

# Fertigungsstättenplanung

**Wertschöpfungsprozess:** Stückgüter (diskret), Schüttgüter (kontinuierlich)

Produktionssystem: = Menge an Produktionselementen, denen eine bestimmte Struktur aufgeprägt ist.

Elemente: Maschinen / Vorrichtungen / Arbeitskräfte

Struktur: wird durch stoffliche und informatorische Relationen geprägt

Planung: = Vorausdenken des künftigen Produktionsprozesses, -systems & Fabrik

Produktionsprozess: Folge von Operationen (Haupt- und Hilfsoperationen)

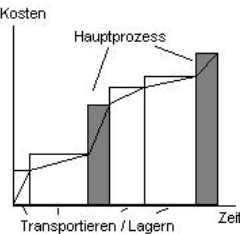
Prozessorientierung: ständiges Analysieren und Optimieren der Abläufe und Zustände der Produktion.

Prozesskette: Operationsfolge zw. Systemelementen (Quelle (Anfangsereignis) → Senke (End-))

Prozessklassifizierung: = Verfahrenshauptgruppen (UrT/UmT/Trennen...) → Verfahrensgruppen (Zerspanen)

→ Verfahren (Drehen) → technische Ausrüstungsgruppe

Wertschöpfungsprozess: Kosten Produktion = direkte Wertschöpfung,  
indirekte: Versand, Lager, Logistik



Anstieg der Kurve = Kostenintensivität des Prozesselementes

## Strategien und Konzepte:

Produktlebenszyklus: Graph (Zeit, Umsatz): Einführung, Wachstum, Sättigung, Degeneration

Planungsaufwand: Vorplanung (++) , Realisierungsplanung (+++) , Anlaufbegleitung (++) , Serienoptimierung (+) , Facelift (++)

Produktionsstrategien: Lagerfertigung: V: sofortige Lieferfähigkeit, Produktion besser planbar, gute Kapazitätsauslastung

N: hohe Bestände, hohe Produktionskosten

Bedürfnisorientiert: V: geringe Bestände, geringe Produktionskosten

(Kleinserien) N: lange Lieferzeiten, schwankende Kapazitätsauslastung, Produktion reagiert chaotisch auf Nachfrage

Fertigungszielgrößen: / **Kapazitätsauslastung** ↑ \

**Bestände** ↓ \ **Durchlaufzeit** ↓ / **Qualität** ↑

Antagonistische Optimierungsziele: Kapazität – DLZ, Kapazität – Bestände

Wandlungsfähigkeit: flexible Fabrik führt zu hoher Wirtschaftlichkeit

Anpassungsfähigkeit: Flexibilität, Variabilität, Mobilität

Entwicklungsfähigkeit: Agilität, Kreativität, Vitalität

**Elemente des Produktionssystems:** = Summe der Elemente (Gegenstände, Operante, Objekte) + Relationen

Objekte: Betriebsmittel (Immobilien, Personal, Sachmittel (Nutzungs, Verbrauchsgüter))

Finanzmittel

Daten (technische Daten (Layout, Maschinen), Produktionsdaten, Organisationsdaten)

Produktionsunternehmensmodell:



Strukturebenen: Unternehmen (Kompetenzzentren) > Fabrik (Standort, Generalstruktur) > Bereich (Produktionshalle) > Produktionssystem (Produktionslinie) > Arbeitsplatz (WZ)

Aufbauorganisation: = informationelle und disziplinarische Verknüpfung der funktionsrelevanten Struktureinheiten eines Unternehmens

Einteilung: funktionale Org. (zentrale Bereiche mit fester Verantwortlichkeit)

Divisionale Org. (dezentrale Bereiche mit fester Produktzuordnung)

Matrixorganisation (variable Aufgabenzuordnung)

Ablauforganisation: = stellt das Grobkonzept dar und bildet sequentielle/vernetzte Verknüpfungen zu den funktionsrelevanten Struktureinheiten ab, benötigt Steuerungskonzepte

## Ablauf der Planung:

Planungsphasen: Planung (Ziel-, Vor-, Grob-, Feinplanung)

Realisierung (Realisierungs-, Erprobungs-, Inbetriebnahme-, Havarieplanung)

Betrieb (Anlauf-, Hochlauf-, Normalbetriebs-, Optimierungsplanung)

Rückbau (Außerbetriebnahme-, Abriss-, Verwertungs-, Sanierungsplanung)

Planungsschritte: Produkt > Funktionsbestimmung > Dimensionierung > Strukturierung > Gestaltung

Projekt: Vorhaben, gekennzeichnet durch Eindeutigkeit der Bedingungen

Enthält: Ziel, Struktur, Einsatzmittel, Kapazitäten, Kosten, Termine, Organisationen

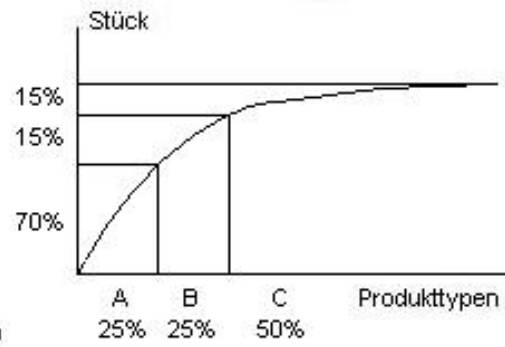
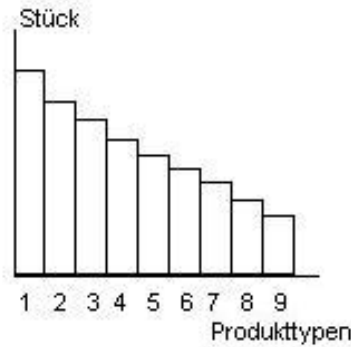
Grundsätze: Komplexität beachten, in Stufen arbeiten, mehrere Varianten, Ordnung, Projekttreue

Grundfälle: Rekonstruktion (80%) + Erweiterung (10%) + Neubau (10%)

**Produkt und Prozessbeschreibung:**

**Produktstrukturierung:**

Analyseschwerpunkte: welche Produkte (komplett/einzelteile), Mengen, Produktionszyklen, Prodstrategien  
 ABC-Analyse: 1. Systematische Mengenanalyse 2. kumulative Mengenkurve (Lorentzkurve)



25% der Produkte  
 Machen  
 70% der Produktion  
 aus > Konz.  
 auf A + B

Produktstruktur: Produkt (Drehmaschine)>Modul (Stellantrieb)>Baugruppe (Läufer)>Einzelteil  
 Klassifizierung: Fertigungsteil, Kaufteil, Montagebaugruppe  
 Stückliste: formalisiertes Verzeichnis der im Erzeugnis vorhandenen Einzelteile und Baugruppen  
 Infos: Pos-Nr, Ident-Nr, Bezeichnung, Kosten, Material, Gewicht, Abmessung, Menge

**Produktmesskriterien:**

Typenvertreter: Ziel: Reduzierung der Planungs- und Basisdatenmenge, Grdlg. für Systemdimension  
 Reale TV: Auswahl Teil/BG/Produkt und reale Stückzahl, wenn sehr ähnlich  
 Fiktive TV: Bildung von TV, wenn keine Ähnlichkeiten vorhanden  
 Kategorien und Merkmale:  
Konstruktion                      Geometrien                      Technologie                      Organisation  
 Prod. mit gleichen                      gemeinsame Prozess-                      Vorauswahl v.  
 ähnlichen Aufbau                      ketten für Prod/BG                      Prod m min Stk

Produktmesskriterien: Produktspektren: Gesamtstückzahl, TV-Klassen-Anzahl, Anzahl der Produkte pro TV, Teilevielfalt, Standardisierungsgrad, Produktkomplexität, Produktvariabilität, Marktfähigkeit, Funktionalität, Innovationsgrad,  
 Kosten: Verkaufspreis, Herstellungskosten, Umsatz, Materialkosten, Rendite

**Produktionsstrukturierung:**

Visualisierung: Knotennetzplan: Knoten = Vorgänge, Pfeile = Zustände \ \_\_\_ bei vielen Varianten  
 Pfeilnetzplan: Knoten = Zustände, Pfeile = Vorgänge / sehr unübersichtlich  
 > bei Verknüpfung von Prozessgraph und Ressourcen, sowie Eliminierung von Ressourcen-Dopplungen entsteht ein Prozessnetzwerk, welches Rückflüsse visualisiert

Produktionsmesskriterien: Fokus: Prozesskette / -netzwerk  
 Kapazität-Ist/Soll, Leistung-Ist/Soll, Komplexität, Flexibilität, Agilität, DLZ, Kosten, Automatisierungsgrad, Produktivität,

**Dimensionierung von Produktionssystemen:**

**Produktionskapazitäten:**

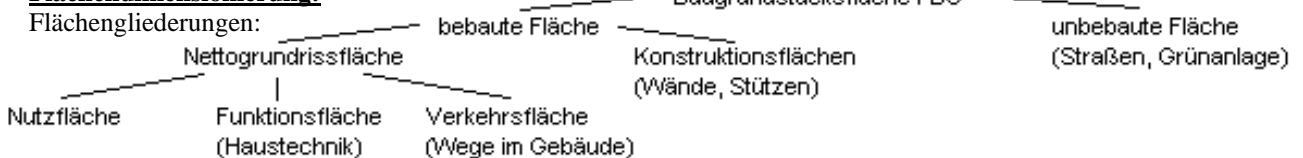
Arbeitsmengenermittlung:  $Z_{BM} := \frac{Z_L \cdot (t_R \cdot n_L \cdot t_e)}{AZ_{BM} \cdot \eta_{sch} \cdot f_N}$   
 $Z_{MA} := \frac{Z_L \cdot (t_R \cdot n_L \cdot t_e) \cdot f_{BZ}}{AZ_{MA} \cdot f_N}$

Z<sub>BM</sub>...Zahl Betriebsmittel  
 Z<sub>MA</sub>...Zahl Arbeiter  
 AZ...Arbeitszeit

$AZ_{MA} = [d_k - (d_s + d_a)] \cdot h_{sch}$   
 $AZ_{BM} = [d_k - d_s] \cdot Z_{sch} \cdot h_{sch}$   
 Z<sub>L</sub>...Losanzahl, t<sub>R</sub>...Rüstzeit/Los, t<sub>e</sub>...Einzelstück  
 η<sub>sch</sub>...Schichtfaktor, f<sub>N</sub>...Normerfüllungsfaktor,  
 f<sub>BZ</sub>...Bedienzeitfaktor, d<sub>k</sub>...Kalendertagezahl,  
 d<sub>s</sub>...Sonn und Feiertage, d<sub>a</sub>...Ausfalltage,  
 h<sub>sch</sub>...Zeitfonds/Schicht, Z<sub>sch</sub>...Anzahl Schichten

Z<sub>BM</sub> ist Entscheidungswert (harter Faktor), da Z<sub>MA</sub>...statistischer Mittelwert und je nach Bedarf stark schwankend (Personalvorhaltung nicht bezahlbar), rund 10% Kapazitätsreserve offen halten, flexible Schichtmodelle nutzen

**Flächendimensionierung:**



Flächenermittlung: Grundfläche A<sub>G</sub> > Arbeitsplatzfläche A<sub>A</sub>=f(A<sub>G</sub>) > Nettoproduktionsfläche A<sub>PN</sub>=f(A<sub>A</sub>) > Produktionsflächen A<sub>P</sub>=A<sub>PN</sub>+A<sub>PT</sub>+A<sub>PL</sub>+A<sub>PH</sub>  
 A<sub>PT</sub>...Transportfl. (25-30%), A<sub>PL</sub>...Lagerfläche (20-30%), A<sub>PH</sub>=Hilfsfläche (10-20%)

Funktionsflächen: Bedienflächen (vor WZM, Hauptbedienfläche ca. Ø1m vor Maschine)  
 Wartungsflächen (ständig freigehalten, alle Türen der WZM innerhalb offenbar (80cm))  
 Reparaturflächen (hinter WZM, kann mit mobilen Geräten zugestellt werden, 1.5m)  
 Zwischenlagerfläche (vor Bedienfläche, Paletten für Roh- und Fertigteil)

Äußere Funktionsflächenüberdeckung: Bedienflächen dürfen sich nicht überdecken, η<sub>A</sub>...(0.2-0.3) i.A. dürfen sich Funktionsflächen überdecken

$$\eta_A := 1 - \frac{A_{PN}}{\sum A_{Ai}}$$

**Materialflussdimensionierung:**

Transportsystem: Transportgut (Stück-/Schüttgut), Transport (stetig, unstetig), Transportleistung  
 Stetig = kontinuierlich, z.B. Hängebahn > Durchsatzleistung / ZE  
 Unstetig = diskrete, z.B. Stapler > Transportleistung / ZE

**Kapazitätsberechnung:**

$$Z_{TM} \dots \text{Zahl Transportmittel (z.B. Stapler)} \quad Z_{TM} := \frac{t_{TS} \cdot Z_{TS} / \text{Sch}}{t_{Sch} \cdot \eta_{Sch}} \quad \begin{matrix} t_{TS} \dots \text{Dauer Transportspiel} \\ Z_{TS} / \text{SCH} \dots \text{Zahl TS / Schicht} \\ t_{Sch} \dots \text{Schichtzeit [ZE/Sch]} \end{matrix}$$

Lager:

1. Layout: z.B. Europalette + Sicherheitsmaße (L & B+100mm, H+200mm)
2. Lagerart: ohne Lagertechnik: Wahlfrei (Bodenlager), FILA (Blocklager)  
 mit Lagertechnik: Wahlfrei (Regallager, automat. Hochregallager), FIFO/FILA (Durchlauflager)  
 > Lagermodul mit  $L_{LM} * B_{LM} * H_{LM}$   
 > Lagerdimension:  $H_L = f_{ST} * H_{LM}$ ,  $L_L = Z_{St} * L_{LM}$ ,  $B_L = Z_R * B_{LM} + B_{BG}$   
 $f_{ST}$ ..Stapelfaktor,  $Z_{St}$ ..Stapelzahl,  $Z_R$ ..Reihenzahl,  $B_{BG}$ ..Bediengasse
3. L-Reichweite:  $R_L$  [ZE],  $Z_{TB}$  [PAL-Anzahl], Bestandsmenge [ $L_{BM}/R_L$ ]  
 1. Vorgabe: Reichweite  $R_L > 2$ . Analyse erford. Bestandsmenge  
 $Lose/R_L = Lose/Sch * R_L$        $Z_{TB}/Lager = Z_{TB}/Los * Lose/R_L$
4. L-Volumen: 1. Zahl TB/LagerRW:  $Z_{BM}/R_L$       400Stk  
 2. Höhenrestriktion:  $h_{max}$       6.5m  
 3. Stapelfaktor:  $f_{ST} = h_{max}/H_{LM}$       6  
 4. Anzahl Lagerreihen:  $Z_R$       2  
 5. Anzahl Lagerstapel:  $Z_{ST} = Z_{BM}/R_L / Z_R / f_{ST}$       33.3 > 34 Stk.  
 6. Rückrechnung:  $f_{ST} * Z_R * Z_{ST}$       408 > OK  
 7. Lagermaße:  $L_L * B_L * H_L$       [aus 2.]

**Strukturierung von Produktionssystemen:**

**Technische Strukturierung:**

= repräsentiert die Soll-Beziehungen zw. BM eines PS unabhängig von räumlichen Umfeldbedingungen

Kooperationsgrad:

$$\eta_K := \frac{\sum Z_{B_{Mi}}}{\sum Z_{B_{Mges}}} \quad \begin{matrix} Z_{B_{Mi}} \dots \text{Zahl der Beziehungen zw. Betriebsmittel (Pfeile im Netzplan)} \\ Z_{B_{Mges}} \dots \text{Gesamtanzahl der Betriebsmittel} \end{matrix}$$

- $\eta_K = 1-2$ : Reihenstruktur: Stat. können übersprungen werden, mgl. keine Rückflüsse  
 $\eta_K = 3-4$ : Neststruktur: kurze Wege zu allen BM, Vor- und Rückflüsse möglich  
 $\eta_K < 4$ : Werkstattstruktur: Bildung v. Partialsystemen, dazwischen mgl. Reihenstruk  
 Varianten: nach Sparte (1 Produktgruppe pro Nest), BG (für alle Prodgruppen einen Teiletyp fertigen), Verfahrensorientierung (jedes Nest ein Verfahrgup)

**Räumliche Strukturierung:**

= repräsentiert die IST-Beziehungen zw. BM eines PS, wie sie unter den räumlichen Umweltbedingungen realisierbar sind

jede Prozesskette sollte auf kürzestem räuml. Weg verbunden sein > min. Hilfsprozesse

Optimierungskriterium:

Minimierung des Materialflusses (TUL, Logistik-Aufwand)  $Z_{BM} \quad Z_{BM} \quad Z_S \quad Z_S \quad MF_{B_{Mi,j}} \dots$  Materialfluss-

! Materialflussmatrix !

$$Q_{MF} = \sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{i=1} \sum_{j=1} MF_{B_{Mi,j}} * S_{k,l B_{Mi,j}} > \text{Min} \quad \begin{matrix} \text{intensität zw.} \\ \text{BM i und j} \end{matrix}$$

$S_{k,l B_{Mi,j}} \dots$  Weglänge zwischen Standorten von BM I und j

Strukturierungsrestriktion:

linearer Fluß

Ringfluß



Groblayout:

funktionsbereichorientiert, materialflussoptimiert, flächenanalog  
 Def.: Gebäudestruktur/Konstruktion, Systemmaße, Konstruktionsraster > x Varianten

**Layoutgestaltung:**

= maßstäbliche, funktionsgerechte Darstellung aller Produktions- und Gebäudetechnischer Ausrüstungen in einem gemeinsamen Werkplan

Techn. Anlagen:

Maschinen, Anlagen, Montage-AP. TUL-Technik, Sonderanlagen (Luftabsaugung)

Gebäude:

Bauwerk (z.B. Produktionshalle, Verwaltung), Haustechnik (Medienver-/entsorgung)

Zumutbare Hebelasten:

im Interval 5': Frauen: 10kg, Männer: 15-18a: 20kg, 19-45a: 30kg, >45a: 25kg  
 grundsätzlich: Breite des Haupttransportweges > 3m, Ecken brechen: R~500mm

Transportwege:

Einbahn:  $B_{TW} = B_{TM} + 2 Z_1$        $B_{TM} \dots$  Breite Transportmittel,  $Z_1 \dots$  Reserve  
 Gegenverkehr:  $B_{TW} = 2 B_{TM} + 2 Z_1 + Z_2$  (500mm),  $Z_2 \dots$  Abstand zw. 2TM (400mm)  
 Bei Nebentransportwegen evtl. Ausnahmen

Checklisten:

380V, 220V, Dateninfo, Heizung, Lüftung, Klima, Beleuchtg, Druckluft, techn. Gase, Wasser, Abwasser, Hydraulik, Absaugung (Gase, Stäube)

Feuerwiderstandsklassen:

F0...Stahl, F30/60...Stahl beschichtet, F90...Stahl ummantelt, F120/180...Stahlbeton

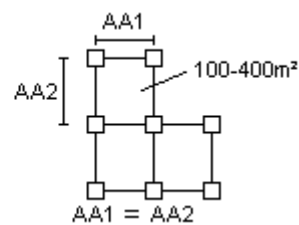
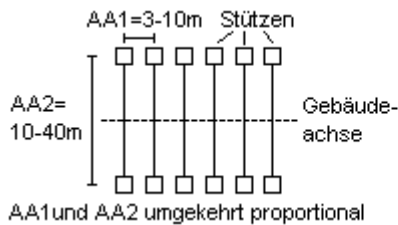
(0-180=Standzeiten[min])

Maßnahmen: Gestaltung von Brandabschnitten mit Brandwänden und -Türen  
 > statische Entkoppelung der Abschnitte  
 Sprinkleranlagen, Feuermeldesysteme, hohe Versicherungsprämie

Industriebauwerk:

Schiffbauweise:

Modulbauweise:



Unterscheidung zw. Layoutplanungsraaster und Gebäuderaster mit Ziel der Übereinstimmung, da Stützen dann in den Ecken und Orientierungshilfen für Layout Systemmaße, Schnittstellen und Türen, Haustechnik, Medienver- und Entsorgung (Kanäle und Leitungen), Brandschutz

Checklisten:

**Lüftung und Klimatisierung:**

Raumklimafaktoren: Raumtemp.  $t_R$ :  $t_{empfunden} = (t_L + t_{Str})/2$   $t_L$ ...Lufttemp,  $t_{Str}$ ...Strahlungstemp(h=75cm)  
 Luftfeuchte  $\phi_{rel} = p_D/p_S$  19-21% empfohlen  
 O<sub>2</sub>Gehalt bei 20°C ca. 21% (fallend mit steigend T)  
 Luftreinheit R, Raumluftgeschwindigkeit  $v_L$

Lüftungsarten:  
 (Druck bezieht sich auf Rauminnere)  
 Wärmebilanz:

Raumluftbedarf:  $V^{\circ}_A = V_R * Z_L/Z_P$   $V_R$ ...Raumvolumen,  $Z_P$ ...Personenanzahl  
 $Z_L$ ...Luftwechsellzahl [h<sup>-1</sup>]: Büro: 0.5, MB > 0.5, Lackieren: 20-50  
 freie L: Thermiklüftung, Querlüftung (bzw.kombiniert)> $Z_L$  bis 0.5 erreichbar  
 Zwang: Überdrucklüftung: wenn Schadstoffkonzentration außen höher  
 Unterdrucklüftung: wenn Schadstoffkonzentration innen höher  
 zuzuführende Wärme:  $Q^{\circ}_{NH} = Q^{\circ}_T + Q^{\circ}_L - Q^{\circ}_P - Q^{\circ}_S$  mit  $Q^{\circ}_S$ =Solargewinn  
 Verlust d. Boden/Wände:  $Q^{\circ}_T = A_w * k_w * \Delta t$  mit  $k_w=1/(R_i+R_a+R_w)$   
 Verlust d. Luftstrom:  $Q^{\circ}_L = V^{\circ}_L * c_L * \rho_L * \Delta t$  mit  $\rho_L = 1.3kg/m^3$   
 Produktionswärmestrom:  $Q^{\circ}_P = Q^{\circ}_{BM} + Q^{\circ}_{Beleuchtung} + Q^{\circ}_{Mensch}$   
 $Q^{\circ}_{BM} = P_{Ngesamt} * f_A * f_G * \eta$  mit  $P_N$ ...Nennleistungen  
 $Q^{\circ}_{Mensch}=100-600W$   $f_A$ ...Auslastgsfaktor,  $f_G$ ...Gleichzeitigkeitsfaktor  
 $Q^{\circ}_{Beleuch} = E * A * q * \eta_L$  mit  $q$ ...Wärmeabgabe L  
 $E$ ...Beleuchtungsstärke (lx),  $A$ ...beleuchtete Fläche

Heizungstechnik:

Wärmeträger: Wasser, Luft Wärmeabgabe: Konvektion, Strahlung  
 Energieträger: Gas, Öl, Elektro, Fernwärme, Prozessenergie  
 Heizkörper: Radiatoren, Konvektoren, Strahlplatten, Luftheizer, Fußbodenheizg  
 Hellstrahler: für hohe Räume, ca. 900°C, Geräuschlos,  
 Dunkelstrahler: bis 8m Raumhöhe, energetisch gut, Zugempfindl.

**Künstliche Beleuchtung:**

Beleuchtungsstärke:  $E = \phi / A$  [Lux] mit  $\phi=1380Lm$  für Glühlampe 100W,  $\phi=1200W$  für 20W Leuchtstoff  
 Lampenarten: Temperaturstrahler (Glühl. 1x), Nieder- (LS 2x), Hochdruckentladungsl. (ND 10x)  
 Nennbeleuchtungsstärke: Grobmontage (200Lux), Mittelfeine Montage (300), Fein- (500), Kontrolle (+700)  
 Berechnung:  $\phi_{eff} = E_N * A / \eta_B = Z_{LE} * \phi_{LE} \rightarrow Z_{LE} = (E_N * A) / (\eta_B * \phi_{LE})$   
 $\rightarrow Z_{LE}$  immer aufrunden,  $Z_{LE}/$ Raster: Rasterlänge = 6m

**Grundsätze:**

Regeln:

Widerspruch technolog. Funktionale Struktur (Abteilungen) zu Unternehmensführung  
 Kostenbasierter (Produkt/Prozessablauforientierte Struktur mit flacher Hierarchie)  
 $\rightarrow$  führt zu Strategie der max. Ressourcenauslastung ABER: hohe DLZ+Bestände  
 DLZ-Reduzierung als Primärziel, Puffer und Bestände reduzieren,

Durchlaufzeiten:

kleine Losgrößen (hohe Belegungsflexibilität, ABER benötigt Rüstzeitminimierung),  
 Transportlose bilden > Versuch von kontinuierlichen Transport > Lose splitten,  
 Engpasskapazitäten nicht mehr als 80% auslasten, Kombi von Pull+Push  
 Reduzieren durch: Pufferbestände  $\downarrow$ , Lose splitten+parallel, Rüst-/Prozesszeit  $\downarrow$   
 $DLZ = B_p / P_L$   $B_p$ ...Bestand/PS  $P_L =$  Produktionsleistung [ZE/Stk]  
 Bsp:  $B_p=5$  mit  $P_L=1/d \rightarrow DLZ=5d$  mit Puffern (2):  $B_p=15 \rightarrow DLZ=15d$  !!!  
 Taktzeit [ZE/Stk]:  $t_T = t_{Prod} / P_L$  mit  $t_{Prod}$ ...Produktionszeitraum [ZE]  
 Taktzahl [Stk]:  $Z_T = t_{AVProd} / t_T$  mit  $t_{AVProd} =$  Arbeitsvolumen/Produkt  
 Bsp:  $t_{Prod} = 8h/d$  (1Sch),  $P_L=40Stk/d$ ,  $t_{AVProd}=120min/Stk \rightarrow t_T = 12min/Stk$ ,  $Z_T=10$   
 $DLZ = 10 * 12 = 120'$  mit 3er Puffer:  $DLZ = 4 * 10 * 12 = 480'$

Gesetzmäßigkeiten:

für mehrstufiges komplexes PS gilt: Steigende Bestände  $\rightarrow$  höhere Auslastung +  
 Produktionsleistung, ab ca. 90% Auslastung steigen Bestände überproportional zur  
 Produktionsleistung an (Warteschlangen laufen voll)  $\rightarrow$  80-90% Auslastung

Losgrößenoptimierung:

$L := \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot d}{c \cdot \left(1 - \frac{d}{p}\right)}}$   
 R...Rüstkosten/Rüstkostvorgang [€]  $R \sim L$   
 d...Nachfragerate [Stk/Betrachtungszeitraum]  $d \sim L$   
 c...Lagerhaltungskosten [€/Stk,BZ]  $c \sim 1/L$   
 p...Produktionsrate [max. Prodlstg/BZ]  $p \sim L$   
 $\rightarrow$  Problem: nur Optimierung pro WZM  
 i.d.R. variieren in der Prozesskette: R (Rüstkosten/WZM), p (Produktionsleistung der WZM), c (Lagerkosten, da Wertschöpfung im Prozess steigend)