. "Wie wirken sich Veränderungen im Produktmix bzw. in den Stückzahlen auf die Auslastung der Produktionskapazitäten aus?" zu lösen. Hierfür werden Geschäftsprozeßmodelle und vor allem dynamische Modelle herangezogen.

Das Informationssystem muß somit neben einem geeigneten kennzahlenbasierten Entscheidungsmodell insbesondere auch Möglichkeiten zur Planung und zur Simula-

tion bieten. Dabei ist nicht nur operativ im Detail zu planen, sondern es sind auch auf aggregiertem Niveau schnell Szenarien zu erzeugen und diese miteinander zu vergleichen. Wesentlich sind hierbei Informationen über "Was wäre wenn?" und "Wie ist das Ziel zu erreichen?". Die hierfür benötigten Daten sind vom Informationssystem bereitzustellen.

Um Kopplungen des Informationssystems mit Anwendungen zu ermöglichen, ist nicht nur das Datenmodell für die zu hinterlegenden Informationen zu konzipieren, sondern es sind auch die erforderlichen Metadaten zu berücksichtigen und die Schnittstellen zu den Anwendungssystemen bereitzustellen. Als Metadaten werden Informationen über Daten bezeichnet, wie z. B. Informationen über Beziehungen zwischen Daten, sowie Besitzumsverhältnisse, Historie und Status der Daten [51].

Grundlage für den Aufbau und die Struktur des Informationsmodells sind die Anforderungen an die Funktionalität. Das Modell muß durchgängig und damit zumindest für einen Problembereich aufgabenübergreifend verwendbar sein. Der Aufbau und die Strukturierung sollten eine fortlaufende Modifikation des Datenmodells durch Hinzufügen, Konkretisieren, Detaillieren und Ändern von Informationen ermöglichen. Das Modell sollte eine integrierende Funktion übernehmen, indem darüber alle Entscheidungsabläufe abgewickelt werden. Damit werden Redundanzen in den zugrundeliegenden Basisdaten bei gleichzeitiger Gewährleistung der Konsistenz vermieden. Außerdem wird der Generierung von isolierten Lösungen entgegengewirkt.

Daneben sind Funktionen notwendig, die gezielt Informationen für den Benutzer bereitstellen. Dies kann beispielsweise durch Sichten, die in Abhängigkeit von der Einstellung von Entscheidungsparametern definiert werden, ermöglicht werden. Ein wichtiger Aspekt ist die Flexibilität des Informationssystems bezüglich der Ankopplung verschiedener Werkzeuge und Methoden. Diesbezüglich ist eine modulare Anbindung an das Informationssystem zu ermöglichen. Neben der Simulation können dann weitere Hilfsmittel für eine systematische Entscheidungsfindung, z. B. für den Vergleich und die Bewertung von alternativen Szenarien, direkt verwendet werden. Zusätzlich werden dadurch die Entscheidungsabläufe transparent und relevante Resultate sind bei Bedarf nachvollziehbar. Jeder Planer kann damit den Einfluß seiner Aktivitäten auf bereichsübergreifende Daten kontrollieren.

6.1.2 Analyse von Ansätzen zum Aufbau von Informationsmodellen

Generell ist in den Unternehmen ein Bestand an Daten für die Planung vorhanden [103]. Jedoch scheitert der aufgabenbezogene Zugriff auf diesen Bestand an mehreren Problemen. Lange Zeit war die Informationstechnologie auf die Unterstützung von Organisations- und Verwaltungsabläufen ausgerichtet. Es hat sich gezeigt, daß damit nicht automatisch auch eine bessere Informationsversorgung verbunden ist, da individuelle Bedürfnisse der Anwender kaum oder gar nicht abgedeckt wurden.

Deshalb wurden für die einzelnen Spezialaufgaben proprietäre Hardware- und Software-Lösungen zur Verfügung gestellt. Aufgrund von mangelnder Standardisierung und wegen fehlender offener Schnittstellen ist keine vernetzte Datenverarbeitung zwischen den einzelnen Lösungen möglich [33, 69].

Die Datenhaltung solcher Insellösungen ist vielfach aufgrund eines fehlenden integrierten Systemkonzeptes redundant. Die Datenkonsistenz, der Datenschutz und die Datensicherheit können nicht gewährleistet werden. Zudem ist die Datenaktualität unterschiedlich. Auch können Ergebnisse von einzelnen Anwendungen nicht umfassend nutzbar gemacht werden [108].

Bei den bisherigen Ansätzen zur umfassenden simulationsbasierten Planungsunterstützung handelt es sich ebenfalls um solche Insellösungen. Zudem konzentrierten sich diese Ansätze in ihrer Konzeption zu sehr auf die Simulation als Anwendung. Das Simulationssystem fungiert als zentrale Komponente des Gesamtsystems. Demzufolge orientieren sich alle anderen Komponenten bezüglich ihres Aufbaus und ihrer Funktionalität am jeweils verwendeten Simulationssystem. Dies gilt insbesondere auch für die Datenstrukturen von Simulationsprojekt-Datenbanken, wie z. B. OFFICE (vgl. Kap. 2.2). Solche Datenbanken sind somit nicht universell für die umfassende Unterstützung bei der Planung einsetzbar.

Hierzu ist deshalb ein Informationssystem erforderlich, welches die kooperative Arbeit von heterogenen Anwendungssystemen im betrieblichen Umfeld unterstützt. Ein Ansatz, der sich derzeit etabliert, ist das Data Warehouse-Konzept (Bild 55).

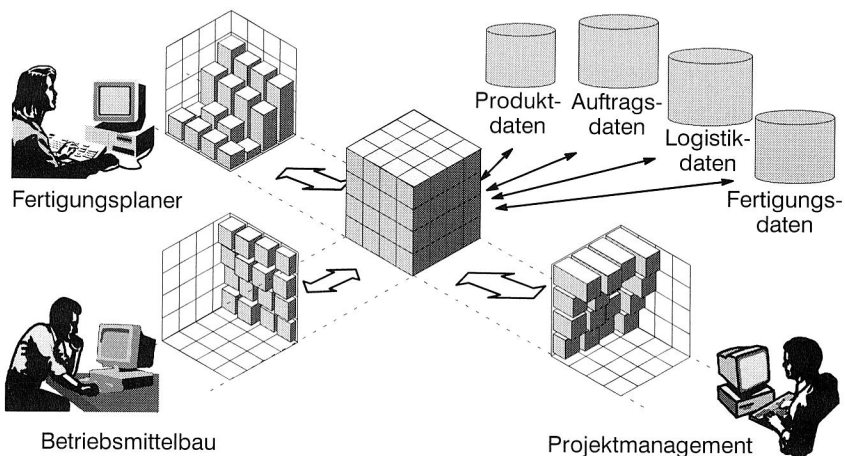


Bild 55: Informationssystem zur Unterstützung der kooperativen Arbeit

Data Warehouse-Umgebungen wurden konzipiert, um die in den Unternehmen vorhandenen informellen Ressourcen besser nutzbar zu machen. Nach [51] ist ein

Data Warehouse eine subjektorientierte, integrierte, zeitbezogene und nichtflüchtige Sammlung von Daten zur Unterstützung von Entscheidungen im Unternehmen. Ziel eines Data Warehouse ist es, alle Benutzer mit klar definierten, einheitlichen und aktuellen Informationsständen zu beliefern und damit die optimale Informationsversorgung für Planungsentscheidungen sicherzustellen. Es sammelt dazu in regelmäßigen Intervallen Informationen aus verschiedensten operativen Systemen und unterschiedlichen Hardware-Plattformen, die mittels eines geeigneten Metadatenmodells zusammengeführt werden. Die Rohdaten dieses konsistenten Datenlagers sind dann zu konsolidieren, Unwichtiges zu filtern, nach Themen zu ordnen und bei Bedarf auf geeignete Weise zu visualisieren.

Kern dieses Konzeptes ist die Selektion, Kombination und Verdichtung von Daten, die nachfolgend für die Erstellung von anwenderorientierten Sichten aufbereitet werden. Die Anwender können die Daten dieser Sichten direkt ihren jeweiligen Planungsentscheidungen zugrunde legen (Bild 56).

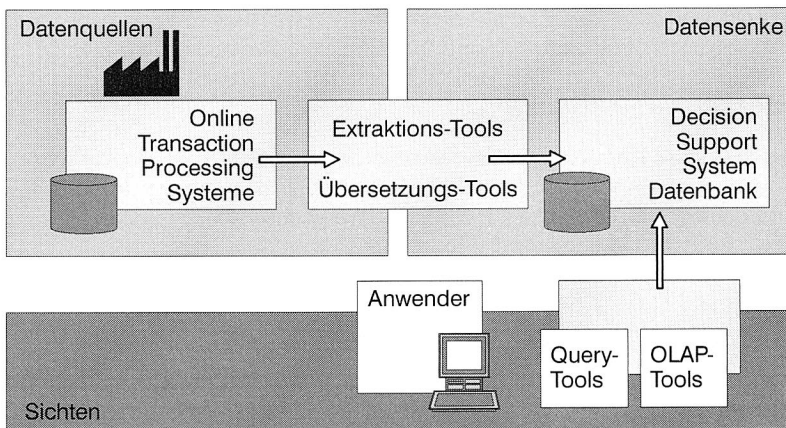


Bild 56: Regelmäßige Überführung von Datenbeständen aus OLTP-Systemen in DSS-Systeme durch ein Data Warehouse [75]

Die Aufbereitung der Rohdaten umfaßt die Aggregation im Rahmen einer betriebswirtschaftlichen Modell- und Kennzahlenbildung. Neben dieser multidimensionalen Analyse ist auch ein Zugriff auf die Detaildaten möglich. Damit können jedem Entscheidungsträger im Unternehmen geeignete Informationsforen zur Verfügung gestellt werden. Dazu ist sowohl eine intuitiv zu bedienende Benutzeroberfläche als auch ein ausgereifter Werkzeugkasten für Analyse, Planung und Berichtswesen notwendig. Für die Bereitstellung dieser Funktionalität ist ein Data Warehouse aus mehreren Ebenen aufgebaut. Dies sind die Schicht der Datensammlung, die Data Warehouse-Plattform und die Schicht des Analysewerks (Bild 57).

Die Erstellung eines Data Warehouse erfordert die Definition eines unternehmensweiten Datenmodells, was weniger aufgrund technischer als aufgrund organisatorischer Probleme eine schwierige Aufgabe ist. Mit kleineren Data Warehouse-Konzepten, sogenannten "Data Marts", die auf Geschäftsbereichs- oder Abteilungsniveau eine kleinere, weniger umfassende Datenversorgung anstreben, können schneller Erfolgserlebnisse in Form nachweisbaren Nutzens erreicht werden [75].

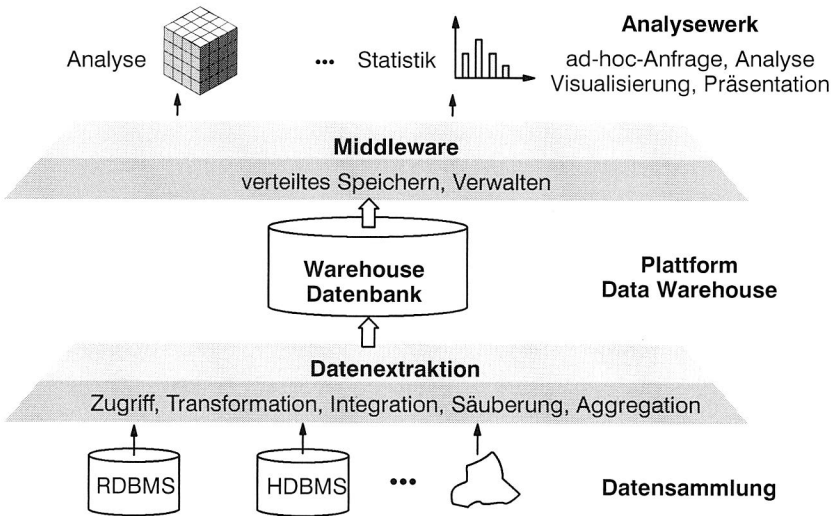


Bild 57: Data Warehouse-Konzept zur Trennung der entscheidungsunterstützenden von den operationalen Datenbeständen [36]

Nachteilig ist die monolithische, meist starre Struktur, welche die Vereinheitlichung sämtlicher Daten vor ihrer Lagerung im Data Warehouse erforderlich macht. Die Daten müssen dazu aus den einzelnen Applikationen extrahiert und konvertiert werden. Darüber hinaus können Daten in einem Data Warehouse nicht gelöscht werden. Stattdessen werden in regelmäßigen Abständen neue Momentaufnahmen des Systemzustandes (frames) hinzugefügt. Somit ist das Grundkonzept eines Data Warehouse beispielsweise für das Anlegen einer Anlagenhistorie geeignet, es erfüllt jedoch nicht die Anforderung einer reaktionsschnellen und flexiblen Informationsstruktur für die Verfügbarkeitssicherung. Da das Data Warehouse ursprünglich ausschließlich für die Unterstützung von Führungskräften konzipiert wurde, ist der Aspekt "Planung und Simulation" bisher nicht ausreichend berücksichtigt worden [9]. Beispielsweise ist im Data Warehouse-Konzept das Zurückschreiben von Ergebnissen aus den Analysen nicht vorgesehen [51].

6.1.3 Entwurf der Plandatenbasis

Aufgrund der Ergebnisse von Kap. 6.1.2 ist es ein Ziel dieser Arbeit, eine Datenbasis für die umfassende Unterstützung der Entscheidungsfindung im Rahmen der Planung zu entwickeln. Bei der Konzeption sind die in Kap. 5.1 definierten Anforderungen bezüglich der Informationen und der bereitzustellenden Funktionalität zu berücksichtigen. Wie bereits in Bild 44 deutlich wurde, übernimmt die Plandatenbasis im Gesamtsystem eine zentrale Funktion. Dies läßt sich an den Informationsflüssen verdeutlichen (Bild 58).

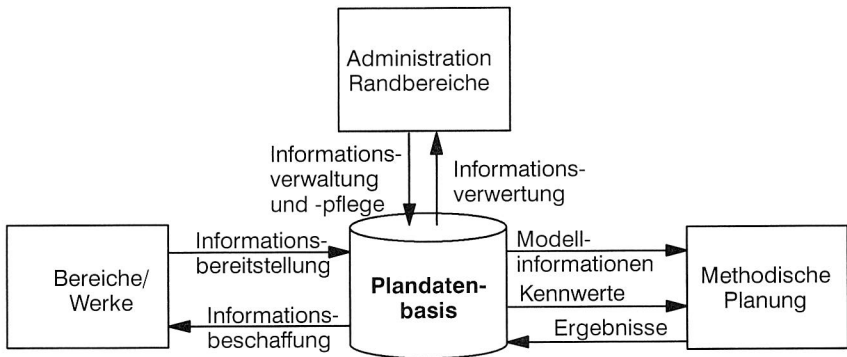


Bild 58: Anwendungsumwelt der Plandatenbasis

Primär hat die Plandatenbasis die Aufgabe, planungsrelevante Informationen der Unternehmens- und Produktionsbereiche für die methodisch unterstützte Entscheidungsfindung transparent und universell verwendbar zur Verfügung zu stellen.

Im Gegensatz zum Data Warehouse, das Daten über Zugriffe auf Datenquellen sammelt und nur diese für Anwendungen bereitstellt, wird diese Datenbasis für den operativen Zugriff konzipiert: Über die gezielte Bereitstellung der Daten von den Bereichen/Werken sind auch bestimmte Ergebnisse der Planung in die Plandatenbasis benutzergeführt zurückzuschreiben. Dies sind Informationen, die Einträge in der Plandatenbasis um aktuelle Werte ergänzen. Damit können stets aktuelle und konsistente Vorgaben den Planungsentscheidungen zugrunde gelegt werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine geeignete Administration sowie Daten- und Zugriffsverwaltung. Aufgabe der Datenverwaltung ist dabei auch, eine Historie der Informationen zu führen. Damit kann beispielsweise zwischen zu überprüfenden Daten und überprüften Daten, die damit auch als Planungsgrundlage verwendet werden können, differenziert werden. Der Datenzugriff ist zu regeln, um den aufgaben- und anwenderorientierten Umgang mit den Informationen zu ermöglichen.

Auf dieser Grundlage kann die Plandatenbasis umfassend genutzt werden. Die Bereiche/Werke sind dann beispielsweise in der Lage, sich aus der Plandatenbasis

aktuelle Vorgaben, z. B. Auftragsreihenfolgen, zu beschaffen. Bereichen, die indirekt in die Planungsaufgaben involviert sind, kann ein lesender Zugriff zur Informationsverwertung, z. B. im Sinne eines Managementinformationssystems [45], ermöglicht werden.

6.2 Struktur des Datenmodells

Das Informationsmodell soll die für die Produktionsplanung benötigten Informationen ebenenübergreifend bereitstellen. Die Informationen sind dabei verschiedenen Anwendungen, die auf unterschiedlichen Modellen basieren können, zur Verfügung zu stellen. Hierfür ist eine geeignete Datenstruktur zu konzipieren.

Voraussetzung für die Konzeption der Datenstruktur ist eine Struktur- und Quellenanalyse. Hierbei wird ein Sollkonzept entwickelt, das festlegt, mit welchen Informationen und auf welche Weise die Plandatenbasis gefüllt wird. In dem Sollkonzept sind bereits die Anforderungen an das System zu definieren. Dazu sind die Schnittstellen zu den Quellsystemen der Basisdaten, die oft auf unterschiedlichen Soft- und Hardwareplattformen liegen, zu ermitteln und festzulegen. Gleiches gilt für die Funktionen im Bereich der Datenbereinigung, z. B. das Zusammenführen unterschiedlicher Bezeichnungen, Plausibilitätsprüfungen sowie die Integration unterschiedlicher Definitionen und Strukturen. Letzteres ist schwierig, da die Basisdaten auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen vorliegen, beispielsweise Ist- und Plandaten oder unternehmensinterne und -externe Daten.

6.2.1 Erörterung von Modellierungsparadigmen

Das Datenmodell legt fest, in welcher Form die Informationen hinterlegt werden. Auch bestimmt es die Möglichkeiten und damit die Effizienz des Datenzugriffs. Die gängigen relationalen Datenmodelle stehen in zunehmender Konkurrenz zu sogenannten postrelationalen, objektorientierten und objektrelationalen Datenmodellen. Relationale Datenbanken verfügen über leistungsfähige Verfahren zur Implementierung. Das relationale Paradigma verbirgt vor dem Anwender alle Implementierungsdetails und betont die logisch-begriffliche Ebene eines Datenbanksystems. Es stößt an seine Leistungsgrenzen, wenn auf komplexe Objekte Bezug genommen werden soll. Aufgrund weiterer Einschränkungen [128] werden immer häufiger objektorientierte Systeme, die Informationen in Form von Objekten als Instanzen einer Klasse repräsentieren, eingesetzt. Gerade bei komplexen und verteilten Anwendungen haben die objektorientierten gegenüber den relationalen Paradigmen aus Modellierungssicht große Vorteile. Allerdings ist ihre Leistungsfähigkeit noch sehr gering und die Paradigmen sind nicht standardisiert [10]. Multidimensionale Datenbanken erlauben zwar eine effiziente Beantwortung von Anfragen zur mehrdimensionalen Datenanalyse, ihre Art der Datenhaltung ist jedoch nicht für transaktionsorientierte Anwendungen geeignet. Auch hier besteht bezüglich der Standardisierung ein Defizit.

Das objektorientierte Paradigma eignet sich für die Datenmodellierung am besten. Die Voraussetzungen für die Entwicklung eines objektorientierten Konzepts werden erfüllt. Die zu speichernden Informationen können in eine Klassenhierarchie eingeteilt werden, d. h. es können verschiedene Klassen von Daten und mehrere Datenobjekte zu jeder Klasse existieren. Auch können einige voneinander verschiedene Klassen eine gemeinsame Basis besitzen; d. h. diese Klassen können von einer Vaterklasse abgeleitet werden.

Dies kann anhand der Bildung einer Klassenstruktur von Modellkomponenten veranschaulicht werden, die auch für die Entwicklung von objektorientierten Simulatoren genutzt wird. Beispielsweise handelt es sich bei Fräs- und Drehmaschinen sowie Transportanlagen um verschiedene Klassen von Komponenten einer Produktionsanlage. Zu jeder Klasse kann es mehrere Instanzen geben. Dies sind z. B. beliebig viele Transportbänder als auch die fahrerlosen Transportsysteme (FTS) transportieren z. B. Produkte. Diese Eigenschaft ist durch eine (generische) Vaterklasse Transport dargestellt. Für die Klasse Produktions_Maschinen ist das Produzieren das gemeinsame Charakteristikum. Schließlich sind sowohl die Transport- als auch die Produktionseinheiten Komponenten, die mindestens zwei Orte über eine bestimmte Distanz verbinden. Daher kann noch eine weitere Vaterklasse (Mat_fluss) definiert werden (Bild 59).

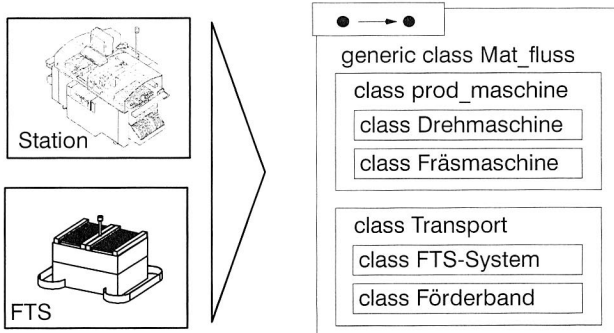


Bild 59: Objektorientierte Klassenstruktur von Modellkomponenten am Beispiel Materialflußkomponenten

6.2.2 Aufbau des Informationsmodells

Die Plandatenbasis hat die Aufgabe, alle planungsrelevanten Informationen zu verwalten, so daß sie universell für unterschiedliche Belange der Produktionsplanung verwendbar sind. Aus dem Informationskern sind verschiedene Sichtweisen abzuleiten, die Basis für spezifische Modelle sind. Grundlage für die Erstellung des Informationsmodells sind analog zu den objektorientierten Ansätzen zur

Datenmodellierung die Objektklassen Produkt, Ressource und Auftrag [72]. Dazu sind grundsätzlich die Produktionssysteme in ihren strukturellen und dynamischen Zusammenhängen in einem Modell abzubilden.

Ausgangsbasis für die Konzeption der Struktur des Informationsmodells ist die Analyse bestehender Ansätze. Bisher entwickelte Konzepte für den Aufbau hierarchischer Datenmodelle zur integrierten Planung von Produkt und Prozeß (z. B. [5]) können allerdings nicht direkt mit Modellierungswerkzeugen gekoppelt werden. Sie bedürfen dafür einer Erweiterung um Funktionalitäten, wie Eigenschaftsgruppen, Kapazitätsgruppen oder Produktfamilien, und um Objektattribute für die Abbildung produktions- bzw. simulationsspezifischer Aspekte.

Wesentlich für die effiziente Nutzung der Plandatenbasis ist deshalb eine geeignete Zuordnung der Daten entsprechend ihrer Abhängigkeiten zu planungsrelevanten Objekten. Planungsrelevante Objekte sind hier sowohl die Unternehmenseinheiten als auch die Produkte, weshalb für diese eine Strukturierung vorgenommen wird, die den Planungshierarchien entspricht (Bild 60).

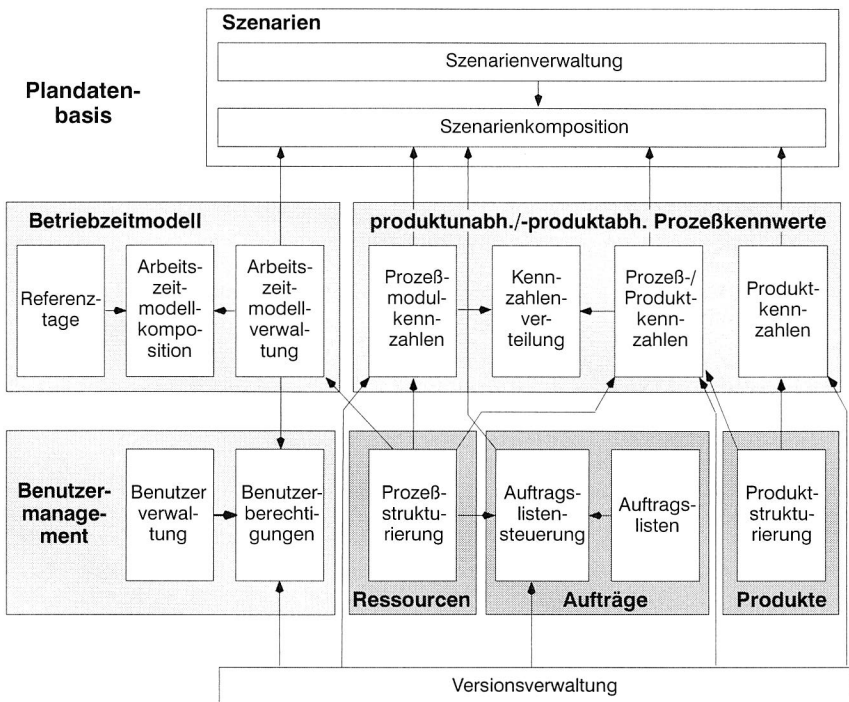


Bild 60: Gesamtstruktur der bereichsübergreifenden Plandatenbasis

Neben der Strukturierung von Produkten und Prozessen ist die Beschreibung der Strukturen durch Kennzahlen erforderlich, die zusammen mit den Strukturinformationen die Basis für die Anwendung der Planungsmethoden und -programme sind. Dies sind beispielsweise die Stückzahlen, Produktionsstart- und -endtermine für die Produkte sowie Produktionskapazitäten für die Prozesse. Gerade um die Planung unter Berücksichtigung zeitlicher Aspekte zu ermöglichen, sind zusätzlich Arbeitszeitmodelle zu definieren und zu verwalten.

Aus dem Ziel, die Plandatenbasis ebenenübergreifend einzusetzen, resultieren spezielle Anforderungen, um eine einwandfreie Nutzung und Verwaltung der Plandatenbasis zu gewährleisten. Dies betrifft neben der bereits erwähnten Versionsverwaltung, die vor allem die Dateneingabe unterstützt, die Definition und Verwaltung von Szenarien, um die Daten anwendungsorientiert bereitstellen zu können.

6.2.3 Strukturierung der Daten

Die Strukturierung der Unternehmenseinheiten wurde unter objektorientierten Aspekten in der Klasse Prozeßmodul vorgenommen. Hier wird zwischen sogenannten Organisationsmodulen, die entsprechend der Planungsebene die Fertigungseinheiten Werk, Bereich bzw. Anlage/Maschine repräsentieren, und den Einheiten zur Entkopplung und logistischen Verknüpfung der Fertigungseinheiten differenziert (Bild 61).

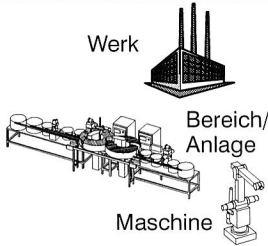
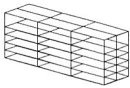

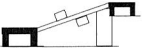
Prozeßmodul			
Organisationsmodul	Logistikmodule		
	Ortsfester Speicher	Förderspeicher	Förderweg
 <p>Werk</p> <p>Bereich/ Anlage</p> <p>Maschine</p>			

Bild 61: Elemente des Prozeßmoduls zur ebenenneutralen Strukturierung der Unternehmenseinheiten und deren Verknüpfungselemente

Die unter dem Organisationsmodul subsumierten Fertigungseinheiten sind analog zu Kap. 5.3.3 hierarchisch strukturiert. Sie werden mit Hilfe von Speichern und

Förderwegen logistisch miteinander verknüpft. Somit können die Materialflüsse auf allen Abstraktionsebenen an den Systemgrenzen und zwischen den Organisationsmodulen, z.B. Materialfluß zwischen Vorfertigung und Montage, beschrieben werden (Bild 62).

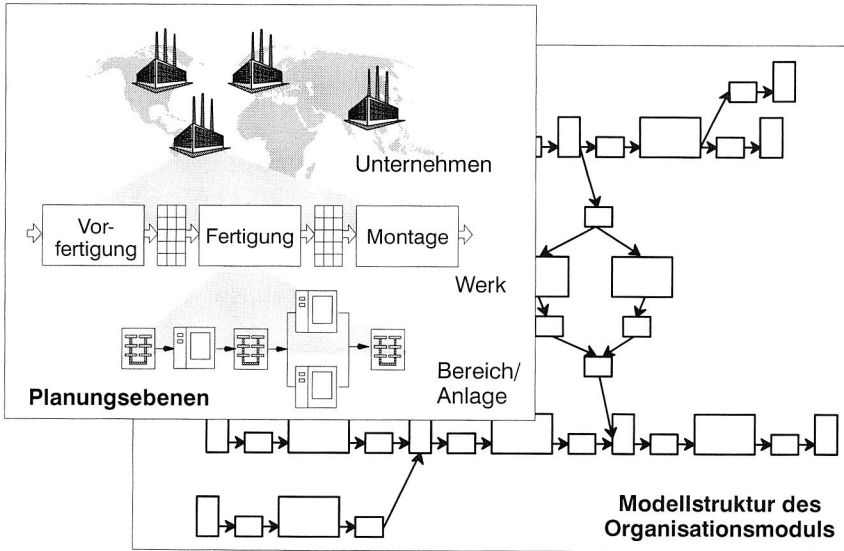


Bild 62: Hierarchische Gliederung des Organisationsmoduls

Generell sind auf höherer Hierarchieebene mehrere Produktionseinheiten mit den logistischen Verknüpfungselementen in der zugehörigen abstrahierten Produktionseinheit zusammengefaßt. Beispielsweise ist die Fertigung ein Teilbereich eines Werkes. Auf hoher Abstraktionsebene ist das Werk insgesamt als System in seinem Verhalten zu beschreiben. Erst auf den Ebenen mit höherem Detaillierungsgrad werden Zusatzinformationen über Teilkomponenten für die Entscheidungsfindung benötigt.

Beispielsweise ist dann die Funktion des Lagers als logistisches Verknüpfungselement, z. B. die Entkopplung und/oder Steuerung von Produktionseinheiten relevant. Somit sind die logistischen Verknüpfungselemente auf der jeweiligen Hierarchieebene immer bezüglich der Eigenschaften und des dynamischen Verhaltens, die für die hier anstehenden Entscheidungen benötigt werden, explizit zu berücksichtigen.

Der Aufbau von Produkten wird durch Stücklisten bzw. Teileverwendungsnachweise eindeutig beschrieben. Für die Produktionsplanung sind die Fertigungsstücklisten relevant. Allerdings wird der hohe Detaillierungsgrad nur für spezielle Aufgaben, z. B. die Arbeitsplanung, benötigt. Auf höherer Hierarchieebene basieren die

Entscheidungen auf bestimmten Eigenschaften bzw. Merkmalen, die einzelnen oder zusammengefaßten Informationen der Fertigungsstückliste entsprechen. Deshalb wurde eine der Planungsebene entsprechende Abstraktion der Stücklisten mit Hilfe einer ABC-Analyse anhand von planungsrelevanten Kriterien vorgenommen.

Als planungsrelevante Kriterien wurden diejenigen Ausprägungen von Produkten definiert, die bei der Auslegung der Prozeßmodule direkt oder indirekt zu berücksichtigen sind. So bestimmt die Größe eines Produkts den Platzbedarf und damit direkt die Puffergröße. Verschiedene Farben für die Lackierung beeinflussen das Verhalten der Prozeßmodule für die Oberflächenbehandlung. Der Montageumfang differiert normalerweise bei unterschiedlichen Varianten, wodurch das Verhalten der Prozeßmodule Montage indirekt beeinflusst wird. Damit wird ein Produkt in der Plandatenbasis durch seine jeweils für die Produktion charakteristischen Merkmale beschrieben (Bild 63).

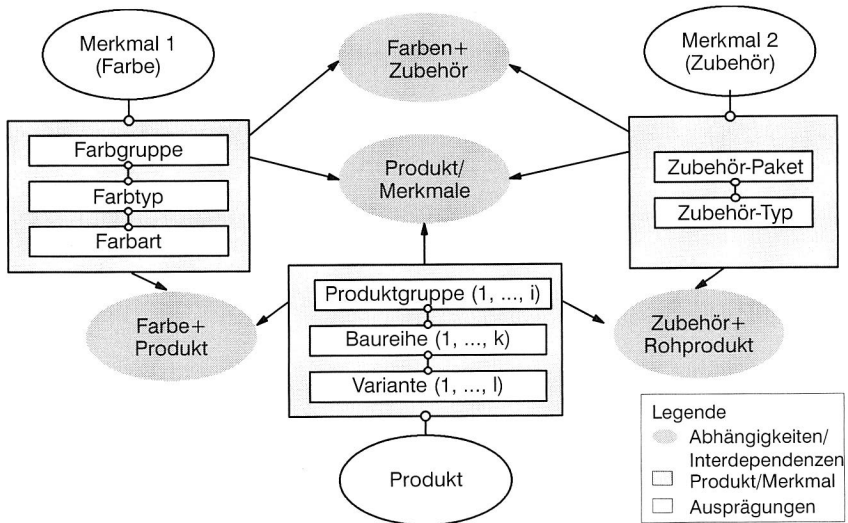


Bild 63: Abstrakte strukturierte Beschreibung von Produkten an einem Beispiel

Die Produktionsmengen beziehen sich auf die Abbildungsebene in der Produktstruktur. Auf dieser Basis können die Mengen auf die relevanten Prozeßmodule mit Hilfe von Häufigkeitsverteilungen, die an relevante Ausprägungen gekoppelt sind, bezogen werden (Bild 64).

Eine umfassende Datenmodellierung macht für jede mögliche Kombination von Produkttyp und planungsrelevanten Produktkriterien die Definition einer separaten Tabelle erforderlich. Die Tabellen sind doppelt anzulegen, da die Produkte sowohl abhängig als auch unabhängig von den Prozeßmodulen beschrieben werden können.

Damit besteht z. B. die Möglichkeit, die gesamte zu produzierende Stückzahl sowie die werks-, bereichs- und anlagenspezifischen Produktionsstückzahlen für die Produkte zu hinterlegen.

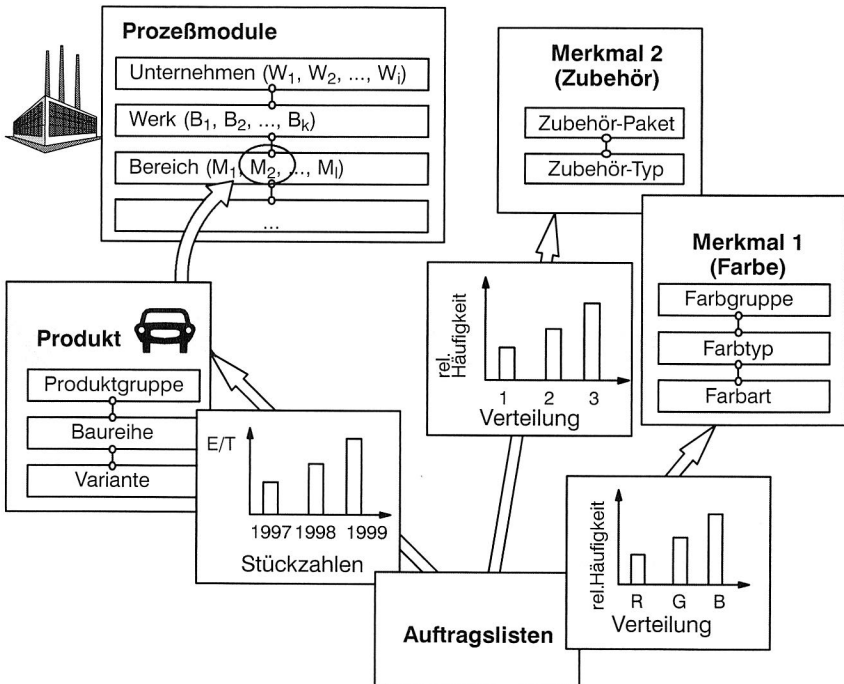


Bild 64: Produktbeschreibung in der Plandatenbasis

6.2.4 Entwurf des Relationenmodells der Plandatenbasis

Das Relationenmodell der Plandatenbasis ist aufgrund der Vielzahl von Relationen und Verknüpfungen komplex. Deshalb ist in Bild 65 lediglich die Grobstruktur des Relationenmodells dargestellt. Diese Grobstruktur veranschaulicht die Konnektivität der Relationen, wobei die einzelnen Kästchen meist mehrere Entitäten beinhalten.

Die Prozessmodule sind Basis der Modellierung. Sie beschreiben die Unternehmenseinheiten bezüglich Struktur, Hierarchie und der logistischen Verknüpfung. Den Prozessmodulen können unterschiedliche Betriebszeitmodelle zugeordnet werden. Für die Produktbeschreibung werden Entitäten eingeführt, um die Produktbezeichnung und -hierarchie abzulegen.

Die Entitäten zur Beschreibung der Kennzahlen sind in drei Blöcke strukturiert, um die produktbeschreibenden und prozeßmodulbeschreibenden von den kombinierten Kennzahlen zu trennen. Die drei Blöcke werden einer gemeinsamen Historie zugeordnet.

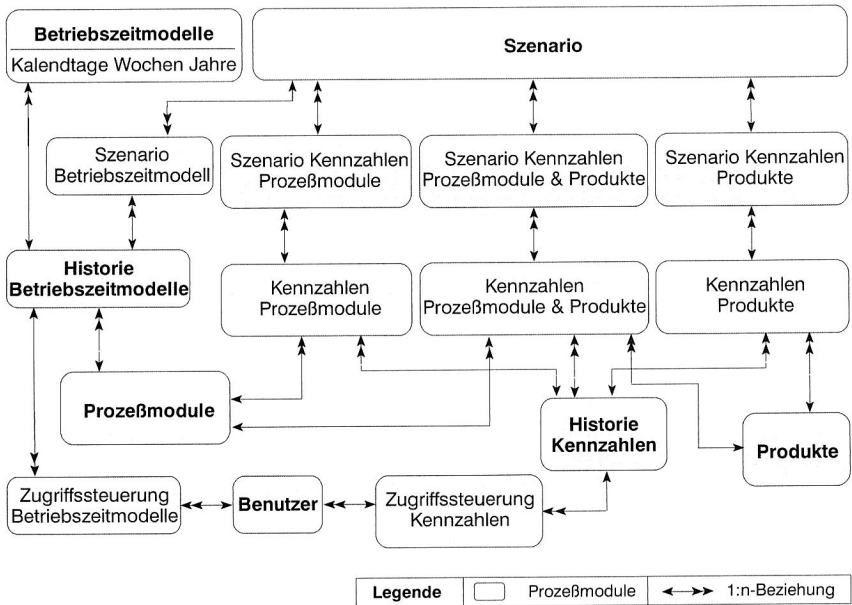


Bild 65: Grobstruktur des Relationsmodells der Plandatenbasis

6.3 Lösungsansätze zur Erfüllung spezieller Anforderungen

Die Gesamtstruktur der Plandatenbasis verfügt auch über Module, die spezielle Anforderungen erfüllen und damit eine planungsebenenübergreifende Nutzung und Verwaltung der Plandatenbasis gewährleisten.

6.3.1 Ansatz zur Lösung der Zeitproblematik

Bisher repräsentieren die in konventionellen Datenverwaltungssystemen gespeicherten Daten die jeweils aktuelle Ausprägung der Informationen. Speziell für planerische Bereiche, aber auch für Disposition und Controlling kann durch die Bereitstellung der Historie dieser Daten ein Informationsvorteil entstehen, da sich die

meisten betrieblichen Kennzahlen und Geschäftsdaten nur im Vergleich zum letzten Monat, Quartal oder Jahr sinnvoll interpretieren lassen.

Voraussetzung hierfür ist ein Historienmanagement in der Plandatenbasis. Dessen Entwicklung wurde das Konzept der Projektbibliothek nach [97] zugrunde gelegt.

Die Versionenverwaltung hat die Aufgabe, den Zustand der Informationen festzuhalten. Dabei sind der Zeitpunkt der Dateneingabe und der Ursprung der Information, z. B. die eingebundene Person, zu dokumentieren. Darüber hinaus ist der Abstimmungsgrad der Informationen relevant. Hierbei wird zwischen folgenden Zuständen differenziert (Bild 66).

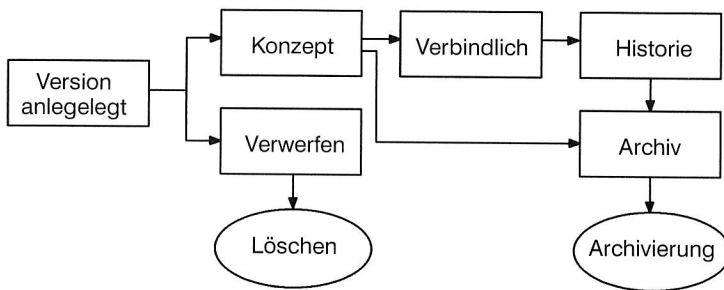


Bild 66: Statuslogik der Versionenverwaltung von Kennwerten und Arbeitszeitmodellen

Version angelegt charakterisiert einen neu angelegten Datensatz. Der Zeitpunkt des Eintrags und die eintragende Person, welche einen schreibenden Zugriff auf die Daten erhält, werden festgehalten. Angelegte Daten, die nicht weiter verwaltet werden, sind zu *Verwerfen*. Die Daten werden nicht archiviert. Im Status *Konzept* dürfen keine Veränderungen der Daten vorgenommen werden. Für ein Objekt können im gleichen Zeitraum Versionen dieses Datensatzes mit dem Status *Konzept* und weitere Datensätze existieren. Den Status *Verbindlich* können nur Daten nach dem Status *Konzept* erhalten. In einem Gültigkeitszeitraum darf nur eine Version mit diesem Status zur Beschreibung eines Datensatzes existieren. Versionen, die *Verbindlich* waren, erhalten nach Ablauf der zeitlichen Gültigkeit den Status *Historie*. Damit kann festgehalten werden, bis zu welchem Zeitpunkt eine Information den Status *verbindlich* inne hatte. Der Status *Archiv* kennzeichnet Informationen, die in eine Archivbibliothek auszulagern sind. Hierzu gehören beispielsweise Versionen mit Status *Konzept*, die aufgrund von Entscheidungen, z. B. durch Anwendung der Simulation, verworfen wurden. Die Archivierung der Datensätze macht die Entscheidungen zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehbar.

Die Vorgehensweise beim Anlegen einer neuen Version eines Kennwertes ist in Bild 67 dargestellt.

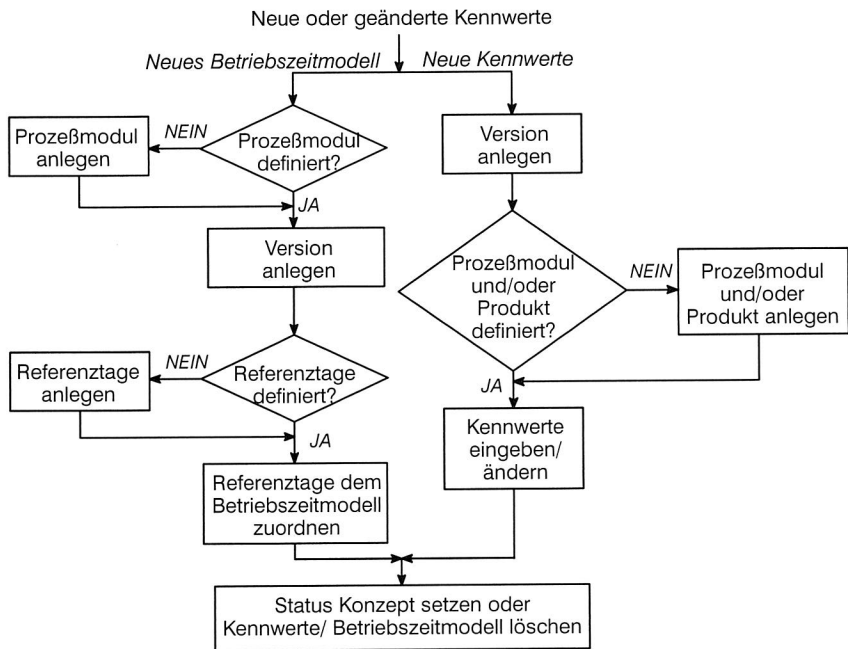


Bild 67: Beschreibung der Funktionalität beim Anlegen einer neuen Version

Die Verwaltung der Informationen wird im Bild 68 an einem Beispiel veranschaulicht. Ein Kasten symbolisiert jeweils die Kennwerte für ein Objekt, die innerhalb des angegebenen Zeitraums gültig sind. Am 1.1.2000 (1) werden von einer Person Datensätze angelegt und dabei drei alternative Kennwertsätze eines Objektes für den Zeitraum vom 1.1.2001 bis 31.12.2001 und zwei alternative Sätze für den Zeitraum vom 1.7.2001 bis 30.6.2002 eingetragen. Der Status der Datensätze lautet *angelegt*, weshalb sie zunächst nur für die eintragende Person sichtbar sind.

Am 1.3.2000 (2) erhalten vier der Datensätze den Status *Konzept*, wodurch sie Planungen zugrunde gelegt werden können und deshalb auch nicht mehr editierbar sind. Am 1.6.2000 (3) erhält ein Datensatz den Status *Verbindlich*, der alternative Datensatz den Status *Archiv*. Gleichzeitig soll der vierte Datensatz ebenfalls *Verbindlich* werden (4). Damit bestünde für den Zeitraum vom 1.7.2001 bis 21.12.2001 kein eindeutig verbindlicher Datensatz.

Diese Inkonsistenz muß dem Benutzer gemeldet werden, damit er sie beheben kann. Für die Wiederherstellung der Konsistenz gibt es generell verschiedene Möglichkeiten. Sollen dabei Daten aus dem Archiv verwendet werden, dann ist für diese Daten eine neue Version zu definieren.

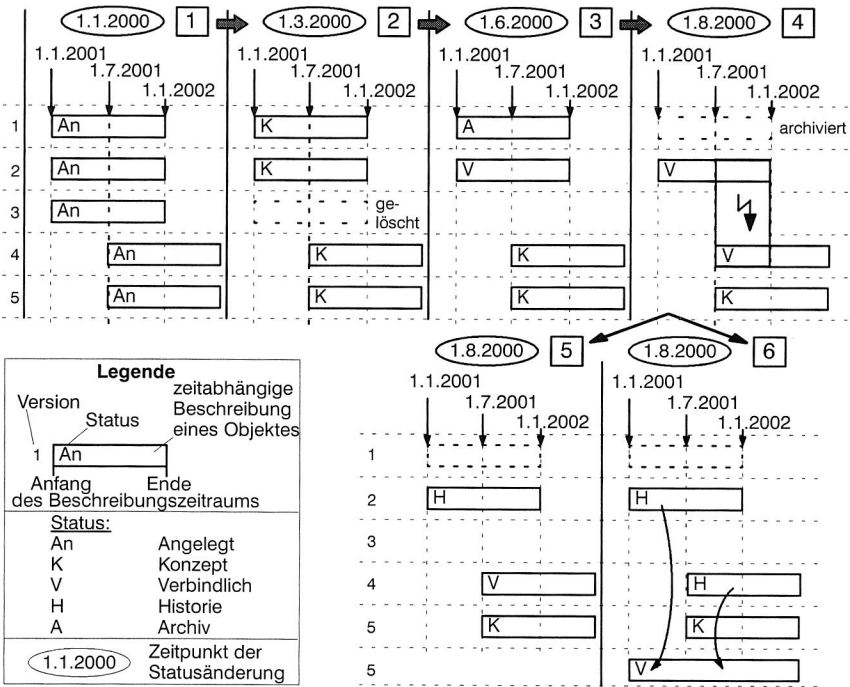


Bild 68: Beispiel für die Historienverwaltung von Kennwerten

6.3.2 Szenariomanagement für Simulationsanwendungen

Die Simulation kann generell in allen Produktionsplanungszyklen eingesetzt werden. Um beispielsweise Alternativen vergleichen zu können, müssen ihr Modell- und Initialisierungsinformationen mit unterschiedlichem Status zugrunde gelegt werden. Allein durch Realisierung des in Kap. 6.3.1 beschriebenen Versionenmanagements sind deshalb simulationsbasierte Entscheidungen nicht reproduzierbar.

Hierfür müssen die Eingangsgrößen der Simulation, die Simulationsmodelle und die Simulationsergebnisse konsistent gespeichert werden. Während die Version den Status der Daten dokumentiert, erlaubt das Szenario die Verknüpfung von Daten mit unterschiedlichem Planungsstatus für die Definition einer Planungs- und Entscheidungsalternative. Erst hierdurch ist es möglich, Planungsszenarien mit Daten, die einen unterschiedlichen Status besitzen, zu definieren und mit Hilfe der Simulation reproduzierbar zu vergleichen (Bild 69).

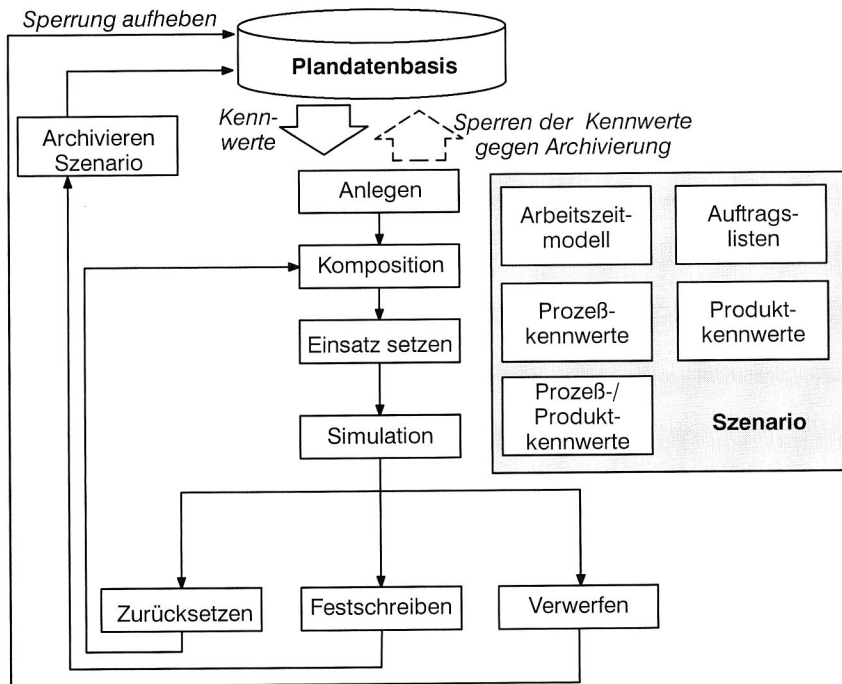


Bild 69: Beispiel für das Zusammenstellen eines Szenarios

6.3.3 Betriebszeitmodelle für die Planungsebenen

Für simulationsbasierte Planungsentscheidungen ist die korrekte Berücksichtigung der Betriebs- und Arbeitszeiten der planungsrelevanten Systeme unbedingt erforderlich. Nur unter dieser Voraussetzung kann z. B. die Leistungsfähigkeit der Systeme unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens realitätsgetreu modelliert und ermittelt werden. Dabei müssen auch verschiedene Betriebs- und Arbeitszeiten von Subsystemen berücksichtigt werden können. Dies ist notwendig, um beispielsweise Produktionsabläufe über verschiedene Produktionsbereiche, wie Vorfertigung, Fertigung und Montage, die eine unterschiedliche Pausen- und Arbeitszeitregelung haben, aufeinander bezüglich bestimmter Ziele, wie z. B. das Leistungsverhalten, abzustimmen. Eine weitere Anwendung ist die Definition von alternativen Betriebszeitmodellen, um gezielte Kapazitätsanpassungen an die dynamische Belastung der Produktion planen und überprüfen zu können.

Bisher werden bei Simulationsstudien oftmals nicht ganze Tage simuliert, sondern nur die Betriebszeit der Anlagen des betrachteten Systems. Dieses Vorgehen ist in diesen

Fällen gerechtfertigt, da hierbei die Modellierung keine Auswirkung auf die Realitäts-treue hat. Dies widerspricht allerdings der universellen Verwendung der Modellierungs-informationen einzelner Teilbereiche. Es ist deshalb notwendig, ein durchgängig einsetzbares Arbeitszeitmodell zu definieren [107]. Das Arbeitszeitmodell wird von Referenztagen, die einem Betriebszeitmodell zugeordnet werden, beschrieben (Bild 70).

Schicht	Anfang	Ende	Vorgang	Produktion
Schicht 1	05:00	05:10	Besprechung	Nein
Schicht 1	05:10	08:00	Arbeit	Ja
Schicht 1	08:00	08:15	Kleine Pause	Nein
Schicht 1	08:15	12:00	Arbeit	Ja
Schicht 1	12:00	12:30	Mittagspause	Nein
Schicht 1	12:30	15:00	Arbeit	Ja
Schicht 2	15:00	15:10	Besprechung	Nein
Schicht 2	15:10	18:00	Arbeit	Ja
Schicht 2	18:00	18:15	Kleine Pause	Nein
Schicht 2	18:15	21:00	Arbeit	Ja
Schicht 2	21:00	21:30	Mittagspause	Nein
Schicht 2	21:30	24:00	Arbeit	Ja
Schicht 3	00:00	05:00	Pause	Nein

Bild 70: Prinzipieller Aufbau eines Referenztages

Der Referenztage beschreibt die Zeitabschnitte charakteristischer Tage. Insgesamt können verschiedenste Referenztage als Alternativen definiert werden, die wiederum zu unterschiedlichen Betriebszeitmodellen kombinierbar sind. Grundsätzlich ist auch ein betriebsfreier Referenztage zu definieren.

Der Referenztage benötigt als variable Größen die Zeit und die Aktivitäten. Der Bezug zu bekannten Begriffskonventionen wird durch die Differenzierung nach Vorgängen und Schichten hergestellt. Die einzelnen Vorgänge der Schichten werden bezüglich ihrer zeitlichen Dauer durch Angabe von Beginn und Ende beschrieben. Weiterhin sind für die einzelnen Vorgänge die Aktivitäten zu definieren, da z. B. während einer Schichtpause auch weiter produziert werden kann.

Während eine universelle Verwendung der Referenztage möglich ist, müssen Betriebszeitgrundmodelle mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad bereitgestellt werden, um den unterschiedlichen Genauigkeitsanforderungen der vielfältigen Planungsentscheidungen auf den Planungsebenen gerecht zu werden. Hierbei wird differenziert zwischen dem Jahresbetriebszeitmodell, dem Wochen- und dem Tagesbetriebszeitmodell.

Das Tagesbetriebszeitmodell bildet den reale Betriebskalender, der für das jeweilige System bzw. Teilsystem gültig ist, ab. Hierbei wird jedem Kalendertag ein Referenztag zugeordnet, wobei der Bezugszeitraum implizit durch den ersten und letzten beschriebenen Kalendertag festgelegt wird (Bild 71).

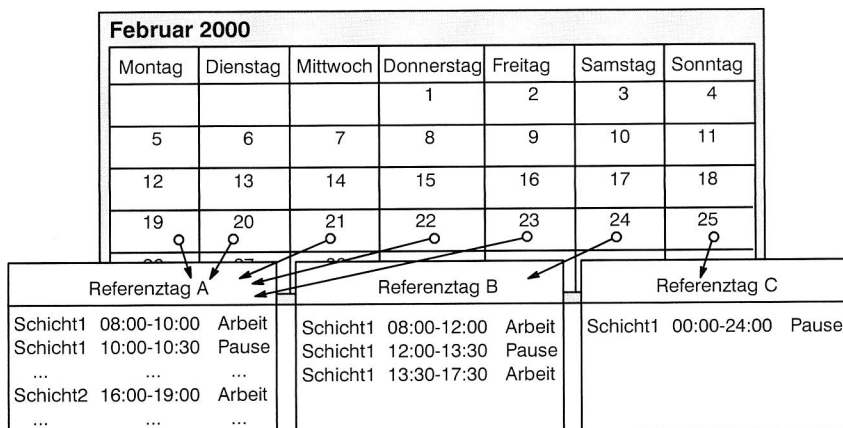


Bild 71: Aufbau des Betriebszeitmodells zur Abbildung von Kalendertagen

Demgegenüber sind die beiden anderen Betriebszeitgrundmodelle nicht so exakt. Die Abfolge der Referentzstage ist hier nicht mehr eindeutig festgelegt. Die hiermit zur Verfügung gestellten Informationen sind insbesondere bei Untersuchungen über mehrere Jahre oftmals ausreichend. Soll beispielsweise die Auswirkung von 20 zusätzlichen Samstagsschichten innerhalb eines Jahres analysiert werden, dann ist nicht die Abfolge der einzelnen Tage, sondern die zusätzlich zur Verfügung stehende Produktionszeit relevant.

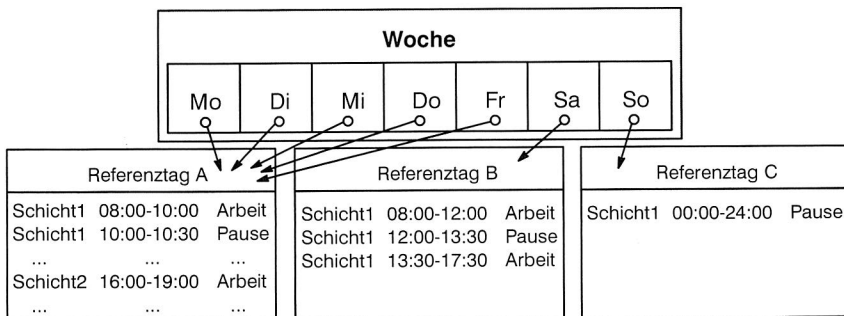


Bild 72: Zuordnung von Referenztag zu einem Wochenbetriebszeitmodell

Im Wochenbetriebszeitmodell ist für die Wochentage eine feste Abfolge von Referenztagen definiert, wodurch kein fester Bezug zum Jahreskalender hergestellt werden kann. Dieses Betriebszeitgrundmodell kann gut zur simulationsbasierten Abstimmung des Verhaltens von verschiedenen Produktionsbereichen verwendet werden. Für die Berücksichtigung von Feiertagen sind analog zum Referenztag alternative Wochenbetriebszeitmodelle zu definieren (Bild 72).

Für den Betrachtungszeitraum pro Jahr werden im Jahresbetriebszeitmodell die verschiedenen Referenztage und deren Anzahl festgelegt (Bild 73). Der Bezugszeitraum wird wiederum implizit durch das erste und letzte beschriebene Jahr festgelegt.

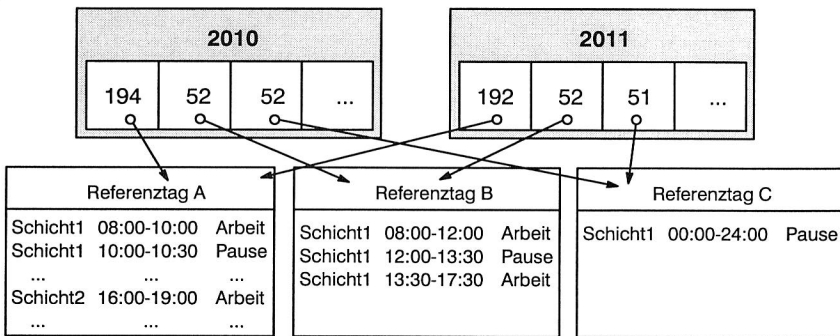


Bild 73: Generierung des Jahresbetriebszeitmodells aus Referenztagen

6.3.4 Realisierung des Datenaustauschs und des Benutzermanagements

Wie in Kap. 6.1.3 vorgestellt wurde, kann die Plandatenbasis von verschiedenen Anwendern genutzt werden. Hierfür sind zunächst geeignete Schnittstellen für einen anwendungsgerechten Datenzugriff auf die Plandatenbasis bereitzustellen. Bezüglich des Datenzugriffs wird dabei zwischen der Informationserfassung und -beschaffung durch die Unternehmensbereiche, die Informationsverwertung durch die Anwendungen des Gesamtsystems zur methodischen Planung und der Informationsanalyse durch Drittanwender, wie dem Management, unterschieden (Bild 74).

Die Informationserfassung dient der Aufnahme von Daten in die Plandatenbasis. Für die Informationsanalyse dient die Plandatenbasis als direkter Informationsspeicher, der durch den Anwender indirekt, z. B. zur Abstimmung und Verdichtung von Daten oder zur Analyse von Zusammenhängen genutzt wird. Mit Informationsverwertung wird der Zugriff auf Daten in der Plandatenbasis für die integrierte Weiterverarbeitung in einer Anwendung (z. B. der Simulation) beschrieben, wobei der Transfer von

bestimmten Informationen zurück in die Plandatenbasis zur Aktualisierung und Ergänzung gewährleistet sein soll.

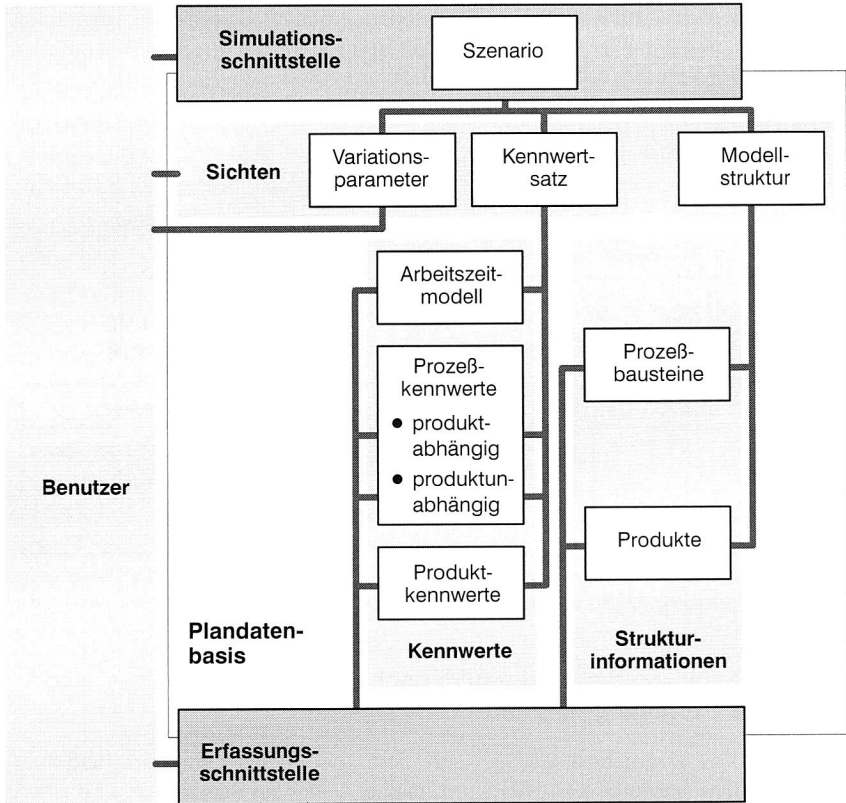


Bild 74: Strukturierung der Schnittstellen der Plandatenbasis

Der Datenaustausch ist dabei so zu gestalten, daß die Plandatenbasis insgesamt in das Gesamtsystem für eine effiziente Nutzung eingebunden werden kann. Für die Realisierung des Datenaustauschs werden deshalb verschiedene Alternativen bezüglich der Anbindung zwischen Datenbasis und den verschiedenen Anwendergruppen analysiert.

Bei der Analyse und Auswahl werden wesentliche Charakteristika der Anwendungen bezüglich des Datenaustauschs, wie der Datenumfang, die Datenkomplexität, die Anforderungen an den Datenschutz, die Benutzeranzahl, die Benutzertypen und -profile, die Flexibilität sowie die Darstellungsmöglichkeiten, berücksichtigt.

Datenaustausch zwischen Plandatenbasis und Methodischer Planung

Den Planungsebenen und -bereichen sind die Informationen der Plandatenbasis zur systematischen Informationsanalyse und -verwertung bereitzustellen. Hierfür ist eine geeignete Kopplung zwischen den verschiedenen Planungsmethoden, insbesondere der Simulation, und der Plandatenbasis erforderlich. Ziel ist es dabei, die jeweils relevanten Daten, die für die betreffenden Entscheidungsprozesse benötigt werden, aus der Plandatenbasis bereitzustellen.

Hierfür ist eine Anbindung an die Plandatenbasis zu schaffen, die es dem Benutzer ermöglicht, individuelle problemspezifische Sichten auf die Plandatenbasis zu definieren. Damit wird sowohl die Ermittlung der korrekten Modellstruktur des jeweils zu betrachtenden Systems als auch die Extraktion der zugehörigen relevanten Kennwertsätze, die für das Modellieren und Experimentieren benötigt werden, unterstützt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Sicht um aktuelle Parameter als Variationsparameter zu definieren. Diese Daten sind noch nicht direkter Bestandteil der Plandatenbasis. Sie dienen vielmehr als Grundlage für die Experimentdefinition. Die gesamte Sicht wird als Szenario, das in Kap. 6.3.2 bereits näher beschrieben wurde, zusammengefaßt.

Die Leistungsanforderungen an den Datenaustausch zwischen Plandatenbasis und den Anwendungen des Gesamtsystems zur methodischen, simulationsbasierten Planung sind hoch. Diese Anforderungen erfüllen leistungsfähige Werkzeuge auf Basis von Programmiersprachen der vierten Generation [11]. Damit kann eine interaktive Benutzerführung für den Datenaustausch zwischen Plandatenbasis und Anwendungen realisiert werden. Die oberflächengestützte Anwendung wird auf dieser Basis mit speziellen Datenbankwerkzeugen, wie z. B. ORACLE-Forms [1], entwickelt.

Der Aufwand für die Erstellung des interaktiven oberflächengestützten Datenbankzugriffs steigt fast exponentiell mit der Zahl der zu realisierenden Zugriffsfunktionen. Die Funktionen müssen fest programmiert werden. Die Anwendung muß jedem Benutzer lokal zur Verfügung gestellt werden. Änderungen sind nur von Experten durchführbar.

Datenaustausch zwischen den Bereichen und der Plandatenbasis

Die Bereiche sind für die Bereitstellung der Informationen, die in der Plandatenbasis verwaltet werden, zuständig. Darüber hinaus soll die Möglichkeit bestehen, gezielt Informationen aus der Plandatenbasis zu beschaffen. Hierfür ist ein flexibler Datenzugriff bzw. -austausch erforderlich. Durch Möglichkeiten zur Strukturierung und Kombination von Informationen sowie deren Visualisierung mit Hilfe geeigneter Oberflächen wird hier die Benutzerfreundlichkeit wesentlich erhöht. Charakteristisch für die Bereiche ist dabei ein unterschiedlicher Einsatz von Hardware und Software, weshalb eine davon weitestgehend unabhängige Lösung für den Datenaustausch angestrebt werden sollte, damit alle relevanten Bereiche direkt zur Informationsbereitstellung eingebunden werden können. Die Lösung kann dann auch für die Anbindung der Produk-

tionsbereiche und anderer Planungssysteme, wie z. B. PPS-Systeme und Layoutplanungssysteme, genutzt werden.

Das Intranet ist eine zukunftssträchtige Alternative, die diesen Anforderungen an den Datenaustausch gerecht wird. Während Datenbankmanagementsysteme strukturierte Informationen verwalten und daraus dynamisch verschiedene Datenmengen generieren und bereitstellen, können Web-Server vor allem statische HTML-Dokumente (Hypertext Markup Language) verteilen.

Die Kommunikation zwischen Web- und Datenbankserver erfolgt über ein Web/Datenbank-Gateway. Eine externe Anwendung wird beauftragt, von einem Web-Server aus einen anderen Dienst zu bedienen (Bild 75).

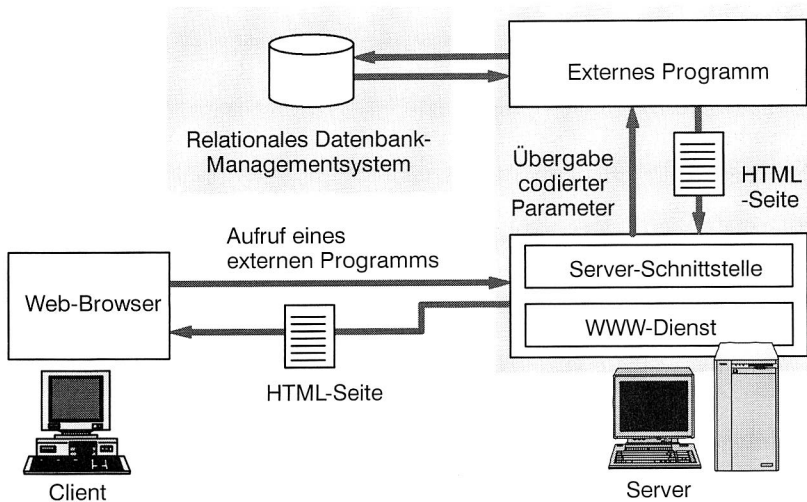


Bild 75: Prinzipielle Funktionsweise eines Web-Servers (nach [91])

Als Schnittstelle für diesen Datenaustausch dient das Common Gateway Interface (CGI). Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Datenbanken integrieren die Funktionalität des Web-Servers in den Datenbankserver, z. B. der Oracle Webserver. Zusätzlich erleichtern neue Werkzeuge die Implementierung von Intranet-/Datenbank-anwendungen [85, 86].

Oberflächen, die plattformunabhängig sind, wurden bisher mit Hilfe von höheren Programmiersprachen, z. B. C++ oder Delphi, realisiert. Sie müssen für jedes Betriebssystem neu kompiliert werden. Demgegenüber ermöglicht die Programmiersprache Java die Entwicklung plattformunabhängiger Anwendungen. Mit sogenannten Java-Applets, die in HTML-Dokumente eingebunden werden, können die Anwendungen mit jedem modernen Browser gestartet werden [37]. Zwischen den

Java-Anwendungsprogrammen und dem Datenbankserver fungiert JDBC (Java Database Connect) als ODBC-ähnliche Schnittstelle. Hier besteht noch großes Entwicklungspotential, wobei die zur Verfügung stehende Funktionalität dynamisch zunimmt [20].

Der Wartungsaufwand ist durch die zentrale Bereitstellung der Gesamtfunktionalität gering. Beispielsweise erfolgt die Aktualisierung von Anwendungen automatisch.

Datenzugriff auf die Plandatenbasis für weitere Anwendungen

Den Drittanwendern können ebenfalls die Informationen der Plandatenbasis zur Verfügung gestellt werden. Hierbei sind die Informationen meist bereits bestehenden Programmen zur Verfügung zu stellen. Der Datenzugriff wird hierbei über Schnittstellen des Betriebssystems abgewickelt. Dies wird auch als Front-End bezeichnet.

In der Praxis hat sich hier die ODBC-Schnittstelle (Open Database Connectivity) etabliert [73]. Die auf der Windows-Plattform verbreitete ODBC-Schnittstelle ermöglicht einer Applikation die Kommunikation mit einem entsprechenden Back-End der Datenbank. Entsprechende ODBC-Treiber stehen für alle gängigen Datenbanksysteme zur Verfügung (Bild 76). Die Performance von ODBC beim Zugriff auf große Datenmengen ist allerdings schlecht.

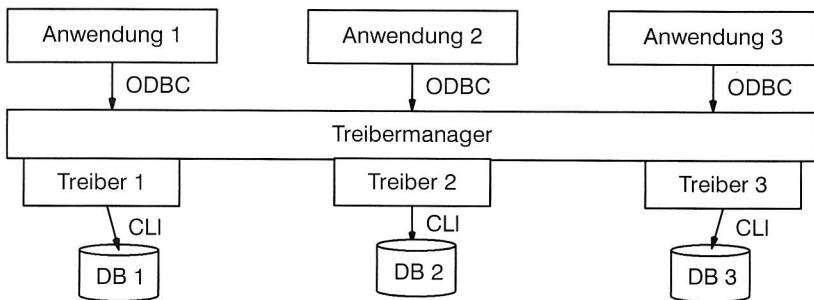


Bild 76: Aufbau der zweistufigen Datenbankschnittstelle ODBC [73]

Zur Analyse von Daten unterschiedlicher Typen dienen OLAP-Werkzeuge (OnLine Analytical Processing). Sie bieten eine große Funktionalität und eine hohe Flexibilität bei der Darstellung von Daten.

Sie sind für die Auswertung von Daten der Plandatenbasis gut geeignet. Beispielsweise können damit aus verschiedenen Daten Kennwerte für bestimmte Entscheidungen ermittelt und anschaulich zur Verfügung gestellt werden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von OLAP-Werkzeugen ist die Auswertung von Daten, bevor diese in die Plandatenbasis eingegeben werden.

Benutzermanagement

Das Gesamtsystem kann von verschiedenen Benutzern genutzt werden. Vom konventionell zur Verfügung gestellten Datenbankverwaltungssystem werden nur die generellen Rechte der Benutzer im Umgang mit den Daten, z. B. Lesen, Ändern und Erzeugen, geregelt. Um hierbei die Konsistenz und Sicherheit der Daten in der Plandatenbasis zu gewährleisten, ist deshalb zusätzlich zu dieser Verwaltung der Benutzerrechte eine Zugriffsverwaltung auf die Versionen der Datensätze erforderlich.

Hierfür wird ein Benutzermanagement in die Plandatenbasis integriert. Es hat die Aufgabe, jeweils die konkrete Art des Zugriffs auf die Plandatenbasis zu regeln sowie die Benutzerführung und Sicherheitsvorschriften festzulegen. Beispielsweise können somit die Daten einer Version mehreren Benutzern gleichzeitig zugänglich gemacht werden, wobei keine Modifikationen im Datenbankverwaltungssystem notwendig sind. Sollen bestimmte Informationen weiteren Benutzern zur Verfügung gestellt werden, sind der jeweiligen Version die weiteren Benutzer zuzuordnen. Dies kann nur teilweise vom Datenbankmanagementsystem mit Hilfe von sogenannten "Roles" und Vergabe von Privilegien übernommen werden. Insgesamt hat das Benutzermanagement auch Einfluß auf die Verwendung von Methoden, die Auswertung, Interpretation und Präsentation von Ergebnissen.

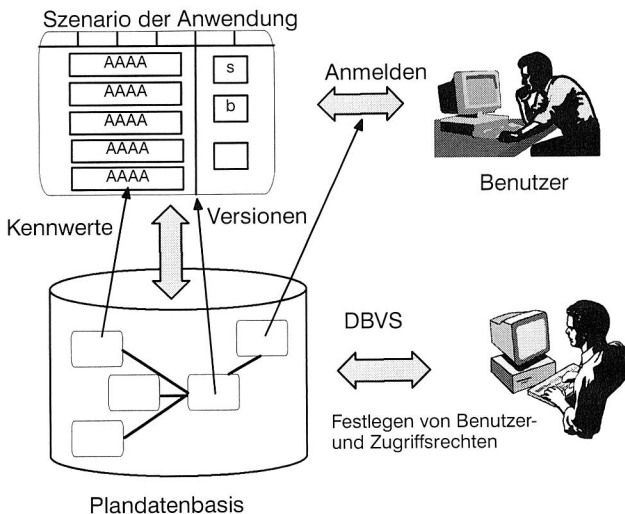


Bild 77: Verwaltung der Benutzer und des Datenzugriffs

7 Konzeption und Implementierung von Modulen des Gesamtsystems

Die Plandatenbasis, die in Kap. 6.1 konzipiert wurde, bildet die Grundlage für eine umfassende und konsistente simulationsbasierte Entscheidungsunterstützung bei verschiedenen Planungsaufgaben. Dazu ist nicht nur für die Plandatenbasis, sondern auch für die übrigen Module des Systems zur Unterstützung der Entscheidungsprozesse eine Anbindung an die Anwender herzustellen. Auf Grundlage dieser Kommunikationsplattform, die gleichzeitig als Benutzerschnittstelle fungiert, kann die Realisierung der Teilmodule erfolgen. Der Schwerpunkt wird dabei im Rahmen dieser Arbeit auf Konzeption und Implementierung der Module zur Unterstützung der automatischen Modellgenerierung, der Experiment- und Ergebnisverwaltung sowie der Validierung gelegt.

7.1 Anbindung der Simulation an die Plandatenbasis

7.1.1 Modul *EXPERT* zur effizienten Nutzung des Gesamtsystems

Für die zielorientierte Verwertung der durch die Plandatenbasis bereitgestellten Informationen ist der gesamte Entscheidungsprozeß zu unterstützen. Hierfür sind dem Anwender neben den Daten auch die Methoden, Modelle und Hilfsmittel bereitzustellen. Hierbei ist die Plandatenbasis mit den weiteren Modulen, wie in Bild 78 gezeigt, über eine Kommunikationsplattform zu koppeln.

Für die Anbindung der Anwender an das Gesamtsystem ist diese Kommunikationsplattform als Benutzerschnittstelle zu realisieren. Diese Aufgaben zur effizienten Nutzung des Gesamtsystems übernimmt das Modul *EXPERT*, indem es den systematischen, anwendungsorientierten Zugriff auf die Hauptkomponenten des Entscheidungsunterstützungssystems ermöglicht. Die Hauptkomponenten stellen die Daten, Methoden, Modelle und Hilfsmittel bereit. Damit erfüllt *EXPERT* die Aufgabe, den Anwender bei der Durchführung von Planungsprojekten zu unterstützen.

Der Aufbau des Moduls *EXPERT* basiert auf dem Konzept des Projekt-Management-Systems *OFFICE* [4]. Wie bereits in Kap. 2 aufgezeigt wurde, stellt *OFFICE* die Funktionalität bereit, um die Durchführung von konkreten Simulationsprojekten zu unterstützen. Es entspricht deshalb nicht vollständig den Anforderungen an das im Rahmen dieser Arbeit konzipierte Gesamtsystem zur problem- und ebenenübergreifenden Entscheidungsunterstützung. Beispielsweise ist eine Erweiterung des Ursprungskonzepts von *OFFICE* notwendig, um individuelle Sichten auf die Plandatenbasis definieren oder um die Anwendung verschiedenener Hilfsmittel koordinieren zu können.

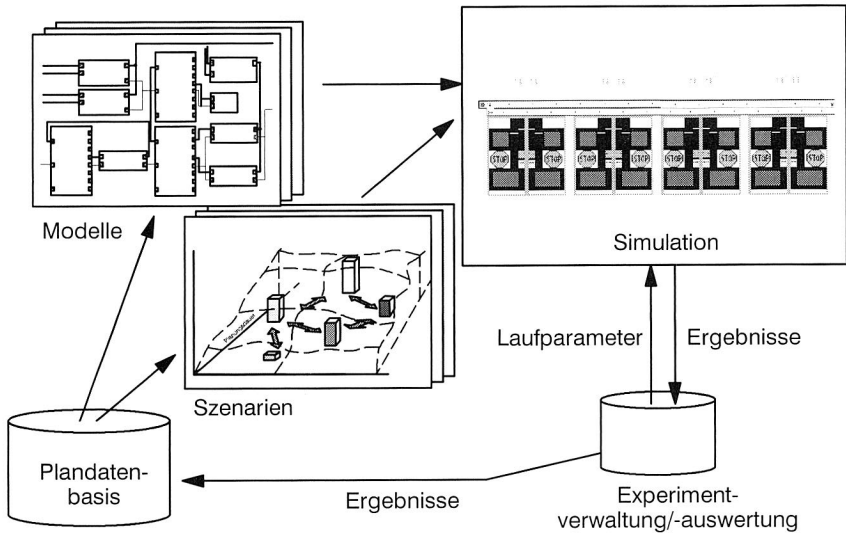


Bild 78: Kopplung der Hauptmodule des Gesamtsystems zur Entscheidungsunterstützung

Das Gesamtkonzept wird deshalb modifiziert und ergänzt. Alle Teilmodule werden in Bereiche strukturiert. Neben dem Bereich *Analyse & Präsentation*, der die Funktion der eigentlichen Benutzerschnittstelle übernimmt, dienen die drei anderen Bereiche der Verwaltung von Modellen, Daten und Methoden. Der Aufbau von *EXPERT* ist in Bild 79 veranschaulicht.

Im Bereich *Analyse und Präsentation* sind zwei Module, *PROJEKT* und *EXPERIMENT*, zusammengefaßt. Im Teilmodul *PROJEKT* werden die organisatorischen Daten der Projekte erfaßt. Die Funktionalität des gleichnamigen Moduls im Projekt-Management-System *OFFICE* kann weitgehend übernommen werden. Die erweiterte Projektbeschreibung ermöglicht eine strukturierte Verwaltung der Projekte, beispielsweise nach Planungsebenen und Aufgabenstellungen.

Damit können gleichartige Projekte, die zu verschiedenen Zeitpunkten abgewickelt wurden, miteinander verglichen werden. *EXPERIMENT* übernimmt die Aufgabe, die Durchführung der Projekte zu unterstützen und alle Experimente zu verwalten. Die Unterstützung umfaßt die Auswahl und Bereitstellung des Simulationswerkzeugs, der Hilfsmittel, des Szenarios sowie der Modelle. Dies betrifft auch die Definition, Durchführung und Verwaltung der Experimente sowie den daraus resultierenden Ergebnissen.

Die weiteren Teilmodule sind in die Bereiche *Modell-, Daten- und Methodenverwaltung* strukturiert. Sie fungieren als Schnittstellen zwischen den entsprechenden Datenbanken bzw. Anwendungen und dem Teilmodul *Analyse & Präsentation*.

Der Bereich *Datenverwaltung* umfaßt die Teilmodule *SZENARIO* und *STORE*. Das Teilmodul *SZENARIO* dient als Schnittstelle zur Plandatenbasis und entspricht damit der in Kap. 7.1.1 beschriebenen Anbindung von Plandatenbasis und Gesamtsystem. Dieses Teilmodul ermöglicht die individuelle Zusammenstellung von Sichten auf die Plandatenbasis. Eine Sicht besteht dabei aus der Modellstruktur, dem Kennwertsatz und den Variationsparametern.

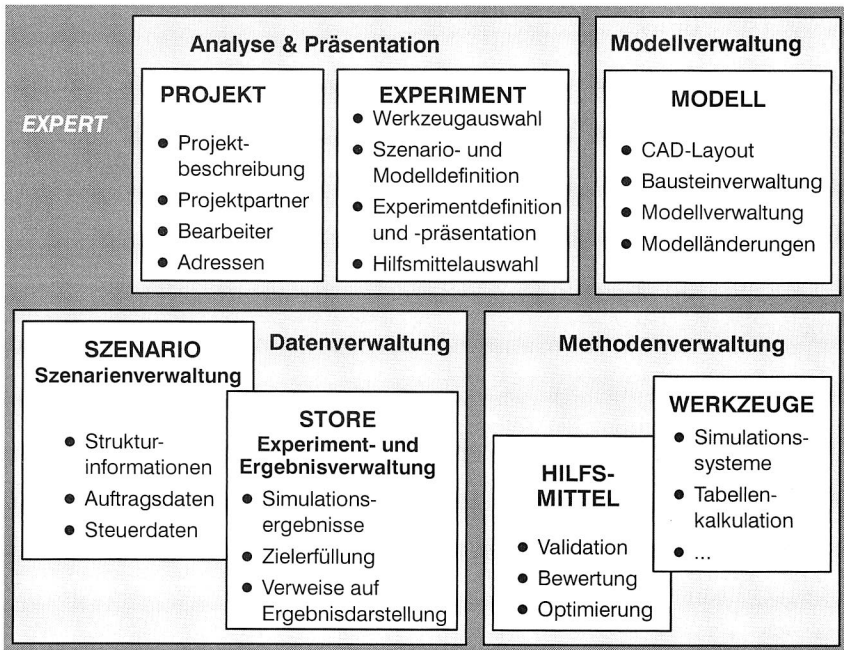


Bild 79: Teilmodule der neu konzipierten Schnittstelle des Gesamtsystems zum Simulationsexperten EXPERT

Das Szenario kombiniert die Kennwerte und die Betriebszeitmodelle zu einem Gesamtbild für die Simulation. Die Auswahl eines Szenarios ist Voraussetzung für das Laden aller dadurch referenzierten Kennzahlen und Betriebszeitmodelle des jeweiligen Simulationsmodells aus der Plandatenbasis. *STORE* dient der Verwaltung von Experimenten und Ergebnissen. Hier ist auch die Funktionalität bereitzustellen, um bestimmte Ergebnisse in die Plandatenbasis zu transferieren. Weitere Hilfsmittel zur Auswertung und Interpretation von Simulationsergebnissen können hier direkt über Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden.

Das Teilmodul *MODELL* dient der strukturierten Verwaltung von Modellen und Modellkomponenten. Auch können zusätzliche Modellkomponenten und Modelle der

Modellbank über dieses Modul hinzugefügt werden. Es hat dabei die Aufgabe, das zu einem Szenario gehörende Modell zur Verfügung zu stellen und es im entsprechenden Anwendungssystem, wie z. B. dem Simulationssystem, zu generieren.

Die Methodenverwaltung ist strukturiert in Werkzeuge und Hilfsmittel. Die Werkzeuge dienen dem Herbeiführen von Entscheidungen auf Basis von Modellen. Demgegenüber unterstützen die Hilfsmittel die Durchführung einzelner Projektschritte. Beispielsweise kann hier ein Hilfsmittel bereitgestellt werden, das die Validierung im Rahmen der Modellierung unterstützt.

7.1.2 Koordinierung des Datenaustauschs im Gesamtsystem

Das Teilmodul *EXPERT* koordiniert als Schnittstelle zwischen Gesamtsystem und Anwender den Datenaustausch. Die Verwaltung von lauffähigen und validierten Modellen und von Modellkomponenten erfolgt im Modul *MODELL*. Die Informationen der Modelle und Modellkomponenten selbst werden in einer neu konzipierten Modell- und Modellkomponentendatenbank gespeichert. Diese Modelldatenbank kann um neue Modelle ergänzt werden. Ausgewählte Modelle werden durch Kombination mit dem jeweiligen Szenario automatisch im Simulator generiert, wobei einem Modell ein CAD-Layout zugrunde gelegt werden kann.

Die Parametrisierung des Simulationsmodells mit Grunddaten und die Daten zur Initialisierung werden dem Szenario entnommen. Damit wird die mit *OFFICE* verbundene Gerätedatenbank nicht mehr benötigt. Bei *OFFICE* war eine direkte Kopplung einer Meßdatenerfassung und -aufbereitung, um aktuelle Prozeßdaten für die Initialisierung berücksichtigen zu können, vorgesehen. Diese Funktionalität ist auch im neuen System bereitzustellen, um die Ergebnisse von Planungsszenarien mit der Realität vergleichen zu können und in einem weiteren Schritt eine produktionsbegleitende simulationsbasierte Planungsunterstützung zu ermöglichen. Diese Anbindung der Produktionsbereiche an die Simulation ist aber über die Plandatenbasis zu koordinieren, um die richtige Einbindung der aktuellen Prozeßkennwerte in die Szenarien sicherstellen zu können.

Das Konzept von *OFFICE* basiert auf dem Simulationssystem *SIMPLEX II*. Im Gegensatz zu *SIMPLEX II* sind die aktuellen Simulationssysteme in der Lage, Ergebnisdaten strukturiert über Schnittstellen beispielsweise in eine Datenbank auszulesen. Dadurch entfällt die Aufbereitung einer komplexen Ergebnisdatei. Deshalb hat das Teilmodul *STORE* in *EXPERT* die Aufgabe, die Ergebnisse, die in der Ergebnisbank gespeichert sind, zu verwalten und den Zugriff auf die Datenbank für die Verwaltung von Experimenten zu ermöglichen. Damit wird auch die Flexibilität von *EXPERT* erhöht.

Bei der Anbindung von Hilfsmitteln, wie einem Optimierungssystem oder Validierungshilfsmitteln, ist der Datenaustausch sicherzustellen. Nur auf diese Weise kann der Gesamtbezug zwischen Szenario, Modell und Ergebnissen durch *EXPERT* gewahrt

werden. Dies ist gleichzeitig Voraussetzung für eine koordinierte und abgesicherte Aktualisierung der Plandatenbasis durch Ergebnisse aus Experimenten.

7.2 Bereitstellung von Simulationsmodellen durch das Modul *MODELL*

Grundlage für die Durchführung von Experimenten ist die Definition von Szenarien, welche wiederum auf Modellen des zu betrachtenden Systems basieren. Wie in Kap. 7.1.1 dargestellt wurde, unterstützt das Modul *MODELL* des Gesamtsystems die Verwendung von Modellen. *MODELL* verwaltet die Simulationsmodelle der einzelnen Planungsebenen und stellt sie den Anwendungen zur Verfügung. Damit können die einmal erstellten Simulationsmodelle bei verschiedenen Problemstellungen verwendet werden [59]. Der einmalige hohe Modellierungsaufwand wird somit effizient genutzt [53].

Voraussetzung für die vom Simulationssystem unabhängige Verwaltung und Bereitstellung von Modellen ist eine Modelldatenbank. Hierfür sind Funktionen bereitzustellen, die dem Transfer von Modellen in eine Modellbank, der Auswahl von Modellen, der automatischen Generierung von ausgewählten Modellen im Simulationssystem und der Initialisierung dieser Modelle mit den zugehörigen Szenarien dienen.

7.2.1 Modellbank zur Verwaltung von Simulationsmodellen

Für die Optimierung des Modellierungsaufwandes müssen bereits bestehende Modelle effizient genutzt werden können. Dazu ist es erforderlich, Simulationsmodelle mit Hilfe einer Modellbank systematisch bereitzustellen.

Selbst innerhalb eines Projektes sind meist nicht nur alternative Experimente auf Basis eines Simulationsmodells durchzuführen. Vielmehr werden verschiedene Modellalternativen in die Betrachtungen einbezogen. Es wird deshalb eine Strukturierung der Modelle vorgenommen, die sich an den Projekten orientiert. Diese Struktur wird dem Aufbau der Modellbank zugrunde gelegt, um eine anwendungsorientierte Verwaltung und Bereitstellung von Simulationsmodellen sicherzustellen.

Um den Anforderungen des Gesamtsystems zu genügen, sind in der Modellbank grundsätzlich Modelle der verschiedenen Ebenen, d. h. von unterschiedlichem Abstraktionsniveau, zu verwalten und bereitzustellen. Dabei muß die Möglichkeit bestehen, innerhalb eines Projekts die Ebene wechseln zu können. Beispielsweise kann zunächst der Gesamttablauf auf Werkebene analysiert werden. Sollte sich ein Problembereich herauskristallisieren, so muß dieser im nächsten Schritt in dem entsprechenden Modell der Bereichsebene detaillierter untersucht werden können. Zusätzlich sind verschiedene Modelle des gleichen Systems von gleichem

Abstraktionsniveau bereitzustellen. Diese Modelle unterscheiden sich beispielsweise bezüglich ihres Layouts oder der Steuerstrategien. Die Experimente dienen hierbei dem Vergleich dieser Modellalternativen. Innerhalb eines Simulationsprojektes sind somit verschiedene Modellszenarien bezüglich der Ebene und des Layouts zu differenzieren und zu verwalten. Die dritte Dimension innerhalb eines Projekts ergibt sich durch Variation der Belegung des Modells bzw. einzelner Modellkomponenten mit aktuellen Parametern. Auf diese Weise kann z. B. die Größe von Puffern oder die Leistung von Maschinen verändert werden. Das Modell selbst bleibt dabei gleich. Es handelt sich somit um Versionen von Parametrierungen. Diese werden durch die in Kap. 6.3.2 beschriebenen Szenarien der Plandatenbasis beschrieben (Bild 80).

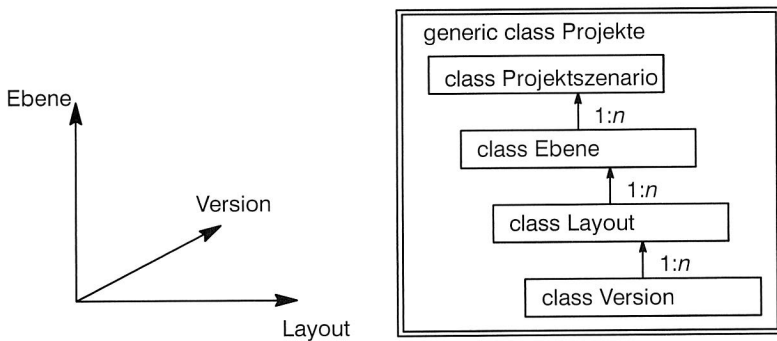


Bild 80: Strukturierung der Dimensionen von Simulationsprojekten und -modellen

Mit der Struktur des Modells müssen alle zugehörigen Objekte und Informationen, die für die Modellbeschreibung notwendig sind, hinterlegt werden, um ein Simulationsmodell aus der Modellbank vollständig generieren zu können (Bild 81). Diese werden in einem ersten Schritt analysiert. Aufbauend auf den Ergebnissen wird das Konzept für die Modellbank entwickelt.

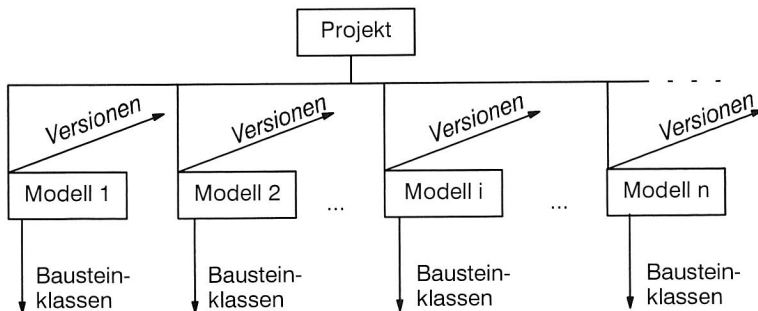


Bild 81: Strukturierung eines Simulationsprojekts als Basis für die Konzeption der Modellbank

Struktur und Datenanalyse von Simulationsmodellen

Der Aufbau von Simulationsmodellen und von Modellbausteinen, die einzelne Systemkomponenten abbilden, ist hierarchisch. Die Modellhierarchie basiert nach Kap. 5.3.1 auf dem Prinzip der Hierarchisierung durch Klassifizierung. Die oberste Ebene bildet das Modell bzw. der Baustein. Das Modell bzw. der Baustein wird von den Objekten der darunterliegenden Ebene beschrieben. Die Objekte der ersten Ebene eines Modells entsprechen den Hauptkomponenten des jeweils abzubildenden Systems der zugehörigen Planungsebene. Bei diesen Objekten kann es sich um Teilmodelle oder um Modellbausteine handeln. Das bedeutet, daß in Abhängigkeit von der Komplexität des jeweiligen Objektes weitere Ebenen definiert sein können, die wiederum jene Objekte enthalten, die das übergeordnete Objekt beschreiben (Bild 82).

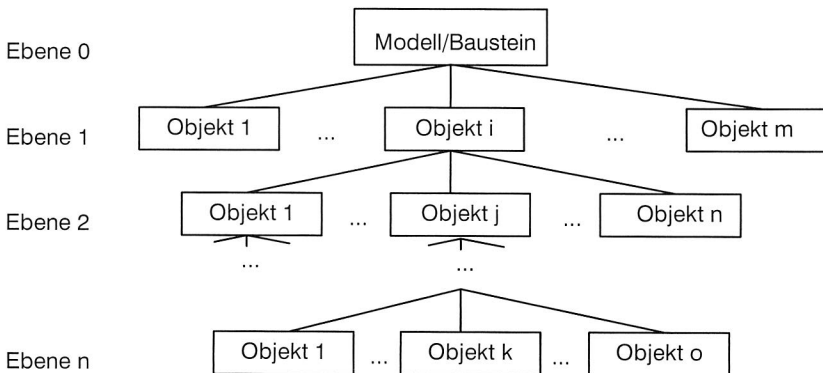


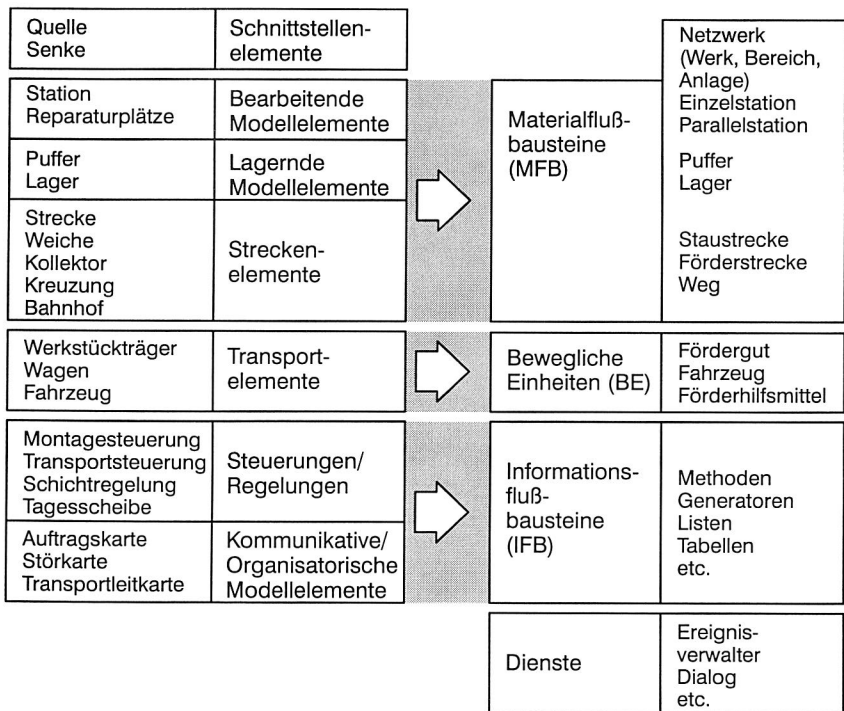
Bild 82: Hierarchische Strukturierung der Objekte eines Simulationsmodells

Objektklassen

In der Modellbank sind neben der Modellstruktur all jene Informationen der Modelle zu hinterlegen, die für eine vollständige Generierung des Modells auf Basis dieser Daten benötigt werden. Dies sind die Objektklassen mit ihren Attributen und Zusammenhängen. Grundlage für eine Klassifikation der Modellobjekte ist eine Analyse und Strukturierung der Komponenten der Modellklassen auf den einzelnen Planungsebenen.

Die Strukturierung der Modellkomponenten wird auf Basis der Objektklassifikation für das System zur Unterstützung des Anwenders bei der Erstellung neuer Simulationskomponenten vorgenommen [2]. Die Objektklassifikation ist an die Anforderungen der aktuellen objektorientierten Simulationssysteme anzupassen (Bild 83).

Alle Objekte, die in der Aufbauhierarchie ein gemeinsames übergeordnetes Objekt besitzen, bilden einen Namensraum. Um alle Objekte durch ihren absoluten Pfad identifizieren zu können, müssen sich die Objekte eines Namensraums bezüglich ihrer Bezeichnung unterscheiden. Hingegen sind für Objekte verschiedener Namensräume identische Bezeichnungen erlaubt. Die Objekte selbst werden durch die einzelnen Objekte auf der ersten Ebene und den Verbindungen zwischen den Objekten eindeutig beschrieben. Alle weiteren Ebenen können wieder rekursiv über die untergeordneten Objekte verwaltet werden.



**Objektklassen des Modellierungs-
systems im System SIMULATION**

Objektklassen der Modellbank

Bild 83: Strukturierung der Objektklassen für die Modellbank auf Basis der Objektklassen des Modellierungssystems

Attribute der Objektklassen

Nach der Analyse der Attribute aller Objektklassen gelingt auf Basis der funktionalen Strukturierung der Objektattribute die Zuordnung der Attribute zu den Objektklassen.

Es wird eine Strukturierung in allgemeine Attribute, benutzerdefinierte Attribute und Initialisierungsparameter vorgenommen. Die allgemeinen Attribute dienen der Identifizierung des jeweiligen Objekts. Über die Bezeichnung dieses Attributs muß die Verknüpfung zum entsprechenden Prozeßmodul erstellt werden können. Auch beschreiben die allgemeinen Attribute die Position und die Darstellung des Objekts im Animationslayout des Simulationsmodells. Hingegen bezeichnen die benutzerdefinierten Attribute das individuelle Simulationsexperiment. Sie sind vor jedem Simulationslauf durch den Benutzer festzulegen und können deshalb nicht über das Szenario initialisiert werden (Bild 84).

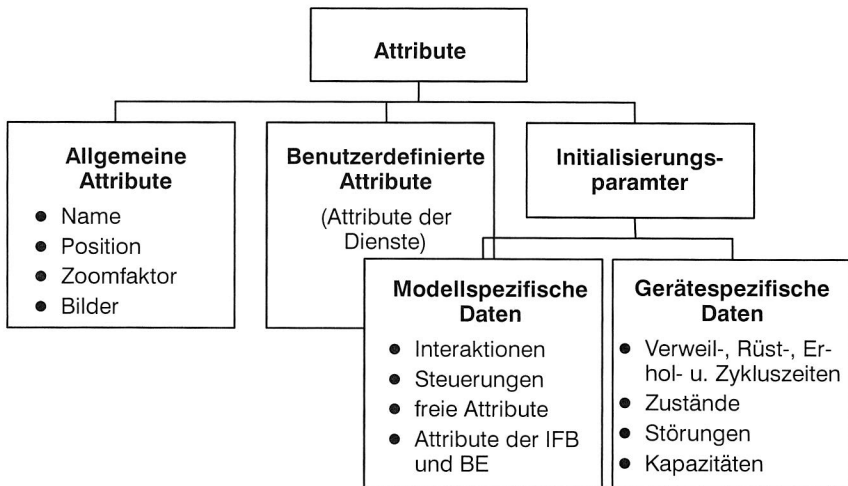


Bild 84: Strukturierung der Objektattribute nach ihrer Funktion

Initialisierungsparameter sind ausschließlich für die Objektklassen Materialflußbausteine (MFB), Informationsflußbausteine (IFB) und Bewegliche Einheiten (BE) zu definieren (Bild 85). Analog zu den allgemeinen und zustandsgebundenen Modellparametern bestimmen die Initialisierungsparameter das dynamische Verhalten der einzelnen Objekte des Simulationsmodells. Sie werden in modellspezifische und gerätespezifische Initialisierungsparameter strukturiert.

Dabei verfügt jedes Modell über genau eine modellspezifische Initialisierung. Die gerätespezifische Initialisierung definiert die einzelnen Experimentversionen eines Modells. Sie entsprechen damit im wesentlichen den Attributen, die konventionell in den Dialogfenstern der Modellbausteine stehen. Die Bezeichnungen der Attribute müssen deshalb mit den Bezeichnungen der entsprechenden Prozeß-/Produktkennzahlen in der Plandatenbasis übereinstimmen.

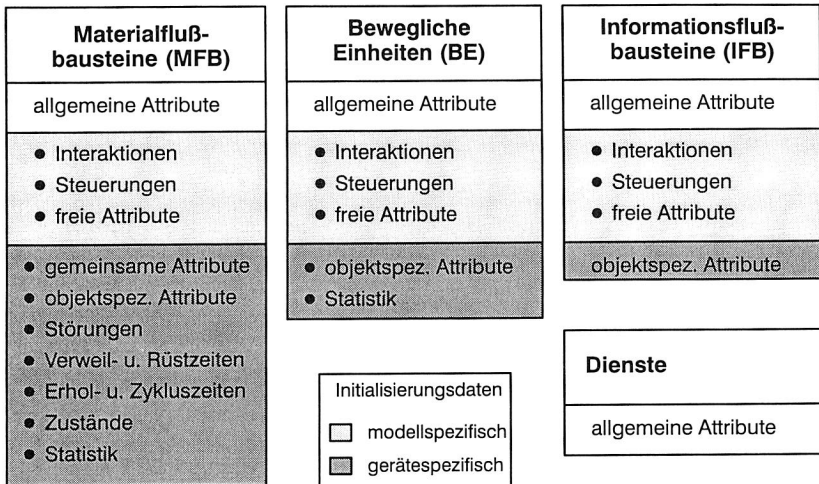


Bild 85: Zuordnung der Attributklassen zu den Objektklassen

Strukturierung der Modellbank

Die Struktur der Datenbank wird so konzipiert, daß eine hohe Unabhängigkeit vom eingesetzten Simulationssystem gewährleistet werden kann. Auch können die Standardattributmengen der Objektklassen modifiziert und neue Objektklassen ergänzt werden. Um eine problemlose Anbindung der Modellbank an die Plandatenbasis sicherzustellen, wird die Konzeption analog zur Plandatenbasis vorgenommen.

Für jede Objektklasse werden Relationen zur Verwaltung von Strukturinformationen und den zugehörigen Attributen erstellt. Die Attribut-Relationen enthalten jeweils eine bestimmte Attributart, wie z. B. allgemeine, baustein- oder gerätespezifische Attribute, entsprechend der Strukturierung in Bild 85. Damit wird ein effizienter Zugriff auf die Attribute sichergestellt.

Zur Verwaltung der Simulationsmodelle, der zugehörigen Objektklassen und der allgemeinen Klassenattribute werden separate Relationen definiert. In einer weiteren Relation werden die Standardattribute der Objektklassen vom Typ MFB, IFB und BE für jedes Modell eingetragen. Die Struktur eines Modells, die Pfade der Objekte, die Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen sowie die allgemeinen und freien Attribute werden jeweils in einer einzigen Relation, unabhängig von der Objektklasse, verwaltet. Durch solche Maßnahmen wird die Anzahl der Relationen gegenüber bisherigen Konzepten minimiert. Für die Verwaltung der modellspezifischen Attribute und der geräte- bzw. versionsabhängigen Attribute werden separate Relationen definiert (Bild 86).

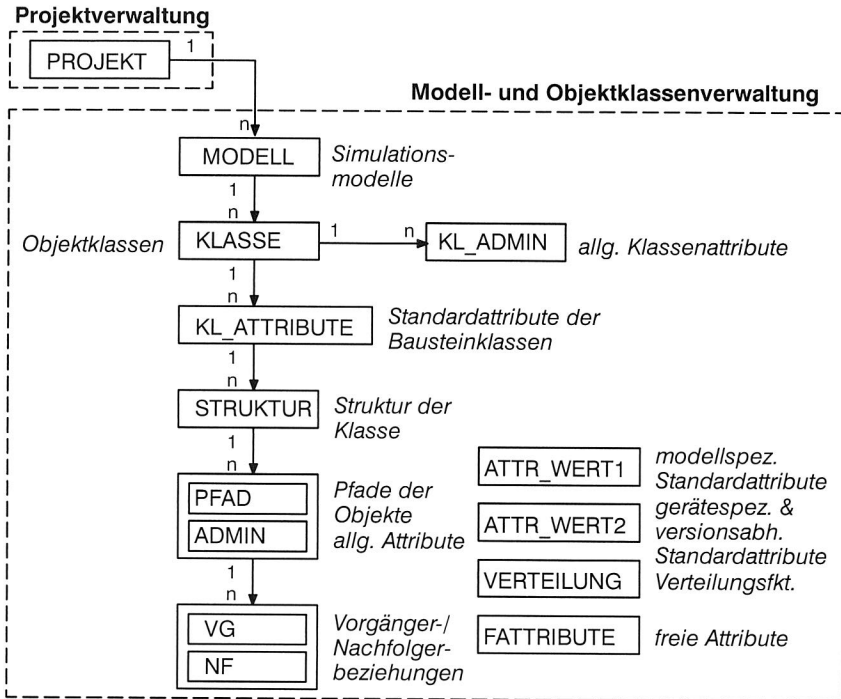


Bild 86: Grobstruktur des Entity-Relationship-Diagramms zur Verwaltung der Modell- und Objektklassen in der Modellbank

7.2.2 Speicherung von Modellen in der Modellbank

Alle Modelle sind zu definieren, bevor sie von der Modellbank für die weitere Verwendung zur Verfügung gestellt werden können. Die Modellierung kann in einem Simulationssystem erfolgen. Für das Speichern dieser Modelle sind spezielle Methoden erforderlich. Diese erfassen die Modellinformationen, d. h. die Struktur und Attribute, und transferieren diese in die Modellbank. Diese Methoden werden exemplarisch für das Simulationssystem SiMPLE++ [87] konzipiert und realisiert.

Erfassung der Modellstruktur mit der Methode **STORE_MOD**

Die Methode **STORE_MOD** analysiert mit Hilfe von zwei Subroutinen **STORE_KLASSE** und **STORE_BE** das zu speichernde Modell bezüglich der Struktur und den Attributen, ehe sie den Datentransfer in die Datenbank veranlaßt. Die Subroutine **STORE_KLASSE** speichert die Modellbausteine der Objektklassen MFB, IFB und DIENSTE. **STORE_BE** speichert die beweglichen Einheiten, wie z. B. Werkstücke. Für jedes Objekt werden

die Subroutinen erneut aufgerufen. Hierbei wird überprüft, ob die jeweilige Klasse bereits eingetragen worden ist.

Die Methode *STORE_KLASSE* verfügt über vier Subroutinen *STORE_MFB*, *STORE_MFB_INIT*, *STORE_IFB* und *STORE_DIENSTE*, um die Attribute und Pfade in den zugehörigen Relationen zu speichern. Die Methoden *STORE_MFB*, *STORE_IFB* und *STORE_DIENSTE* werden entsprechend der Klassenrelation des zu speichernden Objektes aufgerufen. Sie speichern die absoluten Pfade der Objekte und die allgemeinen Objektattribute. Alle MFB- und IFB-Objekte werden mit allen Vorgänger- und Nachfolgerbeziehungen erfaßt.

Die Methode *STORE_MFB* speichert für Objekte vom Typ MFB, z. B. Einzelstation, Parallelstation oder Förderstrecke, alle modellspezifischen Initialisierungsdaten, wie Interaktionen, Steuerungen und freie Attribute. Für die Erfassung der gerätespezifischen Initialisierungsdaten von Modellobjekten wird die Subroutine *STORE_MFB_INIT* aufgerufen. Die Interaktionen und die freien Attribute der Listen und des Generators, die Steuerungen des Generators sowie die bausteinspezifischen Attribute aller Informationsflußbausteine werden durch die Methode *STORE_IFB* in den entsprechenden Relationen erfaßt.

Die Methode *STORE_BE* speichert die Objektklassen der beweglichen Einheiten. Alle klassenspezifischen Informationen mit den Interaktionen, Steuerungen sowie freien und objektspezifischen Attributen werden durch die Methode *STORE_KLASSE* erfaßt.

Speicherung von Initialisierungsdaten mit der Methode *STORE_INIT*

Nachdem die Struktur eines Simulationsmodells in der Modelldatenbank abgelegt worden ist, übergibt die Methode *STORE_INIT* die gerätespezifischen Initialisierungsdaten des Modells an die Datenbank. *STORE_INIT* bestimmt dafür zunächst alle Materialflußbausteine des Modells anhand der absoluten Pfade jedes einzelnen Modellobjekts. Durch die Methode *STORE_MFB_INIT* wird deren aktuelle Initialisierung an die Modelldatenbank übergeben.

7.2.3 Funktionalität zur automatisierten Modellgenerierung

Modelle, die in der Modellbank gespeichert sind und durch sie verwaltet werden, können automatisch im ausgewählten Simulationssystem generiert werden. Hierfür werden Funktionen konzipiert, die vom Modul *EXPERIMENT* der Oberfläche *EXPERT* bereitgestellt werden. Sie unterstützen die Auswahl eines Modells und die Generierung und Initialisierung des Simulationsmodells auf Basis des Szenarios, das aus der Plandatenbasis definiert worden ist.

Definition von Modellversionen durch die Methode *SZEN_INIT*

Die Methode *SZEN_INIT* ist Grundlage für die Definition eines Modellszenarios. Mit Hilfe eines Pop-Up-Menues werden die Modellobjekte des selektierten Modells visualisiert, deren formale Parameter dann mit aktuellen Parametern aus der Plandatenbasis initialisiert werden können.

Methode *CREATE_MOD* für den Aufbau und die Initialisierung von Modellen

Die Methode *CREATE_MOD* erzeugt und initialisiert Simulationsmodelle. Nach Auswahl des Planungsbereichs und des Modell- und Initialisierungsszenarios wird der Modellbaustein im Simulationssystem erzeugt und die allgemeinen Attribute werden gesetzt. Anschließend werden mit Hilfe von Subroutinen alle Modellobjekte erzeugt sowie deren Initialisierung und Verknüpfungen festgelegt. Schließlich werden die Interaktionen und Steuerungen der Material- und Informationsflußbausteine erzeugt und die freien Attribute initialisiert. Die Subroutine *CREATE_INIT* initialisiert die gerätespezifischen Attribute des Simulationsmodells mit Hilfe der aktuellen Parameter des Szenarios.

7.3 Entwicklung von *STORE* zur Experiment- und Ergebnisverwaltung

Experimente mit Modellen liefern lediglich Daten, die keine nennenswerte Aussagekraft bezüglich der Zielstellungen haben. Erst aus der Auswertung resultieren Informationen, die für die Lösung von Problemen bzw. für die Entscheidungsfindung notwendig sind. Die Auswertung schließt sich an die Durchführung eines oder mehrerer Simulationsexperimente an. Sie umfaßt die Schritte Aufbereitung, Interpretation und Bewertung. Für die Durchführung dieser Schritte und die Verwendung von Methoden werden Empfehlungen gegeben. Die Vorgehensweise ist allerdings unmittelbar vom betrachteten System sowie von den zu untersuchenden Fragen und den dabei zu berücksichtigenden Randbedingungen abhängig [127].

Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse der Experimente in einer Ergebnisdatenbank zu verwalten. Es können dann verschiedene Methoden zur Unterstützung der Auswertung und Optimierung individuell eingesetzt werden. Auch besteht die Möglichkeit, die Ergebnisdatenbank über die Ergebnisverwaltung an die Plandatenbasis zu binden. Diese Verknüpfung dient dann der gezielten Aktualisierung der Plandatenbasis. Für die Verwaltung der Experimente und Ergebnisse ist der Aufbau der Ergebnisdatenbank zu konzipieren. Darüber hinaus sind Methoden für das automatische Eintragen von Ergebnissen bereitzustellen.

Datenanalyse

Ein Experiment wird durch das zugehörige Szenario vollständig beschrieben. Die Ergebnisse eines Experiments lassen sich in objektspezifische und objektübergreifende Ergebnisse differenzieren.

Objektübergreifende Informationen beschreiben das Experiment, z. B. das Datum und die Dauer des Simulationslaufs. Bei den objektspezifischen Ergebnissen handelt es sich um statistische Größen, wie die Verfügbarkeit einer Maschine oder die Durchlaufzeit eines Werkstücks. Bezüglich der Ergebnisse sind Informationen, die direkt von den Objektklassen MFB und BE generiert werden, von Daten, die in modellspezifischen Tabellen erfasst werden, zu unterscheiden.

Strukturierung der Ergebnisdatenbank

Der Aufbau der Ergebnisdatenbank basiert auf der Strukturierung der Experiment- und Ergebnisdaten (Bild 87). Dementsprechend werden die Relationen EXPERIMENT, EV, STAT_MFB und STAT_BE definiert.

Die Relation EXPERIMENT erfasst die Experimentidentifikation und den Verweis auf dasjenige Szenario, auf dem das Experiment basiert. In der Relation EV werden die objektübergreifenden Attribute des Simulationslaufs gespeichert. Sie entstammen z. B. dem Ereignisverwalter des Modells. Die Relationen STAT_MFB und STAT_BE sind für die Aufnahme der von den Objekten MFB und BE generierten Statistikdaten vorgesehen. Die Relation ERGEBNISSE verwaltet die zusätzlich erzeugten modellspezifischen Ergebnistabellen.

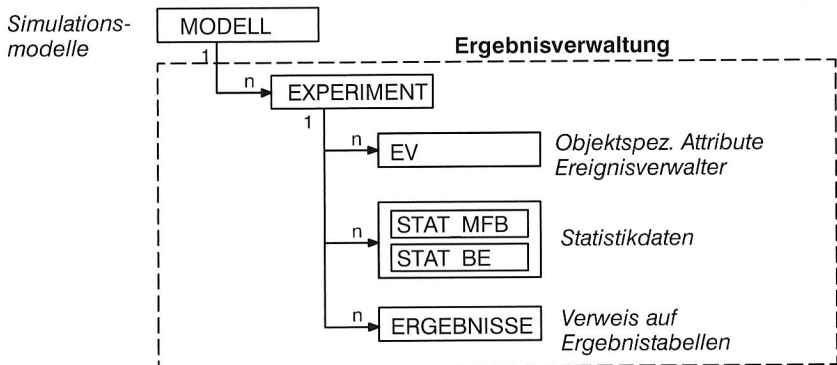


Bild 87: Entity-Relationship-Diagramm der Ergebnisverwaltung

Methode zur automatischen Speicherung der Ergebnisse

Für das Speichern der Ergebnisse eines Experiments in der Ergebnisdatenbank sind analog zur Modellgenerierung spezielle Methoden erforderlich. Diese haben hier die Aufgabe, die Ergebnisse aus dem Simulationssystem zu erfassen und in die Ergebnisdatenbank zu transferieren. Auch diese Methoden werden exemplarisch für das Simulationssystem SiMPLE++ [87] konzipiert und realisiert.

Die Methode *STORE_LAUF* transferiert mit Hilfe der Subroutinen *STORE_STATISTIK* und *STORE_RESULT* alle Ergebnisdaten vom Simulator in die Ergebnisdatenbank. Neben laufspezifischen Verwaltungsinformationen und den Initialisierungsdaten des Ereignisverwalters sind dies die während des Simulationslaufes generierten Statistikdaten und die protokollierten Ergebnisdaten.

Über ein Dialogfenster kann der Benutzer bestimmen, welche Ergebnisse gespeichert werden sollen. Es besteht die Möglichkeit, alle oder nur die objekt- bzw. modellspezifischen Ergebnisse erfassen zu lassen. Dementsprechend erfaßt die Subroutine *STORE_STATISTIK* alle objektspezifischen Statistikdaten, während die Subroutine *STORE_RESULT* alle modellspezifischen Ergebnisdaten ermittelt und transferiert.

7.4 Komponente zur anwendungsbegleitenden Validierung

Die Validierung ist eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche praktische Verwendung eines Modells. Sie ist ein Prozeß, dessen Ziel es ist, einen angemessenen Vertrauensgrad zu schaffen [8]. Es gibt kein absolut valides Modell und keinen Test, der die Validität endgültig beweisen oder widerlegen könnte. Validierung soll Transparenz zur Modellbeurteilung schaffen und zugleich Möglichkeiten bieten, Fehler zu erkennen und zu korrigieren.

Mit dem Thema Validation haben sich bisher nur wenige Spezialisten befaßt. Immer wieder nehmen die gleichen Autoren dazu Stellung. Auf Tagungen spielt die Thematik eine untergeordnete Rolle. Als Ursachen für die Vernachlässigung der Validation werden vor allem der erforderliche Zeitaufwand und die mit der Validation verbundenen Schwierigkeiten genannt [111, 93].

Der Gewinn durch Verbesserungen auf dem Gebiet der Validierung ist beispielsweise im Vergleich zur Entwicklung von Werkzeugen zur Unterstützung der Modellbildung nicht offensichtlich. Im Rahmen dieser Arbeit wird deshalb ein System entwickelt, das den gesamten Entscheidungsfindungsprozeß begleitet und die Validierung durch eine Dokumentation nachweist (Bild 88).

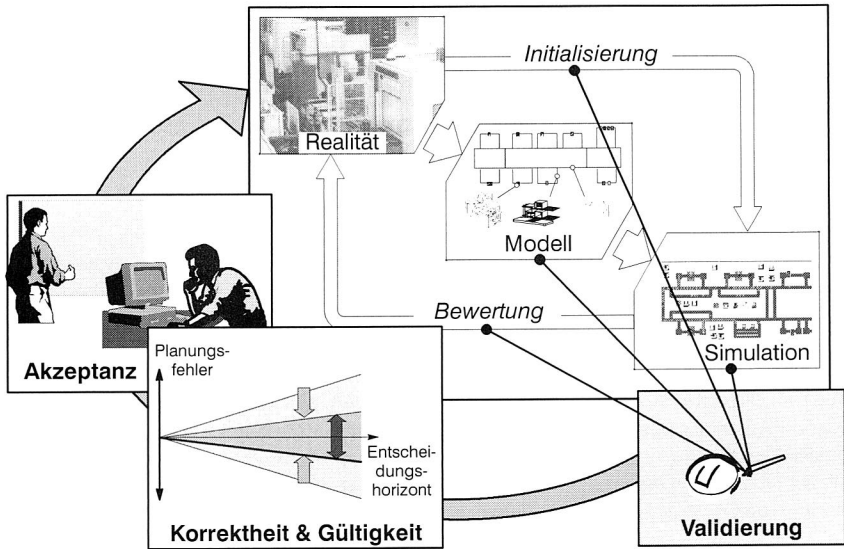


Bild 88: *Validierung als Voraussetzung für eine erfolgversprechende Verwendung eines Modells*

7.4.1 Abgrenzung des Begriffes Validation

Eine Analyse zeigt, daß es zur Validation keine einheitlichen Konventionen der Begriffe gibt. Deshalb werden die häufigsten Begriffe Validation, Verifikation und Kalibrierung, im folgenden voneinander abgegrenzt.

Validation und Verifikation werden nach [134] wie folgt unterschieden: "Validation deals with building the right model, verification deals with building the model right."

Nach [34] ist die Validation ein Prozeß, der bestimmt, ob das Modell eine korrekte Repräsentation des realen Systems darstellt. Hinsichtlich des vorgegebenen Anwendungszwecks muß das Modell ein dem Original ähnliches Verhalten zeigen. Dies gilt zum einen für das konzeptuelle Modell, das Annahmen und Strukturen des realen Systems angemessen nachbilden soll, und zum anderen für das operationale Modell, dessen Verhalten das reale Modell approximieren soll.

Verifikation befaßt sich mit der Frage, ob das Computerprogramm richtig funktioniert, ob also die Übersetzung vom konzeptuellen Modell in das Computer-Modell richtig durchgeführt wurde. Dabei wird überprüft, ob die logische Struktur des konzeptuellen Modells und seine Parameter korrekt implementiert wurden.

Hingegen wird die Kalibrierung als mit Vorsicht zu nutzende Möglichkeit im Rahmen der Validation des operationalen Modells gesehen [94, 68]. Es handelt sich um einen iterativen Prozeß, bei dem das Modellverhalten für einen bestimmten Parametersatz mit dem realen Verhalten des Systems verglichen wird. Bestehen Unterschiede, werden die Modellparameter so lange verstellt, bis eine zufriedenstellende Approximation zwischen Vergleichsgrößen des Modells und des Systems erreicht ist.

Im folgenden werden alle Maßnahmen und Einzelschritte, die durchgeführt werden, um die Gültigkeit eines Modells nachzuweisen, als Validierungsprozeß bezeichnet. Die Validierungsschritte, in denen das Modell mit der Realität verglichen wird, werden mit Validation bezeichnet. Der Begriff Verifikation wird gemäß der Definition nur in den Validierungsschritten verwendet, in denen eine Modelltransformation überprüft wird.

7.4.2 Systematik des Validierungsprozesses

Für das Vorgehen bei der Simulation wurde eine Richtlinie definiert, die in der Praxis allgemein akzeptiert und angewendet wird [127] (Bild 89). Allerdings konzentriert sich hier die Validation analog zu älteren Veröffentlichungen [62] auf die Gültigkeitsüberprüfung des operationalen Modells bzw. auf die Validation des konzeptuellen und des operationalen Modells, die oftmals analog zu [111] unter "Validation des Simulationsmodells" zusammengefaßt wurden.

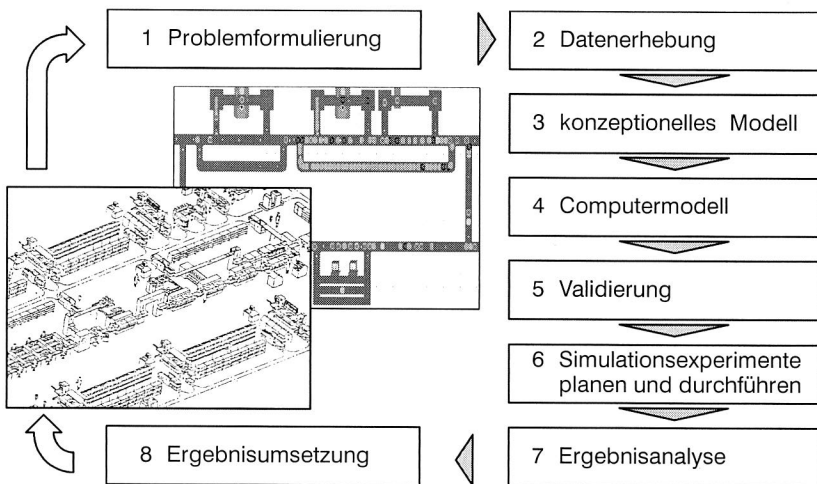


Bild 89: Einbindung der Validierung in den Ablauf einer Simulationsstudie (nach [127])

Die grundlegenden Erkenntnisse zur Validation, die heute noch aktuell sind, wurden vor ca. zehn Jahren gewonnen. Immer wieder wird auf die gleichen Veröffentlichungen

verwiesen. Viele Autoren wiederholen Aussagen, stellen diese neu zusammen oder vergleichen Aussagen [6, 109]. Die Veröffentlichungen beschränken sich überwiegend auf theoretische Aussagen. Sie beinhalten kaum Beispiele zur praktischen Anwendung der vorgeschlagenen Methoden. Es besteht somit bereits seit langem eine Kluft zwischen generellen Empfehlungen für die Validierung und der Modellierungspraxis [70].

Der Validierungsprozeß besteht immer aus verschiedenen Phasen, von denen die wichtigsten drei Modellbereiche bilden (Bild 90).

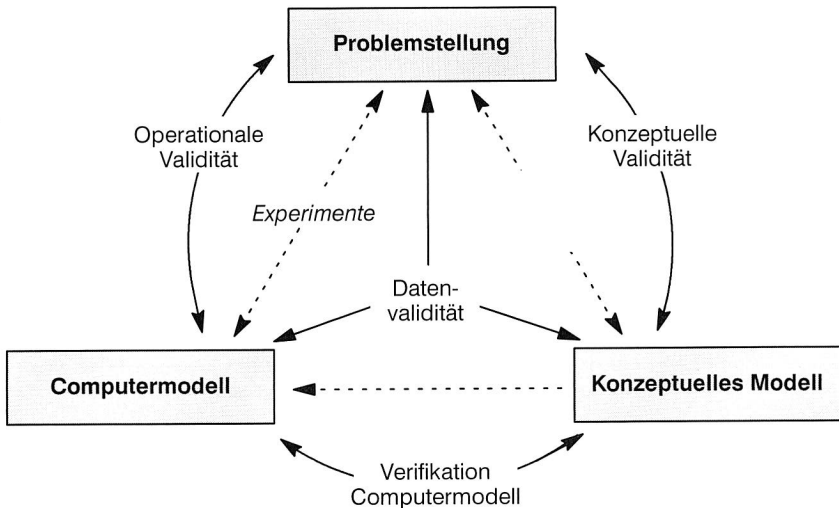


Bild 90: Vereinfachter Modellierungs- und Validierungsprozeß nach [109]

Der Validierungsprozeß wird beendet, wenn das Modell ein genügendes Maß an Gültigkeit besitzt. Dabei sind die Akzeptanz und die Kosten konkurrierende Faktoren, da jedes Mehr an Gültigkeit durch bessere Modellierung und genauere Validierung und damit mit einem größeren Aufwand an Zeit und Geld erkaufte werden muß. Dies ist nur in gewissem Rahmen sinnvoll und vertretbar.

Die einzelnen Schritte werden nicht streng nacheinander abgearbeitet, sondern teilweise parallel oder es wird im Laufe der Bearbeitung zu früheren Schritten zurückgekehrt und dort das Konzept verändert.

Wird beispielsweise bei der Erstellung des konzeptuellen Modells bemerkt, daß die Problemstellung noch nicht genau genug formuliert worden ist, dann ist die Problemformulierung zu überarbeiten und es sind eventuell noch weitere Daten zu erheben. Deshalb ist der Validierungsprozeß so in den Modellierungsprozeß zu integrieren, daß er simultan zur Planung erfolgt (Bild 91).

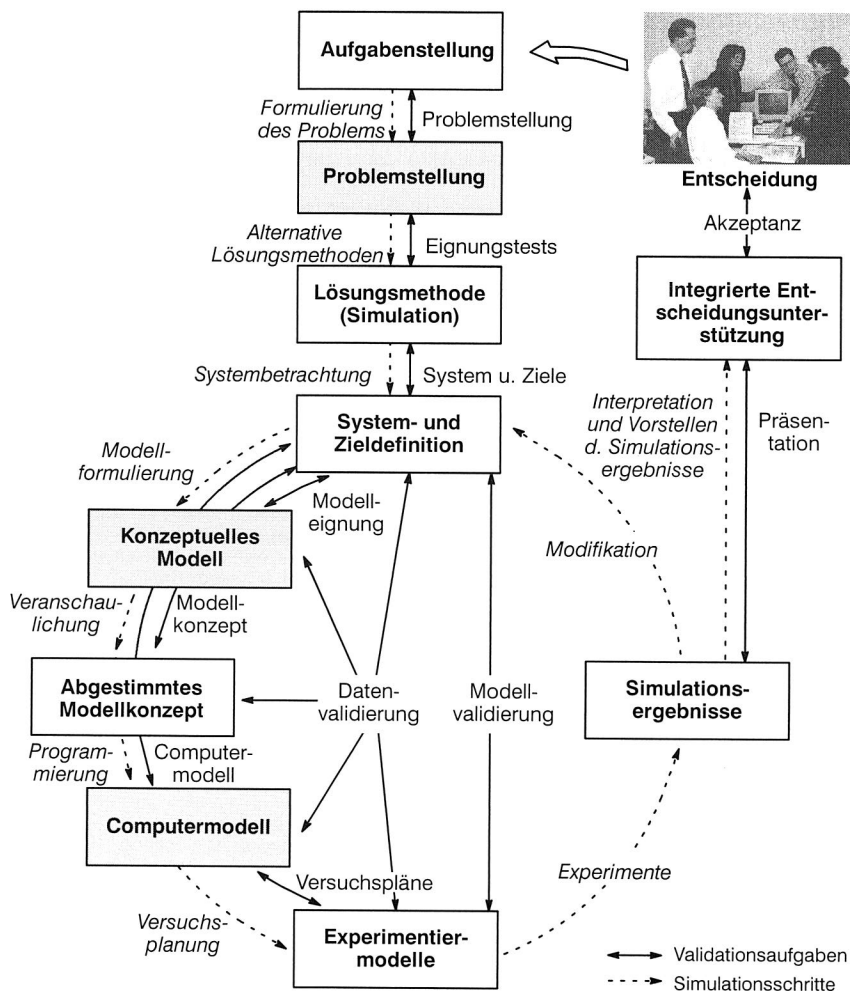


Bild 91: Lebenszyklus eines Simulationsmodells unter Berücksichtigung der Validierung (nach [6])

7.4.3 Auswahl und Klassifizierung von Validierungsverfahren

Die Unterstützung der Validierung ist eine wesentliche Voraussetzung für ihre Anwendung. Bisher werden aber von den Autoren, die sich mit der Validierung beschäftigen, keine konkreten Hinweise zur Durchführung der Validierung gegeben. Auch mangelt es an entsprechenden Werkzeugen. Grundlage für die Entwicklung von Werkzeugen

zur Unterstützung von Validierungsschritten ist die Auswahl geeigneter Validationstechniken.

Für alle Stufen des Validierungsprozesses sind zahlreiche Validationstechniken geeignet. Um eine systematische Anwendung dieser Techniken zu ermöglichen, werden sie bezüglich verschiedener Aspekte klassifiziert.

Insgesamt können objektive und subjektive Validationstechniken differenziert werden [6]. Während es sich bei den objektiven Methoden um statistische Tests oder andere mathematisch formulierte Vorgehensweisen handelt, steht bei den subjektiven Techniken das Wissen von Experten und deren Urteilsfähigkeit im Mittelpunkt.

Für jede Validierungsphase sollten unterschiedliche Methoden zur Verfügung stehen. Im konkreten Anwendungsfall kann dann zwischen den in Frage kommenden Methoden ausgewählt werden. Die wichtigsten Techniken sind bezüglich ihrer Einsatzgebiete in Tabelle 3 zusammengefaßt.

Validierungsphase	Validierungstechniken	
	subjektiv	objektiv
Validierung des Konzeptuellen Modells	<ul style="list-style-type: none"> • Face Validation • Sensitivitätsanalyse • Structured Walkthrough • Traces 	<ul style="list-style-type: none"> • Hypothesen-Tests <ul style="list-style-type: none"> – Goodness-of-fit-Tests – Datenhomogenität • Structural-Verification-Test • Boundary-Adequacy-Test • Dimensionstest
Verifikation des Computer-Modells	<ul style="list-style-type: none"> • Animation • Programmed Model Verification Techniques 	<ul style="list-style-type: none"> • Stress Testing • Execution Traces
Validierung des Operationalen Modells	<ul style="list-style-type: none"> • Animation und Graphischer Vergleich • Face Validation • Turing Test • Sensitivitätsanalyse • Field-Tests • Glaubwürdigkeitstests • Behaviour-Prediction-Tests 	<ul style="list-style-type: none"> • Hypothesis Testing • Konfidenzintervalle • Time Series Approach • Inspection Approach • Regressionsanalyse • Festwert-Tests

Tabelle 3: Die wichtigsten Validationstechniken strukturiert nach Einsatzgebieten

Bei der Validierung des konzeptuellen Modells ist die Richtigkeit aller Annahmen, Theorien, Parameterschätzungen und Beziehungen, auf denen das konzeptuelle Modell basiert, sicherzustellen. Dazu sollten subjektive und objektive Validationstechniken kombiniert werden. Statistische Tests und Heuristische Methoden sollen die

Richtigkeit der Modellannahmen nachweisen, wohingegen bei der Strukturprüfung die subjektive Begutachtung im Vordergrund steht.

Aufgabe der Verifikation des Computer-Modells ist es zu prüfen, ob das konzeptuelle Modell hinsichtlich Struktur und Logik korrekt in den Programmcode übertragen wurde. Zusätzlich sind die Inputvariablen und Parameter hinsichtlich der richtigen Spezifikation zu kontrollieren. Hier sollte eine Kombination aus den sechs verschiedenen Kategorien von Techniken zur Verifikation gewählt werden. Die Validation des operationalen Modells überprüft, ob das Modell das Verhalten des Systems richtig approximiert. Hierzu sind verschiedene Experimente mit dem Modell durchzuführen, um Vergleichsdaten zu gewinnen. Auch hier werden subjektive und objektive Validationstechniken kombiniert eingesetzt. Subjektive Verfahren stehen immer dann im Vordergrund, wenn das System nicht beobachtbar ist.

Um die Auswahl von Validierungsmethoden zu unterstützen, werden die Methoden aus Tabelle 3 nach hierfür wichtigen Gesichtspunkten, wie Arbeitsweise, Voraussetzungen für die Anwendung, Arbeitsaufwand und Möglichkeiten zur Umsetzung, bewertet.

Bezüglich der Arbeitsweise ist zwischen graphischen, mathematischen und kommunikativen Methoden zu differenzieren (Bild 92).

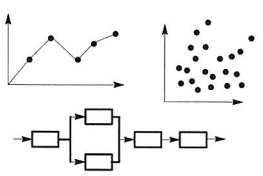

 <p>Graphische Methoden</p>	<p>Mittelwert $\bar{X} = \sum X_i$</p> <p>Konfidenzintervall $[x-k, x+k]$</p> <p>Abweichung Anlage/Modell $\bar{Z} = \bar{X} - \bar{Y}$</p> <p>Mathematische Methoden</p>	 <p>Kommunikative Methoden</p>
--	--	---

Bild 92: Differenzierung zwischen den Arbeitsweisen von Validierungsmethoden

Bei den graphischen Methoden steht die Veranschaulichung von Abläufen und Ergebnissen im Vordergrund. Mathematische Methoden sind genau und die Ergebnisse reproduzierbar. Meist handelt es sich um statistische Verfahren, die beispielsweise Unterschiede im Verhalten von Modell und Anlage quantifizieren oder zur Ermittlung einer geeigneten statistischen Verteilung für reale Daten verwendet werden können. Die ermittelten Ergebnisse müssen in geeigneter Weise bezüglich der Auswirkungen auf das Gesamtsystem interpretiert werden. Kommunikative Methoden sind zur Unterstützung der richtigen Problemformulierung unerlässlich. Auch kann damit Vertrauen in das jeweilige Modell geschaffen werden.

Für die Anbindung der Validationstechniken an die Simulation existieren verschiedene Möglichkeiten (Bild 93).

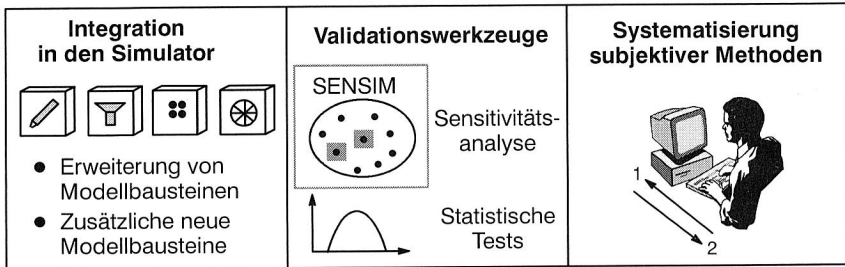


Bild 93: Alternativen zur Anbindung der Validation an die Simulation

Alle Methoden, die zur Laufzeit eines Modells durchgeführt werden, sind in ein Simulationsmodell integrierbar. Dafür sind bei einem objektorientierten Simulator die einzelnen Modellbausteine zu erweitern und ggf. neue Bausteine zu definieren. Dies sind im wesentlichen die Methoden zur Validierung des Computermodells. Für andere Techniken, z. B. statistische Methoden, sind separate Werkzeuge notwendig, die in geeigneter Weise mit dem Simulationssystem zu verknüpfen sind. Beispielsweise sollten die zur Überprüfung des operationalen Modells benötigten Daten automatisch während eines Simulationslaufs erzeugt werden.

Die eher subjektiven Methoden sind nur schwer rechnergestützt durchführbar. Ein Ansatz ist die Entwicklung eines strukturierten Fragenkatalogs auf Basis eines Expertensystems. Die Ergebnisse der Bewertung von Validationsmethoden sind in Tabelle 4 dargestellt.

7.4.4 Konzeption eines Validationssystems

Aufgrund der Komplexität und Verschiedenheit der Simulationsmodelle ist es nicht möglich, für den Validierungsprozeß insgesamt einen Standard zu definieren, der für beliebige Anwendungsgebiete und Modelltypen gültig ist. Art und Umfang des Einsatzes von Techniken zur Validierung und Verifikation im Rahmen des Validierungsprozesses hängen von verschiedenen Faktoren ab. Dies sind im wesentlichen der betrachtete Problemkreis, der Zweck der Studie und der gewählte Modelltyp aber auch die Art der Modellierung und der eingesetzte Simulator. Die Gestaltung des Vorgehens bei der Validierung erfordert ein umfassendes Wissen über das Anwendungsgebiet, die Modellierungs- und Simulationsmethodologie und über die Validierung selbst (vgl. Kap. 7.4.1-7.4.3).

Das Expertenwissen ist so bereitzustellen und anwendbar zu machen, daß die Validierung auch von Nicht-Validierungsexperten durchgeführt werden kann. Diese Aufgabe können wissensbasierte Systeme übernehmen.

Validierungsmethode	Arbeitsweise	Voraussetzung	Werkzeug	Unterstützung	Aufwand
Problemformulierung					
Fragebogen von Balci	kom	Exp	DB	○	mittel
Datenerhebung					
Datenvalidierung	mat	Dat	WZ	○	mittel
Konzeptionelles Modell					
Correlation Plot	grph/mat	Dat	DB	++	gering
Scatter Diagramm	grph	Dat	DB	++	gering
Stat. Verteilung finden	grph/mat	Dat	WZ	+	hoch
Struct. Walkthrough	grph/kom	Exp	-/-	-	hoch
Computermodell					
Software Engineering	mat	-/-	WZ	+	mittel
Execution Traces	mat	-/-	Sim	++	gering
Stress Testing	mat	-/-	Sim/DB	+	mittel
Manual Verification	mat	-/-	-/-	-	mittel
Graphische Animation	grph		Sim	+	gering
Operationales Modell					
Interne Validation	mat	-/-	Sim/DB	++	mittel
Grenzwert-Test	mat	-/-	-/-	-	gering
Sensitivitätsanalyse	mat	-/-	WZ	++	hoch
Ausbringungsprotokoll	mat	-/-	Sim	++	mittel
Turing-Test	grph/kom	Exp/Dat	-/-	-	mittel
Graphischer Vergleich	mat	Dat	Sim/DB	++	mittel
Correlated Inspection	mat	Dat	Sim/WZ	+	hoch
Experimentdurchführung					
Experimente validieren	kom	-/-	-/-	-	mittel

Legende			
Arbeitsweise	Voraussetzung	Werkzeug	Unterstützung (rechnerbasiert)
grph graphisch	Exp Experte	Sim Simulator	++ vollständig
mat mathematisch	Dat reale Daten	Dat Datenbank	+ gut
kom kommunikativ		Wz Spezialwerkzeug	○ gering
			– nicht

Tabelle 4: Klassifizierung und Bewertung der wichtigsten Validierungsmethoden zur Unterstützung der Methodenauswahl bei konkreten Problemstellungen

Es werden verschiedene neuere Ansätze zur rechnerbasierten Unterstützung der Validierung analysiert. Die wenigen hierzu bislang erschienenen Veröffentlichungen stellen ebenfalls ausschließlich theoretische Überlegungen an, ohne Beispiele für Möglichkeiten zur Realisierung zu geben [21, 112]. Dabei werden die Begriffe "Expertensystem" und "Expertenhilfe" verwendet (Bild 94). Während Expertensysteme selbständig ohne Beteiligung des Menschen ein Problem bearbeiten, unterstützt die Expertenhilfe, die auch als "Expert Aid" bezeichnet wird, den Benutzer lediglich bei seiner Entscheidungsfindung [66]. Diese Werkzeuge verwenden Techniken aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz.

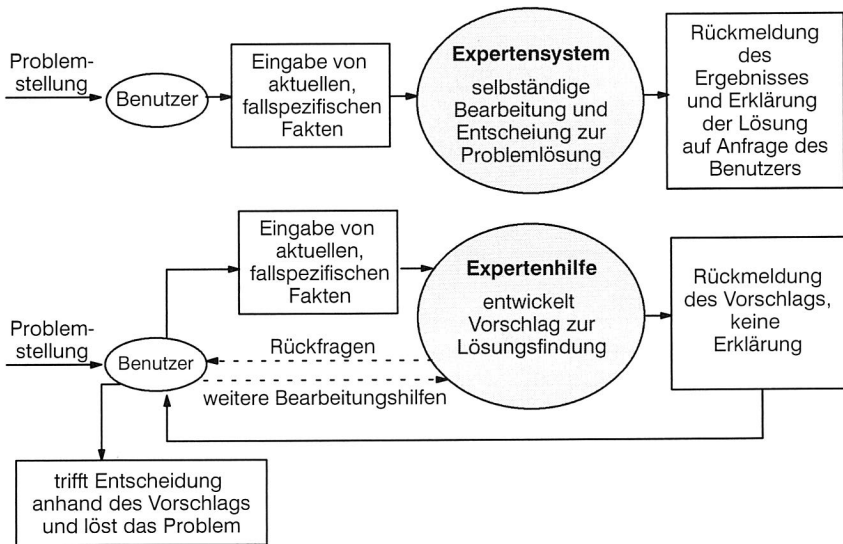


Bild 94: Differenzierung von Expertensystem und Expertenhilfe

Die Komplexität des Validationsprozesses wird geprägt durch die Kombination mehrerer Schritte und den Einsatz verschiedener Validationstechniken. Sie ist damit vom jeweiligen zu simulierenden System abhängig. Deshalb würde bei Konzeption eines Expertensystems entsprechend obiger Definition eine große Anzahl an sehr detaillierten, fallbezogenen Regeln erforderlich sein. Diese wären oftmals bereits bei kleinen Modelländerungen schon nicht mehr gültig. Ziel ist es deshalb, ein System zu entwickeln, das den Benutzer bei der Validierung unterstützt. Das System soll den Benutzer bei der Ausführung eines Entwicklungsschrittes und auch bei der Auswahl geeigneter Methoden sowie der Anwendung anleiten.

Bei der Entwicklung des Konzeptes sind einige grundsätzliche Forderungen zu berücksichtigen [94, 68]. Die einzelnen Arbeitsschritte sollen rationell, soweit wie möglich vollständig rechnergestützt erledigt werden können. Eine weitere

Anforderung an das System ist die flexible, an die betrachtete Problemstellung angepaßte Unterstützung der einzelnen Validierungsschritte. Insbesondere soll es die jeweils günstigste Kombination verschiedener Validationstechniken vorschlagen. Dadurch kann garantiert werden, daß, sofern der Vorschlag vom Benutzer verfolgt wird, immer die Validationstechniken angewendet werden, die für die aktuelle Situation gut geeignet sind.

Grundlage des Systems VALDAT ist ein Schema, mit dem die Validität eines Modells systematisch geprüft werden kann. Diese "Checkliste" empfiehlt Validationstechniken für die einzelnen Modellierungsphasen und gibt zusätzlich an, welche Schlüsse aus den jeweiligen Tests gezogen werden können. Dieses Schema kann dabei auch in das Gesamtsystem integriert werden. Dementsprechend wird ein Architekturkonzept für VALDAT entwickelt, das aus drei Ebenen besteht (Bild 95).

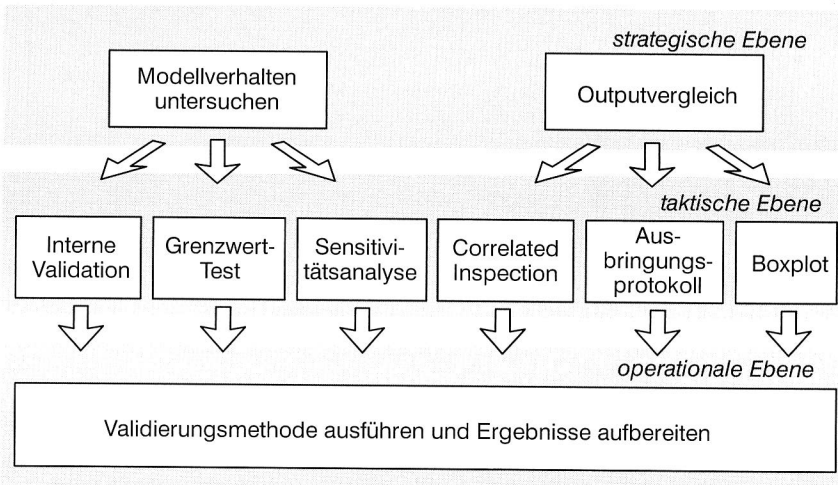


Bild 95: Die hierarchische Architektur von VALDAT

Auf der strategischen Ebene werden die in den einzelnen Modellierungsphasen durchzuführenden Validierungsschritte empfohlen. Bei der Erstellung des Computermodells sind dies beispielsweise die Verifikation und Validierung des Computermodells, die Datenvalidierung und die Verifikation der Versuchspläne. In der taktischen Ebene werden für den ausgewählten Validierungsschritt unter Berücksichtigung der aktuellen Modellierungsphase geeignete Validierungsmethoden vorgeschlagen. Der Ergebnisvergleich im Rahmen der Datenvalidierung kann beispielsweise mit dem Ausbringungsprotokoll, der Correlated Inspection oder graphischen Methoden erfolgen. Auf der operationalen Ebene wird die Ausführung der ausgewählten Validierungsmethode angestoßen. Zusätzlich werden die Ergebnisse für die Visualisierung und Weiterverwendung aufbereitet.

7.4.5 Funktionalität und Implementierung von VALDAT

Das System VALDAT kann bei jedem Modellierungsschritt zur Unterstützung der Validierung verwendet werden. Es erfüllt dabei die in Bild 96 dargestellten Aufgaben.

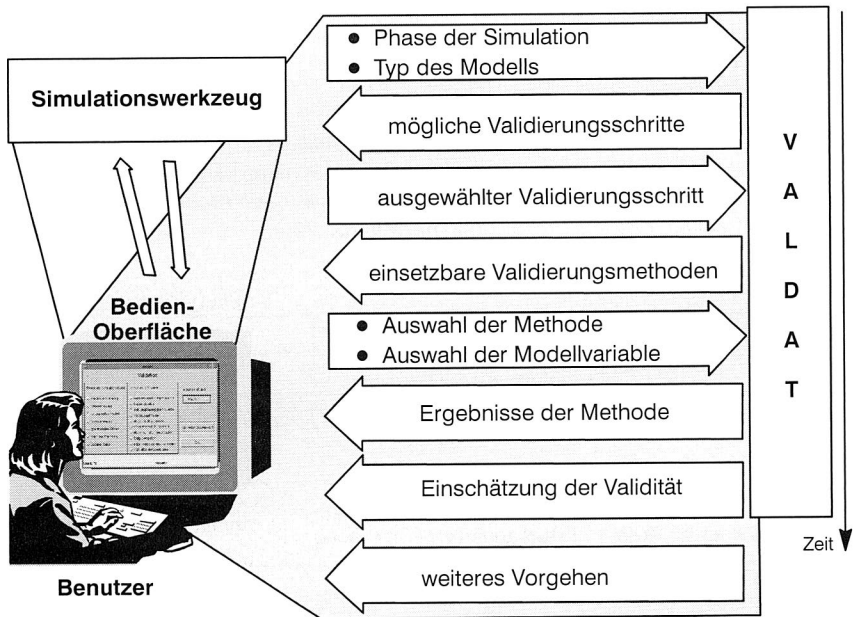


Bild 96: Der zeitliche Ablauf eines Validierungsschrittes

Dafür werden verschiedene Bedienoberflächen konzipiert und in ORACLE-Forms [1] implementiert. VALDAT wird über die jeweils aktuelle Modellierungsphase informiert. Dementsprechend werden die jeweils anstehenden Validierungsschritte auf der Einstiegsseite von VALDAT visualisiert. Der Benutzer wählt einen Schritt aus und bekommt dafür geeignete Validierungsmethoden auf einer neuen Seite vorgeschlagen. Zu jeder Methode kann ein Eigenschaftsprofil über einen Button abgerufen werden. Dieses informiert den Benutzer auf einer separaten Seite über Kennzeichen, Attribute und Anwendungsbedingungen der Methode.

Durch Angabe der Methodenklasse, des zu erwartenden Aufwandes, der benötigten Daten, der Art der Ergebnisse und einer Beschreibung der Arbeitsweise der Methode wird der Benutzer bei der Ermittlung der geeigneten Methoden unterstützt. Nachdem sich der Benutzer für eine Methode entschieden hat, stößt VALDAT über den Button *Methode anwenden* das entsprechende Werkzeug an. Gegebenenfalls muß noch in dem Eingabefenster der jeweiligen Methode die relevante Modellvariable selektiert und zwischen alternativen Ausprägungen gewählt werden. Im Anschluß daran wird die

Methode durchgeführt. VALDAT übernimmt die Ergebnisse, die beispielsweise die Abweichung zwischen Modell und System oder die innere Validität des Modells quantifizieren, bewertet die Validität des Modells und gibt auf dieser Basis Empfehlungen für das weitere Vorgehen (Bild 97).

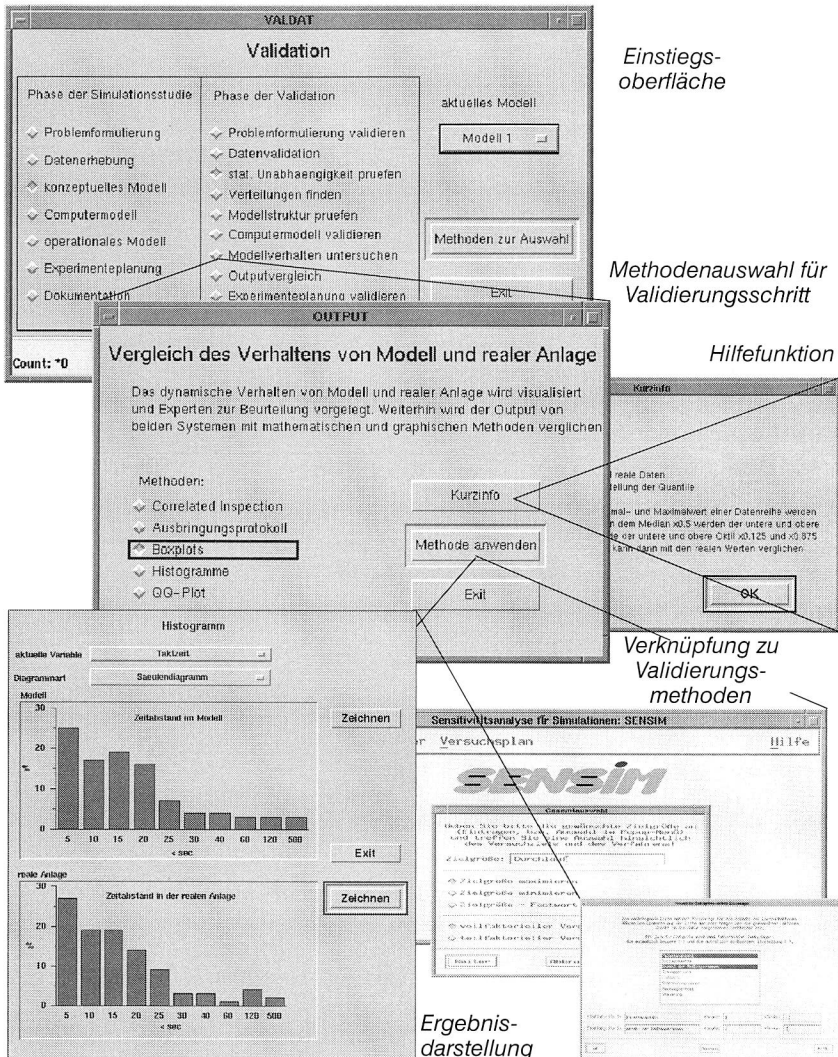


Bild 97: Abläufe bei der systematischen Benutzerführung durch die Oberflächen des Systems VALDAT

Der Benutzer muß aber über das weitere Vorgehen unter Berücksichtigung der jeweiligen aktuellen Randbedingungen selbst entscheiden. Deshalb sollte er in jeder Validierungsphase die aktuelle Validität anhand der Ergebnisse aus der Anwendung der Methoden einschätzen können. Ergibt sich aus mehreren Methoden eine geringe Validität, sollte von VALDAT eine Modifikation in der aktuellen Modellierungsphase empfohlen werden. Falls diese Empfehlung vom Benutzer befolgt wird, muß diese Validierungsphase erneut automatisch aufgerufen werden.

Um die beschriebene Funktionalität zu realisieren, ist VALDAT, wie in Bild 98 veranschaulicht, an verschiedene Module des Gesamtsystems zur simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung anzubinden. Auf der einen Seite ist dies die Verbindung zum Benutzer über das Modul EXPERT. Auf der anderen Seite ist neben der Verknüpfung mit den verschiedenen Validationswerkzeugen eine Anbindung an die Plandatenbasis und die Experimentverwaltung zu schaffen.

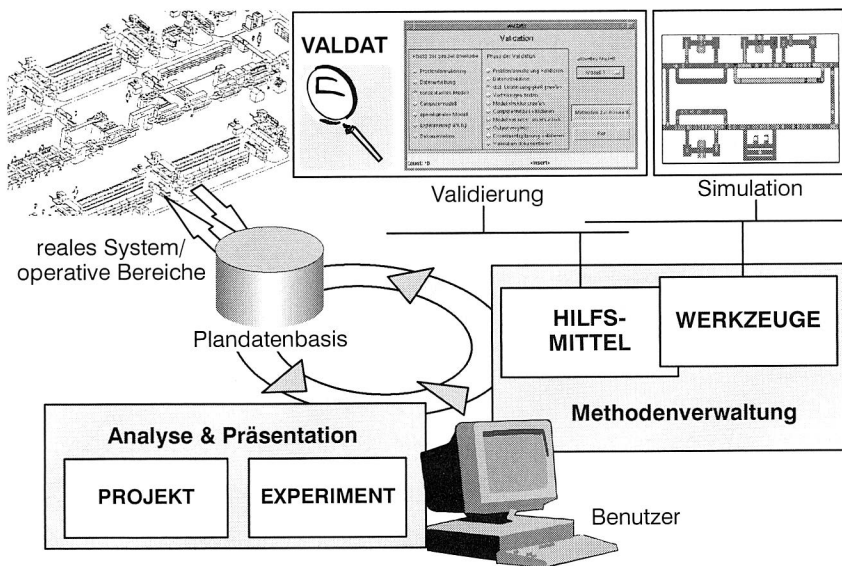


Bild 98: Einbindung von VALDAT in das Gesamtsystem

Über die Verbindungen sind jeweils Informationen auszutauschen, weshalb das Informationsmanagement auch hier eine zentrale Rolle einnimmt. Für Testexperimente sind dem Simulationswerkzeug die Parametersätze zur Verfügung zu stellen. Die während der Laufzeit ermittelten Daten, die für die Validierung relevant sind, werden während der Laufzeit ausgelesen, um die Validierungsmethode parallel dazu starten zu können. Teilweise sind bei Anwendung von Validierungsmethoden reale Daten mit in Experimenten mit dem Modell ermittelten Daten zu vergleichen.

Den Validationswerkzeugen müssen die benötigten Daten übermittelt werden, um danach die Ergebnisse über ein Präsentations- und Dokumentationswerkzeug dem Benutzer von VALDAT zu übermitteln. Eine automatisch, parallel zur Präsentation durchgeführte Dokumentation des individuellen Validationsprozesses minimiert den Aufwand für das Erbringen des Nachweises bei der Durchführung der Validierung.

Um die verschiedenen Validierungsmethoden durchführen zu können, müssen durch die Simulationsexperimente bestimmte Informationen bereitgestellt werden. Da die Bereitstellung all dieser Informationen nicht für alle Simulatoren Standard ist, müssen im Modell zusätzliche Funktionen implementiert werden. Bei objektorientierten Bausteinsimulatoren kann dies durch Erweiterung der Grundfunktionalität der einzelnen Standardbausteine mit Hilfe von neu entwickelten ergänzenden Methoden und speziellen Validationsbausteinen erfolgen. Zusätzlich werden neue Bausteine für Standardmethoden der Validierung definiert.

Dies wurde, wie in Bild 99 veranschaulicht, an einem Beispielmodell verifiziert.

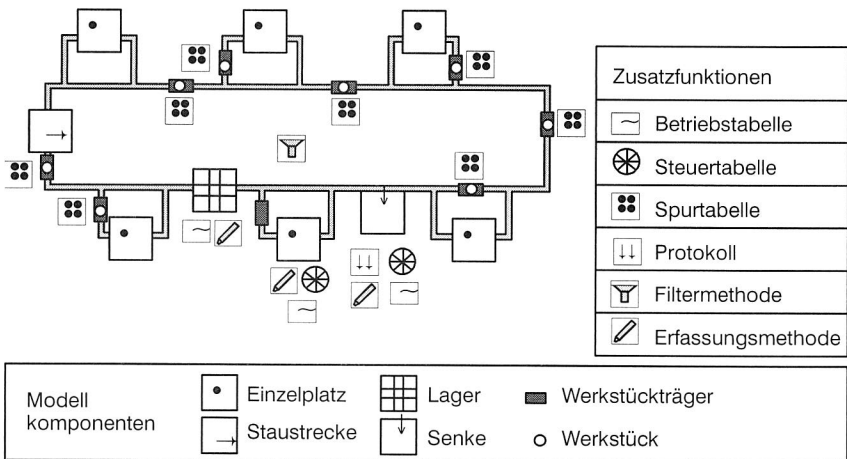


Bild 99: Implementierung von Zusatzfunktionen in Modellkomponenten zur Unterstützung der Validierung

Die Statistikfunktionen der unbeweglichen Modellelemente werden erweitert, damit die Zeitanteile der einzelnen möglichen Zustände der Elemente auch variantenspezifisch ermittelt werden können. Hierfür werden Betriebstabellen und Erfassungsmethoden definiert und implementiert. Spezielle Steuertabellen ermöglichen die Durchführung der Methode Correlated Inspection. Über diese Tabellen kann das Verhalten einzelner Modellelemente mit Hilfe von realen Daten gesteuert werden.

Alle beweglichen Modellelemente erhalten als zusätzliches Attribut eine sogenannte Spurtabelle, in der der Weg des jeweiligen Elements durch die Fertigungsanlage mit Hilfe einer speziellen Erfassungsmethode aufgezeichnet werden kann.

Demgegenüber werden die Filtermethoden als zusätzliche Standardmethoden für die Validierung implementiert. Sie dienen der Aufbereitung von Datenreihen. Nach Eingabe von Eingangsparametern, z. B. die Angabe der Spalte einer bestimmten Tabelle oder der Intervallgrenzen bzw. der Anzahl der Quantile, werden die Ergebnisse in die Tabelle eingetragen und dann automatisch über die Datenbankschnittstelle in die Datenbank geschrieben.

8 Realisierung von Anwendungen zur Unterstützung ausgewählter Planungsaufgaben

Die Module des in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Gesamtsystems stellen die Funktionalität bereit, um die Entscheidungsfindung beim Lösen von Planungsaufgaben systematisch und methodisch zu unterstützen. Auf dieser Basis werden beispielhafte Anwendungen zur simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung konkreter Planungsaufgaben konzipiert und prototypisch realisiert. Die hierfür zu entwickelnden Anwendungen sind datentechnisch in das Gesamtsystem zu integrieren, um damit eine einheitliche Basis für die Lösung verschiedenster Planungsaufgaben zu gewährleisten.

8.1 Konzept der prototypischen Realisierung

Ausgangspunkt für die prototypische Realisierung ist die Ermittlung von Aufgaben der Produktionsplanung, die Bestandteil unterschiedlicher Planungsebenen sind und deren Entscheidungen gleichzeitig direkt voneinander abhängig sind. Ein Beispiel hierfür ist die Belegungsplanung.

8.1.1 Aufgaben der Belegungsplanung

Im folgenden wird die Belegungsplanung auf Unternehmens- und Werksebene betrachtet. Dabei werden die Aufgaben und Zusammenhänge sowie das konventionelle Vorgehen bei der Lösung dieser Planungsaufgaben analysiert.

Werkebelegung



Bild 100: Veranschaulichung der Belegungsplanung auf Unternehmensebene

Aufgabe der Belegungsplanung auf Unternehmensebene, dargestellt in Bild 100, ist es, die vorhandenen Produktionsmöglichkeiten langfristig für einen Zeitraum von bis zu zehn Jahren mit den laut Vertriebsprognose zu fertigenden Produkten zu belegen. Es ist zu entscheiden, welche Produkte, in welchem Werk, in welcher Menge und in welchem Zeitraum gefertigt werden sollen. Gleichzeitig ist zu überprüfen, ob die Kapazitäten der Werke ausreichen. Dabei sind Restriktionen und Prioritäten zu berücksichtigen [90].

Bisher wird die Werkebelegung mit Hilfe einer Tabellenkalkulation ermittelt (Bild 101). Die statischen Berechnungen basieren auf verschiedenen Verallgemeinerungen und Vereinfachungen. Alle Daten, die für die Belegungsplanung benötigt werden, sind explizit manuell einzugeben.

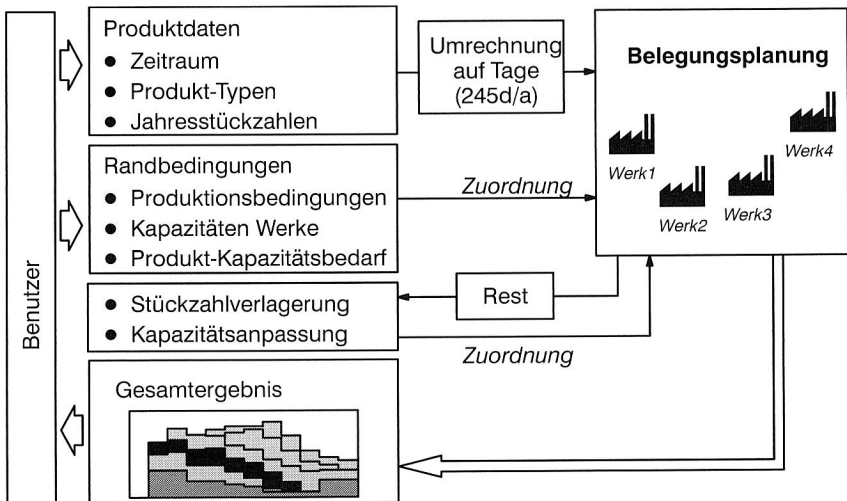


Bild 101: Ablauf der konventionellen Methode zur Belegungsplanung

Das Datenmodell umfaßt Informationen über die Produkte, die Werke, die Produktionsbedingungen und die Restmengen. Für die einzelnen Produkte werden ausschließlich die geschätzten Auftragszahlen pro Jahr berücksichtigt. Die Länge der Intervalle beträgt ein Jahr. Sie ist nicht variierbar. Veränderungen der Basisdaten zwischen den Intervallen können somit nicht hinterlegt werden. Die Kapazitäten der Werke sind für die jeweiligen Betrachtungszeiträume konstant. Dabei ist für jedes Werk die Kapazität je Produkt und die Gesamtkapazität festgelegt. Die Anzahl der Arbeitstage pro Jahr ist für alle Werke identisch, d. h. nationale und internationale Unterschiede, z. B. bezüglich der Feiertagsregelung oder der Werksferien, werden nicht berücksichtigt.

Die Zuordnung der Aufträge auf die Werke erfolgt auf Basis einer statischen Prioritätentabelle. Dabei wird die Abfolge der Produkte ermittelt, in der die sequentielle Zuteilung auf die einzelnen Werke unter Berücksichtigung der Produktionsbedingungen erfolgt. Aufträge, die in einem Zeitintervall wegen zu geringer Kapazität der Werke nicht zugeteilt werden können, werden in eine Restmengentabelle eingetragen. Bei den weiteren Zuteilungen finden die Restmengen keine Berücksichtigung. Auch dynamische Aspekte, die sich aus ändernden Auftragszahlen oder Kapazitäten ergeben, werden außer Acht gelassen. Das An- und Ablaufverhalten bei Produkt- bzw. Variantenwechsel wird ebenfalls nicht berücksichtigt, obwohl dadurch die jeweilige Gesamtkapazität maßgeblich beeinflusst wird. Insbesondere ist der hinterlegte Werkskalender für alle Werke identisch. Deshalb ist nicht direkt nachvollziehbar, auf welche Randbedingungen, z. B. die Anzahl der Schichten, sich die jeweiligen Angaben für die Kapazität der Werke beziehen. Bei verbleibenden Restmengen sind somit die Alternativen zur Erweiterung der Kapazitäten nicht offensichtlich.

Die Ergebnisse werden anschaulich visualisiert, wobei allerdings die Auflösung ihrer Darstellung feiner ist, als in der Berechnung ermittelt. Die Optimierung der Planung wird nicht unterstützt; d. h. wenn die Einplanung der Produkte nicht vollständig gelingt, müssen Änderungen vorgenommen werden, um auch den verbliebenen Rest zuzuordnen. Dabei können die Ergebnisse von alternativen Belegungen nicht anschaulich miteinander verglichen werden. Zudem sind trotz der vielfältigen und vielschichtigen Interdependenzen zu anderen Planungsaufgaben keine Schnittstellen für den Datenaustausch mit anderen Anwendungen vorgesehen. Es kann somit nicht sichergestellt werden, daß die Berechnungen auf einer fundierten und abgestimmten Informationsgrundlage durchgeführt werden.

Bereichsplanung

Die Aufgabe der Planung auf Werksebene umfaßt die optimale Auslegung und gegenseitige Abstimmung der an der Produktion beteiligten Bereiche bezüglich der Anforderungen. Eine zu erfüllende Anforderung hinsichtlich der Belegungsplanung ist beispielsweise das Erreichen einer vorgegebenen Montagereihenfolge, um variantenabhängige Zulieferteile bzw. -module in dieser Reihenfolge direkt anliefern zu können. Eine andere Anforderung kann sich auf die Sicherstellung der Lieferflexibilität beziehen. Hierbei besteht insbesondere die Möglichkeit, Materialflußelemente, z. B. Lager und Strecken, zwischen den einzelnen Produktionsbereichen, wie Vorfertigung, Fertigung und Montage, entsprechend der Anforderungen auszulegen und zu dimensionieren. Dies betrifft auch die Steuerstrategien für diese Objekte.

Bisher werden diese Planungsaufgaben auf Werksebene kaum methodisch unterstützt. Damit wird bisher das Ziel, ein Gesamtoptimum bezüglich aller Produktionsbereiche zu erhalten, nicht systematisch verfolgt.

Bei der Suche nach dem Gesamtoptimum sollte das dynamische Verhalten des Produktionsablaufs über alle Bereiche bezüglich der Produktionsanforderungen

optimiert werden können. Dies ist mit Hilfe der Simulation möglich. Die aus dieser Gesamtsimulation resultierenden Anforderungen an die Teilbereiche können dann direkt der Detailsimulation, d. h. der Simulation eines Bereiches, zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, Informationen über das Verhalten der einzelnen Teilsysteme, wie einzelner Produktionsbereiche, den Entscheidungen auf Unternehmensebene zugrunde zu legen (Bild 102).

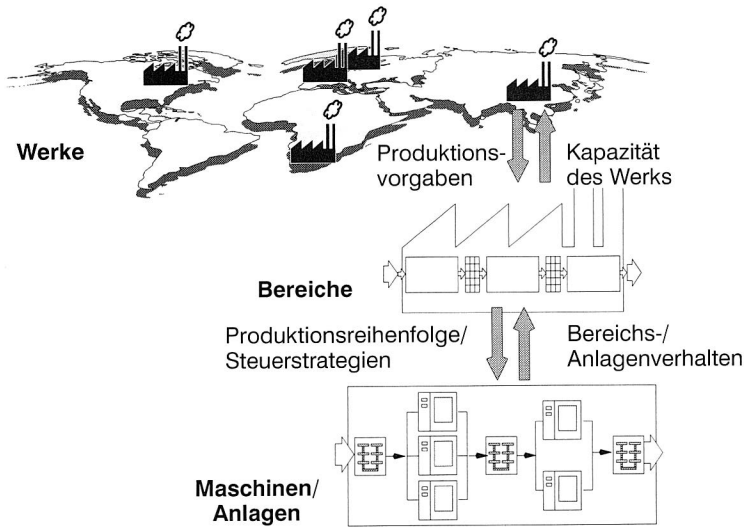


Bild 102: Exemplarische Veranschaulichung der Abhängigkeiten zwischen den Planungsebenen bezüglich der Belegungsplanung

Die Interdependenzen zwischen den Planungsebenen können ebenso in der jeweils entgegengesetzten Richtung genutzt werden: In diesem Fall gibt die Unternehmensebene die Vorgaben, wie die zu produzierenden Stückzahlen, den Produktmix oder Liefertermine, an die Werksebene. Die untergeordnete Ebene kann der Werksebene Informationen über das Verhalten der Produktionsbereiche bereitstellen.

8.1.2 Entwurf des Systemkonzepts

Zur umfassenderen Unterstützung der in Kap. 8.1.1 analysierten Planungsaufgaben werden spezielle Anwendungen entwickelt und prototypisch realisiert. Diese Anwendungen werden auf Basis des Gesamtsystems konzipiert. Beim Entwurf des Systemkonzepts für eine Anwendung kann somit die vom Gesamtsystem bereitgestellte Funktionalität systematisch genutzt werden. Dabei sind die jeweiligen Module des Gesamtsystems in das Systemkonzept zu integrieren.

Das Gesamtkonzept für eine Anwendung ist am Beispiel der Belegungsplanung auf Unternehmensebene in Bild 103 dargestellt.

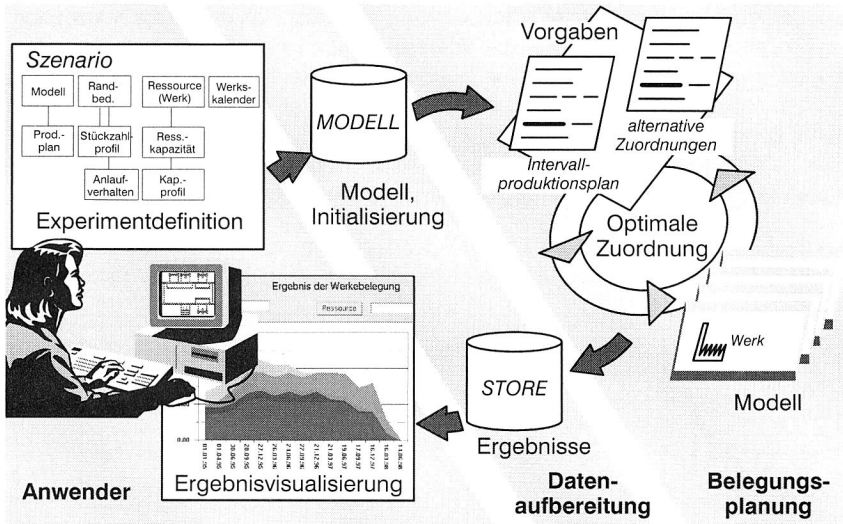


Bild 103: Strukturierung der Systemkomponenten für die Unterstützung der Werkebelegungsplanung

Die für die Belegungsplanung relevanten statischen und dynamischen Informationen der Plandatenbasis werden in einem Szenario zur Verfügung gestellt. Es enthält Informationen über Produkte und Prozesse sowie deren Abhängigkeiten, z. B. "Was kann wo unter welchen Bedingungen hergestellt werden?". Daraus werden die Informationen, die für die Modellierung und die Durchführung der Experimente benötigt werden, aufbereitet und dem jeweiligen Werkzeug, z. B. dem Simulationssystem, übermittelt. Die Experimente werden mit den Ergebnissen in der Ergebnisdatenbank *STORE* abgelegt und von hier dem Anwender visualisiert.

STORE kann für die Auswertung der Ergebnisse, wie in Kap. 7.3 beschrieben, zusätzlich mit speziellen Hilfsmitteln, z. B. zur Dokumentation, zur Optimierung oder für Historienbetrachtungen gekoppelt werden. Auch sind Entscheidungen der Vergangenheit nachvollziehbar. Diese Erfahrungen können bei zukünftigen Entscheidungen berücksichtigt werden. Damit wird eine genauere Planung unterstützt. Darüber hinaus können ausgewählte Ergebnisse in die Plandatenbasis zurückgeschrieben werden. Sie stehen damit für andere Anwendungen, z. B. für eine detailliertere Betrachtung einzelner Produktionsbereiche zur Verfügung. Dabei können unter Berücksichtigung der vorgegebenen Randbedingungen die verbleibenden Freiheitsgrade durch Top-Down-Modellierung detailliert erschlossen werden. Umgekehrt, Bottom-Up, fließen Detailinformationen und Erfahrungen in die Gesamtplanung ein.

8.1.3 Konzeption von Modellen für die Anwendungen

Jede Anwendung für das Gesamtsystem basiert auf einem Modell, mit dem Untersuchungen durchgeführt werden. Voraussetzung hierfür ist eine geeignete Konzeption der Modelle. Hierbei sind auch die Voraussetzungen für die Definition und den Vergleich von Alternativen zu schaffen. Auf dieser Basis kann dann z. B. die Robustheit von Alternativen durch Sensitivitätsanalysen getestet oder verschiedene "Was-Wäre-Wenn"-Szenarien analysiert werden.

Modell für die Belegungsplanung auf Unternehmensebene

Das Grobkonzept des Modells für die Belegungsplanung auf Unternehmensebene ist bereits in Bild 51 veranschaulicht. Die Feinkonzeption ist in Bild 104 dargestellt.

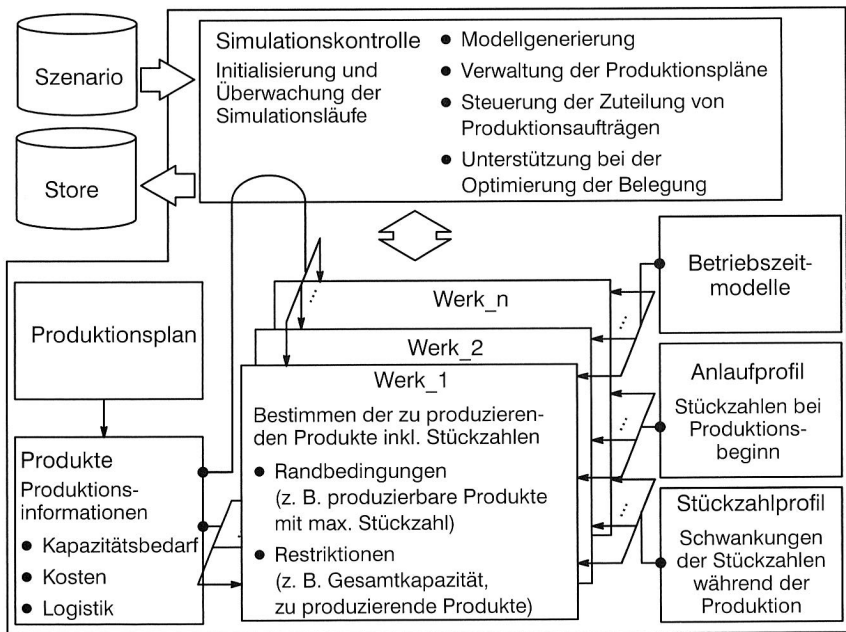


Bild 104: Struktur des Simulationsmodells zur Werkebelegungsplanung

Das Modell zur Werkebelegungsplanung wird so konzipiert, daß die individuellen Charakteristika der Produktionsmöglichkeiten, die für die Belegungsplanung relevant sind, explizit berücksichtigt werden können. Dies sind z. B. die Betriebszeitmodelle der einzelnen Werke. Auch besteht die Möglichkeit, die Produktionskapazitäten als Funktionen der Zeit in einem Kapazitätsprofil zu hinterlegen. Damit kann das dynamische Verhalten bei Stückzahlchwankungen oder bei Produktanlauf bzw.

-auslauf realitätsgetreu nachgebildet werden. Darüber hinaus sind die Zeitintervalle, die der Belegung zugrunde gelegt werden, variabel.

Die Prioritäten für die Belegungsreihenfolge der Produkte können mit einer zeitlichen Gültigkeit versehen werden. Damit ist es möglich, Veränderungen der Prioritäten innerhalb eines Zeitraums zu berücksichtigen. Bei Vorliegen von mehreren Zuordnungsalternativen mit gleicher Priorität werden alle Möglichkeiten simuliert. Dabei können auch die Konsequenzen einer Verlagerung von Produktionsstätten aufgrund von Marktverschiebungen überprüft werden.

Modell für die Grobsimulation auf Werksebene

Entsprechend Bild 52 besteht das Gesamtmodell einer Produktion aus Modellobjekten, die jeweils die Fertigungsbereiche und die Lager zwischen den Bereichen repräsentieren (Bild 105). Zusätzlich sind die Arbeitszeitmodelle der Bereiche und die Fertigungssteuerungen für die Bereiche zu berücksichtigen.

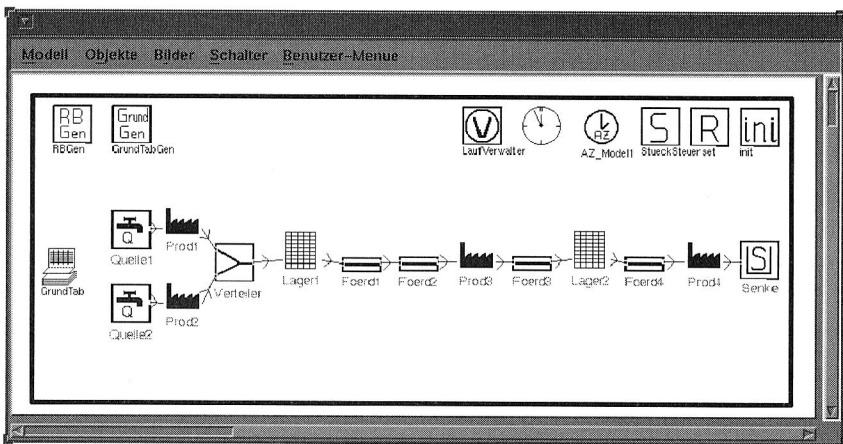


Bild 105: Exemplarisches Modell für die Simulation des gesamten Produktionsablaufs

Alle Systemelemente, die in der Grobsimulation ein Betrachtungsaspekt sein können, werden explizit, d. h. analog zur Detailsimulation auf Anlagen- bzw. Bereichsebene modelliert. Dazu gehören die Zwischenspeicher, die Förderstrecken, die Arbeitszeitmodelle und die Fertigungssteuerung.

Im Modellobjekt Zwischenspeicher ist das Ein- und Auslagerverhalten bzw. die Sortierstrategie variierbar, z. B. "first in first out" (FIFO) oder nach vorgegebener Produktreihenfolge, sortierend. Weitere charakterisierende Größen sind die maximale Kapazität, das Störverhalten sowie die Dauer der Ein- und Auslagerungsvorgänge.

Der Mindestbestand ist insbesondere für Sortierspeicher wichtig. Die Förderstrecken werden durch ihre Länge, das Stauverhalten und die Fördergeschwindigkeit charakterisiert. Die Arbeitszeitmodelle der Produktionsbereiche sind ein wesentlicher Aspekt bei der Dimensionierung der Zwischenlager. Sie beinhalten neben den unterschiedlichen Arbeitszeiten auch alle Arbeitsunterbrechungen, wie regelmäßige Pausen, Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, die zeitlich im Tagesablauf festgelegt sind. Die Fertigungssteuerung koordiniert die Abläufe der Fertigungsbereiche. In Abhängigkeit von bestimmten Kriterien, z. B. einer Sollstückzahl pro Schicht, kann sie einzelne Bereiche deaktivieren und zu Beginn der Folgeschicht wieder aktivieren.

Im Gegensatz zu den genannten Modellobjekten sind die internen Strukturen und Abläufe der Produktionsbereiche für die Betrachtungen auf dieser Planungsebene nicht von Interesse. Deshalb werden die Produktionsbereiche entsprechend dem systemtechnischen Vorgehen als sog. Black Box modelliert. Hierbei ist darauf zu achten, daß die logischen und physikalischen Verbindungen zwischen den einzelnen Produktionsbereichen richtig abgebildet werden. Die Vielzahl von Ereignissen und Zuständen, die ein Produkt bei der detaillierten Simulation des Bereiches durchläuft, werden zu einem Ereignis zusammengefaßt. Dieses läßt sich durch einige wenige Größen, wie das Durchlaufzeitverhalten und das Störverhalten des Bereiches, modellieren.

Die Durchlaufzeit eines Produktes für einen Bereich wird durch verschiedene Zeitanteile beschrieben. Dies sind die Zeitanteile der einzelnen Arbeitsschritte und jener, der durch Störungen verursacht wird. Bei den Arbeitsschritten ist zwischen sequentieller Arbeit und Parallelarbeit (verschiedene Maschinen oder Nacharbeit) zu differenzieren. Deshalb werden die Durchlaufzeiten bei ungestörten Prozessen eines Fertigungsbereichs durch ein Histogramm hinterlegt (Bild 106).

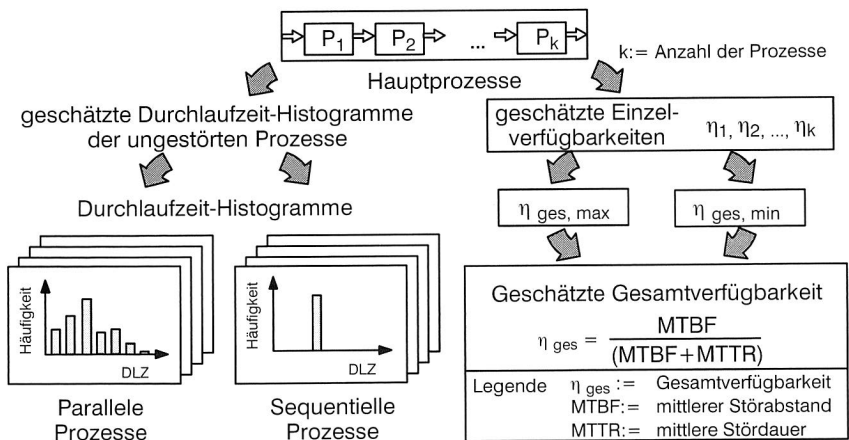


Bild 106: Vorgehensweise bei der Bestimmung eines Durchlaufzeitdiagramms und der Verfügbarkeit für einen Bereich

Für jede Produktvariante ist dabei ein separates Histogramm zu definieren. Dazu sind die Gesamtdurchlaufzeiten abhängig vom Arbeitsinhalt zu klassifizieren und bezüglich der kumulierten Häufigkeit im Histogramm einzutragen. Die Störcharakteristik des Bereiches wird nach [47] auf Basis der geschätzten Gesamtverfügbarkeit hinterlegt.

Dazu wird aus den geschätzten Einzelverfügbarkeiten der Maximalwert und der Minimalwert für die Gesamtverfügbarkeit bestimmt. Die tatsächliche Gesamtverfügbarkeit des Bereiches wird zwischen dem angegebenen Maximal- und Minimalwert in Abhängigkeit vom Kopplungsgrad der Teil- bzw. Einzelprozesse liegen. Aus der geschätzten Gesamtverfügbarkeit wird die Verteilung von Störabstand und Stördauer ermittelt. Hiermit werden die Durchlaufzeiten, die jedem Produkt bei Eintritt in die Black Box aus dem Histogramm zugeordnet werden, beaufschlagt.

Aufbau der Datenstrukturen für die Belegungsplanung

Das Datenmodell für die Anwendung Werkebelegungsplanung zeigt Bild 107.

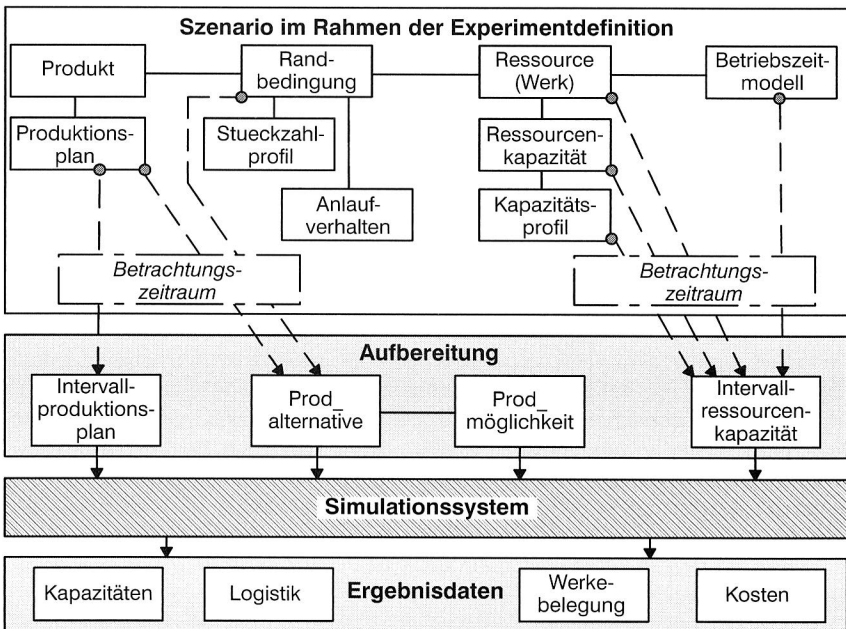


Bild 107: Gesamtübersicht des Datenmodells für die Werkebelegungsplanung

Die weiß hinterlegten Entitäten definieren das Szenario für die Belegungsplanung und damit die Anwenderschnittstelle. Mit Hilfe von Relationen, die durch gestrichelte

Linien dargestellt sind, können verschiedene Sichten auf das Datenmodell erzeugt werden.

Für die Belegungsplanung sind die Entitäten Produkt, Ressource (Werk), Randbedingung und Produktionsplan wesentlich. Jedes Produkt und jede Ressource wird durch seine Bezeichnung identifiziert. Die Entitäten *Stückzahlprofil* und *Anlaufverhalten* sind der Entität *Randbedingung* untergeordnet. Jeder Ressource sind eine oder mehrere Ressourcenkapazitäten inklusive der zugehörigen Kapazitätsprofile unter Angabe des Zeitraums, für den sie jeweils gültig sind, zuzuordnen. Auch ist für jede Ressource je ein Betriebszeitmodell gemäß Kap. 6.3.3 zu definieren. Dadurch wird die Konsistenz insbesondere bei Modifikation der Betriebszeiten für eine Ressource gewährleistet.

Die Abhängigkeiten zwischen den Relationen der Anwenderschnittstelle des Datenbankmodells sind in Bild 108 dargestellt.

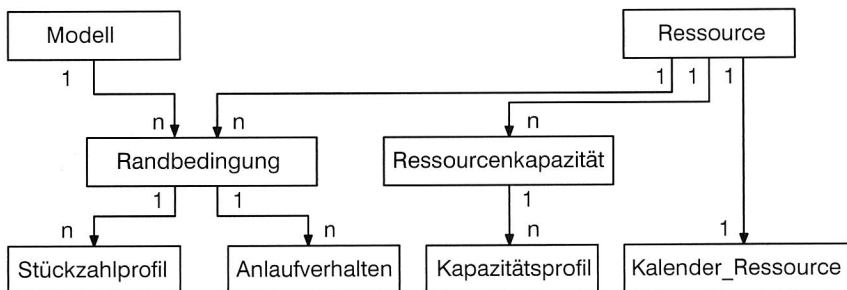


Bild 108: Relationale Abhängigkeiten der Anwenderschnittstelle bzw. des Szenarios für die Werkebelegungsplanung

Die Initialisierungsdaten werden über eine separate Datenbankschnittstelle aus dem Szenario ermittelt und der Simulation bereitgestellt. Die in Bild 107 hellgrau hinterlegten Entitäten beschreiben die Schnittstelle zum Simulationssystem. Auf diese Datensätze hat der Anwender keinen direkten Zugriff. Dabei wird der Intervallproduktionsplan aus dem Produktionsplan erzeugt. Die Produktionsalternativen werden zusammen mit den zugehörigen Produktionsmöglichkeiten aus dem Produktionsplan und den Randbedingungen gebildet. Grundlage für die Ermittlung der Intervallressourcenkapazität sind die Informationen aus den Entitäten Ressource, Ressourcenkapazität und Kapazitätsprofil.

Bild 109 zeigt die Abhängigkeiten zwischen den Relationen der Simulationsschnittstelle hinsichtlich der kaskadierten Löschung. Von der Relation Simulation hängen die Relationen Intervallproduktionsplan, Produktionsmöglichkeit, Intervallressourcenkapazität und Werkebelegung direkt und die Relation Produktionsalternativen aufgrund der direkten Abhängigkeit von der Relation Produktionsmöglichkeit mittelbar ab.

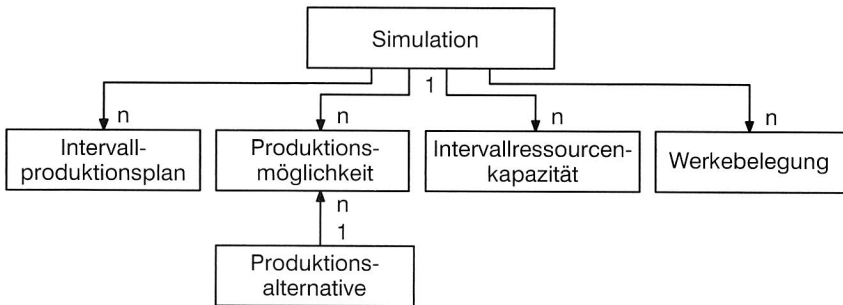


Bild 109: Entity-Relationship-Diagramm der Experimentverwaltung

Die Ergebnisse einer Simulation werden in die Relation Werkebelegung geschrieben. Für jedes Simulationsintervall und jede gültige Randbedingung wird die produzierte Menge (Stückzahl des jeweiligen Produkts), die in Anspruch genommene Ressourcenkapazität sowie der relative Kosten- und Logistikaufwand ermittelt.

Um die Ergebnisse aufgeschlüsselt nach Produkten und Ressourcen graphisch darstellen zu können, ist es erforderlich, die Ergebnisse in separaten Relationen abzuliegen. Diese Relationen sind so aufgebaut, daß jedes Produkt und jede Ressource auf ein eigenes Attribut abgebildet wird.

8.2 Implementierung der Systemmodule

Die in Kap. 8.1 konzipierten Anwendungen werden auf Basis der Module des Gesamtsystems prototypisch realisiert.

8.2.1 Auswahl von Werkzeugen für die prototypische Realisierung

Für die Implementierung der Plandatenbasis und der Anwendung zur Unterstützung der Werkebelegungsplanung werden das datenbankgestützte Anwendungssystem ORACLE und das Simulationssystem SiMPLE++ verwendet.

ORACLE basiert auf einem relationalen Datenbanksystem. Neben dem Datenbankkern steht dem Anwender eine große Zahl an Werkzeugen zur Verfügung. Die Werkzeuge unterstützen z. B. bei der Definition und Implementierung von Datenbanken sowie bei der Aufbereitung und Präsentation von Daten. ORACLE-Forms ist ein Werkzeug zur Gestaltung von Benutzeroberflächen.

Es unterstützt die Client-Server-Architektur. Die graphische Benutzeroberfläche bildet dabei die Client-Applikation und das Datenbankmanagementsystem den Server. Die mit diesem Werkzeug entwickelten Anwendungen bestehen aus mehreren

Formularen zur Datenein- und -ausgabe. Die Steuerung der Anwendung wird in PL/SQL programmiert [1].

SiMPLE++ (Simulation in Production, Logistic and Engineering) ist ein objekt- und graphikorientiertes Simulationssystem [87]. Im Vergleich zu anderen Systemen verfügt SiMPLE++ über eine weitgehend offene, baustein- und sprachorientierte Architektur.

Über Ergänzungsmodule kann SiMPLE++ in andere Applikationen integriert werden. Dies sind z. B. eine Remote-Procedure-Call-Schnittstelle zur Steuerung von SiMPLE++ aus anderen Systemen heraus und eine Socket-Schnittstelle für den bidirektionalen Informationsaustausch zwischen mehreren SiMPLE++-Applikationen. Darüber hinaus steht eine Schnittstelle zu ORACLE zur Verfügung.

Die beiden Systeme stellen die erforderliche Funktionalität bereit, um die Konzepte prototypisch umzusetzen, so daß eine Experimentierplattform für die Analyse und Lösung spezieller Probleme zur Verfügung steht. Zusätzlich sind Anwendungen in beiden Systemen unabhängig von der Hardwareplattform lauffähig, d. h. auch eine verteilte Anwendung in einem heterogenen Rechnernetz ist möglich. Da beide Werkzeuge auch in der Praxis weit verbreitet sind, sind die Voraussetzungen für den Test des Prototyps gegeben.

Die prototypische Implementierung der Plandatenbasis erfolgt in einer ORACLE-Datenbank. Mit Hilfe des Entwicklungswerkzeugs für Datenbanken, Developer/2000, wird das Relationenmodell entwickelt und daraus das Datenmodell abgeleitet (Bild 110). Die Funktionalität des Historien- und Szenariomanagements wird mit Hilfe von Trigger-Funktionen realisiert [61].

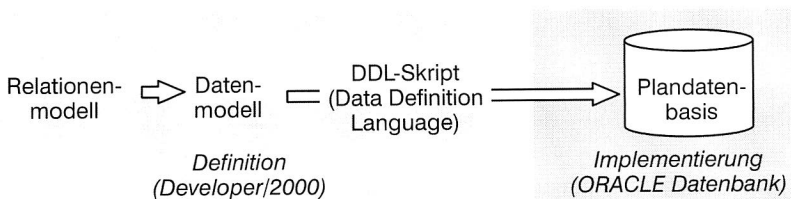


Bild 110: Vorgehen bei der prototypischen Implementierung der Plandatenbasis

Die Implementierung der Teilmodule zur prototypischen Realisierung der Anwendung Werkebelegungsplanung ist in Bild 111 dargestellt. Die Entwicklung der datenbank-basierten Module erfolgt analog zur Implementierung der Plandatenbasis. Die Belegungsplanung selbst wird für SiMPLE++ realisiert.

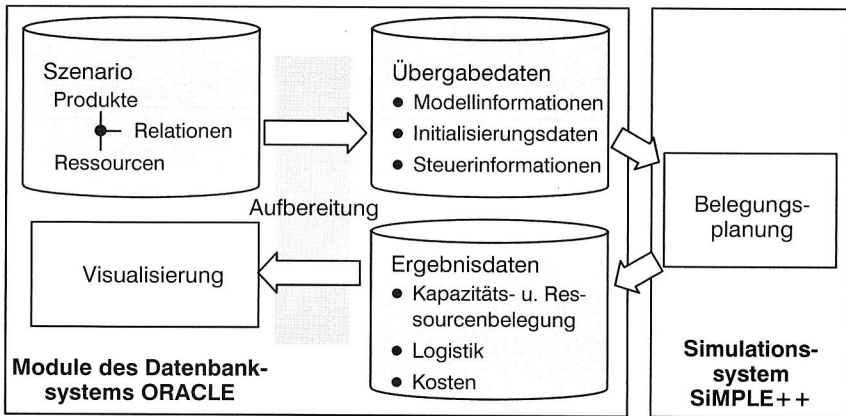


Bild 111: Prototypische Implementierung der Module zur Werkebelegungsplanung

8.2.2 Funktionalität der Anwendungsmodule

Die Benutzerschnittstelle der Anwendung "Werkebelegungsplanung" wird, wie bereits erwähnt, als graphische Benutzeroberfläche mit Hilfe von ORACLE-Forms implementiert. Das Startmodul unterstützt das Experimentieren des Benutzers bei der Belegungsplanung, indem es den Zugriff auf die einzelnen Module der Anwendung koordiniert. Einzelne Module des Gesamtsystems zur simulationsbasierten Entscheidungsunterstützung sind Bestandteil der Anwendung "Werkebelegungsplanung".

Das Startmodul verfügt über verschiedene Schaltflächen (Bild 112). Davon dienen vier dem Festlegen eines Modellszenarios. Nach Selektion der Schaltflächen werden einzelne Oberflächen geöffnet. Für einen festzulegenden Zeitraum wird damit die Definition des Produktionsplans inklusive der zugehörigen Ressourcen und Produkte sowie der jeweiligen Kennzahlen und der Randbedingungen unterstützt.

Definition eines Simulations-Szenarios

Für die Oberflächen zur Definition des Szenarios werden zwei Modi konzipiert und realisiert. Im Eingabe-Modus kann das Werkzeug unabhängig von der Plandatenbasis angewendet werden. Der Anwender muß für alle nicht optionalen Felder aktuelle Parameter vorgeben. Nach vollendeter Eingabe werden die vollständigen Datensätze in der Szenario-Datenbank gespeichert. Im Query-Modus besteht eine Verbindung zur Plandatenbasis. Vom Anwender können Suchkriterien, z. B. ein bestimmtes Produkt, vorgegeben werden. Anhand dieser Attributwerte wird eine Anfrage an die Plandatenbasis gestartet. Die Ergebnisse von solchen Anfragen werden in einem Puffer abgelegt und über eine Bildschirmmaske zur Auswahl visualisiert. Nach der Auswahl werden die Datensätze ebenfalls in der Szenario-Datenbank gespeichert.

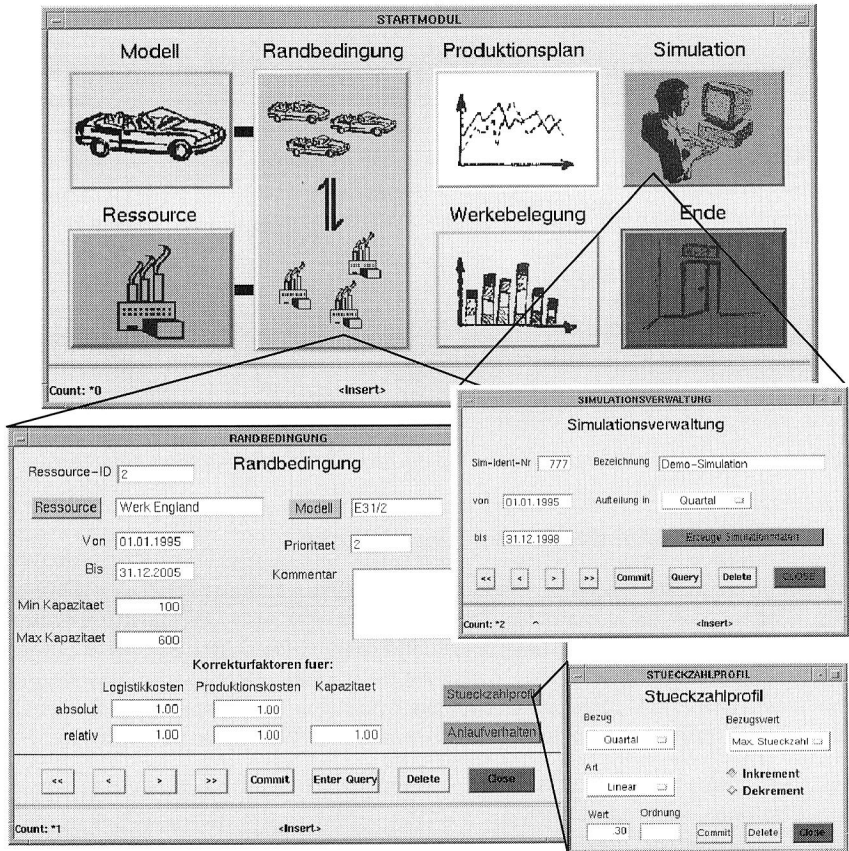


Bild 112: Oberflächen der Anwendung Werkebelegungsplanung zur simulationsbasierten Unterstützung der Belegungsplanung auf Unternehmensebene

- Produktdaten

Bereits nach Definition der Modell- und Initialisierungsdaten besteht die Möglichkeit, vergleichende Informationen, z. B. die relative Kostenverteilung über die selektierten Produkte bezüglich Produktion und Logistik, zu visualisieren.

- Ressourcendaten

Für jede Ressource sind für zu definierende Zeitintervalle die Gesamtkapazität pro Tag und die Verfügbarkeit festzulegen. Für jedes Zeitintervall kann zusätzlich ein Kapazitätsprofil gemäß Kap. 8.1.3 angegeben werden, um dynamische Effekte im

Simulationsmodell zu berücksichtigen. Ein Kontrollmechanismus überprüft die Angaben und warnt bei Definitionslücken innerhalb des angegebenen Zeitraums, für den die Belegungsplanung durchgeführt werden soll.

- **Randbedingungen**

Für jede vorgegebene Produkt-Ressource-Kombination muß mindestens eine Randbedingung in der entsprechenden Relation definiert werden, damit eine Zuordnung erfolgen kann. Die Auswahl wird auch hier durch Anzeige aller vorhandenen Einträge in der Plandatenbasis unterstützt. Für eine Randbedingung kann eine Gültigkeit angegeben werden. Dabei können zu jedem Zeitpunkt innerhalb des Betrachtungszeitraums jeweils mehrere Randbedingungen je Produkt-Ressource-Kombination gültig sein. Die Reihenfolge, in der diese berücksichtigt werden, wird anhand von Prioritäten ermittelt. Für jede vorgegebene Randbedingung wird automatisch eine interne Identifikationsnummer vergeben. Diese Nummer unterstützt den Aufbau der Relationen für die Simulation und die richtige Zuordnung der Ergebnisse bei der Auswertung.

Durch Angabe des Anlaufverhaltens können die Stückzahländerungen bei Beginn der Produktion bzw. bei Produktwechsel modelliert werden. Dabei besteht die Wahl zwischen einem linearen und einem frei definierten Anlaufprofil. Darüber hinaus können Schwankungen der Stückzahlen bei laufender Produktion durch Angabe von Inkrementen und Dekrementen sowie Bezugswerten vorgegeben werden.

- **Produktionsplan**

Der Produktionsplan wird auf Basis des vorgegebenen Simulationszeitraums festgelegt. Während der Aufbereitung der Daten des Szenarios für die Simulation werden die zu produzierenden Gesamtmengen automatisch auf den Intervallproduktionsplan verteilt. Der Intervallproduktionsplan gibt für jedes Produkt den Zeitpunkt für den Produktionsbeginn und die zu produzierende Menge an.

Experimentdurchführung und -verwaltung

Die Schaltfläche Simulation stellt die Verbindung zum Modul Datenverwaltung her. Hier werden die Simulationsläufe spezifiziert, gestartet und verwaltet.

Die Angabe des Simulationszeitraums und der Simulationsintervalle bestimmt die Experimentdurchführung. Eine Experimentnummer, die automatisch vergeben wird, gewährleistet die eindeutige Zuordnung aller Experimentinformationen zu einem Simulationslauf. Sie können damit auch zum Führen einer Historie genutzt werden.

Das jeweils für einen Simulationslauf vorgegebene Szenario wird mit Hilfe von speziellen Unterprogrammen für die Modellierung und Initialisierung aufbereitet. Dazu werden die für die Simulation erforderlichen Informationen aus dem Szenario mit Hilfe

von Views extrahiert. In einer View können mehrere Tabellen zusammengefaßt werden, wobei sich diese bezüglich der gespeicherten Daten ergänzen. Die Tabellen enthalten alle Informationen, die für einen Simulationslauf benötigt werden. Hierbei sind insbesondere der Intervallproduktionsplan, die Intervallressourcenkapazität und die Produktionsalternativen zu ermitteln. Dabei wird der Betrachtungszeitraum in gleiche Zeitintervalle unterteilt und die Übergabeinformationen diesen Intervallen zugeordnet. Die Größe eines Zeitintervalls ist dabei flexibel definierbar.

Für jeden Zeitschritt wird für die vorgegebene Zielfunktion eine optimale Belegung vorgenommen. Als alternative Zielfunktionen stehen die Kapazitätsnutzung, die Herstellkosten und der logistische Aufwand zur Wahl.

Die Zuordnung der Aufträge erfolgt anhand der Aufträge aus den Produktionsplänen und von produktabhängigen bzw. produktunabhängigen Prozeßkennzahlen. Einplanungen können sowohl durch geschlossene als auch durch halboffene Intervalle beschrieben werden, um Vorwärts- und Rückwärtsterminierungen vornehmen zu können. Die Relationen zwischen Produkten und Ressourcen sind nicht eindeutig, da für die Produktion eines Produktes oftmals mehrere Alternativen bestehen. Es sind somit die Variationsmöglichkeiten zu verwalten und zur Auswahl zu stellen.

Die Ergebnisse eines Simulationslaufs werden in einer Tabelle abgelegt. Die Zuordnung der Produktionsmengen, beanspruchten Kapazitäten und verursachten Kosten zu Produkten und Ressourcen erfolgt über das Attribut RB_ID, das auf die zugehörige Randbedingung verweist. Für die Auswertung verbindet eine spezielle View wb_erg die drei Relationen Werkebelegung, Randbedingung und Ressource (Bild 113). Dabei erfolgt die Referenzierung zusammengehörender Tupel der beiden ersten Relationen über das Attribut RB_ID, während die Verbindung zwischen den Relationen Randbedingung und Ressource durch das Attribut RES_ID hergestellt wird.

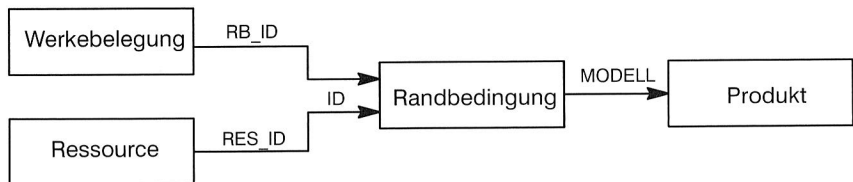


Bild 113: Unterstützung der Auswertung durch die View wb_erg

Für jedes Simulationsintervall und jede Ressource werden die Kenngrößen der Produkte – Mengen, Kapazitäten und Kosten – aus der View wb_erg ausgelesen und in lokalen Variablen zwischengespeichert. Anschließend werden die Werte in zwei Relationen, prod_erg zur produktorientierten und res_erg zur ressourcenorientierten Ergebnisdarstellung, übertragen.

Ergebnisdarstellung

Über die Schaltfläche Werkebelegung gelangt der Anwender zum Modul STORE, das die Ergebnisse entsprechend der gewählten Darstellungsform visualisiert (Bild 114).

Die Visualisierung der Ergebnisse erfolgt in einem eigenen Fenster, das über die Schaltfläche des Moduls 'Werkebelegung' der Anwendung aufgerufen werden kann. Hierzu ist im ersten Schritt der Simulationslauf und im zweiten Schritt die Art der Visualisierung auszuwählen. Dementsprechend wird der zeitliche Verlauf der Kapazitätsnutzung bzw. der Produktionszahlen für die vom Benutzer selektierten Produkte bzw. Ressourcen dargestellt. Bei der kapazitätsorientierten Darstellung werden die genutzten Kapazitätsanteile aufsummiert, so daß die Gesamtnutzung der Gesamtkapazität der einzelnen Ressourcen visualisiert werden kann.

Eine weitere Schaltfläche dient dem Beenden der Anwendung.

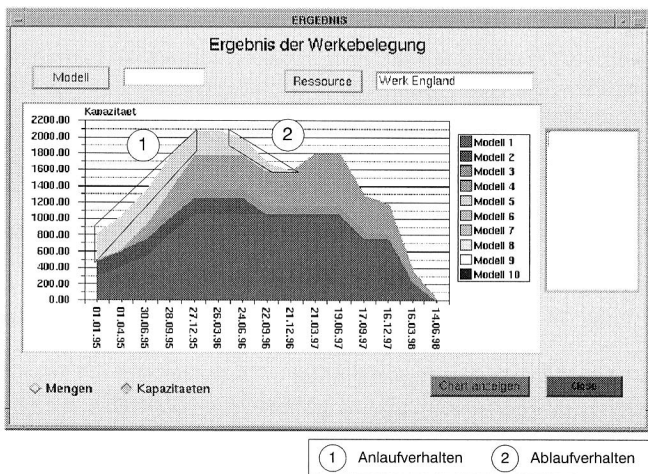


Bild 114: Visualisierung der Belegung eines bestimmten Werkes als Ergebnis der simulationsbasierten Werkebelegungsplanung

8.3 Erfahrungen aus dem Einsatz des Prototypen

Beim Test des Prototypen kann zum einen der Nutzen des Gesamtsystems und zum anderen die Funktionalität überprüft werden. Darüber hinaus besteht dadurch die Möglichkeit, Lösungsansätze für die Verbesserung von Teilfunktionen zu ermitteln, die bei der weiteren Implementierung berücksichtigt werden können.

8.3.1 Nutzenpotentiale durch das Gesamtsystem

Bereits aus der prototypischen Implementierung der Module zur Unterstützung der Belegungsplanung resultieren Erkenntnisse über den Nutzen, der sich aus dem Einsatz des Gesamtsystems ergibt. Die positiven Effekte werden dabei sowohl auf der Seite der einzelnen technischen Unternehmensbereiche als auch auf der Planungsseite deutlich.

Technische Bereiche

Zum einen unterstützt die Plandatenbasis die Selbstkontrolle der operativen Bereiche. Die operativen Bereiche sind dafür zuständig, die Plandatenbasis mit Informationen zu füllen, die für die methodische Entscheidungsfindung benötigt werden. Diese Aufgabe erfordert eine fortlaufende Datenerfassung, -verdichtung und -aktualisierung in den einzelnen Bereichen. Damit wird gleichzeitig der Abgleich zwischen aktuellem Stand und Zielvorgaben unterstützt.

Zum anderen verbessert das Gesamtmodell die Kenntnisse der Technologien über die Gesamtprozesse. Dabei werden sowohl die Abhängigkeiten der Teilprozesse als auch die möglichen Auswirkungen von Veränderungen auf den Gesamtprozeß verdeutlicht.

Planungsbereiche

Das Konzept des Gesamtmodells unterstützt die Entscheidungsfindung methodisch und gezielt in allen Planungsphasen. Die bereichsübergreifenden Modelle unterstützen dabei die effiziente Überprüfung von Zielvorgaben in frühen Planungsstadien. Durch die gesamtheitlichen Betrachtungen werden Suboptima vermieden. Auch können hier bereits potentielle Probleme im Gesamtablauf identifiziert und Verbesserungsalternativen analysiert werden. Dabei besteht die Möglichkeit, diese Analyse durch Detailbetrachtungen zu unterstützen. Gleichfalls können die Ergebnisse dieser Gesamtbetrachtungen als abgestimmte und abgeglichene Vorgaben für die Planung der Teilbereiche genutzt werden. Insgesamt wird dadurch ein großer Beitrag zur Minimierung der Herstellungskosten geleistet.

8.3.2 Lösungsansätze für spezielle Teilprobleme

Durch die prototypische Realisierung kann das Gesamtkonzept und die verwendete Software bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit getestet werden. Für einige spezielle Teilprobleme werden im folgenden Lösungsansätze vorgestellt.

Verbesserung des Prototypen zur Werkebelegungsplanung

Das Modell, auf dem der Prototyp der Anwendung "Werkebelegungsplanung" basiert, berücksichtigt alle Anforderungen, die hierbei wesentlich sind. Es kann deshalb sehr flexibel zur umfassenden Unterstützung bei der Entscheidungsfindung im Rahmen

der Werkebelegungsplanung eingesetzt werden. Hierbei sind allerdings einige wichtige Aspekte zu beachten.

- Adaption von Zeiträumen und Zeitintervallen

Für alle wesentlichen Parameter des Modells kann eine zeitliche Gültigkeit definiert werden. Dabei sind die Zeiträume, in denen die Einplanungen vorgenommen werden, im Gegensatz zur Ausgangslösung beliebig variierbar. Der Zeitraum für die Simulation und die Zeitintervalle, in denen die Belegungsplanung vorgenommen wird, können dabei, wie bereits in Kap. 8.2.2 erläutert, vom Anwender individuell festgelegt werden.

Allerdings stimmen die Zeiträume, in denen die einzelnen Produkte produziert werden sollen, in der Regel nicht mit dem Simulationszeitraum überein. Sie sind entweder größer oder kleiner als der Zeitraum, für den die Planung vorgenommen werden soll. Die für den Produktionszeitraum angegebenen Stückzahlen müssen deshalb in der Simulation anteilig berücksichtigt werden. Die realen Zeiträume, z. B. für die Laufzeit einer Produktreihe, können nur bei der für diese Abstraktionsebene kleinsten Auflösung der Zeitintervalle direkt übertragen werden. Auf dieser Grundlage kann dann eine Umrechnung mit Hilfe der genauen Profile, z. B. der Kapazitäts-, Stückzahl-, An- und Ablaufprofile, durch Summierung und Mittelwertbildung auf die größeren Zeitintervalle vorgenommen werden. Die Ergebnisse aus Simulationsläufen können ebenso auf unterschiedlichen Zeitintervallen basieren. Sie müssen wieder entsprechend zurücktransformiert werden, um zum einen eine einheitliche direkte Weiterverwendung, z. B. zur Präsentation, zu ermöglichen und zum anderen die Plandatenbasis direkt mit bestimmten Informationen aktualisieren zu können.

- Ereignisverwaltung und Synchronisation

Für jede Ressource kann ein eigenes Betriebs- und Arbeitszeitmodell definiert werden. Damit ist nachvollziehbar, wie die Kapazitäten bezogen auf die Zeit genutzt werden. Alternativen zur Belegungsplanung können dadurch wesentlich detaillierter ermittelt werden.

Aus der Differenzierung der Betriebs- und Arbeitszeitmodelle für die einzelnen Ressourcen resultiert bei der Simulation die Aufgabe, die Ereignisse zu synchronisieren. Dazu müssen die Betriebs- und Arbeitszeitmodelle zentral verwaltet werden. Dies ist bei der Grundkonzeption des Modells zu berücksichtigen. Dabei sind zusätzlich die hinterlegten Funktionen und die Mechanismen des verwendeten Simulationswerkzeugs aufeinander abzustimmen.

Ein Lösungsansatz ist die Simulation anhand des Jahresbetriebszeitmodells. Im individuellen Betriebszeitmodell der Ressourcen ist dabei zu vermerken, an welchen Tagen, ab welchem Zeitpunkt, wie lange und mit welcher Kapazität gearbeitet wird. Zeiträume, in denen die Ressourcen nicht produzieren, sind durch eine Kapazität 0 zu repräsentieren.

- Diskussion der Alternativenüberprüfung und der Optimierungsläufe

Bei einem Simulationslauf wird die bezüglich der Vorgaben optimale Belegung der Ressourcen vorgenommen. Für die einzelnen Planungsintervalle wird dazu insbesondere bei Vorliegen von Alternativen, z. B. durch gleiche Prioritäten, eine umfangreiche Überprüfung der Alternativen vorgenommen.

Um diejenige Vorgabekonfiguration zu ermitteln, die insgesamt zur optimalen Belegung führt, sind die Vorgaben für den Simulationslauf zu variieren. Für die einzelnen Alternativen können dann Simulationsläufe durchgeführt und die Ergebnisse miteinander verglichen werden.

Die während eines Simulationslaufs durchzuführende Überprüfung von Alternativen gleicht dem Vorgehen bei der Optimierung. Bei der Alternativenüberprüfung und bei der Durchführung von Optimierungsläufen handelt es sich um ein iteratives Vorgehen. Es besteht im wesentlichen aus den Schritten Definition und Test von Alternativen, Ergebnisauswertung, -vergleich und -interpretation sowie Festlegen der nächsten Aktion oder Definition neuer Alternativen.

Bei den Optimierungsläufen wird die Startkonfiguration immer durch die Vorgaben eindeutig definiert. Die Vorgaben werden zusammen mit den Ergebnissen von der Experiment- und Ergebnisverwaltung verwaltet. Unterstützung können hierbei Hilfswerkzeuge zur Optimierung bieten.

Demgegenüber sind bei der Alternativenüberprüfung innerhalb der Simulationsintervalle die Startkonfigurationen des jeweiligen Intervalls intern zu verwalten. Vom Zustand, der durch diese Startkonfiguration beschrieben wird, müssen für die einzelnen zu überprüfenden Alternativen die Endzustände des Intervalls ermittelt und zwischengespeichert werden.

Für jede Alternative muß dabei immer erneut vom Ausgangszustand des Intervalls begonnen werden. Für das Rückführen vom Endzustand einer Alternative zum Ausgangszustand, um eine weitere Alternative überprüfen zu können, ist die erforderliche Funktionalität bereitzustellen.

Mit Hilfe von sogenannten Branchpoints könnten bestimmte Modellzustände ermittelt werden, die als Ausgangsbasis für eine kombinierte Alternativenüberprüfung und Optimierung dienen. Ein Branchpoint definiert den Zeitpunkt, bis zu dem eine Simulation erfolgen soll. Darüber hinaus können Ereignisse angegeben werden, die nach Erreichen dieses Zeitpunktes ausgelöst werden sollen.

Dies kann beispielsweise eine Anweisung zur Speicherung des aktuellen Modellzustandes sein, um dann damit explizit definierte Alternativen simulieren zu können. Damit können dann auch spezielle Werkzeuge zur effizienteren Unterstützung der Überprüfung der Alternativen genutzt werden.

Bewältigung der Einschwingvorgänge

Die von der Anwendung bereitgestellte Funktionalität unterstützt die Planung der zukünftigen Produktion. Bei der Simulation parallel zur Realität kann auf einem existierenden Systemzustand aufgesetzt werden, wodurch Einschwingvorgänge vermieden werden [120].

Beim Planen der zukünftigen Produktion sind diese Startwerte nicht aus der Realität bekannt. Damit können diese Ausgangswerte nicht direkt von der Plandatenbasis zur Verfügung gestellt werden. Daraus resultieren Einschwingvorgänge, die bezüglich der Ermittlung der Ergebnisse und der Dauer der Simulationsläufe berücksichtigt werden müssen.

Da die Systemzustände durch das Systemverhalten geprägt werden, können diese auch durch die Simulation ermittelt werden. Wenn die so ermittelten Startwerte im Experiment- und Ergebnisverwalter hinterlegt werden, ist eine weitere Verwendung bei nachfolgenden Experimenten möglich. Allerdings ist dabei das Konsistenz- und Aktualitätsproblem zu beachten, da die gespeicherten Werte strenggenommen nur für den Zeitpunkt, zu dem sie ermittelt wurden, und für eine bestimmte Parametrierung gültig sind. Wird nun mit einer anderen Parametrierung oder für einen anderen Zeitraum simuliert, sind diese Voraussetzungen nicht mehr gegeben. Die Simulation des mit den zur Verfügung gestellten Ausgangswerten initialisierten Modells muß deshalb schon vor dem eigentlichen Startzeitpunkt des Betrachtungszeitraumes beginnen, so daß sich das Modell zum Startzeitpunkt im eingeschwungenen Zustand befindet.

Entwurf und Strukturierung der Modelle

Das der Modellierung des Gesamtsystems zugrunde liegende Hierarchiekonzept kann die Entscheidungsfindung systematisch unterstützen. Beim Entwurf der einzelnen Modelle für die Anwendungen des Gesamtsystems ist allerdings die strukturelle Durchgängigkeit zwischen den Modellen zu gewährleisten. Hierzu können beispielsweise Designrules für die sukzessive Feinmodellierung abgeleitet werden. Diese müssen einerseits die Strukturierung der Modelle eindeutig vorgeben und andererseits die Eingabe- und Ausgabeparametersätze der bestehenden Modelle verwalten, um die datentechnische Kopplung konsistent und durchgängig realisieren und administrieren zu können. Dabei ist auch die Art, wie die Simulationsläufe durchgeführt und gesteuert werden, festzulegen.

Generell bestehen dazu zwei Möglichkeiten, die interaktive oder die externe Steuerung. Die interaktive Führung der Simulation bietet einen großen Freiraum für Untersuchungen. Voraussetzung hierfür ist allerdings ein entsprechend leistungsfähiges Modell. Weiterhin wird damit eine konsistente Bedienerführung für alle Anwendungen innerhalb des Gesamtsystems erschwert. Demgegenüber sind bei einer externen Steuerung alle Werkzeuge Aktoren, wodurch die Benutzerschnittstellen einheitlich bediengerecht gestaltet werden können.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Reaktions- und Wandlungsfähigkeit, d. h. die ständige Bereitschaft zum optimalen Um- und Neugestalten, ist für viele Unternehmen der Schlüssel zum Markterfolg geworden. Dies darf sich aber nicht allein auf die Produkte beziehen. Von immer größerer Bedeutung sind die Produktionsprozesse und -strukturen aufgrund der wachsenden Komplexität. Die Simulationstechnik bietet hier die Möglichkeit, die Zusammenhänge zu analysieren und alternative Szenarien zu vergleichen. Die Betrachtungen beschränken sich allerdings bisher auf einzelne untergeordnete Teilsysteme eines Unternehmens. Um aber insgesamt optimale Lösungen für die unternehmensweite Gestaltung der Produktionsprozesse und -strukturen zu erreichen und zu realisieren, sind stattdessen ganzheitlich abgestimmte Entscheidungen erforderlich.

Ziel dieser Arbeit war es daher, basierend auf einer umfassenden Analyse der Anforderungen und Abhängigkeiten, die Simulation in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe methodisch zu integrieren.

Dazu wurde zunächst der Stand der Simulationstechnik analysiert und bestehende Defizite herausgearbeitet, um daraus die Entwicklungsarbeiten abzuleiten. Durch eine breit angelegte Studie zum Simulationseinsatz wurde dabei bestätigt, daß der planungsprozeßbegleitende Einsatz der Simulationstechnik dazu beiträgt, die Planungsdauer erheblich zu verkürzen und die Planungssicherheit zu erhöhen. Als von zukünftig besonderer Bedeutung erwies sich darüber hinaus die flexible Berücksichtigung entscheidungsrelevanter Kriterien bei der Modellierung und Bewertung sowie die Integration der Simulation in das betriebliche Umfeld. Hierfür ist die Entwicklung von werkzeug- und methodenbasierten Konzepten erforderlich, die sich an der Planung orientieren. Deshalb wurden zusätzlich die Anforderungen durch die Planungsaufgaben und -abläufe bezüglich einer effizienten Entscheidungsunterstützung ermittelt.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurden zunächst Konzepte entwickelt, um in die Modellierung den Einsatz des Personals einzubeziehen und eine betriebswirtschaftliche Bewertung der Simulationsergebnisse zu ermöglichen. Die Lösungskonzepte sind modular aufgebaut. Dadurch können sie flexibel in kommerzielle bausteinorientierte Simulationssysteme implementiert werden. Damit wurde ein wesentlicher Beitrag geleistet, um eine für die jeweilige Problemstellung umfassende und an den Planungsfortschritt anpaßbare Analyse und Bewertung von Produktionssystemen auf Basis der Simulation zu ermöglichen.

Darauf aufbauend wurde ein weiterführender Ansatz verfolgt, der zusätzlich zur lebenszyklusbegleitenden Simulation einzelner Produktionsanlagen eine bereichs- und ebenenübergreifende simulationsbasierte Unterstützung bei der Planung bietet. Auf der Grundlage der aus diesem Ziel resultierenden Anforderungen an die Funktionalität wurde ein modulares Gesamtsystem entwickelt. Es verbindet

organisatorische, informationstechnische und technologische Methoden, Werkzeuge und Verfahren zu einem ganzheitlichen Konzept für die integrierte Planung von Produktionsprozessen und -strukturen. Das System basiert dabei auf einem hierarchischen Modellkonzept zur strukturierten Abbildung der Produktion eines Unternehmens auf mehreren Ebenen.

Den Integrationskern des Gesamtsystems bildet die Plandatenbasis. Sie bietet nicht nur der Planung sondern auch den operativen Bereichen und dem Management universelle Nutzungsmöglichkeiten. Der Planung stellt sie dabei die jeweils relevanten Daten problemorientiert, durchgängig und konsistent zur Verfügung. Zusätzlich unterstützt die Funktionalität der Plandatenbasis die kontinuierliche Verbesserung von Planungsentscheidungen.

In einem weiteren Schritt wurden weitere wesentliche Module des Gesamtsystems entwickelt. Sie stellen jeweils die Funktionalität bereit, um einzelne Schritte bzw. Aufgaben bei der Entscheidungsfindung methodisch und effizient zu unterstützen. Die Bedienoberfläche fungiert dabei als Kommunikationsplattform zwischen Plandatenbasis und den übrigen Modulen des Gesamtsystems. Weitere realisierte Module dienen der Verwaltung und automatischen Generierung von Simulationsmodellen, der umfassenden Experiment- und Ergebnisverwaltung sowie der flexiblen Bereitstellung von Methoden zur Validierung.

Abschließend wurde das Gesamtsystem prototypisch realisiert und verifiziert. Dabei konnte das Potential des Systems aufgezeigt werden. Es unterstützt insbesondere durch die Integration planungsrelevanter Daten und die Aufgabensynchronisation zwischen den Produktions- und Planungsbereichen die ganzheitliche Betrachtungsweise der Produktion bei der Planung. Mit der geplanten vollständigen Realisierung des in dieser Arbeit entwickelten Systems steht ein Planungssystem zur Verfügung, das abteilungsspezifische Sichten und Einzeloptimierungen ersetzen und damit einen wesentlichen Beitrag zur Beherrschung der Komplexität auf dem Gebiet der Fabrik- und Fertigungsplanung leisten kann.

Das Konzept des Gesamtsystems bietet die erforderliche Flexibilität, um die einzelnen Module mit Hilfe verschiedener Methoden und Softwarelösungen zu implementieren. Deshalb besteht bei der Fortsetzung der Realisierung des Gesamtsystems beispielsweise die Möglichkeit, neue, leistungsfähigere Modellierungsmethoden zu verwenden. Darüber hinaus können in weiteren Arbeiten zusätzliche Methoden und Hilfsmittel in das Gesamtsystem eingebunden werden. Dabei stellen die Integration weiterer Simulationstechnologien, die effiziente Unterstützung bei der Optimierung von Lösungsalternativen sowie die Anbindung der realen Produktion an das Gesamtsystem unter Nutzung innovativer Lösungen zur Informationsverarbeitung und zur Kommunikation interessante Ergänzungen dieser Arbeit dar.

Literatur

1. Abbey, M.; Corey, M.:
ORACLE: A Beginner's Guide. McGraw-Hill Inc., Berkeley 1995
2. Abels, S.:
Modellierung und Optimierung von Montageanlagen. (Fertigungstechnik - Erlangen; Bd. 37), Carl Hanser Verlag, München 1993
3. Abels, S.; Stief, E.:
Knowledge-Based Optimization of Simulation Studies. In: Proc. of the Conference on Modelling and Simulation, ESM'94, Barcelona 1994, pp.186-190
4. Abels, S.; Thim, C.:
Datenbeschaffung, Modellierung und Ergebnisauswertung für die Simulation komplexer Montagsysteme. Tagungsunterlagen zur ASIM-Fachtagung "Simulation und Verstehen", Hannover 1991
5. Ambrosy, S.; Abmann, G.; u. a.:
Integriertes Produkt- und Prozeßmodell für Konstruktion und Planung. In: ZWF 91 (1996) 12, S. 607-611
6. Balci, O.:
How to Assess the Acceptability and Credibility of Simulation Results. In: Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference, IEEE 1989, pp. 62-71
7. Banks, J.; Norman, V.; Spearman, M.:
A Second Look at Simulation Software. In: CiME-Magazine Vol. 1, No. 2, Scottsdale (USA) 1996, pp. 48-50
8. Banks, J.; Carson, J.S.:
Discrete-Event System Simulation, Verification and Validation of Simulation Models. Prentice-Hall, Englewood Cliffs (NJ) 1984, pp. 376-405
9. Bauer, T.:
Welche Informationen benötigt eine Führungskraft? In: it Management 09/10 1996, S. 22-25
10. Blummer, T.:
Objektdatenbanken - High-Tech-Spielzeuge oder Zukunftsmodell? In: ct-Magazin für Computertechnik 5/97, Heise Verlag, S. 284-295
11. Bolkart, W.:
Programmiersprachen der vierten und fünften Generation. McGraw-Hill Texte, 1987
12. Brauser, K.:
Aufgabentaxonomie: Ein Verfahren zur Ermittlung der menschlichen Leistung bei Durchführung v. Aufgaben. Firmenschrift MBB-S-TN-223, Ottobrunn 1990

13. Bubb, H.:
Ergonomie des Mensch-Maschine-Systems. Institut für Ergonomie der TU München, München 1977
14. Bubb, H.:
Menschliche Zuverlässigkeit. Ecomed-Verlag, Landsberg/Lech 1992
15. Bullinger, H.-J.; Fischer, D.; Wißler, K.:
Rapid Product Development: Schneller von der Idee zum innovativen Produkt. In: *Industrie Management* 13 (1997) 1, S. 52-54
16. Bullinger, H.-J., Rally, P.; Schweizer, W.:
Simulation flexibler Arbeits- und Nutzungszeitmodelle. In: *VDI-Zeitung*, 132 (1990), Nr. 4, S. 55-59
17. Burkhard, M.:
Was kostet Simulation? Qualitätskontrolle der Planung. In: *Fördertechnik*, Band 63 (1994) Heft 12, S. 4-8
18. Chau, P.; Bell, P.:
Designing Effective Simulation-Based Decision Support Systems: An Empirical Assessment of Three Types of Decision Support Systems. In: *Journal of the Operational Research Society* (1995) 46, pp. 315-331
19. Cooper, R.:
Activity-Based Costing, Teil 1-3, In: *Kostenrechnungspraxis* 34 (1990) 4-6, S. 210-220, 271-279, 345-351
20. Cornell, G.; Horstmann, C.S.:
Core Java Second Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River (NJ) 1997
21. Deng, D.; Jenkins, J.O.:
Artificial Intelligence Validation of Simulation Models. In: *Advances in AI and Simulation, Simulation Series*, Vol. 20, No. 4, 1989, pp. 80-84
22. Dilling, U.:
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftlichkeitssimulation. Diss., München 1991
23. Ehmann, B.:
Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung. (Fertigungstechnik - Erlangen; Bd. 35), Carl Hanser Verlag, München 1993
24. Ernst, W.:
Beitrag zur Planung der Personalstruktur im Fertigungsbereich. Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 1, Karlsruhe 1991
25. Eversheim, W.; Schönheit, M.:
Kostenstrukturveränderungen flexibler Fertigung. In: *VDI-Z* 131 (1989), S. 64-68

26. Eversheim, W.; Fuhlbrügge, M.:
Kostenbewertung flexibler Fertigungssysteme. In: SzU, Band 46,
Wiesbaden 1993, S. 29-53
27. Eversheim, W.; Skudelny, C.; Linnhoff, M.:
Simulation im Fabrikalltag - Einsatz, Nutzen, Perspektiven. In: Simulation und
Fabrikbetrieb, gfmt-Verlag, 1993, S. 9-30
28. Eversheim, W., Fuhlbrügge, M.:
Entscheidungsorientierte Bewertung mit Hilfe der Kostensimulation. In: CIM-
Management 3/94, S. 36-39
29. Feldmann, K.; Abels, S.:
Automated Generation of Simulation Models - Support to Planners and Simu-
lation Experts. In: Proc. of the 1992 European Simulation Multiconference,
Simulation Councils Inc., San Diego, USA 1992, S. 513-517
30. Feldmann, F.; Rauh, E.; Wunderlich, J.:
Einsatzfelder und Erfolgsfaktoren der Simulationstechnik. In: Simulationstechnik,
11. Symposium in Dortmund, Vieweg Verlag, Wiesbaden 1997, S. 552-557
31. Feldmann, K.; Stief, E.:
Integrated Optimization Support Tool for Simulation
In: Production Engineering, Annals of the German Academic Society for Pro-
duction Engineering, Vol. III/2 (1996), Carl Hanser Verlag, S. 79-82
32. Feldmann K.; Thim, C.:
Simulation zur Planung von Montagesystemen. In: pa 1 (1992) 1, S. 24-28
33. Fischer, D.; Hafen, U.:
Immer wieder die gleichen Fehler. In: io management Nr. 6, 1997
34. Fishwick, P.:
Simulation Model Design and Execution, Prentice Hall, Englewood Cliffs (NJ)
1995
35. Fishwick, P.:
Computer Simulation: Growth through Extension. In: Proceedings of the
ESM, Barcelona 1994
36. Flade-Ruf, U.:
Der Auswahlprozeß im Data Warehouse-Projekt. In: it Management 09/10
1996, S. 26-30
37. Flanagan, D.:
Java in a Nutshell. Deutsche Ausgabe für Java 1.0. O'Feilly/Internat. Thom-
son Verlag, Bonn 1996
38. Franz, K.-P.:
Die Prozeßkostenrechnung im Vergleich mit der Grenzplankosten- und der
Deckungsbeitragsrechnung. In: Strategieunterstützung durch das Controlling:
Revolution im Rechnungswesen?, Stuttgart 1990

39. Fröhlich, J.: Fehlerbewältigung bei der Schulung am Computer: Eine Inhaltsanalyse von subjektiven Aussagen über Fehlersituationen am Simulationsprogramm einer rechnergesteuerten Werkzeugmaschine. Diss., München 1993
40. Fromm, G.: Modeling of Production. In: Proc. of the European Simulation Symposium, Erlangen 1995, SCS Istanbul 1995
41. Geuder, D.: Modular Application Objects: Closing the Gap between Flexibility and Ease of Modelling. In: Proceedings of the 1995 EUROSIM Conference, Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1995, S. 37-40
42. Gordon, G.: System Simulation. 2nd Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs (NJ) 1978
43. Graf, K.-R.: Systematische Untersuchung von Einflußgrößen einer Fertigungssteuerung nach dem Zieh- und Schiebeprinzip. Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 2, Karlsruhe 1991
44. Grobel, T.: Analyse der Einflüsse auf die Aufbauorganisation von Produktionssystemen. Diss., Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 6, Karlsruhe 1993
45. Gronau, N.: Führungsinformationssysteme für das Management der Produktion. Oldenbourg Verlag, München, Wien 1994
46. Hansen, O.: Synchronisierte Simulation. Ein Beitrag zur optimalen Ablaufsteuerung von Fertigungsprozessen, dargestellt anhand der Elektronikfertigung. Diss., Dresden 1995
47. Hartung, J.: Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. Oldenbourg Verlag, München, Wien 1995
48. Heimberg, R.; Frey, K.: CAPE - Computer Aided Production Engineering. In: Industrie-Management (Engineering Management 1997/98), S. 27-29
49. Heumann, D.: Objektorientierte Simulation teilautonomer Fertigungsstrukturen. Diss., Lehrstuhl für Produktionssysteme und Prozeßleittechnik der Ruhr-Universität Bochum, Heft 92.1, 1992

50. Hoyos, C.:
Aufgaben einer Ingenieurpsychologie. In: Spektrum der Anthropotechnik, Beiträge zur Anpassung technischer Systeme an menschliche Leistungsber-
eiche, Wachtberg-Werthoven 1987, S. 62-74
51. Inmon, W. H.; Hakathorn, R. D.:
Using the Data Warehouse. John Wiley & Sons, New York 1994
52. Klauke, A.:
Entwicklung und Erprobung eines Simulationsmodells zur Planung der
Arbeitsteilung an Arbeitssystemen mit numerisch-gesteuerten Werkzeug-
maschinen. Diss., Aachen 1980
53. Kloth, M.:
A Cooperative Assistant System for Factory Layout Planning. In: Proc. of the
26th International Symposium on Automotive Technology and Automation,
Aachen 1993, S. 467-474
54. Klug, F.:
Do Simulation Models in Manufacturing Make Any Sense Without Cost Analy-
sis? In: Proceedings of the CISS, Zürich 1994
55. Klug, F.:
Kostenintegrierte Fertigungssimulation. Simulation in Passau SIP, Heft 1, 1994
56. Klug, F.:
Simulation-Aided Investment Analysis for Manufacturing. In: EUROSIM '95 -
Session "Software Tools and Products"
57. Klußmann, J.; Krauth, J.; Splanemann, R.:
Simulation - Spielerei oder zukunftsweisende Technik? In: wt-Produktion und
Management 86 (1996), S. 361-366
58. Klußmann, J.; Vöge, M.; Krauth, J.:
Neutrales Produktdatenmodell zur Einbindung der Simulation in betriebliche
Abläufe. wt-Produktion und Management 86 (1996) 6
59. Klußmann, J.; Krauth, J.; Vöge, M.:
Automatic Generation of Simulation Models Increases the Use of Simulation.
In: Proceedings of the 1995 EUROSIM Conference, Elsevier Science Publish-
ers, Amsterdam 1995, S. 123-128
60. Knoop, J.:
Online-Kostenrechnung für die CIM-Planung, Prozeßorientierte Kostenrech-
nung zur Ablaufplanung flexibler Fertigungssysteme. Schriftenreihe Betrieb-
liche Informations- und Kommunikationssysteme Bd. 5, Erich Schmidt Verlag,
Berlin 1986
61. Koch, G.; Loney, K.:
ORACLE: The Complete Reference. Osborne, Mc Graw-Hill Inc., Berkeley
1997

62. Krüger, S.:
Simulation: Grundlagen, Techniken, Anwendungen. de Gruyter, Berlin 1975
63. Kühne, K.; Trola, B.:
Praxisnahe Fertigungssysteme und Produktionsabläufe optimal planen mit Hilfe der Simulation. In: Maschinenmarkt 96 (1990) 27, S. 38-41
64. Kuhn, A.; Reinhardt, A.; Wiendahl, H.-P.:
Handbuch: Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik.
Vieweg Verlag, Wiesbaden 1993
65. Kuhn, A.; Wenzel, S.; Baron, C.; Vornholt, C.:
Simulation - Anwendernutzen und Zukunftsaspekte. In: Tagungsunterlagen zur 7. ASIM-Fachtagung, Verlag Praxiswissen, Dortmund 1996
66. Kurbel, K.:
Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen. Springer-Verlag, Berlin 1992
67. Lange, W. D.:
Simulation von Fertigungsinseln: Verifizierung statischer Planungsergebnisse.
gfmt-Verlag, München 1991
68. Law, A.M.; Kelton, W.D.:
Simulation Modeling & Analysis. Second Edition, Mc Graw-Hill Inc., New York 1991
69. Lehner, F.:
Softwarewartung und Reengineering. Deutscher Universitätsverlag, 1996
70. Lewandowski, A.:
Issues in Model Validation. Angewandte Systemanalyse, Vol. 3, Nr. 1; 1982, S. 2-11
71. Maßberg, W.:
Beherrschung der Komplexität in der Produktion. In: wt-Produktion und Management 87 (1997), S. 349-354
72. Mertins, K.:
Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse: Unternehmensmodellierung, Softwareentwurf, Schnittstellendefinition, Simulation.
Carl Hanser Verlag, München, Wien 1994
73. Miller, M.; Meyer, J.; Bogner, A.; Hüsken, R.:
Die Datenbankschnittstelle ODBC in der Praxis. In: ct-Magazin für Computertechnik 3/95, Heise Verlag, S. 306-312
74. Missler-Behr, M.:
Eindeutige Anordnung im System-Grid. In: Zeitschrift für Planung, Band 6 (1995) Heft 3, S. 263-276
75. Munz, R.:
OLTP versus Data Warehouse. In: it Management 11/12 1996, S. 44-48

76. Mutzke, H.; Strugalla, R.:
Simulationsgestützte Planung einer Elektronikfertigung. In: ZWF 91 (1996) 1-2, Carl Hanser Verlag, München, S. 41-43
77. Neuberger, O.:
Arbeit. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1985
78. Ninck, A.:
Objektorientierte Modellbildung und Simulation - Objektorientierter Ansatz zur Simulation von lebenden Systemen. In: F. Breitenecker (Hrsg.)
Simulationstechnik, Band 1, Vieweg Verlag, Wiesbaden 1990, S. 117-121
79. N. N.:
Datenanalyse und Visualisierung. In: ZWF 91 (1996) 6 S. 275
80. N.N.:
Grundlagen der Arbeitsgestaltung. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Carl Hanser Verlag, München 1991
81. N.N.:
Belastung und Beanspruchung und ihre Folgen. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Heft 3210247, REFA-Verlag, Darmstadt 1994
82. N.N.:
Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums. REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation, Carl Hanser Verlag, München 1993
83. N.N.:
Menschlicher Leistungsgrad. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Heft 3210248, REFA-Verlag, Darmstadt 1994
84. N.N.:
Gestaltung menschengerechter Arbeit. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Heft 3210335, REFA-Verlag, Darmstadt 1994
85. N.N.:
Designer/2000: CASE für das Web. In: Oracle Welt 1/96, Oracle Deutschland GmbH, S. 58-60
86. N. N.:
Java Repository im Internet. In Oracle Welt 1/97; Oracle Deutschland GmbH, S. 26-27
87. N. N.:
SIMPLE++ Referenzhandbuch Version 4.0. AESOP GmbH, Stuttgart 1997
88. Noche, B.; Piepel, U.:
Strategische Produktions- und Logistikstrukturen - die Simulationstechnik zwischen Benutzung und Umsetzung. In: Tagungsunterlagen zur 7. ASIM-Fachtagung, Verlag Praxiswissen, Dortmund 1996

89. Noche, B.; Wenzel, S.:
Marktspiegel Simulationstechnik in Produktion und Logistik. Köln, Verlag TÜV Rheinland 1991
90. Noche, B.; Nollau, H.-G.:
Simulation und Qualitätsmanagement - Qualitätsenrichment durch Simulation. In: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 43, 1994
91. Orfali, Robert; Harkey, Dan:
Client/server Programming with Java and CORBA. John Wiley & Sons, Inc., New York 1997
92. Orfali, Robert; Harkey, Dan; Edwards, Jeri: The Essential Client/Server Survival Guide. John Wiley & Sons, Inc., New York 1996
93. Pace, D.K.:
A Perspective on Simulation Validation. In: Proceedings of the 1986 Summer Computer Simulation Conference, La Jolla, Calif., IEEE 1986, pp. 187-189
94. Page, B.:
Diskrete Simulation. Eine Einführung mit Modula-2; Modellvalidierung und -dokumentation, Springer-Verlag, Berlin 1991, S. 145-156
95. Pfeifer, T.; Prefi, T.:
Geschäftsprozesse überwinden Barrieren. In: QZ 40 (1995) 5, Carl Hanser Verlag, München, S. 592-598
96. Pfohl, H.-C.; Stölzle, W.:
Anwendungsbedingungen, Verfahren und Beurteilung der Prozeßkostenrechnung in industriellen Unternehmen. In: ZfB, 61. Jg (19991), Nr. 11, S. 1281-1305
97. Platz, J.; Schmelzer, H.:
Projektmanagement in der industriellen Forschung und Entwicklung. Springer-Verlag 1986
98. Pritsker, A.:
New Roles for Simulation in Industry. In: Proceedings of the European Simulation Symposium 1995, SCS-Publication, Istanbul, pp. XXV-XXX
99. Rally, P.:
Einführung und Simulation flexibler Arbeitszeitmodelle. In: Simulation und Integration, ASIM-Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik, gfm-Verlag, München 1989, S. 305-340
100. Reinhart, G.:
Von der Information zur Innovation. In: wt-Produktion und Management 86 (1997), S. 564
101. Reinhart, G.:
Planung von Produktionssystemen. In: Eversheim & Schuh (Hrsg.) Betriebs-hütte - Produktion und Management. Springer Verlag, Heidelberg 1996

102. Reinhart, G.; Feldmann, K.:
Simulation - Schlüsseltechnologie der Zukunft? - Stand und Perspektiven.
Herbert Utz-Verlag Wissenschaft, München 1997
103. Reinhart, G.; Decker, F.; Heitmann, K.:
Aus dem Fundus geschöpft. In: AV 32 (1995) 3, Carl Hanser Verlag,
München, S. 170-174
104. Reinhart, G.; Decker, F.; Heitmann, K.:
Möglichkeiten zur Integration der Simulation in das betriebliche Umfeld. In:
Maschinenmarkt 101 (1995) 36, S. 48-53
105. Renner, A.:
Kostenorientierte Produktionssteuerung - Anwendung der Prozeßkostenrechnung in einem datenbankgestützten Modell für flexibel automatisierte Produktionssysteme. München 1991
106. Rohmert, W.:
Die Anthropotechnik aus der Sicht der Arbeitswissenschaft. Hrsg.: R. Bernotat, Spektrum der Anthropotechnik, Beiträge zur Anpassung technischer Systeme an menschliche Leistungsbereiche, Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Wachtberg-Westhoven 1987, S. 21-34
107. Rothhaupt, A.:
Modulares Planungssystem zur Optimierung der Elektronikfertigung. (Fertigungstechnik - Erlangen; Bd. 44), Carl Hanser Verlag, München 1995
108. Rück, Rudolf:
CIM und Logistik im Unternehmen: praxiserprobtes Gesamtkonzept für die rechnerintegrierte Auftragsabwicklung. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1992
109. Sargent, R.G.:
Validation and Verification of Simulation Models. In: Proceedings of the 1992 Winter Simulation Conference, IEEE 1992, pp. 104-114
110. Schmidt, B.:
SIMPLEX II: Ein integriertes Simulationssystem. SCS-Publikation, Istanbul 1995
111. Schnepf, L.P.:
Validation von Simulationsmodellen zur Leistungsanalyse von Rechensystemen: Motivation, Ansätze, Aufgabenstellung. Bericht Nr. 9013, Fakultät für Informatik, Universität der Bundeswehr, München 1990
112. Schnepf, L.P.:
Validation von Simulationsmodellen zur Leistungsanalyse von Rechensystemen: Welche Validationstechniken sind einsetzbar? - Vorschlag einer Systematik zur Klassifikation. Simulationstechnik, 7. Symposium in Hagen, Vieweg Verlag, Wiesbaden 1991, S. 531-536

113. Schormüller, M.; Feldmann, K.; Stief, E.:
Abgesicherte Investition in innovative Fertigungskonzepte mit Hilfe der Simulation am Beispiel der Fertigung elektromechanischer Geräte. Tagungsunterlagen zur 7. ASIM-Fachtagung "Simulation - Anwendernutzen und Zukunftsaspekte", Verlag Praxiswissen Dortmund 1996
114. Schriber, T.J.:
How Discrete-Event Simulation Software Works. In: Proceedings of the 1995 EUROSIM Conference, Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1995
115. Schruben, L.:
Economics of Simulation. In: Modelling and Simulation 1992, European Simulation Conference, Simulation Councils Inc., San Diego, USA 1992, S. 8-14
116. Schuh, G.; Brandstetter, H.; Groos, P.:
Grenzen der Prozeßkostenrechnung. In: io Management 48 (1992) 23, S. 46-50
117. Schwettmann, K.:
Integrierte Gesamtplanung als Schlüssel zum Erfolg. In: Logistik im Unternehmen 1/2-96, S. 74-79
118. Seliger, G.; Furgac, I.; Hentschel, C.:
Fabrikinnovation durch Technologietransfer. In: Zwf 89 (1994) 1/2, S. 17-19
119. Shillinglaw, Gordon:
The Influence of the New Production Technologies on Management Accounting. In: 12th Annual Congress der European Accounting Association, Stuttgart 1989
120. Speickermann, S.; Griffel, N.; Hoffmann, H.:
Neues Simulationsmodell bildet Materialfluß im Rohbau eines Automobilherstellers ab. In: Logistik im Unternehmen 11(1997) 10, Düsseldorf, S. 80-83
121. Spur, G.:
Perspektiven des deutschen Werkzeugmaschinenbaus. In: ZWF 91 (1996) 6, S. 244-245
122. Stief, E.:
Wissensbasierte Unterstützung bei der Durchführung von Simulationsstudien. In: Mitteilungen aus den Arbeitskreisen, 7. Workshop des ASIM-Arbeitskreises "Simulation und Künstliche Intelligenz", Heft Nr. 44, Braunschweig 1994
123. Stief, E.:
Integrated Simulation-based Conception and Optimization of an Automated Transport System. In: Proc. of the European Simulation Symposium, Erlangen 1995, SCS Istanbul 1995, pp. 656-660
124. Strugalla, R.:
Prozeßkostensimulation. In: Zwf 89 (1994) 12, S. 616-617

125. Swain, A.; Guttman, H.:
Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR-1278, Sandia Laboratories, Albuquerque 1983
126. VDI-Gesellschaft Fördertechnik, Materialfluß und Logistik:
Simulation von Systemen in Logistik, Materialfluß und Produktion. (VDI-Berichte 989), VDI-Verlag, Düsseldorf 1992
127. VDI-Richtlinie 3633:
Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen. Blatt 1-6, Düsseldorf 1993-96
128. Wagner, G:
Datenmodelle - Strickmuster für Datenbanken. In: ct- Magazin für Computertechnik 5/97, Heise Verlag, S. 276-282
129. Wang, Y.:
Methode für die simulationsunterstützte Optimierung am Beispiel von Montagesystemen. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1995
130. Warnecke, H.-J.:
Fabrikplanung. In: Hütte, Taschenbuch für Betriebsingenieure, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1996
131. Warschat, J.; Schweizer, W.; Menges, R.:
Simulationsstudien unter Einbeziehung des Menschen im Arbeitsprozeß. In: Simulationstechnik und Fabrikbetrieb, ASIM-Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik, gfm-Verlag, München 1988, S. 133-156
132. Weber, K.:
CIM stellt Kostenrechnung auf den Kopf. In: io Management Zeitschrift 59 (1990) Nr. 6, S. 57-58
133. Weiden, E.; Liedl, G.; Stief, E.; Collisi, T.:
Investitionssicherung in der Haushaltsgeräteproduktion. In: wt Produktion und Management 86 (1996), H. 7/8, S. 397-401
134. Whitner, R.B.; Balci, O.:
Guidelines for Selecting and Using Simulation Model Verification Techniques. In: Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference, IEEE 1989, pp. 559-568
135. Wiendahl, H.-P.:
Simulation aus Anwendersicht. In: wt-Produktion und Management 86 (1996), S. 357
136. Wildemann, H.:
Marktführerschaft: Reorganisation und Innovation. TCW Transfer-Centrum GmbH, München 1997
137. Zuboff, S:
In the Age of the Smart Machine - The Future of Work and Power. 1988

138. Zülch, G.; Schindele, H.:
Simulation qualitätsförderlicher Personalstrukturen. Forschungsgemeinschaft Qualitätssicherung e.V. (FQS), Innovative Qualitätssicherung in der Produktion, Beuth-Verlag, Berlin 1994, S. 239-245
139. Zülch, G.:
SIMULAST - ein personalbezogenes Simulationsverfahren zur Planung von Arbeitsstrukturen. In: Simulationstechnik, Tagungsband des 5. Symposiums der Simulationstechnik in Aachen, Informatik Fachberichte Band 179, Springer-Verlag, Berlin 1988, S. 470-475
140. Zülch, G.:
Analyse von Organisationsformen im Fertigungsbereich mit Hilfe der Simulation. In: Gestaltung CIM-fähiger Unternehmen am Industriestandort Bundesrepublik Deutschland, gfmt-Verlag, München 1992, S. 291-312
141. Zülch, G.:
Analyse von Organisationsformen mit Hilfe der Simulation. In: VDI-Zeitung 132 (1990) 10, S. 176-182
142. Zülch, G.; Bamberger, T.; Schindele, H.:
Simulation des Personaleinsatzes. In: wt 9, (1993) S. 170-172

Lebenslauf

Elke Rauh, geb. Stief

geboren am 19. März 1968

verheiratet

- | | |
|-------------|--|
| 1974 - 1978 | Grundschule in Nürnberg |
| 1978 - 1987 | Hardenberg-Gymnasium in Fürth
math.-naturwiss. Zweig |
| 1987 - 1993 | Studium der Fertigungstechnik
an der Universität Erlangen-Nürnberg
Abschluß: Dipl.-Ing. (Univ.) |
| 1993 - 1998 | Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
an der Universität Erlangen-Nürnberg.
Leiter: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann |
| 1997 - 1998 | Oberingenieurin der Gruppe "Rechnergestützte Planung"
am gleichen Lehrstuhl |

Reihe

Fertigungstechnik

Erlangen

Band 1

Andreas Hemberger

Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme

208 Seiten, 107 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 2

Detlef Classe

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

194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 3

Friedrich-Wilhelm Nolting

Projektiertung von Montagesystemen

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.

Kartoniert.

Band 4

Karsten Schlüter

Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz der Simulationstechnik

177 Seiten, 97 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 5

Shir-Kuan Lin

Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern

168 Seiten, 46 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 6

Rudolf Nuss

Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität im Fertigungssystem Laserstrahlschneiden

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

Band 7

Wolfgang Scholz

Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen

194 Seiten, 89 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 8

Hans-Jürgen Wißmeier

Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens von Hartmetall-Fließpreßmatrizen

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

Band 9

Rainer Eisele

Konzeption und Wirtschaftlichkeit von Planungssystemen in der Produktion

183 Seiten, 86 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 10

Rolf Pfeiffer

Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der Schraubtechnik

216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartoniert.

- Band 11
Herbert Fischer
Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung der rechnerintegrierten Teilefertigung
201 Seiten, 82 Bilder. 1990. Kartoniert.
- Band 12
Gerhard Kleineidam
CAD/CAP: Rechnergestützte Montagefeinplanung
203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartoniert.
- Band 13
Frank Vollertsen
Pulvermetallurgische Verarbeitung eines übereutektoiden verschleißfesten Stahls
XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartoniert.
- Band 14
Stephan Biermann
Untersuchungen zur Anlagen- und Prozeßdiagnostik für das Schneiden mit CO₂-Hochleistungslasern
VIII + 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 15
Uwe Geißler
Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 16
Frank Oswald Hake
Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen
XIV + 166 Seiten, 77 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 17
Herbert Reichel
Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 18
Josef Scheller
Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen für rechnergeführte Montagezellen
198 Seiten, 65 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 19
Arnold vom Ende
Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 20
Joachim Schmid
Beitrag zum automatisierten Bearbeiten von Keramikguß mit Industrierobotern
XIV + 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991. Kartoniert.
- Band 21
Egon Sommer
Multiprozessorsteuerung für kooperierende Industrieroboter in Montagezellen
188 Seiten, 102 Bilder. 1991. Kartoniert.
- Band 22
Georg Geyer
Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der Montage
192 Seiten, 112 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 23

Rainer Flohr

Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik in der Oberflächenmontage (SMT)

186 Seiten, 79 Bilder. 1991. Kartonierte.

Band 24

Alfons Rief

Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen in der Rohkarosseriefertigung

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

Band 25

Christoph Thim

Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation

188 Seiten, 74 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 26

Roland Müller

CO₂-Laserstrahlschneiden von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen

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

Band 27

Günther Schäfer

Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung

195 Seiten, 76 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 28

Martin Hoffmann

Entwicklung einer CAD/CAM-Prozesskette für die Herstellung von Blechbiegeteilen

149 Seiten, 89 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 29

Peter Hoffmann

**Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen :
Prozessführung und Systemtechnik in der 3D-Laserstrahlbearbeitung von Blechformteilen**

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

Band 30

Olaf Schrödel

Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen

180 Seiten, 84 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 31

Hubert Reinisch

Planungs- und Steuerungswerkzeuge zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen

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

Band 32

Brigitte Bärnreuther

Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen

XI + 179 Seiten, 71 Bilder. 1992. Kartonierte.

Band 33

Joachim Hutfless

Laserstrahlregelung und Optikdiagnostik in der Strahlführung einer CO₂-Hochleistungslaseranlage

175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993. Kartonierte.

Band 34

Uwe Günzel

Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung

XIV + 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993. Kartonierte.

Band 35

Bertram Ehmann

**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener
Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**

XV + 167 Seiten, 114 Bilder. 1993. Kartonierte.

Band 36

Harald Kolléra

**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems
für das Laserstrahlschneiden**

129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993. Kartonierte.

Band 37

Stephanie Abels

**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen
in einem integrierten Simulationssystem**

188 Seiten, 88 Bilder. 1993. Kartonierte.

Band 38

Robert Schmidt-Hebbel

**Laserstrahlbohren durchflußbestimmender
Durchgangslöcher**

145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993. Kartonierte.

Band 39

Norbert Lutz

**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe mit
XeCl-Excimerlaserstrahlung**

187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994. Kartonierte.

Band 40

Konrad Grampp

**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung an
Steuerungssoftware von SMD-Bestücklinien**

178 Seiten, 88 Bilder. 1995. Kartonierte.

Band 41

Martin Koch

**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung
in der Investitionsgüterindustrie**

169 Seiten, 68 Bilder. 1995. Kartonierte.

Band 42

Armin Gropp

**Anlagen- und Prozeßdiagnostik beim Schneiden mit einem
gepulsten Nd:YAG-Laser**

160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995. Kartonierte.

Band 43

Werner Heckel

**Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biege winkelmessung
mit dem Lichtschnittverfahren**

149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995. Kartonierte.

Band 44

Armin Rothhaupt

**Modulares Planungssystem zur Optimierung
der Elektronikfertigung**

180 Seiten, 101 Bilder. 1995. Kartonierte.

Band 45

Bernd Zöllner

Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion

195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartonierte.

Band 46

Bodo Vormann

**Beitrag zur automatisierten Handhabungsplanung
komplexer Blechbiegeteile**

126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 47

Peter Schnepf

Zielkostenorientierte Montageplanung

144 Seiten, 75 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 48

Rainer Klotzbücher

**Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung
in flexiblen Fertigungssystemen**

156 Seiten, 62 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 49

Wolfgang Greska

Wissensbasierte Analyse und Klassifizierung von Blechteilen

144 Seiten, 96 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 50

Jörg Franke

**Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien
für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3-D MID)**

196 Seiten, 86 Bilder, 4 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 51

Franz – Josef Zeller

Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter

190 Seiten, 102 Bilder, 9 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 52

Michael Solvie

Zeitbehandlung und Multimedia-Unterstützung in Feldkommunikationssystemen

200 Seiten, 87 Bilder, 35 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 53

Robert Hopperdietzel

Reengineering in der Elektro- und Elektronikindustrie

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

Band 54

Thomas Rebhan

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

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

Band 55

Henning Hanebuth

Laserstrahlhartlöten mit Zweistrahltechnik

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

Band 56

Uwe Schönherr

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

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

Band 57

Stefan Holzer

Berührungslose Formgebung mit Laserstrahlung

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

Band 58

Markus Schultz

Fertigungsqualität beim 3D-Laserstrahlschweißen von Blechformteilen

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

Band 59

Thomas Krebs

Integration elektromechanischer CA-Anwendungen über einem STEP-Produktmodell

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

Band 60

Jürgen Sturm

Prozeßintegrierte Qualitätssicherung

in der Elektronikproduktion

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

Band 61

Andreas Brand

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

182 Seiten, 100 Bilder. 1997. Kartoniert

Band 62

Michael Kauf

Regelung der Laserstrahlleistung und der Fokusparameter einer CO₂-Hochleistungslaseranlage

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

Band 63

Peter Steinwässer

Modulares Informationsmanagement in der integrierten Produkt- und Prozeßplanung

190 Seiten, 87 Bilder. 1997. Kartoniert.

Band 64

Georg Liedl

Integriertes Automatisierungskonzept für den flexiblen Materialfluß in der Elektronikproduktion

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

Band 65

Andreas Otto

Transiente Prozesse beim Laserstrahlschweißen

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

Band 66

Wolfgang Blöchl

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

168 Seiten, 96 Bilder. 1997. Kartoniert.

Band 67

Klaus-Uwe Wolf

Verbesserte Prozeßführung und Prozeßplanung zur Leistungs- und Qualitätssteigerung beim Spulenwickeln.

186 Seiten, 125 Bilder. 1997. Kartoniert.

Band 68

Frank Backes

Technologieorientierte Bahnplanung für die 3D-Laserstrahlbearbeitung

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

Band 69

Jürgen Kraus

Laserstrahlumformen von Profilen

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

Band 70

Norbert Neubauer

Adaptive Strahlführungen für CO₂-Lasieranlagen

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

Band 71

Michael Steber

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

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

Band 72

Pfeilstorf, Markus

Funktionale 3D-Oberflächenkenngrößen in der Umformtechnik

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

Band 73

Volker Franke

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

143 Seiten, 81 Bilder. 1998. Kartoniert.

Band 74

Herbert Scheller

**Automatisierte Demontagesysteme und recyclinggerechte
Produktgestaltung elektronischer Baugruppen**

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

Band 75

Arthur Meßner

Kaltmassivumformung metallischer Kleinstteile

– Werkstoffverhalten, Wirkflächenreibung, Prozeßauslegung –

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

Band 76

Mathias Glasmacher

Prozeß- und Systemtechnik zum Laserstrahl-Mikroschweißen

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

Band 77

Michael Schwind

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

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

Band 78

Manfred Gerhard

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

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

Band 79

Elke Rauh

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

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