

# Wegweiser zur Produktionsplanung

## Dr. Karl-Michael Meiß

Inhalt:

<b>1 PRODUKTIONS- UND KOSTENTHEORETISCHE GEGENSTANDSBEREICHE .....</b>	<b>2</b>
1.1 DIE ANALYSE PRODUKTIVER SYSTEME .....	3
1.1.1 <i>Beispiel 1: Eine Möbelfabrik</i> .....	4
1.1.2 <i>Beispiel 2: Eine Erdölraffinerie</i> .....	6
1.1.3 <i>Beispiel 3: Ein Landwirtschaftsbetrieb</i> .....	7
1.2 KENNZEICHEN PRODUKTIVER SYSTEME .....	9
1.3 KLASSIFIKATION PRODUKTIVER SYSTEME .....	11
1.4 PRODUKTIONSWIRTSCHAFTLICHE ZIELE UND KENNZAHLEN ZUR ERFOLGSKONTROLLE .....	15
<b>2 PRODUKTIONS- UND KOSTENFUNKTIONEN .....</b>	<b>17</b>
2.1 PRODUKTIONSFUNKTIONEN UND IHRE BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG .....	17
2.1.1 <i>Grundlagen zum Modellverständnis der Kostentheorie</i> .....	17
2.1.2 <i>Eine einfache Produktionsfunktion</i> .....	18
2.1.3 <i>Die Bedeutung der Produktionsfunktionen</i> .....	20
2.2 KOSTENTHEORIE GANZ KURZ .....	21
2.2.1 <i>Kostentheorie, Kostenbegriff, Kostenfunktion</i> .....	21
2.2.2 <i>Kosteneinflußgrößen der Produktion</i> .....	24
<b>3 DIE PRODUKTIONSFUNKTIONEN UND DIE VERBINDUNG ZUR PRAXIS .....</b>	<b>25</b>
3.1 DER EIN-PRODUKTFALL MIT ZWEI EINSATZFAKTOREN .....	26
3.2 MEHRSTUFIGE FERTIGUNG UND DIE ZUGEHÖRIGE KOSTENFUNKTIONEN .....	31
3.3 DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN TEILEDIREKTBEDARF, TEILEGESAMTBEDARF UND PRODUKTIONSFUNKTION .....	35
3.4 PRODUKTIONSFUNKTION BEI MEHRSTUFIGER MEHRPRODUKTFERTIGUNG .....	38
<b>4 WEITERE PRODUKTIONS- UND KOSTENFUNKTIONEN .....</b>	<b>41</b>
4.1 ERTRAGSGESETZLICHE PRODUKTIONS- UND KOSTENFUNKTIONEN .....	41
4.2 GUTENBERGS PRODUKTIONSFUNKTION UND ZUGEHÖRIGE KOSTENFUNKTIONEN .....	42
4.3 ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG .....	49
<b>5 DIE STRUKTURIEREN DER FERTIGUNGSDATEN IN EINER FERTIGUNGSDATENBANK .....</b>	<b>49</b>
5.1 DAS MENGengerüst .....	50
5.1.1 <i>Die Strukturierung von Artikeldaten</i> .....	51
5.1.2 <i>Die Strukturierung von Daten für Arbeitskräfte und Maschinen</i> .....	53
5.2 DIE STRUKTURIERUNG DER KOSTEN .....	56
<b>6 GRUNDLAGEN DER PRODUKTIONSPROGRAMMPLANUNG MIT DER LINEAREN PROGRAMMIERUNG .....</b>	<b>56</b>
6.1 EIN EINFACHES BEISPIEL UND SEINE GRAFISCHE LÖSUNG .....	56
6.2 DAS SIMPLEXVERFAHREN .....	60
6.3 DIE ÖKONOMISCHE INTERPRETATION DER GRÖßEN DES SIMPLEXTABLEAUS .....	64
<b>7 ALTERNATIVER EINSATZ VON SIMULATIONSSOFTWARE .....</b>	<b>68</b>
7.1 EIN EINFACHES BEISPIEL MIT SLAM BZW. AWESIM .....	70
7.2 DIE ÖKONOMISCHE INTERPRETATION DER GRÖßEN AUS DEN SLAM-STATISTIKEN .....	72
<b>8 PRODUKTIONSFUNKTION, LINEARE PROGRAMMIERUNG VERSUS SIMULATION .....</b>	<b>75</b>
<b>9 LITERATUR .....</b>	<b>75</b>

## **7 Alternativer Einsatz von Simulationssoftware**

Bis zu diesem Kapitel sind wir davon ausgegangen, daß es sich bei unseren Abbildern um lineare Zusammenhänge handelt. Werden die betrieblichen Problemsituationen aber komplexer können sogenannte strukturerhaltende Abbilder (formale Modelle) mit dem beschriebenen Werkzeug nicht mehr sinnvoll erfaßt werden. D.h. traditionelle Vorgehensweisen sind in vielen Fällen nicht in der Lage, die komplizierten Zusammenhänge und das dynamische Verhalten betrieblicher Systeme realitätsnah zu erfassen und modellhaft abzubilden. Simulation ermöglicht durch die Erfassung der Zusammenhänge in prozeduralen Regeln eine realistische Abbildung des Geschehens. Auch der Einsatz von Software, z.B. SLAM oder AweSim (PRITSKER 1984 bis 1997) zur Lösung betrieblicher Produktionsplanungsprobleme entbindet nicht von einer strukturierten Vorgehensweise, um zum Erfolg zu gelangen.

Die Abbildung 46 zeigt die Stufen der Modellbildung und die Entwicklung von der Problemformulierung zum formalen Problem (System). In der Stufe 1 wird das reale System z. B. die Abteilungen eines Unternehmens, die an einer Produktion eines Produktes oder einer Produktgruppe beteiligt sind, analysiert und das Problem formuliert. Die vorangegangenen Kapitel haben dazu schon einiges gezeigt und diskutiert. Die benötigten Informationen über das reale System werden durch eine Analyse der Entwicklung und des Istzustandes in betrachteten Unternehmen, Teilen oder auch nur Fertigungsausschnitten erarbeitet. Danach sind die wesentlichen Elemente und der Zusammenhang der Beziehungen zwischen ihnen nachvollziehbar.

Eine Abgrenzung zu anderen Subsystemen in einem Unternehmenssystem ist ebenso erforderlich wie die Spezifizierung von stochastischen Elementen, von denen die einzelbetriebliche Entwicklung abhängen könnte. Soll beispielsweise nur eine Abteilung untersucht werden, müssen die Schnittstellen zu allen anderen relevanten Unternehmensbereichen herausgearbeitet werden.

In der Synthese werden die einzelnen Teilkomponenten zu einem einheitlichen Ganzen zusammengeführt. Danach kann in Stufe 2 die Abstraktion des Problems zu einem formalen Problem (System) erfolgen. In Stufe 3 wird das theoretische Konzept für das Simulationsmodell erstellt. Die Anfangsbedingungen für die Simulation und die Einflußgrößen auf den betrieblichen Wandel werden festgelegt. Als nächstes wird in dieser Phase das zuvor entwickelte formale Problem in eine Programmiersprache (Simulationssprache) umgesetzt. Das ist z.B. das Simulationstool AweSim, mit dem betriebliche Abläufe sehr schnell dargestellt werden können (rapid prototyping). Parallel verlaufen das Sammeln von Daten für die Simulation und Tests zur Kontrolle des Modells. Danach erfolgt in Stufe 4 die Modellverifikation und -validation aus experimentellen Modellläufen. Bei der Verifikation wird die Korrektheit der Modellstruktur und des Modellverhaltens überprüft.

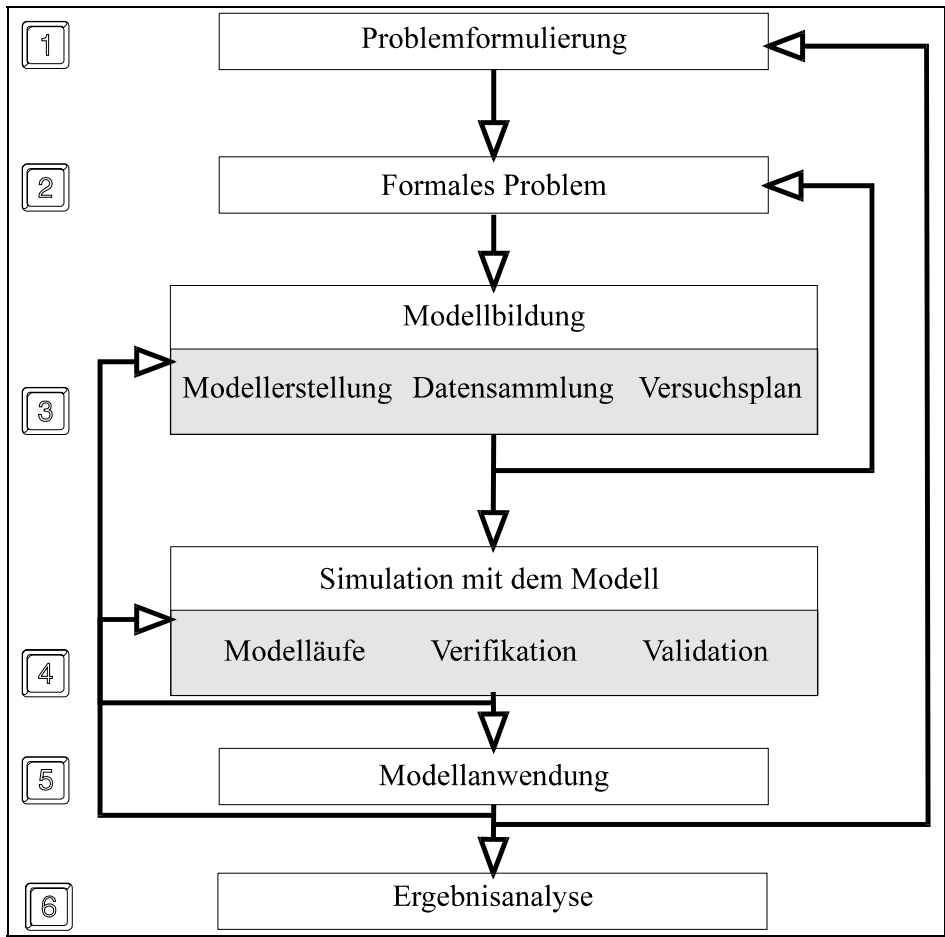


Abbildung 46: Die Stufen der Modellbildung

Es erfolgt eine Anpassung des Modells an das reale System (model fitting) durch Veränderungen solcher Parameter, die nur sehr ungenau oder überhaupt nicht in der Realität erfaßt werden können. Als die am weitesten verbreitete Auffassung über die Validitätsprüfung gilt der Outputvergleich zwischen Modell und realem System. Diese Minimalforderung an die Validität soll zunächst hier ausreichen.

Werden durch die Test- und Bewertungsverfahren Fehler im formalen System oder im Modell aufgedeckt, führt dies zu Anpassungen oder Änderungen des mathematischen Modells und des Computerprogramms bzw. des Simulationsprogramms.

Während der Modellanalyse werden Sensitivitätstests und Modellexperimente durchgeführt. Je nach Interpretation der Ergebnisse können Fehler vorkommen, die bereits bei der Systemanalyse entstanden sind. Spätestens in dieser Phase wird die Notwendigkeit einer sorgfältigen Analyse des betrachteten Systems mit all seinen Elementen und Beziehungen bestätigt.

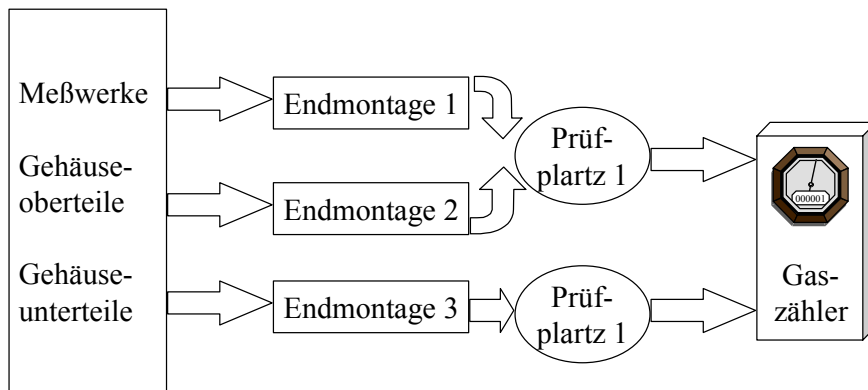
In der Stufe 5 kommt das Modell zum Einsatz, und es werden die Simulationsergebnisse dargestellt. Die Auswertung kann in Form von Funktionsverläufen, Tabellen, Diagrammen oder Matrizen erfolgen.

Die Interpretation der formalen Ergebnisse und die daraus resultierenden Schlußfolgerungen für das reale System werden in Phase 6 erarbeitet. Die Überprüfung der Realitätsnähe des Modells (goodness of fit) wird zusätzlich durch graphische Vergleiche oder statistische Tests unterstützt. Abhängig davon, welche Schlußfolgerungen aus den Modellergebnissen gezogen werden, erfolgt eine Bestätigung der Zielformulierungen oder aber eine Anpassung an einen veränderten Zielerreichungsgrad.

### **7.1 Ein einfaches Beispiel mit SLAM bzw. AweSim**

Das Beispiel stammt aus einer Abhandlung von WITTE et al. 1994. In einer Abteilung eines Unternehmens werden Gaszähler montiert und geprüft (Projektbegründung). Diese Abteilung soll in den nächsten Jahren automatisiert und gleichzeitig die Produktionskapazitäten verdoppelt werden. Die Entscheidungen über die organisatorischen Veränderungen und die Konfigurationen werden durch die Dynamik des Systems sehr erschwert. Ziel der Untersuchung ist, die beste Konfiguration zu finden mit einer optimalen Anzahl der notwendigen Betriebsmittel und Mitarbeiter.

In der folgenden Ist-Analyse werden die Bestandteile und Schnittstellen des geplanten Systems herausgearbeitet. Es zeichnet sich ab, daß die geplante vollautomatische Assemblierung aus der jetzigen Montage auszugliedern ist. Eine Systemgrenze ist zwischen Meßwerksfertigung und vollautomatischen Assemblierung zu sehen. Die neue Anlage kann mit einer Taktfrequenz von 15 Sekunden betrieben werden. Eine schematische Übersicht der vollautomatischen Assemblierung gibt die folgende Abbildung 47:



*Abbildung 47: Materialfluß in der vollautomatischen Assemblierung*

Da für die neue Anlage viel Informationen fehlen, insbesondere über Montagezeiten, werden in erster Näherung die Werte der alten Anlage genommen. Wie auch in der Linearen Programmierung geht man von einer zulässigen Ausgangslösung aus. Die weiteren Schritte sind natürlich grundsätzlich unterschiedlich. Weitere Ausführungen zur Anlage sollen aus Platzgründen unterbleiben. Unter Berücksichtigung der Verkaufszahlen müssen in der vollautomatischen Assemblierung 4 von 9 Gaszählern mit einem Stutzen ausgerüstet werden, die anderen 5 werden mit zwei Stutzen versehen. Aus organisatorischen Gründen werden zwei der drei Linien in einem Prüfplatz (Dichtheitsprüfung) zusammengefaßt. Auch hier wieder das Datenproblem, daß durch eine Zerlegung der Prüfvorgangs in 25 Einzelschritte vorstrukturiert wurde. Wenn alle Daten geprüft und zusammengestellt sind (empirische wie stochastische), findet die Modellerstellung statt. Das umfaßt Grobdia-gramme der Fertigungslinien, viele Verfeinerungen bishin zum AweSim-Netzwerk, das auf der Basis von Knoten und Kanten ein schnelles Prototyping ermöglicht. Abgebildet werden einzelne Ressourcen, der Materialfluß, alle Wahrscheinlichkeitsannahmen, die Bearbeitungszeiten sowie die Kapazitäten der Ressourcen für die geplanten Fertigungsinseln. Betriebsmittel und alle Ablageflächen werden als Ressourcen modelliert. Die Mitarbeiter des Systems üben Bearbeitungs- und Transporttätigkeiten aus. Auch die Mitarbeiter werden im System als Ressourcen abgebildet.

In den netzwerkorientierten Simulationsmodell bewegen sich Einheiten durch das Netz. Üblicherweise werden die in dem System zu bearbeitenden Teile als Einheiten betrachtet. Einheiten sind im Beispiel Meßwerke, Gehäuseober- und -unterteile. In der Simulation werden sie miteinander kombiniert, bis ein Gaszähler mit entsprechenden Eigenschaften entstanden ist. Ablaufhorizont für eine Simulation ist die Schicht mit entsprechenden Kalendern, die schon bei den anderen Verfahren der vorherigen Kapitel behandelt wurden. Nachfolgend ein Beispiel für ein Netzwerk:

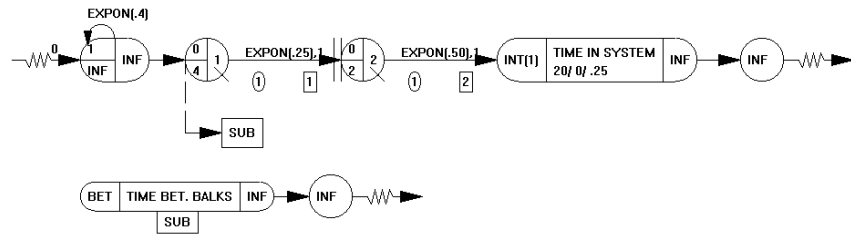


Abbildung 48: Beispiel Netzwerk

Bei der Validierung konnte natürlich nicht auf bestehende Anlagen-  
daten zurückgegriffen werden. Deshalb erfolgte die Validierung auf  
zwei Arten:

Es wurde die Endmontage in seinem bestehenden System modelliert,  
das den im Unternehmen bekannten Montagekonzept entspricht und  
dessen Datengrundlage enthält. Es sind sehr gute Übereinstimmungen  
des Modells mit der aktuellen Montageeinheit gefunden worden. Damit  
wurde nachgewiesen, daß das Modell in der Lage ist die Realität  
strukturerhaltend abbilden zu können.

In enger Zusammenarbeit mit den Verfahreningenieuren wurde das  
neue System modelliert, um eine laufende Plausibilitätskontrolle er-  
fahrener Experten zu haben.

## 7.2 Die ökonomische Interpretation der Größen aus den SLAM- Statistiken

In unterschiedlichen Experimenten wird nun die neue Anlage, die es  
zur Zeit nur als Computermodell gibt, getestet. Dazu werden drei  
Szenarien, die mit den Experten des Unternehmens erstellt wurden,  
mit dieser virtuelle Anlage aufgestellt. Es sind zuvor aufgeführten  
Rahmenbedingungen einzuhalten. Zusätzlich wird angenommen, daß  
die Versorgung der Fertigung mit Meßwerken keinen Engpaß darstellt.  
In der Abbildung 47 kann man sich nochmals einen Überblick über den  
Materialfluß verschaffen.

1. Das erste Szenario untersucht das System unter Verwendung des  
Arbeitsplanes zur Herstellung der Zwei-Endstück-Variante für alle  
drei Linien.
2. Das zweite Szenario, die Ein-Endstück-Variante, wurde gebildet,  
um das Verhalten des Systems unter der Produktion von Gaszäh-  
lern mit dem Arbeitsplan mit nur einem Endstück zu testen.
3. Das dritte Szenario testet die Anlage mit Arbeitsplänen für eine  
gemischte Produktion beider Gaszählervarianten.

Ziel ist die Ermittlung des Systemverhaltens und der Schwachstellen.  
Um das Systemverhalten präsentieren zu können, werden die  
Szenarien 1 und 2 in der Abbildung 49 dargestellt.

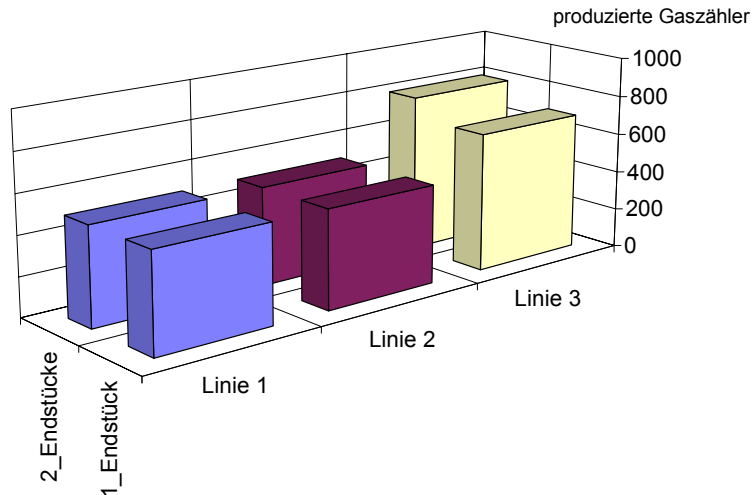


Abbildung 49: Ausbringungsmenge der Montagelinien

Die angegebenen Zahlen stammen aus den Reports des Simulationssystems AweSim und sind hier zur besseren Verständlichkeit graphisch aufbereitet. Es sind die unterschiedlichen Stückzahlen aus der Produktion dargestellt. Erwartungsgemäß sind die Linie 1 und 2 innerhalb eines Szenarios identisch. Überraschend ist allerdings, daß sich der Unterschied zwischen den Linien auf nur 5 Einheiten beläuft. Ganz anders bei Fertigungslinie 3, die eine um 11% verringerte Ausbringungsmenge bei Wechsel des Arbeitsplanes aufweist.

Vermutlich liegt bei Linie 1 und 2 der Engpaß in der Bearbeitungsstation „Dichtheitsprüfung“. Die dritte Linie hat dem Anschein nach keine Engpässe zu verzeichnen. Ein Blick auf die Ressourcenauslastung kann nun weitere Klarheit schaffen.

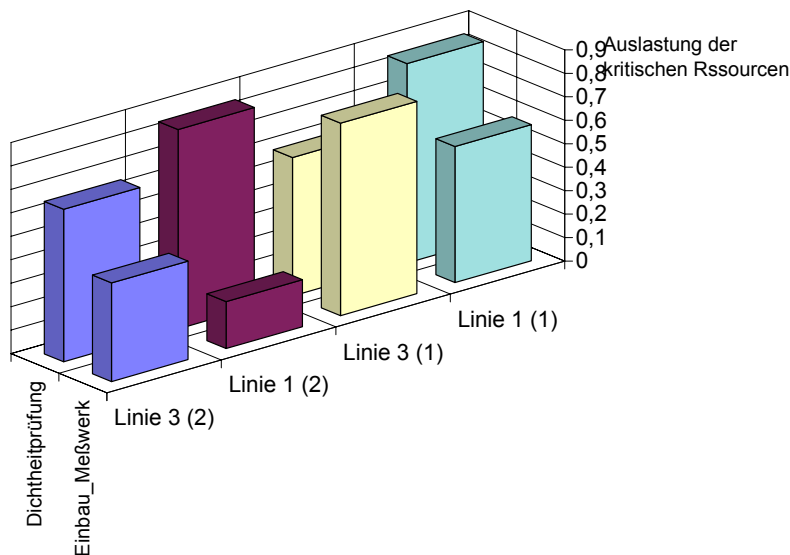


Abbildung 50: Auslastung der kritischen Ressourcen

In der Abbildung sind die Auslastung der Dichtheitsprüfung und die entsprechenden Werte für den Einbau der Meßwerte aufgetragen. Da sich die Ergebnisse des Einbaus des Meßwerkes der Linien 1 und 2 innerhalb eines Szenarios nicht unterscheiden, werden nur die Werte der Linie 1 und 3 der Szenarien Ein\_Endstück gekennzeichnet durch „(1)“ und Zwei\_Endstück gekennzeichnet durch „(2)“ dargestellt. Die Linie 1 und 2 nutzen die Dichtheitsprüfung gleichermaßen und verur-

sachen in beiden Szenarien eine hohe Auslastung von 87% (0,87). In der Linie 1 erhöht sich die Auslastung der Ressource Einbau\_Meßwerk im Szenario für ein Endstück von 27% auf 58%. Bei der Linie 3 erhöht sich die Auslastung dieser Ressource von 40% auf 78%, während die Ressource Dichtheitsprüfung von 68% auf 60% Auslastung reduziert wird. Das läßt auf Veränderungen des Engpaßverhaltens schließen.

Die Auslastung der Mitarbeiter ist nicht in der Graphik dargestellt. Sie beträgt im Szenario (2) für die ersten beiden Linien 80%, für die dritte sogar 89%. Der Mitarbeiter bei der Dichtheitsprüfung ist allerdings nur zu 36% ausgelastet!

Werden entsprechende Kostensätze zugrunde gelegt, können Entscheidungen über die relative Vorzüglichkeit der Anlagenszenarien getroffen werden.

*Lösungsvorschläge für das reale Problem:* Für den hier dargestellten Fall konnte nachgewiesen werden, daß die Neu-Anlagenkapazität die Zulieferraten der Meßwerke weit übersteigt (Taktfrequenz 15 Sekunden). Die Kombination von zwei Linien über eine Prüfstation scheint nicht sinnvoll, da die Gesamtleistung der Linie drei fast der restlichen Leistung entspricht. Folglich soll die gesamte Fertigung über zwei unabhängige Linien realisiert werden.

Mit dem Beispiel der Fertigungslinie 3 könnten zwei unabhängige Linien aufgebaut werden, die auch die geforderten Vorgaben des Verkaufs (44,4% Einstutzen und 55,6% Zweistutzen) einzuhalten ermöglichen. Dafür werden dann jeder Fertigungslinie mit eigenem Arbeitsplan drei Mitarbeiter zugeordnet.

Das verbesserte Modell: Jetzt wird ein Produktionssystem mit zwei unabhängige Fertigungslinien untersucht. Jede Linie hat einen eigenen Arbeitsplan, so daß nicht einmal Typwechsel notwendig ist. Das System läuft am Ende automatisch leer.

** STATISTICS FOR VARIABLES BASED ON OBSERVATION **					
	MEAN VALUE	STANDARD DEVIATION	COEFF.OF VARIATION	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE
ZYKLUS1	33.5	28.3	0.846	14.6	279
ZYKLUS2	41.5	94.7	2.28	14.6	2270
DLZ EIN	1540	383	0.249	171	2290
DLZ ZWEI	1160	308	0.265	141	1630

Abbildung 51: Ausgewählte Werte des Summary-Reports des Simulationssystems AweSim

Die in AweSim ermittelten Werte sind nahezu identisch mit denen der Linie 3. Neben den Durchlaufzeiten (DLZ) sind die Zykluszeiten Zyklus1 und Zyklus2 der entsprechenden Zähler angegeben. Aufgrund der begrenzten Anzahl der bereitgestellten Meßwerke werden insgesamt weniger Gaszähler fertiggestellt als in der vorherigen Untersuchung. Die Auslastung der Mitarbeiter der Fertigungslinie 1 beträgt 84% und der 2 77%.

Der Vorschlag die gesamte Endmontage über zwei Gruppen zu organisieren, wird durch die Simulationsergebnisse unterstützt. Es ist nachgewiesen, daß durch die beiden Fertigungslinien alle Meßwerke tatsächlich montiert werden können.



## 8 Produktionsfunktion, Lineare Programmierung versus Simulation

Wir haben gesehen, daß je nach Einsatzgebiet Lösungsansätze aus den entsprechenden Gebieten zu erwarten sind. Je schlechter sich die Produktionsstrukturen ermitteln lassen, desto mehr ist auf den Einsatz von Simulation zu setzen. Allerdings gibt es auch einen Zusammenhang zwischen dem Aufwand für die Lösung von Produktionsproblemen und dem Einsatz von Software-Werkzeugen. Dabei spielt oft der Einkaufspreis für die Software nur eine untergeordnete Rolle, denn die unternehmensinternen Kosten steigen oft stark an, um Probleme zu analysieren. Allerdings ist das Kosteneinsparungspotential durch den effizienten Einsatz solcher Software für ein intelligentes Produktionsdesign oft ein vielfaches. Bestimmte Unternehmensberatungsgruppen bedienen sich solcher Werkzeuge, um Produktions- und Fertigungsprobleme zu lösen.

Auf dem Softwaremarkt gibt es etwa 100 Softwareprodukte, die einen Beitrag zum Themenkomplex Produktion und Logistik liefern. Bestimmte Firmen und Firmengründer in Deutschland haben sogar den Sprung auf den US-Markt gestartet oder sind sogar einer von wenigen Anbietern.

Als Beispiel für die Vielfältigkeit der zum Thema vorliegenden Informationen eine Abfrage im Internet nach folgendem Schema: „Simulation near Software near Plant“ und der Ausschnitt des daraus resultierenden Ergebnis mit 55 Treffern:

