

**Optimale kurzfristige Produktionsplanung
für absatzweise arbeitende
Mehrprodukt- und Mehrzweckanlagen**

ABHANDLUNG

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

URS MAX EGLI

Dipl. Chem. Ing. (ETH-Zürich)

geboren am 10. April, 1948

von Bäretswil, Kanton Zürich

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. D.W.T. Rippin - Referent

Prof. Dr. J.R. Bourne - Korreferent

aku - Fotodruck

1980

FÜR BRIGITTE
UND
MEINE ELTERN

Herrn Prof. Dr. D.W.T. Rippin möchte ich für seine wertvolle Unterstützung und das meiner Arbeit stets entgegengebrachte Interesse herzlich danken.

Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. J.R. Bourne für die Uebernahme des Korreferates.

Mein besonderer Dank gilt Frl. E. Steffen für die Erledigung der umfangreichen Schreibarbeit, Frl. E. Kilian für die administrativen Tätigkeiten und Herrn H. Bantle für seine programmtechnischen Ratschläge.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
ZUSAMMENFASSUNG	1
ABSTRACT	3
EINFUEHRUNG	5
<u>KAPITEL 1:</u> Absatzweise arbeitende Anlagen Definitionen und funktionelle Zusammenhänge	
ABSCHNITT:	
1.1 Einführung	10
1.2 Elementareinheiten	11
1.2.1 Charakteristiken einer Elementar- einheit	12
1.2.2 Betriebszustände einer Elementar- einheit	13
1.3 Produktionsprozess / Produktionsstrasse	16
1.3.1 Begriffserläuterungen	16
1.3.2 Beispiel eines Produktionspro- zesses	16
1.3.3 Verweilzeit	18
1.3.4 Produktmenge pro Charge	18
1.4 Mehrproduktanlagen	19
1.4.1 Begriffserläuterung	19
1.4.2 Beispiel einer Mehrproduktanlage	21
1.4.3 Arbeitsweise einer Mehrprodukt- anlage	23
1.5 Mehrzweckanlagen	26
1.5.1 Begriffserläuterung	26
1.5.2 Einfaches Beispiel einer Mehr- zweckanlage	28
1.6 Der Anlagebetrieb	31
1.6.1 Begriffserläuterung	31
1.6.2 Kontinuierlicher Betrieb	31
1.6.3 Wöchentliche Produktion	32
1.7 Die Lagerhaltung	33
1.7.1 Begriffserläuterung	33
1.7.2 Das Rohproduktlager	36
1.7.3 Das Zwischenproduktlager	36
1.7.4 Das Endproduktlager	37
1.7.5 Die charakteristischen Grössen eines Lagers	37

<u>KAPITEL 2:</u>	Methode zur Lösung des Problems der optimalen kurzfristigen Produktionsplanung	Seite
ABSCHNITT:		
2.1	Einführung	42
2.2	Im vorliegenden Beispiel verwendete Daten	43
	2.2.1 Anlagespezifikationen	43
	2.2.2 Prozessspezifikationen	45
	2.2.3 Daten der Lagerhaltung	57
	2.2.4 Planungs- und Verkaufsdaten	59
	2.2.5 Ist-Zustand des Produktions- geschehens in der Anlage bei Planungsbeginn	61
2.3	Berechnung von Hilfsgrößen	65
	2.3.1 Unterteilung der Produktions- prozesse in "stabile Blöcke"	66
	2.3.2 Unterteilung des Produktions- programmes in unabhängige Produktgruppen	68
	2.3.3 Bildung von Prioritätslisten	75
	2.3.4 Geordnete Variantenlisten der Elementareinheiten	80
2.4	Optimierungsverfahren	82
	2.4.1 Enumerationsverfahren	83
	2.4.2 Shift-Verfahren	99
	2.4.3 Kostenrechnung	127
<u>KAPITEL 3:</u>	<u>Computer-Programm SRSBP</u>	
ABSCHNITT:		
3.1	Einführung	132
3.2	Programmstruktur	134
	3.2.1 Hauptprogramm	135
	3.2.2 Unterprogramme	138
3.3	Daten Input	148
	3.3.1 Aktuelle Planungsdaten	149
	3.3.2 Anlage- und Prozessdaten	151
	3.3.3 Daten der vorangegangenen Planung	156
3.4	Datenausgabe des Programmes SRSBP	158
SCHLUSSWORT		206
VERZEICHNIS DER WICHTIGSTEN SYMBOLE		209
LITERATURSTELLEN		215
LEBENSLAUF		217

Z U S A M M E N F A S S U N G

Bei im Chargenbetrieb arbeitenden, chemischen Mehrprodukt- und Mehrzweckanlagen, steht, bedingt durch die Tatsache, dass der Absatz aufgrund konjunktureller und / oder saisonaler Schwankungen mehr oder weniger uneinheitlich verläuft, das Problem der optimalen, kurzfristigen Produktionsplanung im Fordergrund.

In der vorliegenden Arbeit wird ein numerisches Verfahren beschrieben, welches unter den gegebenen Voraussetzungen für eine Anlage den besten Aktionsplan bestimmt.

Das der Optimierung zugrunde liegende System umfasst die Bereiche Produktion und Lagerhaltung. Die aus der Definition des Systems abgeleiteten Determinanten für die kurzfristige Produktionsplanung sind:

- Rohproduktengpässe
- Betriebsmittel-Kapazitätsschranken
- Betriebsausfälle
- geltende Arbeitszeiten
- Anlage-Betriebszustände
- chemische Stabilitäten der Stoffkomponenten
- variable Umstellzeiten und Umstellfixkosten
- End- und Zwischenprodukt-Lagerbestände
- maximale Lagerkapazitäten
- Pufferlagerbestände
- minimale Endlagerbestände

Die Zuordnung der chemischen Prozesse und physikalischen Operationen der verschiedenen vorgegebenen Herstellungsvarianten zur Kalenderzeitskala erfolgt mit dem Ziel, die Gesamt-

kosten, bestehend aus Umstellfix-, Betriebsmittel- und Lagerzinskosten zu minimieren. Die termingerechte Bereitstellung des im Absatzplan zeitlich und mengenmässig fixierten Endproduktbedarfes durch die Produktion und das Lager ist dabei unbedingte Voraussetzung.

Zur Lösung des Problems wurde ein 2-Stufen-Verfahren entwickelt.

Die erste Stufe umfasst ein Enumerationsverfahren zur Bildung möglicher alternativer Produktionsreihen. Ausgehend vom Ist-Zustand des Produktionsgeschehens in der Anlage bei Planungsbeginn werden unter Berücksichtigung der entsprechenden Prozess- und Operationszeiten systematisch Reihen aufgebaut, bestehend aus den Produktionsvarianten. Eine Reihe wird abgebrochen und der Aufbau bei tieferem Reihenindex fortgesetzt, falls Restriktionen bezüglich des Lagers verletzt werden.

Wird eine Lösung gefunden, wird ihre Gültigkeit in Bezug auf weitere Randbedingungen wie geltende Arbeitszeiten, Betriebsausfälle, Engpässe im Bereich der Rohproduktbeschaffung und Betriebsmittel-Kapazitätsschranken in einer zweiten Stufe untersucht.

Zur Lösung umfangreicher Probleme wurde das Computerprogramm SRSBP entwickelt. Zwei aufeinander folgende Planungsperioden werden für ein industrielles Beispiel gerechnet.

A B S T R A C T

In multi-product batch plants there is a problem of optimal short-term production planning brought about by varying market demands due to seasonal and economic factors for the products.

In this work a numerical process is described which determines the best production plan for a plant working under given constraints.

The system being optimized includes both production and warehousing facilities. The factors significant for determining a short-term production plan are:

- raw material supply
- plant utility limitations
- shut-downs
- staff working hours
- plant conditions
- chemical stability of the components
- variable changeover times and changeover costs
- end- and intermediate storage levels
- maximum storage capacity
- buffer storage level
- minimum final storage.

Sequencing the chemical process and arranging the individual physical operations of the different production possibilities by date and time are made with the objective being to minimize total costs, consisting of changeover costs, utility costs and warehousing costs. A necessary condition for a solution is that the delivery plan can be

satisfied from production and storage.

A two-stage process has been developed for solving the problem.

The first stage consists of an enumeration process for providing possible alternative production sequences. Starting from a given situation defining the beginning of the planning period a series of production alternatives is built up, taking into consideration the prevailing process and operation times. A series is stopped and a new series begun when any of the storage constraints are violated.

When a solution is found its validity is tested against further constraints such as staff working hours, shut-downs, raw material supplied and utility capacity constraints - in a second stage.

A computer programme SRSEBP has been developed for solving a wide range of such problems. An industrial example is given extending over two planning periods.

E I N F Ü H R U N G

Eines der Hauptprobleme in der chemischen Industrie bildet die Tatsache, dass der Absatz aufgrund konjunktureller und/oder saisonaler Schwankungen mehr oder weniger uneinheitlich verläuft, und die Lebensdauer der Produkte und der Märkte abnimmt.

Der Wunsch nach erhöhter Flexibilität im Produktionsbereich, d.h. nach kleinerem Risiko bei Investitionsentscheidungen, führte deshalb in den vergangenen Jahren vermehrt zum Bau von Mehrprodukt- und Mehrzweckanlagen. Diese ermöglichen es einer Unternehmung bei saisonalen Schwankungen oder bei der Aufgabe bestimmter Produkte - sieht man einmal von kleineren Anpassungsvorhaben ab - ohne nennenswerte Investitionen, unter Berücksichtigung selbster freier Kapazitäten, neue Erzeugnisse in das Produktionsprogramm aufzunehmen.

Das schwierigste Problem bei Mehrprodukt- bzw. Mehrzweckanlagen unter den gegebenen Voraussetzungen, bildet die Produktionsplanung, d.h. die Entwicklung einer Ordnung für das Zusammenwirken von Produktionsfaktoren zur Hervorbringung von Produkten, unter Berücksichtigung arbeitswissenschaftlicher und technologischer Erkenntnisse sowie wirtschaftlicher Ziele. Sie bildet ein Zwischenglied zur Absatzplanung einerseits und zur Beschaffungsplanung andererseits.

Bedingt durch das dieser Arbeit zu Grunde liegende Thema der kurzfristigen Produktionsplanung für absatzweise arbeitende Mehrprodukt- bzw. Mehrzweckanlagen, stellt sich die Frage nach der optimalen Produktionsreihenfolge, welche die im Absatzplan zeitlich und mengenmässig vorgegebenen Produktbedürfnisse termingerecht befriedigt. "Optimal" bedeutet, dass bei der Entscheidung für eine der verschiedenen Möglichkeiten der Auswahl einer Reihenfolge von einer Zielvorstellung, im vorliegenden Fall von der Minimierung der Kosten, ausgegangen wird.

Die Elemente einer Produktionsreihe sind die vorgegebenen Faktorkombinationen (Produktionsprozesse) für die Herstellung der verschiedenen Produkte, wobei mehrere Produktionsprozesse für ein und dasselbe Produkt zugelassen sind.

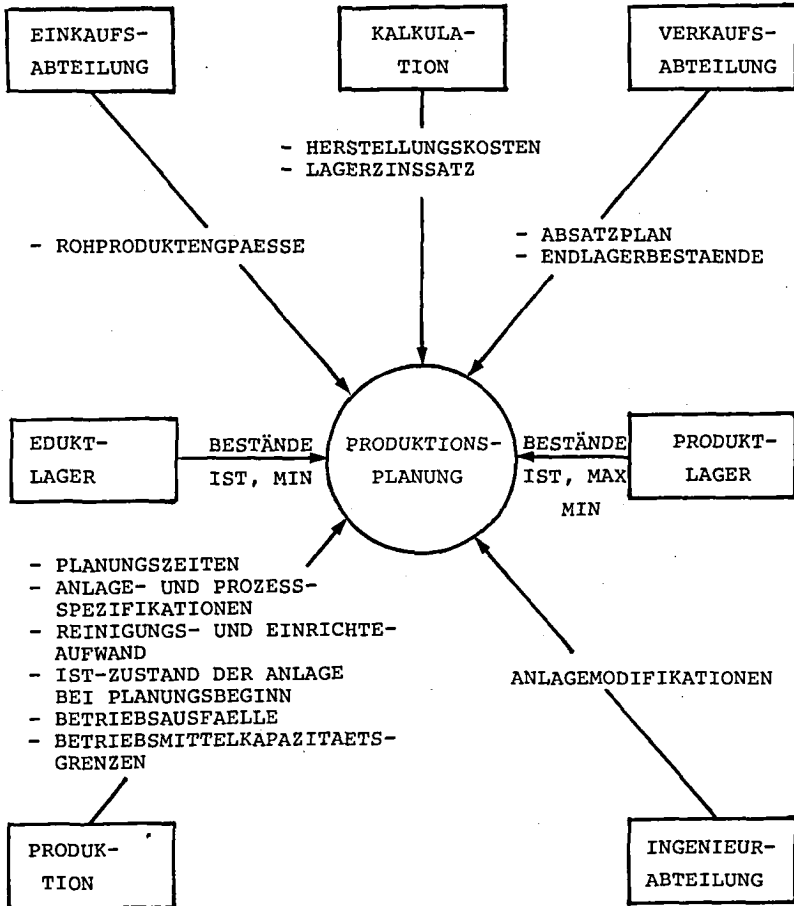
Ein besonderes Problem besteht in der zeitlichen Koordination der den einzelnen Elementareinheiten (Apparaten) zugeordneten chemischen Prozessen (Einheitsprozesse) bzw. physikalischen Operationen (Einheitsoperationen) eines Produktionsprozesses, aufgrund der Stabilitäten ihrer Stoffkomponenten. Instabilität nach beendetem Einheitsprozess, bzw. durchgeführter Einheitsoperation, bedingt den unmittelbaren Vollzug des nachfolgenden Prozesses. Dies setzt die Verfügbarkeit der entsprechenden Elementareinheit, bei parallelen Prozessen diejenige der entsprechenden Elementareinheiten voraus. Besondere Einflüsse gehen dabei von den geltenden Arbeitszeiten und Störungen bei der Prozessrealisation aus, da sie die zeitlichen Abläufe auf schwer vorhersehbare Weise modifizieren.

Störungen können bedingt durch Rohproduktengpässe, Betriebsausfälle bei den Elementareinheiten und pro Zeiteinheit limitierte Betriebsmittelmengen auftreten.

Ein Plan, egal welcher Art, ist für seinen Benutzer nur solange von Interesse, wie die ihm zu Grunde liegenden Determinanten nicht ändern. Bei der kurzfristigen Produktionsplanung können schon kurze Zeit nach durchgeführter Planung unvorhersehbare Ereignisse, wie kurzfristige Aufträge, Produktionsverzögerungen usw., eine neue Planung, unter Berücksichtigung der veränderten Gegebenheiten, erforderlich machen. Diese Tatsache erhebt zwangsläufig die Forderung nach einer dynamischen Planung, d.h. die Planung hat rasch und unter Einbezug der noch nicht beendeten Produktionsprozesse zu erfolgen.

Die Spannungen zwischen der Produktion und dem Absatz, welche auf der diskontinuierlichen Produktionsweise und den saisonalen Schwankungen beruhen, müssen durch eine entsprechende Lagerhaltung ausgeglichen werden. Das Problem der Planung von adäquaten Lagerbeständen wird nicht durch die Haltung umfangreicher Lager gelöst. Im Bereich der Lagerwirtschaft zwingt vielmehr das Streben nach Wirtschaftlichkeit, gleichzeitig Kapital, Kosten und Risiko der Lagerhaltung zu minimieren. Aufgrund der unterschiedlichen Umstellzeiten und Umstellfixkosten kann das Problem der Bestimmung der "optimalen" Lagerbestände nicht isoliert betrachtet werden, da es unter Umständen, trotz höherer Lagerkosten, kostengünstiger sein kann, mehrere Chargen eines Produktes verfrüht, dafür nacheinander herzustellen.

Die der kurzfristigen Produktionsplanung für absatzweise arbeitende Mehrprodukt- bzw. Mehrzweckanlagen zu Grunde liegenden Bestimmungsgrößen sind in der nachfolgenden Figur zusammen mit den entsprechenden Datenquellen dargestellt.



KAPITEL I

Absatzweise arbeitende Anlagen

Definitionen und funktionelle
Zusammenhänge

ABSCHNITT 1.1

E i n f ü h r u n g

Aufgabe dieses Kapitels ist es, die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Begriffe zu definieren und die funktionellen Zusammenhänge zwischen ihnen aufzuzeigen. Die in diesem und den folgenden Kapiteln formulierten Aussagen sollen sich dabei nur auf absatzweise, d.h. im Chargenbetrieb arbeitende Anlagen beziehen.

In der chemischen Industrie unterscheidet man drei Haupttypen von Anlagen:

- Einproduktanlagen
- Mehrproduktanlagen
- Mehrzweckanlagen

Bei Einproduktanlagen stellt sich das Problem der Produktionsplanung nicht, bzw. nur in sehr einfacher Form. Auf die weitere Behandlung kann daher verzichtet werden.

Mehrprodukt- und Mehrzweckanlagen bestehen aus einer Menge funktionell verschiedener Elementareinheiten (Apparaten), welche durch einen planmässigen Kombinationsprozess, der auf den quantitativen Produktbedarf des Absatzmarktes ausgerichtet ist, miteinander verbunden werden.

ABSCHNITT 1.2

E l e m e n t a r e i n h e i t e n

Die Elementareinheiten einer Anlage lassen sich aufgrund ihrer Zweckbestimmung in folgende Hauptgruppen unterteilen:

- verfahrenstechnische Einheiten

Aufgabe dieser Einheiten ist es, Einheitsoperationen durchzuführen, die eine Aenderung der inneren Struktur und/oder der physikalischen und chemischen Eigenschaften der behandelten Stoffe zum Ziele haben.

Dabei handelt es sich im ersten Fall vorwiegend um mechanische Verfahren, wie Filtrieren, Zentrifugieren usw., und im zweiten um thermische Verfahren, wie Extrahieren, Destillieren und Rektifizieren.

- chemische Reaktoren

Chemische Reaktoren dienen - sieht man von reinen Mischvorgängen ab - der Durchführung von Einheitsprozessen (chemischen Verfahrensstufen), welche die Aenderung der chemischen Natur der behandelten Stoffe zur Folge hat.

1.2.1 Charakteristiken einer Elementareinheit

a) Dimensionierung

Die Dimensionierung einer Elementareinheit resultiert indirekt aus der langfristigen Programmplanung für die entsprechende Anlage. Diese bildet einerseits die Grundlage für eine am Absatzmarkt orientierte Kapazitätsplanung und ermöglicht andererseits die Zuordnungsplanung der Einheitsoperationen bzw. der Einheitsprozesse anhand der chemisch-physikalischen Eigenschaften der zu verarbeitenden Komponenten.

b) Konstruktionsmaterialien

Die Auswahl der materiellen Ausstattung einer Einheit wird durch die physikalischen Normen (z.B. Druck, Temperatur) einer Einheitsoperation bzw. eines Einheitsprozesses, sowie der chemischen Natur der beteiligten Stoffe bestimmt.

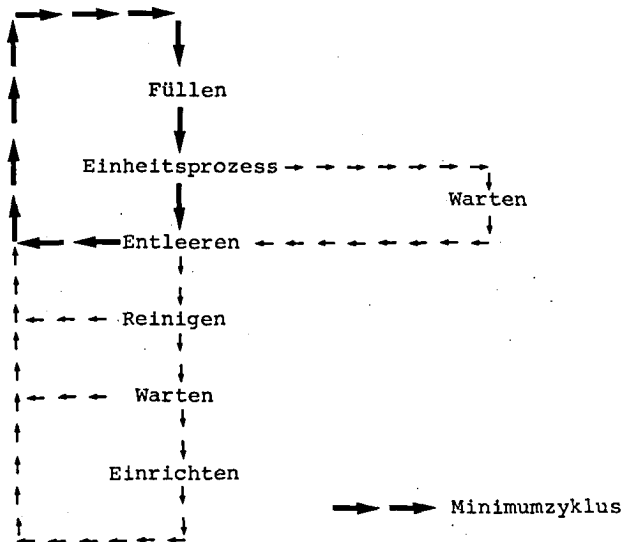
c) Betriebsstoffe

Der Bedarf an Betriebsstoffen hängt sowohl in stofflicher, als auch in mengenmässiger Hinsicht von der Zweckbestimmung einer Einheit und von der Art der durchzuführenden Verfahrensstufen ab.

1.2.2 Betriebszustände einer Elementareinheit

Der Vollzug einer Einheitsoperation bzw. eines Einheitsprozesses setzt bestimmte Rahmentätigkeiten voraus. Diese beinhalten den Stofftransport von und zu einer Einheit und die Umstellungsarbeiten bei Produktwechsel. Da sowohl die Dauer der Einheitsoperationen bzw. Einheitsprozesse, als auch diejenige der Rahmentätigkeiten, von Einheit zu Einheit und von Produkt zu Produkt variiert, entsteht bei der Koordination des Materialflusses von einer Einheit zur nächsten Wartezeit.

Die folgende Darstellung vermittelt eine Uebersicht über die möglichen Betriebszustände einer Einheit am Beispiel eines Reaktors.



Allen möglichen Zustandszyklen gemeinsam ist ein Minimumzyklus, bestehend aus dem Einheitsprozess und den Betriebszuständen des Stofftransportes. Die Determinanten für die Dauer des Minimumzyklus sind einerseits die produktspezifischen Mengen pro Charge der von einer Einheit zu verarbeitenden Komponenten und andererseits die Dimensionen der für die Durchführung desselben benötigten peripheren Aggregate, wie Pumpen, Dampfkessel usw.

Der zeitliche und materielle Aufwand für die Reinigung einer Einheit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Chargen, ist von der stofflichen Zusammensetzung derselben abhängig. Dies sowohl aus verfahrens- und/oder reaktionstechnischen Gründen, als auch aus solchen der qualitativen Anforderungen an die einzelnen Produkte. Dieser Sachverhalt lässt sich anhand eines einfachen Beispiels wie folgt darstellen:

Ein Reaktor wird für die Durchführung von zwei verschiedenen Prozessen, die der Herstellung der Produkte A und B dienen, eingesetzt. In der Folge ergeben sich für die Anordnung von zwei aufeinanderfolgenden Einheitsprozessen n^2 Möglichkeiten ($n = \text{Anzahl Produkte}$), welche nachfolgend mit dem entsprechenden zeitlichen und materiellen Aufwand tabelliert sind.

<u>Reihenfolge der Einheitsprozesse</u>	<u>Reinigungs- zeit</u>	<u>Reinigungs- materialkosten</u>
A - A	-	-
A - B	24	200
B - A	-	-
B - B	10	100

Während der Fall der Reihenfolge A - A ohne weitere Voraussetzungen möglich ist, bedingt die Reihenfolge B - A, dass die in der Elementareinheit nach der Entleerung verbleibenden Rückstände von B die anschliessenden Einheitsprozesse und Einheitsoperationen von A nicht beeinflussen, und dass die von A geforderte Qualität erreicht wird.

Wartezeiten entstehen, wie schon eingangs erwähnt, als Folge der Koordination des Materialtransportes zwischen den einzelnen Elementareinheiten. Das Warten einer Charge nach erfolgtem Einheitsprozess bzw. Einheitsoperation bis zur Beladung der nachfolgenden Elementareinheit, setzt die chemische Stabilität der Stoffkomponenten voraus. Ursachen für Verzögerungen sind einerseits geltende Arbeitszeiten und andererseits das Auftreten von Kapazitätsauslastungen bei Arbeitskräften und Betriebsmitteln.

ABSCHNITT 1.3

Produktionsprozess / Produktionsstrasse

1.3.1 Begriffserläuterungen

Unter einem Produktionsprozess wird das Zusammenwirken von zeitlich nacheinander bzw. zeitlich sich überlappenden und damit paralleler Einheitsprozesse und Einheitsoperationen zur Hervorbringung eines Produktes verstanden. Die Bezeichnung "Produktion" wird hier synonym mit "Herstellung" und "Erzeugung" verwendet. Formal eindeutige Kombinationen von Elementareinheiten zur Herstellung eines Produktes werden als Produktionsstrassen oder Produktionsvarianten bezeichnet.

1.3.2 Beispiel eines Produktionsprozesses

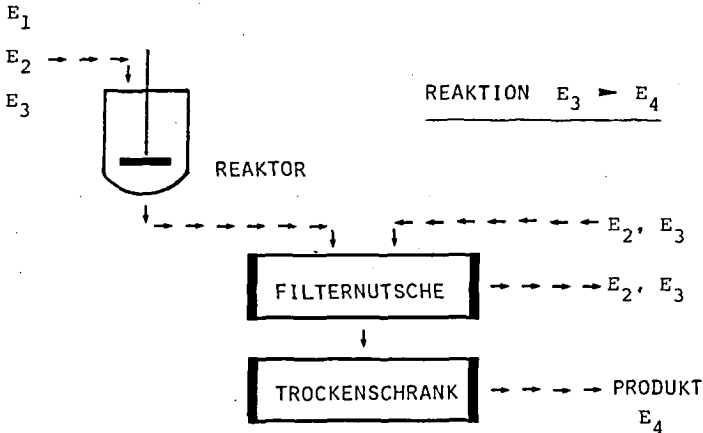


Fig. 1.1: Beispiel einer Produktionsstrasse

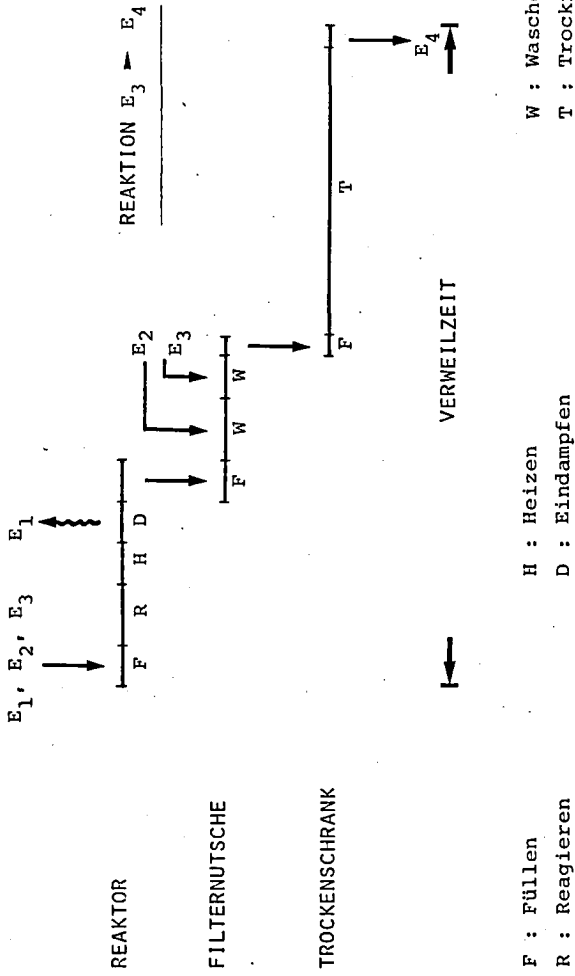


Fig. 1.2: Darstellung des Produktionsprozesses

Beim vorliegenden Beispiel handelt es sich um eine Produktionsstrasse einer bestehenden Produktionsanlage für Farbstoffe.

1.3.3 Verweilzeit

Die Verweilzeit einer Charge ist der Zeitraum zwischen ihrem Ansatz und ihrer Fertigstellung.

Der Unterschied zwischen der Summe der Prozess- und Operationszeiten und der Verweilzeit ist zweifach.

Erstens bedingt der Materialfluss ein Ueberlappen der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen, und zweitens kann eine Charge über die Prozesszeit hinaus, aufgrund der geltenden Arbeitszeiten und/oder von Betriebsmittelkapazitätsgrenzen, in einer Elementareinheit verweilen.

1.3.4 Produktmenge pro Charge

Die Produktmenge pro Charge nach durchgeführtem Produktionsprozess wird durch die Dimensionen der Elementareinheiten der entsprechenden Produktionsstrasse bestimmt. Die produktspezifischen Volumenverhältnisse in den Elementareinheiten während der Durchführung der Einheitsprozesse bzw. Einheitsoperationen haben zur Folge, dass das Volumen einer Einheit die Ansatzmengen und somit die Produktmenge pro Charge limitiert. Bedingt durch diese Tatsache ergeben sich variantenspezifische Produktmengen pro Charge. Teilansätze werden in der Praxis nie vorgenommen.

ABSCHNITT 1.4

Mehrproduktanlagen

1.4.1 Begriffserläuterung

Mehrproduktanlagen dienen der Ausführung eines im voraus bestimmten Produktionsprogrammes. Voraussetzung für das Konzept einer solchen Anlage bildet eine konstante Programmstruktur für längere Zeitabschnitte. Die Vorteile einer Mehrproduktanlage sind geringere Investitionskosten pro Kapazitätseinheit. Ferner ist durch die Wahl des entsprechenden Produktionsprogrammes die Möglichkeit gegeben, die saisonalen Schwankungen im Bereich des Absatzmarktes auszugleichen.

Die Verbindungen zwischen den Elementareinheiten einer Mehrproduktanlage sind so angelegt, dass für jedes Produkt nur eine Produktionsstrasse resultiert. Die Produktionsstrassen können parallel verlaufen oder sich in einer oder mehreren Elementareinheiten kreuzen.

Eine Elementareinheit, welche Teil mehrerer Produktionsstrassen ist, kann mehrere verschiedene Einheitsprozesse bzw. Einheitoperationen nacheinander ausführen. Der Einsatz einer solchen Mehrzweckeinheit, anstelle der entsprechenden Einprodukteinheiten, hat eine grössere Dimensionierung der Einheit zur Folge, verursacht aber vergleichsweise geringere Investitionskosten.

Die gleichzeitige Durchführung von parallelen Produktionsprozessen ist eine Frage der Prozesskontrolle [1].

Das Problem der Auslegung der Elementareinheiten einer Mehrproduktanlage anhand einer am Absatzmarkt durchgeführten Bedarfsanalyse, wurde von R.E. Sparrow [2] eingehend behandelt. Die Tatsache, dass der der Dimensionierung zugrunde liegende Produktbedarf in den wenigsten Fällen ein Datum ist, das über mehrere Jahre Bestand hat, macht eine Produktionsplanung auch bei Mehrproduktanlagen erforderlich.

1.4.2 Beispiel einer Mehrproduktanlage

Die nachfolgende Darstellung ist die Erweiterung des im Unterabschnitt 1.3.2 behandelten Beispiels um eine Produktionsstrasse.

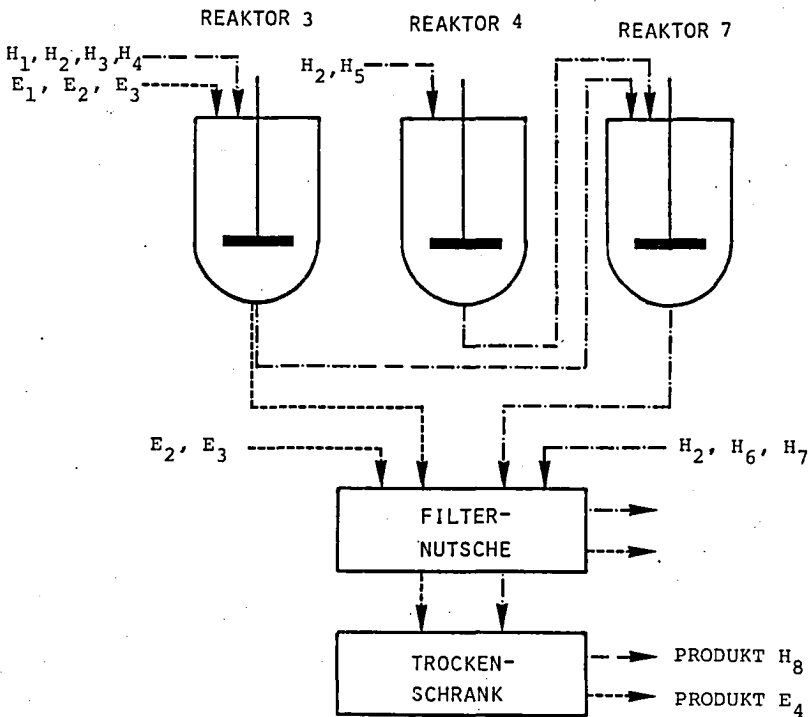


Fig. 1.3: Beispiel einer Mehrproduktanlage

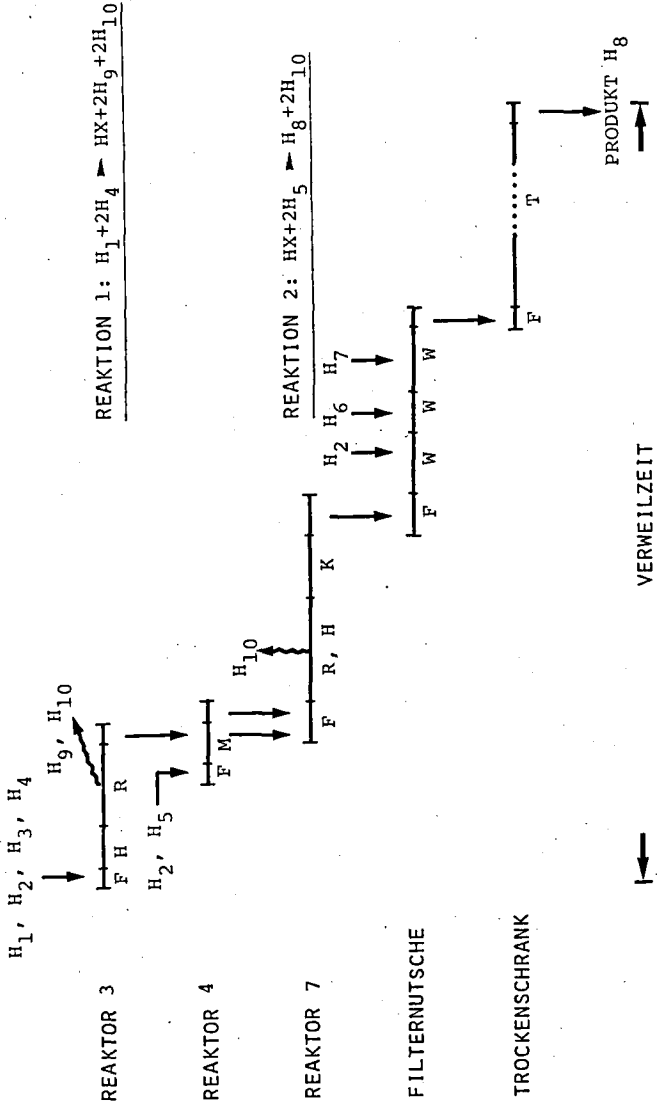


Fig. 1.4: Produktionsprozess für Produkt H

Die in Fig. 1.4 verwendeten Abkürzungen haben folgende Bedeutungen:

F : Füllen
H : Heizen
K : Kühlen
M : Mischen
T : Trocknen
W : Waschen

1.4.3 Arbeitsweise einer Mehrproduktanlage

Für die zeitliche Staffelung von zwei nacheinander durchzuführenden Produktionsprozessen gibt es zwei Möglichkeiten:

- Produktion durch zeitlich getrennte Produktionsprozesse
- Produktion durch zeitlich sich überlappende Produktionsprozesse

Automatisierungsgrad und Sicherheitsbetrachtungen sind die Bestimmungsgrößen für die Festlegung der Arbeitsweise einer Mehrproduktanlage. Hauptmerkmal einer Anlage mit überlappender Produktionsweise ist die vergleichsweise hohe Produktivität pro Zeiteinheit. Demgegenüber besitzen Anlagen mit zeitlicher Trennung der Produktionsprozesse die Vorteile geringerer Investitionen bei der Anschaffung der Steuer- und Regeleinrichtungen, der peripheren Aggregate sowie geringerem Personaleinsatz für den Anlagebetrieb.

Fig. 1.5 zeigt die Gegenüberstellung der beiden Produktionsarten. Die Mehrproduktanlage entspricht derjenigen in Fig. 1.3. Die Daten des Reinigungs- und Einrichteaufwandes sind nachstehend tabelliert.

<u>EINHEIT</u>	<u>PRODUKTIONS- REIHENFOLGE</u>	<u>REINIGUNGS- ZEIT</u>	<u>EINRICHTE- ZEIT</u>
REAKTOR 3	E - E	2	-
	E - H	2	2
	H - E	4	1
	H - H	-	-
REAKTOR 4	H - H	-	-
FILTER- NUTSCHE	E - E	2	-
	E - H	3	3
	H - E	3	2
	H - H	2	-
REAKTOR 7	H - H	2	-
TROCKEN- SCHRANK	E - E	-	-
	E - H	2	1
	H - E	1	1
	H - H	-	-

Tabelle 1.1: Reinigungs- und Einrichtezeiten

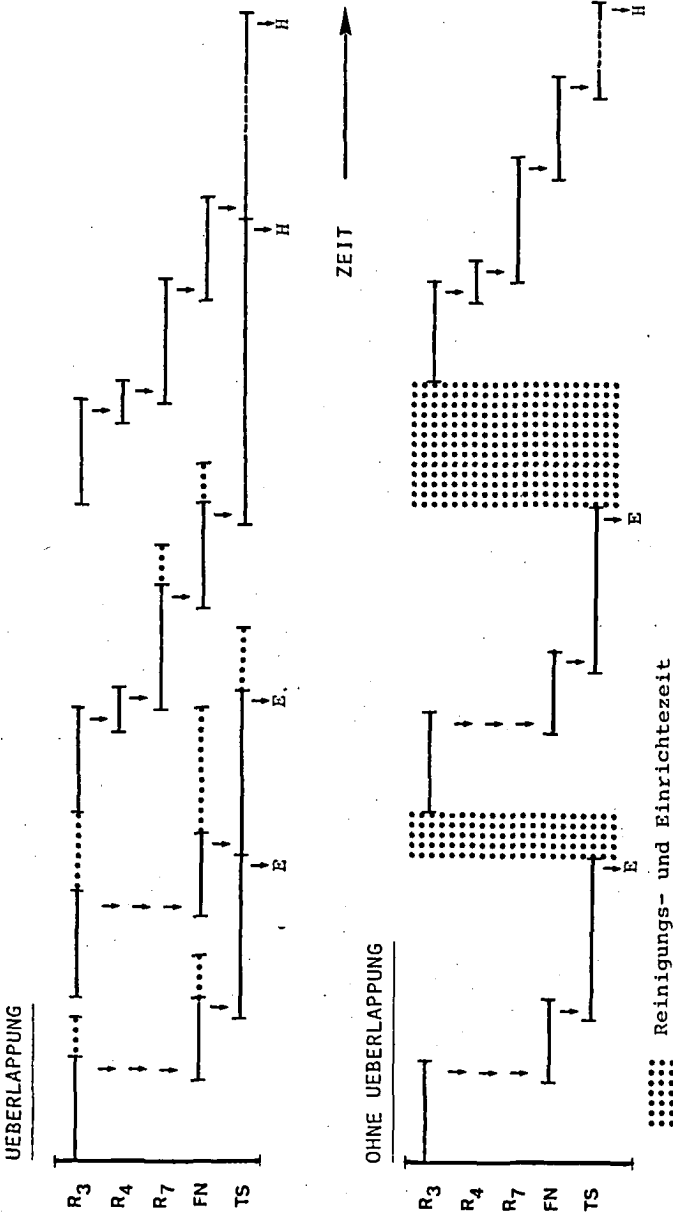


Fig. 1.5: Arbeitsweise einer Mehrproduktanlage

ABSCHNITT 1.5

M e h r z w e c k a n l a g e n

1.5.1 Begriffserläuterung

Eine Mehrzweckanlage besteht aus einer Vielzahl von Elementareinheiten, die je nach Bedarf oder aber auch willkürlich aneinander gekoppelt werden können. Hauptaufgabe dieser Einheiten ist die Durchführung von produktunabhängigen, universellen Einheitsprozessen und Einheitsoperationen.

Die Auswahl der Elementareinheiten beim Bau einer Anlage in Bezug auf ihre Grösse, ihre Konstruktionsmaterialien und ihre peripheren Aggregate, erfordert aufgrund des langfristig variablen Produktionsprogrammes und der Anpassung an zukünftige Modifikationen, eine weitgehende Freizügigkeit. So sind zum Beispiel Reaktoren mit Reservestützen und grossen Deckeldurchbrüchen zu versehen, um späteren Wünschen nach ändern Rohrleitungsschaltungen, erweiterter Instrumentierung, Aufbau von Kolonnen usw. ohne grosse Investitionen nachkommen zu können.

Mit der Ausstattung einer Anlage mit mehreren funktionell ähnlichen oder gleichen Einheiten von verschiedener Grösse und unterschiedlichen Konstruktionsmaterialien, ist bei der Zuordnung der produktspezifischen

Einheitsoperationen und Einheitsprozesse die Möglichkeit mehrerer Produktionsstrassen für ein und dasselbe Produkt gegeben. Dabei gilt es die physikalischen Normen der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen, wie Druck, Temperatur und die chemischen Eigenschaften der auftretenden Komponenten im Zusammenhang mit Korrosionseffekten, zu berücksichtigen. Bedingt durch die unterschiedlichen Dimensionen der Elementareinheiten, resultieren beim Vollzug der verschiedenen Produktionsprozesse variantenspezifische Produktmengen.

Das Problem der Auswahl von effizienten Produktionsstrassen aus der Vielfalt möglicher Kombinationen von Elementareinheiten bei der Vorgabe eines zeitlich und mengenmässig fixierten Produktionsprogrammes, wurde von A. Mauderli in seiner Dissertation [3] eingehend behandelt. Die Erzeugung und Auswahl von alternativen Produktionskampagnen, unter Berücksichtigung technischer, betrieblicher und materieller Bedingungen mit nachfolgender mittelfristiger Produktionsplanung, wurden vom Autor im Computerprogramm "BATCHMAN" realisiert.

Der Einsatz von Mehrzweckanlagen ist überall dort angezeigt, wo kleinere Mengen hochwertiger Produkte herzustellen sind und der Absatzmarkt aufgrund konjunktureller und/oder saisonaler Schwankungen uneinheitlich verläuft.

1.5.2 Einfaches Beispiel einer Mehrzweckanlage

Aus Gründen der Einfachheit und besserer Verständlichkeit wird das bis anhin verwendete Beispiel durch zusätzliche Elementareinheiten zu einer einfachen Mehrzweckanlage erweitert. Durch die Aenderung der Zweckbestimmung der Anlage, d.h. dem Uebergang von einer produktspezifischen Auslegung bei einer Mehrproduktanlage zu einer solchen aufgabenspezifischer Art, ergeben sich für die Herstellung der beiden Produkte E und H folgende Möglichkeiten:

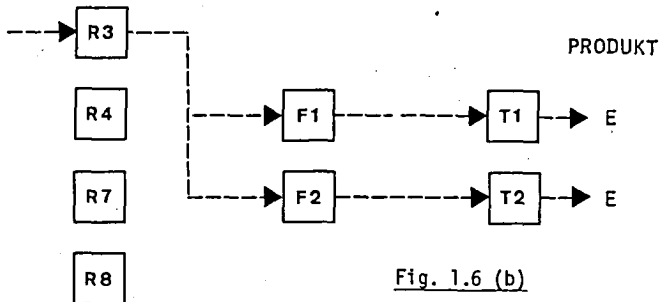
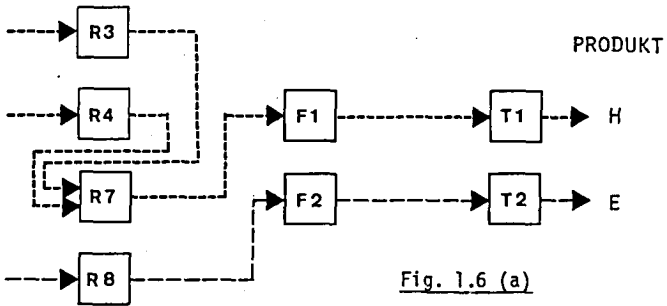


Fig. 1.6: Mögliche Produktionsvarianten

Reaktor 3 und Reaktor 8 sind aufgrund ihrer Konstruktion und den beim Bau verwendeten Werkstoffen zur Durchführung des produktspezifischen Einheitsprozesses für die Herstellung von Produkt E befähigt.

Für die nachfolgenden Einheitsoperationen ist sowohl die Belegung der beiden Filterpressen, als auch diejenige der beiden Trockner möglich. Die Durchführung der zweiten Reaktionsstufe bei der Herstellung von Produkt H in Reaktor 7 (Fig. 1.6 a) ist obligatorisch, da nur dieser über eine ausreichende Kühlkapazität verfügt.

Das Führen von parallelen Einheitsoperationen (Fig. 1.6 b) ist von Nutzen, falls die Operationszeit von der zu verarbeitenden Stoffmenge abhängt. Beim Filtrieren der Suspension aus Reaktor 3 zum Beispiel, wird mit wachsendem Filterkuchen der Gesamtwiderstand zunehmen und die Filtratmenge, unveränderte Druckverhältnisse vorausgesetzt, mehr und mehr abfallen.

Vergleicht man die beiden Produktionsmöglichkeiten, erscheint die zweite zunächst unattraktiv zu sein. Um eine endgültige Aussage machen zu können, bedarf es weiterer Informationen über die Reaktorgrößen. Die heute handelsüblichen Rührkessel sind in 19 verschiedenen Standardgrößen nach DIN mit einer Volumenbreite von $0.063 - 40.0 \text{ m}^3$ erhältlich.

Für das vorliegende Beispiel werden sie wie folgt angegeben:

Reaktor 3	2,5 m ³
Reaktor 4	1,6 m ³
Reaktor 7	4,0 m ³
Reaktor 8	1,0 m ³

Aufgrund der unterschiedlichen Rauminhalte von Reaktor 8 und Reaktor 3 sowie der verschiedenen Verweilzeiten für die beiden Produktionsvarianten, resultieren unterschiedliche Produktionsraten pro Stunde. Bedingt durch den grösseren Rauminhalt von Reaktor 3 und der anschliessenden parallelen Prozessführung, liegt diese bei der zweiten Produktionsvariante (siehe Fig. 1.6 b) vergleichsweise höher.

Welche Entscheidung bei der Auswahl einer der beiden Produktionsvarianten für die Herstellung von Produkt E getroffen werden wird, hängt sowohl von den Lagerbeständen als auch von den Bedarfsmengen der Produkte E und H ab.

ABSCHNITT 1.6

Der Anlagebetrieb

1.6.1 Begriffserläuterung

Der Anlagebetrieb wird durch die folgenden Anlagebetriebszustände charakterisiert:

- Produktion
- Produktionsunterbruch
- Produktionsstilllegung

Ursachen für das Auftreten mehrerer verschiedener Anlagebetriebszustände sind die für den Personaleinsatz gesetzlich vorgeschriebenen, standortspezifischen Normen, Automationsgrad der Anlage und Sicherheitsbestimmungen bei der Durchführung von Einheitsprozessen.

1.6.2 Kontinuierlicher Betrieb

Kontinuierlicher Betrieb ist immer dann gewährleistet, wenn er in Einklang mit den gesetzlichen Gegebenheiten steht. Durch die personelle Präsenz während 24 Stunden am Tag, inklusive Wochenende, beschränken sich Produktionsunterbrüche oder eventuelle Produktionsstilllegungen auf Unterhalts- bzw. Reparaturarbeiten.

1.6.3 Wöchentliche Produktion

Abhängig vom Automationsgrad einer Anlage können Produktionsprozesse, chemische Stabilität vorausgesetzt, für die Dauer eines Wochenendes (siehe Fig. 1.7) oder eines Feiertages unterbrochen werden. Die Fertigstellung der Charge erfolgt sodann zu Beginn der nachfolgenden Woche.

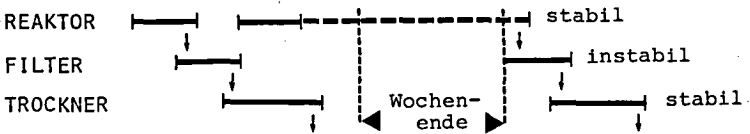


Fig. 1.7: Produktionsunterbruch an Wochenenden

Ist ein Produktionsunterbruch aufgrund der technischen Gegebenheiten nicht möglich, müssen sämtliche Chargen vor Arbeitsschluss fertiggestellt werden.

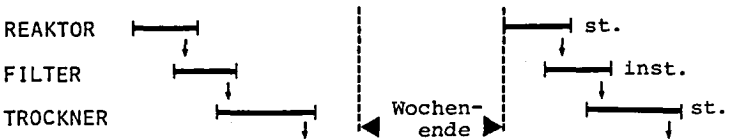


Fig. 1.8: Produktionsstilllegung an Wochenenden

Bei wöchentlicher Produktion wird die Produktionszeit nur durch die Instandsetzungszeit bei unvorhergesehenen Betriebsstörungen beeinflusst. Inspektions-, Wartungs-, und Instandsetzungsmassnahmen können an Wochenenden und Feiertagen durchgeführt werden.

Aufgrund der Stellung bezüglich des Produktionsprozesses kann man drei Arten von Lagern unterscheiden:

1. Das zeitlich vor der Produktion liegende Rohproduktlager
2. Das zeitlich mit dem Produktionsprozess verlaufende Zwischenlager
3. Das zeitlich nach der Produktion verlaufende Endproduktlager

In dem gemäss Fig. 1.9 abgegrenzten System, kann der Materialfluss ausgehend vom Rohprodukt bis zum Endprodukt verschiedene Prozesse und Operationen durchlaufen.

Die einfachste Form einer Operation ist das Umfüllen von Rohprodukten in firmeneigenes Packmaterial. Gründe hierfür, sieht man von einem reinen Produktehandel ab, bilden kurzfristige Engpässe im Produktionsbereich.

Vergleichsweise kompliziert gestaltet sich dagegen die zeitliche Reihenfolge der verschiedenen Produktionsprozesse bei einem vertikalen Produktionsprogramm.

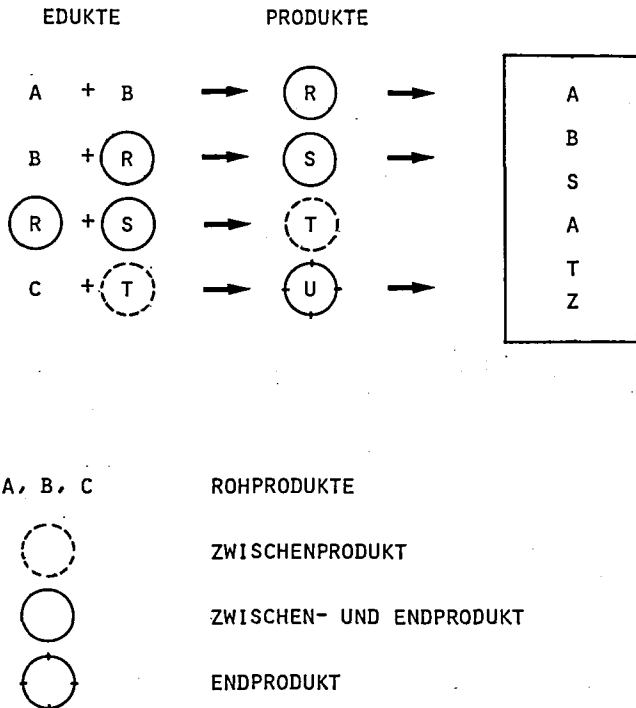


Fig. 1.10: Produktionsschema

Fig. 1.10 zeigt das Beispiel eines rein vertikalen Produktionsprogrammes. Um solche oder ähnliche Programme auf einer Anlage realisieren zu können, bedarf es der Bildung von Lagern.

1.7.2 Das Rohproduktlager

Primäre Aufgabe des Rohproduktlagers ist die mengenmässige und termingerechte Bereitstellung von Produkten, um die reibungslose Durchführung der Produktionsprozesse zu sichern. Da Anlieferung und Verbrauch in der Regel aus verschiedenen Gründen nicht synchron verlaufen, erfüllen Rohproduktlager in der Ueberbrückung dieser Spannungen eine wichtige Funktion.

Sekundär dient die Schaffung von Lagerbeständen strategischen oder spekulativen Zwecken.

1.7.3 Das Zwischenproduktlager

Zwischenproduktlager haben in erster Linie zwei Aufgaben: Sie dienen zunächst einmal der Aufnahme von Zwischenprodukten, wenn eine Elementareinheit einen Ausstoss hat, der zeitlich und mengenmässig von der nachfolgenden Einheit nicht aufgenommen und weiterverarbeitet werden kann (Zwischenlagertank). Immer dann, wenn kapazitätsmässig disproportionierte Einheitsprozesse und Einheitsoperationen vorliegen, sind solche Zwischenlager notwendig.

Zum andern dienen Zwischenproduktlager der mengenmässigen und termingerechten Bereitstellung von Edukten für die nachgelagerten Produktionsprozesse bei vertikalem Produktionsprogramm.

1.7.4 Das Endproduktlager

Die Bildung von Endproduktlagern dient der Ueberbrückung der Spannungen zwischen Produktion und Absatz. Diese beruhen einerseits auf der diskontinuierlichen Produktionsweise und andererseits auf den saisonalen und konjunkturellen Schwankungen des Absatzmarktes.

Wie das Beispiel Fig. 1.10 zeigt, sind in der Praxis die Grenzen zwischen den verschiedenen Arten von Lagern fließend, und somit ist eine exakte Trennung derselben oft nicht möglich.

1.7.5 Die charakteristischen Grössen eines Lagers

Die charakteristischen Grössen eines Lagers sind die maximale und die minimale Lagermenge. Die erste Menge ist durch den räumlichen Inhalt eines Tankes oder eines Gebäudes gegeben. Die Minimalmenge, oft als Pufferlager bezeichnet, dient der Ueberbrückung von Rohprodukt- und/oder kurzfristigen Produktionsengpässen und wird in der Regel durch eine gleichzeitige Minimierung von Kapital, Kosten und Risiko bestimmt. Somit stellt die maximale Lagermenge eine absolute obere Schranke für den effektiven Lagerbestand dar, während die untere Schranke unter bestimmten Voraussetzungen unterschritten werden darf.

Nachfolgende Darstellung zeigt den mengenmässigen Verlauf eines Produktes in einem Lagertank.

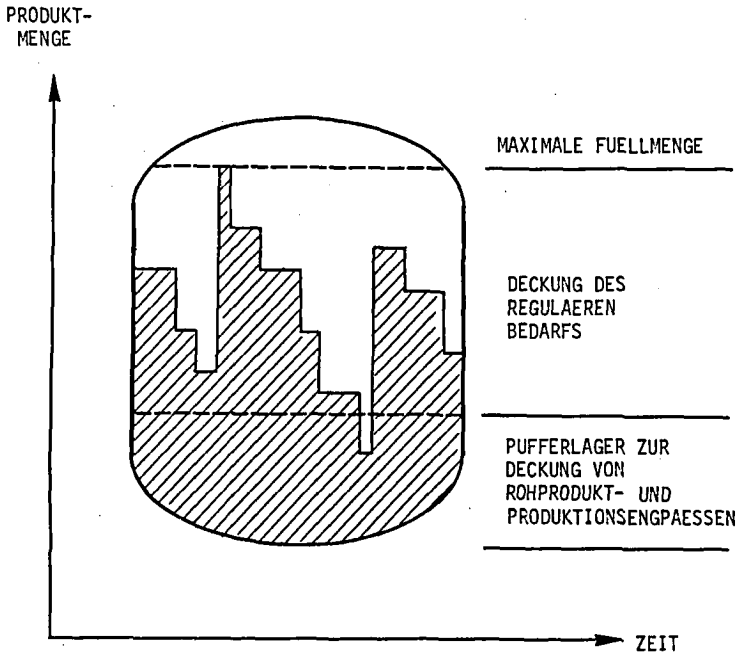


Fig. 1.11: Zeitlicher Verlauf des Lagerbestandes bei diskontinuierlicher Produktion

Für die kurzfristige Produktionsplanung gilt als weitere charakteristische Grösse der Lagerbestand bei Planungsende.

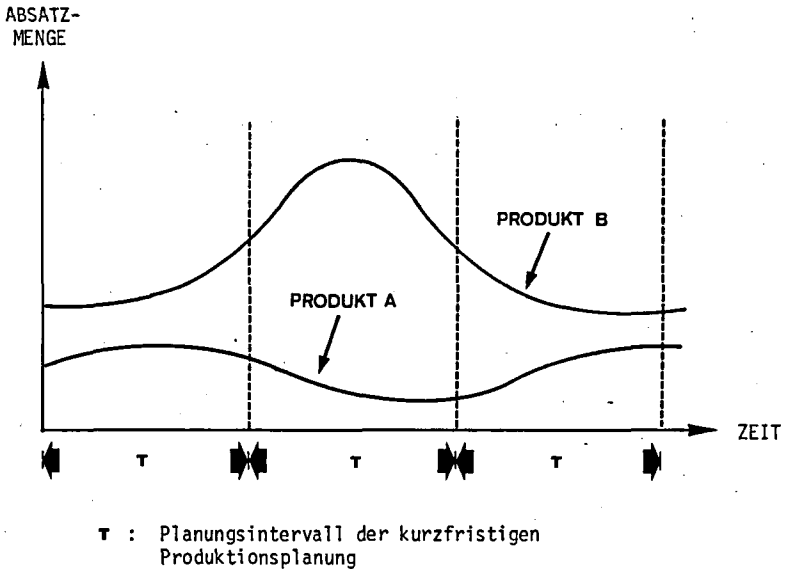


Fig. 1.12: Mittelfristig zu erwartender Absatz

Fig. 1.12 zeigt die der mittelfristigen Produktionsplanung entnommenen Absatzkurven für die Produkte A und B. Je weiter diese Daten in die Zukunft gerichtet sind, desto grösser ist ihre Unsicherheit. Mit fortschreitender Kalenderzeit werden die aufgrund langjähriger Marktbeobachtungen errechneten Erwartungswerte durch die eingegangenen Bestellungen ersetzt. Im Terminplan zusammengefasst, bilden sie die Grundlage für die kurzfristige Produktionsplanung.

Saisonale Absatzschwankungen wie sie für beide Produkte in Fig. 1.12 erwartet werden, können vorübergehende Produktionsengpässe verursachen. Die Ueberbrückung einer solchen Situation kann entweder durch Fremdbezug, oder durch eine entsprechende Produktionsplanung bei freier Anlagekapazität zu einem früheren Zeitpunkt erfolgen.

Bedingt durch die Dauer des Planungsintervalles bei der kurzfristigen Produktionsplanung, werden kommende Absatzspitzen in der Regel zu spät erkannt. Die Vorgabe eines minimalen Lagerbestandes für jedes Produkt am Ende einer Planungsperiode ermöglicht es nun, mittelfristig zu erwartende Engpässe schon frühzeitig in der Produktionsplanung zu berücksichtigen.

K A P I T E L 2

Methode zur Lösung des Problems der
optimalen kurzfristigen Produktionsplanung

ABSCHNITT 2.1

E i n f ü h r u n g

Das vorliegende Kapitel setzt sich mit der schrittweisen Lösung des Problems der kurzfristigen, optimalen Produktionsplanung am Beispiel einer absatzweise arbeitenden Mehrzweckanlage auseinander. "Optimal" bedeutet, dass die Gesamtkosten, bestehend aus Lager-, Reinigungs-, Einrichte- und Produktionskosten, unter Berücksichtigung verschiedenster Randbedingungen, ein Minimum darstellen. Produktmengen unabhängige, konstante Kostenbeiträge in Form von "fixen Kosten" für das Lager und die Produktion werden, da die Zielfunktion ihrer bezüglich invariant ist, nicht berücksichtigt. Das der Optimierung zugrunde liegende System wurde im vorangegangenen Kapitel in Fig. 1.9 definiert.

In den folgenden Abschnitten wird ein Zweistufenverfahren vorgestellt, mittels dessen der beste Aktionsplan für eine Anlage bei einem zeitlich und mengenmässig vorgegebenen Endproduktbedarf bestimmt werden kann. Die erste Stufe generiert unter Berücksichtigung der Fertigungstermine und der Verfügbarkeit von Elementareinheiten und Zwischenprodukten mögliche alternative Prozessreihen. Die Auswahl der kostengünstigsten Produktfolge geschieht sodann in der zweiten Stufe, durch die zeitliche Fixierung der Einheitsoperationen und Einheitsprozesse im Rahmen der geltenden Arbeitszeiten und der zur Verfügung stehenden Rohprodukt- und Betriebsstoffmengen.

ABSCHNITT 2.2

Im vorliegenden Beispiel verwendete Daten

Die Lösung des Problems der optimalen, kurzfristigen Produktionsplanung für eine Mehrzweckanlage erfordert die Angaben bezüglich Anlagespezifikationen, Prozessbeschreibungen, Lagerbestände, Planungsdauer und Verkaufsmengen.

2.2.1 Anlagespezifikationen

Tabelle 2.1 gibt eine Uebersicht über die Elementar-einheiten der Anlage, ihre Dimensionierung und die in den folgenden Abschnitten verwendeten Abkürzungen.

<u>Einheit</u>		<u>Dimensionierung</u>		<u>Abkürzung</u>
Rührkessel	1	2 500 1		Reaktor 1
Rührkessel	2	1 600 1		Reaktor 2
Rührkessel	3	2 500 1		Reaktor 3
Rührkessel	4	1 600 1		Reaktor 4
Rührkessel	6	1 600 1		Reaktor 6
Rührkessel	7	4 000 1		Reaktor 7
Filternutsche				Filter 1
Filterpresse 1				Filtpre 1
Filterpresse 2				Filtpre 2
Schaufeltrockner				Trockner 1
Trockenschrank				Trschrank

Tabelle 2.1: Elementareinheiten der Anlage

Auf der vorliegenden Mehrzweckanlage werden die vier Produkte F, D, E und H hergestellt. Die Belegung der Elementareinheiten bei der Durchführung der verschiedenen Produktionsprozesse ist in der nachfolgenden Graphik veranschaulicht.

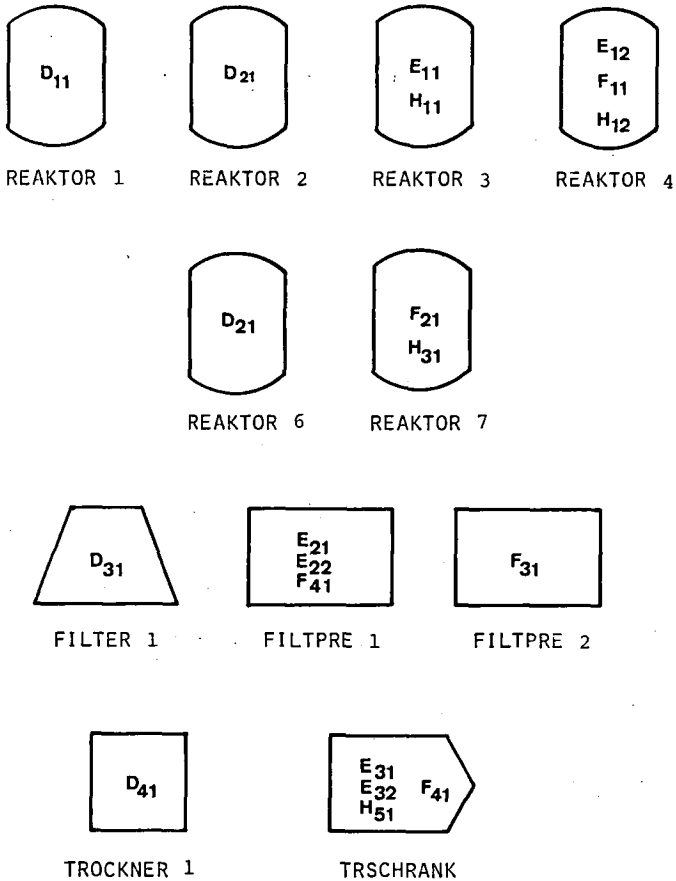


Fig. 2.1: Belegung der Elementareinheiten

Der erste Index der Produktionsabkürzungen in Fig. 2.1 bestimmt die Stellung der Elementareinheit innerhalb einer Produktionsstrasse. Der zweite dient der Unterscheidung der Produktionsstrassen. E_{32} bedeutet zum Beispiel, dass die entsprechende Elementareinheit als dritte, innerhalb der zweiten Produktionsstrasse bei der Herstellung einer Charge von Produkt E belegt wird.

Die Steuer- und Regelsysteme der Anlage sind so ausgelegt, dass sich die einzelnen Produktionsprozesse überlappen können.

Die Betriebsstoffe Dampf und Elektrizität unterliegen technischen Kapazitätsschranken. Die maximale Dampferzeugung des Heizkessels beträgt 40'000 KCal/h. Der Elektrizitätsverbrauch ist aufgrund der bestehenden Leistungssysteme auf 50 KW limitiert.

2.2.2 Prozessspezifikationen

Auf den nachfolgenden Seiten Fig. 2.2 - 2.6 sind die zeitlichen Belegungen der Elementareinheiten, der Elektrizitäts- und der Dampfverbrauch für die verschiedenen Produktionsprozesse graphisch dargestellt.

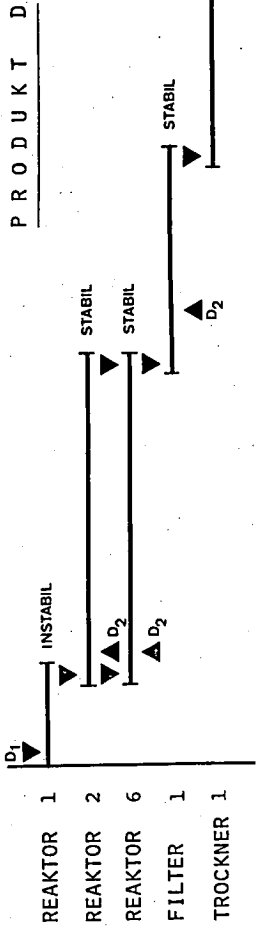


Fig. 2.2a: Belegungsplan

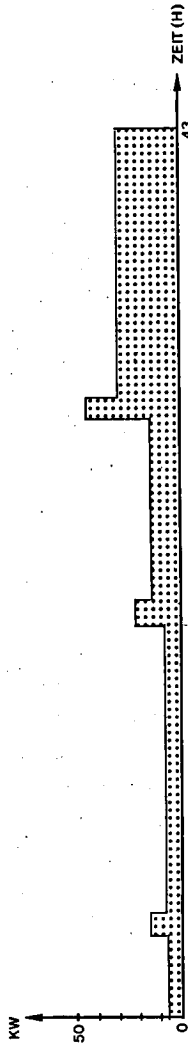


Fig. 2.2b: Elektrizitätsverbrauch

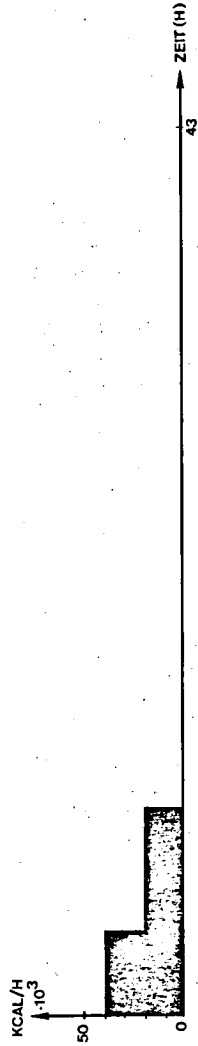


Fig. 2.2c: Dampfverbrauch

PRODUK T E (VARIANTE 1)

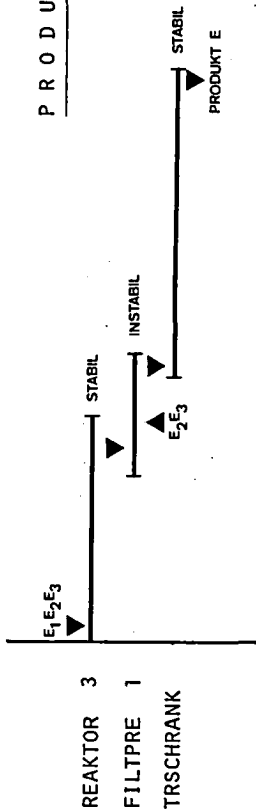


Fig. 2.3a: Belegungsplan

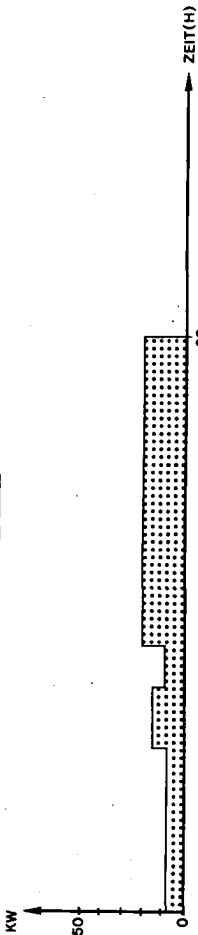


Fig. 2.3b: Elektrizitätsverbrauch

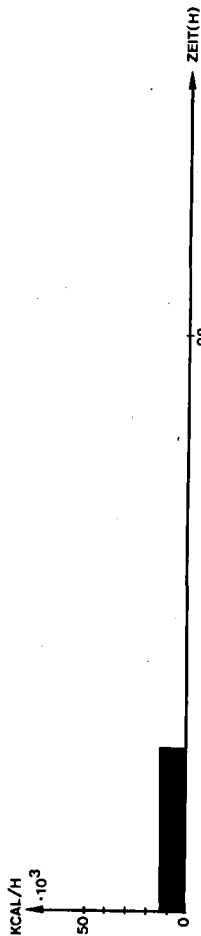


Fig. 2.3c: Dampfverbrauch

P R O D U K T E (VARIANTE 2)

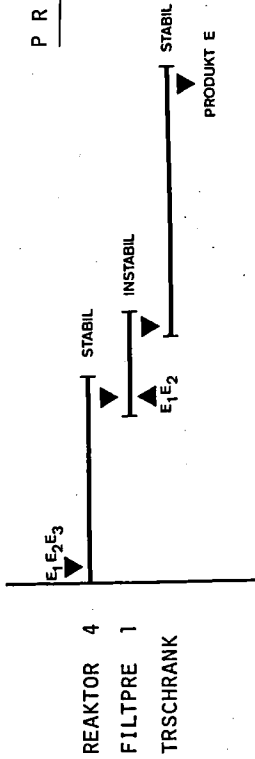


Fig. 2.4a: Belegungsplan

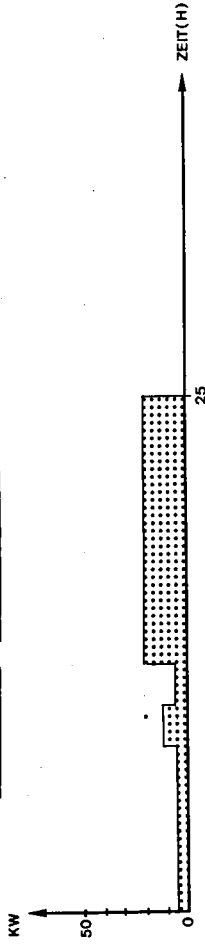


Fig. 2.4b: Elektrizitätsverbrauch

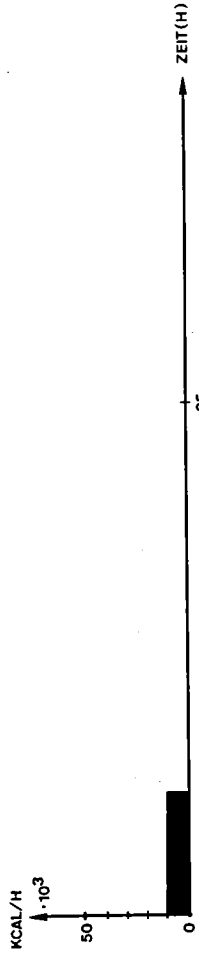


Fig. 2.4c: Dampfverbrauch

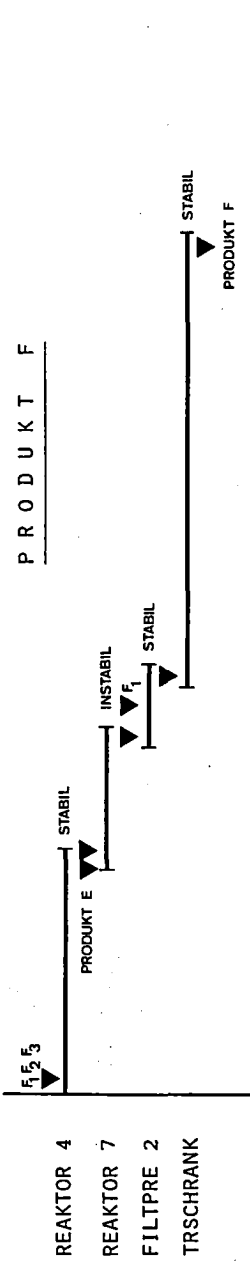


Fig. 2.5a: Belegungsplan

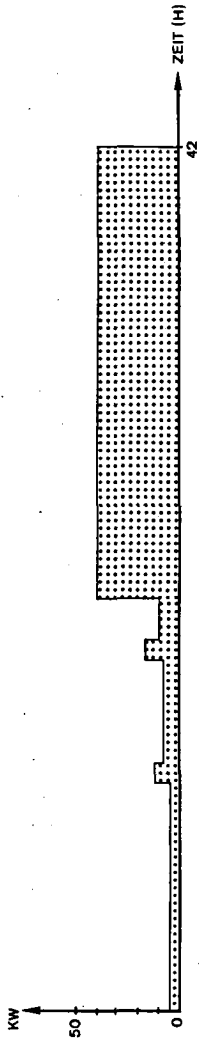


Fig. 2.5b: Elektrizitätsverbrauch

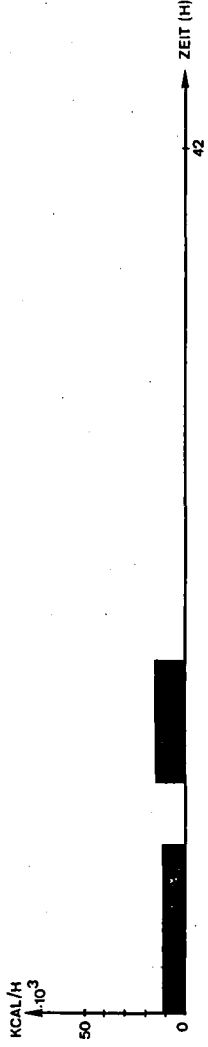


Fig. 2.5c: Dampfverbrauch

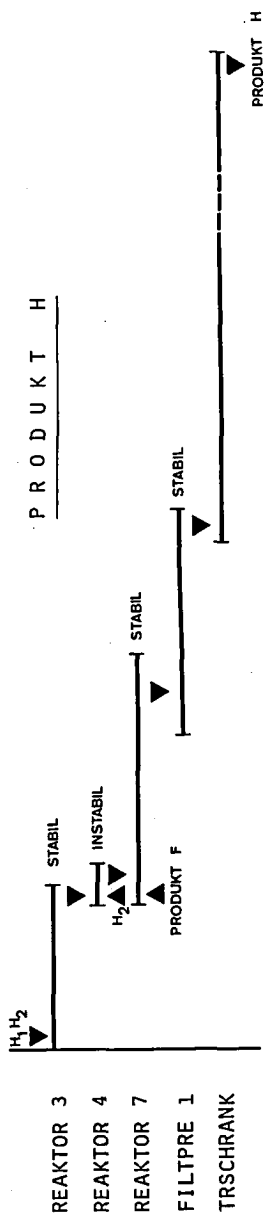


Fig. 2.6a: Belegungsplan

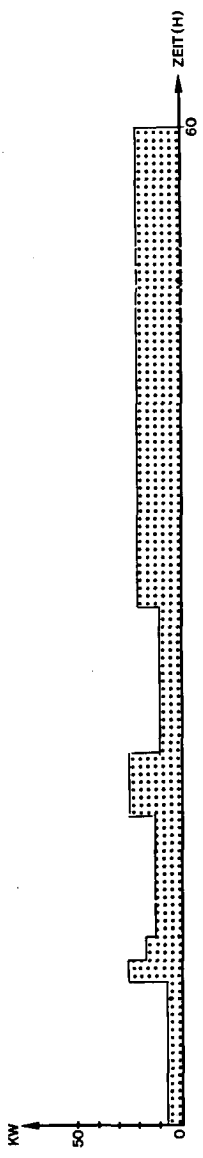


Fig. 2.6b: Elektrizitätsverbrauch

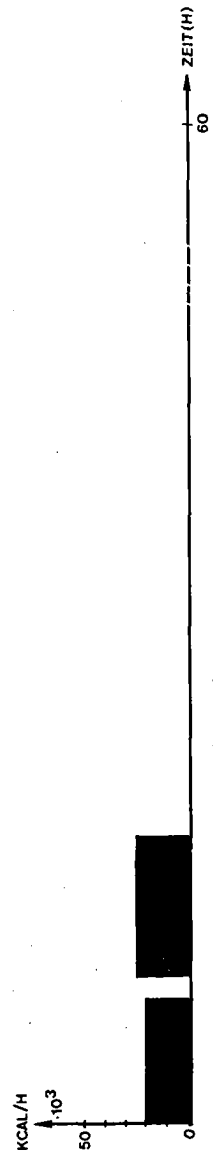


Fig. 2.6c: Dampfverbrauch

Tab. 2.2 zeigt die Produktmengen pro Charge der verschiedenen Produktionsprozesse:

<u>Produktionsstrasse</u>	<u>Produktmenge</u>
D (Variante 1)	400 Kg
E (Variante 1)	300 Kg
E (Variante 2)	240 Kg
F (Variante 1)	600 Kg
H (Variante 1)	300 Kg

Tabelle 2.2: Produktmenge pro Charge

Die Angabe der Stabilität des Stoffgemisches bestimmt das unmittelbare Vorgehen nach einem durchgeführten Einheitsprozess bzw. nach einer beendeten Einheitsoperation. Stabile Komponenten können bis zur Bereitstellung der nachfolgenden Einheit in der jeweiligen belassen werden. Die Ansatzzeit der Elementareinheit ist somit unabhängig von der Verfügbarkeit der nachfolgenden. Anders verhält es sich im Falle von Instabilität. Hier bestimmt die Einsatzbereitschaft der nachfolgenden Elementareinheit - beim Auftreten mehrerer instabiler Stufen in Serie, die Einsatzbereitschaft der nachfolgenden Elementareinheiten - die Ansatzzeit.

Die beiden Produktionsstrassen für Produkt E (siehe Fig. 2.3/2.4) unterscheiden sich in der örtlichen Durchführung des Einheitsprozesses.

Entsprechend den Reaktorgrößen (Tab. 2.1) resultiert für jede Produktionsstrasse eine bestimmte Produktmenge für eine Charge. Bedingt durch die Abhängigkeit der Prozess- und Operationszeiten von der Menge der zu verarbeitenden Stoffe, entsteht eine Differenz in den Verweilzeiten (Fig. 2.3b/2.4b).

Das auf der Anlage zu fertigende Produktionsprogramm ist gemäss dem Produktschema (Fig. 2.7) stark vertikal.

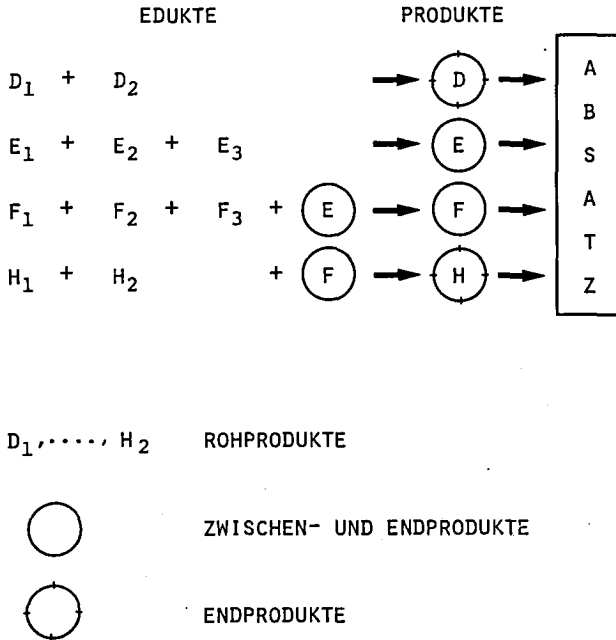


Fig. 2.7: Produktschema

Roh- produkt Produktions- variante											
	D ₁	D ₂	E ₁	E ₂	E ₃	F ₁	F ₂	F ₃	H ₁	H ₂	
D ₁	1000	1500	0	0	0	0	0	0	0	0	
E ₁	0	0	740	1020	900	0	0	0	0	0	
E ₂	0	0	670	1500	750	0	0	0	0	0	
F ₁	0	0	0	0	0	1000	700	1000	0	0	
H ₁	0	0	0	0	0	0	0	700	1400	1400	

Tabella 2.3: Benötigte Rohproduktmengen pro Charge

Die Produkte D und H sind reine Endprodukte. Für die Produkte E und F besteht ein interner und ein externer Bedarf, d.h. sie sind sowohl Zwischen- als auch Endprodukte.

Nebst den qualitativen bedarf es auch der Angabe der quantitativen Zusammenhänge. Die für die Herstellung einer Charge notwendigen Rohproduktmengen sind für die verschiedenen Produktionsvarianten in Tab. 2.3 dargestellt. Die dabei verwendete Masseinheit ist das Kilogramm.

Der Bedarf an Zwischenprodukten für die Durchführung einer Charge zur Herstellung der variantenspezifischen Produktmengen folgt aus Tab. 2.4

Produktions- variante	Zwischen- produkt	E	F
	F ₁		100
H ₁		0	200

Tabelle 2.4: Benötigte Zwischenproduktmenge pro Charge

Aufgabe der kurzfristigen Produktionsplanung wird es sein, die externe Nachfrage und den daraus abzuleitenden internen Bedarf termingerecht zu befriedigen.

Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Einheitsprozessen bzw. Einheitsoperationen ist in den meisten Fällen eine Reinigung der Elementareinheit erforderlich. Findet gleichzeitig ein Produktwechsel statt, sind zusätzliche Tätigkeiten notwendig. Der zeitliche und finanzielle Aufwand für die Reinigung und das Einrichten während einer Produktionsperiode sind somit eine Funktion der Produktionsreihenfolge der verschiedenen Produktionsvarianten. Für das vorliegende Beispiel sind in der nachfolgenden Tab. 2.5 die Zahlenwerte des zeitlichen und materiellen Aufwandes für das Reinigen und Einrichten zwischen zwei aufeinanderfolgenden Einheitsprozessen bzw. Einheitsoperationen zusammengestellt.

Einheit	von Produkt	zu Produkt	Reinigungs- u/o Zeit (h)	Einrichteaufwand Fixkosten (SFr.)
Reaktor 1	D	D	24	500.--
Reaktor 2	D	D	24	300.--
Reaktor 6	D	D	24	300.--
Filter 1	D	D	36	500.--
Trockner 1	D	D	-	-
Reaktor 3	E	F	10	200.--
	E	H	48	500.--
	H	H	10	100.--
	H	E	60	550.--
Filtpre 1	E	E	24	300.--
	E	H	36	200.--
	H	H	-	-
	H	E	30	400.--
Trschrank	E	E	8	100.--
	E	F	16	200.--
	E	H	16	200.--
	F	E	20	200.--
	F	F	6	40.--
	F	H	20	200.--
	H	F	24	200.--
	H	F	24	200.--
Filtpre 2	H	H	10	100.--
	F	F	12	250.--
Reaktor 4	E	E	10	50.--
	E	F	20	120.--
	E	H	48	300.--
	F	E	16	100.--
	F	F	10	200.--
	F	H	20	300.--
	H	E	12	120.--
	H	F	24	400.--
Reaktor 7	H	H	-	-
	F	F	8	100.--
	F	H	12	150.--
	H	F	24	200.--
	H	H	10	100.--

Tabelle 2.5: Reinigungs- und Einrichteaufwand

2.2.3 Daten der Lagerhaltung

Bedingt durch das Zusammenfassen der Bereiche Produktion und Lagerhaltung für die Bestimmung des optimalen Produktionsplanes werden für jedes Produkt folgende Daten des Lagers (Begriffserläuterungen siehe Unterabschnitt 1.7.5) für die Durchführung des Planungsprozesses benötigt.

- Lagerbestand bei Planungsbeginn
- minimaler Lagerbestand am Morgen des dem letzten Planungstag folgenden Tages
- Pufferlagerbestand
- Lagerkapazität

Der Spielraum der Planung wird durch die Angabe der letzten zwei Grössen (siehe Tab. 2.6) stark eingeengt.

Die Angabe der Herstellungskosten für ein Kilogramm Produkt in der letzten Spalte von Tab. 2.6 dient der Berechnung des im Lager gebundenen Kapitals.

Produkt- bezeichnung	Anfangs- lager	End- lager	Min.Lager- menge	Max.Lager- menge	Herst. kosten
	Kg	Kg	Kg	Kg	SFr.
Produkt D	1900	2100	1800	40'000	200.--
Produkt E	2370	2100	2000	30'000	250.--
Produkt F	2170	1800	1500	20'000	300.--
Produkt H	2500	2500	2000	25'000	400.--

Tabelle 2.6: Endproduktlagerdaten

Eine entsprechende Behandlung des Rohproduktlagers ist aufgrund des Unterschiedes zwischen der Bedarfs- und der Bestellmenge nicht möglich.

Die Bedarfsmenge ist für den Einkauf ein Datum, das ihr durch den Produktionsplan vorgegeben wird. Die Bestellmenge wird nun aber in der Regel nicht mit dieser Menge übereinstimmen, da spekulative oder andere marktliche Ueberlegungen - je nach dem Ermessensspielraum, der dem Einkauf eingeräumt ist - im Endeffekt ausschlaggebend sind. Da die Kosten des Rohproduktlagers, Wirtschaftlichkeitsprinzip vorausgesetzt, die Produktionsplanung nicht beeinflussen, wurde dieses aufgrund der vorausgegangenen Ausführungen aus dem zu optimierenden System ausgeklammert.

Die Berücksichtigung von Engpässen auf dem Beschaffungsmarkt erfolgt somit nur für den Fall, dass diese durch die Lagerhaltung nicht oder nur teilweise kompensiert werden können. Das Ausmass der Verzögerung bei der Herstellung der entsprechenden Produkte wird durch die Angabe von Zeitpunkt und Menge der Rohproduktlieferungen sowie derjenigen des Restbestandes bestimmt.

2.2.4 Planungs- und Verkaufsdaten

Die Planungsdaten umfassen die Kalenderzeiten für den Beginn und das Ende des Planungsintervalles. Zur Bestimmung der effektiven Produktionszeit werden zusätzliche Daten betreffend den geltenden Arbeitszeiten sowie solche möglicher Feiertage während der Planungsperiode benötigt.

Im vorliegenden Beispiel soll die optimale Produktionsplanung für die Zeitdauer vom 24.7. bis zum 12.8.1978 durchgeführt werden. Die Produktion erfolgt im Dreischichtenbetrieb vom Montag 06.00 bis Samstag 18.00 Uhr. Begonnene Chargen können, Stabilität der Komponenten vorausgesetzt, nach durchgeführtem Einheitsprozess bzw. beendeter Einheitsoperation über das Wochenende in der entsprechenden Elementareinheit belassen werden. Der Anlagebetrieb wird vom 31.7. 20.00 bis zum 2.8. 06.00 Uhr eingestellt. Sämtliche begonnenen Chargen müssen somit bis zum Arbeitsende gefertigt sein.

Die Verkaufsdaten, bestehend aus den täglichen kumulativen Verkaufsmengen für den Planungszeitraum, bilden die Grundlage für den Terminplan. Die dort vorgegebenen Auftragstermine, bis zu denen die gewünschten Produktmengen fertiggestellt sein müssen, gelten als Ausgangspunkte für die genaue terminliche Fixierung des Ablaufs der eigentlichen Produktionsprozesse. Nachstehende Tabelle zeigt den Stand des Terminplanes bei Planungsbeginn.

	Produkt D Kg	Produkt E Kg	Produkt F Kg	Produkt H Kg
Mo 24.7.	50	20	100	100
Di 25.7.	100	30	50	150
Mi 26.7.	50	-	20	50
Do 27.7.	60	-	100	50
Fr 28.7.	80	280	50	70
Sa 29.7.	-	-	-	-
So 30.7.	-	-	-	-
Mo 31.7.	40	50	50	130
Di 1.8.	-	-	-	-
Mi 2.8.	200	100	30	50
Do 3.8.	-	130	-	30
Fr 4.8.	120	40	20	50
Sa 5.8.	-	-	-	-
So 6.8.	-	-	-	-
Mo 7.8.	110	10	10	30
Di 8.8.	450	20	-	50
Mi 9.8.	10	-	50	50
Do 10.8.	10	10	60	30
Fr 11.8.	60	-	10	10
Sa 12.8.	-	-	-	-

Tabelle 2.7: Stand des Terminplanes am 23.7.1978

2.2.5 Ist-Zustand des Produktionsgeschehens in der Anlage
bei Planungsbeginn

Ein Produktionsplan besitzt nur solange Gültigkeit, als die ihm zugrunde liegenden Bestimmungsgrößen nicht ändern oder keine nennenswerten Abweichungen von den im Produktionsplan vorgegebenen Zeit- und Mengenangaben auftreten.

Änderungen der Bestimmungsgrößen umfassen:

- kurzfristige Bestellungseingänge
- Rohproduktengpässe
- Betriebsstörungen

Ursachen für Abweichungen zwischen dem Produktionsplan und dem Ist-Zustand des Systems sind:

- Qualitätsschwankungen bei den Rohprodukten
- verdorbene Chargen
- Produktionsverzögerungen

Bedingt durch die Variation der Produktmengen bei mehreren Chargen derselben Produktionsvariante - die in der Tab. 2.2 gegebenen Produktmengen/Charge stellen Mittelwerte dar - sind Abweichungen zwischen den Soll- und den Ist-Lagerbeständen möglich.

Die Unterschiede zwischen berechneten, effektiven Endlagerbeständen und den vorgegebenen minimalen Beständen bei Planungsende, bilden die Toleranzgrenzen bei Produktionsverlusten.

Jede Planung birgt die Gefahr in sich, dass sie zur Unbeweglichkeit gegenüber wechselnden Situationen führt. Der Grundsatz grösstmöglicher Flexibilität lässt sich nur durch eine dynamische Planung realisieren. Bei der kurzfristigen Produktionsplanung stellt sich dabei das Problem der Zeitverhältnisse. Die Herstellung eines den neuen Gegebenheiten angepassten Folgeplanes, unter Berücksichtigung des Produktionsgeschehens in der Anlage, muss zeitgerecht erfolgen. Die Aktivitäten in der Anlage bei Planungsbeginn für das vorliegende Beispiel sind aus Fig. 2. 8 ersichtlich.

Die Notwendigkeit eines neuen Planungsprozesses ist durch Schwierigkeiten in der Beschaffung von Rohprodukt E_1 gegeben. Die vertraglich fixierten Liefertermine und Liefermengen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

<u>Lieferung</u>	<u>Zeitpunkt</u>	<u>Menge (KG)</u>
1	24.7. 00.00	1000.
2	5.8. 12.00	1500.
3	13.8. 12.00	2000.

Tabelle 2.8: Lieferbedingungen für Rohprodukt E_1

PRODUKTIONSZEIT VON DONNERSTAG 20. 7. 1979 BIS MONTAG 24. 7. 1979

ANZAHL BATSCHENHEITEN: 11
ANZAHL PRODUKTE 1 4

PRODUKTABKÜRZUNGEN:

- A = PRODUKT D VARIANTE 1
- B = PRODUKT E VARIANTE 1
- C = PRODUKT F VARIANTE 1
- D = PRODUKT H VARIANTE 1
- E = PRODUKT G VARIANTE 2

- I = REINIGUNG DES BATCHHEIT
- J = APPARAT NICHT IN BETRIEB
- M = PARTEI ZEIT

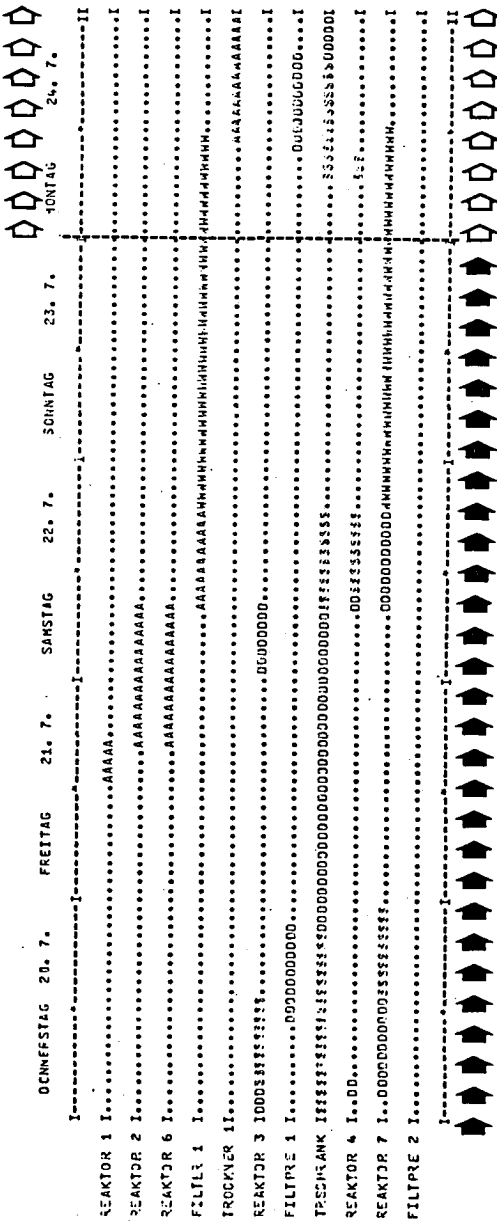


Fig. 2.8: Produktionsgeschehen bei Planungsbeginn

Die Termine stellen in der Regel nur eine obere zeitliche Schranke dar, bis zu welcher die Anlieferung spätestens zu erfolgen hat.

Die restlichen Rohprodukte stehen in ausreichenden Mengen zur Verfügung und beeinträchtigen somit die Produktion während der Planungsperiode nicht.

ABSCHNITT 2.3

Berechnung von Hilfsgrößen

Bevor mit der Behandlung des Zweistufenverfahrens, mittels dessen der beste Aktionsplan für eine Anlage bestimmt wird, begonnen werden kann, bedarf es der Besprechung nachstehender Hilfsgrößen:

1. stabile Blöcke
2. unabhängige Produktgruppen
3. Prioritätslisten
4. geordnete Variantenlisten

Dem Zusammenfassen, Ordnen und Berechnen von Daten liegen folgende Absichten zugrunde:

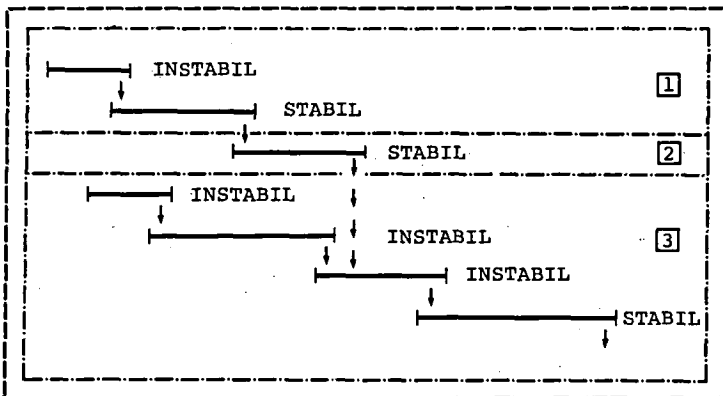
- (i) Reduktion der Lösungsmenge eines Problems
- (ii) Reduktion des Rechenaufwandes durch eine geordnete, optimale Verfahrensweise
- (iii) Reduktion des Rechenaufwandes durch Verwendung von Größen mit einer möglichst grossen Informationsbreite
- (iv) Reduktion des Rechenaufwandes bei wiederkehrenden Berechnungen

Allgemein ist die Verwendung von Hilfsgrößen überall dort angezeigt, wo sich durch ihren Einsatz der anschließende Rechenaufwand verringern lässt.

2.3.1 Unterteilung der Produktionsprozesse in "stabile Blöcke"

Der Unterteilung der Produktionsprozesse in "stabile Blöcke" erfolgt aufgrund der Auswirkungen (ii) und (iii) beim Shiftverfahren (siehe Seite 99).

Die Verfahrensweise bei der Bestimmung der "stabilen Blöcke" soll anhand des nachfolgend dargestellten Produktionsprozesses gezeigt werden.



- Blocknummer
- Grenzen des Prozesssystems
- - - - - Grenzen des Blocksystems

Fig. 2.9: Systemgrenzen

Einfachstes Subsystem eines Prozesssystemes ist die Elementareinheit. Das Ziehen von Systemgrenzen zwischen Subsystemen mit stabilen Produkten und denjenigen für welche diese Produkte Edukte sind, führt zur Bildung von "stabilen Blöcken".

Diese bestehen somit aus einer Elementareinheit mit stabilen Produkten nach beendigem Einheitsprozess bzw. durchgeführter Einheitsoperation und einer variablen Anzahl solcher mit instabilen Stoffkomponenten. Für letztere gilt die Bedingung der Gleichheit von Prozess- und Verweilzeit. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Blöcken können Wartezeiten auftreten. Diese werden entweder durch kurzfristige Kapazitätsauslastung bei den Betriebsmitteln oder durch die geltende Arbeitszeit verursacht. Für den q-ten Block der j-ten Produktionsstrasse $j \in J_1$ zur Herstellung von Produkt i muss somit die Beziehung

$$\max_{l \in U_{qj}} \{ p_{lj}^* \} - \min_{l \in U_{qj}} \{ p_{lj}^o \} \leq \max_{l \in U_{qj}} \{ t_{lk}^* \} - \min_{l \in U_{qj}} \{ t_{lk}^o \}$$

gelten.

Hierbei bedeuten:

U_{qj} : die Menge der Elementareinheiten im q-ten Block

P_{lj}^0 : relative Prozessstartzeit in Einheit 1 bezogen auf den Zeitpunkt des Chargenansatzes

P_{lj}^* : relative Prozessendzeit in Einheit 1 bezogen auf den Zeitpunkt des Chargenansatzes

t_{lk}^0 : Kalenderzeit des Beginns der Belegung in Einheit 1 bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns

t_{lk}^* : Kalenderzeit des Endes der Belegung in Einheit 1 bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns

2.3.2 Unterteilung des Produktionsprogrammes in unabhängige Produktgruppen

Zwei Produkte gelten als voneinander abhängig, falls die Produktionsstrassen zur Herstellung dieser, gemeinsame Elementareinheiten besitzen, oder falls es sich bei dem einen Produkt um ein direktes oder indirektes Folgeprodukt handelt.

Aufgrund der Bestimmungsgrößen erfolgt die Bildung von unabhängigen Produktgruppen in zwei Schritten:

I. gemeinsame Elementareinheiten

Angenommen eine Anlage umfasse $|L|$ verschiedene Elementareinheiten $l, l \in L'$, auf der die Produkte $i, i \in I$ des Produktionsprogrammes zu fertigen sind.

Zur Herstellung von Produkt i stehen J_i Produktionsstrassen j , $j \in J_i$, zur Verfügung. Eine Produktionsstrasse oder Variante wird durch die $|L_j|$ Elementareinheiten l , $l \in L_j$, gebildet. Die Menge N_i der Einheiten l , welche in irgend einer Variante für Produkt i auftreten, ergibt sich aus

$$N_i = \bigcup_j L_j \quad ; \quad j \in J_i$$

Für das weitere Vorgehen wird die 0-1-Variable x_{il}

$$x_{il} = \begin{cases} 1, & \text{falls } l \in N_i \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

eingeführt.

Das Zusammenfassen von zwei Produkten r und q , $q \neq r$, zu einer Gruppe M_f erfolgt unter der Bedingung, dass

$$\sum_{l \in L} x_{rl} \cdot x_{ql} \geq 1$$
$$l = 1$$

ist.

Ist die Menge $(I \setminus \bigcup_f M_f) \neq \{\phi\}$ werden aus ihren einzelnen Elementen zusätzliche Gruppen gebildet. Das Zusammenfassen der Gruppen mit einem oder mehreren gemeinsamen Elementen, führt zur Bildung von, bezüglich den benötigten Elementareinheiten, unabhängigen Produktgruppen.

Für das diesem Kapitel zugrunde liegende Beispiel gilt

$|L| = 11$, $|I| = 4$ und für die x_{i1} -Werte gemäss

Fig. 2.1:

		Produkt D	Produkt E	Produkt F	Produkt H
		1	2	3	4
1	Reaktor 1	1	0	0	0
2	Reaktor 2	1	0	0	0
3	Reaktor 3	0	1	0	1
4	Reaktor 4	0	1	1	1
5	Reaktor 5	1	0	0	0
6	Reaktor 6	0	0	1	1
7	Filter 1	1	0	0	0
8	Filtpre 1	0	1	0	1
9	Filtpre 2	0	0	1	0
10	Trockner 1	1	0	0	0
11	Trschrank	0	1	1	1

Tabelle 2.9a: x_{i1} -Werte

Die Anzahl gemeinsam benötigter Elementareinheiten für zwei Produkte ist nachstehend tabelliert.

r	q	$\sum x_{r1} \cdot x_{qr}$
1	2	0
1	3	0
1	4	0
2	3	2
2	4	4
3	4	3

Tabelle 2.9b: gemeinsame Elementareinheiten

Hieraus ergeben sich folgende Gruppen:

$$M_1 = \{2,3\} ; M_2 = \{2,4\} ; M_3 = \{3,4\}$$

$$\text{Aus } (I \setminus \bigcup_f M_f) = \{1\} \text{ folgt } M_4 = \{1\} .$$

Das Zusammenfassen der Gruppen mit einem oder mehreren gemeinsamen Produkten erfolgt schrittweise.

$$i) \quad M_1 \cap M_2 = \{ 2 \}$$

$$\Rightarrow M_1 = \{ 2, 3, 4 \} ; M_2 = \{ 3, 4 \} ; M_3 = \{ 1 \}$$

$$ii) \quad M_1 \cap M_2 = \{ 3, 4 \}$$

$$\Rightarrow M_1 = \{ 2, 3, 4 \} ; M_2 = \{ 1 \}$$

$$iii) \quad M_1 \cap M_2 = \{ \emptyset \}$$

$$\Rightarrow M_1 = \{ 2, 3, 4 \} ; M_2 = \{ 1 \}$$

Aufgrund der gemeinsamen Elementareinheiten ergeben sich somit zwei unabhängige Produktgruppen, bestehend aus dem Produkt D einerseits und den Produkten E, F und H andererseits.

II. Berücksichtigung der Stoffabhängigkeit

Die stoffliche Abhängigkeit der Produkte untereinander geht aus der Varianten-Produkt-Matrix hervor. $z_{jq} > 0$ bedeutet, dass die Herstellung einer Charge von Produkt r nach Variante j, $j \in J_r$, die Menge z_{jq} an Zwischenprodukt q erfordert.

Gilt

$$r \in M_f \wedge q \in M_g ; f \neq g$$

so werden die beiden Mengen vereinigt.

Tabelle 2.10 zeigt die Varianten-Produkt-Matrix für das vorliegende Beispiel.

VARIANTEN-PRODUKT-MATRIX

		PRODUKTE			
	VARIANTE	PRODUKT D	PRODUKT E	PRODUKT F	PRODUKT H
PRODUKT D	1	0.00	0.00	0.00	0.00
PRODUKT E	1	0.00	0.00	0.00	0.00
PRODUKT F	1	0.00	100.00	0.00	0.00
PRODUKT H	1	0.00	0.00	200.00	0.00
PRODUKT E	2	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabelle 2.10: Varianten-Produkt-Matrix

Bedingt durch die Tatsache, dass die Produkte E, F und H schon derselben Gruppe angehören, ändert die Stoffabhängigkeit an der bisherigen Einteilung nichts.

Die Bildung von unabhängigen Produktgruppen, wie sie im vorliegenden Unterabschnitt behandelt wurde, dient der Reduktion des Rechenaufwandes durch die Möglichkeit der getrennten Anwendung des Enumerations- und Shiftverfahrens.

Den einzelnen Kalenderzeitspannen können an sich beliebig viele zeitlich parallele Produktionsprozesse zugeordnet werden, solange diese voneinander unabhängig sind. Durch die Inanspruchnahme eines gemeinsamen, in begrenzten Mengen vorhandenen Betriebsmittels, wird die Möglichkeit der Zuordnung von Produktionsprozessen zu konkreten Punkten oder Spannen der Kalenderzeitskala begrenzt. Eine getrennte Behandlung der verschiedenen unabhängigen Produktgruppen ist in diesem Fall ausgeschlossen.

2.3.3 Bildung von Prioritätslisten

Zweck der Bildung von Prioritätslisten ist die Reduktion des Rechenaufwandes (ii) beim anschliessenden Enumerationsverfahren.

Die Möglichkeit mehrerer Produktionsvarianten für die Herstellung eines Produktes hat, bedingt durch den Einsatz verschiedener Elementareinheiten, variantenspezifische Ansatzmengen zur Folge. Diese unterscheiden sich sowohl in ihrer Gesamtmenge als auch in ihrer prozentualen Zusammensetzung ihrer Komponenten. Der Bedarf an Edukten und Zwischenprodukten wird somit nicht nur durch die Menge geforderter Folgeprodukte, sondern auch durch die Wahl der Produktionsvarianten zur Herstellung derselben bestimmt.

Die ersten Ränge werden aufgrund des bekannten, im Absatzplan fixierten Bedarfes, durch die reinen Endprodukte belegt. Mit der Festlegung der Variantenreihenfolge für die Herstellung der geforderten Mengen dieser Produkte im Rahmen des Enumerationsverfahrens ist der entsprechende Zwischenproduktbedarf bestimmt. Werden für die Herstellung dieser Zwischenprodukte wiederum Zwischenprodukte benötigt, steht der Bedarf für letztere nach der Vorgabe der Variantenreihenfolge der ersteren fest.

Die Einplanung der Produktionsvarianten für die Produkte einer unabhängigen Produktgruppe erfolgt deshalb anhand einer durch die Verknüpfung der Produkte gegebenen Planungshierarchie gemäss nachstehendem Algorithmus:

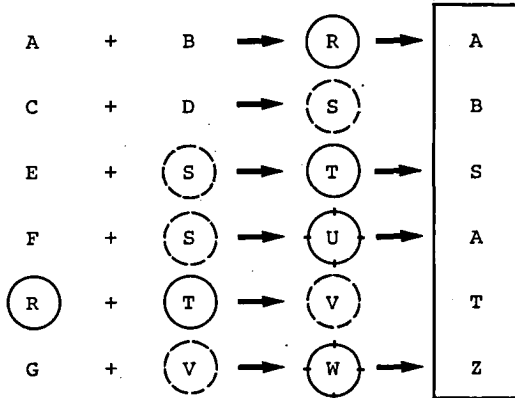
- ① setze $f = 1$
gehe zu ②
- ② setze $n_i = 0$ und $k = 0$
gehe zu ③
- ③ Bestimme die Menge J^* der Produktionsvarianten j
der in der Gruppe f auftretenden Produkte i

$$J^* = \bigsqcup_{i \in M_f} J_i$$

- gehe zu ④
- ④ $n_i = n_i + 1$ falls $z_{ji} > 0 \quad \forall j \in J^* \wedge \forall i \in M_f$
gehe zu ⑤
 - ⑤ Bestimme die Menge I_0 der Produkte $i, i \in M_f$, für
welche $n_i = 0$ und ordne die entsprechenden Pro-
duktionsvarianten $j, j \in J_i, i \in I_0$ den Plätzen
 $k + 1, \dots, k + \sum_{i \in I_0} |J_i|$ der geordneten Menge
 V_f zu.
falls $k < |J^*|$ gehe zu ⑥
sonst gehe zu ⑦
 - ⑥ setze $n_i = -\infty, i \in I_0$ und $n_i = n_i - 1$ falls
 $z_{ji} > 0, j \in J_i, i \in I_0 \wedge \forall i \in M_f$
gehe zu ⑤
 - ⑦ $f = f + 1$
falls $f < F$ gehe zu ②
sonst STOP.

Die Anwendung des Algorithmus auf eine unabhängige Produktgruppe eines allgemeinen Beispiels soll die Verfahrensweise genauer erläutern.

Gegeben ist das folgende Produktschema:



A, B, C, D, E, F, G

ROHPRODUKTE



ZWISCHENPRODUKTE



ZWISCHEN UND ENDPRODUKTE



ENDPRODUKTE

Die variantenspezifischen Zwischenproduktmengen für die Herstellung einer Charge sind in der Produkt-Varianten-Matrix gegeben.

Varianten J*	Pro- dukte							
	R	S	T	U	V	W		
R ₁	0	0	0	0	0	0	0	→ 3
S ₁	0	0	0	0	0	0	0	→ 4
T ₁	0	400	0	0	0	0	0	→ 3
T ₂	0	600	0	0	0	0	0	→ 3
U ₁	0	500	0	0	0	0	0	→ 1
U ₂	0	830	0	0	0	0	0	→ 1
V ₁	920	0	700	0	0	0	0	→ 2
V ₂	400	0	320	0	0	0	0	→ 2
W ₁	0	0	0	0	400	0	0	→ 1
W ₂	0	0	0	0	550	0	0	→ 1
W ₃	0	0	0	0	630	0	0	→ 1
	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
n _i :	2	4	2	0	3	0		④

① $I_0 = \{U, W\}$



⑤

$V_f = \{U_1, U_2, W_1, W_2, W_3\}; k = 5$

n_i: 2 2 2 -∞ 0 -∞ ⑥

$$\boxed{2} \quad I_0 = \{V\} \\ \Downarrow \quad \text{⑤}$$

$$V_f = \{U_1, U_2, W_1, W_2, W_3, V_1, V_2\}; k = 7 \\ n_1: \quad 0 \quad 2 \quad 0 \quad -\infty \quad -\infty \quad -\infty \quad \text{⑥}$$

$$\boxed{3} \quad I_0 = \{R, T\} \\ \Downarrow \quad \text{⑤}$$

$$V_f = \{U_1, U_2, W_1, W_2, W_3, \\ V_1, V_2, R_1, T_1, T_2\}; k = 10 \\ n_1: \quad -\infty \quad 0 \quad -\infty \quad -\infty \quad -\infty \quad -\infty \quad \text{⑥}$$

$$\boxed{4} \quad I_0 = \{S\} \\ \Downarrow \quad \text{⑤}$$

$$V_f = \{U_1, U_2, W_1, W_2, W_3, \\ V_1, V_2, R_1, T_1, T_2, S_1\}$$

► Bestimme die Prioritätsliste der nächsten unabhängigen Produktgruppe.

Abhängigkeitsstufen

Schritte gemäss Algorithmus Seite 76

Die Anwendung des Algorithmus auf das diesem Kapitel zugrunde liegende Beispiel führt zu folgenden Prioritätslisten:

$$V_1 = \{ H_1, F_1, E_1, E_2 \} \quad ; \quad V_2 = \{ D_1 \}$$

2.3.4 Geordnete Variantenlisten der Elementareinheiten

Die $|L_j|$ Elementareinheiten $l, l \in L_j$, welche zur Herstellung von Produkt $i, i \in I$, nach Variante $j, j \in J_i$ benötigt werden, sollen in die geordneten Mengen $L_j^0 = \{ l_{1j}^0, \dots, l_{mj}^0 \}$ und $L_j^* = \{ l_{1j}^*, \dots, l_{mj}^* \}$ übergeführt werden. Das Kriterium, nach welchem die Ordnung erfolgt, ist im ersten Fall die relative Prozessstartzeit p_{1j}^0 und im zweiten die relative Prozessendzeit p_{1j}^* .

Das auf der folgenden Seite abgebildete Flussdiagramm zeigt das Vorgehen am Beispiel von L_j^* .

ABSCHNITT 2.4

Optimierungsverfahren

Die erste Stufe der Optimierung umfasst ein Enumerationsverfahren zur Bildung möglicher, alternativer Produktionsreihen. Ausgehend von den Aktivitäten in der Anlage bei Planungsbeginn werden, unter Berücksichtigung der entsprechenden Prozess- und Operationszeiten, systematisch Reihen, bestehend aus den verschiedenen Produktionsvarianten der zu fertigenden Produkte, aufgebaut. Eine Reihe wird abgebrochen und der Aufbau mit andern Varianten bei tieferem Reihenindex fortgesetzt, falls der Bedarf eines Produktes durch die Produktion und die Lagerhaltung bis zum entsprechenden Zeitpunkt nicht gedeckt werden kann, oder der Planungshorizont überschritten und der geforderte Endlagerbestand nicht erreicht wird. Die Produktion der verschiedenen Produkte erfolgt hierbei, ungeachtet hoher Lagerkosten und geltender Arbeitszeit, zum frühest möglichen Zeitpunkt. Dieser wird einerseits durch die Verfügbarkeit der Elementareinheiten und andererseits durch den Stand der Produktion von Zwischenprodukten bestimmt.

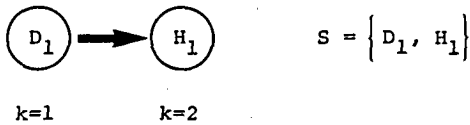
Wird eine Lösung gefunden, wird ihre Gültigkeit in bezug auf weitere Randbedingungen, wie geltende Arbeitszeiten, Unterhaltsarbeiten, Betriebsausfälle, Engpässe im Bereich der Rohproduktbeschaffung und Betriebsmittelkapazitätsschranken, in einer zweiten Stufe untersucht.

Um die Lagerkosten für eine gegebene Produktionsreihe minimal zu halten, wird für die zeitliche Fixierung der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen im Gegensatz zur ersten Stufe vom spätest möglichen Fertigungstermin ausgegangen. Hat die Lösung Bestand, werden die verschiedenen Kostenanteile berechnet und addiert. Ist diese Summe grösser als die Kosten der bis anhin kostengünstigsten Produktionsreihe wird die Lösung verworfen, andernfalls die alte Reihe durch die neue ersetzt. Sodann wird zur ersten Stufe zurückgekehrt und der Aufbau mit noch nicht berücksichtigten Varianten bei tieferem Reihenindex fortgesetzt.

3.4.1 Enumerationsverfahren

[4] gibt eine wertvolle Einführung über die Anwendung von Enumerationsverfahren zur Lösung von Aufgaben im Bereich des Operations-Research. Das Lösen von Problemen mittels kombinatorischen Methoden erfordert, bedingt durch den grossen Rechenaufwand, den Einsatz von modernen Rechenanlagen. Beim Entwurf eines Enumerationsalgorithmus muss dieser Tatsache durch die Berücksichtigung der vorhandenen Speicherkapazität Rechnung getragen werden. Das Fehlen der Möglichkeit sämtliche Informationen bei der Bildung von möglichen Lösungen abzuspeichern, hat ein weniger selektives Vorgehen bei der Suche nach der optimalen Lösung und somit zwangsläufig längere Rechenzeiten zur Folge.

Gemäss Fig. 2.8 befinden sich bei Planungsbeginn eine Charge zur Herstellung von Produkt D (Variante 1) und eine solche für Produkt H (Variante 1) in der Anlage. Die ersten $k = 2$ Elemente s_k der Produktionsreihe S sind somit mit den entsprechenden Belegungszeiten $t_{1k}^* - t_{1k}^0$, $1 \in L_j$, $j \in J_1$, für die Elementareinheiten L_j gegeben.

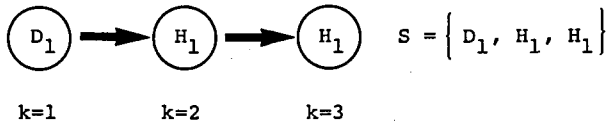


Die Reihenfolge spielt dabei keine Rolle, da sich an der Tatsache, dass sich zum Zeitpunkt des neuen Planungsbeginnes irgendwelche Chargen in der Fertigung befinden, nichts mehr ändern lässt. Aufgrund der anschliessend einfacheren Handhabung werden die Varianten, unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit, den ersten Elementen der Produktionsreihen sämtlicher Gruppen zugeordnet.

Zunächst soll vorausgesetzt werden, dass die Fertigung des Produktionsprogrammes mit den vorhandenen Kapazitäten an Betriebsmitteln ohne Einschränkung möglich ist.

Die weiteren Entscheidungen bezüglich der zu wählenden Produktionsvarianten zur Deckung des Produktionsbedarfes erfolgt somit im Rahmen der unabhängigen Produktgruppen anhand der F Prioritätslisten V_f .

Gemäss 2.3.3 gilt $V_1 = \{ H_1, F_1, E_1, E_2 \}$ und $V_2 = \{ D \}$. Die Reihenfolge der Bearbeitung erfolgt anhand der Listennummer f . Die erste Entscheidung für die erste Gruppe lautet aufgrund der Prioritätsliste, eine Charge zur Herstellung von Produkt H anzusetzen.



Bedingt durch die Tatsache, dass nur ein Teil $L_j \subseteq L'$ der Elementareinheiten l bei der Herstellung einer Charge j für Produkt i zum Einsatz gelangt, wird zusätzlich für jeden Reihenindex k die letzte Belegungs- endzeit relativ zum Planungsbeginn $t_{\max_{1k}}$ und das dabei gefertigte Produkt LP_{1k} , $LP_{1k} \in I$ unabhängig von der gewählten Variante angegeben

$$\left. \begin{array}{l} t_{\max_{1k}} = t_{\max_{1k-1}} \\ LP_{1k} = LP_{1k-1} \end{array} \right\} \forall l \in L'$$

Der frühest mögliche Zeitpunkt b_k^0 für den Ansatz einer Charge für die Herstellung von Produkt i (Variante j , $j \in J_1$) wird durch die Verfügbarkeit der $|L_j|$ Elementar- einheiten l bestimmt.

Die Bereitstellung einer Einheit l , $l \in L_j$ erfolgt in Abhängigkeit des zuletzt gefertigten Produktes LP_{lk} zum Zeitpunkt

$$t_{\max_{lk}} = t_{\max_{lk}} + C_1 LP_{lk}^i ; \forall l \in L_j$$

wobei

$C_1 LP_{lk}^i$: der zeitliche Aufwand für die Reinigung und das Einrichten darstellt.

Für den Fall, dass $t_{\max_{lk}} + C_1 LP_{lk}^i < 0$ ist,

gilt:

$$t_{\max_{lk}} = 0 ; \quad \forall l \in L_j$$

Aufgrund der relativen Prozess- bzw. Operationsstartzeiten p_{ij}^o ergibt sich der Ansatzzeitpunkt aus:

$$b_k^o = \max_l \left\{ t_{\max_{lk}} - p_{lj}^o \right\}$$

$l \in L_j$

Ob eine Charge zu diesem Zeitpunkt angesetzt werden kann oder nicht, wird durch die Verfügbarkeit der benötigten Zwischenproduktmengen z_{jm} bestimmt. Die Deckung des Bedarfes an Zwischenprodukt m zum Zeitpunkt $b_k^0 + tz_{jm}$ kann entweder ab Lager, oder falls dies nicht möglich ist, direkt durch die Produktion erfolgen. Im ersten Fall muss, bedingt durch den Unterschied zwischen der kleinsten Planungseinheit für die Produktionsplanung (1 Stunde) und derjenigen für die Lagerhaltung (1 Tag), der Lagerbestand $St_{md_k}^0$ an Zwischenprodukt m am Tage d_k^0 nach dem Abgang der Menge z_{jm} grösser oder gleich der Pufferlagermenge PSt_m sein.

$$St_{md_k}^0 - z_{jm} > PSt_m ; \forall m \in I$$

wobei

$$d_k^0 = \text{INT} \left(\frac{b_k^0 + tz_{jm} - 1}{24} + 1 \right)$$

Die Deckung des Zwischenproduktbedarfes aus der laufenden Produktion setzt voraus, dass die Produktmenge B_j , $j \in J_m$ addiert zum aktiven Lagerbestand $St_{md_k}^0 - PSt_m$ grösser oder gleich dem Bedarf z_{jm} , $j \in J_1$ an Zwischenprodukt m zur Herstellung einer Charge Produkt i mittels Variante j ist.

Falls der Zeitpunkt der Fertigung des Zwischenproduktes m $b_q^* > b_k^0 + tz_{jm}$ ist, gilt für den frühest möglichen Ansatztermin:

$$b_k^0 = b_q^* - tz_{jm} ; \quad q < k$$

Ist die Deckung des Bedarfs an Zwischenprodukten aus dem Lager oder aus der laufenden Produktion nicht möglich, muss der Versuch eine Charge zur Herstellung von Produkt i zum Zeitpunkt b_k^0 als gescheitert betrachtet (siehe Tab. 2.12) und gemäss Prioritätsliste weiter vorgegangen werden.

Unter der Voraussetzung, dass die entsprechenden Zwischenproduktmengen z_{jm} verfügbar sind, folgt aus den relativen Prozess- bzw. Operationsendzeiten p_{lj}^* für die Elementareinheiten l der Zeitpunkt b_k^* der Fertigstellung der Charge.

$$b_k^* = \max_l \left\{ b_k^0 + p_{lj}^* \right\}$$
$$l \in L_j$$

Die Charge wird anschliessend abgefüllt und steht am Morgen des folgenden Tages d_k^* zur Auslieferung bereit.

$$d_k^* = \text{INT} \left(\frac{b_k^* - 1}{24} + 2 \right)$$

Die bis zu diesem Zeitpunkt vorgeschlagene Produktionsreihe ist jedoch nur dann zulässig, wenn der Bedarf der verschiedenen Produkte seit Planungsbeginn termingerecht befriedigt werden kann:

$$St_{nd} - V_{nd} > PSt_n ; \quad n \in I \wedge d = [1, d_k^*]$$

V_{nd} ist der kumulative Bedarf an Produkt n am Tage d .

Ist

$$St_{nd} - V_{nd} < PSt_n ; \quad n \in I \wedge d = [1, d_k^*]$$

wird die Entscheidung Produkt i mittels Variante j zum Zeitpunkt b_k^0 herzustellen verworfen.

Für das weitere Vorgehen gilt es zwei Fälle zu unterscheiden:

1. $n = 1$, d.h. die Nachfrage bezüglich des zur Produktion vorgeschlagenen Produktes i nach Variante j , $j \in J_1$, kann nicht termingerecht befriedigt werden (siehe Tab. 2.13).
2. $n \neq 1$, d.h. die vorgeschlagene Produktionsvariante j , $j \in J_1$, verhindert die Herstellung und somit die termingerechte Deckung des Bedarfes eines andern Produktes n .

Im ersten Fall wird der Reihenindex k reduziert ($k=k-1$) und die Reihenbildung mit der in der Prioritätsliste nachfolgenden Variante fortgesetzt. Im zweiten Fall wird der Index belassen und gemäss der Prioritätsliste weiter vorgegangen. Stehen bei einem Reihenindex keine weiteren Varianten mehr zur Auswahl wird der Reihenindex reduziert.

Zusammengefasst und ergänzt, müssen für eine Lösung folgende vier Bedingungen erfüllt sein:

1. Der im Terminplan zeitlich und mengenmässig fixierte kumulative Bedarf v_{nd} an Endprodukten muss termingerecht befriedigt werden.
2. Die täglichen Lagerbestände dürfen eine gegebene Minimalmenge (Pufferlagerbestand) während der Planungsdauer D nicht unterschreiten

$$St_{nd} > PSt_n ; \quad \forall n \in I \wedge d = [1, \dots, D]$$

3. Die Lagerbestände $St_{n,D+1}$ am Planungshorizont müssen grösser oder gleich den gegebenen "minimalen Endlagerbeständen" St_n^* sein

$$St_{n,D+1} > St_n^* ; \quad \forall n \in I$$

In Verbindung mit 1. ergibt sich für die herzustellenden Produktmengen:

$$\sum_{s_k \in J_n} B_{s_k} > St_n^* - St_{n1} + \sum_{d} v_{nd} + \sum_{s_k \in S} z_{s_k n}; \quad \forall n \in I$$

4. Die benötigte Produktionszeit

$$b_k^* < D * 24 \quad ; \quad k = [1, \dots, |S|]$$

muss kleiner oder gleich der Planungsdauer sein.

Auf den nachfolgenden Seiten sind auszugsweise die numerischen Werte für das diesem Kapitel zugrunde liegende Beispiel gegeben.

Tab. 2.11 beinhaltet die Zahlenwerte der ersten Entscheidung (Reihenindex 3). Die angegebenen Belegungszeiten $t_{\max_{lk}}$ werden dem vorangegangenen Produktionsplan entnommen. Bedingt durch den neuen Planungsbeginn zum relativen Zeitpunkt $t = 0$ resultieren nach Umrechnung der Belegungszeiten zum Teil negative Werte. Da angenommen werden kann, dass mit der Reinigung unmittelbar nach dem Entleeren der Einheit begonnen wird und nach der letzten Belegung der neue Produktionsplan zur Verfügung steht, können die entsprechenden Arbeiten soweit als möglich noch vor Beginn der neuen Planung durchgeführt werden.

BESTIMMUNG DES ZEITPUNKT DES FRUEHST MOEGLICHEN ANSATZES: REIHENINDEX: 3

HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 ELEMENTAREINHEIT : TRSCHRANK
 LETZTEREBLEUNG LP(L,K) : PRODUKT H BELEGUNGSENDZEIT THAX(L,K) : 54 UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I) : 10
 HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 ELEMENTAREINHEIT : FILTPIRE 1
 LETZTEREBLEUNG LP(L,K) : PRODUKT H BELEGUNGSENDZEIT THAX(L,K) : 20 UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I) : 0
 HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 ELEMENTAREINHEIT : REAKTOR 7
 LETZTEREBLEUNG LP(L,K) : PRODUKT H BELEGUNGSENDZEIT THAX(L,K) : 12 UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I) : 10
 HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 ELEMENTAREINHEIT : REAKTOR 4
 LETZTEREBLEUNG LP(L,K) : PRODUKT H BELEGUNGSENDZEIT THAX(L,K) : -10 UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I) : 0
 HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 ELEMENTAREINHEIT : REAKTOR 3
 LETZTEREBLEUNG LP(L,K) : PRODUKT H BELEGUNGSENDZEIT THAX(L,K) : -11 UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I) : 10

PRODUKT H TRSCHRANK THAX(L,K) : 64 PROZESSSTARTZEIT PO(L,J) : 25 ANSATZZEITPUNKT BO(K) : 39
 PRODUKT H FILTPIRE 1 THAX(L,K) : 20 PROZESSSTARTZEIT PO(L,J) : 15 ANSATZZEITPUNKT BO(K) : 39
 PRODUKT H REAKTOR 7 THAX(L,K) : 22 PROZESSSTARTZEIT PO(L,J) : 7 ANSATZZEITPUNKT BO(K) : 39
 PRODUKT H REAKTOR 4 THAX(L,K) : 0 PROZESSSTARTZEIT PO(L,J) : 7 ANSATZZEITPUNKT BO(K) : 39
 PRODUKT H REAKTOR 3 THAX(L,K) : 0 PROZESSSTARTZEIT PO(L,J) : 0 ANSATZZEITPUNKT BO(K) : 39

ZWISCHENPRODUKTE:

PRODUKT F MENGE Z(J,H) : 200.00 TAB DO(K) : 1 LAGERBESTAND ST(H,D) : 1970.00 PUFFERLAGERBESTAND PST(H) : 1500.00

UEBERPRUEFUNG DER LAGERBESTAENDE AM TAGE DW(K):

TAG DW(K) : 6 LAGERBESTAND ST(H,D) PRODUKT H : 2380.00 PUFFERLAGERBESTAND PST(H) : 2000.00
 TAG DW(K) : 6 LAGERBESTAND ST(H,D) PRODUKT H : 2380.00 PUFFERLAGERBESTAND PST(H) : 2000.00
 TAG DW(K) : 6 LAGERBESTAND ST(H,D) PRODUKT F : 1650.00 PUFFERLAGERBESTAND PST(H) : 1500.00
 TAG DW(K) : 6 LAGERBESTAND ST(H,D) PRODUKT E : 2040.00 PUFFERLAGERBESTAND PST(H) : 2000.00
 TAG DW(K) : 6 LAGERBESTAND ST(H,D) PRODUKT E : 2040.00 PUFFERLAGERBESTAND PST(H) : 2000.00

Table 2.11: Numerische Werte

Zur einfacheren Handhabung der Daten werden im Computerprogramm die Namen der Produkte mit den Produktionsvarianten durch Zahlen ersetzt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zuordnung für das vorliegende Beispiel:

- 1 = Produkt D (Variante 1)
- 2 = Produkt E (Variante 1)
- 3 = Produkt F (Variante 1)
- 4 = Produkt H (Variante 1)
- 5 = Produkt E (Variante 2)

In Uebereinstimmung mit Unterabschnitt 2.3.3 resultieren für die beiden unabhängigen Produktgruppen folgende Prioritätslisten:

$$V_1 = \{ 4, 3, 2, 5 \} \quad V_2 = \{ 1 \}$$

Die höchste Priorität aufgrund der Stellung innerhalb der ersten Liste besitzt somit das erste Element mit dem Zahlensymbol 4. Da der Reihenbildung das Prinzip der höchst möglichen Priorität zugrunde liegt, wird für die Herstellung eines Produktes solange dieselbe Produktionsvariante vorgeschlagen, bis eine der Randbedingungen verletzt, oder die geforderte Menge erreicht wird. Die Tabellen 2.14 und 2.15 demonstrieren dieses Vorgehen anhand des Beispiels. Dabei fällt besonders auf, dass die Anzahl Reihenelemente (siehe Tabelle 2.15) der Lösungen nicht identisch ist.

BESTIMMUNG DES ZEITPUNKT DES FRUEHST MOEGLICHEN ANSATZES: REIHNINDEX 1 . 4

HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H LETZTERBELEGUNG LP(L,K) : PRODUKT H	ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 BELEGUNGSSENDZEIT THAX(L,K): 99	ELEMENTAREINHEIT UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I): 10	TRSCRANK : 10
HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H LETZTERBELEGUNG LP(L,K) : PRODUKT H	ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 BELEGUNGSSENDZEIT THAX(L,K): 65	ELEMENTAREINHEIT UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I): 0	FILTPRE 1 : 0
HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H LETZTERBELEGUNG LP(L,K) : PRODUKT H	ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 BELEGUNGSSENDZEIT THAX(L,K): 57	ELEMENTAREINHEIT UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I): 10	REAKTOR 7 : 10
HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H LETZTERBELEGUNG LP(L,K) : PRODUKT H	ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 BELEGUNGSSENDZEIT THAX(L,K): 48	ELEMENTAREINHEIT UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I): 0	REAKTOR 4 : 0
HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT H LETZTERBELEGUNG LP(L,K) : PRODUKT H	ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 4 BELEGUNGSSENDZEIT THAX(L,K): 47	ELEMENTAREINHEIT UMSTELLZEIT C(L,LP(L,K),I): 10	REAKTOR 3 : 10

PRODUKT H	TRSCRANK	THAX(L,K): 109	PROZESSSTARTZEIT P0(L,J): 25	ANSATZZEITPUNKT B0(K): 84
PRODUKT H	FILTPRE 1	THAX(L,K): 65	PROZESSSTARTZEIT P0(L,J): 15	ANSATZZEITPUNKT B0(K): 84
PRODUKT H	REAKTOR 7	THAX(L,K): 67	PROZESSSTARTZEIT P0(L,J): 7	ANSATZZEITPUNKT B0(K): 84
PRODUKT H	REAKTOR 4	THAX(L,K): 48	PROZESSSTARTZEIT P0(L,J): 7	ANSATZZEITPUNKT B0(K): 84
PRODUKT H	REAKTOR 3	THAX(L,K): 57	PROZESSSTARTZEIT P0(L,J): 0	ANSATZZEITPUNKT B0(K): 84

ZWISCHENPRODUKTE:

PRODUKT F	MENGE Z(J,H): 200,00	TAB I0(K): 6	LAGERBESTAND ST(H,D): 1450,00	PUFFERLAGERBESTAND PST(H): 1500,00
-----------	----------------------	--------------	-------------------------------	------------------------------------

+++++ ENTSCHIEDUNG VERWORFEN +++++

Tablle 2.12: Numerische Werte

BESTIMMUNG DES ZEITPUNKT DES FRUEHST MOEGELICHEN ANSATZES: REIHEINDEX: 7

HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 2 ELEMENTAREINHEIT : TRSCHRANK
 LETZTERBELEGUNG LP(L,K) : PRODUKT H BELEGUNGENDEZIT THAX(L,K) : 231 BELEGUNGENDEZIT C(L,LP(L,K),I) : 24
 HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 2 ELEMENTAREINHEIT : FILTPRE 1
 LETZTERBELEGUNG LP(L,K) : PRODUKT H BELEGUNGENDEZIT THAX(L,K) : 197 BELEGUNGENDEZIT C(L,LP(L,K),I) : 30
 HERZUSTELLENDEN PRODUKT: PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE : 2 ELEMENTAREINHEIT : REAKTOR 3
 LETZTERBELEGUNG LP(L,K) : PRODUKT H BELEGUNGENDEZIT THAX(L,K) : 179 BELEGUNGENDEZIT C(L,LP(L,K),I) : 60

PRODUKT E TRSCHRANK THAX(L,K) : 255 PROZESSSTARTZEIT PO(L,J) : 13 ANSATZZEITPUNKT BO(K) : 242
 PRODUKT E FILTPRE 1 THAX(L,K) : 227 PROZESSSTARTZEIT PO(L,J) : 8 ANSATZZEITPUNKT BO(K) : 242
 PRODUKT E REAKTOR 3 THAX(L,K) : 239 PROZESSSTARTZEIT PO(L,J) : 0 ANSATZZEITPUNKT BO(K) : 242

ZWISCHENPRODUKTE:

---- KEINE ----

UEBERPRUEFUNG DER LAGERBESTAENDE AM TAGE D+(K):

TAG D+(K) : 13 LAGERBESTAND ST((M,D) PRODUKT E : 1920.00 PUFFERLAGERBESTAND PST(H) : 2000.00

++++ ENTSCHEIDUNG VERNORFEN +++++

Tabelle 2.13: Numerische Werte

Der Grund für diese Tatsache liegt in den unterschiedlichen Chargenmengen der beiden Varianten zur Herstellung von Produkt E.

Das Enumerationsverfahren wird abgeschlossen, falls beim tiefsten Index, der eine Entscheidung zulässt - an der Tatsache, dass sich bei Planungsbeginn eine oder mehrere Chargen in der Anlage befinden, lässt sich zu diesem Zeitpunkt nichts mehr ändern - keine weiteren Varianten zum Aufbau von Produktionsreihen zur Verfügung stehen.

DEMONSTRATION DES ENUMERATIONSVORFAHREN ANHAND DES VORLIEGENDEN BEISPIELS:

```

REIHENINDEX: 3   PRODUKT H   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4
REIHENINDEX: 4   PRODUKT H   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4
+++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
REIHENINDEX: 6   PRODUKT F   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 3
+++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
REIHENINDEX: 4   PRODUKT E   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 2
REIHENINDEX: 5   PRODUKT H   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4
+++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
REIHENINDEX: 5   PRODUKT F   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 3
REIHENINDEX: 6   PRODUKT H   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4
REIHENINDEX: 7   PRODUKT E   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 2
+++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
REIHENINDEX: 7   PRODUKT E   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 5
+++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
REIHENINDEX: 6   PRODUKT E   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 2
REIHENINDEX: 7   PRODUKT H   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4

GEFUNDENE LOESUNG 4 1 4 2 3 2 4
REIHENINDEX: 6   PRODUKT E   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 5
REIHENINDEX: 7   PRODUKT H   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4

GEFUNDENE LOESUNG 4 1 4 2 3 5 4
REIHENINDEX: 5   PRODUKT E   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 2
REIHENINDEX: 6   PRODUKT H   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4
+++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
REIHENINDEX: 6   PRODUKT F   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 3
REIHENINDEX: 7   PRODUKT H   ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4

GEFUNDENE LOESUNG 4 1 4 2 2 3 4
    
```

Tabelle 2.14: Alternative Produktionsreihen

REIHENINDEX: 5 PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 5
 REIHENINDEX: 6 PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4
 +++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
 REIHENINDEX: 6 PRODUKT F ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 3
 REIHENINDEX: 7 PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4

 GEFUNDENE LOESUNG 4 1 4 2 5 3 4
 REIHENINDEX: 4 PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 5
 REIHENINDEX: 5 PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4
 +++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
 REIHENINDEX: 5 PRODUKT F ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 3
 REIHENINDEX: 6 PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4
 REIHENINDEX: 7 PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 2
 +++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
 REIHENINDEX: 7 PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 5
 +++++ ENTSCHEIDUNG VERWORFEN +++++
 REIHENINDEX: 6 PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 2
 REIHENINDEX: 7 PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4

 GEFUNDENE LOESUNG 4 1 4 5 3 2 4
 REIHENINDEX: 6 PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 5
 REIHENINDEX: 7 PRODUKT H ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 4
 REIHENINDEX: 8 PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 2

 GEFUNDENE LOESUNG 4 1 4 5 3 5 4 2
 REIHENINDEX: 8 PRODUKT E ELEMENT PRIORITAETSLISTE: 5
 GEFUNDENE LOESUNG 4 1 4 5 3 5 4 5

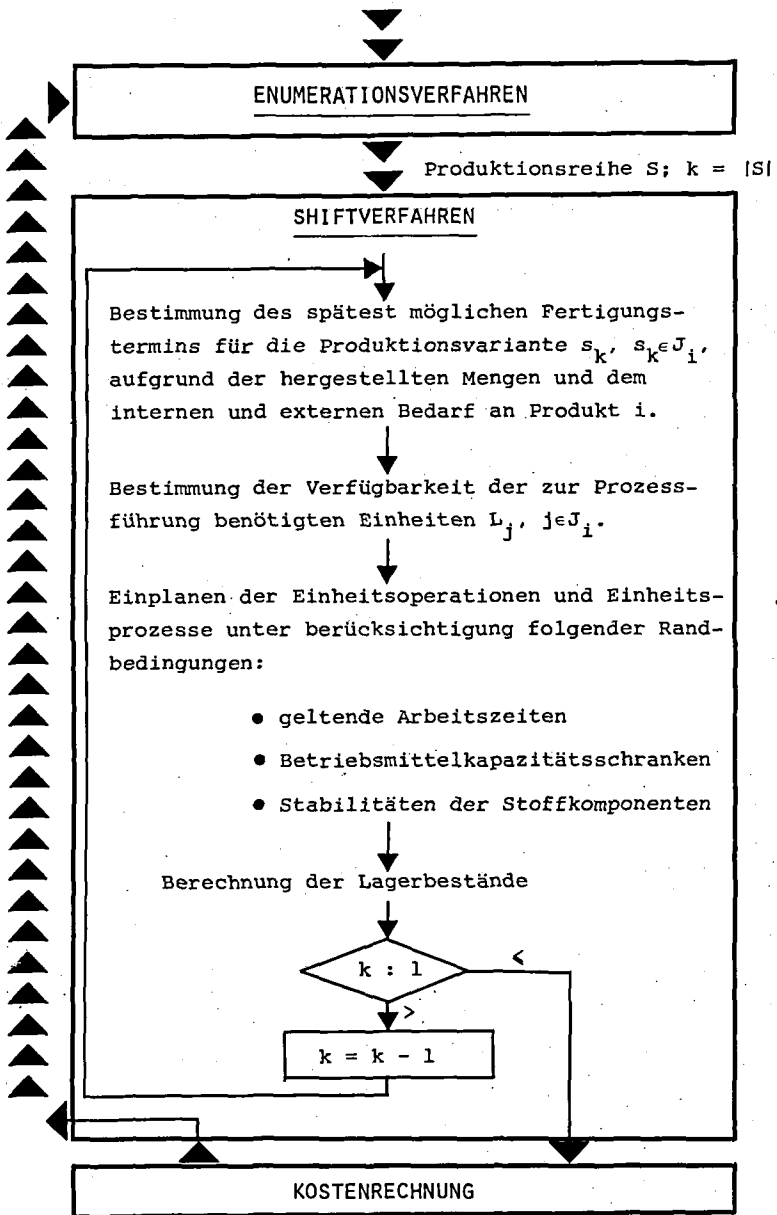
Tablle 2.15: Alternative Produktionsreihen

2.4.2 Shift-Verfahren

Wie schon eingangs zum Abschnitt 2.4 erwähnt wurde, wird durch den Einsatz des vorliegenden Verfahrens die Gültigkeit einer Lösung in bezug auf weitere Randbedingungen, wie geltende Arbeitszeiten, Betriebsausfälle, Unterhaltsarbeiten und Betriebsmittelkapazitätsgrenzen untersucht.

Im Gegensatz zum Enumerationsverfahren, welches ungeachtet hoher Lagerkosten alternative Produktionsreihen generiert, wird beim Shift-Verfahren aufgrund minimaler Lagerzinskosten von den spätest möglichen Fertigungsterminen ausgegangen. Diese werden aus den Endproduktlagerbeständen zu Beginn der Planungsperiode, dem zeitlich und mengenmässig gegebenen Endproduktbedarf und der vorgeschlagenen Produktionsreihe bestimmt.

Ist die Deckung des Bedarfes für den nächstfolgenden Tag aufgrund der geltenden Lagerbestände nicht oder nur teilweise möglich, müssen bis spätestens 24 Uhr die entsprechenden Mengen durch die Produktion bereitgestellt werden. Die Bestimmung der spätesten Fertigungstermine für die Chargen einer Produktionsreihe erfolgt in umgekehrter Folge und vom Planungshorizont ausgehend.



Einleitend wird für die Bestimmung des spätest möglichen Fertigungstermins für jedes Produkt i , $i \in I$, ein theoretischer Lagerbestand y_{id} für jeden Tag d , $d = [1, \dots, D]$, unter der Annahme fehlender Produktion wie folgt berechnet:

$$y_{i1} = St_{i1}$$

$$y_{in+1} = St_{i1} - \sum_{n=1}^d v_{in} \quad ; \quad i \in I$$

Der späteste Fertigungstermin tb_k der Charge s_k einer gegebenen Produktionsreihe S

$$S = \{ s_1, \dots, s_k, \dots, s_{|S|} \}$$

ist aufgrund der theoretischen, täglichen Lagerbestände sowie der durch den Ansatz der Chargen s_1, \dots, s_{k-1} hergestellten Produktmengen durch die Beziehung

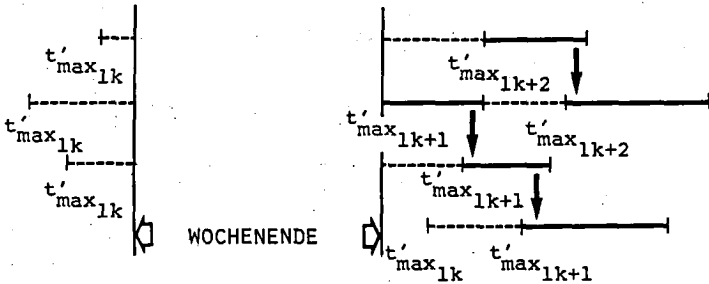
$$tb_k = ((d-1) * 24)$$

mit der Restriktion für d

$$\begin{array}{ll} s_j = s_k & s_j = s_k \\ y_{id} + \sum B_{s_j} > PSt_i + B_{s_k} > y_{id+1} + \sum B_{s_j} \\ s_j = s_1 & s_j = s_1 \\ s_j \in J_i & s_j \in J_i \end{array}$$

gegeben.

Die Verfügbarkeit der zur Durchführung des Produktionsprozesses s_k notwendigen Elementareinheiten $l, l \in L_{s_k}$, ergibt sich aus den vorangegangenen, zeitlich nachgelagerten Belegungszeiten und dem zeitlichen Aufwand für die Reinigung bzw. das Einrichten bei Produktwechsel unter Berücksichtigung der geltenden Arbeitszeiten.



----- Reinigungs- und Einrichtezeit

Der späteste Termin t_k^* zur Fertigstellung einer Charge aufgrund der Verfügbarkeit der benötigten Elementareinheiten $l, l \in L_j, j \in J_1$ wird durch folgenden Ausdruck bestimmt:

$$t_k^* = \min_{\substack{l \in L_j \\ j \in J_1}} \left\{ t'_{max_{lk}} - p_{lj}^* \right\} + \max_{\substack{l \in L_j \\ j \in J_1}} \left\{ p_{lj}^* \right\}$$

Hieraus folgt für den Fertigungstermin b_k^* :

$$b_k^* = \begin{cases} tb_k, & \text{falls } t_k^{*'} > tb_k \\ t_k^{*'}, & \text{sonst.} \end{cases}$$

Da Einheitsoptionen nur während der Arbeitszeit durchgeführt werden können, ist die Fertigstellung der Charge s_k zum Zeitpunkt b_k^* nur möglich, falls dieser Zeitpunkt in die Arbeitszeit fällt. Diese wird durch die Variable W_h vorgegeben.

$$W_h = \begin{cases} 1, & \text{falls während der Stunde } h \text{ gearbeitet} \\ & \text{wird;} \\ 0, & \text{falls während der Stunde } h \text{ nicht ge-} \\ & \text{arbeitet wird, aber Chargen mit sta-} \\ & \text{bilien Produkten während dieser Zeit} \\ & \text{in der Anlage belassen werden können} \\ & \text{(siehe 1.6.2);} \\ - 1, & \text{falls während der Stunde } h \text{ nicht ge-} \\ & \text{arbeitet wird und die Anlage nicht in} \\ & \text{Betrieb ist.} \end{cases}$$

Fällt die Herstellung einer Charge in die Zeit, in der die Anlage nicht in Betrieb ist, muss deren Produktion vorverlegt werden.

Ein weiterer Umstand, der die Fertigstellung einer Charge zum Zeitpunkt b_k^* verhindern kann, ist die Auslastung der pro Zeiteinheit zur Verfügung stehenden Betriebsmittelmengen bedingt durch Einheitsoperationen und Einheitsprozesse anderer Chargen. Die einzige Möglichkeit die benötigten End- oder Zwischenproduktmengen termingerecht bereitzustellen, ist das Ausweichen mit der Charge auf einen früheren Zeitpunkt.

Die Durchführung eines Einheitsprozesses bzw. einer Einheitsoperation ist nur möglich, falls für die Dauer des Betriebsmittelbedarfes

$$t_{1k}^o + t_{AM_{1jn}}^o < t < t_{1k}^o + t_{AM_{1jn}}^*$$

die Ungleichung

$$AT_n > AH_{hn} + AM_{1jn}$$

gilt,

wobei

- AT_n : maximal pro Stunde zur Verfügung stehende Menge an Betriebsmittel n ,
- AH_{hn} : die bis anhin benötigte Menge an Betriebsmittel n während der Stunde h ,
- AM_{1jn} : der Bedarf an Betriebsmittel n der Elementareinheit l bei der Herstellung von Produkt i nach Variante j .

Für den Einheitsprozess Edukt $E_3 \longrightarrow$ Produkt E,
welcher in der Elementareinheit Reaktor 4 (Variante 2)
durchgeführt wird, wird der Bedarf an Betriebsmit-
teln wie folgt angegeben:

$$\text{Dampf} : AM_{1jn} = 10'000 \text{ KCal/h}$$

$$t_{AM_{1jn}}^{\circ} = 0$$

$$t_{AM_{1jn}}^* = 6$$

$$\text{Elektrizität: } AM_{1jn} = 5.0 \text{ KW}$$

$$t_{AM_{1jn}}^{\circ} = 0$$

$$t_{AM_{1jn}}^* = 10$$

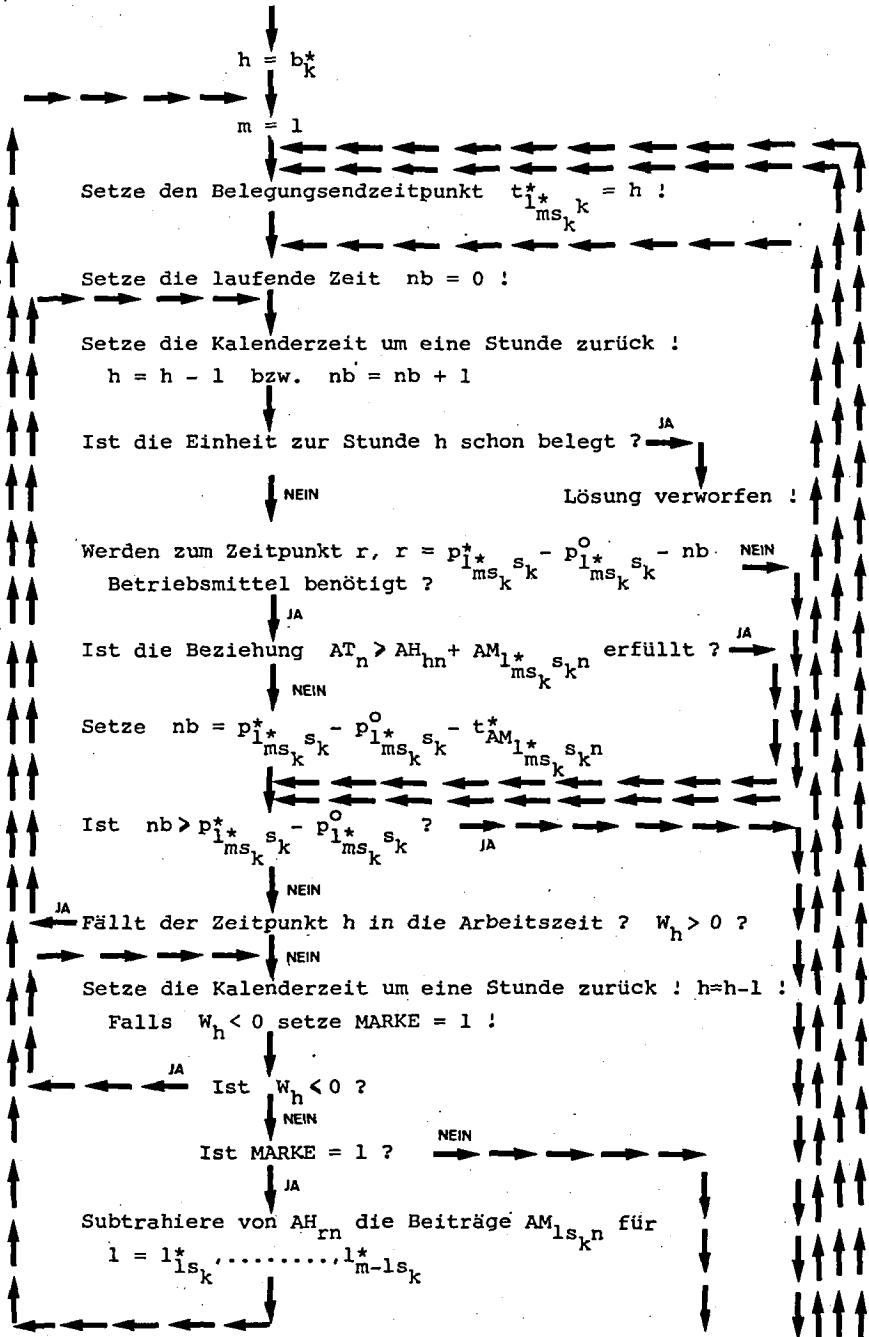
Die Dauer des Einheitsprozesses ergibt sich aus der
Differenz des Zeitpunktes des relativen Prozessendes
 p_{1j}^* und demjenigen des relativen Prozessbeginnes p_{1j}° .
Für die Dauer des Bedarfes an Betriebsmitteln muss so-
mit nachstehende Beziehung gelten.

$$t_{AM_{1jn}}^* - t_{AM_{1jn}}^{\circ} < p_{1j}^* - p_{1j}^{\circ}$$

Die Prozessdauer in Reaktor 4 beträgt 10 Stunden. Das Aufheizen des Reaktionsgemisches mit Dampf erfolgt gemäss den Zeitangaben $t_{AM_{1jn}}^o$ und $t_{AM_{1jn}}^*$ während den ersten 6 Stunden. Aus den Prozesszeiten und den Angaben für die Dauer des Elektrizitätsbedarfes geht hervor, dass das Reaktionsgemisch während der ganzen Dauer des Prozesses gerührt wird.

Den Kern des Shift-Verfahrens bildet der auf den Seiten 107 und 108 dargestellte Shift-Algorithmus (Fig. 2.11). Ziel des Vorgehens ist die zeitliche Koordination der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen eines Produktionsprozesses unter Berücksichtigung der geltenden Arbeitszeiten, der Stabilitäten der Stoffkomponenten und der vorgegebenen Betriebsmittelkapazitätsgrenzen. Die Verfahrensweise soll mit Hilfe zweier Beispiele anhand des Produktionsprozesses für Produkt D demonstriert werden.

Fig. 2.12 zeigt das entsprechende Flliessbild. Die Zeilen des Materialflusses geben Aufschluss, von welcher Einheit die Charge übernommen wird, bzw. an welche die Weitergabe nach durchgeführtem Arbeitsgang erfolgt. Die den Einheiten zugeordneten Referenznummern m bezeichnen die Einheiten l_{mj}^o , $l_{mj}^o \in L_j^o$, bzw. l_{mj}^* , $l_{mj}^* \in L_j^*$, (siehe 2.3.4), mit welchen der Koordinationsvorgang fortzusetzen ist, wenn bei den entsprechenden Einheitsprozessen und Einheitsoperationen aufgrund der geltenden Arbeitszeiten und/oder der gegebenen Betriebsmittelkapazitätsgrenzen Verzögerungen auftreten.



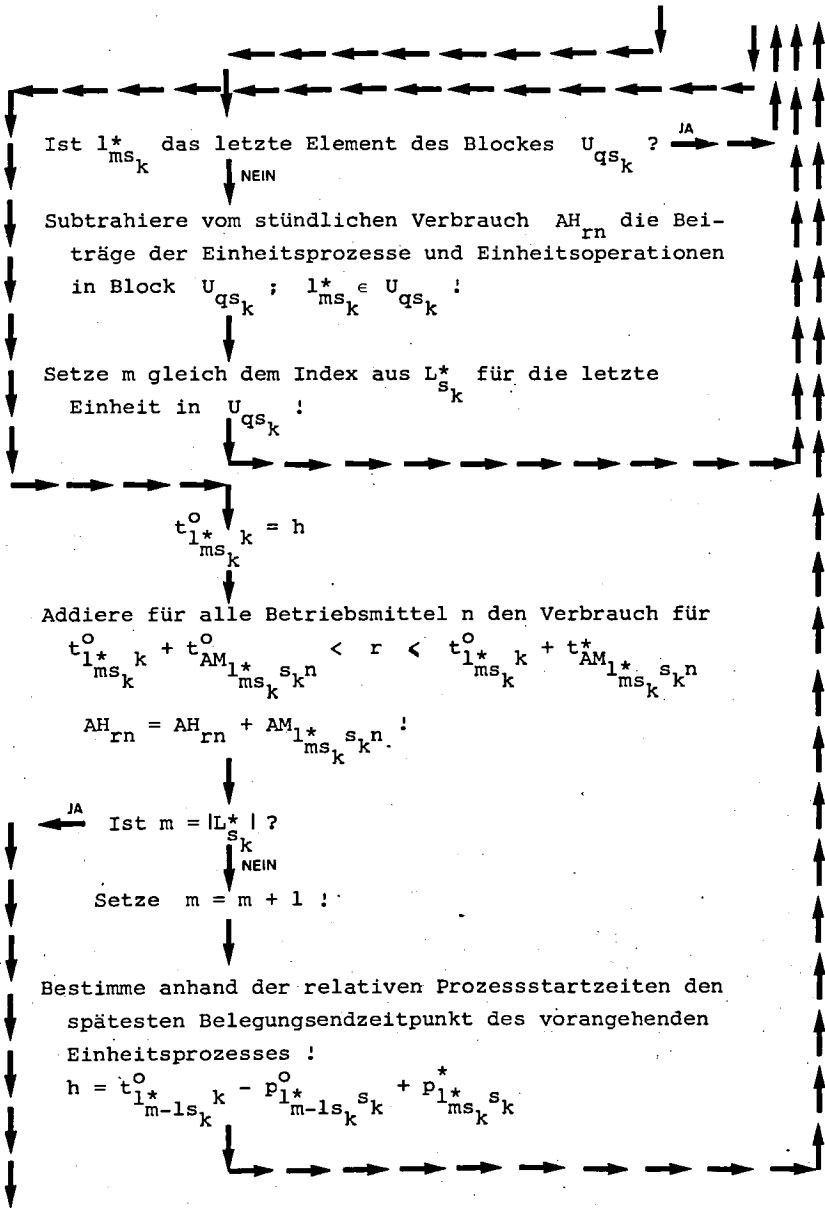


Fig. 2.11: Shift - Algorithmus

Der Unterschied der beiden einer Elementareinheit zugeordneten Referenznummern liegt in der Shift-Richtung. Ist diese gleich der positiven Zeitachse, ist, wie später gezeigt wird, die erste der beiden Referenznummer zu verwenden. Im vorliegenden Fall dem Shiften von rechts nach links gilt die zweite Referenznummer.

Das erste Beispiel zeigt die Verfahrensweise beim Auftreten von Restriktionen bezüglich der Arbeitszeiten.

Wie aus Fig. 2.13 hervorgeht, bildet die zeitliche Fixierung, ausgehend vom spätesten Fertigungstermin b_k^* , der Einheitsoperationen ① und ② sowie diejenige der Einheitsprozesse ③ und ④ keinerlei Schwierigkeiten. Einheitsprozess ⑤ müsste sodann, automatische Anlageregelung vorausgesetzt, spätestens bis zum Arbeitsschluss der Vorwoche beendet sein. Aufgrund der Stabilität der Charge nach durchgeführtem Einheitsprozess ⑤ ist eine solche Produktionsweise nicht zulässig. Gemäss der entsprechenden Sequenzzahl

(Fig. 2.12) \square kann der Produktionsprozess frühestens nach beendetem Einheitsprozess ③ unterbrochen werden. Neuer Ausgangspunkt für das Einplanen der Einheitsprozesse ③, ④ und ⑤ bildet somit die Arbeitsniederlegung am Wochenende. Da im weiteren Verlauf der Bestimmung der Prozesstermine keine weiteren Verzögerungen mehr auftreten, resultiert der in Fig. 2.14 dargestellte Terminplan.

PRODUKT D (VARIANTE: 1)

MATERIALFLUSS:	INPUT	----->	REAKTOR 1	----->	REAKTOR 6
REFERENZNUMMER:			1		
REFERENZNUMMER:			3		
MATERIALFLUSS:	REAKTOR 1	----->	REAKTOR 2	----->	FILTER 1
REFERENZNUMMER:			1		
REFERENZNUMMER:			3		
MATERIALFLUSS:	REAKTOR 1	----->	REAKTOR 6	----->	FILTER 1
REFERENZNUMMER:			1		
REFERENZNUMMER:			3		
MATERIALFLUSS:	REAKTOR 6	----->	FILTER 1	----->	TROCKNER 1
REFERENZNUMMER:			4		
REFERENZNUMMER:			2		
MATERIALFLUSS:	FILTER 1	----->	TROCKNER 1	----->	OUTPUT
REFERENZNUMMER:			5		
REFERENZNUMMER:			1		

Fig. 2.12: Fliesbild für Produkt D (Variante 1)

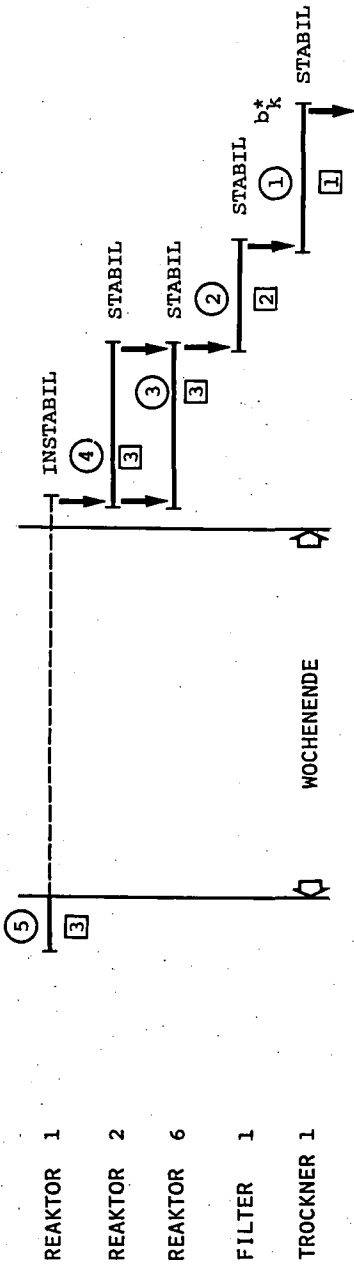


Fig. 2.13: Unzulässige Produktionsweise

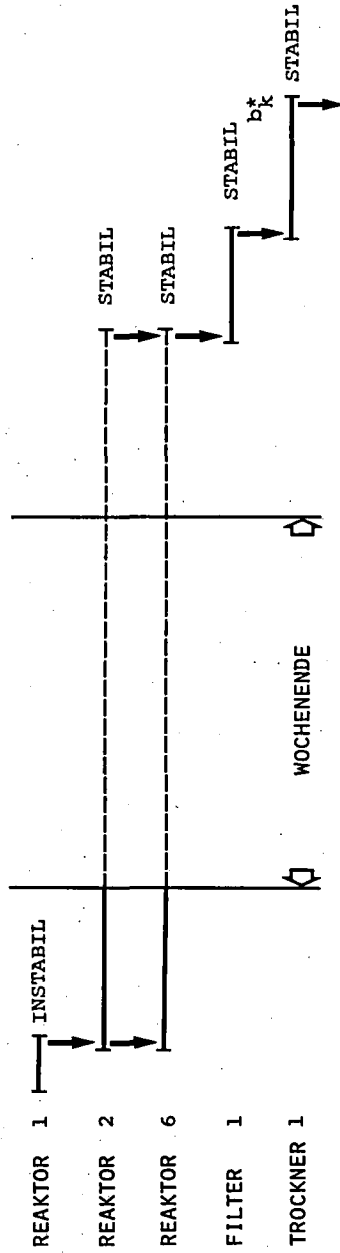


Fig. 2.14: Korrekte Produktionsweise

Wird im vorliegenden Beispiel die Anlage für die Dauer des Wochenendes abgeschaltet, muss die Charge vor Beginn desselben gefertigt sein.

Unter den Sammelbegriff "Betriebsmittel" fallen sowohl die verschiedenen Energieformen als auch die menschliche Arbeitskraft. Die Verfahrensweise gemäss dem Shift-Algorithmus bei begrenzt der Produktion zur Verfügung stehenden Betriebsmitteln, soll anhand des folgenden Beispiels demonstriert werden.

Die Leistungsfähigkeit des Heizkessels für die Versorgung der Anlage mit Dampf beträgt 40'000 KCal/h. Der Stromverbrauch ist aufgrund der bestehenden elektrischen Installationen auf 50 KW begrenzt. Gegeben ist weiter eine alternative Produktionsreihe S mit den |S| Elementen s.

Der Terminplan für die Einheitsprozesse und Einheitsoperationen des k+1-ten Reihenelementes s_{k+1} , mit s_{k+1} gleich Variante 1 für Produkt H, wurde ausgehend vom spätesten Fertigungstermin b_{k+1}^* gemäss Fig. 2.15 bestimmt. Die dabei benötigten Energiemengen sind in den entsprechenden Bedarfsschemen durch die schwarz ausgezogenen Flächen dargestellt.

Die dem k-ten Reihenelement s_k zugeordnete Produktionsvariante entspricht der einzigen für Produkt D. Der späteste Fertigungstermin aufgrund der Produktionsbedarfe, der Lagerbestände und der Verfügbarkeit der zur

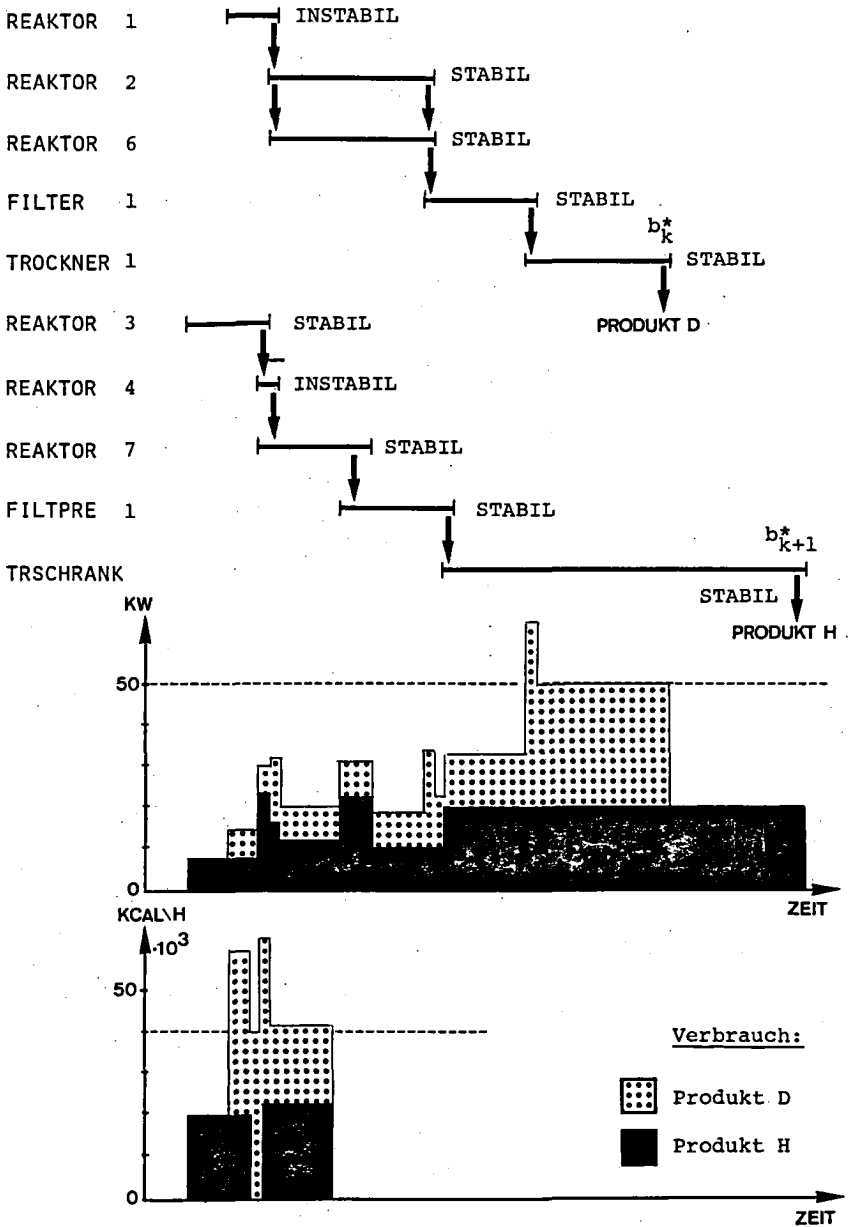


Fig. 2.15: Produktion ohne Kapazitätsschranken

Durchführung des Produktionsprozesses benötigten Elementareinheiten ist der Zeitpunkt b_k^* . Berücksichtigt man bei der zeitlichen Koordination der zur Herstellung von Produkt D notwendigen Einheitsprozesse und Einheitsoperationen die gegebenen Betriebsmittelkapazitätsgrenzen zunächst nicht, ergeben sich der Terminplan und der kumulative Energiebedarf gemäss Fig. 2.15.

Da die gegebenen Belastungsgrenzen für die beiden Energieformen überschritten werden, entsteht zwischen den beiden Prozessen ein Konkurrenzverhältnis. Der durch die spezielle Charakteristik jeder Produktionsvariante geprägte Ablauf muss somit modifiziert werden. Bedingt durch die fixierten, spätest möglichen Fertigungstermine und die Stabilitäten der Stoffkomponenten müssen die Einheitsoperationen bzw. Einheitsprozesse der stabilen Blöcke eines Produktionsprozesses auf frühere Zeitabschnitte verlagert werden. Da zwei oder mehrere parallele Produktionsprozesse Kapazitätsüberschreitungen verursachen, stellt sich die Frage, welche Produktionsprozesse bzw. welche stabilen Blöcke einer Verschiebung zu unterziehen sind.

Die Tatsache, dass die alternativen Produktionsreihen systematisch mittels eines Enumerationsverfahrens generiert werden, erlaubt die direkte Zuordnung der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen zur Kalenderzeit unter Berücksichtigung der vorhandenen Kapazitätsbelastungen.

Für das Beispiel Fig. 2.15 bedeutet dies, das in der Menge aller möglichen, mittels des Enumerationsverfahrens generierten, alternativen Produktionsreihen, folgende zwei Reihen enthalten sind:

$$S = \{ s_1, \dots, s_{k-2}, H_1, D_1, s_{k+1}, \dots, s_{|S|} \}$$

$$S = \{ s_1, \dots, s_{k-2}, D_1, H_1, s_{k+1}, \dots, s_{|S|} \}$$

← Zuordnungsreihenfolge

Im ersten Fall müssen die Einheitsprozesse und Einheitsoperationen der Produktionsvariante H_1 aufgrund des durch den Produktionsprozess D_1 verursachten Betriebsmittelbedarfes, auf einen früheren Zeitpunkt verlegt werden. Im zweiten Fall erfolgt die Vorverlegung der Einheitsoperationen und Einheitsprozesse des Produktionsprozesses D_1 .

Das entsprechende Vorgehen gemäss dem in Fig. 2.11 dargestellten Algorithmus soll anhand der zweiten Produktionsreihe veranschaulicht werden.

Die Zuordnung von konkreten Punkten der Kalenderzeitskala zu den Einheitsoperationen und Einheitsprozessen des Produktionsprozesses für Produkt H, wird durch die Betriebsmittelgrenzen nicht beeinflusst.

Ausgehend von Zeitpunkt b_k^* kann die Trocknung der Charge Produkt D unter vollständiger Auslastung der pro Zeiteinheit zur Verfügung stehenden Elektrizitätsmenge simultan zur Trocknung der Charge Produkt H erfolgen.

Die Filtration, das Aufheizen des Trockners und der gleichzeitige Betrieb des Trockenschrankes hätten die Überbelastung der elektrischen Installationen zur Folge. Bedingt durch die Stabilität des Filterkuchens muss zum Abbau der Bedarfsspitze (siehe Fig. 2.15) die Filtration von D um eine Stunde vorverlegt werden.

Das Aufheizen der Reaktionsgemische in den Reaktoren 2 und 6 während den ersten sechs Stunden der parallelen Einheitsprozesse, muss unmittelbar vor Beginn der Reaktion in Reaktor 7 zur Herstellung von Produkt H abgeschlossen sein. Die zeitliche Koordination mit der anschliessenden Filtration bildet aufgrund der stabilen Komponenten nach durchgeführter Reaktion keinerlei Schwierigkeit.

Das Erhitzen des Rohproduktes D_1 in Reaktor 1 führt dieses in eine äusserst reaktive, instabile Form über. Der hierzu notwendige grosse Wärmebedarf hat zur Folge, dass die geforderte Temperatur in Reaktor 1 vor Beginn des ersten Einheitsprozesses für die Herstellung von Produkt H in Reaktor 3 erreicht sein muss. Aufgrund der Instabilität des erhitzten Rohproduktes D_1 und der Divergenz zwischen dem Prozessende in Reaktor 1 und dem

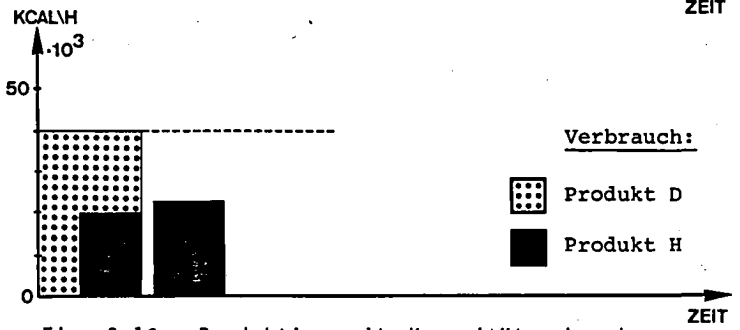
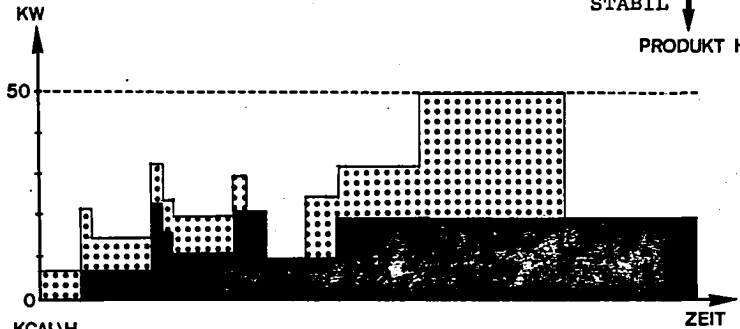
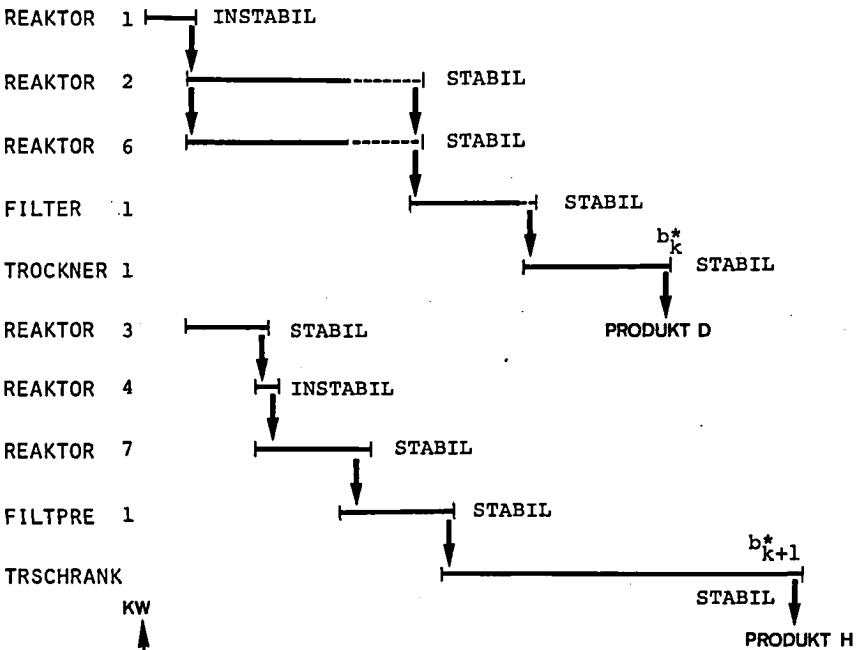


Fig. 2.16: Produktion mit Kapazitätsschranken

Beginn der anschließenden, parallelen Prozessen in den Reaktoren 2 und 6 (1 Stunde), werden diese um eine Stunde vorverlegt. Da die Verschiebung keine Verletzung der Betriebsmittelgrenzen zur Folge hat, ist die Zuordnung der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen des Produktionsprozesses zur Herstellung einer Charge Produkt D zur Kalenderzeitskala beendet. Fig. 2.16 zeigt den entsprechenden Terminplan zusammen mit den entsprechenden Energiebedarfsdiagrammen.

Die nachfolgenden Seiten zeigen die Unterschiede in den Belegungsplänen bei nicht Berücksichtigung bzw. Berücksichtigung der Betriebsmittelkapazitätsgrenzen für ein reales Beispiel.

Steht eines der R_j Rohprodukte r , welche zur Herstellung einer Charge von Produkt i nach Variante j , $j \in J_i$ benötigt wird nicht in ausreichender Menge RM_{rj} , $r \in R_j$, $j \in J_i$, ab Rohproduktlager RS_r zur Verfügung, bestimmen die Anliefermengen RA_{rm} und die entsprechenden Liefertermine Rt_{rm} der m Lieferungen den frühest möglichen Produktionstermin t_{R_k} der Charge.

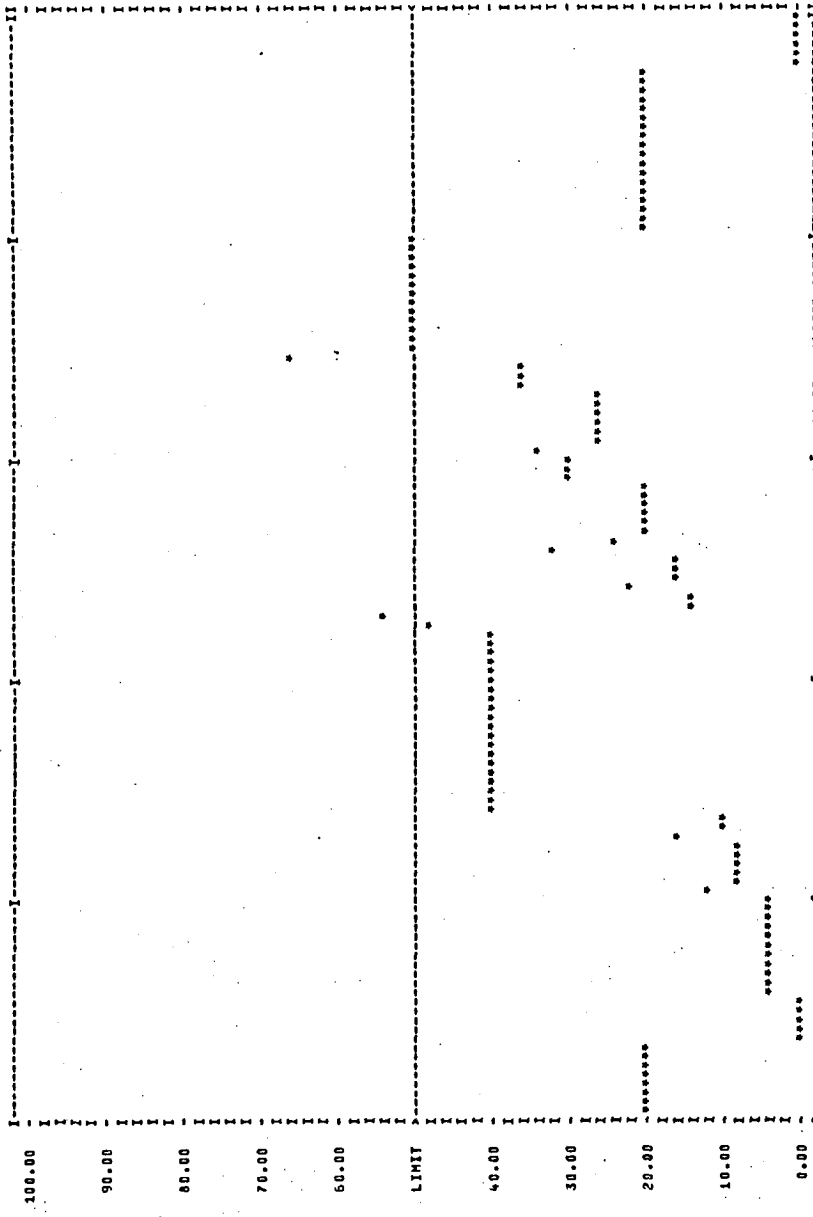
Für eine gegebene Produktionsreihe S

$$S = \{ s_1, \dots, s_k, \dots, s_{|S|} \}$$

erhält man den frühesten Produktionstermin für die Variante s_k aus

BEDARFSPLAN NR: 4 FUER LIMITIERENDES MITTEL: E-ENERGIE (KW)

PRODUKTIONSZEIT: VON DIENSTAG 8. 8.1978 BIS SAMSTAG 12. 8.1978
DIENSTAG 8. 8. MITTWOCH 9. 8. DONNERSTAG 10. 8. FREITAG 11. 8. SAMSTAG 12. 8.



BEDARFSPLAN NO: 4 FUER LIMITIERENDES MITTEL: STEAM (KCAL/H)

PRODUKTIONSZEIT: VON DIENSTAG 8. 8.1978 BIS SAMSTAG 12. 8.1978

DIENTAG 8. 8. MITTWOCH 9. 8. DONNERSTAG 10. 8. FREITAG 11. 8. SAMSTAG 12. 8.

60050.00

54045.00

49040.00

42035.00

LIMIT

36030.00

30025.00

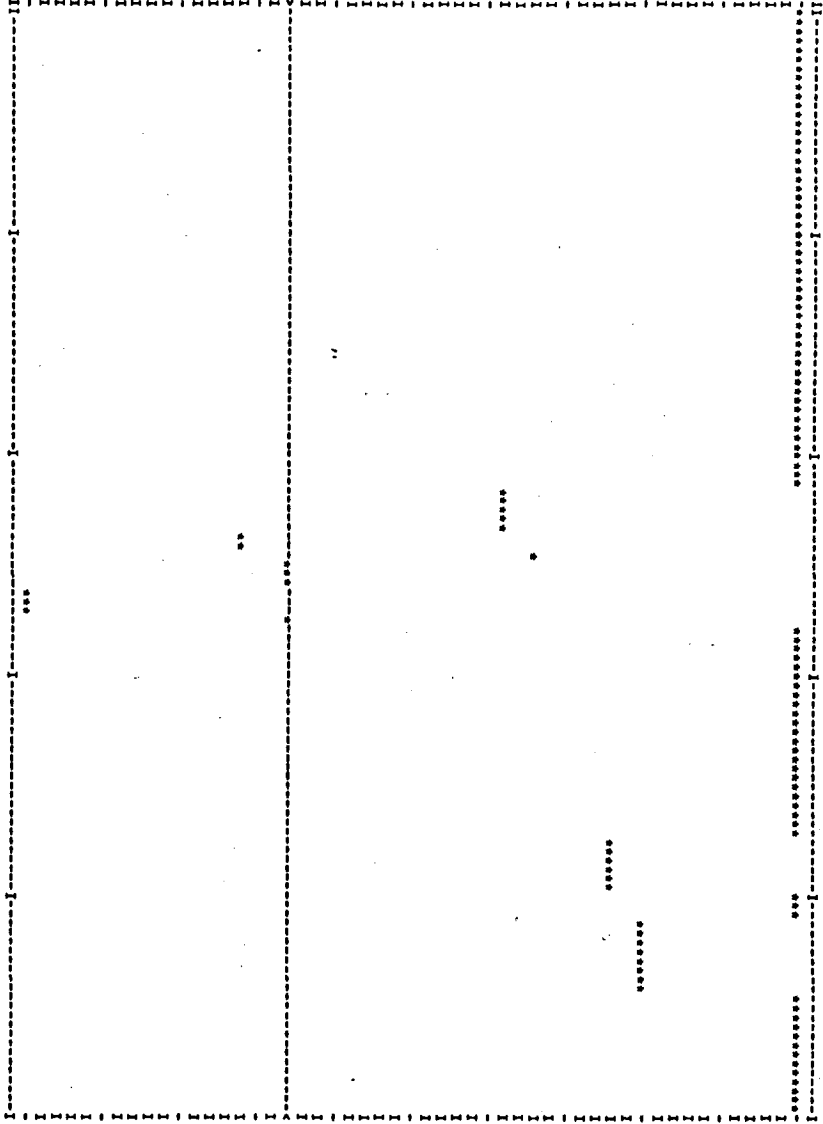
24020.00

18015.00

12010.00

6005.00

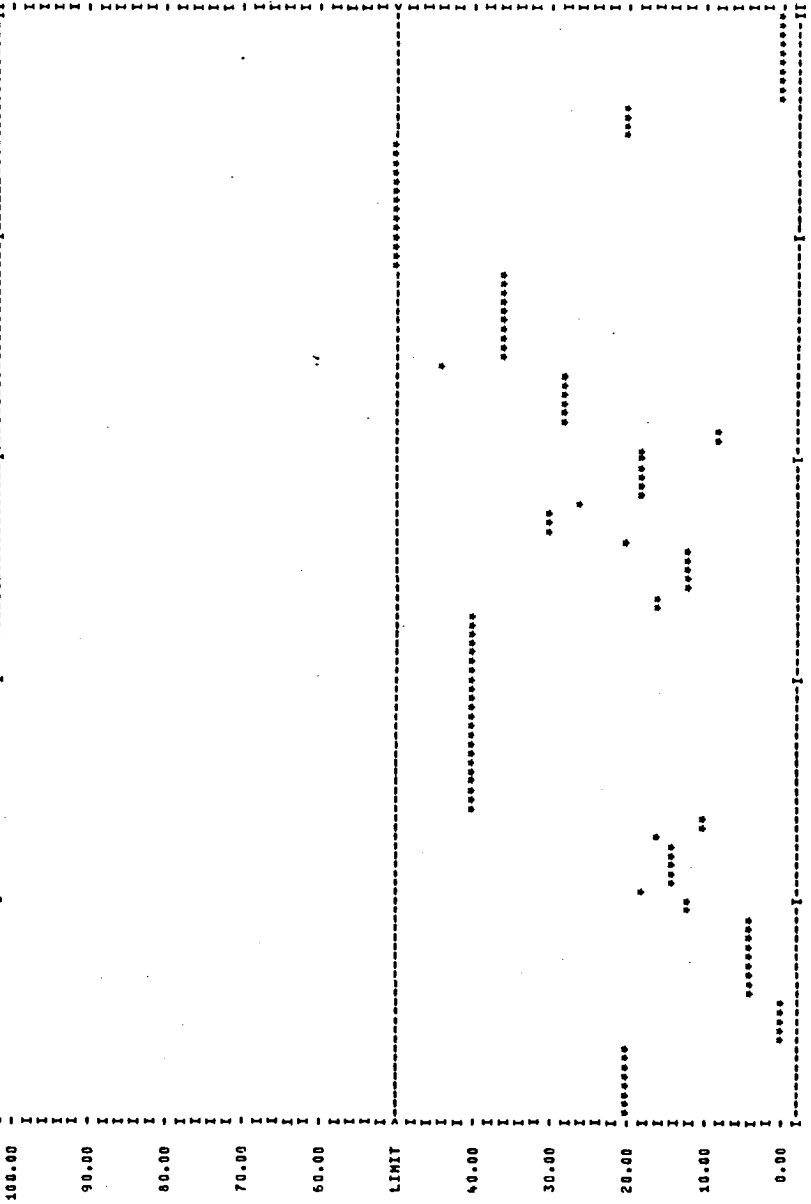
0.00



BEDARFSPLAN NO 1 4 FUER LIMITIERENDES MITTEL E-ENERGIE (KW)

PRODUKTIONSZEIT: VON DIENSTAG 8. 8.1978 BIS SAMSTAG 12. 8.1978

DIENSTAG 8. 8. MITTWOCH 9. 8. DONNERSTAG 10. 8. FREITAG 11. 8. SAMSTAG 12. 8.



BEDARFPLAN NO: 4 FUER LIMITIERENDES MITTEL: STEAM (KCAL/H)

PRODUKTIONSZEIT: VON DIENSTAG 8. 8. 1978 BIS SAMSTAG 12. 8. 1978

DIENSTAG 8. 8. MITTWOCH 9. 8. DONNERSTAG 10. 8. FREITAG 11. 8. SAMSTAG 12. 8.

LIMIT	8. 8.	9. 8.	10. 8.	11. 8.	12. 8.
36045.00		****			
32040.00					
28035.00					
24030.00			*****		
20025.00		**		*****	
16020.00		**			
12015.00	*****				
8010.00					
4005.00					
0.00	*****	*	*****	*****	*****

$$t_{R_k} = \max_{r \in R_{s_k}} \left\{ R t_{rM} \right\}$$

wobei für M die Beziehung

$$RS_r + \sum_{m=1}^{M-1} RA_{rm} - \sum_{s_k} RM_{rs_k} < RS_{\min_r} < RS_r + \sum_{m=1}^M RA_{rm} - \sum_{s_k} RM_{rs_k}$$

gelten muss.

Wird bei der Zuordnung der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen des Produktionsprozesses s_k zur Kalenderzeitskala der Zeitpunkt t_{R_k} unterschritten, wird die Shift-Richtung umgekehrt. Ausgehend vom Zeitpunkt t_{R_k} erfolgt erneut das Einplanen der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen für den Produktionsprozess s_k . Der dabei verwendete Algorithmus ist sowohl in seinem Aufbau als auch in der Verfahrensweise - sieht man von der Shift-Richtung ab - mit dem bereits behandelten identisch. Dieser modifiziert die Termine der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen der Produktionsprozesse s_{k+1} bis $s_{|S|}$ soweit sie durch die neuen Belegungstermine beeinflusst werden.

Die aus den Produktionsverspätungen resultierenden Produktionslücken müssen durch Entnahmen aus dem Pufferlager gedeckt werden.

Durch die Berechnung von mengenspezifischen Strafkosten bei Deckung des Bedarfes aus dem Pufferlager wird vermieden, dass bedingt durch die Kostenminimierung die Produktionsreihe, welche den Ausgleich der Spannungen zwischen Produktion und Absatz mit dem teuersten Produkt erforderlich macht, ausgewählt wird. Die Gewichtung der produktspezifischen Penalty-Werte schafft zudem die Voraussetzung, die Entnahmen aus dem Pufferlager für Produkte, welche erfahrungsgemäss kurzfristigen Bedarfsänderungen unterliegen, falls sie sich nicht vermeiden lassen, wenigstens auf das Notwendigste einzuschränken.

Die Zuordnung der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen des Produktionsprozesses s_{k-1} zur Kalenderzeitskala erfolgt anschliessend wiederum ausgehend vom spätesten Fertigungstermin.

Ist das Einplanen der Einheitsprozesse und Einheitsoperationen der Produktionsprozesse einer Produktionsreihe beendet, kann aufgrund der aus dem Terminplan abgeleiteten Lagerbestände die Kostenrechnung durchgeführt werden.

2.4.3 Kostenrechnung

Die bei der Kostenrechnung zu berücksichtigenden Kostenkomponenten sind die Lagerzins-, Reinigungs-, Einrichte- und Betriebsmittelkosten. Letztere werden aufgrund der verschiedenen Produktionsvarianten, d.h. der unterschiedlichen Wirkungsgrade der Elementareinheiten, in die Kostenrechnung einbezogen. Ist ZF der Jahreszinsatz, zu welchem das im Lager gebundene Kapital - die Bewertung des Lagers erfolgt anhand der Herstellungskosten HK_i pro Kilogramm - verzinst werden muss, ergeben sich aus den täglichen Lagerbeständen St_{id} (KG) der $|I|$ Produkte i für die Dauer D der Planungsperiode die Lagerkosten aus

$$SK = \sum_{i=1}^{|I|} \sum_{d=1}^D \frac{St_{id} \cdot HK_i \cdot ZF}{36500}$$

Obige Kostengleichung begünstigt bei vertikalem Produktionsprogramm Produktionsprozesse von Folgeprodukten mit langen Produktionsunterbrüchen. Eine frühere Entnahme der benötigten Zwischenproduktmenge hat zwangsläufig geringere Lagerkosten zur Folge.

Um eine entsprechende Produktionsweise zu verhindern, wird bei der Herstellung einer Charge Folgeprodukt zum Zeitpunkt b_k^0 die benötigte Zwischenproduktmenge z_{jm} bis zur Auslieferung der Charge am Tag

$$d_k^* = \text{INT} \left(\frac{b_k^* - 1}{24} + 2 \right)$$

ans Lager verzinst.

Die zusätzlichen Lagerzinskosten AZ ergeben sich aus der Beziehung

$$AZ = \sum_{s_k} d_k^* - d_k^0 \sum_{d=1} \frac{z_{jm} \cdot HK_m \cdot ZF}{36500}$$

wobei

$$d_k^0 = \text{INT} \left(\frac{b_k^0 + tz_{jm} - 1}{24} + 1 \right)$$

ist.

Die Reinigungs- und Einrichtekosten für eine Produktionsreihe S , wird aus der Summe der Kosten RC_{liq} für die Bereitstellung der benötigten Elementareinheiten wie folgt berechnet:

$$RK = \sum_{k=1}^S \sum_{\substack{l \in L'_k \\ s_k \in J_i}} RC_{lk} \cdot LP_{lk}^i$$

Die Betriebsmittelkosten BK ergeben sich aus dem stündlichen Bedarf AH_{hn} und dem Marktpreis AP_n der N verschiedenen Betriebsmitteln n summiert über die Dauer der Planungsperiode.

$$BK = \sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^{Dh} AH_{hn} \cdot AP_n \quad ; \quad Dh = D \cdot 24$$

Bei Entnahme von Endproduktmengen aus den Pufferlagerbeständen PSt_i zur Ueberbrückung von Produktionsverspätungen, berechnen sich die Strafkosten PK aufgrund der gegebenen, produktspezifischen Penaltywerte PW_i gemäss nachfolgender Beziehung

$$PK = \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D e_{id} \cdot PW_i \cdot 10^5$$

Hierbei gilt

$$e_{id} = \begin{cases} PSt_i - St_{id}, & \text{falls } PSt_i > St_{id} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases} ;$$

Die effektiven, variablen Produktionskosten VK_{eff} für eine Produktionsreihe sind durch die Beziehung

$$VK_{eff} = SK + AZ + RK + BK$$

gegeben.

Die Auswahl der optimalen Produktionsreihe S_{opt} erfolgt jedoch anhand der variablen Kosten VK .

$$VK = VK_{eff} + PK$$

Ist VK kleiner als der beste bis anhin gefundene Wert VK_{opt} , wird der Wert von VK_{opt} durch denjenigen von VK ersetzt und die Produktionsreihe zusammen mit den effektiven Produktionskosten abgespeichert. Andernfalls wird die Produktionsreihe verworfen. In beiden Fällen wird anschliessend zum Enumerationsverfahren zurückgekehrt.

K A P I T E L 3

Computer-Programm SRSBP

ABSCHNITT 3.1

E i n f ü h r u n g

Zur Lösung des Problems der optimalen kurzfristigen Produktionsplanung für absatzweise arbeitende Mehrprodukt- und Mehrzweckanlagen wurde das Computer-Programm SRSBP entwickelt. SRSBP steht als Abkürzung für "short range scheduling for batch plants". Das Programm ist als Instrument des Produktionsleiters gedacht und soll als Zielsetzung die Entscheidungen des Produktionsleiters durch objektive, zahlenmässige Unterlagen aus der Sphäre des Emotionalen in den Bereich des Rationalen überführen.

Aufgrund der Zielsetzung und der Tatsache, dass eine solche nur dann sinnvoll ist, wenn die dem Produktionsleiter zur Verfügung gestellten Unterlagen auf dem aktuellen Informationsstand basieren, standen bei der Entwicklung des Programmes drei Forderungen im Vordergrund:

1. Hohe Flexibilität, d.h. rasche Planungsanpassung an kurzfristig gewandelte Ausgangsbedingungen unter Berücksichtigung des Ist-Zustandes des Produktionsgeschehens.
2. Minimaler Dateninput trotz universeller Programmierung.
3. Darstellung der Resultate in einfacher, übersichtlicher und leicht verständlicher Form.

Die Programmstruktur, der Dateninput und die Darstellung der Resultate sind Gegenstand der nachfolgenden Abschnitte.

ABSCHNITT 3.2

Programmstruktur

SRSBP wurde für Computer des Typs CONTROL DATA 6400/6500 bzw. CYBER 174A geschrieben [5]. Bei den Computern handelt es sich um Wortmaschinen, wobei ein "CENTRAL MEMORY"-Wort (CM) 60 Bit bzw. 10 alphanumerische Zeichen umfasst. Programmiersprache ist EXTENDED FORTRAN [6].

SRSBP ist in seiner derzeitigen Form für maximal sechs Produkte mit je zwei Produktionsvarianten, 20 Elementareinheiten und einer Planungszeit von 60 Tagen dimensioniert. Die vom Programm bei der Durchführung benötigte Kernspeicherkapazität beträgt 140'000 CM. Bei grösseren Problemen oder kleineren Rechenanlagen besteht aufgrund der Programmstruktur (siehe Fig. 3.1) die Möglichkeit, das Programm sequentiell abzuarbeiten.

Bedingt durch die Forderung nach hoher Flexibilität werden im Verlauf des Programmes die Anlage- und Prozessspezifikationen sowie die optimalen Planungsdaten der vorangegangenen Planung von je einem Disk-File gelesen. Nach beendeter Berechnung des optimalen Belegungsplanes generiert das Programm ein weiteres Disk-File, speichert die berechneten Daten ab und katalogisiert das File für die nächste Planung.

3.2.1 Hauptprogramm

Die erste Zeile des Hauptprogrammes umfasst nebst dem Programmnamen die für die Zuordnung der peripheren Geräte notwendigen Informationen. Hierbei enthält File A die optimalen Planungsdaten der vorangegangenen Planung und File C die Anlage- und Prozessspezifikationen. File B dient der Speicherung der vom Programm berechneten optimalen Daten. Dieses wird vor Programmende katalogisiert und tritt anstelle von File B bei der nachfolgenden Planung.

Die Uebertragung der Zahlenwerte zwischen den Programmsegmenten mittels Parameterlisten erweist sich bei Programmen dieses Umfanges als sehr aufwendig. Der COMMON-Bereich (s. Seite 136) beseitigt dieses Problem. Dieser wird, bedingt durch die langen COMMON-Listen in zwei Blöcke unterteilt. Die INTEGER Variablen sind in einem unbenannten COMMON-Block und die Variablen vom Typ REAL im Block REA zusammengefasst. Die Dimensionierung der indizierten Variablen erfolgt direkt in den COMMON-Anweisungen.

Die anschliessende Zuordnung der verwendeten Dimensionen zu verschiedenen Variablen erfolgt aus Sicherheitsgründen. Sie dienen der Kontrolle der Anzahl INPUT-Daten, welche einer indizierten Variablen zugeordnet werden. Beim Ueberschreiten der Dimensionen erscheint im OUTPUT eine entsprechende Fehlermeldung und das Programm wird abgebrochen.

PROGRAM SRSBP (INPUT,OUTPUT,TAPE1=INPUT,TAPE2=OUTPUT,A,TAPE3=A,B,
\$TAPE4=B,C,TAPE5=C)

C
C
C
C
C
C
C

* PROGRAMM ZUR BERECHNUNG DES OPTIMALEN PRODUKTIONSPLANES *
* *****

COMMON//IDNRPD(12),IDPDVAR(12),IDPT(40),IEND(20,12),IFIT,
\$IFHPUPL,IFDPT,IFOVERL,IFWEEKP,INDEX,INDEXBL(6),INSTAR(20,12),
\$ISTART(20,12),IWORKT(1440),JND,JINDEX,KPROD,LASTPD(40,20),
\$MAXPTD(40),MAXPTH(40),MAXTIME(40,20),MDAT(3),MNDAY(2),MPDSTH(40),
\$MRESUL(40,6),MSTARTD(40),NACODIM,NACON,NACONE(3,20,12),
\$NACONS(3,20,12),NAMACON(3),NAMEPD(6),NAMERM(10),NAMITEM(20),
\$NAPRD(12,12),NASPDAY(5),NRATCH(12),NRATEND(40,20),NRATST(40,20),
\$NBSAC(3,20),NBEAC(3,20),NBOCC(40,20),NBLDC(20,12),NSBLDC(20,12),
\$NBOUND(40,12),NBRADIM,NBRKDE(20),NBRKIDN,NCHOVT(20,6,6),NCONRM,
\$NDAY(40,6),NDAYBTE,NDAYBTS,NDAYDIM,NDAYPT,NDECDIM,NDEP(12),NDEPBL,
\$NDEPIT(12),NDEFPD(12),NEEDPT(6,12),NENDPTD(40),NENDPTH(40),
\$NINTP(12),NINTPD(6),NITEDIM,NITEM(12),NITEMS,NNEWDAT,NDEPF,
\$NDEFPBL,NDEFPD(12,12),NOINDEP(12),NOITEM(20,12),NOPRD(12),
\$NOSPDAY(5),NOVAR(7,6),NOWEKE,NOWEEKS,NPCODIM(3),NPLDA,NPARDIM,
\$NPLDAY1,NPLANH,NPLODIM,NPRBIT(120),NPRELUL,NPROD,NREFBEF(20,12),
\$NPRDIM,NRAWDIM,NRAWM,NRMCN(10),NRMCNT(10,10),NRPROD,NSALDAT(6),
\$NSIT(20,12),NSOLBL(6),NSOLBTS(6),NSPDAT(6),NSPDAYS,NSPDTE(5),
\$NSPDBTS(5),NSPDDIM,NSPDPT(5),NT(4),NTIMRES(20),NVAR(6),NVARDIM,
\$NWEKDE,NWEEKDS,MPDCNH(40),MRATCH,MFLAG,MFLAG,MREFAFT(20,12)
COMMON/REA/A(51),AM(50,50),ACDAM(3,20,12),ACDAMH(3,1440),
\$ACDPR(3),ACORAM(3,1440),ADCC(3),
\$AMPENCO(6),AMPENAL(6),B(50),BATCHAM(12),C(51),
\$CHOVCD(20,6,6),D(50),H(50),PCDST(6),PDMAXAM(6),PDSTBEG(6),
\$PDSTEND(6),PDSTMAX(6),PDSTMIN(6),PINTAK(6,12),PINTER,PRDCA(6),
\$PRDCAM(40,6),RHAT(40,10),RHATAN(10,12),RHCONAM(10,10),RNMSTIN(10),
\$RHSTORE(10),SALES(40,6),SALESAM(60,6),STORE(40,6),STOREND(40,6),
\$TCONIN(6),TOTR(6),TDACDAM(3),TOTAM(40,6),XACC(3,120)

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

DIMENSIONIERUNG DES PROGRAMMES

NACODIM: MAXIMALE ANZAHL BETRIERSMITTEL
NBRADIM: MAX ANZAHL PRODUKTIONSVARIANTEN
NDAYDIM: MAX ANZAHL PLANUNGSTAGE
NDECDIM: MAX ANZAHL ENTSCHEIDUNGSEBENEN DES ENUMERATIONSVERFAHRENS
NITEDIM: MAX ANZAHL APPARATE
NPLDIM: MAX ANZAHL PRODUKTIONSSTUNDEN DIE VON DER VORHERGEHENDEN
OPTIMIERUNG UEBERTRAGEN WERDEN
NPRDIM: MAX ANZAHL PRODUKTE
NRAWDIM: MAX ANZAHL BENOTIGTEN ROHMATERIALIEN SOWIE ENGPASSE / ROHMATERIAL
NVARDIM: MAX ANZAHL PRODUKTIONSVARIANTEN / PRODUKT
NSPDDIM: MAX ANZAHL SPEZIELLE ARBEITSTAGE
NPARDIM: MAX ANZAHL PARALLELE ARBEITENDER APPARATE

NACODIM = 3
NBRADIM = 6
NDAYDIM = 60
NDECDIM = 40
NITEDIM = 20
NPLDIM = 120
NPRDIM = 6
NRAWDIM = 10
NSPDDIM = 5
NVARDIM = 2
NPARDIM = 2

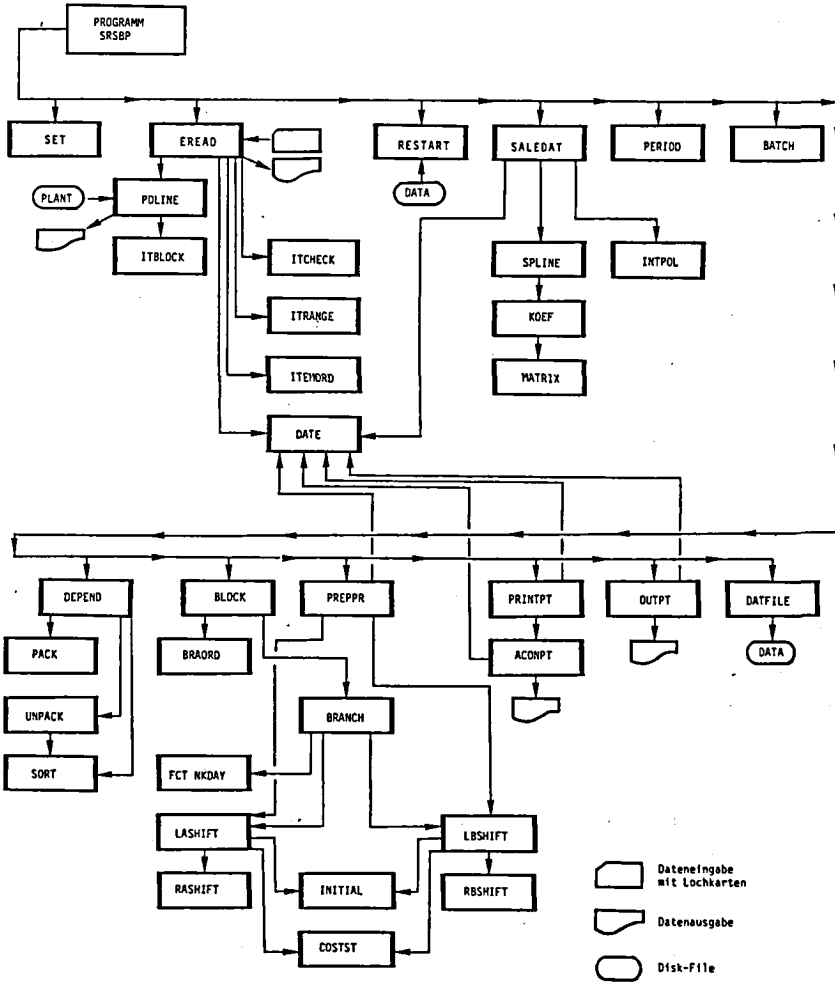


Fig. 3.1: Programmstruktur

Damit wird vermieden, dass die im COMMON-Block nachfolgenden Variablen mit falschen Zahlenwerten überschrieben werden.

Die im Hauptprogramm verbleibenden Programmanweisungen sind die Aufrufe der verschiedenen Unterprogramme gemäss Fig. 3.1.

3.2.2 Unterprogramme

Aufgabe dieses Unterabschnittes ist die Erläuterung der Zweckbestimmung der einzelnen Unterprogramme. Die Behandlung der SUBROUTINEN erfolgt in der chronologischen Reihenfolge ihres Einsatzes gemäss Fig. 3.1.

SUBROUTINE SET

SET ordnet den von der Problemstellung unabhängigen Variablen die entsprechenden Anfangswerte zu.

SUBROUTINE EREAD

ERead liest die aktuellen Steuergrössen und Planungsdaten, überprüft die Informationen bezüglich Inhalt und Umfang und ordnet diese den entsprechenden einfachen oder indizierten Variablen zu. Treten Unstimmigkeiten auf, wird die Nummer der Datenzeile sowie diese selbst unter Angabe des Fehlers im OUTPUT gedruckt.

SUBROUTINE PDLINE

PDLINE übernimmt vom Disk-File PLANT die Anlage- und Prozessspezifikationen und überprüft bei der Zuordnung die Anzahl der Daten mit den Dimensionen der entsprechenden Variablen.

SUBROUTINE ITBLOCK

ITBLOCK unterteilt die Produktionsprozesse gemäss Unterabschnitt 2.3.1 in stabile Blöcke.

SUBROUTINE ITEMORD

ITEMORD ordnet die Elementareinheiten, welche für die Durchführung eines Produktionsprozesses benötigt werden, in der Reihenfolge ihrer relativen Prozessstart- bzw. Prozessendzeiten (siehe 2.3.4).

SUBROUTINE ITRANGE

ITRANGE ordnet anhand der in ITEMORD bestimmten Reihenfolge und Zugehörigkeit der Elementareinheiten die stabilen Blöcke.

SUBROUTINE ITCHECK

ITCHECK überprüft die Durchführbarkeit eines Produktionsprozesses aufgrund des Betriebsmittelbedarfes und der vorgegebenen Kapazitätsschranken.

SUBROUTINE DATE

DATE ordnet ein Datum einer relativen Zeitskala zu und bestimmt den Wochentag. Durch die entsprechende Aenderung einer Steuergrösse bestimmt DATE für einen relativen Zeitpunkt das zugehörige Datum. Relativer Nullpunkt und somit Basis der Berechnungen ist der Sonntag, 1.1.1978.

SUBROUTINE RESTART

RESTART liest die optimalen Daten der vorangegangenen Planung von DISK-FILE "DATA", passt die Planungsdaten an den Ist-Zustand des Produktionsgeschehens bei Planungsbeginn an und ermittelt die Daten, welche die neue Planung beeinflussen.

SUBROUTINE SALEDAT

SALEDAT ordnet die kumulativen Bedarfe für ein bestimmtes Datum der relativen Zeitskala zu. Hierbei gilt es zwischen absoluten Bedarfszahlen und täglichen Durchschnittswerten zu unterscheiden. Im zweiten Fall handelt es sich bei den vorgegebenen Daten um Mengen-Zeit-Stützstellen, anhand dieser die täglichen Bedarfe mittels kubischem Spline berechnet werden.

SUBROUTINE SPLINE

SPLINE, KOEF und MATRIX berechnen die Koeffizienten der Splinefunktion zwischen zwei Stützstellen. INTPOL bestimmt durch Interpolation zwischen zwei Zeitpunkten die Bedarfsmengen.

SUBROUTINE PERIOD

PERIOD ordnet den Elementen der indizierten Variablen IWORKT (H) die Werte

$$\text{IWORKT (H)} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ falls während der Stunde H gearbeitet wird;} \\ 0, \text{ falls während der Stunde H nicht gearbeitet wird, aber Chargen mit stabilen Produkten in der Anlage belassen werden können;} \\ - 1, \text{ falls die Anlage während der Stunde H nicht in Betrieb ist} \end{array} \right.$$

zu. IWORKT (1) beschreibt den Anlagebetriebszustand der ersten Stunde nach Planungsbeginn.

SUBROUTINE BATCH

BATCH bestimmt bei vertikalem Produktionsprogramm und unterschiedlicher Ausbeute bei den verschiedenen Produktionsvarianten den grösstmöglichen Bedarf für jedes Zwischenprodukt aus den Bedarfsmengen an Endprodukten.

Die Summation des externen und des maximalen, internen Bedarfes unter Berücksichtigung des minimalen Endlagerbestandes ergibt eine obere Schranke für die zu produzierenden Mengen an Zwischenprodukten.

SUBROUTINE DEPEND

DEPEND unterteilt, das Fehlen von Betriebsmittelkapazitätsgrenzen vorausgesetzt, das auf der Anlage zu fertigende Produktionsprogramm gemäss Unterabschnitt 2.3.2 in unabhängige Produktgruppen. Die Abhängigkeit bezüglich gemeinsam belegter Elementareinheiten wird durch die Unterprogramme PACK, UNPACK bestimmt.

SUBROUTINE PACK

PACK ordnet einem Computer-Wort (60 Bit) die Werte

1, falls die entsprechende Elementar-
einheit bei der Durchführung der
Produktionsvariante belegt wird;

0, sonst

gemäss Tabelle 2.9a zu. Die Stellung des Bit innerhalb des Wortes wird durch die Reihenfolge der Angabe der Elementareinheiten bei den Anlagedaten bestimmt.

SUBROUTINE UNPACK

Die logische Operation .AND. von zwei verschiedenen Variantenwörter liefert die Zahlenwerte

1, falls eine Einheit für die Durchführung beider Produktionsvarianten benötigt wird;

0, sonst.

UNPACK liest sodann Bit für Bit des durch die .AND. Operation erzeugten Wortes.

Besitzt ein Bit den Wert 1 wird die SUBROUTINE SORT gerufen.

SUBROUTINE SORT

SORT vereinigt die Produkte in einer unabhängigen Produktgruppe gemäss den in Unterabschnitt 2.3.2 behandelten Kriterien. Die Gruppenbildung aufgrund gemeinsamer Elementareinheiten erfolgt ausgehend von SUBROUTINE UNPACK, diejenige der Stoffabhängigkeit von DEPEND (siehe Fig. 3.1).

SUBROUTINE BLOCK

BLOCK staffelt die Optimierung der unabhängigen Produktgruppen.

SUBROUTINE BRAORD

BRAORD erstellt die Prioritätslisten gemäss Unterabschnitt 2.3.3.

SUBROUTINE BRANCH

BRANCH generiert die alternativen Produktionsreihen. Das Enumerationsverfahren mit den zu berücksichtigenden Randbedingungen ist in Unterabschnitt 2.4.1 behandelt.

FUNCTION NKDAY

NKDAY rechnet Zeitangaben in Stunden in Anzahl Planungstage um.

SUBROUTINE LASHIFT / LBSHIFT

Der Buchstabe "L" im Namen der beiden Unterprogramme bedeutet "left-shift", d.h. die Shift-Richtung bei der Zuordnung der Belegungszeiten der Elementareinheiten zur Kalenderzeitskala gemäss Unterabschnitt 2.4.2 ist entgegengesetzt der positiven Zeitachse. LBSHIFT stellt die allgemeinere Form von LASHIFT dar und wurde zur rationelleren Bearbeitung von Problemen ohne Betriebsmittelkapazitätsgrenzen geschaffen.

SUBROUTINE RASHIFT / RBSHIFT

Hat die Zuordnung der Belegungszeiten der Elementar-
einheiten zur Kalenderzeitskala bei Rohproduktengpässen
mit den Unterprogrammen LASHIFT bzw. LBSHIFT das Unter-
schreiten der Liefertermine zur Folge, wird die Shift-
Richtung umgekehrt.

Durch das Wegfallen der Restriktionen bezüglich des
Pufferlagerbestandes - die befristeten Produktionslück-
en müssen durch Entnahmen aus dem Pufferlager gedeckt
werden - erfolgt die Zuordnung ausgehend vom frühest
möglichen Ansatztermin mit den Unterprogrammen RASHIFT
bzw. RBSHIFT.

SUBROUTINE INITIAL

INITIAL berücksichtigt die Auswirkungen des Produktions-
geschehens bei Planungsbeginn auf die Lagerbestände.

SUBROUTINE COSTST

COSTST berechnet für eine alternative Produktionsreihe
den Wert der Zielfunktion und die effektiven Kosten
(vgl. 2.4.3). Ist der Wert der Zielfunktion kleiner als
derjenige der bis zu diesem Zeitpunkt gefundenen kosten-
günstigsten Produktionsreihe, wird der alte Wert der
Zielfunktion, derjenige der effektiven Kosten und die
Produktionsreihe durch die neuen Werte ersetzt.

SUBROUTINE PREPPR

PREPPR berechnet anhand der optimalen Produktionsreihe durch den Aufruf von LASHIFT bzw. LBSHIFT die Kalenderzeitpunkte der Belegungen der benötigten Elementareinheiten. Eine nochmalige Berechnung der Werte für die Darstellung der Resultate im OUTPUT ist notwendig, da aufgrund des zusätzlichen Bedarfes an Speicherplätzen auf eine Speicherung dieser, im Verlaufe der Optimierung, verzichtet wurde.

SUBROUTINE PRINTPT

PRINTPT ordnet die optimalen Daten und erstellt die graphischen Darstellungen der Belegungspläne.

SUBROUTINE ACONPT

ACONPT stellt die Betriebsmittelbedarfe im OUTPUT graphisch dar.

SUBROUTINE OUTPT

OUTPT berechnet die absolute und relative Auslastung einer Elementareinheit bezogen auf die Arbeitszeit und die Planungszeit. Anschliessend erstellt das Unterprogramm anhand des optimalen Produktionsplanes den Rohproduktbedarfplan.

SUBROUTINE DATFILE

DATFILE schreibt die für die Durchführung der nachfolgenden Planung notwendigen Daten auf ein neues Disk-File "DATA".

ABSCHNITT 3.3

D a t e n I n p u t

Gemäss Fig. 3.1 benötigt das Programm drei Datensätze:

- Aktuelle Planungsdaten
(Eingabe mit Lochkarten oder Teletyp)
- Anlage- und Prozessdaten
(Disk-File "PLANT")
- Daten der vorangegangenen Planung
(Disk-File "DATA")

Die Reihenfolge der Aufzählung entspricht der Intensität der Modifikation der Daten durch den Benutzer. Müssen die Planungsdaten vor jeder erneuten Planung auf den aktuellen Stand gebracht werden, sind Anpassungen der Anlage- und Prozessdaten nur im Fall von Anlage- und/oder Prozessänderungen notwendig. Das Erstellen des dritten Datensatzes geschieht durch das Programm selbst.

3.3.1 Aktuelle Planungsdaten

Auf der nachfolgenden Seite ist der Datensatz für das dem dritten Kapitel zugrundeliegende Beispiel gegeben.

Die erste Datenkarte umfasst die Werte der entsprechenden 0-1- Variablen. Die Angabe der Werte deren Bedeutung nachstehend tabelliert sind, bestimmen den Programmablauf und somit den Umfang des Datenmaterials.

- 1. Variable 0 : Mehrproduktanlage (siehe 1.4)
1 : Mehrzweckanlage (siehe 1.5)
- 2. Variable 0 : kontinuierliche Produktion
1 : wöchentliche Produktion
- 3. Variable 0 : keine Ueberlappung der Produktionsprozesse
1 : Ueberlappung der Produktionsprozesse möglich
- 4. Variable 0 : Betriebsmittelkapazitätsgrenzen falls vorhanden, werden bei der Optimierung nicht berücksichtigt
1 : Betriebsmittelkapazitätsgrenzen in die Optimierung einbezogen
- 5. Variable 0 : konkrete Bedarfsmengen
1 : Bedarfsmengen dienen als Stützwerte für die Berechnung des täglichen Bedarfes

Wird zum Beispiel der zweiten Variable der Zahlenwert 1 zugeordnet, benötigt das Programm die Daten bezüglich den Arbeitszeiten an Wochenenden.

Aktuelle Planungsdaten

1	1	1	1	0		
10	4	11	1	0	0	,2
8.25	Zinsfuss für das Lager					
EDUKT E1	1000.	1000.		3	Anzahl Rohproduktlieferungen	
24	7 1978	00	1000.		Liefertermine	
5	8 1978	12	1500.		Lieferzeitpunkt	
13	8 1978	12	2000.		Minimale Rohproduktlagermenge	
EDUKT E2	20000.	500.		0	Anfangslagermenge	
EDUKT E3	10000.	500.		0	Herstellungskosten pro KG	
EDUKT D1	20000.	500.		0	Maximale Endproduktlagermenge	
EDUKT D2	10000.	500.		0	Pufferlagerbestand	
EDUKT F1	15000.	500.		0	Min. Endlagerbestand	
EDUKT F2	12000.	1000.		0	Anfangslagerbestand	
EDUKT F3	10000.	2000.		0	Kosten pro Einheit Betriebsmittel	
EDUKT H1	12500.	100.		0	Planungsdaten	
EDUKT H2	9000.	2000.		0	Anlagebetriebszustände	
PRODUKT D	1900.	2100.	1800.	40000.	200.	Spezielle Arbeitstage
PRODUKT E	2370.	2100.	2000.	30000.	250.	
PRODUKT F	2170.	1500.	1500.	20000.	300.	
PRODUKT H	2500.	2500.	2000.	25000.	400.	
E-ENERGIE	50.	KW		.04		
STEAM	40000.	KCAL/H		.00012		
24	7 1978					
13	8 1978					
SANSTAG	18	MONTAG	6			
31	7 1978	20	0			
2	8 1978	0	0			
PRODUKT D	24	7	1978	50.		
PRODUKT D	25	7	1978	100.		
PRODUKT D	26	7	1978	50.		
PRODUKT D	27	7	1978	60.		
PRODUKT D	28	7	1978	80.		
PRODUKT D	31	7	1978	40.		
PRODUKT D	2	8	1978	200.		
PRODUKT D	4	8	1978	120.		
PRODUKT D	7	8	1978	110.		
PRODUKT D	8	8	1978	450.		
PRODUKT D	9	8	1978	10.		
PRODUKT D	10	8	1978	10.		
PRODUKT D	11	8	1978	60.		
PRODUKT E	24	7	1978	20.		
PRODUKT E	25	7	1978	30.		
PRODUKT E	28	7	1978	280.		
PRODUKT E	31	7	1978	50.		
PRODUKT E	2	8	1978	100.		
PRODUKT E	3	8	1978	130.		
PRODUKT E	4	8	1978	40.		
PRODUKT E	7	8	1978	10.		
PRODUKT E	8	8	1978	20.		
PRODUKT E	10	8	1978	10.		
PRODUKT F	24	7	1978	100.		
PRODUKT F	25	7	1978	50.		
PRODUKT F	26	7	1978	20.		
PRODUKT F	27	7	1978	100.		
PRODUKT F	28	7	1978	50.		
PRODUKT F	31	7	1978	50.		
PRODUKT F	2	8	1978	30.		
PRODUKT F	4	8	1978	20.		
PRODUKT F	7	8	1978	10.		
PRODUKT F	9	8	1978	50.		
PRODUKT F	10	8	1978	60.		
PRODUKT F	11	8	1978	10.		
PRODUKT H	24	7	1978	100.		
PRODUKT H	25	7	1978	150.		
PRODUKT H	26	7	1978	50.		
PRODUKT H	27	7	1978	50.		
PRODUKT H	28	7	1978	70.		
PRODUKT H	31	7	1978	130.		
PRODUKT H	2	8	1978	50.		
PRODUKT H	3	8	1978	30.		
PRODUKT H	4	8	1978	50.		
PRODUKT H	7	8	1978	30.		
PRODUKT H	8	8	1978	50.		
PRODUKT H	9	8	1978	50.		
PRODUKT H	10	8	1978	30.		
PRODUKT H	11	8	1978	10.		

Bedarfsplan

Die Zahlenwerte der zweiten Datenkarte von links nach rechts gelesen, geben Aufschluss über die Anzahl

- Rohprodukte,
- Endprodukte,
- benötigte Elementareinheiten,
- spezielle Arbeitstage,
- Produktionsverschiebungen,
- ausgefallene Elementareinheiten,
- Betriebsmittel

welche es bei der Planung zu berücksichtigen gilt.

3.3.2 Anlage- und Prozessdaten

Die Anlagedaten bestehen aus einer Liste der zur Realisierung der Produktionsprozesse notwendigen Elementareinheiten. Die Zuordnung von einheitsspezifischen Prozessdaten zu den entsprechenden indizierten Variablen erfolgt aufgrund der Stellung der Einheit innerhalb der Liste. Die Identifikation geschieht hierbei anhand der ersten 10 alphanumerischen Zeichen in der Liste. Angaben betreffend Dimensionierung, Baujahr usw. dienen lediglich der Erweiterung der Information im OUTPUT.

Die Zuordnung der Prozessdaten (siehe Seite 154) zu den entsprechenden indizierten Variablen des Programmes erfolgt anhand von 6 zulässigen Zeilennamen und der Stellung der Daten innerhalb der Datenzeile.

Das Programm liest den Zeilennamen, die Datenkennzahl und den 70 Kolonnen umfassende Datenblock aufgrund 3 verschiedener FORMAT-Angaben. Ist der gelesene Zeilennamen zulässig, wird durch eine entsprechende Anweisung der Datenblock dekodiert und die neu formierten Zahlenwerte den einzelnen Variablenfeldern zugeordnet.

Die Datenkennzahl (Kolonne 6 der Prozessdaten) wird mit einer vom Programm erstellten Variantenzahl verglichen. Letztere wird beim Lesen des Zeilennamens PROD um den Wert 1 erhöht. Der Einlesevorgang wird abgebrochen, falls die Datenkennzahl und die Variantenzahl nicht denselben Zahlenwert aufweisen. Eine Verwechslung zwischen Daten zweier Produktionsvarianten für ein und dasselbe Produkt ist somit ausgeschlossen.

Die Datenzeile

- PROD enthält als erste Information die Bezeichnung des Produktes (10 alphanumerische Zeichen), gefolgt von der Produktmenge pro Charge.
- APPA deklariert den Namen der Elementareinheit für die Zuordnung der relativen Prozessstartzeit, der relativen Prozessendzeit, der Stabilität der Komponenten und der für die Durchführung des nachfolgenden Einheitsprozesses bzw. der Einheitsoperation notwendigen Elementareinheiten anhand der Reihenfolge der Anlagedaten.

- RAWM deklariert den Namen des Rohproduktes (10 alfanumerische Zeichen) für die Zuordnung der benötigten Rohproduktmengen anhand der Reihenfolge der bei den aktuellen Planungsdaten aufgeführten Rohproduktennamen.

- INTP deklariert den Namen des Zwischenproduktes (10 alfanumerische Zeichen) für die Zuordnung der benötigten Zwischenproduktmengen anhand der Reihenfolge der bei den aktuellen Planungsdaten aufgeführten Produktennamen.

- ACON gibt Aufschluss über das verwendete Betriebsmittel (10 alfanumerische Zeichen), den Ort der Verwendung, den relativen Bedarfzeitpunkt und den relativen Bedarfsendzeitpunkt bezogen auf den Belegungsbeginn.

- CHOV gibt Aufschluss über den Reinigungs- und Einrichteaufwand für eine Elementareinheit zwischen zwei Einheitsprozessen bzw. Einheitsoperationen. Die Angabe der Elementareinheit gefolgt von den Namen der nacheinander herzustellenden Produkte, den Umstellfixkosten und dem notwendigen Zeitaufwand ermöglicht ein von der Reihenfolge der Datenzeilen unabhängiges Einlesen der Daten.

Die Verwendung von Zeilennamen ermöglicht es, die Prozessdaten durch das Einführen oder das Entfernen einer Datenzeile auf einfachste Weise zu modifizieren.

Anlage- und Prozessdaten

REAKTOR 1	2500 LITER	BAUJAHR 1966			
REAKTOR 2	1600 LITER	BAUJAHR 1970			
REAKTOR 6	1600 LITER				
FILTER 1					
TROCKNER 1	TYP 6500				
REAKTOR 3	2500 LITER				
FILTPRE 1					
TRRSCHRANK	MAX TEMP 200	GRAD CELSIUS			
REAKTOR 4	1600 LITER				
REAKTOR 7	4000 LITER				
FILTPRE 2					
PROD 1	PRODUKT D	400.			
APPA 1	REAKTOR 1		0	5	1REAKTOR 2 REAKTOR 6
RAWM 1	EDUKT D1	1000.			
ACON 1	E-ENERGIE	REAKTOR 1	7.	0	5
ACON 1	STEAM	REAKTOR 1	40000.	0	4
CHOU 1	REAKTOR 1	PRODUKT D	PRODUKT D 500.		24
APPA 1	REAKTOR 2		4	20	OFILTER 1
RAWM 1	EDUKT D2	500.			
ACON 1	E-ENERGIE	REAKTOR 2	4.	0	16
ACON 1	STEAM	REAKTOR 2	10000.	0	6
CHOU 1	REAKTOR 2	PRODUKT D	PRODUKT D 300.		24
APPA 1	REAKTOR 6		4	20	OFILTER 1
RAWM 1	EDUKT D2	500.			
ACON 1	E-ENERGIE	REAKTOR 6	4.	0	16
ACON 1	STEAM	REAKTOR 6	10000.	0	6
CHOU 1	REAKTOR 6	PRRODUKT D	PRODUKT D 300.		24
APPA 1	FILTER 1		19	30	OTROCKNER 1
RAWM 1	EDUKT D2	500.			
ACON 1	E-ENERGIE	FILTER 1	15.	0	11
CHOU 1	FILTER 1	PRODUKT D	PRODUKT D 500.		36
APPA 1	TROCKNER 1		29	43	
ACON 1	E-ENERGIE	TROCKNER 1	30.	0	14
PROD 2	PRODUKT E	300.			
APPA 2	REAKTOR 3		0	11	OFILTPRE 1
RAWM 2	EDUKT E1	300.			
RAWM 2	EDUKT E2	600.			
RAWM 2	EDUKT E3	900.			
ACON 2	E-ENERGIE	REAKTOR 3	7.	0	11
ACON 2	STEAM	REAKTOR 3	15000.	0	7
CHOU 2	REAKTOR 3	PRODUKT E	PRODUKT E 200.		10
CHOU 2	REAKTOR 3	PRODUKT E	PRODUKT H 500.		48
APPA 2	FILTPRE 1		8	14	1TRRSCHRANK
RAWM 2	EDUKT E1	440.			
RAWM 2	EDUKT E2	220.			
RAWM 2	EDUKT E2	200.			
ACON 2	E-ENERGIE	FILTPRE 1	8.	0	5
CHOU 2	FILTPRE 1	PRODUKT E	PRODUKT E 300.		24
CHOU 2	FILTPRE 1	PRODUKT E	PRODUKT H 200.		36
APPA 2	TRRSCHRANK		13	28	
ACON 2	E-ENERGIE	TRRSCHRANK	20.	0	15
TRRSCHRANK	PRODUKT E	PRODUKT E	100.		8
CHOU 2	TRRSCHRANK	PRODUKT E	PRODUKT H 200.		16
CHOU 2	TRRSCHRANK	PRODUKT E	PRODUKT F 200.		16

Anlage-
daten

Apparate-
daten

Prozess-
daten

Daten
einer
Produk-
tions-
variante

PROD 3	PRODUKT F 600.				
APPA 3	REAKTOR 4	0	12	OREAKTOR 7	
RAWH 3	EDUKT F1 600.				
RAWH 3	EDUKT F2 700.				
ACON 3	E-ENERGIE REAKTOR 4	4.		0	12
ACON 3	STEAM REAKTOR 4	12000.		0	8
CHOV 3	REAKTOR 4 PRODUKT F				10
CHOV 3	REAKTOR 4 PRODUKT F				20
CHOV 3	REAKTOR 4 PRODUKT F				16
APPA 3	REAKTOR 7	11	18	1FILTPRE 2	
RAWH 3	EDUKT F3 1000.				
INTP 3	PRODUKT E 100.				
ACON 3	E-ENERGIE REAKTOR 7	7.		0	7
ACON 3	STEAM REAKTOR 7	13000.		0	6
CHOV 3	REAKTOR 7 PRODUKT F				8
CHOV 3	REAKTOR 7 PRODUKT F				12
APPA 3	FILTPRE 2	17	21	1TRRSCHRANK	
RAWH 3	EDUKT F1 400.				
ACON 3	E-ENERGIE FILTPRE 2	9.		0	3
CHOV 3	FILTPRE 2 PRODUKT F				12
APPA 3	TRRSCHRANK	20	42	0	
ACON 3	E-ENERGIE TRRSCHRANK	40.		0	22
CHOV 3	TRRSCHRANK PRODUKT F				20
CHOV 3	TRRSCHRANK PRODUKT F				20
CHOV 3	TRRSCHRANK PRODUKT F				6
PROD 4	PRODUKT H 300.				
APPA 4	REAKTOR 3	0	8	OREAKTOR 4	
RAWH 4	EDUKT H1 700.				
RAWH 4	EDUKT H2 800.				
ACON 4	E-ENERGIE REAKTOR 3	7.		0	8
ACON 4	STEAM REAKTOR 3	20000.		0	6
CHOV 4	REAKTOR 3 PRODUKT H				10
CHOV 4	REAKTOR 3 PRODUKT H				60
APPA 4	REAKTOR 4	7	9	1REAKTOR 7	
RAWH 4	EDUKT H2 600.				
ACON 4	E-ENERGIE REAKTOR 4	4.		0	2
CHOV 4	REAKTOR 4 PRODUKT H				24
CHOV 4	REAKTOR 4 PRODUKT H				12
APPA 4	REAKTOR 7	7	18	OFILTPRE 1	
INTP 4	PRODUKT F 200.				
ACON 4	E-ENERGIE REAKTOR 7	12.		0	11
ACON 4	STEAM REAKTOR 7	23000.		0	7
CHOV 4	REAKTOR 7 PRODUKT H				10
CHOV 4	REAKTOR 7 PRODUKT H				24
APPA 4	FILTPRE 1	15	26	OTRSCHRANK	
ACON 4	E-ENERGIE FILTPRE 1	10.		0	10
CHOV 4	FILTPRE 1 PRODUKT H				30
APPA 4	TRRSCHRANK	25	60	0	
ACON 4	E-ENERGIE TRRSCHRANK	20.		0	35
CHOV 4	TRRSCHRANK PRODUKT H				10
CHOV 4	TRRSCHRANK PRODUKT H				24
CHOV 4	TRRSCHRANK PRODUKT H				24
PROD 5	PRODUKT E 240.				
APPA 5	REAKTOR 4	0	10	OFILTPRE 1	
RAWH 5	EDUKT E1 250.				
RAWH 5	EDUKT E2 500.				
RAWH 5	EDUKT E3 750.				
ACON 5	E-ENERGIE REAKTOR 4	5.		0	10
ACON 5	STEAM REAKTOR 4	10000.		0	6
CHOV 5	REAKTOR 4 PRODUKT E				10
CHOV 5	REAKTOR 4 PRODUKT E				20
CHOV 5	REAKTOR 4 PRODUKT E				48
APPA 5	FILTPRE 1	8	13	1TRRSCHRANK	
RAWH 5	EDUKT E1 420.				
RAWH 5	EDUKT E2 200.				
RAWH 5	EDUKT E2 800.				
ACON 5	E-ENERGIE FILTPRE 1	6.		0	4
CHOV 5	FILTPRE 1 PRODUKT E				24
CHOV 5	FILTPRE 1 PRODUKT E				36
APPA 5	TRRSCHRANK	12	25	0	
ACON 5	E-ENERGIE TRRSCHRANK	20.		0	13
CHOV 5	TRRSCHRANK PRODUKT E				8
CHOV 5	TRRSCHRANK PRODUKT E				16
CHOV 5	TRRSCHRANK PRODUKT E				16
END					

Ist zum Beispiel aufgrund neuester Erkenntnisse eine Reinigung von Reaktor 6 zwischen zwei Chargen Produkt D nicht mehr notwendig, erfolgt die Anpassung der Prozessdaten durch das Entfernen der entsprechenden Datenzeile.

Das Einlesen der Anlage- und Prozessdaten wird durch den Zeilennamen END (siehe Seite 155) abgeschlossen.

3.3.3 Daten der vorangegangenen Planung

Wie schon eingangs erwähnt wurde, werden nach durchgeführter Berechnung die Planungsdaten auf ein Disk-File geschrieben. Nach dem Ablauf des Programmes wird dieses katalogisiert und steht, bei erneuter Planung, als Basis zur Bestimmung des Ist-Zustandes des Produktionsgeschehens zum Zeitpunkt des Planungsbeginnes zur Verfügung.

Das File "DATA" umfasst folgende Daten:

- Zeitpunkt des Beginns und des Endes der Planung
- Liste der Elementareinheiten
- Anzahl unabhängige Produktgruppen
- zeitliche Belegungen der Elementareinheiten
- Anzahl Elemente der optimalen Produktionsreihen der unabhängigen Produktgruppen
- optimale Produktionsreihen der unabhängigen Produktgruppen

- zeitliche Belegungen der Elementareinheiten
- Produktmenge pro Charge
- Anzahl Produktionsvarianten / Produkt
- Anzahl Elementareinheiten / Variante
- Elementareinheiten der Varianten
- geltende Arbeitszeiten

Die Angabe der Liste der Elementareinheiten dient der Zuordnung des Produktionsgeschehens bei Anlagemodifikationen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Planungen.

ABSCHNITT 3.4

Datenausgabe des Programmes SRSPB

Auf den nachfolgenden Seiten ist der OUTPUT des Programmes für das behandelte Beispiel, gefolgt von demjenigen der Anschlussplanung, auszugsweise wiedergegeben.

Der OUTPUT gliedert sich in zwei Abschnitte. Der erste umfasst die Wiedergabe der dem Programm eingegebenen Daten zu Kontrollzwecken. Aufgrund des Datenumfanges wurde auf die vollständige Abbildung der fünf Produktionsprozesse sowie diejenige der entsprechenden Flussdiagramme verzichtet.

Der zweite Abschnitt umfasst die Darstellung der Resultate. Einleitend zu diesem Teil (siehe Seite 175) erfolgt die Darstellung der vom Programm bestimmten Anzahl unabhängiger Produktgruppen unter Angabe der Prioritätslisten, der Anzahl mittels des Enumerationsverfahrens generierten Produktionsreihen und der nach der Berücksichtigung der geltenden Arbeitszeiten, den Betriebsmittelkapazitätsgrenzen und den Betriebsausfällen resultierenden möglichen Produktionsalternativen. Die Kostenaufstellung für die optimale, d.h. die kostengünstigste Produktionsreihe folgt auf derselben Seite.

Der Forderung nach einer einfachen, übersichtlichen und leicht verständlichen Form der Resultate wurde durch die Wahl der graphischen Darstellung derselben entsprochen.

Das Produktionsgeschehen bei Planungsbeginn folgt aus Fig. 2.8. Da im Verlauf der vorangegangenen Planungsperiode keine Produktionsverschiebungen eintraten, ergibt sich der Ist-Zustand des Produktionsgeschehens bei Planungsbeginn aus dem alten Belegungsplan. Wie aus der Fig. 2.8 und dem ersten Belegungsplan der neuen Planungsperiode (siehe Seite 177) hervorgeht, bildet der Trockenschrank bei der Herstellung der Produkte E und H die zeitlich limitierende Elementareinheit.

Bedingt durch den Engpass bei der Beschaffung des Rohproduktes E_1 , kann bis zum 5.8. 12.00 Uhr (siehe Seite 183) nur eine Charge zur Herstellung von Produkt E angesetzt werden. Die Wahl der ersten Variante, welche aufgrund der grösseren Produktmenge im Vergleich zur zweiten Variante höhere Lagerkosten verursacht, liegt in den anschliessend geringeren Entnahmen (Strafkosten) aus dem Pufferlager zur Deckung des Bedarfes bis zur Fertigstellung der nachfolgenden Charge Produkt E.

Das Verweilen der Charge zur Herstellung von Produkt D im stabilen Zustand (vgl. Belegungsplan 2, Seite 180) in den Reaktoren 2 und 6, ist im hohen Dampfbedarf des Einheitsprozesses in Reaktor 1 begründet. Die simultane Durchführung des Einheitsprozesses für die Herstellung von Produkt E in Reaktor 3 und desjenigen für Produkt D in Reaktor 1, ist aufgrund der totalen Ausschöpfung der pro Zeiteinheit zur Verfügung stehenden Dampfmenen durch Reaktor 1 während den ersten vier Stunden nicht möglich.

Die Stabilität des Filterkuchens von Produkt D sowie der automatische Anlagebetrieb erlauben die Unterbrechung des Produktionsprozesses für die Dauer des Wochenendes vom 29.7. - 31.7. Die Stilllegung der Anlage vom Montag, den 31.7. 20.00 Uhr bis Mittwoch, den 2.8. 06.00 Uhr, bedingt die Fertigstellung der Charge Produkt D bis zum Zeitpunkt der Arbeitsniederlegung.

Die Lieferung von 1500 KG Rohprodukt E₁ erfolgt am Samstag, den 5.8. um 12.00 Uhr. Da die verbleibende Arbeitszeit bis zum Wochenende zur Durchführung des Einheitsprozesses nicht ausreicht (vgl. Belegungsplan 3, Seite 183), wird die Charge erst am Montag, den 7.8. um 06.00 Uhr bei Arbeitsbeginn angesetzt.

Die Herstellung von Produkt F als Folgeprodukt von Produkt E - zeitlich limitierende Elementareinheit ist Reaktor 4 - erfolgt verspätet. Der Bedarf an Produkt F (vgl. Seite 174) muss deshalb am 9.8. teilweise und am 10.8. vollständig durch Entnahmen aus dem Pufferlager (siehe Seite 176) gedeckt werden.

Die um mehr als einen Tag verfrühte Fertigstellung der Charge Produkt D am 9.8. wird sowohl durch den Elektrizitätsbedarf der Reaktoren 3; 4 und 7 bei der Herstellung von Produkt H als auch demjenigen für die Trockung der verspäteten Charge Produkt F verursacht.

Im Anschluss an die Belegungs- und Betriebsmittelbedarfspläne wird vom Programm eine Uebersicht (siehe Seite 189) über

die absoluten und prozentualen Auslastungen der Elementareinheiten in bezug auf die Planungsdauer und die Arbeitszeit gedruckt.

Die Datenausgabe wird durch die Angabe des Rohproduktbedarfsplanes (vgl. Seite 190) abgeschlossen.

Der OUTPUT der anschliessend durchgeführten Fortsetzungsplanung ist auf den Seiten 192 - 205 auszugsweise wiedergegeben. Zu Demonstrationszwecken wurden mehrere Ursachen für die Notwendigkeit einer neuen Planung zusammengefasst:

1. Die auf den 13.8.1978, 12.00 Uhr zugesagte Rohproduktlieferung (siehe Seite 165) trifft im Laufe des 8.8. im Rohproduktlager ein.
2. Bedingt durch die Variation der variantenspezifischen Produktmengen pro Charge, beträgt der effektive Lagerbestand an Produkt H bei Planungsbeginn am 9.8. nur 2250 Kilogramm (vgl. Seite 176 und Seite 194).
3. Nach beendeter Filtration der Charge Produkt D am 8.8. werden Mängel am Filter 1 festgestellt. Die Instandstellungsarbeiten dauern voraussichtlich bis zum Wochenende (siehe Seite 196).
4. Der Ansatz der Charge zur Herstellung von Produkt F am 8.8. verzögert sich um fünf Stunden (siehe Seite 195 und vgl. Seite 186 und Seite 199).
5. Der von der Verkaufsabteilung auf den neusten Stand gebrachte Bedarfsplan, datiert vom 8.8., weist kurzfristig zu realisierende Änderungen auf (vgl. Seite 174 und Seite 197).

Abweichungen zwischen dem Soll- und dem Ist-Lagerbestand eines Produktes können solange ignoriert werden, als das Produktionsmanko kleiner oder gleich der Differenz aus dem berechneten und dem vorgegebenen minimalen Endlagerbestand ist. Uebersteigt dabei eine eventuelle, zeitweise notwendige Deckung des Bedarfes aus dem Pufferlager ein vertretbares Ausmass, muss anhand der effektiven Lagerbestände eine neue Planung durchgeführt werden.

Auf der nachfolgenden Seite sind die aktuellen Planungsdaten wiedergegeben. Im Vergleich zu den Daten der vorangegangenen Planung (siehe Seite 150) bestehen keine Rohmaterialengpässe mehr. Die Anpassung des Lagerbestandes von Produkt H (vgl. Seite 194) wurde vorgenommen. Die in der zweiten Datenzeile gemachten Angaben bezüglich des Betriebsausfalles einer Elementareinheit und auftretender Produktionsverschiebungen, werden durch die entsprechenden Daten den betroffenen Elementareinheiten zugeordnet.

Die Bestimmungsgrössen für die Fortsetzungsplanung sind auf den Seiten 192-197 gegeben. Die Resultate der Optimierung sind anschliessend auf den Seiten 198 - 205 zusammengestellt. Aufgrund des Datenumfanges wurde auf die Wiedergabe der Belegungspläne 3 und 4, der Auslastung der Elementareinheiten und des Bedarfsplanes verzichtet.

Aktuelle Planungsdaten

	1	1	1	1	0			
	10	4	11	0	4	1	2	
B.25								Anzahl ausgefallene Einheiten
EDUKT E1	4090.			1000.			0	
EDUKT E2	17480.			500.			0	
EDUKT E3	8350.			500.			0	Anzahl Produktionsverschiebungen
EDUKT D1	17000.			500.			0	
EDUKT D2	5500.			500.			0	
EDUKT F1	14000.			500.			0	
EDUKT F2	11300.			1000.			0	
EDUKT F3	9000.			2000.			0	
EDUKT H1	11800.			100.			0	
EDUKT H2	7600.			2000.			0	
PRODUKT D	1840.			2300.		1800.	40000.	200.
PRODUKT E	2130.			2080.		2000.	30000.	250.
PRODUKT F	1540.			2100.		1500.	20000.	300.
PRODUKT H	2250.			2200.		2000.	25000.	400.
E-ENERGIE	50.			KW		.04		
STEAM	40000.			KCAL/H		.00012		effektiver Lagerbestand
	9	8	1978					
	27	8	1978					
SAMSTAG	18			MONTAG		6	1	
FILTER 1	14		8	1978		6		Ausgefallene Einheit; Zeitpunkt der Wiederinbetriebsetzung
REAKTOR 4	PRODUKT F		5					
TRISCHRANK	PRODUKT F		5					
REAKTOR 7	PRODUKT F		5					
FILTFRE 2	PRODUKT F		5					
PRODUKT D	9		8	1978		10.		
PRODUKT D	10		8	1978		30.		
PRODUKT D	11		8	1978		100.		Produktionsverschiebungen
PRODUKT D	14		8	1978		50.		
PRODUKT D	15		8	1978		70.		
PRODUKT D	16		8	1978		50.		
PRODUKT D	17		8	1978		180.		
PRODUKT D	18		8	1978		20.		
PRODUKT D	21		8	1978		20.		
PRODUKT D	22		8	1978		30.		
PRODUKT D	23		8	1978		10.		
PRODUKT D	24		8	1978		50.		
PRODUKT D	25		8	1978		10.		
PRODUKT E	9		8	1978		20.		
PRODUKT E	10		8	1978		10.		
PRODUKT E	11		8	1978		20.		
PRODUKT E	14		8	1978		10.		
PRODUKT E	15		8	1978		20.		
PRODUKT E	17		8	1978		20.		
PRODUKT E	21		8	1978		60.		
PRODUKT E	23		8	1978		50.		
PRODUKT E	24		8	1978		10.		
PRODUKT F	9		8	1978		50.		
PRODUKT F	10		8	1978		60.		
PRODUKT F	11		8	1978		140.		
PRODUKT F	14		8	1978		200.		
PRODUKT F	15		8	1978		120.		
PRODUKT F	16		8	1978		100.		
PRODUKT F	17		8	1978		10.		
PRODUKT F	18		8	1978		20.		
PRODUKT F	21		8	1978		30.		
PRODUKT F	22		8	1978		100.		
PRODUKT F	23		8	1978		50.		
PRODUKT F	24		8	1978		30.		
PRODUKT F	25		8	1978		20.		
PRODUKT H	9		8	1978		30.		
PRODUKT H	10		8	1978		20.		
PRODUKT H	11		8	1978		10.		
PRODUKT H	14		8	1978		40.		
PRODUKT H	15		8	1978		20.		
PRODUKT H	16		8	1978		30.		
PRODUKT H	17		8	1978		50.		
PRODUKT H	18		8	1978		30.		
PRODUKT H	21		8	1978		40.		
PRODUKT H	22		8	1978		10.		
PRODUKT H	23		8	1978		20.		
PRODUKT H	25		8	1978		10.		

VON DER STEUERKARTE GELESENE WERTE

PRODUKTIONSPLANUNG FUER EINE MEHR-ZWECK-ANLAGE
HOECHSTLICHE PRODUKTION
DIE ANLAGE ARBEITET MIT UEBERLAPPUNG
HILFSMITTEL BEI DER OPTIMIERUNG BERUECKSICHTIGT
EINGEGANGENE BESTELLUNGEN WERDEN GERECHNET

VON DER 1.-DATENKARTE GELESENE WERTE

ANZAHL EDUKTE	:	10
ANZAHL PRODUKTE	:	4
ANZAHL ITEMS	:	11
ANZAHL SPEZ. TAGE	:	1
PRODUKTIONSVERSCHIEBUNGEN	:	0
BETRIEBSUNTERBRUECHE	:	0
ADDITIVE RANDBEINGUNGEN	:	2

VON DER 2.-DATENKARTE GELESENE WERTE

VERZINSUNG DES LAGERS ZUM ZINSSATZ VON 8.25 PROZENT

EDUKTDATEN

EDUKTBEZEICHNUNG	ANFANGSLAGER	MIN LAGERMENGE	ROHMATERIAL LIEFERUNGEN
	KG	KG	ANZAHL
EDUKT E1	1000.00	1000.00	3
1. LIEFERUNG :	EDUKT E1	24 7 1978	0 UHR 1000.00
2. LIEFERUNG :	EDUKT E1	5 8 1978	12 UHR 1500.00
3. LIEFERUNG :	EDUKT E1	13 8 1978	12 UHR 2000.00
EDUKT E2	20000.00	500.00	0
EDUKT E3	10000.00	500.00	0
EDUKT 01	20000.00	500.00	0
EDUKT 02	10000.00	500.00	0
EDUKT F1	15000.00	500.00	0
EDUKT F2	12000.00	1000.00	0
EDUKT F3	10000.00	2000.00	0
EDUKT H1	12500.00	100.00	0
EDUKT H2	9000.00	2000.00	0

DATEN DES PRODUKTLAGERS:

PRODUKTBEZEICHNUNG	ANFANGSLAGER KG	ENDLAGER KG	MIN LAGERMENGE KG	MAX LAGERMENGE KG	HERSTELLUNGSKOSTEN SPR / KG	PENALTY-WERT
PRODUKT D	1900.00	2100.00	1800.00	40000.00	200.00	1.00
PRODUKT E	2370.00	2100.00	2000.00	30000.00	250.00	1.00
PRODUKT F	2170.00	1500.00	1500.00	20000.00	300.00	1.00
PRODUKT H	2500.00	2500.00	2000.00	25000.00	400.00	1.00

WAEREND DER PRODUKTION BENOEITIGTE ITEMS

REAKTOR 1	2500 LITER	BAUJAHR 1966
REAKTOR 2	1600 LITER	BAUJAHR 1970
REAKTOR 6	1600 LITER	
FILTER 1		
TROCKNER 1	TYP 6500	
REAKTOR 3	2500 LITER	
FILTPRE 1		
TRSCRANK	MAX TEMP 200 GRAD CELSIUS	
REAKTOR 4	1600 LITER	
REAKTOR 7	4000 LITER	
FILTPRE 2		

VARIANTE 1

PRODUKTIONSDATEN: PRODUKT E

BATCHMENGE
KG
300.00

REAKTOR 3 (STABIL)

BELEGUNGSZEIT: 0 BIS 11

-----> FILTPE 1

ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E1 (KG) : 300.00
ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E2 (KG) : 600.00
ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E3 (KG) : 900.00

E-ENERGIE 7.00 KW 0 BIS 11

STEAM 15000.00 KCAL/H 0 BIS 7

UMSTELLEITEN UND UMSTELLFIXKOSTEN:

APPARATBEZEICHNUNG VCN PRODUKT NACH PRODUKT UMSTELLZEIT UMSTELLFIXKOSTEN
H SFR

APPARATBEZEICHNUNG	VCN PRODUKT	NACH PRODUKT	UMSTELLZEIT H	UMSTELLFIXKOSTEN SFR
REAKTOR 3	PRODUKT E	PRODUKT E	10	200.00
REAKTOR 3	PRODUKT E	PRODUKT H	40	500.00

FILTPE 1 (INSTABIL)

BELEGUNGSZEIT: 0 BIS 14

-----> TRSCHRANK

ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E1 (KG) : 440.00
ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E2 (KG) : 220.00
ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E2 (KG) : 200.00
E-ENERGIE 0.00 KW 0 BIS 5

UNSTELLZEITEN UND UNSTELLFIXKOSTEN:

APPARATBEZEICHNUNG	VON PRODUKT	NACH PRODUKT	UNSTELLZEIT H	UNSTELLFIXKOSTEN SFR
FILTPRE 1	PRODUKT E	PRODUKT E	24	300.00
FILTPRE 1	PRODUKT E	PRODUKT H	36	209.00

TRSCRANK (STABIL)

BELEGUNGSZEIT: 13 BIS 28

E-ENERGIE 20.00 KW 0 BIS 15

UNSTELLZEITEN UND UNSTELLFIXKOSTEN:

APPARATBEZEICHNUNG	VON PRODUKT	NACH PRODUKT	UNSTELLZEIT H	UNSTELLFIXKOSTEN SFR
TRSCRANK	PRODUKT E	PRODUKT E	0	100.00
TRSCRANK	PRODUKT E	PRODUKT H	16	200.00
TRSCRANK	PRODUKT E	PRODUKT F	16	200.00

PRODUKTIONSDATEN: PRODUKT E VARIANTE 2

BATCHMENGE
KG

240.00

REAKTOR 4 (STABIL)

BELEGUNGSZEIT: 0 BIS 10

-----> FILTPRE 1

ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E1 (KG) : 250.00

ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E2 (KG) : 500.00

ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E3 (KG) : 750.00

E-ENERGIE 5.00 KW 0 BIS 10

STEAM 10000.00 KCAL/H 0 BIS 6

UMSTELLZEITEN UND UMSTELLFIXKOSTEN:

APPARATBEZEICHNUNG	VON PRODUKT	NACH PRODUKT	UMSTELLZEIT H	UMSTELLFIXKOSTEN SFR
REAKTOR 4	PRODUKT E	PRODUKT E	10	50.00
REAKTOR 4	PRODUKT E	PRODUKT F	20	120.00
REAKTOR 4	PRODUKT E	PRODUKT H	40	300.00

FILTPRE 1 (INSTABIL)

BELEGUNGSZEIT: 0 BIS 13

-----> TRSCHRANK

ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E1 (KG) : 420.00
 ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E2 (KG) : 200.00
 ROHMATERIAL : MENGE EDUKT E2 (KG) : 800.00
 E-ENERGIE 6.00 KW 0 BIS 4

UNSTELLZEITEN UND UMSTELLFIXKOSTEN:

APPARATBEZEICHNUNG	VON PRODUKT	NACH PRODUKT	UMSTELLZEIT H	UMSTELLFIXKOSTEN SFR
FILTPRE 1	PRODUKT E	PRODUKT E	24	300.00
FILTPRE 1	PRODUKT E	PRODUKT M	36	200.00

TRSCRANK (STABIL)

BELEGUNGSZEIT: 12 BIS 25

E-ENERGIE 20.00 KW 0 BIS 13

UNSTELLZEITEN UND UMSTELLFIXKOSTEN:

APPARATBEZEICHNUNG	VON PRODUKT	NACH PRODUKT	UMSTELLZEIT H	UMSTELLFIXKOSTEN SFR
TRSCRANK	PRODUKT E	PRODUKT E	8	100.00
TRSCRANK	PRODUKT E	PRODUKT H	16	200.00
TRSCRANK	PRODUKT E	PRODUKT F	16	200.00

PRODUKT-ZWISCHENPRODUKT-MATRIX

ZWISCHENPRODUKTE

VARIANTE	PRODUKT D	PRODUKT E	PRODUKT F	PRODUKT H
PRODUKT D 1	0.00	0.00	0.00	0.00
PRODUKT E 1	0.00	0.00	0.00	0.00
PRODUKT F 1	0.00	100.00	0.00	0.00
PRODUKT H 1	0.00	0.00	200.00	0.00
PRODUKT E 2	0.00	0.00	0.00	0.00

PRODUKT-EDUKT-MATRIX

VARIANTE	EDUKT E1	EDUKT E2	EDUKT E3	EDUKT D1	EDUKT D2	EDUKT F1	EDUKT F2	EDUKT F3
PRODUKT D 1	0.00	0.00	0.00	1000.00	1500.00	0.00	0.00	0.00
PRODUKT E 1	740.00	1020.00	900.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PRODUKT F 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1000.00	700.00	1000.00
PRODUKT H 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PRODUKT E 2	670.00	1500.00	750.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PRODUKT-EDUKT-MATRIX

VARIANTE	EDUKT H1	EDUKT H2
PRODUKT D 1	0.00	0.00
PRODUKT E 1	0.00	0.00
PRODUKT F 1	0.00	0.00
PRODUKT H 1	700.00	1400.00
PRODUKT E 2	0.00	0.00

PLANUNGS DATEN

BEGINN DER PLANUNG: MONTAG 24 7 1978
ENDE DER PLANUNG: SONNTAG 13 8 1978

PLANUNGSZEITEN

DAUER DER PERIODE : 20 TAGE

ARBEITSZEITEN AN WOCHENTAGEN:

VON SAMSTAG 18 UHR BIS MONTAG 6 UHR KEINE BATCHANSAETZE. ANLAGEBETRIEB: 1

SPEZIELLE ARBEITSTAGE:

VOM 31. 7. 1978 20 UHR BIS 2. 8. 1978 6 UHR ANLAGEBETRIEB: 0

VERKAUFE WAEREND DER PLANUNGSPERIODES

DATUM	PRODUKT D	PRODUKT E	PRODUKT F	PRODUKT H
24. 7.1978	50.00	20.00	100.00	100.00
25. 7.1978	100.00	30.00	50.00	150.00
26. 7.1978	50.00	0.00	20.00	50.00
27. 7.1978	60.00	0.00	100.00	50.00
29. 7.1978	80.00	200.00	50.00	70.00
29. 7.1978	0.00	0.00	0.00	0.00
30. 7.1978	0.00	0.00	0.00	0.00
31. 7.1978	40.00	50.00	50.00	130.00
1. 8.1978	0.00	0.00	0.00	0.00
2. 8.1978	200.00	100.00	30.00	50.00
3. 8.1978	0.00	130.00	0.00	30.00
4. 8.1978	120.00	40.00	20.00	50.00
5. 8.1978	0.00	0.00	0.00	0.00
6. 8.1978	0.00	0.00	0.00	0.00
7. 8.1978	110.00	10.00	10.00	30.00
8. 8.1978	450.00	20.00	0.00	50.00
9. 8.1978	10.00	0.00	50.00	50.00
10. 8.1978	10.00	10.00	60.00	30.00
11. 8.1978	50.00	0.00	10.00	10.00
12. 8.1978	0.00	0.00	0.00	0.00

ANZAHL UNABHAENIGIGE PRODUKTBLÖCKE: 1

PRODUKTE IN BLOCK: 1

- PRODUKTNAME: PRODUKT D (VARIANTE 1)
- PRODUKTNAME: PRODUKT H (VARIANTE 1)
- PRODUKTNAME: PRODUKT F (VARIANTE 1)
- PRODUKTNAME: PRODUKT E (VARIANTE 1)
- PRODUKTNAME: PRODUKT E (VARIANTE 2)

PRODUKTIONSALTERNATIVEN BEI KONTINUIERLICHER PRODUKTION : 4201
 PRODUKTIONSALTERNATIVEN UNTER BERUECKSICHTIGUNG DER ZEITVERHAELTNISSE: 530

AUFGELAUFENE KOSTEN:

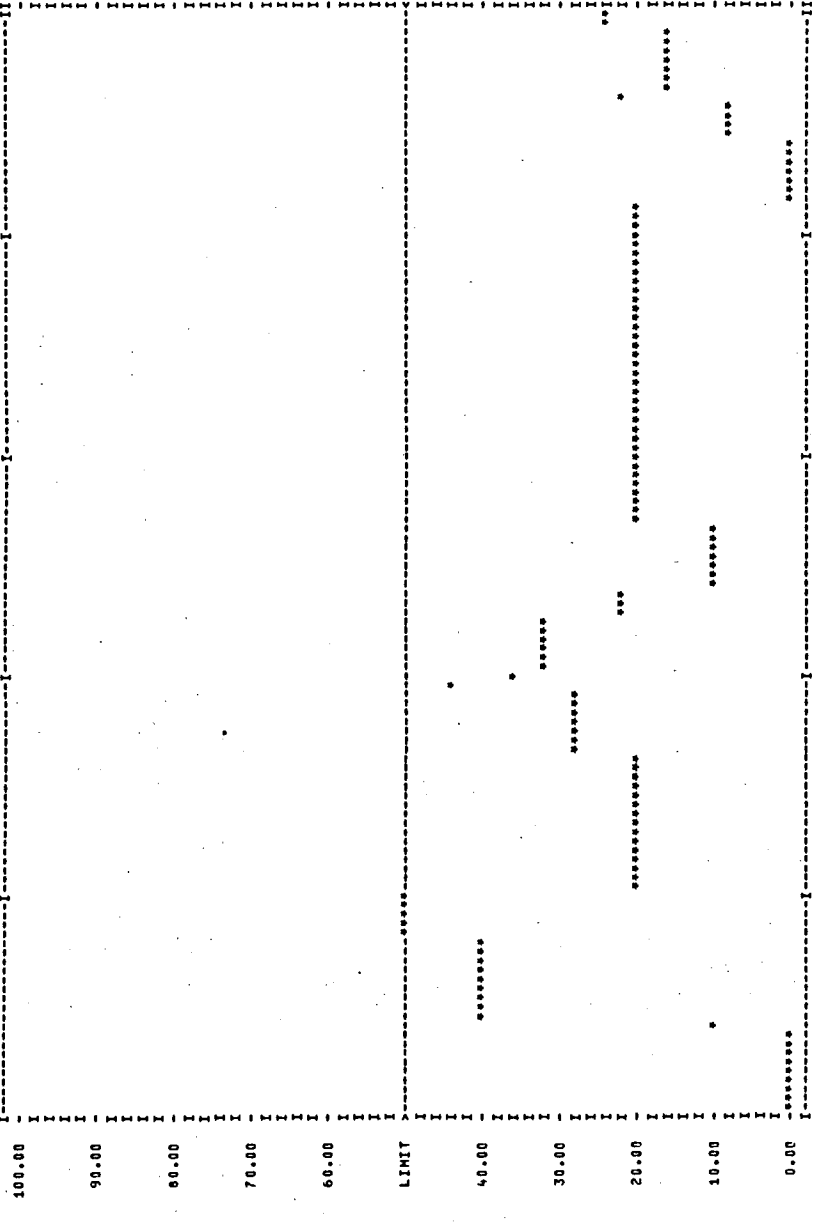
LAGERKOSTEN	:	11276.28 SFR
UMSTELLUNGSKOSTEN	:	8640.00 SFR
KOSTEN FUER E-ENERGIE	:	288.44 SFR
KOSTEN FUER STEAM	:	210.36 SFR
TOTALE KOSTEN	:	20415.08 SFR

LAGERBESTÄNDE WÄHREND DER PLANUNGSPERIODE:

DATUM	PRODUKT D	PRODUKT E	PRODUKT F	PRODUKT H
24. 7.1978	1900.00	2370.00	2170.00	2500.00
25. 7.1978	2250.00	2350.00	2070.00	2400.00
26. 7.1978	2150.00	2320.00	1820.00	2250.00
27. 7.1978	2100.00	2320.00	1800.00	2500.00
28. 7.1978	2040.00	2320.00	1700.00	2450.00
29. 7.1978	1960.00	2040.00	1650.00	2600.00
30. 7.1978	1960.00	2340.00	1650.00	2600.00
31. 7.1978	1960.00	2340.00	1650.00	2600.00
1. 8.1978	2320.00	2290.00	1600.00	2550.00
2. 8.1978	2320.00	2290.00	1600.00	2550.00
3. 8.1978	2120.00	2190.00	1570.00	2500.00
4. 8.1978	2120.00	2060.00	1570.00	2470.00
5. 8.1978	2000.00	2020.00	1550.00	2420.00
6. 8.1978	2400.00	2020.00	1550.00	2420.00
7. 8.1978	2400.00	2020.00	1550.00	2420.00
8. 8.1978	2290.00	2010.00	1540.00	2390.00
9. 8.1978	1840.00	2130.00	1540.00	2340.00
10. 8.1978	2230.00	2130.00	1490.00	2290.00
11. 8.1978	2220.00	2120.00	1830.00	2260.00
12. 8.1978	2160.00	2120.00	1820.00	2250.00
13. 8.1978	2160.00	2120.00	1820.00	2250.00

BEDARFSPLAN NO: 1 FUER LIMITIERENDES MITTEL: E-ENERGIE (KW)

PRODUKTIONSZEIT: VON MONTAG 24. 7. 1978 BIS FREITAG 26. 7. 1978
MONTAG 24. 7. DIENSTAG 25. 7. MITTWOCH 26. 7. DONNERSTAG 27. 7. FREITAG 28. 7.



BEDARFSPLAN NO: 1 FUER LIMITIERENDES MITTEL: STEAM (KCAL/H)

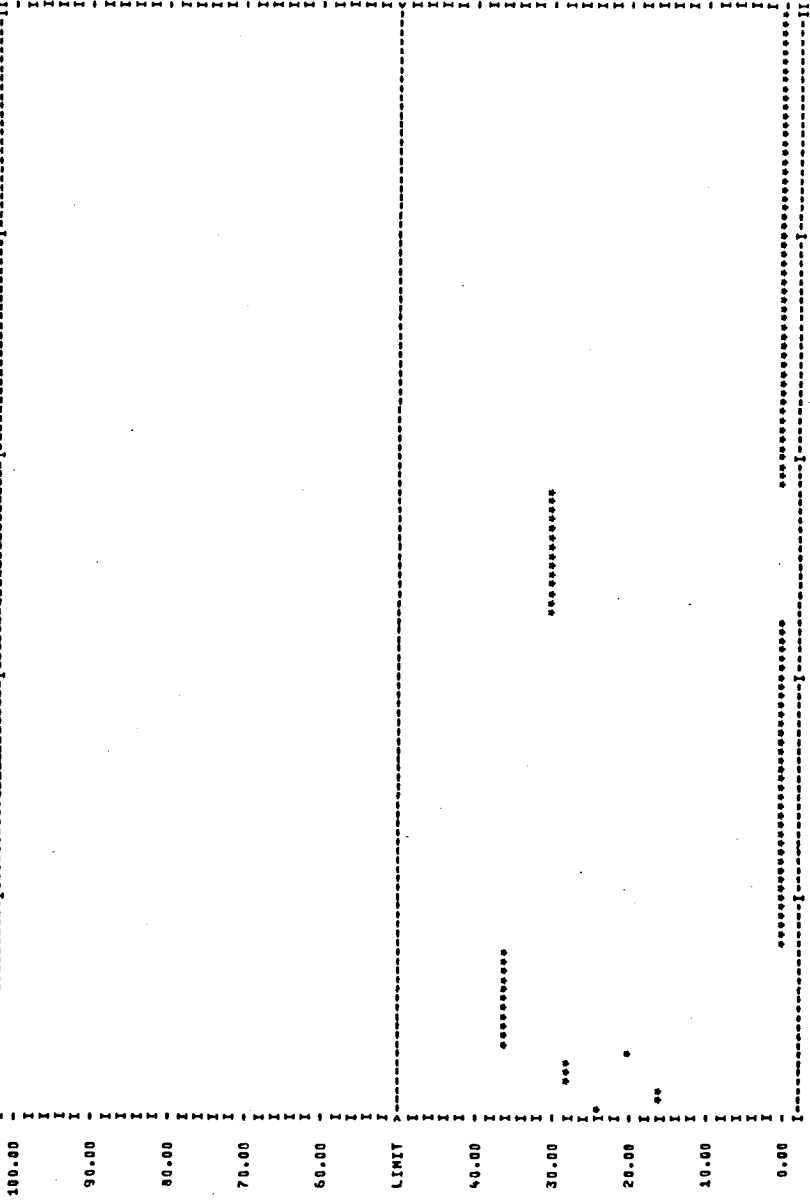
PRODUKTIONSZEIT: VON MONTAG 24. 7. 1978 BIS FREITAG 28. 7. 1978
MONTAG 24. 7. DIENSTAG 25. 7. MITTWOCH 26. 7. DONNERSTAG 27. 7. FREITAG 28. 7.

LIMIT					
36045.00					*****
32040.00					
28035.00					
24030.00					*****
20025.00					*****
16020.00					
12015.00					
8010.00					
4005.00					
0.00					*****

BEDARFSPLAN NO 2 FUER LIMITIERENDES MITTEL E-ENERGIE (KW)

PRODUKTIONSZEIT: VON SAMSTAG 29. 7. 1978 BIS MITTWOCH 2. 8. 1978

SAMSTAG 29. 7. SONNTAG 30. 7. MONTAG 31. 7. DIENSTAG 1. 8. MITTWOCH 2. 8.



BEDARFSPLAN NO: 2 FUER LIMITIERENDES MITTEL 1 STEAM (KCAL/H)

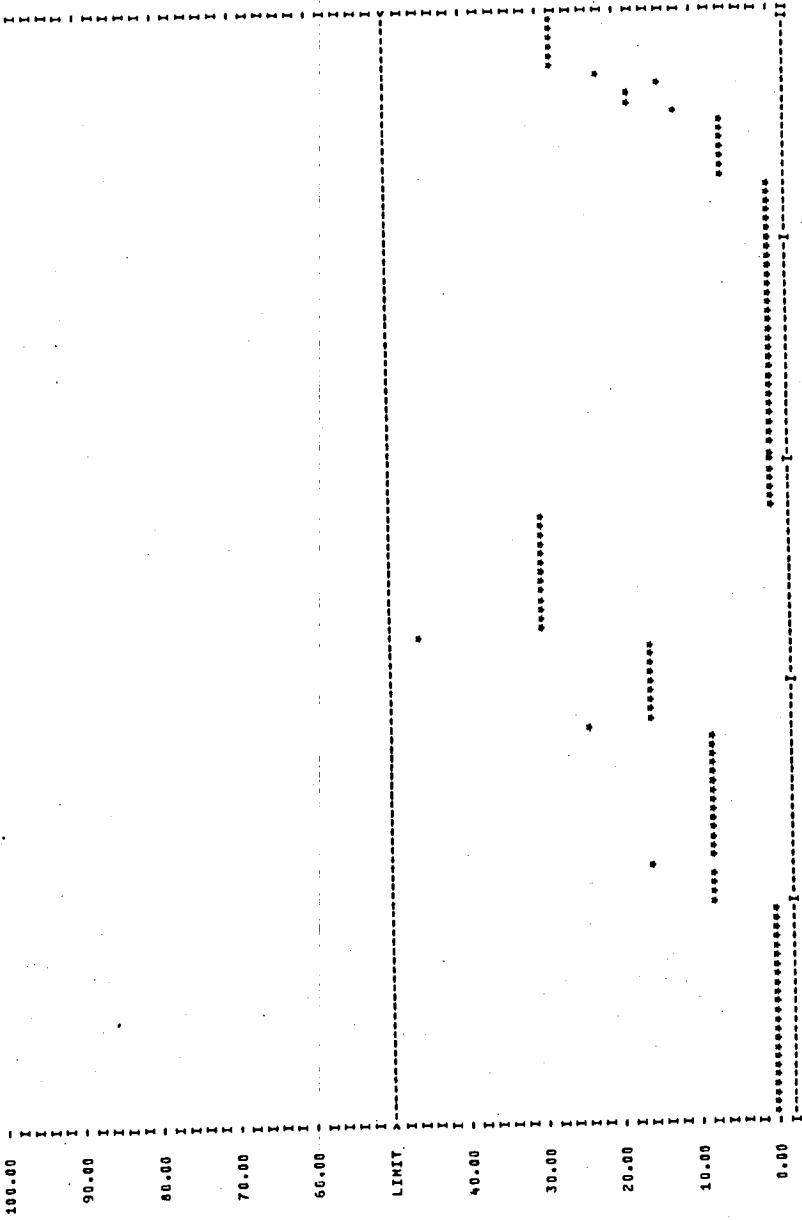
PRODUKTIONSZEIT: VON SAMSTAG 29. 7. 1978 BIS MITTWOCH 2. 8. 1978
SAMSTAG 29. 7. SONNTAG 30. 7. MONTAG 31. 7. DIENSTAG 1. 8. MITTWOCH 2. 8.

LIMIT					
36045.00					
32840.00					
21035.00					
24030.00					
20025.00					
16020.00					
12015.00					
8010.00					
4005.00					
0.00					

BEDARFPLAN NR. 3 FUER LIMITIERENDES MITTEL: E-ENERGIE (KH)

PRODUKTIONSZEIT: VON DONNERSTAG 3. 8. 1978 BIS MONTAG 7. 8. 1978

DONNERSTAG 3. 8. FREITAG 4. 8. SAMSTAG 5. 8. SONNTAG 6. 8. MONTAG 7. 8.



BEDARFSPLAN NO1 3 FUER LIMITIERENDES MITTEL# STEAM (KCAL/M)

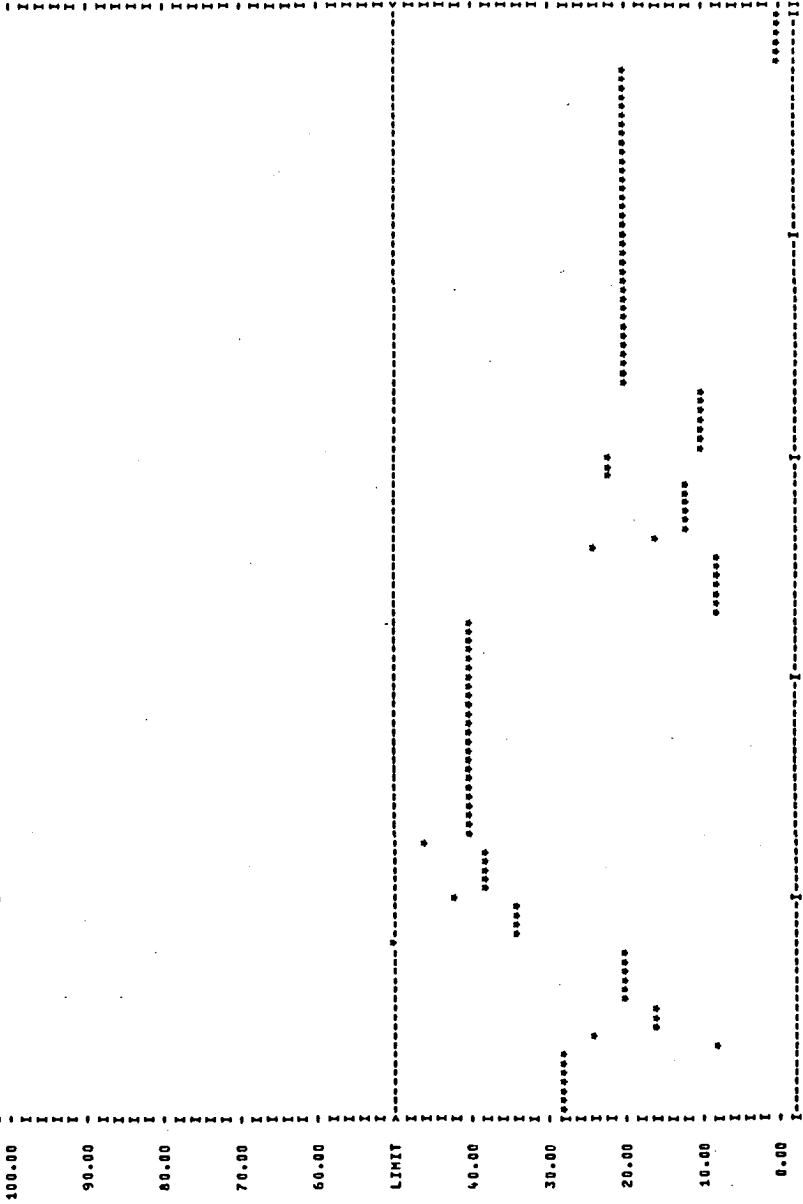
PRODUKTIONSZEIT: VON DONNERSTAG 3. 8. 1978 BIS MONTAG 7. 8. 1978

DONNERSTAG 3. 8. FREITAG 4. 8. SAMSTAG 5. 8. SONNTAG 6. 8. MONTAG 7. 8.

LIMIT	3. 8.	4. 8.	5. 8.	6. 8.	7. 8.
36045.00					
32040.00					
29035.00					
24030.00					
20025.00					
16020.00					
12015.00					
8010.00					
4005.00					
0.00					

BEDARFSPLAN NO: 4 FÜR LIMITIERENDES MITTEL: E-ENERGIE (KW)

PRODUKTIONSZEIT: VON DIENSTAG 8. 8. 1978 BIS SAMSTAG 12. 8. 1978
DIENSTAG 8. 8. MITTWOCH 9. 8. DONNERSTAG 10. 8. FREITAG 11. 8. SAMSTAG 12. 8.



BEDARFPLAN NO 4 FUER LIMITIERENDES MITTEL 8 STEAM (KCAL/H)

PRODUKTIONSZEIT: VON DIENSTAG 8. 8. 1978 BIS SAMSTAG 12. 8. 1978

DIENSTAG 8. 8. MITTWOCH 9. 8. DONNERSTAG 10. 8. FREITAG 11. 8. SAMSTAG 12. 8.

LIMIT	8. 8.	9. 8.	10. 8.	11. 8.	12. 8.
35045.00					
32840.00					
28035.00					
24030.00					
20225.00					
16020.00					
12015.00					
8010.00					
4005.00					
0.00					

AUSLASTUNGSGRAD DER APPARATE IN DER ANLAGE

APPARATEBEZEICHNUNG	BELEGUNGS- UND UHRZEIT	ANLAGEBETRIEBSZEIT (ABZ)	PROZ AUSLASTUNG (ABZ)	PLANUNGSZEIT (PLZ)	PROZ AUSLASTUNG (PLZ)
REAKTOR 1	63	446	14.13	400	13.13
REAKTOR 2	112	446	25.11	400	23.33
REAKTOR 6	112	446	25.11	400	23.33
FILTER 1	189	446	42.38	400	39.38
TROCKNER 1	56	446	12.56	400	11.67
REAKTOR 3	135	446	38.27	400	28.13
FILTPRE 1	134	446	38.04	400	27.92
TRSCRANK	233	446	52.24	400	48.54
REAKTOR 4	78	446	17.49	400	16.25
REAKTOR 7	87	446	19.51	400	18.13
FILTPRE 2	4	446	.90	400	.83

ROHMATERIALBEDARF:

EDUKT E1 :

FREITAG	28. 7.1978	740.00	KG
MONTAG	7. 8.1978	670.00	KG

EDUKT E2 :

FREITAG	28. 7.1978	1020.00	KG
MONTAG	7. 8.1978	1500.00	KG

EDUKT E3 :

FREITAG	28. 7.1978	900.00	KG
MONTAG	7. 8.1978	750.00	KG

EDUKT 01 :

FREITAG	28. 7.1978	1000.00	KG
DONNERSTAG	3. 8.1978	1000.00	KG
MONTAG	7. 8.1978	1000.00	KG

EDUKT 02 :

FREITAG	26. 7.1978	1500.00 KG
DONNERSTAG	3. 8.1978	1500.00 KG
MONTAG	7. 8.1978	1500.00 KG

EDUKT F1 :

DIENSTAG	8. 8.1978	1000.00 KG
----------	-----------	------------

EDUKT F2 :

DIENSTAG	8. 8.1978	700.00 KG
----------	-----------	-----------

EDUKT F3 :

DIENSTAG	8. 8.1978	1000.00 KG
----------	-----------	------------

EDUKT H1 :

DIENSTAG	25. 7.1978	700.00 KG
DONNERSTAG	10. 8.1978	700.00 KG

EDUKT H2 :

DIENSTAG	25. 7.1978	1400.00 KG
DONNERSTAG	10. 8.1978	1400.00 KG

VON DER STEUERKARTE GELESENE WERTE

PRODUKTIONSPLANUNG FUER EINE MEHR-ZWECK-ANLAGE
WOECHENTLICHE PRODUKTION
DIE ANLAGE ARBEITET MIT UEBERLAPPUNG
HILFSMITTEL BEI DER OPTIMIERUNG BERUECKSICHTIGT
EINGEGANGENE BESTELLUNGEN WERDEN GERECHNET

VON DER 1.DATENKARTE GELESENE WERTE

ANZAHL EDUKTE	:	10
ANZAHL PRODUKTE	:	4
ANZAHL ITEMS	:	11
ANZAHL SPEZ TAGE	:	0
PRODUKTIONSVERSCHIEBUNGEN	:	4
BETRIEBSUNTERRUECKE	:	1
ADDITIVE RANDBEDINGUNGEN	:	2

VON DER 2.DATENKARTE GELESENE WERTE

VERZINSUNG DES LAGERS ZUM ZINSSATZ VON : 8.25 PROZENT

EDUKTDATENS

EDUKTBEZEICHNUNG	ANFANGSLAGER KG	MIN LAGERMENGE KG	ROHMATERIAL LIEFERUNGEN ANZAHL
EDUKT E1	4090.00	1033.00	0
EDUKT E2	17460.00	500.00	0
EDUKT E3	8350.00	500.00	0
EDUKT D1	17000.00	500.00	0
EDUKT D2	5500.00	500.00	0
EDUKT F1	14000.00	500.00	0
EDUKT F2	11300.00	1000.00	0
EDUKT F3	9000.00	2000.00	0
EDUKT M1	11800.00	100.00	0
EDUKT M2	7600.00	2000.00	0

DATEN DES PRODUKTLAGERS

PRODUKTBEZEICHNUNG	ANFANGSLAGER KG	ENDLAGER KG	MIN LAGERMENGE KG	MAX LAGERMENGE KG	HERSTELLUNGSKOSTEN SFR / KG	PENALTY-WERT
PRODUKT D.	1840.00	2373.07	1800.00	40000.00	200.00	1.00
PRODUKT E	2130.00	2090.00	2000.00	30000.00	250.00	1.00
PRODUKT F	1540.00	2100.00	1500.00	20000.00	300.00	1.00
PRODUKT H	2250.00	2200.00	2000.00	25000.00	400.00	1.00

DATEN ZUR ANPASSUNG DER BERECHNETEN BATCHZEITEN

REAKTOR 4	PRODUKT F	ANPASSUNG AN DEN IST-ZUSTAND DER ANLAGE	VERSPAETUNG =	5 STD
TRISCHANK	PRODUKT F	ANPASSUNG AN DEN IST-ZUSTAND DER ANLAGE	VERSPAETUNG =	5 STD
REAKTOR 7	PRODUKT F	ANPASSUNG AN DEN IST-ZUSTAND DER ANLAGE	VERSPAETUNG =	5 STD
FILTPRE 2	PRODUKT F	ANPASSUNG AN DEN IST-ZUSTAND DER ANLAGE	VERSPAETUNG =	5 STD

PLANUNGS DATEN

BEGINN DER PLANUNG: MITTWOCH 9 8 1978
ENDE DER PLANUNG: SONNTAG 27 8 1978

PLANUNGSZEITEN

DAUER DER PERIODE : 18 TAGE

ARBEITSZEITEN AN WOCHENENDEN:

VON SAMSTAG 18 UHR BIS MONTAG 6 UHR KEINE DATCHANSATZE. ANLAGEBETRIEB: 1

BETRIBSUNTERBRUECHE:

FILTER 1 : BIS 14. 8. 1978 6 UHR NICHT IN BETRIEB

VERKAUFE WAERHEND DER PLANUNGSPERIODE:

DATUM	PRODUKT D	PRODUKT E	PRODUKT F	PRODUKT H
9. 8.1978	10.00	20.00	50.00	30.00
11. 8.1978	30.00	10.00	60.00	20.00
11. 8.1978	100.00	20.00	140.00	10.00
12. 8.1978	0.00	0.00	0.00	0.00
13. 8.1978	0.00	0.00	0.00	0.00
14. 8.1978	50.00	10.00	200.00	40.00
15. 8.1978	70.00	20.00	120.00	20.00
16. 8.1978	50.00	0.00	100.00	30.00
17. 8.1978	100.00	20.00	10.00	50.00
18. 8.1978	20.00	0.00	20.00	30.00
19. 8.1978	0.00	0.00	0.00	0.00
21. 8.1978	0.00	0.00	0.00	0.00
21. 8.1978	20.00	60.00	30.00	40.00
22. 8.1978	30.00	0.00	100.00	10.00
23. 8.1978	10.00	50.00	50.00	20.00
24. 8.1978	50.00	10.00	30.00	0.00
25. 8.1978	10.00	0.00	20.00	10.00
26. 8.1978	0.00	0.00	0.00	0.00

ANZAHL UNABHAENIGIGE PRODUKTBLÖCKE: 1

PRODUKTE IN BLOCK: 1

- PRODUKTNAME: PRODUKT D (VARIANTE 1)
- PRODUKTNAME: PRODUKT H (VARIANTE 1)
- PRODUKTNAME: PRODUKT F (VARIANTE 1)
- PRODUKTNAME: PRODUKT E (VARIANTE 1)
- PRODUKTNAME: PRODUKT E (VARIANTE 2)

PRODUKTIONSALTERNATIVEN BEI KONTINUIERLICHER PRODUKTION : 602
 PRODUKTIONSALTERNATIVEN UNTER BERUECKSICHTIGUNG DER ZEITVERHAELTNISSE: 126

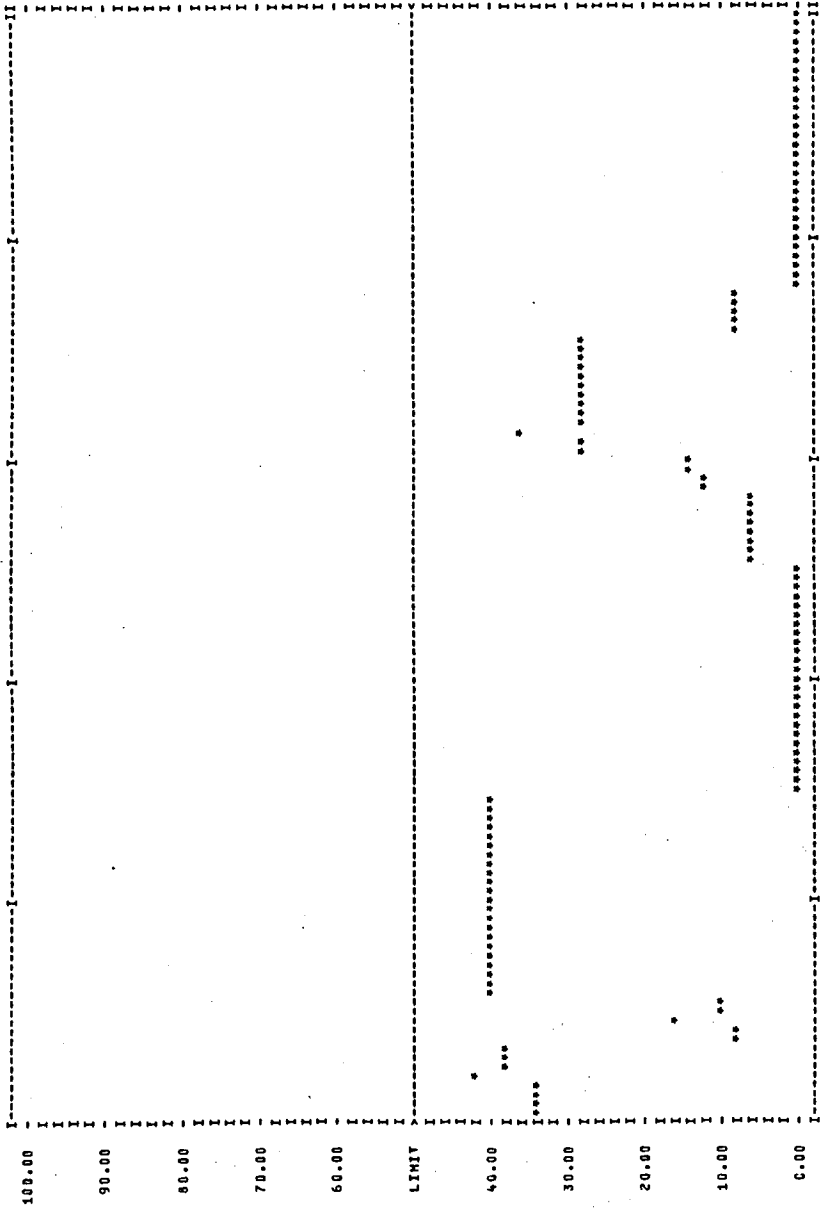
AUFGEKLAUFENE KOSTEN:

LAGERKOSTEN	:	9791.62 SFR
UMSTELLUNGSKOSTEN	:	6513.00 SFR
KOSTEN FUER E-ENERGIE	:	255.36 SFR
KOSTEN FUER STEAR	:	372.20 SFR
TOTALE KOSTEN	:	16729.18 SFR

BEDARFSPLAN NO: 1 FUER LIMITIERENDES MITTEL: E-ENERGIE (KM)

PRODUKTIONSZEIT: VON MITTWOCH 9. 8. 1978 BIS SONNTAG 13. 8. 1978

MITTWOCH 9. 8. DONNERSTAG 10. 8. FREITAG 11. 8. SAMSTAG 12. 8. SONNTAG 13. 8.



BEDARFPLAN NR: 1 FUER LIMITIERENDES MITTEL: STEAM (KCAL/H)

PRODUKTIONSZEIT: VON MITTWOCH 9. 8.1978 BIS SONNTAG 13. 8.1978

MITTWOCH 9. 8. DONNERSTAG 10. 8. FREITAG 11. 8. SAMSTAG 12. 8. SONNTAG 13. 8.

LIMIT

36045.00

32040.00

28035.00

24030.00

20025.00

16020.00

12015.00

8010.00

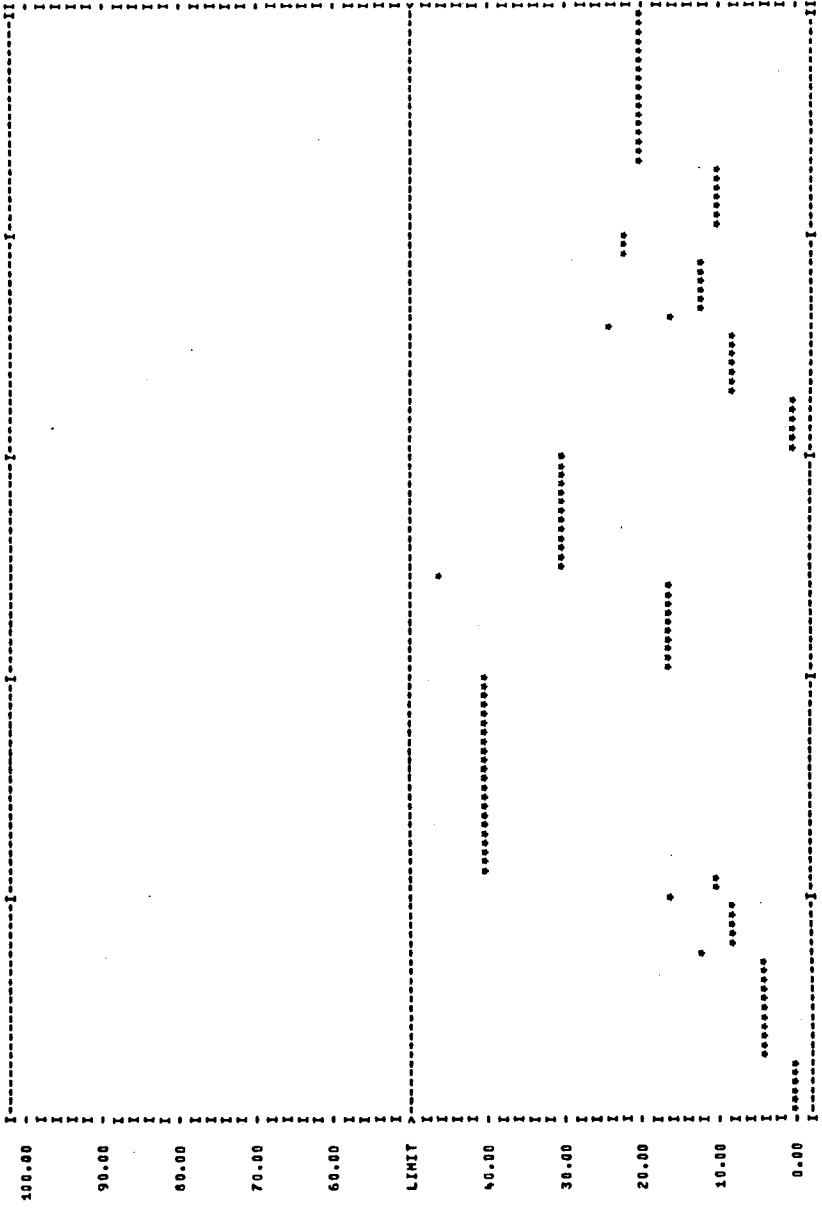
4005.00

0.00

BEDARFSPLAN NO: 2 FUER LIMITIERENDES MITTEL: E-ENERGIE (KW)

PRODUKTIONSZEIT: VON MONTAG 14. 8.1978 BIS FREITAG 18. 8.1978

MONTAG 14. 8. DIENSTAG 15. 8. MITTWOCH 16. 8. DONNERSTAG 17. 8. FREITAG 18. 8.



BEDARFSPLAN NO: 2 FUER LIMITIERENDES MITTEL: STEAM (KCAL/H)

PRODUKTIONSZEIT: VON MONTAG 14. 8. 1978 BIS FREITAG 18. 8. 1978

MONTAG 14. 8. DIENSTAG 15. 8. MITTWOCH 16. 8. DONNERSTAG 17. 8. FREITAG 18. 8.

LIMIT

36045.00

32040.00

29035.00

24030.00

25025.00

16020.00

12015.00

8010.00

4005.00

0.00

LAGERBESTÄNDE WAHREND DER PLANUNGSPERIODE I

DATUM	PRODUKT D	PRODUKT E	PRODUKT F	PRODUKT H
9. 8.1978	1840.00	2130.00	1540.00	2250.00
10. 8.1978	2230.00	2110.00	1490.00	2220.00
11. 8.1978	2200.00	2100.00	2030.00	2200.00
12. 8.1978	2100.00	2000.00	1890.00	2190.00
13. 8.1978	2100.00	2320.00	1890.00	2190.00
14. 8.1978	2100.00	2320.00	1890.00	2190.00
15. 8.1978	2050.00	2210.00	1690.00	2150.00
16. 8.1978	1900.00	2190.00	2170.00	2130.00
17. 8.1978	2330.00	2190.00	2070.00	2100.00
18. 8.1978	2150.00	2170.00	1660.00	2050.00
19. 8.1978	2130.00	2170.00	1840.00	2020.00
20. 8.1978	2130.00	2170.00	1640.00	2320.00
21. 8.1978	2130.00	2170.00	1840.00	2320.00
22. 8.1978	2110.00	2110.00	1610.00	2200.00
23. 8.1978	2000.00	2110.00	1710.00	2270.00
24. 8.1978	2070.00	2060.00	1660.00	2250.00
25. 8.1978	2020.00	2290.00	1630.00	2250.00
26. 8.1978	2418.00	2190.00	1610.00	2240.00
27. 8.1978	2410.00	2190.00	2210.00	2240.00

S C H L U S S W O R T

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung eines numerischen Verfahrens zur Lösung des Problems der optimalen, kurzfristigen Produktionsplanung für absatzweise (im Chargenbetrieb) arbeitende, chemische Mehrprodukt- und Mehrzweckanlagen bei uneinheitlichem Absatz aufgrund konjunktureller und / oder saisonaler Schwankungen.

Ueber die Notwendigkeit und Bedeutung einer solchen Planung gibt es in der Literatur und in der Praxis keine Zweifel. Meinungsverschiedenheiten bestehen dagegen, wenn es um Umfang, Genauigkeit und Zeitraum der Planung geht.

Der Umfang des zu betrachtenden Systems ist einerseits durch die der Planung zugrunde liegende Zielsetzung, und andererseits durch das betriebliche Informationswesen gegeben. Das Zusammenfassen der Bereiche Produktion und Lagerhaltung ist aufgrund der Ausgleichfunktion des Lagers bei diskontinuierlicher Produktion zwangsläufig notwendig. Eine Erweiterung des Systems durch den Einbezug des Materialbeschaffungswesens setzt die Verfügbarkeit von Daten bezüglich Mengenrabatten, günstigeren Lieferungs- und Zahlungsbedingungen usw. voraus. Das Problem bei einem System dieses Umfanges liegt nicht in der Realisierung eines entsprechenden numerischen Verfahrens, sondern in der Beschaffung der Daten durch das betriebliche Informationswesen.

Der in der Literatur oft verwendete Begriff "ausreichende Genauigkeit", musste vorerst für das vorliegende Problem konkretisiert werden.

Der Wahl der Stunde als kleinste Zeiteinheit bei der Zuordnung der Produktionsprozesse zur Kalenderzeitskala und derjenigen eines Tages für die Lagerhaltung liegt ein Kompromiss zwischen Elastizität und Genauigkeit zugrunde.

Während die ein Jahr umfassende, mittelfristige Planung meist auf Schätzungen, Annahmen und Erfahrungswerten beruht, basiert die kurzfristige Planung auf konkreten Tatsachen und Gegebenheiten. Die Zeitdauer der Planung ergibt sich somit aus der Stabilität des Absatzplanes und wird in der Regel 2 - 6 Wochen betragen.

Der Forderung nach einer umfassenden, vollständigen und genauen Planung steht das Wirtschaftlichkeitsprinzip gegenüber. Der durch die Planung erzielte Ertrag muss zwangsläufig den durch den Planungsprozess verursachten Aufwand kompensieren.

Durch die Wahl eines Zweistufenverfahrens, welches die schrittweise Produktion der Lösungsmenge mit zunehmender Rechenintensität ermöglicht, konnte ein den verschiedenen Forderungen gerechtes Computerprogramm entwickelt werden. Der Rechenaufwand für das dem zweiten Kapitel zugrunde liegende Beispiel beträgt 475 Sekunden (CDC CYBER 174A).

Die Gegenüberstellung der Zahl der Lösungen nach der ersten und der zweiten Stufe erlaubt zudem Aussagen über den Einsatz von Sonderschichten zur termingerechten Herstellung der im Terminplan zeitlich und mengenmässig fixierten Endproduktmengen. Eine Verlängerung der Produktionszeit über die geltende Arbeitszeit hinaus bei kurzfristiger Unterkapazität der Produktionsanlagen bedingt die Existenz von alternativen Produktionsreihen nach der ersten Verfahrensstufe.

Das Problem der Produktionsführung für den Fall einer permanenten Unterkapazität der Anlage unter dem Gesichtspunkt der Gewinnmaximierung und unter Berücksichtigung der Möglichkeit des Fremdbezuges, könnte Gegenstand zukünftiger Arbeiten auf dem Gebiet der kurzfristigen, optimalen Produktionsplanung für absatzweise arbeitende, chemische Mehrprodukt- bzw. Mehrzweckanlagen sein.

VERZEICHNIS DER WICHTIGSTEN SYMBOLE

AH_{hn}	Bedarf an Betriebsmittel n zur Stunde h .	
AM_{ljn}	Bedarf der Einheit l an Betriebsmittel n bei der Durchführung von Variante j .	
AP_n	Marktpreis pro Einheit Betriebsmittel n .	(SFr)
AT_n	Maximal pro Stunde zur Verfügung stehende Anzahl Einheiten des Betriebsmittels n .	
AZ	Zinskosten für die Zwischenproduktmengen für den Zeitraum des Folgeproduktansatzes bis zur Auslieferung der Charge ans Lager.	(SFr)
B_j	Produktmenge einer Charge j .	(KG)
BK	Betriebsmittelkosten.	(SFr)
b_k^o	Frühest möglicher Ansatzzeitpunkt für die Charge s_k des k -ten Reihenelementes bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns.	(h)
b_k^*	Spätest möglicher Produktionsendtermin für die Charge s_k des k -ten Reihenelementes bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns.	(h)
c_{lmi}	Reinigungszeit der Elementareinheit l bei Produktwechsel von Produkt m zu Produkt i .	(h)
D	Dauer der Planungsperiode in Tagen.	
Dh	Dauer der Planungsperiode in Stunden.	

- d_k^o Zeitpunkt des Ansatzes der Charge s_k des k -ten Reihenelementes in Tagen bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns.
- d_k^* Zeitpunkt der Verfügbarkeit ab Lager der Charge s_k des k -ten Reihenelementes in Tagen bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns.
- e_{id} Am Tag d aus dem Pufferlager entnommene Menge Produkt i . (KG)
- HK_i Herstellungskosten der Zwischen- und Endprodukte. (SFr/KG)
- I Menge aller Zwischen- und Endprodukte i .
- J_i Menge aller Produktionsvarianten für die Herstellung von Produkt i .
- J^* Menge aller Produktionsstrassen für die Produkte einer unabhängigen Produktgruppe.
- L' Menge aller Elementareinheiten der Anlage.
- L_j Menge aller Elementareinheiten, welche die Produktionsstrasse j bilden.
- L_j^o Menge der Elementareinheiten der Produktionsstrasse j geordnet mit zunehmenden relativen Prozessstartzeiten.
- L_j^* Menge der Elementareinheit der Produktionsstrasse j geordnet mit abnehmenden relativen Prozessendzeiten.
- LP_{1k} Zuletzt in der Einheit l gefertigtes Produkt.

M_f	Menge der Produkte i in der unabhängigen Produktgruppe f .	
N_i	Menge der Elementareinheiten, welche sämtliche Produktionsstrassen für Produkt i bilden.	
p_{1j}^0	Relativer Prozessbeginn in Elementareinheit l bei der Durchführung von Produktionsvariante j bezogen auf den Zeitpunkt des Chargenansatzes.	(h)
p_{1j}^*	Relativer Zeitpunkt des Prozessendes in Elementareinheit l bei der Durchführung von Produktionsvariante j bezogen auf den Zeitpunkt des Chargenansatzes.	(h)
PK	Penalty-Kosten.	
PSt_i	Pufferlagermenge von Produkt i .	(KG)
PW_i	Penalty-Wert für Produkt i .	
R_j	Menge der Rohprodukte, welche zur Durchführung von Produktionsvariante j benötigt werden.	(KG)
RA_{rm}	Anliefermenge der m -ten Lieferung von Rohprodukt r .	(KG)
RC_{lmi}	Fixe Kosten bei der Reinigung der Elementareinheit l bei Produktwechsel von Produkt m zu Produkt i .	(SFr)
RK	Totale fixe Kosten für den Reinigungsaufwand während der Planungszeit.	(SFr)

RM_{rj}	Rohmaterialmengen, welche zur Durchführung der Produktionsvariante j benötigt werden.	(KG)
RS_r	Lagerbestand zu Beginn der Planung an Rohprodukt r .	(KG)
RS_{\min_r}	Minimale Lagermenge für Rohprodukt r .	(KG)
Rt_{rm}	Zeitpunkt der m -ten Anlieferung von Rohprodukt r .	
S	Alternative Produktionsreihe.	
S_{opt}	Optimale Produktionsreihe.	
s_k	k -tes Element der Produktionsreihe S .	
SK	Lagerzinskosten für die Dauer der Planung.	(SFr)
St_i^*	Minimaler Lagerbestand von Produkt i am Ende der Planungsperiode.	(KG)
St_{\max_i}	Maximale Lagerkapazität für Produkt i .	(KG)
St_{id}	Lagerbestand zu Beginn des Tages an Produkt i .	(KG)
t_{lk}^o	Relativer Zeitpunkt des Belegungsbeginnes der Elementareinheit l bei der Durchführung der Produktionsvariante des k -ten Reihenelementes bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns.	(h)
t_{lk}^*	Relativer Zeitpunkt des Endes der Belegung der Elementareinheit l bei der Durchführung der Produktionsvariante des k -ten Reihenelementes bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns.	(h)

t_k^* Spätest möglicher Fertigungstermin der Charge s_k des k -ten Reihenelementes aufgrund der Verfügbarkeit der Elementareinheiten bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns. (h)

$t_{\max 1k}^l$ Relativer Zeitpunkt der Verfügbarkeit der Elementareinheiten für die Durchführung der Variante s_k des k -ten Reihenelementes bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns beim Shift-Verfahren. (h)

$t_{\max 1k}$ Relativer Zeitpunkt der Verfügbarkeit der Elementareinheit 1 zur Durchführung der Produktionsvariante des k -ten Reihenelementes beim Enumerationsverfahren bezogen auf den Planungsbeginn. (h)

$t_{AM 1jn}^o$ Relativer Zeitpunkt des Beginns des Bedarfes an Betriebsmittel n in der Elementareinheit 1 bei der Durchführung der Produktionsvariante j bezogen auf den Zeitpunkt des Belegungsbeginns. (h)

$t_{AM 1jn}^*$ Relativer Zeitpunkt des Endes des Bedarfes an Betriebsmittel n in der Elementareinheit 1 bei der Durchführung der Produktionsvariante j bezogen auf den Zeitpunkt des Belegungsbeginns. (h)

tb_k Spätest möglicher Fertigungstermin aufgrund der Lagerbestände der Produktionsvariante des k -ten Reihenelementes bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns. (h)

t_{Rk} Frühest möglicher Produktionstermin der Charge s_k des k -ten Reihenelementes bei Rohproduktengpässen bezogen auf den Zeitpunkt des Planungsbeginns. (h)

tz_{ji}	Relativer Zeitpunkt des Bedarfes an Zwischenprodukt i bei der Durchführung der Produktionsvariante j bezogen auf den Zeitpunkt des Chargenansatzes.	(h)
U_{qj}	Menge der Elementareinheiten l im q -ten stabilen Block der Produktionsvariante j .	
V_f	Prioritätsliste der f -ten unabhängigen Produktgruppe.	
v_{id}	Absatzmenge von Produkt i am Tage d .	(KG)
VK_{eff}	Effektive Kosten für die Dauer der Planungsperiode.	(SFr)
VK	Wert der Zielfunktion.	
W_h	Geltende Arbeitszeit und Anlagebetriebszustand zum Zeitpunkt h .	
Y_{id}	Theoretischer Lagerbestand an Produkt i am Tag d bei fehlender Produktion.	(KG)
z_{ji}	Bei der Durchführung der Produktionsvariante j benötigte Menge an Zwischenprodukt i .	(KG)
ZF	Jahreszinssatz für die Verzinsung des Lagers.	

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- [1] BRODMANN, M.T.
Computer Control of Batch Processes
Chemical Engineering Sept. 1976.
- [2] SPARROW, R.E.
The Computer-Aided Design of Multi-
Product Batch-Wise Chemical Plants.
Ph. D. thesis E.T.H. Zürich (1974).
- [3] MAUDERLI, A.M.
Computer-Aided Prozess Scheduling
and Production Planning for Multi-
Purpose Batch Chemical Plants.
Ph. D. thesis E.T.H. Zürich (1979).
- [4] WEINBERG, F.
Branch and Bound: Eine Einführung
Springer-Verlag 1973.
- [5] CONTROL DATA CORPORATION -
Software Documentation
SCOPE Reference Manual; Models 72,
73, 74 Version 3, 4; 6000 Version
3.4 (1974)

- [6] CONTROL DATA CORPORATION
Software Documentation
FORTRAN EXTENDED Version 4
Reference Manual

L E B E N S L A U F

Name: Urs Max EGLI
Geburtsdatum: 10. April, 1948
Geburtsort: Winterthur
Bürgerort: Bäretswil, Kanton Zürich

Name des Vaters: Paul EGLI
Name der Mutter: Hedwig, geb. Gonzenbach

Ausbildungsgang:

1955 - 1961 Primarschule Kollbrunn (ZH)
1961 - 1964 Sekundarschule Rikon (ZH)

1964 - 1965 Betriebspraktikum }
1965 - 1968 Laborantenlehre } AG Carl Weber
Winterthur

1968 - 1971 Institut Minerva, Zürich
1971 - 1976 Studium an der Abteilung für Chemie
der Eidgenössischen Technischen Hochschule
Zürich

Herbst 1976 Abschluss: dipl. Chemie-Ingenieur
1977 - 1980 Doktorat unter der Betreuung von
Prof. Dr. D.W.T. Rippin
am Technisch-Chemischen Labor
der E.T.H. Zürich

1978 - 1980 Unterrichtsassistent bei
Prof. Dr. D.W.T. Rippin
am Technisch-Chemischen Labor
der E.T.H. Zürich