



Auslegungsplanung eines Fertigungskomplexes in einem mittelständigen Unternehmen unter Einsatz der Simulationstechnik (Industrieprojekt)

Claus-Gerold Grundig, Astrid Guhl

1 Problemstellung

Vor einem mittelständigen Unternehmen des Maschinenbaus stand die Investitionsaufgabe – Neubau eines modernen einstufigen Fertigungskomplexes zur hochrationellen Produktion von konstruktiv-technologisch unterschiedlichen Kleinteilen in den Stückzahlbereichen Großserien bis Massenfertigung.

Schon in einer frühen Planungsphase dieses Investitionsvorhabens wurde von dem Unternehmen erkannt, daß begründete Entscheidungshilfen zum Strukturierungs- und Investitionsprozeß dieses Fertigungskomplexes nur durch den Einsatz moderner Analyseinstrumente der Fabrikplanung – der Simulationstechnik – ermittelt werden können. Der Einsatz der Simulationstechnik ermöglicht experimentelle Untersuchungen z. B. zum Wechselverhalten von Produktionsprogramm und Fertigungskomplex, so daß das zeitliche und mengenmäßige Verhalten der Produkte und Ausrüstungen im realen Prozeßablauf frühzeitig erkennbar wird. D. h. schon im Planungsstadium wird im Simulator der „spätere“ Produktionsablauf experimentell nachgebildet. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird eine gezielte Auslegungsplanung des Fertigungskomplexes möglich bei Beachtung wirtschaftlicher und organisatorischer Aspekte. Erforderliche Investitionen, auftretende Engpässe, Freiräume für Füllproduktion, Kapazitätsgrenzen u. a. werden schon in einem frühen Planungsstadium ableitbar und stützen Strukturierungs- und Investitionsentscheidungen ab – Fehldimensionierungen auf Grund mangelnder Kenntnisse werden vermieden. Das Instrument der Simulationstechnik wird damit unmittelbar entscheidungs- und kostenwirksam – auch tritt zwangsläufig ein frühzeitiges Durchdringen der Systemabläufe ein, wodurch das funktionelle Verständnis für das Untersuchungsobjekt wächst. Die nachfolgend dargestellten Untersuchungen besitzen Grundsatzcharakter, d. h. stichprobenartige Experimente basierend auf vom Auftraggeber vorgegebenen Datensätzen (Produktsortimente/Ausrüstungen) wurden in einer fabrikplanungsmethodisch frühen Planungsphase durchgeführt. Die Experimentiererergebnisse liefern folglich vorausschauende Grundsatzaussagen, die unter den Aspekten des fabrikplanerischen Wandels der Bedingungen (Projektierungsfortschritt) sowie den Kriterien der Simulationsmodellbildung zu bewerten und umzusetzen sind.

Gemäß den Vorgaben des Auftraggebers wurden im Rahmen der Auslegungsplanung des Fertigungskomplexes folgende Problembereiche bei Einsatz der Simulationstechnik bearbeitet:

- Entwurf von Produktionsprogrammen (Szenarien) unterschiedlichen Umfanges (Stückzahlen) und Struktur (Produktmix)
- Auslegung des Materialflusses (Vernetzung und Dimensionierung der Ausrüstungen)
- Ermittlung von Durchsatzgrenzen der geplanten Produktionsprogramme durch den Fertigungskomplex (Engpässe, Pufferbildung)
- Untersuchungen zu Auslastungsgraden der Ausrüstungen
- Analyse von Staubildungen innerhalb des Fertigungskomplexes (Engpässe, Pufferbildungen)

Damit sind typische Fragestellungen der Auslegungsplanung angesprochen. Die Untersuchungen wurden im Rahmen von schrittweise lösungsverbessernden iterativ geordneten Analyse- und Experimentierkomplexen realisiert bei Zugrundelegung deterministisch definierter Simulationsmodelle. Die Vielzahl der realisierten Datenstrukturen der Simulationsexperimente ermöglichte vergleichende und optimierende Auswertungen zu Kenngrößen und Vorzugslösungen bei gezielten Parametervariationen.

Nachfolgend werden Untersuchungsablauf und Untersuchungsergebnisse eines abgeschlossenen Industrieprojektes (Technologietransfer) vorgestellt [1], [2]. Insbesondere wird eingegangen auf die spezielle Problemlage in klein- und mittelständigen Unternehmen (KMU) hinsichtlich des Einsatzes der Simulationstechnik, auf Prinzipien der Modellbildung, auf die Systematik des Experimentierablaufes sowie auf die Ergebnisumsetzung.

2 Simulationsuntersuchungen in klein- und mittelständigen Unternehmen

Der Einsatz der Simulationstechnik im Planungsablauf des Fertigungskomplexes entspricht den aktuellen Forderungen nach „dynamischer Fabrik- und Produktionssystemplanung“ (vgl. z. B. [3], [4]), durch die nachweislich im Unterschied zu Methoden rein statischer Fabrik- und Produktionssystemplanung deutlich veränderte bzw. realitätsbezogener Auslegungswerte ermittelt werden können, wie auch an Beispielen alternativ geplanter Systemlösungen nachweisbar ist [5], [6].

Werden die zu bearbeitenden Problemstellungen den entsprechenden allgemein bekannten Planungsphasen

Gedankt wird an dieser Stelle Herrn Dipl.-Ing. (FH) Hartrampf für seine Unterstützung bei der Generierung des Simulationsmodells.

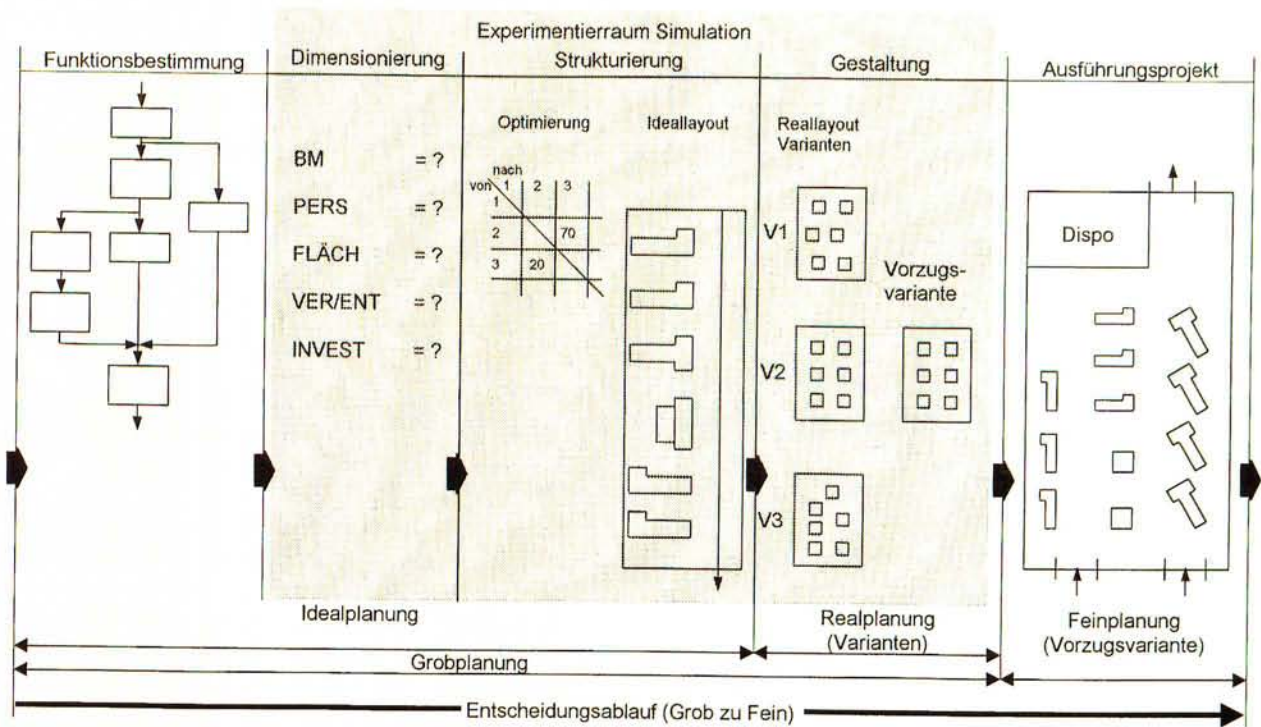


Bild 1: Simulationsrelevante Kernfunktionen der Fabrikplanungssystematik (schematisiert)

der Fabrikplanung (Fabrikplanungssystematik) zugeordnet, dann decken die Simulationsexperimente Inhalte der Kernfunktionen Dimensionierung, Strukturierung und Gestaltung im Rahmen der Ideal- und Realplanung ab – wie in **Bild 1** dargestellt. Damit wird gerade der Problembereich gestützt, bei dem Dimensionierungs-, Strukturierungs- und Gestaltungsentscheide auf Basis des Zeit- und Mengenverhaltens der Produkte und Ausrüstungen im dynamischen Prozeßablauf zu treffen sind.

Mit den Problemkomplexen des Industrieprojektes war ein typischer Untersuchungsraum für Simulationsexperimente gegeben – innovativ insofern, als das damit Aufgabenstellungen für ein typisch mittelständiges Unternehmen zu bearbeiten waren. Untersuchungen zur Einsatzverbreitung der Simulationstechnik zeigen, daß zwar in Bereichen der KMU simulationsrelevante Problemstellungen vorliegen, die Einsatzbreite allerdings nicht annähernd ausgeschöpft ist [7]. Vielmehr ist festzustellen – der Einsatz der Simulationstechnik in Großunternehmen (GU) ist auf Grund firmeninterner Kompetenzen ein übliches Planungsinstrument, in Bereichen der klein- und mittelständigen Unternehmen (KMU) liegen Einsatzdefizite vor, begründet oftmals durch Informationsmängel. Zu beachten ist, die Simulationstechnik wird in der Fachwelt als Wettbewerbsfaktor benannt [8], [9] bei beträchtlichen internationalen Wachstumsvoraussagen [10], so daß das Untersuchungspotential der KMU zwingend zu erschließen ist für Anwendungen der Simulationstechnik. Wird die allgemeine simulationsrelevante Problemlage von GU im Vergleich zu KMU näher betrachtet, sind allerdings Problem- und Zielunterschiede auszumachen, die für die Modellgestaltung und Simulationsstrategie von Bedeutung sind.

Großunternehmen (GU)

Problemlage (Regelfall)

- Produktbreite und (mehrstufige) Produktionssysteme – groß
- Materialfluß hochvernetzt (keine Transparenz)
- Produktein- und ausgangsströme relativ gut bekannt (langfristige Markt- und Vertriebsanalysen)

Untersuchungsziele (Regelfall)

- Optimierung Produktionssysteme bei Vergabe von Produktströmen

Klein- und mittelständige Unternehmen (KMU)

Problemlage (Regelfall)

- Produktbreite und Produktionssystem – klein
- Materialfluß gering vernetzt (hohe Transparenz)
- Produktein- und -ausgangsströme nahezu unbekannt (Unsicherheiten in mittelfristiger Markt- und Vertriebsentwicklung)

Untersuchungsziele (Regelfall)

- Optimierung (turbulenter) Produktströme im Wechselverhalten zum Produktionssystem

Erkennbar wird damit – die Variation von marktrelevanten Produktstrukturen in Wechselwirkung zum Produktionssystem steht in KMU im Vordergrund der Untersuchungen, während in den GU die Optimierung der Ausrüstungs-, Materialfluß- und Organisationsstrukturen dominant sind. Der gezielte Entwurf von Produktszenarien bzw. deren Variation (vgl. Pkt. 1) wird damit zum Ausgangspunkt des Untersuchungsablaufes auch im vorliegenden Projekt.



3 Untersuchungsablauf – Industrieprojekt

3.1 Zielsetzungen/Ausgangsdaten

Ausgehend von den in Punkt 1 definierten Problembe-
reichen standen beispielsweise folgende detaillierte
Fragestellungen im Mittelpunkt der Untersuchungen:

1. *Programmstruktur*

Wie sieht die Verteilungsstruktur der geplanten Jah-
resstückzahlen bzw. Teilquanten (Quartal/Monat)
unter Beachtung einer speziellen Produktions- und
Absatzstrategie aus?

2. *Ausrüstungsstruktur*

Anzahl notwendiger Bearbeitungsausrüstungen zur
Umsetzung der geplanten Jahresstückzahlen (Dimen-
sionierungsentscheide/Investitionsbedarfe)?

3. *Schichtfaktor*

Variationsmöglichkeiten der Ausrüstungsstrukturen
bei Veränderung des Schichtfaktors (Personalbedarfe)?

4. *Durchsatz*

Ist der Durchsatz in Abhängigkeit von der Ausrü-
stungsstruktur gesichert?

Wo liegen Durchsatzgrenzen für den Fertigungskom-
plex?

5. *Auslastung*

Wie entwickelt sich die Auslastung der Ausrüstungen
in Abhängigkeit von Anzahl und Schichtfaktor?

6. *Staubildung*

Wo kommt es zur Staubildung bzw. Warteschlangen-
bildung und wie muß demzufolge die Dimensionie-
rung der Puffer erfolgen?

7. *Losgrößen*

Welche Losgrößen sind zur homogenen Auslastung
des Fertigungskomplexes günstig?

Wie wirken sich Losgrößenvariationen auf den Ferti-
gungskomplex aus?

8. *Produktmix*

Wie sollte der Produktmix zur gleichmäßigen Ausla-
stung der Ausrüstungen zusammengestellt sein?

Auswirkungen von Produktmixvarianten auf den Fer-
tigungskomplex?

9. Durchlaufzeit

Mit welchen Durchlaufzeiten muß gerechnet werden
(Lieferzeitabschätzung)?

Deutlich werden die Breite und die Komplexität der Fra-
gestellungen – als wesentliche Bewertungskenngrößen
zur Beurteilung des Zeit-Mengenverhaltens des Ferti-
gungskomplexes wurden festgelegt:

- Durchsatz Produkte
- Auslastung Ausrüstungen
- Staubildung Produkte

Die wesentlichen Zielsetzungen der Untersuchungen
bestanden folglich darin, die dargestellten Fragestellun-
gen im Rahmen von gezielten Simulationsexperimenten
Lösungen zuzuführen, durch die Entscheidungen zur
Gestaltung und Ablauforganisation des Fertigungskom-
plexes unterstützt werden.

Bekannt waren dem Auftraggeber zu Projektbeginn fol-
gende Kenngrößen des geplanten Produktionssystems:

- Produkte (konstruktive Gestaltung)
- Sortimentstrukturen (Mix, Einschleusintervalle, Stück-
zahlbereiche)
- Fertigungstechnologien (Verfahren, Ausrüstungen,
Zeitvorgaben)
- Schichtsystem Fertigungskomplex (Zielgrößen)
- Durchsatzmindestgrößen (Umsätze)

Basierend auf diesen Vorgaben wurden folgende Aus-
gangsdaten definiert:

Produktionsprogramm

Basierend auf den angenommenen Absatzprogrammen
wurden Szenarien von Produktionsprogrammen entwor-
fen, wodurch Produktsortimente definiert werden bei
steigenden Stückzahl- bzw. Umsatzgrößen (Varianten).

- Szenario 1 – 1 Mio/Jahr
- Szenario 2 – 2 Mio/Jahr
- Szenario 3 – 6 Mio/Jahr
- Szenario 4 – 10 Mio/Jahr

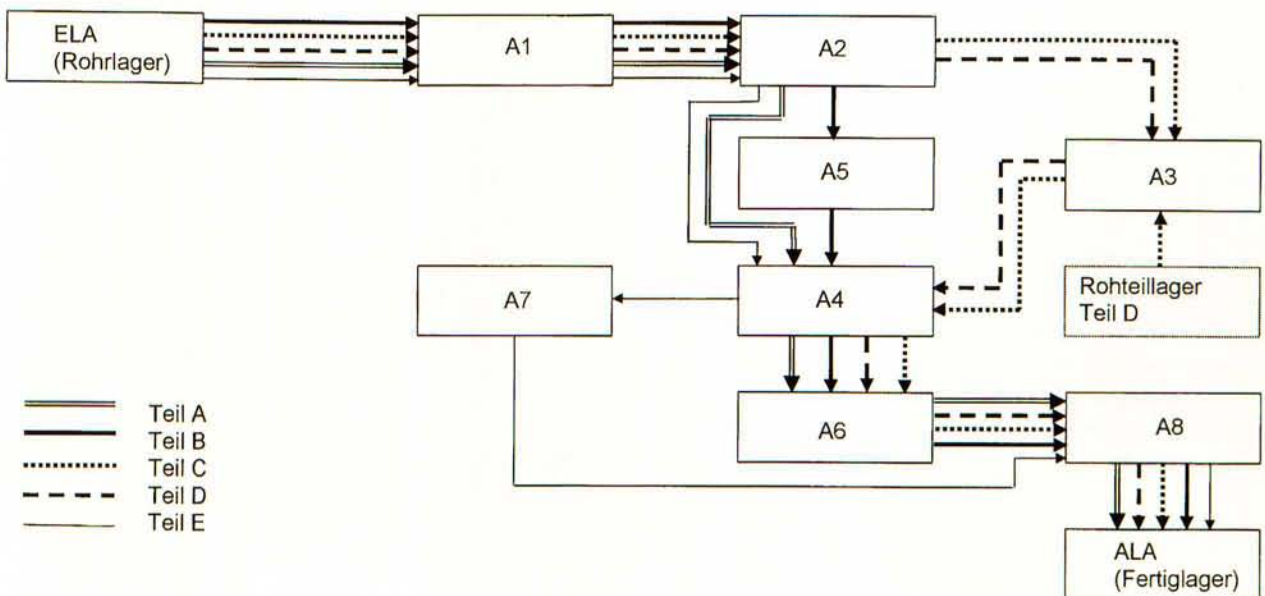


Bild 2: Funktionschema – Fertigungskomplex



Dabei gilt, Szenarien definieren die zeitparallele Produktion von Losen zusammengesetzt aus zwei Sortimenten. Sortiment I beinhaltet Kleinteile der Typen A, B, C, D; Sortiment II – bei doppelter Stückzahl gegenüber Sortiment I – beinhaltet Kleinteil Typ E.

Ausrüstungen/Fertigungstechnologien

Zur Realisierung der erforderlichen technologischen Bearbeitungsschritte sind 8 technologisch unterschiedliche Ausrüstungstypen (A1 bis A8) erforderlich. Die Fertigungstechnologie in diesem frühen Planungsstadium besaß notwendigerweise noch Grobcharakter. Allerdings basierte sie auf Abstimmungen mit den Ausrüstungslieferern. Vorgegeben waren damit Arbeitsvorgänge bzw. Arbeitsvorgangfolgen, Rüstzeitaufwände und Bearbeitungszeiten für die Teiletypen A bis E.

Funktionsschema

Das arbeitsplatzbezogene Funktionsschema des Fertigungskomplexes wurde aus dem Operationsfolgediagramm der Teiletypen A bis E abgeleitet und ist in **Bild 2** dargestellt. Es ermöglicht prinzipielle Aussagen zur Logik des Produktionsablaufes und zur materialflußseitigen Vernetzung. Deutlich wird, daß im Fertigungskomplex ein gleichgerichteter, nahezu linienorientierter, technologisch begrenzt unterschiedlicher Materialfluß zu erwarten ist. Typische Modellmerkmale von Problemstellungen in Bereichen der KMU werden damit erkennbar (vgl. Pkt. 2).

Technologisch-organisatorische Vorgaben

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden hier präzisierende Festlegungen getroffen u. a. zur Produktionstechnologie, zur Lager- und Puffergestaltung sowie zum Einsatz von Förder- und Palettensystemen. Prozeßstörungen wurden ausgeklammert.

3.2 Entwurf Simulationsmodell

Die Untersuchungen erfolgten unter Einsatz des am Labor für Fabrikplanung für Aufgaben der Lehre [11] und angewandten Forschung installierten Fabrikplanungssystems MOSYS [12], [13] vom Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) Berlin. Entsprechend den Modellbildungsprinzipien MOSYS und den in Pkt. 3.1 dargestellten Untersuchungszielen wird das Simulationsmodell des Untersuchungsobjektes im wesentlichen beschrieben durch das MOSYS-Funktionsmodell sowie durch MOSYS-Funktionsobjekte (Objektliste/MOSYS-Arbeitspläne).

Das in **Bild 3** dargestellte MOSYS-Funktionsmodell des Fertigungskomplexes charakterisiert die erforderlichen Grundfunktionen einschließlich der Materialflußverbindungen und ist abgeleitet von dem in Bild 2 entwickelten Funktionsschema. Deutlich erkennbar sind neben den Ausrüstungstypen A1 bis A8 und dem Transportsystem TS die eingebauten Vor- und Nachpuffer sowie Lagerarten (ELA, ALA), so daß Staubildungen im Modell nachgebildet werden können.

Die Funktionsobjekte (Produkte) werden modelliert durch die Definition einer Objektliste in Verbindung mit einem Einlastyp. Festgelegt wurde „Liste“ (deterministische Vorgabe Einlastzeitpunkte) sowie spezielle MOSYS-Arbeitspläne je Teiletyp.

Basierend auf Szenarien der Produktionsprogramme (vgl. Pkt. 3.1) wurde eine losgrößenorientierte Strukturierung je Teil und Szenario auf Basis der Bildung wirtschaftlicher Losgrößen (nach ANDLER) vorgenommen. Damit wurde für jedes Szenario ein nahezu identischer, begründeter Produkt- und Stückzahlmix quartalsbezogen nachgebildet und so die zeitparallele Einschleusung und Produktion der Lose konstruiert.

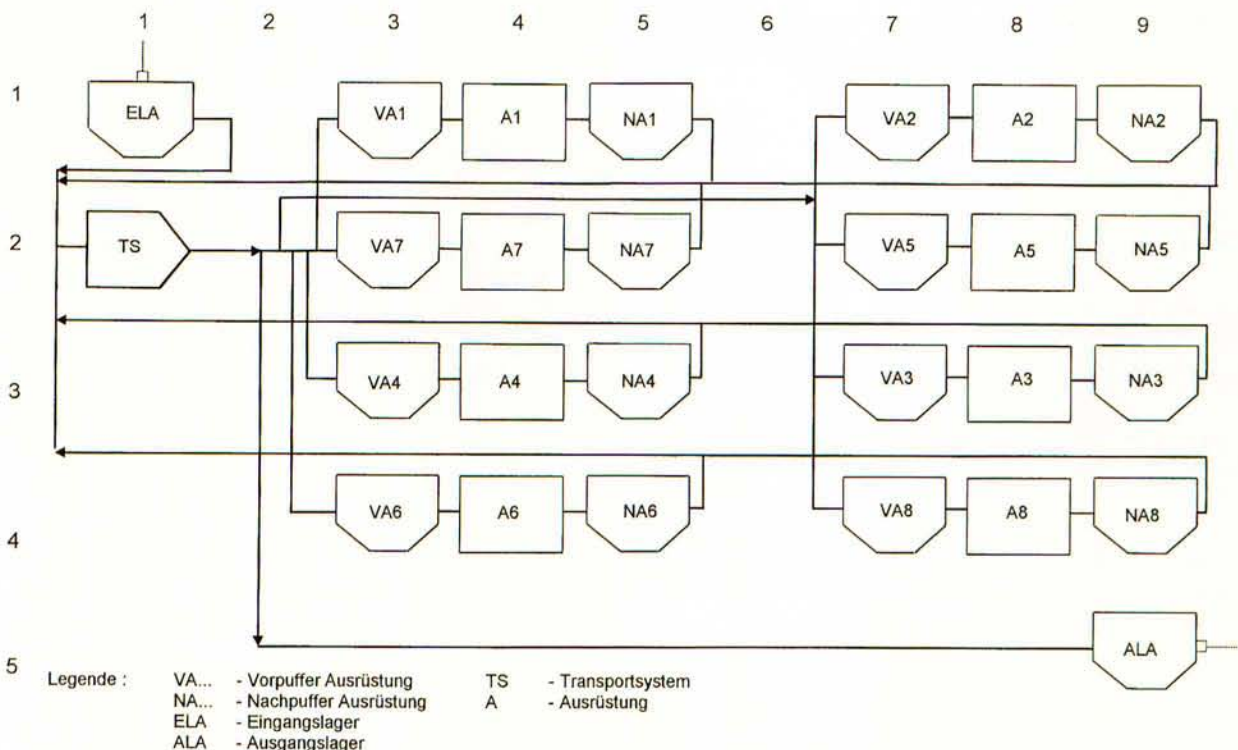


Bild 3: MOSYS-Funktionsmodell – Fertigungskomplex



- Weitere Festlegungen zur Modellmarkierung:
- Eingrenzung der Auswertungsintervalle auf ein Quartal
 - Einschwingphase bei Auswertung der Zeitgrößen ausgeklammert
 - Warteschlangenabbau Vorpuffer – FCFS-Regel
 - Warteschlangenabbau Nachpuffer – Sofortabtransport
 - Lager (ELA/ALA) – keine Kapazitätsbegrenzung
 - Transportprozeß – ein Transportvorgang = 1 Los (u. U. mehrere Behälter), Transportzeit für Leerfahrt bzw. Lastfahrt jeweils 3 min = konstant

3.3 Simulationsstrategie

Die Gestaltung der Simulationsstrategie umfaßte Festlegungen zum Simulations- bzw. Experimentierablauf, insbesondere dabei zu Ausgangsbedingungen (Basisvarianten), Experimentierreihenfolgen, Akzeptanzbereichen sowie zu Parametervariationen basierend auf den gesetzten Untersuchungszielen.

Die vorzunehmenden Simulationsuntersuchungen wurden aufgesetzt auf Basisvarianten der Ausrüstungsstrukturen. Diese wurden je Szenario entsprechend den Prinzipien statischer Fabrikstrukturplanung durch kumulative Hochrechnungen ermittelt und definieren Ausrüstungsanzahlen je Ausrüstungstyp in Abhängigkeit des Schichtfaktors (Dimensionierungsentscheide). Durch Vorgabe von Basisvarianten wird der Suchraum zur Findung hinreichend positiver Lösungen bewußt und gezielt eingeschränkt (Verkleinerung Experimentierfeld). Der anschließende Versuchslauf der Experimente ist in **Bild 4** verdeutlicht.

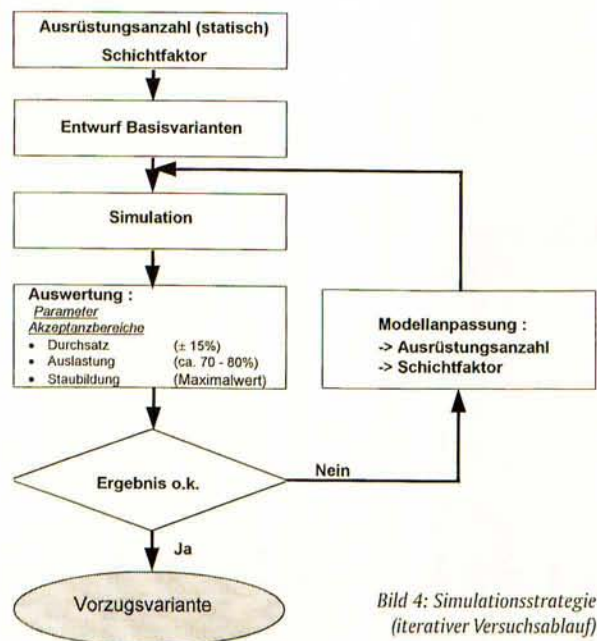
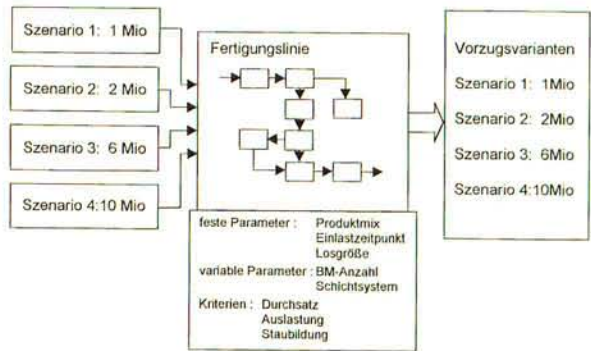


Bild 4: Simulationsstrategie (iterativer Versuchsablauf)

Erkennbar ist, die Basisvarianten werden szenarienbezogen experimentell getestet gemäß Pkt. 3.1 hinsichtlich der Hauptkenngrößen (Durchsatz, Auslastung, Staubbildung). Sind gesetzte Akzeptanzbereiche zufriedenstellend, wird die Testvariante zur Vorzugsvariante, andernfalls werden Ausrüstungsanzahl und Schichtfaktor gezielt variiert und ein neuer Simulationslauf wird gestartet (iterativer Experimentierlauf).

Entsprechend den Untersuchungszielen des Projektes, waren die in **Bild 5** schematisiert dargestellten zwei unterschiedlichen Experimentierfelder zu realisieren.

Experimentierfeld A : Anpassung Fabrik an PP



Experimentierfeld B : Anpassung PP an Fabrik

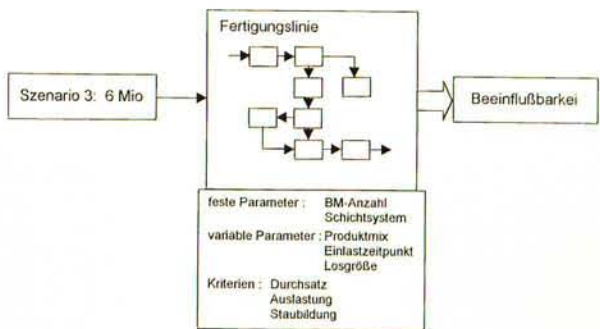


Bild 5: Experimentierfelder Simulationsuntersuchungen

Experimentierfeld A

Anpassung Fabrik (Fertigungskomplex) an Produktionsprogramm (Szenario)

Fabrik → PP

Experimentierfeld B

Anpassung Produktionsprogramm (Szenario) an Fabrik (Fertigungskomplex)

PP → Fabrik

Unter Experimentierfeld A gilt, daß für ein zu realisierendes Produktionsprogramm ein optimales Fabrik- bzw. Produktionssystem gesucht ist, womit typische Fragestellungen der Fabrikplanung getroffen sind.

In den Projektuntersuchungen wurden gemäß Bild 4 zunächst für jedes Szenario Vorzugsvarianten bezüglich der Untersuchungsschwerpunkte Durchsatzsicherung, Auslastung und Staubbildung durch Variation der Parameter Betriebsmittelanzahl und Schichtsystem gesucht, wobei die Sicherung des Durchsatzes primär entscheidend für die Auswahl der Vorzugsvarianten war. Die Parameter Produktmix, Einlastzeitpunkt und Losgröße blieben dabei konstant.

Unter Experimentierfeld B gilt, daß für ein vorhandenes (quasi statisches) Fabrik- bzw. Produktionssystem ein optimales Produktionsprogramm gesucht ist, womit typische Fragestellungen des Fabrikbetriebes (Einsatz PPS-Techniken) berührt sind.

Dieses Experimentierfeld beinhaltet bei vorliegendem Projekt Untersuchungen zu Einflußmöglichkeiten der variablen Parameter, z. B. Produktmix, Einlastzeitpunkte und Losgrößen, auf die zuvor ermittelten Vorzugs-



varianten dargestellt am Beispiel des Szenarios 3. Die die Vorzugsvariante charakterisierenden Parameter Betriebsmittellanzahl und Schichtsystem wurden dabei als konstant angenommen. Bewertungskriterien bildeten wieder die zuvor genannten Untersuchungsschwerpunkte.

3.4 Untersuchungsergebnisse

Eine Gesamtübersicht der Vielzahl der durchgeführten Experimente ist in **Tafel 1** bei Zuordnung zu den Experimentierfeldern A und B dargestellt.

| Exp. Nr. | Szenario | varierte Parameter | feste Parameter | Ergebnisse | Bemerkung |
|----------|------------|--------------------------|--|--|---------------------|
| 1 | 1 (1 Mio) | i / s | - Losgröße - Liste (Mix, Einlastzeitpunkt) - Prio (FCFS) | - Durchsatz - Auslastung - Staubbildg. | Experimentierfeld A |
| 2 | 2 (2 Mio) | i / s | - Losgröße - Liste (Mix, Einlastzeitpunkt) - Prio (FCFS) | - Durchsatz - Auslastung - Staubbildg. | |
| 3 | 3 (6 Mio) | i / s | - Losgröße - Liste (Mix, Einlastzeitpunkt) - Prio (FCFS) | - Durchsatz - Auslastung - Staubbildg. | |
| 4 | 4 (10 Mio) | i / s | - Losgröße - Liste (Mix, Einlastzeitpunkt) - Prio (FCFS) | - Durchsatz - Auslastung - Staubbildg. | |
| 5 | 3 (6 Mio) | Liste (Mix) | - i / s - Losgröße - Liste (Einlastzeitpunkt) - Prio (FCFS) | - Durchsatz - Auslastung - Staubbildg. | Experimentierfeld B |
| 6 | 3 (6 Mio) | Liste (Einlastzeitpunkt) | - i / s - Losgröße - Liste (Mix) - Prio (FCFS) | - Durchsatz - Auslastung - Staubbildg. | |
| 7 | 3 (6 Mio) | Losgröße | - i / s - Liste (Mix, Einlastzeitpunkt) - Prio (FCFS) | - Durchsatz - Auslastung - Staubbildg. | |

Tafel 1: Gesamtübersicht Experimentierfelder A und B

Die Simulationsexperimente gliedern sich in sieben Experimentierpakete. In den Paketen eins bis vier werden Untersuchungen zu den jeweiligen Szenarien mit dem Ziel durchgeführt, eine Vorzugsvariante je Szenario zu bestimmen. Die Experimentierpakete fünf bis sieben beinhalten die Untersuchung von Einflußparametern auf die zuvor ermittelten Vorzugsvarianten.

Nachfolgend werden aus der Vielzahl der durchgeführten Experimente [1], [2] einige ausgewählte Ergebnis-komplexe vorgestellt.

Experimentierfeld A: Anpassung Fabrik an PP

Entsprechend der unter Punkt 3.3 erläuterten Simulationsstrategie werden ausgehend von Firmenvorgaben zunächst Basisvarianten der Ausrüstungsstrukturen entworfen, die die Grundlage der nachfolgenden Simulationsvarianten bilden. Am Beispiel Szenario 2 (2 Mio/a) und Szenario 4 (10 Mio/a) sollen Ergebnisse vergleichend betrachtet und bewertet werden.

Szenario 2

Bild 6 zeigt eine Gesamtübersicht der Simulationsvarianten zu Szenario 2. Die Ergebnisse der statischen Fabrikstrukturplanung (Basisvariante) weichen zunächst hinsichtlich der Wahl des Schichtfaktors von den Firmenvorgaben ab.

Im Ergebnis der Simulation der Basisvariante ergeben sich:

- Durchsatzsicherung gegeben (100 %)
- Mäßige Gesamtauslastung der Fertigungslinie (62 %)
- Relativ geringe Staubbildung (außer A1: Eingangs-arbeitsplatz)

Zur Verbesserung der Gesamtauslastung der Fertigungslinie (Anpassung Kapazitätsangebot an Kapazitätsbedarf) wurde mit dem Schichtfaktor operiert (gezielte Herabsetzung). Die nachfolgend durchgeführte Simulation ergab folgende Auswertung:

- Durchsatzsicherung nicht gegeben (60 %) -> verschlechtert
- gute Gesamtauslastung der Fertigungslinie (84 %) -> verbessert
- relativ geringe Staubbildung (außer A1: Eingangs-arbeitsplatz) -> leicht erhöht

| Szenario 2 2 Mio Stk/a Ausrüstung | Vorgabe Firma | | Basisvariante | | Simulationsvariante 1 | | | Simulationsvariante 2 -> Vorzugsvariante | | | | | | | | | |
|---|---------------|---|---------------|---|-----------------------|-------------|---------------|--|------|----------------|-------------|---------------|----|------|----------------|-------------|---------------|
| | i | s | i | s | Auslastung [%] | Stau [Lose] | Durchsatz [%] | i | s | Auslastung [%] | Stau [Lose] | Durchsatz [%] | i | s | Auslastung [%] | Stau [Lose] | Durchsatz [%] |
| A1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 61 | 46 | 100 | 1 | 1 | 91 | 46 | 60 | 1 | 1 | 91 | 46 | 85 |
| A2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 63 | 4 | | 1 | 3->2 | 94 | 4 | | 1 | 2 | 94 | 4 | |
| A3 | 1* | 2 | 1* | 1 | 52 | 1 | | 1* | 1 | 74 | 1 | | 1* | 1 | 74 | 1 | |
| A4 | 1* | 2 | 1* | 3 | 65 | 4 | | 1* | 3->2 | 92 | 4 | | 1* | 2 | 92 | 4 | |
| A5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 67 | 1 | | 1 | 1 | 80 | 1 | | 1 | 1 | 80 | 1 | |
| A6 | 1 | 2 | 1 | 2 | 54 | 2 | | 1 | 2->1 | 84 | 7 | | 1 | 1->2 | 43 | 1 | |
| A7 | 1 | 2 | 1 | 1 | 78 | 5 | | 1 | 1 | 91 | 5 | | 1 | 1 | 91 | 5 | |
| A8 | 1 | 2 | 1 | 1 | 56 | 1 | | 1 | 1 | 62 | 1 | | 1 | 1 | 61 | 1 | |
| Ø | | | | | 62 | | | | | 84 | | | | | 78 | | |

i = Ausrüstungsanzahl s = Schichtfaktor * = Kapazitätsstelle

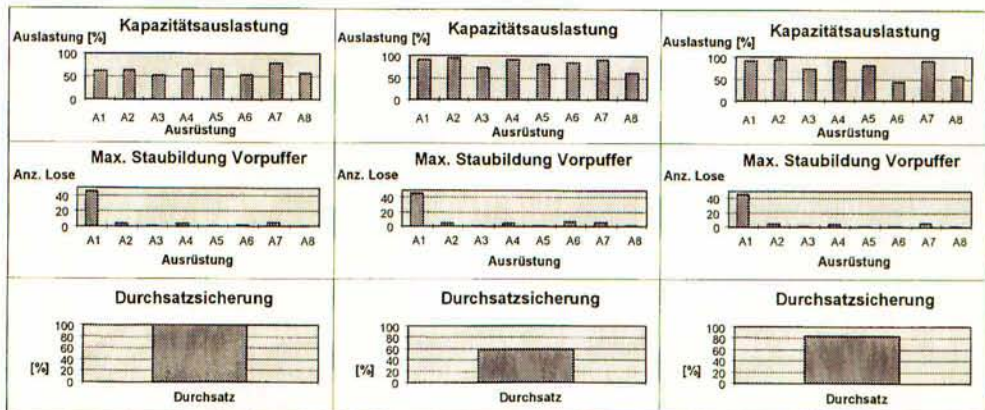


Bild 6: Simulationsvarianten Experimentierfeld A – Szenario 2 –



Da die Durchsatzsicherung als primärer Untersuchungsschwerpunkt festgelegt ist, wurde der Schichtfaktor an einer stautintensiven Ausrüstung (A6) wieder gezielt erhöht. Die dadurch entstandene Simulationsvariante stellt – bei Akzeptanz einer nun geringeren Auslastung der Ausrüstung A6 – die Vorzugsvariante für dieses Szenario dar.

- Durchsatzsicherung gegeben (85 %) -> verbessert
- gute Gesamtauslastung der Fertigungslinie (78 %) -> leicht verschlechtert
- Relativ geringe Staubildung (außer A1: Eingangsarbeitsplatz) -> leicht verringert

Fazit: Die seitens der Firma gewählte Strategie eines einheitlichen 2-Schicht-Systems für alle Betriebsmittel erweist sich bereits in den Ergebnissen der statischen Fabrikstrukturplanung als nicht optimal. Dies bestätigen auch die nachfolgend durchgeführten Simulationsexperimente. So ist es ausreichend, die Ausrüstungen überwiegend im 1-Schicht-System zu betreiben. Die Festlegung des Schichtfaktors wirkt sich nachhaltig auf den Personalbedarf innerhalb der Fertigungslinie aus (Annahme: 1 Werker bedient 1 Maschine) und beeinflusst so die Personalkosten.

Deutlich werden auch die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der statischen Fabrikstrukturplanung und der eigentlichen Simulation (hier Beachtung der Dynamik des Produktionslaufes).

Hervorzuheben ist an diesem Beispiel die deutlich werdende Gegenläufigkeit der Planungsziele ‚Maximierung Auslastung‘ – ‚Minimierung Staubildung‘ (Durchsatzsicherung), in der Fachliteratur bekannt als „Dilemma der Prozeßablaufplanung“.

Bei einer guten Gesamtauslastung der Fertigungslinie (Simulationsvariante 1) ist der Durchsatz nicht gewährleistet. Durch Erhöhung des Kapazitätsangebotes infolge der Schichtfaktoränderung ist die Durchsatzsicherung nur zu Lasten einer verschlechterten Gesamtaus-

lastung zu erreichen (Simulationsvariante 2). D. h. die Durchsetzung des Planungszieles ‚Durchsatzsicherung‘ ist nur bei gleichzeitiger Zulassung von begrenzten Stillstandszeiten der Ausrüstungen möglich.

Szenario 4

Bild 7 zeigt eine Gesamtübersicht der Simulationsvarianten zu Szenario 4. Zunächst weichen die Ergebnisse der statischen Fabrikstrukturplanung (Basisvariante) wieder von den Firmanvorgaben ab – hinsichtlich Betriebsmittelanzahl und Schichtfaktor. Im Ergebnis der Simulation der Basisvariante ergeben sich:

- Durchsatzsicherung gegeben (87 %)
- gute Gesamtauslastung der Fertigungslinie (80 %)
- relativ geringe Staubildung (außer A1: Eingangsarbeitsplatz)

Die Möglichkeit einer weiteren Verbesserung der Gesamtauslastung wird zunächst durch Änderung der Betriebsmittelanzahl (gezielte Herabsetzung) angestrebt; d. h. weniger Ausrüstungen. Die Simulation ergab:

- Durchsatzsicherung nicht gegeben (74 %) -> verschlechtert
- gute Gesamtauslastung der Fertigungslinie (82 %) -> leicht verbessert
- relativ geringe Staubildung (außer A1: Eingangsarbeitsplatz) -> leicht erhöht

Zur Sicherung des Durchsatzes war eine erneute Änderung von Betriebsmittelanzahl und Schichtfaktor notwendig. Insbesondere an den Eingangsarbeitsplätzen A1 und A2 wurde dadurch das Kapazitätsangebot erhöht und der für die Fertigungslinie notwendige Materialfluß gewährleistet. Das Ergebnis der Simulation ist:

- Durchsatzsicherung gegeben (92 %) -> verbessert
- sehr gute Gesamtauslastung der Fertigungslinie (85 %) -> leicht verbessert
- Mäßige Staubildung (außer A1: Eingangsarbeitsplatz) -> erhöht

| Szenario 4 10Mio Stk/a Ausrüstung | Vorgabe Firma | | Basisvariante | | Simulationsvariante 1 | | | Simulationsvariante 2 -> Vorzugsvariante | | | | | | | | | |
|---|---------------|---|---------------|---|-----------------------|-------------|---------------|--|---|----------------|-------------|---------------|------|------|----------------|-------------|---------------|
| | i | s | i | s | Auslastung [%] | Stau [Lose] | Durchsatz [%] | i | s | Auslastung [%] | Stau [Lose] | Durchsatz [%] | i | s | Auslastung [%] | Stau [Lose] | Durchsatz [%] |
| A1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 96 | 110 | 87 | 1 | 3 | 96 | 110 | 74 | 1->2 | 3->2 | 72 | 108 | 92 |
| A2 | 6 | 2 | 4 | 3 | 77 | 2 | | 4->3 | 3 | 98 | 11 | | 3->4 | 3 | 77 | 11 | |
| A3 | 2* | 2 | 1* | 3 | 83 | 4 | | 1* | 3 | 76 | 2 | | 1* | 3 | 93 | 6 | |
| A4 | 6* | 2 | 4* | 3 | 75 | 2 | | 4* | 3 | 72 | 1 | | 4* | 3 | 77 | 5 | |
| A5 | 2 | 2 | 1 | 3 | 89 | 3 | | 1 | 3 | 84 | 1 | | 1 | 3 | 98 | 4 | |
| A6 | 3 | 2 | 2 | 3 | 76 | 3 | | 2 | 3 | 72 | 2 | | 2 | 3 | 86 | 3 | |
| A7 | 2 | 2 | 2 | 3 | 62 | 1 | | 2->1 | 3 | 89 | 11 | | 1->2 | 3->2 | 88 | 11 | |
| A8 | 4 | 2 | 1 | 3 | 85 | 4 | | 1 | 3 | 68 | 2 | | 1 | 3 | 85 | 3 | |
| Ø | | | | | 80 | | | | | 82 | | | | | 85 | | |

i = Ausrüstungsanzahl s = Schichtfaktor * = Kapazitätsstelle

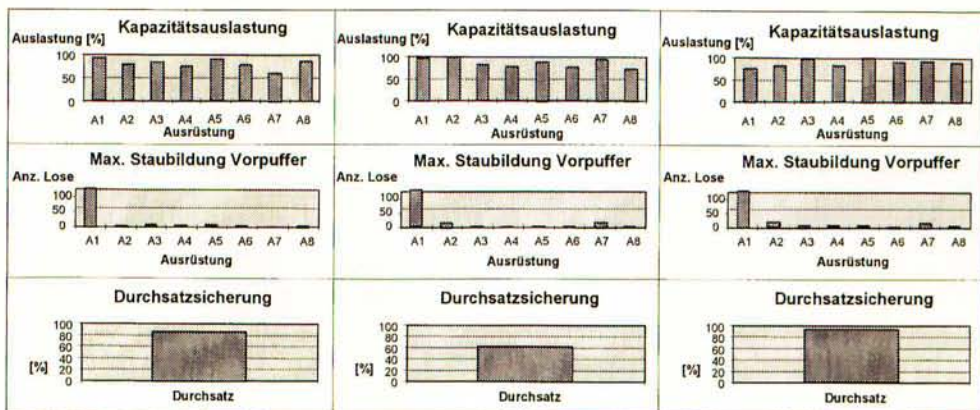


Bild 7: Simulationsvarianten Experimentierfeld A – Szenario 4 –



Fazit: Bereits die Ergebnisse der statischen Fabrikstrukturplanung zeigen durch Anwendung des 3-Schicht-Systems für alle Betriebsmittel die Möglichkeit der Betriebsmittelreduzierung gegenüber der Firmenvorgabe auf. Die nachfolgenden Simulationsexperimente bestätigen diese Annahme und dienen gleichzeitig der Feinabstimmung zwischen Betriebsmittellanzahl und Schichtsystem bei Beachtung der Systemdynamik.

Insgesamt kann durch die Anwendung der Simulation eine Herabsetzung der Betriebsmittellanzahl von 21 (Firmenvorgabe) auf 14 (Simulationsvariante 2) verzeichnet werden. Zwar wird für die Simulationsvariante 2 überwiegend das 3-Schicht-System zu Grunde gelegt. Die damit zunächst verbundenen Personalmehrkosten gegenüber der Firmenvorgabe (2-Schicht-System) werden aber durch die Einsparung von Anschaffungskosten (Investitionsaufwendungen) bei weitem ausgeglichen. So konnte eine Kostenersparnis von ca. 6 % ermittelt werden. Deutlich werden auch an diesem Simulationsbeispiel die Gegenläufigkeit der Planungsziele (Simulationsvariante 1 und 2), wie sie bereits unter dem Szenario 2 beschrieben wurden.

Zeitliches Belegungsschema Szenario 2 und Szenario 4

In **Bild 8** sind die zeitlichen Belegungsschemata (ZBS) der Vorzugsvarianten von Szenario 2 und 4 für das jeweils 1. Quartal des Planungszeitraumes in Form von GANTT-Diagrammen vergleichend gegenübergestellt. Deutlich erkennbar sind im ZBS der Produkteintritt, Produktionsbeginn und -ende, Belegung und Stillstände der Ausrüstungen, der Produktionsfortschritt, die Ein- und Ausschwingphasen des Produktionssystems sowie die zeitliche Verschiebung im Produktdurchsatz. Kernaussagen sind:

- Loseinschleusung erfolgt in beiden Fällen zu Beginn des Simulationszeitraumes.

- Bedingt durch die höhere Jahresproduktionsmenge in Szenario 4 (10 Mio/a) stehen zum Simulationsbeginn weitaus mehr Lose am Eingangsarbeitsplatz A1 bereit als bei Szenario 2 (2 Mio/a).
- Zeitanteil der Einschwingphase ist daher bei Szenario 4 aufgrund des höheren Kapazitätsangebotes an den Eingangsarbeitsplätzen A1/A2 deutlich geringer als bei Szenario 2.
- Bei Szenario 2 deutlich mehr Unterbrechungen innerhalb der Maschinenbelegung als bei Szenario 4 – hier relativ homogene Auslastungsverhältnisse je Arbeitsplatzgruppe.
- In beiden Fällen zeitverschobene Durchsatzsicherung, aber noch innerhalb der gesetzten Akzeptanzparameter.

Experimentierfeld B: Anpassung PP an Fabrik

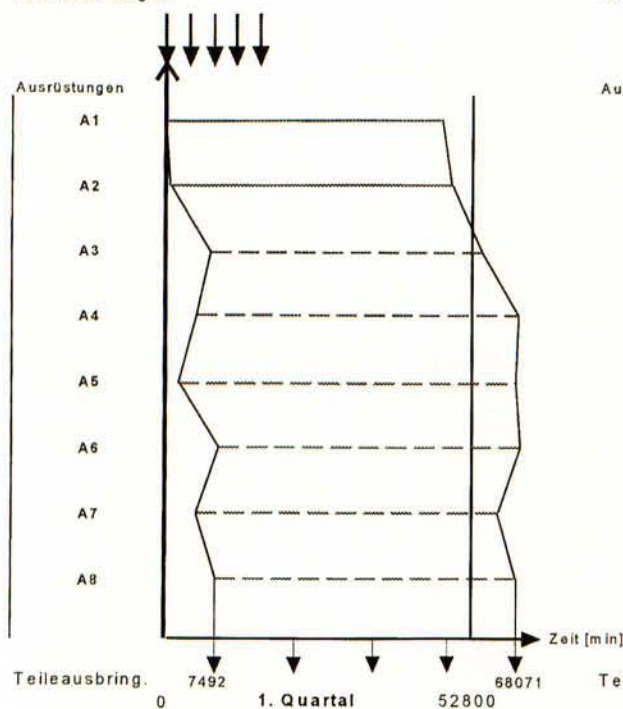
Nach Festlegung von Vorzugsvarianten je Szenario im Experimentierfeld A soll im Experimentierfeld B die Produktionsprogrammstruktur des Szenarios 3 (6 Mio/Jahr) gezielt beeinflusst werden. Dazu werden die Parameter wie folgt geändert:

- Produktmix: Variation der Auftragsreihenfolge (bisher: Produktmix 1 ... n)
- Einlastzeitpunkt: quartals- und wochenweise Einlastung (bisher: alle Aufträge zu Simulationsbeginn)
- Losgröße: einheitliche, variable Losgröße für gesamtes Teilesortiment (bisher: „Wirtschaftliche Losgröße“; je Teilesortiment unterschiedlich)

In Auswertung der dazu durchgeführten Simulationsläufe ergeben sich folgende Aussagen:

Vorzugsvariante Szenario 2 (2 Mio Stk/a)

Warteschlangen



Vorzugsvariante Szenario 4 (10 Mio Stk/a)

Warteschlangen

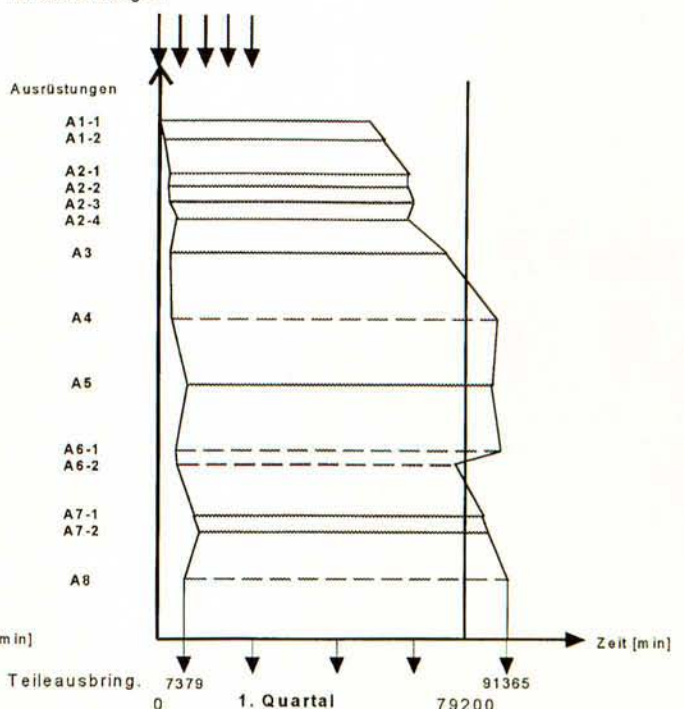


Bild 8: Zeitliches Belegungsschema (ZBS) Experimentierfeld A – Szenario 2 und Szenario 4 –



Änderung Produktmix

– keine wesentlichen Auswirkungen auf Kenngrößen

Änderung Einlastzeitpunkt

– bestimmt entscheidend die Vorpufferbelegung von Eingangsarbeitsplatz A1 durch Verteilung des Eingangstromes der Aufträge auf den Simulationszeitraum

– Durchsatzsicherung geringfügig verschlechtert

– Keine Auswirkung auf Auslastung

Änderung Losgröße

– einheitliche Losgrößen für Teilesortimente vermeiden „Blockierungen“ innerhalb des Fertigungsflusses

– durch die Wahl kleinerer Losgrößen Verbesserung von Durchsatzsicherung und Auslastung

– Beeinflussung der Vorpufferbelegung; insbesondere Eingangsarbeitsplatz A1 (Handlingaufwand)

– Losgrößenfestlegung wird damit Instrument der gezielten Belegungssteuerung

Vergleichende Gesamtergebnisse

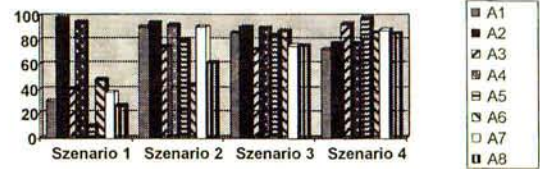
In den Bildern 9 und 10 sind vergleichende Simulationsergebnisse zwischen den Szenarien dargestellt (Vorzugsvarianten je Szenario).

In **Bild 9** wird deutlich, steigender Durchsatz führt zu tendenziell steigender Auslastung der Systeme bei Zunahme der Auslastungshomogenität sowie differenziertem Anstieg der Staubildung. Der erzielbare Durchsatz wird durch die Wirtschaftlichkeit der Systemauslastung sowie Staubildung (Durchlauf- und Lieferzeiten) begrenzt (Betriebskennlinienneneffekt). Erkennbar werden Grenzbereiche wirtschaftlichen Systembetriebes. Ab Szenario 3 ergeben sich Bereiche solcher Stückzahl bzw. Umsatz-

Durchsatzsicherung



Auslastung Ausrüstungen



Staubildung (Maximalwerte; ohne VA1)

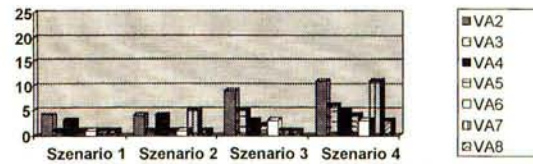


Bild 9: Auswertungsübersicht Simulationsergebnisse Experimentierfeld A (Bewertungskenngrößen)

strukturen, bei denen eine 2- bzw. 3-schichtige Ausrüstungsauslastung gesichert werden kann (vgl. Bild 10). In **Bild 10** sind szenarienbezogene formalisierte Ausrüstungs- und Kapazitätsstrukturen der durch Simulation ermittelten Vorzugsvarianten dargestellt. Damit

| Ausrüstg. | Szenario 1 (1 Mio Stk/a) | | Szenario 2 (2 Mio Stk/a) | | Szenario 3 (6 Mio Stk/a) | | Szenario 4 (10 Mio Stk/a) | |
|-----------|-----------------------------|---|-----------------------------|---|-----------------------------|---|------------------------------|---|
| | i | s | i | s | i | s | i | s |
| A1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| A2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 |
| A3 | 1* | 1 | 1* | 1 | 1* | 2 | 1* | 3 |
| A4 | 1* | 1 | 1* | 2 | 2* | 3 | 4* | 3 |
| A5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| A6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| A7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| A8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 |

* = Kapazitätsstelle

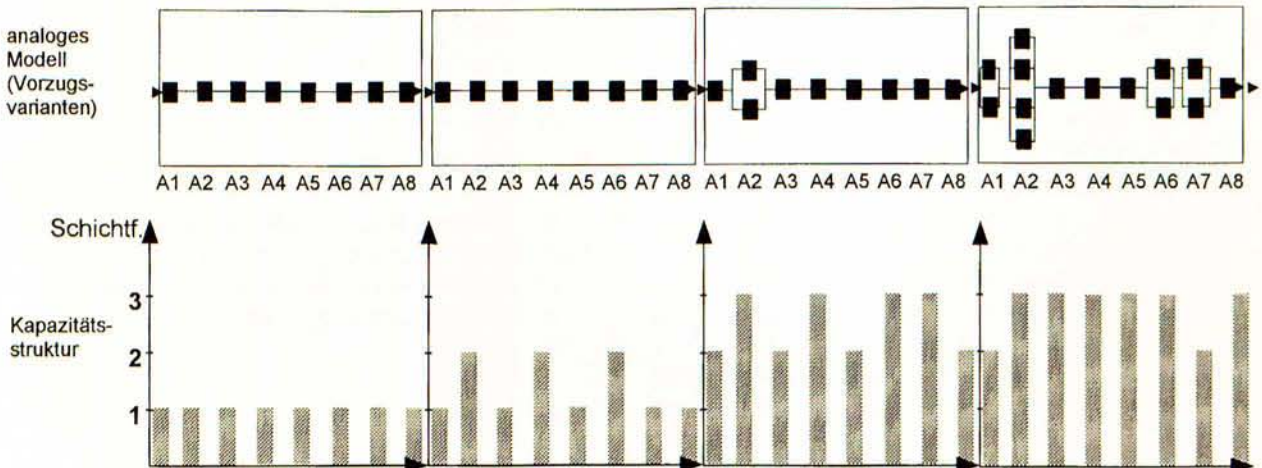


Bild 10: Auswertungsübersicht Simulationsergebnisse Experimentierfeld A (Ausrüstungsstruktur)



sind erste Richtgrößen zu erforderlichen Ausrüstungsanzahlen je Verfahrenstyp, Schichtfaktoren, Flächen- und Personalbedarfe erkennbar.

Weiterhin kann damit in Verbindung mit den ableitbaren Flächenbedarfen aus zu erwartender staubedingter Lagerung je Arbeitsplatzgruppe (vgl. Bild 9) sowie der vorliegenden Materialflußvernetzung (vgl. Bild 2) auf zweckmäßige Anordnungs- und Layoutstrukturen geschlossen werden.

Die Ergebnisse zeigen, daß durch die Simulationsexperimente eine Vielzahl von Aussagen ermittelt wurden, durch die der Systementwurf im Rahmen des Planungs- und Projektierungsablaufes qualifiziert abgestützt wird.

3.5 Gestaltungskriterien – Auslegung Fertigungskomplex

Im Ergebnis der Durchführung und Bewertung der Simulationsexperimente verstehen sich die nachfolgend aufgeführten Kriterien als allgemeine Gestaltungshinweise, die vom Unternehmen der Auslegungsplanung des Fertigungskomplexes zu Grunde gelegt wurden:

1. Kapazitätsauslastung Ausrüstungen

- Szenario 1 (1 Mio Stk/a) und Szenario 2 (2 Mio Stk/a) nicht zufriedenstellend
- ab Szenario 3 (6 Mio Stk/a) deutlich verbesserte Auslastungsverhältnisse

2. Staubildung

- nimmt mit steigendem Produktionsvolumen tendenziell zu
- Belegung Vorpuffer Eingangsarbeitsplatz (VA1) wird maßgeblich durch Festlegung Losgrößen und Einlastzeitpunkte bestimmt
- bei übrigen Ausrüstungen durchschnittliche Vorpufferbelegung 4 bis 6 Lose
- bei Annahme: 1 Los = 1 Palette und Doppelstapelung der Paletten ist Bereitstellfläche von ca. 3,2 m² bzw. 4,8 m² je Arbeitsplatzgruppe einzuplanen

3. Losgrößen

- für günstige Materialflußverhältnisse möglichst einheitliche Losgröße für alle Produkte wählen, um „Blockierungen“ der Ausrüstungen zu vermeiden
- Anpassung Losgröße an Fertigungsbedingungen und -organisation notwendig
- Auswirkungen besonders auf Vorpuffer Eingangsarbeitsplatz (VA1) sowie auch auf Durchsatz und Auslastungsgrade

4. Produktmix

- bei Gleichverteilung der Produktpalette auf Planungszeitraum hat Festlegung Produktmix nahezu keinen Einfluß auf Kenngrößen

5. Einlastzeitpunkte

- möglichst auf Planungszeitraum verteilen
- Auswirkung insbesondere auf Vorpufferbelegung Eingangsarbeitsplatz (VA1)

6. Ausrüstungsanzahl (Entwicklung Investitionsvolumen)

- Szenario 1 (1 Mio Stk/a) und Szenario 2 (2 Mio Stk/a): jeweils 1 Ausrüstung ausreichend
- Szenario 3 (6 Mio Stk/a): zusätzl. Ausrüstung für A2
- Szenario 4 (10 Mio Stk/a): zusätzl. Ausrüstungen für A1, A2, A6, A7

7. Schichtsystem

- Szenario 1 (1 Mio Stk/a): grundsätzlich 1-Schicht-System ausreichend
- Szenario 2 (2 Mio Stk/a), 3 (6 Mio Stk/a), 4 (10 Mio Stk/a): Übergang zu 2- und 3-Schicht-System
- unterschiedliche Schicht-Systeme für Ausrüstungen günstig, um Unterschiede hinsichtlich Ausrüstungsanzahlen auszugleichen
- bei gleichem Schicht-System für alle Ausrüstungen Ausgleich nur über Ausrüstungsanzahl möglich

8. Materialfluß

- Erstbearbeitung aller Produkte auf Ausrüstung A1 und A2, demzufolge maßgebliche Bestimmung der Materialflußverhältnisse des Fertigungskomplexes durch diese Arbeitsplätze („Trichterdimensionierung“)
- A1 und A2 sollten möglichst keinen Engpaß darstellen („Flaschenhalseffekt“)
- Abstimmung hinsichtlich Ausrüstungskennwerten zwischen den Ausrüstungen sowie bzgl. Materialbereitstellung (ELA → VA1) zwingend notwendig

4 Zusammenfassung

Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse wurden im Rahmen vertraglicher Zusammenarbeit in Form von Projekten „Angewandte Forschung und Entwicklung“ zwischen Industriepartner und Hochschule durchgeführt (Technologietransfer).

Wesentliches Anliegen der vorgestellten Untersuchungen ist es aufzuzeigen, daß der Einsatz moderner wissenschaftlicher Planungs- und Analyseinstrumente – speziell der Simulationstechnik – zur Bearbeitung von Industrieaufgabenstellungen, insbesondere auch für Problemstellungen aus den Bereichen klein- und mittelständiger Unternehmen (KMU) begründet und erfolgreich ist.

Dabei ist zu beachten, daß Ergebnisse dynamischer (simulationsgestützter) Fabrikplanung prinzipiell exaktere Aussagen liefern im Unterschied zu Methoden rein konservativer statischer Fabrikplanung, denen eine wesentlich vereinfachendere Problembetrachtung zu Grunde gelegt ist.

Deutlich wurde, daß die durchgeführten Simulationsuntersuchungen in Verbindung mit den vorgenommenen betriebswirtschaftlichen Bewertungen eine zuverlässigere Handlungs- und Entscheidungsgrundlage darstellen bei Dimensionierungs-, Strukturierungs- und Investitionsentscheidungen im Rahmen der Projektbearbeitung.

Die Vorteile des Einsatzes der Simulationstechnik schon im Frühstadium des Planungs- und Projektierungsablaufes von Fabrik- und Produktionssystemen wurden herausgestellt – Fehlentscheidungen werden vermieden, das Planungsobjekt wird früh funktionell erkennbar, erforderliche Entscheidungen werden fundiert unterstützt.



Literatur

- [1] Grundig, C.-G.; Guhl, A.: Simulationsgestützte Auslegungsplanung Fertigungslinie, Projektbericht (Forschungs- und Entwicklungsvorhaben), TFH Wildau, FB Maschinenbau, Labor Fabrikplanung (04/1997)
- [2] Grundig, C.-G.; Guhl, A.: Simulationsgestützte Feinanalyse Fertigungskomplex, Projektbericht (Forschungs- und Entwicklungsvorhaben), TFH Wildau, FB I/WI, Labor Fabrikplanung (01/1998)
- [3] Kosturak, M.; Gregor, M.: Simulation und aktuelle Probleme der Fabrikplanung Werkstatttechnik 86 (1986), S. 389-392
- [4] Gädigk, G.; Rabe, M.: Simulationsgestützte Investitionsminimierung bei der Produktion von Fahrzeugteilen, Zeitschrift für wissenschaftliche Fertigung ZWF, 89 (1994) 1-2, S. 43-45
- [5] Grundig, C.-G.; Hartrampf, D.: Methoden statischer und dynamischer Fabrikplanung – Training simulationsgestützte Optimierung eines Produktionssystems (Projektbeispiel Modellfabrik), TFH Wildau, FB I/WI, Labor Fabrikplanung, Laborprojekt -Übung 6- (09/1997)
- [6] Weck, A.: Strukturplanung eines Fertigungskomplexes zur Herstellung neuartiger Luftfiltersysteme, Diplomarbeit, TFH Wildau, FB I/WI, (1998)
- [7] Federowitz, H.; Milke, B.; Reinmann, U.: Simulationstechnik – Chancen für den Mittelstand, VDI-Zeitschrift 139 (1997) 5, S. 52-55
- [8] Heilingrath, B.: Hemmnisse des Simulationseinsatzes in kleinen und mittleren Unternehmen und deren Überwindung, Vortrag auf der 8. ASIM Fachtagung, TU Berlin, Februar 1998, Tagungsmaterial
- [9] Rabe, M.: Simulation ist das Werkzeug zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit, Vortrag zur Eröffnung des Demonstrationszentrum für Simulation und Logistik, TU Berlin, 27.09.1994
- [10] Etspüler, M.; Kipperts, D.: Simulation steht vor Investition, VDI-Nachrichten, (1996), Nr. 23, S. 21
- [11] Grundig, C.-G.; Hartrampf, D.: Laborübungen zur Fabrik- und Materialflußsimulation im Lehrkomplex Fabrikplanung/Materialflußgestaltung- (Grobkonzept), Wissenschaftliche Beiträge TFH Wildau, (1995) Heft 1, S. 32-35
- [12] Fabrikplanungssystem MOSYS-Systemunterlagen, Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), TU Berlin 1992
- [13] Wienecke-Toutaoui, B.: Rechnergestütztes Planungssystem zur Auslegung von Fertigungsanlagen, Dissertation, TU Berlin, Carl-Hanser-Verlag (1987)

Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Claus-Gerold Grundig

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Tel. (0 33 75) 507-171

Dipl.-Ing. (FH), Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Astrid Guhl

Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Tel. (0 33 75) 508-935