

**Inkompetente Dimensionierung**



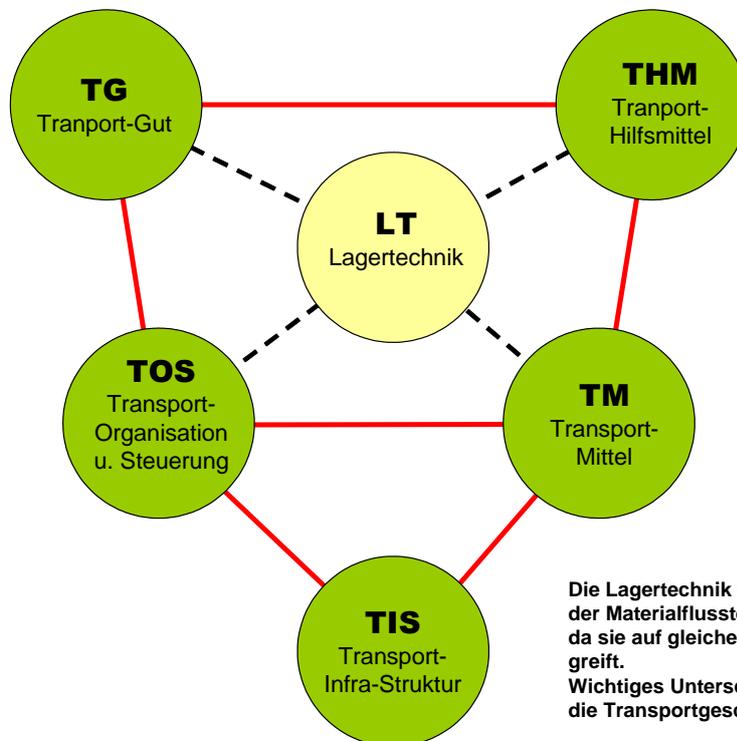
**Inkompetente Bedarfsanalyse**



**Inkompetente Steuerung**



**Inkompetente Beladung**



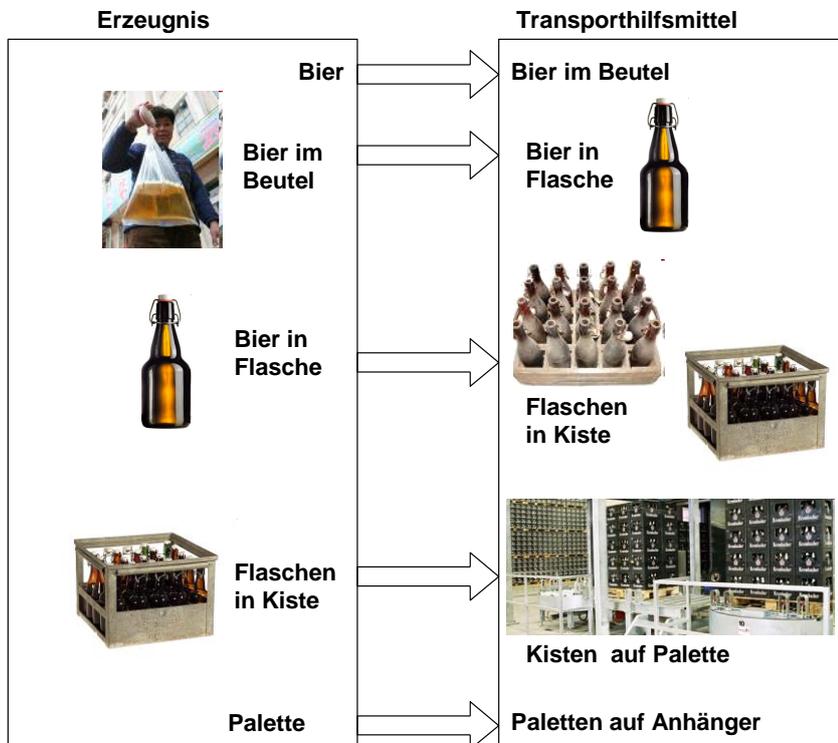
Stetigförderer	Unstetigförderer		
Automatisch	Automatisch	Mechanisiert mit Manuell. Steuerung	Manuell
Paternoster, Kette, Karussell, Förderband, Schnecke Strömung (Luft, Wasser,...) Magnetismus, Freier Fall Rollenbahnen Rutschen Rohre Schwingrinnen etc.	RFZ, FTS Fahrstuhl, Rundscharltisch, Hubbalken Portalroboter Drohne, etc.	Regalbediengerät, Kräne Flurförderzeug Flugzeug Bahn Stapler Lkw, Auto, Bus Schiff etc.	Mensch Rollwagen, Handhubwagen, Wurf etc.

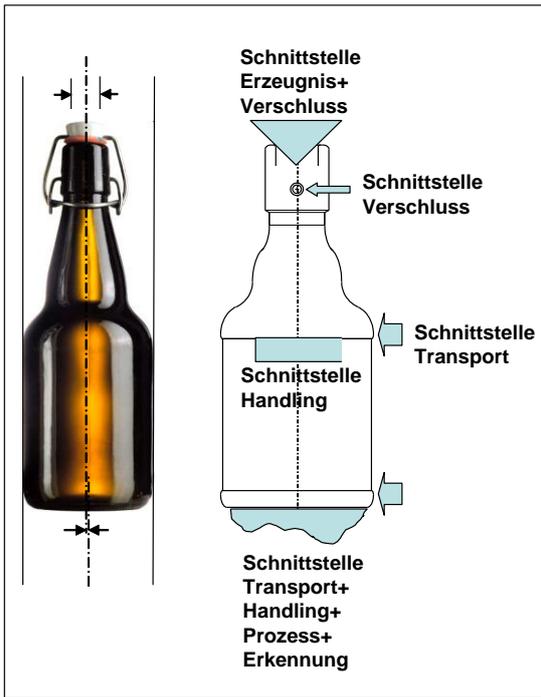
Stetigförderer erwarten Prozesse, die sich mitbewegen.

Der Zyklus eines Unstetigförderers wird mit einer Pause beendet, die in der Regel für wertschöpfende Zwecke genutzt wird, so dass der Prozess selbst nicht bewegt werden muss.

Starre Güter		Breiige, flüssige u. gasförmige Güter		
Merkmalsabfrage, Vereinzeln, Portionieren				
Verhalten im Haufwerk		Fließfähigkeit		
Bruchfestigkeit		Aggregatzustände		
Magnet. Eigenschaften				
Elektrostat. Eigenschaft.				
Elast. Verhalten				
Geometrie				
definiert	undefiniert			
Schwerpunkt				
Vorzugslage				
Ausrichtung				
Lagenstabilität				
Toleranzen				
				

Verwendungszweck				
Starre Güter		Breilige Güter	Flüssige Güter	Gasförmige Güter
bestimmte Geometrie	Unbestimmte Geometrie			
				
				





**Schnittstelle: Erzeugnis**

Aufnahmekapazität: 333 ml +/- 5ml  
 Gasdichtigkeit: erforderlich  
 Nikotinfreiheit: erforderlich  
 Schimmelfreiheit: erforderlich

**Schnittstelle: Prozess/Handling**

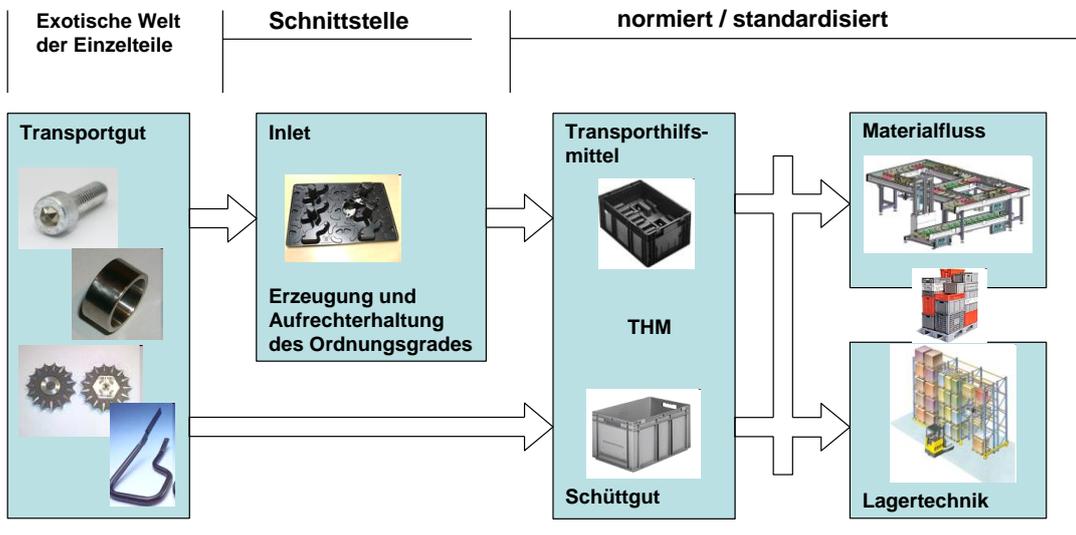
Verschlusskraft: undefiniert  
 Verschließen: undefiniert, störanfällig  
 Ausrichten um die Längsachse  
 Ausrichtmerkmale fehlen

**Schnittstelle: Transport**

Rotationsfreiheitsgrad  
 Bruchfestigkeit: axial gut  
 Bruchfestigkeit: radial schlecht  
 Staudruckfähigkeit stark beschränkt

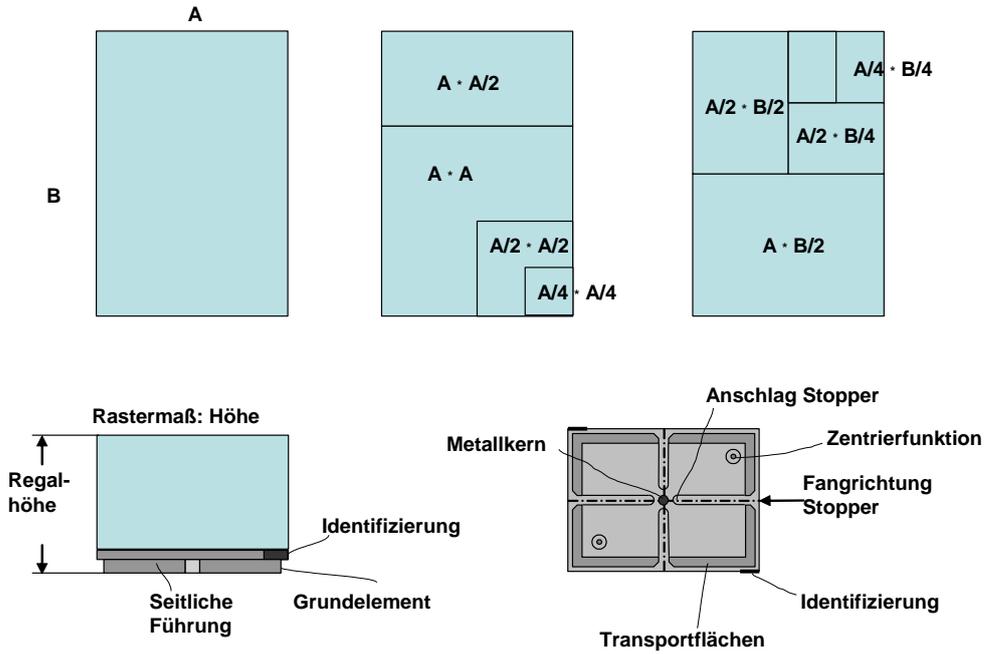
**Schnittstellen-Problematik: Toleranz-Geflecht**

Wandstärken von 1,5mm - 3,3mm  
 Durchmesser von 69,5mm - 70,9mm  
 Mundstück-Innendurchmesser: 18,5mm - 19,5mm  
 Rundlauf: +1,5mm bzw. -1,5mm  
 usw.



Rastermaß: Grundfläche

Industrieübliches Maß:  $A = 800\text{mm}$ ,  $B = A \cdot 3/2 = 1200\text{mm}$



### Schwerkraft, Schiefe Ebene

#### Haften

$H \leq R$
$R = \tan(\beta) \cdot N$
$R = \mu_H \cdot N$

#### Gleiten

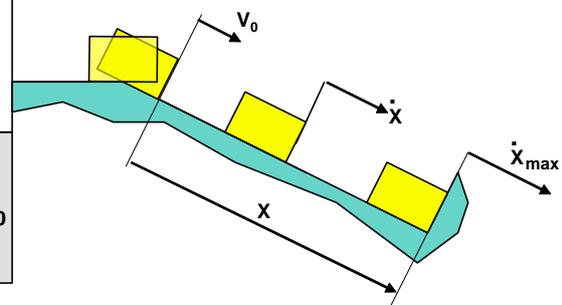
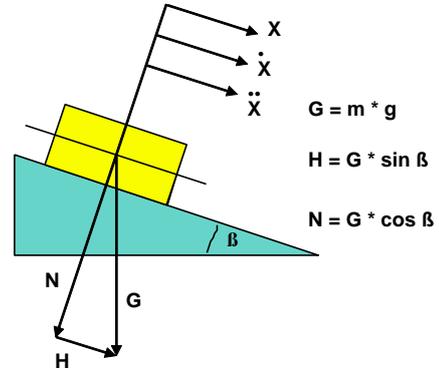
$$m \cdot \ddot{X} = H - R$$

$$\ddot{X} = g \cdot \sin \beta - \mu_G \cdot g \cdot \cos(\beta)$$

$$\int \ddot{X} dt = \int g \cdot \cos(\beta) \cdot (\tan(\beta) - \mu_G) dt + V_0$$

$$\dot{X} = t \cdot g \cdot \cos(\beta) \cdot (\tan(\beta) - \mu_G) + V_0$$

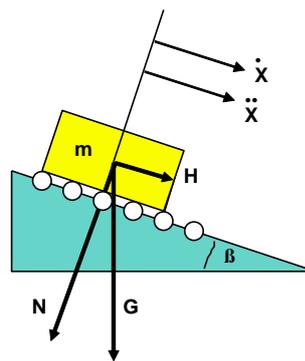
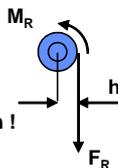
$$X = \frac{t^2}{2} g \cdot \cos(\beta) \cdot (\tan(\beta) - \mu_G) + t \cdot V_0 + X_0$$



## Schwerkraft, Schiefe Ebene

Reibungs-Moment  
( masselose Rollen )

AR : Anzahl Rollen im Eingriff  
M<sub>R</sub> u. F<sub>R</sub> gemäß Herstellerangaben !



$$G = m \cdot g$$

$$H = G \cdot \sin \beta$$

$$N = G \cdot \cos \beta$$

Rollenbahn

$$m \cdot \ddot{X} = H - AR \cdot F_R$$

$$\int \ddot{X} dt = \frac{H}{m} \int dt - \frac{AR \cdot F_R}{m} \int dt + V_0$$

$$\dot{X} = ( H - AR \cdot F_R ) \frac{t}{m} + V_0$$

$$X = ( H - AR \cdot F_R ) \frac{t^2}{2 \cdot m} + t \cdot V_0 + X_0$$

## Schwerkraft, Schiefe Ebene

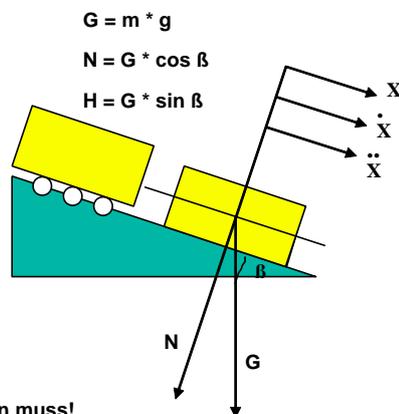
Zykluszeit-Ermittlung

allgemein gilt:  $X = ( A / 2 ) \cdot t^2 + t \cdot V_0$

Gleiten :  $A = ( \tan(\beta) - \mu_G ) \cdot g \cdot \cos(\beta)$

Rollen :  $A = ( H - AR \cdot F_R ) / m$

$$0 = t_1^2 + \frac{2 \cdot V_0}{A} t_1 - \frac{2 \cdot p \cdot L}{A}$$



$$G = m \cdot g$$

$$N = G \cdot \cos \beta$$

$$H = G \cdot \sin \beta$$

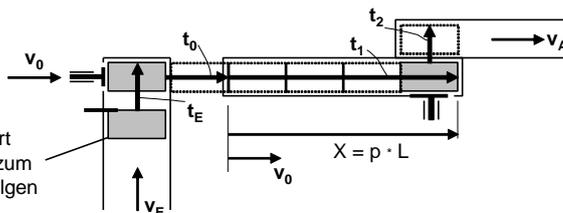
Zykluszeit, wenn Puffer leer bleiben muss!

L : Länge des Produkts  
p : Anzahl der Plätze

$$ZZ(TR) = t_0 + t_1 + t_2$$

$$X = p \cdot L$$

Der ReinTransport kann frühestens zum Zeitpunkt ZP erfolgen



## Schwerkraft, Schiefe Ebene

Unelastischer Stoß, hier: Startbedingung  $v_A = 0$

$$m_{TG} \cdot v_{TG} + m_A \cdot v_A = m_G \cdot v_G$$

nach dem Stoß, vor dem Einfedern

$$m_G = m_A + (n+1) \cdot m_{TG}$$

$$v_G = \frac{m_{TG}}{m_G} v_{TG}$$

$$v_G = \dot{x} \quad \sin(\omega t) = 1$$

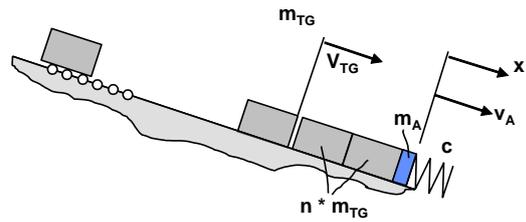
$$x_0 = - \frac{m_{TG} v_{TG}}{m_G \omega}$$

$$F = m_G \cdot \ddot{x} = - m_G \cdot x_0 \cdot \omega^2$$

$$F = m_{TG} \cdot \omega \cdot v_{TG}$$

$$F = m_{TG} \cdot v_{TG} \sqrt{\frac{c}{m_G}}$$

Anschlag ist i.d.R. als Feder-Masse-System ausgelegt



Einmassenschwinger,  
ungedämpft

$$m : \text{N s}^2 / \text{m}$$

$$c : \text{N} / \text{m}$$

$$v : \text{m} / \text{s}$$

$$m_G = m_A + (n+1) \cdot m_{TG}$$

$$x = x_0 \cdot \cos(\omega t)$$

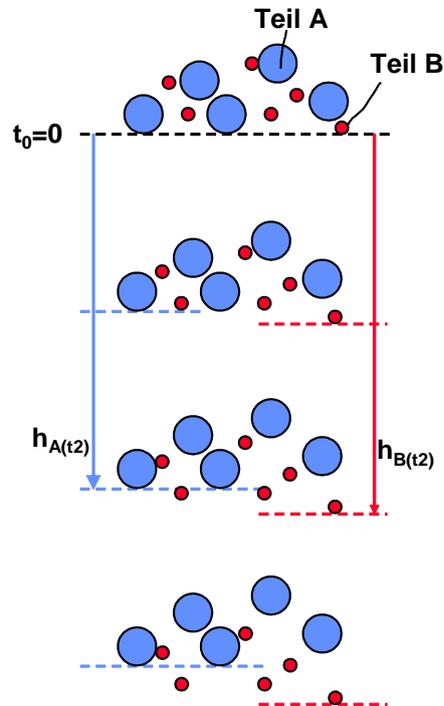
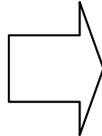
$$\dot{x} = - x_0 \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$

$$\ddot{x} = - x_0 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t)$$

$$\text{mit } \omega = \sqrt{\frac{c}{m_G}}$$

# Schwerkraft, Freier Fall mit Newton-Reibung

Manipulation  
durch weitere  
Kraftzufuhr



A: Stirnfläche des fallenden Körpers

$\rho$ : Luftdichte [ $\text{kg/m}^3$ ]

$c_w$ : Strömungswiderstandskoeffizient

$g$ : Erdbeschleunigung

$m$ : Masse des fallenden Teils

Fallweg mit Reibung

$$h(t) = H - \frac{m}{\alpha} \ln(\cosh(\epsilon))$$

Geschwindigkeit mit Reibung

$$v(t) = -\sqrt{\frac{m \cdot g}{\alpha}} \cdot \tanh(\epsilon - C)$$

Geschwindigkeit mit Reibung

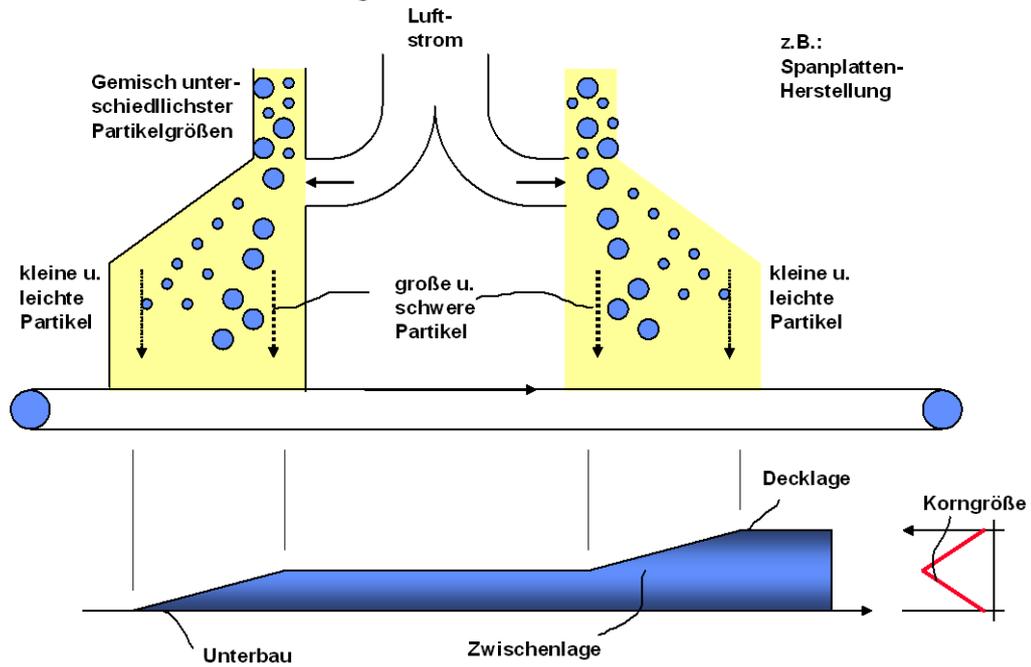
$$a(t) = -\frac{g}{\cosh^2(\epsilon)}$$

Fallweg mit Reibung

$$\alpha = c_w \cdot \rho \cdot A$$

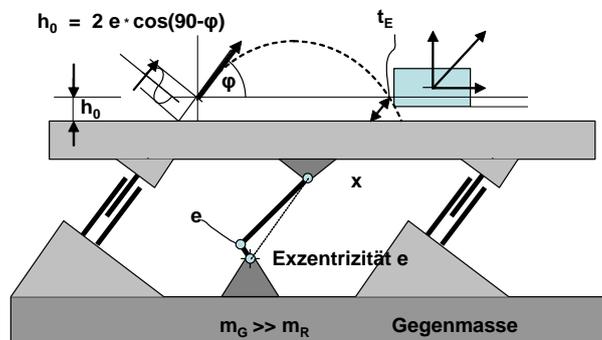
$$\epsilon = \sqrt{\frac{\alpha \cdot g}{m}} \cdot t$$

**Schwerkraft  
Freier Fall und Newton-Reibung**



z.B.:  
Spanplatten-  
Herstellung

**Schwingrinne**



Horizontaler Weg

$$x(t) = v_0 \cdot t \cdot \cos(\varphi)$$

Vertikaler Weg

$$y(t) = v_0 \cdot t \cdot \sin(\varphi) - g \cdot t^2 / 2$$

Horizontale Geschwindigkeit

$$v_x = v_0 \cdot \cos(\varphi)$$

Vertikale Geschwindigkeit

$$v_y = v_0 \cdot \sin(\varphi) - g \cdot t$$

Gleichung der Wurfbahn

$$y(x) = - \frac{g}{2 v_0^2 \cdot \cos^2(\varphi)} x^2 + x \cdot \tan(\varphi)$$

## Schwingrinne

### Berechnungsansatz:

Am Ende der Wurfbahn hat die Rinne eine Schwingung durchlaufen, so dass der nächste Abwurfpunkt die gleiche Ausgangssituation mit  $v_0$  ergibt.

### Vertikaler Weg

$$y(t) = v_0 \cdot t \cdot \sin(\varphi) - g \cdot t^2/2$$

Zum Beginn/Ende der Wurfbahn gilt:

$$y(t) = 0 = (v_0 \cdot \sin(\varphi) - g \cdot t/2) \cdot t$$

$$t_E = \frac{2 v_0 \cdot \sin(\varphi)}{g} \quad t_A = 0$$

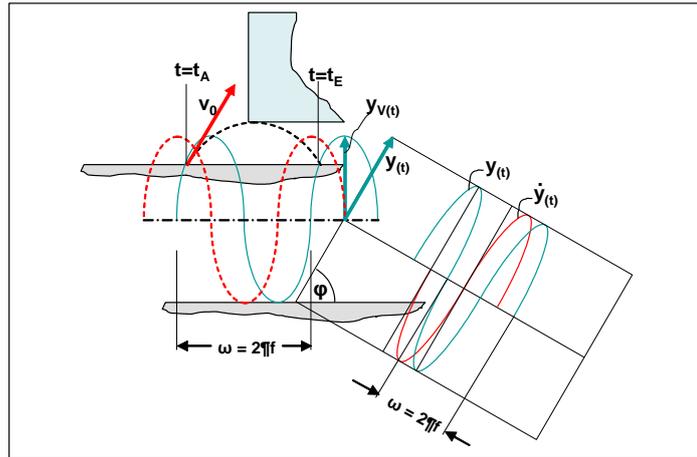
Die Schwingrinne

$$y(t) = e \cdot \cos(\omega t)$$

$$\dot{y}(t) = v_0 = -e \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$v_0 = v_{MAX} = e \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \quad \Rightarrow$$



Es soll gelten:

Periodendauer  $t_p =$  Wurfzeit  $\Delta t$

$$t_p = 1/f$$

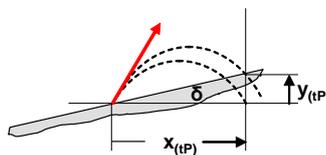
$$t_p = \Delta t = t_E - t_A$$

Erforderliche Schwingfrequenz

$$\frac{1}{f} = \frac{2 v_0 \cdot \sin(\varphi)}{g}$$

$$f^2 = \frac{g}{4 \cdot \pi \cdot e \cdot \sin(\varphi)}$$

$$t_p = \Delta t = t_E - t_A$$



### Horizontaler Weg

$$x_{(tP)} = v_0 \cdot t_p \cdot \cos(\varphi)$$

zu überbrückende Höhe

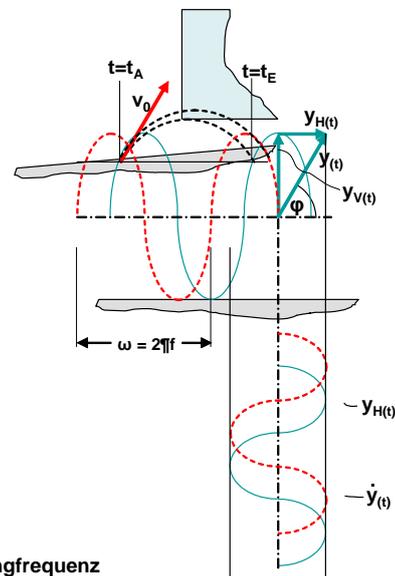
$$y_{(tP)} = x_{(tP)} \cdot \tan(\delta)$$

$$y_{(tP)} = v_0 \cdot t_p \cdot \cos(\varphi) \cdot \tan(\delta)$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

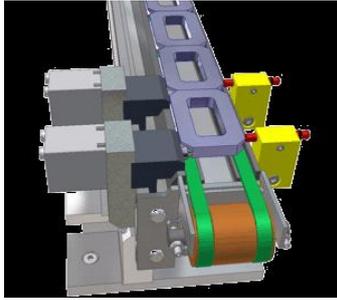
$$v_0 = e \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \quad t = t_p = 1/f$$

$$y(t) = (v_0 \cdot \sin(\varphi) - g \cdot t/2) \cdot t$$



Neuberechnung der Schwingfrequenz

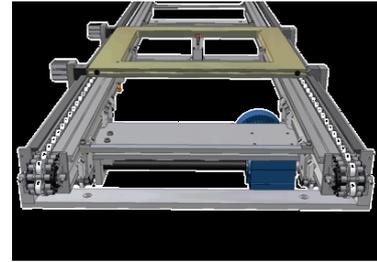
$$f^2 = \frac{g}{4 \pi e (\sin(\varphi) - \cos(\varphi) \tan(\delta))}$$



Doppelgurt



Vertikal



Staurollen

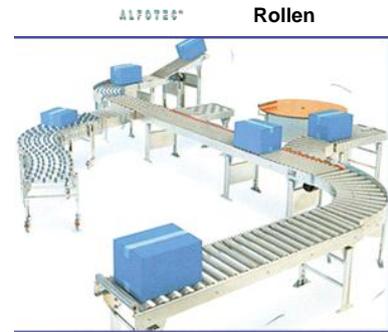


Riemen

Kurvengurt



Gurt



Rollen

### Umlaufende Zugmittel, staufähig

- R : Radius der Umlenkrolle [m]
- $V_{ZM}$  : Geschwindigkeit [m/min]
- $X \cdot m_{TG}$  : Gesamtmasse der THM auf Unterlage
- $m_{ZM}$  : Masse des Zugmittels auf Unterlage
- $\mu_{ZM-U}$  : Reibbeiwert Zugmittel/Unterlage
- $F_{ZUL}$  : Zulässige Kraft pro Zugmittel

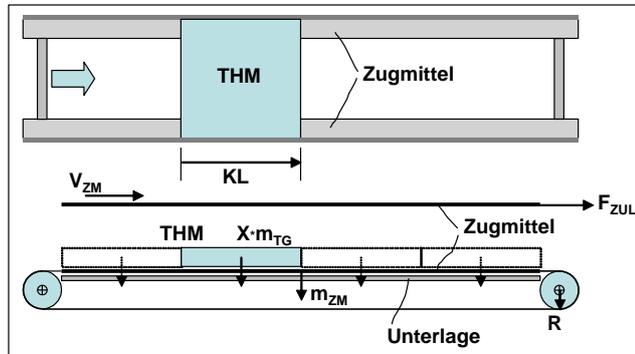
Drehzahl des Motors

$$n = \frac{V_{ZM}}{2 \cdot \pi \cdot R} \quad [\text{U/min}]$$

Zykluszeit des THM in Fahrrichtung

$$ZZ_{THM-KL} = KL / V_{ZM} \quad [\text{s}]$$

Grenzlänge der Förderstrecke FS



n : Anzahl Zugmittel

Kräftegleichgewicht

$$n \cdot F_{ZUL} = (X \cdot m_{TG} + m_{ZM}) \cdot g \cdot \mu_{ZM-U}$$

Maximale Beladung des Zugmittels

$$X < \frac{n \cdot F_{ZUL} - m_{ZM} \cdot g \cdot \mu_{ZM-U}}{m_{TG} \cdot g \cdot \mu_{ZM-U}}$$

Maximales Antriebsmoment

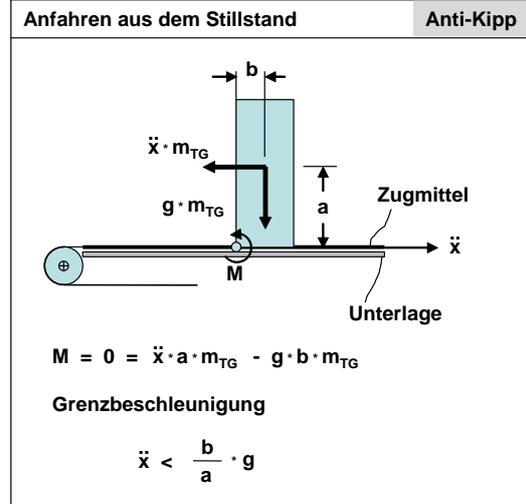
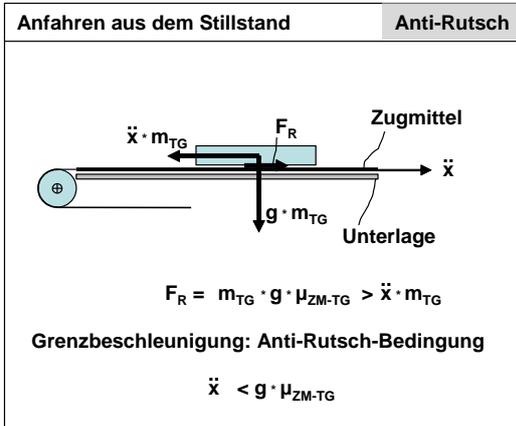
$$M_{ZUL} = n \cdot R \cdot F_{ZUL}$$

## Umlaufende Zugmittel, staufähig

$m_{TG}$  : Gesamtmasse x Transportgüter pro Unterlage

$\mu_{ZM-TG}$  : Reibungskoeffizient Zugmittel/THM

$F_R$  : Reibkraft THM/Zugmittel



Für das Stoppen aus voller Fahrt gilt Ähnliches

## Umlaufende Zugmittel, unter Staubbedingungen

$m_{TG}$  : Masse THM

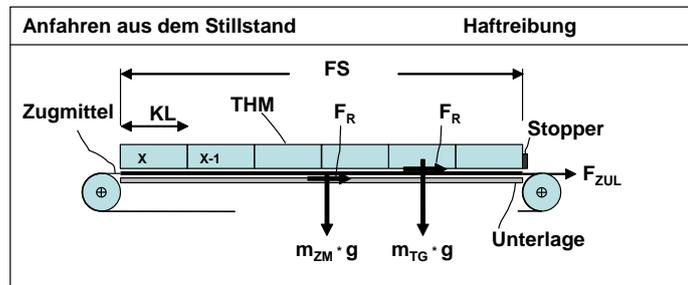
$\mu_{ZM-TG}$  : Reibbeiwert Zugmittel/THM

$F_R$  : Reibkraft THM/Zugmittel

KL : Kantenlänge in Fahrtrichtung

n : Anzahl Zugmittel

$F_{ZUL}$  : Zul. Kraft pro Zugmittel



Kräftegleichgewicht

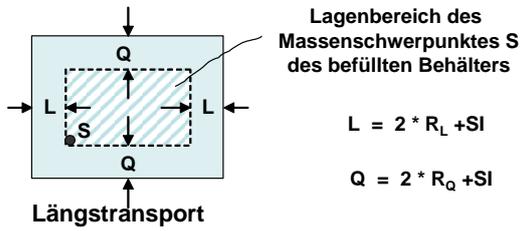
$$n \cdot F_{ZUL} = (X \cdot m_{TG} \cdot g + m_{ZM} \cdot g) \cdot \mu_{ZM-U} + X \cdot m_{TG} \cdot g \cdot \mu_{TG-ZM}$$

Grenzstückzahl  $X_{ZUL}$

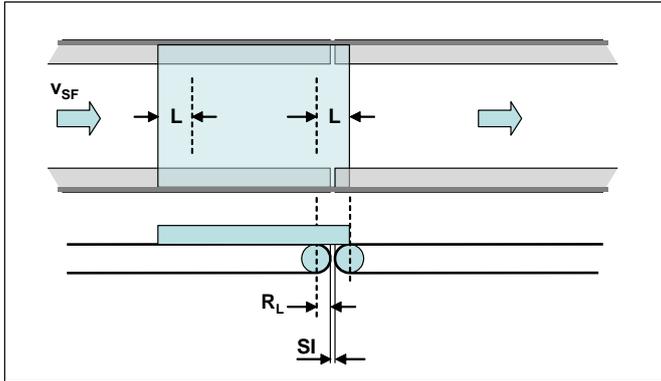
$$X_{ZUL} = \frac{n \cdot F_{ZUL} - m_{ZM} \cdot g \cdot \mu_{ZM-U}}{m_{TG} \cdot g \cdot (\mu_{ZM-U} + \mu_{TG-ZM})}$$

## Umlaufende Zugmittel

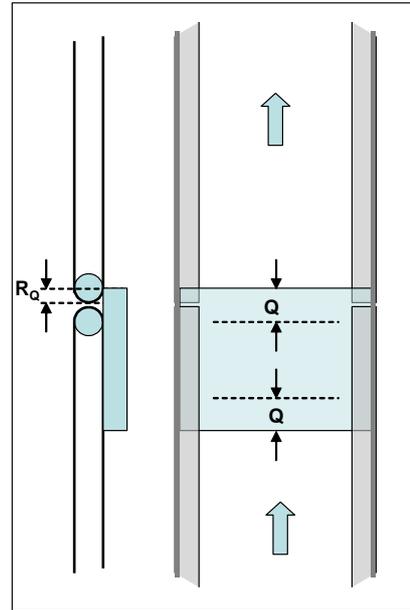
Übergang zwischen Fördersegmenten



Längstransport



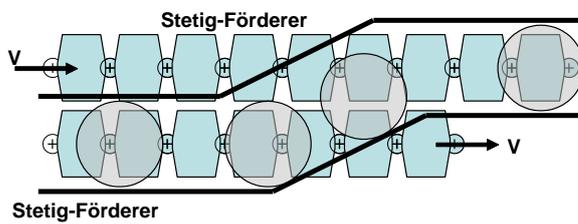
Quertransport



## Umlaufende Zugmittel

Gleitkette

Übergabe-Situation

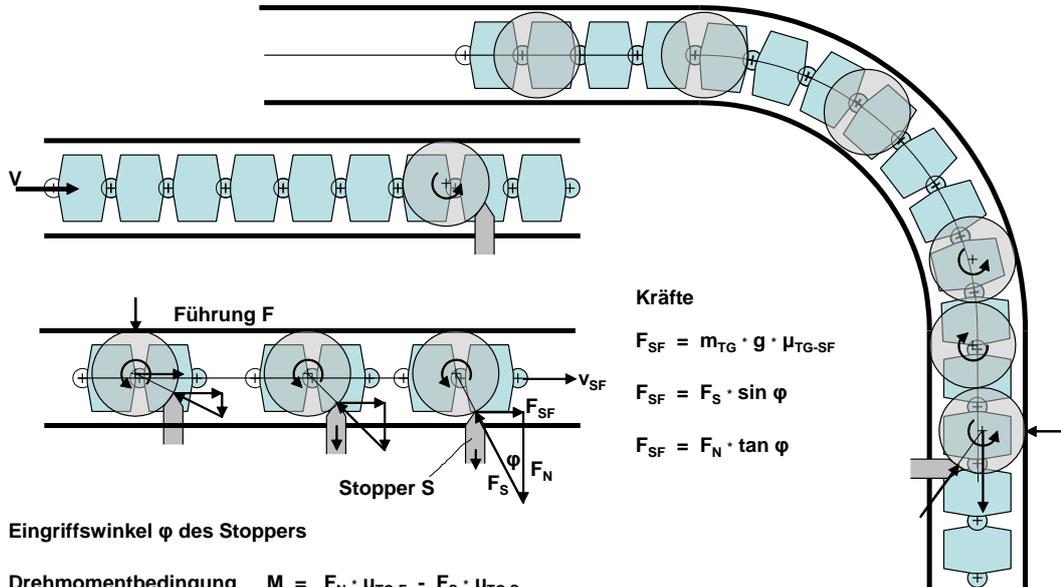


Richtungsvariable Kette

Radius



**Umlaufende Zugmittel, staufähig, kurvenfähig  
Stoppen von Gütern**



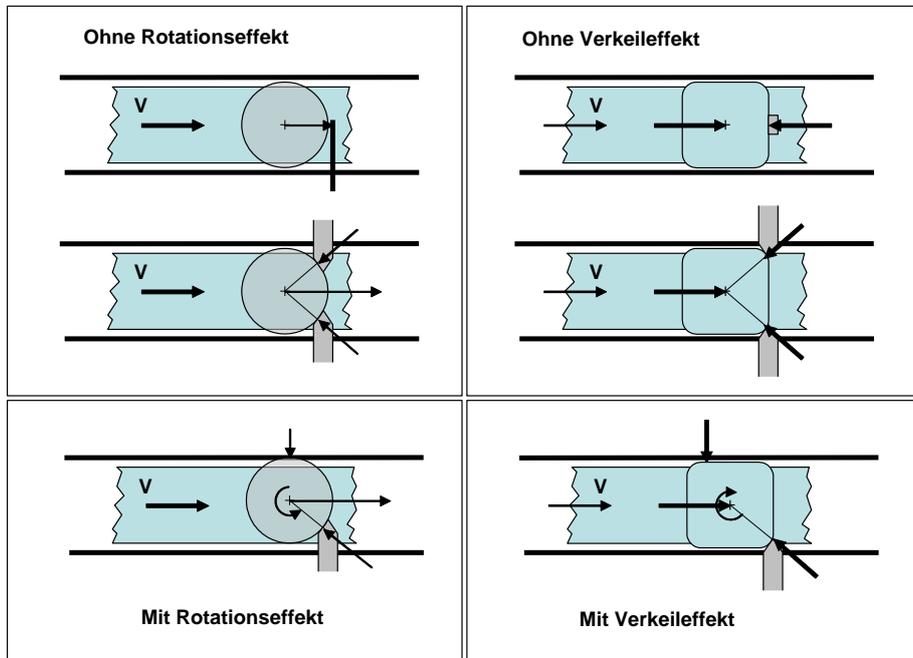
Eingriffswinkel  $\varphi$  des Stoppers

Drehmomentbedingung  $M = F_N \cdot \mu_{TG-F} - F_S \cdot \mu_{TG-S}$

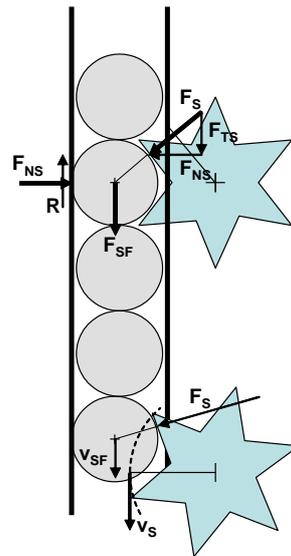
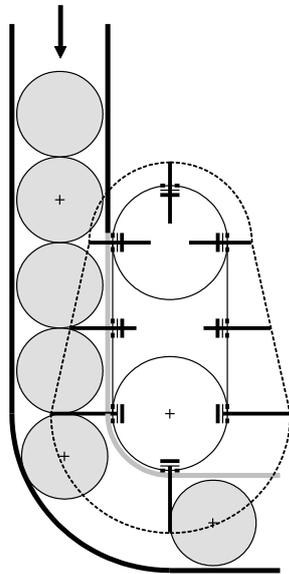
$$M = \left[ \frac{\mu_{TG-F}}{\tan \varphi} - \frac{\mu_{TG-S}}{\sin \varphi} \right] \cdot m_{TG} \cdot g \cdot \mu_{TG-SF}$$

Mit hoher Wahrscheinlichkeit links und/oder rechts drehend

**Umlaufende Zugmittel, Stoppen von Gütern**

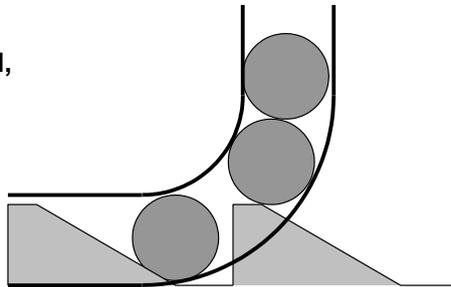


### Umlaufende Zugmittel, Vereinzelung

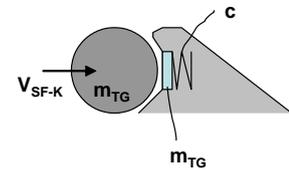


Klemmneigung:  $v_{SF} < v_s$

### Umlaufende Zugmittel, Vereinzelung

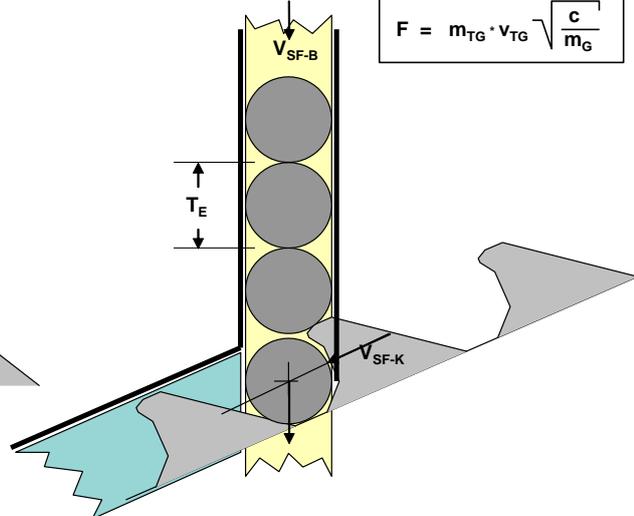
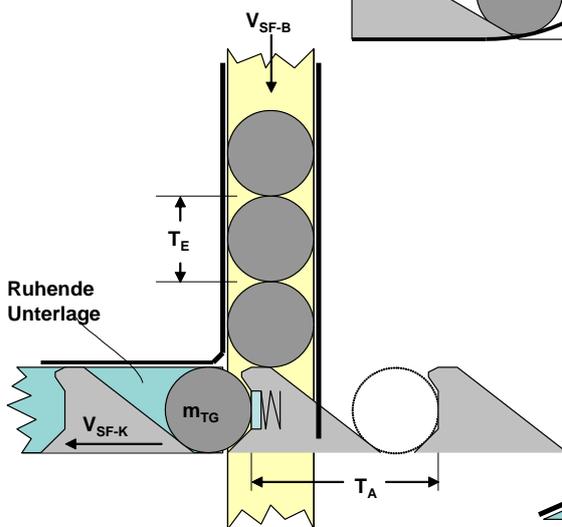


#### Ersatz-Funktion

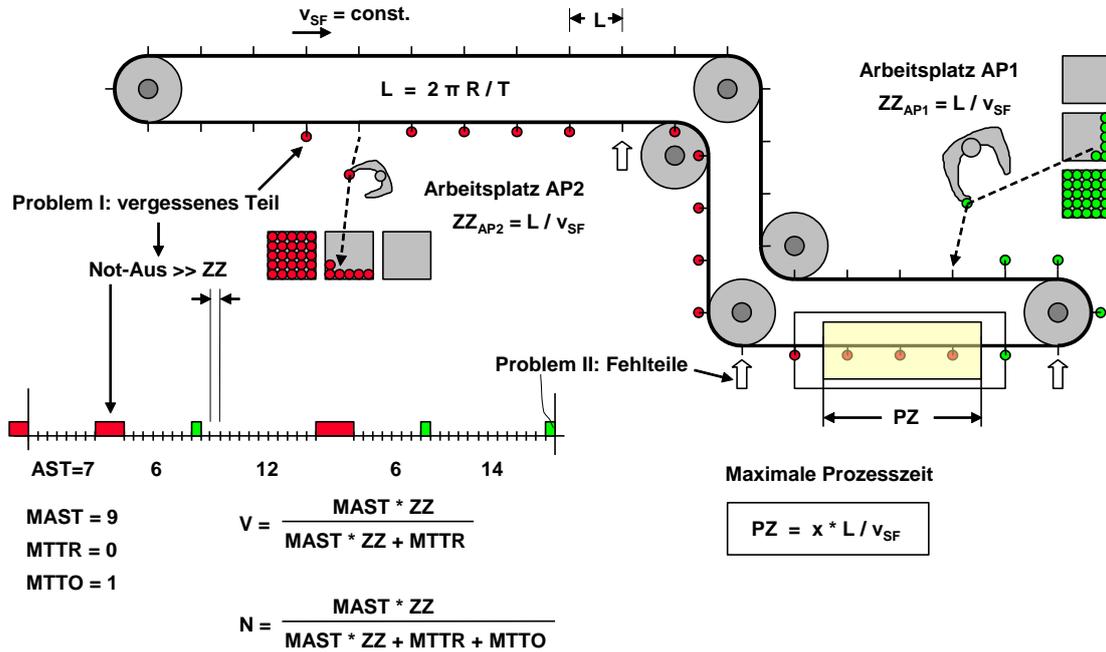


$$m_G = m_A + m_{TG}$$

$$F = m_{TG} \cdot v_{TG} \sqrt{\frac{c}{m_G}}$$



# Umlaufende Zugmittel Transportkette



## Pufferung des Betriebsverhaltens

**Verfügbarkeit**

$$V_i = \frac{MAST_i * ZZ_i}{MAST_i * ZZ_i + MTTR_i} = \frac{LD_i}{PD_i}$$

$ZZ = PL / v$

**Normierte Produktionsdauer, stabiler Zustand**

$$PD_{N-xi} = MAST_x * [MAST_i * ZZ_i + MTTR_i]$$

$$PD_{N-ix} = MAST_i * [MAST_x * ZZ_x + MTTR_x]$$

**Produktionsdauer-Differenz**

$$\Delta PD_{ix} = PD_{N-xi} - PD_{N-ix}$$

**Leistungs-Kompensation, wenn  $\Delta PD_{ix} > 0$  und  $V_i > V_x$**

$$ZZ_{i-NEU} = ZZ_x + \frac{MTTR_x}{MAST_x} - \frac{MTTR_i}{MAST_i}$$

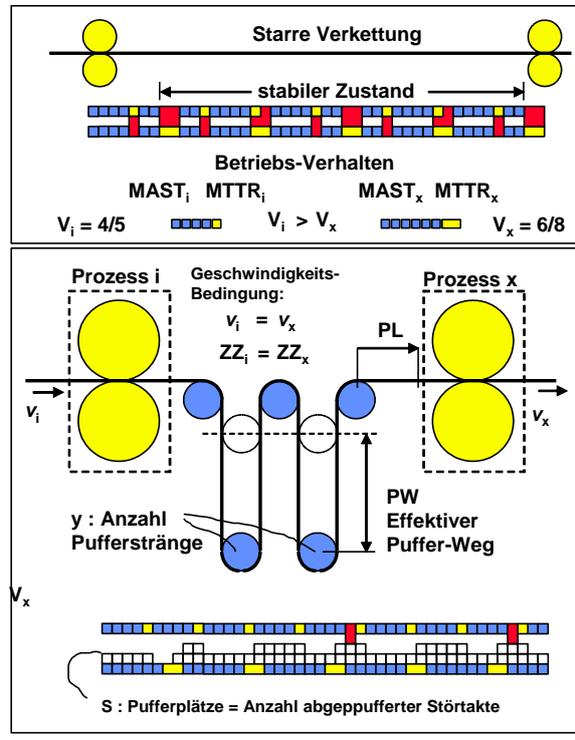
**Puffergröße, hier:  $V_i > V_x$**

$$PG_{ix} = [MTTR_x + ZZ_x - ZZ_i] / ZZ_i$$

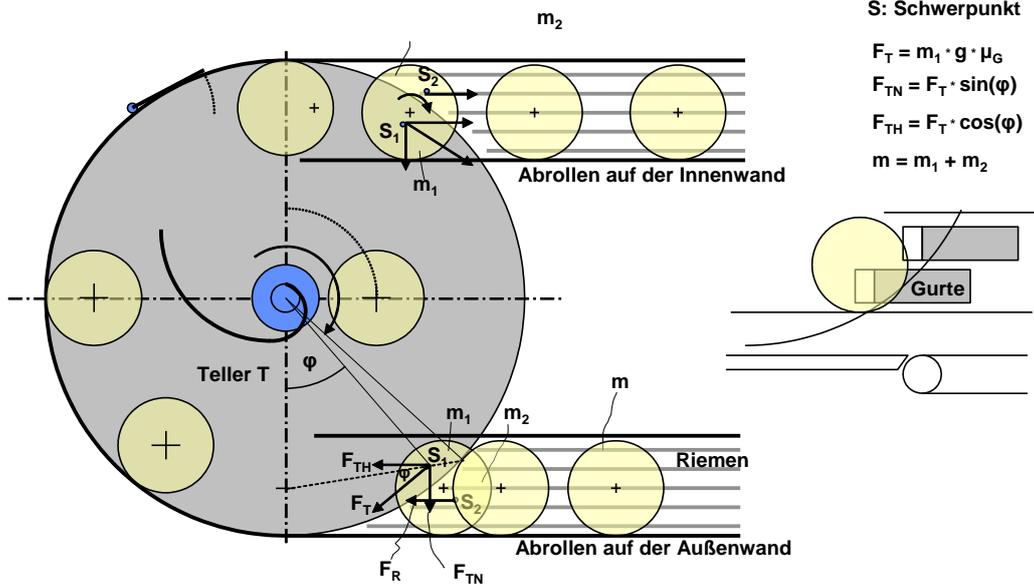
**Puffergröße, hier:**

$$Y = PG_{ix} * PL / 2 * PW$$

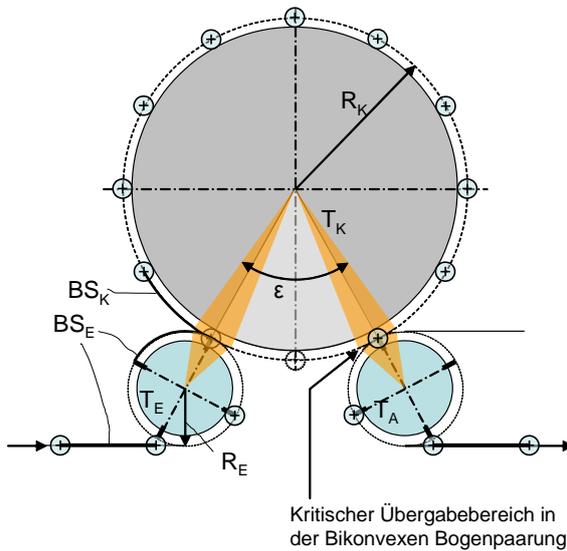
Wenn  $V_i < V_x$ , dann indices tauschen



## Zentrifugalförderer



## Karussell



$T_E$  :Teilung des Kreises

Leistung L [Teile/s]

Drehzahl

$$n_K = L / T \text{ [Umdr./s]}$$

Transport-Zykluszeit

$$ZZ_T = 1 / L \text{ [s/Teil]}$$

Umfangs-Geschwindigkeit

$$V_K = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_K}{T \cdot ZZ_T} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_K \cdot L}{T}$$

Bogensegment Eingang

$$BS_E = 2 \cdot \pi \cdot R_E / T_E$$

Auslegungsbedingung

$$BS_E = BS_K \Rightarrow R_E = \frac{T_E}{T_K} R_K$$

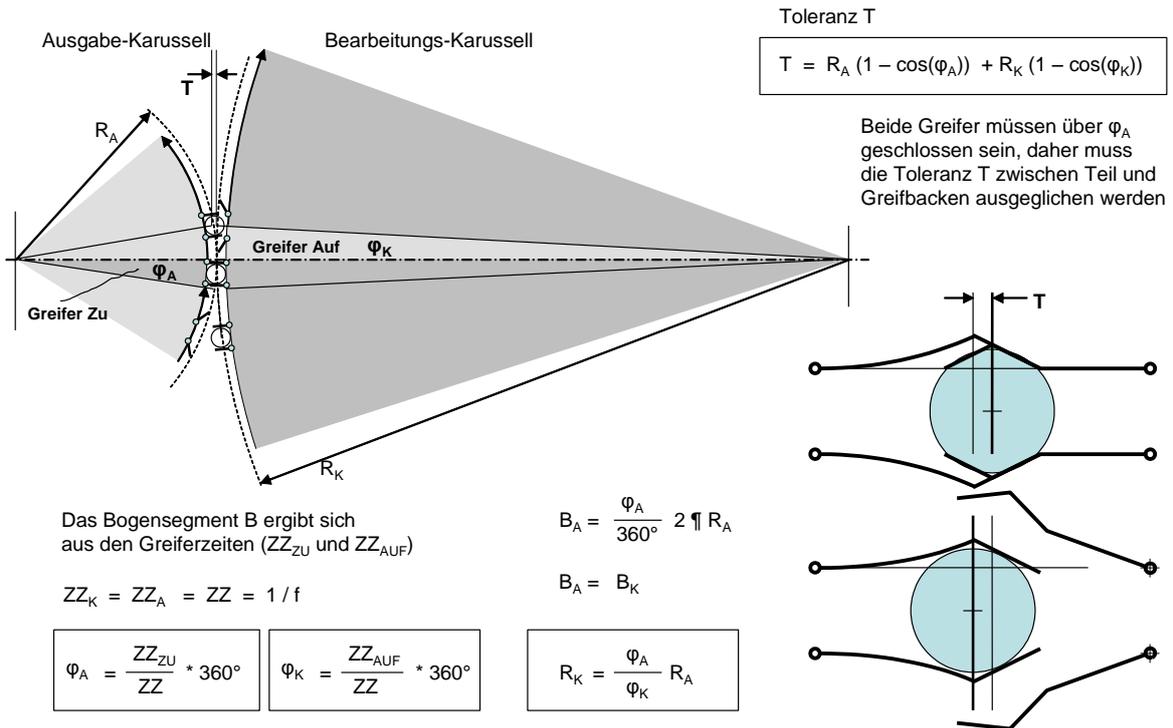
Nutzbarer Bereich

$$\beta = (360^\circ - \epsilon) / 360^\circ$$

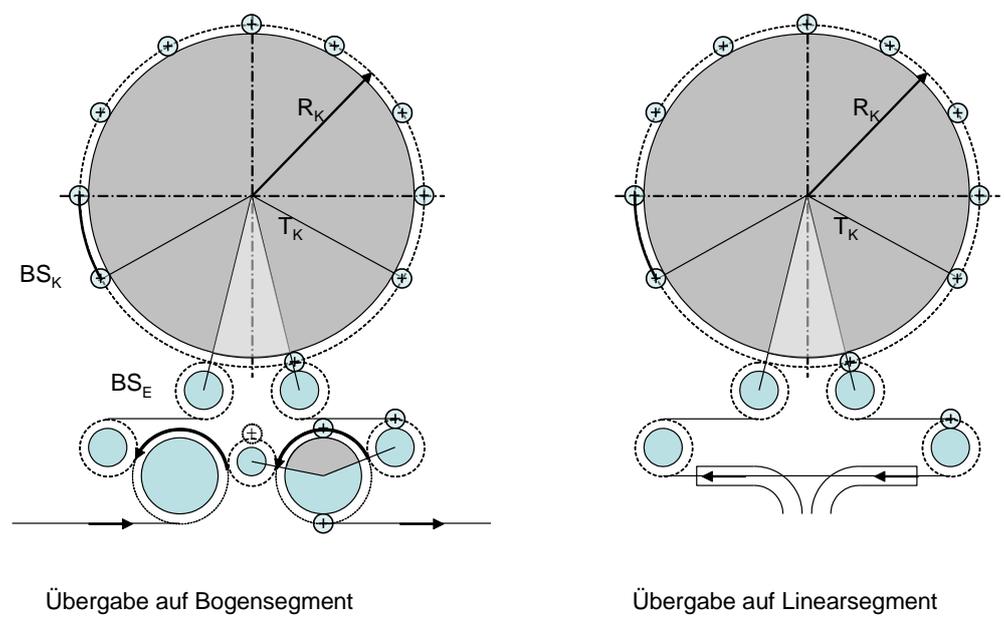
Max. Prozesszeit

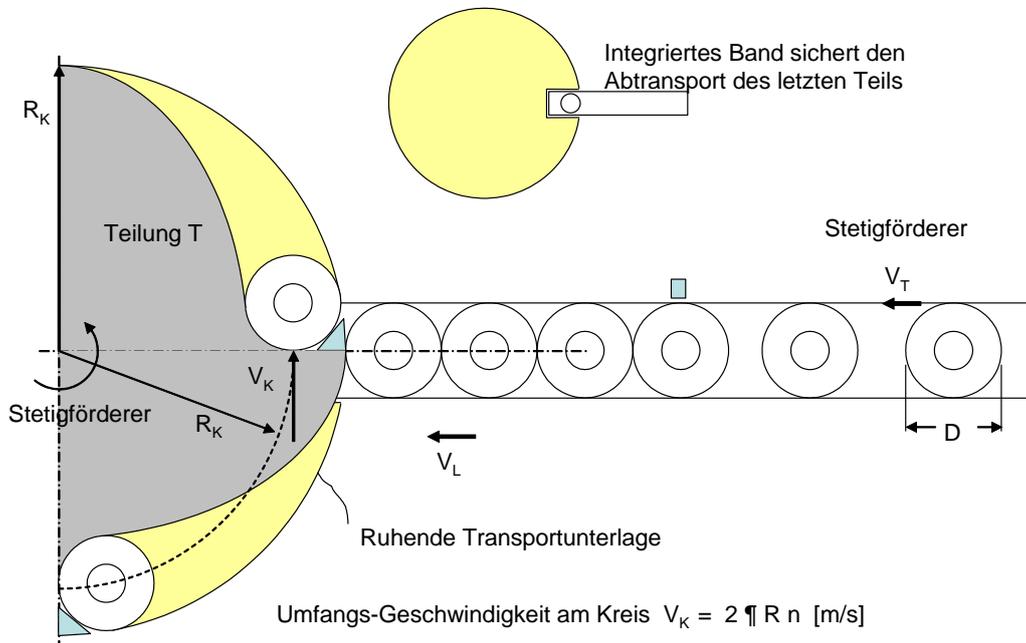
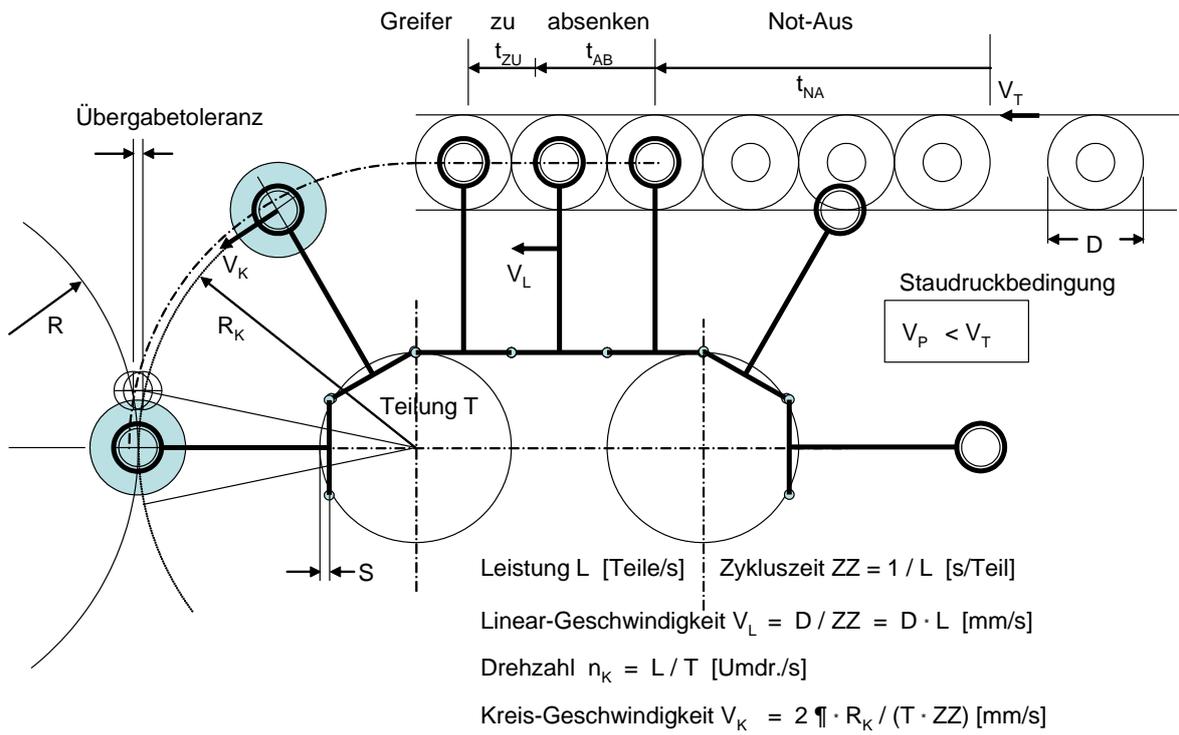
$$PZ = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_K \cdot (360^\circ - \epsilon)}{V_K \cdot 360^\circ}$$

## Karussell: Übergabe: Bikonvexe Bogenpaarung



## Alternative Karussell-Strukturen





## Karussell

Leistung

$$L = n \cdot T$$

Umfangsgeschwindigkeit

$$v_U = n \cdot 2\pi \cdot R_U$$

Produktabstand X

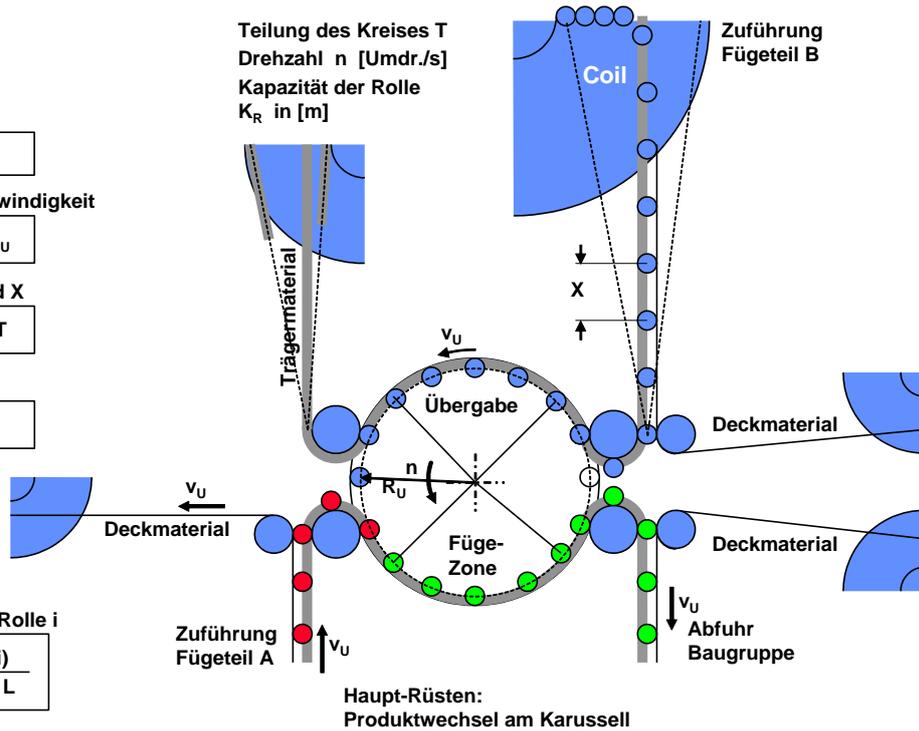
$$X = 2\pi \cdot R_U / T$$

Zykluszeit ZZ

$$ZZ_X = 1 / L$$

Rüst-Intervall: Rolle i

$$RI(i) = \frac{K_R(i)}{X \cdot L}$$



## Wickeln

Antrieb über Wickel-Umfang

Leistung

$$L = v_U / X$$

Umfangsgeschwindigkeit

$$v_U = n_A \cdot 2\pi \cdot R_A$$

Zykluszeit ZZ

$$ZZ_X = 1 / L$$

Rüst-Intervall: Rolle

$$RI = \frac{K_R}{X \cdot L}$$

Kapazität der Rolle  $K_R$  in [m]

$$K_R = 2\pi \left( w \cdot R_i + d \cdot \sum_{i=1}^w i \right)$$

Kraft durch das Rollengewicht

$$F = m_R \cdot g + K_R \cdot d \cdot b \cdot \delta$$

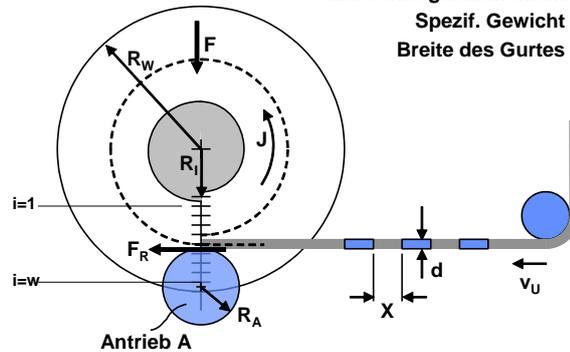
Reibkraft-Kraft

$$F_R = \mu \cdot F$$

Reibkraft-Kraft

$$F_R \cdot (R_i + w \cdot d) = J_{(w)} \cdot \ddot{\varphi}$$

Prozessabhängiger Produktabstand X  
 Produktabhängiger Innen-Wickelradius  $R_i$   
 Wicklungsanzahl w  
 Massenträgheitsmoment J  
 Spezif. Gewicht  $\delta$   
 Breite des Gurtes b



Das Produkt muss das Leergewicht ertragen  
 Konstante Wickelgeschwindigkeit

## Wickeln

Antrieb über Rollenachse

Prozessabhängiger Produktabstand  $X$   
 Produktabhängiger Innen-Wickelradius  $R_i$   
 Wicklungsanzahl  $w$   
 Prozessgeschwindigkeit  $v_p$

Leistung

$$L = v_p / X$$

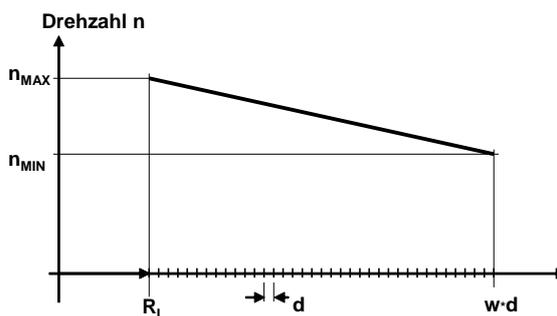
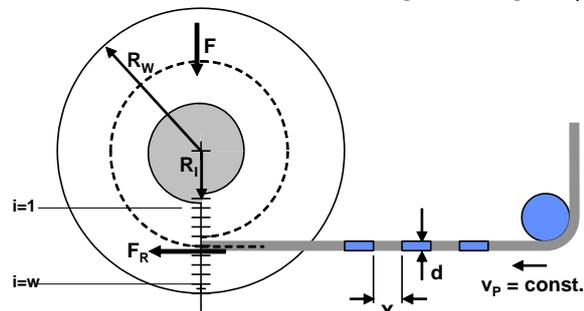
Rüst-Intervall: Rolle

$$RI = \frac{K_R}{X \cdot L}$$

Drehzahl der Rolle ? const

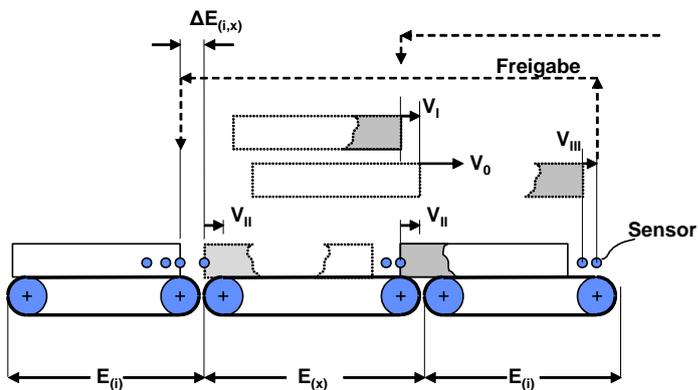
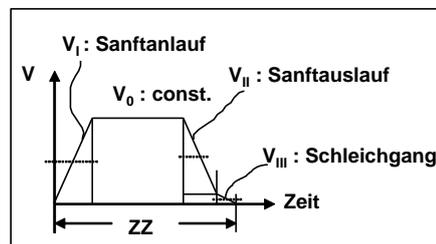
$$n_{MAX} = \frac{v_p}{2 \pi (R_i + d)}$$

$$n_{MIN} = \frac{v_p}{2 \pi (R_i + w \cdot d)}$$



## Linear-Förderer Getaktet

Transport von Gefahr- u. Schwerlast-Gütern

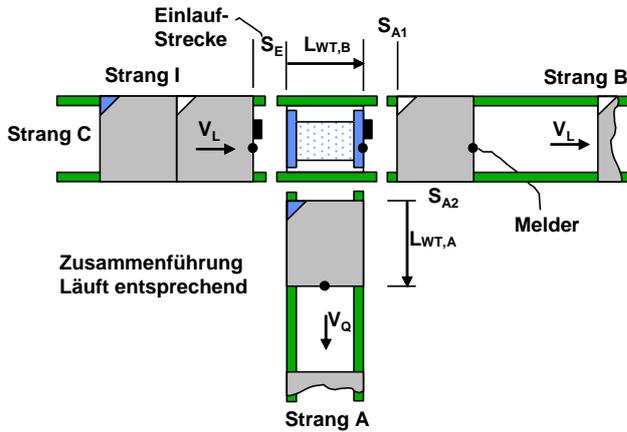


$V_0$  ist für alle Teilstrecken gleich

Die längste Strecke bestimmt den Engpass  
 Engpass-Zykluszeit  $ZZ(i; x)$

$$ZZ(i; x) = ZZ(x) + ZZ(i)$$

### Abzweigung, getaktet



Mengenstrom

$$M_C = M_A + M_B$$

Linear-Zykluszeit (Best-Case)

$$ZZ_L = \frac{S_E + S_{A1} + L_{WT,B}}{V_{TR,L}}$$

Hub-Quer-Zykluszeit (Best-Case)

$$ZZ_{HQ} = \frac{S_E + L_{WT,B}}{V_L} + \frac{S_{A2} + L_{WT,A}}{V_Q} + \frac{2 \cdot S_H}{V_H}$$

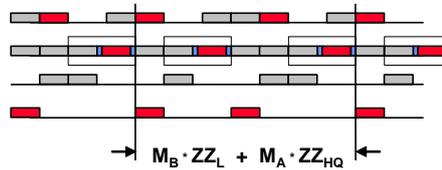
Prozess-Zykluszeit im Strang X, X= A, B, C

$$ZZ_{X-MIX} = \frac{M_B \cdot ZZ_L + M_A \cdot ZZ_{HQ}}{M_X}$$

wobei gilt:

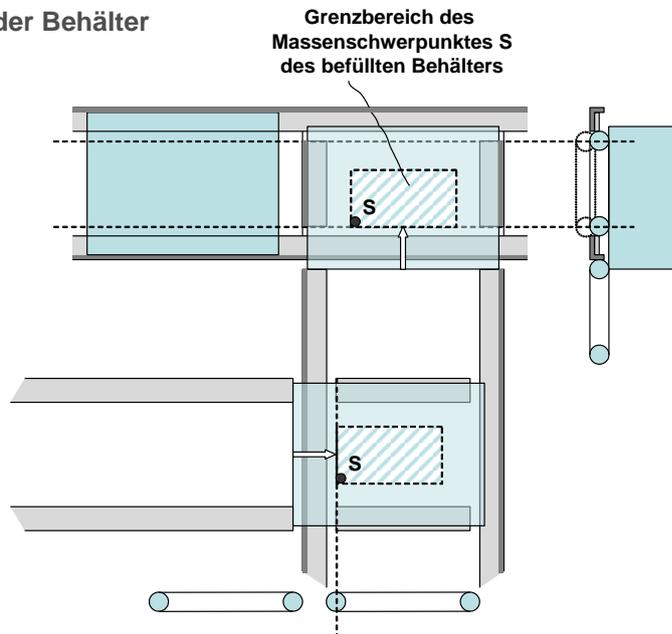
$$ZZ_{C-MIX} = ZZ_{HQ}$$

- Beispiel: Menge 5 Auslastung Strang C  
 Menge 5 Auslastung HQ  
 Menge 3 Auslastung Strang B  
 Menge 2 Auslastung Strang A



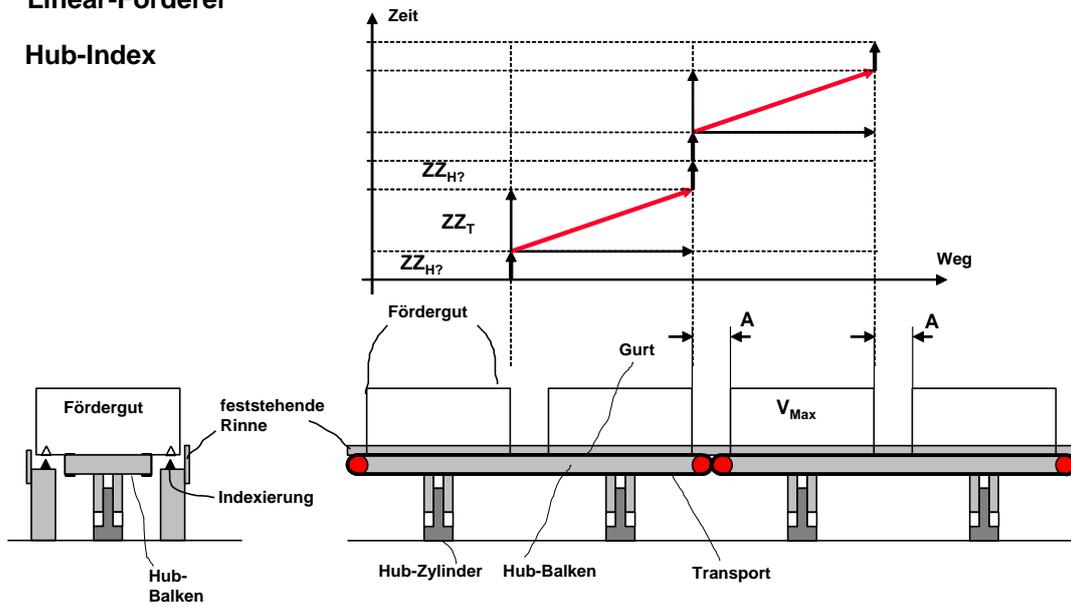
### Hub-/Querförderer

#### Auslegung der Behälter

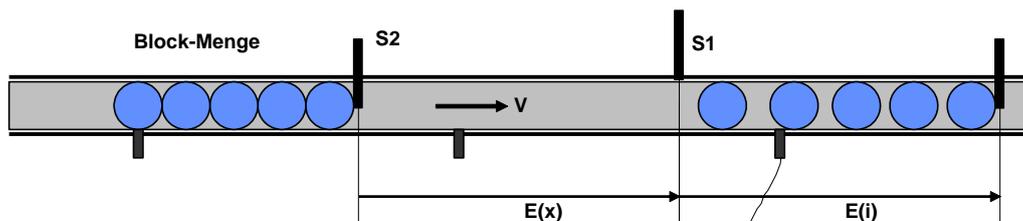


## Linear-Förderer

### Hub-Index



### Transportband kontinuierlich, Teile-Block getaktet



Achtung :

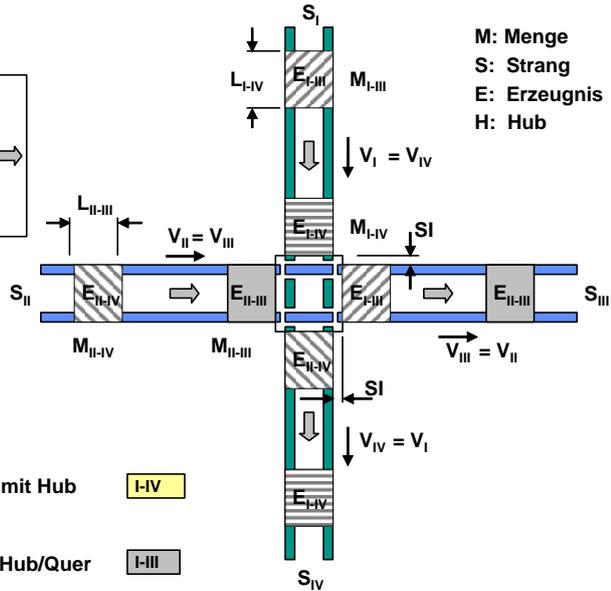
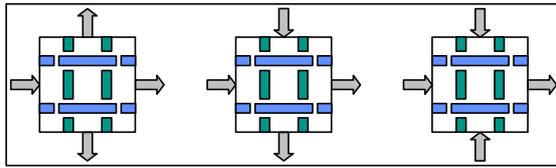
Die Transportstrecken E() sollten  
identisch sein; dies ist nicht immer  
machbar.  
Die längste E() gibt die Engpass-  
Zykluszeit an

Mengenerfassung  
und  
Freigabemeldung

Mittlere Zykluszeit des Strangs

$$ZZ(i) = \frac{ZZ_{S1??} + \frac{E(i)}{v} + ZZ_{S2??} + \frac{E(x)}{v}}{M}$$

### Kreuzung, getaktet



M: Menge  
S: Strang  
E: Erzeugnis  
H: Hub

#### Zykluszeiten

$$ZZ_{I-IV} = ZZ_H + \frac{SI + L_{I-IV} + SI}{V_I} + \frac{L_{I-IV}}{V_I} + ZZ_H$$

$$ZZ_{I-III} = ZZ_H + \frac{SI + L_{I-IV}}{V_I} + ZZ_H + \frac{SI + L_{II-III}}{V_{II}}$$

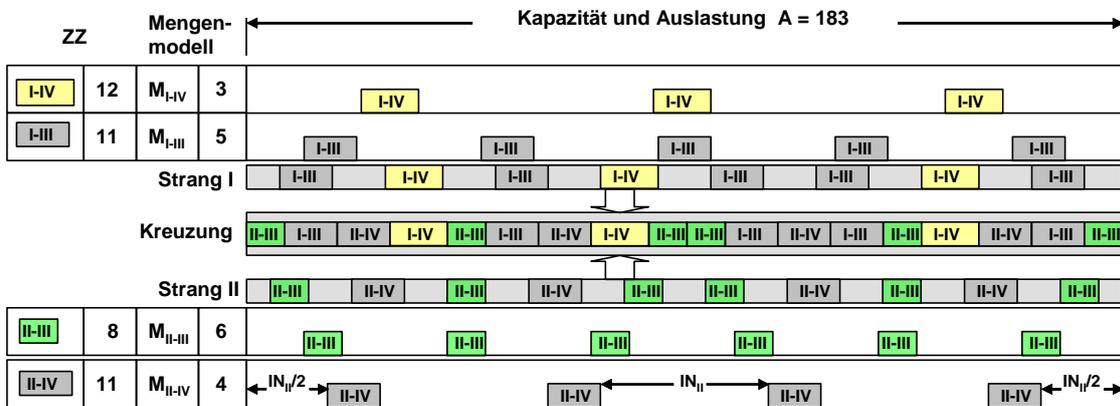
$$ZZ_{II-III} = X \cdot \frac{SI + L_{II-III} + SI}{V_{II}} + \frac{L_{II-III}}{V_{II}}$$

$$ZZ_{II-IV} = \frac{SI + L_{II-III}}{V_{II}} + ZZ_H + \frac{SI + L_{I-IV}}{V_I} + ZZ_H$$

Längs mit Hub I-IV  
Längs/Hub/Quer I-III  
Längs ohne Hub II-III  
Längs/Hub/Quer II-IV

Blocktransport mit X Teilen möglich  
Beispiel: I-IV I-III II-III I-IV  
II-IV 2 II-III I-IV

### Kreuzung, getaktet



#### Auslastung Strang I

$$A_I = \sum_{i=1}^n ZZ_{I-i} \cdot M_{I-i}$$

#### Menge Strang I

$$M_I = \sum_{i=1}^n M_{I-i}$$

#### Auslastung Strang II

$$A_{II} = \sum_{i=1}^n ZZ_{II-i} \cdot M_{II-i}$$

#### Menge Strang II

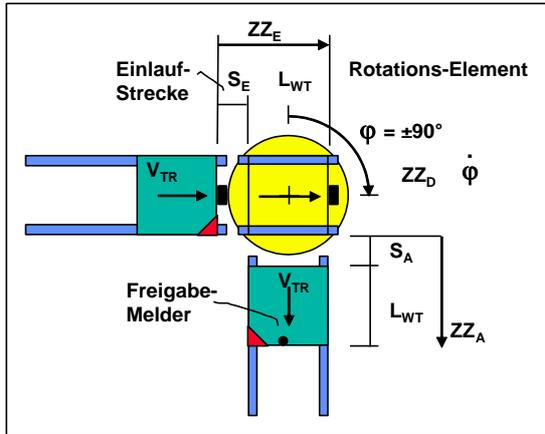
$$M_{II} = \sum_{i=1}^n M_{II-i}$$

#### Auslastung Kreuzung

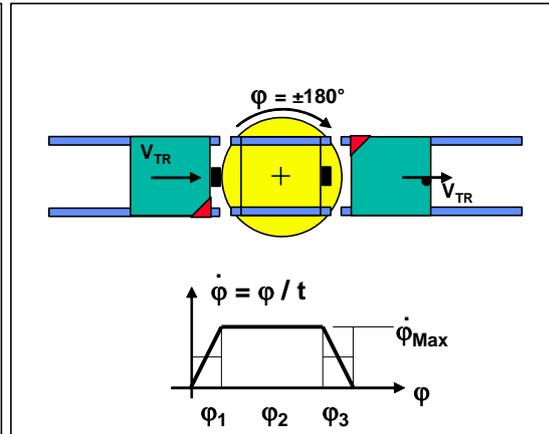
$$A = \sum_{i=1}^n ZZ_i \cdot M_i$$

Achtung:  
Bei der Ermittlung der ZZ-Kreuzung  
Ist ein Blocktransport X=2 bei II-III

### Drehstation



### Wendestation



Einlauf-Zykluszeit

$$ZZ_E = \frac{S_E + L_{WT}}{V_{TR}}$$

Auslauf-Zykluszeit

$$ZZ_A = \frac{S_A + L_{WT}}{V_{TR}}$$

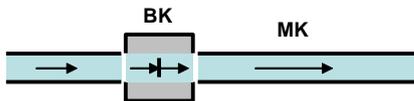
ZZ Drehtisch

$$ZZ_D = \frac{\frac{1}{2}(\phi_1 + \phi_3) + \phi_2}{\dot{\phi}_{Max}}$$

Stations-Zykluszeit

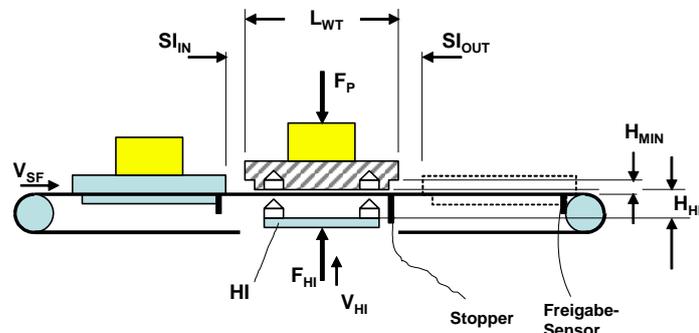
$$ZZ_R = ZZ_E + ZZ_A + 2 * ZZ_D$$

### Bereitstellungs-Komponente



Bereitstellung B

1. Getaktete Einfahrt des Gutes
2. Indexierung
3. Getaktete Ausfahrt des Gutes
4. Gesteuerte Prozesszeit



Bei spezieller WT-Auslegung  
Können  $WT_{IN}$  und  $WT_{OUT}$   
parallel laufen, die kleinere  
ZZ entfällt

Stopperzeiten können  
Einfluss nehmen

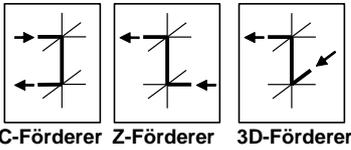
Zykluszeit der Bereitstellung

$$ZZ_B = \frac{SI_{IN} + L_{WT}}{V_{HI}} + \frac{H_{HI}}{V_{HI}} + \boxed{\text{Prozesszeit}} + \frac{SI_{OUT} + L_{WT}}{V_{HI}} + \frac{H_{HI}}{V_{HI}}$$

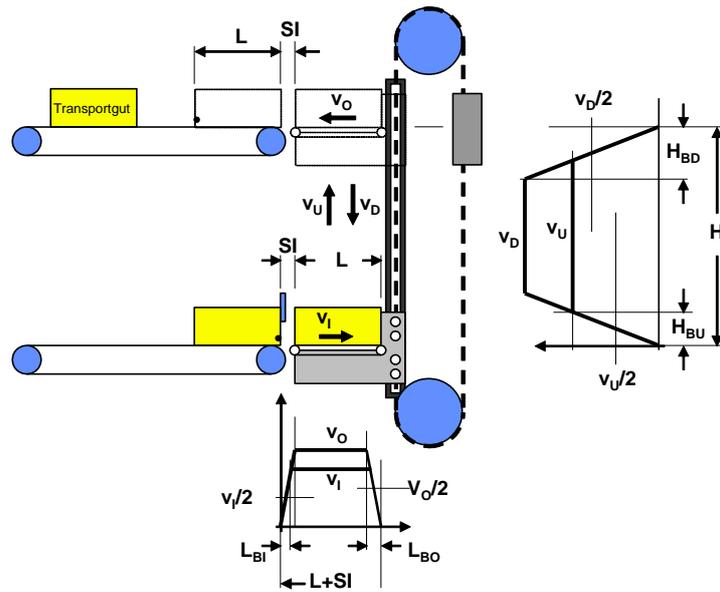
Die mögliche Prozesskraft  $F_P$  wird von der Hub-Index-Station HI sichergestellt

## Aufzug / Vertikalförderer

### Prinzipien



SI : Sicherheitsabstand  
L : Länge des Transportguts  
V : Geschwindigkeit



$$ZZ_{CF_{auf}} = \frac{v_i}{L_{BI}} + \frac{v_i}{L + SI - 2 L_{BI}} + \frac{v_u}{H_{BU}} + \frac{v_u}{H - 2 H_{BU}} + \frac{v_o}{L_{BO}} + \frac{v_o}{L + SI - 2 L_{BO}} + \frac{v_D}{H_{BD}} + \frac{v_D}{H - 2 H_{BD}}$$

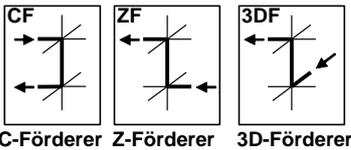
© D. Habenicht

## Unstetigförderer

MLT-04-02-03-1

## Aufzug / Vertikalförderer

### Prinzipien



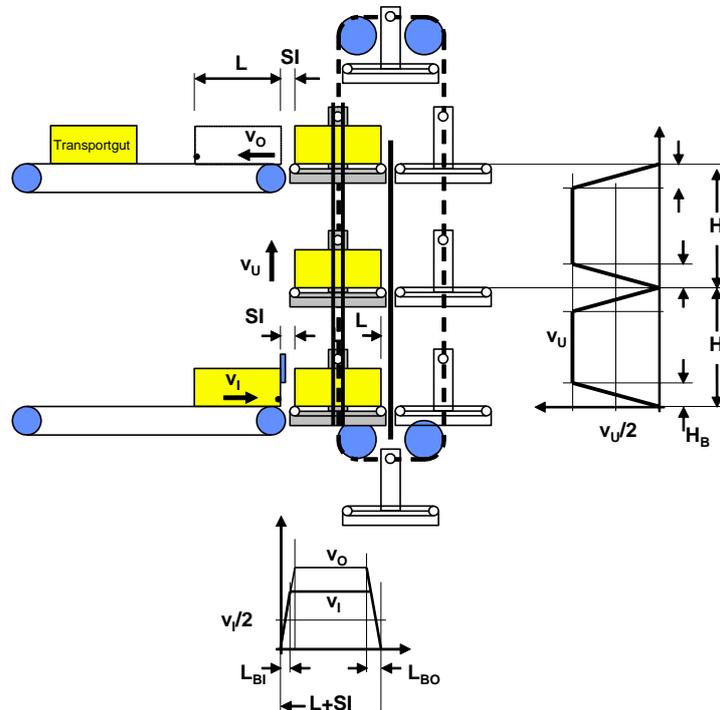
Synchronisation von Input und Output, dadurch reduzierte Zykluszeit.

SI : Sicherheitsabstand  
L : Länge des Transportguts  
v : Geschwindigkeit

### Zykluszeit

$$ZZ_{CF} = ZZ_i + ZZ_u + ZZ_o$$

$$ZZ_{CF} = \frac{v_i}{L_{BI}} + \frac{v_i}{L + SI - 2 L_{BI}} + \frac{v_u}{H_B} + \frac{v_u}{H - 2 H_B} + \frac{v_o}{L_{BO}} + \frac{v_o}{L + SI - 2 L_{BO}}$$

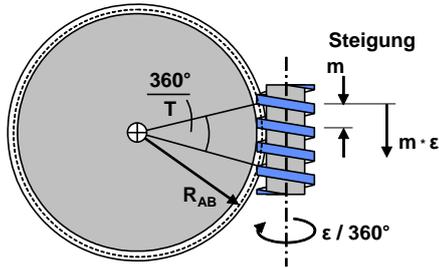


© D. Habenicht

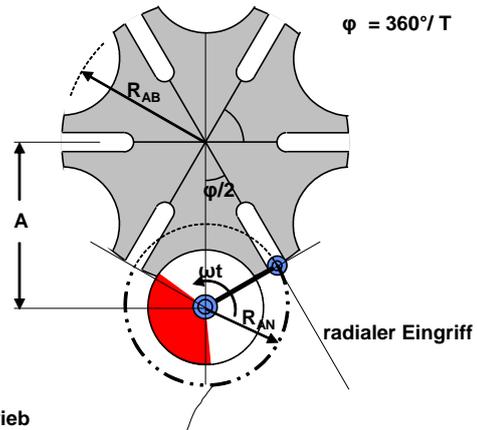
## Unstetigförderer

MLT-04-02-03-2

## Rastgetriebe



T: Teilung  
 $\varphi = 360^\circ / T$

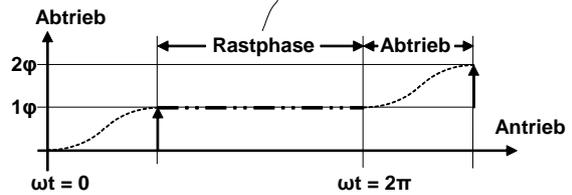


Optimale Teilung aus Fertigungssicht

T = 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9

Auslegung Wälzkreisradius R\_AB

R_AB	47,7	50,9	57,3
2 π R_AB	299,708	319,814	360,0265
Δ	0,292	0,186	0,0265
T-SL	4·74,927	32x10 40x 8	36x10 40x 9

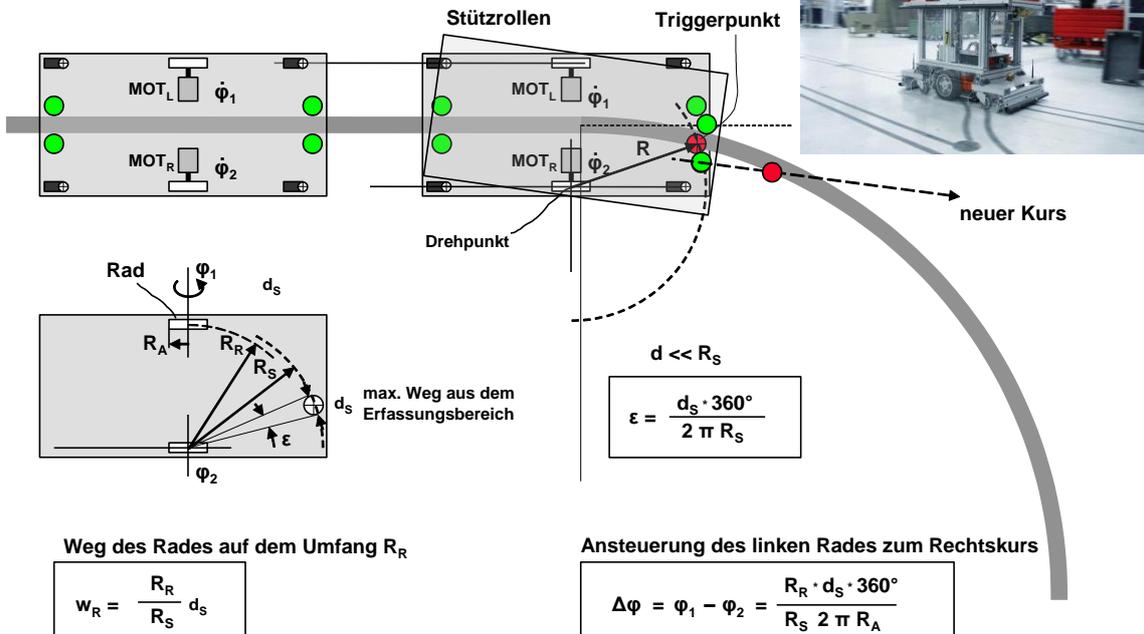


$$\frac{\epsilon \cdot m}{360^\circ} = \frac{2 \pi R_{AB}}{T}$$

$$\tan(\varphi/2) = R_{AN} / R_{AB}$$

Abstand  $A = \frac{R_{AN}}{\sin(\varphi)}$

## Fahrerloses Transportsystem Lenk- und Antriebskonzepte



Weg des Rades auf dem Umfang R\_R

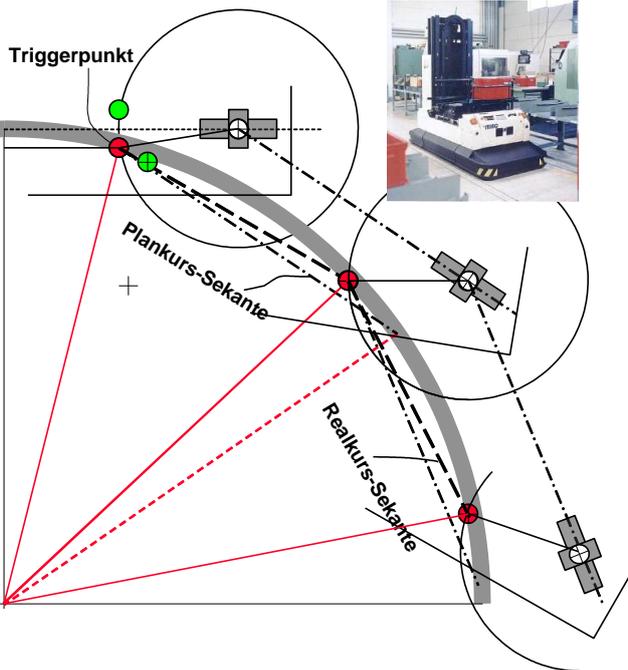
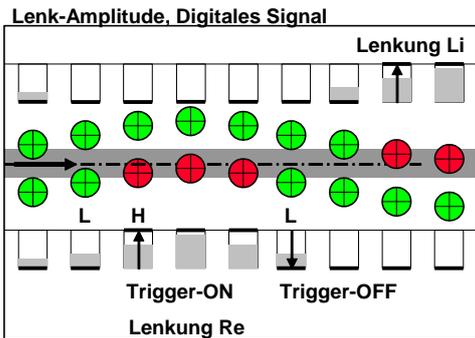
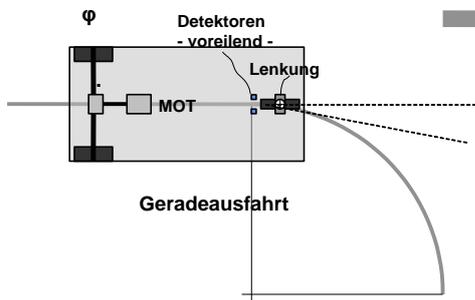
$$w_R = \frac{R_R}{R_S} d_s$$

Ansteuerung des linken Rades zum Rechtskurs

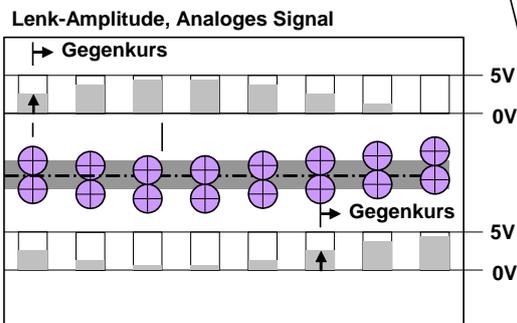
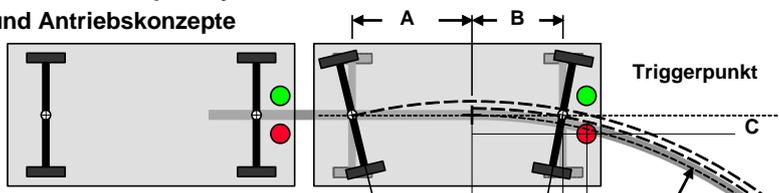
$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{R_R \cdot d_s \cdot 360^\circ}{R_S \cdot 2 \pi R_A}$$

Fahrzeugsymmetrie garantiert gleiches Verhalten bei Vor- / Rückwärtsfahrt

# Fahrerloses Transportsystem Lenk- und Antriebskonzepte



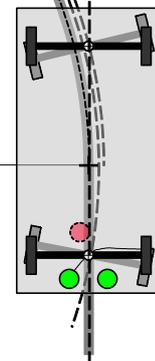
# Fahrerloses Transportsystem Lenk- und Antriebskonzepte



Lenkwinkel vorn  
 $\varepsilon = \arctan(B/R)$

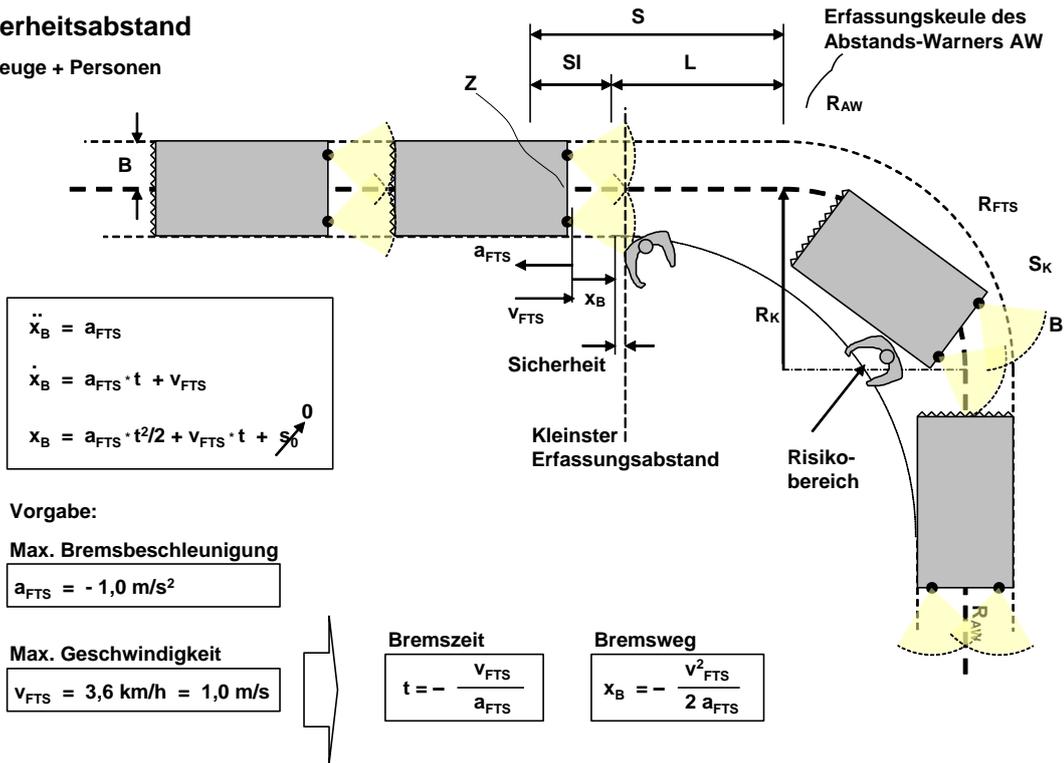
Lenkwinkel hinten  
 $\varphi = \arctan(A/L)$

BB: Bewegungsbahn  
LV: Lenkachse Vorn  
LH: Lenkachse Hinten



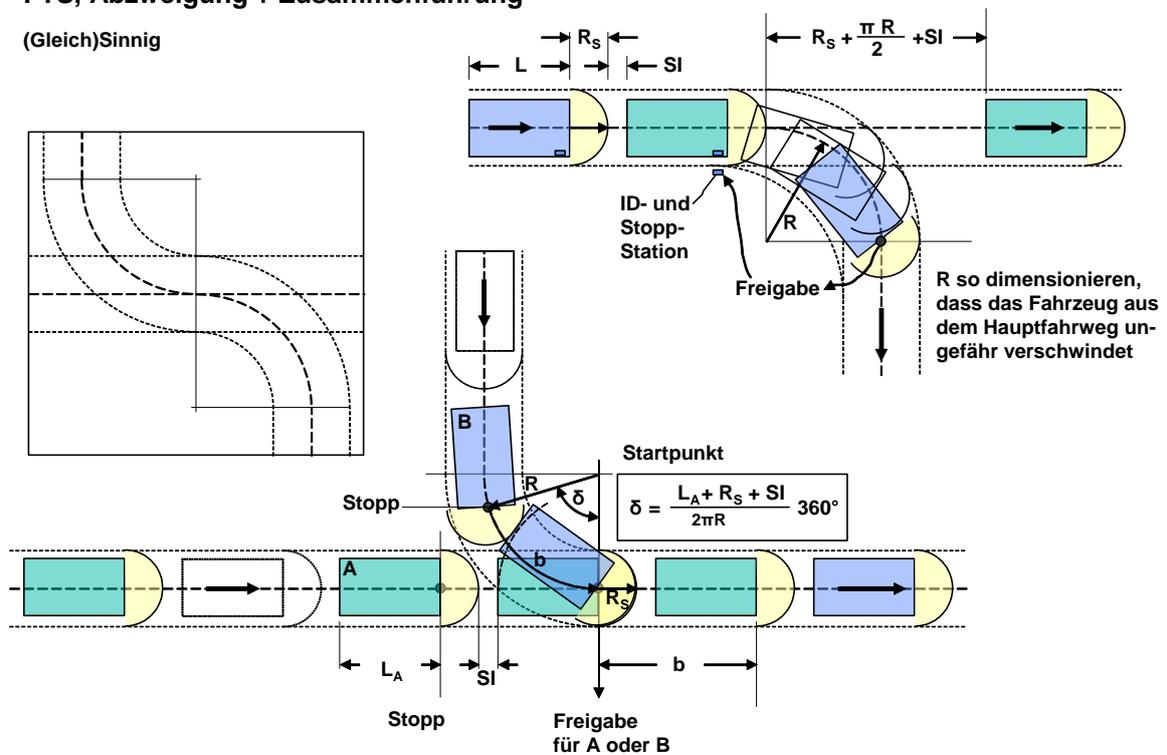
# Sicherheitsabstand

Fahrzeuge + Personen

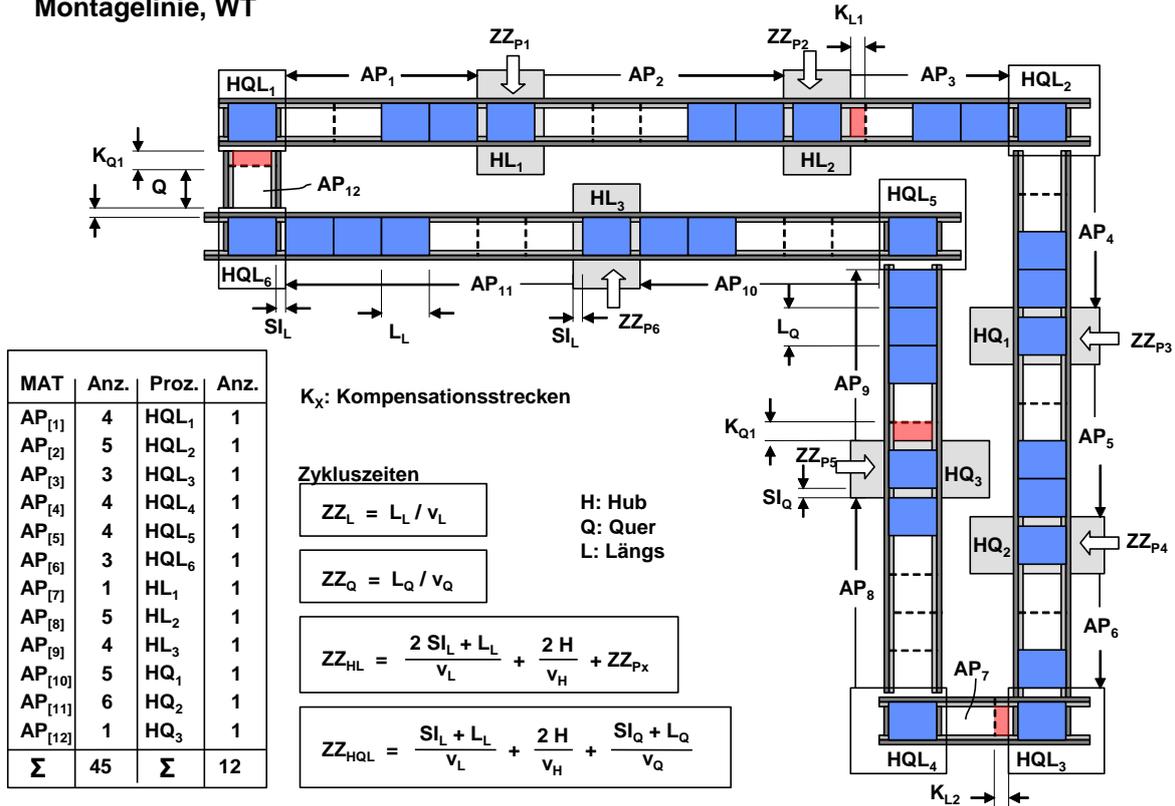


# FTS, Abzweigung + Zusammenführung

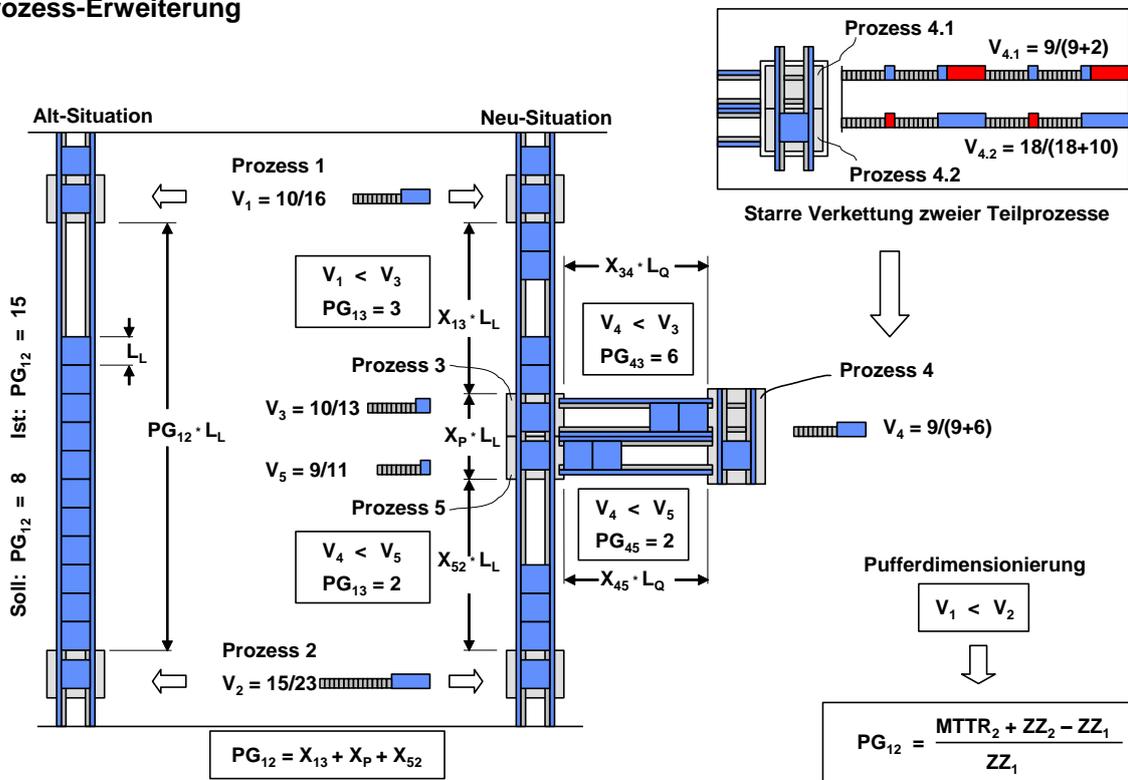
(Gleich)Sinnig



# Montagelinie, WT



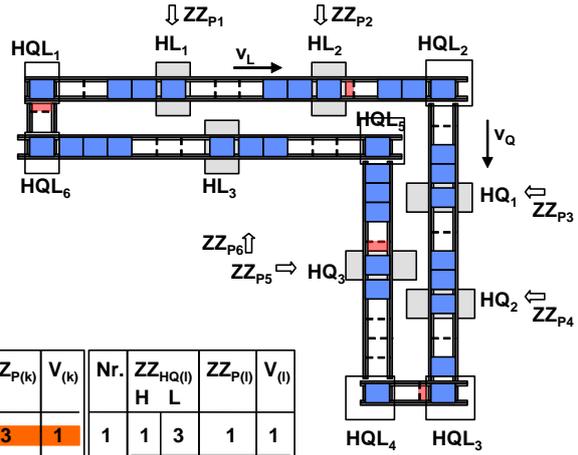
# Prozess-Erweiterung



## Durchlaufzeit

Nr.	AP <sub>(i)</sub>	ZZ <sub>AP(i)</sub>	ZZ <sub>K(i)</sub>	V <sub>(i)</sub>
1	4	3		1
2	5	3		1
3	3	3	1	1
4	4	2		1
5	4	2		1
6	3	2		1
7	1	3	1	1
8	5	2		1
9	4	2	1	1
10	5	3		1
11	6	3		1
12	1	2	1	1

H: Hub  
Q: Quer  
L: Längs



Nr.	ZZ <sub>HQL(j)</sub>			V <sub>(j)</sub>
	H	Q	L	
1	1	2	3	1
2	1	2	3	1
3	1	2	3	1
4	1	2	3	1
5	1	2	3	1
6	1	2	3	1

Nr.	ZZ <sub>HL(k)</sub>		ZZ <sub>P(k)</sub>	V <sub>(k)</sub>
	H	L		
1	1	3	3	1
2	1	3	1	1
3	1	3	2	1

Nr.	ZZ <sub>HQ(l)</sub>		ZZ <sub>P(l)</sub>	V <sub>(l)</sub>
	H	L		
1	1	3	1	1
2	1	3	2	1
3	1	3	2	1

### Durchlaufzeit DLZ eines WT

$$DLZ = \sum_{i=1}^n \frac{(ZZ_{AP(i)} + ZZ_{K(i)})}{V_{(i)}} + \sum_{j=1}^m \frac{ZZ_{HQL(j)}}{V_{(j)}} + \sum_{k=1}^o \frac{(ZZ_{HL(k)} + ZZ_{P(k)})}{V_{(k)}} + \sum_{k=1}^o \frac{(ZZ_{HL(k)} + ZZ_{P(k)})}{V_{(l)}} + \sum_{l=1}^p \frac{(ZZ_{HL(l)} + ZZ_{P(l)})}{V_{(l)}}$$

Engpass-Prozess durch Vergleich

	ZZ <sub>HL</sub>		ZZ <sub>Px</sub>	V <sub>(k)</sub>
	H	L		
HL <sub>1</sub>	1	3	3	1

→ ZZ<sub>ENG</sub>

Optimale Anzahl WT

$$AWT = DLZ / ZZ_{ENG}$$

## Notwendige Anzahl Werkstückträger WT

$$ZZ_L = L / V_L$$

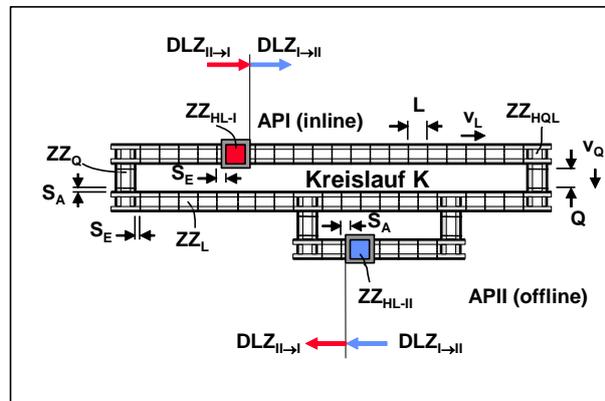
$$ZZ_Q = Q / V_Q$$

$$ZZ_{HL-X} = ZZ_H + ZZ_L + S_X / V_L + ZZ_{PX}$$

$$ZZ_{HQL} = S_E / V_L + ZZ_L + ZZ_H + ZZ_Q + S_A / V_L$$

$$S_A > S_E \quad S_X = S_A$$

$$S_A < S_E \quad S_X = S_E$$



Die Durchlaufzeit eines Transport-Segments beginnt am Ende eines Prozesses und endet am Ende des Folgeprozesses.

Mindest-Anzahl Werkstückträger AWT im ungestörten Betrieb !

ZZ<sub>ENG</sub> ist die größte Zykluszeit einer Prozesskette, also wenn ZZ<sub>HL-I</sub> > ZZ<sub>HL-II</sub> dann ist ZZ<sub>ENG</sub> = ZZ<sub>HL-I</sub>

Teilmenge AWT<sub>I→II</sub>

$$AWT_{I \rightarrow II} = \frac{DLZ_{I \rightarrow II}}{ZZ_{ENG}}$$

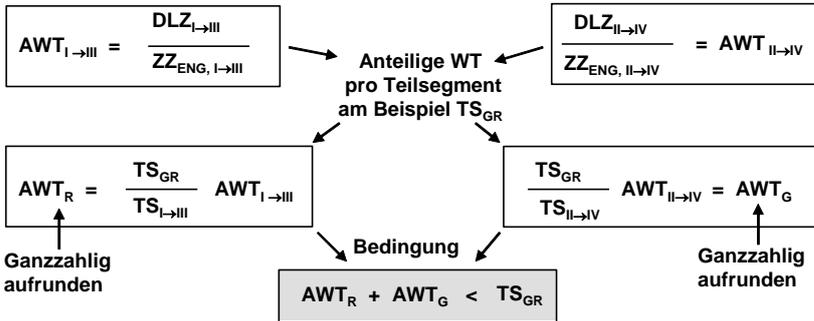
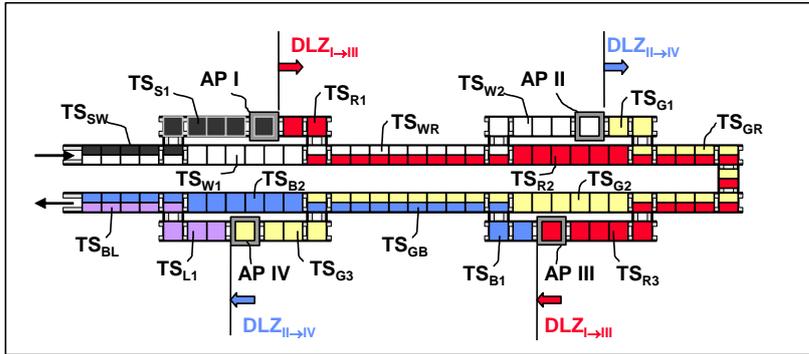
Teilmenge AWT<sub>II→I</sub>

$$AWT_{II \rightarrow I} = \frac{DLZ_{II \rightarrow I}}{ZZ_{ENG}}$$

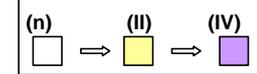
Gesamtmenge im Kreislauf AWT<sub>K</sub>

$$AWT_K = AWT_{I \rightarrow II} + AWT_{II \rightarrow I}$$

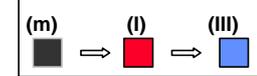
## Anzahl WT, Varianten-Problem



### Prozesskette Produkt A



### Prozesskette Produkt B



### Anzahl WT-Plätze in den Teil-Strängen

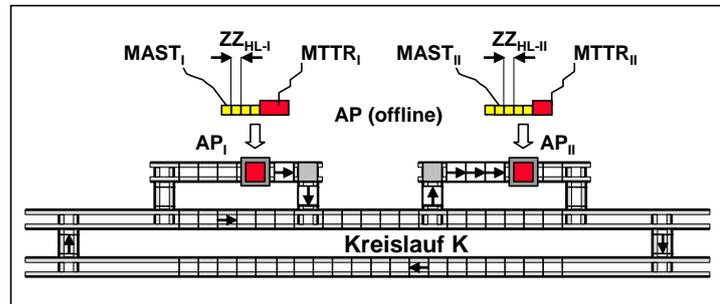
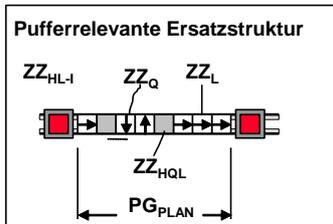
$TS_{R1}$	2	$TS_{G1}$	2
$TS_{WR}$	10	$TS_{GR}$	11
$TS_{R2}$	6	$TS_{G2}$	6
$TS_{GR}$	11	$TS_{GB}$	10
$TS_{R3}$	5	$TS_{G3}$	4
$TS_{I \rightarrow III}$	34	$TS_{II \rightarrow IV}$	33

Notwendige Anzahl AWT im Transp.-Segment

Durchlaufzeit DLZ

TS: Anzahl Plätze im Transportsegment

## Varianten-Fertigung Bypass-Auslegung



Der Bypass-Puffer verhindert ein Mehrfach-Umlaufen von WTs bei Störungen in der Station

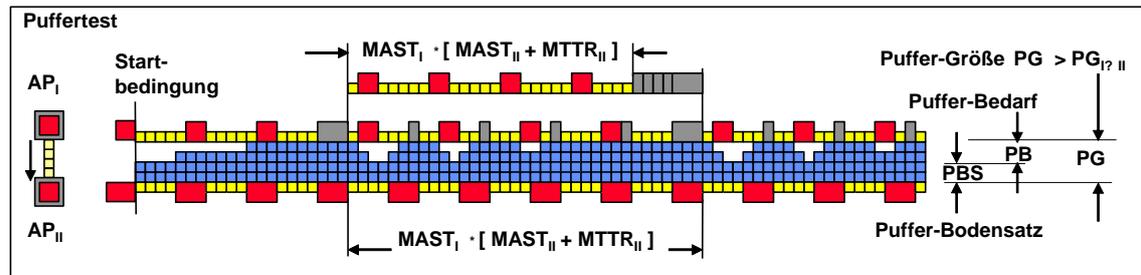
Kreislauf-Strecken sind daher nicht zur Pufferung bestimmt.

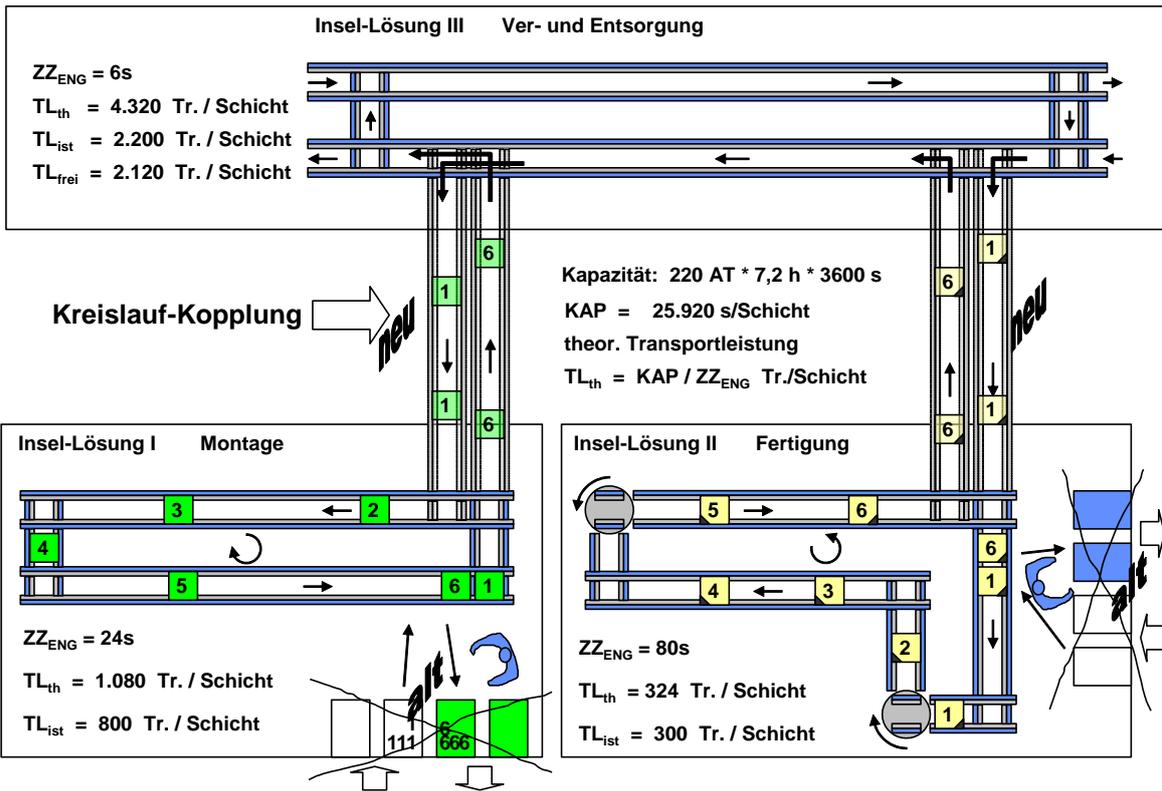
Zwischen Bearbeitung und Kreislauf muß ein Pufferplatz zur rückwirkungsfreien Einsteuerung sein.

$$NT_x = ZZ_{HL-x} + \frac{MTTR_x}{MAST_x}$$

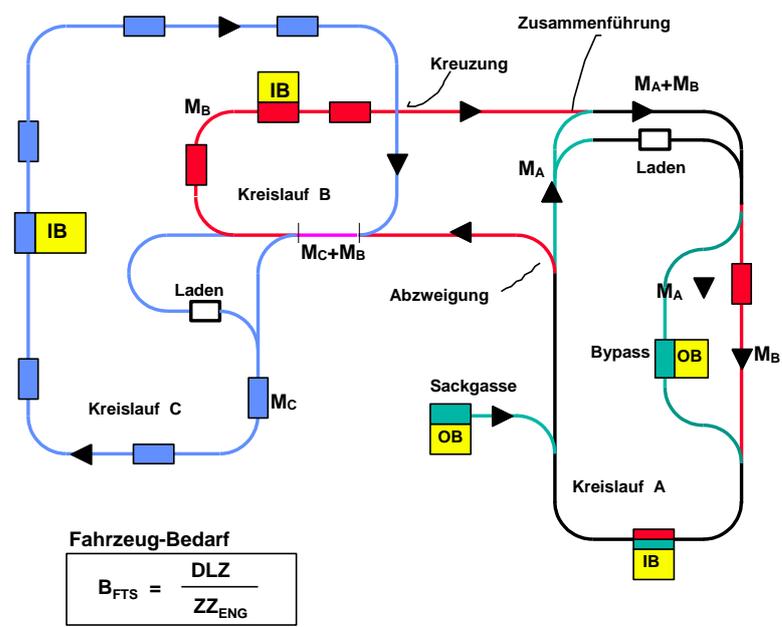
wenn  $NT_I < NT_{II}$  dann

$$PG_{I? II} = \frac{MTTR_I + ZZ_{HL-I} - ZZ_{HL-II}}{ZZ_{HL-II}}$$



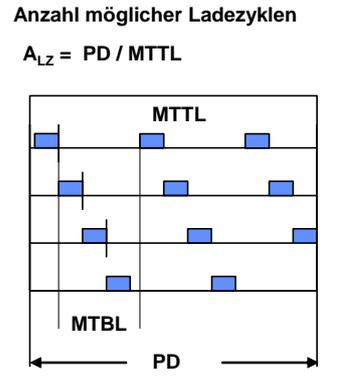


### Fertigungssystem FTS Fahrerloses Transportsystem



IB: Inline-Bearbeitung  
OB: Offline-Bearbeitung

1 Ladestation / Kreislauf  
MTBL: Mean-Time-Between-Load  
MTTL: Mean-Time-To-Load



1 Fahrzeug in Ladestation  
Anzahl Fahrzeuge in Produktion

$$A_{FTS} = MTBL / MTTL$$

Anzahl Ladestationen

$$A_{LS} = B_{FTS} / A_{FTS}$$

## FTS, Kreislauf-Überschneidung

Segment-Zykluszeit

$$ZZ = S / V_{FTS}$$

Mindest-Anzahl FTS  
AFTS des Kreislaufs II

$$AFTS_{II} = DLZ_{II} / ZZ_{ENG,II}$$

Mindest-Anzahl Fahrerlos.Transp.Systeme  
AFTS im Multi-Strang MS durch Kreislauf k

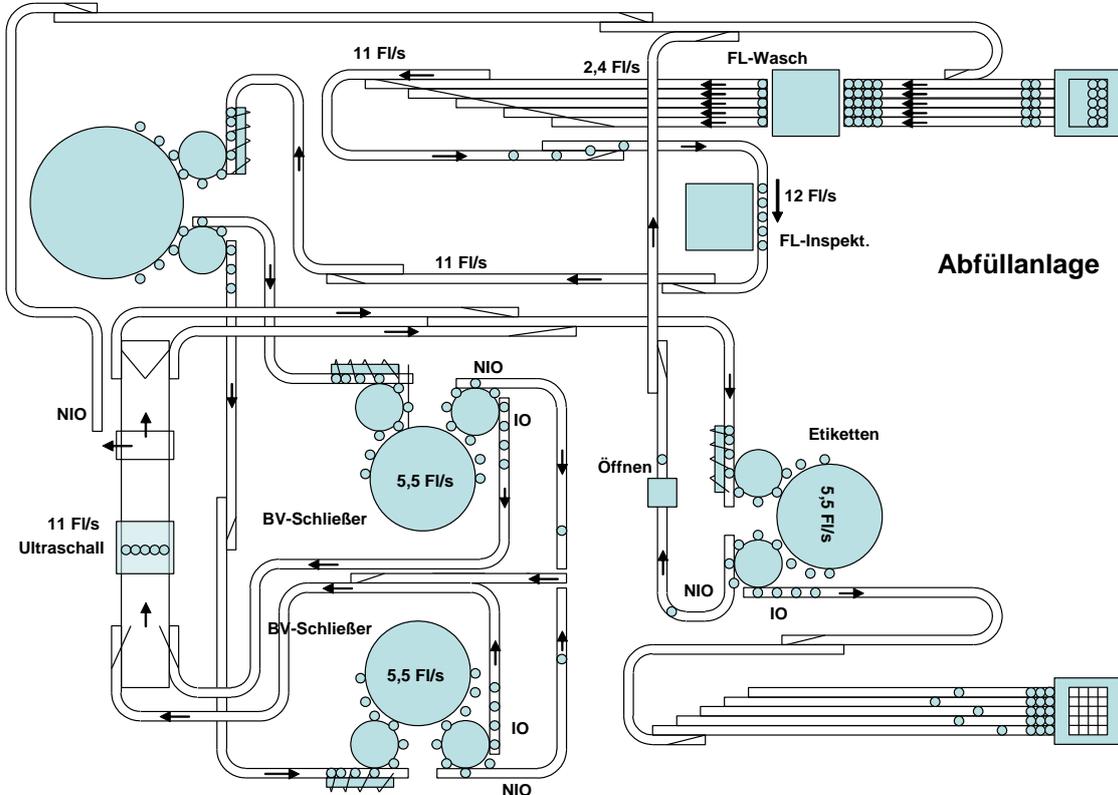
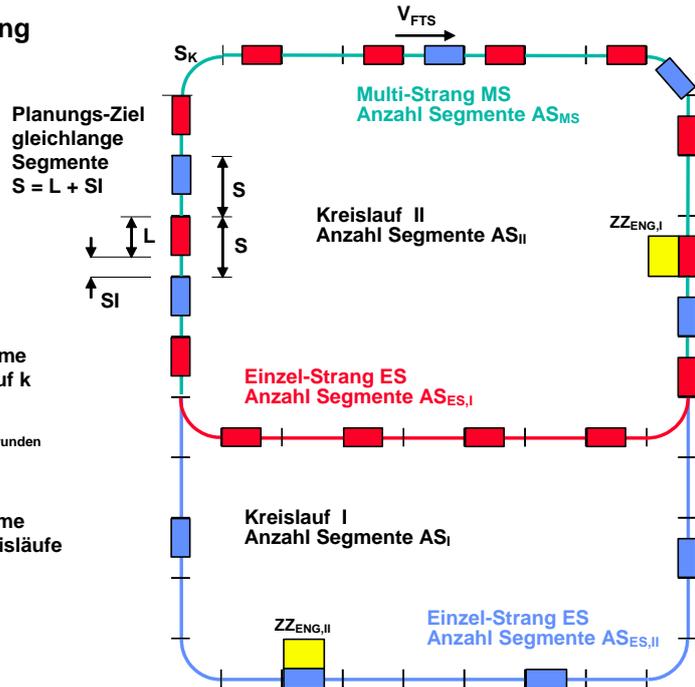
$$AFTS_{MS,K} = \frac{AS_{MS}}{AS_K} \cdot AFTS_K \quad \text{Wert aufrunden}$$

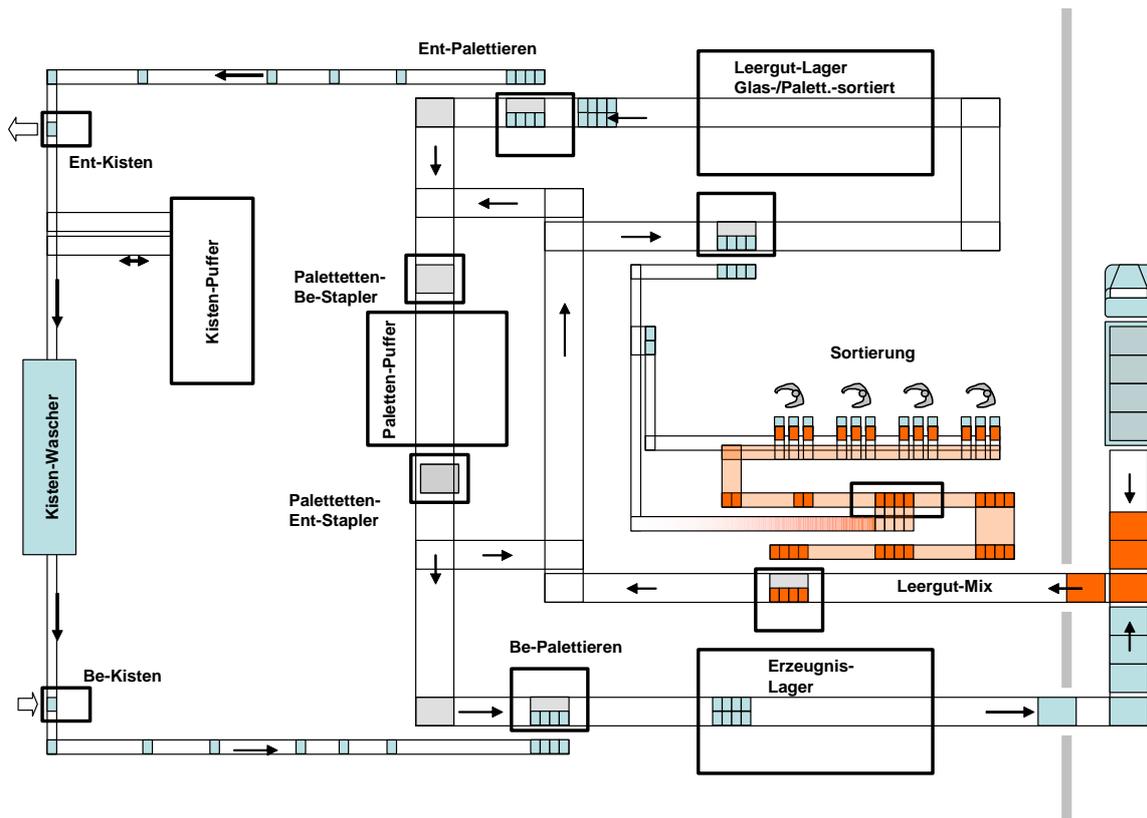
Mindest-Anzahl Fahrerlos.Transp.Systeme  
AFTS im Multi-Strang MS durch alle Kreisläufe

$$AFTS_{MS} = \sum_{K=I}^{II} AFTS_{MS,K}$$

Funktionalitäts-Bedingung

$$AFTS_{MS} < AS_{MS} \quad \text{Die Anzahl der gebrauchten Fahrzeuge im Multi-Strang muss kleiner als die Anzahl der verfügbaren Segmente sein.}$$





**Betriebsverhalten**

Normalfall:  $ZZ_{LIE} \neq ZZ_{ENG}$

**Drückende Fertigung**

$$NT_{LIE} < NT_{ENG}$$

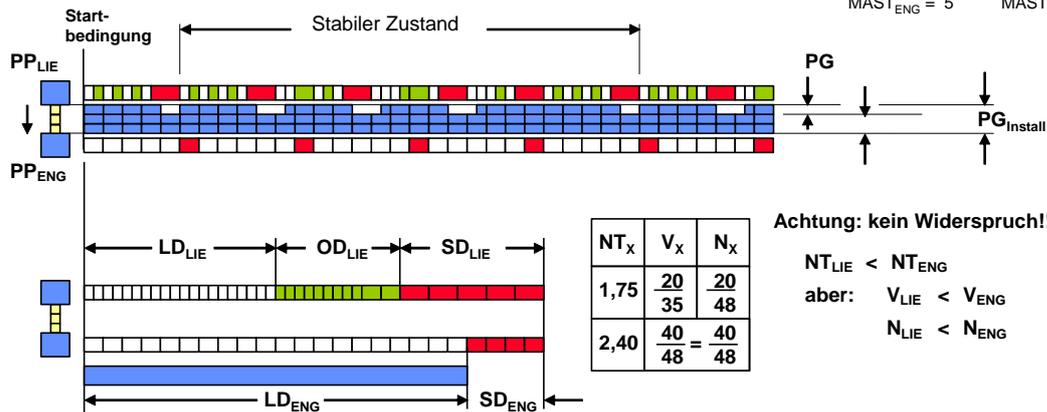
**Nutztakt**

$$NT_x = ZZ_x + \frac{MTTR_x}{MAST_x}$$

**Genutzte Puffer-Größe**

$$PG = \frac{MTTR_x + ZZ_x - ZZ_{ENG}}{ZZ_{ENG}}$$

$ZZ_{ENG} = ZZ_{LIE} = 1s$      $MTTR_{ENG} = 7s$      $MTTR_{LIE} = 3s$   
 $MAST_{ENG} = 5$      $MAST_{LIE} = 4$



**Laufdauer**

$$LD_x = ZZ_x \cdot \prod_{i=1}^n [MAST_i]$$

**Stördauer**

$$SD_x = \frac{MTTR_x}{MAST_x} \cdot \prod_{i=1}^n [MAST_i]$$

**Organisationsdauer**

$$OD_{LIE} = LD_{ENG} - LD_{LIE} + SD_{ENG} - SD_{LIE}$$

### Betriebsverhalten

### Ziehende Fertigung

### Genutzte Puffer-Größe

Normalfall:  $ZZ_{ENG} \neq ZZ_{KUN}$

$$NT_{LIE} > NT_{ENG}$$

$$NT_X = ZZ_X + \frac{MTTR_X}{MAST_X}$$

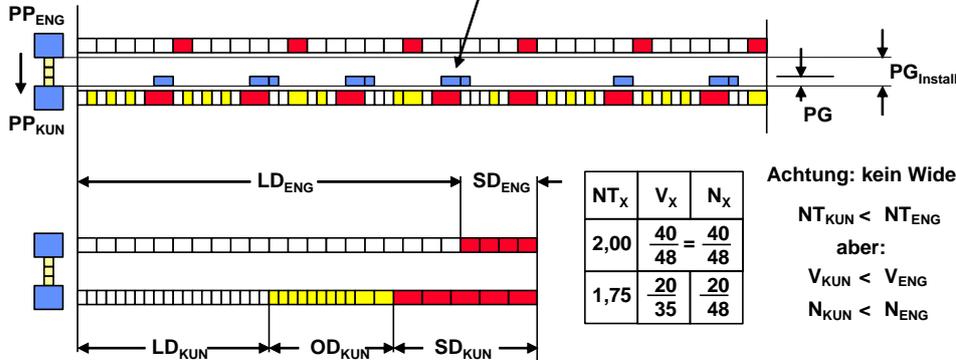
$$PG = \frac{MTTR_X + ZZ_X - ZZ_{ENG}}{ZZ_{ENG}}$$

$$ZZ_{ENG} = ZZ_{LIE} = 1s$$

$$MTTR_{ENG} = 7s \quad MTTR_{LIE} = 3s$$

$$MAST_{ENG} = 5 \quad MAST_{LIE} = 4$$

Pufferverhalten komplementär zur drückenden Fertigung



Achtung: kein Widerspruch!!

$NT_{KUN} < NT_{ENG}$   
 aber:  
 $V_{KUN} < V_{ENG}$   
 $N_{KUN} < N_{ENG}$

### Laufdauer

$$LD_X = ZZ_X \cdot \prod_{i=1}^n [MAST_i]$$

### Stördauer

$$SD_X = \frac{MTTR_X}{MAST_X} \cdot \prod_{i=1}^n [MAST_i]$$

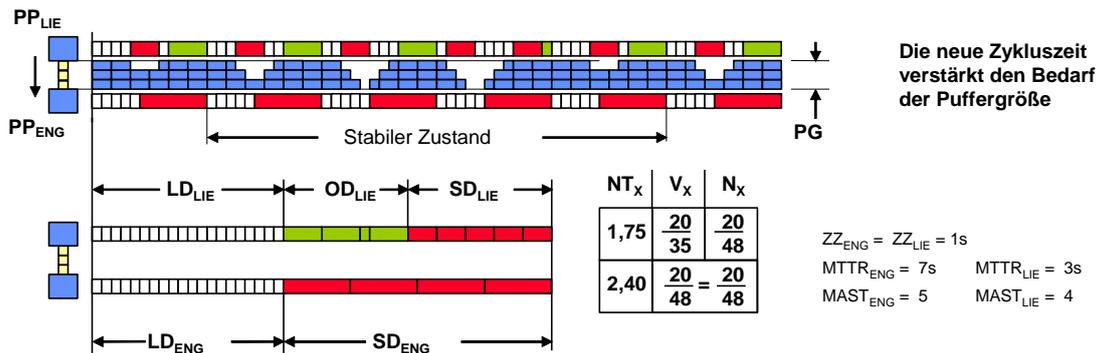
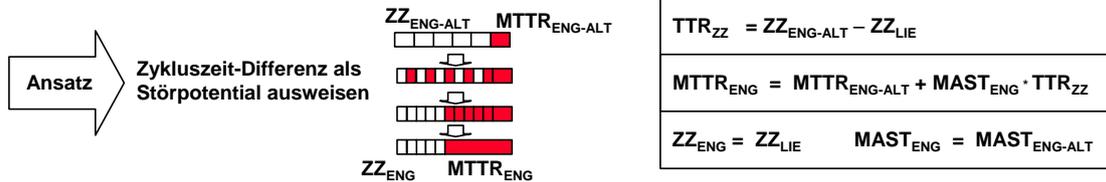
### Organisationsdauer

$$OD_{KUN} = LD_{ENG} - LD_{KUN} + SD_{ENG} - SD_{KUN}$$

### Betriebsverhalten

Normalfall:  $ZZ_{LIE} \neq ZZ_{ENG}$

Vergleiche Bild MLT-04-04-04-1



Die neue Zykluszeit verstärkt den Bedarf der Puffergröße

$NT_X$	$V_X$	$N_X$
1,75	$\frac{20}{35} = \frac{20}{48}$	$\frac{20}{48}$
2,40	$\frac{20}{48} = \frac{20}{48}$	$\frac{20}{48}$

$$ZZ_{ENG} = ZZ_{LIE} = 1s$$

$$MTTR_{ENG} = 7s \quad MTTR_{LIE} = 3s$$

$$MAST_{ENG} = 5 \quad MAST_{LIE} = 4$$

### Laufdauer

$$LD_X = ZZ_X \cdot \prod_{i=1}^n [MAST_i]$$

### Stördauer

$$SD_X = \frac{MTTR_X}{MAST_X} \cdot \prod_{i=1}^n [MAST_i]$$

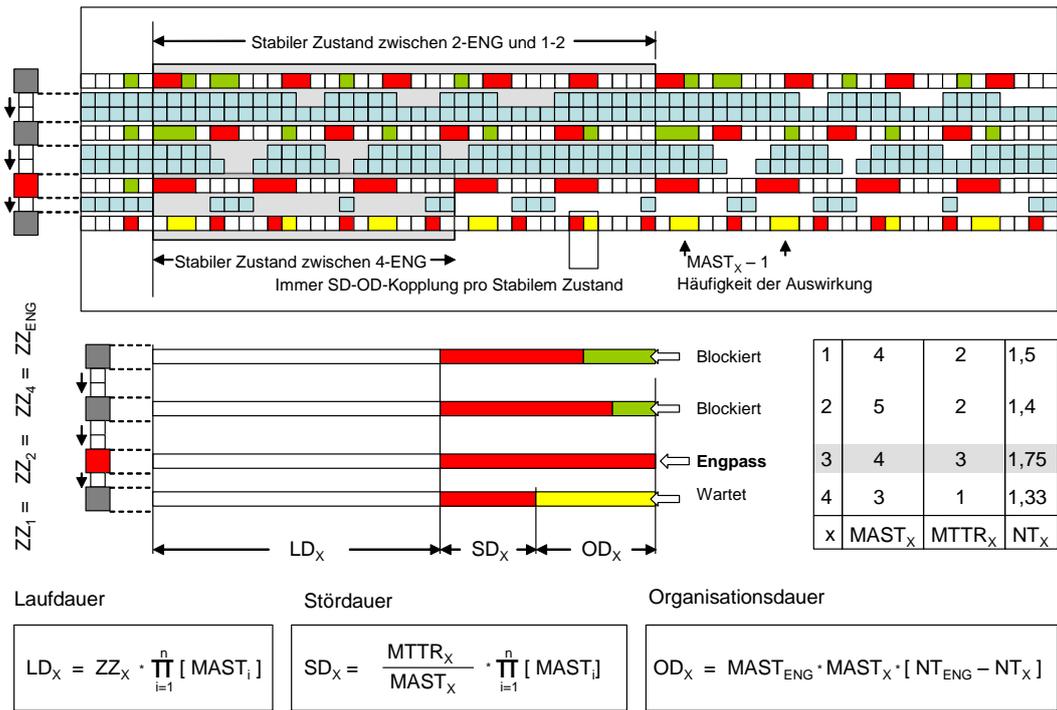
### Organisationsdauer

$$OD_{LIE} = SD_{ENG} - SD_{LIE}$$

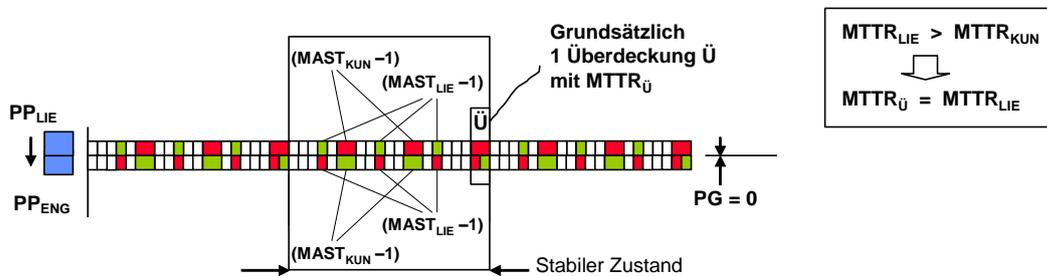
### Genutzte Puffer-Größe wenn $ZZ_{ENG} = ZZ_{LIE}$

$$PG_{NEU} = \frac{MTTR_X}{ZZ_{ENG}}$$

## Betriebsverhalten



## Starre Verkettung / Null-Puffer



### Stördauer

$$SD_{LIE} = (MAST_{KUN} - 1) \cdot MTTR_{LIE} + MTTR_{\bar{U}}$$

### Organisationsdauer (Wart./Block.)

$$OD_{LIE} = (MAST_{LIE} - 1) \cdot MTTR_{KUN}$$

### Produktionsdauer

$$PD_{LIE} = LD_x + SD_{LIE} + OD_{LIE}$$

### Stördauer

$$SD_{KUN} = (MAST_{LIE} - 1) \cdot MTTR_{KUN} + MTTR_{\bar{U}}$$

### Organisationsdauer (Wart./Block.)

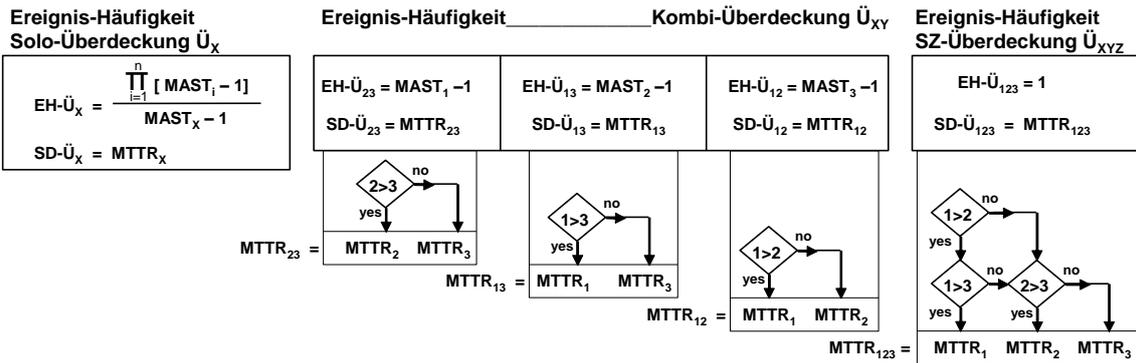
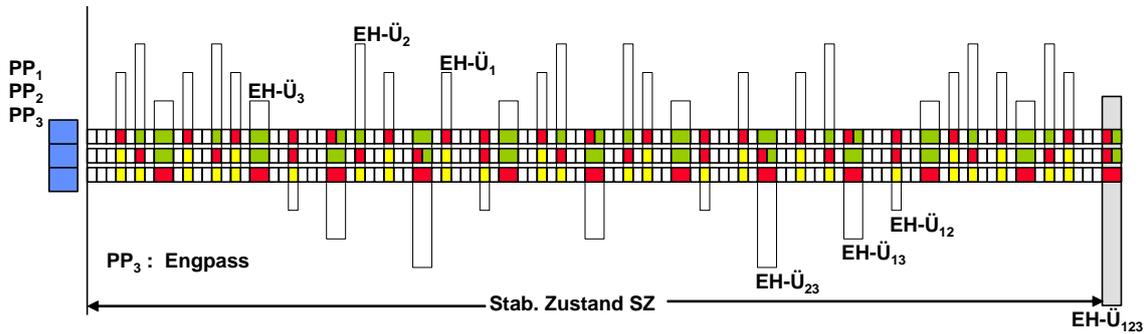
$$OD_{KUN} = (MAST_{KUN} - 1) \cdot MTTR_{LIE}$$

### Produktionsdauer

$$PD_{KUN} = LD_x + SD_{KUN} + OD_{KUN}$$

### Starre Verkettung / Null-Puffer

PP <sub>1</sub>		MAST <sub>1</sub> = 3	MTTR <sub>1</sub> = 1
PP <sub>2</sub>		MAST <sub>2</sub> = 4	MTTR <sub>2</sub> = 1
PP <sub>3</sub>		MAST <sub>3</sub> = 5	MTTR <sub>3</sub> = 2

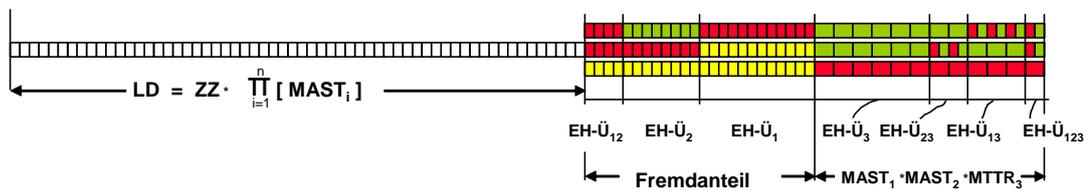
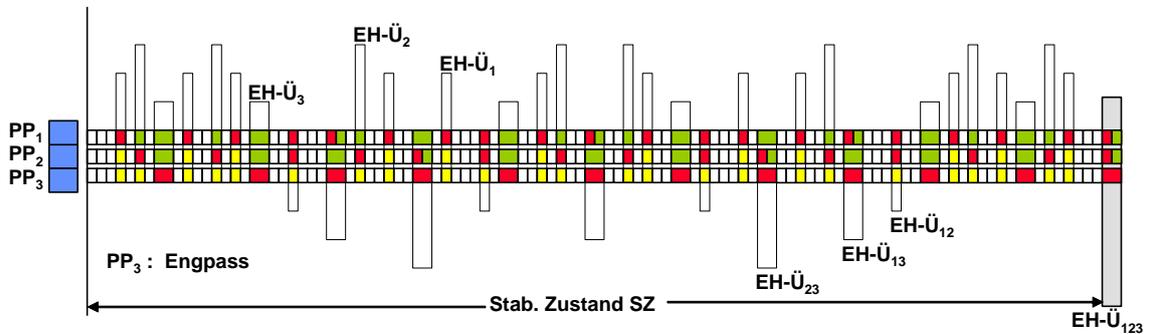


Fortsetzung Bild MLT-04-04-05-7

### Starre Verkettung / Null-Puffer

Fortsetzung zum Bild MLT-04-04-05-6

PP <sub>1</sub>		MAST <sub>1</sub> = 3	MTTR <sub>1</sub> = 1
PP <sub>2</sub>		MAST <sub>2</sub> = 4	MTTR <sub>2</sub> = 1
PP <sub>3</sub>		MAST <sub>3</sub> = 5	MTTR <sub>3</sub> = 2



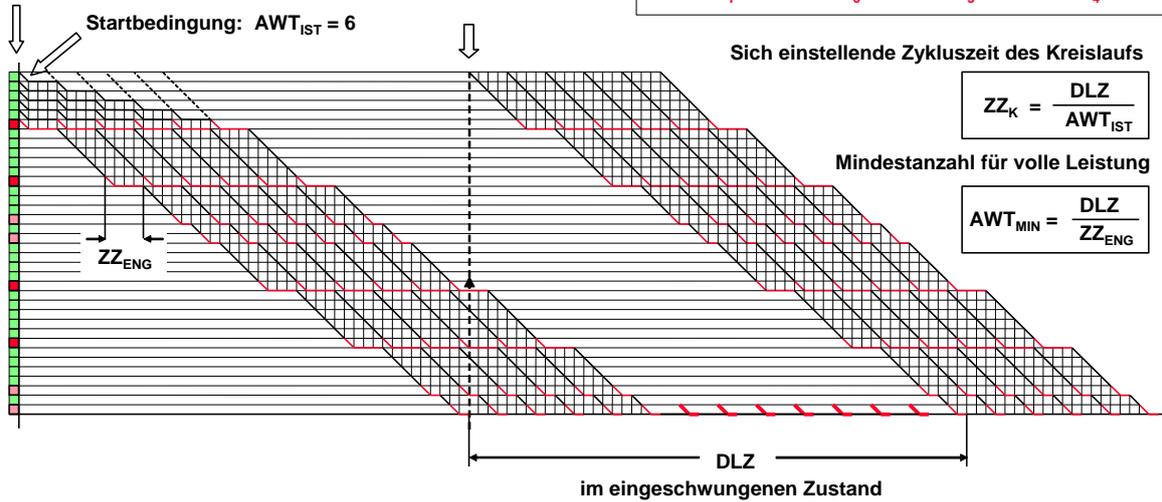
Nutzungsgrad des Engpasses PP<sub>3</sub>

$$N_{ENG} = N_3 = \frac{LD}{LD + MAST_1 * MAST_2 * MTTR_3 + [EH\text{-}\bar{U}_{12} * MTTR_{12} + EH\text{-}\bar{U}_{23} * MTTR_{23} + EH\text{-}\bar{U}_{13} * MTTR_{13}]}$$

← Eigenstöranteil →
← Fremdstöranteil →

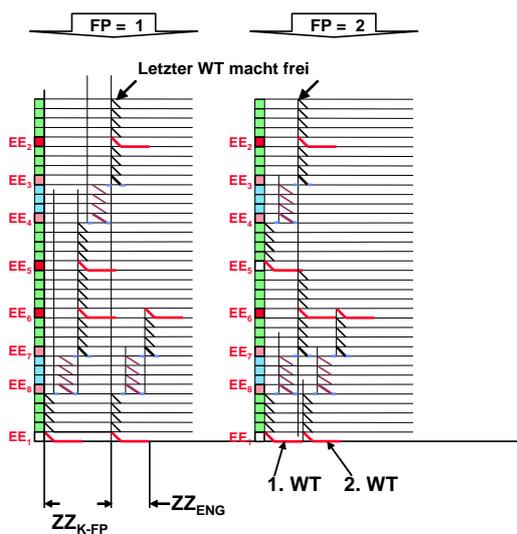
## Durchlauf-Simulation

Reihenfolge der Stau- und Einzel-Elemente

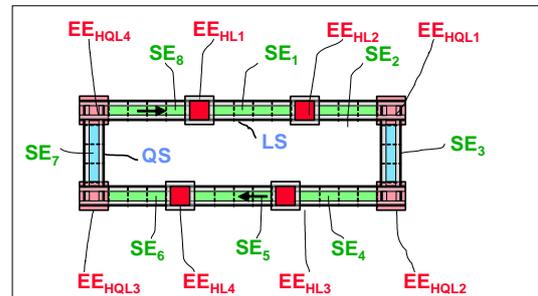


## Durchlauf-Simulation

Anzahl der HQL EinzelElemente  $A_{HQL} = 4$   
 Zykluszeitwirksam ist nur ein empfangendes HQL-Element im Querstrang QS



StauElement  
 EinzelElement



Max. WT-Anzahl

$$AWT_{MAX} = \sum_{j=1}^n EE(j) + \sum_{i=1}^m ES(i)$$

Belegte Plätze

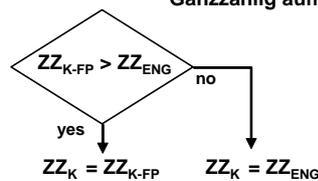
$$AWT = AWT_{MAX} - FP$$

FreiPlätze FP

Mittlere Zykluszeit des Kreislaufs durch FP

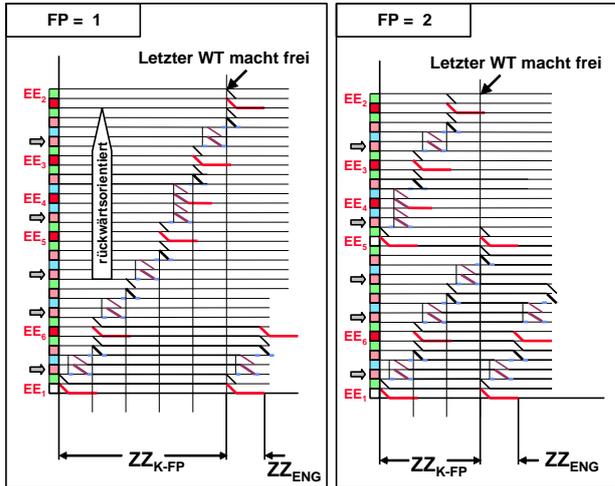
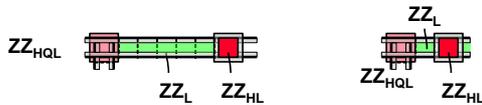
$$ZZ_{K-FP} = \frac{A_{HQL}}{2 * FP} [ ZZL + 2 * ZZH + ZZQ ]$$

Ganzzahlig aufrunden

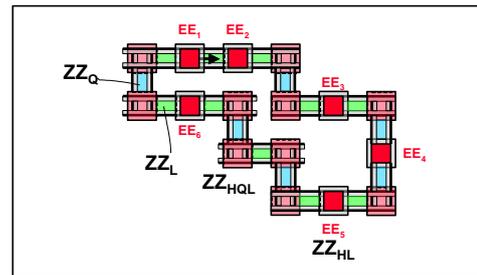


## Durchlauf-Simulation

Stau-Elemente haben bei überfüllten Anlagen keine Auswirkung  
Auf EinzelElemente Reduziertes Ersatzschaltbild



## Reduzierte Anlagenstruktur

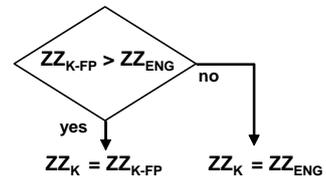


Anzahl der HQL EinzelElemente  $A_{HQL} = 10$

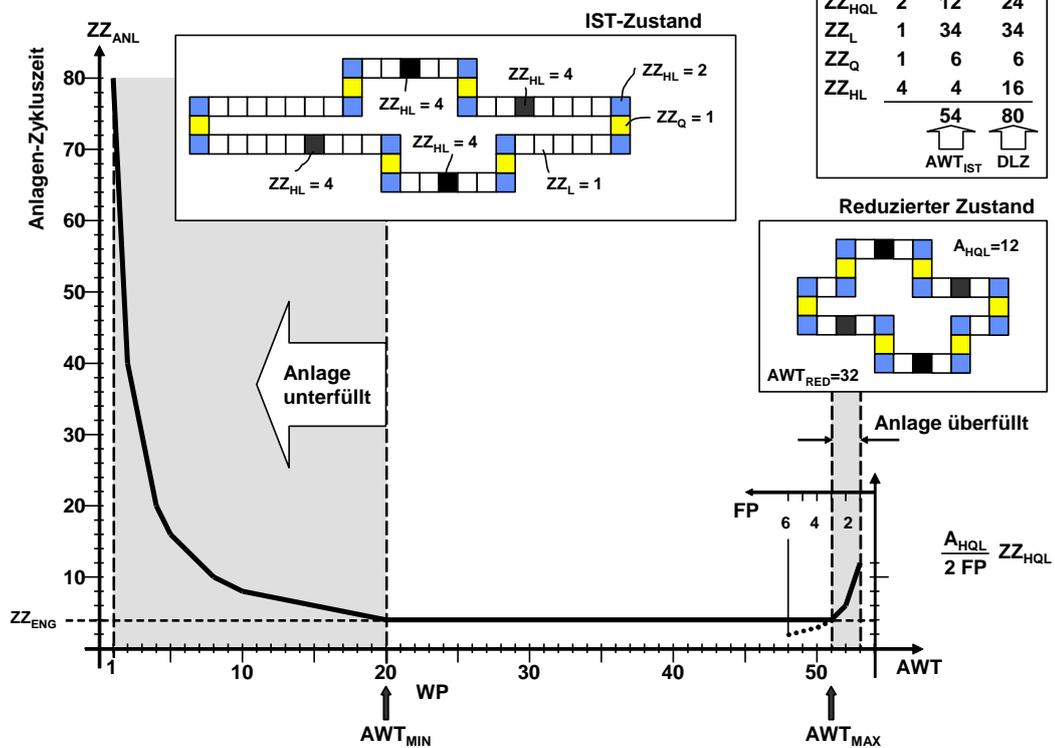
Mittlere Zykluszeit des Kreislaufs durch FP

$$ZZ_{K-FP} = \left\lceil \frac{A_{HQL}}{2 \cdot FP} \cdot [ZZ_L + 2 \cdot ZZ_H + ZZ_Q] \right\rceil$$

Ganzzahlig aufrunden

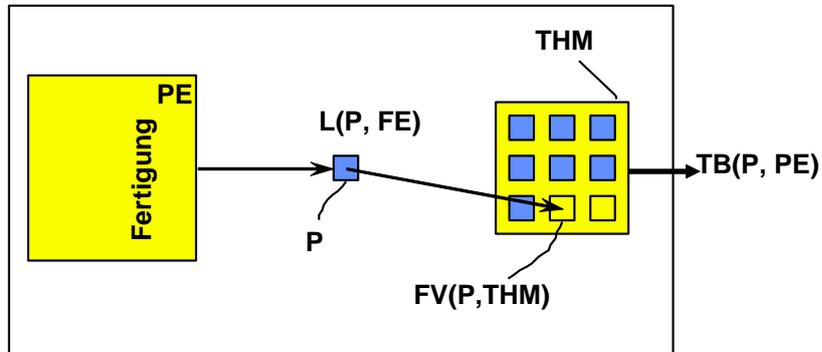


## Anlagen-Zykluszeit = f ( AWT )



## Transport-Bedarf aus THM-Sicht

Die Situation



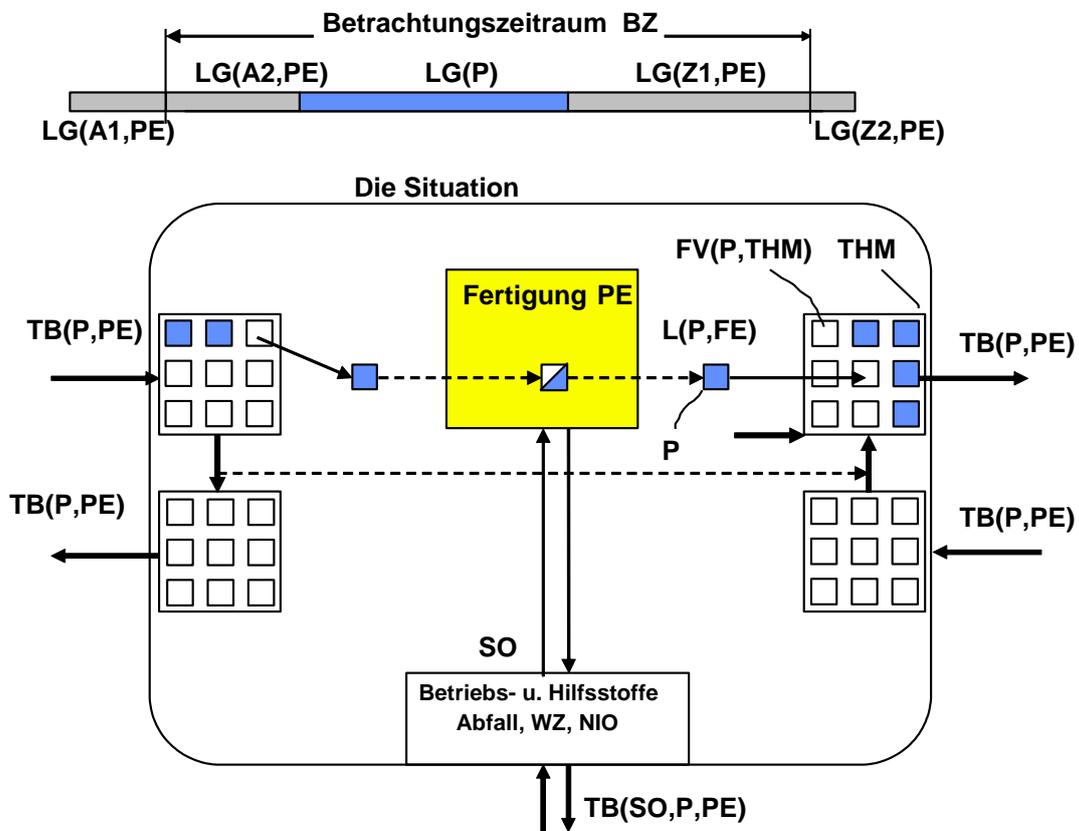
- PE : ProduktionsEinrichtung
- AI : ArbeitsInhalt [min/Stck]
- P : Produkt P
- THM : TransportHilfsMittel
- L : Leistung [Stck/min]
- FV : Fassungs-Vermögen des THM (Stck/THM)

$$L(P, PE) = \frac{1}{AI(P, PE)} \left[ \frac{\text{Stck}}{\text{min}} \right]$$

Transport-Bedarf aus THM-Sicht

$$TB(THM) = \frac{L(P, PE)}{FV(P, THM)} \left[ \frac{\text{THM}}{\text{min}} \right]$$

# Transport-Bedarf aus PE-Sicht



Transportbedarf pro Fertigungsauftrag

$$TB(i, PE) = \frac{LG(i,PE)}{FV(i,THM)} + \frac{LG(i,PE)}{FV(i,THM)} + TB(SO,i,PE)$$

Voll-THM                      Leer-THM

Transport-Bedarf aus PE-Sicht im BZ

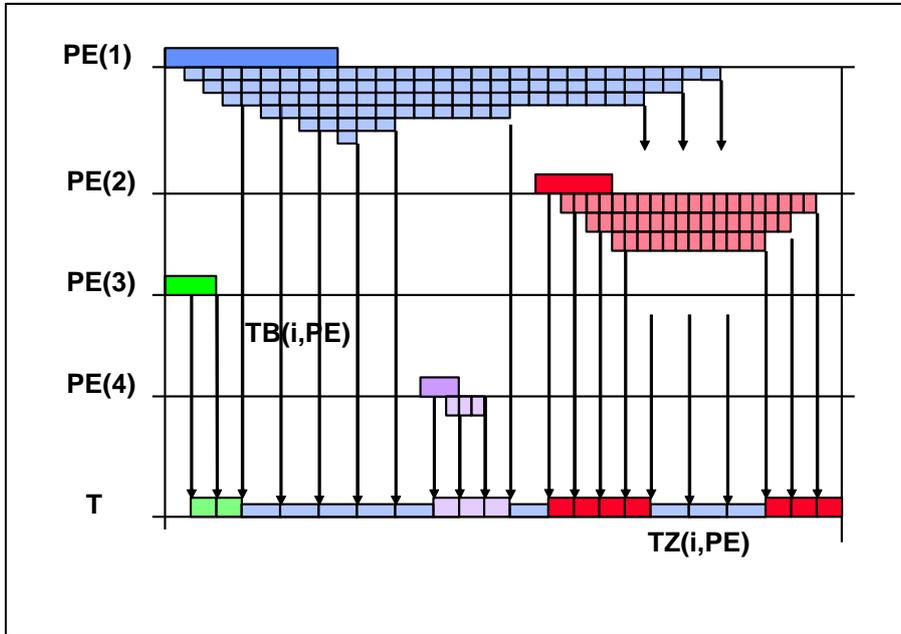
$$TB(PE) = \sum_{i=A}^Z TB(i,PE) \quad \left[ \frac{\text{Anzahl}}{\text{BZ}} \right]$$

PE : ProduktionsEinrichtung  
P : Produkt P

THM : Transport-Hilfsmittel  
L : Stückleistung  
FV : Fassungs-Vermögen [Stck/THM]

# Transport-Bedarf aus TransporteurSicht

Die Situation



## Transportbedarf aus TransporteurSicht TS

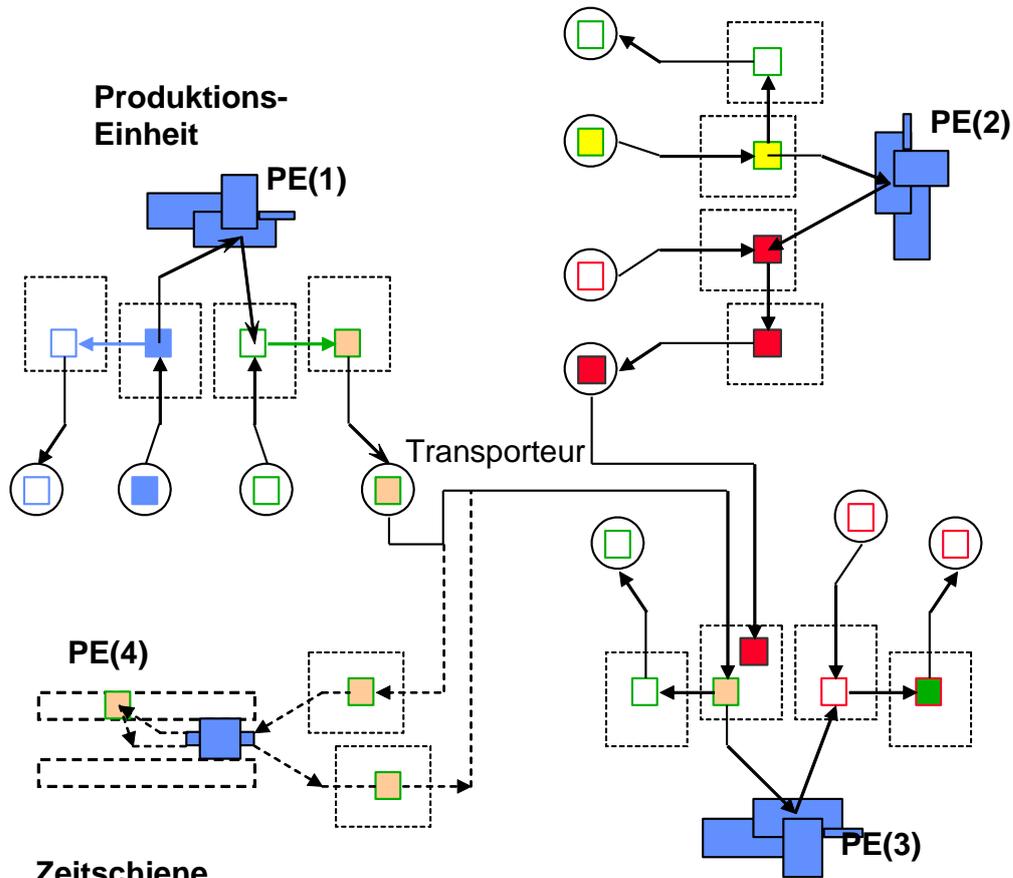
$$TB(TS) = \sum_{x=1}^{PE} TB(i, x)$$

## Auslastung aus TransporteurSicht TS

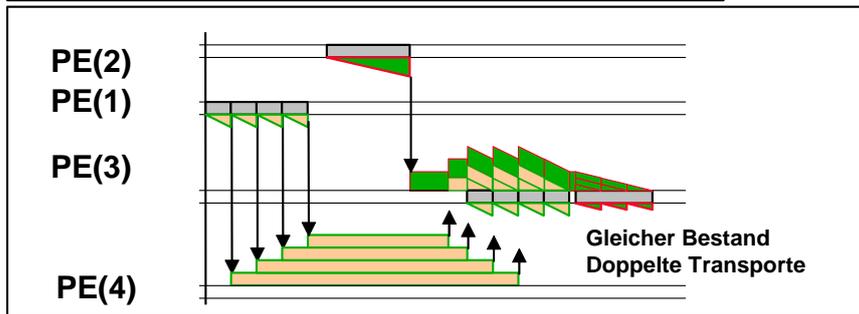
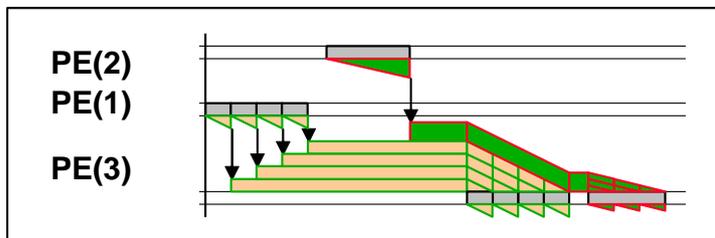
$$A(TS) = \sum_{x=1}^{PE} TB(i, x) * TZ(i, x)$$

- PE : ProduktionsEinrichtung
- TR : Transporteur
- P : Produkt P
- THM : Transport-Hilfsmittel
- L : Leistung [Stck/min]
- FV : Fassungs-Vermögen [Stck/THM]

# Transport-Bedarf bzw. -Mehrbedarf



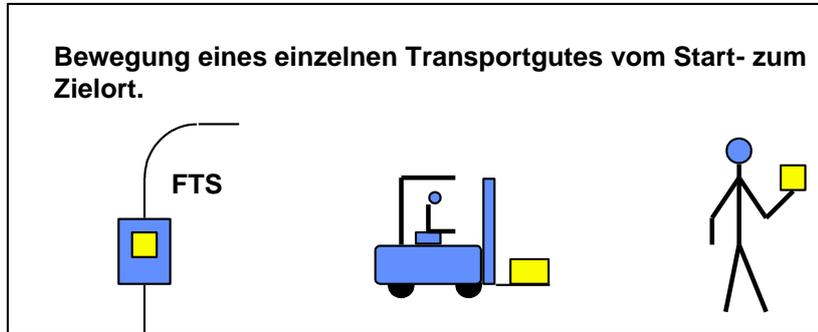
## Zeitschiene



# Transport-Auftrag

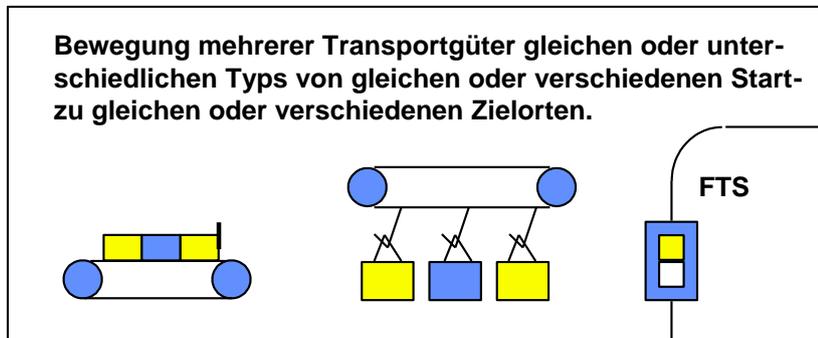
## Einzel-Transport

Bewegung eines einzelnen Transportgutes vom Start- zum Zielort.



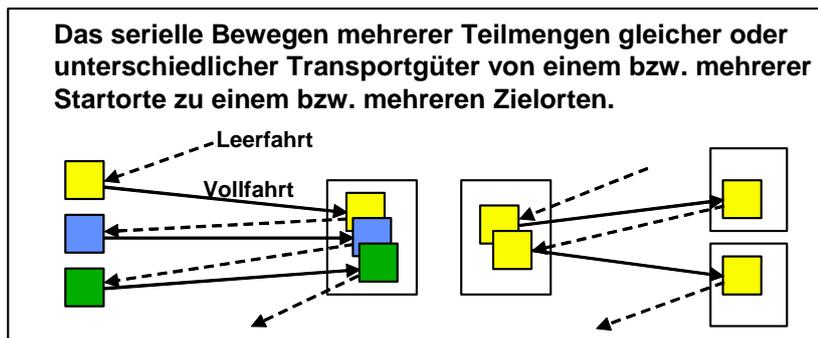
## Mengen-/Block-Transport

Bewegung mehrerer Transportgüter gleichen oder unterschiedlichen Typs von gleichen oder verschiedenen Start- zu gleichen oder verschiedenen Zielorten.

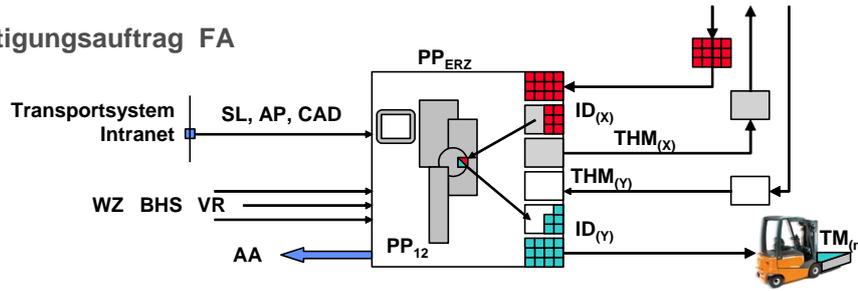


## Koppel-Transport

Das serielle Bewegen mehrerer Teilmengen gleicher oder unterschiedlicher Transportgüter von einem bzw. mehreren Startorte zu einem bzw. mehreren Zielorten.



## Der Fertigungsauftrag FA



Menge identischer und in Folge gefertigter Identnummernwechsel  $ID_{(x)} ? ID_{(y)}$

Fertigungsauftragsmenge  $FAM_{(ID)}$  soll ein Vielfaches des THM-Fassungsvermögens  $FV_{(THM)}$  sein

Bereitstellung der FA-Unterlagen (AP: Arbeitsplan, CAD-Zeichnungen, SL: Stückliste etc.)

Bereitstellung der Werkzeuge WZ, der Vorrichtungen VR, der Betriebs- und Hilfsstoffe BHS und die Entsorgung der Abfallarten AA

FA	$ID_{(y)}$	$FAM_{(ID)}$	$AP_{(ID)}$	$CAD_{(ID)}$	$SL_{(ID)}$	$WZ_{(ID)}$	$VR_{(ID)}$	$BHS_{(ID)}$	$AA_{(ID)}$	AA-Menge [m³/ID]
002-2009	471100	0100	221870	553225 57.. 59..	341560	701288 73..	785401 75.. 76..	955435 97.. 98..	932301 91.. 92..	0,001 .. ..
		$FV_{(THM)}$	Intranet							

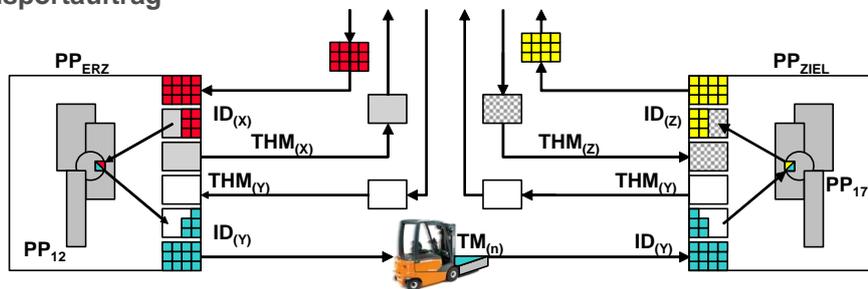
Transportauslösende Güter

© D. Habenicht

Steuerung / Verwaltung

MLT-04-05-02-1

## Der Transportauftrag



Jede Identnummer  $ID_{(i)}$  hat mindestens 1 Erzeugungs-  $PP_{ERZ}$  und mindestens 1 Zielort  $PP_{ZIEL}$

Jede Identnummer  $ID_{(i)}$  hat ein eindeutiges Transporthilfsmittel  $THM_{(m)}$  inkl. aller Inlets.

Jedes Transporthilfsmittel  $THM_{(m)}$  ist einem eindeutigen Typ Transportmittel  $TM_{(n)}$  zuzuordnen.

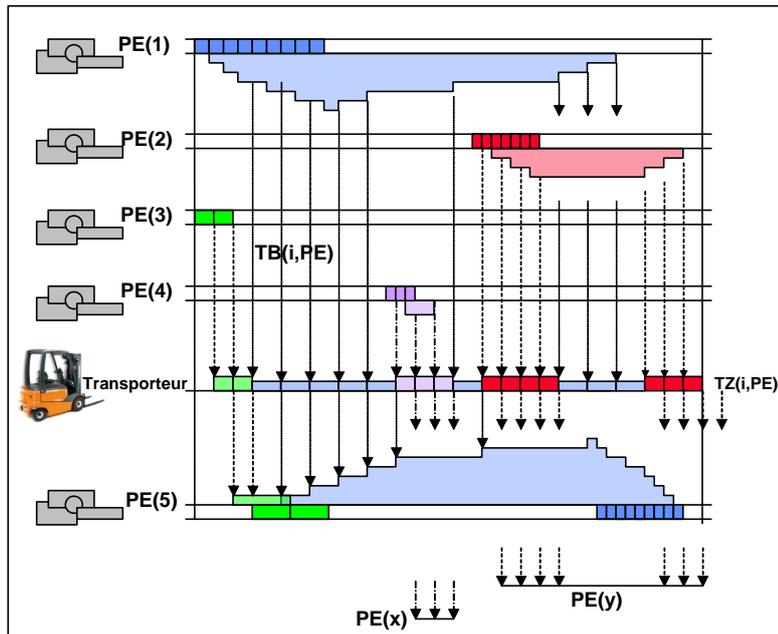
$ID_{(y)}$	THM-ID	Inlet-ID	FV-Inlet	Rahmen-ID	Inlet-Anzahl	$FV_{(THM)}$ [Stck]	Gesamt-Gewicht [N]	$PP_{ERZ}$	$PP_{ZIEL}$	$TM_{(i)}$	Maximale Stapelhöhe auf $TM_{(i)}$
347110000	2080	0249	10	1249	5	50	250	012	017	50	1

© D. Habenicht

Steuerung / Verwaltung

MLT-04-05-02-1

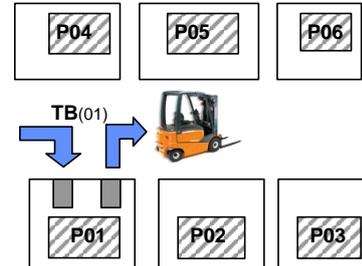
# Die Transport-Steuerung



## Betriebsmittel

### Produktionsprogramm

PE <sub>START</sub>	ID	SJ	RH	TB <sub>(01,i)</sub>	PE <sub>ZIEL</sub>	TZ <sub>(01,j)</sub>	TM <sub>(x)</sub>
001	04711	2.000	10	50	031	10	356
001	00815	1.200	6	12	187	12	312
001	00007	4.000	10	30	007	10	348
001	01324	80	20	40	114	4	312
001	09876	1.000	10	20	071	10	312
001	04466	1.600	8	16	082	8	347
001	03311	100	4	8	004	8	312
..	..	..	..	..	..	..	..



### Jahres-Transport-Bedarf

$$JTB_{(01)} = \sum_{i=1}^{ID} TB_{(01,i)}$$

### Jahres-Transport-Kapazität TM<sub>(312,01)</sub>

$$JTK_{(01,312)} = \sum_{i=1}^{ID} (TB_{(01,312,i)} \cdot TZ_{(01,312,i)})$$

### Nutzbare Kapazität

$$KAP_N = A \cdot AT \cdot DS$$

Auslastung
Dauer d. Schicht  
Arbeitstage/Jahr

### Jahres-Transport-Kapazität

$$JTK_{(312)} = \sum_{n=1}^{PE} JTK_{(n,312)}$$

### Anzahl TM<sub>(312)</sub>

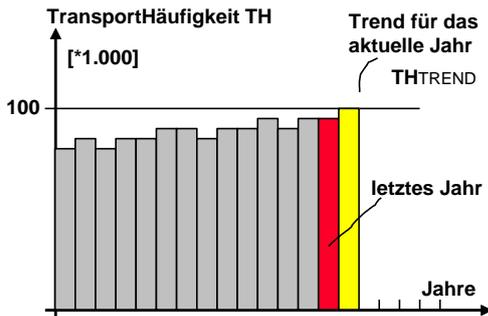
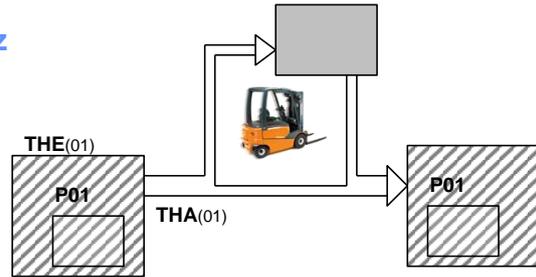
$$A-TM_{(312)} = \frac{JTK_{(312)}}{KAP_N}$$

## Betriebsmittel TransportKostensatz

### Philosophie

Die Läger gehören zum Transportwesen. Im Abbau der Läger steckt das Potential zur Transportautomation.

6+2 Mitarbeiter im Transportwesen (2 in Verwalt.)  
220 Arbeitstage  
7 h/Tag



Trend: Überprüfung des Transportintervalls  
TI = 5,45 min/Trans

### Jahresbelastung

JB(L) duch Lager z.B.: 279.846 ?/Jahr  
JB(T) durch Transport z.B.: 307.580 ?/Jahr

### TransportKostensatz TKS

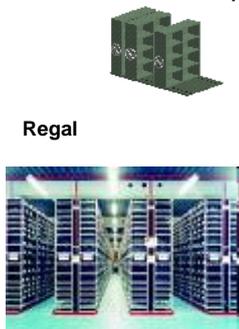
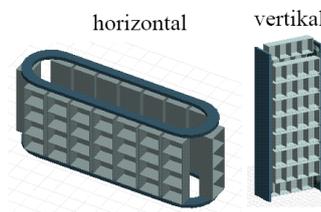
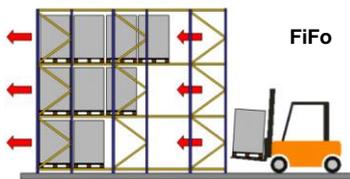
$$TKS = \frac{JB(L) + JB(T)}{THTREND} \quad [?/Transp.]$$

$$TKS = 5,88 \text{ ?/Transp.}$$

© D. Habenicht

## Wertschöpfung durch Transport

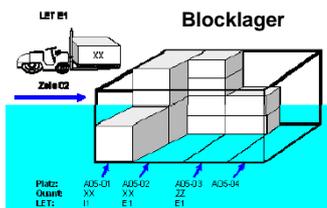
MLT-09-01



Das gezielte Nichtbewegen von Gütern

- meistens mit Kostenschopfung
- oftmals mit Wertschöpfung

mit eindeutiger Lagerortzuweisung

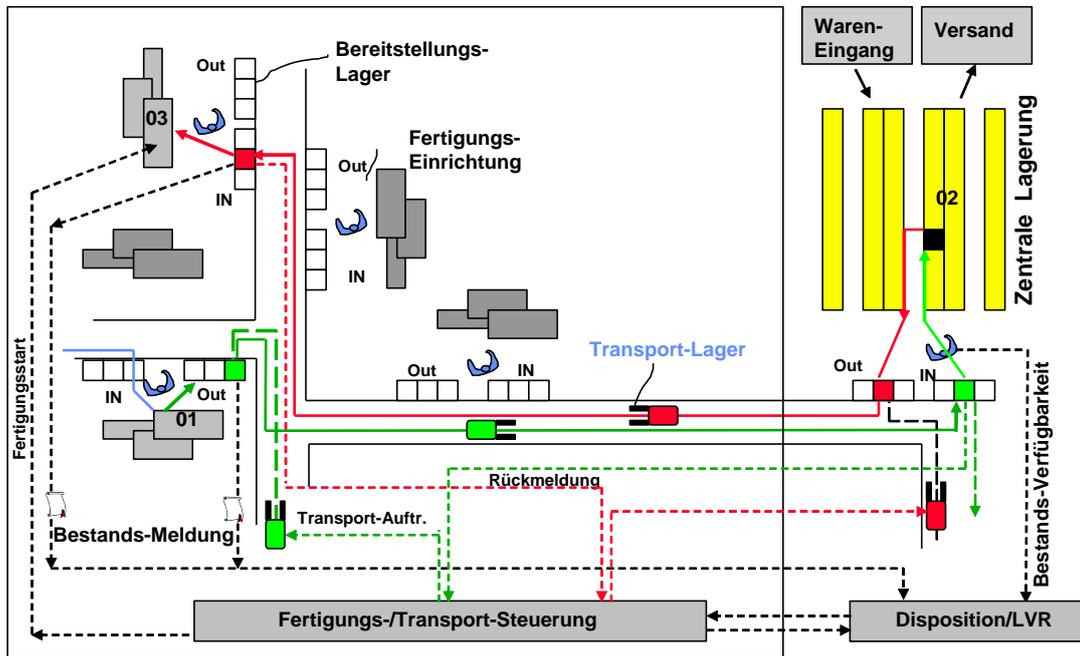


© D. Habenicht

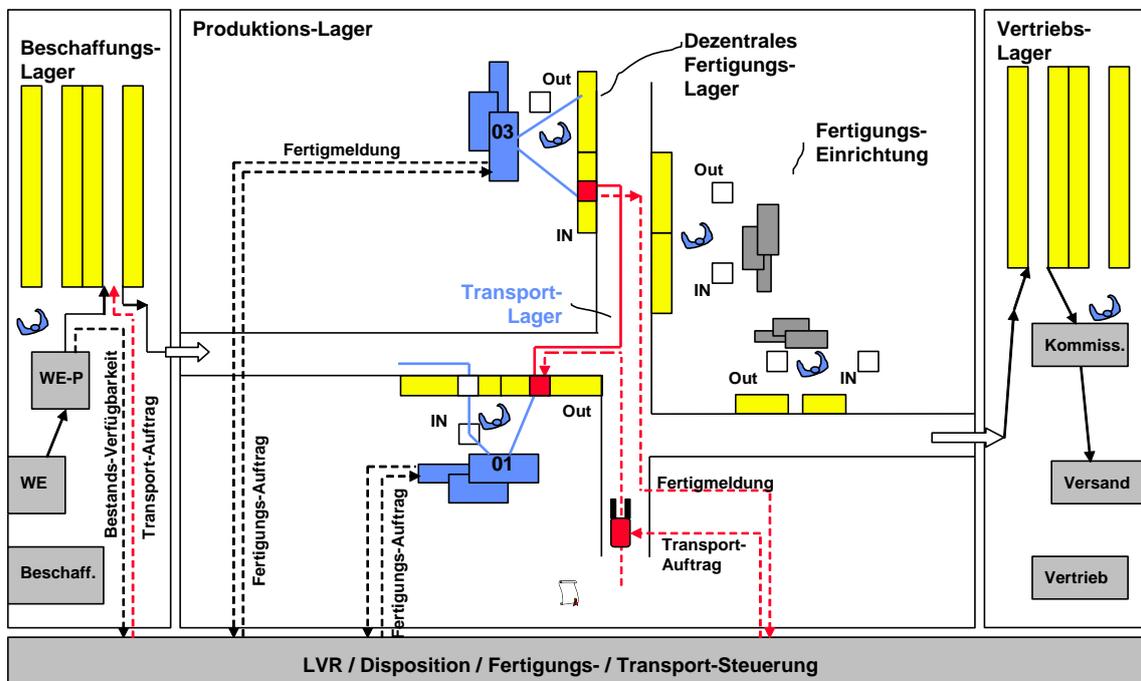
## Struktur der Lagertechnik

MLT-05-00-1

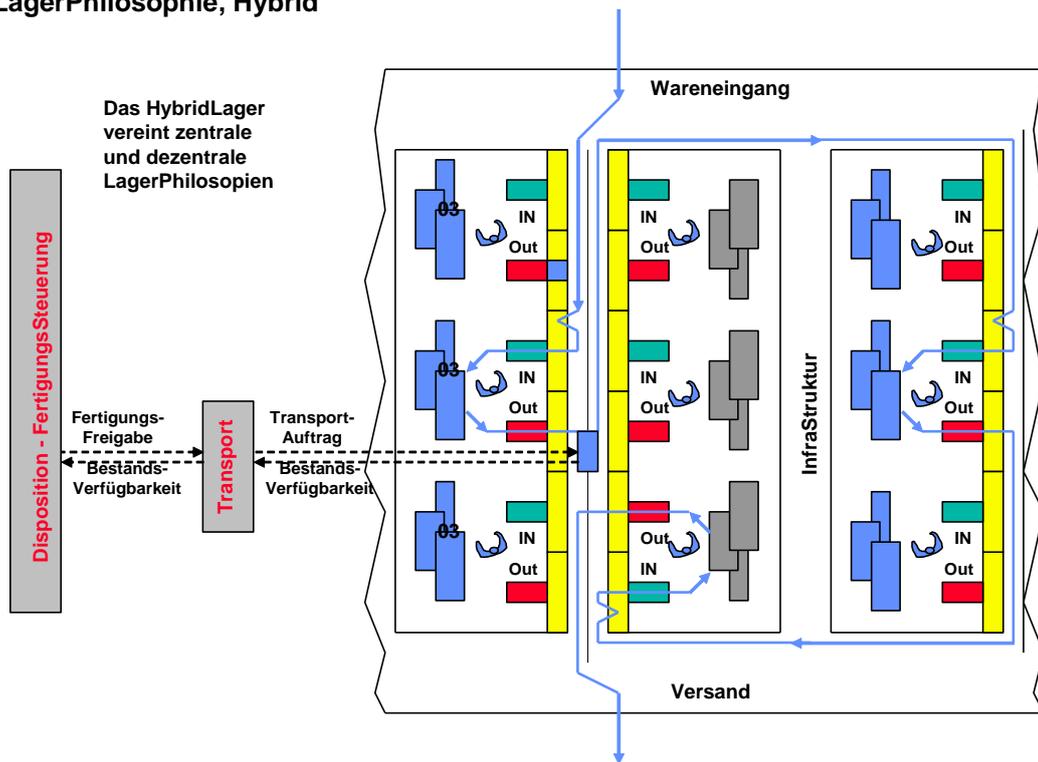
## Lager-Philosophie, Zentral



## Lager-Philosophie, Dezentral



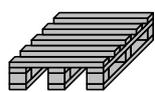
## LagerPhilosophie, Hybrid



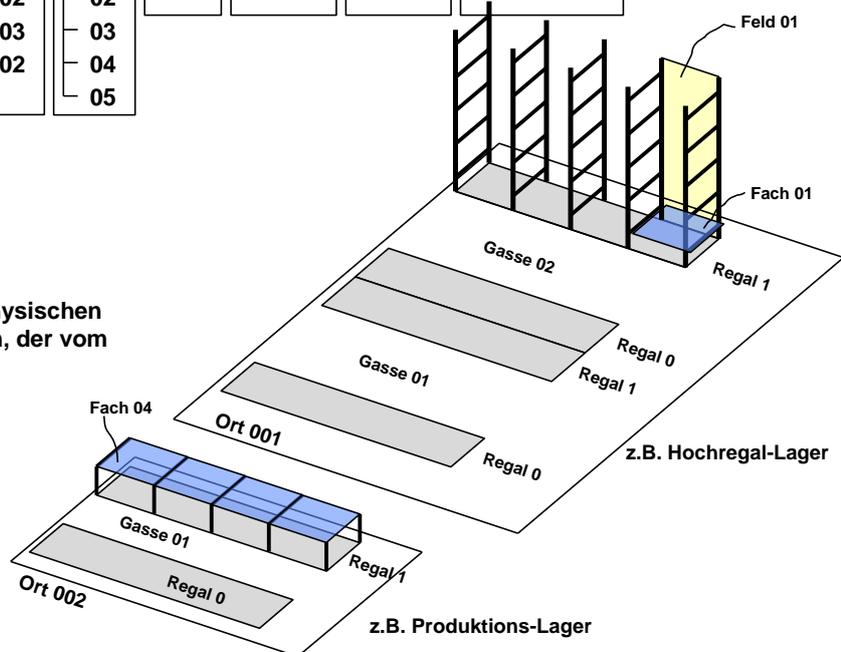
## LagerOrganisation

Ort	Gasse	Regal	Feld	Fach	THM	ID	Menge	Ein-Lag-Dat
001	01	0	01	01	2415	3020311	245	15.03.2004
			02	02				
			03	03				
			02	04				
			02	05				
002								
013								

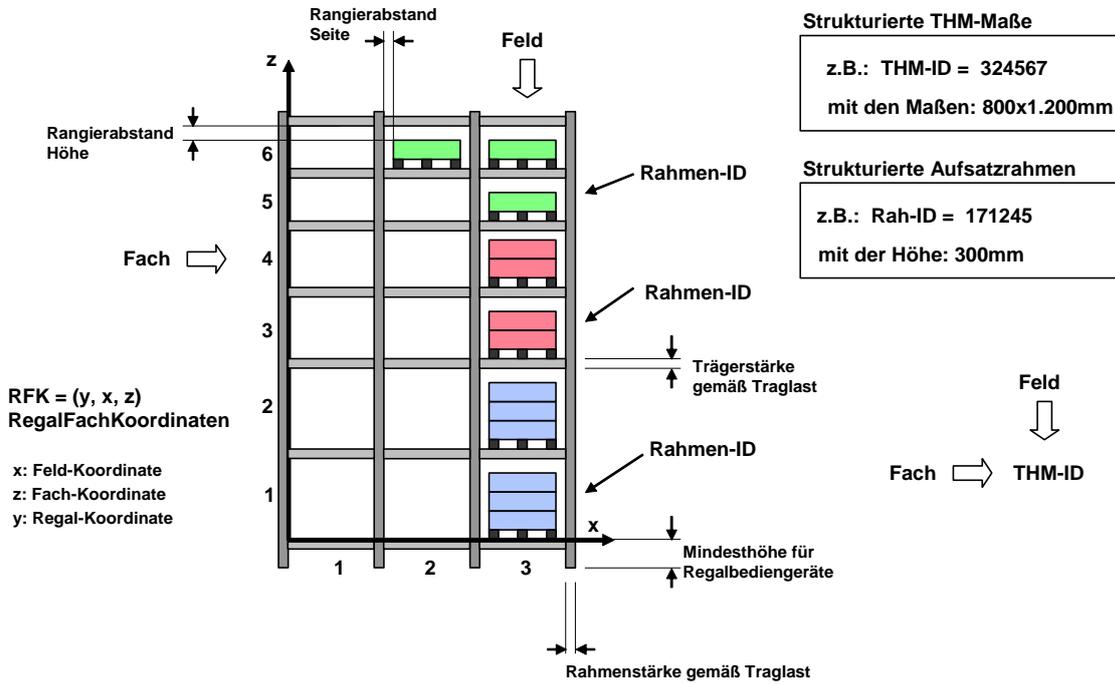
**Philosophie:**  
Jeder Behälter hat einen physischen Lagerplatz im Unternehmen, der vom LVR verwaltet wird.



THM-Beispiel



# Die Regalstruktur



## Das Einzelspiel

### Vertikale Zykluszeit

$$ZZ_V = \frac{y_e - y_0}{V(y)}$$

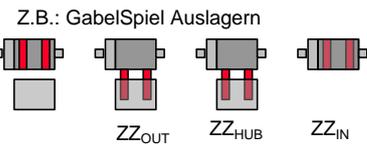
Beachte:  
 $V(y) \uparrow \neq V(y) \downarrow$

### Horizontale Zykluszeit

$$ZZ_H = \frac{x_e - x_0}{V(x)}$$

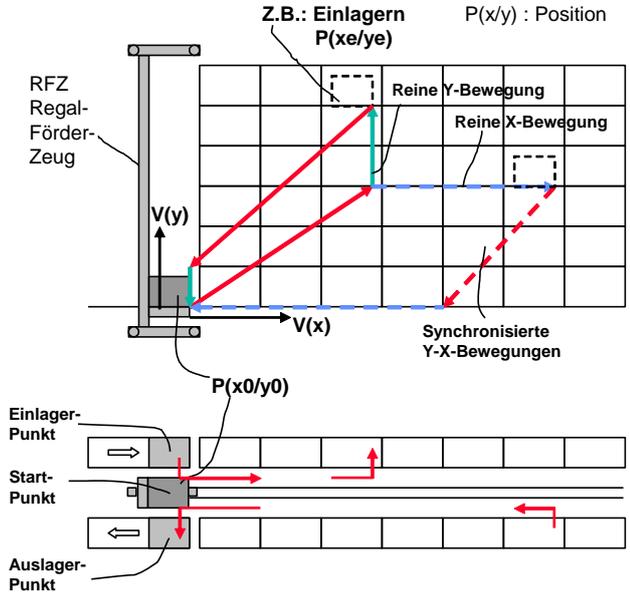
### Fallunterscheidung

$ZZ_{V \uparrow} > ZZ_H$	$ZZ_{Hin} = ZZ_{V \uparrow}$
$ZZ_{V \uparrow} < ZZ_H$	$ZZ_{Hin} = ZZ_H$
$ZZ_{V \downarrow} > ZZ_H$	$ZZ_{Rück} = ZZ_{V \downarrow}$
$ZZ_{V \downarrow} < ZZ_H$	$ZZ_{Rück} = ZZ_H$



### GabelSpiel-Zykluszeit

$$ZZ_{GS} = ZZ_{OUT} + ZZ_{HUB} + ZZ_{IN}$$



**Einzelspiel-Zykluszeit**

$$ZZ_{ES} = ZZ_{Hin} + ZZ_{Rück} + 2 ZZ_{GS}$$

## Das Doppelspiel

Vertikale Zykluszeit

$$ZZ_V = \frac{y_e - y_0}{V(y)}$$

Horizontale Zykluszeit

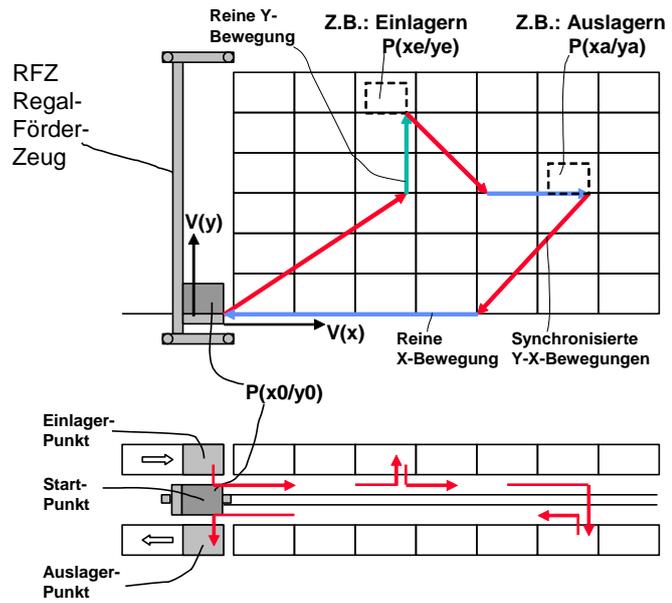
$$ZZ_H = \frac{x_e - x_0}{V(x)}$$

Beachte:

$$V(y)\uparrow \neq V(y)\downarrow$$

Restzeit in Mono-Bewegung

$$ZZ_{Mono} = ZZ_V - ZZ_H$$



Doppelspiel-Zykluszeit

$$ZZ_{DS} = ZZ_{Hin} + ZZ_{Zwi} + ZZ_{Rück} + 4 ZZ_{GS}$$

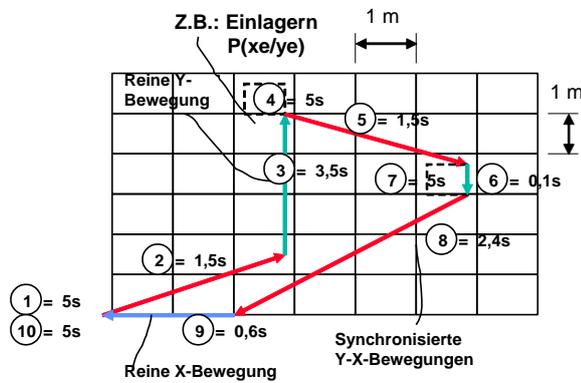
## Beispiel

$$V(y)\uparrow = 1,0 \text{ m/s}$$

$$V(y)\downarrow = 1,25 \text{ m/s}$$

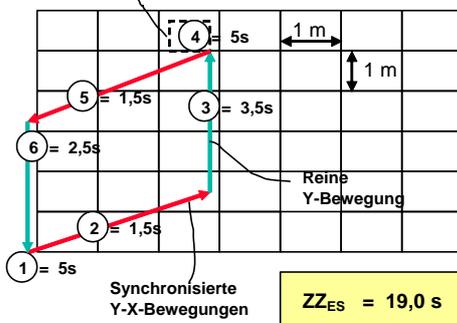
$$V(x) = 2,0 \text{ m/s}$$

$$ZZ_{GS} = 5 \text{ s}$$



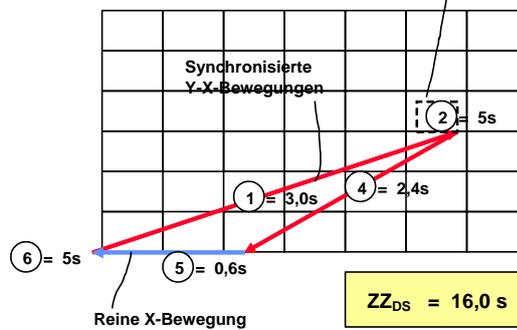
$$ZZ_{DS} = 29,6 \text{ s}$$

Z.B.: Einlagern



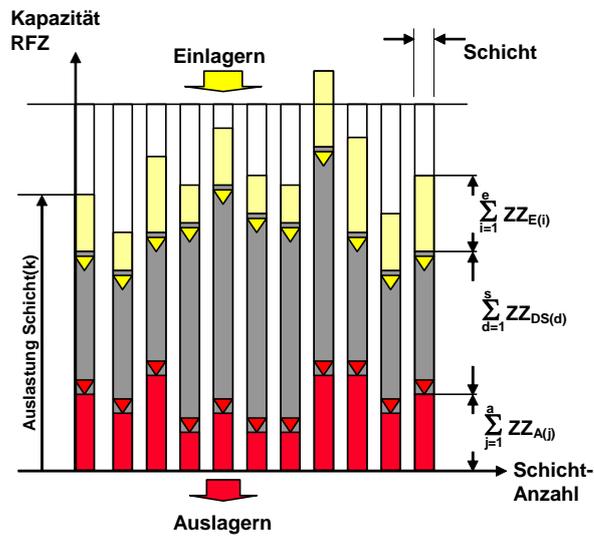
$$ZZ_{ES} = 19,0 \text{ s}$$

Z.B.: Auslagern

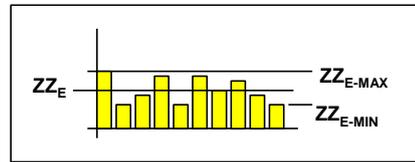


$$ZZ_{DS} = 16,0 \text{ s}$$

## Das Zeitverhalten des Lagerbedarfs

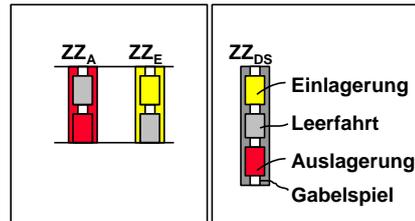


$ZZ_E$  ist abhängig vom Tagesprogramm und von der Lage (x/y) der Lagerfächer



Einzelspiel

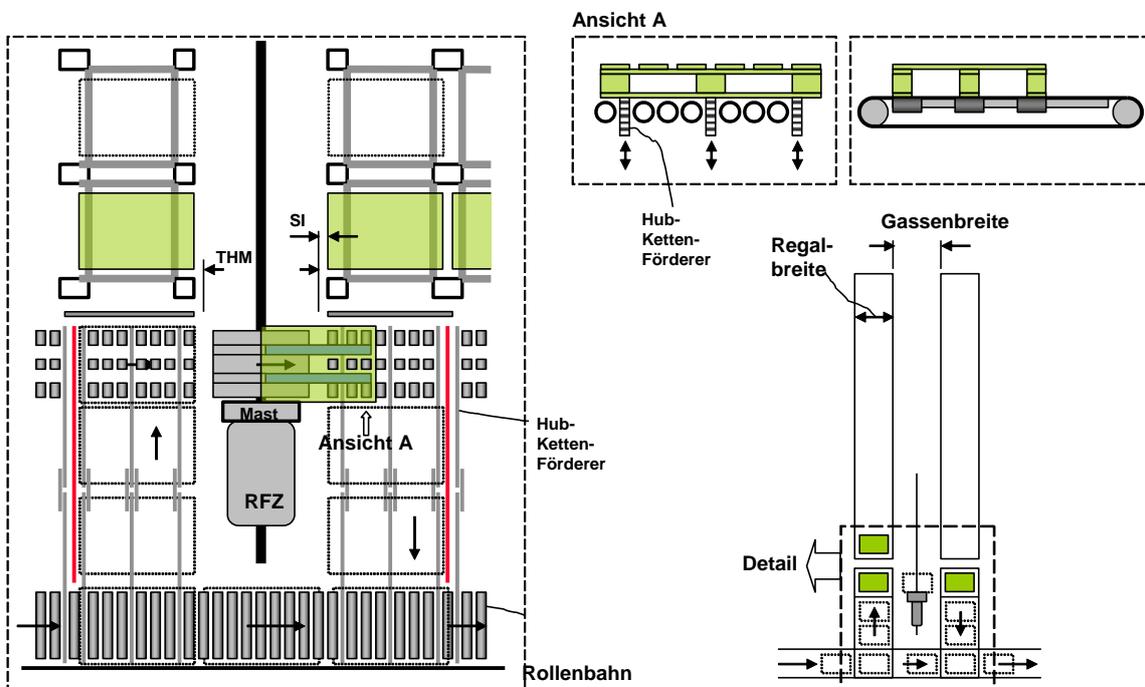
Doppelspiel



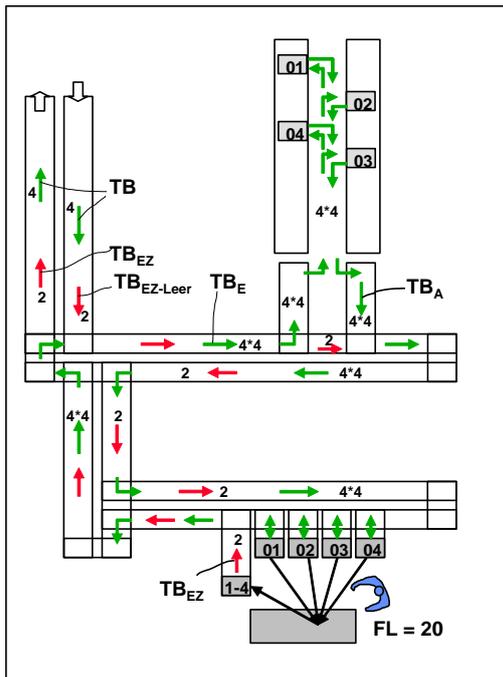
Auf langfristige Sicht:

$$\sum \text{Einlag.} = \sum \text{Auslag.}$$

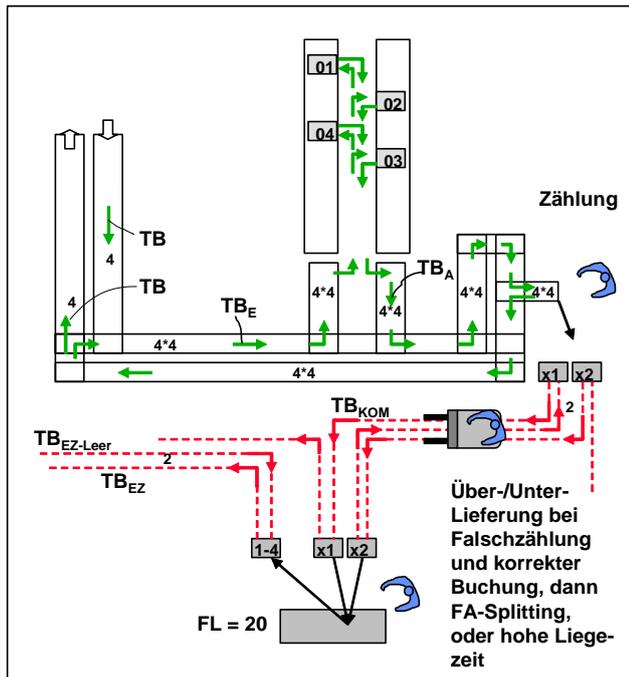
## Regallager im Materialfluss



### Auslagerung in Fertigung



### Auslagerung in Kommissionierung



$$TB_{(ID)} = BL_{ID} / FV_{THM}$$

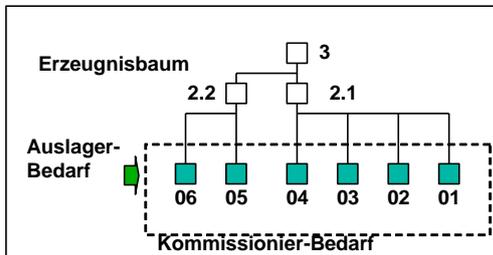
$$TB = \sum_{i=1}^{ID} TB(i)$$

$$TB_A = \frac{BL_{ID}}{FL} TB$$

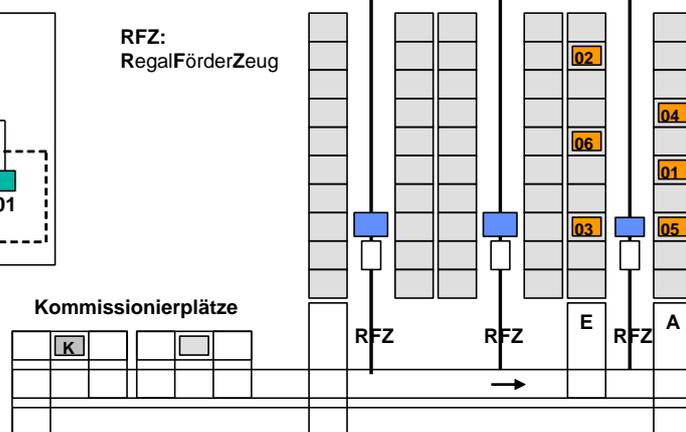
$$TB_E = TB_A$$

$$TB_{EZ} = VL_{EZ} / FV_{THM}$$

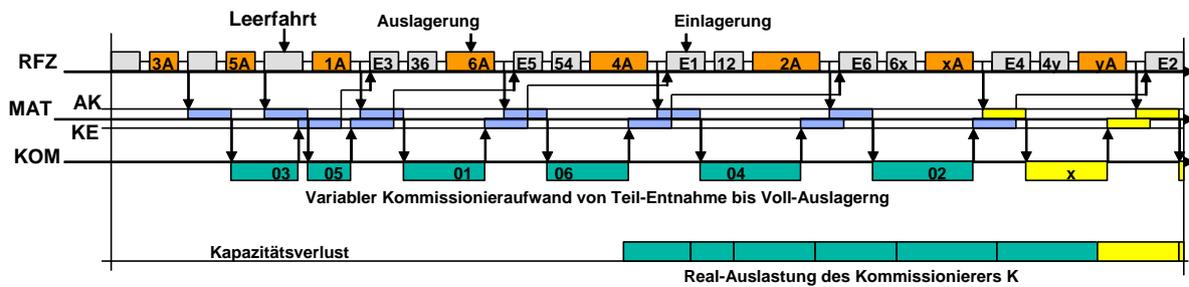
### Die Kommissionierung



RFZ: RegalFörderZeug



Problematik: Häufung von Artikeln in einer Gasse bei einem Kommissionierauftrag



# Die Lagerverwaltung

## Stamm-Daten

ID <sup>(V)</sup>	THM-ID ID lfd. Nr.	Inlet-ID	FV-Inlet	Rahmen-ID	Inlet-Anzahl	FV <sup>(THM)</sup> [Stck]	Gesamt-Gewicht [N]	PP <sub>ERZ</sub>	PP <sub>ZIEL</sub>	TM <sub>(i)</sub>	Maximale Stapelhöhe auf TM(i)
347110000	2080-02957	0249	10	1249	5	50	250	012	017	50	1

## Bestands-Daten

IST-Datum: 2009.07.01

ID	THM-ID ID lfd. Nr.	Lagerort	Menge Soll	Menge IST	Status	Start-Datum	Verweil-/Liegezeit Zum Ist-Datum JJ.MM.TT.h.m	Umschlag-Häufigkeit 2009 / 2008
347110256	0	01.00.00.0.00.00	2000	2000	1	2009.04.21	00.00.04.06.23	215 / 467
347110256	2080-02957	02.00.00.0.00.00	2000	2000	1	2009.04.25	00.00.02.01.50	215 / 467
347110256	2080-02957	05.01.03.1.03.12	2000	2000	1	2009.04.27	00.01.04.06.23	215 / 467
347110256	2080-02957	03.01.03.1.03.12	2000	2000	1	2009.05.01	00.01.04.06.23	215 / 467
347110256	2080-02957	05.00.00.0.00.00	1600	1600	1	2009.06.01	00.01.00.01.40	215 / 467
347110256	2080-01634	02.00.00.0.00.00	1000	1000	1	2009.05.01	00.02.00.06.10	215 / 467
347110256	0	01.00.00.0.00.00	1600	1600	1	2009.06.01	00.01.00.01.40	215 / 467
347110256	2080-05698	02.00.00.0.00.00	1000	1000	0	2009.03.01	00.04.00.00.15	215 / 467
013242566	2080-01355	01.02.06.0.02.08	400	400	1	2009.06.01	00.01.00.01.40	017 / 052

Status: 1: Freigegeben  
0: Gesperrt

Lagerort: 01: In Bestellung  
02: Im WE  
03: In Produktion

04: Im Versand  
05: Im Lager  
06: Im Transport

# Die Lagerverwaltung

## Umschlag-Häufigkeit und Einlagerstrategie

	Start-Produkt	THM-Menge	Auslager-Häufigkeit	Umschlag-Häufigkeit pro Jahr	Ziel-Produkt	Rüst-Häufigkeit	Fert.-Auftr.-Menge	THM-Menge	Umschlag-Häufigkeit pro Jahr
Slow-Mover	1111	600	5		4711	5	30	30	5
	1111	600	7	17	0815	7	80	80	7
	1111	600	5		1834	5	120	100	10
	2222	300	15	15	1324	15	300	50	90
Fast-Mover	3333	300	25		2345	25	100	100	25
	3333	300	10		3456	10	300	25	60
	3333	300	15	75	4567	15	150	150	15
	3333	300	10		5678	10	100	100	10
	3333	300	15		6789	15	75	50	30
	4711	20	30	30	1701	30	1	5	30
	0815	50	40	40	3265	40	2	2	40

