Kostensimulation – Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsregelung komplexer Produktionssysteme

Der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg

zur Erlangung des Grades

D O K T O R - I N G E N I E U R

vorgelegt von

Jürgen Wunderlich

Erlangen - 2002

Als Dissertation genehmigt von

der Technischen Fakultät der

Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	28. Januar 2002
Tag der Promotion:	21. Juni 2002
Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. A. Winnacker
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
	Prof. Dr. rer. pol. W. Männel

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls am Institut für Maschinenbau und Fertigungstechnik, danke ich für die konstruktive Förderung bei der Durchführung meiner Arbeit sowie den innovativen Freiraum und das mir damit entgegengebrachte Vertrauen, das er mir bei der eigenverantwortlichen Bearbeitung des vielfältigen interdisziplinären Aufgabenkomplexes gewährte.

Herrn Prof. Dr. rer. pol. Wolfgang Männel, dem Inhaber des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Rechnungswesen und Controlling, an der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, danke ich für die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sowie die interessierte und engagierte Übernahme des Korreferats.

Ein weiteres Dankeschön gebührt Herrn Alfred Kraus vom Verband der Bayerischen Metall- und Elektroindustrie (VBM) sowie allen Pilotunternehmen, mit denen ich während unseres langjährigen Kooperationsprojektes intensiv zusammengearbeitet habe und die durch fortwährende Rückkopplung aus ihrem betrieblichen Wirkungsfeld die Praxisrelevanz dieser Arbeit sicherstellten.

Weiterhin danke ich allen Kollegen für die fachlichen Diskussionen und die exzellente Zusammenarbeit. Hervorheben möchte ich vor allem Thomas Collisi, mit dem ich über fünf Jahre im gemeinsamen Büro zahlreiche Aufgaben und Projekte im besten Sinne arbeitsteilig-kooperativ bewerkstelligen konnte, sowie zudem Frank Christoph und Andreas Licha.

Aus der Reihe der Studenten möchte ich vor allem Robert Eimer, Jan Freund, Alexander Hofmann, Peter Mühlhöfer und Tim Oelmann hervorheben, die mich über Jahre hinweg tatkräftig unterstützt haben. Darüber hinaus gebührt dem mehrjährigen Einsatz von Miriam Shahd, vor allem bei der Erstellung von Präsentationsunterlagen, ein weiteres Dankeschön.

Mein letzter, aber mindestens genauso herzlicher Dank gilt meiner Familie - in erster Linie meinen Eltern und meiner Frau Claudia, die neben zeitintensivem Korrekturlesen und trotz eigener Belastung viel Geduld, Rücksichtnahme und Verständnis aufbrachte. Sie sorgte für das harmonische Umfeld, das für das Gelingen einer derartigen Arbeit notwendig ist.

Erlangen, im Juli 2002 Jürgen Wunderlich

Kostensimulation – Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsregelung komplexer Produktionssysteme

- Inhaltsverzeichnis -

1. Einführung, Motivation und Gang der Arbeit 1

2. Rahmenbedingungen und Zielsetzung der Arbeit 3

2.1 Anforderungen an die Auslegung eines Produktionssystems 3
2.2 Einsatzpotentiale der Simulation 5
2.3 Zusatznutzen durch die Einbeziehung von Kostendaten 9
2.4 Aufgabenstellung und Zielsetzung der Arbeit 11

3. Kostenwirksame Stellglieder bei der Gestaltung von Produktionssystemen 13

3.1 Arbeitskräfte als Bestimmungsfaktor für die personal-induzierten Kosten 13
3.2 Anlagen und Betriebsmittel als Ausgangspunkt der Maschinenkosten 22
3.3 Prozesse und Aktivitätsfolgen als Determinante ablauf-abhängiger Kosten 25
3.4 Bedeutung der Herstellkosten als Ergebnisgröße der Produktionsdurchführung 28

4. Ansätze und Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Produktionssystemen 29

4.1 Bedeutende statische Szenariorechnungen 29
4.1.1 Kostenkennlinien zur Anlagen- und Verfahrensauswahl 29
4.1.2 Kenngrößensimulation zur Abschätzung der Wirkung bestimmter Einflußfaktoren 31
4.2 Ausgewählte kostenintegrierende Modellierungs- und Analyse-werkzeuge 38
4.2.1 Kostenorientierte Erweiterungen des Betriebskennlinienmodells 38
4.2.2 Das Prozeßmodellierungswerkzeug ARIS von der IDS Prof. Scheer AG 41
4.2.3 Der Prozeßmanager von Horváth und Partner 44
4.3 Bisherige Ansätze zur Erweiterung der Systemsimulation um Kostengrößen 45
4.3.1 Integrierte Kostensimulationsmodule 46
4.3.2 Nachgeschaltete Kostensimulationsmodule 49
4.4 Einordnung der traditionellen Bewertungsansätze 55

5. Konzeption eines rechnergestützten Instrumentariums zur wirtschaftlichen Produktionsgestaltung ... 57

5.1 Anforderungen an das Instrumentarium ... 57
5.1.1 Deckung des Informationsbedarfs zur Wirtschaftlichkeitsbewertung ... 57
5.1.2 Nutzung der Potentiale der Simulation ... 58
5.1.3 Flexible Auslegung der betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente ... 59
5.2 Ableitung einer anforderungsgerechten Informationsarchitektur ... 60
5.2.1 Herleitung einer sinnvollen Aufgabenverteilung ... 60
5.2.2 Definition der Schnittstelle zwischen Ablaufsimulation und Bewertungskomponente ... 61
5.2.3 Zusammenfassende Darstellung des hybriden Architekturkonzeptes ... 62
5.3 Detailentwurf der betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente ... 63
5.3.1 Simulationsbasierte Ableitung von Kostenzuordnungsobjekten ... 63
5.3.2 Berücksichtigung externer betriebswirtschaftlicher Größen ... 65
5.3.3 Entwicklung einer entscheidungsorientierten Grundrechnung ... 66
5.3.4 Bewertungsansätze für die Inanspruchnahme von Ressourcen ... 68
5.3.5 Grundstruktur einer prozeßorientierten Bewertungssystematik ... 70
5.4 Abbildung der Bewertungsbasis in einer relationalen Datenstruktur ... 71
5.4.1 Datenstruktur des Simulationsmodells ... 72
5.4.2 Betriebswirtschaftliche Ergänzung des Datenmodells ... 76
5.5 Auswertesystematik des Datenbestandes im Informationsmodell ... 80
5.5.1 Entwicklung einer zielgerichteten Verdichtungshierarchie ... 80
5.5.2 Dimensionen der kostenorientierten Auswertung ... 82
5.6 Unterstützung der Experimentplanung und Szenarienverwaltung ... 84

6. Entwicklung des Kostenrechnungswerkzeuges „KostSim“ zur Durchführung simulationsbasierter Wirtschaftlichkeitsanalysen ... 86

6.1 Entwicklung KostSim-spezifischer Modellbausteine auf Grundlage der SIMPLE++-Basiskomponenten ... 87
6.1.1 Wesentliche Eigenschaften des Simulationssystems SIMPLE++ ... 87
6.1.2 Materialflußorientierte Referenzbausteine ... 89
6.1.3 Informationsflußorientierte Referenzbausteine ... 92
6.2 Implementierung der KostSim-Module im Datenbanksystem MS Access ... 94
6.2.1 Das relationale Datenbanksystem MS Access ... 94
6.2.2 Die Abbildung der Datenstruktur ... 95
6.2.3 Gestaltung der Anwendungsstruktur ... 96
6.3 Realisierung der Datenmanagementkomponente von KostSim zur Verwaltung der Informationsobjekte ... 98
6.3.1 Funktionen für den komfortablen Datenimport aus SIMPLE++ ... 98
6.3.2 Anwendereditoren zur Verwaltung elementarer Datenstrukturen ... 100
6.3.3 Integration von (externen) Material- und Kostenstellendaten ... 102
6.4 Konfiguration eines Kostenrechnungsmodells als Basis für fertigungswirtschaftliche Bewertungen ... 103
6.4.1 Simulationsbasierte Kalkulation von Kostensätzen für Ressourcen und Aktivitäten ... 103
6.4.2 Verursachungsnahe Schlüsselung der Gemeinkosten ... 105
6.4.3 Analyse der Entstehung und Zusammensetzung der Herstellkosten ... 106
6.4.4 Nachbildung und Vergleich unterschiedlicher Kostenrechnungssysteme ... 108

6.5 Zielgerichtete Identifikation von Schwachstellen und Verbesserungspotentialen ... 110
6.5.1 Untersuchungen zur Auswahl des nächsten Analyseobjekts ... 110
6.5.2 Gezielte Betrachtung kritischer Ressourcen und Produktionsengpässe ... 112
6.5.3 Quantifizierung der Leistung einzelner Kostenstellen ... 114
6.5.4 Unterstützung der Auswertungen durch den Auswertungs-Wizard ... 115
6.6 Untersuchung der Wirtschaftlichkeit geplanter Investitionen ... 116
6.6.1 Anlegen einer Investitionsalternative als Simulationsexperiment ... 116
6.6.2 Bewertung der Investitionsalternative auf Basis von Simulationsdaten ... 117
6.6.3 Berücksichtigung von Produktlebenszyklen und der Unsicherheit ... 119
6.6.4 Ableitung einer Wahrscheinlichkeitsaussage über den Investitionserfolg ... 120
6.7 Zusammenfassende Darstellung des Ablaufs einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ... 121

7. Anwendung des realisierten Werkzeuges im industriellen Umfeld am Beispiel einer Kegelradsatzfertigung ... 123

7.1 Problemorientierte Darstellung der Planungsaufgabe ... 123
7.2 Aufbau und Beschreibung des System- und Kostenmodells ... 124
7.2.1 Datengrundlage und Modellaufbau ... 125
7.2.2 Relevante Kosten- und Einflußfaktoren ... 131
7.3 Systematische Durchführung der Simulationsexperimente ... 132
7.3.1 Variation des Arbeitszeitmodells ... 133
7.3.2 Variation der Losgrößen an Engpaßstationen ... 134
7.3.3 Erweiterung des Maschinenparks ... 135
7.4 Analyse der Wirtschaftlichkeit möglicher Lösungsstrategien ... 136
7.4.1 Darstellung der Stückkostenkalkulation und ihrer Bestandteile ... 136
7.4.2 Wirtschaftliche Evaluierung der Gestaltungsvarianten ... 138
7.5 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse ... 148

8. Methodische Integration des KostSim-Instrumentariums in einen Regelkreis zur Sicherung der Wirtschaftlichkeit ... 149

8.1 Modell eines hierarchischen Regelungssystems für die Produktion ... 149
8.2 Zielgerichtete Entwicklung des Produktionssystems durch systematisches Kennzahlenmanagement ... 151
8.2.1 Vorgabe von simulationsbasierten Kennzahlen als Führungsgröße ... 151
8.2.2 Erfolgskontrolle der Planumsetzung ... 154
8.3 Marktorientierte Verbesserung des Produktionssystems durch Einbezug externer Führungsgrößen ... 157
8.4 Nutzeffekte des Regelungssystems ... 159

9. Zusammenfassung und Ausblick ... 161

Literatur ... 164

1. Einführung, Motivation und Gang der Arbeit

Wenn nach den grundlegenden Erfolgsfaktoren für die wirtschaftliche Gestaltung eines Produktionssystems gefragt wird, nennen zahlreiche Studien führender Unternehmensberatungen an erster Stelle den Dreiklang „Kosten“, „Zeit“ und „Qualität“ [STA94, LIT92, WAL93, WAL98, MCK99, PET90]. Damit soll die prinzipielle Forderung nach minimierten Kosten und Zeitanteilen bei gleichzeitig höchstmöglicher Qualität ausgedrückt werden. Da es gerade in reifen Märkten - wie sie für viele Branchen typisch sind [NAG99] - heute nur noch temporär möglich ist, sich über Produkte, deren Funktionalitäten und Design sowie über eine besondere Stärke in den Vertriebswegen oder beim Marktzugang von der Konkurrenz zu differenzieren, kommt der organisatorischen Leistungsfähigkeit mit zunehmender Marktreife steigende Bedeutung zu.

Aus diesem Grund sind in den letzten Jahren entlang des Erfolgsdreiecks mehrere Managementkonzepte entwickelt beziehungsweise neu propagiert worden. Ihnen ist gemeinsam, daß sie neben einer schnellen Anpassung an neue Wettbewerbssituationen („Reaktionsfähigkeit“) [REIN99a, RUH99, WES00] vor allem die optimale Gestaltung von Kostenstrukturen („Agilität“) [KID94, FLI97] und die Reduzierung von Verschwendung („Schlankheit“) [COR93, SHI92, WOM94] versprechen. Damit weisen sie den Kosten im Rahmen der betrieblichen Leistungserstellung einen besonderen Stellenwert zu, der aus dem direkten Bezug zur Gewinn-und-Verlust-Rechnung resultiert und sich in der industriellen Praxis gerade in konjunkturellen Schwächephasen durch die Initiierung zahlreicher Kostensenkungsprogramme zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit äußert [CZ01a].

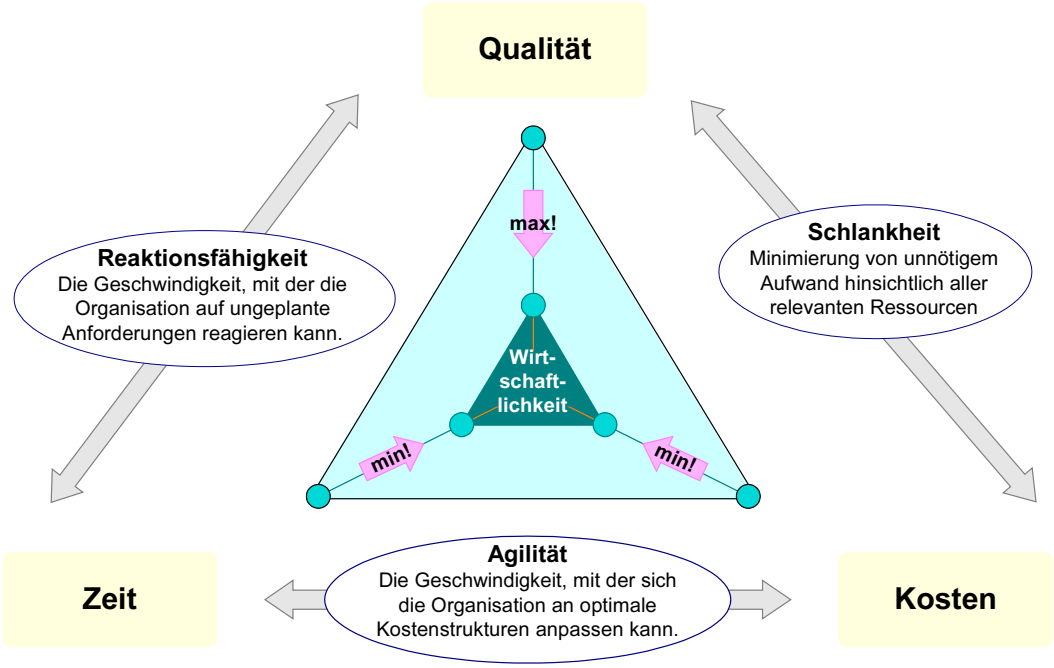


Bild 1: Kosten, Zeit und Qualität als bestimmende Faktoren für den wirtschaftlichen Erfolg eines Produktionssystems

Um die Reaktionsfähigkeit des Produktionsmanagements durch die Möglichkeit zu erhöhen, Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit zielgerichtet ableiten, vorab untersuchen und ihre Wirksamkeit in der Praxis dauerhaft absichern zu können, wird in dieser Arbeit ein rechnergestütztes Instrumentarium zur simulationsbasierten Wirtschaftlichkeitsregelung von Produktionssystemen entwickelt. Die dazu notwendigen Schritte spiegeln sich in der Struktur der Kapitel wider.

So stellt **Kapitel zwei** zunächst die Anforderungen zur Auslegung eines Produktionssystems, die Einsatzpotentiale der Systemsimulation sowie den Zusatznutzen durch die Einbeziehung von Kostendaten in die Simulation dar und leitet daraus die Zielsetzung des Instrumentariums ab. Damit dieses an den richtigen Stellen ansetzen kann, erörtert **Kapitel drei** die relevanten Eigenschaften und Bestandteile eines Produktionssystems. Anschließend folgt in **Kapitel vier** eine Analyse bisheriger Ansätze und Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Produktionssystemen. Dabei werden - um die Potentiale der Simulation zu verdeutlichen - auch solche Verfahren betrachtet, die zwar eine begriffliche Nähe zur Simulation vermuten lassen, aber beispielsweise wie die Kennzahlensimulation lediglich eine fortgesetzte statische Proberechnung darstellen. Schließlich bekräftigt eine zusammenfassende Einordnung der traditionellen Bewertungsansätze am Ende des Kapitels den Bedarf nach einem leistungsstarken Instrumentarium.

Danach erläutert **Kapitel fünf** die Konzeption des simulationsbasierten Werkzeuges und beschreibt detailliert dessen wissenschaftliche Fundierung, bevor es **Kapitel sechs** mit seiner Entwicklungsumgebung inhaltlich vorgestellt. Weiterhin ist eine zusammenfassende Darstellung des Ablaufs eines simulationsbasierten Optimierungsprozesses zur wirtschaftlichen Gestaltung eines Produktionssystems Gegenstand dieses Abschnitts. Abschließend präsentiert **Kapitel sieben** die Anwendung des realisierten Werkzeugs anhand eines konkreten Praxisbeispiels, bevor **Kapitel acht** die methodische Integration des entwickelten Instrumentariums in einen Regelkreis zur dauerhaften Sicherung der Wirtschaftlichkeit zeigt. Nachdem damit das in Kapitel zwei definierte Ziel erreicht ist, beendet **Kapitel neun** diese Arbeit mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

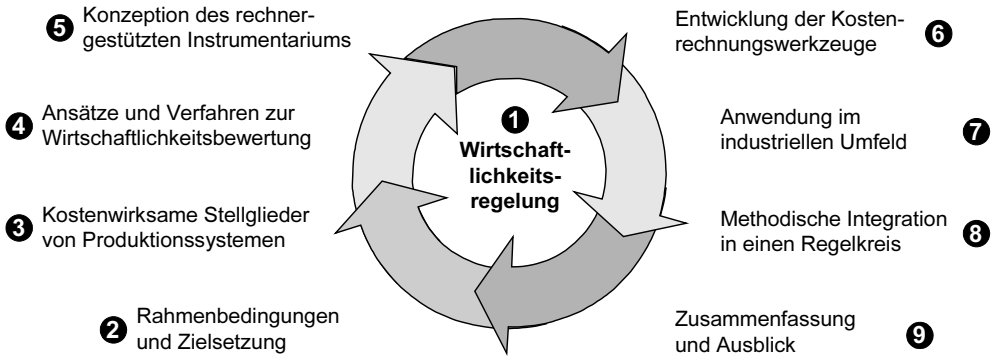


Bild 2: Kapitelorientierte Darstellung des Gangs der Arbeit

2. Rahmenbedingungen und Zielsetzung der Arbeit

Damit Produktionssysteme durch den Einsatz der Systemsimulation zielgerichtet gestaltet werden können, sind zunächst ihre Aufgaben zu klären. Auf dieser Basis ist es dann möglich, die Einsatzpotentiale rechnergestützter Simulationswerkzeuge zu untersuchen und den Zusatznutzen der Einbeziehung von Kostendaten abzuschätzen, woraus sich wiederum die Zielsetzung dieser Arbeit ableiten läßt.

2.1 Anforderungen an die Auslegung eines Produktionssystems

Im Rahmen der wirtschaftlichen Auslegung eines Produktionssystems sind Prozesse und Ressourcen sinnvoll zu kombinieren. Die optimale Leistungserstellung eines Unternehmens zeichnet sich aus durch eine bestmögliche Abstimmung der im Unternehmen vorhandenen Ressourcen auf die zu produzierenden Güter [HOI93]. Dabei spielen - schon bei einer rein statischen Betrachtung - zwei Komplexitätsfaktoren eine entscheidende Rolle: Zum einen ist entsprechend der Unternehmensziele das Polylemma der Produktionsplanung zu lösen, das heißt die optimale Abstimmung der allgemeinen Ziele niedriger Bestand, minimale Durchlaufzeit, maximale Auslastung der Ressourcen und hohe Lieferzuverlässigkeit [BID76]. Zum anderen wird die Planung durch die Komplexität, das heißt die Vielzahl und den Vernetzungsgrad der Produktionsobjekte erheblich beeinflußt [WIE97].

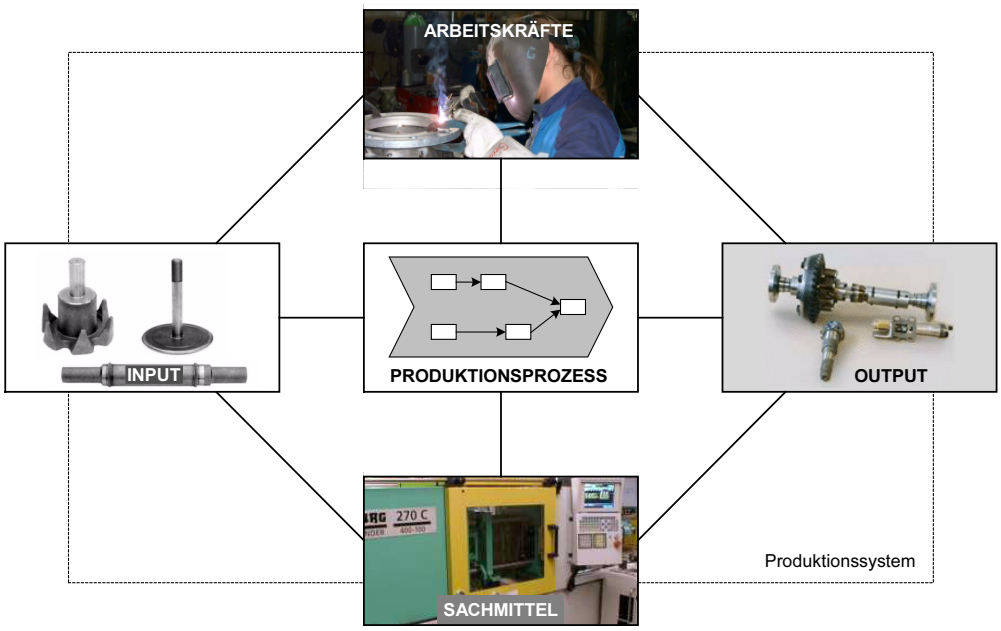


Bild 3: Abstrakte Darstellung der Struktur und Elemente eines Produktionssystems

Der Abstimmungsprozeß zwischen Ressourcennutzung und Produktentstehung unterliegt in modernen Produktionssystemen nicht nur einer Vielzahl von Einflußfaktoren, sondern wird auch mit ständig wechselnden Marktsituationen konfrontiert. Derzeit sind die bedeutendsten Trends der Marktentwicklung die Globalisierung der Beschaffungs- und Absatzmärkte, der Wechsel von einem Anbieter- zu einem Käufermarkt und die steigende Komplexität von Produkten und Dienstleistungen [BAU97].

Die skizzierten Marktentwicklungen, treffend beschrieben mit dem Begriff „turbulentes Umfeld“ [CHA97], spiegeln sich in einer Zeitschere zwischen der notwendigen und der benötigten Reaktionsdauer bei unternehmerischen Entscheidungen wider [BLE99]. Während früher stabilere Umfeldbedingungen längere Reaktionszeiten erlaubten, sind heute schnellere Entscheidungen bei höherer Komplexität zu treffen.

Die Turbulenz des Wettbewerbsumfelds wird vor allem an der ständigen Verkürzung der Lebensdauer der Produkte am Markt offensichtlich. Der Lebenszyklus einzelner Produkte endet, kurz nachdem die Nachfolgegeneration gleichen Typs auf dem Markt eingeführt wird. Speziell in den Bereichen der Elektronikproduktion, wie beispielsweise der Telekommunikation, haben die Lebenszyklen bereits ein sehr niedriges Niveau erreicht. Mittlerweile sind Zyklen von unter drei Jahren keine Seltenheit mehr. Eine kürzlich durchgeführte Umfrage zeigt deutlich, daß diese bei etwa 50% aller Konsumgüter kürzer als sechs Jahre sind [LAY00].

Die wirtschaftliche und technische Entwicklung stellt daher kontinuierlich neue Anforderungen an Produktionsbetriebe. Ein durch laufende Produkt- und Prozeßinnovationen erarbeiteter Vorsprung eines Unternehmens besteht nicht von selbst dauerhaft weiter, so groß er gegenüber der Konkurrenz auch sein mag. Für Produktionsbetriebe ergibt sich hieraus die Konsequenz, kontinuierlich in neue, vom Markt akzeptierte Produkte sowie insbesondere in die Verbesserung der Produktionsprozesse investieren zu müssen [ZÄP00]. Es gilt, Prozesse fortwährend schneller und schlanker zu machen sowie Ressourcenvergeudung und Zeitfallen rasch zu lokalisieren und zu überwinden [KLE00].

Allerdings ist das Finden einer geeigneten Möglichkeit zur Verbesserung eines Produktionsprozesses nicht unproblematisch. Es existieren sicher viele zielgerichtete kleine Maßnahmen, deren Nutzen leicht einsehbar ist, die geringe Kosten verursachen und die daher sofort umgesetzt werden können. Zur Erfüllung der oben aufgeführten Anforderungen sind darüber hinaus in der Regel umfangreiche Modifikationen der Produktion erforderlich. Sie zeichnen sich zum einen durch nicht unerhebliche Investitionskosten und zum anderen dadurch aus, daß typischerweise mehrere Alternativen existieren. Bevor eine dieser Alternativen tatsächlich in die reale Produktion umgesetzt wird, ist ihre eingehende technisch-wirtschaftliche Bewertung erforderlich. Erschwert wird diese Untersuchung dadurch, daß die Auswirkungen von solch umfangreichen Änderungen, einschließlich ihrer Alternativen, nicht am laufenden Produktionsprozeß getestet und analysiert werden sollen, da die hierbei auftretenden Störungen des Produktionsbetriebs zu groß wären [FIN00].

Aus der zunehmenden Komplexität der Produktionsstrukturen resultiert die Notwendigkeit, einzelne Teilbereiche nicht isoliert zu betrachten, sondern im Gesamtgefüge eines Unternehmens als wichtige Bestandteile eines komplexen Systems zu verstehen. Angestrebte Umstrukturierungen setzen demzufolge eine systematische Sichtweise der internen und externen Zusammenhänge voraus, bei der die gegenseitigen Einflüsse und Abhängigkeiten sorgfältig betrachtet werden müssen.

2.2 Einsatzpotentiale der Simulation

Um herauszufinden, wie ein Produktionssystem zielgerichtet gestaltet werden kann, ist - wegen der Unvorteilhaftigkeit direkter Praxistests - eine leistungsfähige Experimentierumgebung nötig. Da deren Realisierung wiederum ein Werkzeug zur hinreichend genauen Abbildung der Elemente, Strukturen und Abläufe eines Produktionssystems erfordert, die nur die Simulation bietet, liegt dort der Schlüssel zur wirtschaftlichen Systemgestaltung [REIN99b].

Unter „Simulation“ wird nach Blatt 1 der Richtlinie 3633 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) „die Nachbildung eines dynamischen Prozesses in einem Modell“ verstanden, „um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“ [VDI93]. Anders - und vereinfacht - formuliert bedeutet Simulation den Aufbau eines Modells, mit dem durch Experimente wertvolle Schlüsse für die Realität gezogen werden können.

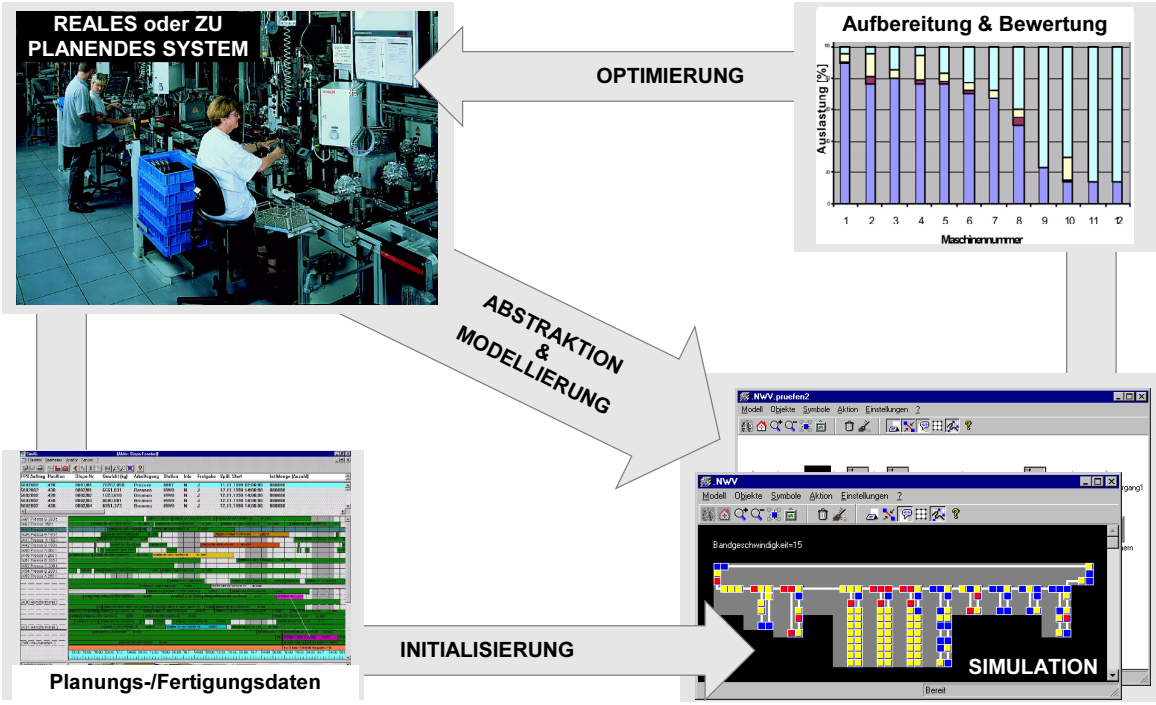


Bild 4: Vorgehensweise bei der Simulation von Produktionssystemen

Mit Hilfe der Simulation ist es folglich möglich, vertiefte Erkenntnisse über das Verhalten des untersuchten Produktionssystems zu gewinnen. Da Planungsfehler bereits vor der Realisierung feststellbar sind, verbessert sich die Planungssicherheit erheblich. Insgesamt resultiert daraus eine beträchtliche Entlastung der Planungsingenieure bei gleichzeitig gesteigerter Planungsqualität [REIN01]. So kann bei einer vorgegebenen Fehlertoleranz der Planungshorizont deutlich erweitert oder bei gegebenem Planungszeitraum die Prognosegüte signifikant erhöht werden [GÜN93]. Aus diesem Grund stellt die Simulation einen bedeutenden Fortschritt gegenüber den wenig anschaulichen und sehr abstrakten analytischen Verfahren des Operations Research sowie der traditionellen Verfahrensweise dar, die auf Erfahrungen, Näherungswerten und statischen Berechnungen basiert.

Die Potentiale der Simulationstechnik haben viele große Unternehmen bereits erkannt. Eine empirische Studie [REIN97] hat ergeben, daß bisherige Simulationsanwender überwiegend sehr positive Erfahrungen mit diesem Planungswerkzeug gesammelt haben. Dies wird unter anderem durch die Tatsache deutlich, daß über 97% der Unternehmen, die bereits Simulation angewendet haben, auch weiterhin Anwender bleiben. Somit ist die Zufriedenheit über den Nutzen der Technik extrem hoch. Die Erkenntnisse, daß bei den befragten Firmen die Realisierungsdauer von Simulationsprojekten zu 69% unter zwei Monaten lag und die Anwender zu 80% den Nutzen im Verhältnis zum Aufwand mit „sehr groß“ oder „groß“ bewerten, sind weitere Belege für die Leistungsfähigkeit moderner Simulationswerkzeuge.

Bei der Abbildung von Produktionssystemen stellt die Ablaufsimulation die dominierende Simulationstechnik dar. Sie wird vorwiegend in Unternehmen mit mehr als 2.000 Mitarbeitern eingesetzt und in Firmen angewandt, die den Branchen Automobilbau und -zulieferer oder Maschinen- und Anlagenbau zurechenbar sind. Außerdem haben 78% der Hauptanwender der Ablaufsimulation geantwortet, daß das Hauptprodukt ihres Unternehmens aus mehreren Erzeugnissen mit komplexer Struktur besteht. Der gleiche Personenkreis benennt weiterhin zu 49% die Serienfertigung als vorherrschend in bezug auf das Hauptprodukt. Damit wird deutlich, daß die Ablaufsimulation zur erfolgreichen Bearbeitung sehr vielschichtiger Fragestellungen dient und offensichtlich ein leistungsfähiges Werkzeug zur Komplexitätsbeherrschung darstellt [FEL97].

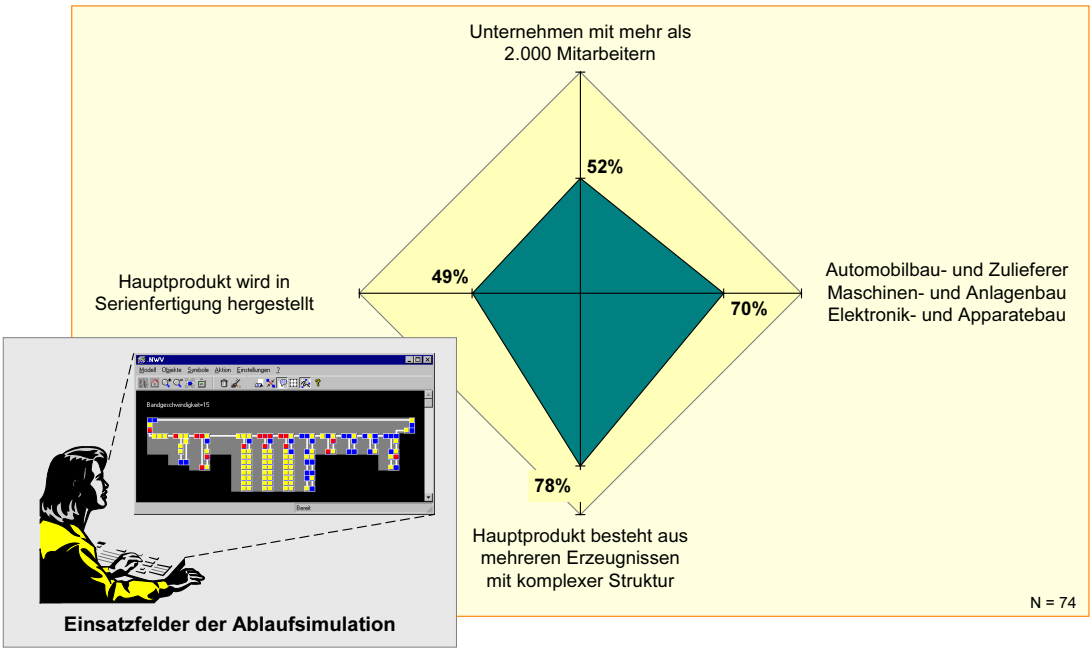


Bild 5: Systemsimulation als geeignetes Werkzeug zur Komplexitätsbeherrschung

In der industriellen Praxis ist das angestammte Einsatzgebiet der Ablaufsimulation hauptsächlich die Planung anspruchsvoller Materialflußsysteme, wozu Fertigungs-, Montage-, Lager- und Transportsysteme gehören. Hierbei wird zumeist die Durchlaufzeit, der Durchsatz, die Systemstruktur, die Ressourcendimensionierung und die Anlagensteuerung überprüft und optimiert [FEL97].

In Abhängigkeit des zeitlichen Horizonts und der verfügbaren Informationen sind jedoch auch unterschiedliche Detaillierungsgrade möglich. So kann der Planer beispielsweise in einer ersten Planungsstufe durch Simulation verschiedene Produktions- und Distributionsstrategien testen [BAU00]. Im Rahmen weiterer Untersuchungen ist neben den Machbarkeitsstudien und dem Test grundlegender Steuerungsstrategien [HAU93] auch die Analyse alternativer Layoutvarianten [HEI92] denkbar. In einer weiteren Verfeinerung erlaubt die Simulation das Experimentieren mit detaillierten Betriebsstrategien [PAW93] und die Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes [GÜN00], bevor sie schließlich die Betrachtung von Inbetriebnahmestrategien [MÄR98] gestattet.

Neben der Systemsimulation existieren noch andere Techniken, die auf einer niedrigeren bzw. detaillierteren Ebene des Produktionssystems angesiedelt sind. Damit können Ergebnisdaten dieser Werkzeuge wichtige Planungsinformationen für die Systemsimulation darstellen. Ein Beispiel dafür ist die Vorab-Ermittlung von Taktzeiten mit Hilfe der Kinematiksimulation [GAR94], die dann als Parameter in das Modell der Systemsimulation eingehen. Um diesen Datenaustausch in Zukunft automatisiert zu ermöglichen, werden von den Herstellern der Simulationswerkzeuge und von Forschungsinstituten derzeit vielfältige Aktivitäten entwickelt [HEI00]. Parallel dazu bilden Ansätze, das Planungsmodell auch in der Realisierungs- und Betriebsphase zu verwenden, einen weiteren wichtigen Entwicklungstrend. Zahlreiche Veröffentlichungen [BRA98, GRI98, RAU98, SCHG00] belegen hier die Intensität der Arbeiten. Zusammengenommen laufen beide Weiterentwicklungsdimensionen darauf hinaus, über alle Einsatzphasen eine permanente Simulationsbereitschaft auch für solche Produktionssysteme anzubieten, die in mehreren Standorten unterschiedliche Simulationswerkzeuge verwenden.

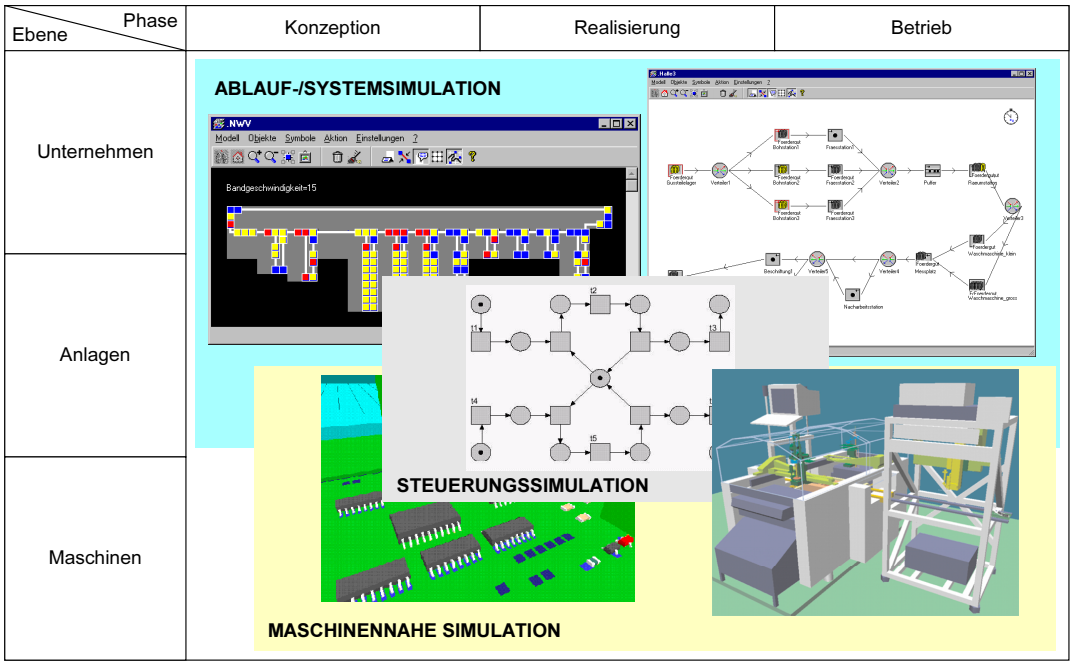


Bild 6: Einordnung verschiedener Simulationstechniken nach Planungsphasen und Detaillierungsgrad

Abgesehen von den beschriebenen wissenschaftlichen Aktivitäten zur Integration der Simulation in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe begünstigen auch vielfältige andere Entwicklungslinien die zunehmende Verbreitung der Simulation im industriellen Umfeld. Dazu gehören vor allem die Markttendenzen im Hard- und Softwarebereich sowie die wachsende Verfügbarkeit von Simulationswissen.

- *Erweiterungspotentiale durch Hardware*

Bei geringeren Kosten [CZ01b] nimmt die Leistungsfähigkeit der Hardware immer stärker zu [CZ01c]. Daraus resultieren schnellere Rechenzeiten, was sowohl die eigentliche Simulation als auch die Animation von dynamischen Vorgängen unterstützt. Für viele Anwendungsfelder, wie z. B. die materialflußtechnische Modellierung von Produktionssystemen, genügen bereits handelsübliche PCs.

- *Erweiterungspotentiale durch Werkzeuge*

Die Leistungsfähigkeit der PCs und die starke Verbreitung des in dieser Rechnerwelt führenden Betriebssystems Windows [CZ99] hat auch wesentlich das Entstehen eines Marktes für Simulationssoftware gefördert. Dieser ist mittlerweile von Konsolidierungs- und Konzentrationsprozessen geprägt [NN00c], was ein deutliches Kennzeichen für Marktreife darstellt [NEU94]. So sind inzwischen auf vielen Gebieten ausgereifte Simulationswerkzeuge verfügbar, die kommerziell vertrieben, betreut und gepflegt werden [WEN00]. Zu den Leistungsmerkmalen moderner Werkzeuge gehört eine komfortable graphische Benutzeroberfläche und ein Standard-Bausteinkasten mit vorgefertigten Modellelementen. Diese erlauben in vom Simulator vorgesehenen Anwendungsbereichen eine sehr hohe Abdeckungsquote und können deshalb elementare Modellierungsprobleme allein durch schrittweises, intuitives Platzieren und Verbinden vordefinierter Bausteine lösen. Verfügt ein Anwender über Programmiererfahrung lassen sich in einer Simulationsumgebung mit Programmierschnittstelle die Strukturen und Prozesse eines Produktionssystems detailgenau modellieren. Ist außerdem eine Datenschnittstelle vorhanden, können zusätzlich Informationen aus betrieblichen Datenbanken genutzt sowie Ergebnisdaten exportiert werden.

- *Erweiterungspotentiale durch Know-how*

Mit zunehmendem Funktionsumfang der Werkzeuge wächst auch das Anwendungsfeld, was wiederum zum Aufbau von Erfahrungswissen im Simulationsbereich führt. Zusätzlich steigt durch die Ausbildung an den Universitäten, die vermehrt auf den Einsatz von Standardwerkzeugen - statt wie früher auf Eigenentwicklungen - setzen, das Angebot an Simulationsfachkräften, das heute noch den Engpaß bildet.

Aus der Kombination der Vorteile und der Effekte, die von den beschriebenen Entwicklungen ausgehen, läßt sich ein erhebliches Wachstumspotential für die rechnergestützte Simulation ableiten. So geht MOSIM davon aus, daß fast alle Möglichkeiten zur Darstellung des Systemverhaltens, die früher einmal eine Rolle spielten, von Simulationsmodellen abgelöst werden [MOS00].

2.3 Zusatznutzen durch die Einbeziehung von Kostendaten

Die Simulation bietet die Möglichkeit, verschiedene Produktionskonzepte vor einer möglichen Realisierung zu untersuchen und deren Eigenschaften zu vergleichen. Bei der Entscheidung für eine Variante sind zahlreiche, zum Teil gegenläufige Zielgrößen zu berücksichtigen. So korreliert häufig eine hohe Anlagenauslastung mit hohen Beständen und langen Durchlaufzeiten [HAR99]. Demgegenüber erhöhen niedrige Durchlaufzeiten die Termintreue, nehmen dafür jedoch oft - z. B. durch vermehrte Rüsttätigkeiten infolge kleinerer Losgrößen - eine geringere Auslastung in Kauf [SCHW00]. Um vor diesem Hintergrund eine Entscheidung für eine Alternative treffen zu können, ist eine Bewertung erforderlich, die eine Rangordnung der Varianten ermöglicht. Da letztendlich die Maximierung der Wirtschaftlichkeit das übergeordnete Ziel eines Unternehmens darstellt, bestimmt sie das Zielsystem der Produktion und sollte demzufolge die Bewertungsbasis bei Zielkonflikten bilden. Zu diesem Zweck ist die Einbeziehung von Kostendaten als Basis für eine monetäre Bewertung der Vorteilhaftigkeit einer Gestaltungsalternative unerläßlich.

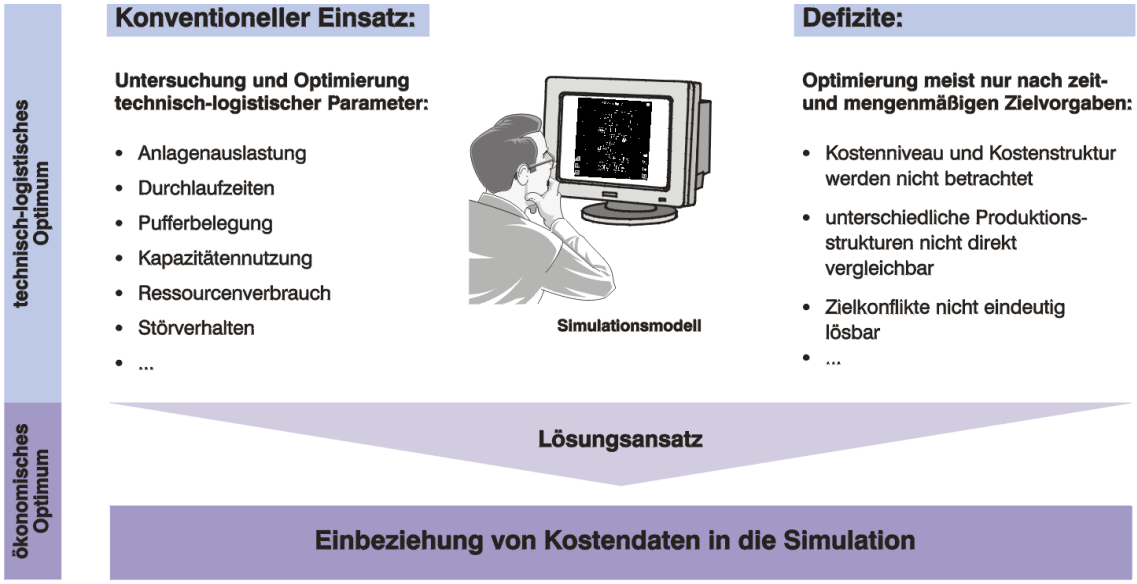


Bild 7: Motivation der Einbeziehung von Kostendaten in die Simulation

Diese ergänzende Betrachtung, die zusätzlich zu den technisch-logistischen Größen betriebswirtschaftliche Werte umfaßt, wird in Blatt 7 der VDI-Richtlinie 3633 als „Kostensimulation“ [VDI00] und im angelsächsischen Sprachraum als „cost simulation“ [DIE95] oder „simulation based costing“ [STA98] bezeichnet. Während der letztgenannte Terminus noch die Stellung der Simulation als Ausgangsbasis der Kostenbetrachtung akzentuiert, implizieren die ersten beiden Bezeichnungen, daß die Kosten selbst Simulationsgegenstand sind. Da dies wegen der fehlenden Dynamik abstrakter Größen nicht möglich ist und deshalb bei näherer Betrachtung keine Verwechslungsgefahr besteht, kann der Begriff „Kostensimulation“ als prägnante Bezeichnung für die Einbeziehung von Kosten in die Simulation beibehalten werden.

Neben der vorausschauenden Lösung von Zielkonflikten bietet die simulationsbasierte Kostenbetrachtung durch die detaillierte Abbildung aller relevanten Ereignisse in Produktionsabläufen überhaupt erst das Potential, fundierte Informationen über Kostenarten, Kostenstellen und Kostenträger gewinnen zu können [HAA94] Diese Kostendaten gehen wegen der Berücksichtigung der Dynamik des Produktionsprozesses weit über den Umfang traditioneller, lediglich von Bearbeitungszeiten abgeleiteter Informationen hinaus und bilden so wiederum eine umfassende Datengrundlage für ein wirkungsvolles Kostenmanagement im Sinne einer exakten Identifizierung von Kostenschwerpunkten sowie einer zielgerichteten Kostenbeeinflussung.

Durch eine Bewertung der in der Datenbasis enthaltenen Zeitanteile für alle aufgetretenen Aktivitätstypen können zunächst die Kosten bestimmt werden, die bei der Durchführung einzelner Prozeßschritte anfallen. Nach einer Aggregation sind dann zusätzlich die zu erwartenden Kostenarten, -strukturen und Produktkosten darstellbar. Im Anschluß daran ist es möglich, die Bedeutung verschiedener Einsatzfaktoren für ein Unternehmen zu ermitteln. Zusätzlich kann durch eine Variation der zu produzierenden Menge das Verhalten der Kosten bei Nachfrageänderungen verdeutlicht werden, was gerade in Zeiten einer hohen Marktdynamik sowie einer damit verbundenen Auslastungsschwankung sehr wichtig ist. Schließlich liegen damit die Voraussetzungen vor, um stabile Wirtschaftlichkeitsnachweise für Investitionen zu führen sowie aussagekräftige Plandaten für Kostenstellen vorzugeben.

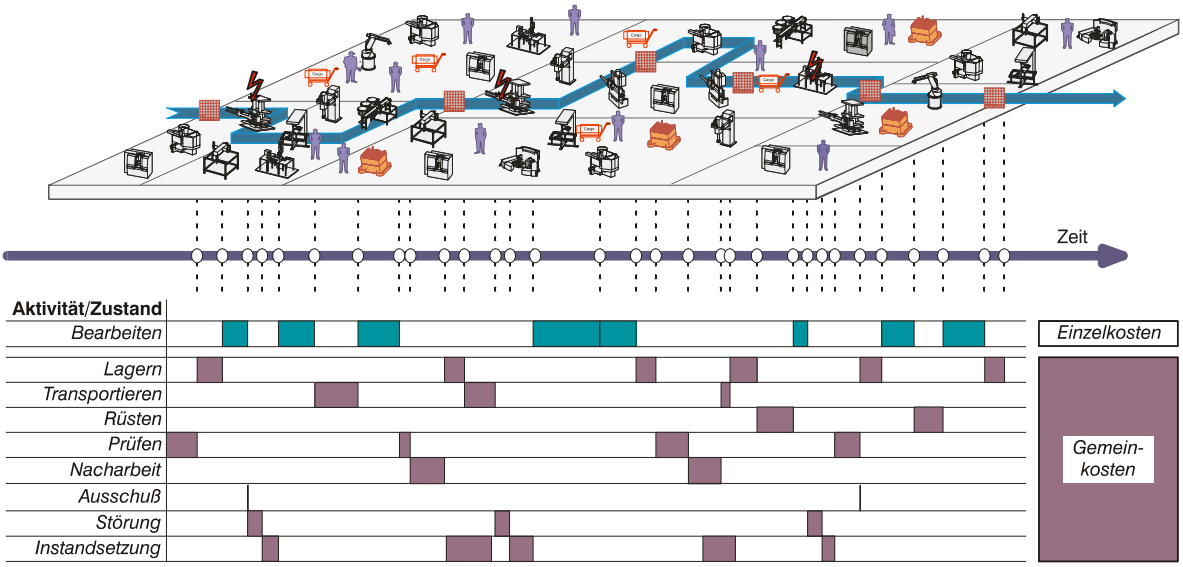


Bild 8: Informationspotential der Simulation zur Darstellung der Leistungs- und Kostenentstehung

Aus den aufgeführten Beispielen werden die großen Potentiale einer Einbeziehung von Kostendaten deutlich. Die Kosten als zusätzliche Ergebnisdimension ermöglichen es, komplexe Produktionssysteme auch aus Kostensicht optimal zu planen und im späteren Betrieb eine nachhaltig verbesserte Stabilität der entwickelten Lösung zu erzielen [FEL01].

2.4 Aufgabenstellung und Zielsetzung der Arbeit

Mit der schnelleren Reaktionsfähigkeit, die der Simulationseinsatz ermöglicht und dem Zusatznutzen, den die Einbeziehung von Kostendaten bietet, sind die Voraussetzungen für die erfolgreiche simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsregelung geschaffen. Folglich verspricht die systematische integrative Betrachtung technischer und betriebswirtschaftlicher Daten die schnelle und zielgerichtete Auslegung komplexer Produktionssysteme an die Erfordernisse eines turbulenten Wettbewerbsumfeldes.

Um im konkreten Fall eine Wirtschaftlichkeitsregelung im Sinne einer marktgerechten Produktionsausrichtung vornehmen zu können, ist zunächst eine Bewertung des aktuellen Produktionszustandes vor dem Hintergrund der Markterfordernisse nötig. Da leistungsfähige Simulationswerkzeuge zur Abbildung eines Produktionssystems zur Verfügung stehen und als Lieferant technisch-logistischer Informationen dienen, liegt die Schwierigkeit in der wirtschaftlichen Betrachtung.

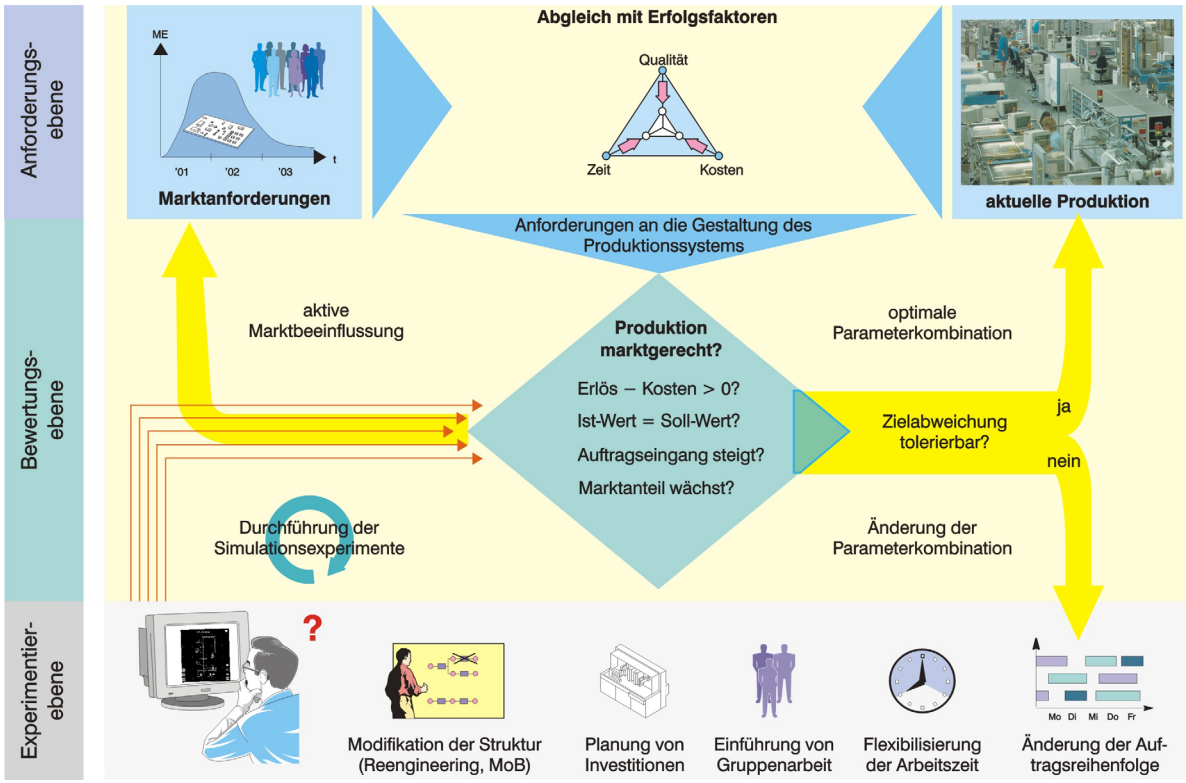


Bild 9: Ablauf der simulationsbasierten Wirtschaftlichkeitsregelung

Nach der allgemeinen Definition der Wirtschaftlichkeit als Relation zwischen Erlösen und Kosten [GAB97] sowie der Definition der Kosten als bewerteter betrieblicher Ressourcenverzehr [CHM92] wird deutlich, daß die Anwendung verschiedener denkbarer Bewertungsansätze für die Ressourceninanspruchnahme zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Aus diesem Grund ist das Instrumentarium so auszulegen, daß sowohl der hohe Detaillierungsgrad der Simulationsdaten genutzt als auch das bisher verwendete System zur Kosten(be)rechnung eines Unternehmens abgebildet werden kann.

Weiterhin soll das Werkzeug den Anwender bei der Identifikation von Schwachstellen und Verbesserungspotentialen gezielt unterstützen, wozu geeignete Verfahren zu entwickeln sind. Eine darüber hinausgehende systematische Generierung von Ansätzen zur Optimierung des Produktionssystems setzt zusätzlich die exakte Definition von Stellgrößen voraus. Deren beabsichtigte Veränderung bestimmt in der Summe eine Gestaltungsalternative, die vor einer Realisierung wiederum mit Hilfe des Instrumentariums bewertet werden sollte. Dazu ist eine Experimentverwaltung sowie - im Fall einer Systemveränderung - eine Investitionsrechnung notwendig.

Ist die „optimale“ - d. h. die beste aller geeigneten Alternativen aus dem Untersuchungsraum - gefunden, sind die relevanten Parameter des Produktionssystems nach den Vorgaben dieser Alternative einzustellen. Außerdem sollte nach der Realisierung geprüft werden, ob die versprochenen Verbesserungen tatsächlich eintreten. Hierfür gilt es, entsprechende Komponenten zu entwerfen, um rechtzeitig gegensteuern zu können. Gleiches gilt für den Fall, daß sich die Marktanforderungen ändern und damit eine einmal gefundene Lösung nicht mehr wirtschaftlich ist. Da in beiden Fällen eine erneute Optimierung erforderlich wird, sollte zusätzlich ein übergreifender Kontroll- und Reaktionsmechanismus in Form eines Regelkreises vorgesehen werden [EVE00].

Zur Realisierung eines Instrumentariums, das die genannten inhaltlichen Anforderungen für verschiedene Anwendungsfälle in der industriellen Praxis erfüllt, müssen zunächst Struktur und Parameter eines Produktionssystems allgemeingültig dargestellt werden. Weiterhin gilt es zu untersuchen, inwiefern bestimmte Teilaufgaben bereits von existierenden Werkzeugen lösbar sind. Auf Basis der dabei gewonnenen Erkenntnisse ist schließlich ein Detailkonzept zu entwickeln und anforderungsgerecht umzusetzen.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, daß das Instrumentarium zur simulationsbasierten Wirtschaftlichkeitsregelung nicht nur für ein Produktionssystem oder zu einem bestimmten Anwendungszeitpunkt gelten soll, sondern flexibel an geänderte Anforderungen und neue Softwarewerkzeuge angepaßt werden kann. Letzteres betrifft nicht nur die Versionierung beziehungsweise den Ersatz einer älteren durch eine neuere Version, sondern auch den Austausch eines Werkzeuges - z. B. eines Simulators - durch ein anderes ähnlicher Funktionalität.

Insgesamt geht es also darum, die methodischen Grundlagen zur Regelung der Wirtschaftlichkeit auf Basis von Simulationsdaten so von der softwaretechnischen Umsetzung zu trennen, daß sie auch für sich alleingenommen Nutzeffekte bewirken. Denn erst wenn es gelingt, das bewertungstheoretische Konzept unabhängig von der Softwareentwicklung zu gestalten, resultieren inhaltliche Fortschritte, die den Lebenszyklus der zugrundeliegenden Software überdauern und auch noch zu einem späteren Zeitpunkt als Bausteine für ein leistungsfähiges sowie in sich geschlossenes Controlling-Instrumentarium im Bereich der industriellen Produktion dienen können.

3. Kostenwirksame Stellglieder bei der Gestaltung von Produktionssystemen

Die zur Kostenoptimierung erforderliche gezielte Einfußnahme auf die innerhalb eines Produktionssystems verursachten Kosten setzt eine betriebswirtschaftliche Analyse der Kostenentstehung voraus. In der deutschsprachigen Literatur wird dazu häufig das aus der Mikroökonomie abgeleitete Konzept der Produktionsfunktionen vorgeschlagen [HAI97]. Diese bilden die Input-Output-Beziehungen mathematisch ab und machen sie so einer formalen Analyse zugänglich [FAN97]. Auf der Grundlage einer geschlossenen Produktions- und Kostentheorie erfolgt schließlich die Ableitung von Impulsen für die Gestaltung industrieller Produktionsprozesse [NEU95].

Demgegenüber betont der pragmatische amerikanische Ansatz weniger den funktional-analytischen Aspekt - wie er in der Produktionsfunktion zum Ausdruck kommt - als vielmehr den leistungsbezogenen Entscheidungs- und Managementaspekt [KUR94, SHA93, OLI99]. Letzterer setzt damit an den Einflußmöglichkeiten der mitwirkenden Systemelemente an und bietet wegen seiner größeren Realitätsnähe gerade bei hoher Komplexität das tragfähigere Fundament zur Gestaltung von Produktionssystemen. Daher wird die ihm zugrundeliegende Philosophie aufgegriffen, was das gezielte Herausarbeiten von geeigneten Stellhebeln zur Kostenbeeinflussung auf Basis einer fundierten Darstellung der Funktion eines Produktionssystems bedeutet. Diese liegt nach Kapitel 2.1 in der zweckentsprechenden Umwandlung von Input in Output durch die Systemelemente „Mensch“ und „Arbeitsmittel“, die folglich mit dem „Prozeß“ die zentralen Elemente eines Produktionssystems bilden.

Zur Untersuchung der von den zentralen Komponenten ausgehenden Kostenwirkungen bietet es sich nach dem leistungsbezogenen Entscheidungs- und Managementansatz an, zunächst die relevanten Stellhebel herauszuarbeiten und deren Einfluß auf die Kosten darzustellen. Darauf basierend gilt es, die Kosten zu betrachten, die durch die Interaktion einzelner Elemente im Produktionsprozeß entstehen, um so ein umfassendes fertigungswirtschaftliches Verständnis des zu gestaltenden Produktionssystems zu erhalten.

3.1 Arbeitskräfte als Bestimmungsfaktor für die personalinduzierten Kosten

Zu den Arbeitskräften gehören alle in der Produktion dauernd tätigen Personen. Sie beeinflussen mit ihren Bedürfnissen, Erwartungen und Verhaltensweisen die Gestaltung eines Produktionssystems, werden aber auch über den formellen Zweck hinaus von einer gegebenen Organisationsstruktur beeinflußt. So kann beispielsweise eine ständige Unterforderung in hochgradig fragmentierten Arbeitsprozessen zu Resignation und in der Folge zu einer Minderleistung führen. Im positiven Fall stellen die Arbeitskräfte jedoch die zentralen Leistungsträger eines Unternehmens dar, da nur sie die Fähigkeit besitzen, Produktionssysteme zu gestalten.

❑ Stellhebel „Personalauswahl“

Aus der großen Bedeutung der Arbeitskräfte folgt, daß die Unternehmensentwicklung zu großen Teilen von der Auswahl der „richtigen“ Mitarbeiter abhängt. Je höher dabei die zu besetzende Position in der Unternehmenshierarchie einzuordnen ist, desto bedeutsamer ist sie für das Unternehmen und einen umso nachhaltigeren Einfluß übt die Auswahlentscheidung aus.

Eine sorgfältige Personalauswahl wird insofern nicht nur sehr zeit- und kostenintensiv sein, sondern ist auch ein grundlegender Erfolgsfaktor des Unternehmens. Zum einen werden durch eine Einstellung laufende Kosten begründet und zum anderen drohen im Falle einer Fehlbesetzung Folgekosten in beträchtlicher Höhe, sei es durch grobe Fehlentscheidungen des (fälschlicherweise) eingestellten Mitarbeiters oder aber durch gravierende Fähigkeits- oder Fertigkeitslücken, die im Rahmen der Leistungsbeurteilung offengelegt werden und dann nachträglich durch kostenintensive Personalentwicklungsmaßnahmen behoben werden müssen. Allerdings ist es meist sehr schwierig, derartige Folgekosten auf der Grundlage einer eindeutigen Ursache-Wirkungskette zwischen der Auswahlentscheidung und dem eingetretenen Schaden nachzuweisen, was aber nichts an der Relevanz dieser Kosten ändert.

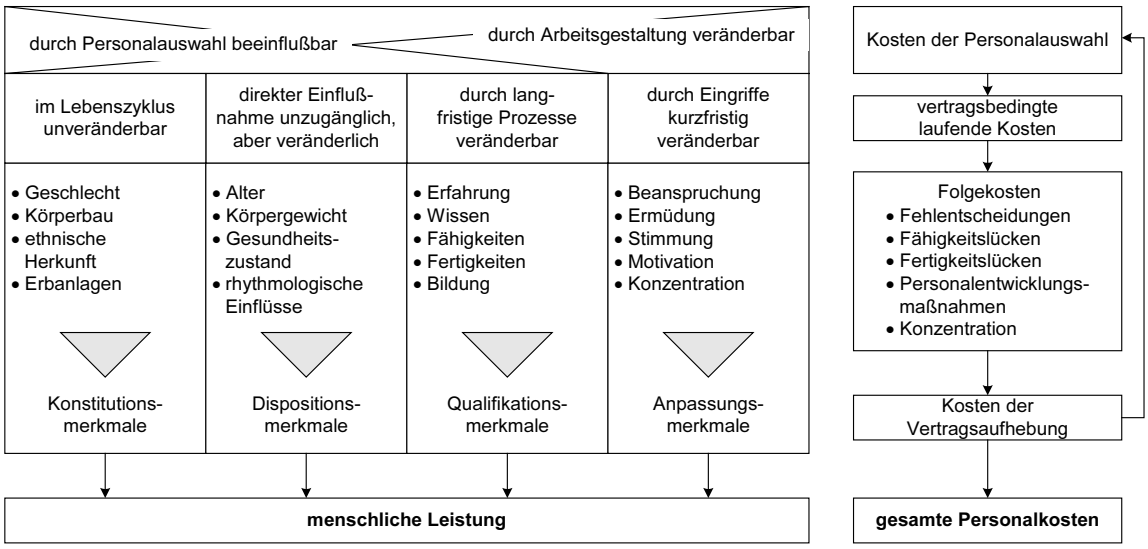


Bild 10: Kostenwirkungen der Personalauswahl [LUC93, SCHÖ92, REF91, SCHA77]

❑ Stellhebel „Arbeitsgestaltung“ im weiteren Sinn

Nach bzw. neben der Personalauswahl besteht die Aufgabe, arbeitende Menschen und Arbeit aneinander anzupassen. Diese Aufgabe wird Arbeitsgestaltung genannt und bedeutet das Schaffen eines aufgabengerechten, optimalen Zusammenwirkens von arbeitenden Menschen, Betriebsmitteln und Arbeitsgegenständen durch zweckmäßige Organisation von Arbeitssystemen unter Beachtung der menschlichen Leistungsfähigkeit und Bedürfnisse [IFA89]. Sie umfaßt sowohl Maßnahmen zur Anpassung der Arbeitsbedingungen an die Menschen als auch zur Anpassung der Menschen an die Arbeit. Dazu gehören i. w. S. die Gestaltungsparameter „Arbeitszeit“, „Arbeitsorganisation“, „Arbeitsmethodik“ und „Arbeitsumgebung“.

- *Gestaltungsparameter „Arbeitszeit“*

Unter Arbeitszeit wird die Zeit verstanden, während der ein Arbeitnehmer seine Arbeitskraft dem Arbeitgeber zur Verfügung stellen muß. Arbeitsrechtlich ist dies die Zeit vom Beginn bis zum Ende der Arbeit ohne Ruhepause (§2 Abs. I ArbZG) [AZG94]. Demnach bezieht sich die Bestimmung der Arbeitszeit auf die Festlegung der in einer bestimmten Periode zu leistenden Arbeitsstunden sowie auf die Regelung über Arbeitsbeginn, -unterbrechung und -ende. Wird der Arbeitstag als sinnvollste kleinste Arbeitsperiode betrachtet, so gilt es, neben dessen Beginn und Ende vor allem Anzahl, Lage und Dauer der Pausen sowie deren Integration in den Arbeitsprozeß zu regeln. Nachdem zur Pausengestaltung hinsichtlich Anzahl, Lage und Dauer detaillierte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen [BOK97, GRA54, QUA97, ZÜL99], geht es im Rahmen der Gestaltung von Produktionssystemen um die Problematik der Integration von Pausen in den Arbeitsprozeß.

So gibt es beispielsweise Kontrolltätigkeiten im Rahmen von Fertigungsprozessen, die nicht oder nur durch Inkaufnahme eines hohen Kostenrisikos unterbrechbar sind. Auch legen es hohe Leerlaufkosten beispielsweise bei hochautomatisierten Fertigungsanlagen nahe, den Produktionsprozeß während der Pause weiterzuführen. Häufig verursacht zudem das An- und Abstellen maschineller Einrichtungen Kosten in einer Höhe, die eine Unterbrechung des Arbeitsprozesses als nicht ratsam erscheinen lassen. In diesen Fällen sollte sichergestellt werden, daß der Fertigungsprozeß auch während der Arbeitspause fortläuft. Als Möglichkeit sei hier die wechselweise Ablösung von gesamten Maschinenbesatzungen genannt. Auch bietet sich der Einsatz sogenannter Springer an, deren Aufgabe darin besteht, die Bedienung von Betriebsmitteln für die Pausendauer zu übernehmen. Soll die Betriebszeit die Arbeitszeit eines Mitarbeiters übertreffen, sind Schichtmodelle notwendig [BRO96].

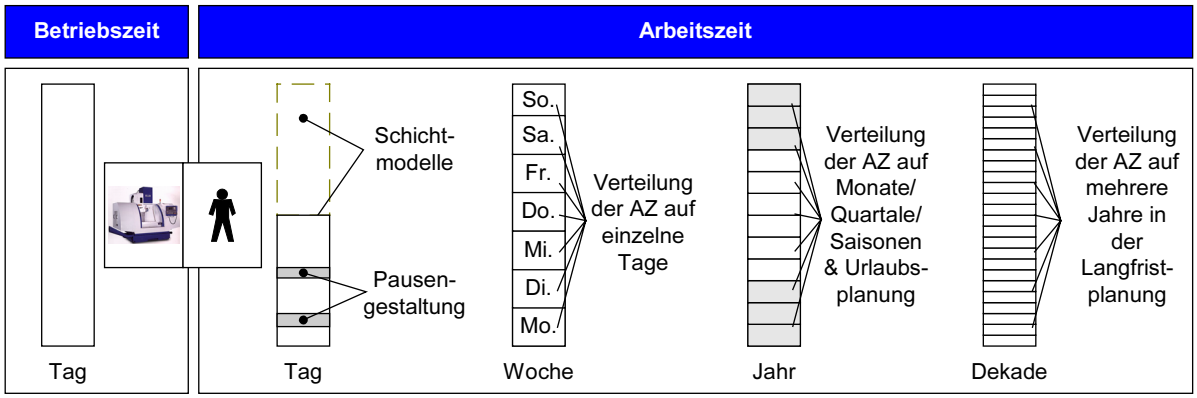


Bild 11: Beispielhafte Möglichkeiten zur Arbeitszeitgestaltung

Bei einer Erweiterung des Betrachtungshorizontes über einen Arbeitstag hinaus geht es zunächst um die Verteilung der in einer Woche zu leistenden Arbeitsstunden auf die einzelnen Arbeitstage, anschließend um die Gestaltung einer monatlichen oder saisonalen Arbeitszeit und weiterführend bis hin zur Ausarbeitung von Lebensarbeitszeitmodellen [MÜL96, SCHF00]].

Werden bei der Vereinbarung von Arbeitszeitmodellen starre Regelungen getroffen, droht die Gefahr, daß in nachfrageschwachen Zeiten für die Abarbeitung der Aufträge zuviel Personal zur Verfügung steht. In Phasen mit Bedarfsspitzen reicht dagegen die vorhandene Personaldecke nicht aus. Während im ersten Fall Mitarbeiter nicht ausgelastet sind, können im zweiten Fall Aufträge nicht termingerecht abgearbeitet werden. War es in der Vergangenheit möglich, auf Nachfrageschwankungen mit Puffern oder mit langen Lieferzeiten zu reagieren, so ist heute ein kurzfristiges und möglichst kostengünstiges Handeln unabdingbar [OLE00].

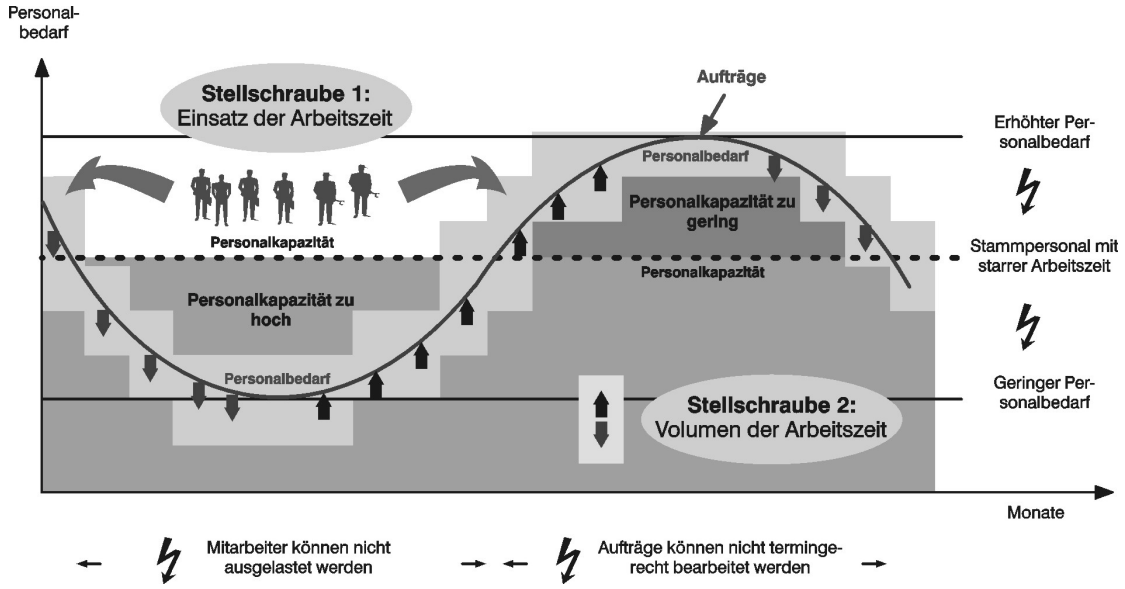


Bild 12: Stellschrauben und Potentiale einer Arbeitszeitflexibilisierung

Zur flexiblen Gestaltung der Arbeitszeit stehen einem Unternehmen mittlerweile vielfältige Möglichkeiten offen [ERL99]. Der Gestaltungsspielraum wird vom Gesetzgeber lediglich durch das Arbeitszeitgesetz begrenzt, das eine Höchstdauer für die tägliche Arbeitszeit, die Regelung von Ruhepausen und Ruhezeiten, die Regelung der zeitlichen Lage der Arbeit innerhalb der Tagesstunden sowie ein Verbot bzw. eine Beschränkung der Arbeit an Sonn- und Feiertagen bestimmt [SCHL97]. Allerdings darf nicht übersehen werden, daß der Rückgriff auf die Flexibilitätspotentiale des Arbeitszeitmodells im Falle anhaltend rückläufiger oder positiver Auftragseingänge nur ein zeitlich befristeter Lösungsansatz sein kann [KUT96].

- *Gestaltungsparameter „Arbeitsorganisation“*

Nachdem bei der Betrachtung das Gestaltungsparameters „Arbeitszeit“ abstrakt gesehen die Zuordnung von Arbeitszeitmodellen zu Arbeitskräften im Vordergrund stand, dient der Gestaltungsparameter „Arbeitsorganisation“ nun dem Zweck, Arbeitsaufgaben zu Aufgabenträgern zuzuordnen [GRA93]. In komplexen Produktionssystemen setzt diese Zuordnung zunächst die Zerlegung der Produktionsaufgabe in einzelne Teilaufgaben voraus. Dazu schlägt die betriebswirtschaftliche Literatur eine Trennung entlang der operativen Leistungserstellung nach den auszuführenden Tätigkeiten und entlang der Hierarchiestufen nach den dispositiven Einflußmöglichkeiten vor [NES89, PIP90, SAU92].

In der Anfangsphase der Industrialisierung favorisierte Taylor eine feinstmögliche Zerlegung der Arbeit [TAY19]. So sollten kleinste Einheiten gebildet werden, zu deren Bewältigung keine oder nur ganz geringe Denkvorgänge zu leisten und die aufgrund des geringen Umfangs beziehungsweise Arbeitsinhaltes schnell und repetitiv auszuführen sind. Wegen der durch Monotonie und einseitige Belastung resultierenden Nachteile wurden bald Konzepte für den Arbeitsplatzwechsel (Job Rotation) [ECK70], die Aufgabenerweiterung (Job Enlargement) [CON65] sowie die Aufgabenbereicherung (Job Enrichment) [PAU70] entwickelt.

Während nach dem Ansatz des Job Rotation die einzelnen Arbeitspakete beziehungsweise Arbeitsplätze konstant bleiben und sich durch das Rotationsprinzip nur der Personaleinsatz verändert, faßt das Job Enlargement mehrere strukturell gleichartige oder ähnliche Arbeitsinhalte verschiedener Arbeitsplätze entlang des Leistungserstellungsprozesses in einem Arbeitsplatz zusammen. Demgegenüber zielt das Job Enrichment vorrangig auf eine Erweiterung des Entscheidungs- und Kontrollspielraums durch eine Bereicherung der Arbeitstätigkeit eines einzelnen Mitarbeiters um planende und kontrollierende Aktivitäten ab.

Für den einzelnen Mitarbeiter verringert sich die Anzahl wiederholender Tätigkeiten und damit die einseitige Belastung, wodurch Monotoniereaktionen und Demotivation vermieden werden. Gleichzeitig ist mit Job Enlargement und Job Enrichment eine Vergrößerung des Verantwortungsbewußtseins sowie eine Produktivitäts- und Qualitätsverbesserung möglich, da ein Mitarbeiter nun mehr Verantwortung trägt und damit die Chance hat, selbst die Arbeitsablaufgestaltung zu beeinflussen und so zu persönlichen Leistungs- und Erfolgserlebnissen zu gelangen.

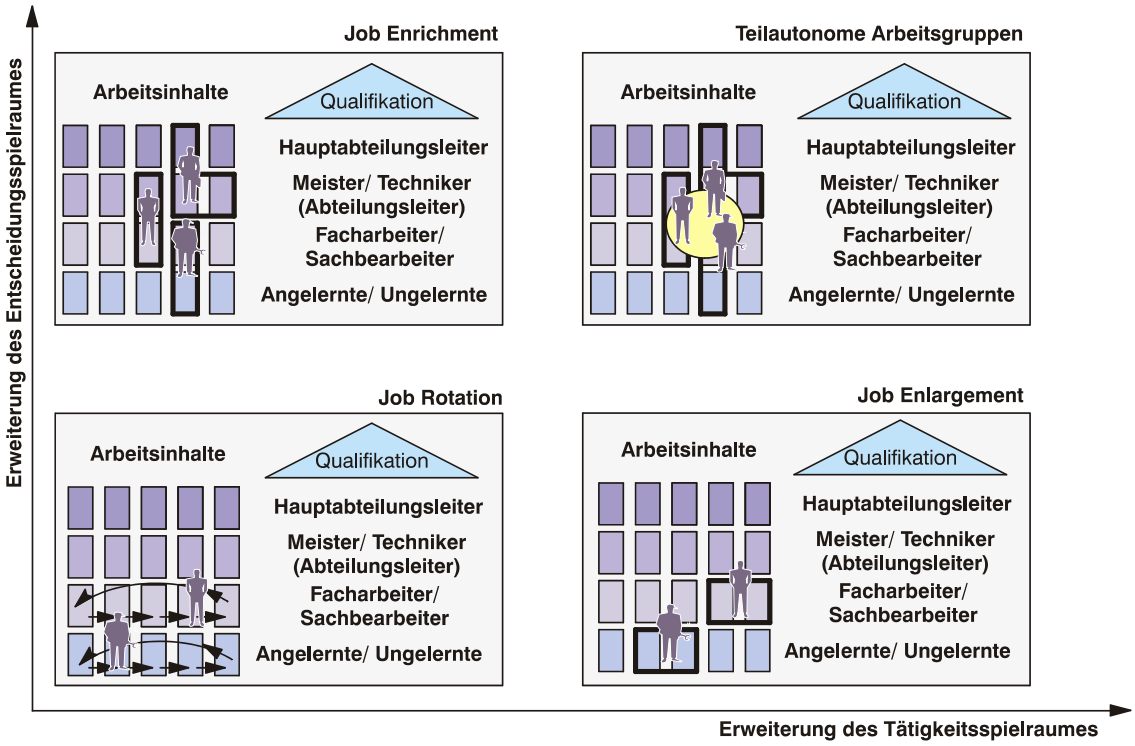


Bild 13: Einordnung der Methoden zur Arbeitsstrukturierung nach Tätigkeits- und Entscheidungsspielraum als Ausgangspunkt einer Kostenbetrachtung

Weitergehende Konzepte übertragen schließlich die Gedanken von Job Rotation, Job Enlargement und Job Enrichment auf eine Gruppensituation [ANT94]. Dabei sind die Gruppenmitglieder in der Regel für die Entstehung eines (Teil-)produktes verantwortlich [MOL97]. Ihre Arbeitsaufgaben umfassen nicht nur direkte, sondern auch indirekte Tätigkeiten wie Qualitätskontrolle, Transport- und Reinigungsarbeiten sowie routinemäßige Instandhaltungsaufgaben. Diese Aufgaben werden großenteils selbständig geplant, gesteuert und kontrolliert [AKN00, IFA00a].

Die kostenmäßigen Wirkungen des Gestaltungsparameters „Arbeitsorganisation“ resultieren zunächst aus dem gemeinsamen Merkmal aller neuen Organisationsformen, daß die Arbeitskräfte komplexere Arbeitsaufgaben ausführen. Damit erhöht sich das Anforderungsprofil der Tätigkeit, weshalb es erforderlich wird, Arbeiter mit höherem Eignungsprofil einzusetzen. Dies setzt eine intensive Schulung der Mitarbeiter voraus und führt weiterhin zu einer notwendigen Einstufung in höhere Lohngruppen. Zudem werden sich durch die höhere Komplexität der Arbeitsaufgabe die Einarbeitungszeiten bei neuen Tätigkeiten erhöhen, womit in der Regel auch eine Erhöhung der Gesamtfertigungszeit pro Stück einhergeht, da durch die höheren qualitativen Anforderungen ein geringerer Grad der Arbeitsbeherrschung anzunehmen ist [STO82]. Als weiterer Kostenfaktor sind zusätzliche Investitionen zu berücksichtigen, da der einzelne Arbeitsplatz mit einer größeren Anzahl von Maschinen, Werkzeugen, Vorrichtungen und Prüfmitteln ausgestattet werden muß.

Den erhöhten Kosten stehen außer den Einsparungen, die sich aus der Reduzierung der Arbeitsteilung ergeben, auch höhere qualitative Arbeitsleistungen gegenüber, die direkt zu geringeren Ausschuß- und Kontrollkosten sowie weiterhin zu sinkenden Unfallzahlen, einer geringeren Fluktuation, einem geringeren Krankenstand sowie einem geringeren Absentismus führen. Außerdem haben die neuen Organisationsformen eine höhere Flexibilität des Personaleinsatzes zur Folge. Auf veränderte Anforderungen des Marktes und auf Schwankungen der Personalkapazität kann damit schneller reagiert werden [LAY96, MUS93].

- *Gestaltungsparameter „Arbeitsmethodik“*

Neben der Frage der optimalen organisatorischen Aufgliederung einer Gesamtaufgabe in Teilaufgaben und deren Zuweisung zu Aufgabenträgern ist auch die Bearbeitung der Arbeitsaufgabe als solche für das Endergebnis entscheidend. Deshalb kommt der Arbeitsmethodik als wissenschaftliche Vorgehensweise zur systematischen Abwicklung einer Arbeitsaufgabe durch eine menschliche Arbeitskraft große Bedeutung zu.

Im Bereich der industriellen Produktion sind die einzelnen Teilaufgaben mit der Festlegung des Formgebungsverfahrens, der notwendigen Festigkeiten und Oberflächeneigenschaften weitgehend bestimmt. Durch Produktstruktur und -komplexität, also die Zuordnung von Funktionen zu Bauteilen und die Integration von Bauteilen zu Teilbaugruppen und Baugruppen zum Gesamtprodukt wird auch der Montagevorgang in wesentlichen Aspekten determiniert.

Festzulegen ist nun zum einen die Funktionsteilung zwischen Mensch und Technik sowie zum anderen die Anwendung bestimmter Arbeits- oder Fertigungsverfahren. Neben unterschiedlichen direkten kostenmäßigen Auswirkungen für die Qualifizierung des Personals und die Ausstattung mit Arbeitsmitteln schlagen sich derartige Festlegungen auch in verschieden hohem Zeitbedarf nieder. So kann zum Beispiel in der spanenden Fertigung durch die Wahl des Schneidstoffs (Schnellarbeitsstahl, Hartmetall, Keramik, Diamant) unter anderem die Schnittgeschwindigkeit und damit das Zeitgerüst menschlicher Arbeit beeinflußt werden.

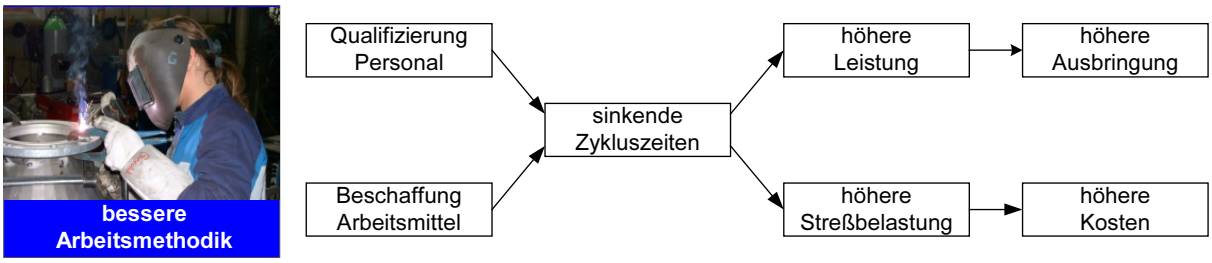


Bild 14: Auswirkungen der Arbeitsmethodik auf Zykluszeiten, Ausbringung und Kosten

Allerdings darf die Betrachtung nicht auf die direkten Auswirkungen beschränkt bleiben. Beispielsweise verstärken sinkende Zykluszeiten die Streßbelastung einer Arbeitskraft erheblich, wodurch unter Umständen Fehlleistungen oder Arbeitsausfälle resultieren, die in der Folge den Betriebsablauf stören und die Rentabilität des Unternehmens belasten.

- *Gestaltungsparameter „Arbeitsumgebung“*

Zur Sicherung eines langfristig optimalen Einsatzes des menschlichen Leistungspotentials ist schließlich auch die Arbeitsumgebung als Summe aller Elemente, derer sich ein Arbeiter während der Erfüllung der ihm übertragenen Arbeitsaufgaben bedient beziehungsweise von denen er umgeben wird, adäquat auszulegen [BUL94]. Ziel ist, alle Fähigkeitsarten eines Menschen zu aktivieren und damit eine wirtschaftliche Mengenleistung bei hinreichender Qualität, geringen zeitabhängigen Kosten sowie einer erträglichen Belastung und Beanspruchung des Arbeitenden unter Berücksichtigung der vorgeschriebenen Arbeitssicherheit [BROC97] zu gewährleisten [SCHA98, SCHM91, THI92, WIN99].

Über die direkten Stückkosten hinaus drücken sich die Einflüsse der Arbeitsumgebung kostenmäßig auch in der Fluktuation, des Krankenstandes, des Absentismus und der Unfallrate aus [SCHW98]. Die Kosten der Fluktuation setzen sich einmal aus den Kosten für die Akquise und das Anlernen neuer Arbeitskräfte zusammen. Gelingt es nicht, unmittelbar eine Ersatzarbeitskraft zu finden, ist ein innerbetrieblicher Ausgleich erforderlich. Zu diesem zweiten Kostenfaktor zählen Kosten für Überstunden oder Neuverteilung von Arbeitskräften auf vorhandene Arbeitsplätze. Ähnliche Aussagen lassen sich für die Höhe des Krankenstandes und des Absentismus treffen, die sich kostenmäßig in einer Lohnfortzahlung für die fehlende Arbeitskraft und in den Kosten für erforderliche Umdispositionen niederschlagen.

Am schwerwiegendsten wirken sich jedoch die Konsequenzen von Betriebsunfällen aus. Diese sollten zwar aufgrund ihrer erheblichen sozialen Konsequenzen nicht primär unter Kostengesichtspunkten gesehen werden, doch lohnt es sich selbst bei einer rein kostenmäßigen Betrachtung, unfallverhütende Aktivitäten zu entwickeln. Denn den direkten Unfallkosten, die den einzelnen Betrieb „nur“ über die Höhe der Beiträge für die Berufsgenossenschaften berühren, stehen viel höhere indirekte Unfallkosten gegenüber. Diese setzen sich aus dem Leistungsausfall des Verletzten, seiner Kollegen und Vorgesetzten, die ihre Arbeit unterbrechen, der Leistungsverzögerung infolge der entstandenen Unruhe sowie möglichen Schäden an sachlichen Elementen zusammen [ZAN99].

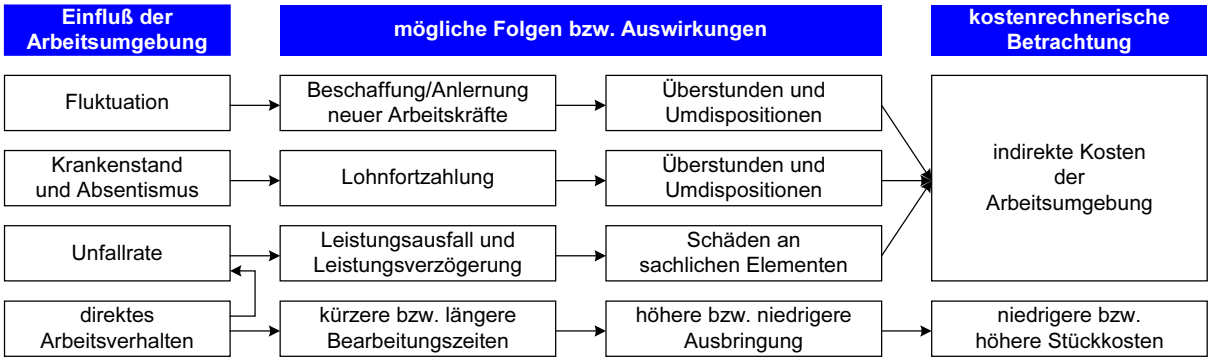


Bild 15: Auswirkungen und Kosteneinfluß der Arbeitsumgebung

Problematisch ist, daß „sicheres Verhalten“ oft zusätzliche Anstrengungen und höheren Zeitaufwand erfordert. Im Umkehrschluß ist „sicherheitswidriges Verhalten“ oft mit höherer Bequemlichkeit, Zeitgewinn sowie Achtungserfolgen verbunden und wird dadurch leicht zur Gewohnheit [HAC98]. Deshalb herrscht besonders bei Arbeiten unter Zeitdruck ein hohes Unfallrisiko, das häufig noch durch beengte Raumverhältnisse infolge unnötiger Mengen von Material im Arbeitsbereich verstärkt wird. Somit wird an dieser Stelle die Verbindung zur Gestaltung des Leistungserstellungsprozesses deutlich.

❑ Stellhebel „Arbeitsbeurteilung“ (Arbeitsentlohnung)

Über den Stellhebel „Arbeitsentlohnung“ sind die Personalkosten als alle durch den laufenden Einsatz von Arbeitnehmern entstehende Kosten direkt beeinflußbar. Es gilt, die Lohnstückkosten zu senken beziehungsweise allgemein das Verhältnis aus Arbeitsentgelt und Arbeitsergebnis zu verbessern. Dabei kann das Entgelt in ein Grundgehalt und eine leistungsbezogene Komponente unterteilt werden.

Das Grundentgelt erhalten die Mitarbeiter in Abhängigkeit ihres Leistungsvermögens und der ihnen übertragenen Arbeitsaufgabe als Gegenwert für eine erwartete Leistung. Sein kennzeichnendes Merkmal ist die Festlegung eines bestimmten Lohnsatzes für eine feste Zeiteinheit. Damit bildet lediglich die Zeit die Bemessungsgrundlage der Entlohnung, so daß der unmittelbare Zusammenhang zwischen Lohn und tatsächlicher Leistung fehlt.

Soll auch die tatsächliche Leistung berücksichtigt werden, stehen grundsätzlich die drei Entgeltgrundsätze Akkordlohn, Prämienlohn und Zeitlohn mit Leistungszulage zur Verfügung [FRE89, IFA96]. Da beim Akkordlohn aufgrund tarifvertraglicher Regelungen im Bereich der industriellen Produktion ein Mindestlohn garantiert wird, der bis zu 130% des Normallohnsatzes ausmachen kann, ist die Grenze zum Prämienlohn fließend [GÖL95]. Während dabei die vom Mitarbeiter erbrachte Leistung anhand des Erfüllungsgrades von vorgegebenen Leistungskennzahlen gemessen wird [BRE92], wird sie beim Zeitlohn mit Leistungszulage anhand von ergebnis- und/oder verhaltensorientierten Merkmalen beurteilt und in Form eines Leistungswertes quantifiziert. Von der Höhe dieses Leistungswertes ist dann die Höhe der Leistungszulage abhängig, die in der Erwartung gezahlt wird, daß der Mitarbeiter auch künftig die beurteilte Leistung erbringt [LOR98].

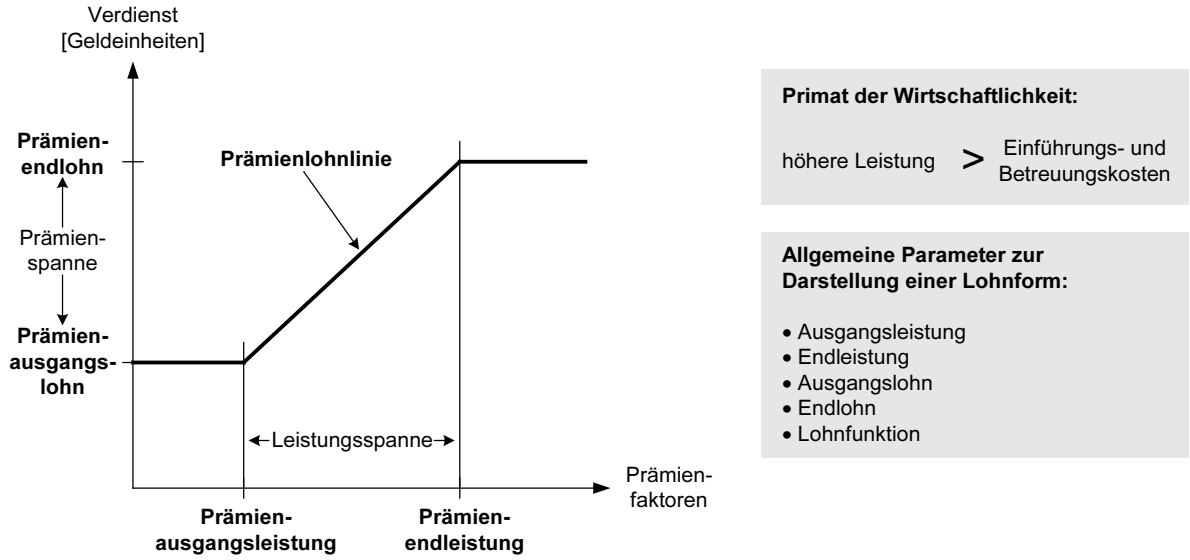


Bild 16: Parameter des Prämienlohns zur Ableitung einer universellen Lohnform

Wie eine tiefere Betrachtung zeigt, können alle aufgeführten Entgeltgrundsätze mit den Parametern des komplexesten Grundsatzes - nämlich des Prämienlohns - beschrieben werden, die in Bild 16 dargestellt sind. Es gilt, diese nach betriebsspezifischen Erfordernissen so einzustellen, daß bei den Mitarbeitern ein Anreiz zur Erbringung der aus Sicht des Produktionssystems gewünschten Leistung entsteht und diese ihre persönliche Leistungs-Entlohnungs-Relation [LOR95] als gerecht empfinden. Dabei ist es denkbar, einen Leistungsbonus auch mehreren Mitarbeitern oder einer Gruppe als ganzes zu gewähren und die Verteilung auf einzelne Mitarbeiter der Gruppe zu übertragen [ESC99].

Steht die Entscheidung an, ob für bestimmte Abteilungen, Arbeitsgruppen oder Arbeitnehmer eine leistungsorientierte Entlohnung eingeführt werden soll, sind nicht nur die eventuell höheren Löhne mit der möglichen Leistungssteigerung [REI98] zu vergleichen. Vielmehr müssen auch die Kosten der Einführung und der laufenden Betreuung berücksichtigt werden. Denn nur wenn auf Dauer die durch ein neues Lohnsystem zusätzlich hervorgerufenen Leistungen alle zusätzlich verursachten Kosten decken, genügt das neue Lohnsystem dem Primat der Wirtschaftlichkeit.

3.2 Anlagen und Betriebsmittel als Ausgangspunkt der Maschinenkosten

Im Gegensatz zu den in der Produktion tätigen Menschen dienen Betriebsmittel ausschließlich dem Betrieb. Sie umfassen als Schutz-, Ersatz- und Hilfsmittel menschlicher Arbeit die gesamte technische Apparatur, die zur Durchführung des Leistungserstellungsprozesses eingesetzt wird. Darunter können sämtliche betriebliche Vermögenswerte subsumiert werden, die entweder die technischen und arbeitsmäßigen Voraussetzungen für die Durchführung von Produktionsprozessen gewährleisten oder ein Nutzungspotential darstellen, das im Laufe seiner produktiven Verwendung eine Vielzahl von Arbeitsgängen durchführen kann. Nach dieser Definition gehört folglich das gesamte Produktionspotential, das aus Grundstücken und Gebäuden, Verkehrs- und Transportmitteln, der Betriebs- und Geschäftsausstattung, Maschinen und maschinellen Anlagen sowie Werkzeugen besteht, zu den Betriebsmitteln. Diese können nach den Kriterien Nutzungsdauer, Beteiligung am Prozeß der Leistungserstellung, eigenes Leistungsvermögen und Bewegungsverhalten näher charakterisiert werden [Bild 17].

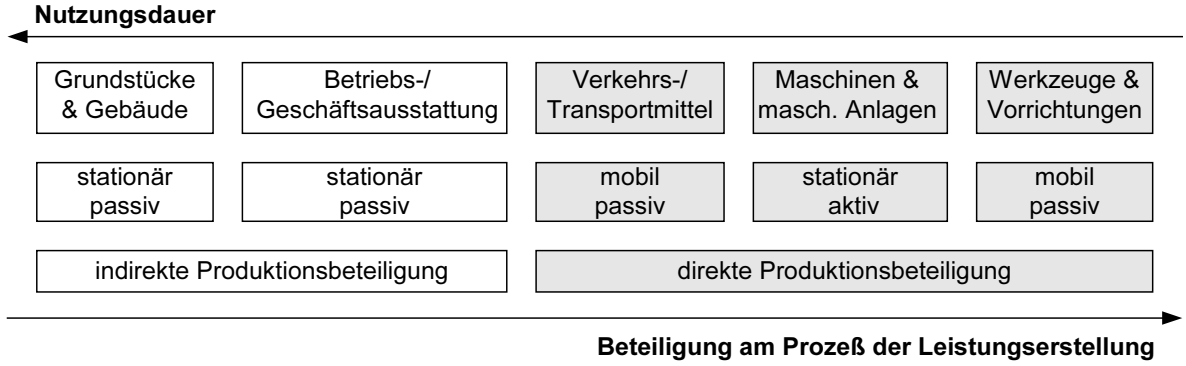


Bild 17: Einteilung der Betriebsmittel eines Unternehmens [GAB97]

Als Stellhebel zur Kostenbeeinflussung sind im Produktionsmanagement die Betriebsmittel zur direkten Produktionsbeteiligung verfügbar. Hierzu gehören die Maschinen bzw. maschinellen Anlagen mit ihren Werkzeugen und Vorrichtungen.

- *Gestaltungsparameter „Maschinen“*

Fertigungswirtschaftlich bedeutsam sind neben den Anschaffungskosten, den laufenden Kosten und dem geplanten Resterlöswert vor allem die Kapazität und die Elastizität [BRÜ99]. Dabei bezeichnet die Kapazität das maximale Produktionsvermögen in quantitativer und qualitativer Hinsicht für eine definierte Bezugsperiode. Erstere wird allgemein als Leistungsfähigkeit pro Zeiteinheit ausgedrückt und stellt die in einem Zeitraum maximal realisierbare Menge von (Teil-)Produkten einer Art dar. Die Eigenart und die Güte der Leistungen, die eine Maschine abzugeben in der Lage ist, bestimmt ihre qualitative Kapazität. Sie wird z. B. in Toleranzbereichen, erreichbarer Oberflächengüte der bearbeiteten Flächen, aber auch als Ausmaß der Werkstücke, die bearbeitbar sind (Großteile - Kleinteile), angegeben [EVE99].

Eng verwandt mit der qualitativen Kapazität ist die Elastizität von Betriebsmitteln [HAH93]. Dabei ist zwischen statischer und dynamischer Elastizität zu unterscheiden. Erstere kann zunächst als Umstellungsfähigkeit aus technischer Sicht interpretiert werden. Hierdurch soll zum Ausdruck gebracht werden, daß durch das Betriebsmittel nicht nur die genannte Kapazität im Sinne einer entweder-oder-Entscheidung genutzt werden kann, sondern diesbezüglich skalierbar ist.

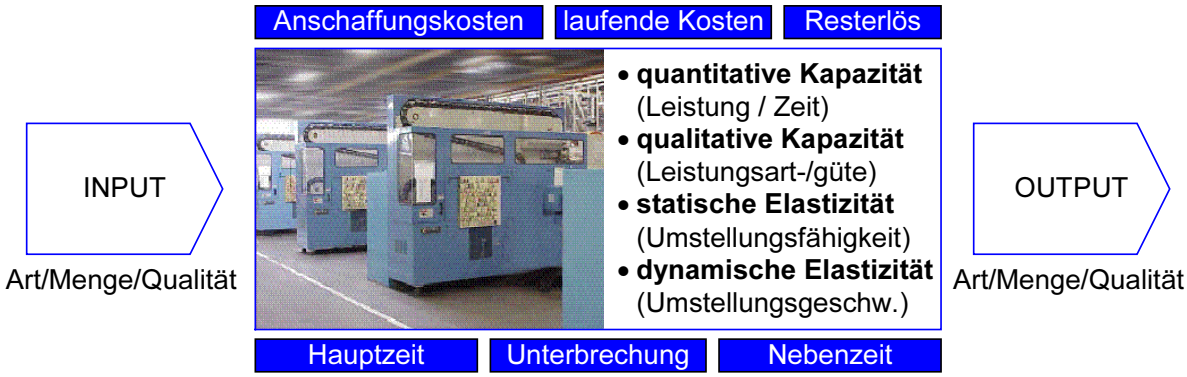


Bild 18: Charakteristische Kenngrößen einer Maschine

Neben dem technischen Aspekt hat die statische Elastizität auch wirtschaftliche Gesichtspunkte. Je nach Art des Betriebsmittels können die Grenzen, bei denen eine zu geringe oder übermäßige Kapazitätsausnutzung die Stückkosten in spürbarer Weise steigen läßt, in großer oder geringer Abweichung von der Ausnutzung liegen, bei der die Stückkosten am geringsten sind. Liegen die Grenzen sehr nahe an diesem Punkt, dann ist die optimale Nutzungszone verhältnismäßig schmal. Bereits eine relativ geringe Minderausnutzung oder Überbeanspruchung führt zu stark anwachsenden Stückkosten. Kann ohne deutliche Kostenveränderung vom Optimum abgewichen werden, so hat die Maschine eine hohe (statische) wirtschaftliche Elastizität.

Während die statische Elastizität auf die objektive Möglichkeit und die Veränderung der Kosten je Stück bei einer Abweichung vom Kapazitätsmaximum abstellt, wird durch die dynamische Elastizität (Umstellungsgeschwindigkeit) der Vorgang der Änderung, der Auslastung bzw. der Art der Leistungserstellung oder der eingesetzten Versorgungsleistungen aus technischer und wirtschaftlicher Sicht betrachtet. Aus technischer Sicht ist es dabei vor allem die Zeit, die zur Umstellung benötigt wird, bedeutend. Wirtschaftlich sind an die Kosten einer Umstellung zu denken, die sich aus den Kosten der Umstellung selbst sowie den Kosten des Produktionsausfalls und des entgangenen Gewinns ergeben [LAN90].

Die den gesamten Kosten gegenüberzustellende Mengenleistung einer Maschine resultiert einmal aus der Hauptzeit (reine Bearbeitungszeit) selbst sowie zum anderen aus den Unterbrechungs- (Zeit zur auftragsbezogenen Vorbereitung der Maschine) und Nebenzeiten (Zeit für Messen, Positionieren, Spannen) [VDI91]. Letztere werden jedoch nicht nur von der Maschine selbst, sondern auch von organisatorischen Einflüssen bestimmt [OES00, SEK94].

- *Gestaltungsparameter „Werkzeuge“*

Die Fertigungshauptzeiten - und in der Folge die Wirtschaftlichkeit eines Fertigungsprozesses - können nicht nur über die an der Maschine ausführbaren Bearbeitungsoperationen, sondern auch durch das eingesetzte Werkzeug verbessert werden. Dazu gehören nach DIN 8580 [DIN85] alle Fertigungsmittel, die durch Relativbewegung gegenüber dem Werkstück unter Energieübertragung die Bildung einer Form oder die Änderung seiner Form und Lage, bisweilen auch seiner Stoffeigenschaften bewirken. Die Standzeit eines Werkzeugs entspricht inhaltlich der Nutzungsdauer einer Maschine und gibt die Einsatzdauer bis zum Erreichen eines festgelegten (Stand-)Kriteriums an. Abhängig davon, ob es technischer oder wirtschaftlicher Natur ist, wird zwischen technischer und wirtschaftlicher Standzeit unterschieden. Je größer die technische Standzeit bzw. je geringer der Werkzeugverbrauch ist, desto weniger unplanmäßige Werkzeugwechsel fallen an, wodurch einmal die Kosten für Werkzeugwechsel sinken und zum anderen eine gleichbleibende Fertigungsqualität unterstützt wird.

Die Kosten eines Werkzeugwechsels führen in der Praxis häufig zu Überlegungen, ob die Vorteile der mit Sonderwerkzeugen kürzeren Bearbeitungszeiten gegenüber den Nachteilen häufigerer Werkzeugwechsel überwiegen [RAA84]. Dazu gilt es, das Fertigungsverfahren, die Komplexität der Bearbeitungsaufgabe und alle von der Auswahlentscheidung induzierten Ausbringungsänderungen mit den betroffenen Kostengrößen zu betrachten. Wegen der Abhängigkeit des Werkzeugwechsels von der Dynamik der Auftragseinlastung ist diese Frage jedoch nicht in einer lokalen Betrachtung beantwortbar.

In manchen Fällen können modular aufgebaute Werkzeuge eine Lösungsmöglichkeit darstellen. Der Austausch von Verschleißteilen vereinfacht sich erheblich. Einerseits fallen geringere Kosten für den Werkzeugersatz an, da nur das verbrauchte Modul ausgetauscht werden muß und das Ersetzen einzelner Module leicht handhabbar ist. Zusätzlich kann tendenziell mit einer höheren Verfügbarkeit von Standardkomponenten und niedrigeren Kosten für ein Ersatzmodul gerechnet werden.

- *Gestaltungsparameter „Vorrichtungen“*

Vorrichtungen dienen dazu, die Werkzeuge zu positionieren, zu halten oder zu spannen und gegebenenfalls ein oder mehrere Werkzeuge zu führen. Sie sind direkt an Werkzeuge gebunden und stehen in unmittelbarer Beziehung zum Arbeitsvorgang [DIN70]. Sie ermöglichen die Austauschbarkeit von Werkstücken und Werkzeugen und damit eine Verbesserung des Nutzungsgrades der Fertigungsmittel. Dadurch werden Arbeitsgänge einfacher, mit verbesserter Qualität beziehungsweise überhaupt erst ausführbar gemacht. Die Senkung von Nebenzeiten zum Beispiel für Spannen und Messen, sowie eine Vereinfachung und Verbesserung des Fertigungsvorgangs bei gleichzeitiger Erfüllung der Arbeitssicherheit stellen weitere (Rationalisierungs-)Potentiale des Vorrichtungseinsatzes dar [BUB92].

3.3 Prozesse und Aktivitätsfolgen als Determinante ablaufabhängiger Kosten

Da in komplexen Produktionssystemen einzelne Individuen oder Betriebsmittel im Fall einer Komplettbearbeitung schnell an ihre Leistungsgrenze stoßen würden, kann die Produktionsaufgabe nur durch das Zusammenwirken mehrerer Leistungseinheiten sinnvoll erfolgen. In der Konsequenz stellen also die (Teil-)Aufgaben, deren Erfüllung einer Person beziehungsweise einem Betriebsmittel obliegen und die nicht weiter sinnvoll unterteilbar sind, elementare Bausteine dar. Diese Elementarfunktionen, die auch als Arbeitsgang, -schritt, Tätigkeit, Handlung, Verrichtung oder Aktivität bezeichnet werden [EVE95, FRA96, HAM00], sind nun zielgerichtet zu verketten. Dabei entstehen Aktivitätenfolgen, die allgemein als Prozeß bezeichnet werden können. Prozesse beschreiben demnach Abläufe, die durch eine bestimmte Abfolge von Aktivitäten und dem damit verbundenen Einsatz von Material, Personal und Betriebsmitteln eine vorgegebene Aufgabe erfüllen.

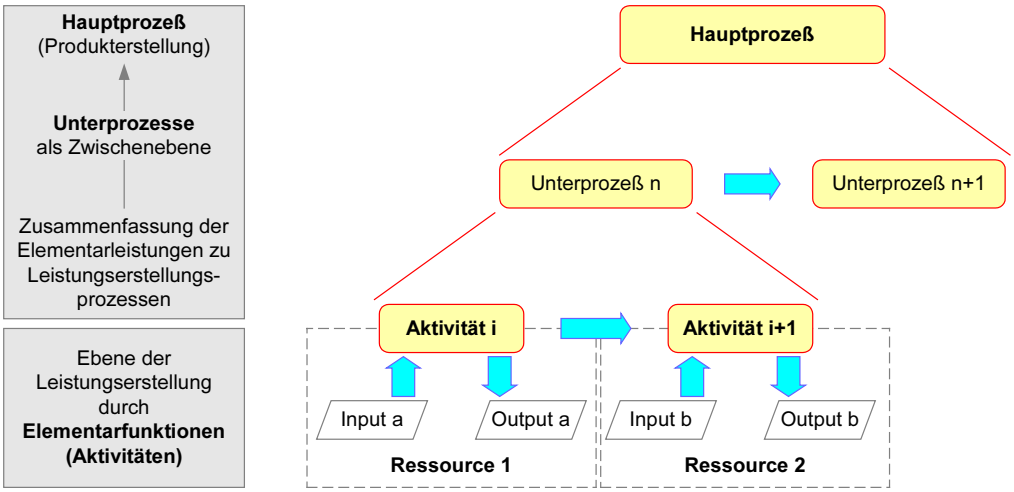


Bild 19: Prozesse als deterministische Folgen elementarer Funktionen

Die Beschreibung eines Prozesses im Sinne verketteter Aktivitäten ermöglicht in Abhängigkeit des jeweiligen Untersuchungszwecks eine unterschiedlich weite Differenzierung. Jeder aus Aktivitäten abgeleitete Prozeß kann solange wieder in einzelne Partialprozesse aufgespalten werden, bis eine Kette aus Elementarfunktionen entsteht, deren Elemente über Input-Output-Beziehungen miteinander verbunden sind. Der Output einer Elementarfunktion fließt dabei in der Regel wieder als Input in eine oder mehrere andere Aktivitäten ein. Jede Aktivität ist damit in ein Gefüge von Input-Output- oder Kunden-Lieferanten-Beziehungen eingebunden. Unabhängig davon, ob es sich um interne oder externe Transaktionen handelt, kann das Bereitstellen der für eine Aktivität benötigten Inputs als Lieferantenbeziehung, der Output einer Aktivität als Kundenbeziehung aufgefaßt werden [IFA99]. Letztendlich ist der gesamte Unternehmensprozeß auf diese Weise durch „Hintereinanderschalten“ einzelner Input-Output-Beziehungsgeflechte modellierbar und bis in kleinste Elemente zerlegbar. Analog läßt sich durch Aggregation der einzelnen Teilprozesse wieder der Unternehmungsgesamtprozeß abbilden.

Anders definiert sind Prozesse wertverzehrende Transformationsvorgänge, die unter Inanspruchnahme betrieblicher Ressourcen einen Input in einen Output verwandeln. Folglich fallen gemäß der Definition von Gutenberg [GUT79], der jeden betrieblichen Güterverzehr bewertet und das Ergebnis als Kosten definiert, bei jedem Transformationsvorgang ex definitione Kosten an. Erst wenn ein potentieller externer oder interner Kunde bereit ist, mehr als die Summe aller Kosten des Transformationsvorgangs zu bezahlen, wird die Leistung honoriert und damit - im Sinne des Wertschöpfungsbegriffs nach Porter [POR85] - Wert geschaffen. Andernfalls steht den Kosten keine Wertschöpfung gegenüber, weshalb Definitionen [KOH00, RAU98], die Prozesse oder Aktivitäten trotz einer Betonung des Kundenbezugs generell als wertschöpfende Transformationsvorgänge bezeichnen, irreführend sind. Solche Definitionen verkennen, daß es im Input-Output-Geflecht neben den Bearbeitungsaktivitäten auch Aktivitäten gibt, die ausschließlich Kosten verursachen

Um die aus der Gestaltung des Prozeßgeflechts resultierenden Kosten beeinflussen zu können, ist eine Analyse der davon induzierten Wirkungen erforderlich. Wird zunächst die kleinste denkbare Form, nämlich das Zusammenwirken zweier Input-Output-Funktionen analysiert, so fällt auf, daß eine vollständige Synchronisation der Input- und Output-Flüsse häufig aufgrund unterschiedlicher Bearbeitungszeiten nicht möglich ist. Je nach Anordnung bilden sich entweder Pufferbestände vor der langsameren Station oder die schnellere Ressource muß auf Arbeit warten. Ersteres hat Kosten für Kapitalbindung und Flächenbelegung zur Folge, während letzteres Leer(lauf)kosten verursacht.

- *Gestaltungsparameter „Organisationstyp“*

Bei mehr als zwei Stationen sind die Unterschiede in der Bearbeitungszeit prinzipiell durch eine größere Zahl langsamerer Maschinen ausgleichbar. Dabei bleibt jedoch grundsätzlich die Frage zu klären, ob die Auslastung der Kapazitäten oder die Minimierung der Bestände erstrebenswerter ist. Je nachdem kann die räumlich-zeitliche Abfolge der Aktivitäten unterschiedlich gestaltet werden, wobei sich einige generelle Organisationstypen [SEJ95, SOM90, ULL94] identifizieren lassen.

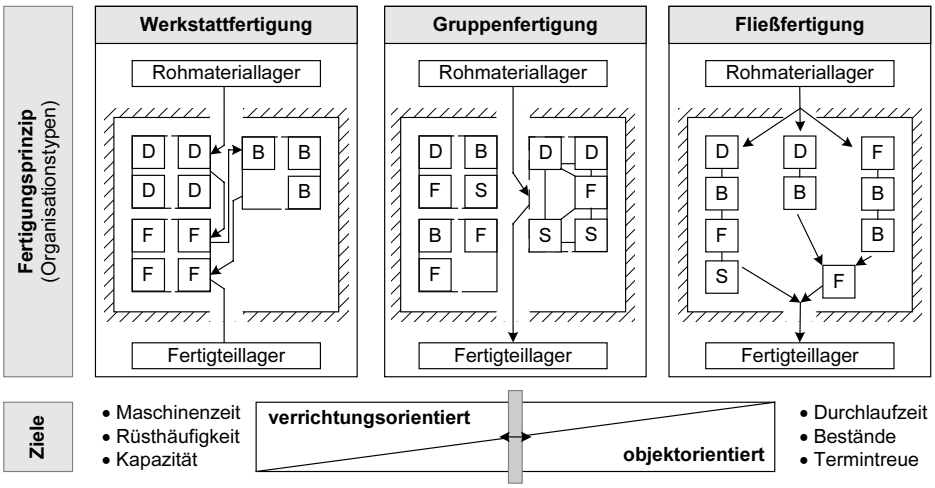


Bild 20: Organisationstypen der Fertigung als grundsätzliche Gestaltungsparameter

- *Gestaltungsparameter „Auftragseinplanung“*

Nach der Spezifikation des Organisationstyps können die grundsätzlich determinierten Kosten durch die Art der Auftragssteuerung beeinflußt werden. In Abhängigkeit der gewählten Losgröße sind Umrüstvorgänge notwendig, die Rüstkosten verursachen. Diese nehmen mit sinkender Zahl der Lose ab. Während für die Optimierung der beiden Kostenarten bei der Betrachtung einer Ressource mit der Formel von Harris und Andler [AND29] noch eine analytische Lösungsmöglichkeit besteht, gibt es für die Ermittlung des Kostenminimums in einem mehrstufigen Produktionsprozeß häufig kein mathematisches Verfahren, das in endlicher Rechenzeit lösbar wäre.

Neben den reinen Losgrößeneffekten sind weiterhin die Wirkungen zu beachten, die durch die Festlegung der Lossequenzen hervorgerufen werden. Sind die Auflagenzeitpunkte nicht für alle Produktarten beziehungsweise Produktionsprozesse auf die Nachfrage abgestimmt, drohen einerseits Einnahmeverluste oder Konventionalstrafen und andererseits unnötige Kosten durch Überbestände von Endprodukten. Eng verwandt mit der Lossequenzplanung ist die Festlegung der Auftragsreihenfolge. Hier sind ebenfalls die Folgen zu berücksichtigen, die aus der zu frühen oder zu späten Erfüllung eines Auftrages resultieren. Im ersten Fall müssen Güter unnötig gelagert werden und im zweiten Fall entstehen Kosten für die Überschreitung von Lieferterminen oder Kosten für Mehrarbeit [BURG94].

Aufgrund der bisherigen Ausführungen wird bereits die Komplexität einer Gestaltung von Produktionsprozessen und ihres Ablaufs deutlich. Sehr häufig führt die Veränderung eines Gestaltungsparameters zu einer gegenläufigen Entwicklung mindestens zweier Kostenarten. Diese verstärkt sich noch, wenn der Materialfluß durch Prüf- und Nacharbeitsaktivitäten (Prüfkosten vs. Schadenskosten) Zyklen erhält oder die Leistungsabgabe einer Ressource durch vorbeugende Instandhaltung (Wartungskosten vs. Ausfallkosten) unterbrochen wird.

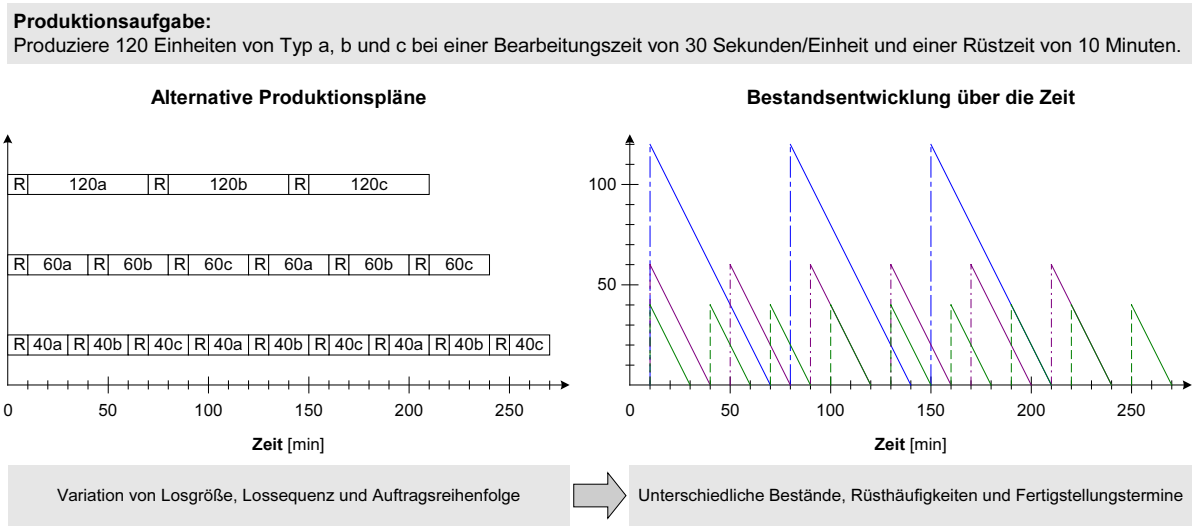


Bild 21: Auswirkungen dynamischer Effekte im Produktionsprozeß auf Bestände, Rüsthäufigkeiten und Fertigstellungstermine

3.4 Bedeutung der Herstellkosten als Ergebnisgröße der Produktionsdurchführung

Alle Kosten, die im Rahmen des Leistungserstellungsprozesses angefallen sind, müssen in ihrer Summe langfristig durch den Nettoerlös der erzeugten Produkte mindestens gedeckt werden, wenn ein Unternehmen dauerhaft am Markt bestehen will. Damit stellen sie sowohl eine aggregierte betriebswirtschaftliche Ergebnisgröße als auch eine marktwirtschaftliche Meßlatte für die Wettbewerbsfähigkeit der Produktion dar.

Ein Verfehlen der Meßlatte führt in der Regel dazu, daß die Ergebnislücke durch einen Rückgriff auf das Eigenkapital gedeckt werden muß. Die dadurch verursachte Reduzierung der Eigenkapitalausstattung schwächt letztlich auch die erforderlichen Wachstums- und Innovationspotentiale, da zu deren Finanzierung weniger Finanzmittel zur Verfügung stehen. Im Ergebnis hat eine solche Entwicklung über mehrere Perioden hinweg einen Substanzverlust bis hin zur finanziellen Auszehrung zur Folge, die im schlechtesten Fall den Konkurs beziehungsweise das Ende des Produktionssystems bedeuten kann.

Wegen der häufig schwer kalkulierbaren Wirkungen einer Preiserhöhung kann das Ziel, alle Kosten der Herstellung zu decken, im Verantwortungsbereich des Produktionssystems nur durch eine vorausschauende Kostenminimierung erreicht werden. Damit kommt den Herstellkosten - ganz im Sinn des Target Costing - der Charakter einer Zielgröße zu, die sich an einem tatsächlich erzielbaren Marktpreis orientiert. Diese aggregierte Zielgröße gilt es nun, durch ein koordiniertes Zusammenwirken aller beteiligten Systemelemente zu erreichen. Dazu sind die vorgestellten Gestaltungsparameter unter bestmöglicher Berücksichtigung aller von ihnen ausgehenden relevanten Wirkungen so einzustellen, daß das marktorientierte Kostenziel zumindest realisiert - oder besser noch - unterboten wird.

Je höher der Grad der Zielerreichung ausfällt, desto geringer ist die Anfälligkeit gegenüber überraschenden Preissenkungen anderer Hersteller und umso größer ist der Spielraum für eigene preispolitische Maßnahmen, die dann wiederum die Konkurrenten negativ überraschen können. Um selbst keine Überraschung zu erleben, kommt der exakten Bestimmung der Untergrenze eine wichtige Bedeutung zu. Umgekehrt stellt die genaue Kenntnis des Zustandekommens der eigenen Kosten mit ihren Einflußfaktoren und ihrer Empfindlichkeit gegenüber möglichen Störgrößen einen wichtigen Wettbewerbsvorteil dar. Er kommt vor allem dann zu tragen, wenn es gilt, langfristige Verträge über ein hohes Auftragsmengenvolumen mit einem Abnehmer zu vereinbaren oder bei Reverse Auctions [SPI01] in elektronischen Marktplätzen erfolgreich zu sein, bei denen ein potentieller (Groß-)Kunde eine Preisobergrenze vorgibt, die von den teilnehmenden Unternehmen unterboten werden muß und die schließlich nur dem wenigstnehmenden Bieter den Zuschlag für die Auftragsdurchführung erteilen [DOL00].

4. Ansätze und Verfahren zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Produktionssystemen

Die in Kapitel 3 vorgestellten Maßnahmen sind von gegenläufigen Kostenentwicklungen geprägt und erfordern daher eine Betrachtung ihrer Wirtschaftlichkeit. Jedoch unterscheiden sich die hierfür gängigen Verfahren deutlich in ihrem Anwendungsfeld und in ihrer Komplexität. So reicht die Spannweite von rein statischen Ansätzen zur Anlagenauswahl bis hin zu dynamischen Methoden für die Beurteilung komplexer Produktionssysteme.

4.1 Bedeutende statische Szenariorechnungen

Statische Verfahren sind dadurch gekennzeichnet, daß sie lediglich Zeitpunkt- oder Zeitraumwerte betrachten, ohne Zustandsfolgen im Zeitablauf aufgrund von Wirkzusammenhängen zu entwickeln [VDI96a]. Da Veränderungen zeitabhängiger Variablen nicht berücksichtigt werden, sind nur punktuelle Aussagen möglich. Dennoch haben sie in der Praxis eine starke Verbreitung [FEL99] und werden teilweise als „dynamisch“ [SIN00] oder sogar als „Simulation“ bezeichnet [NN00a, NN00b, SCHE99]. Um deren Charakter, die Unterschiede zur eigentlichen Simulation und ihre Defizite zu verdeutlichen, ist ihre Darstellung vor allem im Hinblick auf eine exakte Begriffsabgrenzung sinnvoll.

4.1.1 Kostenkennlinien zur Anlagen- und Verfahrensauswahl

Kostenkennlinien beziehen sich lediglich auf eine Anlage oder ein Verfahren. Sie werden durch die Berechnung der Stückkosten bei unterschiedlichen Ausbringungsmengen ermittelt. Aus dem Vergleich der Kostenkennlinien wird dann eine Aussage darüber getroffen, bei welcher Ausbringung welche Maschine oder welches Verfahren am wirtschaftlichsten ist [STO82].

Daten	Anlage A	Anlage B	Anlage C
Anschaffungskosten [DM]	24.000	60.000	90.000
Nutzungsdauer [Jahr]	6	6	6
Liquidationserlös [DM]	0	6.000	9.000
Kapazität [Stück/Jahr]	8.000	10.000	12.000
Gehälter [DM/Jahr]	5.000	5.000	5.000
sonst. fixe Kosten [DM/Jahr]	4.000	6.000	8.000
Löhne [DM/Stück]	2,75	0,80	0,60
Material [DM/Stück]	5	4,50	4,30
sonst. variable Kosten [DM/Stück]	0,375	0,3	0,25
Kalkulationszinssatz [%/Jahr]	8	8	8

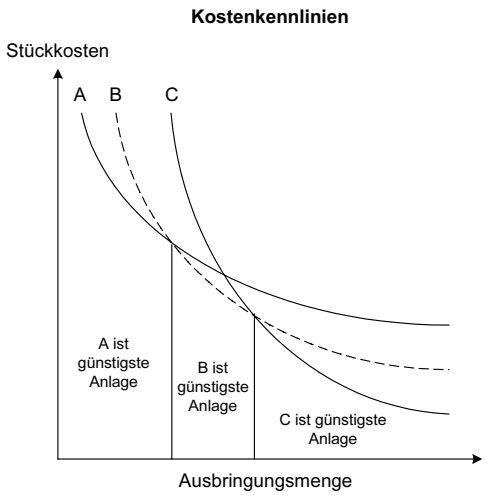


Bild 22: Wirtschaftlichkeitsvergleich dreier Anlagen mit Kostenkennlinien

Diese Methode berücksichtigt nur die zum Betrachtungszeitpunkt aktuellen Kosten und setzt zudem voraus, daß die Stückkosten für die einzelnen Maschinen bekannt sind. Zukünftige Kostenänderungen werden ebenso wenig berücksichtigt wie die Tatsache, daß über eine Anlage verschiedene Produkte mit unterschiedlichen Bearbeitungszeiten laufen können, was vergleichende Aussagen zur stückzahlbezogenen Auslastung erschwert.

Eine Lösungsmöglichkeit für diesen Fall schlägt Eversheim vor [EVE77, EVE94b]. Er berechnet nach der Maschinenstundensatzrechnung einen Stundensatz, der in Abhängigkeit des eingesetzten Verfahrens mit maschinen- und produktspezifischen Parametern gewichtet wird. Die Gesamtkosten zur Produktion einer nach Art und Menge bestimmten Ausbringung werden dann miteinander verglichen.

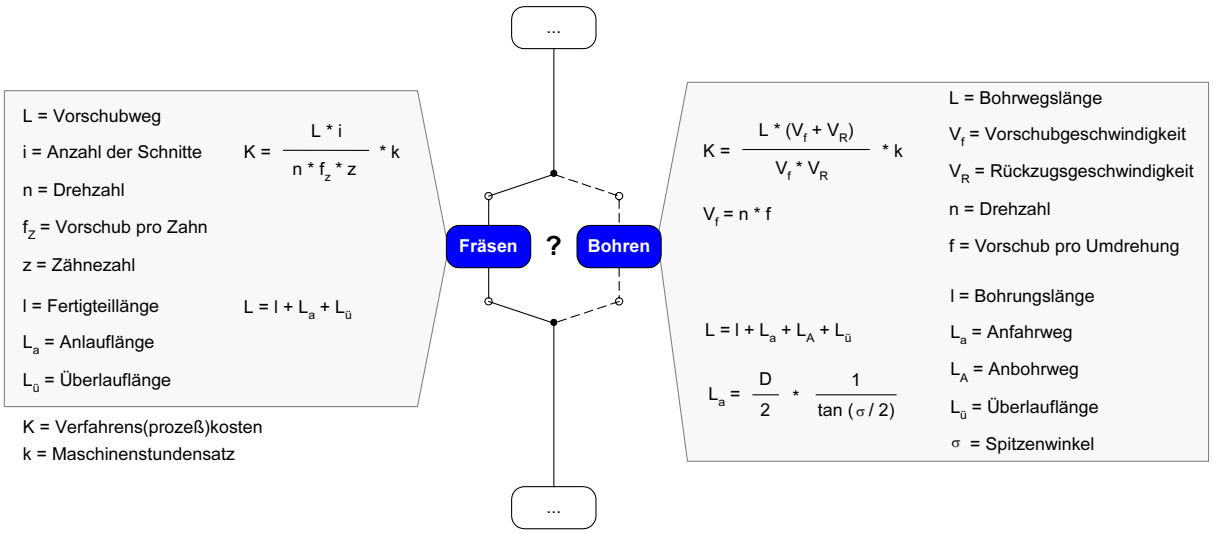


Bild 23: Kostenfunktionen für den wirtschaftlichen Verfahrensvergleich

Jedoch dürfen die sehr differenzierten Kostenfunktionen nicht darüber hinwegtäuschen, daß es sich nach wie vor um ein statisches Verfahren handelt. Wie Eversheim selbst einräumt, basieren die Kostenfunktionen insbesondere auf der Hauptzeit des jeweiligen Verfahrens. Damit werden notwendige Nebenzeiten wie beispielsweise für Rüsttätigkeiten nicht berücksichtigt.

Am gravierendsten ist jedoch, daß die Konstanz der Auslastung vorausgesetzt wird. Damit kann dieses Verfahren nur dort verwendet werden, wo die betrachtete Anlage nicht in Abhängigkeit einer Fertigungslinie steht und über die komplette Nutzungsdauer weitgehend konstant betrieben wird. Da diese Bedingungen in komplexen Produktionssystemen nicht vorliegen, können die detaillierten Formeln höchstens zur Bestimmung der Prozeßdauer in Abhängigkeit der Maschinen- und Werkstückattribute verwendet werden. Die gleiche Aussage gilt im übrigen auch für solche Verfahren, die wie die Gewinnvergleichsrechnung auf der Kostenvergleichsrechnung aufbauen. Sie berücksichtigt zusätzlich noch die Erlöse als exogene Größe. Da diese als das Produkt aus Preis und Menge jedoch nicht von den Kosten beeinflußt werden, liefert sie keine zusätzliche entscheidungsrelevante Information.

4.1.2 Kenngrößensimulation zur Abschätzung der Wirkung bestimmter Einflußfaktoren

Da eben nicht von der Konstanz der Einflußfaktoren ausgegangen werden kann, ist eine Abschätzung der Auswirkung ihrer Variation auf das gesamte Produktionssystem notwendig. Hierfür versprechen die Anbieter von PPS-Systemen, geeignete Funktionalitäten bereitzustellen [AUG96]. Dafür wird häufig der Begriff „Simulation“ gebraucht. So bescheinigen Untersuchungen von namhaften Instituten ca. 85% der PPS-Systeme eine „Simulation“ [RAU96, EUL95]. Auch im Zusammenhang mit SCM-Systemen ist oft von Simulation die Rede.

Jedoch zeigt sich, daß mit „Simulation“ nur das mehrfache Durchführen der herkömmlichen statisch-analytischen Verfahren (Auftragseinplanung, Durchlauf-, Kapazitätsterminierung, Kapazitätsabgleich, Constraint Based Planning) gemeint sein kann. Es handelt sich folglich nicht um eine Simulation im Sinne der Berücksichtigung dynamischer Effekte, sondern lediglich um eine wiederholte statische Proberechnung.

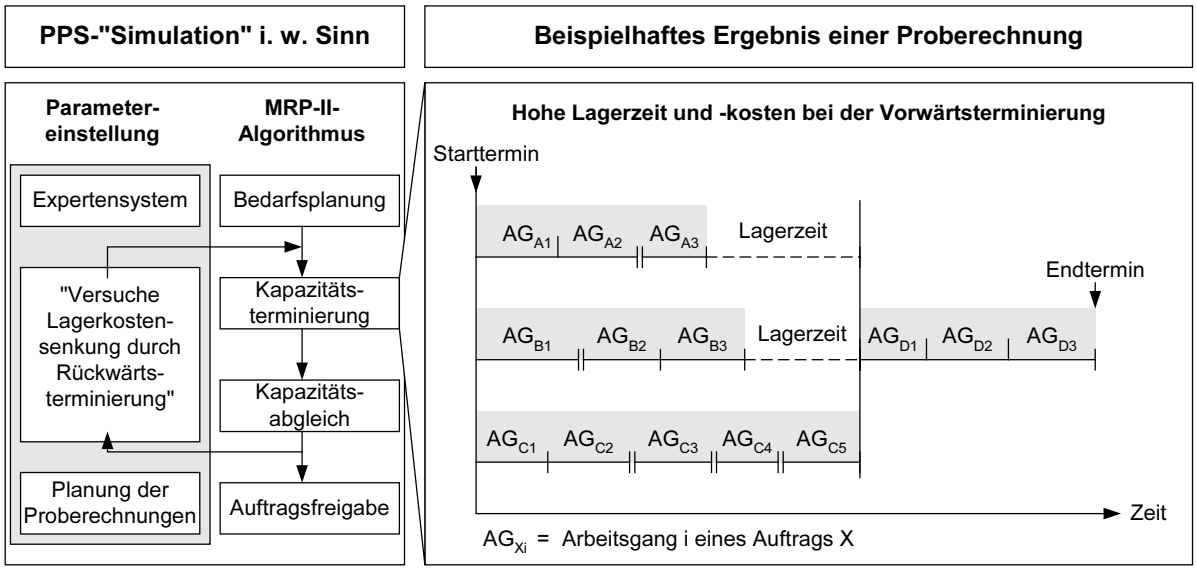


Bild 24: „Simulation“ als fortgesetzte Proberechnung in PPS-Systemen

Beispielsweise ist es möglich, im Rahmen der Parameterauswahl und -einstellung das Planungsverfahren von PPS-Systemen stärker auf die spezifischen Bedürfnisse eines Unternehmens abzustimmen. Um dieses zu erleichtern, hat Hartinger [HAR95] eine Problem-Zielgrößen-Matrix entwickelt. Diese stellt die Unternehmensziele den Fertigungsproblemen gegenüber und bildet die Basis eines Expertensystems, in das der Benutzer seine Ziele eingeben kann. Hält er die Lagerkosten für zu hoch und mißt in der Folge niedrigen Beständen und einer geringen Kapitalbindung eine größere Bedeutung als einer hohen Termintreue bei, schlägt ihm das System vor, bei allen Aufträgen eine Rückwärtsterminierung anzuwenden. Über einen Vergleich mit anderen Parametereinstellungen, wie zum Beispiel einer Vorwärtsterminierung, kann sich der Benutzer dann ein Bild von der Entwicklung seiner Zielgrößen machen.

Eine Ebene höher als die PPS-Systeme sind Führungsinformationssysteme angesiedelt. Charakteristisch für sie ist, daß sie versuchen, ein Unternehmen mit Hilfe von Kennzahlen und Soll-Ist-Vergleichen zu steuern [GRO94]. Dazu verfügen sie über eine Wissensbasis, in der für jede Beeinflussung einer Kennzahl durch eine andere eine Regel existiert. Die Regeln liegen in zwei Versionen vor, als Zustandsregeln und als Tendenzregeln. Zustandsregeln berücksichtigen nur den aktuellen Zustand einer Kennziffer, während Tendenzregeln ihre Entwicklung beschreiben.

Zu jeder Regel wird ein Sicherheitsfaktor S angegeben, der den Grad an Verläßlichkeit dieser Regel angibt. Zu jeder Tendenzregel wird ferner eine Auswirkung A angegeben, die aussagt, wie hoch die Veränderung der Kennziffer im Bedingungsteil der Regel ist, wenn sich der Wert der Kennziffer im Aktionsteil der Regel ändert. Ist beispielsweise die Durchlaufzeit um 10% gestiegen und der Wert A dieser Regel ist 0,95, so kann die Termintreue um bis zu 9,5% sinken. Mathematisch läßt sich A als Anpassungsfaktor der Steigung einer Regressionsgeraden darstellen. Diese Berechnung stellt zudem sicher, daß bei indirekt beeinflußten Größen der Einfluß der ursprünglichen Größe immer schwächer wird.

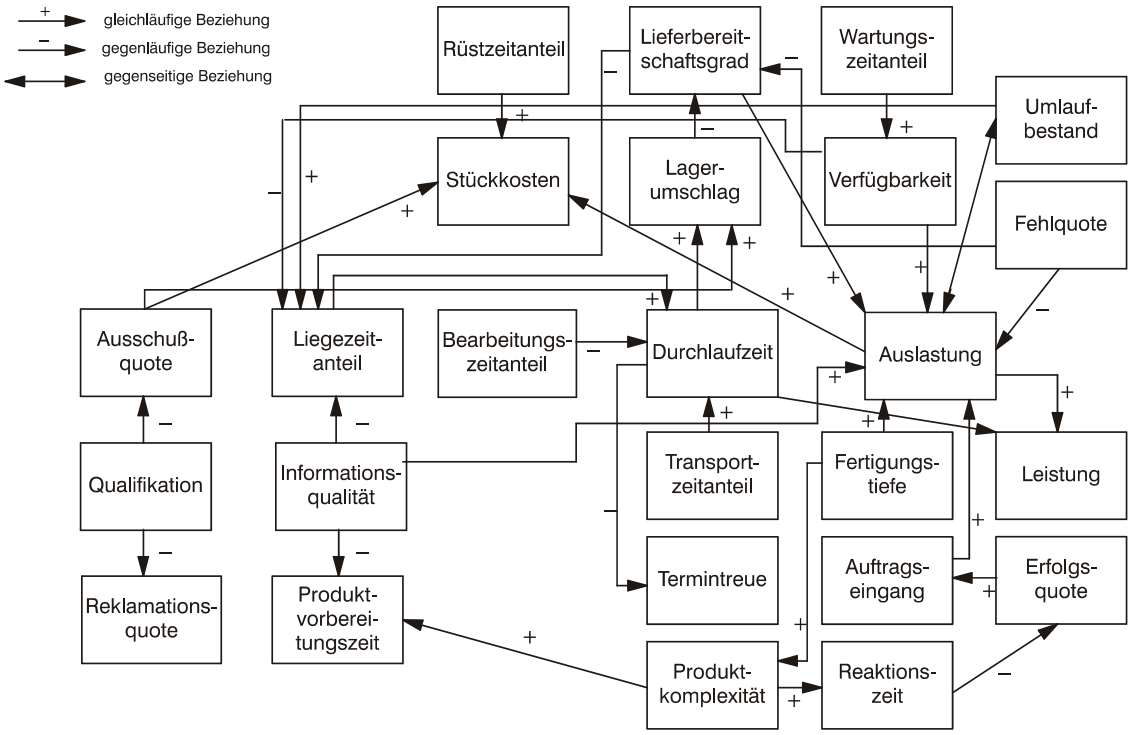


Bild 25: Wissensbasis eines Führungsinformationssystems als Ausgangspunkt für die Betrachtung von Kenngrößenentwicklungen

Erkennt das Führungsinformationssystem eine gravierende Abweichung des Ist-Wertes einer Kennzahl vom Soll-Wert, so sieht es darin ein Anzeichen einer Störung [BAC91]. Aus diesen Anzeichen werden Schlußfolgerungen gezogen, die zu möglichen Ursachen der Störung führen. In Umkehrung dieses Vorgehens bieten nun manche Systeme an, bestimmte Kennzahlen zu ändern und unter Nutzung der Wissensbasis die zu erwartenden Auswirkungen auf andere Kennzahlen abzuschätzen beziehungsweise zu „simulieren“ [MEY95, ZEL97].

Als Eingangswerte für eine derartige „Simulation“ sind also die zu ändernden Kennzahlen mit ihrem Änderungsgrad sowie die relevanten Ergebniskennzahlen anzugeben. Interessiert beispielsweise, wie sich eine Erhöhung der Ausschußquote um 10% auf den Lieferbereitschaftsgrad auswirkt, so ist die Kennzahl „Ausschußquote“ als Parameter zu selektieren und um 10% zu erhöhen. Weiterhin muß die Kennzahl „Lieferbereitschaftsgrad“ als Ergebnisgröße gekennzeichnet werden.

```
Rag1
        if:(AusschussquoteB>Ausschussquote0)
        then:[<<descriptionList := OrderedCollection new>>.
                <<description := ''>>.
                <<descriptionList1 add: description>>.
                Stueckkosten1A is: Stueckkosten0*(1+((AusschussquoteB−Ausschussquote0)/100*0.3))
withCertainty: 0.95.
                <<description := 'Stueckkosten (Betrieb) steigt, da Ausschussquote steigt (s=0.95).'>>.
                <<descriptionList1 add: description>>.
                Lagerumschlag1A is: Lagerumschlag0*(1+((AusschussquoteB−Ausschussquote0)/100*0.2))
withCertainty: 0.78.
                <<description := 'Lagerumschlag (Betrieb) steigt, da Ausschussquote steigt (s=0.78).'>>.
                <<descriptionList1 add: description>>]
        if: (AusschussquoteB<Ausschussquote0)
        then: [<<descriptionList1 := OrderedCollection new>>.
                <<description :=''>>.
                <<descriptionList1 add: description>>.
                Stueckkosten1A is: Stueckkosten0*(1+((AusschussquoteB−Ausschussquote0)/100*0.3))
withCertainty: 0.95.
                <<description :='Stueckkosten (Betrieb) sinkt, da Ausschussquote sinkt (s=0.95).'>>.
                <<descriptionList1 add: description>>.
```

Bild 26: „Simulation“ als Interferenzmechanismus ohne Zeitbezug am Beispiel der Auswirkungen einer Änderung der Ausschußquote

Das Ergebnis der „Simulation“ wird durch einen Inferenzmechanismus ermittelt, der die Regeln zwischen den betroffenen Kennzahlen schrittweise auswertet. Das Resultat stellt dann eine Aussage über jeden Pfad oder für jede Wirkungskette zwischen den selektierten Ein- und Ausgangskennzahlen dar. Zusätzlich wird die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Aussage über einen Sicherheitsfaktor angegeben.

Allerdings enthält das Modell keine quantifizierbaren Aussagen über zeitliche Abhängigkeiten zwischen den Kennzahlen, da in den Regeln der Wissensbasis lediglich empirisch gewonnenes Wissen über Auswirkungen von Kennzahlenänderungen abgelegt ist. Zur Durchführung zeitdynamischer Simulationen ist dies jedoch nicht ausreichend, da im allgemeinen nicht angegeben werden kann, wann die als Erfahrungswissen verfügbare Veränderung ihre volle Auswirkung zeigt.

Aus diesen Gründen kann die sogenannte Simulationskomponente eines Führungsinformationssystems lediglich als entscheidungsunterstützendes Element zur Beurteilung der Auswirkung von Entscheidungen des Produktionsmanagements betrachtet werden, das nach dem im Erklärungsmodell abgelegten Wissen eine What-If-Analyse durchführt, die dem Inferenzmechanismus eines Diagnosemoduls entspricht. Der Unterschied besteht nur darin, daß statt einer erkannten Abweichung nunmehr eine vorgegebene Änderung einer Kennzahl den Ausgangspunkt für die Abarbeitung der Regeln darstellt.

Nach einem ähnlichen System funktionieren Systeme zur Bilanzsimulation [ECK00]. Allerdings betreffen sie den Bereich des externen Rechnungswesens, für den sich sowohl die zu betrachtenden Bewertungskomponenten als auch ihre mathematische Verknüpfung aus den Bilanzierungsvorschriften wie HGB, IAS oder US-GAAP ergeben. Jedoch gibt es bei der Bewertung der einzelnen Größen zahlreiche Wahlrechte, die als Aktionsparameter genutzt werden können und durch ihre Variation unterschiedliche Ergebnisse zur Folge haben [COE94]. Damit ist die Möglichkeit, Auswirkungen der Inanspruchnahme von Wahlrechten zu quantifizieren, das charakteristische Merkmal von Systemen zur Bilanzsimulation. Darüber hinaus können sie anhand ihres Funktionsumfangs, ihres Planungshorizonts und der Integration anderer betrieblicher Teilpläne differenziert werden.

In einer rudimentären Ausbaustufe helfen sie dem Bilanzplaner, auf dem Weg vom vorläufigen zum endgültigen Jahresabschluß unternehmerische Zielvorstellungen einzubringen. Beispielsweise bildet in dem Modell, das von Lachnit und Freidank [LAC90] erarbeitet wurde, eine vorläufige Handelsbilanz für eine Kapitalgesellschaft mit einem vorläufigen Jahresergebnis nach Ertragsteuern den Ausgangspunkt. Durch Ausüben von Wahlrechten können die einzelnen Bilanzposten nun vergrößert oder verkleinert werden.

Bild 27: Die Vorgehensweise bei der Bilanzsimulation als Berechnung der Wirkung von Wahlrechten im Überblick

Ein Beispiel ist die Aktivierung selbsterstellter Anlagen zu steuerlich mindestens ansetzbaren Herstellungskosten nach Abschnitt 33 EStR anstatt der im vorläufigen Abschluß gewählten Bewertung zu variablen Teil-Herstellungskosten nach §255 Abs. 2 HGB. Außerdem kann zum Beispiel eine zusätzliche Aufwandsverrechnung bei Anwendung des Lifo-Verfahrens gegenüber der in der vorläufigen Handelsbilanz vorgenommenen Durchschnittsbewertung des Vorratsvermögens enthalten sein.

Es können nun eine Reihe von Restriktionen formuliert werden, die beispielsweise sicherstellen, daß die Bilanzsumme die in §267 Abs. 1 Nr. 1 oder Abs. 2 HGB genannten kritischen Schwellen nicht überschreitet, um die Publizitätspflicht gemäß §316 Abs. 1 HGB zu vermeiden und/oder publizitätsbezogene Erleichterungen zu erlangen. Außerdem ist es möglich, Ziele für bestimmte Positionen anzugeben. Basierend auf diesen Angaben berechnet das Werkzeug von Lachnit/Freidank das Soll-Jahresergebnis entweder als Maximal- oder als vorgegebene Größe mit Hilfe eines gemischt-ganzzahligen Optimierungsmodells. Nach der Optimierung wird ausgewiesen, welche Aktionsparameter in das zieloptimale Jahresergebnis eingehen und in welchem Umfang das Bewertungspotential einzelner Wahlrechte nicht in Anspruch genommen worden ist.

Da die „Simulation“ lediglich im Ausüben von Wahlrechten im Rahmen der gesetzlichen Möglichkeiten besteht, ist das Vorgehen strikt deterministisch und damit den statischen Szenariorechnungen zuzurechnen. Zudem bilden die Daten des Jahresabschlusses, die auf Geschäftsvorfällen der Vergangenheit beruhen, die Informationsgrundlage der „Bilanzsimulation“. Dieser Vergangenheitsbezug hat zur Folge, daß im Rahmen einer für Planungszwecke aussagekräftigen „Bilanzsimulation“ die vergangenheitsbezogenen Daten des Jahresabschlusses sowohl durch unternehmensinterne Daten wie z. B. die Finanzplanung, als auch durch unternehmensexterne gesamtwirtschaftliche, politische und gesellschaftliche Informationen, wie z. B. Branchen- und Konjunkturberichte, ergänzt werden sollte. Erst dann kann ein möglichst realistisches zukünftiges Unternehmensabbild als Ausgangsbasis für nachfolgende gezielte Parametervariationen geschaffen werden [LÜC98].

Vor diesem Hintergrund bieten leistungsfähigere Systeme die Möglichkeit, Planjahresabschlüsse unter Berücksichtigung der erwarteten Umsatzentwicklung, der voraussichtlichen Beschäftigtenzahl, der angestrebten Investitionstätigkeit, des Umfangs und der Struktur der Finanzen sowie der Nachfrageentwicklungen aufzustellen [KPM99]. Beginnend mit der Festlegung des Absatz- und des Produktionsplans werden neben der Höhe der zu erwartenden Umsatzerlöse gleichzeitig betriebliche Teilpläne und die hieraus resultierenden Kosten bestimmt. Insbesondere wird die Art und Menge der zur Produktion erforderlichen Maschinen und Gebäude (Investitionsplan), des benötigten Personals (Personalplan) und des zu beschaffenden Materials (Beschaffungsplan) vorgegeben.

Trotz der umfassenderen Funktionalität basieren auch diese Werkzeuge zur Bilanz- oder Unternehmens-„simulation“ auf einer rein mathematischen Verknüpfung der einzelnen Teilpläne beziehungsweise der darin verwendeten Planungsgrößen. Damit wird beispielsweise die Ausbringung, die der Kostenabschätzung zugrundeliegt, aus dem Produktionsplan entnommen. Gerade wenn in neue Maschinen investiert oder gar ein neues Werk aufgebaut wird, kann jedoch nicht exakt prognostiziert werden, ob der Investitionsplan zur Produktion der geplanten Stückzahlen ausreicht. Diese Information kann erst eine Simulation liefern, die auf den tatsächlichen Materialflußbeziehungen in der Fertigung aufsetzt.

Wie Versuche zu Erweiterung der „Bilanzsimulation“ in Richtung „Unternehmenssimulation“ gezeigt haben, ist es gerade bei komplexen Systemen wichtig, durch ein intuitives Verstehen zu einem besseren Systemverständnis zu gelangen [STE92]. Diese Erkenntnis veranlaßte Wissenschaftler, unter Verwendung ingenieurwissenschaftlicher Ansätze neue Wege der integrativen Behandlung betriebs- und volkswirtschaftlicher Probleme zu konzipieren. So konzipierte Jay W. Forrester [FOR72] das Modellierungssystem Industrial Dynamics, das später aufgrund seiner universellen Anwendbarkeit erst in Urban Dynamics, dann in World Dynamics und schließlich in System Dynamics umbenannt wurde [NAT00].

System Dynamics versteht sich im letzten Stand der Entwicklung als allgemeine Theorie des Verhaltens beliebiger dynamischer komplexer Systeme. Auf der Basis von Regelkreisen werden empirisch erfaßte Gegenstandsbereiche als in sich geschlossene Prozesse kausaler Beziehungen zwischen Systemvariablen quantitativ abgebildet. Die dabei zu berücksichtigenden Feedback Loops machen den spezifischen Charakter von System Dynamics aus.

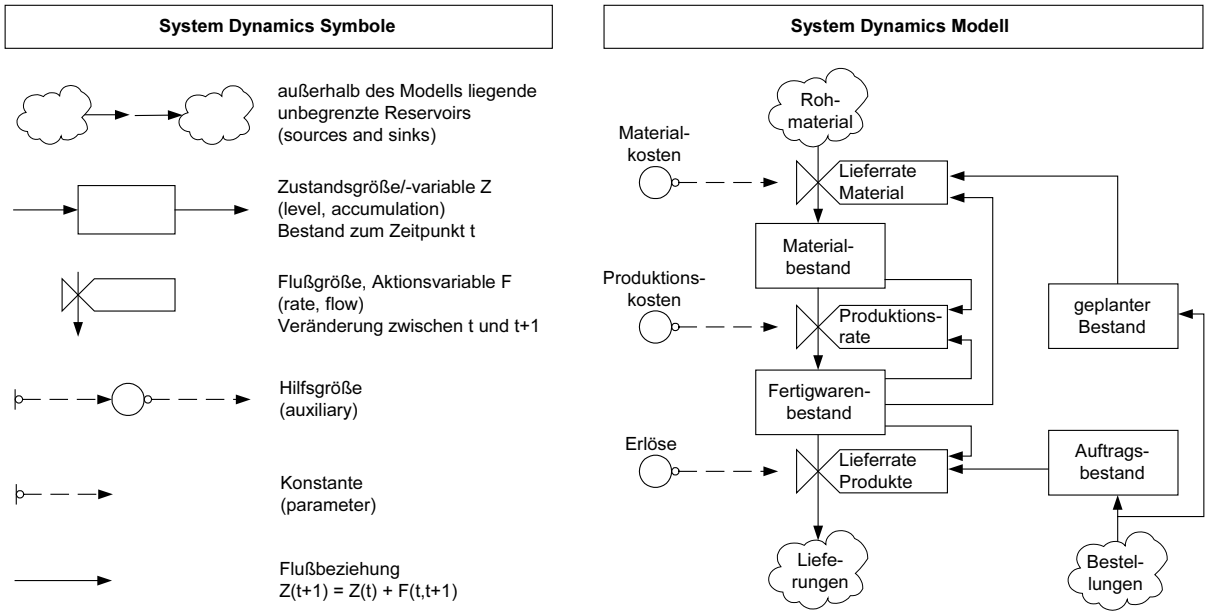


Bild 28: Kostengrößen in der Symbol- und Modellwelt von System Dynamics

Da für die Erfassung von Regelkreissystemen eine graphische Darstellung vorteilhaft ist, schlägt System Dynamics die in Bild 28 zusammengestellten Symbole vor. Zur mathematischen Umsetzung ist es erforderlich, daß jeder Regelkreis mindestens eine Zustands- und eine Flußgröße besitzt. Zusätzlich treten Konstante und Hilfsgrößen auf, die über Hilfsgleichungen die Flüsse steuern und daher formal ein Teil der Flußvariablen sind. Zustandsgrößen werden ausschließlich durch Flußgrößen verändert, was sich mathematisch in einer Differentialgleichung darstellen läßt. Damit ist der Bestand zum Zeitpunkt t die Kumulation aller bis zu diesem Zeitpunkt erfolgten Zu- und Abflüsse. Die Änderung des Bestandes stellt die Differenz der Flüsse zum Zeitpunkt t dar. Im Forrester-Modell wird diese Differentialgleichung diskretisiert und als Differenzengleichung bei konstanten Zeitintervallen angeschrieben.

Die Flußgrößen werden innerhalb des Zeitintervalls als konstant angesehen beziehungsweise mittels Stufenfunktion approximiert. Sie steuern Wirkungen zwischen verschiedenen Zustandsgrößen (Wirkpotentialen) und hängen von Hilfsgrößen (Konstanten, Hilfsvariablen) sowie von endogenen oder exogenen Zustandsgrößen, nicht jedoch unmittelbar von anderen Flußgrößen ab. Folglich müssen Zustandsgrößen und Flußgrößen immer abwechselnd auftreten.

Mathematisch gesehen sind Flußgrößen durchschnittliche Veränderungsgeschwindigkeiten, da die im Zeitintervall ΔT auftretenden Veränderungen summiert und durch ΔT dividiert werden. Mögliche Geschwindigkeitsschwankungen innerhalb von ΔT bleiben unberücksichtigt. Ist die Veränderungsrate, die auf eine Zustandsgröße einwirkt, von dieser selbst abhängig, liegt Rückkopplung vor. Ist die Veränderungsrate abhängig von einer Zustandsgröße, die sie nicht unmittelbar beeinflußt, so liegt lediglich eine Kopplung zwischen unterschiedlichen Systemkomponenten vor.

Soll eine betriebswirtschaftliche Betrachtung mit Hilfe eines System-Dynamics-Modells erfolgen, können die Nominalgüterbestände abstrakt als Zustandsgrößen und die zugehörigen Zahlungsströme als Flußgrößen dargestellt werden. Ebenso ist es auf Realgüterebene möglich, ein Lager als einen Bestand an beweglichen materiellen Gütern als Zustandsgröße mit den zugehörigen Zu- und Abgangsbewegungen als Flußgröße nachzubilden. Dazu existieren rechnergestützte Werkzeuge, die eine graphische Modellerstellung ermöglichen und aus der quantitativen Modellbeschreibung automatisch das zugehörige System der Differenzengleichungen ableiten. Da mathematisch-analytische (Optimal-)Lösungen nicht beziehungsweise nur mit hohem Aufwand an fortgeschrittener Mathematik näherungsweise möglich sind, werden die Variablenbeziehungen im Zeitintervall ΔT ausgewertet. Über die Zeit ist es dann möglich, das Verhalten des abgebildeten Systems nachzuvollziehen.

Abgesehen davon, daß unter Umständen sehr kleine Zeitintervalle notwendig sind, weil während des Ablaufs des Zeitintervalls ΔT keine Wechselwirkungen zwischen den Systemgrößen bestehen, sondern vielmehr die Auswirkungen immer erst im nachfolgenden Zeitpunkt registriert werden, weist die rein mathematische Darstellung der Flußbeziehungen zwei weitere Nachteile auf. So sind weder stochastische Einflüsse noch Aktivitätssequenzen (z. B. Rüsten -> Bearbeiten) beziehungsweise Zustände abbildbar. In der Folge werden Bestandsgrößen durch die Flußbeziehungen einfach gemäß der mathematischen Beziehung in Anspruch genommen, ohne Rücksicht darauf zu nehmen, ob eine Ressource verfügbar oder anderweitig belegt ist.

Von daher eignen sich System-Dynamics-Modelle nicht zur Abbildung diskreter Abläufe, wie sie in Produktionssystemen der Stückgutproduktion typisch sind. Diese Aussage wird indirekt auch dadurch bestätigt, daß Forrester-Modelle hauptsächlich zur Untersuchung des Verhaltens hochkomplexer Systeme - wie zum Beispiel in der bekanntesten Form der Weltmodelle [MEA93, BEN98] - verwendet werden und weniger im Produktionsbereich ihre Anwendung finden.

4.2 Ausgewählte kostenintegrierende Modellierungs- und Analysewerkzeuge

In den bisher vorgestellten Ansätzen wurde die ambige Verwendung des Begriffs „Kostensimulation“ deutlich. So waren Kosten in irgendeiner Form enthalten und änderten sich in Abhängigkeit einer Einflußgröße. Jedoch ist ebenso deutlich nachgewiesen worden, daß der Kostenbetrachtung keine Simulation im Sinne der VDI-Richtlinie zugrundeliegt. Denn dazu wäre es nötig gewesen, die bewertungsrelevanten Daten aus den realistisch abgebildeten Abläufen im Produktionssystem und nicht aus mathematischen Beziehungen abzuleiten. Diesem Anspruch, den zu betrachtenden Bewertungsgegenstand mit den von ihn beeinflußten Kosten zu modellieren, wollen die kostenorientierten Betriebskennlinien von Wiendahl [WIE96], das Prozeßmodellierungswerkzeug ARIS von der IDS Prof. Scheer AG [SCHE01] sowie der Prozeßmanager von Horváth und Partner [FIN98] gerecht werden.

4.2.1 Kostenorientierte Erweiterungen des Betriebskennlinienmodells

Die Betriebskennlinien basieren auf der Grundlage des Trichtermodells von Wiendahl [WIE87]. Dieses geht in Analogie zur Abbildung verfahrenstechnischer Fließprozesse davon aus, daß sich jede beliebige Kapazitätseinheit im Produktionsbereich - egal, ob es sich um einen Arbeitsplatz, eine Arbeitsplatzgruppe, einen Betriebsbereich oder die gesamte Produktion handelt - als ein Trichter auffassen läßt. An jedem Trichter kommen Aufträge an, warten auf ihre Abfertigung und verlassen das System.

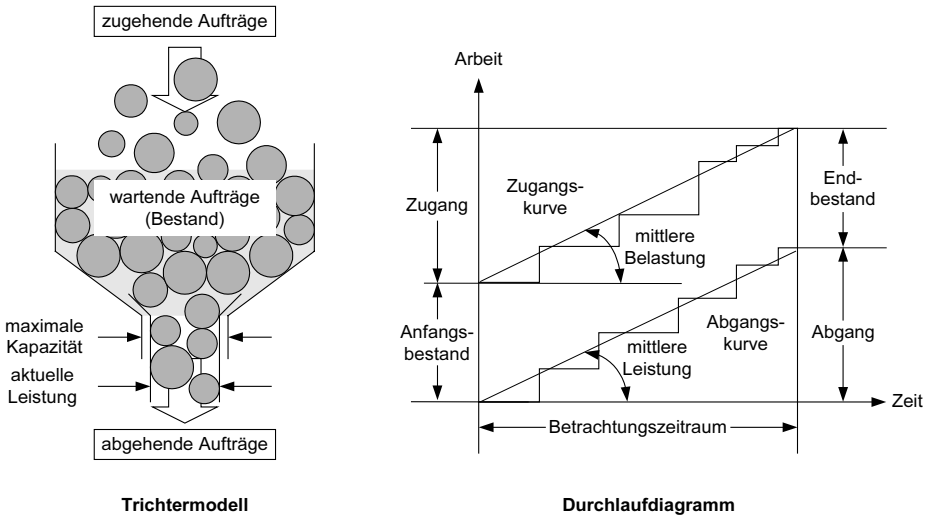


Bild 29: Das Trichtermodell als Ausgangspunkt für eine Betriebskennlinie

Im Zeitablauf läßt sich das Ergebnis in Kurven ablesen. Die Zugangskurve entsteht dadurch, daß zunächst der Bestand festgestellt wird, der sich zu Beginn des Untersuchungszeitraums in diesem Arbeitssystem befindet. Von diesem Punkt ausgehend erfolgt die Addition des in Stunden ausgedrückten Arbeitsinhaltes der zugehenden Aufträge. Analog dazu entsteht die Abgangskurve. Aus der Differenz der beiden Kurven ergibt sich zu jedem Zeitpunkt ein bestimmter Bestand.

Für die numerische Berechnung empfiehlt sich aufgrund des diskontinuierlichen Zugangs- und Abgangsverlaufs allerdings eine periodenweise Berechnung von Mittelwerten [HOL87]. Typisch sind hierbei Periodenlängen von einer Woche. Eine genaue Herleitung mit Beispielen findet sich in [WIE87]. Mit dem Trichtermodell und dem Durchlaufdiagramm lassen sich alle zeitabhängigen Abläufe von Objekten durch Ressourcen visualisieren, wenn für das betrachtete System eindeutige Systemgrenzen definiert werden können sowie Eingangs- und Ausgangsgrößen in zeitlich gerichteter Form existieren.

Um das Verhalten von Produktionssystemen und die Wirkungszusammenhänge zwischen den logistischen Zielgrößen vollständig zu beschreiben, reicht eine Auswertung eines Fertigungsablaufs nicht aus. Vielmehr hat es sich als sinnvoll erwiesen, die Ergebnisse verschiedener stationärer Zustände zu sogenannten Betriebskennlinien zu verdichten und somit die Abhängigkeit der Zielgrößen von Parameterveränderungen aufzuzeigen, wobei der Bestand den unabhängig eingestellten, primären Parameter darstellt [NYH91, WIE93, NYH94]. Damit lassen sich die logistischen Kenngrößen als Funktion des Bestandes darstellen, wodurch eine aktive logistische Positionierung im Spannungsfeld der logistischen Zielgrößen unterstützt wird.

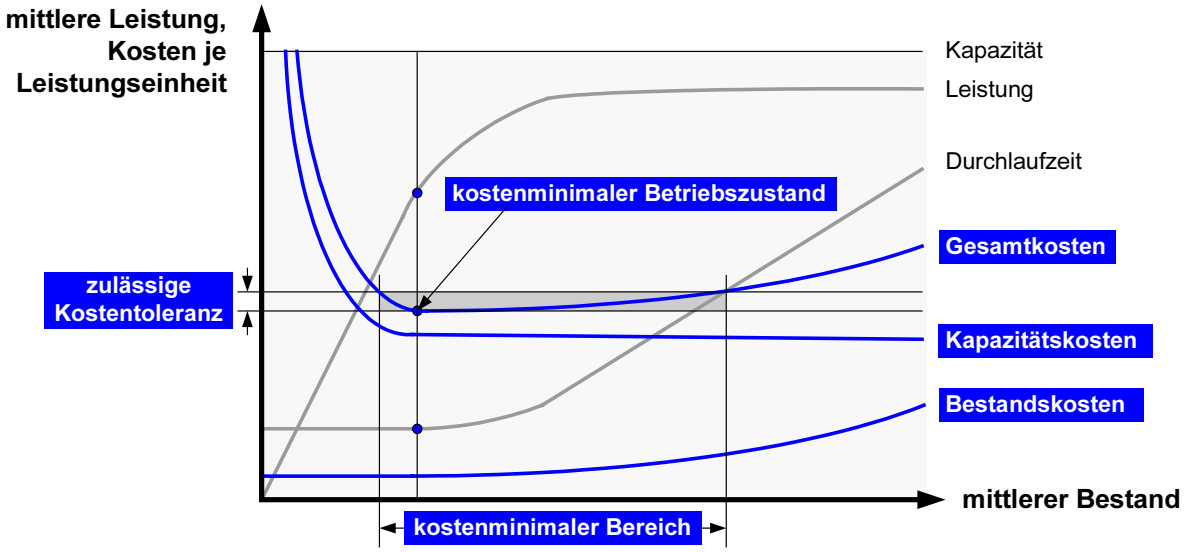


Bild 30: Um Kostenkennlinien erweiterte Betriebskennlinien

Da die Gestaltung und Lenkung von Produktionssystemen auch an betriebswirtschaftlichen Größen ausgerichtet werden muß, haben Nyhuis und Wiendahl einen Ansatz zur Ergänzung der Betriebskennlinien um Kostenkennlinien entwickelt [WIE96]. Hierfür müssen zunächst die Kapazitätskosten ermittelt und über dem Bestand aufgetragen werden. Diese setzen sich aus variablen (bestandsabhängigen) und fixen (bestandsunabhängigen) Anteilen zusammen. Werden die Kapazitätskosten auf eine Leistungseinheit bezogen, so ergibt sich ein Kostenverlauf, der bis zum Sättigungsbereich der Leistungskennlinie abfällt und anschließend konstant bleibt. Nach einer Addition der Bestandskosten resultiert dann die Gesamtkostenkurve, die ein eindeutiges Minimum aufweisen muß.

Das Minimum der Gesamtkostenkurve ist umso stärker ausgeprägt, je größer der Anteil der Umlaufkosten an den Gesamtkosten ist. In diesem Fall ist die Berücksichtigung des Kostenverlaufs bei der Positionierung von größerer Bedeutung. Bei sehr kapazitätskostenintensiven Anlagen hingegen reagieren die Kosten insbesondere bei Auslastungsverlusten. Da die Bestandskosten von untergeordneter Bedeutung sind, muß sich die logistische Positionierung in diesen Fällen eher an anderen Kriterien orientieren.

Aus der Beschreibung wird bereits eingangs deutlich, daß die Kennlinientheorie auf die Ressourcensicht beschränkt und eine Abbildung von Prozeßketten beziehungsweise Aktivitätsfolgen nicht möglich ist. Damit sind auch keine Konkurrenzsituationen von Prozessen um Ressourcen abbildbar. Weiterhin können lediglich Mittelwerte, aber keine Einzelereignisse beschrieben werden, da die Theorie der Betriebskennlinien wegen der Periodisierung und der Linienapproximation einen statistischen Ansatz darstellt.

Betriebswirtschaftlich kritisch ist zudem das Kostenmodell zu sehen, das lediglich zwischen bestandsabhängigen und bestandsunabhängigen Kosten unterscheidet. Damit fehlt eine Bewertung der prozeßorientierten Größen wie zum Beispiel der Durchlaufzeit völlig. Außerdem wird nicht ausgeführt, welche Kostenbestandteile konkret in die berücksichtigten Kosten eingehen. Darüber hinaus können die Kosten wegen des statistischen Charakters der Ausgangsgrößen auch wieder nur Durchschnittswerte - und zwar gemittelt über alle Kostenträger - darstellen.

Insgesamt steht die generelle Natur der Betriebskennlinien, die erst eine Ableitung wichtiger allgemeingültiger Aussagen zur Wechselwirkung logistischer Kenngrößen ermöglichte und damit auch ihre erfolgreiche Verbreitung in der betrieblichen Praxis unterstützte, einer detaillierten Kostenbetrachtung im Wege. Da im Fall der Kostenkennlinien zur bisherigen alleinigen Stellgröße Bestand noch die betriebsspezifische Bestandsbewertung notwendig ist, sind wegen der daraus resultierenden Unterschiede in der Kostensituation vergleichbare allgemeingültige Aussagen nicht möglich. Darin dürfte auch der Hauptgrund dafür zu sehen sein, daß die kostenorientierten Betriebskennlinien bis heute nicht aus dem Entwicklungsstadium herausgekommen sind.

Da Kostenbewertungen immer betriebsspezifische Aussagen liefern sollen, stellt sich die Frage, ob es nicht sinnvoller ist, auf Ansätze zur Prozeßmodellierung eine nach Ressourcen und Prozessen getrennte Kostenbetrachtung aufzusetzen. Nachdem jeder Prozeß aus Aktivitäten besteht, die an Ressourcen durchgeführt werden, sind zumindest potentiell alle entscheidungsrelevanten Ressourcen und Prozesse des Produktionssystems in das Modell integriert. Die anschließende Untersuchung des Prozeßmodellierungswerkzeuges ARIS von der IDS Prof. Scheer AG [SCHE01] sowie des Prozeßmanagers von Horváth und Partner [FIN98] wird zeigen, inwiefern mit Hilfe dieser Werkzeuge eine nach Prozessen und Ressourcen differenzierte Kostenabbildung möglich ist.

4.2.2 Das Prozeßmodellierungswerkzeug ARIS von der IDS Prof. Scheer AG

ARIS (Architektur integrierter Informationssysteme) ist durch seine Fähigkeit, als eine der ersten Anwendungen SAP-Prozesse modellieren zu können, zum unangefochtenen Marktführer bei den Modellierungswerkzeugen geworden [BAC95]. Die Konzeption von ARIS basiert auf einem Integrationskonzept, das aus einer integrierenden Betrachtung von Unternehmensprozessen aus der Daten-, Prozeß-, Funktions- und Organisationssicht abgeleitet wird [SCHE01].

Zur Modellierung der zeitlich-logischen Abfolge von Funktionen wurde die ereignisgesteuerte Prozeßkette [EPK] entwickelt [SCH91]. Sie baut auf den theoretischen Grundlagen der Petri-Netze auf. In EPKs werden die Prozesse als Abfolge von Funktionen dargestellt. Die Funktionen werden durch Ereignisse miteinander verknüpft, die Ergebnisse von Zustandsänderungen von Informationsobjekten wie Dokumenten repräsentieren. Zustandsänderungen können Funktionen auslösen, aber auch Ergebnisse von solchen sein. Aus diesem Grund werden sie als auslösende (Start-)Ereignisse bzw. als erzeugte (End-)Ereignisse bezeichnet. Es entsteht eine komplexe Abfolge, wenn ein erzeugtes Ereignis einer Funktion gleichzeitig auch ein auslösendes Ereignis einer anderen Funktion ist. Wegen des Fehlens von Bezügen zur Organisations- und Datensicht wurde EPK um diese Bezüge zu erweiterten ereignisgesteuerten Prozeßketten (eEPK) weiterentwickelt. Dabei wurden der EPK die Verknüpfungen von Funktionen mit ihren ausführenden Organisationseinheiten und den Informationsobjekten, mit denen sie in einer Input- bzw. Output-Beziehung stehen, hinzugefügt. Damit genügt die Modellierungsmethode eEPK nun für die meisten praktischen Anwendungen der Geschäftsprozeßmodellierung.

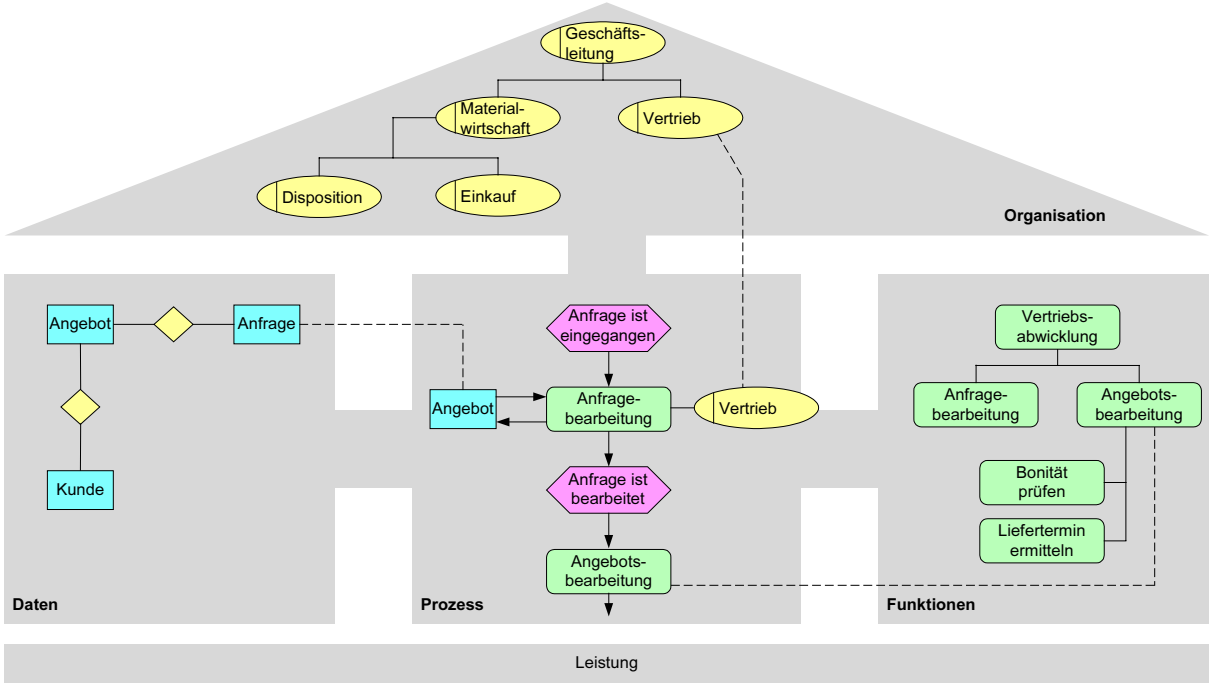


Bild 31: Das ARIS-Modell mit der erweiterten ereignisgesteuerten Prozeßkette in der Gesamtübersicht

Zur monetären Bewertung der in ARIS modellierten Geschäftsprozesse wurde das Prozeßmanagement-Werkzeug ARIS-Promt entwickelt [BER95]. In ARIS-Promt erfolgt die Abbildung der Prozeßhierarchie in zwei korrespondierenden Partialmodellen. Zum einen wird ein an der Aufbauorganisation orientiertes Kostenstellenmodell entwickelt, zum anderen können die Teilprozesse auf Basis der ablaufbezogenen Modelle (eEPK) zu Hauptprozessen zusammengefaßt werden.

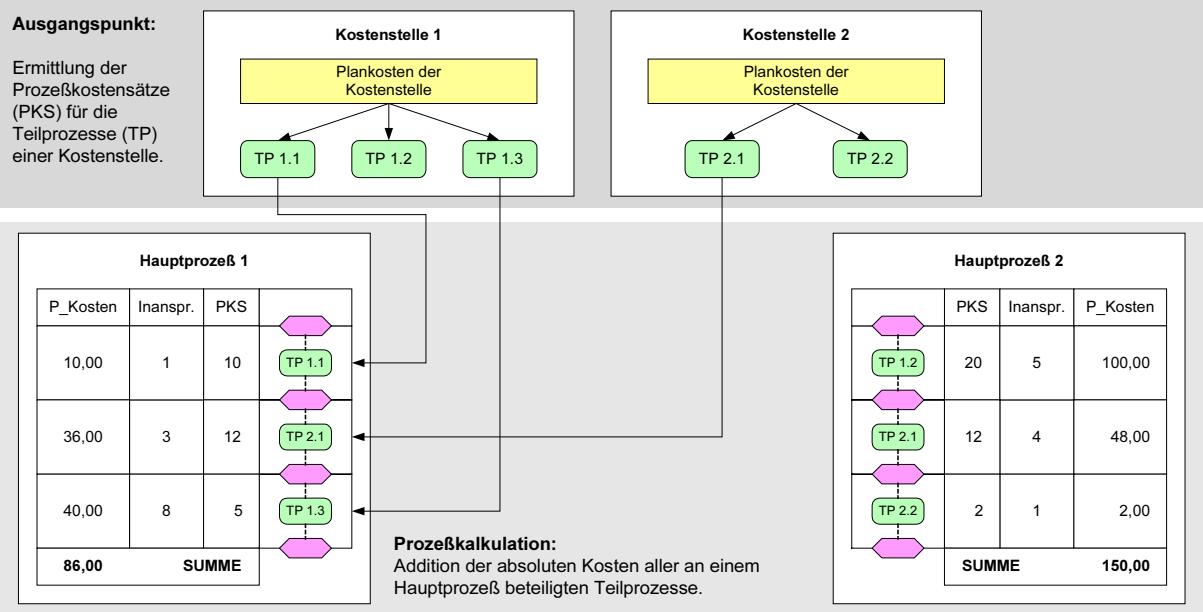


Bild 32: Schema einer Kostenhinterlegung in ARIS-Promt

Als Ausgangspunkt der Kostenverrechnung müssen die (Plan-)Kosten der Kostenstellen bekannt sein. Dabei geht ARIS-Promt davon aus, daß die Kosten einer Kostenstelle durch Disposition fest vorgegeben sind, so zum Beispiel durch die Einstellung eines Mitarbeiters oder durch die Beschaffung von Ressourcen. Weiterhin ist mit Hilfe sogenannter Einsatzfaktoren anzugeben, wie oft die einzelnen Teilprozesse für die Abwicklung eines Hauptprozesses benötigt werden. Die absoluten Kosten eines Teilprozesses berechnen sich dann als Produkt aus Prozeßkostensatz und Einsatzfaktor. Die Summe aller Teilprozeßkosten ergibt schließlich die Prozeßkosten des Hauptprozesses.

Um die Geschäftsprozesse nicht nur zu modellieren, sondern auch zu simulieren, ist ARIS-SIMPLE++ [BRE98] entwickelt worden. Die Modellierung und somit die Datenaufnahme findet in ARIS statt. Für die im Hintergrund ablaufende Simulation in SIMPLE++ wird der Datenaustausch mittels Sockets vollzogen. Im Anschluß an die Simulation werden die Auswertungen wieder nach ARIS übertragen und dort dargestellt. Wurde zuvor eine Prozeßkostenrechnung mit ARIS-Promt realisiert, so liegen für jeden Teilprozeß bzw. für jede Funktion die Kosten für die einmalige Ausführung vor. Diese Prozeßkostensätze können direkt in die Simulation übernommen und den Teilprozessen des Simulationsmodells hinterlegt werden. Wird ein Teilprozeß von einer Prozeßmarke durchlaufen, so werden die Kosten dem jeweiligen Simulationslauf zugerechnet.

An dieser Stelle wird schon am Begriff „Prozeßmarke“ deutlich, daß die aus den Objekten der eEPK modellierten Prozesse lediglich ein Schema für die Prozeßausführung und die damit einhergehenden Informationsflüsse darstellen. Darauf basierend ist zwar die Abbildung der inner- und zwischenbetrieblichen Informationsflüsse problemlos möglich. Jedoch kann der Materialfluß aufgrund der fehlenden Mengensicht nur indirekt - nämlich in Form unbearbeiteter Dokumente - abgebildet werden. Damit erfolgt die Generierung der Simulationsmodelle lediglich aus Prozeßabläufen, ohne die Anzahl und Reihenfolge der Prozeßdurchführung beziehungsweise die Auftragslast zu berücksichtigen.

Folglich fehlt der in einem Produktionssystem wichtige Bezug zum Objekt, d. h. zu den einzelnen durch die Fertigung bewegten Werkstücken oder Transportmitteln. So können keine Aussagen darüber getroffen werden, welche Bestände an Teilen oder Ladungsträgern sich zu bestimmten Simulationszeitpunkten an den einzelnen Materialflußstationen befinden und wie die Lager- und Transportkapazitäten dabei ausgelastet sind. Ebenso wenig ist es möglich, die Situation abzubilden, daß Prozesse um Ressourcen konkurrieren, da jedem Prozeß die benötigte Ressource in der angegebenen Nutzungseinheit zur Verfügung steht und demzufolge keine Engpässe existieren. Letztendlich kann mit ARIS-SIMPLE++ also noch nicht einmal ermittelt werden, ob die Versorgung des Abnehmers durch die jeweilige Prozeßvariante überhaupt hinreichend sichergestellt wird.

In der betriebswirtschaftlichen Betrachtung können mit ARIS-SIMPLE++ nur vorgangsorientierte Kosten bestimmt werden. Bestandskosten oder Flächenbelegungskosten sind aufgrund der fehlenden Mengenbetrachtung ebenso wenig kalkulierbar wie die im Zusammenhang mit einer dynamischen Betrachtung von Produktionssystemen nicht unbedeutenden Kosten für die Bewertung von Maßnahmen zur Sicherstellung der Materialversorgung oder die Kosten infolge einer Unterauslastung bestimmter Ressourcen. Damit ist ARIS-SIMPLE++ für eine Optimierung von Produktionssystemen hinsichtlich logistischer Fragestellungen, wie die Bestimmung optimaler Losgrößen, erforderlicher Lagerkapazitäten oder für eine Ermittlung des Bedarfs an Transportmitteln nicht geeignet.

Für alle Fragestellungen, die eine betriebswirtschaftliche Bewertung unterschiedlicher Gestaltungsalternativen im Produktionsbereich erfordern, kann ARIS-SIMPLE++ also aufgrund der unzureichenden Materialflußorientierung nicht die entscheidungsrelevanten Ergebnisse bereitstellen. In diesem Bereich kann es sinnvoll nur zur Visualisierung der abgebildeten Prozesse und zur Ermittlung durchschnittlicher Durchlaufzeiten im gesamten Prozeßgeflecht eines Unternehmens eingesetzt werden. Zur Analyse anderer Unternehmensbereiche ohne Materialflußorientierung und vor allem zur Modellierung und Dokumentation von Unternehmensprozessen sind die ARIS-Module durch die integrierte Sichtweise von Daten, Prozessen, Funktionen, Organisationsstrukturen und Kostensätzen durchaus geeignet, wie deren Verbreitung in der Praxis zeigt.

4.2.3 Der Prozeßmanager von Horváth und Partner

Nach der Eigenbeschreibung ist der Prozessmanager von Horváth und Partner die marktführende Software für die Prozeßkostenrechnung und das Prozeßmanagement [FIN98]. Er unterstützt die Analyse, Bewertung und Reorganisation von Geschäftsprozessen sowie das laufende Controlling aller Aktivitäten im Unternehmen mit Prozeßkostenrechnung, Prozeßdokumentation und Prozeßkosten-Simulationen für die prozeßorientierte Planung und Steuerung der Gemeinkosten.

Dazu werden die Gemeinkostenbereiche in sachlich zusammengehörende, kostenstellenübergreifende Prozeßketten aufgegliedert. Ziel ist es, Gemeinkostenbereiche transparenter zu gestalten, Kosteneffizienz zu erreichen, verursachungsgerecht zu kalkulieren sowie unternehmerische Fehlentscheidungen zum Beispiel in den Bereichen Make or Buy zu vermeiden. Hierzu bedient sich der Prozeßmanager eines abgestuften Vorgehens, das eine Ähnlichkeit zu ARIS-Promt besitzt und die drei Hauptschritte Cost-Driver-Analyse, Prozeßanalyse sowie Hauptprozeßverdichtung umfaßt.

Im Vergleich zu ARIS liegen die Leistungsmerkmale jedoch weniger in der umfänglichen Modellierung oder Dokumentation, sondern vielmehr in einer vollständigen Verrechnung von Gemeinkosten. Diese vollständige Verrechnung ist notwendig, weil die einfache Aufsummierung von Kosten, wie sie in einem ersten, einfachen Ansatz von den meisten Modellierern ermöglicht wird, keine korrekte Kostenbestimmung erlaubt und vor allem keine Integration in vorhandene Kostenrechnungssysteme mit ihren Kostenstellen und Kalkulationsobjekten. Durch diese Integration wird erst der Zusammenhang zwischen Prozeßmanagement und Kostenmanagement ermöglicht. Und erst durch die Integration des Prozeßmanagements in das Controlling mit Hilfe des Prozeßcontrolling werden einmal beschlossene Optimierungsmaßnahmen im Sinne eines Maßnahmencontrolling nachvollziehbar.

Mit der Fähigkeit, eine Prozeßkostenrechnung über die zertifizierte Schnittstelle zum Controlling-Modul SAP R/3 CO als integrierten Bestandteile aufzusetzen, liegt die Stärke des Prozeßmanagers eindeutig im operativen Bereich. Demgegenüber kann das Versprechen, die Prozeßgestaltung mit Simulationsfunktionen zu unterstützen, die eine Untersuchung der Änderungen von Prozeßmengen oder der Auswirkungen von Prozeßoptimierungen ermöglichen, wiederum nicht im Sinne des dynamischen Simulationsbegriffes erfüllt werden. In der Begriffswelt des Prozeßmanagers bedeutet Simulation nämlich lediglich, die definierte Prozeßstruktur mit neuen Werten noch einmal durchzurechnen. Auf dieser Basis kann dann zum Beispiel ermittelt werden, welche Kosten eine Auftragsabwicklung verursacht oder welches Einsparungspotential sich durch eine Reduzierung der Prozeßmenge „Reklamationsbearbeitung“ realisieren läßt. Die Berechnung von Durchlaufzeiten oder die Berücksichtigung einer Konkurrenzsituation von Prozessen um Ressourcen ist dagegen mit den im letzten Punkt unter ARIS beschriebenen weiteren Nachteilen nicht möglich.

4.3 Bisherige Ansätze zur Erweiterung der Systemsimulation um Kostengrößen

Da weder die traditionellen Bewertungsverfahren noch die marktgängigen Modellierungs- und Analysewerkzeuge der Anforderung gerecht wurden, die Produktionsprozesse mit ihrer Dynamik im Sinne der VDI-Richtlinie 3633 als Basis für der Kostenermittlung zu verwenden, arbeiten seit 1994 [FAZ96] eine Reihe von Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Deutschland an der Entwicklung von simulationsgestützten Kostenrechnungssystemen. Um den zunehmenden Aktivitäten in diesem Bereich Rechnung zu tragen, wurde zudem 1996 im Verein Deutscher Ingenieure ein Arbeitskreis „Kostensimulation“ eingerichtet.

Entwickler	Simulator	Kostenrechnungsverfahren
Universität Passau	OSIRIS	Prozeßkostenrechnung [KLU94]
WZL, Aachen	GISA	„Ressourcenverfahren“ auf Prozeßkostenbasis [EVE94a, SCHU95]
FhG IML, Dortmund	LogiChain	Modifizierte Prozeßkostenrechnung [MAN95]
Promatis, Uni Koblenz	INCOME	Datenrucksack [SCHÖ95]
FhG IML, Dortmund	Create!	Werteflußbetrachtungen auf Prozeßkostenbasis [RÜG95]
Universität Osnabrück	WITNESS	eigenes System der Kostenrechnung [WIT96]
FhG TEG, Stuttgart	Simple++	Prozeßkostenrechnung [HAP96, SCH96]
Pritsker Corp., USA	FACTOR/AIM	Activity Based Costing [FAC97]
iwb, Augsburg	WITNESS	eigenes System der Kostenrechnung [LOR97]
IBM, TU Clausthal	AMS	Prozeßkostenrechnung [HAN97]
Siemens, München	FASIM	Prozeßkostenrechnung [NAG98]
Deneb Robotics, USA	QUEST	Activity Based Costing [DEN98]

Bild 33: Übersicht der bisher entwickelten simulationsbasierten Kostenrechnungsmodule

Die derzeit bestehenden simulationsgestützten Kostenrechnungssysteme lassen sich je nachdem, ob die Kostenrechnung im Simulationsmodell oder im Nachhinein durchgeführt wird, in die zwei Grundformen integrierte (in-line) oder nachgeschaltete (off-line) Systeme unterscheiden. Während die meisten Simulationsprogramme, die Kostenrechnungselemente enthalten, der ersten Form entsprechen, sind nachgeschaltete Systeme bisher kaum entwickelt worden.

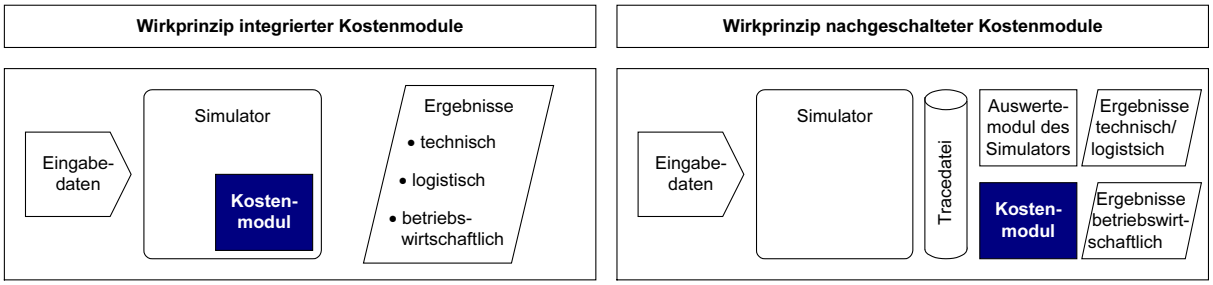


Bild 34: Wirkprinzipien integrierter und nachgeschalteter Kostenmodule

4.3.1 Integrierte Kostensimulationsmodule

Integrierte Kostensimulationsmodule sind Bausteine des Ablaufsimulators, die bereits zum Zeitpunkt der Simulation aktiv werden. Das bedeutet, daß während des Ablaufs einer Simulation permanent das Ermitteln, Verrechnen und Auswerten der Kostendaten stattfindet. Dadurch wird neben einer permanenten Kostentransparenz zum Ablaufzeitpunkt (monitoring) auch eine situative, kostenrelevante Entscheidungsfindung innerhalb des Simulationslaufes ermöglicht. So ist beispielsweise eine Auftragsreihenfolgeentscheidung nach dem Auflauf der bisherigen Wertschöpfung der einzelnen Aufträge möglich. Der große Nachteil dieser Systeme besteht darin, daß die häufig mehrere Stunden dauernden Simulationsläufe in der Regel einmal zur Ermittlung der Kostensätze und ein weiteres Mal zur Umlage der Kosten durchgeführt werden müssen.

Bei der integrierten Kostensimulation muß jedes Element des Simulationsmodells um kostenspezifische Parameter ausgeweitet werden. So gilt es, die Kosten der abgebildeten Ressourcen über Kostensätze auf die beweglichen Elemente umzulegen, die durch das System wandernde Produkte repräsentieren.

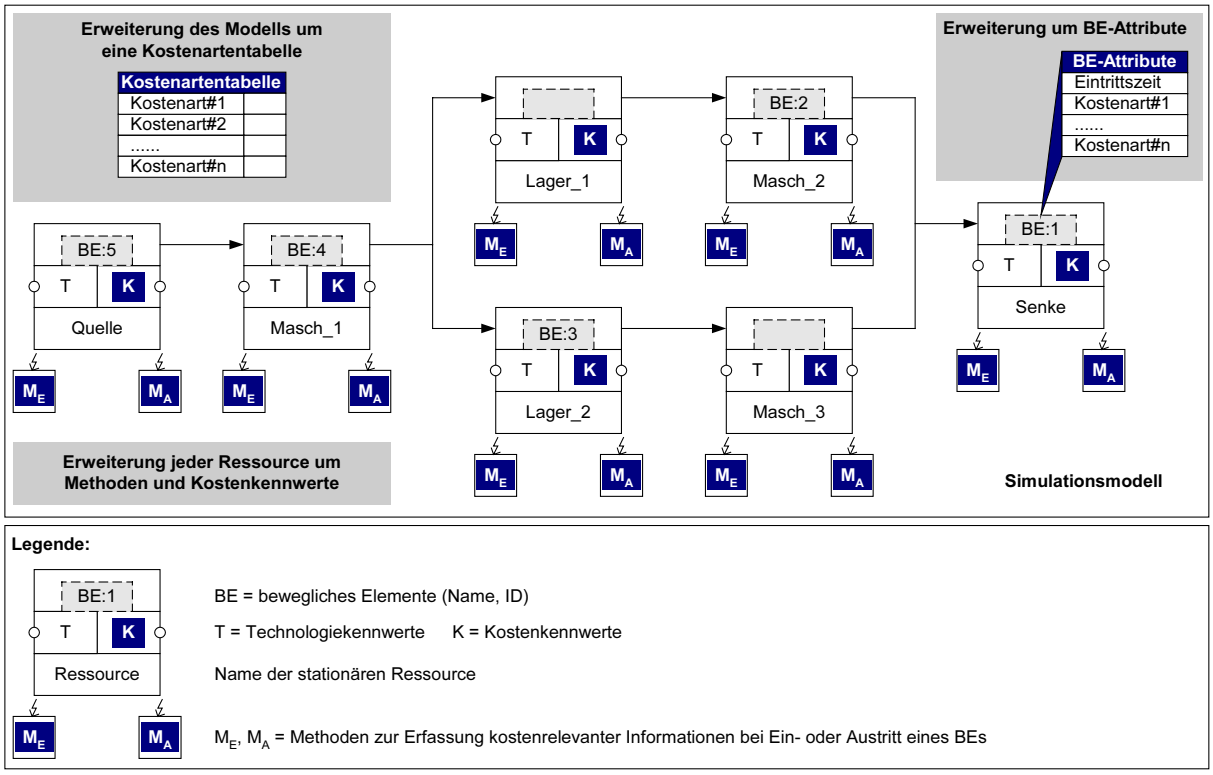


Bild 35: Modellierungsaufwand zur Erweiterung des Simulationsmodells um kostenspezifische Objekte

Dabei wird meist das Rucksackprinzip angewandt. Es sieht vor, daß die beweglichen Elemente als Kostenträger um ein Zeitattribut und so viele Kostenattribute ergänzt werden, wie Kostenarten zu berücksichtigen sind. Bei Eintritt eines beweglichen Elements in eine Ressource setzt eine Eintrittsmethode das Zeitattribut mit der Eintrittszeit gleich.

Das Zeitattribut des Kostenträgers wird dann beim Austritt des beweglichen Elementes von einer weiteren Methode ausgelesen und von der aktuellen Simulationszeit subtrahiert. Die daraus resultierende Verweilzeit wird nun mit dem Stundensatz der Ressource multipliziert und nach den in der Austrittsmethode implementierten Regeln dem entsprechenden Kostenartenattribut zugewiesen. Zu jedem Zeitpunkt ist es dann möglich, aus den Kostenarten eines beweglichen Elements die aufgelaufenen Kosten zu ermitteln. Zusätzlich kann das Rucksackprinzip um Konten für jede Kostenart ergänzt werden, die in den Kostenstellen oder allgemein auf der höchsten Hierarchiestufe analog einem Betriebsabrechnungsbogen auszufüllen sind. Neben der Attributszuweisung beim Rucksackverfahren ist zusätzlich ein Eintrag in die Kostenartentabelle notwendig. Damit können zu jedem Zeitpunkt die bisher aufgelaufenen (Gesamt-)Kosten nach Kostenarten getrennt ausgewiesen werden. Sind die Kostenartentabellen auf Ebene der Kostenstellen angesiedelt, ist außerdem eine Kostenstellenrechnung möglich.

Zur Erfassung der Ressourcenkosten verfügen einige Simulationssysteme wie GISA [EVE94a] oder OSIRIS [KLU94] über menügesteuerte Kalkulationsblätter, die alle gängigen Einflußgrößen des Ressourcensatzes in nach Ressourcen differenzierten Eingabemasken abfragen. So unterscheidet Eversheim [EVE94a] in dem auf die Produktkostenkalkulation ausgelegten System GISA die Ressourcen Maschine, Transport, Lager, NC und allgemeines Personal. Der allgemeinere Ansatz von Schmitt [KLU94] zur simulationsbasierten Kostenrechnung trennt dagegen nur zwischen Maschinen, Werker und Transporteinrichtungen.

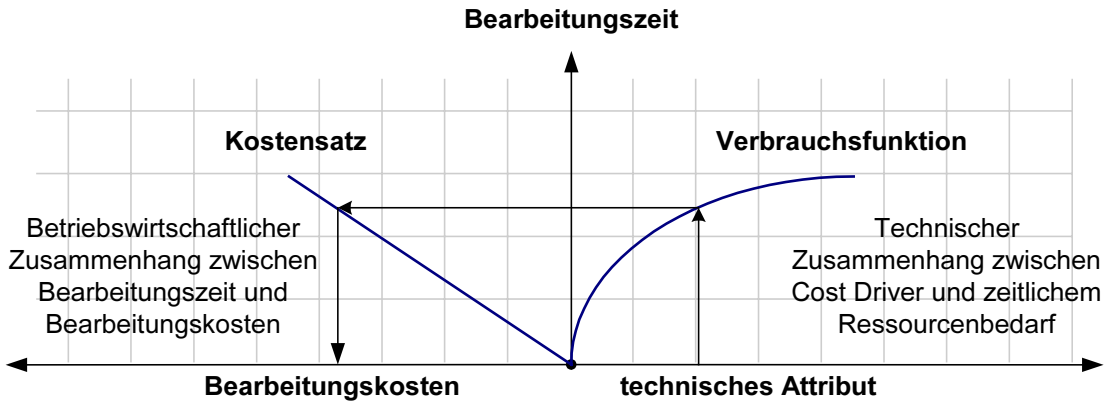


Bild 36: Zusammenhang zwischen technischer Ressourcennutzung und Kosten

In sehr detaillierteren Ansätzen [SCHU95] wird pro Ressource und pro Produkt ein Nomogramm angelegt. In seinem rechten Teil wird der funktionale (technische) Zusammenhang zwischen Cost Driver und Ressourcenbedarf abgebildet. Dabei sind nicht nur lineare Abhängigkeiten zugelassen, sondern prinzipiell beliebige Funktionstypen - wie beispielsweise die Zeitfunktionen von Eversheim - möglich. Im linken Teil des Nomogramms (Kostenfunktion) wird der ermittelte Ressourcenverzehr mit dem entsprechenden Kostensatz der Ressource multipliziert. Auch dabei sind verschiedene Funktionstypen denkbar.

Neben dem vorgestellten direkten Einbezug von Kostengrößen in das Simulationsmodell unterscheiden sich die Systeme der integrierten und der nachgeschalteten Kostenbetrachtung vor allem dadurch, daß einige der integrierten Kostensimulationsmodule die zu Beginn der Simulation vom Benutzer hinterlegten Ressourcenstundensätze nicht konstant lassen, sondern in Abhängigkeit der aktuellen Auslastung bei jedem Ereigniseintritt neu berechnen. Wegen des Bezugs zur aktuellen Auslastung statt - wie bisher üblich - zur geplanten oder geschätzten Auslastung wird in diesem methodischen Unterschied häufig ein großer Vorteil der integrierten Kostenbetrachtung gesehen [KLU94, LOR97].

Die Befürworter der dynamischen Maschinenstundensatzrechnung argumentieren, daß sich wegen einer sich ständig ändernden Auslastung auch der Maschinenstundensatz ständig ändern muß, um das dynamische Geschehen im Produktionssystem kostenrechnerisch exakt abbilden zu können. Dabei verkennen sie aber, daß Kosten als der betrieblich bedingte Güterverzehr definiert sind und dieser Güterverzehr bei gleicher Ressourceninanspruchnahme unabhängig von der Auslastung in der Vergangenheit ist. Wird die Äquivalenz von Leistungsinanspruchnahme und Kostenzurechnung durch ein von der aktuellen Auslastung abhängiges Verrechnungsverfahren ersetzt, resultieren folglich auch leistungsunabhängige Werte.

In Kombination mit einem weiteren als Vorteil dargestellten Merkmal der integrierten Kostenbetrachtung - nämlich der Berücksichtigung kostenabhängiger Fertigungsstrategien zur Laufzeit - birgen dynamische Maschinenstundensätze zusätzlich die Gefahr einer Fehlsteuerung der Materialflüsse im Produktionssystem in sich. Soll zur Kostenminimierung von mehreren zur Auswahl stehenden Ressourcen die Ressource mit dem niedrigsten Stundensatz angesteuert werden, steigt die Auslastung dieser Ressource ständig an, wohingegen die der alternativen Ressourcen zunehmend fällt. In der Folge differieren die Stundensätze immer stärker, bis sich schließlich die Aufträge vor der Ressource mit dem niedrigsten Stundensatz stauen und die Ressourcen mit den höchsten Stundensätzen leerstehen, woraus eine negative Entwicklung aller produktionswirtschaftlichen Zielgrößen resultiert. Deshalb ist es sinnvoller, zunächst in einem Simulationslauf ohne Kostenbetrachtung die Auslastung aller Ressourcen zu ermitteln und diese zur Berechnung der Ressourcenstundensätze zu verwenden, die dann in einem zweiten Simulationslauf zur kostenmäßigen Bewertung der Ressourceninanspruchnahme dienen.

Insgesamt steht dem Vorteil der sofortigen Kostenbetrachtung ein deutlich höherer Aufwand bei der Modellierung und der Simulationsdurchführung gegenüber. Weiterhin führt die Verwendung der Verweilzeit als Verrechnungsbasis dazu, daß auch Pausen- oder Störungszeiten dem Werkstück zugerechnet werden, das sich gerade auf der betreffenden Ressource befindet. Dagegen gehen Kosten von Ressourcen, die wegen der Abstraktion nicht im Modell abgebildet wurden oder nicht von Werkstücken durchlaufen werden, nicht in die Kostenbetrachtung ein. Dadurch weist die integrierte Kostensimulation eine geringere Genauigkeit als die nachgeschaltete Kostensimulation auf.

Weitaus schwerer wiegt jedoch der Nachteil, daß der einem Kostenrechnungssystem zugrundeliegende Kalkulationsalgorithmus auf mindestens zwei Ebenen durchgeführt wird. Zum einen gilt es, die Kosten auf der Ebene der einzelnen Modellelemente zu erfassen und zum anderen ist es notwendig, die erfaßten Kosten in einer übergeordneten Summenfunktion zusammenzuführen. Daher hat - noch ohne die Schlüsselung von Gemeinkosten oder die Einbeziehung simulationsexterner Kosten zu berücksichtigen - eine Änderung des Kalkulationsalgorithmus mehrere Änderungsoperationen zur Folge. Unterlaufen hierbei Fehler, wofür wegen des verteilten Kalkulationsverfahrens eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, ist die Konsistenz des gesamten Kostenrechnungssystems gefährdet.

Im Ergebnis ist die Kopplung zwischen Simulator und Kostenrechnungsmodul so eng, daß ein Anwender Kostenanalysen nur auf Basis der vorgegebenen Kalkulationsblätter und der implementierten Kostenbewertungsroutinen durchführen kann. Folglich ist die Verknüpfung der Simulations- mit den Kostendaten fest vorgegeben. Mangelt es dem Simulator auch noch an geeigneten Schnittstellen für den Datenaustausch und ist deshalb eine manuelle Eingabe der Kostendaten erforderlich, stellt dies einen zusätzlichen Unsicherheitsfaktor bezüglich der Datengenauigkeit und -zuverlässigkeit dar. Außerdem sind dann die Ergebnisse wiederum nur über die manuelle Schnittstelle für weiterführende Anwendungen zugänglich.

Deshalb eignet sich die integrierte Kostenbetrachtung nur für grobe, isolierte Kostenabschätzungen und dem Test kostenspezifischer Fertigungssteuerungsstrategien [PAU84, REN91]. Diese haben sich jedoch in einem Vergleich mit den traditionellen, zeitbasierten Verfahren als ungeeigneter erwiesen [WIE89, WIT92, HAU93] und können zur Zeit wegen der mangelnden Durchgängigkeit zwischen realer Fertigung und Simulationsumgebung praktisch nicht realisiert werden.

4.3.2 Nachgeschaltete Kostensimulationsmodule

Die Idee der nachgeschalteten Kostensimulationsmodule ist es, die eigentliche Simulation von der betriebswirtschaftlichen Bewertung zu trennen. Deshalb wird bei den nachgeschalteten Kostensimulationsmodulen zuerst eine klassische Ablaufsimulation durchgeführt. Dabei erzeugt der Ablaufsimulator während der Simulation in einem Standardaustauschformat eine Datei (Tracefile) mit den während des Simulationslaufes aufgetretenen Ereignissen.

Diese stehen nun allgemein und zweckneutral für die Simulationsauswertung zur Verfügung. Ein Kostenmodul zur Kostenbewertung und -auswertung kann dann, genauso wie das klassische Auswertemodul, im Nachgang zur Simulation die kostenrelevanten Daten ermitteln, bewerten und auswerten. Nachgeschaltete Kostensimulationsmodule bieten damit den Vorteil, daß sie mit unterschiedlichen Simulationswerkzeugen kombiniert werden können, wenn deren Trace-Daten alle kostenrelevanten Informationen beinhalten.

Indem die Ermittlung der Kostensätze und die Umlage der Kosten erst nach der eigentlichen Simulation in dem simulationsgestützten Kostenrechnungssystem durchgeführt werden, umgehen die nachgeschalteten Systeme auch den Nachteil der integrierten Systeme, Simulationsläufe zweimal durchführen zu müssen. Somit genügt lediglich ein Lauf, um die gleichen Daten zu ermitteln, für die in integrierten Systemen zwei Läufe notwendig sind.

Bei der Datenermittlung lassen sich innerhalb der nachgeschalteten Systeme prinzipiell zwei Möglichkeiten unterscheiden: Bei den meisten nachgeschalteten Systemen zeichnen die beweglichen Elemente ihren Weg durch das Simulationsmodell auf. Diese Daten werden dann beim Austritt der beweglichen Elemente aus diesen ausgelesen und in eine Datei geschrieben. Alternativ dazu können die Daten auch aus Aufzeichnungen der unbeweglichen Simulationsbausteine gewonnen werden.

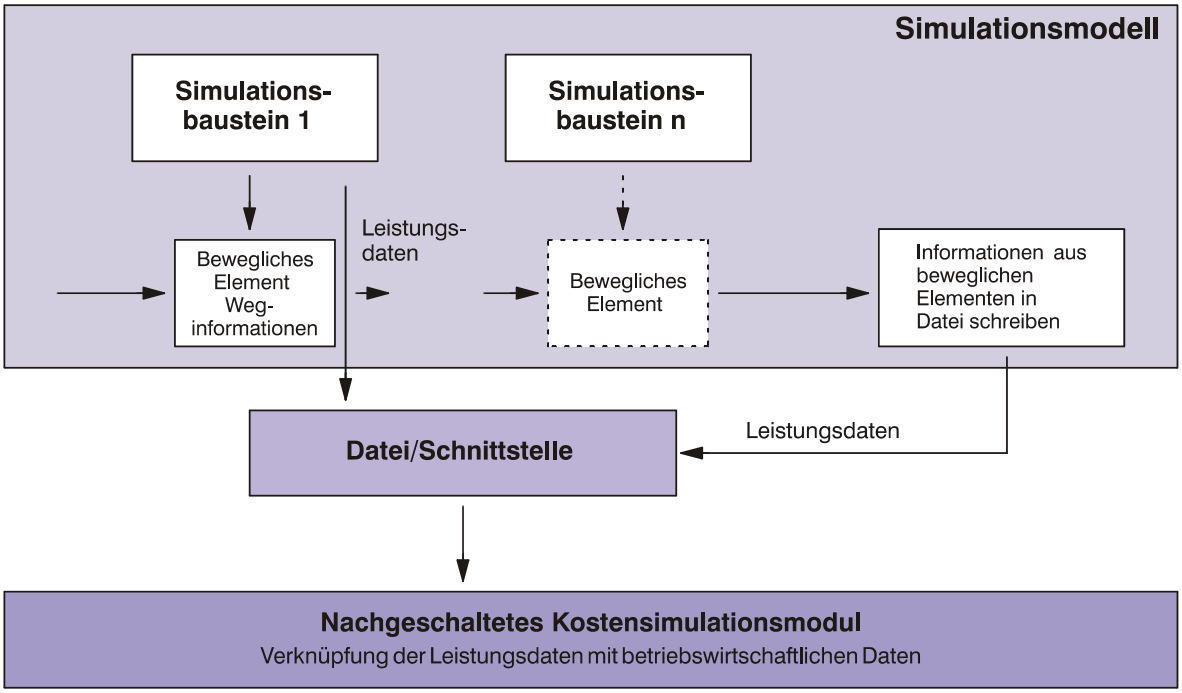


Bild 37: Möglichkeiten der Datenaufzeichnung in nachgeschalteten Kostensimulationsmodulen

Die ermittelten Daten können während der Laufzeit oder auch erst nach Ende der Simulation an das Kostenrechnungsmodul weitergegeben werden. Erfolgt der Datentransfer während der Laufzeit über Pipes oder durch einfache Funktionsaufrufe, ist prinzipiell - wie bei den integrierten Systemen - auch eine mitlaufende Kostenrechnung möglich und es wird weniger Speicherplatz auf dem Speichermedium benötigt. Auf der anderen Seite sind in diesen Fällen plattform- und damit systemabhängige Funktionalitäten zu verwenden, was der den nachgeschalteten Ansatz charakterisierenden Systemunabhängigkeit des Kostenrechnungsmoduls widerspricht. Aus diesem Grund wählen die untersuchten Systeme eine ASCII-Repräsentation, das als kleinster gemeinsamer Nenner von allen gängigen Systemen erzeugt und gelesen werden kann.

Die wegen ihrer Flexibilität schwieriger zu entwickelten nachgeschalteten Kostenrechnungssysteme existieren bisher nur als Prototypen. So wurde an der Universität Passau [KLU94] der Ansatz eines mitlaufenden Datentransfers verfolgt, während die Technologieentwicklungsgruppe (TEG) der Fraunhofer-Gesellschaft [SCHÄ98] und das Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München [LOR97] prototypisch den Datenaustausch über ASCII-Dateitransfer realisierten.

❑ Ansatz zur Realisierung einer mitlaufenden Kostenbetrachtung

Der Ansatz der Universität Passau sieht vor, den selbstentwickelten Fertigungssimulator OSIRIS über standardisierte Nachrichten mit einem Kostenmodul zu koppeln. Dazu sollen die Bausteine des Simulators - Maschinen, Werker und Transporteinrichtungen - nach dem Ende jeder Aktivität (bzw. jedes Vorgangs) eine Nachricht - quasi als Rechnung - an das Kostenmodul übermitteln.

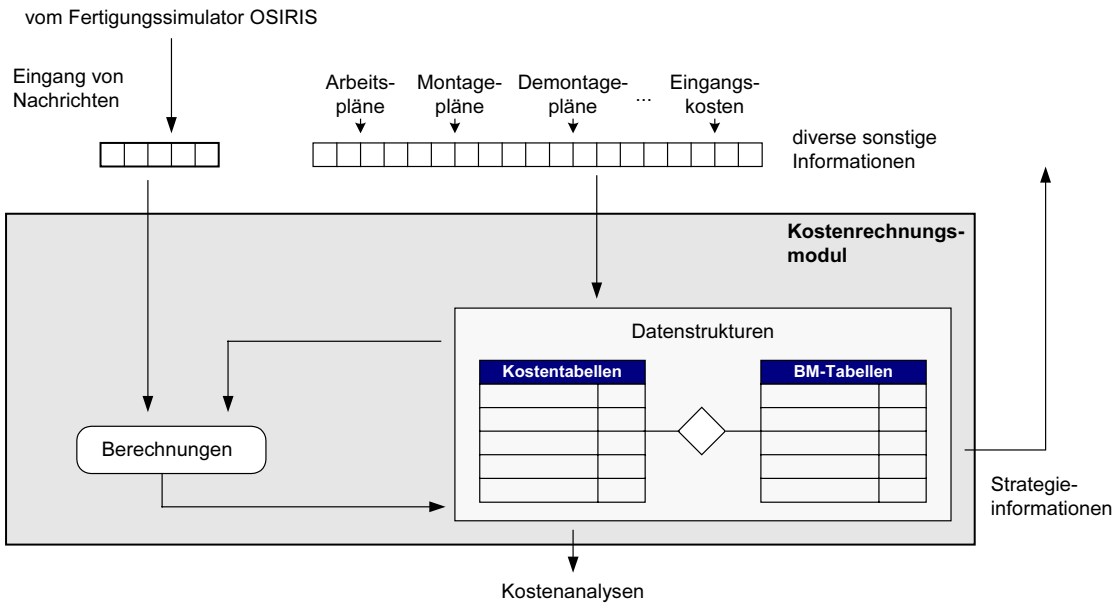


Bild 38: Struktur des Konzepts zur Kopplung von OSIRIS mit einem Kostenmodul

Diese Nachricht besteht aus den folgenden Teilen:

- Identifikation des ausführenden Betriebsmittels (BM) durch Typ und Nummer
- Identifikation des bearbeiteten Werkstücks durch Variante und Nummer
- Identifikation des ausgeführten Vorgangs durch Arbeitsgangnummer / Phase
- Angabe des Zeitbedarfes für diesen Vorgang in Zeiteinheiten
- Effizienzvermerke für die Zusammenfassung gleichartiger Vorgänge

Die Effizienzvermerke dienen dabei zur Zusammenfassung mehrerer Nachrichten zu einer Nachricht. Dies ist allerdings nur dann möglich, wenn als Werkstück nicht einzelne Werkstücke betrachtet werden, sondern ganze Lose oder Magazine. Denn dann besitzen die einzelnen Werkstücke keine eindeutige Identifikationsnummer, sondern alle Werkstücke eines Magazins können ausreichend mit der Nummer des Magazins unterschieden und als ein Kostenträger betrachtet werden.

Das Kostenrechnungsmodul geht nach dem Konzept von Schmidt von den Magazinen als Kostenträger aus. Die in den Nachrichten enthaltenen Zeitdaten sollen dabei mit Kostensätzen bewertet und dem Kostenträger, also dem Magazin, angelastet werden. Die Zeiten, in denen an einem Betriebsmittel Zeitverbrauch und in der Folge Kosten anfallen, obwohl sich kein Werkstück auf der Maschine befindet, sind gemäß des Passauer Vorschlags einer sogenannten Nullvariante zuzurechnen. Das Kostenmodul soll dann alle Zeiten, die für die Nullvariante anfallen, auf alle anderen Varianten, die auf dieser Maschine bearbeitet werden, aufteilen und diesen Zuschlag als Zuschlag für Störung und Instandhaltung bezeichnen.

Neben der starren Kopplung der Kostenarten an Vorgänge und der vorgegebenen Kostenträgerdefinition besteht keine Möglichkeit, Kostenstellen zu betrachten. Außerdem ist das Kostenrechnungsverfahren auf die Vorgangskostenkalkulation festgelegt und vom Anwender nicht beeinflußbar. Am schwerwiegendsten fällt jedoch ins Gewicht, daß das Kostenmodul über das definierte Nachrichtenformat sehr eng an einen nicht-marktgängigen Simulator auf UNIX-Basis angebunden ist.

- **Ansatz zur nachgeschalteten Kostenbetrachtung im engeren Sinn**

Mit dem Ziel, ein simulatorunabhängiges Kostenbewertungswerkzeug zu schaffen, hat TEG ein nachgeschaltetes Simulation-Based-Costing - System (SBC) entwickelt, das mit unterschiedlichen Simulatoren koppelbar sein soll. Es wurde dem VDI Arbeitskreis „Kostensimulation“ zu Testzwecken zur Verfügung gestellt und im Rahmen dieser Arbeit im Hinblick auf die Integrationsfähigkeit mit dem Simulator SIMPLE++ untersucht.

Das SBC-System ist ein auf MS Access 2.0 basierendes Modul zur kostenmäßigen Bewertung von Simulationsergebnissen. Es setzt auf den Daten auf, die während eines Simulationslaufes in einem Tracefile gesammelt und an das SBC-System übergeben werden. Dabei ist das Format des Tracefiles durch das SBC-System vorgegeben. Damit kann jeder Simulator, der ein Tracefile des geforderten Formats generieren kann, mit dem SBC-System gekoppelt werden. Zusätzlich benötigt das SBC-System zur Kostenbewertung betriebswirtschaftliche Daten, die vom Benutzer interaktiv in das SBC-System einzugeben sind.

Für die Kostenbewertung sind im SBC-System auf Basis des Simulationsmodells Prozesse zu definieren. Das können zum einen Fertigungs- und Materialflußvorgänge wie beispielsweise Bohren, Drehen, Transportieren und Lagern, aber auch informationsverarbeitende Prozesse, wie beispielsweise die Auftragsabwicklung, sein. Anschließend kann der Anwender jedem Prozeß die von ihm verursachten Kosten, die sogenannten „leistungsinduzierten“ Kosten, im SBC-System zuordnen. Solche Kosten können beispielsweise Personalkosten, Investitionskosten oder Energiekosten sein. Im nächsten Schritt sind für jeden Prozeß die Kostentreiber zu definieren, wobei das SBC-System zwischen Objekten (Anzahl der gefertigten Teile), Losen (Anzahl), Wechseln (Anzahl der Produktwechsel bzw. Rüstvorgänge) und Dauern (Dauer des Bearbeitungsprozesses) unterscheidet.

Pro Kostentreiber und pro Prozeß werden dann die vorher bestimmten leistungsinduzierten Kosten auf die verursachenden Objekte umgelegt. Nachfolgend ordnet die Kostenträgerrechnung die Prozeßkosten der einzelnen Objekte den verschiedenen Produkten zu. Dazu wird ermittelt, aus wie vielen Objekten ein Produkt besteht und damit, wieviel Prozeßmengeneinheiten jedes Produkt in Anspruch genommen hat. Abschließend erfolgt - entsprechend der Produktumsätze - die Umlegung der leistungsneutralen Kosten. Dabei handelt es sich um Kosten, die keinem Prozeß direkt zuordenbar sind, wie beispielsweise die Personalkosten eines Meisters.

Als Ergebnis bietet das SBC-System projektbezogene, laufbezogene, produktbezogene und prozeßbezogene Auswertungen an. Nach einer näheren Betrachtung wird jedoch deutlich, daß sich diese mit Ausnahme der im Rahmen der produktbezogenen Auswertungen realisierten Wertzuwachskurve lediglich auf die Darstellung der Kostenartenstruktur aus verschiedenen Blickwinkeln beziehen. Dennoch lag mit dem SBC-System erstmals ein Prototyp eines nachgeschalteten Kostenmoduls im engeren Sinn vor.

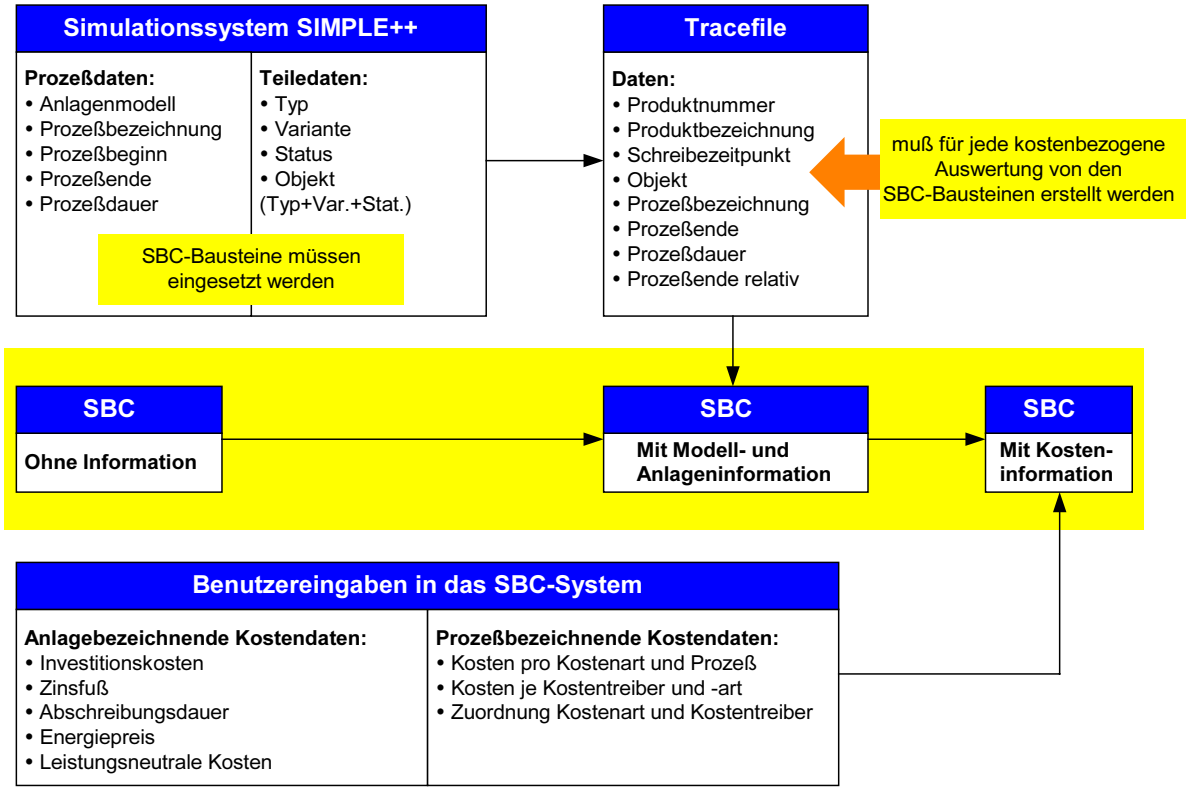


Bild 39: Funktionsprinzip des SBC-Systems im Überblick

Ein gravierendes Problem in der Anwendung des SBC-Systems resultiert daraus, daß in Abweichung zur Terminologie in den Blättern der VDI-Richtlinie 3633 [VDI96b] unter Tracefile die Aufzeichnungen der SBC-Bausteine statt der Standardausgabe des Simulators verstanden wird. Durch den Verzicht auf die Nutzung der standardmäßigen Aufzeichnungen ist der kostenrelevante Tracefile mit Hilfe von Erfassungsbausteinen des SBC-Systems selbst zusammenzustellen.

Als Folge davon steigt die zur Modellerstellung benötigte Zeit. Gleichzeitig verschlechtert sich mit zunehmender Komplexität des Modells die Möglichkeit zur Modellvalidierung. Damit steigt wiederum die Fehleranfälligkeit. Zusätzlich ist zu beachten, daß die Bausteine zur Tracefile-Erfassung aus zwei Einzelstationen bestehen, die eine eigene Kapazität besitzen. Soll die Kapazität des Simulationsmodells durch das Einsetzen der Erfassungsbausteine nicht verändert werden, sind Änderungen an den Kapazitätsattributen anderer Bausteine - nämlich der Vorgänger oder der Nachfolger eines Erfassungsbausteins - nötig. Besteht diese Möglichkeit nicht - weil es sich beispielsweise ebenfalls um Einzelstationen handelt - resultiert durch die dann vorhandene Überkapazität ein systematischer Fehler.

Weiterhin sind die Kostendaten, die der Benutzer für jeden Prozeß eingeben muß, nicht konsequent von den technischen Daten getrennt. Beispielsweise verlangt eine Eingabematrix neben Kostendaten auch Daten zur Leistungsaufnahme einer Maschine. Des weiteren existiert lediglich eine globale Kostengröße zur Berücksichtigung der leistungsneutralen Kosten, die auf alle Prozesse nach deren Umsatzanteil zugeschlüsselt wird. Gemeinkosten einer Ressource, die nur bestimmte Prozesse in Anspruch nehmen, sind folglich nicht abbildbar.

Bei der Kostenverrechnung fällt negativ auf, daß Wechselereignisse bzw. Rüstvorgänge pauschal prozeßbezogen bewertet werden. Es existiert keine Objektzuordnung, die es ermöglichen würde, Rüstvorgänge nach ihrem Aufwand zu differenzieren. Dadurch wird zumindest hinsichtlich der Bewertung von Rüst- und Wechselereignissen der eigentliche Anspruch der Prozeßkostenrechnung nach differenzierter Kostenzuordnung zunichte gemacht, da durch die pauschale Bewertung der teuere Vorgang zu billig und der wenig kostenintensive Vorgang zu teuer berechnet wird.

Bewertungstechnisch kritisch ist zudem zu sehen, daß aus dem Simulationslauf nur die Dauer der einzelnen Prozesse direkt in das SBC-System eingeht. Für alle anderen Kostentreiber wird die für die Kalkulation der Produktkosten entscheidende Größe über sekundäre Daten errechnet. Dies führt vor allem bei der Modellerstellung zu Problemen, da für den Modellierer zunächst nicht klar ist, wie er die Datenakkumulation zu modellieren hat, um sicherzustellen, daß beispielsweise Losgrößen und Rüstvorgänge später vom SBC-System korrekt erfaßt werden. Somit liegt die Validierungsmöglichkeit hierfür am Ende der Prozeßkette der Kostenbewertung, was im Extremfall dazu führen kann, daß nach der Verarbeitung der Trace-Daten durch SBC wieder Änderungen im Simulationsmodell nötig sind.

Der Vollständigkeit halber ist abschließend zu erwähnen, daß 1996 nach Lorenzen am iwb [LOR97] eine ähnlich strukturierte Kostenbewertungskomponente entwickelt wurde. Sie orientiert sich an der Prozeßkostenrechnung und setzt ebenfalls ein speziell definiertes Tracefile-Format voraus. Jedoch sind im rechnergestützten Hilfsmittel nur die Berechnungs- und Auswertungsfunktionen verwirklicht, die für die Erstellung der zweckneutralen Kostenmodelle im Rahmen der Grundrechnung erforderlich sind.

4.4 Einordnung der traditionellen Bewertungsansätze

In der zusammenfassenden Betrachtung fällt zunächst die große Spannweite der Verfahren auf. So wird schon die Ableitung von Kostenkennlinien zur Anlagen- und Verfahrensauswahl als Simulation bezeichnet. Während in diesem Fall die mangelnde Betrachtung der Dynamik und die fehlende Interaktion mit anderen Systemkomponenten sehr schnell deutlich wird, bedürfen die anderen Ansätze einer tiefergehenden Analyse.

Jedoch zeigt sich auch bei der sogenannten Parameter- oder Kennzahlensimulation in PPS- oder Führungsinformationssystemen sehr schnell, daß lediglich Berechnungen auf Basis eines Algorithmus oder eines Regelsystems anstelle einer Simulation der im Produktionssystem ablaufenden Aktivitätsfolgen stattfinden. Damit erfolgt schon auf einer sehr fertigungsnahen Ebene eine abstrahierende Entkopplung von den Vorgängen in der Fertigung. Gleiches gilt erst recht für die dem finanzwirtschaftlichen Bereich zuzurechnende Bilanzsimulation und den teilweise auch für volkswirtschaftliche Zwecke eingesetzten Forrester-Modellen. Die zwischen der betrieblichen Realität und den statischen Modellansätzen klaffende Lücke kann jedoch auch von den marktführenden kostenintegrierenden Modellierungs- und Analysewerkzeugen nicht geschlossen werden. So betrachten die Betriebskennlinien nur Ressourcen, wohingegen die ARIS-Werkzeuge ebenso wie der Prozeßmanager von Horváth auf die Prozesse in indirekten Bereichen fokussieren und wegen der Nichtabbildbarkeit eines Ressourcenkonflikts zur Modellierung dynamischer Zusammenhänge in Produktionssystemen ungeeignet sind.

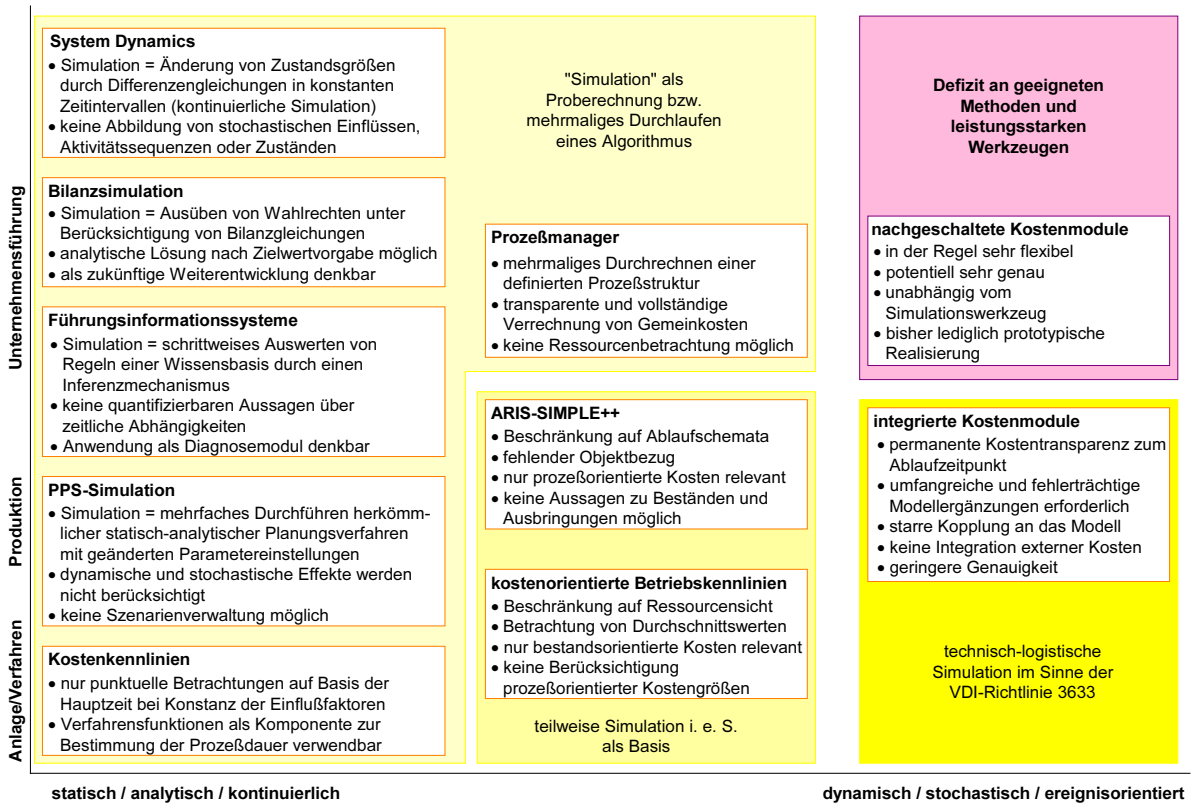


Bild 40: Zusammenfassende Darstellung der vorgestellten Bewertungsansätze

Auf der anderen Seite existieren bereits leistungsstarke Werkzeuge zur Modellierung von Produktionssystemen. Bis auf wenige Ausnahmen, die allesamt einen der Prozeßkostenrechnung ähnlichen Ansatz verfolgen, bieten die Hersteller der Simulationswerkzeuge jedoch keine Kostenbetrachtung an. Zur zweckspezifischen Integration von Kostendaten in die Simulation wurden deshalb gerade im universitären Umfeld hauptsächlich eigene Lösungen auf Basis eines eigenen Simulators entwickelt oder marktgängige Werkzeuge um betriebswirtschaftliche Komponenten ergänzt.

Allerdings basieren auch die eigenentwickelten Lösungen auf einem fest implementierten Gerüst, das zumeist dem Konzept der Prozeßkostenrechnung folgt. Damit tritt in der praktischen Anwendung zu den in Kapitel 4.3.1 dargestellten rein technischen Defiziten der integrierten Kostensimulation noch das methodische Problem, daß nur sehr wenige Betriebe die Prozeßkostenrechnung anwenden [WEB99] und folglich Schwierigkeiten haben, die benötigten Eingangsdaten zur Verfügung zu stellen oder die Simulationsergebnisse sinnvoll zu interpretieren beziehungsweise zu kontrollieren. Zudem besteht der Trend, die Wartung und Weiterentwicklung der eigenentwickelten Simulatoren zugunsten des Einsatzes marktgängiger Werkzeuge zurückzufahren. So setzen immer mehr Universitäten und Unternehmen, die in Bild Bild 33 aufgeführt sind, kommerzielle Simulationswerkzeuge ein [WUN99]. Im Ergebnis ist der langfristige Einsatz betriebswirtschaftlicher Zusatzkomponenten also potentiell umso wahrscheinlicher, je stärker die Marktstellung des zugrundeliegenden materialflußtechnischen Simulationswerkzeuges ist oder je leichter die Kopplung des Kostenmoduls an einen derartigen Simulator realisiert werden kann.

Doch sind bisher - trotz der potentiellen Vorteile - kaum nachgeschaltete Ansätze entwickelt worden. Die einzige verfügbare Lösung stammt aus dem universitätsnahen Bereich und ist ebenfalls auf die Prozeßkostenrechnung ausgerichtet. Außerdem wird vorausgesetzt, daß sich der Benutzer mit Hilfe der kapazitätsbeeinflussenden Erfassungsbausteine selbst einen Tracefile zusammenstellt, der alle benötigten Daten enthält. Dadurch entsteht jedoch zusätzlicher Modellierungsaufwand bei der Erstellung des Simulationsmodells, dem zudem eine hohe Fehlerwahrscheinlichkeit anhaftet, die sich sowohl auf die Vollständigkeit des betriebswirtschaftlichen Tracefiles und - wegen der Kapazitätsänderung - sogar auf die Korrektheit der technischen Simulationsergebnisse bezieht.

Die Tatsache, daß auch zu dem nachgeschalteten Kostenmodul keine aktuellen Veröffentlichungen mehr erfolgen, läßt auf die Einstellung der Entwicklungsarbeiten schließen. Da andererseits ein in umfassenden Erhebungen nachgewiesener Bedarf besteht, Simulationsergebnisse betriebswirtschaftlich zu bewerten, wird die Schwierigkeit der Entwicklung eines rechnergestützten Werkzeuges zur Einbeziehung von Kostendaten in die Simulation deutlich. Deshalb ist schon die in Kapitel 5 folgende Konzeption des Werkzeuges auf die Anforderungen der späteren Anwender vor dem Hintergrund potentieller Einsatzfelder auszulegen, um die praktische Einsatzfähigkeit zu sichern.

5. Konzeption eines rechnergestützten Instrumentariums zur wirtschaftlichen Produktionsgestaltung

Zur wirtschaftlichen Produktionsgestaltung gilt es generell, die kostenwirksamen Stellglieder aus Kapitel 3 richtig einzustellen. Soll ein rechnergestütztes Instrumentarium zur Unterstützung dieser allgemeinen Aufgabenstellung entwickelt werden, sind nach den Prinzipien des Software Engineering [STE99] zunächst konkrete Anforderungen zu definieren, damit in der Folge eine adäquate Informationsarchitektur abgeleitet werden kann. Diese dient dann als Rahmen für den Detailentwurf der Kernfunktionalitäten und der Datenstruktur des zu entwickelnden Instrumentariums. Darauf basierend ist schließlich die Definition einer flexiblen Auswertesystematik und die Erweiterung um eine Szenarienverwaltung möglich.

5.1 Anforderungen an das Instrumentarium

Die Anforderungen an das Instrumentarium ergeben sich aus der Hauptaufgabe, die Auswirkungen einer Änderung im Produktionssystem auf dessen Wirtschaftlichkeit zu analysieren. Da sich die Wirtschaftlichkeit allgemein als das Verhältnis von erzielten Erlösen zu angefallenen Kosten definieren läßt und in der Regel beide Faktoren beeinflußbar sind, ist sowohl die mengen- als auch die kostenmäßige Komponente zu betrachten.

5.1.1 Deckung des Informationsbedarfs zur Wirtschaftlichkeitsbewertung

Werden Betriebsmittel und Personal allgemein als Ressourcen bezeichnet, ist das in Kapitel 2.1 beschriebene Produktionsmodell in einer Form darstellbar, die unmittelbar den Zusammenhang zwischen Erlösen und Kosten zeigt. Die Verknüpfung der beiden Größen erfolgt dabei über Aktivitäten, deren Durchführung einen betrieblich bedingten Güterverzehr an Input und Ressourcen zur Folge hat. Wird der Güterverzehr monetär bewertet, resultieren daraus definitionsgemäß Kosten [GUT79].

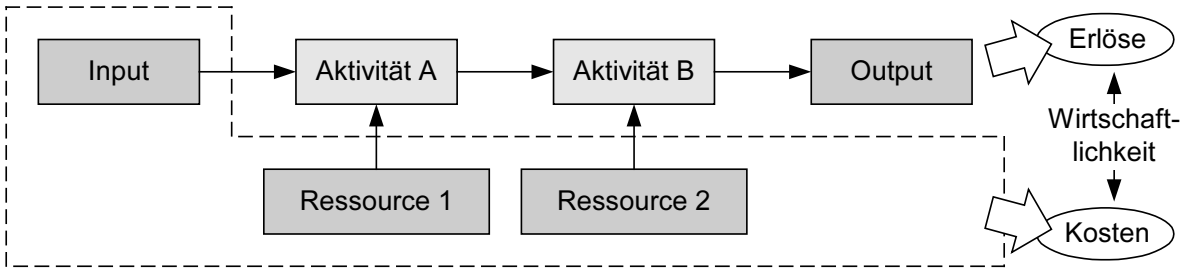


Bild 41: Verknüpfung von Erlösen (Output) und Kosten (Ressourcenverzehr) über Aktivitäten eines Produktionssystems

Demzufolge besteht die Aufgabe, den Informationsbedarf zur Wirtschaftlichkeitsbewertung zu decken, aus zwei Komponenten: Zum einen ist der betrieblich bedingte Güterverzehr in seiner Aktivitätenabfolge abzubilden und zum anderen ist die Ressourceninanspruchnahme monetär zu bewerten.

5.1.2 Nutzung der Potentiale der Simulation

Um sowohl die Abbildung der Produktionsaktivitäten als auch deren monetäre Bewertung zielgerichtet vornehmen zu können, ist zunächst eine Darstellung darüber aufschlußreich, inwiefern die Potentiale existierender Werkzeuge nutzbar sind. Dabei fällt als Quintessenz der bisherigen Ausführungen eine Zweiteilung zwischen betriebswirtschaftlichen und technischen Anwendungen auf.

Diese Trennung resultiert aus dem fehlenden Objektbezug der Werkzeuge zur Geschäftsprozeßmodellierung und verhindert daher eine detaillierte Betrachtung der konkreten Leistungserstellung (vgl. Abschnitt 4.2.2). Zur Überwindung der Informationslücke stehen nun prinzipiell zwei Wege zur Verfügung. So könnte versucht werden, den im Produktionsbereich wichtigen Bezug zum Objekt durch eine Schnittstelle zur Simulation herzustellen. Wegen des zusätzlich erforderlichen Informationsbedarfs wäre diese Evolutionsrichtung allerdings mit der Entwicklung eines neuen Simulationswerkzeuges im Sinne der VDI-Richtlinie 3633 identisch und in Anbetracht der Existenz leistungsfähiger Simulatoren sehr risikobehaftet.

Demgegenüber stehen für Anwendungen im technischen Bereich auf verschiedenen Ebenen mehrere Werkzeuge zur Verfügung, die von der Leit- bzw. Anlagenebene bis hinunter zur Prozeßebene detaillierte Daten liefern (vgl. Kapitel 2.2). Zusammen mit dem dort ebenfalls beschriebenen Trend, Hersteller von Simulationswerkzeugen einer anderen technischen Anwendungsebene aufzukaufen und geeignete Schnittstellen zu entwickeln, ist in Zukunft mit einer weiter steigenden Datenverfügbarkeit zu rechnen. Deshalb gilt es, die betriebswirtschaftliche Bewertungskomponente so zu entwickeln, daß sie - unabhängig von einem konkret eingesetzten Simulator - auf den allgemein von der Systemsimulation gelieferten technisch-logistischen Daten aufsetzen kann.

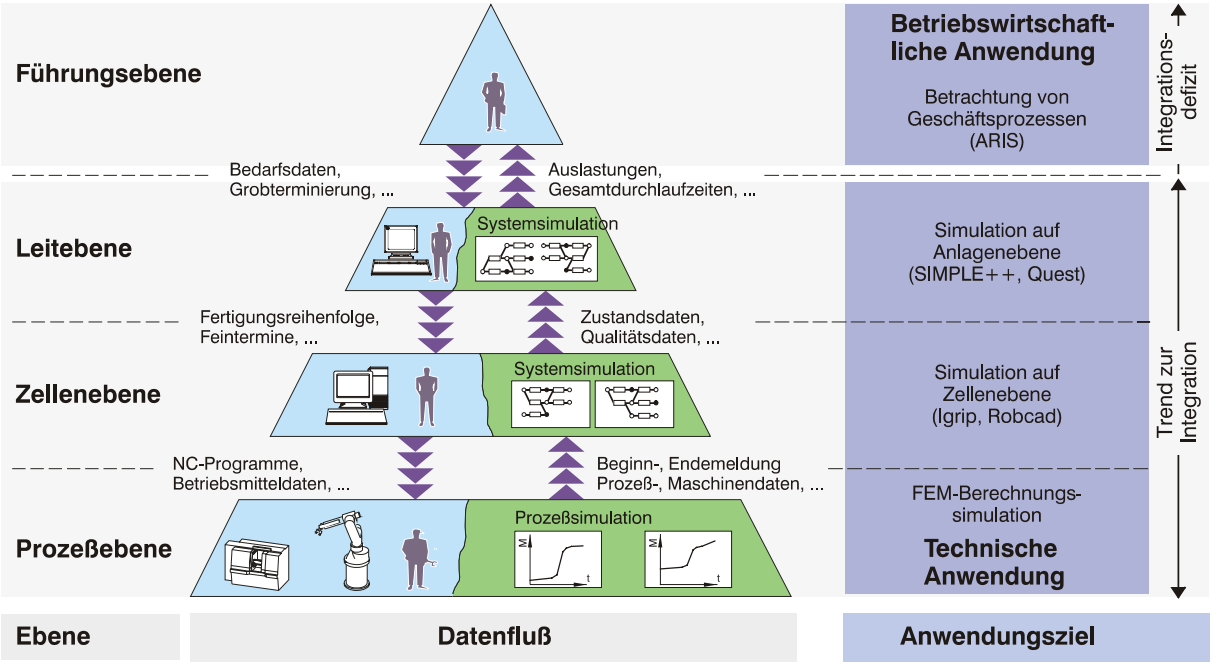
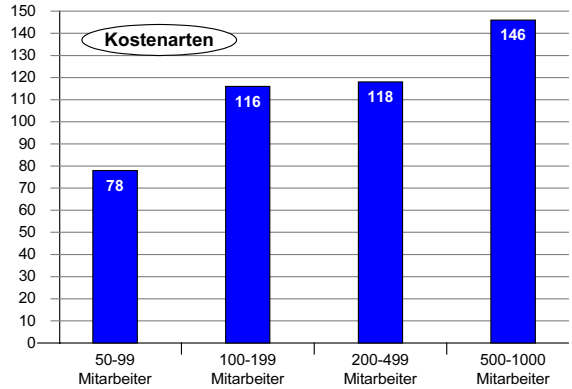
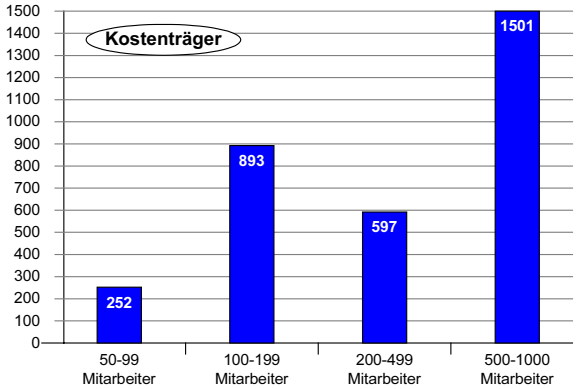


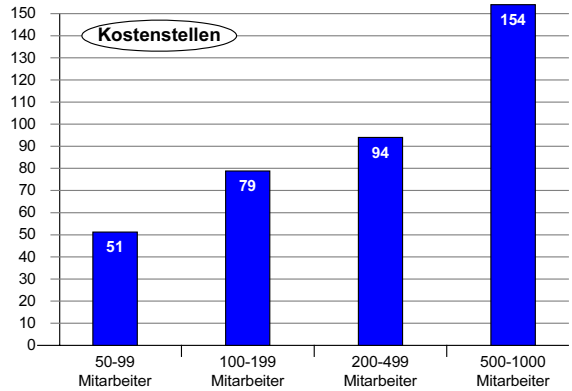
Bild 42: Simulationsdaten als Ausgangspunkt einer wirtschaftlichen Bewertung

5.1.3 Flexible Auslegung der betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente

Ergebnisse von Simulationsläufen sind zumeist Zeit- und Mengengrößen. Die Führungsebene benötigt jedoch zur umfassenden Fundierung ihrer Entscheidungen zusätzlich Kosteninformationen [BAU96]. Folglich ist es wichtig herauszufinden, um welche Informationen es sich dabei konkret handelt. Eine Untersuchung hat ergeben, daß die Anzahl der erfaßten Kostenarten im Durchschnitt mit der Größenklasse des Unternehmens korreliert [FRA99]. Jedoch ist nicht zu übersehen, daß die Gestaltungsbandbreite über alle Größenklassen zumindest ähnlich ist. Diese überraschende Aussage gilt sowohl für die Anzahl der Kostenarten, wie auch für die Anzahl der Kostenstellen und die Anzahl der kalkulierten Kostenträger. Somit sind die Ergebnisse der Untersuchung diesbezüglich mit hoher Wahrscheinlichkeit auch für Großunternehmen zutreffend.







Nutzung von Kosteninformationen	%	Rang
Entsch. über Preise und Konditionen	76	1
Investitions- und Desinvestitionsentsch.	75	2
Make-Or-Buy-Entscheidungen	71	3
Entsch. über Kunden und Kundenkonditionen	58	4
Entsch. über Technologie und Fertigungsverfahren	57	5
Entsch. über organisatorische Veränderungen	53	6
Entsch. über das Produktprogramm	52	7
Entscheidungen über Lieferanten	51	8
Entsch. über Vergütungen und Vergütungssysteme	50	9

Bild 43: Durchschnittliche Anzahl von Kostenarten, Kostenstellen und Kostenträgern in deutschen Unternehmen sowie Nutzung von Kosteninformationen

Insgesamt ist jedoch festzustellen, daß mittelständische Unternehmen ihre Kostenrechnung sehr heterogen gestalten. So gibt es Unternehmen, die auf Basis einfacher selbstentwickelter Tabellenkalkulationen aktuelle Kostenrechnungen durchführen und diese rege nutzen. Am anderen Ende der Skala bewegen sich Unternehmen mit Rechenwerken auf Basis von SAP R/3, die von enormer Komplexität im Vergleich zu dem abgebildeten Unternehmen sind, aber nur geringen Eingang in die Entscheidungsprozesse des Unternehmens finden [AMS93, WEB93, NIE94, NIE95, WÄH95, LAN96, FRA97, WÄH98, FRA99, WEB99].

5.2 Ableitung einer anforderungsgerechten Informationsarchitektur

Vor dem geschilderten Hintergrund stellt sich die Anforderung, die Informationsarchitektur zur simulationsbasierten Wirtschaftlichkeitsregelung offen, erweiterbar und modular aufzubauen. Offen bedeutet dabei, den Datenaustausch mit bereits vorhandenen anderen Anwendungen und vor allem mit dem Simulationswerkzeug zur Vermeidung von Doppeleingaben und Inkonsistenzen zu ermöglichen. Erweiterbar heißt, daß auch nachträglich noch weitere Kostenarten hinzugefügt werden können. Schließlich ist über einen modularen Aufbau für die Pflege und Wartbarkeit der Komponente zu sorgen. Außerdem muß es möglich sein, das Anlegen verschiedener Sichten bzw. Auswertungsperspektiven zu unterstützen, um dem Informationsbedürfnis unterschiedlicher Anwender Rechnung zu tragen. Da wegen der Abstraktion nicht alle kostenverursachenden Objekte im Simulationsmodell abgebildet werden, soll im Hinblick auf eine vollständige Kalkulation auch die Berücksichtigung von Kostengrößen ohne Abbildung des Verursachers in der Simulation möglich sein. Zudem sollten Funktionalitäten für die Szenarienbildung und -verwaltung bereitgestellt werden, um Proberechnungen zu ermöglichen [FIN99].

5.2.1 Herleitung einer sinnvollen Aufgabenverteilung

Da leistungsfähige kommerzielle Werkzeuge zur Modellierung von Produktionssystemen existieren, bietet sich deren Nutzung für die Erzeugung zeit- und mengenbehafteter Informationen an. Für die betriebswirtschaftliche Bewertung der Simulationsergebnisse bestünde nun die Möglichkeit, diese ebenfalls - zum Beispiel über die Programmierung entsprechender Auswerteroutinen - direkt im Simulator vorzunehmen. Jedoch verfügen die Simulatoren, die diese Möglichkeit prinzipiell unterstützen, über unterschiedliche Sprachkonzepte, weshalb eine Auswerteroutine für jedes Simulationswerkzeug separat implementiert werden müßte. Als weitere Schwierigkeit kommt hinzu, daß die Hersteller ihre Systeme permanent weiterentwickeln und damit auch die Auswerteroutinen ständig an die neuen Versionen des Werkzeuges anzupassen sind.

Für die Entwicklung einer separaten Bewertungskomponente spricht weiterhin die Notwendigkeit der Einbeziehung externer Kostengrößen. Müßten diese extra für die speziellen Auswerteroutinen jedes Simulators importiert werden, erhöht sich der Programmieraufwand deutlich, da auch mehrere Werkzeuge zur Verwaltung betriebswirtschaftlicher Daten existieren und für jede innerhalb einer Auswertung zu verwendende Kostengröße spezielle Importfunktionen notwendig werden können.

Jedoch erhöhen sich mit der Trennung zwischen Simulationswerkzeug und Auswertungskomponente nicht nur die Einsatzfähigkeit und die Wartbarkeit des gesamten Systems, sondern auch die Anforderungen an die Schnittstellendefinition der beteiligten Komponenten. Dabei ragt insbesondere die wegen der Heterogenität der Simulationswerkzeuge besonders wichtige Schnittstelle zwischen Ablaufsimulation und Bewertungskomponente heraus.

5.2.2 Definition der Schnittstelle zwischen Ablaufsimulation und Bewertungskomponente

Um möglichst viele Simulatoren für die Kostensimulation verwenden zu können, sollte die Schnittstelle für den Datentransfer auf Basis des ASCII-Formats definiert werden, das die meisten Werkzeuge generieren können [WEN00]. Inhaltlich ist dafür zu sorgen, daß alle Ereignisse und Aktivitäten, die während der Simulation auftraten, auch im nachhinein rekonstruierbar sind. Hierfür genügt es, nur solche Zeitpunkte zu betrachten, die den weiteren Ablauf der Simulation beeinflussen. In diesem Sinne sind nur Anfangs- und Endzeitpunkt einer Aktivität relevant. Weiterhin ist zu vermerken, an welcher Station und an welchem Werkstück eine Aktivität durchgeführt wurde.

Da sich in bausteinorientierten Simulationswerkzeugen eine Aktivität genau auf einen Baustein bezieht und von jeweils zwei Ereignissen begrenzt wird, sind die Zeitprotokolle von aktivitäts- und ereignisorientierten Simulatoren ineinander konvertierbar und durch folgende Schnittstellendefinition zu vereinheitlichen:

Definition:

Aktivitätstyp	**Ereignis [Beginn/Ende]**	**Zeitpunkt**	**auslösendes Element**	**empfangendes Element**
string	char	time	string	string

Beispiel:

Aktivitätstyp	**Ereignis [Beginn/Ende]**	**Zeitpunkt**	**auslösendes Element**	**empfangendes Element**
Arbeiten	B	22:11:49.6000	.BE:714	.Drehmasch_05
Arbeiten	E	22:12:04.0000	.BE:714	.Drehmasch_05

Bild 44: Minimalanforderung an den Dateninhalt einer Schnittstelle zwischen Simulation und Bewertungskomponente

Zum Beispiel geht aus der Tabelle hervor, daß zum Zeitpunkt 22:11:49.6000 mit der Bearbeitung (Aktivität „Arbeiten“) des auslösenden Elements BE:714 an dem empfangenden Element Drehmasch_05 begonnen wurde. Sie dauerte nach den Angaben in der zweiten Zeile bis zum Zeitpunkt 22:12:04.0000 an. Sollte die Bearbeitung durch eine Störung oder Pause unterbrochen worden sein, können die beiden Aktivitäten nach dem gleichen Schema in die Tabelle eingetragen werden. Damit wird auch deutlich, daß aus der ersten Spalte alle Aktivitätstypen ableitbar sind, die während der Simulation auftraten. Gleiches gilt im übrigen auch für die erzeugten Werkstücke und die dazu verwendeten Ressourcen. Es ist nun leicht vorstellbar, daß aus diesen Daten ein vollständiges Zeit-Mengen-Diagramm abgeleitet werden kann und dadurch für jede Ressource die Ausbringung sowie die durchgeführten Aktivitäten feststehen. Ob das Verhältnis von Ausbringung zu Ressourceneinsatz jedoch wirtschaftlich ist, bleibt zu diesem Zeitpunkt noch offen.

5.2.3 Zusammenfassende Darstellung des hybriden Architekturkonzeptes

Insgesamt ergeben sich aus den dargestellten Überlegungen zur Softwarearchitektur drei relevante Betrachtungsebenen. Ebene 1 stellt dabei das geplante oder realisierte System dar, das in Ebene 2 mit Hilfe eines Simulators abgebildet wird. Dieser stellt nun aussagekräftige logistische Daten zur Verfügung, die innerhalb des auf Ebene 3 angesiedelten Kostenbewertungsmoduls betriebswirtschaftlich bewertet werden. Über eine Rückkopplung zu der jeweils unteren Ebene resultieren schließlich Ansätze zur technischen und wirtschaftlichen Verbesserung des betrachteten Produktionssystems.

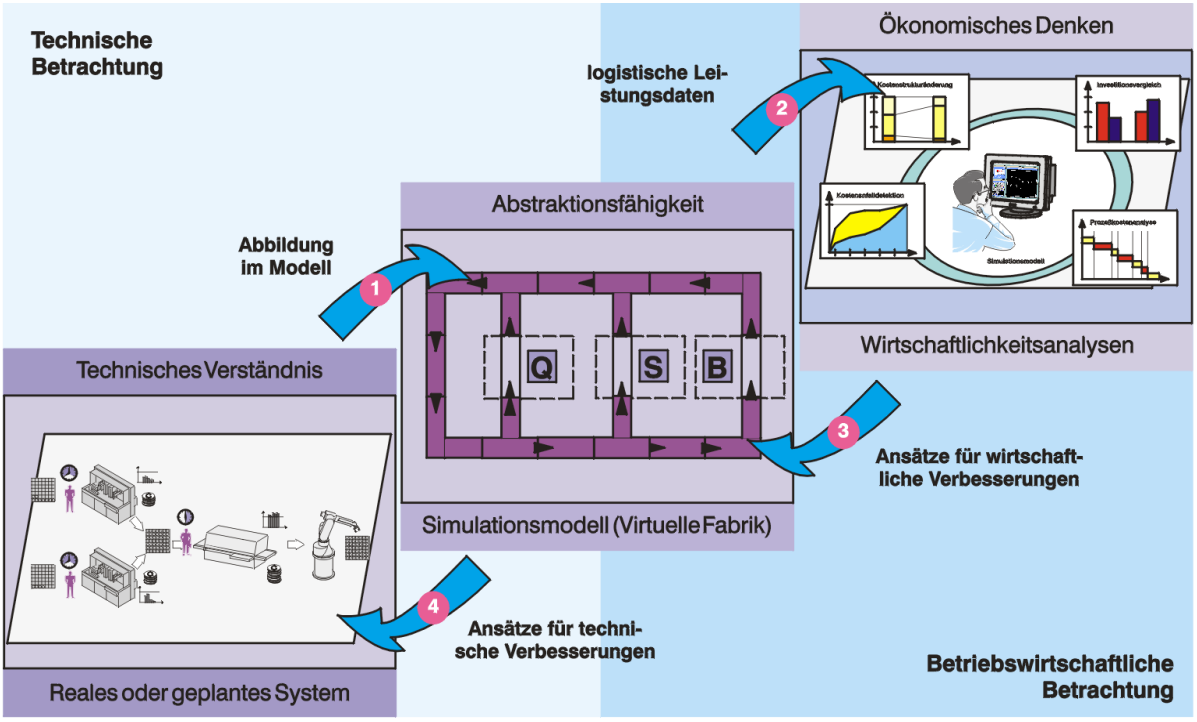


Bild 45: Architekturkonzept für ein System zur technischen und wirtschaftlichen Produktionsgestaltung

Dadurch, daß der Export der logistischen Leistungsdaten über die in Bild 44 definierte Schnittstelle erfolgt, ist die Anwendung des Systems unabhängig von einem bestimmten Simulator. Nachdem auch das erzeugte Ereignisprotokoll auswertungsneutral ist, sollte es in einer Datenbank gespeichert werden. Dort können über verschiedene Abfragen mehrere Sichten definiert werden, um das Informationsbedürfnis verschiedener Anwender zu decken. Weiterhin kann eine Datenbank auch Kostengrößen verwalten beziehungsweise aus anderen Datenbeständen importieren. Zudem existieren standardisierte Abfragesprachen wie SQL [GRO99], die dafür sorgen, daß Ergebnisse von Auswertungen auch anderen Anwendungen zur Verfügung gestellt werden können. Damit ist es möglich, die Anforderungen der Offenheit und Erweiterbarkeit zu erfüllen. Folglich steht ein sehr flexibler und leistungsstarker Rahmen zur Verfügung, der nun durch die eigentlichen Bewertungsfunktionalitäten nutzbar ist.

5.3 Detailentwurf der betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente

Für den universellen Einsatz der betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente sind die aus der Simulation gewonnenen Daten in geeigneter Form so bereitzustellen, daß die Auswertungsflexibilität erhalten bleibt. Deshalb gilt es zunächst zu untersuchen, wie die Simulationsergebnisse als Mengengerüst für die Erfordernisse der Kostenbewertung zu strukturieren sind und wie externe betriebswirtschaftliche Größen als Preisgerüst berücksichtigt werden können. Darauf aufbauend ist eine entscheidungsorientierte Grundrechnung zu entwickeln, die eine umfassende Bewertung von Ressourcen und Prozessen ermöglicht.

5.3.1 Simulationsbasierte Ableitung von Kostenzuordnungsobjekten

Kosten als Werte sind das Produkt aus Menge und Preis. Wer Kosten zuordnen will, benötigt folglich Zuordnungsobjekte, die mengen- und preisbestimmend sind. Da aus der Simulation ausschließlich zeit- und mengenbehaftete Daten resultieren, sind diese zunächst so zu strukturieren, daß ihnen sinnvoll Kosten zugeordnet werden können. Dabei ist es zweckmäßig, sich an den Kostenrechnungssystemen zu orientieren, denen in der betrieblichen Praxis die Zuordnungsaufgabe obliegt.

Abstrakt gesehen besteht ein Kostenrechnungssystem aus den drei Elementtypen Kostenarten, Kostenstellen und Kostenträgern sowie einer Verrechnungsfunktion f, die definiert, wie die in den Kostenstellen nach Kostenarten separiert erfaßten Kostengrößen auf Kostenträger verrechnet werden. Damit charakterisiert sie letztendlich das Kostenrechnungssystem, wohingegen Kostenarten, Kostenstellen und Kostenträger den Bezugsrahmen für die Kostenzuordnung darstellen.

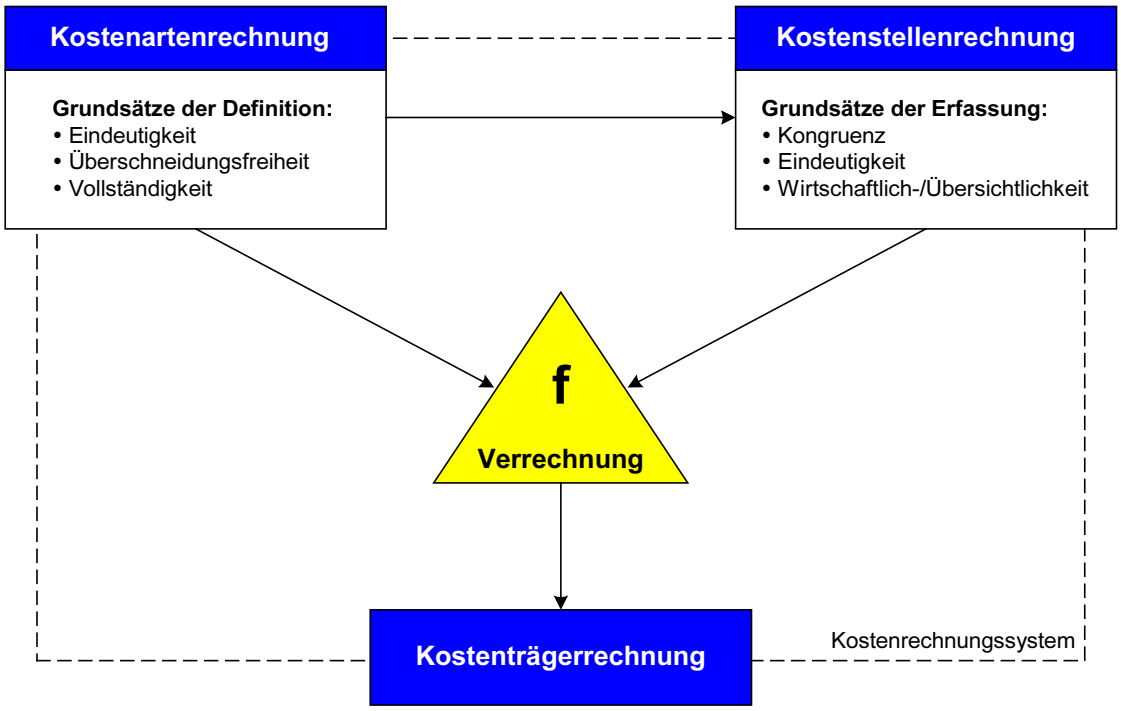


Bild 46: Abstrakte Darstellung eines Kostenrechnungssystems mit Kostenarten, Kostenstellen und Kostenträgern als Bezugsrahmen für die Verrechnung

Die Kostenartenrechnung hat die Aufgabe, alle Kosten, die bei der betrieblichen Leistungserstellung anfallen, systematisch zu erfassen [HUM86]. Dabei gelten drei wichtige Grundsätze: Grundsatz der Eindeutigkeit, Grundsatz der Überschneidungsfreiheit und Grundsatz der Vollständigkeit. Der Grundsatz der Eindeutigkeit verlangt, daß die Kostenarten sich nicht überschneiden dürfen, um später die Kosten eindeutig zuordnen zu können. Der Grundsatz der Vollständigkeit beinhaltet, daß die Kostenartengliederung lückenlos sein muß, damit alle anfallenden Kosten auch der entsprechenden Kostenart zugeordnet werden können.

Die Kostenstellenrechnung erfaßt allgemein die in einem Kostenbereich entstandenen Kostenarten. Hierbei gibt es wiederum drei Grundsätze: Grundsatz der Kongruenz, Grundsatz der Eindeutigkeit sowie Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und Übersichtlichkeit. Der Grundsatz der Kongruenz verlangt, daß zwischen den entstandenen Kosten und den erbrachten Leistungen ein direkter Bezug besteht. Der Grundsatz der Eindeutigkeit besagt, daß alle Kosten zweifelsfrei der entsprechenden Kostenstelle zugeordnet werden können. Im Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und Übersichtlichkeit ist schließlich festgehalten, daß das Unternehmen nur insoweit in Kostenbereiche aufgeteilt werden sollte, wie dies noch wirtschaftlich und übersichtlich ist.

In der Kostenträgerrechnung werden die erfaßten Kosten einzelnen Kostenträgern zugeordnet. Als Kostenträger können nach Riebel [RIE94] allgemein Objekte bezeichnet werden, die in der Produktion Kosten verursachen und diese dementsprechend auch tragen müssen. Ein Kostenträger kann zum Beispiel ein Auftrag, ein Produkt oder auch ein Halbfertigerzeugnis sein. Um jedoch die in den Simulationsergebnissen inhärente größtmögliche Auswertungsflexibilität zu erhalten, wird ein abstraktes dreidimensionales Zurechnungsobjekt definiert.

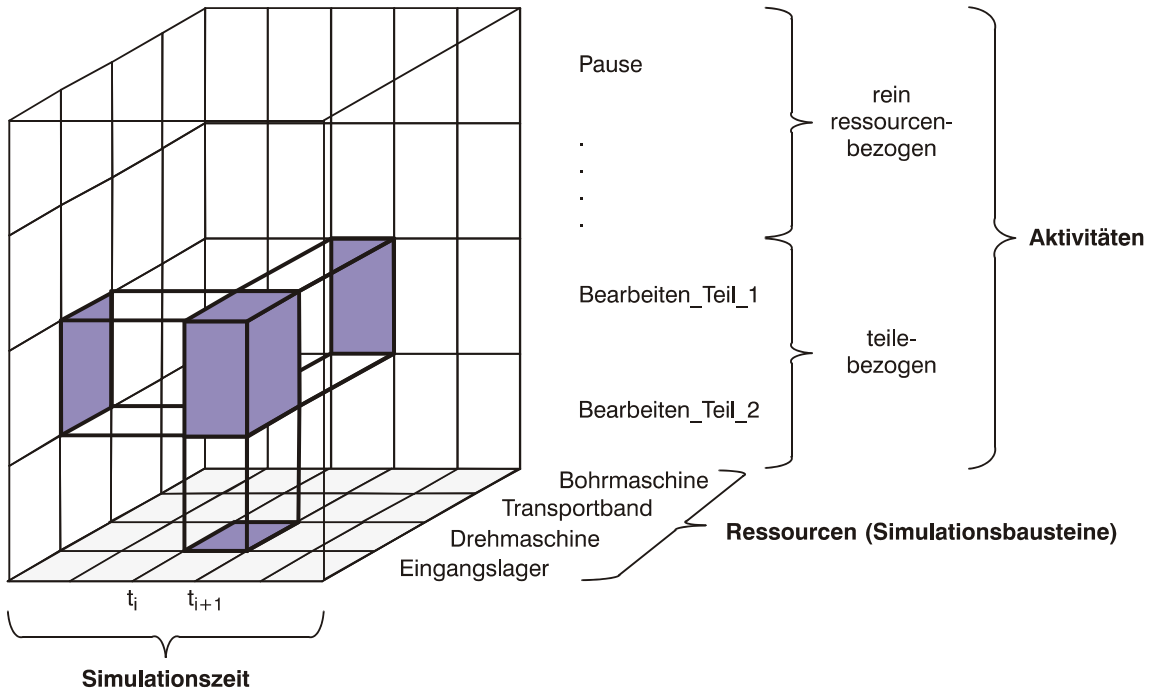


Bild 47: Definition eines dreidimensionalen elementaren Kostenzuordnungsobjekts

Die aktivitätsorientierte Definition eines elementaren Kostenzurechnungsobjekts ermöglicht eine eindeutige, überschneidungsfreie und vollständige Erfassung der Kosten bei der Leistungserstellung, da in der diskreten Simulation eine Aktivität von zwei aufeinanderfolgenden Ereignissen begrenzt wird und eine Ressource zu jedem Zeitpunkt in der Simulationslaufzeit genau eine Aktivität ausführt. Deswegen ist die Kostenerfassung bei einer Betrachtung der Simulationsbausteine als Kosten(erfassungs)stellen auch kongruent und zusätzlich aus Kostenstellensicht eindeutig. Weil das Simulationswerkzeug die erfaßten Ereignisse während der Simulationslaufzeit unabhängig von der späteren Verwendung im Rahmen einer Kostenbewertung erzeugt, entsteht kein zusätzlicher Aufwand. Damit ist auch die Wirtschaftlichkeit der Datenerfassung gegeben. Die Definition der durch die von t_{i+1} und t_i festgelegten Ausführungsdauer einer Aktivität an einer bestimmten Ressource als Kostenträger sorgt schließlich dafür, daß alle Kosten eindeutig zu den während der Simulation erstellten Leistungen zugeordnet werden können.

5.3.2 Berücksichtigung externer betriebswirtschaftlicher Größen

Mit der Definition des kostenrechnerischen Bezugsrahmens steht nun das Gerüst für die Aufnahme der Simulationsdaten fest. Dessen Werte haben mengen- (z. B. Anzahl der Bearbeitungsaktivitäten) oder zeitmäßigen (Ausführungsdauer) Charakter. Zur kostenmäßigen Bewertung ist es nun erforderlich, externe betriebswirtschaftliche Größen (Kosten) mit den Simulationsergebnissen zu verbinden. Da eine mögliche Kostenumlage der Verrechnungsfunktion f vorbehalten ist, muß die Kostenzuordnung konzeptionell umrechnungsfrei ausgelegt werden.

Nach dem Existenzpostulat von Riebel [RIE94] läßt sich für alle Kosten immer ein Zuordnungsobjekt umrechnungsfrei finden. Nach dem Postulat der Erhaltung der Zuordnungsinformation hat die Zuordnung auf der untersten Hierarchieebene zu erfolgen, auf der die Zuordnung eindeutig möglich ist. Kosten, die direkt einem Kostenträger umrechnungsfrei zugeordnet werden können, stellen absolute Einzelkosten dar. Dagegen stehen relative Einzelkosten beliebigen Zuordnungsobjekten gegenüber.

Übertragen auf die Objekte des Simulationsmodells stellen die definierten Kostenträger die unterste und damit die detaillierteste Zurechnungsebene dar. Beispielhaft könnten einer Bearbeitungsaktivität an der Station „Wareneingang“ bei jeder Durchführung bestimmte Materialkosten zugewiesen werden. Als nächsthöhere Zurechnungsebene bieten sich die Simulationsbausteine an, die zum Beispiel während der gesamten Simulationszeit unabhängig von der Ausführung einer bestimmten Aktivität Energiekosten verursachen. Eine Ebene darüber ist vorstellbar, daß ein Meister innerhalb einer Kostenstelle mehrere Maschinen beaufsichtigt und diese Kosten lediglich der Kostenstelle als dritter Hierarchiestufe umrechnungsfrei zurechenbar sind. Schließlich existieren noch Kosten wie Ausgaben für den Werkschutz, die lediglich dem Unternehmen als Ganzem schlüsselungsfrei angelastet werden können.

5.3.3 Entwicklung einer entscheidungsorientierten Grundrechnung

Die Ergebnisse der Simulation bilden gemeinsam mit den externen Größen den Grunddatenbestand. Er stellt eine zweckneutrale Datenbasis dar, die nun für spätere Auswertungen in geeigneten Datenstrukturen abzulegen ist. Um Zweckneutralität, vielfältige Verwertbarkeit und eine hohe Abbildungstreue zu gewährleisten, darf dabei weder eine Aggregation heterogener Elemente noch eine willkürliche Aufteilung homogener Elemente erfolgen. Weiterhin sind alle Größen bei dem jeweils originären Bezugsobjekt auszuweisen und die Elemente durch alle für die Auswertung bedeutsamen Merkmale zu kennzeichnen [SCH63].

Bei der Auswahl dieser Merkmale und ihrer Merkmalsausprägungen müßten die Anforderungen der voraussichtlich interessierenden Auswertungsmöglichkeiten vorweg bedacht werden. Wegen der Vieldimensionalität der aufzunehmenden Informationselemente kann jedoch nur eine urbelegidentische Grundrechnung das partielle Unterdrücken von Informationen vermeiden und die uneingeschränkte Klassifikations- und Verknüpfungsmöglichkeit gewährleisten.

In der Terminologie der Datenbanken [WED77] entspricht der Aufbau einer Grundrechnung als zweckneutrale Datenbasis der Aufstellung eines konzeptionellen Schemas und der Verwaltung der im Schema enthaltenen Basisrelationen. Dieses konzeptionelle Schema wird für Auswertungszwecke, die Schmalenbach [SCH63] als Sonderrechnungen bezeichnet, in externe Schemata transformiert. Die externen Schemata greifen nur lesend auf die Datenbasis zu und werden deshalb in relationalen Datenbanksystemen auch „Sichten“ (views) genannt.

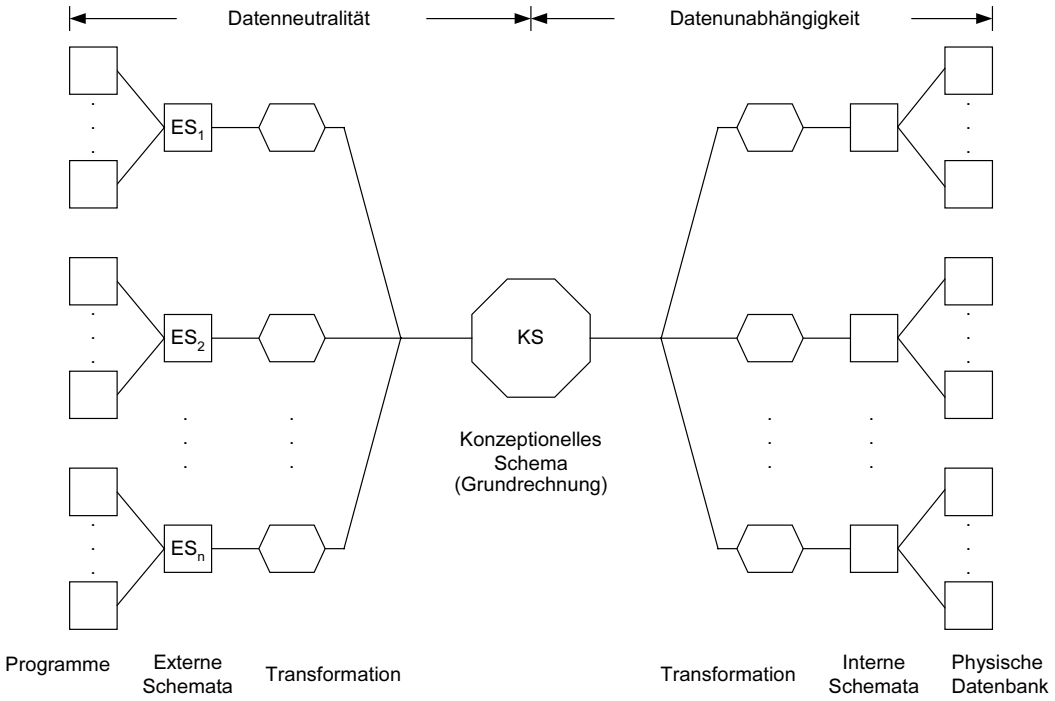


Bild 48: Begriffliche Äquivalenz von Grund- und Sonderrechnung in der Betriebswirtschaft zu konzeptionellem und externem Schema in der Datenbankterminologie als Grundlage zur Ableitung der Relationen

Nach der vorgestellten Systematik ist zwischen Kosten als Ergebnisgröße und Kosten als Eingangsgröße zu unterscheiden. Während Kosten als Ergebnisgröße Sonderrechnungscharakter haben, sind Kosten als Eingangsgröße (Preise) ebenso wie die festgestellten Ressourceninanspruchnahmen (Mengen) der Grundrechnung zuzuweisen. Da Kosten als Ergebnisgröße erst durch die Multiplikation der Verbrauchsmengen mit den dazugehörigen Kostenpreisen ermittelt werden, sind beide Faktoren in der Grundrechnung getrennt auszuweisen.

Die Ressourceninanspruchnahme ist in der Simulation das Ergebnis einer Aktivitätsdurchführung. Deshalb muß pro Aktivitätsdurchführung festgehalten werden, an welcher Ressource zwischen welchen Zeitpunkten welche Aktivität durchgeführt wurde. Galt die Aktivität einem beweglichen Element, ist dieses ebenfalls zu registrieren. Repräsentiert in der Simulation - z. B. bei der Losbildung - ein Element mehrere, muß zusätzlich die bei der Aktivitätsdurchführung bearbeitete Menge festgehalten werden. Als Ergebnis resultiert schließlich die Relation „Meßdaten“, die einer aktivitätsorientierten Form der Schnittstellendefinition aus Abschnitt 5.2.2 mit der Berücksichtigung einer losweisen Bearbeitung entspricht.

Relation „Meßdaten“ (Mengenkomponente der Grundrechnung)

Meßdaten_ID	*Primärschlüssel (kursive Darstellung)*
Ressourcen_ID	ID der ausführenden Ressource
Aktivitäts_ID	ID des ausgeführten Aktivitätstyps
Beginnzeitpunkt	Beginn der Aktivitätsausführung
Endzeitpunkt	Ende der Aktivitätsausführung
BE_ID	ID des bearbeiteten Elements
BE_Menge	Menge des bearbeiteten Elements

Bei der Aufstellung der Relation zur Verwaltung der Kosteneingangsgrößen ist zum einen die Ressource zu bezeichnen und zum anderen ein Preis für deren Nutzung anzugeben.

Relation „Ressourcenpreise“ (Preiskomponente der Grundrechnung)

Ressourcen_ID	*ID der Ressource*
Preis	Preis der Ressourcennutzung

Was sich jedoch im Fall eines Materialverbrauchs aufgrund des Vorhandenseins von Marktpreisen leicht bewerkstelligen läßt, wird im Fall der Nutzung von Potentialfaktoren selbst zur betriebswirtschaftlichen Bewertungsaufgabe. Daher ist zunächst zu klären, wie die Inanspruchnahme von Ressourcen betriebswirtschaftlich bewertet werden kann und wie sie sich in die Systematik von Grund- und Sonderrechnung auswertungsneutral integrieren läßt.

5.3.4 Bewertungsansätze für die Inanspruchnahme von Ressourcen

Wird eine Ressource - wie beispielsweise ein Rohling beim Drehen - während der Aktivitätsdurchführung vollständig verwertet, entspricht die Bewertung dem Materialverbrauch. Um diese Äquivalenzbeziehung auch bei den anderen beteiligten Ressourcen - wie zum Beispiel der Drehmaschine, dem Drehmeißel oder dem Dreher - bei denen keine hundertprozentige Verwertung erfolgt, herstellen zu können, stellt sich folglich die Frage, mit welchem Anteil sie bei der Aktivitätsdurchführung beansprucht werden.

Bei Ressourcen - wie beispielsweise festangestellten Arbeitskräften -, deren Potentialbereitstellung ein Unternehmen zeitbezogen honoriert, läßt sich die geforderte Äquivalenz herstellen, indem die Ausführungsdauer in Relation zur Vergütungsperiode bewertet wird. Wegen der Tatsache, daß solche Ressourcen während ihrer Existenz im Simulationsmodell zu jeder Zeit eine Aktivität ausführen, wird ihre Nutzung schließlich ebenfalls zu hundert Prozent verrechnet.

Damit ist nun noch die Frage zu klären, wie die Inanspruchnahme solcher Ressourcen - z. B. einer Drehmaschine oder eines Gebäudes - bewertet werden soll, für deren Bereitstellung ein Unternehmen im voraus bezahlt hat. Gemäß dem Grundsatz, die abgegebene Leistung im Verhältnis zum bereitgestellten Leistungspotential zu bewerten, ist abzuschätzen, über welche Nutzungsdauer überhaupt eine Leistungsabgabe erfolgen kann. Mit dieser Abschätzung wird schließlich ein Zeitbezug geschaffen, der analog zur zeitbezogenen Honorierung als Bezugsbasis dienen kann. Jedoch ist zu beachten, daß die Nutzungsdauer eine mit Unsicherheit behaftete Planungsgröße darstellt.

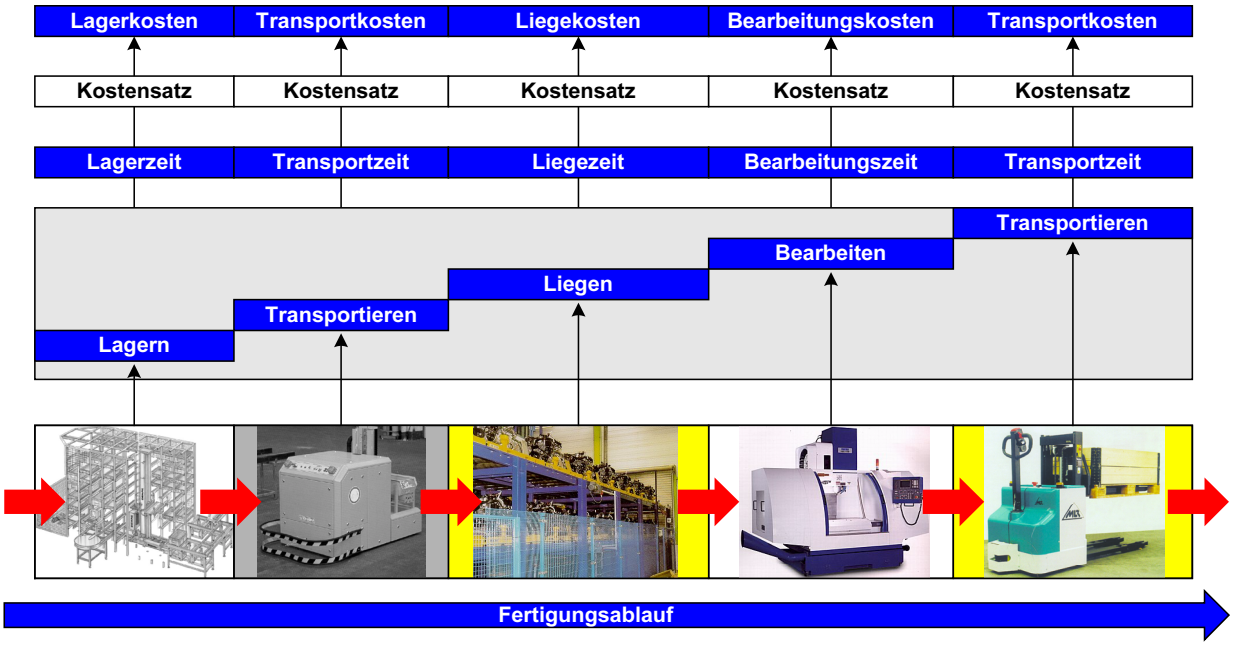


Bild 49: Die Zeit als einheitliche Bezugsgröße für die Ressourcennutzung von Potentialfaktoren

Die Verwendung der Zeit als einheitliche Bezugsgröße für leistungserstellende Ressourcen bietet den Vorteil, daß der Zeitverbrauch für die Ausführung von Aktivitäten an den jeweiligen Bearbeitungsstationen unmittelbar aus der Simulation entnommen werden kann. Zudem ist es möglich, die wirtschaftliche Bewertung nach dem Vorbild der Maschinenstundensatzrechnung [VDM83] vorzunehmen. Damit steht ein anerkanntes und auch im Hinblick auf höher automatisierte Fertigungseinrichtungen hinreichend detailliertes Verfahren zur verursachungsgerechten Kostenermittlung zur Verfügung. Die Bewertung des Ressourcenverbrauchs zur Ausführung einer Aktivität erfolgt dabei über die zeitliche Inanspruchnahme, verrechnet mit einem Maschinen- oder Platzkostenstundensatz. Für eine Aktivität können dabei unterschiedliche Arten von Ressourcen, z. B. ein Betriebsmittel und ein Maschinenbediener, benötigt werden.

Für eine entscheidungsorientierte Grundrechnung genügt es jedoch nicht, pro Ressource lediglich einen Stundensatz festzuhalten. Vielmehr ist z. B. für die Beurteilung der Auswirkungen einer kurzfristigen Produktionsanpassung in Anlehnung an Riebel [RIE94] eine Unterscheidung vorzunehmen in Leistungskosten (variable Kosten), also solche Anteile, die kurzfristig über eine Veränderung der Produktionsmengen beeinflußbar sind, und in Bereitschaftskosten (fixe Kosten), die erst die technischen Voraussetzungen für die Realisierung des Produktionsprogramms schaffen.

Da Investitionsrechnungen auf einer Betrachtung von Zahlungsströmen basieren, sollte weiterhin zwischen pagatorischen (zahlungswirksamen) und kalkulatorischen Kostensätzen unterschieden werden. Zudem ist es für spätere kostenartenbezogene Auswertungen hilfreich, auch die einzelnen Bestandteile eines Ressourcenstundensatzes separat auszuweisen. Im Ergebnis erhält folgende Relation die Auswertungsflexibilität:

Relation „Ressourcenstundensatz“ (RSS)

Ressourcen_ID	*ID der Ressource*
RSS	Gesamtstundensatz der Ressource [GE/h], (GE = Geldeinheit)
Fix	Fixer Anteil des Stundensatzes [GE/h]
Var	Variabler Anteil des Stundensatzes [GE/h]
Pag	Pagatorischer Anteil des Stundensatzes [GE/h]
Kalk	Kalkulatorischer Anteil des Stundensatzes [GE/h]

Dabei sind die Basisdaten wie Nutzungsdauer oder kalkulatorischer Zinssatz in einer eigenen Relation abgelegt und über den Primärschlüssel Ressourcen_ID zur Ressourcenstundensatz-Relation zuordenbar. Weiterhin ist es durch die Unterscheidung des Kostencharakters möglich, beliebige Kostenarten zu definieren und über eine Zuordnungsfunktion in die Felder fix, variabel, pagatorisch oder kalkulatorisch zu verteilen.

5.3.5 Grundstruktur einer prozeßorientierten Bewertungssystematik

Über der Bewertung der Ressourceninanspruchnahme kann der in Kapitel 5.3.1 definierte Kostenträger mit Kosten belastet werden. Um jedoch wirtschaftlich erfolgreich zu sein, muß der Wert der am Markt abgesetzten Leistungen über den gesamten Kosten liegen, die im Rahmen der Leistungserstellung angefallen sind. Was zur detaillierten Beurteilung der Wirtschaftlichkeit also noch fehlt, ist eine Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Kostenträgern und den abgesetzten Leistungen.

Der Zusammenhang besteht darin, daß die Ausführung von Fertigungsaufträgen beziehungsweise die Herstellung eines Produktes als Abfolge von Aktivitäten - in der Regel auf Basis von Stücklisten und Arbeitsplänen - beschrieben werden kann. Mit ihrer Abbildung im Simulationsmodell sind sowohl die Ausführungsdauern dieser Aktivitäten als auch die Zeitdauern der aufgrund dynamischer Wirkungen entstandenen Warte-, Blockier-, Lagerungs- und Transportaktivitäten bekannt. Da ein Kunde nicht bereit sein wird, für Liegezeiten seiner bestellten Produkte im Werk des Unternehmens zu zahlen, muß schon auf Aktivitätsebene zwischen wertschöpfenden und lediglich kostenerhöhenden Aktivitäten unterschieden werden.

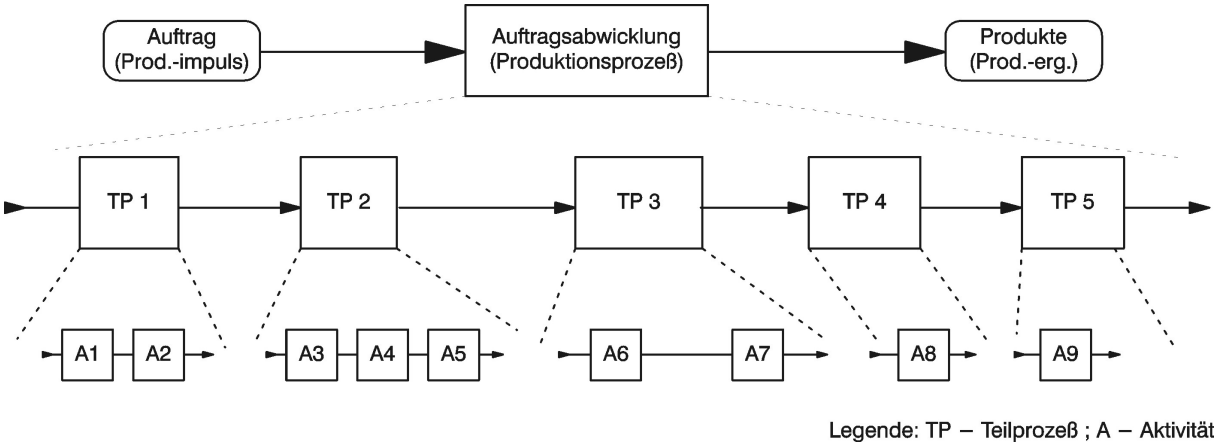


Bild 50: Zusammenhang zwischen Produkten, Prozessen und Aktivitäten

In Anlehnung an Riebel [RIE94] dürfen bei der Bestimmung der von einem bestimmten Prozeß verursachten Kosten bzw. geschaffenen Werte nur diejenigen Aktivitäten berücksichtigt werden, die eindeutig zur Durchführung des betreffenden Prozesses dienen. Dazu gehören zweifelsfrei alle (wertschöpfenden) Bearbeitungsaktivitäten, aber auch die lediglich kostenerhöhenden Prüfaktivitäten sowie - bei sortenreiner innerbetrieblicher Logistik - die Transport- und Lageraktivitäten. Da Rüstaktivitäten durch die Abfolge zweier unterschiedlicher Bearbeitungsaktivitäten ausgelöst werden, ist auf (Fertigungs-)Prozeßebene keine eindeutige Zuordnung möglich. Diese Eindeutigkeit kann dann erst auf einer höheren Ebene wiederhergestellt werden, wenn zum Beispiel alle betrachteten Prozesse zur Durchführung eines Fertigungsauftrags notwendig waren und der Auftrag als Kalkulationsobjekt betrachtet wird. Gleiches gilt im Hinblick auf die Rüstkosten, wenn die Wirtschaftlichkeit eines Produktionsplanes zu bewerten ist.

Aus der dargestellten Bewertungsvielfalt folgt, daß von dem zu realisierenden Werkzeug lediglich eine Zuordnung von Aktivitäten zu Prozessen vorgeschlagen werden soll und dem Benutzer zusätzlich die Möglichkeit zu geben ist, weitere Zuordnungen vorzunehmen. Wegen der Vielzahl von Aktivitäten, die im Prozeßablauf auftreten können, ist außerdem die Möglichkeit hilfreich, einen Prozeß in Unterprozesse gliedern zu können. Die dadurch entstehenden neuen Kalkulationsobjekte erlauben dann auch beispielhaft Make-or-Buy-Untersuchungen.

5.4 Abbildung der Bewertungsbasis in einer relationalen Datenstruktur

In den vorangegangenen Abschnitten wurde eine Basis zur Aufnahme bewertungsrelevanter Daten in originärer beziehungsweise unverdichteter Form geschaffen. Um diese für betriebswirtschaftliche Auswertungen komfortabel verwalten und nutzen zu können, sind alle Objekte mit ihren Beziehungen in einem Datenmodell darzustellen. Das Datenmodell dient damit der Informationsrepräsentation und ist das Fundament des gesamten Informationssystems. Seine Spezifikation wird durch die Anforderungen der Analysesystematik bestimmt. Die abzubildenden Informationsinhalte ergeben sich aus dem Anspruch einer detaillierten Protokollierung des Fertigungsprozesses und aus den Zielsetzungen, die beim Entwurf der betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente formuliert wurden.

Da das relationale Modell, das 1970 erstmals von E. F. Codd [COD70] vorgestellt wurde, heute unter den Datenmodellen mit Abstand am weitesten verbreitet ist [HOF98], wird es für die datentechnische Umsetzung der betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente verwendet. In einer relationalen Datenbank werden Informationen in zweidimensionalen Tabellen, den Relationen, gespeichert. Eine Zeile der Tabelle entspricht einem Datensatz (Tupel). Die Merkmale des Datensatzes werden durch Attribute beschrieben, die den Spaltenüberschriften entsprechen. Alle Einträge einer Spalte sind vom selben Typ und die Bedeutung jeder Spalte ist durch einen Namen (Attributsname) eindeutig gekennzeichnet. Jeder Tupel kann durch ein Attribut bzw. eine Attributkombination eindeutig identifiziert werden. Dieses Attribut bzw. die Attributkombination wird Primärschlüssel (primery key) genannt. Wird in einer Relation R1 ein Attribut verwandt, das in einer anderen Relation R2 Primärschlüssel ist, so stellt es innerhalb von R1 einen Fremdschlüssel (foreign key) dar. Die Beziehungen zwischen Entities werden über Fremdschlüssel dargestellt.

Um bestimmte Inhalte aus den Tabellen auszuwählen oder mit Daten mehrerer Tabellen arbeiten zu können, stehen in relationalen Datenbanken eine Reihe von Operationen aus der Relationsalgebra zur Verfügung. Durch Normalisierung können komplexe Relationen in einfache, regelmäßig strukturierte Relationen überführt werden. Das Ergebnis sind normalisierte Relationen, deren Einheiten nicht weiter zerlegt werden können. Dies erleichtert die Darstellung der Relationen als Tabellen und führt zu übersichtlicheren redundanzfreien Datenstrukturen. Ein weiterer Vorteil ist die mächtige mathematische Basis, die durch zusätzliche Programmierschnittstellen noch erweitert werden kann.

Zusammen mit dem relationalen Modell stellte Chen [CHE76] mit den Entity-Relationship-Diagrammen auch eine Diagrammtechnik zur Repräsentation der logischen Datenstrukturen auf bildliche Weise vor. In Anlehnung daran werden in den Editoren gängiger relationaler Datenbanksysteme Relationen als Rechtecke und Beziehungen zwischen Relationen als Pfeile unter Angabe des Beziehungstyps (1:1, 1:n, n:m) eingetragen.

Damit stellen sich für den Aufbau logischer Datenstrukturen zwei Hauptaufgaben: Zum einen sind alle notwendigen Objekte zu identifizieren und zum anderen durch die Definition geeigneter Beziehungen in Relation zueinander zu setzen. Zur Wahrung der Datenkonsistenz ist es dabei zweckmäßig, sich an den Datenstrukturen zu orientieren, die explizit oder implizit bereits im Simulationsmodell respektive des von ihm erzeugten Tracefiles enthalten sind. Deshalb gilt es, zunächst diese Strukturen zu betrachten, um auf dieser Basis in einem weiteren Schritt bewertungsrelevante Objekte mit ihren Beziehungen integrieren zu können.

5.4.1 Datenstruktur des Simulationsmodells

Für den Aufbau bausteinorientierter Simulationsmodelle ist zunächst festzulegen, welche Ressourcen abgebildet werden und wie diese materialflußtechnisch miteinander verknüpft sind. Weiterhin muß definiert werden, welche Produkte im Simulationsmodell nach welchen Arbeitsplänen zu erzeugen sind. Zusätzlich sollte die Möglichkeit bestehen, noch Angaben zur Auftragseinlastung, zur Arbeitszeit- und zur Ablauforganisation sowie zur Ressourcenzuordnung zu hinterlegen. Zusammenfassend lassen sich die Daten nach VDI [VDI93] in Systemlastdaten, Organisationsdaten und technische Daten gliedern.

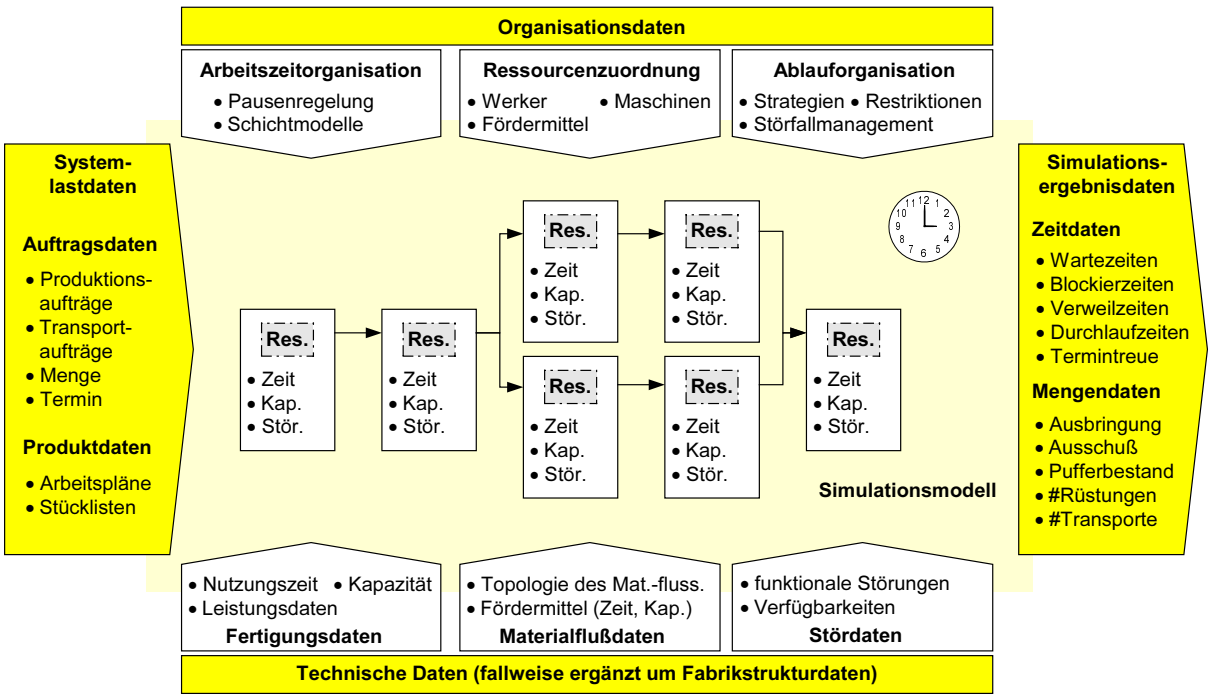


Bild 51: Ableitung der Datenstruktur auf Basis der für die Systemsimulation benötigten Informationen nach VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1

Gemäß dem Vorgehen beim Aufbau eines Simulationsmodells lassen sich zunächst die mit Hilfe von Bausteinen abgebildeten Ressourcen als Objekte identifizieren. Da ihre Bezeichnung im Simulationsmodell eindeutig sein muß, könnte sie prinzipiell als Primärschlüssel für die Relation „Ressourcen“ verwendet werden. Aus Gründen der Praktikabilität ist es jedoch sinnvoll, eine Kennummer als Schlüsselsurrogat einzuführen. Weiterhin gilt es, nur solche Attribute aufzunehmen, die als kleinster gemeinsamer Nenner für eine wirtschaftliche Bewertung notwendig sind. Dazu gehören die Ressourcenkategorie, die Bereitschaftszeit sowie die Auslastung.

Relation „Ressource“

Res_Nr	*Kennummer der Ressource*
Res_Bezeichnung	Name der Ressource im Simulationsmodell
Res_Kategorie	Kategorie (Mensch, Maschine, Logistik)
Res_Bereitschaftszeit	Bereitschaftszeit (potentielle Leistungsabgabe)
Res_Auslastung	Auslastung (tatsächliche Leistungsabgabe)

Die Ressourcen erbringen ihre Leistungen über Aktivitäten an beweglichen Elementen, aus denen im Produktionsablauf schließlich Produkte entstehen. Die einzelnen Produkte eines Typs sind standardmäßig in bezug auf Funktion und Qualität vollkommen homogen. Einziges Differenzierungsmerkmal der Produkte ist die unterschiedliche Produktnummer. In der Nomenklatur der Produktion stellen die beweglichen Elemente Teile dar, die in der entsprechenden Relation durch eine Teilenummer eindeutig gekennzeichnet werden. Ist diese nicht sprechend, kann zur Erhöhung der Lesbarkeit zusätzlich die Teileklasse angegeben werden. Soll später eine Betrachtung von Qualitätsaspekten erfolgen, ist diese Relation ohne weiteres um ein Attribut erweiterbar, das die Güteklasse angibt.

Relation „Teile“

Teile_Nr	*ID eines beweglichen Elements*
Teile_Klasse	Typ des beweglichen Elements

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Verknüpfung der beiden Relationen „Ressourcen“ und „Teile“ über Aktivitäten. Für jede Aktivität muß demnach die ausführende Ressource angegeben werden. Ist diese - wie im Fall eines FTS-Fahrzeugs - mobil, wird zur eindeutigen Unterscheidung zweier Aktivitäten noch die Angabe der Start- und der Zielressource benötigt. Mit diesen Angaben können dann alle in der Simulation durchgeführten Aktivitäten beschrieben werden. Zusätzlich ist es sinnvoll, ein Attribut zur Kennzeichnung des Aktivitätstyps einzuführen, da für spätere betriebswirtschaftliche Auswertungen danach differenziert werden muß, ob eine Bearbeitungsaktivität auch wirklich von einer Bearbeitungsstation oder lediglich einem Transportmittel durchgeführt wurde.

Relation „Aktivitäten“

Aktivitäts_Nr	*Nummer der Aktivität*
Ressourcen_Nr	Nummer der ausführenden Ressource
VG_Res_Nr	Nummer der Vorgängerressource
NF_Res_Nr	Nummer der Nachfolgerressource
Teile_Nr	Nummer des bearbeiteten Teils
Aktivitätstyp	Typ der Aktivität (z. B. Warten, Bearbeiten, ...)

Ausgehend von den Basisrelationen „Ressourcen“, „Teile“ und „Aktivitäten“ sind nun verschiedene Verdichtungen möglich. So können Produktstrukturen beziehungsweise Stücklisten über eine Strukturrelation angegeben werden. Diese beschreibt, welches untergeordnete Teil in welches übergeordnete Teil in welcher Menge eingeht. Damit wird die Erzeugnisstruktur als gerichteter Graph aufgefaßt, in dem die einzelnen Teile die Knoten und die jeweiligen Input-Beziehungen die Kanten darstellen. Über eine Umkehrung der Richtungsbeziehung ist es zusätzlich möglich, auch Demontagevorgänge abzubilden. Insgesamt wird bei der Betrachtung eines Montage- oder Demontagegraphen sehr schnell deutlich, daß mit Hilfe dieses Ansatzes die Abbildung kompletter Erzeugnisstrukturen realisiert werden kann.

Relation „Produktstruktur“

Beziehung	*Montage oder Demontage*
Oberteile_Nr	*Nummer des Teils mit höherer Veredlung*
Unterteile_Nr	*Nummer des Teils mit niedrigerer Veredlung*
Menge	Gewicht der Kante

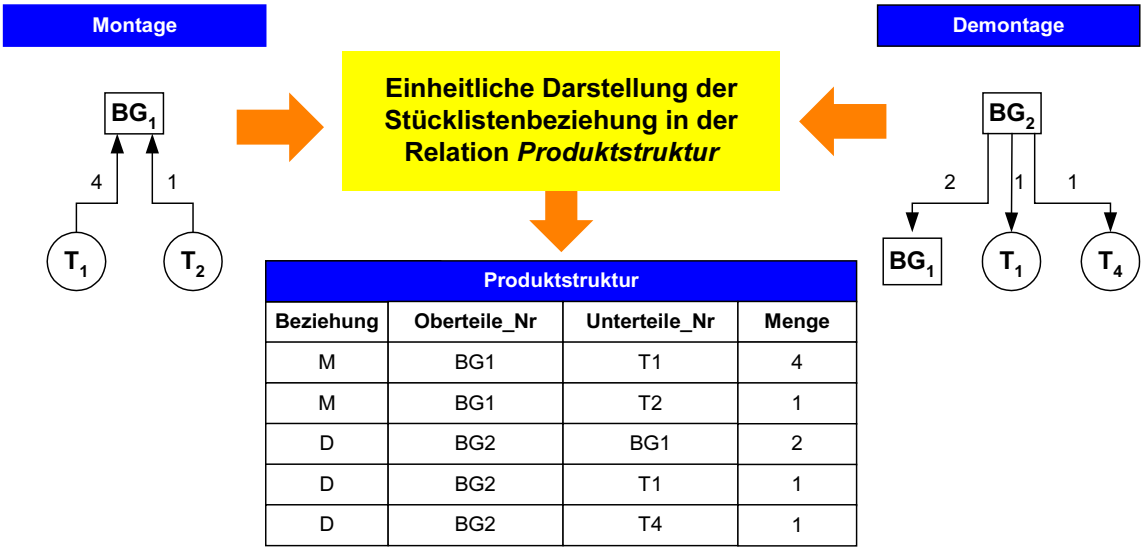


Bild 52: Abbildung von Stücklisten und Demontagegraphen mit der Relation „Produktstruktur“

Zur Herstellung eines Teils sind im Normalfall mehrere Schritte oder Arbeitsgänge erforderlich. Diese werden im Arbeitsplan zusammengefaßt. Über die Zuordnung eines Arbeitsgangs zu einer Ressource ist dann der Materialfluß determiniert. In der Simulation erfolgt schließlich nach dieser Festlegung die Ausführung der Bearbeitungsaktivitäten an den einzelnen Stationen. Um nun auf der einen Seite die Eingangsdaten von den Ausgangsdaten systematisch abzugrenzen und andererseits aber auch eine enge sachlogische Beziehung beizubehalten, bietet es sich an, eine prozeßorientierte Datendefinition zu wählen. Dazu wird eine Prozeßhierarchie eingeführt, die aus Unterprozessen und Aktivitäten besteht. Durch ihre Verwendung ist es möglich, alle Aktivitäten zur Herstellung eines Teils in einem Unterprozeß zusammenzufassen. Wird ein Prozeß so definiert, daß er alle Unterprozesse zur Herstellung eines Produktes umfaßt, ist schließlich der sachlogische Zusammenhang zwischen Prozeß- und Produktstruktur gewährleistet.

Relation „Prozeß“

Prozeß_Nr	*Kennummer des Prozesses*
Prozeßbeschreibung	Beschreibung des Prozesses

Relation „Unterprozeß“

Unterprozeß_Nr	*Kennummer des Unterprozesses*
Unterprozeßbeschreibung	Beschreibung des Unterprozesses

Relation „AktUp“ (Zuordnung einer Aktivität zu einem Unterprozeß)

Unterprozeß_Nr	*Kennummer des Unterprozesses*
Aktivitäts_Nr	*Kennummer der Aktivität*
Reihenfolge_Nr	Reihenfolge der Aktivität nach Arbeitsplan

Über die Relation „AktUP“ wird festgelegt, welche Aktivität zu welchem Unterprozeß gehört. Da außerdem aus der Simulation auch die Reihenfolge der Aktivitätsdurchführung hervorgeht, muß diese ebenfalls festgehalten werden. Ist dabei die Ausführung einer Aktivität auf verschiedenen Ressourcen möglich, wird die gleiche Reihenfolgenummer vergeben. Gleiches gilt für die Zuordnung eines Unterprozesses zu einem Prozeß.

Relation „UpPro“ (Zuordnung eines Unterprozesses zu einem Prozeß)

Prozeß_Nr	*Kennummer des Prozesses*
Unterprozeß_Nr	*Kennummer des Unterprozesses*
Reihenfolge_Nr	Reihenfolgenummer nach Arbeitsplan

Mit den beschriebenen Relationen können die Struktur- und Ergebnisdaten aus der Simulation strukturiert erfaßt werden. So ist jeder Ressource aus dem Meßdatensatz genau eine Ressource aus der Ressourcenrelation zugeordnet. Weiterhin besteht eine eindeutige Zuordnung zu den Aktivitäten. Darüber ist dann eine Verdichtung in Richtung Produkt- oder Prozeßstruktur möglich.

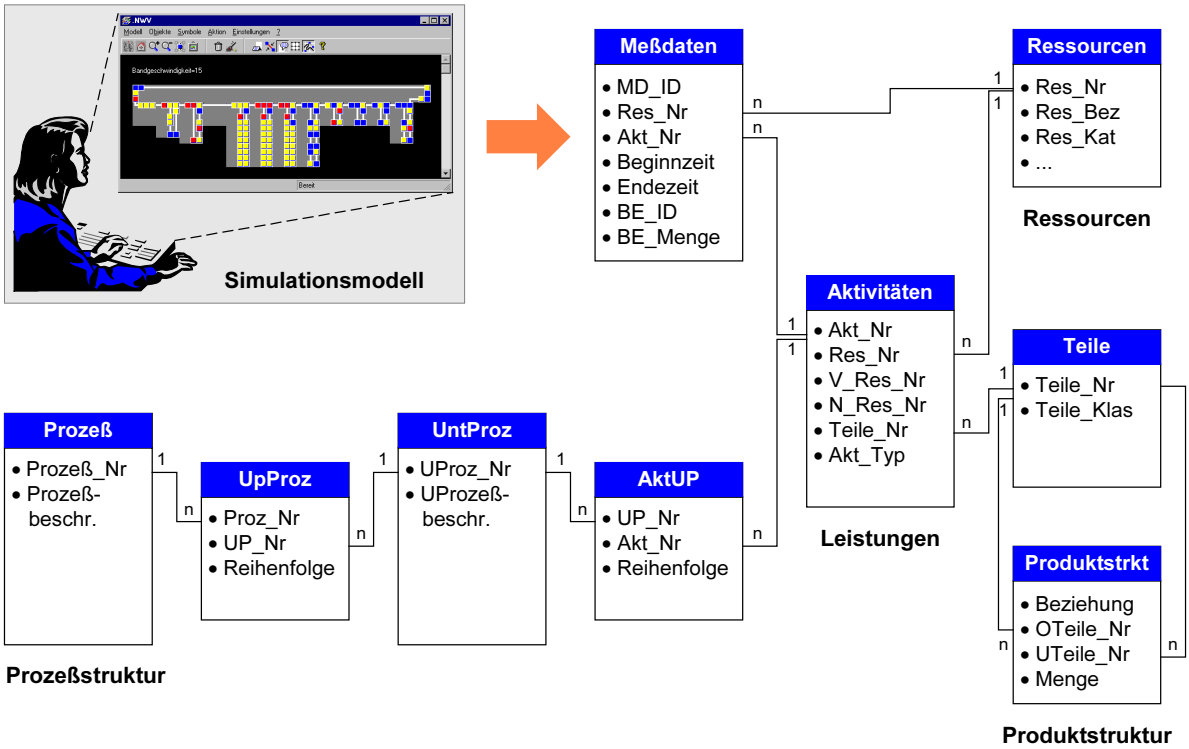


Bild 53: Relationen zur Aufnahme technischer Daten

Das konzeptionelle Schema aus Bild 53 enthält bereits das Informationsraster, um zum Beispiel die Berechnung von Durchlaufzeiten eines Produkterstellungsprozesses unterstützen zu können. Für betriebswirtschaftliche Zwecke werden neben diesen technischen Basisrelationen auch Relationen zur Aufnahme wirtschaftlicher Daten benötigt.

5.4.2 Betriebswirtschaftliche Ergänzung des Datenmodells

Die betriebswirtschaftliche Ergänzung des Datenmodells kann komfortabel über neue Relationen und Beziehungen erfolgen. Um die bereits in Kapitel 5.3.4 vorgestellte Relation „Ressourcenstundensatz“ zu integrieren, genügt es, sie über ihren Primärschlüssel „Ressourcen_ID“ mit der Basisrelation „Ressourcen“ zu verknüpfen. Im Anschluß daran wäre es bereits möglich, die Aktivitätsausführung an dieser Ressource zu bewerten.

Genauso einfach stellt sich die Erweiterung um neue Relationen dar. So sind Ressourcen im Normalfall zu Kostenstellen zugeordnet. Gemäß dem bisherigen Vorgehen genügen für diese Zuordnung eine Relation „Kostenstellen“ und eine Relation „Kostenstellenzuordnung“.

Die Relation „Kostenstellen“ stellt wiederum die Basisrelation mit Kostenstellen_Nr als Primärschlüssel dar. Weiterhin kann sie auch die Kostenstellengemeinkosten enthalten.

Relation „Kostenstelle“

Kostenstellen_Nr	*Kennummer der Kostenstelle*
Kostenstellen_Bez	Bezeichnung der Kostenstelle
KSt_Kosten	Gemeinkosten der Kostenstelle

Relation „ResKSt“ (Zuordnung einer Ressource zur einer Kostenstelle)

Kostenstellen_Nr	*Kennummer der Kostenstelle*
Ressourcen_Nr	*Kennummer der Ressource*

Was nun für eine Kostenrechnung neben Kostenstellen und den bereits als Kostenträger definierten Aktivitäten noch fehlt, ist die Basisrelation „Kostenarten“. Zur Definition neuer Kostenarten ist dann lediglich ein Primärschlüssel erforderlich. Zusätzlich ist jedoch zu beschreiben, um welchen Kostentyp es sich bei einer Kostenart handelt.

Relation „Kostenarten“

Kostenarten_Nr	*Kennummer der Kostenart*
Kostenarten_Bez	Bezeichnung der Kostenart (z. B. Rohmaterial)

Relation „Kostentyp“

Kostentyp_Nr	*Kennummer des Kostentyps*
Kostentyp_Bez	Bezeichnung (z. B. Materialeinzelkosten)

Relation „KostenartTyp“ (Zuordnung einer Kostenart zu einem Kostentyp)

Kostentyp_Nr	*Kennummer des Kostentyps*
Kostenart_Nr	*Kennummer der Kostenart*

Mit diesen Relationen ist es nun möglich, sowohl hinsichtlich Kostenarten als auch Kostentypen sehr flexibel zu sein. So können zum Beispiel bestimmte Kostenarten vordefiniert werden, die später durch den Benutzer erweiterbar sind. Gleiches gilt für die Kostentypen. Will ein Anwender den Kostentyp „Fertigungseinzelkosten" nach Personal und Maschinen separieren, definiert er einfach zwei neue Typen „Fertigungseinzelkosten (Personal)“ und „Fertigungseinzelkosten (Maschine)“. Zur Sicherheit sollte er danach den allgemeinen Typ löschen. Die referentielle Integrität sorgt schließlich dafür, daß es keine ungültigen Zuordnungen mehr gibt.

Bevor nach der Definition der Basisobjekte zum Kern der Kostenrechnung vorgestoßen werden kann, wird gemäß dem traditionellen Vorgehen eine Art „Betriebsabrechnungsbogen“ benötigt. Dieser erfaßt normalerweise, welche Kostenart in welcher Kostenstelle in welcher Höhe angefallen ist. Unter Berücksichtigung der Forderung von Riebel [RIE94], Kosten nicht zu schlüsseln, sind mehrere Zuordnungsobjekte notwendig.

Relation „BAB“ (Zuordnung konkreter Kosten zu einer Kostenart und BezObjekt)

Bezugsobjekts_ID	*{Akt_ID | Res_ID | UP_ID | Prozeß_ID}*
Bezugsobjekt_Typ	{Akt | Res | UP | Prozeß}
Kostenart_Nr	*Kennummer der Kostenart*
Kostencharakter	*{variabel, fix, pagatorisch, kalkulatorisch}*
Kosten	Konkreter Betrag

Die Relation „BAB“ weist damit nur relative Einzelkosten aus. Um die in manchen Kostenrechnungssystemen erforderlichen Schlüsselungen abbilden zu können, muß eine Beziehung zwischen dem kostenverteilenden und dem kostenempfangenden Objekt hergestellt werden. Zum Beispiel gilt es alle Kosten, die nicht über die Aktivitäts-ID auf eine Teile_Nr verrechenbar sind, zu schlüsseln. Für die Zuschlüsselung von Aktivitäten ohne Teilebezug bieten sich dabei die Unterprozesse an. Nach der gleichen Logik sind dann die Kostenstellengemeinkosten auf diejenigen Prozesse zu verrechnen, die von den in einer Kostenstelle befindlichen Ressourcen Gebrauch machen. Außerdem ist der Verrechnungsschlüssel anzugeben, aus dem schließlich der Verrechnungsbetrag resultiert.

Relation „Schlüsselung“

Verteilendes_Objekt_ID	*{Res_ID | KSt_ID | Betriebs_ID}*
Verteilendes_Objekt_Typ	{Res | KSt | Betrieb}
Empfangendes_Objekt_ID	*{UP_ID | Prozeß_ID}*
Empfangendes_Objekt_Typ	{UP | Prozeß}
Schluesselungssatz	Angabe in %
Schluesselungsbetrag	Absolute Angabe des Betrags

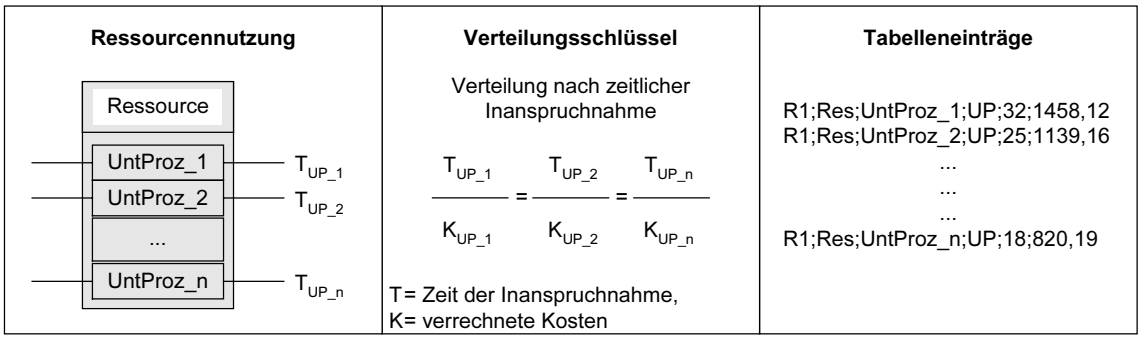


Bild 54: Beispielhafte Möglichkeit zur Schlüsselung von Ressourcenkosten

Da die verrechneten Kosten von dem Zurechnungsobjekt nicht verursacht wurden, haben sie Gemeinkostencharakter. Je nachdem, zu welchem Kostenbereich eine Kostenstelle gehört, handelt es sich dabei um Material- oder Fertigungsgemeinkosten. Eine Relation, die Kostenstellen zu bestimmten Kostenbereichen zuordnet, unterstützt die automatisierte Kostenermittlung.

Führt eine Ressource zum Beispiel drei Bearbeitungsaktivitäten für die Teile A, B und C durch, so haben die zugehörigen Kosten Einzelkostencharakter. Die restlichen Aktivitäten dienen beispielsweise der Instandhaltung und sind ebenfalls in der BAB-Relation enthalten. Über Funktionen der Relationenalgebra können nun ihre Gesamtkosten errechnet werden. Weiterhin ist feststellbar, inwiefern die zu den Bearbeitungsaktivitäten gehörenden Unterprozesse die betreffende Ressource beansprucht haben. Auf dieser Basis kann dann eine Verteilung der Gemeinkosten erfolgen, indem nach der Feststellung des Kostenbereichs ein entsprechender Eintrag in der Relation „Schlüsselung“ generiert wird.

Ein Kostenrechnungssystem, das - wie die traditionelle Vollkostenrechnung - mit vorgegebenen Zuschlagsätzen arbeitet, benötigt eigene Relationen. Zwar könnte jede Kostenstelle mit einem Attribut „Zuschlagssatz“ ergänzt werden. Jedoch wird der Charakter eines Kostenrechnungssystems deutlicher wiedergegeben, wenn sich der Zuschlagssatz direkt auf den Kostentyp bezieht.

Relation „VK_Zuschlaege“

Basiskategorie_Nr	*Angabe der Zuschlagsbasis (z. B. MatEK)*
Ergebniskategorie_Nr	*Ergebnisgröße (z. B. MatGK_VK)*
Zuschlagsatz	Angabe in Prozent
Zuschlagbetrag	Angabe als Absolutwert

Neben der traditionellen Berechnung von Gemeinkosten gibt es noch weitere wichtige Kostengrößen, die extern zugeführt werden. So ist es in der Simulation nicht notwendig, den Verbrauch von C-Materialien abzubilden. Für die Kalkulation sind diese Kosten jedoch von Bedeutung. Bei ihrer Integration kann zwischen Zeit- und Mengenbezug unterschieden werden. Mengenbezug bedeutet, daß jedesmal mit der Ausführung einer bestimmten Aktivität eine bestimmte Menge verbraucht wird. Zeitbezug heißt, daß zum Beispiel eine Ressource nach einer bestimmten Betriebsdauer geschmiert werden muß. Da diese externen Kostengrößen von den BAB-Kosten ableitbar sind, genügt es, in einer Vorgabe-BAB den Bezug zu definieren und in einer Ergebnis-BAB die Ergebnisse der externen Kostenbetrachtung zu hinterlegen. Mit den Methoden der Relationenalgebra ist es für spätere Auswertungen ohne weiteres möglich, die strukturgleichen Relationen BAB und extBAB virtuell zu verbinden. Aus diesem Grund ist es nicht nötig, beide Relationen zu vereinigen. Vielmehr ergibt es wegen der Verdeutlichung der Kostenherkunft Sinn, beide Relationen getrennt zu halten.

5.5 Auswertesystematik des Datenbestandes im Informationsmodell

Nach der Simulation umfaßt das entwickelte Datenmodell eine Vielzahl zweckneutraler Grunddaten. Im konkreten Entscheidungsfall muß eine Untermenge daraus zweckentsprechend verdichtet werden, für deren Ermittlung und Visualisierung sich bestimmte Darstellungsformen besonders eignen. Generell wird neben der Berechnung statistischer Kennwerte vor allem die intuitive Erkenntnisfähigkeit des Betrachters angesprochen, der dem Bild in der Regel keine exakten Zahlenwerte entnimmt, sondern das Muster insgesamt wahrnimmt und interpretiert. Wegen der Vielzahl der Auswertemöglichkeiten ist es wichtig, einem Anwender einen schnellen Überblick über die Simulationsergebnisse zu geben. Er soll Schwachstellen und Verbesserungspotentiale schon auf der höchsten Ebene erkennen können und die Möglichkeit haben, zielgerichtet durch den Datenbestand zu navigieren. Dazu bedarf es zunächst der Entwicklung einer zielgerichteten Verdichtungshierarchie, auf deren Basis vieldimensionale Auswertungen möglich sind.

5.5.1 Entwicklung einer zielgerichteten Verdichtungshierarchie

Mit Hilfe des Klassifikationsschlüssels können die im Datenmodell repräsentierten Simulationsergebnisse in vielfältiger Form verdichtet werden. Zur Ableitung einer Verdichtungshierarchie bietet es sich an, sich die unterschiedlichen Sichtweisen auf ein Produktionssystem in Erinnerung zu rufen. Dieses produziert unter Einsatz von mehreren Ressourcen vielfältige Produkte in einer Abfolge zahlreicher Prozeßschritte. Wegen der hohen Komplexität ist es in einzelne Abteilungen oder Kostenstellen gegliedert, in denen als aufbauorganisatorischer Verantwortungsbereich die Leistungserstellung durchgeführt wird.

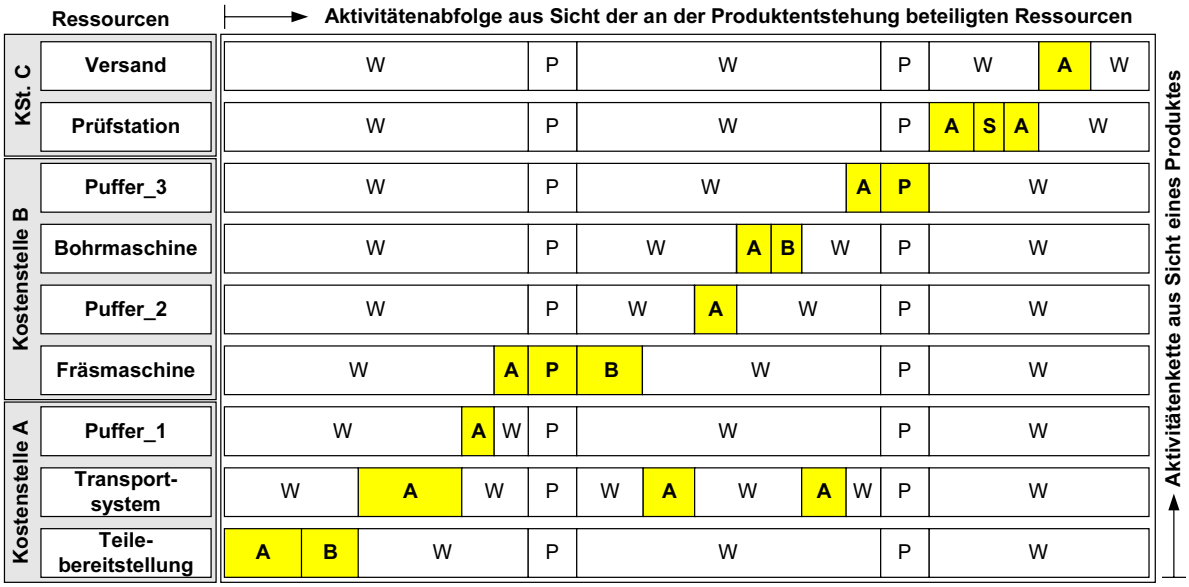


Bild 55: Verdichtung nach Prozessen, Ressourcen und Kostenstellen auf der Basis einer Aktivitätsfolge

Der Aktivität als Kostenträger und Schnittstelle zwischen Ressourceneinsatz und Leistungserbringung kommt dabei eine Schlüsselbedeutung zu. Nur wenn die aktivitätsbezogenen Informationen unverdichtet gespeichert werden, können sie als Informationsquelle für Auswertungen in Richtung Ressource, Prozeß und Produkt dienen. Das vorgestellte Datenmodell hat diese Anforderung berücksichtigt und trennt außerdem strikt zwischen Umlagen bzw. Schlüsselungen und aktivitätsorientierten Kosten. Durch die zusätzliche konsequente Umsetzung des Ansatzes der relativen Einzelkosten umfassen entscheidungsbezogene Auswertungen auch über die aktivitätsorientierte Betrachtung hinaus nur entscheidungsrelevante Kosten.

Nachdem die Aktivitäten die Keimzellen für den Aufbau einer zielgerichteten Verdichtungshierarchie darstellen, stehen sie am Anfang einer jeden Verdichtung. Mit Hilfe statistischer Methoden können zunächst Mittelwert und Streuung aller Aktivitäten mit identischer ID ermittelt werden. Außerdem ist die Bestimmung des Minimal- und Maximalwertes möglich. Als Folge der Verdichtung existiert pro Aktivitäts-ID eine Ausprägung der genannten Kennzahlen. Diese können nun weiter in Richtung Ressourcen, Kostenstellen und Betrieb oder in Richtung Unterprozesse und (Haupt-) Prozesse aggregiert werden.

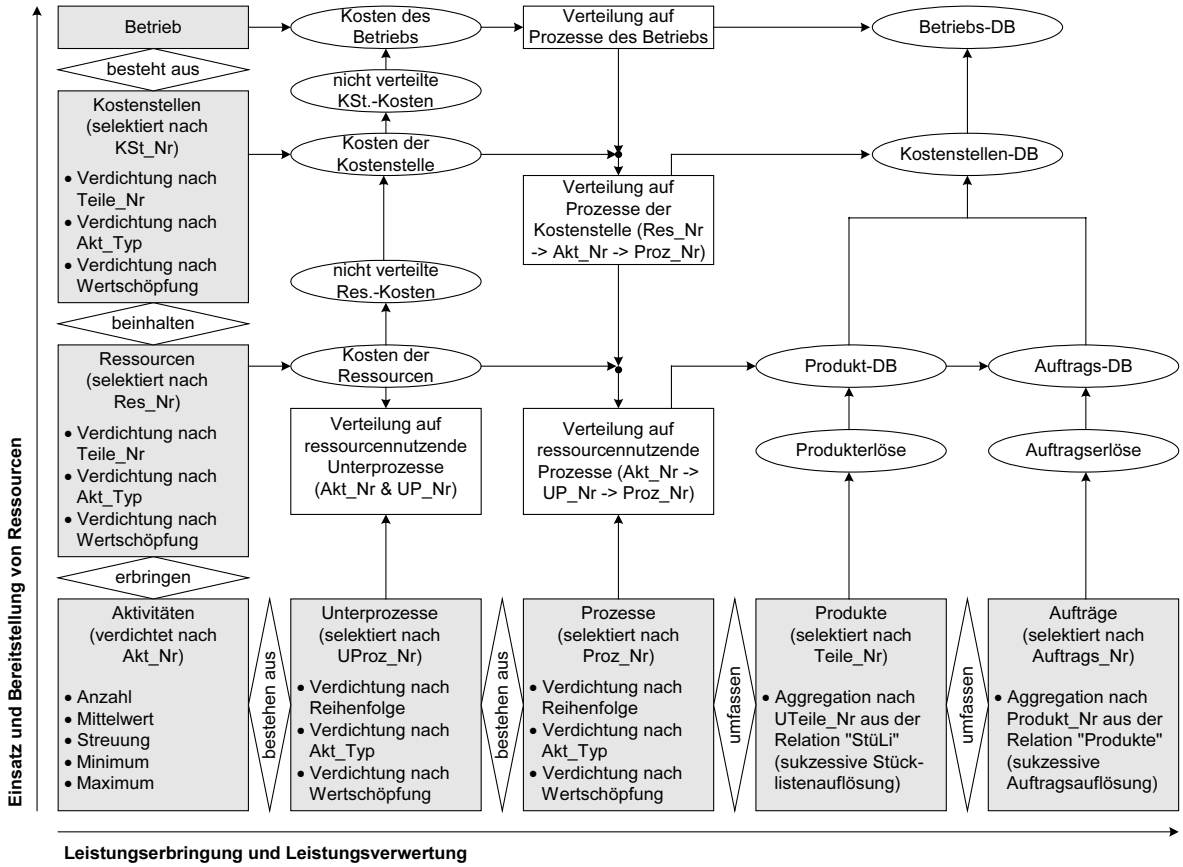


Bild 56: Möglichkeitsraum für Verdichtungshierarchien mit Zuordnung elementarer Attribute als Ausgangspunkt für Sonderrechnungen

5.5.2 Dimensionen der kostenorientierten Auswertung

Analog zu den beiden Verdichtungshierarchien können auch die Auswertungsdimensionen betrachtet werden. Für die Ableitung grundlegender Kosteninformationen ist zusätzlich die Berücksichtigung von Kostenarten und Kostentypen über alle Verdichtungsebenen hinweg wichtig, damit die Zusammensetzung der Gesamtkosten analysierbar wird.

Zur Bewertung der Aktivitäten wird zunächst die Zeit, die zu deren Durchführung auf einer bestimmten Ressource nötig war, mit dem Stundensatz der betreffenden Ressource multipliziert. Da sich der Stundensatz aus verschiedenen Bestandteilen und damit Kostenarten zusammensetzt, kann nun für jede auftretende Kostenart ein Eintrag in die Relation „BAB“ bzw. „extBAB“ erfolgen. Zusätzlich bietet die Datenstruktur die Möglichkeit, den Charakter jeder Kostenart hinsichtlich der Beeinflußbarkeit durch die Veränderung der Auslastung als fix oder variabel und hinsichtlich der Zahlungswirksamkeit als pagatorisch oder kalkulatorisch zu definieren.

Die präzise Kostenartenkennzeichnung erlaubt es, Kostenstrukturen nach verschiedenen Gesichtspunkten zu analysieren. So wird mit der Differenzierung nach fixen und variablen Kosten die detaillierte Betrachtung von Kostenabhängigkeiten unterstützt. Erst dadurch kann aufgezeigt werden, wie sich der relative Anteil der variablen und der fixen Kosten in Abhängigkeit von der Auftragslage verhält. Diese Informationen sind insbesondere bei schwankender Nachfrage zur Bestimmung der Gewinnschwelle, d. h. der Anzahl der mindestens zu verkaufenden Produkte, von größter Bedeutung. Durch die Unterscheidung zwischen pagatorischen und kalkulatorischen Kosten werden außerdem Liquiditätsanalysen unterstützt, indem der Teil der Kosten, die Zahlungen zur Folge haben, separat ausweisbar ist. Außerdem gibt eine nach Aktivitätstypen bzw. Ablaufarten getrennte Aufstellung wertvolle Hinweise darauf, für welche Aktivitäten die meisten Kosten anfallen oder - bei zusätzlicher Beachtung des Wertschöpfungscharakters - die höchste Wertschöpfung entsteht.

Bei den teilebezogenen Aktivitäten können zusätzlich zwei weitere Kostenarten - nämlich die Kapitalbindungs- und die Flächenbelegungskosten - bestimmt werden. Diese resultieren aus den Aktivitäten, die mit einem Teil verbunden sind. Über die Multiplikation mit der Liegezeit und dem periodisierten kalkulatorischen Zinssatz lassen sich die (kalkulatorischen) Kapitalbindungskosten ermitteln. Ähnlich kann bei der Berechnung der Flächenbelegungskosten vorgegangen werden, indem die von einer (Logisitk-)Ressource belegte Fläche mit einer kalkulatorischen Flächenmiete bewertet und anteilig der verursachenden (Lager-)Aktivität belastet wird. Beide Kostenarten haben die Eigenschaft, daß sie von Anfang bis Ende einer Prozeßkette zunehmen. Jedoch sind z. B. nach einer Montageaktivität die Kapitalbindungskosten eines aus zwei Seiten-, einem Boden- und einem Deckenblech bestehenden Metallschrankes im Vergleich zur Summe der Einzelteile lediglich um die Kosten für das Schweißen höher, wohingegen nun für die Lagerung des Schrankes eine deutlich größere Fläche benötigt wird.

Bei Verwendung eines ereignisorientierten Simulators ist die Bestimmung der Kapitalbindungs- und Flächenbelegungskosten auch auf Ressourcenebene möglich, indem die Verweilzeit durch die Subtraktion der Eintrittszeit von der Austrittszeit berechnet und anschließend wie beschrieben bewertet wird. Weiterführende Kalkulationen bzw. die Einträge in die BAB-Relation können dann jedoch wieder nur über die Aktivitätssicht erfolgen.

Eine originäre Ergebnis- und Kostengröße der Ressourcenebene stellen diejenigen Kosten dar, die nicht auf teilebezogene Aktivitäten verrechnet wurden. Sollen sie geschlüsselt werden, bieten sich die Unterprozesse, die über ihre Aktivitäten die betreffende Ressource nutzen, in der Schlüssel-Relation als Zurechnungsobjekt an. Damit wird deutlich gekennzeichnet, daß kein direkter Bezug zu bestimmten Aktivitäten besteht.

Auf der den Ressourcen übergelagerten Kostenstellenebene gibt es ebenfalls Kosten, die - wie zum Beispiel das Gehalt des Kostenstellenleiters - nicht unmittelbar den Kostenträgern zurechenbar sind. Da ein Unterprozeß nicht notwendigerweise die gesamte Kostenstelle durchlaufen muß, stellen nur die Prozesse ein sinnvolles Zurechnungsobjekt bei einer Schlüsselung dar. Gleiches gilt für die Kosten, die nach Riebel [RIE94] nur einem Betrieb als Einzelkosten zugerechnet werden können. Über eine Analyse, die Auskunft gibt, inwiefern die zu einem Prozeß gehörenden Unterprozesse die Ressourcen einer Kostenstelle (bzw. eines Betriebs) nutzen, sind - in Anlehnung an die Maschinenstundensatzrechnung - simulationsbasierte Verrechnungssätze bzw. Schlüsselungsfaktoren bestimmbar.

Entlang der Verdichtungshierarchie Leistungsannahme können zunächst die Aktivitäten nach der Prozeßreihenfolge aggregiert werden. Damit ist der Kostenzuwachs im Zeitablauf darstellbar. Da die gewählte Kostenartendefinition selbstverständlich bestehen bleibt, resultiert der aggregierte Wert einer Kostenart lediglich aus der Addition der entsprechenden Aktivitätskostenarten. Für den Fall, daß die Leerkosten einer Ressource zugeschlüsselt werden sollen, steht ein entsprechender Eintrag in der Schlüsselungs-Relation, der über die UP_ID adressierbar ist. Über dieses Attribut lassen sich folglich überwälzte Ressourcenkosten komfortabel zurechnen.

Gemäß der vorgestellten Verdichtungssystematik gilt auch auf der Prozeßebene die getroffene Kostenartendefinition mit der Erweiterung um die (optional) zugeschlüsselten Kostenstellen- bzw. Betriebskosten. Außerdem kann hier der Prozeßerlös hinterlegt werden, so daß eine Deckungsbeitragsrechnung oder eine Rückflußabschätzung möglich ist. Diese Option besteht auch auf der Auftragsebene, wobei ein Auftrag im Normalfall mehrere Produkte mit den zugehörigen Prozessen umfaßt. Für Sonderauswertungen ist es jedoch sinnvoll, einen Auftrag als Komposition aus Prozessen, Unterprozessen und Aktivitäten zu betrachten, um alle gewünschten Kostengrößen integrieren zu können. Auf diese Weise sind Rüstkosten explizit integrierbar, obwohl sie keinem Teil eindeutig zugerechnet werden können.

5.6 Unterstützung der Experimentplanung und Szenarienverwaltung

Mit der im letzten Kapitel vorgestellten Verdichtungshierarchie sind vielfältige Auswertungen möglich, die eine detaillierte Untersuchung der Ergebnisse eines Simulationslaufes erlauben. Ziel ist es jedoch häufig, die beste Alternative zu ermitteln. Dazu sind mehrere Simulationsläufe nötig. Folglich besteht die Herausforderung, eine leistungsfähige Umgebung zur Experimentplanung und Szenarienverwaltung zu schaffen.

Damit die Datenstruktur für eine Alternative nicht jedesmal von Beginn an aufgebaut werden muß, ist es sinnvoll, eine Experimentverwaltung zu implementieren, die einzelne Simulationsexperimente mit den benötigten Daten anlegt und verwaltet. Für den Vergleich zweier Alternativen muß bekannt sein, welche Maßnahmen getroffen worden sind und welche Kosten diese Maßnahmen verursachen. Weiterhin werden die Art und Menge der innerhalb der Simulationslaufzeit gefertigten Produkte und der jeweilige Produkterlös als Maßstab für die Leistungserstellung benötigt. Außerdem müssen die Kosten, die bei der Herstellung des Outputs angefallen sind, vorliegen.

Nachdem damit der Informationsbedarf feststeht, sind die bisherigen Datenstrukturen entsprechend zu ergänzen. Wegen der höheren Transparenz und entsprechend dem Vorgehen in der Praxis ist es sinnvoll, unterschiedliche Aufgabenstellungen in unterschiedlichen Simulationsprojekten zu bearbeiten. Innerhalb der Simulationsläufe eines Projektes sollte dann sofort ersichtlich sein, welche Maßnahmen getroffen wurden und zu welchem Ergebnis sie geführt haben. Damit bietet sich wiederum eine hierarchische Organisation der Datenobjekte an.

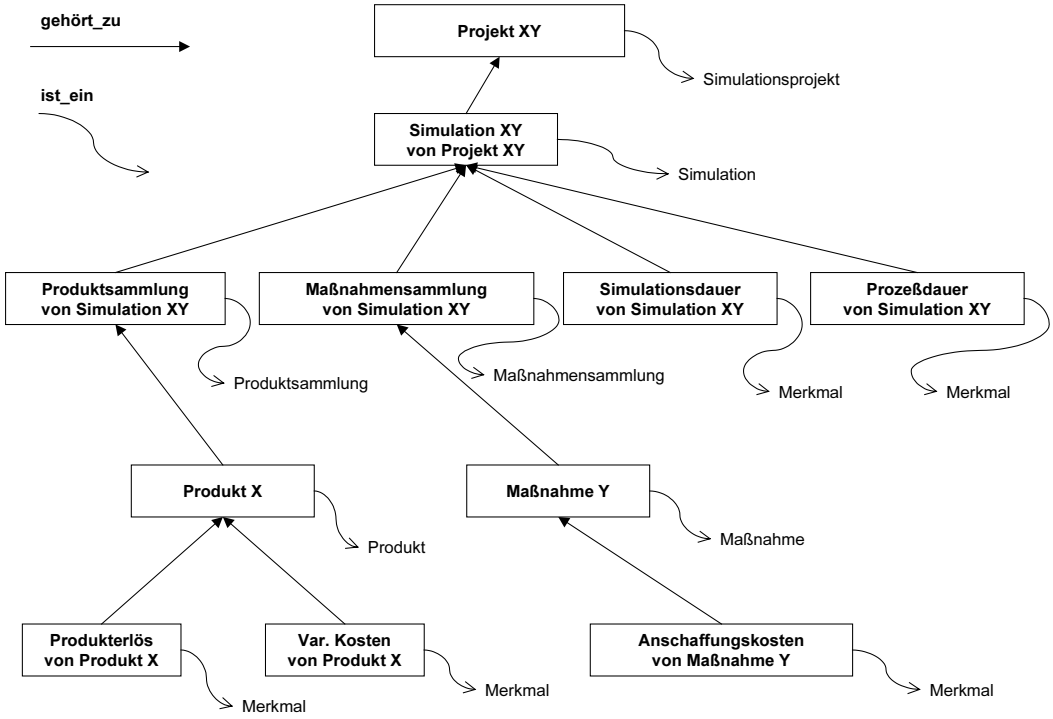


Bild 57: Semantische Datenstrukturen zur Unterstützung der Experimentverwaltung in flexiblen Informationsobjekten

Besonderes Kennzeichen der hierarchischen Organisation ist die Charakterisierung des Datentyps eines Datenobjekts über eine „ist_ein“-Relation und dessen Zuordnung zu einem anderen Datenobjekt über die „gehört_zu“-Relation. Damit ist es möglich, Baumstrukturen wie die eines Experimentplanes mit seinen Ergebnissen so zu verwalten, daß sie auch in Zukunft problemlos um weitere Merkmale erweitert werden können.

Gemäß den vorgestellten Strukturen sind für die datentechnische Umsetzung im Relationenmodell drei Kerntabellen nötig. Eine Tabelle [tbPOOL] dient zur Begriffsdefinition und muß die (Ober-)Begriffe enthalten, die eine weitere Tabelle [tbIS] mit einer „ist_ein“-Relation verknüpft. Eine dritte Tabelle [tbOF] stellt schließlich Zuordnungen über eine „gehört_zu“-Relation her.

Tabellendefinition

tbPOOL	
ID	(Autowert)
NAME	<STRING>
picID	<LONG>

tbIS	
nodeID	(Autowert)
leftID	<LONG>
rightID	<LONG>

tbOF	
nodeID	(Autowert)
leftID	<LONG>
rightID	<LONG>
value	<DOUBLE>
unit	<STRING>

Tabellen mit Beispieldaten

tbPOOL		
ID	Name	picID
1	*Merkmal*	*24*
2	*Simulationsdauer*	*0*
3	*Simulation #1*	*12*
4	*Simulation*	*0*
5	*Simulationsprojket*	*0*
6	*Simulationsprojekt X*	*0*

tbIS		
nodeID	leftID	rightID
234	*Simulationsdauer*	*Merkmal*
235	*Simulation #1*	*Simulation*
236	*Simulationsprojekt X*	*Simulationsprojekt*

tbOF				
nodeID	leftID	rightID	value	unit
344	*Simulationsdauer*	*Simulation #1*	*8,00*	*h*
345	*Simulation #1*	*Simulationsprojekt X*	*0*	*0*

Syntax

[tbIS] 234 -> Simulationsdauer ist ein Merkmal

[tbIS] 235 -> Simulation #1 ist eine Simulation

[tbIS] 236 -> Simulationsprojekt X ist ein Simulationsprojekt

[tbIS] 234, [tbOF] 344 ->
Simulationsdauer ist ein Merkmal von Simulation #1
mit dem Wert 8,00 h

[tbIS] 235, [tbOF] 345 ->
Simulation #1 ist eine Simulation von Simulationsprojekt X

Bild 58: Relationen zur Umsetzung der semantischen Datenstrukturen

Alle Begriffe, die später verwendet werden, sind im Feld „Name“ der Begriffsnamentabelle [tbPOOL] abgelegt. Das Feld ID weist diesen Bezeichnern eine eindeutige Zahl als Identifikator zu. In der Begriffsdefinitionstabelle [tbIS] nimmt das Feld „leftID“ den zu definierenden Begriff und das Feld „rightID“ die Definition auf. Für den eigentlichen Baumaufbau dient in der Tabelle [tbOF] das Feld „rightID“ als Vaterknoten und das Feld „leftID“ als Kindknoten.

Durch den modularen Aufbau der Datenstruktur ist es sehr einfach möglich, alle einen konkreten Simulationslauf kennzeichnenden Merkmale zu duplizieren, um zum Beispiel mit einem anderen Startwert für den Zufallszahlengenerator das gleiche Experiment noch einmal durchzuführen. Ebenso einfach kann aber auch eine weitere Maßnahme für die Durchführung eines neuen Experiments datentechnisch hinzugefügt werden, so daß insgesamt die komplette Experimentverwaltung als Arbeitsunterlage über den Lebenszyklus eines Produktionssystems erhalten bleibt.

6. Entwicklung des Kostenrechnungswerkzeuges „KostSim“ zur Durchführung simulationsbasierter Wirtschaftlichkeitsanalysen

Nach dem hybriden Architekturkonzept aus Kapitel 5 wird für simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsanalysen ein Simulationswerkzeug als Datenlieferant benötigt, das den in Kapitel 5.1 definierten Informationsbedarf erfüllen kann. Die so gewonnenen technisch-logistischen Ergebnisse sind dann mit den in Kapitel 5.4 vorgestellten Datenstrukturen in einem geeigneten Datenbanksystem als zweckneutrale Grunddaten abzulegen.

Auf dem Grunddatenbestand bauen schließlich die betriebswirtschaftlichen Auswertungen auf. Da die hierzu notwendigen Kostengrößen in der betrieblichen Praxis mit Hilfe verschiedener Kostenrechnungssysteme ermittelt werden können, ist es zur Sicherstellung eines breiten Anwendungsfeldes sinnvoll, ein Modul zur Abbildung des verwendeten Kostenrechnungskonzeptes vorzusehen. Einen weiteren thematischen Schwerpunkt bilden die Auswertungen zur Beurteilung eines konkreten Produktionsablaufs. Werden hier Schwachstellen oder Verbesserungsmaßnahmen identifiziert, resultiert daraus ein neues Modell. Über einen Vergleich der Ergebnisse dieses Modells mit denen des bisher modellierten Produktionssystems ist schließlich eine Aussage darüber möglich, ob und unter welchen Bedingungen eine neue Gestaltungsvariante sowohl technisch als auch wirtschaftlich überlegen ist.

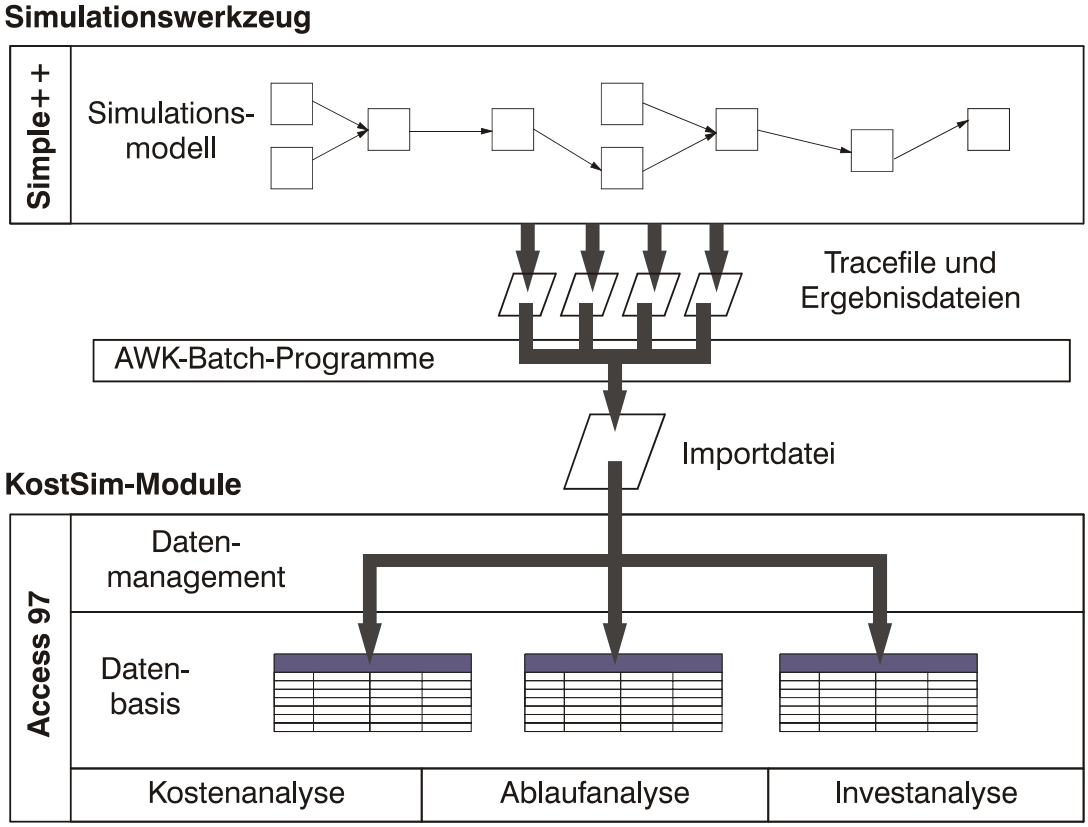


Bild 59: Struktur des simulationsbasierten Kostenrechnungsinstrumentariums zur anforderungsgerechten Unterstützung von Wirtschaftlichkeitsanalysen

6.1 Entwicklung KostSim-spezifischer Modellbausteine auf Grundlage der SIMPLE++-Basiskomponenten

Als ereignisdiskretes Simulationswerkzeug ist SIMPLE++ (neuer Name: eMPlant) der Marktführer in Deutschland [BUS00]. Da ihm ein bausteinorientiertes Konzept zugrunde liegt, das die Entwicklung eigener Bausteine und damit auch die Abbildung von Hierarchien ermöglicht, bietet sich SIMPLE++ als Basis für das Kostensimulationssystem an und wird deshalb im folgenden detaillierter betrachtet.

6.1.1 Wesentliche Eigenschaften des Simulationssystems SIMPLE++

SIMPLE++ [TEC99] stellt Grundbausteine mit bestimmten Eigenschaften und einem Verhalten zur Verfügung, das es in vielen Fällen möglich macht, sie direkt - zum Beispiel als Maschine, Puffer, Fahrzeug oder Rollenbahn - in einem Modell zu verwenden. Jedoch sind die in der realen Welt vorkommenden Anlagenelemente so vielfältig, daß es unmöglich ist, alle vorherzusehen und entsprechende Bausteine anzubieten. Deshalb bietet SIMPLE++ die Möglichkeit, aus den Grundbausteinen eigene, ganz auf den speziellen Anwendungsfall zugeschnittene Bausteine - sogenannte Anwenderbausteine - zu erstellen. Dazu kann jeder Baustein beliebig oft vervielfältigt und benutzt werden. Da ein fertiger Anwenderbaustein wiederum in die Entwicklung von weiteren Bausteinen eingehen kann, entsteht dynamisch und nichtprozedural eine beliebige Aufbauhierarchie von Modellen. Auf diese Weise lassen sich Modelle aufbauen und strukturieren, die dem zu simulierenden Produktionssystem entsprechen.

Während eines Simulationslaufes betrachtet das diskrete Simulationssystem SIMPLE++ nur Zeitpunkte (Ereignisse), die von Bedeutung für den weiteren Ablauf der Simulation sind. Solche Ereignisse sind zum Beispiel der Eintritt eines Teils in einen Puffer beziehungsweise das Erreichen des Pufferausgangs und das Übertreten in ein anderes Element. Die Tatsache, daß die Bewegung dazwischen in der Realität kontinuierlich abläuft, ist für die Simulation und ihr Endergebnis irrelevant. Aus diesem Grund konzentriert sich SIMPLE++ auf die Abbildung der Zeit von Ein- zu Austrittsereignis. Beim Eintritt eines Teils in einen Baustein wird dessen Verweilzeit ausgelesen, die Zeit bis zum Austritt berechnet und ein Austrittsereignis für diesen Zeitpunkt vorgesehen. Somit schreitet die Simulationszeit von Ereignis zu Ereignis sprunghaft voran und zwar immer dann, wenn die Abarbeitung eines Ereignisses abgeschlossen ist. Die Zeitpunkte dazwischen betrachtet SIMPLE++ nicht. In diesen Perioden dauert ein Vorgang wie zum Beispiel „Lagern eines Teils im Puffer“ noch an. Damit entspricht ein Vorgang, der sich in SIMPLE++ auf genau einen (Grund-) Baustein bezieht, einer Aktivität im Kostenmodell.

Für den Datenexport besitzt SIMPLE++ eine ASCII-Schnittstelle, über die das während eines Simulationslaufes erzeugte Protokoll (Tracefile) anderen Anwendungen zur Verfügung gestellt werden kann. Wie eine tiefergehende Betrachtung zeigt, weist es jedoch sowohl Informationslücken als auch -inkonsistenzen auf [FEL00b].

Der von SIMPLE++ erzeugte Tracefile enthält nämlich lediglich die berechneten und nicht die tatsächlich eingetretenen Ereignisse. Außerdem kann der Fall auftreten, daß zwei unterschiedliche Elemente die gleiche Kennung aufweisen, da SIMPLE++ nur alle Objekte eindeutig identifiziert, die sich zur gleichen Zeit im Simulationsmodell befinden.

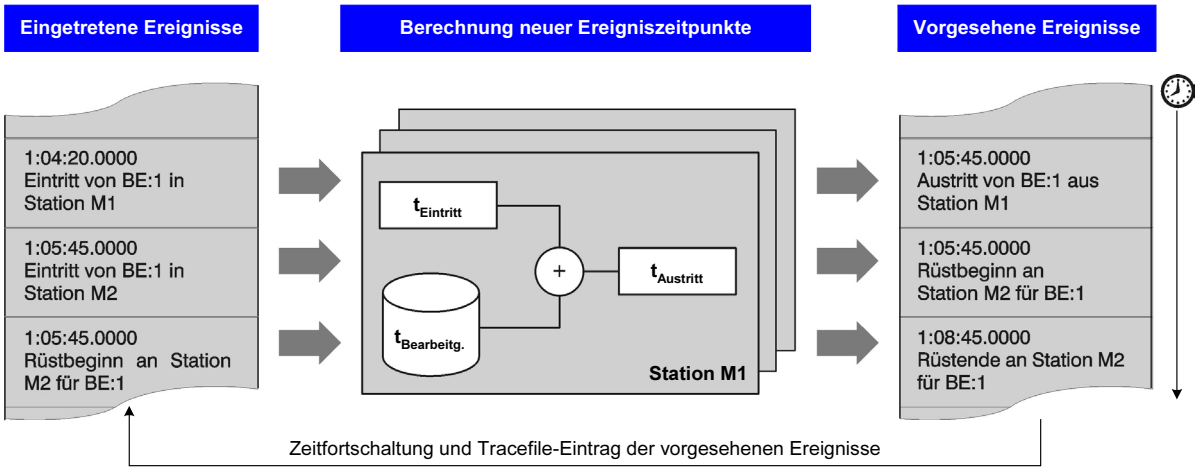


Bild 60: Berechnung neuer Ereigniszeitpunkte in SIMPLE++

Aus den Informationslücken und -inkonsistenzen resultieren vielfältige Nachteile. So ist bei Simulationsende anhand des Tracefiles nicht erkennbar, ob die nachfolgende Station ein bewegliches Element tatsächlich aufnehmen konnte oder ob der Umlagervorgang zum Beispiel wegen einer Blockierung des Nachfolgers scheiterte. Soll die Umlagerung auf ein mobiles Objekt erfolgen, tritt wegen der fehlenden Registrierung im Tracefile ebenfalls ein Informationsverlust auf. Dieser enthält nämlich lediglich ein Austrittsereignis, das vom austrittsbereiten Werkstück auf dem letzten stationären Baustein herrührt. Ist zu dem Zeitpunkt, zu dem dieses Austrittsereignis auftrat, kein FTS am Bahnhof, geht das stationäre Objekt in den Zustand „blockiert“ über. Erst wenn das FTS kommt, kann umgelagert werden. Da sich im Tracefile weder eine Aufzeichnung über den Zustandswechsel noch über den Umlagervorgang findet, ist es nicht möglich, den Weg eines beweglichen Elements durch das Simulationsmodell nach der Simulation zu rekonstruieren. Ein weiteres Problem tritt bei der Modellierung von Montagevorgängen auf, die in der Simulation die Vernichtung der eingehenden Teile bedeuten. Durch die fehlende Protokollierung der Vernichtungsoperation im Tracefile kann nicht darauf geschlossen werden, wann ein Teil montiert wurde. Außerdem ist es möglich, daß SIMPLE++ die ID des vernichteten Teils später an ein neu erzeugtes Element gleichen Typs vergibt.

In Anbetracht der Informationsdefizite ist also zunächst dafür zu sorgen, daß alle notwendigen Informationen eindeutig und lückenlos erfaßt werden. Darüber hinaus gilt es zu untersuchen, wie der zusätzliche Aufwand durch spezielle Anwendungsbausteine, die sowohl die Modellerstellung als auch den späteren Datentransfer erleichtern, wieder auszugleichen ist.

6.1.2 Materialflußorientierte Referenzbausteine

Die materialflußorientierten Referenzbausteine zeichnen sich dadurch aus, daß sie direkt in den Materialfluß eingesetzt werden. Während des Simulationslaufes bewirkt dann das Eintreffen beweglicher Elemente den Aufruf der implementierten Funktionalität. Diese sorgt für den standardisierten Ablauf häufig benötigter Operationen und für das Aufzeichnen relevanter Ereignisse in Ergänzung zu den unvollständigen Tracefileeinträgen.

- **Identifizierung eines Werkstückes mit dem Bauteil_ID-Baustein**

Der Bauteil-ID-Baustein sorgt dafür, daß auch im Tracefile alle Bauteile eindeutig identifiziert werden können. Als kapazitätsloser Baustein erfaßt er alle benötigten Daten, ohne das Verhalten des Systems zu verfälschen. Dazu muß er - wie im Anwendungsbeispiel in Bild 93 dargestellt - nach jedem Baustein, der ein Werkstück erzeugt und vor jeder Station, die ein Bauteil vernichtet, in das Modell eingesetzt werden. Dort vergibt der Bauteil-ID-Baustein nicht nur eine eindeutige zeitbehaftete Kennung, sondern vermerkt weiterhin die Bauteilbezeichnung, den Bauteiltyp, die Ressource, den Zeitpunkt sowie den Operationstyp (Erzeugung oder Vernichtung) in einer eigenen Tabelle. Damit ist es in Ergänzung zu den Tracefileeinträgen möglich, die über die Attribute Bauteilbezeichnung, Ressource und Zeitpunkt adressierbar sind, den Entstehungs- und Verwertungsweg eines Bauteils auch in einem mehrstufigen Produktionssystem eindeutig nachzuvollziehen.

- **Zusammenfassung und Vereinzelung von Werkstücken**

Gerade in einem mehrstufigen Produktionsablauf kann es häufiger vorkommen, daß Werkstücke zu Transportlosen zusammengefaßt, transportiert und anschließend wieder vereinzelt werden. Die beiden Referenzbausteine für das Be- und Entladen unterstützen systematisch die Modellierung solcher Vorgänge. Weiterhin schreiben sie charakteristische Daten wie Art des Vorganges (Be-/Entladen), Ladegut, Lade- bzw. Transportmittel und Zeitpunkt (Beginn/Ende) in eine eigene Tabelle.

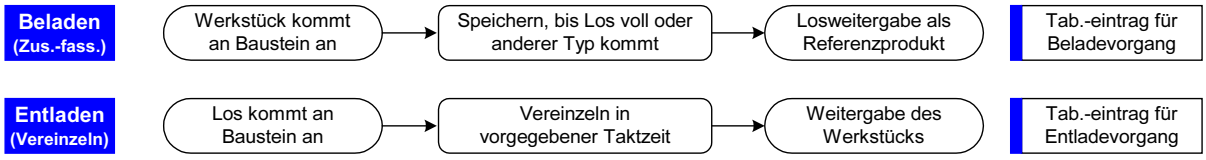


Bild 61: Funktionsweise der Referenzbausteine „Beladen“ und „Entladen“

Beispielhaft lädt der Referenzbaustein „Beladen“ in Bild 93 ankommende Werkstücke solange auf ein Transportmittel (Transportwagen FW), bis entweder die eingegebene Transportlosgröße erreicht ist oder ein anderer Werkstücktyp ankommt. Die transportbereite Ladung wird anschließend zum nächsten Baustein befördert, der den Referenzbaustein „Entladen“ darstellen kann. Dieser vereinzelt die Ladung und gibt einzelne Werkstücke an seine Nachfolger weiter.

Unter Verwendung der beiden Bausteine kann außerdem die Laufzeit der Simulation verkürzt werden. Dazu erzeugt der Belade-Baustein ein Referenzprodukt, das eine definierte Transportlosgröße repräsentiert. Der Entladebaustein wiederum löst dieses Referenzprodukt in einzelne Werkstücke auf. Dafür, daß nachher dennoch jedes Werkstück einzeln identifiziert werden kann, sorgt der bereits beschriebene Referenzbaustein „Bauteil-ID“.

❑ Unterstützung von Montage- und Demontagevorgängen

Der Referenzbaustein „Montage“ fügt mehrere Bauteile zu einem Bauteil in der Art zusammen, daß das Hauptbauteil als Montageergebnis weiterbesteht und die restlichen Bauelemente nach den Mengenangaben der Stückliste vernichtet werden. In einer eigenen Tabelle hält der Baustein dabei den Montagezeitpunkt sowie für jede einzelne Montageoperation das eingehende und das entstehende Bauteil fest. Im Ergebnis entstehen pro Stücklistenbeziehung so viele Einträge, wie untergeordnete Teile benötigt werden. Genau umgekehrt arbeitet der Referenzbaustein „Demontage“. Er generiert aus einem übergeordneten Bauelement gemäß einem parametrisierbaren Mengenverhältnis untergeordnete Bauteile und hält diesen Vorgang wiederum tabellarisch unter Angabe des Zeitpunktes sowie der Teilebeziehungen fest.

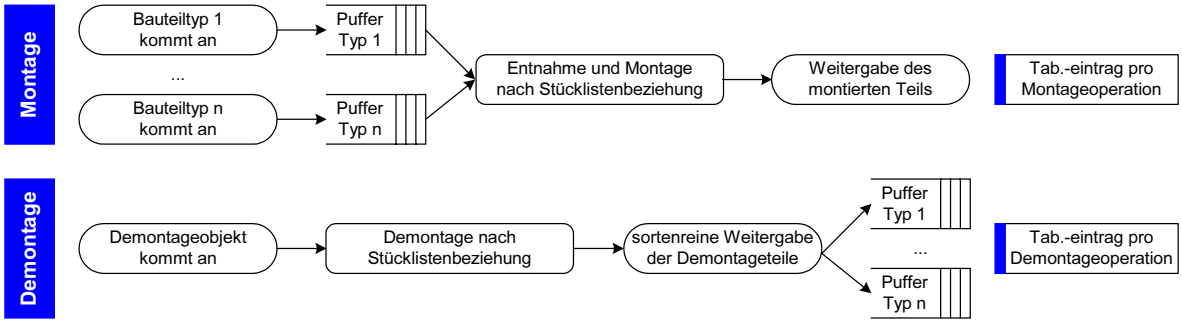


Bild 62: Ablauffolgen bei der Montage und Demontage

❑ Modellierung von Operationen zur Qualitätssicherung

Zur Aufnahme qualitätsbezogener Daten orientiert sich der Referenzbaustein „Qualitätssicherung“ an dem Ablauf einer Qualitätsprüfung und ihren möglichen Ergebnissen. Demzufolge liest er die Eigenschaften der passierenden Werkstücke aus und nimmt gemäß der hinterlegten Toleranzbereiche eine Einstufung in „o.k.“, „nacharbeitsfähig“ oder „Ausschuß“ vor. In Abhängigkeit dieser Einstufung erfolgt eine Weiterleitung an die entsprechende Nachfolgestation.

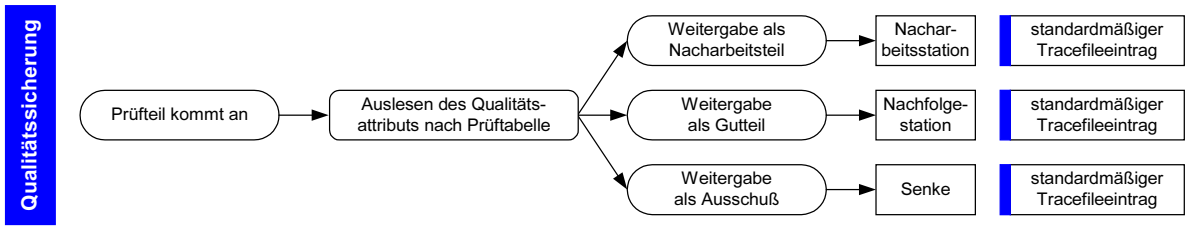


Bild 63: Aufbau und Ablaufschema des Referenzbausteins „Qualitätssicherung“

Da im Referenzbaustein „Qualitätssicherung“ keine Mengen oder Zuordnungen geändert werden, sind keine eigenen Tabellen nötig. Vielmehr geben die standardmäßig unter dem Namen des Referenzbausteins vorgenommenen Einträge im Tracefile alle Abläufe vollständig wieder.

❑ Unterstützung von Rüst- und Instandsetzungsvorgängen

Benötigen Rüst- oder Instandsetzungsvorgänge zusätzliches Personal, können sie mit dem Referenzbaustein „Rüsten“ unterstützt werden. Dieser umfaßt den eigentlichen kapazitätslosen Baustein und eine globale Qualifikationsmatrix, in der Angaben über die für den Rüstvorgang potentiell verfügbaren Mitarbeiter stehen.

Während des Simulationseinsatzes prüft ein Detektor bei Eintreffen eines Werkstückes, ob ein Rüstvorgang notwendig ist. Wird eine Rüstung benötigt, fordert eine Methode gemäß den vom Benutzer hinterlegten Angaben vom Mitarbeiter-Verwalter den entsprechenden Mitarbeiterbedarf nach Anzahl und Qualifikation an. Dieser prüft die Verfügbarkeit und gibt die Mitarbeiter entweder frei oder läßt die Station warten. Weiterhin werden sowohl Anforderungszeit- als auch Freigabezeitpunkt in die Verwaltungstabelle eingetragen. Bekommt eine Station die angeforderten Mitarbeiter zugeteilt, kann der Rüstvorgang beginnen. Sollte dazu noch ein spezielles Werkzeug erforderlich sein, das einen Engpaß bildet, besteht die Möglichkeit, entsprechende Daten für die zu erwartende Zeitverzögerung im Baustein zu hinterlegen. Ist der Rüstvorgang schließlich beendet, gibt eine Methode die angeforderten Mitarbeiter wieder frei, worauf der MA-Verwalter den Rückgabezeitpunkt vermerkt.

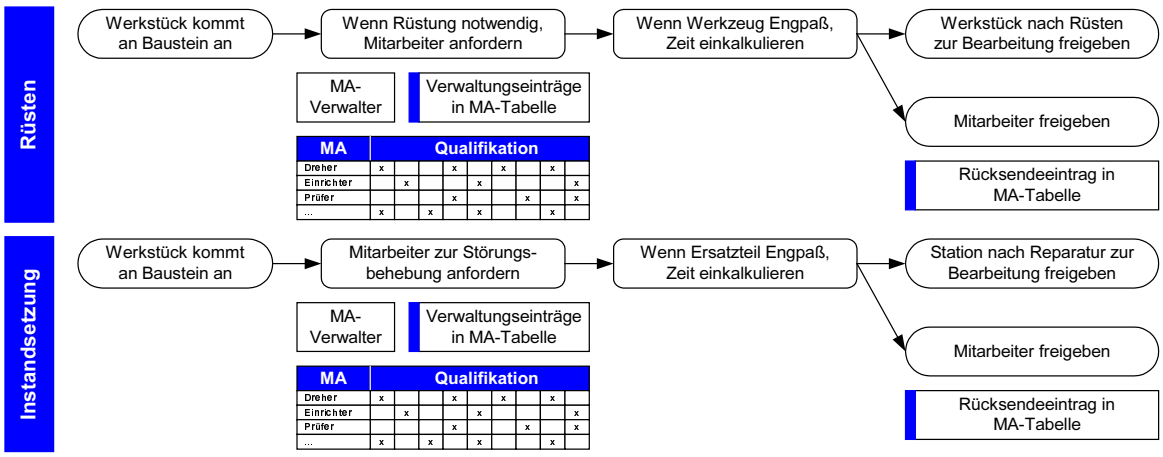


Bild 64: Funktionsabfolge der Referenzbausteine „Rüsten“ und „Instandsetzung“

Die Abläufe des Rüstens sind auch auf den Instandsetzungsvorgang übertragbar. In der Simulation erfolgt die Anforderung von Mitarbeitern dann durch die Störungsmeldung einer Ressource. Sollten zusätzlich Werkzeuge oder Ersatzteile benötigt werden, sind entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilungen angebbar. Aus der Ergebnistabelle ist dann zu entnehmen, wann Mitarbeiter zu welcher Operation an welcher Ressource für welches Produkt zu welchem Zeitpunkt angefordert wurden, wann sie an der Ressource ankamen und wann sie mit dem Bearbeitungsvorgang fertig waren.

6.1.3 Informationsflußorientierte Referenzbausteine

Im Gegensatz zu den materialflußorientierten Referenzbausteinen werden die informationsflußorientierten Referenzbausteine nicht aus dem physischen Modellgeschehen heraus aktiviert. Vielmehr erzeugen sie wie der Arbeitszeit-Editor entweder selbst Ereignisse, die dann den Materialfluß steuern, oder unterstützen wie die Produkt-, Los- und Auftragseditoren die komfortable Bearbeitung von Datenstrukturen für Simulationsdaten.

❑ Verwalten von Produkt-, Los- und Auftragsdaten

Alle Produkte oder Teile, die im Simulationsmodell vorkommen können, müssen vorher definiert werden. In SIMPLE++ ist dazu die Definition eines neuen Werkstücktyps in der Bausteinbibliothek nötig. Darauf greift nun der Produkt-Editor zu und legt eine Tabelle aller potentiell zu produzierenden Teile an. Diese bildet wiederum die Datengrundlage für den Los-/Auftragseditor, der das Anlegen von Aufträgen und das Zuordnen von Produkten zu Losen unterstützt. Da ein Los für verschiedene Aufträge verwendet werden kann und ein Auftrag in mehrere Lose aufteilbar ist, sind mit dem Los-/Auftragseditor exakte Vorgaben zur Einlastung der Los-/Auftragskombinationen in das Simulationsmodell möglich.

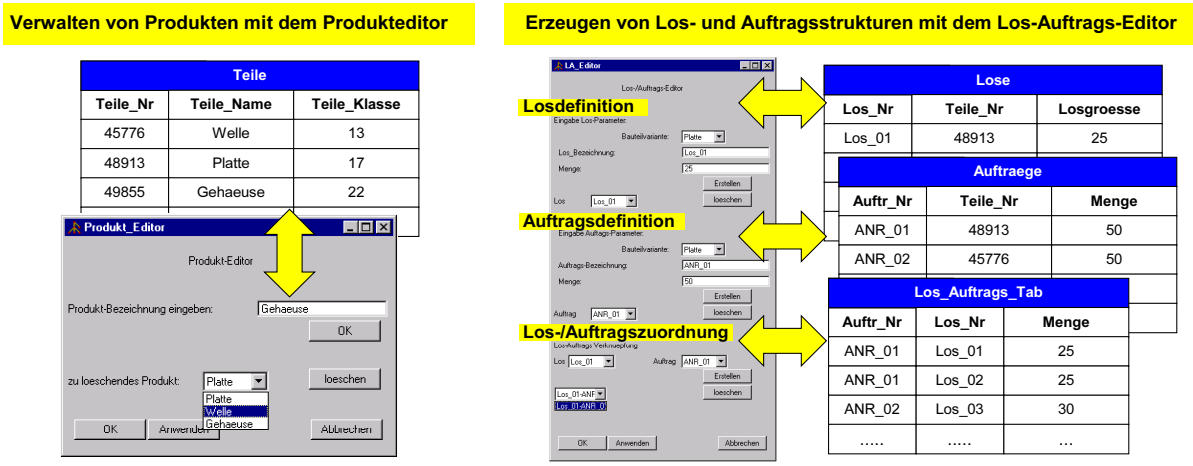


Bild 65: Editoren für die Verwaltung und Zuordnung der Produkt-, Los- und Auftragsdaten

❑ Berücksichtigung von Arbeitszeitmodellen

Unterschiedliche Tages-, Wochen- und Monatsarbeitszeiten können mit dem Arbeitszeit-Editor im Simulationsmodell berücksichtigt werden. Dazu existieren mehrere Tabellen, die nach dem Prinzip der Spezialisierung das Verhalten des Bausteins steuern. So gelten die Angaben, die in der Tabelle „allgAZ“ eingetragen werden, immer dann, wenn keine speziellere Regelung erfolgt. Im nachfolgend dargestellten Beispiel beginnt die Arbeit allgemein um 8:00 Uhr und endet eine logische Sekunde vor Mitternacht. Halbstündige Pausen finden jeweils um 12:00 Uhr und um 20:00 Uhr statt.

Sind die Arbeitszeiten in einem Unternehmen an verschiedenen Tagen unterschiedlich geregelt, kommen die Wochentagstabellen (Montag - Sonntag) zur Anwendung. In diese Tabellen werden die Arbeitszeiten in der gleichen Weise eingetragen. Zusätzlich ist jetzt noch eine Angabe in der Tabelle „AZparameter“ darüber erforderlich, mit welchem Wochentag der betrachtete Monat anfängt und wie viele Tage er umfaßt. Feiertage und Betriebsferien können mit der Tabelle „TageimMonat“ berücksichtigt werden. Dazu genügt es, den aus den bisherigen Angaben automatisch generierten Wochentagseintrag mit „Betriebsruhe“ zu überschreiben.

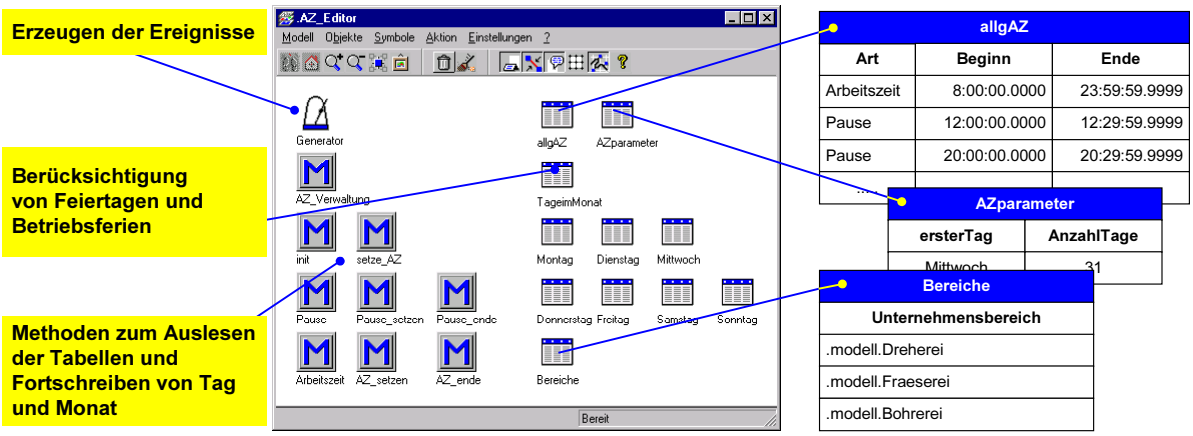


Bild 66: Struktur und Informationsobjekte des Referenzbausteins „Arbeitszeitmodell“

Weiterhin ist es möglich, das Arbeitszeitmodell auch nach Unternehmensbereichen zu differenzieren. Hierfür sind in die Tabelle „Bereiche“ diejenigen Bereiche einzutragen, für die das Arbeitszeitmodell gilt. Auf diese Weise kann auch ein Pausendurchlauf vorgesehen werden. Eine Methode des Referenzbausteins wertet schließlich alle Tabellen aus und steuert über einen Generator die entsprechenden Pause- und PauseEnde-Ereignisse ein.

❑ Automatisierter Transfer kostenrelevanter Daten mit dem Export-Editor

Der Export-Editor hat als Schnittstelle zur betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente nach einem Simulationslauf die Funktion, alle Tabellen, die während der Simulation von den Referenzbausteinen angelegt wurden, als ASCII-Dateien in das gleiche Verzeichnis wie den Tracefile von SIMPLE++ zu schreiben. Der Export-Editor ist dabei so ausgelegt, daß er nach der Aktivierung der Tracefile-Aufzeichnung im Ereignisverwalter vollständig automatisch arbeitet, sobald er in die höchste Netzwerkebene des Simulationsmodells eingesetzt wird (vgl. Bild 101).

Insgesamt decken die vorgestellten Referenzbausteine sehr komfortabel den Informationsbedarf, der in den bisherigen KostSim-Anwendungen aufgetreten ist. Weiterhin stehen sie wegen ihrer Objektorientierung zukünftig auch für den Aufbau neuer Modelle zur Verfügung. Damit wird erneut der große Nutzen dieses Ansatzes hinsichtlich Produktivität und Fehlerarmut deutlich.

6.2 Implementierung der KostSim-Module im Datenbanksystem MS Access

Die aus der Simulation gewonnenen Daten sind nach dem Architekturkonzept möglichst automatisiert in die Grunddatenstruktur einzuspielen, die nach dem in Kapitel 5.4 vorgestellten konzeptionellen Schema umzusetzen ist. Hierzu wird wegen seiner weiten Verbreitung und der preiswerten Verfügbarkeit das relationale Datenbanksystem MS Access 97 [HOF98] als Entwicklungsumgebung eingesetzt. Um die für Weiterentwicklungen notwendige Flexibilität, Offenheit und Erweiterbarkeit gewährleisten zu können, muß zunächst bekannt sein, wie MS Access und seine Komponenten arbeiten. Darauf basierend lassen sich dann Vorgaben für die Gestaltung der Schnittstellen erarbeiten.

6.2.1 Das relationale Datenbanksystem MS Access

MS Access ist das am weitesten verbreitete Datenbanksystem unter dem am weitesten verbreiteten Betriebssystem Windows [HOF98]. Neben einer komfortablen Datenverwaltung steht dem Anwender darüber hinaus eine vollständige Entwicklungsumgebung für individuell geprägte Datenbankanwendungen auf der Basis von Tabellen, Abfragen, Formularen, Berichten, Makros und Modulen zur Verfügung.

Die Tabellen beinhalten als datentechnischer Kern der Anwendung alle bereitgestellten Daten und definieren durch ihren Aufbau beziehungsweise ihr Beziehungsgeflecht die Datenstruktur. Mittels Formularen können Eingabeoberflächen entwickelt werden, die das Eingeben, Verwalten und Bearbeiten von Daten benutzerfreundlich gestalten. Durch die Verwendung von Abfragen und der Abfragesprache SQL ist es möglich, Daten aus den angelegten Datenbeständen nach bestimmten Kriterien mit Hilfe von Abfragen und der Abfragesprache SQL zu filtern. Außerdem können in Berichten die aus den Tabellen extrahierten Daten in bestimmten Formen zusammengefaßt und präsentiert werden. Die Makros dienen schließlich dazu, häufige standardisierte Funktionsfolgen zu automatisieren. Sind individualisierte Funktionen nötigt, können diese in der Programmiersprache Visual Basic for Applications (VBA) [DOB97] realisiert und in Modulen abgelegt werden. MS Access ist somit einerseits eine vollständige relationale Datenbank und andererseits ein Entwicklungssystem für in sich geschlossene Datenbankanwendungen.

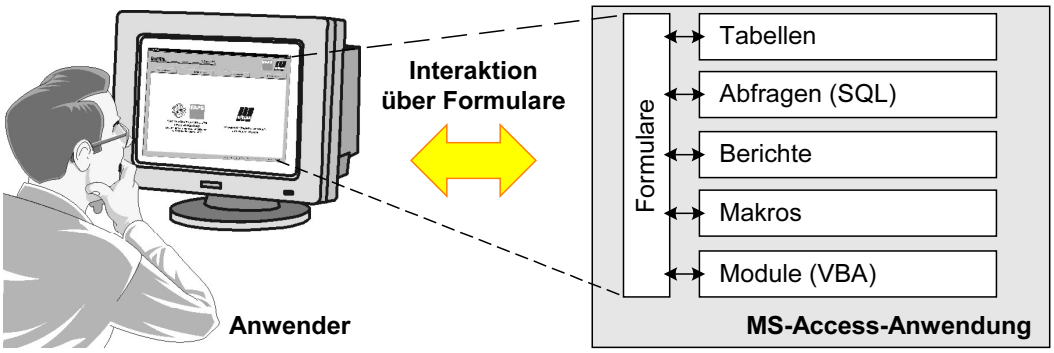


Bild 67: Komponenten einer MS-Access-Anwendung

6.2.2 Die Abbildung der Datenstruktur

Da MS Access alle Informationen in Tabellen verwaltet, besteht der erste Schritt bei der Entwicklung der MS-Access-Anwendung „KostSim“ also darin, die in Kapitel 5.4 als Grunddatenstruktur definierten Relationen in MS-Access-Tabellen zu übertragen. Dazu muß im Entwurfsmodus für jede Relation eine Tabelle erstellt und für jedes Attribut ein Datenformat festgelegt werden, das die Darstellung und den Speicherbedarf der in den Tabellenfeldern enthaltenen Informationen bestimmt. Zusätzlich läßt sich durch Gültigkeitsregeln sicherstellen, daß die in die Tabellenfelder eingehenden Daten sinnvolle Werte beinhalten. Weiterhin ist es im Entwurfsmodus möglich, für ein Feld einen Wert vorzubelegen, die Eingabe eines Wertes zu fordern oder einen Index zu definieren. Da letzteres in der späteren Anwendung die Auswertegeschwindigkeit deutlich erhöht, sollten alle Felder indiziert werden, die sich für Such-, Sortier- oder Verknüpfungsoperationen anbieten.

Wenn sämtliche Tabellen erstellt sind, können die Beziehungen zwischen den einzelnen Tabellen in MS Access definiert werden. Dazu ist es notwendig, zunächst alle Relationen im Layoutfenster aufzurufen. Darin wird schließlich durch das Verknüpfen des Primärschlüsselfeldes einer Tabelle mit dem korrespondierenden Fremdschlüsselfeld einer anderen Tabelle eine konkrete Beziehung hergestellt. Deren Eigenschaften sind nun durch die Optionen referentielle Integrität, Aktualisierungsweitergabe und Löschweitergabe bedarfsgerecht bestimmbar. Wird referentielle Integrität gefordert, überprüft MS Access bei jeder Eingabe in ein Fremdschlüsselfeld, ob es in der korrespondierenden Relation einen entsprechenden Primärschlüsseleintrag gibt. So kann zum Beispiel verhindert werden, daß ein Maschinenstundensatz für eine - mangels Eintrag in der Basisrelation „Ressource“ - nicht-existente Anlage eingetragen wird. Umgekehrt vollziehen die Aktualisierungs- beziehungsweise Löschweitergabeoptionen alle Änderungen am Primärschlüssel ebenfalls in allen betroffenen Fremdschlüsseln. Für eine Anlage, die aus der Relation „Ressourcen“ gelöscht wird, existiert danach bei Aktivierung der Löschweitergabe auch kein Eintrag in der Maschinenstundensatz-Tabelle mehr. Werden diese Optionen bei allen Beziehungen zwischen Basis- und Strukturrelationen aktiviert, ist die Konsistenz der Datenbank sichergestellt.

Mit der Definition aller notwendigen Beziehungen ist die Erstellung der Grunddatenstruktur abgeschlossen. Da sie so angelegt war, daß sie jederzeit um neue Relationen oder Beziehungen ergänzt werden kann, ist die zukünftige Erweiterbarkeit gesichert. Zusätzlich bietet MS Access aber auch die Möglichkeit, bestehende Beziehungen neu zu definieren oder bereits existierende Tabellen durch zusätzliche Spalten zu versehen. Jedoch muß bei einer späteren Änderung vorhandener Strukturen die Datenintegrität beachtet werden, da gegebenenfalls mehrere Such-, Sortier- oder Auswerteoperationen betroffen sein können, was einen hohen Anpassungsaufwand nach sich zöge.

6.2.3 Gestaltung der Anwendungsstruktur

Eine Anwendung wie KostSim zeichnet sich gerade dadurch aus, daß aus den zweckneutralen Datenbeständen zielgerichtete Auswertungen mit klaren Aussagen abgeleitet werden. Dazu ist es jedoch nötig, nicht nur die Datenbestände, sondern alle erforderlichen Komponenten zu einem einheitlichen System zusammenzufügen. Allerdings müssen vor allem bei wachsender Komplexität durch - auch in Zukunft noch - zunehmenden Funktionsumfang dem Anwender nützliche Orientierungsmöglichkeiten gegeben bzw. eine strukturierte Sicht auf die Informationen der Datenbank geboten werden. Deshalb sind aus der Gesamtheit des Datenbestandes nur diejenigen Informationen zur Verfügung zu stellen, die für den jeweiligen Kontext sinnvoll sind bzw. benötigt werden.

Da die Gesamtaufgabe der Unterstützung betriebswirtschaftlicher Fragestellungen im Fertigungsbereich zu Beginn dieses Kapitels bereits grob gegliedert und ab Kapitel 3 inhaltlich detailliert dargestellt wird, gilt es, an dieser Stelle die Anwendung informationstechnisch zu strukturieren. Dabei sind zunächst die Formulare (Synonym: Fenster) als Hülle zu betrachten, über die der Benutzer mit dem System kommuniziert. Diese weisen in KostSim einen einheitlichen Aufbau aus. So ist im Kopfbereich ein Unterformular eingefügt, das neben Logo und Beschriftung die aktuelle Anwendung benennt sowie über Schaltflächen die Möglichkeit bietet, direkt zu einem der vier Hauptmodule zu wechseln. Dieses Vorgehen ermöglicht auf einfache Weise ein identisches Aussehen des Kopfbereiches, vermeidet Objektredundanzen und vereinfacht die Erstellung und Wartung der Hauptformulare.

Bei den Unterformularen ist nach der unterschiedlichen Funktionalität zwischen dem Datenmanagementmodul und den eigentlichen Bewertungskomponenten zu trennen. Während bei ersterem eine Oberfläche realisiert ist, die das Vorgehen bei einem Datenimport nachbildet, sind die einzelnen Analysemodule hierarchisch aufgebaut. Sie beinhalten eine komfortable Navigationskomponente, die dem Explorer von Microsoft nachempfunden ist und bei der Analyse der Daten eines Simulationslaufes im linken Teil des Bildschirms verfügbar bleibt. Im rechten Teil erscheinen dann die Auswertungsergebnisse. Ähnlich wie im Explorer kann nun in die nächsttiefere (drill down), die nächsthöhere (roll up) oder eine andere Betrachtungsebene gewechselt werden. Dadurch, daß KostSim die Abfolge der Navigationsschritte protokolliert, und jederzeit eine detaillierte Übersicht der weiteren Betrachtungsmöglichkeiten bietet, unterstützt es das schrittweise Vorgehen eines Anwenders.

Außerdem bewirkt ein Doppelklick auf ein Element des Ergebnisbereichs die Anzeige weiterer Details (Data-on-Demand) zu dem selektierten Objekt oder ebenfalls eine Verzweigung in die nächsttiefere Ebene. Zudem sind die Schaltflächen durch graphische Symbole selbsterklärend oder mit Hilfetexten hinterlegt. Damit wurden mit der konsequenten Umsetzung des Lokalitätsprinzips die Voraussetzungen dafür geschaffen, relevante Zusammenhänge für die Bewertung von Handlungsalternativen erklärbar zu machen.

Gemäß dem in der Formularstruktur realisierten Lokalitäts- und dem Data-on-Demand-Prinzip müssen auch die Daten bereitgestellt bzw. aus der Datenbasis extrahiert werden. Hierzu dienen die Auswertungen, die als SQL-Abfragen beziehungsweise in eigenen Modulen realisiert sind. Sie legen für ihre Ergebnisse temporäre Tabellen an, auf die dann das entsprechende Formular, das die Abfrage aufgerufen hatte, zugreift. Im Ergebnis sind somit Formular, Abfrage (SQL/Modul) und Ergebnis (temp. Tabelle/Bericht) sachlogisch und softwaretechnisch eng miteinander verbunden.

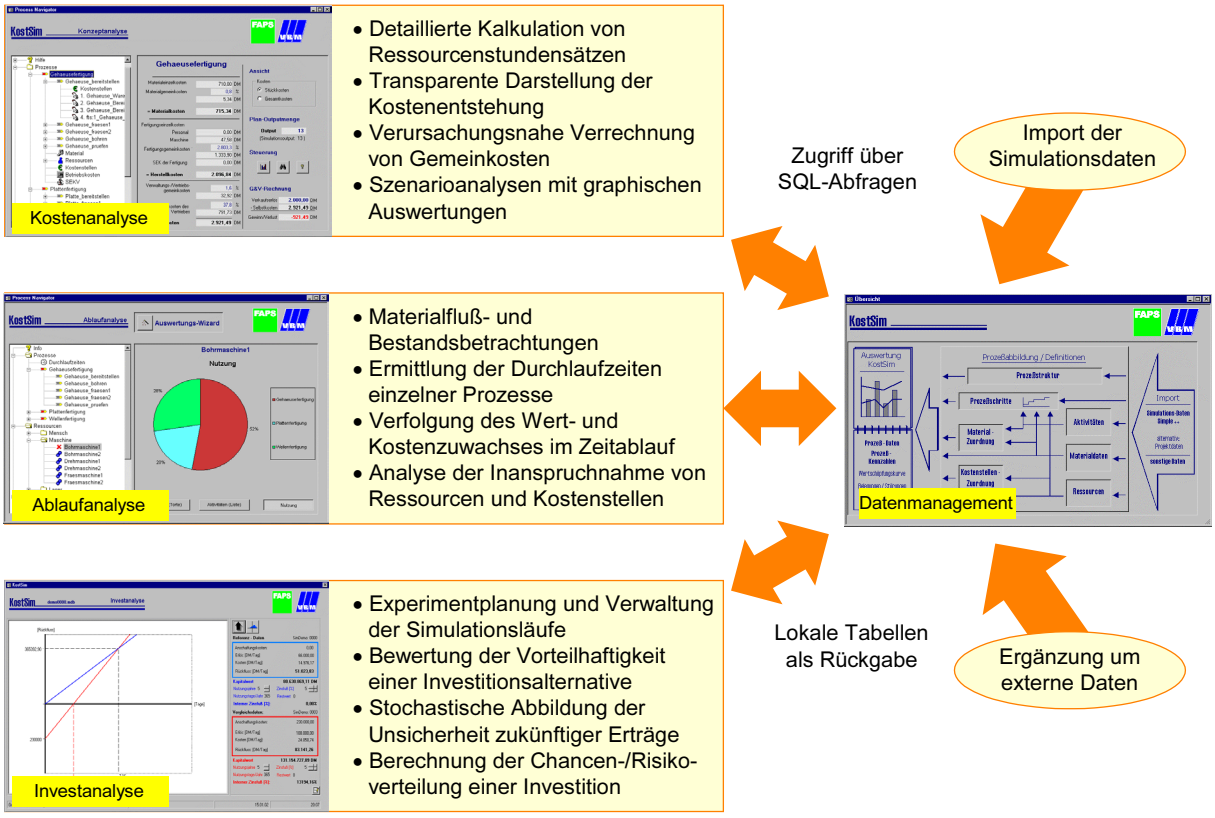


Bild 68: Darstellung der Modulstruktur von KostSim mit den Hauptfunktionalitäten und dem Grundprinzip des Datenaustausches

Die entwickelte Architektur garantiert Flexibilität, Offenheit und Erweiterbarkeit auf jeder Ebene. So ist zum Beispiel die Entwicklung einer Importschnittstelle für ein bestimmtes Simulationswerkzeug mit der Aufgabe gleichzusetzen, die definierte Datenstruktur zu füllen. Dazu kann nun mit VBA ein eigenes Modul programmiert werden, ohne die Datenstruktur ändern zu müssen. Gleiches gilt, wenn neue Auswertungen gewünscht sind. Hierfür können auf Basis der bestehenden Datenstruktur neue Formulare aufgebaut, neue Abfragen erstellt und zusätzliche temporäre Tabellen angelegt werden. Darüber hinaus ist auch eine Erweiterung der Datenstruktur möglich. Wird diese so realisiert, daß neue Basisrelationen angelegt und über Strukturrelationen mit der bestehenden Datenbasis verbunden werden, können die bisherigen Module auch wie bisher arbeiten, wohingegen neue Module durch neue Abfragen auf die neuen Relationen zugreifen können.

6.3 Realisierung der Datenmanagementkomponente von KostSim zur Verwaltung der Informationsobjekte

Aufgabe der Datenmanagementkomponente ist es, die Grunddatenstruktur sowie die Datenströme, die in diese eingehen, zu verwalten. Dabei sind die Daten, die aus der Simulation benötigt werden, aus den Aufzeichnungen der Referenzbausteine und dem Tracefile automatisiert zu übernehmen. Zusätzlich müssen dem Anwender komfortable Werkzeuge zum Editieren das Grunddatenbestandes und zur datentechnischen Integration bewertungsrelevanter betriebswirtschaftlicher Informationen angeboten werden.

6.3.1 Funktionen für den komfortablen Datenimport aus SIMPLE++

Da SIMPLE++ in seinem Tracefile nicht alle während der Simulation auftretenden Ereignisse protokolliert und nicht direkt in den Tracefile geschrieben werden kann, müssen Referenzbausteine die zusätzlich benötigten Daten in Ergänzungstabellen aufzeichnen [FEL00a]. Nach der Simulation stehen sie dann im Tracefileverzeichnis zur Verfügung.

Mit dem Aufruf der Datenimportroutine fügt ein in der Stringverarbeitungssprache AWK [AHO88] realisierter Präprozessor zunächst den Inhalt der Ergänzungstabellen mit den Tracefileeinträgen zusammen und wandelt dabei jede Zeile in das MS-Access-Standardformat um. Die daraus entstehende Datei ist direkt in MS Access importierbar und hat beispielsweise den in Bild 69 dargestellten Inhalt.

Ereignis	Zeitpunkt	auslösendes Element	empfangendes Element
ErzeugeBE	00:00:00.0000	.Platte:1	.Teilebereitstellung
Aus	00:05:06.0000	.Platte:1	.Teilebereitstellung
Aus	00:08:51.0000	.Platte:1	.Teilebereitstellung
Aus	00:13:39.0000	.Platte:1	.FTS
Aus	00:16:57.0000	.Platte:1	.Puffer_1
Aus	00:22:39.0000	.Platte:1	.Fraesmaschine
Pause	00:22:39.0000	-	.Fraesmaschine
PauseEnde	00:25:39.0000	-	.Fraesmaschine
Aus	00:28:57.0000	.Platte:1	.Fraesmaschine
Aus	00:33:36.0000	.Platte:1	.FTS
Aus	00:36:36.0000	.Platte:1	.Puffer_2
Aus	00:41:06.0000	.Platte:1	.Bohrmaschine
Aus	00:44:06.0000	.Platte:1	.Bohrmaschine
Aus	00:48:45.0000	.Platte:1	.FTS
Pause	00:51:27.0000	-	.Puffer_3
PauseEnde	00:54:27.0000	-	.Puffer_3
Aus	00:54:27.0000	.Platte:1	.Puffer_3
StoerBegin	00:56:51.0000	-	.Pruefstation
StoerEnde	00:59:51.0000	-	.Pruefstation
Aus	01:02:15.0000	.Platte:1	.Pruefstation
Aus	01:05:24.0000	.Platte:1	.Versand
.....		.....	.....
.....		....	.....
.....			.....
			.....

Legende:

zusätzliche Einträge in den ursprünglichen Tracefile

Bild 69: Auszug aus einem importfähigen Tracefile nach Präprozessorbehandlung

Die eigentliche Importroutine steht nun vor der Aufgabe, aus den ereignisorientierten Einträgen die in der Simulation durchgeführten Aktivitäten und Aktivitätsfolgen zu rekonstruieren. Dabei lassen sich zwei Teilaufgaben mit mehreren Schritten definieren. Zunächst gilt es, die Ereignisfolge aus der Sicht des Werkstücks zu ergänzen. Anschließend erfolgt ein Wechsel in die Stationsperspektive, um auch aus der Sicht einer Station eine vollständige Aktivitätenfolge über die Zeit rekonstruieren zu können.

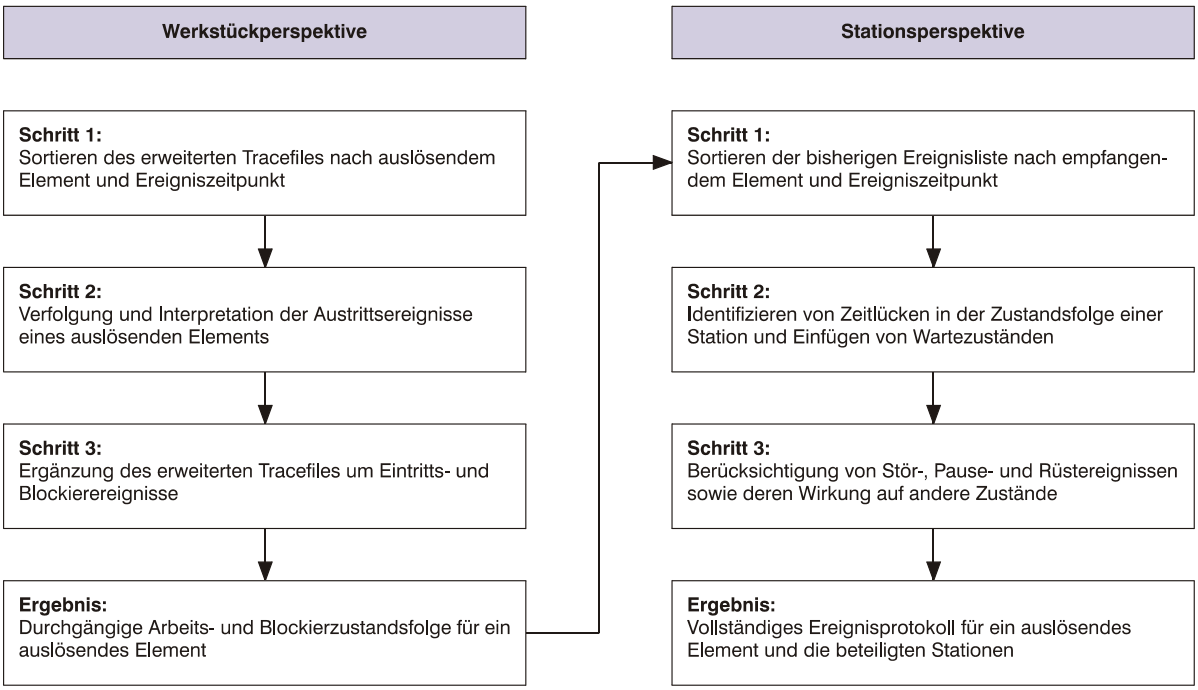


Bild 70: Schritte zur Ableitung der Aktivitäten und Aktivitätsfolgen aus dem Tracefile

Die Werkstückperspektive ist durch das Sortieren des erweiterten Tracefiles nach „auslösendem Element“ und „Ereigniszeitpunkt“ generierbar. Damit liegt eine Ordnung vor, die es erlaubt, für jedes bewegliche Element den Lauf durch das Simulationsmodell nachzuvollziehen. So läßt sich feststellen, zu welchem Zeitpunkt ein Werkstück aus einer Ressource austreten wollte und ob dieser Austrittsversuch erfolgreich war. Im Erfolgsfall wird ein Eintrittsereignis bei der nachfolgenden Station ergänzt. Ansonsten liegt ein Blockadezustand vor, der ebenfalls zu registrieren ist. Als Ergebnis entsteht eine Tabelle, die alle Arbeits- und Blockierzustände aus der Sicht eines Werkstücks beschreibt.

Mit der Sortierreihenfolge „empfangendes Element“ und „Ereigniszeitpunkt“ kann in die Stationsperspektive gewechselt werden. Diese führt alle Ereignisse auf, die im Zeitablauf an einer Station aufgetreten sind. Nach der Zusammenfassung zusammengehörender Ereignisse wie beispielsweise Ein- und Austritt eines Werkstücks ist es möglich, Zeitlücken zu identifizieren. Um die Zustandsfolge zu schließen, werden Warteblöcke eingefügt. Danach erfolgt die Berücksichtigung von Stör-, Pause- und Rüstereignissen. Die Zustandsblöcke, innerhalb derer solche Ereignisse liegen, sind entsprechend zu kürzen. Ist auch dieser Schritt vollzogen, liegt nun ein Ergebnis vor, das alle Aktivitäten eines Simulationslaufes detailliert beschreibt.

Die vollständige Ereignisliste ist nun wie folgt in eine Aktivitätenliste umzuwandeln. Dabei wird - nachdem zwei Ereignisse eine Aktivität begrenzen - aus jedem BEG und END eine Aktivitätszeile. Da es mobile Ressourcen gibt und auch bei stationären Stationen mehrere mögliche Vorgänger und Nachfolger geben kann, werden zur genaueren Charakterisierung einer Aktivität auch Vorgänger und Nachfolger festgehalten.

Das vollständige Ereignis- bzw. Aktivitätenprotokoll erweist sich nun für mehrere Zwecke als nützlich. So kann beispielsweise anhand der Werkstückperspektive überprüft werden, ob die Aktivitätenfolgen im Simulationsmodell wie vorgesehen ablaufen und damit zum Beispiel Arbeitspläne richtig hinterlegt sind oder ob das Modell zu korrigieren ist. Damit wird - quasi als Nebeneffekt - die Modellvalidierung erheblich erleichtert.

Außerdem dient die Ergebnistabelle als Ausgangsbasis für mehrere Verdichtungen. Aus der Werkstückperspektive ist eine Adjazenzmatrix dadurch ableitbar, indem bei einem Stationswechsel in die Matrix des Bauteiletyps eingetragen wird, von welcher Station zu welcher Station ein Bauteil wandert. Dadurch ist es später möglich, einen Aktivitätennetzplan aufzustellen, aus dem die Reihenfolge der Aktivitätendurchführung hervorgeht. Aus der Ressourcenperspektive sind die Zugangs- und Abgangskurven der beweglichen Elemente und damit die Bestandsentwicklung ersichtlich. Sind Ressourcen starr miteinander verkettet, besteht die Möglichkeit, diese zusammenzufassen. Dazu werden die Aktivitätszeiten addiert, während bei den erbrachten Stückzahlen das arithmetische Mittel zu bilden ist.

Je nachdem, welche Auswertungen gewünscht werden, sind nicht alle Optionen relevant. Zudem kann es vorkommen, daß ein Anwender immer bestimmte Ressourcen zusammenfassen will oder Ressourcen immer bestimmten Kostenstellen fest zuordnet. Damit nicht bei jedem Import eines strukturell gleichen Simulationslaufes alle Einstellungen erneut vorgenommen werden müssen, gibt es Vorbelegungstabellen, die komfortabel mit dem Anwendungseditor erstellbar sind.

6.3.2 Anwendereditoren zur Verwaltung elementarer Datenstrukturen

Die Anwendereditoren dienen einmal zur Betrachtung der importierten Dateien und zum anderen der Festlegung von Importspezifikationen. So ist es möglich, aus den standardmäßig nach Bauteiltypen sowie Vorgänger-/Nachfolgerangaben aggregierten Aktivitäten eine (Vorgabe-)Prozeßstruktur zu erstellen. Dazu können zum Beispiel in Anlehnung an die Produktstruktur Haupt- und Unterprozesse definiert und einander zugeordnet werden. Durch die Verknüpfung mit Aktivitäten erfolgt die datentechnische Versorgung mit konkreten Werten. Da KostSim Aktivitätsnamen standardmäßig aus der Ressourcenbezeichnung, dem erzeugten Bauteil sowie Vorgänger- und Nachfolgernamen ableitet, erkennt es auch bei einem weiteren Simulationslauf die entsprechenden Aktivitäten wieder. Ergibt sich eine neue Aktivität, wird der Benutzer über eine Mitteilung um die Zuordnung zu einem Unterprozeß gebeten.

Neben den Prozeßstrukturen können auch die Aktivitäten selbst noch detaillierter spezifiziert werden. So ist es im Aktivitäteneditor zur Verbesserung der Lesbarkeit möglich, zusätzlich zu dem standardmäßig vergebenen Namen auch eine Kurzbezeichnung festzulegen. Weiterhin bietet der Editor die Möglichkeit, außer den vom Simulationswerkzeug abgeleiteten Aktivitätsgrundtypen neue Typdefinitionen zu vereinbaren. Beispielsweise fällt die Prüftätigkeit der Prüfstation im Referenzbaustein „Qualitätssicherung“ im Simulationsmodell unter die Rubrik „Bearbeiten“. Durch die Definition eines KostSim-Aktivitätentyps „Prüfen“ kann der standardmäßig vergebene Aktivitätsname dem neuen Prüftyp zugeordnet werden. Damit ist die Grundlage für die spätere Bewertung der Prüfaktivitäten geschaffen.

Auf Basis der definierten Aktivitätstypen wird zudem festgelegt, ob eine Aktivität wertschöpfend ist oder lediglich Kosten verursacht. Standardmäßig sieht KostSim nur die Bearbeitungsaktivitäten als wertschöpfend an. Falls ein Anwender die Ansicht vertritt, daß auch die Durchführung von Prüfaktivitäten den Wert der Erzeugnisse erhöht, kann er die Einstellung im Aktivitäteneditor verändern. Gleiches gilt für den (absoluten) Einzelkostencharakter. Hier nimmt KostSim standardmäßig an, daß alle eindeutig teilebezogenen Aktivitäten direkt auf ein Erzeugnis beziehungsweise den zugehörigen Unterprozeß verrechnet werden. Soll diese Eigenschaft zum Beispiel auch für Rüstaktivitäten gelten, ist ebenfalls eine Modifikation im Aktivitäteneditor möglich.

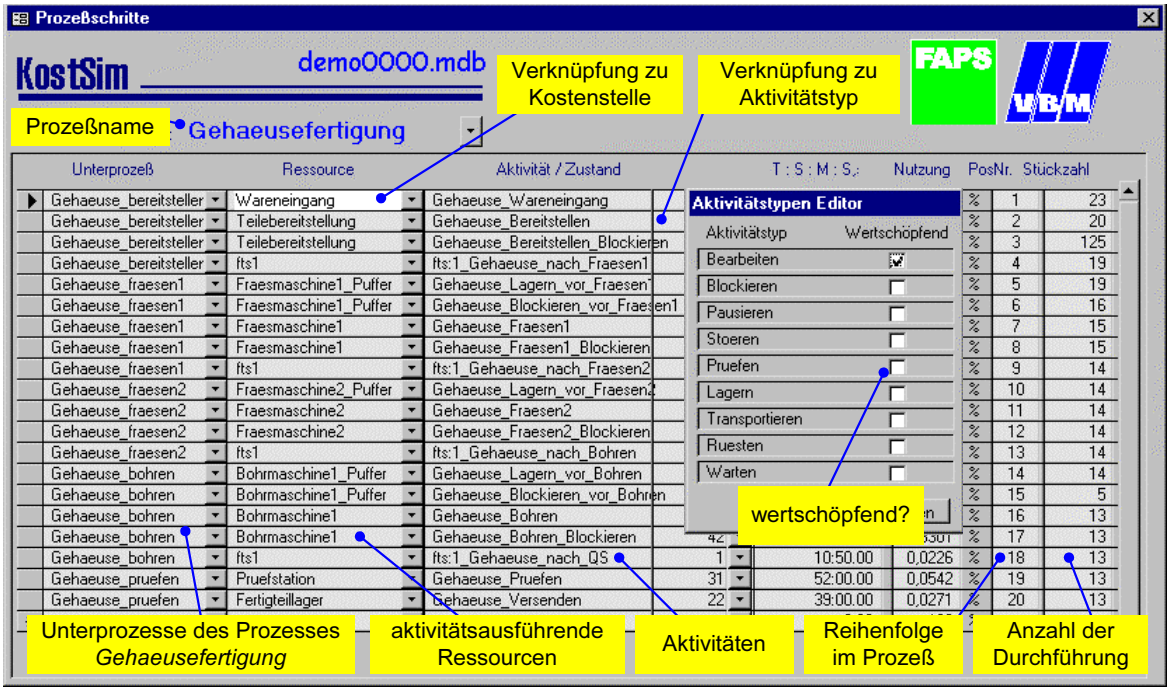


Bild 71: Strukturierte Darstellung der Prozeßaktivitäten mit Wertschöpfungseditor

Analog zu den Aktivitäten werden auch für die Ressourcen standardmäßig die Bezeichnungen aus dem Simulationsmodell als absolute Pfadangabe vergeben, die der Anwender selbstverständlich ebenfalls um eigene Kurznamen ergänzen kann. Zusätzlich können die im Simulationsmodell angelegten Tabellen für Produkte, Lose und Aufträge betrachtet werden.

6.3.3 Integration von (externen) Material- und Kostenstellendaten

Da in der Simulation nicht alle bewertungsrelevanten Aspekte abgebildet werden, genügt es nicht, ausschließlich die aus der Simulation kommenden Daten zu übernehmen. Vielmehr ist es entscheidend, auch externe Faktoren - wie zum Beispiel in Kapitel 3 erwähnt und nicht in der Simulation betrachtet - zu integrieren. Dazu gehören sowohl Angaben zu den verwendeten externen Faktoren, als auch Informationen über die Kostenstellenstruktur des modellierten Produktionssystems.

Für die von außen bezogenen Materialien sind zunächst einmal Materialstammdaten anzulegen, bevor der Materialverbrauch beschrieben werden kann. Dieser ist wiederum an eine Aktivität als Leistungsempfänger zu koppeln und kann auf die Zeit oder auf die Menge bezogen werden (Beispiel siehe Kapitel 7). Mengenbezug liegt vor, wenn die Durchführung einer Aktivität genau den Verbrauch einer bestimmten Menge an Material betrifft. Zeitbezug heißt, daß der Materialverbrauch mit der Durchführungszeit einer Aktivität korreliert. Beispielsweise sind die Kosten für Betriebsstoffe bei einer Aktivität umso höher, je länger sie dauert. Das dafür eingesetzte Rohmaterial kann aber durchaus gleich sein.

Ähnliche Zuordnungen wie beim Material sind auch für Arbeitskräfte möglich, die fest zu einer Maschine zugeordnet sind und eben wegen dieser festen Zuordnung in der Simulation nicht extra abgebildet werden. Gleiches gilt für Werkzeugkosten, die ebenfalls Zeitbezug aufweisen. Über die Zuordnung sonstiger Inputgrößen zu Aktivitäten kann folglich das Geflecht zwischen Güterverzehr und Leistungserstellung sehr detailliert abgebildet werden, ohne das Simulationsmodell zu verändern.

Nachdem die Leistungserstellung in Kostenstellen verantwortet wird, sind kostenstellenspezifische Analysen notwendig. Die Voraussetzung hierfür schafft wiederum ein Editor (vgl. Kapitel 7), mit dem die im Simulationsmodell verwendeten Ressourcen zu den Kostenstellen eines Produktionssystems zugeordnet werden können. Über die an den Ressourcen ausgeführten Aktivitäten sind damit auch die oben erwähnten und an die Aktivitätsdurchführung gekoppelten externen Kosten integriert.

Pflegt ein Betrieb die benötigten Daten in datenbankgestützten Systemen zur Materialwirtschaft, Personalwirtschaft oder Kostenstellenrechnung, können Sie über standardisierte SQL-Abfragen oder eine ODBC-Verbindung [MIL95] ausgelesen werden. Dieses Vorgehen sichert die Konsistenz und die Aktualität der Bilanzhülle für die späteren betriebswirtschaftlichen Bewertungen.

Das sowohl bei den Simulationsdaten als auch den externen Daten verfolgte Prinzip der strikten Trennung zwischen Datenbeschreibung und Dateninhalt sichert also einerseits die nötige Flexibilität bei Änderungen oder Erweiterungen der Datenstruktur und stellt andererseits die komfortable Versorgung mit aktuellen Daten sicher. Sind also die betriebsspezifischen Datenstrukturen mit den dazugehörigen Datenherkunftspfaden erst einmal angelegt, können auf dieser Basis mehrere Simulationsstudien mit betriebswirtschaftlichen Bewertungen aufsetzen, ohne daß erneut bereits definierte Datenbeschreibungen anzulegen sind.

6.4 Konfiguration eines Kostenrechnungsmodells als Basis für fertigungswirtschaftliche Bewertungen

In Kapitel 5.3.1 wurde die Aktivität als elementarer Kostenträger definiert, der bestimmte, an den Ressourcen angefallene und nach Kostenarten differenzierte, Kosten direkt übernimmt und dem die restlichen Kosten über Kostenstellen zugerechnet werden können. Daher ist zunächst zu untersuchen, wie die Kostensätze für die Inanspruchnahme von Ressourcen kalkulierbar sind, bevor Möglichkeiten zur Kostenschlüsselung und der sich daraus ergebenden Zusammensetzung der Herstellkosten betrachtet werden können. Denn erst auf dieser Basis ist schließlich ein Vergleich unterschiedlicher Kostenrechnungskonzepte möglich.

6.4.1 Simulationsbasierte Kalkulation von Kostensätzen für Ressourcen und Aktivitäten

Als Kalkulationsschema für die Ressourcenstundensätze wird aus den in Kapitel 5.3.4 dargelegten Erwägungen die Maschinenstundensatzrechnung gewählt. Sie zeichnet sich vor allem dadurch aus, daß sie einen Großteil der ressourcenabhängigen Kosten nicht auf Grundlage wertmäßiger Schlüssel verteilt, sondern auf Basis des Zeitschlüssels. Damit kommt sie dem Postulat einer Kostenzuordnung in Abhängigkeit vom Ressourcenverbrauch sehr nahe.

Um die reale Kostensituation möglichst genau abzubilden, sind in KostSim detaillierte Schemata für die drei Ressourcentypen Maschine, Personal und Logistik verfügbar. Diese sind - wie alle Verfahren im internen Rechnungswesen - nicht vorgeschrieben und können deshalb frei gestaltet werden. Als Anhaltspunkt kann die VDI-Richtlinie 3258 [VDI62] um solche Kostengrößen ergänzt werden, die in der betriebswirtschaftlichen Literatur [VDM83, VDI99] sowie nach der Studie von Weber [WEB99] in der unternehmerischen Praxis am häufigsten vorkommen.

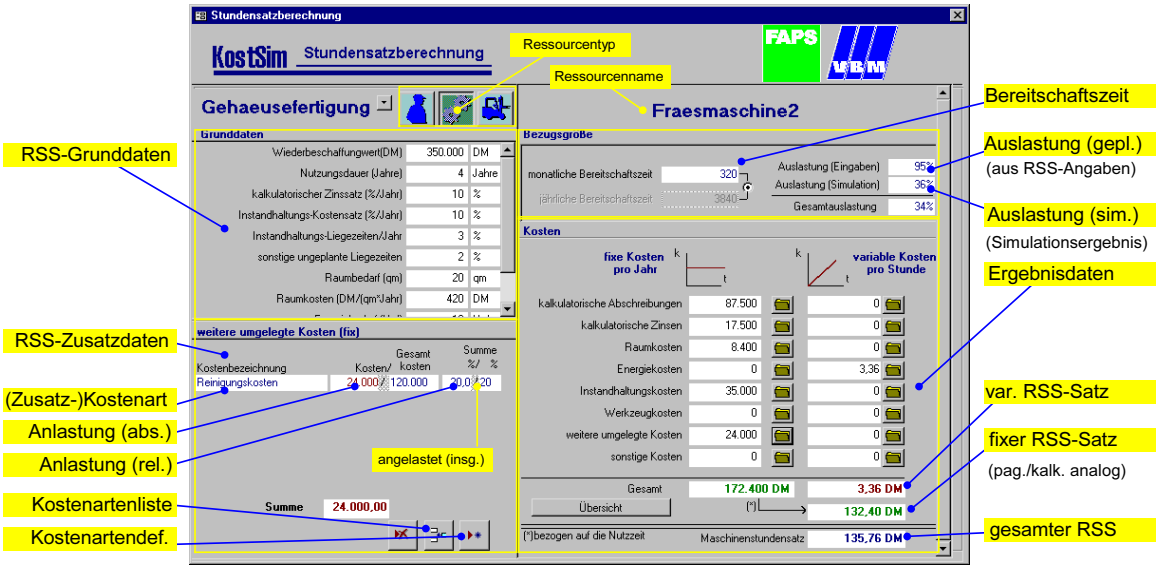


Bild 72: Kalkulationsschema für die Berechnung von Ressourcenstundensätzen mit fixen, variablen, pagatorischen und kalkulatorischen Komponenten

Zur flexiblen Anpassung an das Kalkulationsschema eines Unternehmens können die vordefinierten Kostenarten vom Anwender ergänzt werden. Dabei unterscheidet KostSim zwischen fixen und variablen sowie zwischen pagatorischen und kalkulatorischen Kosten. Zusätzlich besteht bei der Fixkostendefinition die Option, in Abhängigkeit der Auslastung unterschiedliche Niveaus festzulegen. Damit können beispielsweise Überstundenzuschläge für einen Bediener hinterlegt werden, der einer Maschine fest zugeordnet ist und deshalb nicht in der Simulation abgebildet wurde.

Im Normalfall werden nun zunächst die Gesamtkosten einer Ressource aus den hinterlegten Angaben bestimmt. Anschließend ergibt sich durch die Division mit der (geplanten) Bereitschaftszeit der Ressourcenstundensatz. Eine andere - allerdings nur nachträglich realisierbare - Möglichkeit ist, anstelle der Bereitschaftszeit die Belegungszeit für die Berechnung des Stundensatzes zu verwenden. Damit übernähmen dann alle Aktivitäten, während deren Ausführung ein Werkstück die Ressource belegt, die kompletten Ressourcenkosten. Dieser Effekt wird zwar von den Vertretern der dynamischen (auslastungsabhängigen) Maschinenstundensatzrechnung [LOR97, ROT00] begrüßt, hat jedoch auch den Nachteil, daß dann bestimmte Ressourcen als besonders teuer erscheinen können und deswegen keine Aufträge mehr zugeteilt bekommen, was wiederum den dynamischen Maschinenstundensatz erhöht und damit eine hypothetische Kostenspirale induziert.

Um solche kalkulatorischen Fehlschlüsse zu vermeiden, verwendet KostSim das traditionelle Berechnungsverfahren. Dieses verteilt auch - da eine Ressource zu jeder Zeit genau eine Aktivität ausführt - alle Ressourcenkosten auf Aktivitäten. Im Gegensatz zur dynamischen Maschinenstundensatzrechnung stehen jetzt dem Kostenblock alle - und nicht nur die teilebezogenen - Aktivitäten gegenüber. Damit tragen die teilebezogenen Aktivitäten auch nur die Kosten, die sie direkt verursacht haben. Die restlichen Kosten - vor allem für die teileneutralen Aktivitäten - bleiben vorerst an der Ressource haften und können später umgelegt werden.

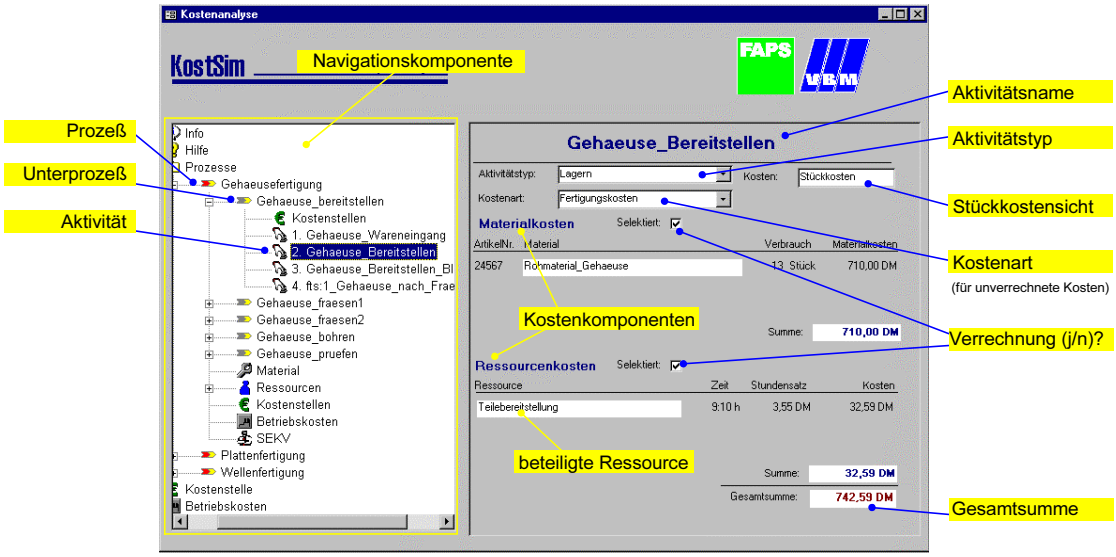


Bild 73: Formular zur Betrachtung der Kosten auf Aktivitätsebene am Beispiel einer teilebezogenen Aktivität

6.4.2 Verursachungsnahe Schlüsselung der Gemeinkosten

Die Aktivitäten, die keinen Einzelkostencharakter aufweisen, können verursachungsnah den Unterprozessen zugeschlüsselt werden, zu denen die Aktivitäten mit Einzelkostencharakter gehören. Als Schlüssel bietet sich dabei das Verhältnis an, in dem die betroffenen Unterprozesse die Ressource in Anspruch genommen haben. Dieses Verhältnis wird dem Anwender von KostSim in Form von Prozentsätzen vorgeschlagen. Selbstverständlich steht es ihm nun frei, die Aktivitätskosten ohne Einzelkostencharakter nach einem anderen Schlüssel oder gar nicht - nämlich zu null Prozent - zu verteilen. Die durch eine andere Verteilung entstehende Kostenunter- bzw. -überdeckung wird von KostSim pro Ressource separat ausgewiesen.

Nach dem gleichen Verfahren schlägt KostSim auch eine Verteilung der (Rest-) Gemeinkosten einer Kostenstelle auf diejenigen Prozesse vor, die deren Leistungen empfangen. Im einzelnen wird also zunächst ermittelt, welche Prozesse eine Kostenstelle durchlaufen. Anschließend erfolgt pro Ressource eine Berechnung der zeitlichen Inanspruchnahme durch die zu einem Prozeß gehörenden Unterprozesse. Um zusätzlich die Wertigkeit unterschiedlicher Ressourcen zu berücksichtigen, wird die zeitliche Inanspruchnahme mit dem Stundensatz der Ressource multipliziert. Aus dem Verhältnis dieser Größen auf Prozeßebene resultiert schließlich der Vorschlag für den Verrechnungsschlüssel, auf den der Anwender wie bei der Schlüsselung der Ressourcengemeinkosten beschrieben reagieren kann.

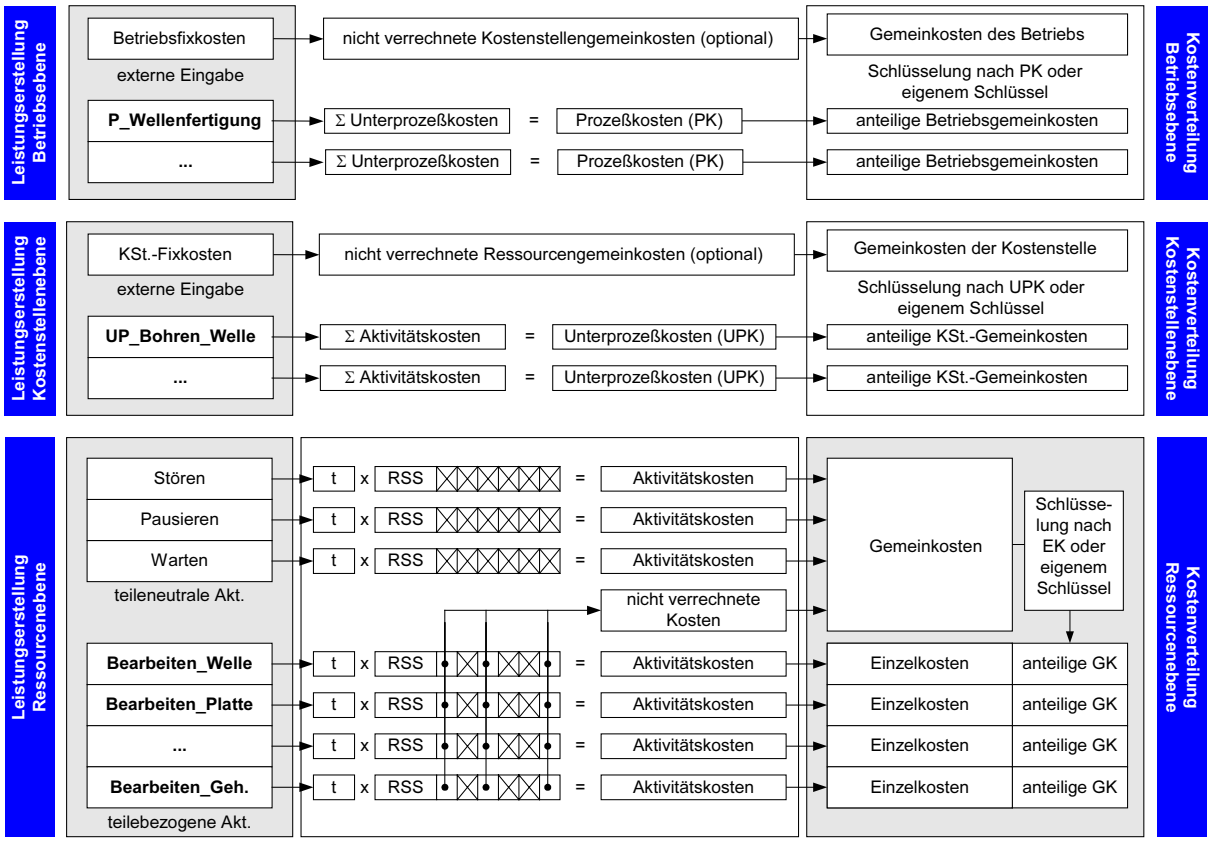


Bild 74: Durchgängiges Schema zur verursachungsnahen Schlüsselung der Gemeinkosten auf Ressourcen-, Kostenstellen- und Betriebsebene

Auf der höchsten Ebene erfolgt die Aufschlüsselung der Betriebsgemeinkosten ebenfalls nach der Prozeßkostenbelegung. Diese errechnet sich aus der Summe über alle mit dem jeweiligen Stundensatz multiplizierten Zeitanteile aller Ressourcen, die der betreffende Prozeß in Anspruch nimmt und der anschließenden Division durch die direkten Ressourcenkosten. Damit ist der von KostSim vorgeschlagene Verteilungsschlüssel für alle Betriebskostenarten identisch. Wegen der Vollständigkeit der Kostenbetrachtung ist deren Berücksichtigung dennoch für manche Rechnungszwecke notwendig. Zudem steht es dem Anwender auch auf dieser Ebene frei, einzelne Prozesse durch die Wahl eines anderen Verteilungsschlüssels besonders zu be- oder entlasten. Die daraus resultierende Kostenunter-/überdeckung wird nach dem Lokalitätsprinzip wiederum auf der Ebene ausgewiesen, auf der sie entsteht.

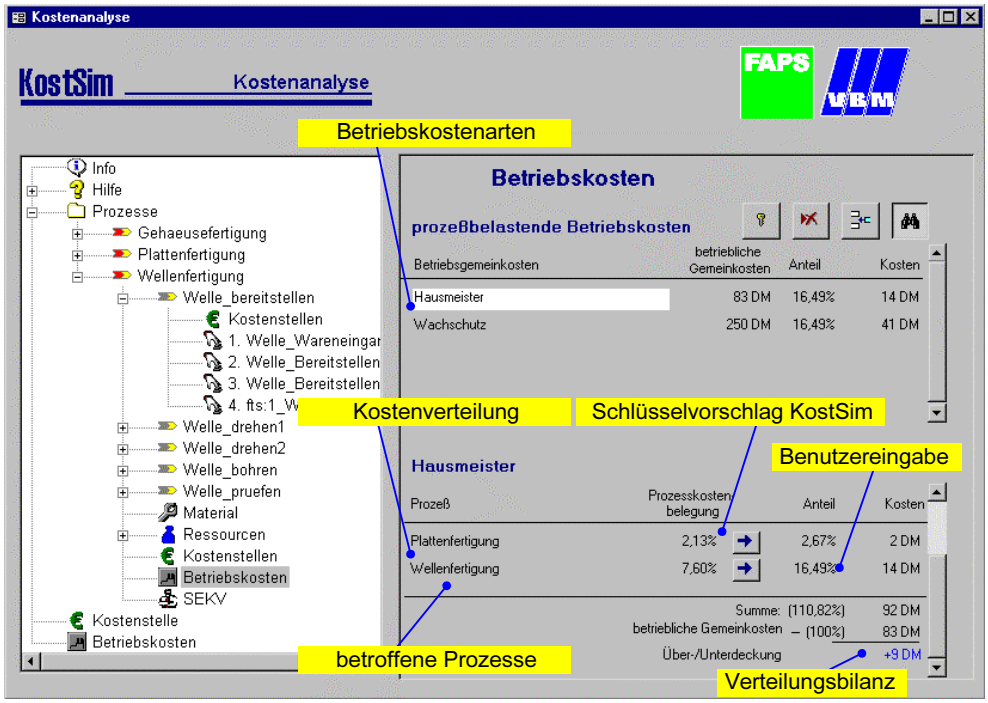


Bild 75: Zurechnung von Gemeinkosten als Ergebnis und Gestaltungsmöglichkeit

6.4.3 Analyse der Entstehung und Zusammensetzung der Herstellkosten

Im letzten Kapitel wurde gezeigt, wie die differenzierte Zurechnung von atomaren Kostenelementen zu Kostenträgern erfolgt. Das Prinzip der Herstellkostenanalyse ist es nun, diese Betrachtung umzudrehen. Sie kann für alle aggregierten Größen und in mehreren Dimensionen beziehungsweise nach allen definierten Deskriptoren durchgeführt werden. Dabei ist sowohl eine Stück- als auch eine Gesamtkostenbetrachtung möglich. Als Einstieg in die Prozeßkostenbetrachtung kann aus der Bilanzdarstellung der Prozeß mit den höchsten Stückkosten (oder Gesamtkosten) ausgewählt werden. Über die Drill-Down-Technik zeigt KostSim schließlich die Kostenentstehung über Unterprozesse bis zu den einzelnen Aktivitäten an. Dabei ist es auf jeder Ebene möglich, die Kosten nach Kostenarten, nach Kostentypen, nach fix oder variabel und nach pagatorisch oder kalkulatorisch zu separieren. Ebenso wird angezeigt, in welcher Höhe eine Zuschlüsselung von Kosten erfolgte.

Neben den Punktbetrachtungen bietet KostSim auch statische Verlaufsbetrachtungen an. So kann KostSim untersuchen, wie sich die Kosten in der Nähe der mit Hilfe der Simulation ermittelten Ausbringung verhalten. Unterstellt wird dabei, daß die Produktionsstruktur und damit der Kostencharakter (fix, proportional, stufenfix) gleich bleibt. Mit Hilfe dieses Verfahrens können die Grenzkosten (nur variable beziehungsweise stufenfixe Kosten werden betrachtet), d. h. die Kosten der Produktion einer zusätzlichen Einheit, komfortabel abgeschätzt werden. Ist ein genaueres Ergebnis gewünscht, muß wegen der fehlenden Berücksichtigung dynamischer Effekte erneut simuliert werden.

Interessiert die Entwicklung der Gesamt- oder Stückkosten, können in der graphischen Darstellung die Auswirkungen von Fixkostendegressionseffekten (oder Skaleneffekten) dargestellt werden. Außerdem kann zwischen einer Linien- und einer Blockdarstellung gewählt werden. Erstere ermöglicht, sehr schnell das Niveau einzelner Kostenkomponenten in Abhängigkeit der Ausbringung abzulesen, während letztere vor allem verdeutlicht, wie sich die Stückkosten in Abhängigkeit der Ausbringung zusammensetzen. Hierdurch wird dem Benutzer ein Eindruck über das Gewicht und die Beeinflußbarkeit einzelner Kostenanteile vermittelt.

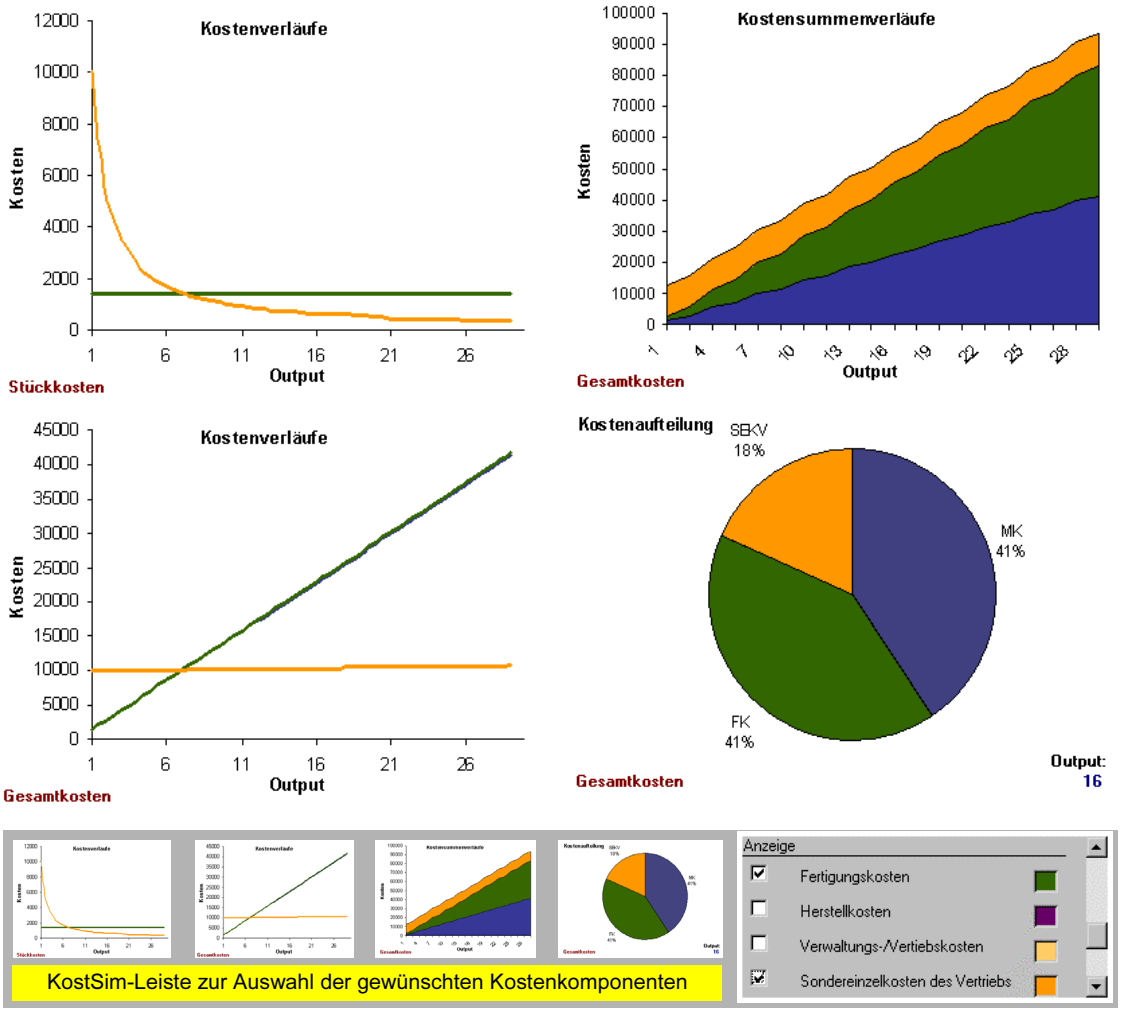


Bild 76: Darstellung der Bedeutung und Entwicklung wichtiger Komponenten der Herstellkosten als Marginalbetrachtung bei konstanter Produktionsstruktur

6.4.4 Nachbildung und Vergleich unterschiedlicher Kostenrechnungssysteme

Die verschiedenen Optionen zur Einstellung der Verrechnungsparameter können nicht nur zur Herstellung der Kostentransparenz, sondern auch zur Nachbildung unterschiedlicher Kostenrechnungskonzepte genutzt werden. Indem KostSim die Auswirkungen der verschiedenen Kostenrechnungsansätze aufzeigt, ermöglicht es einen aussagekräftigen Vergleich.

Den Ausgangspunkt der Betrachtung bilden dabei immer die Aktivitätseinzelkosten. Werden nun alle Aktivitätseinzelkosten des Kostentyps „Materialeinzelkosten“ zusammengefaßt und der Summe des Kostentyps „Materialgemeinkosten“ gegenübergestellt, ergibt sich der tatsächliche Zuschlagssatz für die Materialgemeinkosten. Dieser Zuschlagssatz kann jetzt mit dem von einem Unternehmen verwendeten Zuschlagssatz entweder direkt oder - anhand der Veränderung der Herstellkosten - indirekt verglichen werden. Da KostSim wegen der vielen Deskriptoren auch in der Lage ist, kostenstellen- und prozeßspezifische Zuschlagssätze auf Basis der in der Simulation gewonnenen Daten zu ermitteln, bietet es eine wertvolle Hilfestellung für ein Unternehmen, das vor der Frage steht, ob es eine Variante der Prozeßkostenrechnung einführen soll oder ob auch eine Anpassung beziehungsweise Differenzierung der Zuschlagssätze in der traditionellen Vollkostenrechnung genügt.

Von der höheren Genauigkeit profitiert auch die Ressourcenstundensatzrechnung. Hier stellt KostSim die ursprünglich geplante und die in der Simulation tatsächlich erreichte Auslastung ebenso wie den errechneten Stundensatz auf statischer und dynamischer Basis gegenüber. Nach dem gleichen Verfahren sind ebenfalls Verrechnungssätze für die von (Hilfs-)Kostenstellen erbrachten Leistungen miteinander vergleichbar. Weiterhin sind die Grenzkosten der Produktion einer zusätzlichen Einheit bestimmbar, indem die Herstellkosten der Simulation mit dem erweiterten Produktionsplan um die bisherigen Herstellkosten verringert werden.

Durch die Möglichkeit, die Kosten einzelner Aktivitäten zu addieren, wird auch eine detaillierte Auftragskalkulation unterstützt. Zusätzlich ist über die Eingabe von Erlösen für Aufträge oder Produkte eine Deckungsbeitragsrechnung möglich. Damit können die am Markt verwerteten Leistungen ihren in der Produktion angefallenen Kosten gegenübergestellt werden.

Insgesamt bietet das Kostenrechnungsmodul von KostSim die komplette Funktionalität, um alle gängigen Kostenrechnungsverfahren abzubilden. Zusätzlich ist es möglich, von der reinen Form abzuweichen. Damit können verschiedene Verfahren nebeneinander in einer Kostenrechnung eingesetzt werden. Der Benutzer wird also nicht auf ein Kostenrechnungsverfahren festgelegt. Vielmehr kann er durch die Art seiner Planung und durch die Wahl der Funktionen das in seinem Unternehmen eingesetzte Verfahren sehr detailliert abbilden und darüber hinaus mit Hilfe von Bild 77 von Fall zu Fall entscheiden, welches Verfahren er für welche Entscheidungssituation einsetzt.

Kostenrechnungssysten	Vorteile	Nachteile
Vollkostenrechnung (VKR)	• weit verbreitet • ermöglicht Selbstkostenermittlung • dient als Grundlage für weitere RW-Aufgaben	• Kostenverteilung nicht frei von Willkür • Handhabung der Fixkosten evtl. problematisch
Teilkostenrechnung (TKR)	• Aufspaltung in fixe und variable Gemeinkosten	• Aufspaltung der Gemeinkosten häufig nicht eindeutig
Deckungsbeitrags-rechnung (DBR)	• liefert bereits Entscheidungsgrundlage • unterstützt die Wirtschaftlichkeits- und Erfolgskontrolle	• nur für kurzfristige Entscheidungen sinnvoll • Gefahr, Deckungsbeiträge mit Gewinnen gleichzusetzen • Handhabung der variablen Kosten evtl. problematisch
Activity-Based-Costing (ABC)	• wachsende bedeutung der Gemeinkosten berücksichtigt • Identifikation kostentreibender Prozesse	• beschränktes Einsatzgebiet • Willkür bei der Verteilung der fixen Gemeinkosten
Prozeßkostenrechnung (PKR)	• übergreifende Betrachtung von Kostenstrukturen	• Willkür bei der Verteilung der fixen Gemeinkosten

Aufgabe	VKR	TKR	DBR	ABC	PKR
langfristige Preisuntergrenze/Selbstkostenermittlung	●	◐	◐	○	○
Planung von Zusatzaufträgen	○	●	●	○	○
kurzfristige Produktionsplanung	○	●	●	◐	◐
kurzfristige Absatzplanung	○	●	●	○	○
Make-or-Buy-Entscheidung	○	●	●	◐	◐
Preisfindung	◐	●	●	◐	◐
Verrechnungspreise für interne Leistungen	○	◐	◐	●	●
Wirtschaftlichkeitskontrolle der Kostenstellen	◐	●	●	◐	●
Erfolgskontrolle/Gegenüberstellung Kosten-Erlöse	◐	●	●	●	●
Preiskontrolle (Nachkalkulation)	◐	●	◐	◐	●
Rechenschaftslegung (Bilanzen, etc.)	●	○	○	○	○
langfristige Produktionsplanung	◐	○	○	●	●
Produktionscontrolling	○	◐	◐	●	●
Prozeßkostenkontrolle	○	○	○	●	●
bereichsübergreifende Wirtschaftlichkeitskontrolle	○	◐	◐	◐	●

Legende: ● gut geeignet ◐ bedingt geeignet ○ nicht geeignet

Bild 77: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile wichtiger Kostenrechnungs-systeme mit Einordnung der Aufgabeneignung [nach COO91,RIE94,MÄN97]

6.5 Zielgerichtete Identifikation von Schwachstellen und Verbesserungspotentialen

Bei der Analyse von komplexen Produktionssystemen ist es wichtig, sich einen schnellen Überblick verschaffen zu können und dann gezielt kritische Stellen von unterschiedlichen Blickwinkeln aus zu untersuchen. Deshalb gilt es, Verfahren zur engeren Auswahl der Analyseobjekte zu implementieren. Diese liefern die (Ausgangs-)Ergebnisse, an die sich eine Betrachtung nach Prozessen, Ressourcen und Kostenstellen anschließt. Dabei wird der Benutzer bei standardisierten Untersuchungen durch rechnerbasierte Assistenten unterstützt.

6.5.1 Untersuchungen zur Auswahl des nächsten Analyseobjekts

Schwachstellen haben Störungen in den Materialflüssen zur Folge. Es gilt nun, die Ressourcen, Prozesse oder Kostenstellen zu finden, die diese Störungen verursachen. Um einen ersten Eindruck vom simulierten Produktionssystem zu erhalten, bietet sich die Erstellung eines Durchlaufdiagramms an. In dieser Darstellung werden die Zu- und Abgänge über den Simulationszeitraum in zwei Kurven aufgetragen. Die Zugangskurve entsteht durch Aufaddieren der Bestandszugänge während des Untersuchungszeitraums unter Berücksichtigung des Anfangsbestandes. Analog dazu ergibt sich die Abgangskurve durch Addition der Abgänge im betrachteten Zeitraum, beginnend im Koordinatenursprung. Die Differenz der beiden Kurven entspricht dem Bestand. Die angezeigten Kurven für den Bestandszugang, den Bestandsabgang und den aktuellen Bestand können anschließend nach der Kennlinientheorie von Wiendahl [WIE93] interpretiert werden. So deutet ein scherenartiger Verlauf der Zu- und Abgangskurve zum Beispiel auf einen steigenden Bestand hin, während ein deckungsgleicher Kurvenverlauf auf eine Materialunterversorgung in der Fertigung schließen läßt. Durch die monetäre Darstellung des Durchlaufdiagramms werden zusätzlich die Werte der Bestände berücksichtigt (vgl. Bild 108).

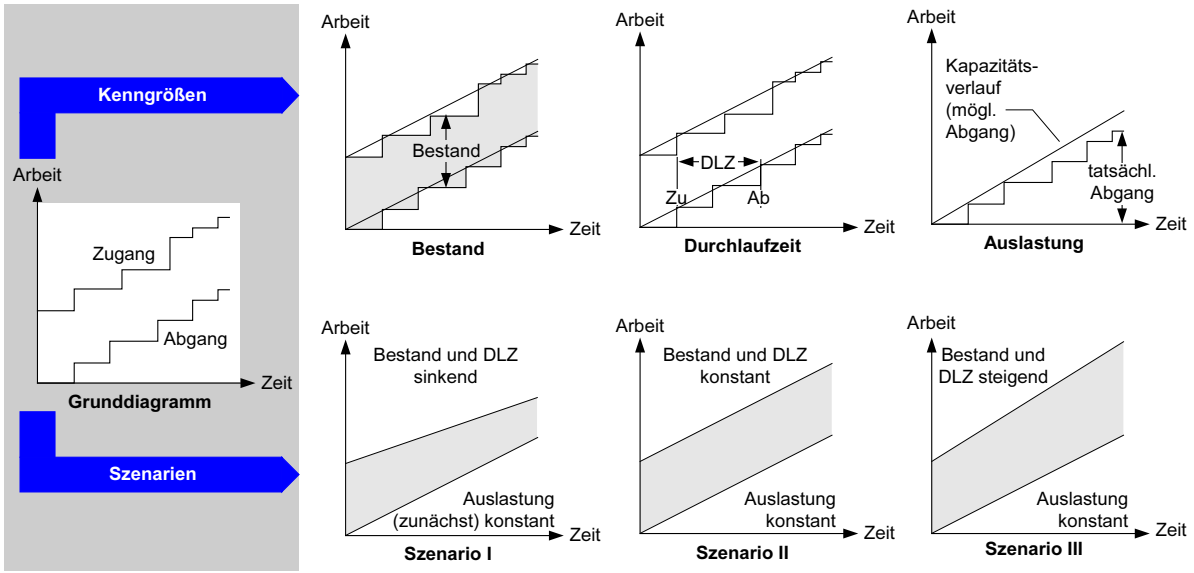


Bild 78: Analyse eines Produktionssystems mit dem Betriebskennlinienmodell

Nach dem visuellen Eindruck bieten die Materialflußmatrizen eine quantitative Analysemöglichkeit. Diese Darstellungsform ist insbesondere bei der Betrachtung von Materialflußbeziehungen in Produktionssystemen mit einer sehr großen Anzahl an Funktionseinheiten von Vorteil. Sie können sowohl als Quelle (senkrechte Achse der Materialflußmatrix) als auch als Senke (waagrechte Achse der Materialflußmatrix) fungieren, so daß entsprechende VON-NACH-Beziehungen entstehen. Die einzelnen Felder der Materialflußmatrix enthalten die zugehörigen Mengen des Materialflusses zwischen den jeweiligen Funktionseinheiten. Treten im Produktionssystem sowohl Hin- als auch Rückflüsse auf, so sind diese durch Einträge oberhalb bzw. unterhalb der Matrixdiagonalen erkennbar.

Dabei besteht die Möglichkeit, die Analyse durch eine Beschränkung auf bestimmte Ressourcen, Kostenstellen, Prozesse und Unterprozesse schrittweise zu verfeinern. Neben der mengenorientierten Darstellungsform bietet KostSim zusätzlich die monetäre Bewertung gemäß der im Datenmanager hinterlegten Kostensätze oder dem im Modul „Kostenanalyse“ eingestellten Verfahren. Darüber hinaus werden die Materialflüsse nach dem Schema der ABC-Analyse [VDI73] kategorisiert. Damit können jene Materialflüsse des Produktionssystems bestimmt werden, die den höchsten mengenmäßigen bzw. monetären Fluß aufweisen. Auf dieser Basis ist eine Identifizierung des kritischen Materialflusses ebenfalls problemlos. Mit diesen Erkenntnissen können Optimierungsansätze gezielt dort gesucht werden, wo sie den höchsten Einfluß auf die Gesamtleistung des Produktionssystems haben.

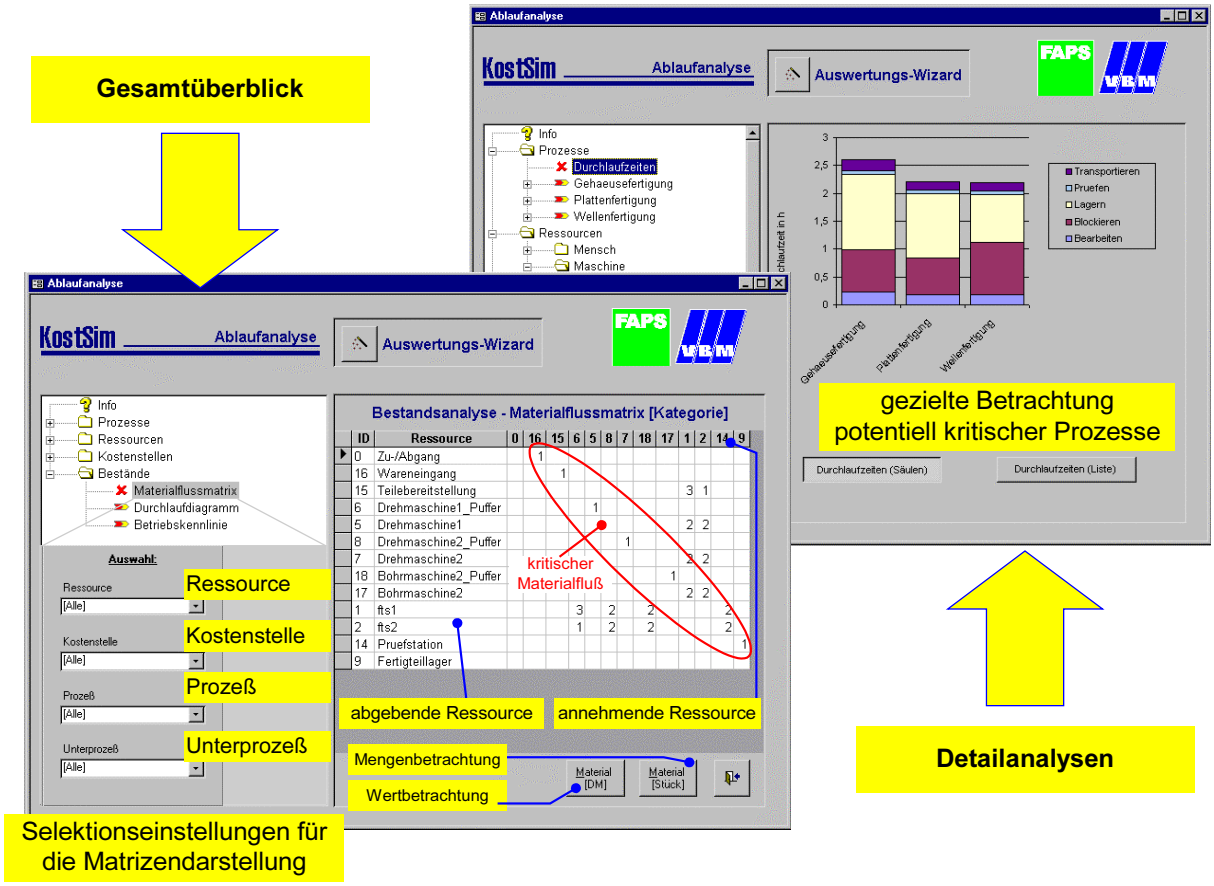


Bild 79: Materialflußmatrix zur Identifikation kritischer Ressourcen und Prozeßschritte

6.5.2 Gezielte Betrachtung kritischer Ressourcen und Produktionsengpässe

Die auf dem kritischen Pfad liegenden Prozesse und Ressourcen sind nun detaillierter zu betrachten. Dabei hilft ein Durchlaufzeitdiagramm, das für jeden Prozeß eine Durchlaufzeitsäule mit den Zeitanteilen der am Fertigungsablauf beteiligten Aktivitäten aufführt. Damit erhält der Anwender einen Überblick über die Verteilung der Durchlaufzeit, die nach einer Untersuchung von Stommel [STO73] in den meisten Fällen zu weniger als 25% aus Bearbeitungszeiten und damit wertschöpfenden Anteilen im Sinne der Definition von Porter [POR85] besteht.

Für eine detaillierte Betrachtung des Kosten- und Wertzuwachses eines bestimmten Prozesses wird dieser zunächst in alle beteiligten Aktivitäten aufgespaltet. In der Reihenfolge der Aktivitätsdurchführung erfolgt dann die Multiplikation der Ausführungsdauer mit dem Ressourcenstundensatz. Werden unter Berücksichtigung der strengen Abgrenzung zwischen Kostenerhöhung und Wertschöpfung die kumulierten Durchlaufzeiten auf der Ordinate und die kumulierten monetären Beträge auf der Abszisse aufgetragen, entstehen die Kosten- und Wertzuwachskurven.

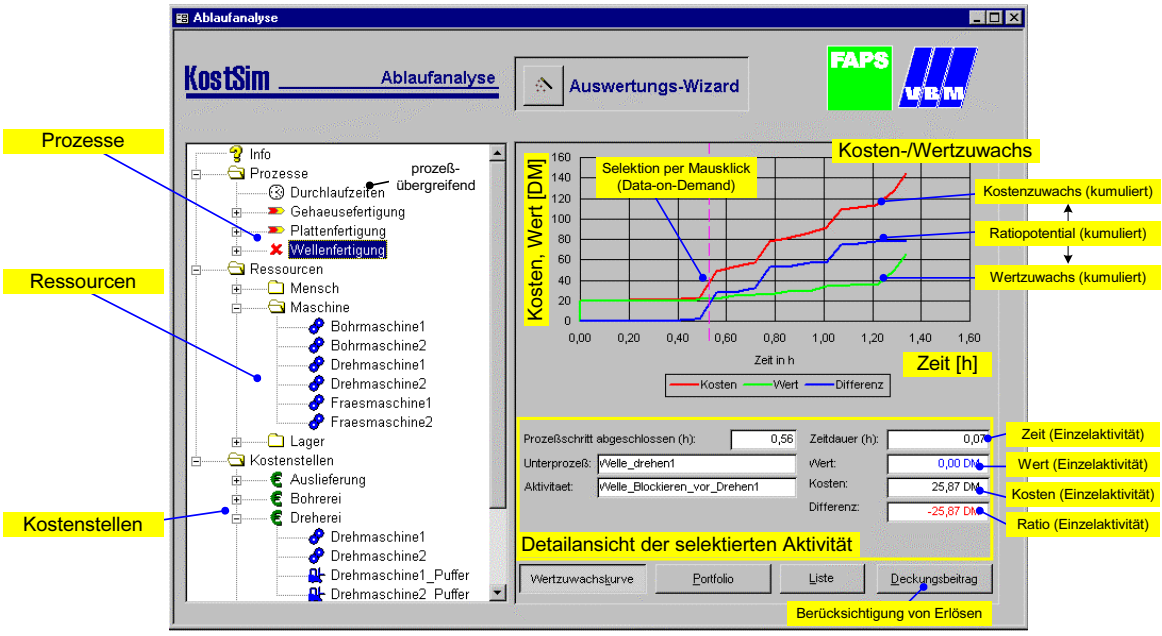


Bild 80: Analyse des Kosten- und Wertzuwachses eines Prozesses im Zeitablauf

Außerdem wird das Vorsichtsprinzip bei der Berechnung der Kurven zugrundegelegt. Das bedeutet, daß von parallel ablaufenden Aktivitäten die längste Zeitdauer und der höchste Kostenzuwachs in die Berechnung eingeht. Damit stellt die Kostenzuwachskurve sowohl den kritischen Pfad der Zeit als auch den kritischen Pfad der Kosten dar. Diese Betrachtung wird den Zwecken der Prozeßanalyse am ehesten gerecht, da für den Fall, daß nur Durchschnittswerte gewünscht werden, bereits die Abbildung von Durchschnittsaktivitäten im Simulationsmodell und die Hinterlegung durchschnittlicher Maschinenstundensätze genügt hätten. Aus der Differenzfunktion wird schließlich deutlich, an welchen Stellen im Fertigungsablauf die Kosten am stärksten ansteigen, ohne Wert zu schaffen und welches Rationalisierungspotential durch die Eliminierung nicht-wertschöpfender Aktivitäten realisierbar ist.

Die Aktivitäten selbst lassen sich am besten in der Portfolio-Darstellung analysieren. Diese ordnet alle beteiligten Aktivitäten nach prozentualer Kapitalbindung und verursachtem Kostenzuwachs in ein Portfolio ein. Die prozentuale Kapitalbindung setzt dabei die Kapitalbindung des jeweiligen Prozeßschrittes zu der des gesamten Prozesses in Beziehung. Die Kostensteigerung eines Prozeßschrittes entspricht dem Kostenzuwachs in der vorhergehend erläuterten Zuwachskurve. Weiterhin wird durch die Einfärbung einer Prozeßschrittraute symbolisiert, ob die zugrundeliegende Aktivität wertschöpfend (grün) oder lediglich kostenerhöhend (rot) wirkt. Zusätzlich teilen Durchschnittslinien das Diagramm in vier Quadranten.

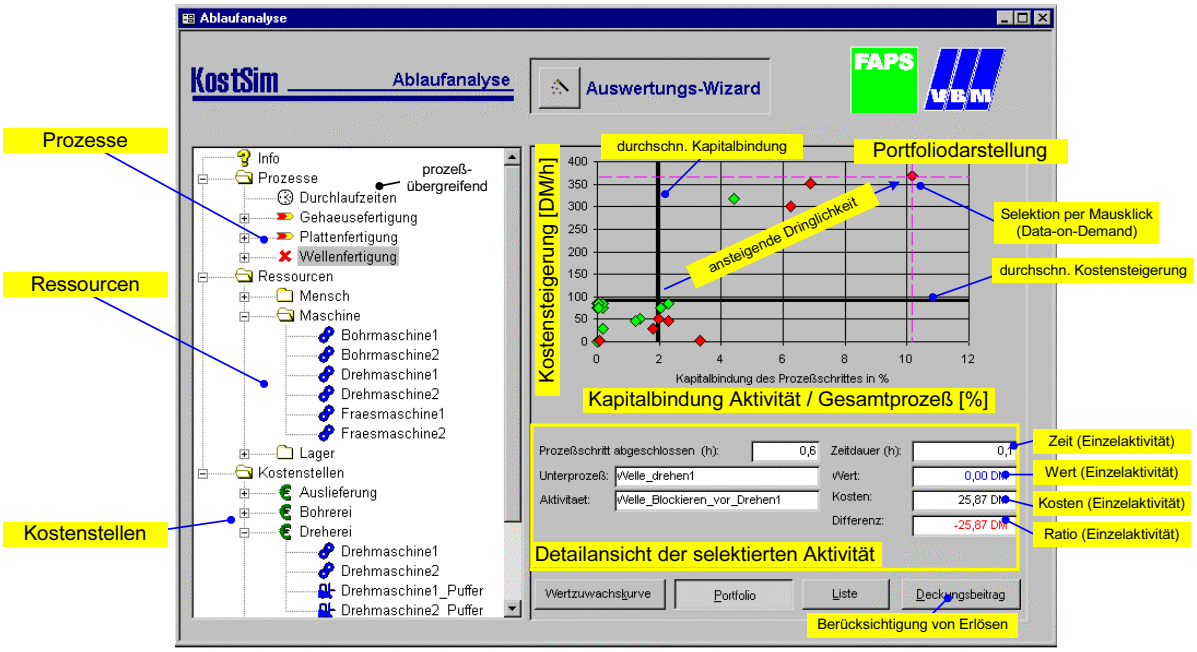


Bild 81: Portfolio zur Gegenüberstellung der Kapitalbindung einer Aktivität mit ihrem Kosten-/Wertzuwachs als Maßstab für kritische Prozeßschritte

Folglich beinhaltet der rechte obere Bereich des Portfolio-Diagramms die Prozeßschritte, die sowohl eine überdurchschnittliche Kapitalbindung als auch einen relativ hohen Kostenzuwachs aufweisen. Ein Prozeßschritt sollte also umso genauer analysiert werden, je weiter rechts und je höher sich seine (rote) Raute befindet. Dazu kann der Benutzer ebenso wie bei der Zuwachskurvendarstellung in das Portfolio hineinklicken. Er erhält dann umgehend detailliertere Informationen über den selektierten Prozeßschritt und kann direkt zur betreffenden Ressource verzweigen.

In der ressourcenorientierten Sicht unterscheidet KostSim zwischen den Kategorien „Mensch“, „Maschine“ und „Lager“ sowie zwischen der Nutzung nach Aktivitätstypen und der Nutzung durch die verschiedenen Prozesse. Die so gewonnenen Informationen ermöglichen fundierte Aussagen über die Ausnutzung und somit über den Wirkungsgrad einer einzelnen Ressource. Ressourcen mit sehr hohen, unproduktiven und somit unwirtschaftlichen Zeitanteilen - z. B. im Bereich „Blockieren“ und „Warten“ - lassen sich identifizieren und durch geeignete Veränderungen des Produktionsablaufs besser auslasten. Insgesamt kann dadurch die (Ressourcen-)Wirtschaftlichkeit des simulierten Produktionssystems entscheidend verbessert werden.

6.5.3 Quantifizierung der Leistung einzelner Kostenstellen

Auf Kostenstellenebene ist es möglich, die Leistung mehrerer Ressourcen und der von ihnen durchgeführten Aktivitäten im Zusammenhang zu betrachten. Dazu werden die Ergebnisdaten aller Ressourcen einer Kostenstelle zusammenfassend in einer Bilanz dargestellt. In der Mengenansicht sind sowohl die eingehenden als auch die ausgehenden Stückzahlen nach Prozessen getrennt aufgeführt. Sollten sich beide Angaben unterscheiden, übersteigt der Input den Output. In diesem Fall befinden sich also noch Bestände in der Kostenstelle.

Durch die monetäre Bewertung der Angaben in der Mengenbilanz kann eine Kostenbilanz aufgestellt werden. Diese zeigt auf, welche Werte eine Kostenstelle erhalten und welche sie erzeugt hat. Indem KostSim jedes Werkstück mit den Kosten der von ihm beanspruchten Ressourcen belastet und anschließend eine Summe über alle Werkstücke bildet, die an einer Kostenstelle angekommen sind, berechnet es den Wert der empfangenen Leistungen. Nach dem gleichen Verfahren werden die Leistungen bewertet, die eine Kostenstelle abgegeben hat. Diese Werte können dann - wie im Kostenrechnungsmodul implementiert - als Basis für Verrechnungssätze zur Schlüsselung der Gemeinkosten einer Kostenstelle dienen.

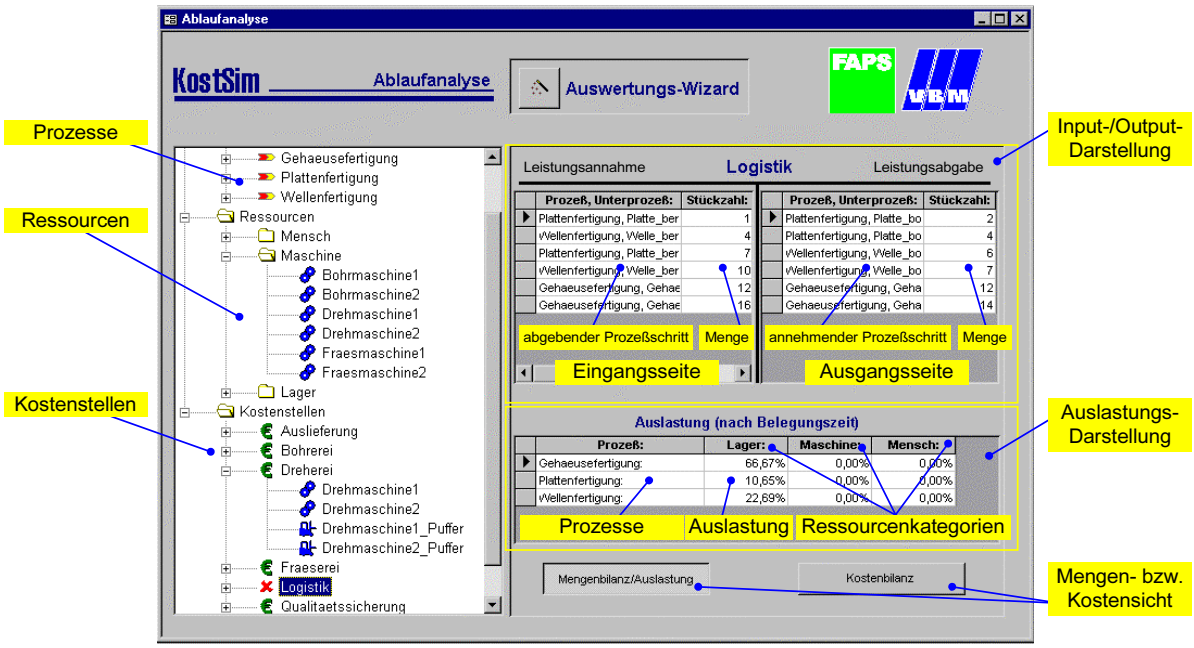


Bild 82: Einsatz und Ergebnis einer Kostenstelle als Basis für die Leistungsbewertung

Die Differenz zwischen empfangenen und abgegebenen Kosten stellt den Kostenzuwachs dar, der innerhalb einer Kostenstelle angefallen ist. Wird dieser nach Prozessen aufgegliedert, gewinnt der Anwender einen sehr genauen Überblick darüber, welche Prozesse durch die Nutzung welcher Ressourcen in welchen Kostenstellen zu einem Kostenzuwachs geführt haben. Durch die zusätzliche Betrachtung der Wertschöpfung ist es schließlich möglich, die Effizienz einer Kostenstelle zu bewerten und diesbezügliche Zielkennzahlen zu definieren.

6.5.4 Unterstützung der Auswertungen durch den Auswertungs-Wizard

Zur gezielten Ermittlung von Schwachstellen und Verbesserungspotentialen stellt KostSim einen Auswertungsassistenten zur Verfügung, der den Anwender von standardisierten und zeitintensiven Auswertearbeiten entlastet. Neben dem Aufstellen von Listen hinsichtlich des Erfüllungsgrades bestimmter Kenngrößen wie Wertschöpfungsanteil, Blockierzeit oder Ausschußquote generiert KostSim auch Verdachtsmomente für die Ursachen einer Schwachstelle.

So resultieren signifikante Blockierzeiten prinzipiell aus unterschiedlichen Arbeitsinhalten und Bearbeitungsdauern aufeinanderfolgender Maschinen. Dies wird nur durch eine Entkopplung mittels ausreichend großer Puffer entschärft, falls eine Harmonisierung der Bearbeitungszeiten nicht erreicht werden kann. Wird die mögliche Bearbeitungszeit durch Wartezeiten an den Maschinen eingeschränkt, so kann dies durch Maschinen in vorgeschalteten Bereichen hervorgerufen werden, die wegen zu langer Bearbeitungsdauern oder zu hoher Rüstzeiten zu wenig Teile bearbeiten. Auch ein zu klein dimensionierter Puffer oder eine schlechte Abstimmung der Einlastung von Zulieferteilen kann dies bewirken. Im letzten Fall werden eventuell zwar genügend Teile gefertigt, doch ist die Abstimmung der einzelnen Fertigungen - ein spezielles Montageproblem - nicht ideal und die übergeordnete Anlagensteuerung muß geändert werden.

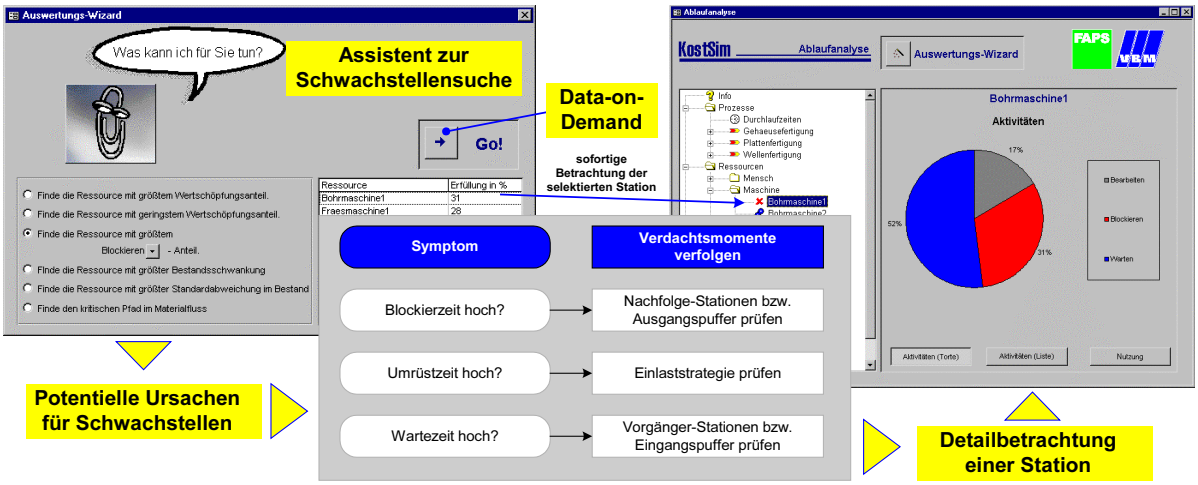


Bild 83: Systematische Unterstützung der Schwachstellensuche durch Generierung von Verdachtsmomenten und implementierte Data-on-Demand-Funktion

Durch das Zusammenspiel der Analyseinstrumente und der Data-on-Demand-Funktionalität, die direkt zum nächsten Analyseobjekt verzweigt, gewinnt der KostSim-Anwender Schritt für Schritt einen zunehmend besseren Überblick über die Wirkungszusammenhänge in seiner Fertigung. Er wird feststellen, daß das Verhalten eines Produktionssystems entscheidend durch die schwächste Stelle geprägt ist und daß sich durchgreifende Änderungen nur durch eine Verbesserung dieser Stelle erzielen lassen. Damit ist er nun in der Lage, gezielte Ansatzpunkte für Verbesserungsmaßnahmen vorzuschlagen. Ihre Auswirkungen können anschließend in einem Simulationsmodell überprüft und wiederum mit KostSim bewertet werden.

6.6 Untersuchung der Wirtschaftlichkeit geplanter Investitionen

Aus den Maßnahmen oder Gestaltungsalternativen, die im Zuge einer Um- bzw. Neuplanung komplexer Produktionssysteme angedacht wurden, sind die vielversprechendsten herauszufinden. Mit Hilfe eines Simulationsexperiments können dazu die technisch-logistischen Auswirkungen abgeschätzt werden, die dann die Eingangsgrößen für die betriebswirtschaftliche Bewertung bilden. Wegen der Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen gilt es, unterschiedliche Produktlebenszyklen und unsichere Absatz- bzw. Rückflußeinschätzungen bei der Ableitung einer Aussage über den Erfolg eines Investitionsvorhabens zu berücksichtigen.

6.6.1 Anlegen einer Investitionsalternative als Simulationsexperiment

Zur Bewertung einer Investitionsalternative muß zunächst festgehalten werden, welche Maßnahmen jeweils getroffen wurden. Um alle untersuchten Alternativen komfortabel verwalten zu können, ist in KostSim eine hierarchische Verwaltungsstruktur implementiert. Im Rahmen eines neuen Simulationsprojektes wird eine spezifische Experimentverwaltung initiiert, indem der Anwender die Ausgangssituation der Wurzel des Simulationsbaums zuweist. Diejenigen Alternativen, die sich direkt auf eine Änderung der Ausgangssituation beziehen, sind dann eine Ebene darunter anzuordnen. Wird eine Alternative modifiziert, entsteht wiederum eine neue Ebene.

Durch diese Möglichkeit der schrittweisen Verfeinerung, die mit der in Kapitel 5.4 vorgestellten Datenstruktur effizient unterstützt wird, ist es vollkommen ausreichend, zwischen zwei Simulationsläufen mit einer Knotenbeziehung nur die Änderungen anstelle der gesamten Daten für die vergleichende Bewertung zu verwenden. Zu diesen entscheidungsrelevanten Informationen gehören die Beschreibung der Maßnahmen mit ihren einmaligen Kosten sowie die in der Folge resultierenden Ertragsänderungen.

Deshalb wird jeder Simulation automatisch eine zunächst leere Maßnahmen- und Produktsammlung zugeordnet. In der Maßnahmensammlung sind die Maßnahmen zu hinterlegen, die untersucht werden. Diese verwaltet wiederum der Maßnahmeneditor, der neben einer Beschreibung der Maßnahme auch die erforderlichen Einmalkosten sowie einen möglichen Mehrwert durch Prestige oder ökologische Vorteile abfragt. Durch die beiden Faktoren ist es möglich, zusätzlich qualitative Gesichtspunkte neben der rein monetären Bewertung zu betrachten. Gleiches bietet auch der Produkteditor, der die bewertungsrelevanten Produktdaten der Datenmanagementkomponente ausliest und um qualitative Aspekte ergänzt.

Da die bewertungsrelevanten Produktdaten erst nach einem Simulationslauf vorliegen, sollten zunächst die vorgesehenen Maßnahmen datentechnisch angelegt und dann im Simulationsmodell umgesetzt werden. Nach dem Simulationslauf sind dann die Ergebnisdaten der bereits angelegten Simulation zuzuordnen. Betriebswirtschaftliche Daten, die sich innerhalb des Modells ändern, spiegeln sich im Ergebnis wider und müssen deshalb nicht extra gespeichert werden.

6.6.2 Bewertung der Investitionsalternative auf Basis von Simulationsdaten

Für den Vergleich zweier Simulationsläufe sind zunächst die Ist-Situation als Referenz- und die zu bewertende Alternative als Vergleichssimulation zu kennzeichnen. Als Vergleichsbasis dienen dann die in der Simulationserfassungsperiode gewonnenen Daten, die noch auf eine Teilperiode normiert werden können. Gemäß dieser Einteilung erfolgt eine Zusammenfassung aller Zahlungsströme, die innerhalb einer Periode liegen.

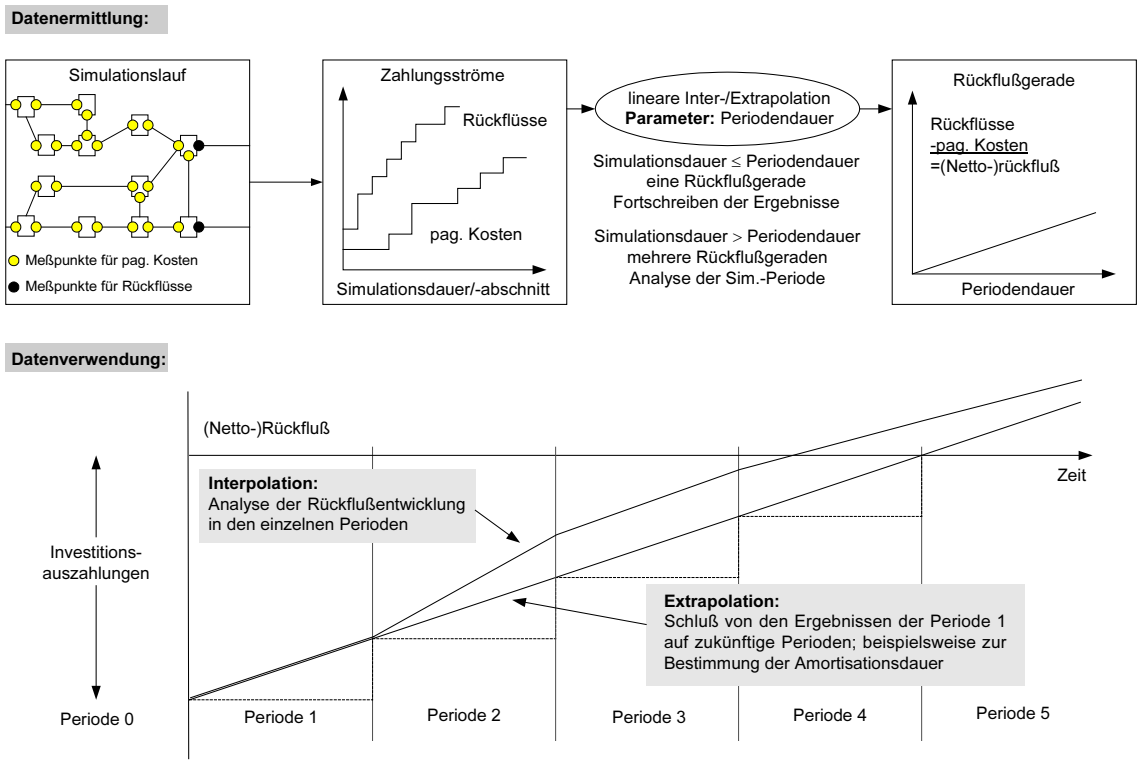


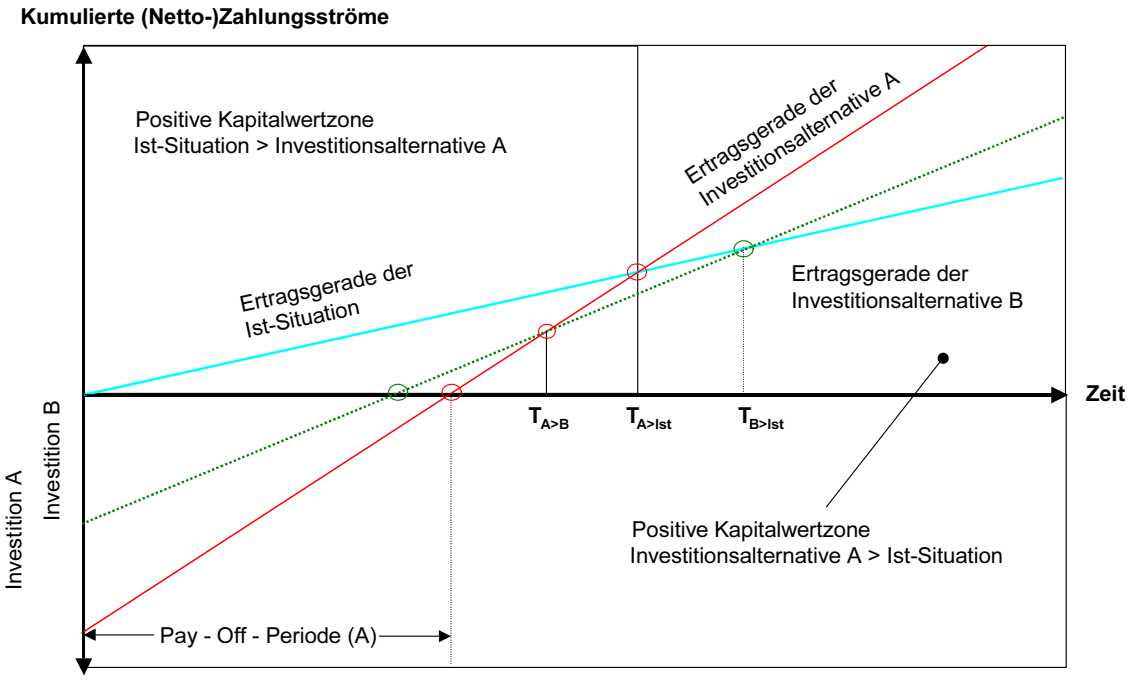
Bild 84: Periodisierung mit Inter- oder Extrapolation der Zahlungsströme

Auf Basis dieser Daten können gängige Investitionskennzahlen wie der Kapitelwert, der interne Zinsfuß und die Amortisationsdauer errechnet werden [ADA94]. Zur Ermittlung des Kapitalwertes werden die in der Zukunft erwarteten Rückflüsse sowie der veranschlagte Restwert abgezinst und aufsummiert. Die Differenz aus dieser Summe und der Anschaffungsauszahlung ergibt schließlich den Kapitalwert einer Investition. Ist der Kapitalwert positiv, führt die Realisierung der Alternative zu einem größeren finanziellen Überschuß als eine Verzinsung zum Kalkulationszinssatz. Eine Investition ist dabei umso vorteilhafter, je positiver der Kapitalwert ausfällt.

Werden die Zahlungsströme beibehalten und der Kapitalwert auf Null gesetzt, ist der interne Zinsfuß ermittelbar. Er ist als Grenzzinssatz zu interpretieren, bei dessen Überschreiten die Vorteilhaftigkeit einer Alternative in einen Nachteil umschlägt. Da er jedoch als relative Größe nichts über die Vorzugswürdigkeit einer Alternative aussagt, ist er lediglich als Meßlatte für die Durchführung einer Einzelinvestition, nicht aber zum Vergleich mehrerer Investitionsvorhaben geeignet. Zudem handelt es sich bei der Kapitalwertformel um ein Polynom vom Grad t (=Periodenanzahl). Diese kann bis zu t Nullstellen haben oder auch gar keine.

Eine weitere Kenngröße, die häufig zur Beurteilung einer Investition verwendet wird, ist die Amortisationsdauer. Sie läßt sich als diejenige Zeitspanne definieren, nach der die Investitionsauszahlungen über die nachfolgenden Nettorückflüsse wieder zurückgeflossen sind. Allgemein berechnet sich die Amortisationsdauer über die Kumulationsmethode. Dabei unterscheidet sich die dynamische Amortisationsdauer von der statischen Amortisationsdauer darin, daß eine Abzinsung der zukünftigen Kapitalflüsse erfolgt. Kritisch ist zu bemerken, daß mit der Amortisationsdauer ein Investitionsprojekt nur punktuell beurteilt wird. Aus der umfassenden Information über den gesamten Verlauf der Rückflüsse wird lediglich ein einzelner Punkt herausgegriffen, weshalb ein insgesamt vorteilhafteres Projekt eine ungünstigere Amortisationsdauer besitzen kann als ein weniger vorteilhaftes. Allerdings stellt die Amortisationsdauer ein anschauliches Maß für das Risiko einer Investition dar. Wegen der Unsicherheit zukünftiger Entwicklungen ist eine Investition umso risikobehafteter, je länger sie sich nicht amortisiert.

Als Fazit der Betrachtung unterschiedlicher Investitionsverfahren kann festgestellt werden, daß sowohl die Rückflüsse als absolute (zeitraumbezogene) Größen, als auch die Amortisationsdauer als zeitpunktbezogene Größe entscheidungsrelevante Informationen liefern. Deshalb wurde in KostSim ein Investitionsdiagramm entwickelt, das beide Größen beinhaltet. Es errechnet für jede Investition die kumulierten (Netto-)Zahlungsströme und stellt diese über die Zeit dar. Aus dem Schnittpunkt mit der Zeitachse resultiert die Amortisationsdauer. Weiterhin gibt der Schnittpunkt mit einer anderen Zahlungsstromkurve den Zeitpunkt an, ab dem sich die Vorteilhaftigkeit einer Investitionsalternative ändert.



Erkenntnis:
Obwohl B sich vor A amortisiert und am Ende der Betrachtungsdauer einen höheren Kapitalwert als die Ist-Situation aufweist, ist sie zu keinem Zeitpunkt die vorteilhafteste Alternative.

Bild 85: Diagramm zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Investitionen

Der Vergleich der Investitionen miteinander liefert die Aussage, daß ab dem Zeitpunkt $T_{A>B}$ Investition A günstiger ist als Investition B. Diese Information ist vor allem bei der Berücksichtigung des Zeithorizontes interessant, da im Falle einer Laufzeit kleiner als $T_{A>B}$ die kapitalschwächere Investition B gegenüber A vorzuziehen wäre. In der Gesamtbetrachtung ist jedoch festzustellen, daß in diesem Fall das Beibehalten der Ist-Situation wirtschaftlicher ist, da deren kumulierte Netto-Zahlungsströme im Vergleich zur Investition B überwiegen. Insgesamt ermöglicht deshalb nur die kombinierte kapital- und zeitorientierte Betrachtung eine fundierte Aussage zur Vorteilhaftigkeit einer Investition.

6.6.3 Berücksichtigung von Produktlebenszyklen und der Unsicherheit

Sollen die aus der Simulation gewonnenen Daten die Planungsgrundlage für eine Periode bilden, die den Simulationszeitraum übersteigt, wird eine Extrapolation notwendig. Um dabei neben dem bloßen Fortschreiben der bisherigen Entwicklung auch Produktlebenszyklen und Saisonschwankungen berücksichtigen zu können, sind in KostSim vier weitere Verlaufstypen hinterlegt, die den erwarteten Absatz prognostizieren. Zusätzlich besteht natürlich auch die Möglichkeit, für jede zukünftige Periode eine eigene Schätzung einzutragen.

Weiterhin gilt es zu berücksichtigen, daß die erwarteten zukünftigen Rückflüsse den Charakter von Planwerten haben und damit mit Unsicherheit behaftet sind. Wegen der besonderen Eignung einer Dreipunktschätzung für den Fall, daß aus Schätzwerten signifikante Wahrscheinlichkeitsaussagen abzuleiten sind, ist diese in KostSim implementiert. In der Voreinstellung geht sie davon aus, daß die in der Simulation berechneten Werte mit einer Wahrscheinlichkeit von 60% eintreten. Zwanzig Prozent niedrigere und höhere Rückflußergebnisse treten defaultmäßig zu jeweils 20% ein. Im Ergebnis entsteht eine Vorbelegungstabelle, die pro Periode drei Werte mit ihren Eintrittswahrscheinlichkeiten enthält und nun vom Anwender - ebenso wie die Standardeinstellungen - modifiziert werden kann. Damit ist es zum Beispiel auch möglich, die Abweichungen vom erwarteten Wert mit zunehmender Periodenzahl ansteigen zu lassen oder nach dem Vorsichtsprinzip die Eintrittswahrscheinlichkeit für den unteren Wert in den zeitlich entfernteren Perioden sukzessive auf Kosten des oberen Wertes zu erhöhen.

1	0,2	0,6	0,2
	66.513,01 DM	83.141,26 DM	99.769,52 DM
2	0,2	0,6	0,2
	66.513,01 DM	83.141,26 DM	99.769,52 DM
3	0,2	0,6	0,2
	50.973,98 DM	63.717,47 DM	76.460,97 DM

Bild 86: Hinterlegung einer Dreiecksverteilung zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Rückflußentwicklung

6.6.4 Ableitung einer Wahrscheinlichkeitsaussage über den Investitionserfolg

Um eine Wahrscheinlichkeitsaussage über den Investitionserfolg treffen zu können, muß aus den einzelnen Dreiecksverteilungen eine Wahrscheinlichkeitsverteilung über alle Perioden generiert werden. Dies ist mit Hilfe einer Faltung möglich, die die Periodenrückflüsse mit ihren Eintretenswahrscheinlichkeiten gewichtet und für jeden kombinatorisch ermittelten Pfad aufsummiert. Durch eine anschließende Differenzbildung von Investitionsauszahlungen und Rückflußsumme errechnen sich die benötigten Nettoergebnisse. Die Wahrscheinlichkeiten gleicher Nettorückflüsse können dabei addiert werden. Nach einer aufsteigenden Sortierung der Ergebnisliste ist schließlich eine graphische Darstellung möglich.

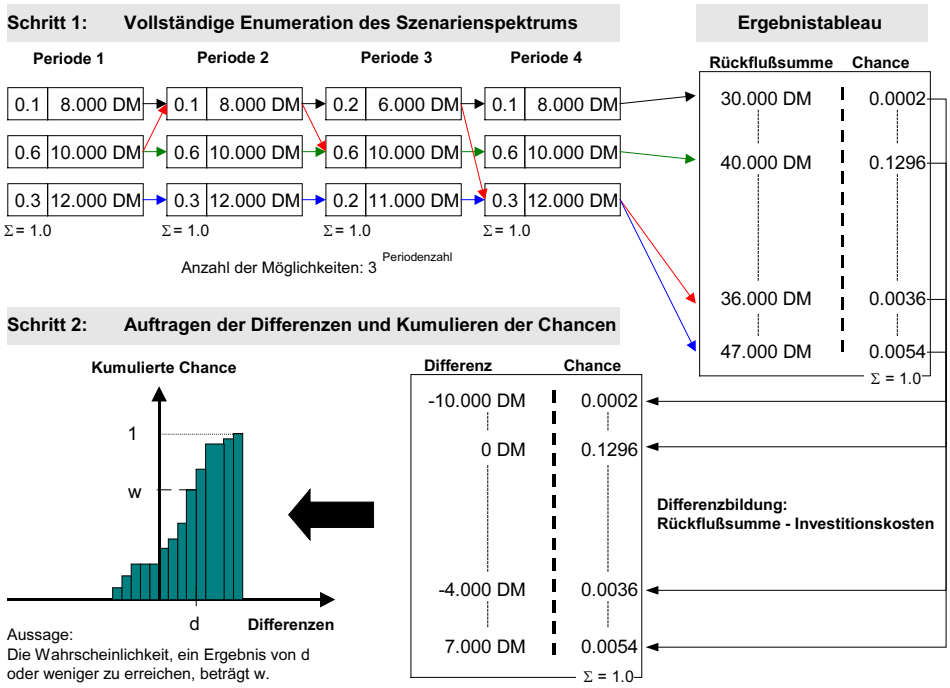


Bild 87: Schritte zur Ableitung einer Summenwahrscheinlichkeitsverteilung

Beginnend mit der kleinsten Differenz, d. h. mit dem schlechtesten Ergebnis, werden die kumulierten Wahrscheinlichkeiten auf der Hochwertachse abgetragen. Von rechts nach links gelesen kann dann jeweils diejenige Chance für ein Ergebnis kleiner oder gleich der betreffenden Differenz ermittelt werden. Bilden lediglich die Perioden bis zum errechneten Amortisationspunkt die Datenbasis, bedeutet ein Differenzergebnis von Null, daß sich die Investition in der von der Simulation bestimmten Zeit amortisiert. Die Wahrscheinlichkeit dafür beträgt dann 1 - f(0).

Auch wenn das Verfahren die stochastische Unabhängigkeit der einzelnen Periodenrückflüsse voraussetzt, die in der Realität nicht unbedingt gegeben ist, da das Ergebnis einer Periode in der Regel das Ergebnis der Folgeperiode beeinflußt, erlaubt es eine fundierte Bewertung bei unsicherer Datenlage. Denn auch unter Berücksichtigung abhängiger Wahrscheinlichkeiten kämen bei deutlich erhöhtem Datenbedarf die gleichen Grenzwerte zustande, innerhalb derer sich die Verteilung mit zunehmender Periodenzahl an die Form des vorgestellten Verfahrens annähert.

6.7 Zusammenfassende Darstellung des Ablaufs einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Zusammenfassend beginnt die simulationsgestützte Wirtschaftlichkeitsbewertung damit, daß nach dem in der VDI-Richtlinie 3633 [VDI93] beschriebenem Vorgehen ein Simulationsmodell in SIMPLE++ aufgebaut wird. Zur Vorbereitung einer betriebswirtschaftlichen Betrachtung wurden Referenzbausteine entwickelt. Der Exporteditor und der Baustein zur ID-Vergabe muß dabei zwingend in das Modell eingesetzt werden, wohingegen die anderen Referenzbausteine zur Erleichterung der Modellierung dienen.

Die Daten aus der Simulation werden anschließend von der Datenbankmanagementkomponente in Access-Tabellen eingelesen. Um diesen Vorgang zu erleichtern, können für ein Simulationsprojekt mit mehreren ähnlichen Experimenten betriebswirtschaftliche Vorbelegungstabellen erstellt werden. Diese bewirken dann, daß beispielsweise eine bestimmte Ressource automatisch einer bestimmten Kostenstelle zugeordnet wird, wenn sie im nächsten zu importierenden Tracefile erneut auftritt.

Im eigentlichen Kostenrechnungsmodul kann dann das Kostenrechnungssystem eines Unternehmens basierend auf einer (Weiter-)Verrechnung der für die Durchführung einzelner Aktivitäten angefallenen Kosten nachgebildet werden. Weiterhin ist über die Einstellung unterschiedlicher Verrechnungsschlüssel ein Vergleich unterschiedlicher Kostenrechnungskonzepte möglich. Die Analysefunktionalitäten von KostSim verschaffen einerseits einen sofortigen Überblick über das untersuchte Produktionssystem und erlauben andererseits, eine vertiefende Analyse von drei verschiedenen Blickwinkeln her zu beginnen. Zudem wurde ein Auswertungsassistent implementiert, der den Anwender bei der Durchführung vorstrukturierter Analysen unterstützt. Auf der Basis der deutlich gewordenen Schwachstellen und Verbesserungspotentiale können im Investitionstool die geplanten Experimente systematisch verwaltet werden. Die dadurch geschaffene Transparenz zeigt die Vor- und Nachteile der bisher untersuchten Alternativen deutlich auf und ermöglicht es, die Auswahlentscheidung für eine Alternative schlüssig zu begründen.

Insgesamt führt die Verwendung von KostSim dazu, daß sowohl die in der Simulation verwendeten Daten, als auch die in der betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente hinterlegten Angaben hinterfragt und aktualisiert werden. Dadurch, daß kaufmännische und technische Bereiche zusammenarbeiten, wird das gegenseitige Verständnis gefördert. Die Kaufleute erhalten einen Einblick in den technischen Prozeß sowie die Verwendung ihrer Daten. Im Gegenzug sehen die Techniker, wie ihre Produktionsergebnisse betriebswirtschaftlich bewertet werden und an welchen Stellhebeln sie ansetzen müssen. Weiterhin entsteht eine vollständige Dokumentation des Projektes, auf die später wieder zurückgegriffen werden kann.

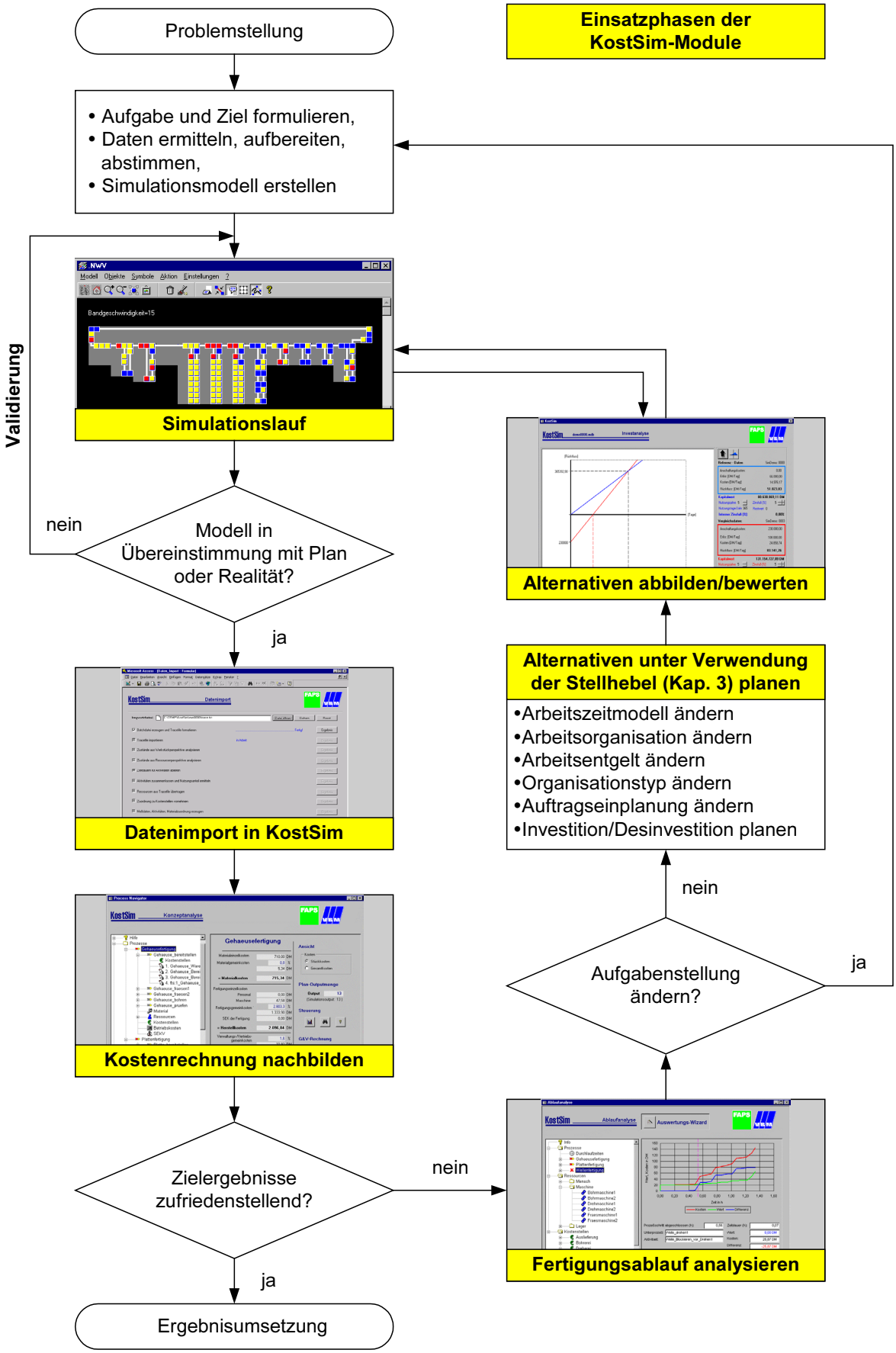


Bild 88: Übersicht zum Vorgehen bei einer simulationsbasierten Wirtschaftlichkeitsgestaltung

7. Anwendung des realisierten Werkzeuges im industriellen Umfeld am Beispiel einer Kegelradsatzfertigung

Schon während der Entwicklung von KostSim wurden die Module und Funktionalitäten zur Unterstützung betriebswirtschaftlicher Betrachtungen in Simulationsstudien ebenso intensiv genutzt wie die in Kapitel 6.1 vorgestellten Referenzbausteine zur effektiven Modellerstellung. So konnte in einer Giesserei die Auftragseinlastung verbessert, bei einem Automobilzulieferer die Investitionsplanung für die Nockenwellenverstellermontage unterstützt sowie bei einem Unternehmen der Elektronikindustrie das Instandhaltungsmanagement der Hybridfertigung optimiert werden. Jedes dieser Projekte fokussierte dabei auf bestimmte Untersuchungsschwerpunkte und somit auf spezielle Funktionalitäten von KostSim. Als ein typisches Anwendungsbeispiel für KostSim, das die Referenzbausteine und mehrere Module im Zusammenspiel nutzt, dient im folgenden die Planung und der schrittweise Ausbau der Kegelradsatzfertigung eines Automobilzulieferers. Zur Wahrung der Vertraulichkeit erfolgt die Darstellung anonymisiert und mit teilweise modifizierten Daten.

7.1 Problemorientierte Darstellung der Planungsaufgabe

Nachdem ein deutscher Automobilproduzent sein erstes US-amerikanisches Werk zur Fertigung von Freizeit-Geländewagen errichtete, stand das betrachtete Zulieferunternehmen bei einer geplanten Produktionsmenge von 65.000 Fahrzeugen pro Jahr vor der Herausforderung, jährlich bis zu 130.000 Einzelachsen zu montieren sowie einbaufertig, just-in-time (JIT) und just-in-sequence (JIS) an das Montageband des Kunden zu liefern. Um dem JIS-Planungshorizont von 3,5 Stunden bei einer Aktualisierungsperiode von 3,5 Minuten gerecht werden zu können, errichtete der Zulieferer ein eigenes Werk zur Achsmontage, das ca. dreißig Kilometer vom Werk des Automobilherstellers entfernt ist.

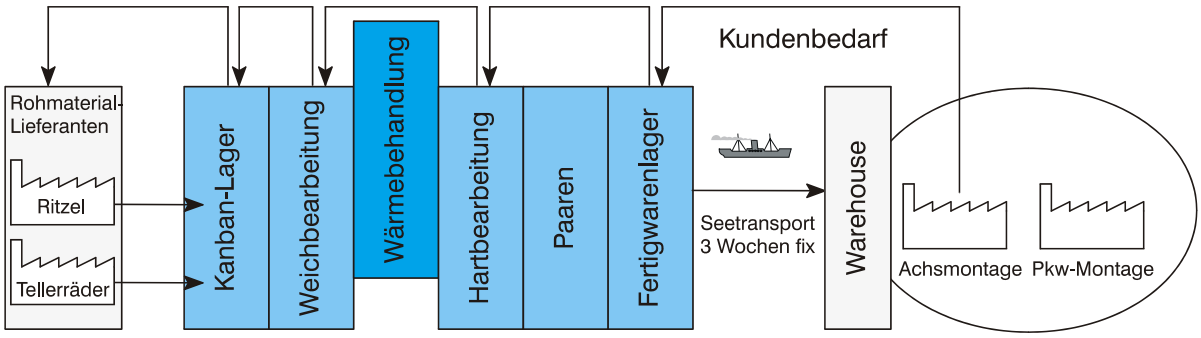
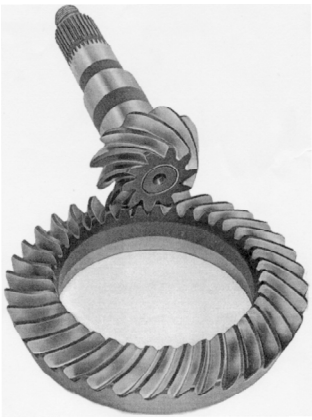


Bild 89: Makromaterialfluß der Kegelradsatzproduktion

Ein wichtiges Aggregat des Achssystems bildet der Kegelradsatz (KRS), der für die schlupflose Übertragung von Bewegung und Leistung verantwortlich ist. Da er zudem über das Geräuschverhalten wesentlichen Einfluß auf die Fahrqualität nimmt, wird für seine Fertigung spezifisches Know-how benötigt, über das eine Tochtergesellschaft des Zulieferers in Süddeutschland verfügt.

Um die Teileversorgung des US-Werkes trotz der Entfernung zwischen Deutschland und den USA jederzeit sicherstellen zu können, wurden dem Tochterunternehmen definierte Warehouse-Bestände vorgegeben. Diese orientieren sich an der Kapazität eines Schiffscontainers, der wöchentlich mit Kegelradsätzen beladen und abgeholt wird. Er bietet Platz für 28 Versandeinheiten, wovon eine wiederum zwanzig Hartschalen mit vier Kegelradsätzen umfaßt.

Da der Automobilhersteller bei der Markteinführung seines Geländewagens drei Motorvarianten zur Auswahl stellen will und für jede Motorvariante ein Achsensatz benötigt wird, der sich in einen Kegelradsatz für die Vorder- und einen für die Hinterachse aufteilt, müssen insgesamt drei mal zwei Kegelradsatzvarianten produziert werden. Um nun auch vor dem Beladen des Schiffes noch alle Möglichkeiten offen zu haben und damit eine hundertprozentige Lieferfähigkeit aufzuweisen, sind in der Versandzone pro Variante mindestens vierzehn Verladeeinheiten, also 1120 Kegelradsätze, vorzuhalten.



Kostenoptimale Produktion von

3 Übersetzungen:	2,71	3,48	4,60
2 Achslagen:	vorne	hinten	

Sicherstellung einer Lieferfähigkeit von 100%:

Mindestbestand bei der Verladung am Ende der Woche:
14 Versandeinheiten bzw. 1120 Kegelradsätze pro Typ

Erfüllung der Jahresproduktionsmenge:

130.000 Kegelradsätze pro Jahr

Bild 90: Mindestanforderungen an die Kegelradsatzproduktion

Folglich stand der Kegelradsatzfertiger vor der Aufgabe, am Ende jeder Woche als Minimalziel diesen Mindestbestand zu gewährleisten und darüber hinaus auf Jahressicht das Produktionsziel von 130.000 Kegelradsätzen zu erfüllen. Wird die angestrebte Produktionsmenge erreicht, ist der Gewinn umso größer, je niedriger die Kosten liegen. Jedoch drohen auch empfindliche Konventionalstrafen, wenn mit möglichen Einsparungen ein Unterschreiten des vereinbarten Produktionsvolumens einhergehen sollte. Vor diesem Hintergrund galt es, die Fertigung der Kegelradsätze mengen- und kostenoptimal auszulegen.

7.2 Aufbau und Beschreibung des System- und Kostenmodells

Nach der Klärung der Aufgabenstellung geht es nun darum, geeignete Lösungsstrategien und Handlungsalternativen zu finden. Bei einem Planungsproblem dieser Komplexität bietet sich hierzu der Einsatz der Simulation mit einer anschließenden Kostenbewertung an. Gemäß den im Kapitel 5.2.3 beschriebenen Vorgehen ist zunächst ein geeignetes technisch-logistisches Simulationsmodell aufzubauen, das anschließend für betriebswirtschaftliche Analysen mit Kostendaten unterfüttert werden kann.

7.2.1 Datengrundlage und Modellaufbau

Die Datengrundlage kann systematisch vom Produktionsziel abgeleitet werden, das darin besteht, Kegelradsätze für drei verschiedene Motorvarianten zu liefern. Da pro Achse ein Kegelradsatz notwendig ist, der aus einem Ritzel und einem Tellerrad besteht, bietet es sich an, zur Strukturierung der Daten im betrachteten Produktionssystem insgesamt achtzehn Teiletypen nach der in Bild 91 dargestellten Nomenklatur zu unterscheiden. Analog einem sprechenden Nummerungssystem definiert die gewählte Nomenklatur zuerst den Typ (Kegelradsatz, Ritzel, Tellerrad), dann die Variante bzw. Übersetzung und schließlich die Lage (Vorder- oder Hinterachse).

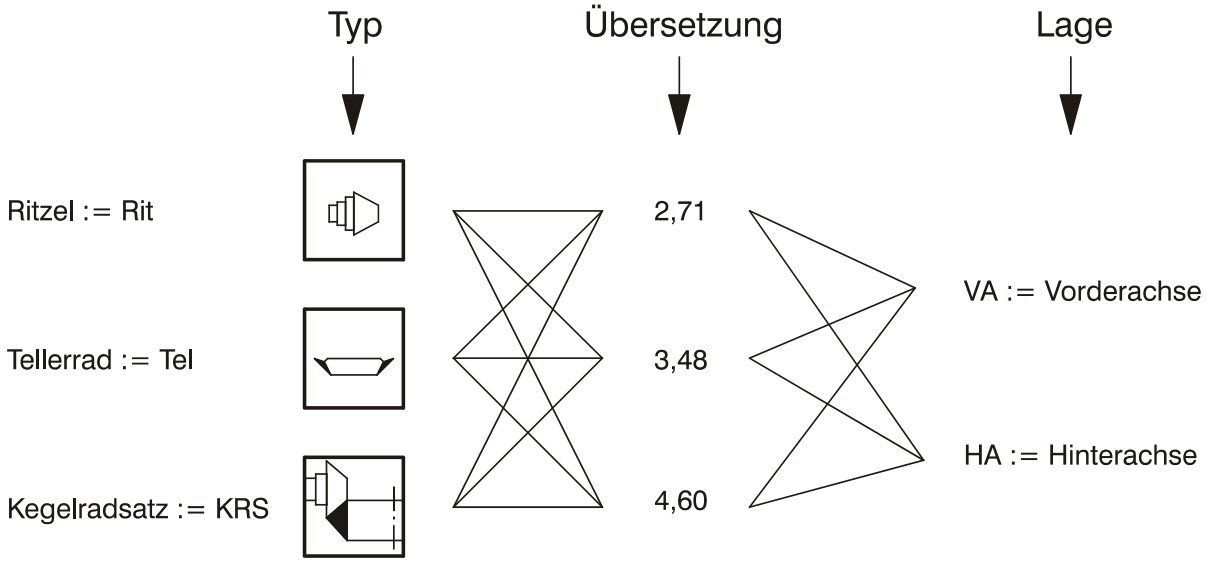


Bild 91: Schema zur Nummerung der im Produktionssystem auftretenden Teile

Für jeden Teiletyp müßten jetzt alle Bearbeitungsfolgen definiert sowie die dazu an den benötigten Ressourcen erforderlichen Zeitbedarfe abgeschätzt werden. Aufgrund der Tatsache, daß die technische Planung der Fertigungslinie und auch die Maschinenbeschaffung vor der Simulation bereits fast vollständig abgeschlossen war, existierte schon eine Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte mit geschätzten Bearbeitungs-, Rüst-, Stör- und Übergangszeiten sowie ein Layout der Fertigung. Somit war zu Beginn der simulationsbasierten Untersuchung von einem vorhandenen Materialfluß auszugehen, der ohne die Berücksichtigung dynamischer Einflüsse beziehungsweise rein statisch geplant wurde.

Der erwähnte Materialfluß beginnt im Planungsbereich in den Bereitstellungszonen für die Rohlinge. Das Rohmaterial für Tellerräder und Ritzel wird dabei von je einem Lieferanten bezogen, der in einer Art KANBAN-Kreislauf für die Materialverfügbarkeit in der Fertigung verantwortlich ist. Zu diesem Zweck wurden Richtlinien über den minimalen Bestand, der nicht unterschritten werden darf, vereinbart. Verstößt ein Lieferant dagegen, drohen ihm empfindliche Konventionalstrafen. Damit ist es dem Unternehmen gelungen, seine Fertigung eingangsseitig abzusichern.

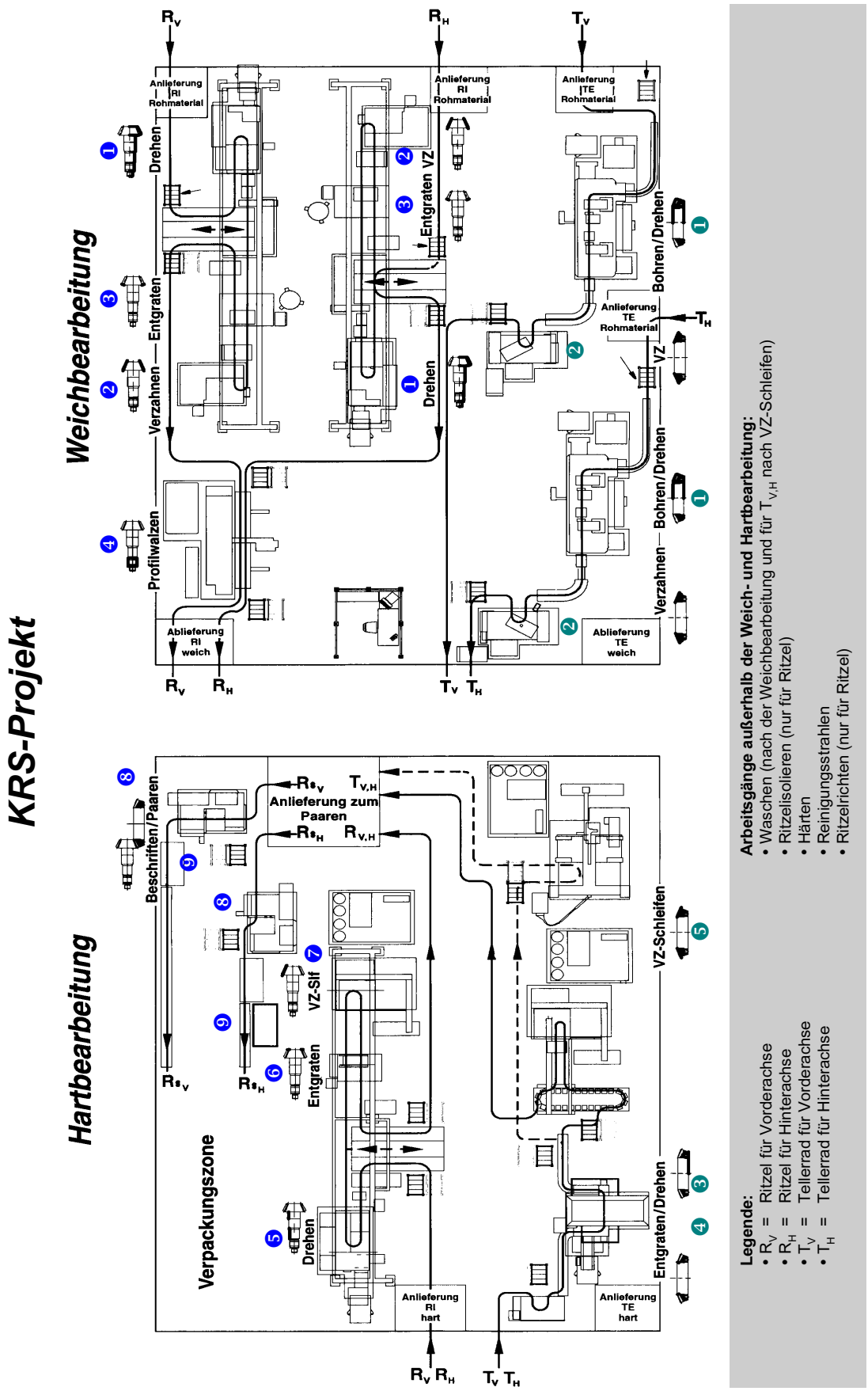


Bild 92: Layout des Segments zur Fertigung der Kegelradsätze

❑ Der Fertigungsprozeß

Gemäß dem umseitigen Layout beginnt die eigentliche Fertigung der Kegelradsätze für alle Varianten mit der Weichbearbeitung der Rohlinge. Diese ist in vier Fertigungsstränge aufgeteilt, die jeweils alle Übersetzungsvarianten bearbeiten können, doch nur für Ritzel oder Tellerräder der Vorder- oder Hinterachse vorgesehen sind. Während die ersten drei Bearbeitungsschritte für die Ritzel (❶ Drehen, ❷ Verzahnen, ❸ Entgraten) mit Hilfe eines Laders und eines Zwischenpufferbandes verkettet ablaufen und von den Mitarbeitern nur dafür gesorgt werden muß, daß ausreichend Rohlinge auf dem Zuführband liegen, erfolgt die Zuführung der Ritzel zum Profilwalzen (❹), dem letzten Bearbeitungsschritt in der Ritzelweichbearbeitung, manuell. Ebenfalls manuell sind die vollautomatisch arbeitenden Maschinen zur Durchführung der einzigen beiden Bearbeitungsstufen (❶ Bohren/Drehen, ❷ Verzahnen) in der Tellerradweichbearbeitung verbunden.

Tellerrad und Ritzel müssen nach Ende der Weichbearbeitung in einer Kostenstelle, die nicht mehr zum KRS-Segment gehört und deshalb nicht im Layout enthalten ist, gewaschen werden. Anschließend folgt eine Differenzierung der Werkstücke, indem das Gewinde der Ritzel vor dem Härten gesondert zu isolieren ist. Für alle Teile stellen nun das Durchlaufen des Direkthärteofens mit nachfolgendem Reinigungsstrahlen die nächsten Arbeitsschritt dar, worauf sich der Fertigungsablauf von Ritzeln und Tellerrädern erneut trennt. Während die Tellerräder umgehend in die Hartbearbeitung eingelastet werden, ist für die Ritzel noch das maschinenunterstützte Richten vorgesehen.

Im weiteren Verlauf schließt sich die KRS-spezifische Hartbearbeitung der Bauteile an, die jedoch nur noch in zwei Fertigungssträngen, einer Ritzel- und einer Tellerradstraße, erfolgt. Dabei sind bei der Ritzelstraße die ersten drei Arbeitsgänge (❺ Drehen, ❻ Entgraten, ❼ Verzahnungsschleifen) und bei der Tellerradstraße die ersten beiden Schritte (❸ Drehen, ❹ Entgraten) starr verkettet. Danach müssen die Tellerräder manuell zur letzten Hartbearbeitungsstufe, dem Verzahnungsschleifen (❺), zugeführt werden, bevor sie zum nochmaligen Waschen gelangen.

Nachdem die Hartbearbeitung der Ritzel beendet ist, folgt das Abrollprüfen (❽) mit dem zugehörigen Tellerrad, um optimale Laufeigenschaften mit minimaler Geräuschentwicklung zu gewährleisten. Dafür stehen alternativ zwei Maschinen zur Verfügung. Ab diesem Schritt, der auch als Paarung bezeichnet wird, sind die Einbaumaße von Ritzel und Tellerrad exakt aufeinander abgestimmt, weshalb der entstandene Kegelradsatz von nun an als Einheit betrachtet werden muß, auch wenn es sich um ein Erzeugnis handelt, dessen beiden Bestandteile noch nicht fest miteinander montiert sind. Abschließend werden die Kegelradsätze beschriftet (❾), verpackt und in das Versandlager eingelastet.

❑ Das Basismodell

Basierend auf der Beschreibung des Fertigungsprozesses wurde das Basismodell in SIMPLE++ aufgebaut. Um dabei einen hohen Wiedererkennungseffekt sicherzustellen und spätere Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu erleichtern, diente die Kostenstelleneinteilung des Unternehmens als Orientierungsschema für die Abgrenzung der einzelnen Teilnetzwerke. Nachdem die Fertigung der Kegelradsätze in der Weichbearbeitung beginnt, wird das Vorgehen zur Erstellung eines strukturellen Simulationsmodells beispielhaft an dieser Kostenstelle vorgestellt.

In einem ersten Schritt ist zunächst zu prüfen, mit welchen Grund- oder Referenzbausteinen die einzelnen Fertigungsschritte abgebildet werden können. Im Fall der Weichbearbeitung sind hierbei vier Linien zu betrachten, die mit dem Eintritt der Rohlinge in das betrachtete Produktionssystem beginnen. Wegen entsprechender vertraglicher Vereinbarungen mit den beiden Lieferanten kann davon ausgegangen werden, daß immer genügend Rohlinge vorhanden sind. Von daher ist es möglich, die Anlieferung als Einzelstation abzubilden, die rechtzeitig neue Rohlinge bereitstellt.

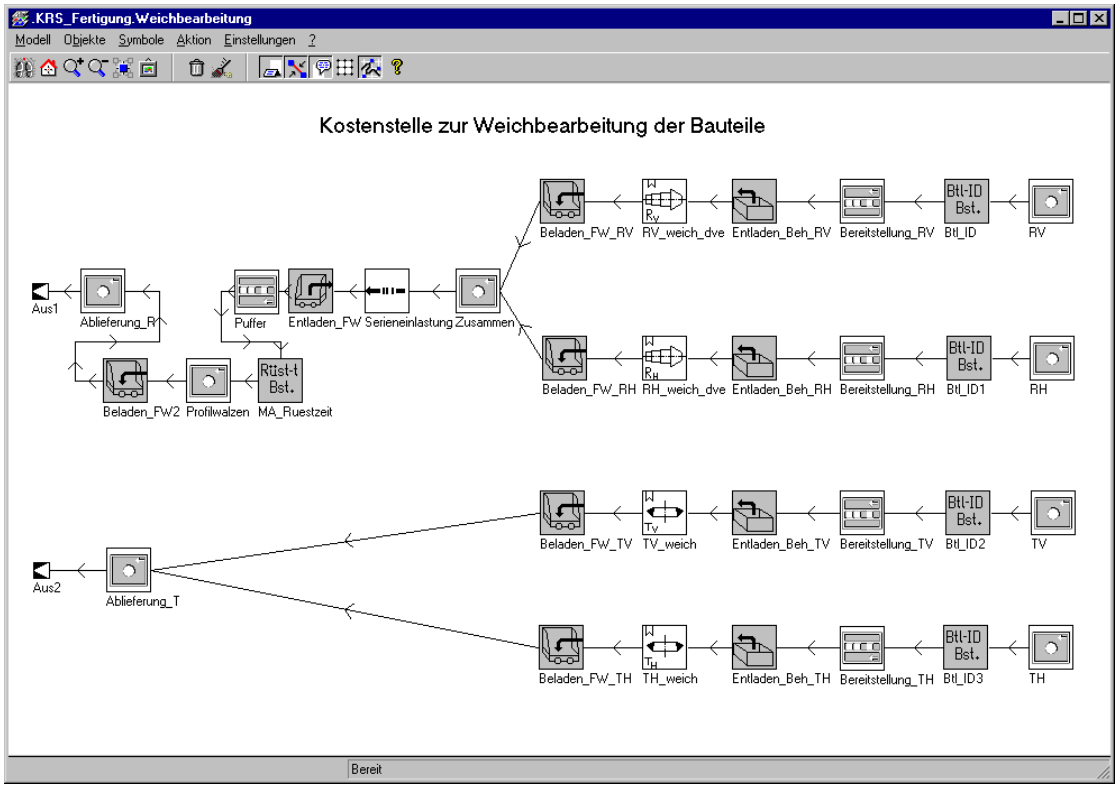


Bild 93: SIMPLE++-Modell der Kostenstelle zur Weichbearbeitung der Bauteile mit Grund- und Referenzbausteinen

Sobald diese Rohlinge in das Produktionssystem eintreten, müssen sie eine eindeutige Kennung erhalten. Zu diesem Zweck dient der kapazitätslose Referenzbaustein „Btl_ID“. Nach der ID-Vergabe gelangen die Rohlinge in die Bereitstellungszone, für deren Abbildung in SIMPLE++ der Grundbaustein „Puffer“ zur Verfügung steht.

Auf den Bestand der Bereitstellungspuffer greift jeweils der Referenzbaustein „Entladen“ zu, der die Vereinzelung der Werkstücke und die Beschickung der ersten Bearbeitungsstation übernimmt. Um die Vorteile der Objektorientierung bei ähnlichen Arbeitsfolgen zu nutzen, wurden typgleiche Operationen in einem eigenen Subnetzwerk abgebildet. In den Subnetzwerken erfolgen die Operationen Drehen, Verzahnen und Entgraten für die Ritzel sowie Drehen und Verzahnen für die Tellerräder. Nach dem Verlassen der Subnetzwerke werden die Werkstücke durch den Referenzbaustein „Beladen“ auf Transportmittel geladen. Während die Tellerräder zur Ablieferung an die Kostenstelle „Waschen“ bereitstehen, müssen die Ritzel noch zum Profilwalzen. Um später die Einlastung gleicher Serien sicherstellen zu können, wurde der Baustein „Serieneinlastung“ in das Modell integriert. Hat eine Transportladung diesen passiert, sorgt der Referenzbaustein „Entladen“ für die Vereinzelung und die Beschickung des internen Puffers der Station „Profilwalzen“. Da hier Rüstoperationen notwendig sein können, findet der Referenzbaustein „Rüsten“ Verwendung. Nach der Bearbeitung sorgt dann wiederum der Referenzbaustein „Beladen“ für die Zusammenfassung der Ritzel zu einem Transportlos, das dann ebenfalls für die Kostenstelle „Waschen“ bereitsteht.

Mit der Modellierung der restlichen Kostenstellen und deren Abnahme durch die jeweiligen Ansprechpartner ist der strukturelle Modellaufbau zunächst abgeschlossen. Alle an der Leistungserstellung beteiligten Stationen sind nun mit den entsprechenden Grund- bzw. Referenzbausteinen in einem hierarchischen Netzwerk abgebildet. Damit ist das Fundament für den nächsten Schritt, die Parametrisierung des Modells, gelegt.

❑ Die Modellparametrierung

Um nicht nur die Modellstruktur, sondern auch das Modellverhalten an die Realität anzupassen, sind parametrische Daten nötig. Dazu gehören nach der VDI-Richtlinie 3633 die Zeiten zur Durchführung der einzelnen Rüst- und Bearbeitungsschritte, Angaben zu den Transport- und Bearbeitungskapazitäten sowie dem Störverhalten einzelner Stationen. Weiterhin sind Regeln zur Fertigungssteuerung im Modell zu hinterlegen.

		Ritzel	**Tellerrad**		
$T_{rüst}$	T_{bearb}	Arbeitsgang	Arbeitsgang	T_{bearb}	$T_{rüst}$
1,3 h	0,040 h	Drehen	Drehen	0,057 h	1,8 h
2,2 h	0,066 h	Verzahnen	Verzahnen	0,066 h	3,5 h
0,5 h	0,020 h	Entgraten			
0,5 h	0,004 h	Profilwalzen			
...	...	...	...	...	...

Bild 94: Rüst- und Einzelbearbeitungszeiten für Ritzel- und Tellerräder (Auszug)

Arbeitsgang	Kapazitäten
Weichdrehen der Ritzel	26 Ritzel
Weichfräsen der Tellerräder für VA	22 Tellerräder vorne
Weichfräsen der Tellerräder für HA	16 Tellerräder hinten
Transportieren der Ritzel auf Transportwägen	64 Ritzel
Transportieren der Tellerräder auf Transportwägen	64 Tellerräder
Härten der Ritzel auf Härtereirosten	104 Ritzel
Härten der Tellerräder auf Härtereirosten	40 Tellerräder
Schleifen der Ritzel	26 Ritzel
Schleifen der Tellerräder	28 Tellerräder
Hartdrehen der Tellerräder	20 Tellerräder

Bild 95: Angaben zu den Kapazitäten ausgewählter Ressourcen

Da der Bearbeitungsablauf für alle Ritzel- und Tellerradvarianten sehr ähnlich ist und sich die Summen der über alle Varianten gemittelten Einzelbearbeitungszeiten kaum unterscheiden, ging das Unternehmen in der Annahme, daß die Paarigkeit von Ritzel und Tellerrad automatisch entsteht, zunächst von einem reinen Push-System aus. Weiterhin wurde vorgegeben, daß die Waschmaschine die aus dem KRS-Segment ankommenden Transportwagen sofort bearbeitet und die Hartbearbeitung erst dann Rüsten soll, wenn alle Teile der jeweiligen Variante abgearbeitet sind. Die Transportwagen selbst stehen nach den Angaben des Unternehmens immer in ausreichender Anzahl beziehungsweise ohne Wartezeit zur Verfügung und stellen damit im Modell keinen Engpaß dar.

- **Die Modellvalidierung**

Mit den angegebenen Parametern wurde das Modell in der Form validiert, daß die Quellen der Weichbearbeitung die Rolle der Lieferanten übernahmen und für einen hundertprozentig ausreichenden Rohteilbestand sorgten. Anschließend erfolgte die Einlastung der Rohlinge in Serienlosgröße (240 Ritzel- bzw. Tellerräder) und in dem erwarteten Variantenverhältnis von 1:8:1.

Obwohl in der Simulation durch das Vorhandensein der richtigen Rohlinge die ersten Bearbeitungsstationen der vier Linien permanent belegt waren, konnte die Soll-Ausbringung nicht erreicht werden. Vielmehr entstand schon in der Weichbearbeitung ein Rückstand, der in der Folge das Scheitern der Push-Strategie bewirkte, da beim Paaren die passenden Ritzel und Tellerräder nicht gleichzeitig ankamen. Außerdem entstanden teilweise lange Wartezeiten an der Tellerradverzahnungsmaschine in der Hartbearbeitung.

Als erste Sofortmaßnahme erfolgte die Einrichtung eines Synchronisationsbestandes vor dem Paaren, so daß die zueinander passenden Teile in dem vorhandenen Bestand der Hartbearbeitung zur Verfügung stehen.

Außerdem wurde von allen Beteiligten die Bedeutung dynamischer Einflüsse erkannt und die Verfeinerung des Modells in Richtung variantenabhängiger Zeiten sowie der Verfügbarkeit von Springern angeregt. Da zudem wegen der vorhandenen Engpässe die Notwendigkeit von Investitionen bestand, sollten diese zusammen mit anderen möglichen ausbringungssteigernden Maßnahmen auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht werden. Zu diesem Zweck galt es, relevante Kosten- und Einflußfaktoren zu identifizieren.

7.2.2 Relevante Kosten- und Einflußfaktoren

Das Ziel, die Jahresausbringung auf 130.000 Kegelradsätze gemäß dem benötigten Variantenverhältnis zu steigern, kann bei Annahme gegebener Bearbeitungs-, Rüst- und Störzeiten sowie unter Berücksichtigung der vorliegenden Arbeitspläne potentiell über folgende Wege erreicht werden: eine intensivere Nutzung des bisherigen Maschinenparks durch Rüstoptimierung, eine längere Nutzung des Maschinenparks durch erweiterte Arbeitszeitmodelle oder eine Erweiterung des Maschinenparks um neue Maschinen. Je nachdem, welcher Weg eingeschlagen wird, sind unterschiedliche Einflußfaktoren von Bedeutung.

- **Variation der Losgrößen und Rüstreihenfolge**

Eine intensivere Nutzung des bisherigen Maschinenparks ist durch die Wahl einer umfangreicheren Losgröße erreichbar. In der Folge reduziert sich der Rüstaufwand an den Bearbeitungsstationen, was zu einer höheren Kapazitätsauslastung und damit auch zu einer höheren Ausbringung führt. Allerdings ist auch mit höheren Beständen in der Fertigung und längeren Durchlaufzeiten der Kegelradsätze zu rechnen, die unter Umständen dazu führen können, daß der geforderte Mindestbestand am Ende einer Woche nicht für alle Varianten erreichbar ist.

- **Variation des Arbeitszeitmodells**

Eine längere Nutzung des bisherigen Maschinenparks und eine dadurch bedingte Ausbringungssteigerung wird mit erweiterten Arbeitszeiten des Personals möglich. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Erweiterung der Arbeitszeit nur in bestimmten Stufen erfolgen kann und zudem nur schwer beziehungsweise mit Zeitverzug wieder rückgängig zu machen ist.

- **Variation des Maschinenparks und der Maschinenbeschickung**

Sollten sich die ersten beiden Möglichkeiten als ungeeignet herausstellen, bleibt noch die Option, den Maschinenpark durch zusätzliche Maschinen zu erweitern. Die dafür notwendigen Investitionen müssen dann zu einer Ausbringungssteigerung führen, die den zusätzlichen Kapitalbedarf gerechtfertigt. Weiterhin gilt es zu beachten, daß auch eine Übererfüllung der beabsichtigten Jahresproduktion unwirtschaftlich ist, da die überzähligen Kegelradsätze nicht anderweitig abgesetzt werden können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß jeder Einflußfaktor unterschiedliche Kostengrößen tangiert. Diese sind alle bei der Bewertung der Auswirkungen einzelner Parametervariationen zu berücksichtigen und stellen deshalb in ihrer Gesamtheit die (entscheidungs-)relevanten Kostenfaktoren dar.

Ansatzpunkt	Stellgröße / Einflußfaktor	beeinflußte Kostengrößen
MENSCH	längere Arbeitszeiten	• Löhne / Gehälter↗ • Personalnebenkosten↗
PROZESS	größere Losgrößen	• Rüstkosten↘ • Leerkosten↘ • Bestandskosten↗ • Termintreue↘ (Vertragsstrafe)
MASCHINE	zusätzliche Maschinen	• Investitionen↗ • lfd. Maschinenkosten↗

Bild 96: Ansatzpunkte zur Steigerung der Ausbringung mit den beeinflußten Kosten

Bevor jedoch eine Evaluierung der monetären Vorteilhaftigkeit erfolgt, gilt es, zunächst einmal anhand des Simulationsmodells zu prüfen, mit welchen Einstellungen der Einflußparameter überhaupt die mengenmäßigen Vorgaben erzielt werden können. Da sich daran die wirtschaftliche Bewertung anschließt, ist es sinnvoll, schon im Simulationsmodell durch die Verwendung geeigneter Referenzbausteine die Basis für die Ermittlung der entscheidungsrelevanten Kostenfaktoren zu legen.

7.3 Systematische Durchführung der Simulationsexperimente

Alle untersuchten Varianten müssen zunächst an der Jahresausbringung gemessen werden. Deren Ermittlung erfolgt nach einer einwöchigen Einschwungphase und vier Wochen Simulationslaufzeit anhand der in einem Monat produzierten Kegelradsätze. Die mögliche Jahresausbringung ergibt sich dann aus der durchschnittlichen Wochenausbringung und der durchschnittlichen Anzahl an Arbeitswochen pro Jahr.

Was die Einlastung neuer Kegelradsätze in die Simulationsmodelle betrifft, so erfolgt diese - wie bereits im Referenzlauf - im Variantenverhältnis 1:8:1 und in einem Serienumfang von 240 Stück. Weiterhin wird dafür gesorgt, daß immer genügend passende Rohlinge vorhanden sind, um die Jahresausbringung nicht durch einen Rohteilemangel zu verfälschen. Außerdem ist die Integration der Referenzbausteine „Arbeitszeit“ und „Rüstoptimierung“ bereits vorab erfolgt, damit jedes Modell diesbezüglich nur noch parametriert werden muß und lediglich bei den Investitionsvarianten eine strukturelle Modelländerung erforderlich wird.

Auf dieser Basis kann nun sehr schnell untersucht werden, welche Auswirkungen aus neuen Arbeitszeitmodellen, umfangreicheren Losgrößen oder Investitionen in zusätzliche Maschinen resultieren.

7.3.1 Variation des Arbeitszeitmodells

Da die tatsächliche Ausbringung sehr weit von der Sollproduktion abwich, wurde zuerst der Einflußfaktor „Arbeitszeit“ untersucht. Mit dessen Variation läßt sich unmittelbar die Nutzungszeit der Maschinen beeinflussen, so daß herausgefunden werden kann, welche Ausbringungssteigerungen allein durch längeres Arbeiten möglich sind.

Für die Untersuchungen wurden dabei nach Absprache mit dem Unternehmen drei Modelle entwickelt. Das normale Modell geht von einer wöchentlichen Arbeitszeit von 110 Stunden aus, woraus nach Abzug der Pausen einer effektiven Nutzzeit von 103,5 Stunden resultiert. Die Arbeitszeit beginnt hier am Montag um 6.00 Uhr und endet am Freitag um 20.00 Uhr. Das erweiterte Arbeitszeitmodell wurde nach Absprache mit dem Unternehmen auf eine Nutzzeit von 126 Stunden festgelegt, wobei Sonntag von 22.00 Uhr bis Samstag um 12.00 Uhr gearbeitet wird. Das dritte Modell wurde schließlich aufgestellt, um die maximal mögliche Jahresausbringung zu ermitteln. Dieses Arbeitszeitmodell sieht vor, daß 24 Stunden am Tag an sieben Tagen pro Woche ohne Pausen gearbeitet wird. Es war rein theoretisch konzipiert und sollte den oberen Grenzwert der Kegelradsatzfertigung aufzeigen.

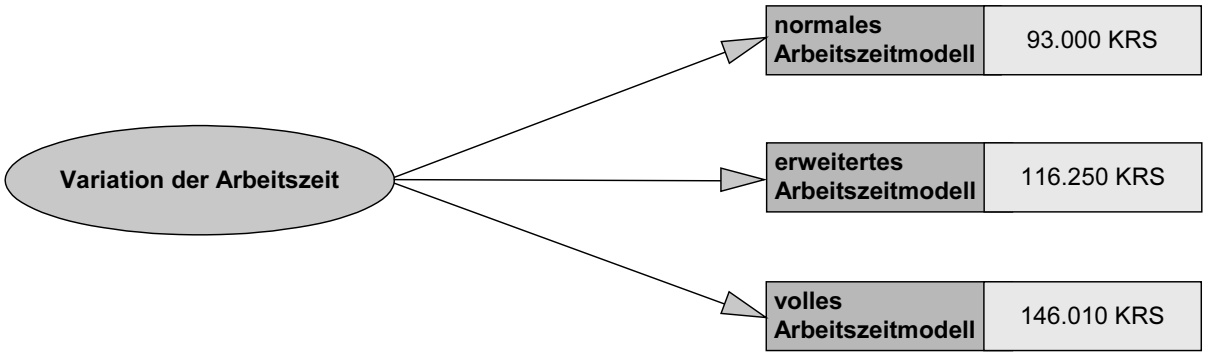


Bild 97: Untersuchte Arbeitszeitmodelle mit ihren mengenmäßigen Auswirkungen

Nachdem sich bei bestehender Fertigung unter Betrachtung der reinen Veränderung der Arbeitszeit durch die Simulation gezeigt hatte, daß es unter normalen Bedingungen lediglich möglich wäre, 93.000 Kegelradsätze zu produzieren, mußte ceteris paribus eine Erweiterung der Arbeitszeit erfolgen. Doch auch im Fall des erweiterten Arbeitszeitmodells wurde mit 116.250 Kegelradsätzen die Zielausbringung verfehlt. Diese konnte nur im theoretischen Modell mit einem Jahresausstoß von 146.010 Kegelradsätzen übertroffen werden.

Weiterhin haben alle drei Versuchsmodelle ergeben, daß sich vor der Ritzelstraße in der Hartbearbeitung umfangreiche Bestände aufbauen. Diese entstanden aufgrund des rüst- und zeitintensiven Schleifens der Ritzel und hatten außerdem zur Folge, daß sich der Synchronisationsbestand an Tellerrädern vor dem Paaren ebenso vergrößerte.

7.3.2 Variation der Losgrößen an Engpaßstationen

Aufgrund des Ergebnisses aus den Simulationsläufen mit unterschiedlichen Arbeitszeitmodellen, die alle zu einem Bestandsaufbau in der Hartbearbeitung geführt haben, lag es nahe zu untersuchen, ob der Bestandsdruck durch eine rüstoptimierte Einlastung in die Ritzelstraße so genutzt werden kann, daß schließlich die gewünschte Ausbringung erreicht wird. Dazu wurde ein Optimierungsbaustein entwickelt und vor der Ritzelstraße eingesetzt, der mit Hilfe eines Parameters bestimmt, wie viele gleiche Serien hintereinander eingeschleußt werden sollen.

Als Grundlage dieser Simulationsexperimente diente das Modell mit der erweiterten Arbeitszeit, da es die höchste Ausbringung pro Stunde aufwies und es zudem die hohen Bestände in der Hartbearbeitung erwarten ließen, die Ausstoßlücke schließen zu können. Da die meistproduzierte Variante auch am häufigsten in den Beständen vertreten war, wurde die Losgröße nur für diese Variante variiert. Ansonsten bestünde die Gefahr, daß bei den anderen Varianten ein Leerlauf in der Ritzelstraße droht, wenn erst auf ankommende Werkstücke gewartet werden müßte.

In wiederum drei Simulationsexperimenten wurden die rüstoptimierten Losgrößen 480, 720 und 1200 simuliert. Diese Parametereinstellungen geben die Anzahl an gleichen Ritzeln wieder, die hintereinander eingelastet werden, wobei 480 zwei gleichen Serien, 720 drei gleichen Serien und 1200 fünf gleichen Serien der häufigsten Variante 3,48 hintereinander entspricht.

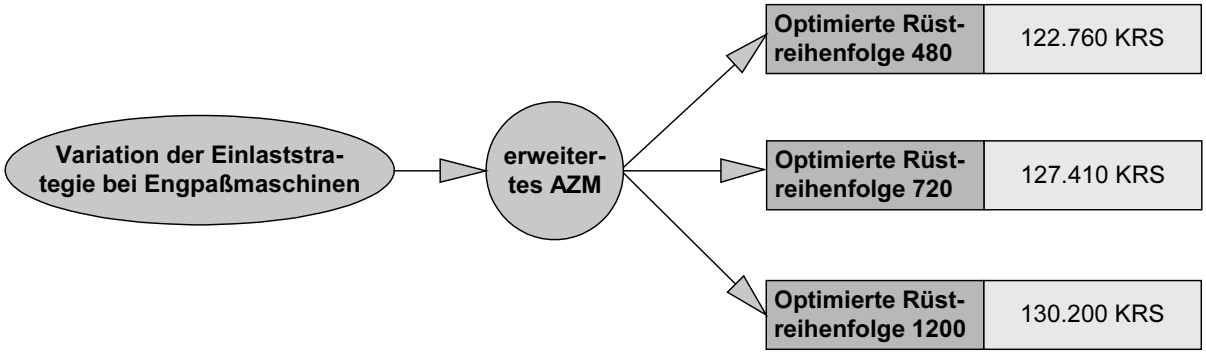


Bild 98: Ergebnisse der Losgrößenvariation vor der Ritzelhartbearbeitung

Während mit dem ersten Optimierungsschritt die Ausbringung noch um mehr als 5% gesteigert werden konnte, reduzierten sich die Wachstumsraten bei den weiteren Losgrößenvariationen. So ergab sich erst bei der Einlastung von fünf Serien hintereinander ein Wert, der die geforderte Mindestausbringung übertraf. Da trotz längerer Durchlaufzeiten für die anderen Varianten immer noch die gewünschte Lieferfähigkeit erfüllt werden konnte, repräsentierte dieses Experiment die erste gültige Lösung. Weil eine erneute Erhöhung der Losgröße die Lieferfähigkeit gefährden würde, liegt sie jedoch sehr nahe an der Grenze des Lösungsraums.

7.3.3 Erweiterung des Maschinenparks

Aufgrund dieser Ergebnisse waren weitere Überlegungen zur Gestaltung der Fertigung notwendig, die einerseits das Erreichen der Zielausbringung gewährleisten und andererseits eine Ausbringungssteigerung ermöglichen, wenn der Kunde in Zukunft mehr Kegelradsätze nachfragen sollte oder - zum Beispiel in Folge einer längeren Unterbrechung - Produktionsrückstände aufzuholen sind. Jedoch können diese Zielvorstellungen nur durch eine Erweiterung des Maschinenparks realisiert werden.

Da sich aus den Simulationsexperimenten mit einer Variation der Losgröße wiederum die Ritzelstraße der Hartbearbeitung als Engpaß herausgestellt hat, lag hier der sinnvollste Ansatzpunkt für eine Erweiterung der Maschinenkapazität. Wegen der im Vergleich zum Drehen und Entgraten längsten Bearbeitungszeit sollte zunächst eine zweite Ritzelschleifmaschine eingesetzt werden. Für die Simulationsexperimente wurde deshalb eine zweite Schleifmaschine in die Ritzelhartbearbeitung des Basismodells integriert und außerdem die starre Verkettung zwischen den Prozeßschritten „Entgraten“ und „Schleifen“ aufgehoben. Danach erfolgte - wie bei dem ursprünglichen Basismodell - ceteris paribus eine Variation des Arbeitszeitmodells bei einer konstanten Losgröße von 240 Stück.

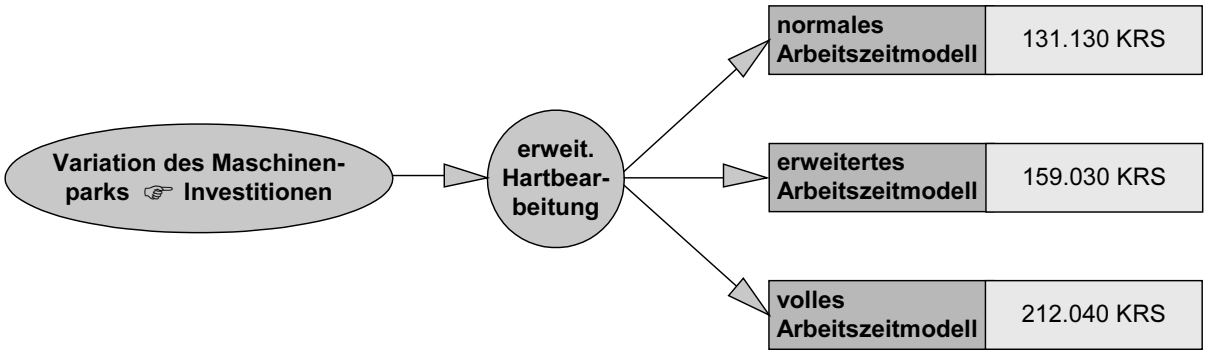


Bild 99: Ausbringungssteigerung durch eine zusätzliche Ritzelschleifmaschine

Schon bei dem Simulationslauf mit dem normalen Arbeitszeitmodell wird die Zielvorgabe übertroffen. Das erweiterte Arbeitszeitmodell führte sogar zu einer Jahresausbringung von 159.030 Kegelradsätzen. Theoretisch wäre mit diesem Maschinenpark auch eine Produktion von bis zu 212.040 Kegelradsätzen möglich.

Damit stehen insgesamt mehrere Lösungsalternativen zur Verfügung. Zudem könnte der Lösungsraum zusätzlich noch durch eine Losgrößenvariation erweitert werden, so daß sukzessive ein Expansionspfad beschreitbar ist. Jedoch gilt es auch zu berücksichtigen, daß eine Überproduktion nicht anderweitig verkauft werden kann und folglich - zumindest auf Dauer - nicht erstrebenswert ist. So gesehen stellt der Expansionspfad genau dann eine wichtige Hintergrundinformation für das Management dar, wenn der Kunde - wie einführend bereits erwähnt - plant, seine Abnahmemenge dauerhaft zu erhöhen.

7.4 Analyse der Wirtschaftlichkeit möglicher Lösungsstrategien

Um die technisch und betriebswirtschaftlich beste Lösung zu finden, müssen alle in Frage kommenden Alternativen im Hinblick auf ihre Kostenwirkungen untersucht werden. Dazu ist es notwendig, die relevanten Kostengrößen im einzelnen zu definieren und eine Ergebnisgröße festzulegen, anhand derer schließlich die Bewertung erfolgt. Da das KRS-Segment extra für die Produktion der Kegelradsätze des Geländewagens geschaffen wurde, bietet es sich an, alle anfallenden relevanten Kosten zielgerichtet auf alle produzierten Kegelradsätze umzulegen und folglich die Stückkosten für den Vergleich der Vorteilhaftigkeit einer Alternative zu verwenden.

Mit diesem Vorgehen bleibt für weitergehende Analysen auch die Möglichkeit offen, die Überproduktion der produzierten Menge stückkostenmindernd zuzuschlagen oder stückkostenerhöhend - z. B. wegen der mangelnden Absatzmöglichkeit - als unnötige Ressourceninanspruchnahme zu betrachten. Bevor dazu jedoch quantitative Aussagen gemacht werden können, ist es zunächst erforderlich, die Kalkulation der Stückkosten detailliert darzustellen.

7.4.1 Darstellung der Stückkostenkalkulation und ihrer Bestandteile

Die konkrete Berechnung der Stückkosten lehnt sich an das in KostSim implementierte Prinzip der relativen Einzelkosten an, das eine möglichst verursachungsnahe Erfassung und Verrechnung aller Kosten verlangt. Deshalb werden im folgenden alle relevanten Kostenarten mit zugehörigen Zurechnungsebene betrachtet.

- **Materialeinzelkosten**

Für jeden Rohling ist mit den beiden Zulieferern ein fester Preis vereinbart. Dieser kann direkt dem einzelnen Werkstück zugerechnet werden und weist damit Einzelkostencharakter auf. Folglich sind jedem Rohling bei dem Eintritt in das betrachtete Produktionssystem rechentechnisch entsprechende Materialeinzelkosten zuzuweisen und während seiner Existenz im Simulationsmodell zu berücksichtigen.

- **Materialgemeinkosten**

Neben den Materialeinzelkosten fallen im Zusammenhang mit der Rohlingbereitstellung noch Kosten für die Wareneingangskontrolle an. Obwohl sie dem Charakter nach fix sind, sollen sie vereinbarungsgemäß nach dem Kalkulationsschema des Unternehmens verrechnet werden und betragsmäßig acht Prozent der Materialeinzelkosten umfassen. Damit sind sie analog der traditionellen Zuschlagskalkulation direkt an die Materialeinzelkosten gekoppelt und stehen unabhängig von der Ausbringungsmenge von vornherein fest. Dennoch müssen sie berücksichtigt werden, um beispielsweise den Wert von Beständen oder die Kapitalbindung richtig zu beurteilen.

Interessanter als die sich statisch verhaltenden Materialkosten sind diejenigen Kostengrößen, die innerhalb der Simulation variieren. Dazu gehören alle ab dem Bereitstellungsbereich bis hin zu Versandzone anfallenden Kosten, die in ihrer Gesamtheit nach dem Wirtschaftslexikon von Gabler [GAB97] im weiteren Sinn als Fertigungskosten bezeichnet werden. Wegen der - auch im Hinblick auf die Variation des Arbeitszeitmodells - besonderen Bedeutung der Personalkosten sollen diese separat betrachtet werden, was KostSim bereits durch seine Datenstruktur unterstützt. Damit sind im folgenden Fertigungs- und Personalkosten zu unterscheiden.

❑ Fertigungskosten

Zu den Fertigungskosten zählen zunächst die Bearbeitungskosten an den einzelnen Maschinen. Diese ergeben sich jeweils aus der Multiplikation des Maschinenstundensatzes mit der Belegungszeit. Da sie direkt in die Kostenträgerrechnung des betrachteten Unternehmens eingehen, werden sie dem traditionellen Kostenrechnungsverständnis folgend als Einzelkosten betrachtet.

Nach der Bearbeitung befinden sich die Werkstücke in Puffern beziehungsweise auf Transportwägen. Dabei binden sie Kapital und belegen Flächen. Um die Kapitalbindungskosten berechnen zu können, werden alle Kosten aufsummiert, die bis zum jeweiligen Liegezeitpunkt angefallen sind. Anschließend erfolgt die Multiplikation mit dem auf die Liegedauer umgerechneten kalkulatorischen Zinssatz. Bei der Kalkulation der Flächenbelegungskosten wird die vom Transportwagen belegte Fläche mit dem Raumkostensatz der entsprechenden Lagerressource und mit dem auf die Aufenthaltsdauer bezogenen kalkulatorischen Mietzins bewertet. Danach erfolgt die anteilsmäßige Zurechnung der Flächenbelegungskosten zu jedem auf dem Transportwagen befindlichen Werkstück. Gemäß dem bisher verfolgten Prinzip der direkten Zurechenbarkeit zu einem Kostenträger sind sowohl die Flächenbelegungs- als auch die Kapitalbindungskosten als Einzelkosten anzusehen.

Fertigungsablauf	Kostenart	Berechnungsvorschrift
Kosten während einer Fertigungsoperation	Bearbeitungskosten	Maschinenstundensatz [DM/h] * Belegungszeit [h]
Kosten während des Übergangs zur nächsten Fertigungsoperation	Kapitalbindungskosten	ΣEinzelstückkosten * Liegezeit [a] * kalk. Zinssatz [%/a]
	Flächenbelegungskosten	$\frac{\text{Fläche_Transportmittel [m}^2\text{]} * \text{Raumkosten [DM/m}^2\text{a] * Liegezeit [a]}}{\text{Teile_pro_Transportmittel [Stk]}}$

Bild 100: Kalkulationsbestandteile der Fertigungseinzelkosten

Die Fertigungsgemeinkosten resultieren aus den nicht als Einzelkosten verrechneten Maschinenzeiten sowie aus den Quadratmetern unbelegter, aber dennoch mit einem kalkulatorischen Mietzins belasteter Lagerfläche. Sie stellen damit eine Restgröße dar, die Kosten für Rüst-, Instandhaltungs- und Wartezeiten aufnimmt und somit dafür sorgt, daß alle Kosten verrechnet werden können.

- **Personalkosten**

Mit der Entscheidung für eine Lösungsvariante steht auch der Personalbedarf fest. So sind beispielsweise im erweiterten Arbeitszeitmodell über die gesamte Wochenarbeitszeit von 126 Stunden elf Mitarbeiter notwendig. Wird dieser Personenstundenbedarf mit dem Personalstundensatz multipliziert, ergeben sich die gesamten Personalkosten, die bei vereinbartem Zeitlohn unabhängig von der erzielten Ausbringung anfallen. Um aber die Personaleffizienz bewerten zu können wird analog der Bestimmung der maschinellen Bearbeitungskosten verfahren, was zur Folge hat, daß die von den Mitarbeitern direkt an den Werkstücken erbrachten Tätigkeiten als Einzelkosten ausgewiesen werden. Im Umkehrschluß stellen dann die Zeiten, in denen das Personal nicht an den Werkstücken gearbeitet hat, Gemeinkosten dar.

7.4.2 Wirtschaftliche Evaluierung der Gestaltungsvarianten

Nachdem nun der Maßstab für die kostenmäßige Bewertung einer Maßnahme festgelegt ist, kann er in KostSim hinterlegt und zur wirtschaftlichen Evaluierung der Gestaltungsvarianten verwendet werden. Dabei steht es dem Anwender frei, ob er erst simuliert und dann die zu einer Maßnahme gehörenden Kostendaten hinterlegt oder ob er erst das Kostengerüst definiert und anschließend durch den Simulationslauf mit Inhalt füllt. Da KostSim jedoch die automatisierte Übernahme des für die Kostenberechnung benötigten Zeit-Mengen-Gerüstetes aus der Simulation unterstützt, bietet der erste Ansatz mehr Vorteile und wird deshalb im folgenden dargestellt.

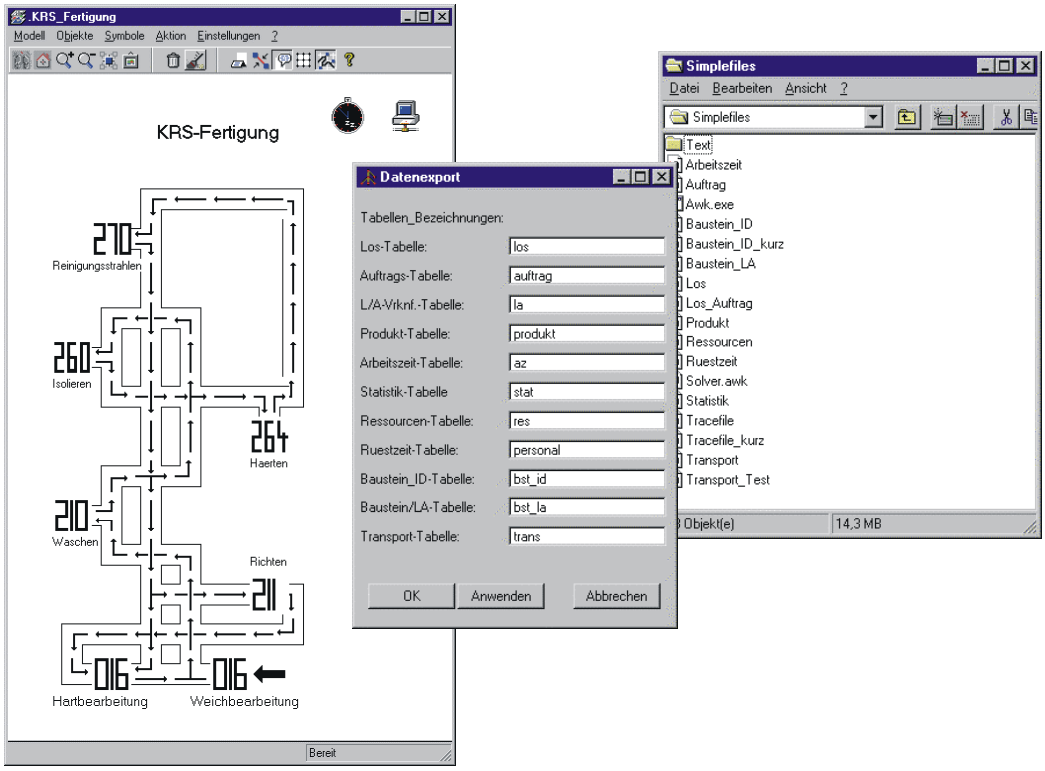


Bild 101: Export der Simulationsdaten unter Verwendung des Export-Editors

❑ Übertragung technisch-logistischer Daten aus der Simulation

Um die Daten aus der Simulation übertragen zu können, muß zunächst der Export-Editor entsprechend Kapitel 6.1 parametriert und anschließend in der Datenmanagementkomponente von KostSim die Datenimportroutine aufgerufen werden. Wie in Abschnitt 6.3.1 beschrieben, erfolgt schon während des Datenimports die automatische Übernahme der Datenstrukturen, die - wie beispielsweise die Abfolge der einzelnen Fertigungsschritte - bereits durch die Simulation festgelegt sind, aus dem Tracefile.

Andere Datenstrukturen, die nicht unmittelbar aus dem Simulationsmodell hervorgehen, sind automatisiert ableitbar. So lehnt sich der Kostenstelleneditor an die Aufbaustruktur des Simulationsmodells an und vermutet in der ersten Modellebene das betrachtete Produktionssystem und in der zweiten Ebene die vorhandenen Kostenstellen. Bestätigt der Benutzer diese Vermutung, werden die Kostenstellen mit der Zuordnung der darin befindlichen Ressourcen automatisch angelegt. Selbstverständlich steht es dem Anwender frei, die vorgeschlagenen Datensätze - und damit zum Beispiel Kostenstellennamen - zu verändern.

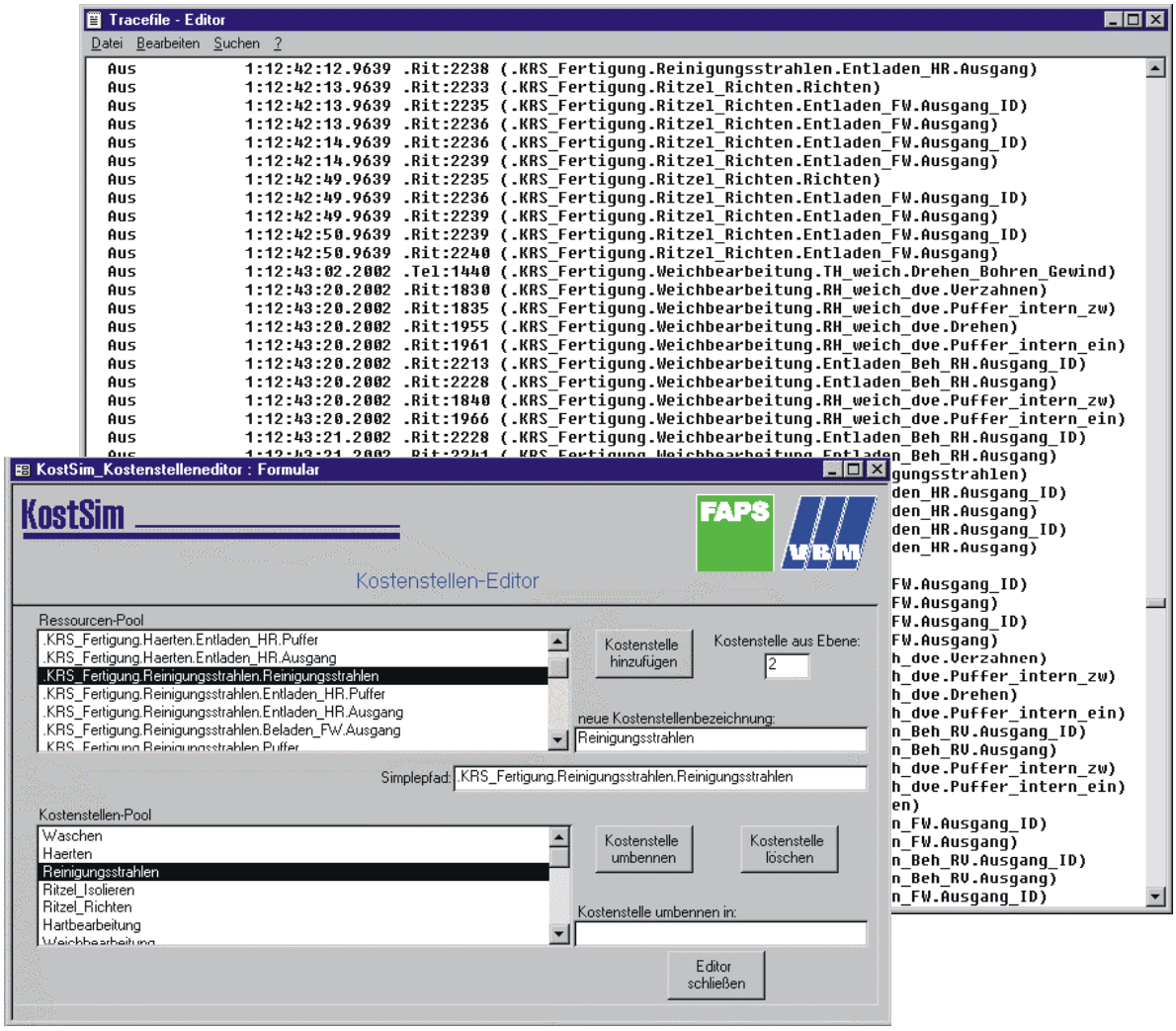


Bild 102: Automatisierte Ableitung von Kostenstellen aus dem Tracefile

❑ Hinterlegen des Kostenmodells

Hat der Benutzer die Datenübernahme abgeschlossen, kann er mit der Hinterlegung der in Abschnitt 7.4.1 definierten Kostengrößen

- Materialeinzelkosten
- Materialgemeinkosten
- Bearbeitungskosten
- Kapitalbindungskosten
- Flächenbelegungskosten
- Personalkosten

beginnen.

Die Eingabe der Materialeinzelkosten ist in zwei Schritten möglich. Dazu müssen als erstes die Preise für die Rohlinge in das Formular „Materialstammdaten“ übernommen werden. Anschließend können die angelegten Materialstammdaten zu einzelnen Aktivitäten zugeordnet werden. Zum Beispiel bedeutet der Eintrag in der ersten Zeile, daß der Zeitbezug deaktiviert und damit Mengenbezug eingestellt ist. Diese Einstellung veranlaßt KostSim, bei jeder Durchführung der an der Eingangsgrenze des betrachteten Systems angesiedelten Aktivität Rit_271_VA_Anliefern Materialkosten für eine Verbrauchseinheit zu verrechnen.

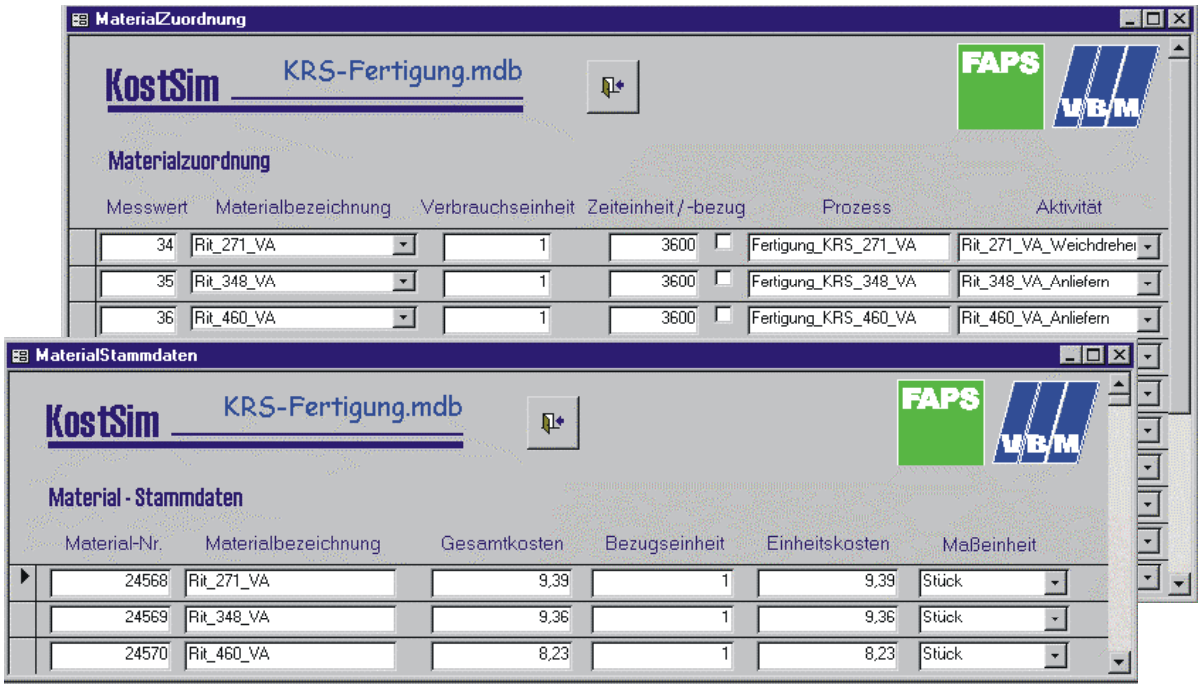
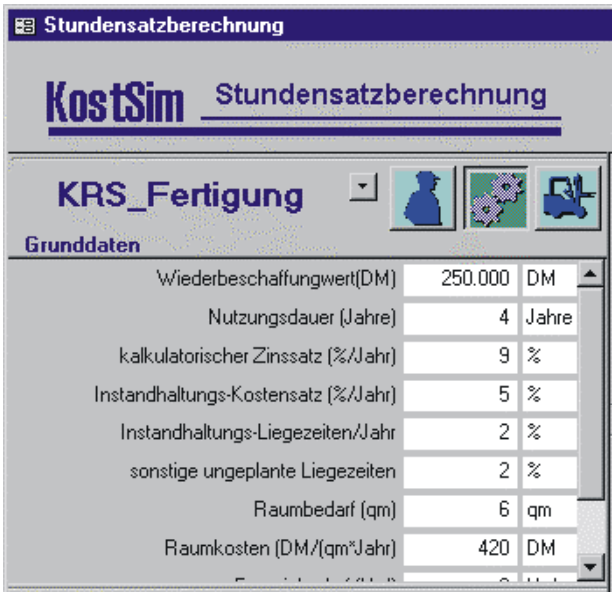


Bild 103: Hinterlegen der Materialeinzelkosten in KostSim

Die Festlegung des Zuschlagsatzes für die Materialgemeinkosten erfolgt direkt im Kalkulationsschema. Dazu gibt der Benutzer im Modul „Kostenanalyse“ im Feld „Materialgemeinkosten“ einfach einen Zuschlagsatz von 8,0 Prozent ein. KostSim verwendet diesen Zuschlagssatz dann auf allen Prozeßebenen.

Der zur Berechnung der Bearbeitungskosten notwendige Maschinenstundensatz kann entweder mit Hilfe der detaillierten Maske im Modul „Kostenanalyse“ kalkuliert oder als einzelner Wert im Ressourceneditor des Datenmanagement-Moduls hinterlegt werden. Zu beachten ist, daß im ersten Fall eine Kostenspaltung in fixe und variable Kosten sowie pagatorische und kalkulatorische Kosten erfolgen kann, wohingegen im zweiten Fall nur ein einziger Wert benötigt wird. Somit bietet KostSim auch bei der Kalkulation mit Maschinenstundensätzen die Möglichkeit einer schrittweisen Verfeinerung, indem zunächst lediglich mit einem geschätzten Wert gerechnet wird und sich später bei kritischen Ressourcen eine detaillierte Kalkulation anschließt, deren Maschinenstundensatz selbstverständlich den früheren Wert überschreibt.

Detaillierte Berechnung



Direkte Eingabe

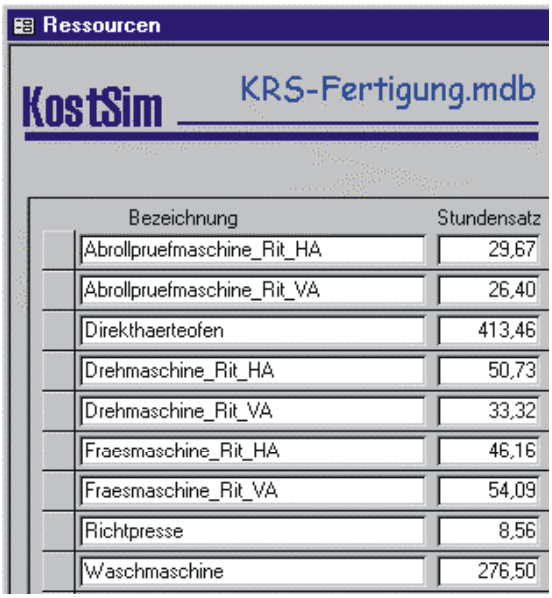


Bild 104: Möglichkeiten zur Berechnung oder Eingabe von Stundensätzen

Für die Bestimmung der Kapitalbindungskosten wird als externe Eingabegröße lediglich der kalkulatorische Zinssatz benötigt. Dazu befindet sich im Kalkulationsschema für die Logistikressourcen ebenso wie bei der Berechnung des Maschinenstundensatzes das Eingabefeld „kalkulatorischer Zinssatz“. Sobald hier ein Wert ungleich Null hinterlegt ist, kann KostSim die Kapitalbindungskosten ausweisen.

Auch alle betriebswirtschaftlich notwendigen Daten zur Ermittlung der Flächenbelegungskosten finden sich mit den Eingabefeldern „Raumbedarf“ und „Raumkosten“ in der Maske für die Stundensatzkalkulation. Die Liegezeiten für die in Anspruch genommenen Transportmittel kommen entweder direkt aus dem Tracefile oder sind zusammen mit der Anzahl der vom Transportmittel transportierten Teile in der von den Referenzbausteinen „Beladen“ und „Entladen“ angelegten Transporttabelle enthalten.

Differenzierter sind die Personalkosten zu betrachten. Entsprechend ihrer Abbildung im Simulationsmodell muß zwischen den Mitarbeitern, die einer Maschine fest zugeordnet sind, und den freien Mitarbeitern, die ihre Tätigkeit an mehreren Stationen verrichten, unterschieden werden. Bei den einer Maschine fest zugeordneten Mitarbeitern ist vereinbarungsgemäß davon auszugehen, daß sie immer dann arbeiten, wenn auch ihre Maschine arbeitet, wohingegen sich die Tätigkeitszeiten der freien Mitarbeiter aus den Aufzeichnungen des entsprechenden Referenzbausteins ergeben.

Im Fall der festen Zuordnung stellen die Mitarbeiter eine externe Komponente dar, die zwar nicht im Simulationsmodell vorhanden, aber dennoch in die Kostenrechnung zu internalisieren ist. Dazu kann im Ressourceneditor der Datenmanagement-komponente für jeden betroffenen Mitarbeiter eine Ressource vom Typ „Personal“ angelegt werden, die eine Personalnummer, den Stundensatz und eine aus Daten-schutzgründen personenneutrale Bezeichnung enthält. Die Verbindung der ange-legten Personalressource zur zugeordneten Maschine erfolgt über den Editor „Per-sonalzuordnung“. Analog zum Materialzuordnungseditor ist es möglich, eine rechentechnische Kopplung zu einer Aktivität herzustellen. Über den Zeitbezug kann KostSim dann veranlaßt werden, die Ausführungsdauer einer bestimmten Maschinenaktivität zusätzlich mit Personalkosten zu bewerten.

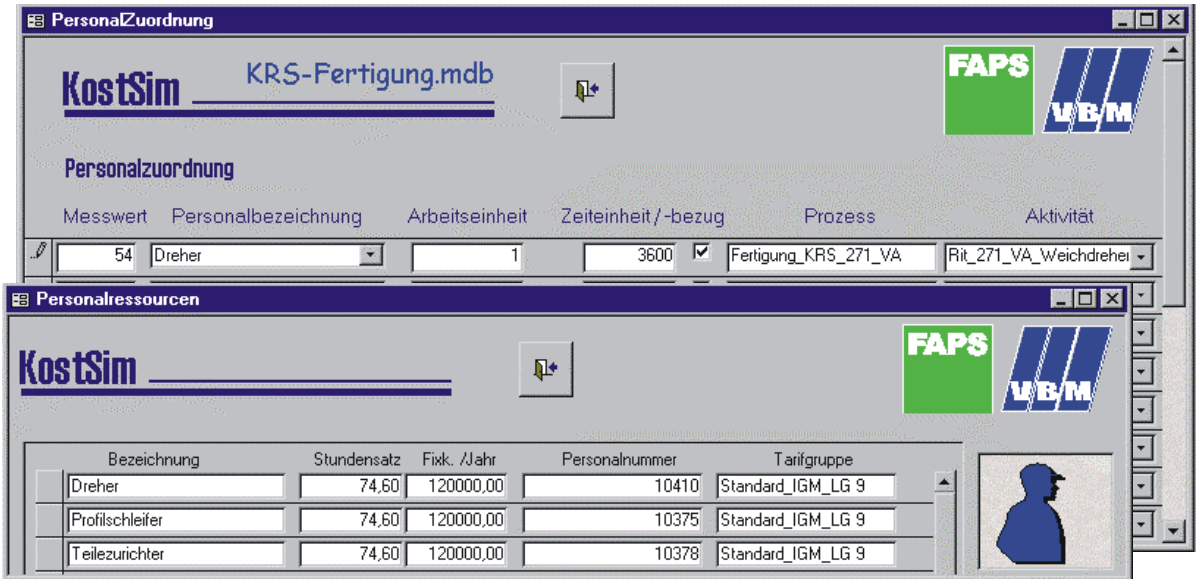


Bild 105: Vorgehen zur Internalisierung modellexterner Personalressourcen

Da die freien Mitarbeiter als Referenzbaustein im Simulationsmodell vorhanden sind und während der Simulation eine Protokollierung ihrer Tätigkeiten erfolgt, werden sie beim Datenimport als Personalressource erkannt und automatisch angelegt. Analog zum Vorgehen bei der Maschinenstundensatzkalkulation kann für diese Mitarbeiter ein Stundensatz im Ressourceneditor der Datenmanagement-komponente hinterlegt oder über die Maske des Moduls „Kostenanalyse“ berechnet werden.

❑ Definition und Bewertung der Gestaltungsalternativen

Mit den Experimentplanungsfunktionalitäten des Moduls „Investanalyse“ können die zu bewertenden Gestaltungsalternativen komfortabel angelegt und verwaltet werden. Das Simulationsmodell, das die Basis für mehrere Experimente bildet, ist dabei auf der ersten Ebene anzusiedeln. Eine Ebene darunter folgen die Gestaltungsalternativen, die sich auf dieses Modell beziehen. Sie werden wiederum durch Maßnahmenkombinationen, die aus einer oder mehreren Maßnahmen bestehen können, beschrieben. Fallen bei der Realisierung einzelner Maßnahmen, wie beispielsweise durch den Erwerb einer weiteren Schleifmaschine, Einmalkosten an, sind diese im Maßnahmeneditor zu hinterlegen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, einen ideellen Mehrwert - zum Beispiel für die Durchführung einer Umweltschutzmaßnahme - anzugeben.

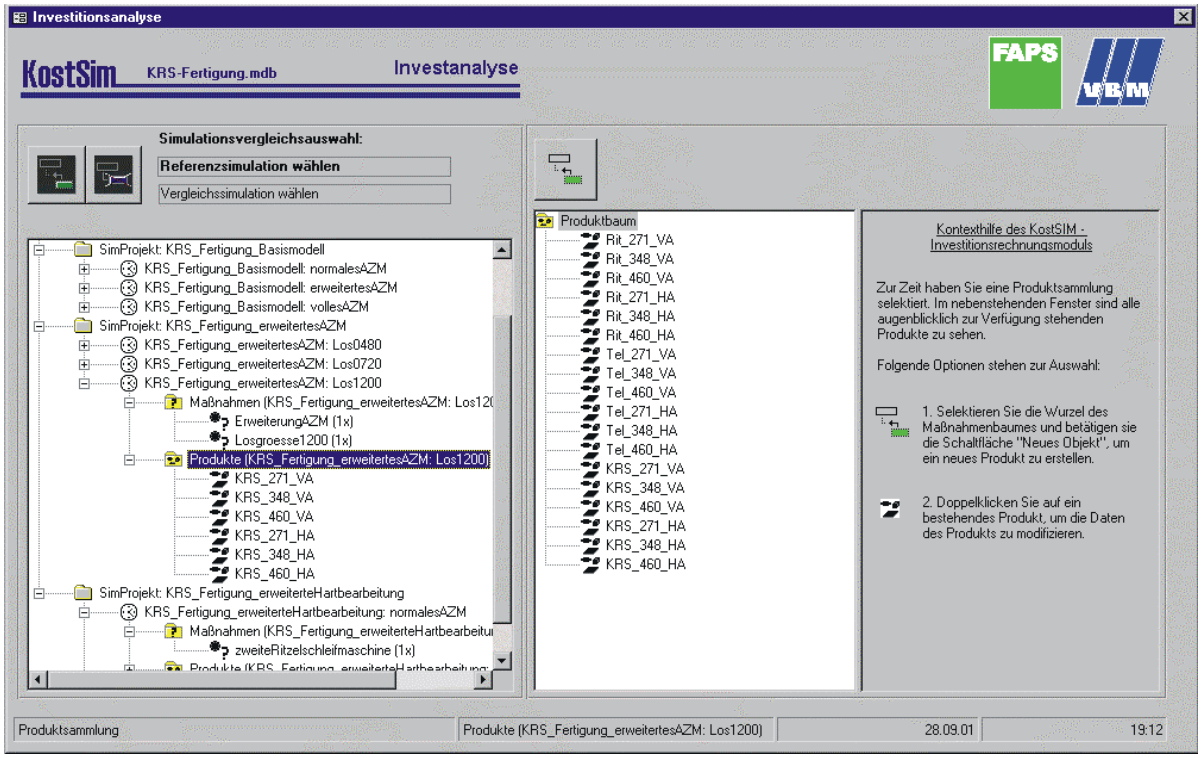


Bild 106: Anlegen und Verwalten der Simulationsexperimente

Die in Folge einer Investition entstandenen (Netto-)Einmalzahlungen müssen dem Nettoerlös gegenübergestellt werden. Deshalb sind auf der gleichen Ebene wie die Maßnahmen die Produkte aufgeführt, die zu Erlösen führen. In diesem Fall gehören dazu nur die Kegelradsätze, da nur sie Vertragsgegenstand sind. Die pagatorischen Kosten, die bei deren Herstellung anfielen, werden von KostSim automatisch mit Hilfe der Gesamtkostenberechnung des Moduls „Kostenanalyse“ ermittelt, sobald die Ergebnisse des zugehörigen Simulationslaufes vorliegen. Dazu ist es lediglich notwendig, im Experimentbaum eine Gestaltungsalternative zu selektieren und die Daten des entsprechenden Simulationslaufes zu importieren. Ist eine Variante mit Simulationsergebnissen hinterlegt, enthält der Experimentbaum die Ausbringung für die während der Simulationsmeßzeit hervorgebrachten Produkte.

Die Berechnung der ex definitione auf die Herstellkosten begrenzten Gesamtkosten kann im Modul „Kostenanalyse“ nachvollzogen beziehungsweise im Hinblick auf das hinterlegte Kostenmodell validiert werden. Ihre Zusammensetzung ist für jede Kegelradsatzvariante aus dem aggregierten Kalkulationsformular zu entnehmen und am Beispiel von KRS_271_VA im Basismodell dargestellt.

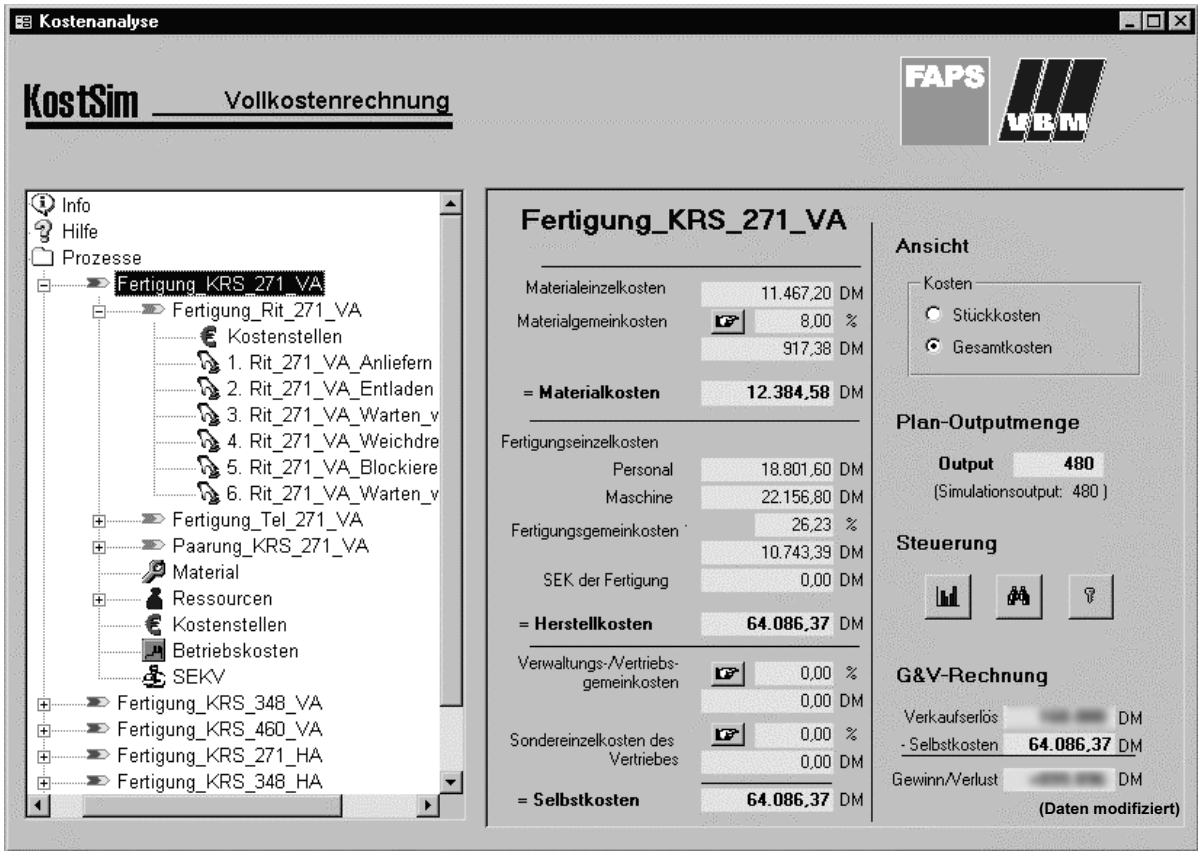


Bild 107: Zusammensetzung der Gesamtkosten von KRS_271_VA im Basismodell

Die Materialeinzelkosten von KRS_271_VA ergeben sich dabei aus der Multiplikation der Ausbringung mit der Summe der Materialeinzelkosten für die Ritzel- und Tellerradrohlinge der entsprechenden Variante. Die Materialgemeinkosten sind - was das Zeigefingersymbol signalisiert - vorgegeben und betragen ex definitione acht Prozent der Materialeinzelkosten.

Die als Fertigungseinzelkosten verrechneten Personalkosten resultieren aus der in Abschnitt 7.4.1 dargestellten Berechnungsfunktion, wohingegen die als Fertigungseinzelkosten verrechneten Maschinen- und Logistikkosten die Bearbeitungs-, Kapitalbindungs- und Flächenbelegungskosten umfassen. Letztere betragen lediglich 164,23 DM bzw. 61,99 DM. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß sich diese Angaben auf vier Wochen Simulationsdatenerfassung sowie einem Produktionsanteil von zehn Prozent beziehen und auf Jahressicht entsprechend erhöhen. Als Restgröße werden schließlich die Fertigungsgemeinkosten ausgewiesen, die sich aus den umgelegten Kosten der Aktivitäten ergeben, die nicht eindeutig einer Kegelradsatzvariante zurechenbar sind. In der traditionellen Vollkostenrechnung wären sie gleichbedeutend mit einem Zuschlagsatz von 26,23%.

Kostengrößen, die wie die Kapitalbindungskosten auf der höchsten Kalkulationsebene nicht einzeln ausgewiesen wurden, können entweder im Modul „Kostenanalyse“ bis hinunter auf Aktivitätenebene rückverfolgt oder mit Hilfe des Moduls „Ablaufanalyse“ detailliert betrachtet werden. So lassen sich Kapitalbindung und Flächenbelegung komfortabel über die Auswertefunktionalität „Bestände“ analysieren. Selektiert der Anwender im Punkt „Durchlaufdiagramm“ nach dem Prozeß „KRS_271_VA“ und wählt anschließend „Bestand in [DM]“, erhält er den in Geldeinheiten bewerteten Zugangs-, Abgangs- und Bestandsverlauf.

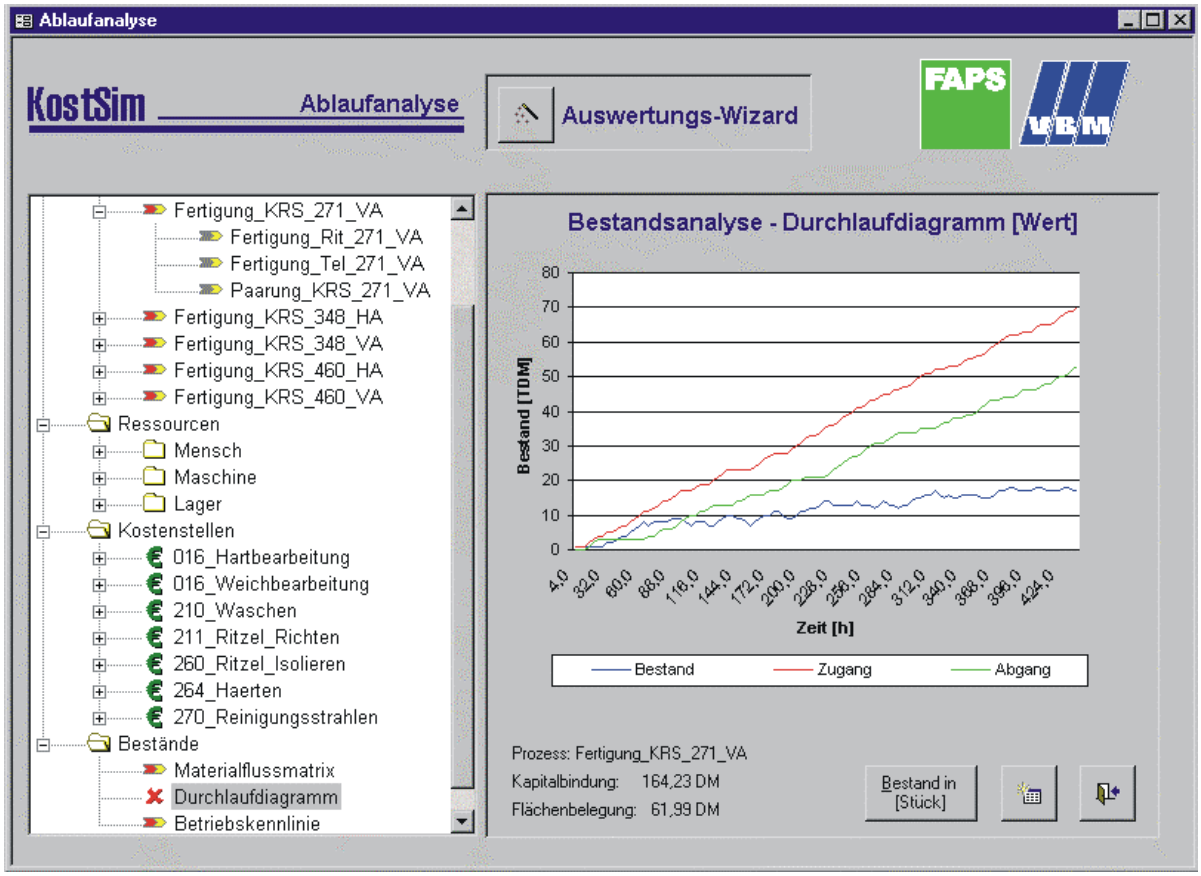


Bild 108: In Geldeinheiten bewertete Bestandsentwicklung von KRS_271_VA innerhalb der KRS-Fertigung

Aus den diesen Verläufen zugrundeliegenden Daten ermitteln SQL-Abfragen weiterhin, über welche Zeitdauer welche einzelnen Bestandteile der Kegelradsätze vom Typ KRS_271_VA in welchen Ressourcen wieviel Kapital gebunden und kalkulatorische Flächenmiete verursacht haben. Diese Werte sind unterhalb des Diagramms dargestellt und können durch das Setzen zusätzlicher Parameter in Richtung Unterprozeß, Kostenstelle oder Ressource, die in der SQL-Abfrage als zusätzliche Filter wirken, verfeinert werden.

Insgesamt ist es dem Benutzer mit dieser Funktionalität möglich, die Berechnung der Kapitalbindungs- und Flächenbelegungskosten pro Kegelradsatzvariante Schritt für Schritt zu rekonstruieren. Gleiches gilt im übrigen für den im Hinblick auf die Rückflußabschätzung wichtigen Ausbringungsverlauf.

Wurde jede in die Untersuchung einbezogene Gestaltungsvariante mit den zugehörigen Simulationsdaten hinterlegt, können die einzelnen Alternativen gemäß der Zielsetzung, die Stückkosten bei Sicherstellung einer Jahresproduktionsmenge von 130.000 Kegelradsätzen zu minimieren, miteinander verglichen werden. Dazu sind die aus KostSim extrahierten Daten für die Stückkostenzusammensetzung der Variante KRS_348_HA nach der Experimentfolge geordnet in Bild 109 dargestellt.

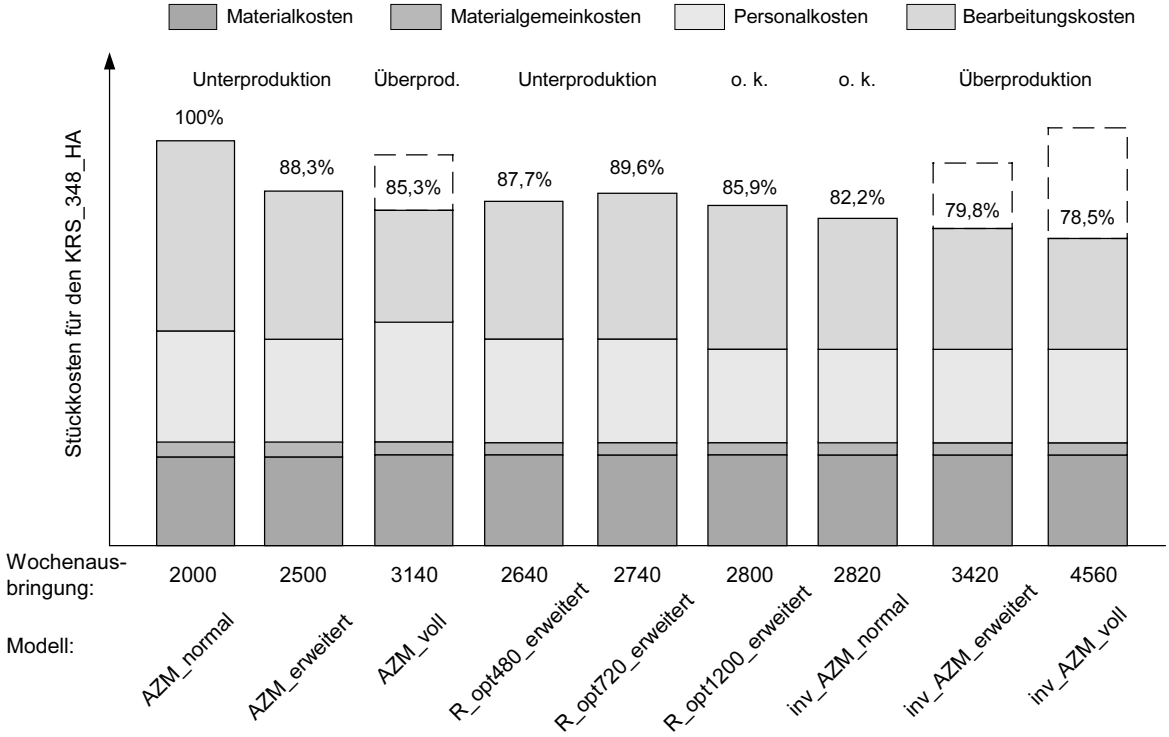


Bild 109: Stückkostenverteilung eines Kegelradsatzes in den betrachteten Gestaltungsalternativen

Die Stückkosten, die sich unter der Prämisse der Verwertbarkeit jedes erzeugten Kegelradsatzes aus der Division der Gesamtkosten durch die Produktionsmenge ergeben, fallen mit zunehmender Ausbringung tendenziell geringer aus. Höhere absolute Kosten werden also grundsätzlich durch eine höhere Produktionsmenge relativiert. Eine gravierende Ausnahme zeigt jedoch der Vergleich des normalen Arbeitszeitmodells bei einer Investition in die Hartbearbeitung (inv_AZM_normal) mit der theoretischen Dauerarbeit ohne Investition (AZM_voll). Obwohl im zweiten Fall eine deutlich höhere Ausbringung erreicht werden kann, ist die zusätzliche Personalkapazität nicht genügend ausgelastet, um eine Verringerung der Stückkosten zu bewirken. Dabei ist die Tatsache, daß im zweiten Fall im Gegensatz zum ersten Modell die Ausbringung deutlich von dem Produktionsziel abweicht, noch gar nicht berücksichtigt.

Vor dem Hintergrund, daß sowohl Unter- als auch Überproduktion vermieden werden sollen, bietet sich neben der Investitionsmöglichkeit noch eine Rüstoptimierung bei erweitertem Arbeitszeitmodell (R_opt1200_erweitert) an. Mit Hilfe des Moduls „Investanalyse“ werden deshalb diese beiden Alternativen miteinander verglichen.

Als Ausgangspunkt für den Vergleich sind zunächst die Simulationsergebnisse des Modells „Losgröße 1200 bei erweitertem Arbeitszeitmodell“ (R_opt1200_erweitert) als Referenzsimulation und die des Modells „zweite Ritzelschleifmaschine“ (inv_AZM_normal) als Vergleichssimulation zu wählen. Aus den hinterlegten Investitionsauszahlungen sowie den auf eine Woche bezogenen Nettorückflüssen der produzierten Kegelradsätze berechnet KostSim schließlich die über die Zeit kumulierten Zahlungsströme.

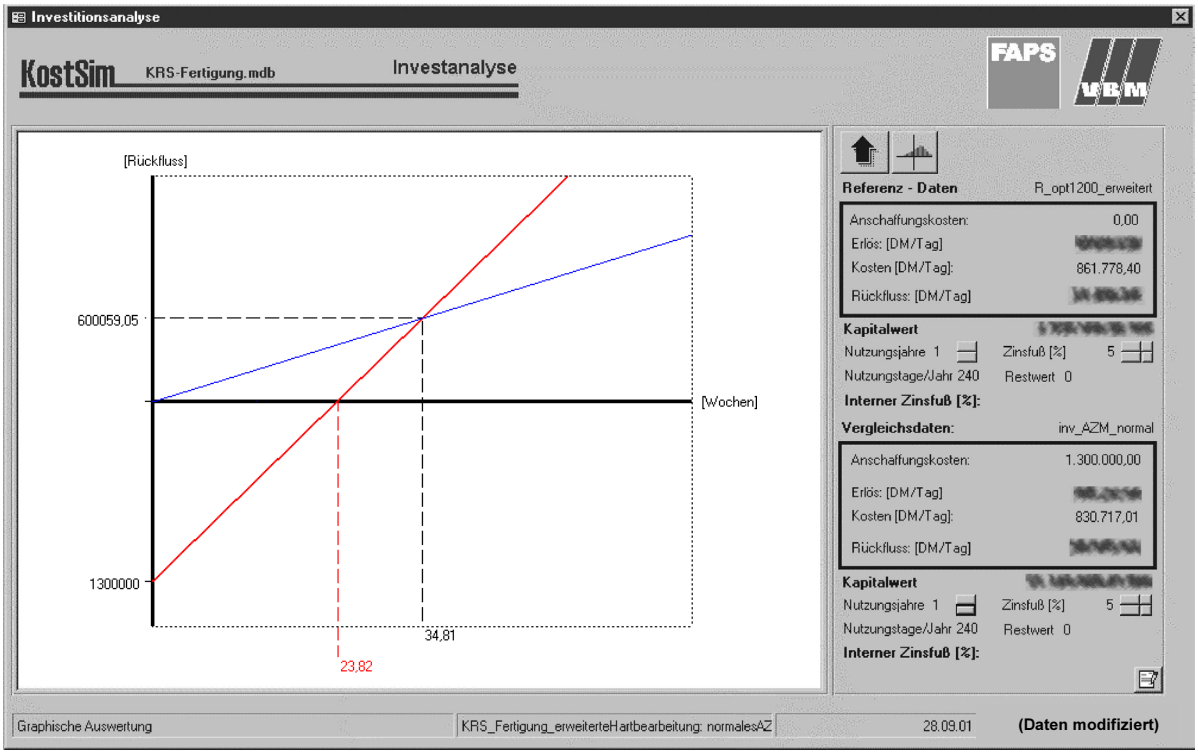


Bild 110: Betrachtung der Investition in die Hartbearbeitung im Vergleich zur Losgröße 1200 im erweiterten Arbeitszeitmodell

Wie Bild 110 zeigt, amortisiert sich die Investition in eine zweite Ritzelschleifmaschine bei einem hypothetischen Gewinnzuschlagssatz von 2% bereits nach 23,82 Wochen. Da in diesem Zeitraum bei Unterlassen der Investition trotzdem Kegelradsätze produziert werden, sind deren Erlöse ebenfalls zu berücksichtigen und bewirken, daß die Investition erst elf Wochen nach ihrer Amortisation vorteilhafter als die Vergleichsalternative ist. Nachdem die Vertragslaufzeit diesen kritischen Punkt überdauert, empfiehlt sich folglich die Durchführung der Investition.

Diese Empfehlung ist im übrigen sehr stabil in Bezug auf den angenommenen Gewinnzuschlag beziehungsweise die zugrundegelegte Erlössituation. Selbst bei einer Variation von eins bis zehn Prozent verändert sich der Zeitpunkt der Vorteilhaftigkeit kaum. Anders verhält sich die Amortisationsperiode, die sich mit steigendem Gewinnzuschlag deutlich verkürzt. Die Erklärung für diese Ergebnisse liegt darin, daß sich mit der Erlössituation die Steigungen beider Kurven ändern und zur Bestimmung der Pay-Off-Periode nur der Schnittpunkt der Investitionsalternative mit der Zeitachse betrachtet wird.

7.5 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

Mit Hilfe der Simulation war es möglich, den Engpaß in der Ritzelstraße der Hartbearbeitung zu identifizieren und geeignete Lösungsalternativen herauszuarbeiten, bevor durch den Einsatz von KostSim eine wirtschaftlich fundierte Investitionsempfehlung ausgesprochen und anschließend in der Praxis umgesetzt wurde. Als weitere Nutzeffekte der Simulationsstudie stechen vor allem die Transparenz des Entscheidungsfeldes beziehungsweise das Systemverständnis für die Wirkung der untersuchten Parameter auf die Ausbringung und die betrachteten Kostengrößen hervor.

Weiterhin sorgen die im Zuge des Projektes neu aufgenommenen und angepaßten Daten technischer wie betriebswirtschaftlicher Art auch in Zukunft für exaktere Arbeitspläne und genauere Kalkulationen. Zudem konnte bei der Modellvalidierung beobachtet werden, daß die Mitarbeiter sich bei Produktionsrückstand produktiver verhalten, verkettete Bearbeitungsstationen durch die Entnahme fertig weichbearbeiteter Rohlinge entblockieren und von sich aus an kritischen Maschinen geeignete Einsteuerungsstrategien wählen. Damit ist in der Realität mit einer höheren Ausbringung als im Simulationsmodell zu rechnen, das gemäß dem Prinzip eines vorsichtig agierenden Kaufmanns die Untergrenze der Ausbringung und die Obergrenze der Stückkosten darstellt.

Für eine ausgewogene Beurteilung sind die positiven Effekte dem höheren Zeitaufwand, den die Simulation mit anschließender Kostenbewertung erfordert, gegenüberzustellen. Dieser beträgt bei Projekten der vorgestellten Art je nach Simulationserfahrung des Modellierers und Verfügbarkeit der benötigten Daten zwischen zwei und vier Monaten. Während der Simulationsläufe selbst ist dann auf ein notwendiges, aber auch hinreichendes Zeitintervall zur Erfassung der untersuchungsrelevanten Simulationsereignisse zu achten. Im Fall des beschriebenen Projektes führte eine Datenaufnahme über vier Simulationswochen zu über 688.000 Einträgen, die von der KostSim-Importroutine auf einem handelsüblichen Intel Pentium II PC mit 350 Megahertz und 192 MB Arbeitsspeicher in knapp sieben Minuten zu 105 Megabyte Access-Tabellen umgewandelt wurden. Obwohl die Maximalgrenze seitens MS Access ein Gigabyte beträgt und damit auch ein Jahr simulierbar ist, werden mit zunehmender Dateigröße häufiger Auslagerungen auf die Festplatte nötig, was die Ausführungsgeschwindigkeit beeinträchtigt.

Jedoch stellt letzteres aufgrund der rasanten Entwicklung der Prozessorgeschwindigkeit sowie der Arbeitsspeicher- und Festplattenkapazität keinen dauerhaften Engpaß dar, weshalb die durch die Berücksichtigung der dynamischen Effekte resultierenden wirklichkeitsnahen Ergebnisse sich schon heute bezahlt machen. So führen infolge der höheren Transparenz eingesparte Kosten schnell zu einem höheren Gewinn, wohingegen der Aufwand für die simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsrechnung häufig weniger als 1% des Investitionsvolumens beträgt.

8. Methodische Integration des KostSim-Instrumentariums in einen Regelkreis zur Sicherung der Wirtschaftlichkeit

Zur reibungslosen Umsetzung der mit Hilfe des entwickelten Instrumentariums erzielten Ergebnisse ist es in der Praxis erforderlich, daß alle Komponenten des Produktionssystems zielorientiert zusammenwirken. So gesehen stellen die technischen Simulationsergebnisse Zielvorgaben dar, die erreicht werden müssen, um die betriebswirtschaftlichen Resultate aus der Kostensimulation realisieren zu können. Da die Anpassung des Ist-Zustandes an den simulierten Soll-Zustand den Charakter eines Regelungsprozesses aufweist, bietet sich der Einsatz eines Regelungssystems an. Dieses muß - wegen des offenen Charakters des Produktionssystems - sowohl solche Kennzahlen umfassen, die intern beeinflußbar sind, als auch solche, die extern vorgegeben werden.

8.1 Modell eines hierarchischen Regelungssystems für die Produktion

Bei der Realisierung einer Maßnahmenkombination ist es die Aufgabe des Produktionsmanagements, den Entwicklungspfad des Produktionssystems durch die zielführende Koordination der beteiligten Teilbereiche zu verfolgen. Nach dem in der Literatur vorgeschlagenen hierarchischen Regelungssystem [MAR98] müssen die Teilbereiche ihrerseits die Aktivitäten ihrer an der Leistungserstellung mitwirkenden Ressourcen koordinieren. Können keine organisatorisch sinnvollen Teilbereiche mehr begründet werden, gilt es auf der Ressourcenebene schließlich, Einzelziele zu realisieren. Treten dabei auf einer unteren Ebene gravierende Abweichungen - also solche, die nicht von der verursachenden Ebene alleine ausgeglichen werden können - auf, ist die nächsthöhere Ebene zu informieren. Kann auch diese die Abweichung nicht ausregeln, wandert die Aufgabe solange eine Ebene höher, bis sie entweder gelöst ist oder die höchste Ebene erreicht hat. Resultat ist ein dezentral organisiertes, vernetztes System mit unterschiedlich hierarchischen Ebenen.

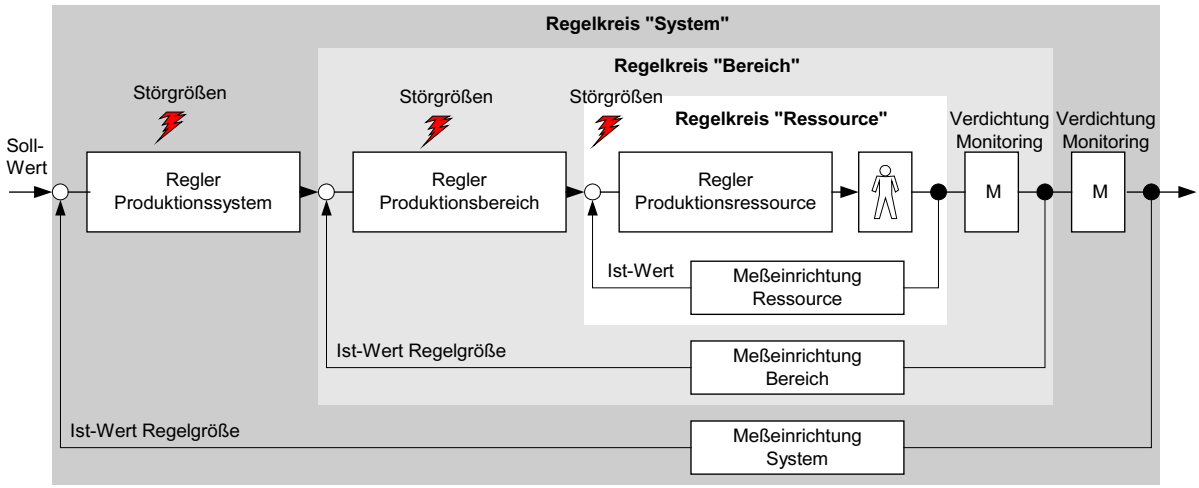


Bild 111: Modell eines hierarchischen Regelungssystems für die Produktion

In der Terminologie der Produktionsregelung stellen die in KostSim gewonnenen Ergebnisse die Führungsgrößen des hierarchischen Regelungssystems dar. Sie können nun gemäß der im Simulationsmodell gewählten Hierarchisierung den einzelnen Komponenten des Produktionssystems als Sollwerte - gegebenenfalls mit Toleranzbereich - vorgegeben werden. Gleichzeitig sind die Annahmen beziehungsweise Planungsdaten festzuhalten, die den Sollwerten zugrunde liegen, um später im Fall einer Abweichung der Ist-Werte von den Soll-Werten feststellen zu können, ob die Ursache für die Abweichung in der Produktionsdurchführung oder in falschen Planungsprämissen zu sehen ist.

Innerhalb der Regelstrecke findet in mehreren Hierarchieebenen die Leistungserstellung durch das Zusammenwirken der Systemelemente unter dem Einfluß möglicher Störgrößen statt. Jedes Element mit Regelungsfunktion versucht dabei, die vorher festgelegten Soll-Werte durch die richtige Einstellung der Stellgrößen zu erreichen. Aufgabe einer Meßeinrichtung ist es nun, die entsprechenden Ist-Werte beziehungsweise Regelgrößen zu ermitteln und dem verantwortlichen Regler anzuzeigen. Treten dabei Abweichungen von den Soll-Werten auf, müssen diese analysiert und - falls notwendig - ausgeregelt werden. Gelingt die Ausregelung nicht innerhalb des ursprünglichen Regelkreises, sind Maßnahmen im nächsthöheren Regelkreis anzudenken. Ist dabei beabsichtigt, Parameter zu ändern, die Bestandteil des Simulationsmodells oder der kostenmäßigen Bewertung waren, muß die weitere Gültigkeit der Soll-Werte hinterfragt werden. Gegebenenfalls sind mit einer neuen Parametereinstellung beziehungsweise aus einem neuen Simulationsmodell oder unter Verwendung angepaßter betriebswirtschaftlicher Größen modifizierte Soll-Werte abzuleiten.

Durch eine derartige Vermaschung der einzelnen Regelkreise wird die Verantwortung für das Gesamtergebnis sowohl zur Verwirklichung kurzer Regelstrecken dezentralisiert als auch im Sinne der Realisierung des in KostSim ermittelten Gesamtoptimums koordiniert. Die Verantwortung ist dabei wegen der umfangreicheren Regelstrecke umso größer, je weiter außen ein Regelkreis angesiedelt ist. Denn in letzter Konsequenz obliegt dem äußersten Regelkreis die langfristige Anpassung des Produktionssystems an die in KostSim modellierten Gestaltungsalternativen und damit die erfolgreiche Umsetzung der Planungsergebnisse.

Um das Konzept der vermaschten Regelkreise, das in der produktionswirtschaftlichen Literatur [MÖS99] zur effizienten Regelung komplexer Produktionssysteme empfohlen wird, auch in der betrieblichen Praxis gezielt zur Realisierung der KostSim-Resultate anwenden zu können, ist zunächst zu prüfen, welche Kennzahlen sich als Sollgrößen ableiten lassen und inwiefern das Controlling der Planungsannahmen/-ziele durch spezielle KostSim-Komponenten sinnvoll möglich ist. Außerdem gilt es, wegen der Offenheit von Produktionssystemen zu untersuchen, wie zusätzlich externe Führungsgrößen in das Regelungskonzept einbezogen werden können.

8.2 Zielgerichtete Entwicklung des Produktionssystems durch systematisches Kennzahlenmanagement

Das zur zielgerichteten Entwicklung des Produktionssystems notwendige systematische Kennzahlenmanagement besteht aus zwei Kernaufgaben: Zum einen müssen simulationsbasierte Kennzahlen zur Umsetzung der Planungsergebnisse als Führungsgrößen vorgegeben werden können und zum anderen gilt es, die Umsetzung der Planungsergebnisse zu kontrollieren beziehungsweise die Ist-Werte mit den Soll-Werten abzugleichen.

8.2.1 Vorgabe von simulationsbasierten Kennzahlen als Führungsgröße

Je nachdem, in welchem Regelkreis eine Kennzahl als Führungsgröße eingesetzt wird, ist ihre Funktion und Struktur zu unterscheiden. Beispielsweise dient sie dazu, Daten zusammenzufassen oder die Leistung einer Betriebseinheit zu beschreiben. Meist werden mehrere Kennzahlen in Form einer baumartigen Struktur zu einem Kennzahlensystem zusammengefaßt [AMA60, BOT93, REIC97, SIE98, GRO88, HIL98, IFA00b, LAC80, LOO96, ZVE89].

Um einen Überblick über den Einsatz von Kennzahlen zu erhalten, wurde eine Datenbank erstellt, die als Ergebnis einer Literaturrecherche über 500 Kennzahlen umfaßt. Als Ergebnis der Recherche konnte die Erkenntnis gewonnen werden, daß es wegen des heterogenen Kennzahleneinsatzes in der betrieblichen Praxis nicht sinnvoll ist, sich von vornherein auf eine feste Anzahl ausgewählter Kennzahlen festzulegen, ohne wesentliche Einschränkungen hinsichtlich Flexibilität und Funktionsumfang in Kauf nehmen zu müssen.

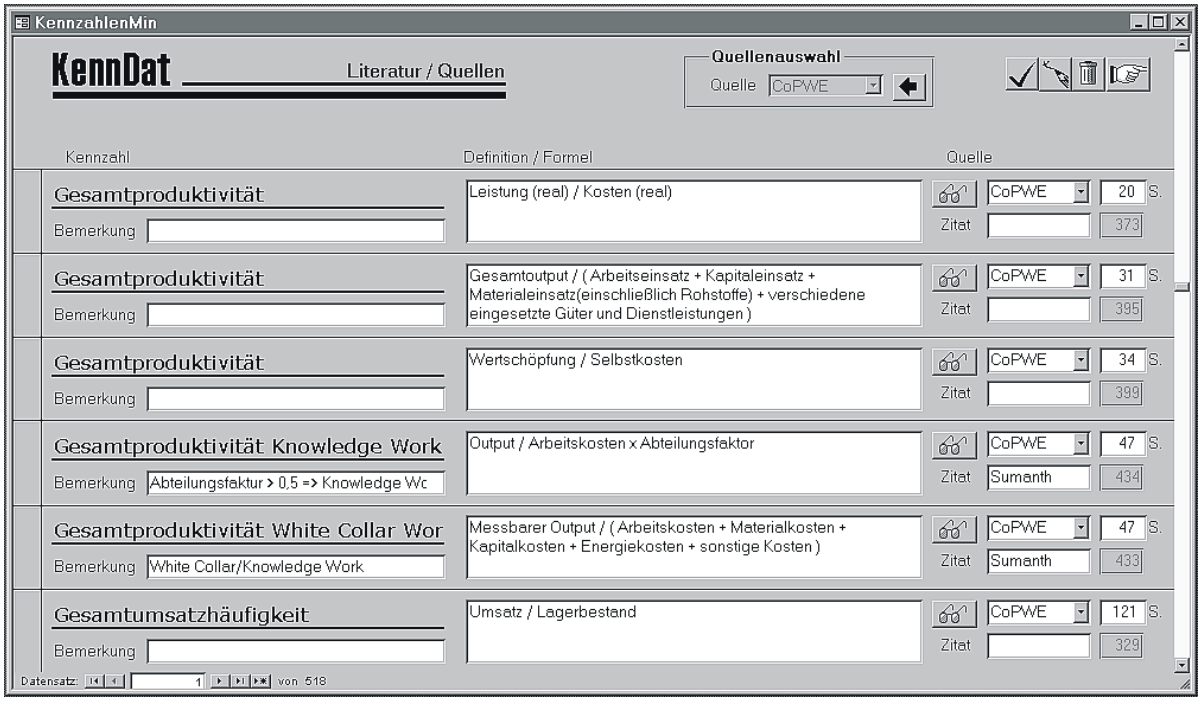


Bild 112: Datenbankmodul zur strukturierten Verwaltung von produktionswirtschaftlichen Kennzahlen

Außerdem ist trotz der langen Tradition in der Anwendung von Kennzahlen bis heute kein validiertes, geschlossenes Kennzahlensystem bekannt, das ausgehend vom elementaren Fertigungsschritt über alle Hierarchieebenen bis zu den primären Unternehmenszielen reicht [FRI97]. Eine weitere Erkenntnis war, daß Kennzahlen in der Regel eine einfache, aus wenigen Elementen bestehende Struktur aufweisen. Deshalb war eine Lösung anzustreben, die es ermöglicht, entweder Kennzahlen aus der Kennzahlendatenbank auszuwählen oder neue Kennzahlen möglichst schnell und einfach in die Datenbank einzufügen.

Bei der Konzeption der Datenstruktur spielte eine wichtige Rolle, in welcher Weise die Formel einer Kennzahl eingegeben und der Wert der Kennzahl aus Formel und Daten berechnet wird. Der erste Ansatz sah vor, die Formeln aller wichtigen Kennzahlen in Visual Basic zu programmieren. Dies hat jedoch den Nachteil, daß die Erweiterung des Kennzahlenumfangs entsprechende Qualifikationen erfordert und zeitaufwendig ist. Zudem wäre erst noch zu untersuchen, welche Kennzahlen zur Grundausstattung des Systems Verwendung finden sollten.

Die einzig sinnvolle Alternative ist die Eingabe der Formelelemente, d. h. der Variablen und mathematischen Operatoren, als Datensatz in die Felder einer Tabelle und die Ermittlung des numerischen Wertes über eine universelle Visual-Basic-Funktion, die die Operatoren als Ausgangspunkt der Berechnung verwendet. Jedoch steigt die Komplexität einer solchen Lösung überproportional mit der Anzahl der verwendeten Variablen. Jede Variable, die mit einem zusätzlichen Operator hinzugefügt wird, muß nicht nur berechnet werden, sondern ist auch bei der Abarbeitung des Kommutativ- und des Assoziativgesetztes durch die bereits vorhandenen Operatoren zu berücksichtigen.

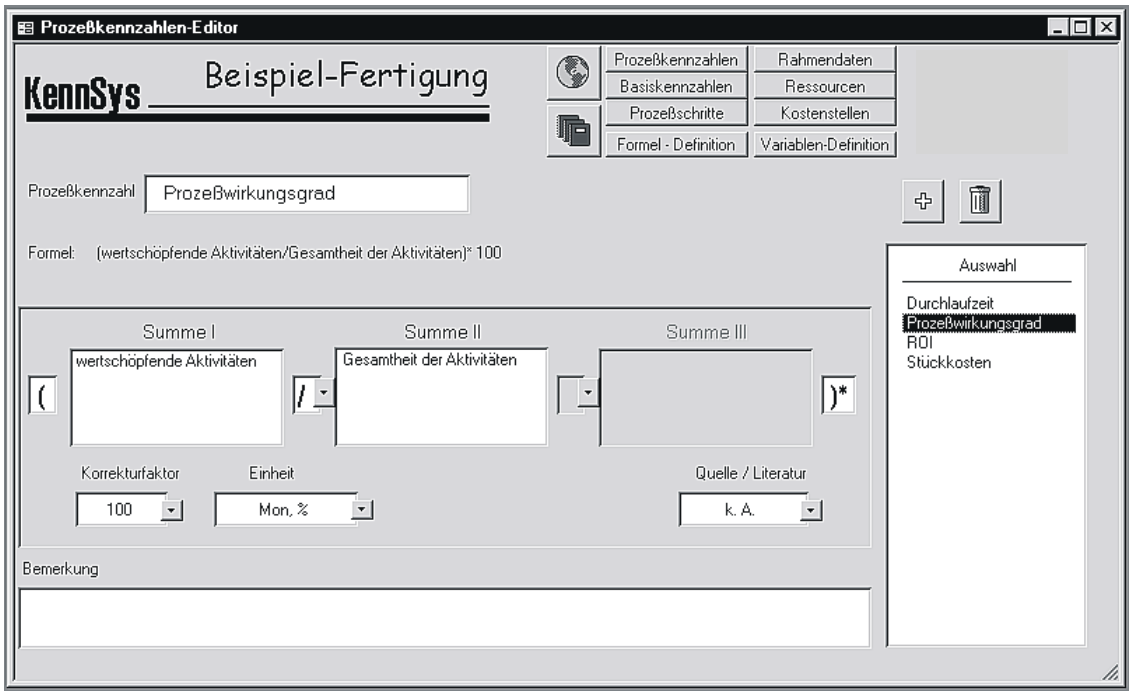


Bild 113: Editor zur Definition anwendungsbezogener Kennzahlen auf der Basis von Simulationsdaten

Die Auswertung der Literaturrecherche von über 500 Kennzahlen mit dem zu diesem Zweck entwickelten Werkzeug ergab allerdings, daß in über 99% aller Fälle, in denen Formeln angegeben waren, drei Variablen ausreichen, wenn einzelne Variablen als Summe von Variablen darstellbar sind. Da sich in MS Access Summen leicht über eine Abfrage ermitteln lassen, der Umfang von drei Variablen und zwei Operatoren überschaubar ist und die Vorteile einer schnellen und einfachen Definition von Kennzahlen von erheblicher Bedeutung sind, wurde auf dieser Basis die in Bild 113 dargestellte Lösung entwickelt.

Als Operatoren sind die elementaren Funktionen Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division sowie Klammersetzung ausreichend. In der zugehörigen Abfrage müssen lediglich die fünf Argumente der Funktion in jeweils einem eigenen Datenfeld eingetragen werden. In einem weiteren Feld berechnet die Funktion aus diesen Werten das Ergebnis.

Weiterhin ist zwischen Basiskennzahlen und abgeleiteten Kennzahlen zu unterscheiden. Basiskennzahlen - wie zum Beispiel die Ausbringung oder die Ausfallzeit einer Anlage - resultieren direkt aus der Simulation und stellen damit originäre Größen dar, die zur Definition von benutzerdefinierten Kennzahlen - beispielsweise einer Mengen- oder Nutzungsprämie - dienen können. Dies geschieht über eine Zuordnung zu den drei Kennzahlenvariablen. Damit schließt der Kennzahlen-Editor die Kette vom Simulationswert zur Prozeßkennzahl.

Neben den selbst definierten Kennzahlen kann der Anwender auch auf die in KostSim standardmäßig verwendeten Kenngrößen wie beispielsweise den Maschinenstundensatz zurückgreifen. Er weist - wie die anderen Kennzahlen auch - nach dem Ende der Simulation einen bestimmten Wert auf, der im Fall einer als optimal betrachteten Gestaltungsalternative die zu erreichende Sollgröße darstellt.

Will der Anwender die Kennzahl selbst oder die hinter einer Kennzahl stehenden Basisgrößen bei der Umsetzung überwachen, kann er deren Daten aus der KostSim-Anwendung in unabhängige Controlling-Bausteine als Führungsgröße importieren. Im Realbetrieb muß die Eingangsschnittstelle mit den durch die Kennzahlendefinition beschriebenen Daten versorgt werden. Da die Kennzahlenbeschreibung auf Basis von SQL-Abfragen und VBA-Funktionen erfolgte, die sehr weit verbreitet sind und mit vielen anderen Anwendungen harmonieren, ist die Anbindung auf sehr komfortable Weise möglich.

Um die Leistungsfähigkeit einer solchen Komponente im produktionswirtschaftlichen Umfeld nachzuweisen, wurde sie unabhängig von der KostSim-Anwendung mit einem SIMPLE++-Modell gekoppelt, das eine reale Fertigung repräsentierte. Dabei wurde - obwohl SIMPLE++ leistungsstärkere Datenschnittstellen aufweist - die Datenkommunikation mit Hilfe einer DDE-Schnittstelle realisiert, wie sie in Anwendungen, die auf dem Standardbetriebssystem Windows aufsetzen, standardmäßig vorhanden ist. Der Ablauf des Kennzahlen-Controlling orientiert sich dabei an dem in Bild 116 dargestellten Vorgehen.

8.2.2 Erfolgskontrolle der Planumsetzung

Nach der Auswahl einer Gestaltungsalternative und der Festlegung ausgewählter Kennzahlen zur Erfolgskontrolle ist der letzte Schritt die Realisation der ausgewählten Gestaltungsalternative. Dazu muß unter Rückgriff auf die im Investitionsmodul hinterlegten Maßnahmenbündel festgelegt werden, welche Maßnahmen von den einzelnen Funktionsbereichen zur Realisierung der geplanten Alternative zu ergreifen sind.

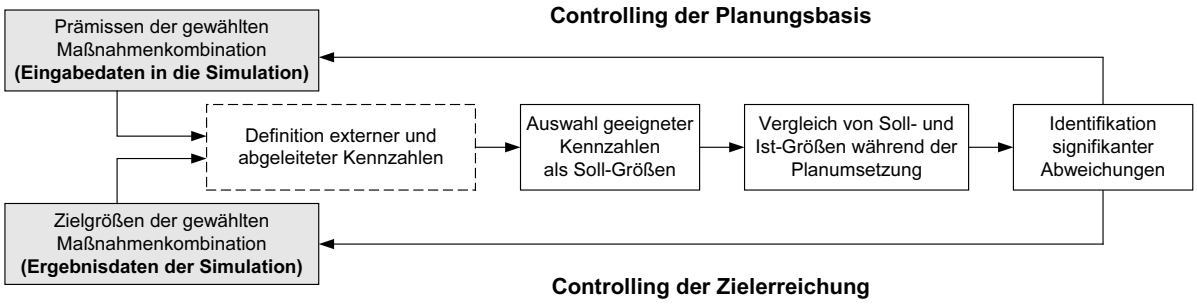
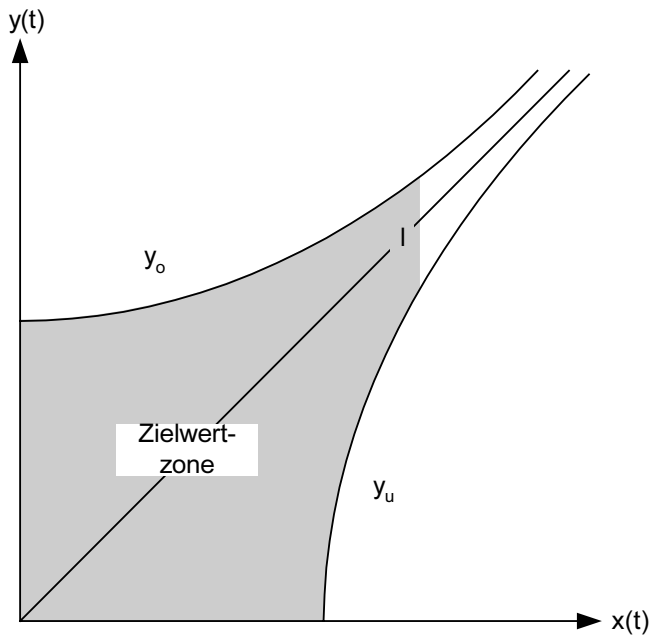


Bild 114: Schritte zur erfolgreichen Realisierung einer Gestaltungsalternative

Um den Erfolg der Umsetzung zu messen, sollten sowohl Kennzahlen verwendet werden, anhand derer die Gestaltungsalternative in der Simulation ausgewählt wurde, als auch solche, die über das Erreichen betriebswirtschaftlicher Zielgrößen Auskunft geben. Weiterhin sollten alle an der Umsetzung beteiligten Systemelemente die Möglichkeit erhalten, den Umsetzungserfolg über aussagekräftige und beeinflußbare Kennzahlen selbst zu regeln. Andererseits sollten nicht zu viele Kennzahlen vorgegeben werden, da die Verarbeitungskapazität einer Einheit limitiert ist und die Gefahr droht, ernsthaften Handlungsbedarf zu übersehen [RUH98]. Ein möglicher Kompromiß zwischen Aufmerksamkeitskonzentration und Informationsflut wäre, dem Verantwortlichen nur die wichtigsten Kennzahlen permanent anzuzeigen und die restlichen mit einem Toleranzbereich zu versehen. Erst wenn eine Abweichung von den zulässigen Toleranzen droht, erschiene dann diese Kennzahl auf dem Bildschirm. Verlassen mehrere Kennzahlen ihren Toleranzbereich, sollte wegen der höheren Bedeutung bzw. des höheren Gewichts vordringlich auf die Kennzahl aufmerksam gemacht werden, die im Verantwortungsbereich des regelnden Systemelements am höchsten angesiedelt ist.

Für die Realisierung des Umsetzungsbausteins ist es wichtig, daß SOLL- und IST-Größen miteinander verglichen werden. Bei den SOLL-Größen, die aus der Simulation abgeleitet wurden, ist zwischen Prämissen und Zielgrößen zu unterscheiden. Prämissen sind dadurch charakterisiert, daß sie schon im Simulationsmodell den Charakter von Annahmen haben. Ein Beispiel dafür ist, daß im Rahmen der Simulation von einer bestimmten Taktzeit ausgegangen wird. Stellt sich später in der Praxis heraus, daß diese angenommene Taktzeit von der Maschine nicht realisierbar ist, war zwar die Annahme fehlerhaft, aber außerhalb des Verantwortungsbereichs des ausführenden Elements.

Anders gelagert ist der Fall, wenn sich die bereits im Simulationsmodell getroffenen Annahmen in der praktischen Umsetzung als richtig herausstellen, aber die Ergebnisgrößen der Simulation, die in der Praxis - wie zum Beispiel die Ausbringung einer Linie - den Charakter von Zielgrößen haben, beispielsweise wegen einer niedrigeren Leistung der beteiligten regelnden Systemelemente vom Vorgabewert abweichen. Im Unterschied zu den Prämissen liegt hier die Verantwortung innerhalb des Produktionssystems.



Legende:

x(t) = Ist-Wert zum Zeitpunkt t
y(t) = Soll-Wert zum Zeitpunkt t
$y_u(t)$ = Untere Grenze der Zielwertzone
$y_o(t)$ = Obere Grenze der Zielwertzone
I = Ideallinie mit x(t) = y(t)

Funktionaler Zusammenhang:

$y_o(t) = x(t) + \sqrt{P/t} * T^+$

$y_u(t) = x(t) - \sqrt{P/t} * T^-$

P: Betrachtungsperiode (ausgedrückt auf Basis von t)

T^+, T^-: zul. positive bzw. negative Toleranz am Ende von P

Bsp.: Monatsbetrachtung auf Tagesbasis P = 30, t = 1..30

Bild 115: Überwachung der Kennzahlentwicklung mit Hilfe eines Korridors

Bei der Zielrealisierung ist vor allem bei solchen Kennzahlen, die über die Zeitachse kumuliert werden, die Veränderung des Mittelwertes und der Standardabweichung im Zeitablauf zu beachten [LEW00]. Dies hat zur Folge, daß Abweichungen, die relativ früh in einer Betrachtungsperiode auftreten, wegen der längeren Zeitspanne bis zum Betrachtungsende leichter korrigiert werden können, als spätere Ausreißer. Deshalb bietet es sich an, einen umgekehrt trichterförmigen Verlauf des Toleranzbereichs zu wählen.

Diese Verlaufsform berücksichtigt zusätzlich zu der eigentlichen Kennzahl auch den Betrachtungszeitpunkt und die Betrachtungsperiode. Damit ist sie sehr gut geeignet, das Anlaufverhalten nach der Umsetzung einer Gestaltungsvariante zu integrieren. Nachdem davon sowohl bestands-, zeit- und auslastungsabhängige Werte, als auch die davon abgeleiteten betriebswirtschaftlichen Größen betroffen sind, ist die allgemeine Implementierung der Trichterfunktion in die KostSim-Bausteine zum Kennzahlenmonitoring sinnvoll. Über die Parameter Betrachtungsperiode, obere und untere Grenze sowie über einen Formindex kann dann der gewünschte Verlauf für eine Kennzahl definiert werden, der dann im ebenfalls parametrierbaren Abfragetakt überprüft wird.

Beispielhaft ist die Realisierung der KostSim-Bausteine zum Kennzahlencontrolling anhand des Maschinenstundensatzes veranschaulicht. Es wird wiederum deutlich, daß die geplante Auslastung sowie die geplanten Zeitanteile für Wartung, Instandhaltung und sonstige ungeplante Liegezeiten den Charakter von Plandaten haben. Während die Störungsverteilung als Prämisse anzusehen ist, stellt die - um den Störungsanteil bereinigte - Auslastung eine Zielgröße dar.

Bevor der Baustein, dessen Architektur funktional unabhängig von KostSim ausgelegt ist, arbeiten kann, müssen die Solldaten hinterlegt werden. Dabei hat der Benutzer die Möglichkeit, die Daten entweder manuell einzugeben oder über die implementierte Datenschnittstelle automatisch von KostSim zu übernehmen. Im nächsten Schritt gilt es, die Parameter des Abweichungskorridors und des Prüfungsintervalls zu bestimmen. Schließlich sind noch Angaben über die Herkunft der Ist-Daten erforderlich. Im Beispiel werden diese über eine DDE-Schnittstelle [HAR93], die eine Kommunikation zwischen Anwendungen der Betriebssysteme Windows, OS/2 und Macintosh ermöglicht, von einem SIMPLE++-Modell bezogen.

Nach dem Start entwickeln sich die Toleranzlinien und der Ist-Wert gemäß der Prüfungsfrequenz über die Zeit. Stößt der Ist-Wert an eine der Grenzlinien, wird der Anwender verständigt. Er kann nun Maßnahmen zur Systemregelung ergreifen oder auch - wenn sich herausstellt, daß Prämissen unhaltbar sind - Soll-Werte ändern. Zusätzlich ist es möglich, eine Frist für die Rückkehr des Ist-Wertes in den Zielkorridor anzugeben und sich nach Fristablauf erneut benachrichtigen zu lassen.

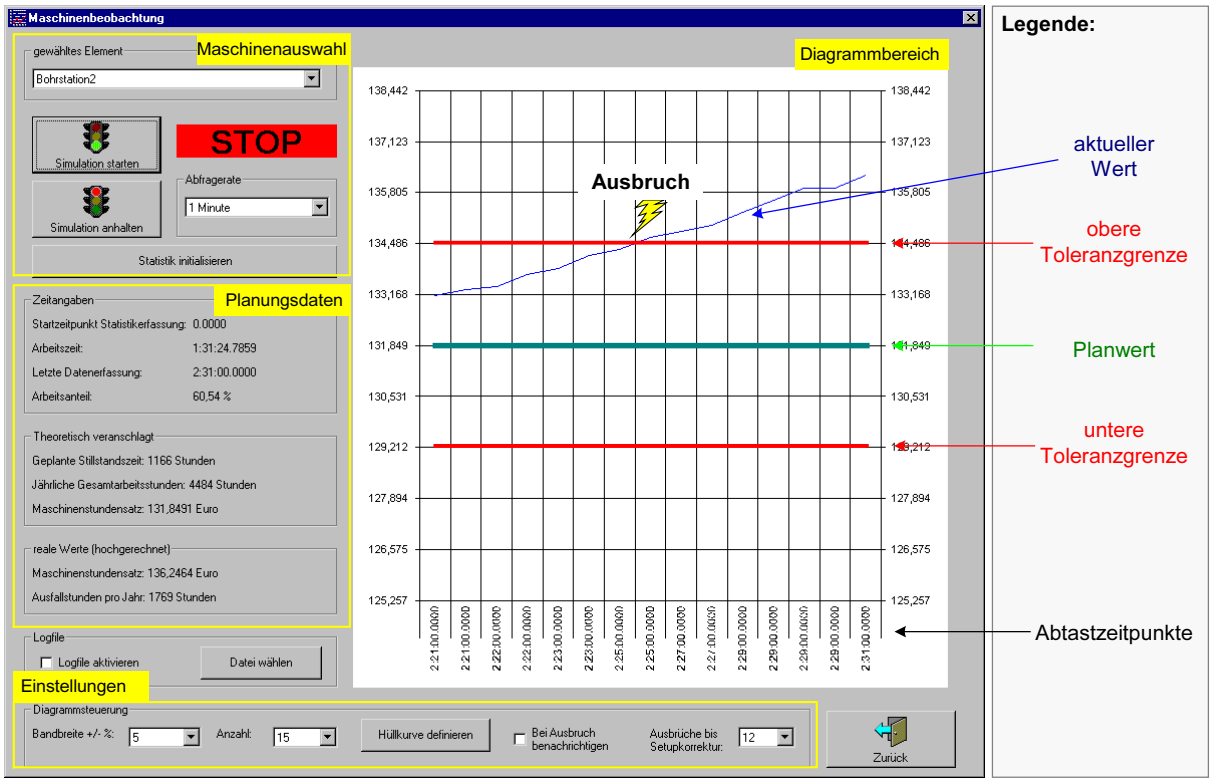


Bild 116: Monitoring-Komponente für das Controlling von Planungsprämissen (dargestellt am Beispiel des Maschinenstundensatzes)

8.3 Marktorientierte Verbesserung des Produktionssystems durch Einbezug externer Führungsgrößen

Eine ausschließliche Betrachtung betriebsinterner Kennzahlen ermöglicht zwar eine Erfolgskontrolle der Planungsumsetzung, liefert jedoch keine Aussage zur Bestimmung der eigenen Wettbewerbsposition. So kann aus dem Vergleich von Kennzahlen im Zeitablauf zwar entnommen werden, ob die Wirtschaftlichkeit des Produktionssystems verbessert wurde. Da hier jedoch nur ein Vergleich von Ist-Daten (alt) mit Ist-Daten (neu) oder - um mit Schmalenbach zu sprechen - „von Schlendrian mit Schlendrian“ [SCH63] erfolgt, ist höchstens feststellbar, wo die größte Verbesserung erzielt wurde oder welche Aktivitäten betriebsintern am wirtschaftlichsten ausgeführt werden. Ob die Aktivitätsdurchführung im Vergleich zu einem Wettbewerber aber überhaupt noch wirtschaftlich und damit wettbewerbsfähig ist, geht aus betriebsinternen Kennzahlen nicht hervor.

Zur Sicherung der wettbewerbsrelevanten Wirtschaftlichkeit ist es deshalb nötig, externe Führungsgrößen zu verwenden. Zu diesem Zweck hat sich seit Mitte der achtziger Jahre in den USA und mit einiger Verzögerung auch in Europa das Management-Instrument „Benchmarking“ etabliert. In der Definition des American Productivity & Quality Centers [APQ93] bezeichnet Benchmarking den Prozeß fortlaufenden Messens und Vergleichens des eigenen Unternehmens mit dem Ziel, eine Verbesserung der eigenen Leistungsfähigkeit zu erreichen. Den Vergleichsmaßstab bilden dabei je nach Anspruchsniveau Unternehmen der eigenen oder einer fremden Branche bis hin zu „Best in class“-Unternehmen. Im Mittelpunkt steht die Ermittlung der Best Practices, worunter allgemeine Lösungen und Vorgehensweisen verstanden werden, die auf den besten Methoden und Vorgehensweisen basieren und Unternehmen zu Spitzenleistungen führen. Benchmarking ist damit der offene Wunsch, sich am Leistungsstandard der besten Mitbewerber zu messen und von ihnen zu lernen.

Bild 117: Generierung neuer Verbesserungsimpulse durch die Wahl höherer Vergleichsmaßstäbe zur Einstufung der Leistung im Benchmarking

Zur Bestimmung des besten Mitbewerbers ist es erforderlich, Unternehmen miteinander zu vergleichen. Dies setzt wiederum eine Charakterisierung beziehungsweise die Definition charakteristischer Merkmale voraus. Hierfür existieren in der betriebswirtschaftlichen Literatur zahlreiche Ansätze, um den Leistungserstellungsprozeß mit dem zugehörigen Input und Output durch zugeordnete Merkmale und deren Ausprägungen zu beschreiben [AKI96]. So läßt sich beispielsweise der Transformationsprozeß durch die Art des Fertigungsablaufs charakterisieren. Werden mehrere Merkmale mit ihren jeweiligen Ausprägungen nebeneinander gestellt, kann eine Typologisierung erfolgen. Zum Beispiel hat Glaser [GLA92] in seiner Arbeit durch eine Zusammenstellung mehrerer Merkmalsausprägungen insgesamt 64 elementare Betriebstypen definiert.

Für die Bestimmung des besten Mitbewerbers bietet es sich nun an, zunächst innerhalb des gleichen Betriebstyps zu suchen. Kann hier kein Unternehmen gefunden werden, das zu einem Vergleich bereit ist, besteht aufgrund der Eigenschaft, daß sich Unternehmen umso ähnlicher sind, je mehr Merkmale übereinstimmen, die Möglichkeit, die Suche auf einzelne Merkmale zu fokussieren. Mit dem gefundenen Unternehmen können dann Vergleichskennzahlen vereinbart und im Fall des schlechteren Abschneidens als Führungsgröße für einen Verbesserungsprozeß vorgegeben werden. So ist es möglich, über einen externen Impuls auf Basis realistischer Daten für eine dauerhafte Markt- und Wettbewerbsorientierung zu sorgen.

Merkmal	**Merkmalsausprägung**			
Erzeugnis-spektrum	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	Typisierte Erzeugnisse mit kunden-spezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
Erzeugnis-struktur	Einteilige Erzeugnisse	Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	
Art der Auftrags-auslösung	Produktion auf Bestellung mit Einzelauftrag	Produktion auf Bestellung mit Rahmenauftrag	Produktion auf Lager	
Fertigungs-art	Einzel-fertigung	Serien-fertigung	Massen-fertigung	
Fertigungs-ablaufart	Baustellen-fertigung	Werkstatt-fertigung	Gruppen-/Linien-fertigung	Fließ-fertigung
Fertigungs-struktur	Fertigung mit geringer Tiefe	Fertigung mit mittlerer Tiefe	Fertigung mit großer Tiefe	
Intensität des Faktor-einsatzes	Arbeitsintensive Produktion	Betriebsmittelinten-sive Produktion	Werkstoffintensive Produktion	Energieintensive Produktion
Struktur der Werkstoff-bearbeitung	Synthetische Produktion	Analytische Produktion	Durchlaufende Produktion	Umgruppierende Produktion

Bild 118: Betriebstypologische Merkmale eines Unternehmens [GLA92] zur Auswahl eines Benchmarking-Partners

8.4 Nutzeffekte des Regelungssystems

Die Nutzeffekte des vorgestellten Regelungssystems resultieren einmal aus den Nutzeffekten der einzelnen Komponenten und zusätzlich aus dem durch das Zusammenwirken der Komponenten resultierenden Zusatznutzen. Folglich sind zunächst die Wirkungen zu betrachten, die von der Ablaufsimulation einschließlich der betriebswirtschaftlichen Zusatzfunktionalität, der KostSim-Monitorbausteine sowie dem Einbezug externer Führungsgrößen ausgehen.

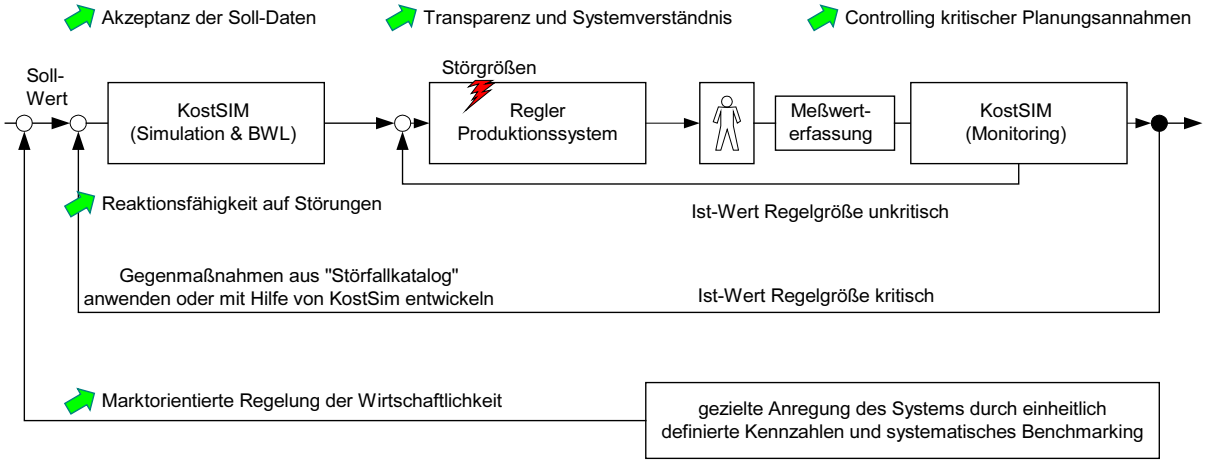


Bild 119: Zusammenfassende Darstellung der Nutzeffekte des Regelungssystems

Dadurch, daß die Simulation die einem Produktionssystem innewohnende Dynamik berücksichtigt, entsteht bei den Beteiligten nicht nur ein besseres Systemverständnis, sondern auch eine bessere Abbildung des Systems. Wurden Zielwerte im Simulationsmodell schon einmal erreicht, kann aufgezeigt werden, welche Maßnahmen hierzu nötig sind beziehungsweise unter welchen Prämissen die erzielten Werte gelten. Damit haben die Soll-Daten den Charakter von Ist-Werten der Zukunft und werden als solche leichter als Meßlatte akzeptiert. Basierend auf diesen Sollwerten können simulationsgestützte Kennzahlen für jedes mitwirkende Systemelement abgeleitet und an die Monitor-Bausteine übergeben werden. Zusätzlich ist es möglich, einen Toleranzbereich für zulässige Abweichungen anzugeben, der vorher mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen im Simulationsmodell bestimmt werden kann. Stellt sich heraus, daß Planungsprämissen falsch waren oder Zielgrößen nicht mehr zu erreichen sind, können Abhilfemaßnahmen ebenfalls in der Simulation auf ihre Wirksamkeit getestet werden.

Ebenso ist es denkbar, Szenarien für mögliche Störungen in der Planumsetzung schon vorab zu simulieren, um dann bei Eintreten einer Planabweichung sofort geeignet reagieren zu können. Ansätze hierfür haben beispielsweise Mößmer [MÖS99] und Wildemann [WIL99] entwickelt. Darüber hinaus existieren Konzepte, die Abläufe in einem realen Produktionssystem synchron im Simulationsmodell abzubilden und bei Auftreten von Störungen, für die im Störfallkatalog keine Gegenmaßnahmen existieren, mit Hilfe der Simulation in Echtzeit beziehungsweise innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne eine geeignete Lösung zu suchen.

Da bisher in der unternehmerischen Praxis die Online-Kopplung zwischen realem Produktionssystem und Simulation nicht realisiert ist, ermöglichen die funktional selbständigen Monitorbausteine auch eine Entkopplung von Simulationsmodell und Planumsetzung. Folglich kann eine simulationsgestützte Verbesserung des Produktionssystems getrennt vom Umsetzungs-Controlling erfolgen. Das bedeutet, daß die Simulation mit der Parametrierung und Integration der Monitorbausteine in die Informationsverarbeitung des Unternehmens eine eigenständige Leistung darstellt. Melden die Monitorbausteine eine signifikante Abweichung, kann der Planungsingenieur erneut tätig werden. Ansonsten läuft die Umsetzung des Simulationsergebnisses im Betrieb nach Plan.

Weiteres Potential resultiert aus der Möglichkeit, basierend auf den originären Simulationsergebnissen eigene Kennzahlen zu definieren. Durch die Abbildung eines Produktionssystems mit dem gleichen Simulator ist die übereinstimmende Bedeutung bzw. Erfassung der im Simulator implementierten Kennzahlen werkzeugseitig sichergestellt. Werden nun aus dieser eindeutigen Definition mit Hilfe der Kennzahlenkomponente wiederum eindeutige Kennzahlen abgeleitet, ist auch die Bedeutung und Erfassung dieser Kennzahlen identisch. Damit steht eine ausgezeichnete Basis für den Vergleich von Kennzahlen zwischen verschiedenen Produktionssystemen zur Verfügung.

Die Bedeutung dieser Vergleichsmöglichkeit kann noch gesteigert werden, wenn die Kennzahlen für mehrere Unternehmen auf Basis der Simulation erfaßt und die Unternehmen nach betriebstypologischen Merkmalen charakterisiert werden. Es ist dann möglich, aussagekräftige Vergleichskennzahlen gezielt aus der Datenbank abzurufen und diese bei der Umplanung eines Produktionssystems als Meßlatte zu nutzen. Erfolgt die Meldung einer neuen Rekordkennzahl automatisch an alle in Frage kommenden Unternehmen, kann dadurch ein neuer Verbesserungsprozeß induziert werden. Gelingt einem Betrieb das Übertreffen der Kennzahl, entsteht wiederum ein Verbesserungsimpuls. Auf diese Weise sind alle beteiligten Unternehmen systematisch an den Wettbewerb, der sich nach den betriebstypologischen Merkmalen nicht auf die gleiche Branche beziehen muss, angeschlossen und erhalten regelmäßig eine Rückmeldung über umsetzbare Zielkenngrößen.

Mit der zunehmenden Beteiligung von Unternehmen, die nach der Datenbankstruktur und vom Konzept her auch so erfolgen kann, daß nur die Koordinierungsstelle die Unternehmensnamen kennt, steigt die Anregungsdichte immer mehr. Offenbaren sich zwei Unternehmen gegenseitig und vereinbaren, im Sinne eines Benchmarking voneinander zu lernen, werden ständig neue Lernprozesse angestoßen, die schließlich in einer kontinuierlichen Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit aller Partnerfirmen münden. Durch die systematische Bereitstellung externer Benchmarks werden so selbständig getriebene Veränderungsprozesse induziert, die potentiell zur dauerhaften Systemverbesserung führen und damit das Konzept zur simulationsbasierten Wirtschaftlichkeitsregelung komplettieren.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der Wirtschaftlichkeitsregelung von Produktionssystemen besteht originär aus zwei Teilaufgaben: Zum einen gilt es, die wirtschaftliche Leistungserstellung in der Produktion zu einem bestimmten Zeitpunkt herzustellen und zum anderen über die gesamte Lebensdauer des betrachteten Systems dauerhaft aufrechtzuerhalten.

Während früher zur Lösung der beiden Aufgaben ein längerer Zeitraum zur Verfügung stand, wird dies heute mit zunehmender Komplexität des Produktionssystems und höherer Turbulenz im Wettbewerbsumfeld immer schwieriger. Umgekehrt gilt jedoch auch, daß der Wettbewerbsvorteil umso stärker ausfällt, je schneller die Wirtschaftlichkeitsregelung gelingt.

Da die Schnelligkeit der Neu- und Umgestaltung eines Produktionssystems wiederum entscheidend davon abhängt, inwiefern die Abläufe möglicher Gestaltungsvarianten in ihrer Dynamik im voraus betrachtet werden können, bietet sich der Einsatz der Simulationstechnik, die genau zu diesem Zweck seit Jahren erfolgreich in der industriellen Praxis angewendet wird, zur Unterstützung der Wirtschaftlichkeitsregelung an. Nachdem die marktgängigen Simulationswerkzeuge jedoch keine geeignete betriebswirtschaftliche Bewertung bieten, ist im Rahmen dieser Arbeit ein entsprechendes Instrumentarium entwickelt und um Komponenten zur Wirtschaftlichkeitsregelung erweitert worden.

Dazu wurden zunächst die Rahmenbedingungen und Zielsetzungen strukturiert dargestellt sowie die Stellhebel zur Gestaltung eines Produktionssystems handlungsorientiert herausgearbeitet. Nach einer umfassenden Analyse bisheriger Ansätze erfolgte schließlich die Konzeption des Werkzeuges. Zur Gewährleistung eines hohen Nutzens für möglichst viele Anwendungsfälle galt es, die Flexibilität, Offenheit und Erweiterbarkeit des Instrumentariums abzusichern.

Deshalb ist eine Architektur entwickelt worden, die einerseits das Simulationswerkzeug funktional von der betriebswirtschaftlichen Bewertung trennt und damit die Weiterentwicklung beider Komponenten unabhängig voneinander ermöglicht sowie andererseits durch die informationstechnische Kopplung über eine relationale Datenbank den reibungslosen Informationsaustausch sowohl zwischen den einzelnen Teilwerkzeugen als auch zu anderen betrieblichen IV-Systemen erlaubt.

In der Feinkonzeption der betriebswirtschaftlichen Bewertungskomponente gelang es durch die Definition elementarer aktivitätsorientierter Kostenzuordnungsobjekte die Anforderungen einer zweckneutralen Grundrechnung zu erfüllen und gleichzeitig die Unabhängigkeit von einem konkreten Simulationswerkzeug sicherzustellen, da in der ereignisorientierten Simulation die einzelnen Aktivitäten automatisch durch zwei aufeinanderfolgende Ereignisse definiert sind. Somit ist nun auch eine Basis für die Integration externer betriebswirtschaftlicher Größen gegeben.

Auf Basis der betriebswirtschaftlichen Feinkonzeption wurde ein Datenmodell abgeleitet, das von den um ein Bewertungsattribut erweiterten Aktivitäten als Basisrelation ausgeht und darauf aufbauend mehrere Verdichtungshierarchien unterstützt. Dabei dient die zeitliche Inanspruchnahme einer Ressource als Verrechnungsbasis, wobei die Auswertungsflexibilität durch den getrennten Ausweis von fixen und variablen sowie kalkulatorischen und pagatorischen Anteilen des Ressourcenstundensatzes sichergestellt ist.

Für die Realisierung des entwickelten Konzeptes wurde der marktführende Simulator SIMPLE++ und das weitverbreitete relationale Datenbanksystem MS Access gewählt. Da das Simulationssystem entgegen den definierten Anforderungen nicht alle Ereignisse im Tracefile protokolliert, sind zusätzlich Referenzbausteine entwickelt worden. Diese stellen hauptsächlich die Vollständigkeit der Ereignisdokumentation sicher und erleichtern darüber hinaus bei bestimmten Fragestellungen erheblich den Aufbau des Simulationsmodells.

Die in MS Access realisierte Bewertungskomponente liest die Daten des Tracefiles sowie seiner Erweiterungsdateien aus und legt sich nach dem Datenmodell in der Datenbank ab, wo sie schließlich für die Module „Kostenanalyse“, „Ablaufanalyse“ und „Investitionsanalyse“ zur Verfügung stehen. Mit Hilfe des Moduls „Kostenanalyse“ ist es über das Setzen entsprechender Verrechnungsschlüssel möglich, das Kostenrechnungssystem eines Unternehmens abzubilden oder mit einem anderen zu vergleichen. Ebenso können Verrechnungssätze für Gemeinkosten oder innerbetriebliche Leistungen bestimmt und die Kostenentstehung bis auf Aktivitätenebene nachvollzogen werden. Das Modul „Ablaufanalyse“ bietet schließlich die Funktionalitäten, um Zeitfresser und Kostenschwerpunkte im Produktionssystem gezielt zu lokalisieren, woran im Anschluß durch die Nutzung des Assistenten systematisch Vorschläge zur Systemverbesserung entwickelt werden können. Für deren Verwaltung und vergleichende Bewertung wurde das Modul „Investitionsanalyse“ entwickelt, das außerdem die Berücksichtigung unterschiedlicher Rückflußeinschätzungen und differenzierter Produktlebenszyklen ermöglicht und so die fundierte Bestimmung der besten Gestaltungsalternative erlaubt.

Um die reibungslose Realisierung der gewählten Gestaltungsalternative in der Praxis zu unterstützen, ist ein Modul zur flexiblen Definition von Kennzahlen realisiert worden, deren simulationsbasierte Vorgabewerte an Controlling-Bausteine übertragbar sind. Diese beobachten dann nach dem Regelkreiskonzept im laufenden Betrieb den Kennzahlenverlauf und alarmieren den Anwender bei Überschreiten definierter Grenzwerte. Dieser kann dann wiederum mit Hilfe des entwickelten Instrumentariums nach Lösungsmöglichkeiten zur Ausregelung der Abweichung suchen. Darüber hinaus ist es möglich, auf Basis definierter Betriebstypen einheitliche Kennzahlen für ein Benchmarking zu vereinbaren, wodurch von außen ein Impuls zur Systemverbesserung induziert wird. Im Ergebnis entsteht so ein Kreislauf zur permanenten Wirtschaftlichkeitsregelung.

Durch den praxisbegleitenden Einsatz konnten schon während der Abfassung dieser Dissertation die Nutzeffekte des entwickelten Instrumentariums in mehreren Industrieprojekten nachgewiesen werden. Weiterhin gingen Ergebnisse dieser Arbeit in die VDI-Richtlinie 3336 Blatt 7 ein, mit der sich das realisierte Werkzeug deshalb in Einklang befindet. Zudem hat sich die flexible Konzeption der Importschnittstelle bei der im Rahmen des EU-Projektes „PRIME“ erfolgten Kopplung an den Simulator QUEST der Firma Deneb bewährt. Damit ist KostSim das erste Werkzeug, das zwei unterschiedliche Simulatoren als Datenlieferant nutzen kann.

Jedoch waren auch im Fall der Kopplung an QUEST wegen der Unvollständigkeit des Tracefiles und anderer Tracefiledefekte zusätzliche Bausteine zur vollständigen Ereigniserfassung nötig. Gelänge es, ein einheitliches vollständiges Tracefileformat für alle Werkzeuge der Materialflußsimulation durchzusetzen, könnte die Modellerstellung und der Datenaustausch wesentlich erleichtert werden. Weitere Fortschritte sind denkbar, wenn die Hersteller der Simulationswerkzeuge ihre Schnittstellen soweit öffnen würden, daß KostSim direkt - und ohne Umweg über die Dateischnittstelle - zumindest lesend auf die Tracefileeinträge des Simulators zugreifen könnte.

Sollten die Hersteller ihre Werkzeuge in diese Richtung weiterentwickeln, wäre es möglich, trotz der funktionalen Trennung zwischen Simulator und betriebswirtschaftlicher Bewertungskomponente eine mitschreitende Auswertung zu realisieren, indem z. B. nach jedem Ereignis die Daten des betreffenden Bewertungsverfahrens aktualisiert werden. In diesem Fall sind dann die Grenzen zwischen Offline- und Online-Kostensimulation fließend, ohne zusätzlichen Modellierungsaufwand für die kostenintegrierende Betrachtung in Kauf nehmen zu müssen.

Zusätzlich birgt die beschriebene Offenheit das Potential zur Einbindung des entwickelten Werkzeuges in eine integrierte Simulationsumgebung. So ist es denkbar, daß KostSim die Simulationskette nach oben hin abschließt und so stets einen aktuellen Überblick über die Kostensituation liefert. Im Ergebnis wird die Reaktionsfähigkeit, die durch den Simulationseinsatz schon jetzt erreichbar ist, um betriebswirtschaftliche Agilität und Schlankheit ergänzt. Daraus resultiert schließlich die wettbewerbsentscheidende Fähigkeit, sich schnell und wirtschaftlich an neue Herausforderungen dynamischer Märkte anpassen zu können.

Literatur

ABE93 Abels, S.: Modellierung und Optimierung von Montageanlagen. Dissertation, Universität Erlangen. München: Carl-Hanser 1993

ADA94 Adam, D.: Investitionscontrolling. München: Vahlen 1994

AHO88 Aho, A. V.; Kernighan, B. W.; Weinberger, P. J.: The awk Programming Language. Reading, M.A. [u.a.]: Addison-Wesley 1988

AKI96 Akin, B.: Formale Fundierung typologischer Forschung in der Betriebswirtschaftslehre - Ein Ansatz zur Vereinheitlichung aus fächerübergreifender Sicht. Diskussionspapier Nr. 9602, Universität Mannheim 1996

AKN00 AKNA - Arbeitskreis neue Arbeitsstrukturen in der Automobilindustrie: Weiterentwicklung der Arbeitsorganisation (am Beispiel Gruppenarbeit) in der Fahrzeugmontage. In: IfaA - Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Arbeitsorganisation in der Automobilindustrie - Stand und Ausblick. Köln: Bachem 2000, S. 186 - 205

AMA60 American Management Association [Du-Pont-chart-system]: Executive Committee Control Charts - A Description of the Du-Pont-chart-system for Appraising Operation Performance. In: AMA Management Bulletin Juni 1960

AMS93 Amshoff, B.: Controlling in deutschen Unternehmungen. 2. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1993

AND29 Andler, K.: Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße. München: 1929

ANT94 Antoni, C.: Gruppenarbeit in Unternehmen. Weinheim: Belz 1994

APQ93 American Productivity & Quality Center: The Benchmarking Management Guide. Portland: Productivity Press 1993

AUG96 Augustin, H.: PPS-Systeme der 4. Generation. ZwF 91, Nr. 7 - 8/1996, S. 352 - 354

AUS99 Aust, R.: Kostenrechnung als unternehmensinterne Dienstleistung. Wiesbaden: H.H. Driesen 1999

AZG94 Arbeitszeitgesetz (ArbZG) vom 6. Juni 1994

BAC91 Back-Hock, A.: Executive Information Systeme, krp 1/1991, S. 48 - 50

BAC95 Bach, V.; Brecht, L.; Österle, H.: Marktstudie Softwaretools für das Business Process Redesign. Baden-Baden 1995

BAU00 Bause, F.; Beilner, H.; Kemper, P.: Modellierung und Analyse von Logistiknetzwerken mit Prozeßketten. ASIM 2000, S. 63 - 68

BAU96 Bauer, T.: Welche Informationen benötigt eine Führungskraft? In: it Management 09-10/1996, S. 22 - 25

BAU97 Baumgarten, H.; Wiegand, A.: Logistiktrends und -strategien: Ergebnisse einer aktuellen Umfrage. In: Hossner, R. (Hrsg.): Logistik Jahrbuch 1997. Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt 1997

BEN98 Benest, D.; Froeschle, C.: Impacts on Earth. Berlin [u.a.]: Springer Verlag 1998

BER95 Berkau, C.; Flotow, P.: Handbuch ARIS-Promt-Methoden. Saarbrücken 1995

BID76 Bidlingmaier, J.; Schneider, D. J. G.: Ziele, Zielsysteme und Zielkonflikte. In: Grochla, E.; Wittmann, W. (Hrsg.): Hwb. der Betriebswirtschaft, Bd. 3, 4. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1976, Sp. 4731ff.

BLE99 Bleicher, K.: Das Konzept integriertes Management. 6. Aufl. Frankfurt a. Main: Campus 1999

BOK97 Bokranz, R.: Pausengestaltung. In: Handbuch Arbeitswissenschaft. Hrsg.: Luczak, H.; Volpert, W. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997, S. 946 - 952

BOT93 Botta, V.: Kennzahlensysteme als Führungsinstrumente: Planung, Steuerung und Kontrolle der Rentabilität im Unternehmen. Berlin: Erich Schmidt 1993

BRA98 Bracht, U.; Hagmann, M.: Die ganze Fabrik im Simulationsmodell. In: ZwF 7-8/1998, S. 345 - 348

BRE92 Breucker, N.; Hedrich, G.: Einführung des Prämienlohns. Anreiz- und Vergütungssystem in einer schlanken Produktion. In: Personalführung 11/1992, S. 926 - 932

BRE98 Brenner, M.: Funktionsorientierte Modellierung mit SIMPLE++/ARIS. Tagungsband zum SIMPLE++-Benutzertreffen 1998, S. 59 - 66

BRO96 Brokmann, W.; Rehberg, D.: Schichtplangestaltung in der Metall- und Elektroindustrie - Ein Serviceangebot der Arbeitgeberverbände, angewandte Arbeitswissenschaft. Nr. 148, 1996, S. 27 - 42

BROC97 Brock, G.: Arbeitsschutzgesetz. Neuwied [u.a.]: Luchterhand 1997

BRÜ99 Brüggemann, H.; Schimmelpfeng, K.; Seufzer, A.: Lebenszyklusorientierte Anlagenplanung, VDI-Z 3-4/1999, S. 18 - 19

BUB92 Bubb, H.: Maßnahmen der Arbeitsmittelgestaltung. In: Menschliche Zuverlässigkeit. Hrsg.: Gärtner, K.-P. Bubb, H., Landsberg (Lech): Ecomed 1992, S. 144 - 178

BUL94 Bullinger, H.-J.: Ergonomie. Stuttgart: Teubner 1994

BURG94 Burger, A.: Kostenorientierte Reihenfolgeplanung bei flexibel automatisierter Fertigung. krp 3/1994, S. 181 - 188

BUS00 Buscher, U.: Strategien zur Schließung der Durchlaufzeitlücke (Teil 1). Der Betriebswirt 1/2000, S. 14 - 18

BUS00 Busenius, W.: Der Einsatz der ereignisorientierten Simulationstechnik in den USA im Vergleich zu Deutschland. Berlin: Appendix zur ASIM 2000, S. 1 - 10

CHA97 Chakravarthy, B.: A New Strategy Framework for Coping with Turbulence. Sloan Management Review 38, 1997, H. 1, S. 69 - 82

CHE76 Chen, P. P.-S.: The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data. In: ACM Transactions on Database Systems 1/1976, S. 9 - 36

CHM92 Chmielewicz, K.; Schweitzer, M.: Handwörterbuch des Rechnungswesens. Schäffer-Poeschel, Stuttgart 1992

COD70 Codd, E. F.: A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks, in: Communications of the ACM. Vol. 13, (1970), No. 6, S. 377 - 387

COE94 Coenenberg, A. G.: Jahresabschluß und Jahresabschlußanalyse, 15. Auflage. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1994

CON65 Conent, E. A.; Kilbridge, M. D.: An Interdisciplinary Analysis of Job Enlargement: Technology, Costs, and Behavioral Implications. In: Industrial and Labor Relations Review, Nr. 18, Oktober 1965

COO91 Cooper, R.; Kaplan, R.: The Design of Cost Management Systems. Englewood, N.J.: 1991

COR93 Corsten, H.; Will, Th. (Hrsg.): Lean Production. Schlanke Produktionsstrukturen als Erfolgsfaktor. Stuttgart: Kohlhammer 1993.

CZ01a o. N.: Die Computerhersteller treten auf die Kostenbremse, Computer Zeitung Nr. 12 / 22. März 2001, S. 7

CZ01b o. N.: Intel will mit Preiskrieg PC-Boom auslösen, Computer Zeitung Nr. 33 / 16. August 2001, S. 5

CZ01c o. N.: Militärs zeigen ihren Rechenweltmeister, Computer Zeitung Nr. 34 / 23. August 2001, S. 5

CZ99 o. N.: Bevorzugte Server-Betriebssysteme für Anwendungssoftware - Windows NT ist fest im Sattel, Computer Zeitung Nr. 36 / 9. September 1999

DEN98 Deneb Robotics Inc.; QUEST Reference Manual Version 4_0, Troy, Michigan 1998

DIE95 Dieffenbach, J. R.; Mascarin, A. E.: Cost Simulation of the Automobile Recycling Infrastructure: The Impact of Plastics Recovery. In: Design and Disposal of Durable Products: What‘s the Best Route? Cambridge, MA: MIT-Press 1995

DIN70 DIN 6300: Vorrichtungen für formändernde Fertigungsverfahren, Benennungen und deren Abkürzungen (07.70). Berlin: Beuth 1970

DIN85 DIN 8580: Fertigungsverfahren (07.85) Berlin: Beuth 1985

DOB97 Doberenz, W.; Kowalski, Th.: Visual Basic 5: Programmierpraxis. München, Hanser 1997

DOL00 Dolmetsch, R.: eProcurement. Einsparungspotentiale im Einkauf. München [u.a.]: Addison-Wesley 2000

ECK70 Eckardstein, D. v.: Job Rotation. In: Management-Enzyklopädie, 3. Bd., München: 1970, S. 774 - 778

ECK00 Eck, P.; Rose, Chr.; Ouissi, M. J.: Risikomanagement und Bilanzsimulation. Controlling, Heft 2, Februar 2000, S. 85 - 93

EHM93 Ehmann, B.: Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung. Dissertation, Universität Erlangen, München: Carl-Hanser 1993

ERL99 Erlewein, M.: Flexible Arbeitszeit. In: Handwörterbuch des Arbeitsrechts. Loseblatt-Sammlung, 103. Erg.-Liefg. Heidelberg: Forkel 1999

ESC99 Eschmann, S.; Eyer, E.: Vergütung von Gruppen- und Teamarbeit. REFA-Nachrichten 3/1999, S. 8 - 15

EUL95 Eulenberger, L.; Augustin, H.: Simulation in PPS-Systemen. In: VDI-Z 137, 1-2/1995, S. 65 - 67

EVE77 Eversheim, W.; Minolla, W.; Fischer, W.: Angebotskalkulation mit Kostenfunktionen. Berlin: Beuth 1977

EVE94a Eversheim, W.; Fuhlbrügge, M.: Entscheidungsorientierte Bewertung mit Hilfe der Kostensimulation. In: CIM Management, Nr.6/1994, S. 36 - 39

EVE94b Eversheim, W.; Humburger, R.; Pollack, A.: Wirtschaftlicher Verfahrensvergleich mit prozeßorientierter Kalkulation. io Management Z. 63, Nr. 5/1994, Nr. 5, 41 - 46

EVE95 Eversheim, W. (Hrsg.): Prozeßorientierte Unternehmensorganisation. Konzepte und Methoden zur Gestaltung „schlanker“ Organisationen. Berlin [u.a.]: Springer 1995

EVE99 Eversheim, W.; Dohms, R.: Ressourcen- und Kostengestaltung in der Einzel- und Kleinserienproduktion, VDI-Z, 1 - 2 / 1999, S. 70 - 72

EVE00 Eversheim, W.; Dohms, R.; Schellberg, O.: Produktion in globalen Netzwerken. wt Werkstattstechnik 90, Nr. 5/2000, S. 183 - 187

FAC97 FACTOR AIM Cost Modeling Guide. Lafayette, IN: Pritsker Corporation West 1997

FAN97 Fandel, G.: Produktion I. Produktions- und Kostentheorie. Berlin [u.a.]: Springer Verlag, 1997

FAZ96 N. N.: Simulation ist zu einem Werkzeug für Planer und Berater geworden. FAZ, 21.04.1996

FEL97 Feldmann, K.; Rauh, E.; Wunderlich, J.: Einsatzfelder und Erfolgsfaktoren der Simulationstechnik. In: Simulationstechnik, 11. Symposium in Dortmund, Wiesbaden: Vieweg 1997, S. 552 - 557

FEL99 Feldmann, K.; Wunderlich, J.: Datenversorgung und Informationsbedarf des Produktionskostenmanagements - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. Industrie Management 15, Nr. 6/1999, S. 48 - 52

FEL00a Feldmann, K.; Wunderlich, J.: Referenzbausteine für die Erfassung ablaufabhängiger Kostentreiber in Simulationsmodellen. In: Mertins, K.; Rabe, M. (Hrsg.): The New Simulation in Production and Logistics, Tagungsband zur 9. ASIM-Fachtagung in Berlin 2000

FEL00b Feldmann, K.; Wunderlich, J.: Rekonstruktion von Ereignisketten und Zustandsübergängen auf Basis des Tracefiles eines Materialflußsimulators. In: Möller, D. P. F. (Hrsg.): Frontiers in Simulation. Hamburg: ASIM 2000, S. 443 - 448

FEL01 Feldmann, K.; Wunderlich, J.: Simulation Based Costing (SBC) in Production Systems. In: Ades, M.; Deschaine, L. M. (Hrsg.): Proceedings of the Business and Industry Symposium. San Diego, SCS 2001 S. 149 - 154

FIN00 Fink, A.; Schlake, O.; Siebe, A.: Wie Sie mit Szenarien die Zukunft vorausdenken. Harvard Business Manager 2/2000, S. 34 - 47

FIN98 Finkeißen, A.; Schweikert, R.: PROZESSMANAGER 3 - Softwareunterstützung beim Prozeßkostenmanagement, in: Horváth & Partner (Hrsg.): Prozeßkostenmanagement, 2. Auflage. München: Vahlen 1998, S. 509 - 528

FIN99 Fink, A.: Szenariogestützte Führung industrieller Produktionsunternehmen. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 50, 1999

FLI97 Fliedner, G.; Vokurka, R. J.: Agility: Competitive Weapon of the 1990s and beyond? In: Production & Inventory Management Journal, 07.01.1997, S. 15

FOR72 Forrester, J. W.: Industrial Dynamics, 7. Aufl.. Cambridge, M.A.: Productivity Press 1972

FRA96 Franz, St.; Scholz, R.: Prozeßmanagement leichtgemacht. München und Wien: Carl Hanser 1996

FRA97 Franz, K.-P.; Kajüter, P.: Kostenmanagement in Deutschland - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung in deutschen Großunternehmen. In: Franz, K.-P.; Kajüter, P. (Hrsg.): Kostenmanagement - Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung. Stuttgart: Schäffer-Poeschl 1997, S. 481 - 502

FRA99 Frank, St., Reitmeyer, Th.: Gestaltung und Erfolgsfaktoren der Kostenrechnung im Mittelstand, krp-Sonderheft 2/1999, S. 15 - 25

FRE89 Fremmer, H.; Voigtländer, H.; Weil, R.: Handbuch des Prämienlohnes. Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Schriftenreihe des IfaA, Bd. 24, Köln: Bachem 1989

FRI97 Friemuth, U.; Sesterhenn, J.: Produktivitätskennzahlen zur Leistungsmessung. Umfrage bestätigt mangelnden Kennzahleneinsatz in deutschen Unternehmen. Fir+iaw Mitteilungen 2/1997, S. 10 - 12

GAB97 Gabler, Th.: Wirtschaftslexikon, 14., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Gabler 1997, S. 4394

GAR94 García de Jalón, J.; Bayo, E.: Kinematic and Dynamic Simulation of Multibody Systems - The Real Time Challenge. New York [u.a.]: Springer 1994

GLA92 Glaser, H.; Geiger, W.: PPS - Produktionsplanung und -steuerung; Grundlagen - Konzepte - Anwendungen. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 1992

GÖL95 Göltenboth, H.: Neue Entgeltsysteme in veränderten Unternehmensstrukturen. REFA-Nachrichten 5/1995, S. 23 - 26

GRA54 Graf, O.: Studien über Arbeitspausen in Betrieben bei freier und zeitgebundener Arbeit (Fließarbeit) und ihre Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit. Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag 1954 (Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 115)

GRA93 Grap, R.: Neue Formen der Arbeitsorganisation. Hrsg. Luczak, H.; Aachen [u.a.]: Augustinusbuchhandlung 1993

GRI98 Griffel, N.: Von der Planung bis zum Betrieb - Integration der Ablaufsimulation in den betrieblichen Alltag bei BMW; ASIM-Fachtagung; Simulation und Logistik. Berlin 1998

GRO88 Groll, K.-H.: Erfolgssicherung durch Kennzahlensysteme. Freiburg/Breisgau: Haufe 1988

GRO94 Gronau, N.: Führungsinformationssysteme für das Management der Produktion. München und Wien: Oldenbourg Verlag 1994

GRO99 Groff, J. R.; Weinberg, P. N.: SQL - The Complete Reference. Berkely, CA: Osborne Publishing 1999

GÜN93 Günzel, H.: Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und strategische Probleme der PPS. München: Hanser 1993 (Fertigungstechnik Erlangen 34)

GÜN00 Günther, H.-O.; Krüger, H.; Schrecker, A.: Simulationsgestützte Einsatzplanung Fahrerloser Transportsysteme. ASIM 2000, S. 365 - 370

GUT79 Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, Die Produktion, 23. Auflage. Berlin [u.a.]: Springer 1979

HAA94 Haarmann, C.: Kosteninformation durch Simulation. Frankfurt [u.a.]: Peter Lang 1994

HAC98 Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. Bern: Huber 1998

HAH93 Hahn, D.; Laßmann, G.: Produktionswirtschaft - Controlling industrieller Produktion, Bd. 3., 1. Teilband. Heidelberg: Physica 1993

HAI97 Haid, A.: Theoretische Volkswirtschaftslehre, Arbeitsbuch Mikroökonomik. München: Vahlen 1997

HAM00 Hammer, M.; Stanton, St.: Prozeßunternehmen - wie sie wirklich funktionieren. Harvard Business Manager 3/2000, S. 68 - 81

HAN97 Hanschke, Th.: Business Process Reengineering am Beispiel der Produktionsplanung. Tagungsband zum IBM Anwenderkongreß „Fertigungsindustrie“ 1997

HAP96 Happe, Th.; Ohsiek, St.; Schäfer-Kunz, J.: Simulation-Based-Costing-System, Version 1.0, Benutzerhandbuch. Stuttgart: TEC 1996

HAR93 Hartmann, N.: Windows: Datenaustausch mit DDE und OLE. München: tewi Verlag 1993

HAR95 Hartinger, M.: Die Pflege der Parameter von Standardsoftware. Wiesbaden: Gabler 1995

HAR99 Hartmann, H.: Einflußfaktoren auf die Bestandshöhe. Der Betriebswirt 4/1999, S. 17 - 19

HAU93 Haupt, R.; Schilling, V.: Simulationsgestützte Untersuchung neuerer Ansätze von Prioritätsregeln in der Fertigung. Wirtschaftswiss. Studium 22, 1993, 611 - 615

HEI92 Heinz, K.; Lange, W. D.: Simulation gruppenorientierter Fertigungsstrukturen. CIM Management 6/1992, S. 33 - 39

HEI00 Heinicke, M.: Einführung in die Simulation und Präsentation des Simulationswerkzeuges eM-Plant als Industrie-Werkzeug zur Simulation und Optimierung. ASIM 2000, S. 251 - 256

HIL98 Hillenbrand, B.; Leyhausen, B.; Schulze, J.: „Miß es oder vergiß es“. In: IT AV 6/1998, S. 70 - 73

HOF98 Hofbauer, M.; Spielmann, Chr.: Access 97 Referenz. Düsseldorf [u.a.]: Sybex 1998

HOI93 Hoitsch, H.-J.: Produktionswirtschaft, 2. Auflage. München: Vahlen 1993

HOL87 Holzkämper, R.: Kontrolle und Diagnose des Fertigungsablaufs, (Fortschrittsberichte VDI, Reihe 2, Nr. 72). Düsseldorf: VDI-Verlag 1987

HUM86 Hummel, S.; Männel, W.: Kostenrechnung. Wiesbaden: Gabler 1986

IFA00a IfaA (Hrsg.): Arbeitsorganisation in der Automobilindustrie - Stand und Ausblick. Köln: Bachem 2000

IFA00b IfaA (Hrsg.): Erfolgsfaktor Kennzahlen. Köln: Bachem 2000

IFA89 IfaA (Hrsg.): Arbeitsgestaltung in Produktion und Verwaltung. Köln: Bachem 1989

IFA96 IfaA (Hrsg.): Zeitgemäße Entgeltformen. Köln: Bachem 1996

IFA99 IfaA (Hrsg.): Kundenorientierung unternehmensweit. Organisieren - Gestalten - Verbessern. Köln: Bachem 1999

KID94 Kidd, P. T.: Agile Manufacturing - Forging New Frontiers. Wokingham 1994

KLE00 Klenter, G.; Warnke, L.: Wege zur Full Power Factory. ZwF 95, 12/2000, S. 580 - 583

KLU94 Klug, F.: Kostenintegrierte Fertigungssimulation. In: Simulation in Passau (herausgegeben vom Lehrstuhl für Operations Research und Systemtheorie der Universität Passau), Nr.1/1994, S. 19 - 22

KOH00 Kohler, U.; Werner, M.: Durchgängige Produktions- und Logistikplanung. In: Günthner, W. A.; Reinhart, G. (Hrsg.): Abschlußbericht (2000) MATVAR. München: Herbert Utz 2000

KPM99 KPMG GmbH, Integriertes Risikomanagement, http://www.kpmg.de/library/docs/IRM.pdf (23.03.1999)

KUR94 Kurz, H. D.; Salvadori, N.: Theory of Production: A Long-Period Analysis. Cambridge, UK: CUP 1994

KUT96 Kutscher, I.; Weidinger, M.; Hoff, A.: Flexible Arbeitszeitgestaltung. Wiesbaden: Gabler 1996

LAC80 Lachnit, L.: Kostenorientierte Kennzahlen und Kennzahlensysteme. krp 6/1980, S. 255 - 265

LAC90 Lachnit, L.; Freidank, C.-C.: Computergestützte Optimierungsmodelle als Instrument der Rechnungslegungspolitik von Kapitalgesellschaften. Die Wirtschaftsprüfung 43, 1990, S. 29 ff.

LAN90 Lange, C.: Transparenz und Flexibilität: Erfolgsfaktoren für Investitionsentscheidungen. Controlling 2, 1990, 134 - 142

LAN96 Lange, J.-U.; Schauer, B. D.: Ausgestaltung und Rechenzwecke mittelständischer Kostenrechnung. In: krp-Kostenrechnungspraxis, 40. Jg., Nr. 4/1996, S. 202 - 208

LAY00 Lay, G.; Eggers, T.; Wallmeier, W.: Innovationen in der Produktion 1999 - Dokumentation der Umfrage. Karlsruhe: FhG-ISI 2000

LAY96 Lay, G. u. a.: Der Beitrag neuer Produktionskonzepte zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. ZwF 91, Nr. 12/1996, S. 597 - 599

LEW00 Lewicki, B.: Target Costing für ein ganzheitliches Controlling. Der Betriebswirt 1/2000, S. 29 - 34

LIT92 Little, A. D.: Management von Spitzenqualität. Wiesbaden: Gabler 1992

LOR95 Lorer, P.: Empirische Untersuchung über Einflußfaktoren der Lohnhöhe und Entlohnungszufriedenheit in der industriellen Fertigung. Frankfurt am Main: Peter Lang 1995

LOR97 Lorenzen, J.: Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen. Berlin [u.a.]: Springer 1997

LOR98 Lorer, P.: Einflußfaktoren gewerblicher Entlohnung aus Sicht der Arbeitnehmer und Arbeitgeber. REFA-Nachrichten 5/1998, S. 16 - 24

LUC93 Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Berlin [u.a.]: Springer 1994

LÜC98 Lück, W.: Internes Überwachungssystem (IÜS). Die Pflicht zur Einrichtung und zur Prüfung eines Internen Überwachungssystems durch das Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich (KonTraG). In: WPK-Mitt. 3/1998, S. 182 - 188

MAN95 Manthey, Chr.: LogiChain - Instrument des rechnergestützten Prozeßkettenmanagements. Dortmund: Verlag Praxiswissen 1995

MÄN97 Männel, W.: Entwicklungsperspektiven der Kostenrechnung. Lauf a. d. Pegnitz: Verlag der GAB 1997

MAR98 Martin, C.: Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz. Berlin [u.a.]: Springer 1998 (iwb-Forschungsberichte Nr. 113)

MÄR98 März, L.; Worch, R.; Rein, E.: Einsatz der Simulation in der Akquisition von Großanlagen. ASIM 98, S. 291 - 298

MCK99 McKinsey/ika-Studie: Profitable Wachstumsstrategien in der Automobilzulieferindustrie. In: Materialien zur Automobilindustrie, Band 20. Verband der Automobilindustrie (Hrsg.), 1999

MEA93 Meadows, D. H.; Meadows, D. L.; Randers, J.: Die neuen Grenzen des Wachstums. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch 1993

MEY95 Meyersiek, D.: Informationssysteme für Krisenzeiten. Führungsinstrumente für Wirtschaftszweige im Umbruch. In: Hichert, R.; Moritz, M.: Management-Informationssysteme. Praktische Anwendungen. Berlin [u.a.]: Springer 1995

MIL95 Miller, M.; Meyer, J.; Bogner, A.; Hüsken, R.: Die Datenbankschnittstelle ODBC in der Praxis. In: ct-Magazin für Computertechnik 3/95, S. 306 - 312

MOL97 Moldaschl, M.: Ursachen und Folgen der Einführung von Gruppenarbeit. In: Handbuch Arbeitswissenschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997

MOS00 MOSIM - Handlungsanleitung Modellversuch Simulation. IML 2000

MÖS99 Mößmer, H. E.: Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme. München: Herbert Utz 1999

MÜL96 Müller-Seitz, P.: Erfolgsfaktor Arbeitszeit. München: Beck 1996

MUS93 Mussenbrock, A.: Gruppenarbeit als Antwort auf flexible Marktanforderungen und höheren Wettbewerbsdruck. In: Marktorientierte Flexibilisierung der Produktion. Köln: TÜV Rheinland 1993

NAG98 Nag, P. K.; Maly, W.; Jacobs, H.: Advanced Forecasting of Cost and Yield. Semiconductor International, Juli 1998

NAG99 Nagel, K.; Erben, R. F.; Piller, F. T. (Hrsg.): Produktionswirtschaft 2000 - Perspektiven für die Fabrik der Zukunft. Wiesbaden: Gabler 1999

NAT00 Natke, H. G.: Models and Reality in Systems Dynamics. Düsseldorf: Unser Verlag 2000

NES89 Nespeta, H.: Arbeitsorganisation. In: Arbeitsgestaltung in Produktion und Verwaltung. Köln: IfaA 1989

NEU94 Neumann, M.: Theoretische Volkswirtschaftslehre, Bd. 3, Wachstum, Wettbewerb und Verteilung, 2. Auflage. München: Vahlen 1994

NEU95 Neumann, M.: Theoretische Volkswirtschaftslehre, Bd. 2, Produktion, Nachfrage und Allokation, 4. Auflage. München: Vahlen 1995

NIE94 Niedermayr, R.: Entwicklungsstand des Controlling. Wiesbaden: Gabler 1994

NIE95 Niedermayr, R.: Die Realität des Controlling. In: Eschenbach, R. (Hrsg.): Controlling. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1995, S. 125 - 168

NN00a N. N.: Dynamische Kostensimulation, http://www.ok-automation.at/dienst11.htm Stand: 06.09.2000

NN00b N. N.: Kostensimulation bei unterschiedlichen Chargengrößen, Gebinden etc., http://www.rsw-orga.de/produkte/anwendersoftware/controlling.htm Stand: 06.09.2000

NN00c o. A.: EAI-Delta kommt zu Dassault. It 4-5/2000, S. 10

NYH91 Nyhuis, P.: Durchlauforientierte Losgrößenbestimmung. (Fortschrittsberichte VDI, Reihe 2, Nr. 225). Düsseldorf: VDI-Verlag 1991

NYH94 Nyhuis, P.: Quantifizierung logistischer Rationalisierungspotentiale mit Betriebskennlinien. ZfB 64, 1994, S. 443 - 464

OES00 Oess, A.; Pieper, H.: Kürzere Rüstzeiten steigern die Effizienz. Harvard Business Manager 6/2000, S. 15 - 23

OLE00 Olesch, G.: Flexible Arbeitszeiten als Zukunftssicherung der Unternehmen. Angewandte Arbeitswissenschaft Nr. 163, 2000, S. 36 - 49

OLI99 Oliver, L.: The Cost Management Toolbox. New York, N.Y.: Amacom, 1999

PAU70 Paul, W. J.; Robertson, K. B.: Job Enrichment and Employee Motivation. London: Gower 1970

PAU84 Paulik, R.: Kostenorientierte Reihenfolgeplanung in der Werkstattfertigung. Regensburger Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Forschung. Bern: Haupt 1984

PAW93 Pawellek, G.; Hassel, P. v.: Simulation der Übergangszeiten zur Erhöhung der Datenqualität in PPS-Systemen. ZwF 88, Nr. 6/1993, S. 273 - 275

PET90 Peters, T. J. u. Waterman, R. H.: In Search of Excellence - Lessons from America's Best-Run Companies. New York: Harper & Row 1982, [deutsch: Auf der Suche nach Spitzenleistungen - Was man von den bestgeführten US-Unternehmen lernen kann. 2. Aufl., München: mvg-Verlag 1990]

PIP90 Pieper, A.; Strötgen, J.: Produktive Arbeitsorganisation: Handbuch für die Betriebspraxis. Köln: Dt. Instituts-Verlag 1990

POR85 Porter, M. E.: Competitive Advantage. London und New York: Simon & Schuster 1985

QUA97 Quaas, W.: Ermüdung und Erholung. In: Handbuch Arbeitswissenschaft. Hrsg.: Luczak, H.; Volpert, W. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997, S. 347 - 353

RAA84 Raab, H.: Wirtschaftliche Fertigungstechnik. Braunschweig: Vieweg 1984

RAU96 Rauch, C.; Augustin, H.: Marktstudie PPS/CAQ. Innovative Entwicklungen und Integrationspotentiale. Düsseldorf: VDI-Verlag 1996

RAU98 Rauh, E.: Methodische Einbindung der Simulation in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe. Dissertation, Universität Erlangen. Bamberg: Meisenbach 1998

REF91 REFA (Hrsg.): Grundlagen der Arbeitsgestaltung. München: Hanser 1991

REI98 Reimer, M.: Leistungssteigerung durch innovative Arbeitszeit- und Entgeltsysteme in der Montage. Industrie Management 14 Nr. 4/1998, S. 46 - 50

REIC97 Reichmann, T.: Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten: Grundlagen einer systemgestützten Controlling-Konzeption, 5., überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Vahlen 1997

REIN97 Reinhart, G.; Feldmann, K.: Simulation - Schlüsseltechnologie der Zukunft? München: Herbert Utz 1997

REIN99a Reinhart, G. u. a.: Reaktionsfähigkeit für Unternehmen - Eine Antwort auf turbulente Märkte. ZwF 94, 1-2/1999, S. 21 - 24

REIN99b Reinhart, G.: Simulation - ein Experiment am digitalen Modell. In: Feldmann, K.; Reinhart, G. (Hrsg.): Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion. Berlin [u. a.]: Springer 1999, S. 13 - 30

REIN01 Reinhart, G.; Baudisch, Th.; Patron, Chr.: Mit Simulation die Komplexität beherrschen. Industrie Management 17 Nr. 3/2001, S. 34 - 37

REN91 Renner, A.: Kostenorientierte Produktionssteuerung. München: Vahlen 1991

RIE94 Riebel, P.: Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung, 7. Aufl., Wiesbaden: Gabler 1994

ROT99 Rottbauer, H.: Modulares Planungswerkzeug zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion. Bamberg: Meisenbach 2000

RÜG95 Rüger, M.: Building Discrete Event Simulators with Create! In: Proceedings Session „Software Tools and Products“. Wien: Argesim Report No. 2, 1995, S. 21 - 24

RUH99 Rudorfer, W.: Wandlungsfähigkeit in Produktionsstrukturen und Kooperationen. Reinhart, G.; Milberg, J.: Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele. Augsburg und München: Herbert Utz 1999, S. 1-1 bis 1-15

SAU92 Sauer, H.: Neue Formen der Arbeitsorganisation - Basis einer flexiblen Produktion. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.), Kundenorientierte Produktion. Tagungsband zum IAO-Forum v. 26.5.1992, S. 65 - 82

SCH63 Schmalenbach, E.: Kostenrechnung und Preispolitik, 8. Auflage. Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag 1963

SCHA77 Schaubner, H.; Brokmann, W.: Taschenbuch der Arbeitsgestaltung, Grundlagen und Anwendung arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse. Köln: Bachem 1977

SCHÄ98 Schäfer-Kunz, J.: Kostenrechnung in der virtuellen Fabrik, in: Mertins, K.; Rabe, M. (Hrsg.): Erfahrungen aus der Zukunft. Tagungsband zur 8. ASIM-Fachtagung: Simulation in Produktion und Logistik. Berlin 16.-17. Februar 1998, S. 289 - 296

SCHA98 Schaub, K.-H.; Winter, G.; Landau, K.; Großmann, K.; Laun, G.; Menges, R.: EVA - Evaluierung mitarbeiterorientierter Arbeitsgestaltung durch präventive Belastungsanalyse und -optimierung im 3D-Modell: Abschlußbericht Projektträger: Arbeit und Technik. 1998

SCHE01 Scheer, A.-W.: ARIS, Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen. Berlin [u.a.]: Springer Verlag 2001

SCHE91 Scheer, A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme - Grundlagen der Unternehmensmodellierung. Berlin [u.a.]: Springer 1991

SCHE99 Scheibeler, A. A. W.: CostCharter - Kostensimulation der Verwaltungsabläufe in Produktionsunternehmen. Berlin [u.a.]: Springer 1999

SCHE01 Scheer, A.-W.: ARIS, Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen. Berlin [u.a.]: Springer Verlag 2001

SCHF00 Schlaffke, P.; Erlewein, M.; Hofmann, A.; Hering, M.; Krause, A.; Kohler, W.; Malter, J.: Arbeitszeit. Hrsg.: Gesamtverband der metallindustriellen Arbeitgeberverbände e.V., Köln 2000

SCHG00 Schlögl, W.: Integriertes Simulationsdaten-Management für Maschinenentwicklung und Anlagenplanung. Dissertation, Universität Erlangen. Bamberg: Meisenbach 2000

SCHL97 Schliemann, H.; Förster, G.; Meyer, J.: Arbeitszeitrecht - gesetzliche, tarifliche und betriebliche Regelungen. Neuwied [u.a.]: Luchterhand 1997

SCHM91 Schmidtke, H.: Handbuch der Ergonomie. Band 3: Ergonomische Datensammlung. Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (Hrsg.). München: Hanser 1991

SCHÖ92 Schönfeld, W.: Lexikon für das Lohnbüro. Arbeitslohn, Lohnsteuer, Sozialversicherung von A bis Z. München: Franz Rehm 1992

SCHÖ95 Schönthaler, F.: Simulation-Based BPR with INCOME and Oracle Designer/2000, in: Proc. OCSIG CASE Days 1995 at IOUW, Philadelphia, PA 1995

SCHU95 Schuh, G.; Kaiser, A.: Kostenmanagement in Entwicklung und Produktion mit der ressourcenorientierten Prozeßkostenrechnung. In: Männel, W. (Hrsg.): Prozeßkostenrechnung. Bedeutung - Methoden - Branchenerfahrungen - Softwarelösungen. Wiesbaden: Gabler 1995, S. 369 - 382

SCHU99 Schusser, O.: Die Wertschöpfungskette als strategisches Planungsinstrument. Der Betriebswirt 2/1999, S. 9 - 14

SCHW00 Schweitzer, M.: Zur Planung kostenminimaler Durchlaufzeiten. ZfB 70. Jg. Nr.2/2000, S. 187 - 209

SCHW98 Schweres, M.; Sengotta, M.; Roesler, J.: Arbeitsschutz Management: Sichere und gesundheitsförderliche Arbeitsbedingungen als Controlling-Aufgabe. In: Sicherheitsingenieur 29, Nr. 4/1998, S. 30 - 35

SCHW00 Schweitzer, M.: Zur Planung kostenminimaler Durchlaufzeiten. ZfB 70. Jg. Nr.2/2000, S. 187 - 209

SEJ95 Sejichi, N.: Management der Produktionseinrichtungen, Frankfurt: Campus 1995

SEK94 Sekine, K.: Produzieren ohne Verschwendung. Bonn: Moderne Industrie 1994.

SHA93 Shank, J. K.; Govindarajan, V.: Strategic Cost Management: The New Tool for Competitive Advantage. New York, N.Y., The Free Press 1993

SHI92 Shingo, S.: Das Erfolgsgeheimnis der Toyota-Produktion. Eine Studie über das Toyota-Produktionssystem - genannt die „Schlanke Produktion“ (Study of Toyota Production System from Industrial Engineering Viewpoint. Übers. v. Horst H. Raab). Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1992

SIE98 Siegwart, H.: Kennzahlen für die Unternehmensführung. 5., aktualisierte und erweiterte Auflage. Bern [u.a.]:Haupt 1998

SIN00 Singer, P.: DrLog++, http://www.optimasoftware.de/drlogvex.htm, 12.09.00

SOM90 Sommerlatte, T.; Wedekind, E.: Leistungsprozesse und Organisationsstruktur. In: Little, A. D. (Hrsg.): Management der Hochleistungsorganisation. Wiesbaden: Gabler 1990

SPI01 Spindler, G.; Internet-Auktionen, München: C. H. Beck 2001

STA94 Stalk, G.: Zeitwettbewerb: Reaktionsgeschwindigkeit: 4 Regeln. In: Oetinger, B. v. (Hrsg.): Das Boston Consulting Strategie-Buch. Düsseldorf [u.a.]: ECON 1994, S. 574-576

STA98 Stahl, I.: Simulation-Based Costing: When and How to Use It. Proceedings of Informs, Seattle Fall 1998 Meeting, Seattle 1998

STE92 Sterman, J. D.: Teaching Takes Off: Flight Simulators for Management Education. In: OR/MS Today, Oktober 1992, S. 40 - 44

STE99 Steinbuch, P. A.; Steinbuch, A. L.: Programmorganisation und Software Engineering, Ludwigshafen: Kiehl 1999

STO73 Stommel, H.-J.; Kunz, D.: Untersuchungen über Durchlaufzeiten in Betrieben der metallverarbeitenden Industrie mit Einzel- und Kleinserienfertigung. Opladen 1973

STO82 Storp, J.: Ablaufplanung und Kostenvergleichsrechnungen für veränderte Arbeitsstrukturen der Massenfertigung. Husum: Hannemann 1982

TAY19 Taylor, F. W.: Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung (Nachdruck der Originalausgabe von 1919). München: Raben 1983

TEC99 Tecnomatix: Simple++ Reference Manual, Version 5.0. Stuttgart: Aesop GmbH 1999

THI92 Thiehoff, R.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung - ein Beitrag zur ganzheitlichen Investitionsplanung. In: Bundesarbeitsblatt Buch: Prävention im Betrieb. Arbeitsbedingungen gesundheitsgerecht gestalten. Bonn: BMA 1992

ULL94 Ullmann, W.: Logistisches Produktions-Controlling. (Fortschrittsberichte VDI, Reihe2, Nr. 311). Düsseldorf: VDI-Verlag 1994

VDI62 VDI-Richtlinie 3258: Kostenrechnung mit Maschinenstundensätzen, Berlin 1962 (laut telefonischer Auskunft von Herrn Dr.-Ing. Helmut Lauruschkat vom 11.05.01 wurde die Richtlinie im Oktober 1991 zurückgezogen)

VDI73 VDI-Richtlinie 3300: Materialfluß-Untersuchungen. Berlin: Beuth 1973

VDI91 VDI-Richtlinie 3423: Auslastungsermittlung für Maschinen und Anlagen. Berlin: Beuth 1991

VDI93 VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen; Anwendung der Simulationstechnik zur Materialflußplanung. Berlin: Beuth 1993

VDI96a VDI-Richtlinie 2693: Investitionsrechnung bei Materialflußplanungen mit Hilfe statischer und dynamischer Rechenverfahren. Berlin: Beuth 1996

VDI96b VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen. Begriffe, Blatt 6. Berlin: Beuth 1996

VDI99 VDI 4450 Analyse der Wirtschaftlichkeit Fahrerloser Transportsysteme (FTS) (Entwurf 7/1999). Berlin: Beuth 1999

VDI00 VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen. Kostensimulation, Blatt 7 Entwurf. Berlin: Beuth 2000

VDM83 VDMA: Das Rechnen mit Maschinenstundensätzen, 5. Auflage. Frankfurt am Main, 1983

VOL96 Volck, St.: Die Wertkette im prozeßorientierten Controlling. Diss. Münster 1996, Wiesbaden, 1997

WÄH95 Währisch, M.: Stand der Kosten- und Erlösrechnung im Maschinen- und Anlagenbau. Maschinenbau Nachrichten Nr. 7, 1995, S. 18 - 20

WÄH98 Währisch, M.: Kostenrechnungspraxis in der deutschen Industrie - Eine empirische Studie. Wiesbaden 1998

WAL98 Wallmeier, W.: Dokumentation zur Umfrage „Innovationen in der Produktion 1997“. Karlsruhe: Fraunhofer ISI 1998

WAR95 Warnecke, H.-J.: Aufbruch zum fraktalen Unternehmen: Praxisbeispiele für neues Denken und Handeln. Berlin [u.a.]: Springer 1995

WEB93 Weber, J.: Stand der Kostenrechnung in deutschen Großunternehmen - Ergebnisse einer empirischen Erhebung. In: Weber, J. (Hrsg.): Zur Neuausrichtung der Kostenrechnung. Entwicklungsperspektiven für die 90er Jahre. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1993, S. 257 - 278

WEB99 Weber, J.: Kostenrechnung im Mittelstand. krp-Sonderheft 2/1999, S. 5 - 13

WED77 Wedekind, H.; Ortner, E.: Der Aufbau einer Datenbank für die Kostenrechnung. In: Die Betriebswirtschaft, Band 37, Nr. 4/1977, S. 533 - 542

WEN00 Wenzel, S.; Noche, B.: Simulationsinstrumente in Produktion und Logistik - eine Marktübersicht. Berlin: ASIM 2000, S. 423 - 432

WES00 Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. wt Werkstattstechnik 90, 1-2/2000

WIE87 Wiendahl, H.-P.: Belastungsorientierte Fertigungssteuerung. München und Wien: Carl Hanser 1987

WIE89 Wiendahl, H.-P.; Lüssenhop, T.: Wirkung von Prioritätsregeln. In: VDI-Z 131 1989

WIE93 Wiendahl, H.-P.; Nyhuis, P.: Die logistische Betriebskennlinie. RKW-Handbuch Logistik (HLO, 19. Lfg. XI/93). Berlin: Erich Schmidt 1993

WIE96 Wiendahl, H.-P.; Nyhuis, P.: Kombination von simulativen und analytischen Modellierungsverfahren im „3. Weg“. In: Modelle zum Reengineering und Monitoring von Prozeßketten. Hannover: Seminar „Dezentrale Produktionsstrukturen“ am 17./18. September 1996

WIE97 Wiendahl, H.-P.; Krüger, T.: Gezielte Optimierung komplexer Anlagen. FB/IE 46, Nr. 3/1997, S. 120 - 125

WIL99 Wildemann, H.; Goldbrunner, R.: Simulationsbasiertes Entstörmanagement in der Produktionsplanung und -steuerung. In: Feldmann, K.; Reinhart, G. (Hrsg.): Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion, München: Springer 1999

WIN99 Winter, G.; Schaub, K.-H.; Landau, K.; Großmann, K.; Laun, G.: DESIGN CHECK - ein Werkzeug zur ergonomischen Bewertung von körperlicher Arbeit bei Montagetätigkeiten. In: angewandte Arbeitswissenschaft, Nr. 160, 1999, S. 16 - 35

WIT92 Witte, T.: Fallstudie zur Fertigungssteuerung mit Prioritätsregeln. In: Adam, D. (Hrsg.): Fertigungssteuerung - Grundlagen und Systeme. Wiesbaden 1992, S. 263 - 276

WIT96 Witte, Th.: Die virtuelle Fabrik, Computergestützte Produktions- und Kostentheorie. In: Rieper, B.; Witte, Th., Berens, W. (Hrsg.): Betriebswirtschaftliches Controlling, Planung - Entscheidung - Organisation, Wiesbaden: Gabler 1996, S. 303 - 324

WOM94 Womack, J. P.; Jones, D. T.: From Lean Production to the Lean Enterprise. In: Harvard Business Review 72 (1994) 2, S. 93 - 103

WUN99 Wunderlich, J.: Ergebnisse zweier empirischer Studien zur Anwendung der Simulation: In: Feldmann, K. (Hrsg.): Simulation in Planung und Betrieb von Produktionssystemen. Tagungsband zum FAPS-TT-Seminar vom 21.10.1999

ZAN99 Zangemeister, C.; Nolting, H.-D.: Kosten-Wirksamkeits-Analyse im Arbeits- und Gesundheitsschutz. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Sonderschrift S 44 der Schriftenreihe. 3. Auflage. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1999

ZÄP00 Zäpfel, G.; Wasner, M.: Modellierung von Logistikketten und Möglichkeiten der Optimierung, gezeigt an einem Praxisfall der Stahllogistik. ZfB 70. Jg. Nr. 3/2000, S. 267 - 288

ZEL97 Zell, M.: Informationstechnische Gestaltung von Führungsinformationssystemen. Controlling, Nr. 4 , 7-8/1997, S. 290 - 301

ZÜL99 Zülch, G.; Bogus, Th.; Krüger, J.: Übertragung des Prinzips der „lohnenden Pause“ auf komplexe Arbeitsstrukturen - eine Simulationsstudie. REFA-Nachrichten 1/1999, S. 20 - 29

ZVE89 ZVEI: ZVEI-Kennzahlensystem. Ein Instrument zur Unternehmenssteuerung. 4. Aufl., Frankfurt a. M.: Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie 1989

Summary

For the planning of complex production systems, powerful simulation tools are available. However, the results of a simulation run are only time and quantity data. To evaluate them economically, additional cost information is required. As this depends on the problem, different cost elements must be taken into consideration and so they were analyzed. For this reason, in the present thesis, the factors influencing each cost element were scrutinized. As was shown in an extensive analysis, the only such tools that exist are based exclusively on one method and have not been in much use. Therefore, the simulation based costing system CostSim was developed.

CostSim was implemented in Microsoft Access 97 and gains ist data from a relational data base which is provided with information through an interface to the simulation tool Simple++ (now called eMPlant). For this purpose, the functionality of Simple++ was upgraded by the development of so-called reference modules in such a way that at the end of the simulation run, a complete event protocol is available. From this event protocol, the data management module of CostSim can reconstruct all activities and states which have occurred during the simulation run. Thus, it ensures flexibility, openness and extensibility.

As a basic step, the “cost analysis“ module serves as a cost modelling instrument and charges the activity costs by multiplying the differentiated hourly rates of the resource that was used. By not considering or only considering certain activities in the calculation and by defining one’s own keys for the distribution of cost center costs or indirect operating costs, various costing systems can be modelled. Depending on the necessary degree of detail of the cost data for a reliable preparation of the decisions an enterprise wants to take, the most suitable costing concept for a specific company can eventually be compiled. On this basis, the “process analysis“ module shows the economic consequences of the simulation results. Processes, resources and cost centers can be investigated in detail. Overall, different views on the production system with useful indications of weak points and potential for rationalization result from this. For the evaluation of a particular measure, the “invest analysis“ module was created. It carries out a monetary evaluation and presents the result in a comparative chart. To increase the scheduling safety, the module offers the option to analyse various reflux scenarios. Moreover, entire investment plans can be scheduled, valued and changed until no more improvements are possible.

As it was shown in an industrial study, with the help of CostSim a cost oriented optimization of the production processes and a more exact verification of the profitability of investments can be achieved. Furthermore, controlling components for the support of the reengineering of a production system with the possibility of benchmarking were developed. In short, a closed-loop planing and control system was created.

Lebenslauf

Jürgen Wunderlich
geboren am 8. Februar 1972
verheiratet

1978 - 1982	Grundschule in Oberasbach
1982 - 1991	Dietrich-Bonhoeffer-Gymnasium in Oberasbach, mathematisch-naturwissenschaftlicher Zweig
1991 - 1996	Studium der Wirtschaftsinformatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Abschluß: Dipl.-Wirtsch.-Inf. (Univ.)
seit 1996	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Leiter: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann Abschluß: Dr.-Ing.