

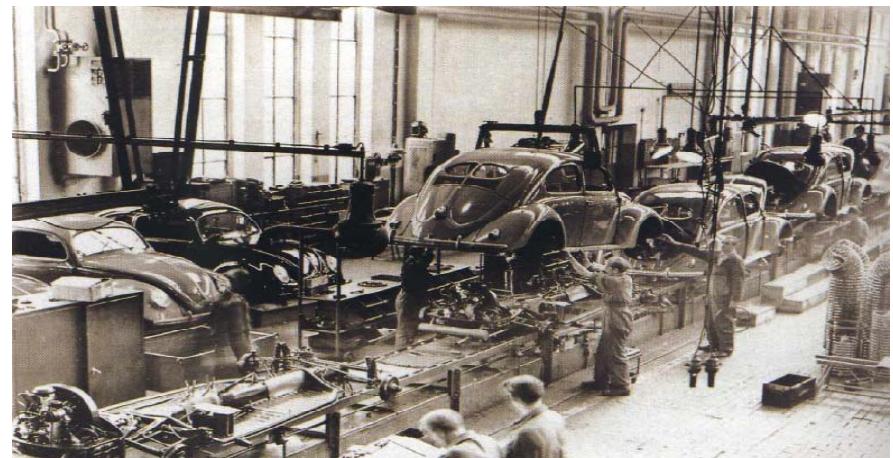
# Thema Nr.6

## Produktionsprogrammplanung bei Variantenfließfertigung

Eine Präsentation von:

Babak Sameti

Mirco Westphal



# Agenda

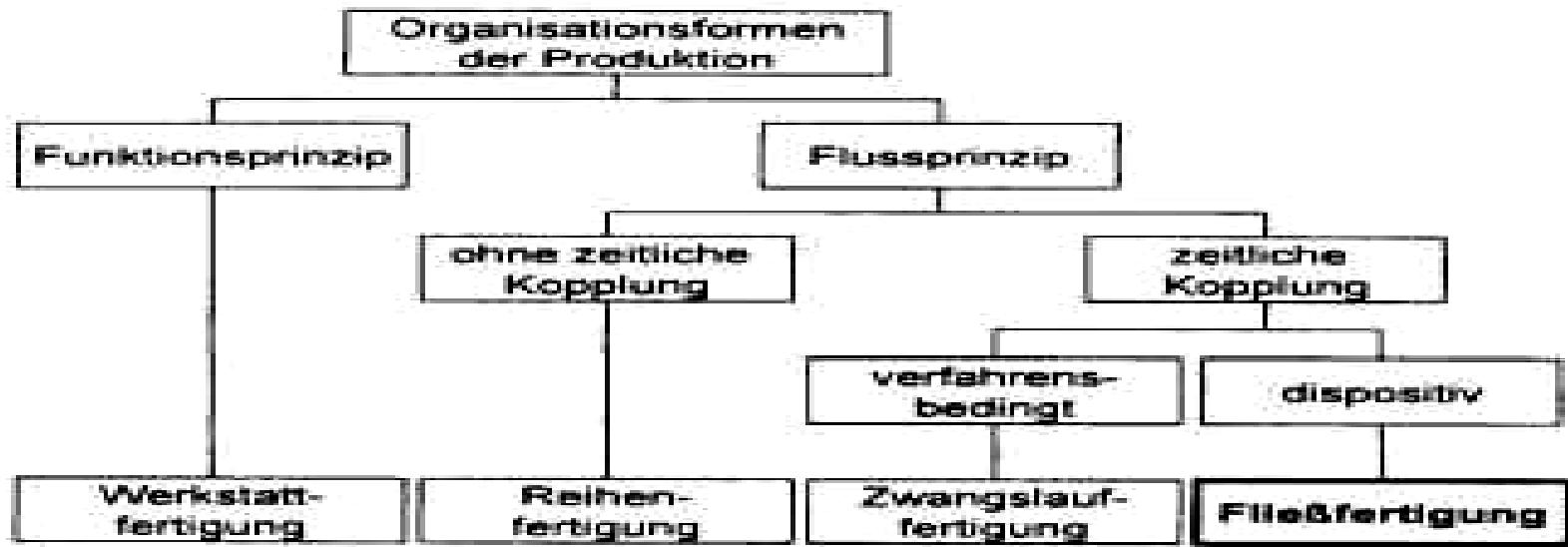
---

- 1. Einführung in die Variantenfließfertigung**
- 2. Planungsprobleme bei der Variantenfließfertigung**
- 3. Planungshierarchie bei der Variantenfließfertigung**
- 4. Produktionsprogrammplanung**
- 5. Reihenfolgeplanung**
- 6. Hierarchische Planung der Variantenfließfertigung**
- 7. Fazit**

- 1985 Beginn der Entwicklung der Automobilindustrie durch Carl Benz
- 1913 Einführung des Fließsystems in der Automobilindustrie durch Henry Ford
- Henry Ford über das Model T: „You can paint it any colour, so long it is black!“
- BMW bietet heute theoretisch bis zu  $10^{32}$  verschiedene Varianten an
- Wie ist so etwas in der Produktion zu realisieren?

- möglich ist eine Variantenvielfalt, wie z.B. bei BMW, durch die Variantenfließfertigung
- Universalmaschinen mit automatischen Werkzeugwechseln ermöglichen eine wahlfreie Abfolge verschiedener Varianten eines Produktes innerhalb des Fertigungstaktes zu fertigen
- Vorteile der Massenproduktion wird genutzt und trotzdem dem Wunsch des Kunden nach Individualisierung nachgekommen
- es entsteht ein höherer Nutzen für die Kunden

## Einordnung in die Produktionsplanung:



Quelle: Boysen, Fliedner, Scholl (2006)

- Unterteilung der klassischen Organisationsformen in Funktions- und Flussprinzip
- zur Organisationsform Flussprinzip gehört die Fließfertigung
- die Variantenfließfertigung ist eine spezielle Form der Fließfertigung

## Einzel-, Massen- und Variantenfließfertigung:

### ▪ Einzelfertigung:

Jedes Produkt wird nur ein einziges Mal hergestellt. Die Fertigung erfolgt auf Bestellung und anhand spezieller Kundenwünsche.  
Beispiele: Wohnungs-, Industrie- und Schiffsbau

### ▪ Massenfertigung:

Produkte mit gleichen Produkteigenschaften werden in einer vorher nicht beschränkten Menge in ständiger Wiederholung erzeugt. Die Maschinen werden in derselben Aufeinanderfolge und in derselben zeitlichen Beanspruchung eingesetzt.  
Beispiele: Zementfabrik, Ziegelei

- Variantenfließfertigung:

Es werden unterschiedliche Varianten eines Grundmodells auf einem Fließsystem je nach Auftrag gefertigt. Kundenindividuelle Wünsche können hierbei berücksichtigt werden. Die Bearbeitung der Arbeitsgänge erfolgt innerhalb einer vorgegebenen Taktzeit.  
Beispiel: Automobilindustrie

# Agenda

---

1. Einführung in die Variantenfließfertigung
2. Planungsprobleme bei der Variantenfließfertigung
3. Planungshierarchie bei der Variantenfließfertigung
4. Produktionsprogrammplanung
5. Reihenfolgeplanung
6. Hierarchische Planung der Variantenfließfertigung
7. Fazit

## Die zwei Planungsprobleme der Variantenfließfertigung:

- Lang- und mittelfristige Produktionsplanung

Dabei wird die Fließbandabstimmung vorgenommen. Das Problem entsteht bei der Zuordnung der Arbeitsgänge eines Produktes und der dafür benötigten Produktionsfaktoren zu den einzelnen Stationen.

- Kurzfristige Produktionsplanung

Dabei wird die Reihenfolgeplanung vorgenommen. Das heißt, es wird jeder einzelnen Variante ein exakter Fertigungstakt zugewiesen.

## Weitere Problembereiche bei der Durchführung einer Variantenfließfertigung:

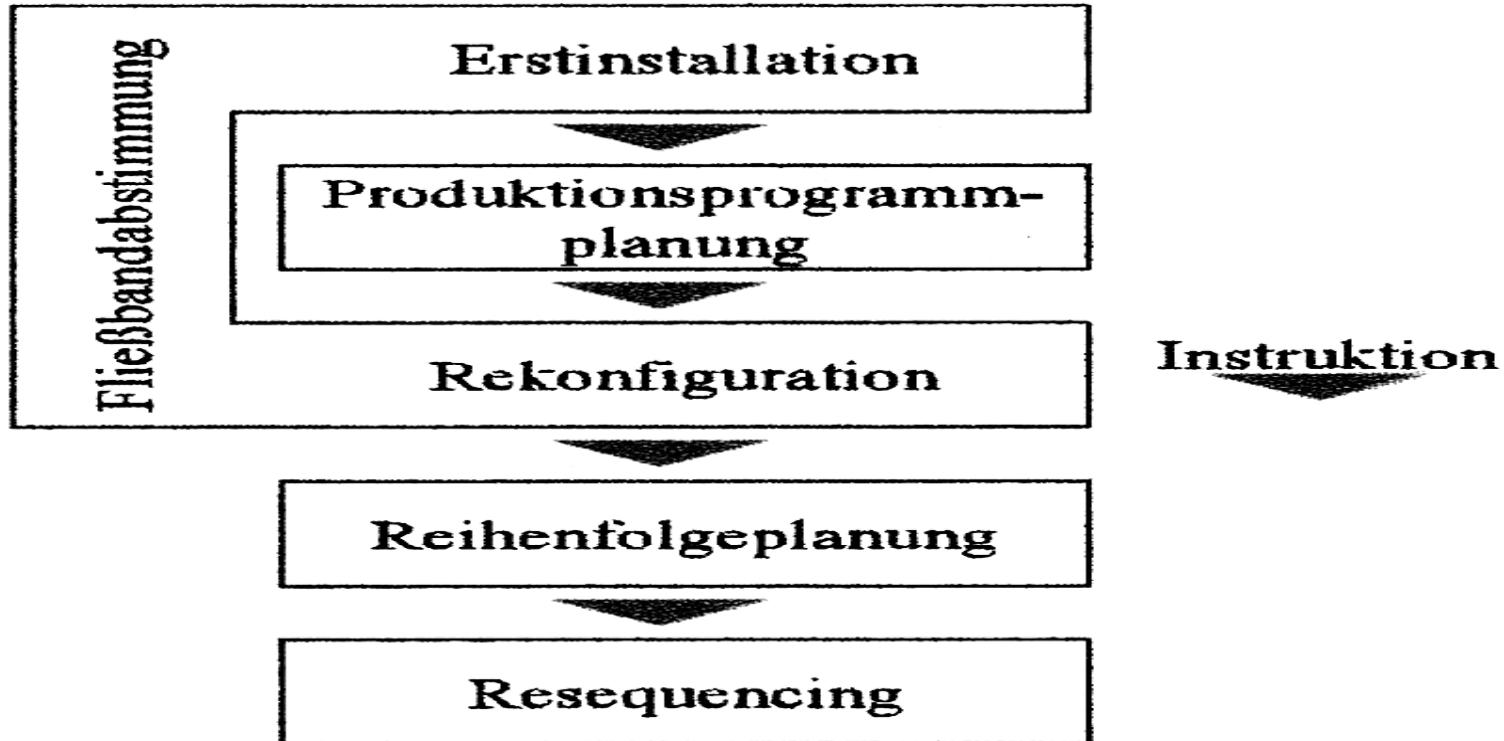
- Neuerrichtung steht oft im Mittelpunkt bei der Betrachtung der Fließbandabstimmung
- Zwischen der langfristigen Konfiguration eines Fließsystems (Fließbandabstimmung) und der kurzfristigen Zuordnung der Varianten zu den Fertigungstakten (Reihenfolgeplanung) fehlt ein Planungsschritt.
- Schwierigkeiten nach der Festlegung der Fertigungsfolge durch Störfälle, die eine kurzfristige Umstellung der Fertigungsfolge bedingen.

# Agenda

---

1. Einführung in die Variantenfließfertigung
2. Planungsprobleme bei der Variantenfließfertigung
3. Planungshierarchie bei der Variantenfließfertigung
4. Produktionsprogrammplanung
5. Reihenfolgeplanung
6. Hierarchische Planung der Variantenfließfertigung
7. Fazit

# Planungshierarchie bei Variantenfließfertigung



## Fließbandabstimmung

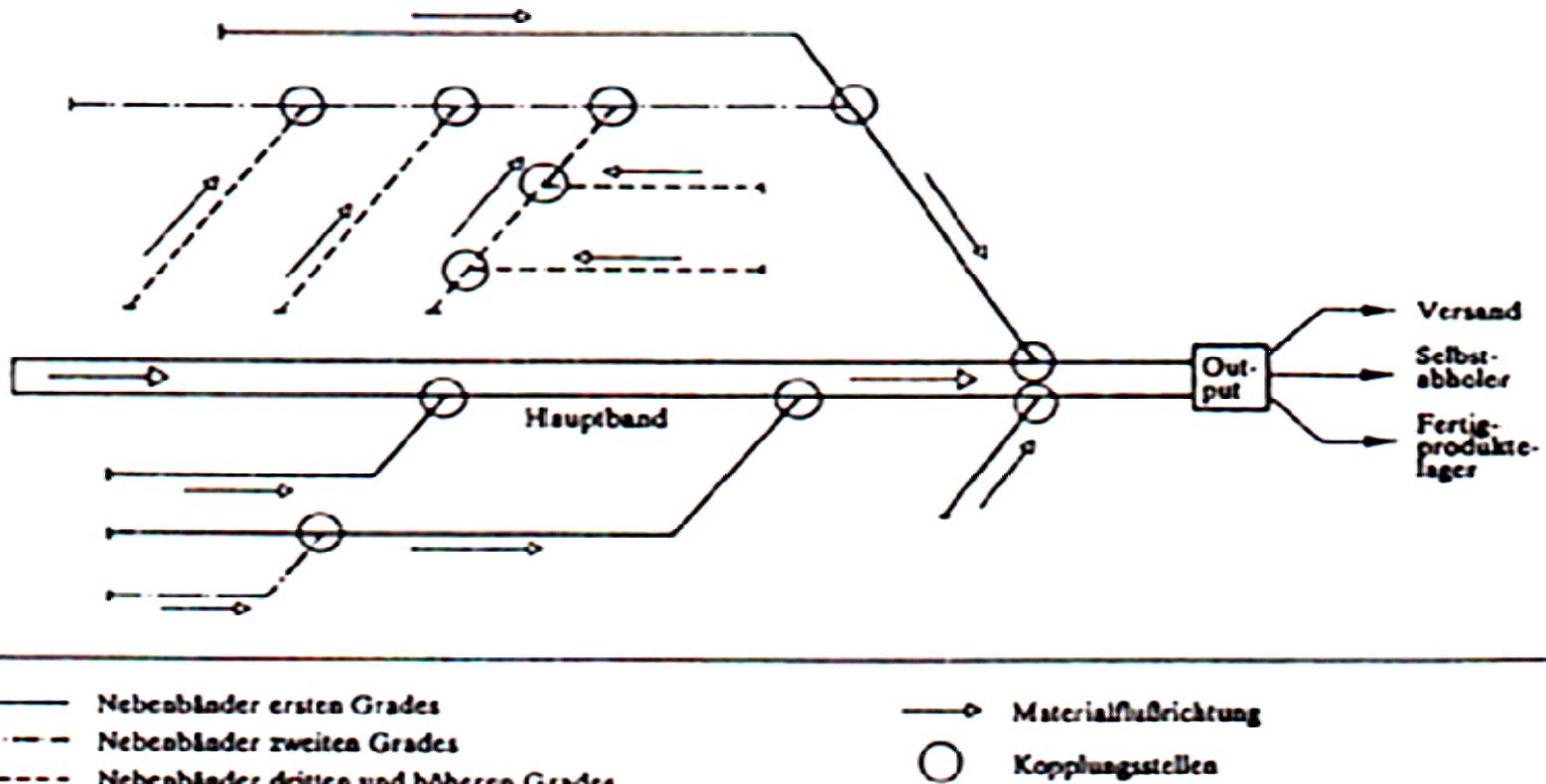
- **Erstinstallation**  
Es wird über den folgenden Produktionsprozess und die zur Durchführung benötigten Produktionsfaktoren entschieden.
- **Produktionsprogrammplanung**  
Legt fest welche Erzeugnisse bestimmter Qualität, in welchen Mengen in definierten Zeiträumen gefertigt werden sollen.
- **Rekonfiguration**  
Die Rekonfiguration ermöglicht die Fertigungskapazität des Fließsystems bei Nachfrageschwankungen neu zu konfigurieren.

## Die vier Klassische Formen der Fertigung:

- Werkbankfertigung: Einzellarbeit an Arbeitstischen
- Baustellenfertigung: Material und Betriebsmittel werden an den Standort des zu produzierenden Objekts gebracht.
- Werkstattfertigung: Produktionstyp, bei dem die Arbeitssysteme nach dem Funktions- bzw. Verrichtungsprinzip gruppiert sind. Innerhalb einer Werkstatt sind Maschinen gleicher Funktion zusammengefasst.
- Fließfertigung: eine örtlich, fortschreitende, zeitlich bestimmte, lückenlose Folge von Arbeitsgängen.

# Planungshierarchie bei Variantenfließfertigung

## Fließfertigung mit Haupt und Nebenbändern



Quelle: Hahn/Lassmann, Produktionswirtschaft 1989

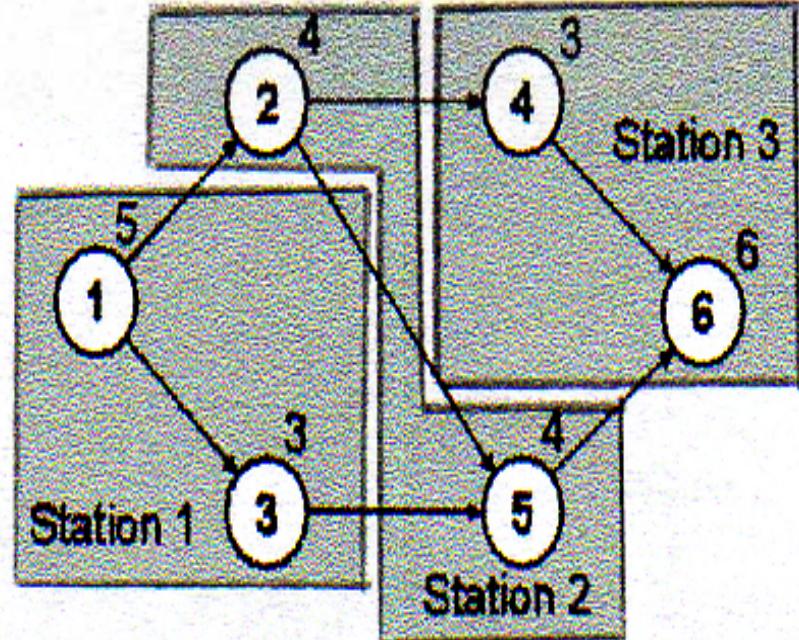
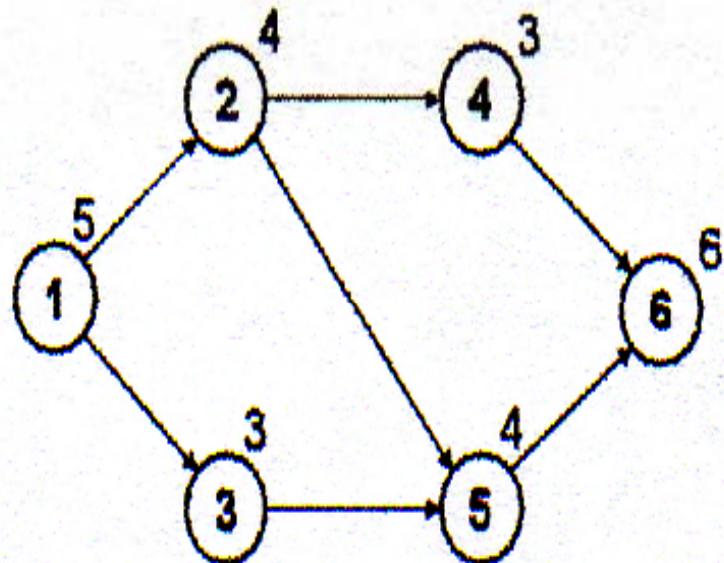
## Taktzeit

Die zeitliche Abstimmung der Arbeitsgänge wird von der geplanten Produktion pro Schicht bestimmt. Man ermittelt die sog. Taktzeit, die Zeit, in der ein Stück des Produkts bearbeitet wird, ehe das Band dieses Stück zum nächsten Arbeitsplatz transportiert.

$$\left[ \frac{ME}{ZE} \right] = \frac{\text{Arbeit pro Schicht}}{\text{Sollproduktion pro Schicht}} * \text{Bandwirkungsfakt}$$

Der Bandwirkungsfaktor berücksichtigt Störungen und Ausfallzeiten und ist stets kleiner als eins.

## Vorranggraph und Ergebnis der Abstimmung



eine Fließbandabstimmung aus  $m=3$  Stationen und eine vorgegebene Taktzeit von  $c=9$  Zeiteinheiten

Quelle: Boysen, Fliedner, Scholl

## SALBP (simple assembly line balancing problem)

Einproduktmodell der Fließbandabstimmung mit folgenden Prämissen:

- Die Herstellung eines homogenen Produkts erfolgt in  $n$  Arbeitsgängen eines fest vorgegebenen Produktionsverfahrens.
- Es gibt fest vorgegebene Bearbeitungszeiten  $t_j$  für die Arbeitsgänge  $j=1,\dots,n$ .
- Die Reihenfolgebeziehung besteht in der Form eines Vorranggraphen.
- Alle Stationen besitzen dieselbe Taktzeit. Es gibt eine fixe Anstoßrate. Aufeinanderfolgende Werkstücke werden nach Ablauf derselben Auflageintervalls auf das Fließband gebracht.
- Die Stationen sind hinsichtlich der Belegung mit Personal und Betriebsmitteln gleichwertig ausgestattet

		Stationszahl m	
		gegeben	variabel
Taktzeit $c$	gegeben	SALBP-F	SALBP-1
	variabel	SALBP-2	SALBP-G

SALBP-G hat das Ziel Maximierung der Auslastung des Fließbands.  
Bei SALBP-1 ist die Taktzeit vorgegeben; die Stationszeit wird minimiert.  
Bei SALBP-2 ist die Stationszahl vorgegeben; die Taktzeit wird minimiert.  
Bei SALBP-F wird untersucht, ob bei vorher bestimmter Taktzeit und  
Stationszeit, die Arbeitsgänge zu höchstens m Stationen unter Einhaltung  
der Taktzeit und der Reihenfolgenbeziehungen , zuzuordnen sind.

## Abbildung des Mischgraphen

Zur Vermeidung von mehrfacher Anschaffung von Betriebsmitteln werden produktionstechnisch ähnliche Arbeitsgänge aus den Variantenbezogenen Vorrangsgraphen im Mischgraphen zu einem Knoten zusammengefasst, auch wenn sie unterschiedliche Bearbeitungsdauern nachweisen.

## Zusätzliche Ausnahmen zum Grundmodell SALBP:

- Herstellung von  $p$  Varianten eines Grundproduktes durch Ausführung von jeweils bis zu  $n$  Arbeitsgängen
- Reihenfolgebeziehungen in Form von Vorranggraphen für jede Variante; daraus lässt sich durch Vereinigung der Knoten- und Pfeilmengen ein gemeinsamer Vorranggraph für alle Varianten ableiten.
- Jeder Arbeitsgang wird genau einer Station zugeordnet.
- Feste Bearbeitungszeiten zur Durchführung der Arbeitsgänge an den verschiedenen Varianten
- Vorgegebener Bedarf für alle Varianten während des Planungszeitraums
- Anzahl und Dauer der Arbeitsschichten im Planungszeitraum ist ebenfalls vorher bestimmt

## Erstinstallation

Lange bevor die tatsächliche Produktion an einem Fließband beginnt, wird die Fließlinie geplant. In der Automobilherstellung sind Planungszeiten bis zu 3 Jahren und mehr häufig.

## Rekonfiguration

Eine Rekonfiguration wird immer dann erforderlich, wenn sich das Variantenprogramm substantiell ändert, ein neues Produktionsverfahren integriert, eine andere Produktionsrate bzw. Taktzeit realisiert werden soll

# Agenda

---

1. Einführung in die Variantenfließfertigung
2. Planungsprobleme bei der Variantenfließfertigung
3. Planungshierarchie bei der Variantenfließfertigung
- 4. Produktionsprogrammplanung**
5. Reihenfolgeplanung
6. Hierarchische Planung der Variantenfließfertigung
7. Fazit

Die operative Produktionsplanung konzentriert sich hier auf den möglichst optimalen Einsatz der Produktionsfaktoren zur Herstellung von Varianten innerhalb der Arbeitsschichten.

Es wird entschieden, wieviel innerhalb einer Schicht produziert werden soll, um einen aktuellen Auftragsbestand zu produzieren.

Das Ziel ist die Kostenminimierung im Hinblick auf die zeitliche Abweichung zwischen dem Produktionstermin und dem Auslieferungstermin.

Die Zielfunktion formuliert sich aus den folgenden Variablen und Prämissen:

Fertigungsperiode mit ( $t=1, \dots, T$ )	T
Aufträge mit ( $i=1, \dots, N$ )	N
Liefertermin	$L_i$
Lagersatz pro Periode	$l_i$
Verspätungskosten, Preisnachlässe, Konventionsstrafen	$s_i$
Abweichungskosten	$c_{it}$
Bedarfskoeffizient	$B_{iq}$
Verfügbare Menge eines Bauteils	$q$
Verfügbare mit Lieferanten vereinbarte Mengen eines Bauteils	$B_{qt}$

## Das Grundmodell

$$\text{Minimiere } z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T c_{it} \cdot x_{it}$$

u.B.d.N.

$$\sum_{t=1}^T x_{it} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{i=1}^N x_{it} \leq P \quad \forall t = 1, \dots, T; \quad \text{mit } P = \left\lfloor \frac{D}{c} \right\rfloor$$

$$\sum_{i=1}^N b_{iq} \cdot x_{it} \leq B_{qt} \quad \forall q \in Q; t = 1, \dots, T$$

$$x_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T$$

## Erweiterung des Grundmodells um Rekonfiguration

Gibt es eine vorgegebene Menge „A“ an alternativen Konfigurationen des Fließsystems, so wird für jede Fertigungsperiode die Abstimmung aus dieser Menge bestimmt.

- Umrüstkosten  $K_{aa}^R$  für Wechsel einer Abstimmung
- Kosten für Betrieb  $K_a^B$  z.B. für zusätzliche Werker
- eine Abstimmung a

## Erweiterung des Grundmodells um Rekonfiguration

$$\text{Minimiere } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T c_{it} \cdot x_{it} + \sum_{t=1}^T \sum_{a \in A} y_{at} \cdot K_a^B + \sum_{t=1}^T \sum_{a \in A} \sum_{a' \in A, a' \neq a} r_{taa'} \cdot K_{aa'}^R$$

$$\sum_{a \in A} y_{at} = 1 \quad \forall t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{i=1}^N x_{it} \leq \sum_{a \in A} P_a \cdot y_{at} \quad \forall t = 1, \dots, T; \quad \text{mit } P_a = \left\lfloor \frac{D}{c_a} \right\rfloor$$

$$r_{taa'} \geq y_{at-1} + y_{at} - 1 \quad \forall a, a' \in A; t = 1, \dots, T$$

$$y_{at}, r_{taa'} \in \{0,1\} \quad \forall a, a' \in A; t = 1, \dots, T$$

## Erweiterung des Grundmodells um die zeitliche Anpassung

$$\text{Minimiere } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T c_{it} \cdot x_{it} + \sum_{t=1}^T z_t \cdot K^s$$

$$\sum_{i=1}^n x_{it} \leq P \cdot z_t$$

$$\forall t = 1, \dots, T; \quad \text{mit } P = \left\lfloor \frac{D}{c} \right\rfloor$$

$$z_t \in \{0, 1, \dots, S^{\max}\}$$

$$\forall t = 1, \dots, T$$

# Agenda

---

1. Einführung in die Variantenfließfertigung
2. Planungsprobleme bei der Variantenfließfertigung
3. Planungshierarchie bei der Variantenfließfertigung
4. Produktionsprogrammplanung
5. Reihenfolgeplanung
6. Hierarchische Planung der Variantenfließfertigung
7. Fazit

## Reihenfolgeplanung allgemein:

- Ziel: Minimierung der Produktionskosten
- für ein fest vorgegebenes Produktionsprogramm soll eine Reihenfolge der zu fertigenden Varianten bestimmt werden
- die Bestimmung der Reihenfolgeplanung findet im operativen Bereich statt
- die Arbeiter haben vorgegebene Arbeitsabläufe und Zeiten, die eingehalten werden müssen, um Arbeitsüberlastung zu vermeiden.

## Bestimmung der Ausgangsreihenfolge:

- das Hauptproblem ist, den Komplexitätsgrad der Realität in ein Modell zu überführen
- es haben sich zwei unterschiedliche Zielsetzungen etabliert, die von drei unterschiedlichen Klassen von Optimierungsmodellen auf unterschiedliche Art verfolgt werden
  - Just-in-time/Just-in-Sequence (Level-Scheduling)
  - Vermeidung von Überlastungen an den einzelnen Stationen (Mixed-Model-Sequencing/Car-Sequencing)

## Resequencing bei der Reihenfolgeplanung:

- kurzfristiges und geplantes Umstellen der Fertigungsfolge bei Störungen oder kurzfristigen Änderungen
- Aufteilung des Resequencing in zwei Teile:
  - physisches Resequencing
  - virtuelles Resequencing
- Probleme bei der Just-in-Time-Belieferung an das Fließband können beim Resequencing auftreten

# Agenda

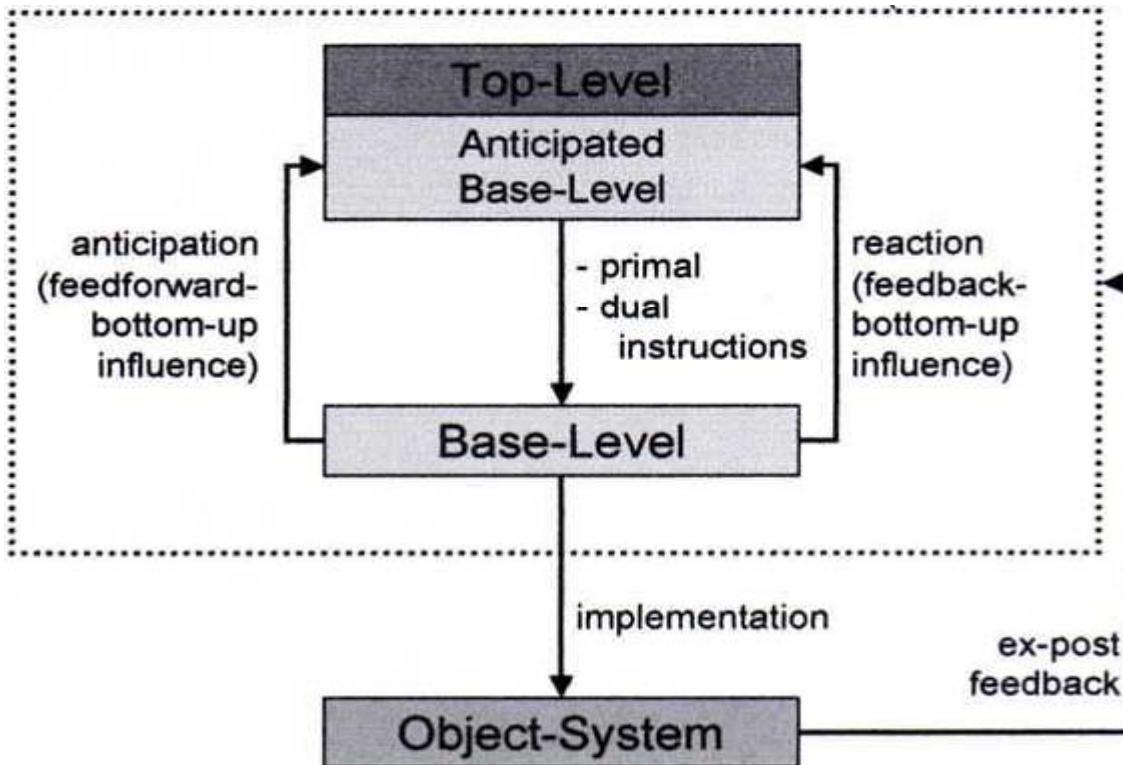
---

1. Einführung in die Variantenfließfertigung
2. Planungsprobleme bei der Variantenfließfertigung
3. Planungshierarchie bei der Variantenfließfertigung
4. Produktionsprogrammplanung
5. Reihenfolgeplanung
- 6. Hierarchische Planung der Variantenfließfertigung**
7. Fazit

## Allgemeine Bedeutung einer Hierarchischen Planung:

- Zwischen Planungsformen (zentral oder dezentral) gibt es ein Dilemma.
- Als Lösung für dieses Problem wird die Hierarchische Planung als Mischung beider Elemente vorgeschlagen.
- Es erfolgt eine Aufteilung in Ebenen (Top- und Basis-Ebene) → Hierarchienbildung als zentralistisches Element.
- Ebenenbildung ist sowohl vertikal als auch horizontal möglich.
- Die Probleme bei der Hierarchischen Planung sind auftretende Interdependenzen der oberen mit der/den unteren Ebenen.

## Aufbau der Hierarchischen Planung bei Variantenfließfertigung:



Quelle: Hierarchisches Planungssystem nach Schneeweiss

## Fließbandabstimmung und Reihenfolgeplanung:

- Stationen werden durch die Fließbandabstimmung Arbeitsgänge zugeordnet.
- Die Reihenfolgeplanung hat daraufhin die Aufgabe, die einzelnen Varianten in eine Reihenfertigungsfolge zu bringen (nur beim Mixed-Model-Sequencing bzw. Car-Sequencing).
- Zur Lösung der Probleme zwischen Fließbandabstimmung und Reihenfolgeplanung haben Boysen/Fliedner/Scholl in ihrem Arbeitspapier die Bearbeitungszeiten der Varianten an den Stationen und die durchschnittliche Bearbeitungszeit der Stationen mit einer Zielbelastung verglichen.
- Bei der Lösung der Fließbandabstimmung entstehen oft mehrere optimale Lösungen.

## Produktionsprogrammplanung und Reihenfolgeplanung:

- Ziel ist es, die Belange der Reihenfolgeplanung schon im Rahmen der Programmplanung gut zu antizipieren.
- Es gibt drei Ansätze für die Kopplung der Produktionsprogrammplanung mit der Reihenfolgeplanung:
  - Reihenfolgeplanung nach Maßgabe des Mixed-Model-Sequencing:  
Durch die Erweiterung des Grundmodells um

$$\sum_{i=1}^N t_{ik} \bullet x_{it} \leq \alpha \bullet D$$

soll eine Überschreitung der Taktzeit vermieden werden.

- Reihenfolgeplanung nach Maßgabe des Car-Sequencing:  
Hierbei sollen Verletzungen der Ho:No-Reihenfolgeregel vermieden werden. Durch die Erweiterung des Grundmodells um

$$\sum_{i=1}^n b_{io} \bullet x_{it} \leq \alpha \bullet (H_0 / N_0) \bullet P$$

soll der Programmplanung eine Grenze für die eingeplanten Optionen gesetzt werden, um die Reihenfolgeregeln einzuhalten.

- Reihenfolgeplanung nach Maßgabe des Level-Scheduling:  
Der Bedarf der eingehenden Bauteile soll gleichmäßig auf die Fertigungsfolge einer Periode verteilt werden. Mit der Nebenbedingung

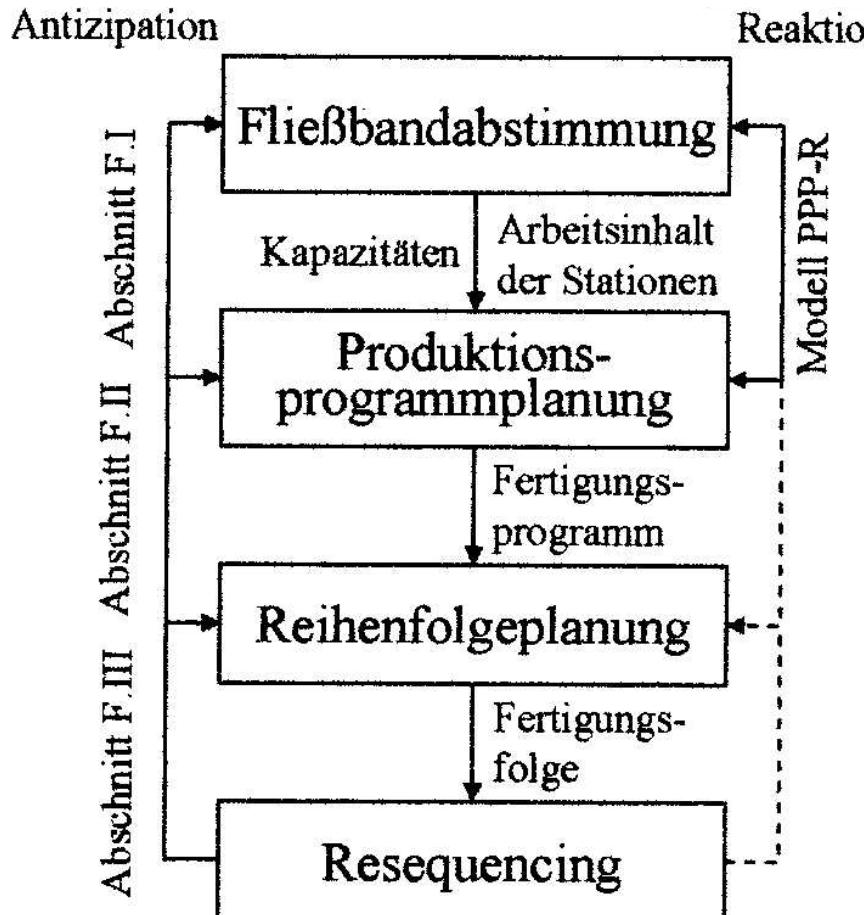
$$\sum_{i=1}^N b_{iq} \bullet x_{it} \leq \alpha \bullet \left( \sum_{i=1}^N b_{iq} / (N / P) \right)$$

soll ein gleichmäßiger Bedarfsverlauf zwischen den Fertigungsperioden sichergestellt.

## Antizipation des Resequencing:

- Resequencing wird bei Störungen erforderlich, die eine geplante Fertigungsfolge gefährden
- Deshalb fällt eine Antizipation des Resequencing in übergeordneten Planungsebenen schwer
- es ist trotzdem möglich, ein Resequencing auch bei der Hierarchischen Planung in den Bereichen Fließbandabstimmung und Produktionsprogrammplanung durchzuführen

- die voranschreitende Entwicklung der Variantenvielfalt wirft bei der Integration in die Produktion einige Schwierigkeiten auf
- dabei gibt es sowohl in der Planungshierarchie als auch in der Hierarchischen Planung der Variantenfließfertigung Probleme bei der wissenschaftlichen Umsetzung in die Realität
- Bei der Hierarchischen Planung spielen die Kopplungsformen zwischen den einzelnen Ebenen die entscheidende Rolle und werfen auch die größten Probleme auf



- besonders bei der Hierarchischen Planung bleiben viele Fragen offen, da dieses Thema in Forschungsarbeiten noch nicht genauer untersucht wurde
- durch die Variantenfließfertigung ist es möglich geworden, bei Massenproduktionen individuelle Kundenwünsche erfüllt zu bekommen

- **Boysen, N. (2005): Variantenfließfertigung, 1. Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2005**
- **Domschke, Scholl, Voß (1997): Produktionsplanung, 2. Auflage, Springer Lehrbuch, Berlin Heidelberg New York 1997**
- **Hansmann, K.-W. (1999): Industrielles Management, . Auflage, R. Oldenbourg Verlag München Wien 1999**
- **Schneeweiß, Ch. (2002): Einführung in die Produktionswirtschaft, 8. Auflage, Springer Lehrbuch, Berlin Heidelberg New York 2002**

---

**Vielen Dank  
für die Aufmerksamkeit!**