

Fabriken der Zukunft: Schlank, wandlungsfähig und ressourceneffizient

Fabriken der Zukunft: Schlank, wandlungsfähig und ressourceneffizient

Kompaktseminar »Fabrikplanung. Von der Strategie zum Leitkonzept«, Fraunhofer IPA
Stuttgart, 18. März 2014



Dr. Klaus Erlach

Fraunhofer Institut für Produktions-
technik und Automatisierung IPA



www.ipa.fraunhofer.de/Wandlungsfaeheige_Fabriken.2477.0.html
www.wertstrom.de
www.wertstromdesign.de
www.energiwertstrom.de



Fabrikplanung und Produktionsoptimierung
© Fraunhofer IPA / 2014
Folie 1



Seminar Fabrikplanung



Fabrikplanung – Kompaktseminar Von der Strategie zum Leitkonzept

1	Produktionsstrategie	09:00 – 10:00
	<i>Kaffeepause</i>	10:00 – 10:30
2	Ansätze zur Komplexitätsbeherrschung in Fabriken	10:30 – 12:00
	<i>Mittagspause</i>	12:00 – 13:00
3	Fabriken der Zukunft: Schlank, wandlungsfähig und ressourceneffizient	13:00 – 14:30
	<i>Pause</i>	14:30 – 14:45
4	Technologieorientierte Fabrikplanung	14:45 – 15:45
5	Praxisbeispiel und Erfahrungsberichte	15:45 – 16:45
6	Abschlussdiskussion, Feedback	16:45 – 17:00

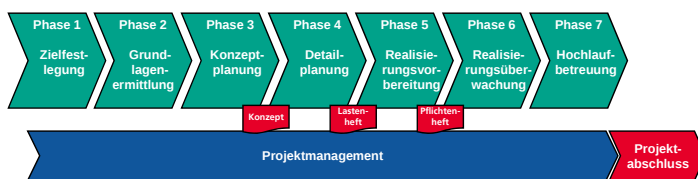
Fabrikplanung und Produktionsoptimierung
© Fraunhofer IPA / 2014
Folie 2



Seminar Fabrikplanung



1. IPA Fabrikplanungs-Leitfaden nach VDI-Richtlinie 5200 – Planungsgrundsätze und Planungssystematik
2. Festlegung von Fabrikzielen – Erfolgsmerkmale und Zielkonflikte
3. Grundlagenermittlung: Effiziente Analyse – Produktfamilien, Wertstromanalyse und Gebäudebestand
4. Konzeptplanung: Schlanke Gestaltung – Segmentierung, Wertstromdesign, Modularisierung und Lean Layouts, Energiekonzept



Aller Anfang ist schwer ...

Definitionen nach der neuen VDI-Richtlinie 5200 »Fabrikplanung«

Fabrik bezeichnet den Ort, an dem Wertschöpfung durch arbeitsteilige Produktion industrieller Güter unter Einsatz von Produktionsfaktoren stattfindet.

Fabrikplanung ist der systematische, zielorientierte, in aufeinander aufbauende Phasen strukturierte und unter Zuhilfenahme von Methoden und Werkzeugen durchgeführte **Prozess zur Planung einer Fabrik** von der ersten Idee bis zum Hochlauf der Produktion.

Sie kann ebenso die später folgende Anpassung im laufenden Betrieb beinhalten.

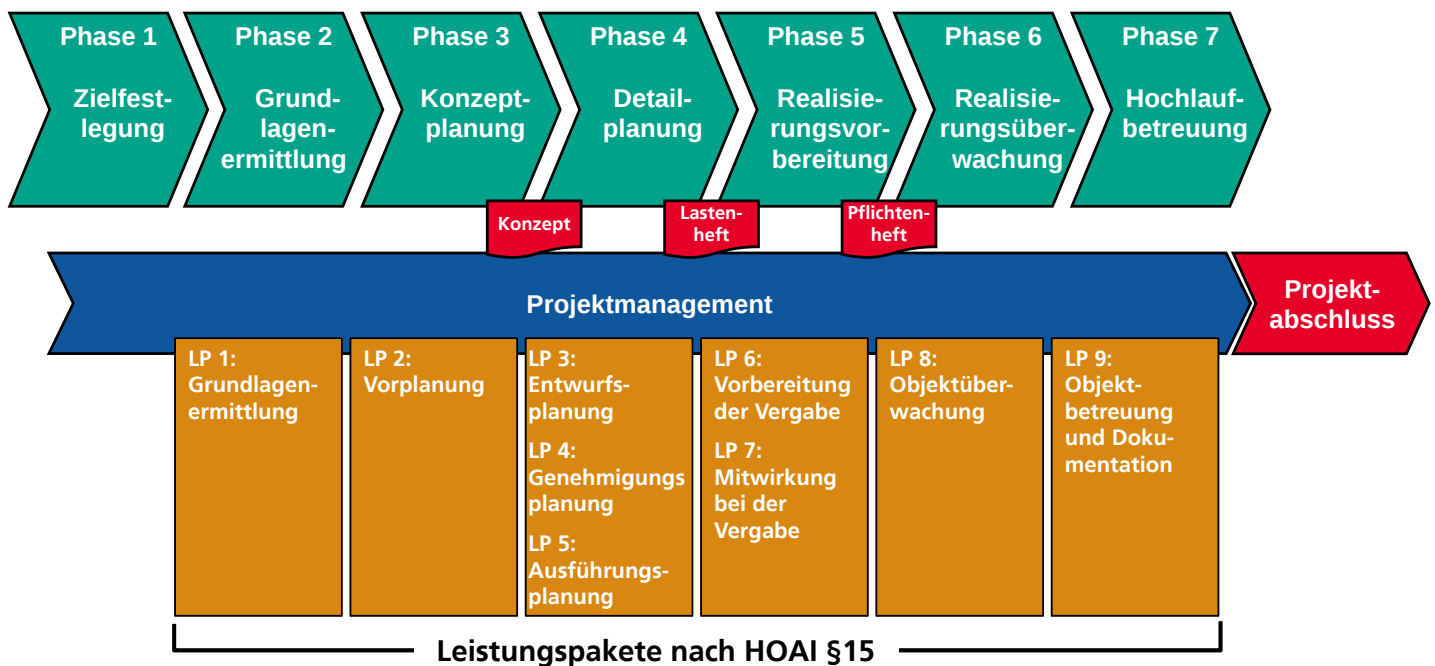
Der Fabrikplanungsprozess kann verschiedene Anlässe haben sowie unterschiedliche Planungsfälle umfassen.

Die Aufgaben werden in Form von Projekten durch ein Team bearbeitet und mit Methoden des Projektmanagements gesteuert.

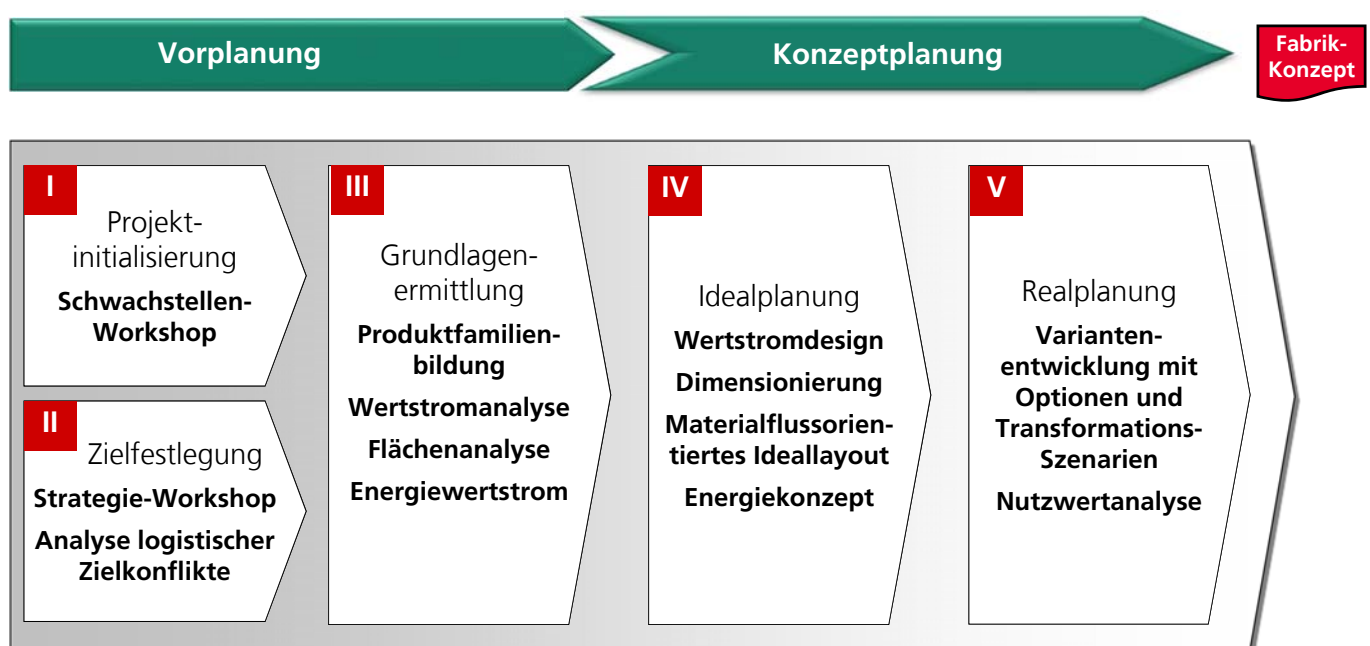
In diesem Verständnis von „Fabrikplanung“ wird ein erweiterter Planungsbegriff verwendet, der neben der Planung im engeren Sinne auch die Realisierungsbegleitung mit umfasst.

Die sieben plus eins Planungsphasen der Fabrikplanung nach VDI 5200

Jeder Phase sind die Architekturleistungen genau zugeordnet



Die Methoden des Fraunhofer IPA in den Planungsphasen bis zum Konzept



Fraunhofer IPA

Vorgehensweise »Wandlungsfähige Fabrik«

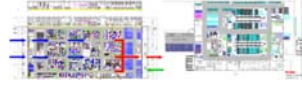
1 Zielfestlegung



- Ermittlung der **Wandlungstreiber**
- Planungsprämissen



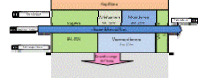
2 Fabrikanalyse



- Bewertung der **Wandlungsfähigkeit**
- Analyse der technischen Module
- Analyse der Flächenanforderungen



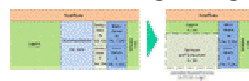
3a Ideale Fabriktypen



- Blocklayouts im **modularen Idealkonzept**
- Flächenqualität (Bodenlast, Hallenhöhe)



3b Wandlungsfähige Fabrikmodule



- Entwicklung von **Transformationsszenarien**
- Auswahl anforderungsgerechter Kombinatorik

	1	2	3	4
1		x		
2	x		x	x
3				
4		x		

3c Bewertung der Wandlungsfähigkeit

- Ermittlung **Wandlungsindex**
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



Planungsgrundsätze – Die sechs goldenen Regeln in Fabrikplanungsprojekten

1. Vom Zentralen zum Peripheren

Vom Produktionsprozess zur Ver- und Entsorgung, vom Hauptprozess zum Nebenprozess

2. Vom Idealen zum Realen

Von der grünen Wiese zum Projekt mit Restriktionen

3. Durch Iterationen dem Optimum annähern

Mit zunehmendem Projektfortschritt frühere Phasen mit neuen Erkenntnissen durchlaufen

4. Mit Varianten den Lösungsraum gestalten

Von der Basislösung zu alternativen Konzepten mit unterschiedlicher Zielfokussierung

5. Top Down und Bottom Up

Vom Groben zum Feinen detaillieren und dann von Einzel- auf Gesamtlösung verallgemeinern

6. Mit Szenarien den Lösungsraum absichern

Mit unterschiedlichen Zukünften rechnen und die Sensitivität der Lösung prüfen

1. IPA Fabrikplanungs-Leitfaden nach VDI-Richtlinie 5200 – Planungsgrundsätze und Planungssystematik
2. Festlegung von Fabrikzielen – Erfolgsmerkmale und Zielkonflikte
3. Grundlagenermittlung: Effiziente Analyse – Produktfamilien, Wertstromanalyse und Gebäudebestand
4. Konzeptplanung: Schlanke Gestaltung – Segmentierung, Wertstromdesign, Modularisierung und Lean Layouts, Energiekonzept

1.1 Analyse der Unternehmensziele u. Rahmenbedingungen

1.2 Festlegung der Fabrik- und Projektziele

1.3 Aufstellung der Bewertungskriterien

1.4 Festlegung der Arbeitspakete



Ergebnisse der Zielfestlegung sind die präzisierten Fabrik- und Projektziele mit Planungsprämissen, Bedarfs-Szenarien sowie Bewertungskriterien

1.1 Analyse der Unternehmensziele u. Rahmenbedingungen

Ableitung von Fabrik- und Projektzielen aus der Unternehmensstrategie

Szenarien:
Best Case / *Worst Case*

1. Markt

Themen:

Positionierung relativ zum Wettbewerb
Branchenfokus, Kundengruppen und Geschäftsfelder
Logistikanforderungen (Vertriebswege, Versandweg, Verpackung, Lieferzeit)

2. Produkt

Themen:

Stückzahlentwicklung
Neuprodukte und Produktbereinigung

3. Technologie

Themen:

neue Betriebsmittel, verbesserte Produktivität
neue Technologie
andere Anforderungen an die Gebäude (Fundament, Sauberkeit, Raster, Bekranung, etc.)

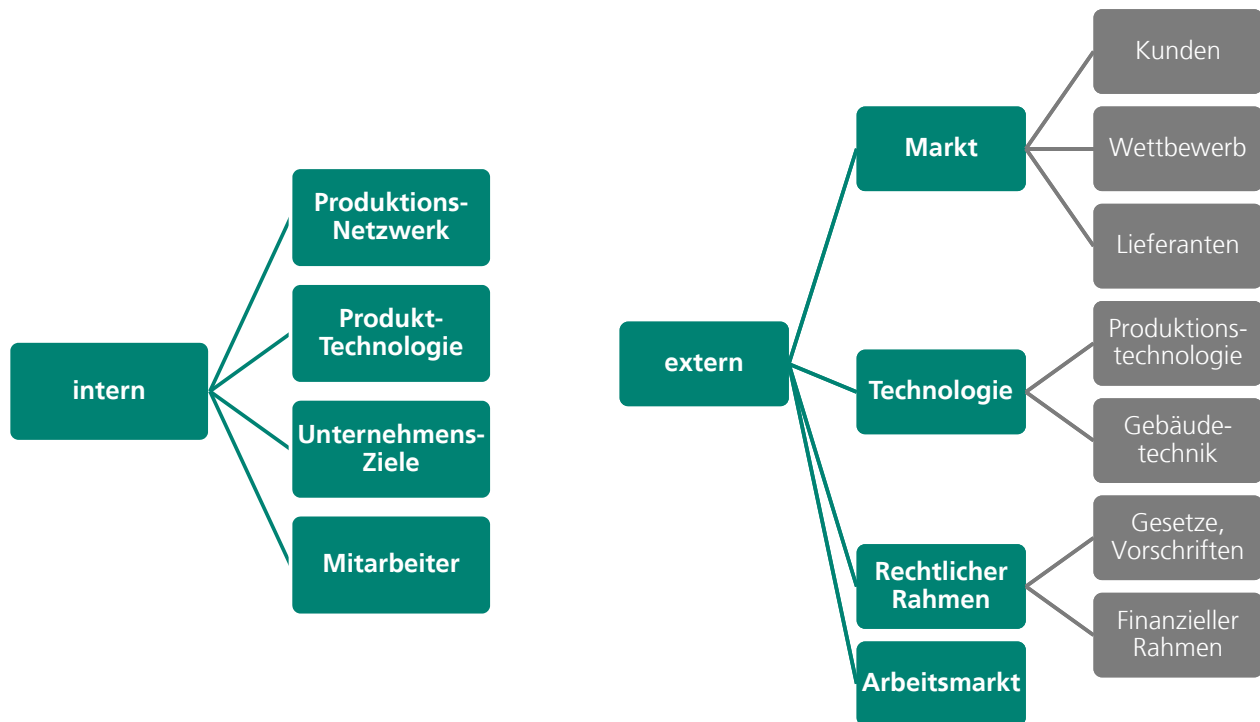
4. Standort

Themen:

Trends der Faktorenkosten von Mensch, Maschine, Material
Kernkompetenzen und Make-or-Buy-Entscheidung
Erweiterungsmöglichkeiten am Standort
Produktionsverlagerung und Arbeitsteilung im Produktionsverbund



Identifikation der relevanten Wandlungstreiber in folgenden Kategorien

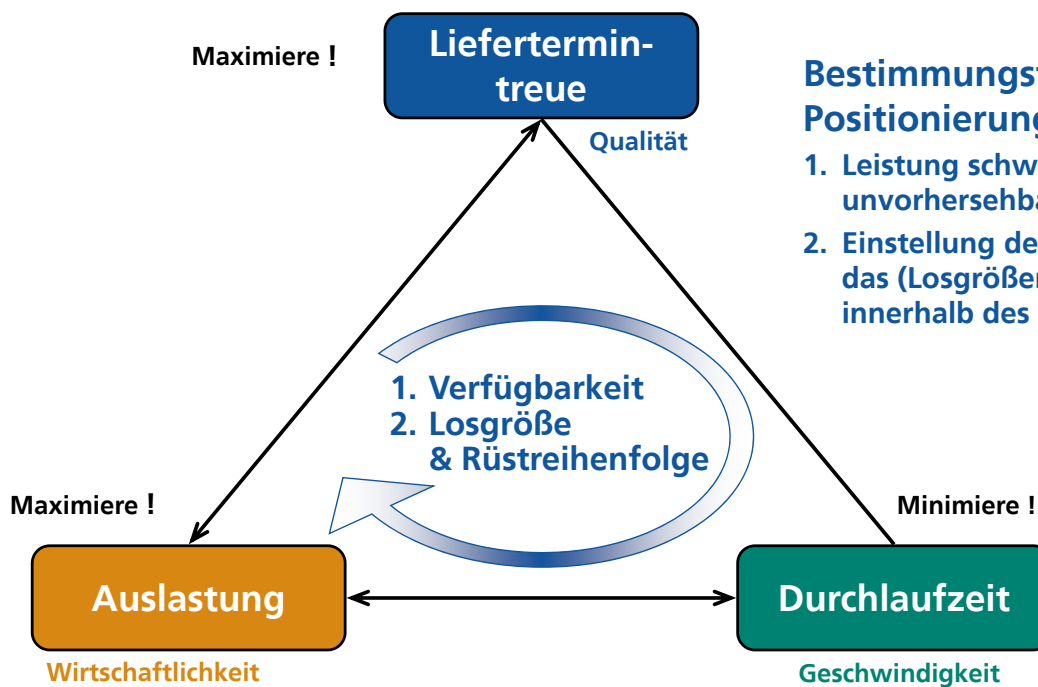


Die festgelegten Fabrikziele bilden die Erfolgsmerkmale einer Fabrik ab



Dabei können Zielkonflikte auftreten ...

Dilemma der Produktionsplanung – Konflikt zwischen drei Zielen



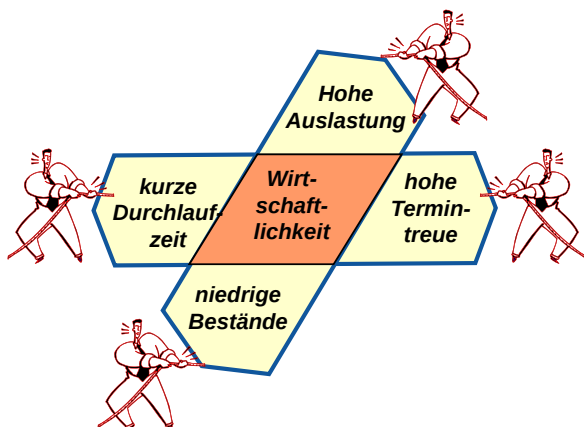
Bestimmungsfaktoren zur Positionierung im Dilemma

1. Leistung schwankt in unvorhersehbarer Weise
2. Einstellung der Parameter sucht das (Losgrößen-) Optimum innerhalb des Zieldreiecks

Was ist der Effekt?

Unabgestimmte Zielsetzungen in der Fabrik

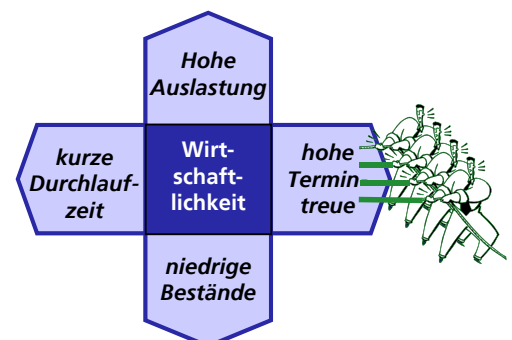
- verschiedene Zielvorgaben in den verschiedenen Abteilungen
- obwohl sich jeder »korrekt« hinsichtlich »seiner« Ziele verhält, können die Fabrikziele nicht erreicht werden



Was ist zu tun?

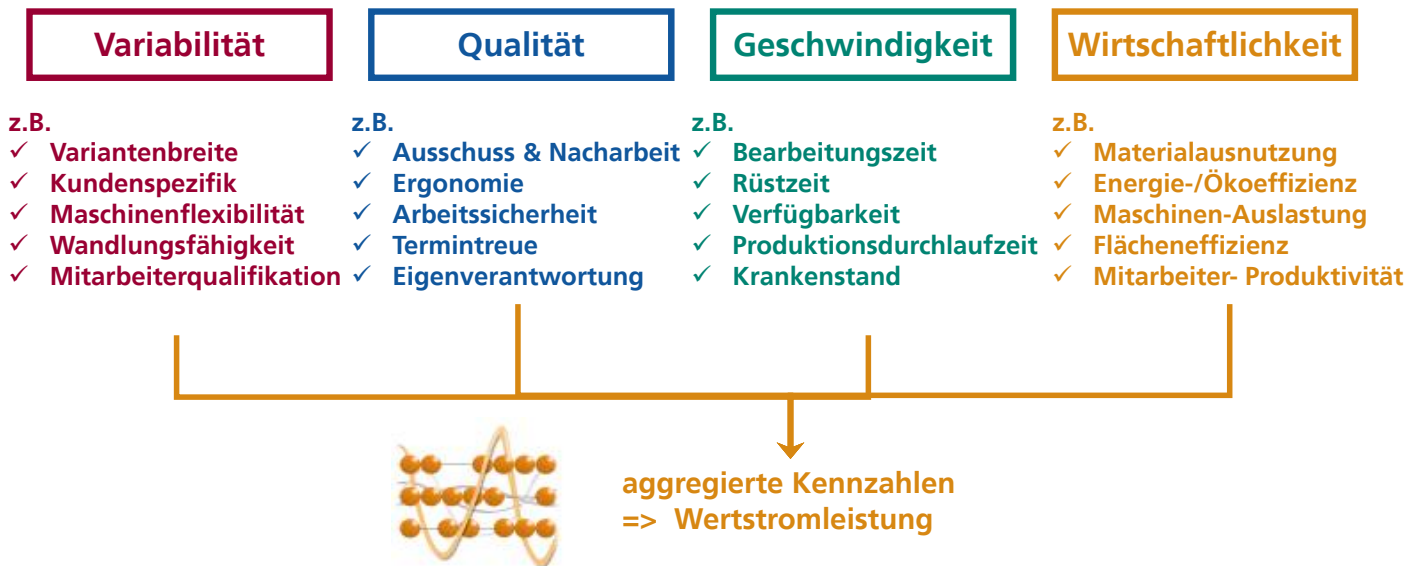
Zielfindungs-Workshop

- Ziele transparent machen
- Prioritäten festlegen
- Klare Fokussierung im Projekt
- Gemeinsames Verständnis aller Beteiligten
- Messung des Projekterfolgs



Verbessern Sie Ihre Wertstromleistung in vier unabhängigen Zieldimensionen !

Effizienzsteigerung in den vier Zieldimensionen der Produktion



Allgemeine Fabrikziele und typische Zielhierarchie in der wertstromorientierten Produktion / Lean Production

Priorität	Logistische Ziele	Produktionstechnische Ziele
1	Qualität: Liefertermintreue »Kundensicht einnehmen«	Null-Fehler-Produktion Ausschuss als schlimmste Verschwendung
2	Geschwindigkeit: Produktionsdurchlaufzeit Bestände als logistische Verschwendung	Maschinenverfügbarkeit Zuverlässigkeit maximieren durch TPM
3	Wirtschaftlichkeit: Auslastung »Low Cost Automation«	Mitarbeiter-Produktivität Fokus auf Taktabstimmung mit TAD
4	Varianz: Produktvielfalt (nicht explizit genannt!)	Maschinenflexibilität kleiner EPEI

TPM = Total Productive Maintenance – zur Sicherstellung einer möglichst hohen OEE (Overall Equipment Efficiency)

TAD = Taktabstimmungsdiagramm – zeigt die Prozessleistungen des Wertstroms im Überblick

EPEI = Every Part Every Interval – gibt die Flexibilität eines Prozesses bei Variantenfertigung an

14. Januar 2014 – 100 Jahre Montagelinie am Modell T »Tin Lizzie« Am 30. Juli 2013 wäre Henry Ford 150 Jahre alt geworden



Bild: <http://www.automobilsport.com/upload/historical-cars-2008/ford-modell-t2.jpg>

Produktionszeit
12,5 Stunden

1913 erstes handbetriebenes Band im Werk »Highland Park« in Detroit

Produktionszeit
5 h 50 Min

14.01.1914 vollautomatische Gleitbahn
Der Preis der »Tin Lizzie« konnte halbiert werden

Produktionszeit
1,5 Stunden



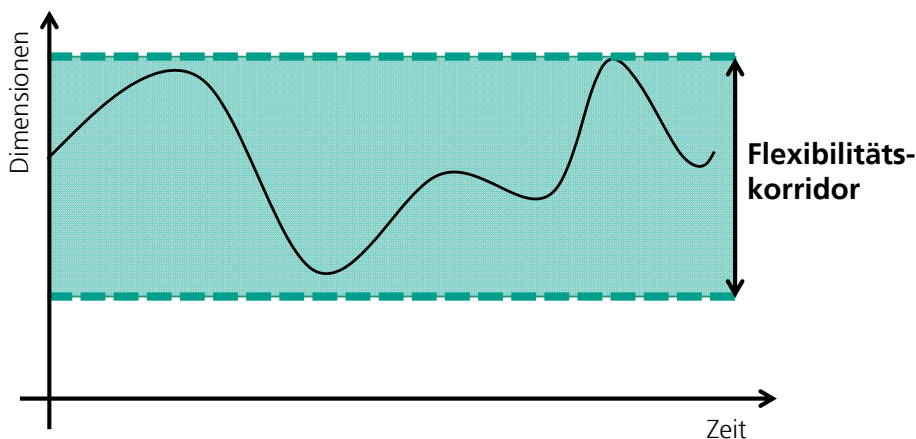
„Any customer can have a car painted any colour that he wants so long as it is black.“
Mein Leben und Werk, 1922

http://www.t-online.de/wirtschaft/jobs/id_65849480/vor-100-jahren-fuehrte-ford-das-fließband-ein.html

Zum Begriffsverständnis (1): Flexibilität

Flexibilität

Der Begriff **Flexibilität** beschreibt ein dynamisches Systemverhalten innerhalb eines **Flexibilitätskorridors** als Reaktion auf äußeren Einflüsse.
Diese Reaktion des Systems erfolgt **reversibel**, d.h. ohne Änderung der Struktur.



Dimensionen

Volumen

Varianten

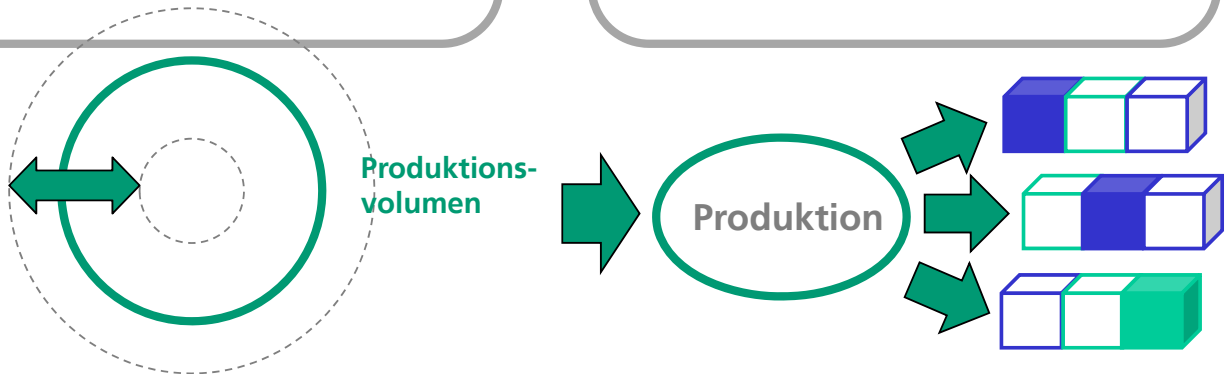
Grundlegend ist die Unterscheidung zwischen Volumen- und Varianten-Flexibilität

Volumen:

Die Volumenflexibilität beschreibt die Eigenschaft, auf schwankende Produktnachfrage ohne Einbußen der Wirtschaftlichkeit reagieren zu können.

Varianten:

Die Variantenflexibilität beschreibt die Eigenschaft, verschiedene Varianten in variierender Reihenfolge produzieren zu können.

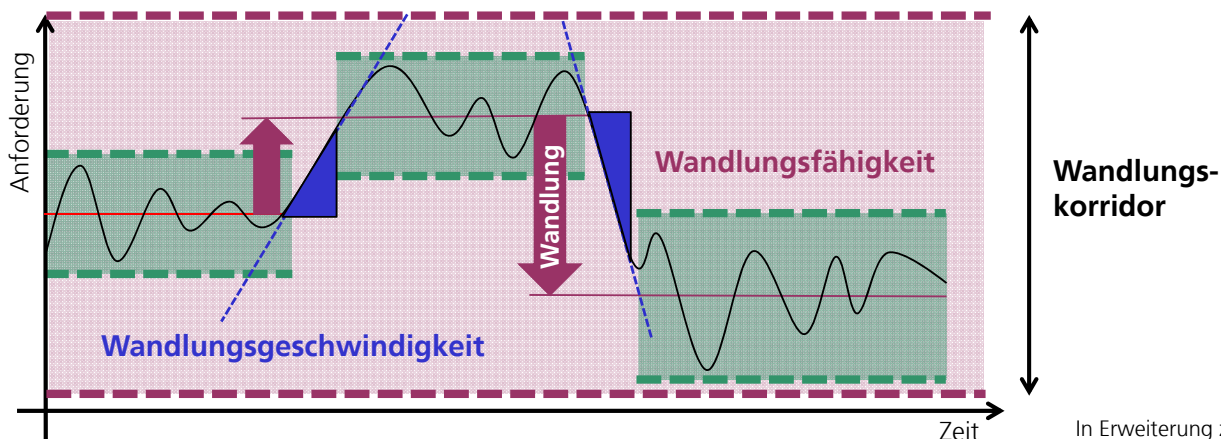


Zum Begriffsverständnis (2): Wandlungsfähigkeit

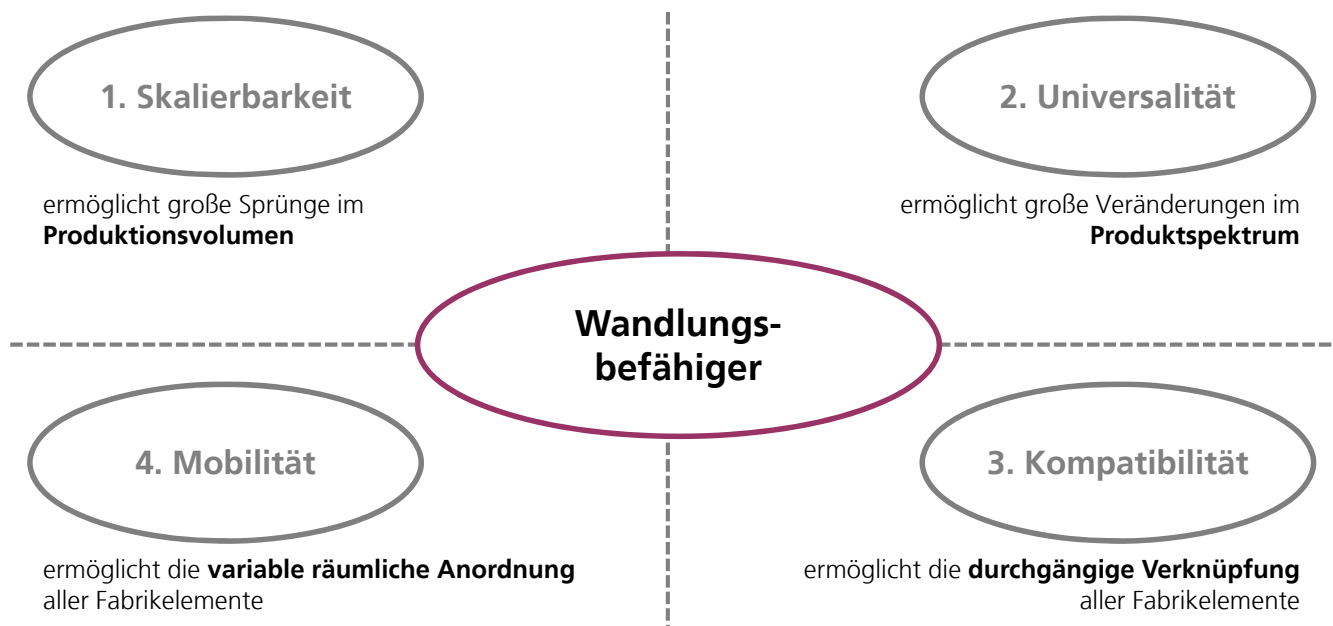
Wandlungsfähigkeit

Der Begriff **Wandlungsfähigkeit** beschreibt eine dauerhafte Anpassung eines Systems an veränderte Rahmenbedingungen durch **Änderung der Systemstruktur**.

Wandlungsfähige Systeme sind in der Lage, ihren Flexibilitätskorridor in einem vorgedachten **Wandlungsrahmen** mittelfristig zu verschieben.



Die Wandlungsbefähiger der Fabrikelemente



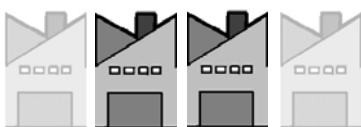
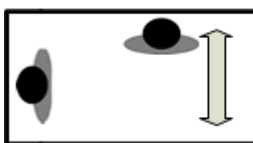
In Anlehnung an Nyhuis

Wandlungsbefähiger 1: Skalierbarkeit – Atmungsfähigkeit ermöglicht große Sprünge im Produktionsvolumen

Volumen

1. Skalierbarkeit

Möglichkeit zur **Erweiterung** und **Reduktion** technischer, räumlicher und personeller **Kapazitäten**



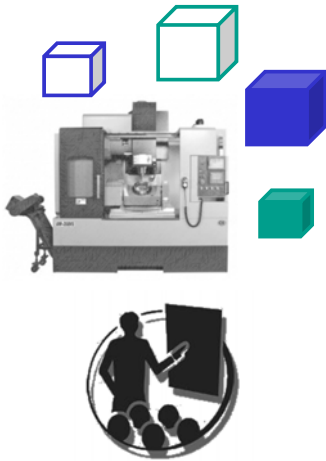
Beispiele:

- **Betriebsmittel:** Rekonfigurierbare Linienstrukturen durch rasche Ergänzung von Betriebsmittelelementen
- **Mitarbeiter:** Personalvertragssituation, Schichtmodelle
- **Gebäude/Raum:** Vorhalten von Erweiterungsflächen, Reduktion und Erweiterung des Gebäudes samt Ausstattung

Wandlungsbefähiger 2: Universalität – ermöglicht große Veränderungen im Produktspektrum

Varianten

2. Universalität



Möglichkeit zur Erfüllung **geänderter Anforderungen** durch neue **Produkte** oder neue **Technologien**

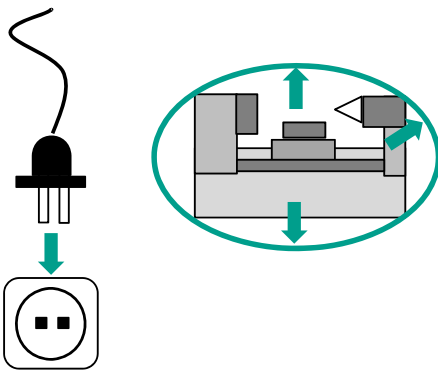
Beispiele:

- **Betriebsmittel:** Universalität durch Funktionsintegration, vielfältig einsetzbare Betriebsmittel
- **Mitarbeiter:** Universalität durch Mehrfachqualifikation, Jobrotation, Standardarbeitsanweisungen
- **Gebäude/Raum:** Großes Stützenraster, hohe Bodentragfähigkeit, Anpassungsfähige Strukturen

Wandlungsbefähiger 3: Kompatibilität – Neutralität ermöglicht die durchgängige Verknüpfung aller Fabrikelemente

System

3. Kompatibilität



- A) **Vernetzungsfähigkeit** bzgl. **Material, Information, Medien & Energie** unter Berücksichtigung der **Gebäudeanforderungen**
- B) **Wirkungsneutralität** hinsichtlich **Emissionen** (Geräusch, Abluft, Abwasser etc.), die die Nachbarprozesse negativ beeinflussen können

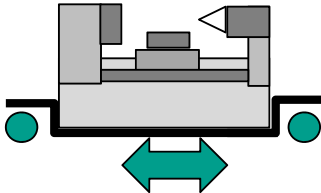
Beispiele:

- **Betriebsmittel** : Standardisierte Schnittstellen zur Verknüpfung von Steuerungen, Werkzeugen oder Betriebsmittelmodulen, Standardisierte Materialflussschnittstellen
Sauberkeitsanforderungen / Emissionen an die Umgebung
- **Gebäude/Raum** : Bereitstellung vieler standardisierter Schnittstellen der Energieversorgung, Innenwände in Leichtbauweise, Kabellose Informationsübertragung

Wandlungsbefähiger 4: Mobilität – ermöglicht die variable räumliche Anordnung aller Fabrikelemente

Struktur

4. Mobilität



Örtlich uneingeschränkte Bewegbarkeit von Objekten

Beispiele:

- **Betriebsmittel** : angebrachte Transporthilfen wie Rollen oder Hebeösen, einfache De- und Remontierbarkeit, Dezentrale Steuerungen („Stand-Alone“)
- **Mitarbeiter** : Dienstreisen, Auslandsaufenthalte
- **Gebäude/Raum** : Skelettbauweise, lösbare Fassadenelemente, einfache De- und Remontierbarkeit

Inhalt

1. IPA Fabrikplanungs-Leitfaden nach VDI-Richtlinie 5200 – Planungsgrundsätze und Planungssystematik
2. Festlegung von Fabrikzielen – Erfolgsmerkmale und Zielkonflikte
3. Grundlagenermittlung: Effiziente Analyse – Produktfamilien, Wertstromanalyse und Gebäudebestand
4. Konzeptplanung: Schlanke Gestaltung – Segmentierung, Wertstromdesign, Modularisierung und Lean Layouts, Energiekonzept

2.1
Informations-
beschaffung

2.2
Informations-
auswertung

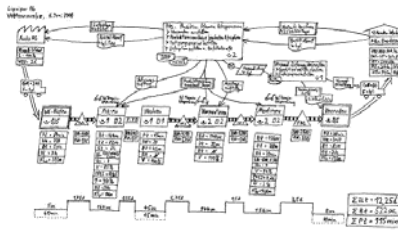
Ergebnis der Grundlagenermittlung sind Informationen zu den Produkten, der Produktion und der Flächennutzung sowie der Restriktionen

I Produkte: Produktfamilienbildung



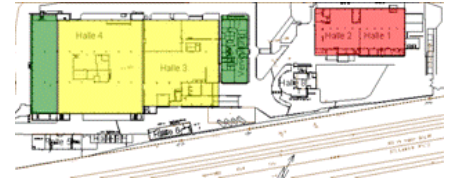
- Repräsentative Produkte
- Produkteigenschaften
- Bedarfsmengen, ABC-Kategorien
- Bedarfsschwankungen
- Baugruppen und Stücklisten
- Variantentreiber
- Auftragsgrößen
- Fremd- / eigengefertigte Teile

II Produktion: Wertstromanalyse



- Produktionsablauf, Wertstrom
- Logistische Kennwerte (DLZ, Bestände)
- Technische Kennwerte der Betriebsmittel (Kapazität)
- Personal (Qualifikationen, Arbeitszeitmodell)
- Technologie – Wandlungsfähigkeit

III Gebäude: Flächenanalyse



- Werkstruktur (Topologie, Erschließung, Nutzungsrestriktionen, verkehrstechnische Anbindung)
- Gebäudestruktur (Grundriss, Flächenqualität, Stützenraster, Gebäudesubstanz)
- Flächenstruktur (qualitativ und quantitativ)
- Maschinenanordnung
- Ressourceneffizienz

Methoden zur Bildung von Produktfamilien



Zielsetzung:

- Produktorientierte und damit kundenorientierte Analyse der Fabrik in voneinander unabhängigen **Segmenten**

Vorgehen:

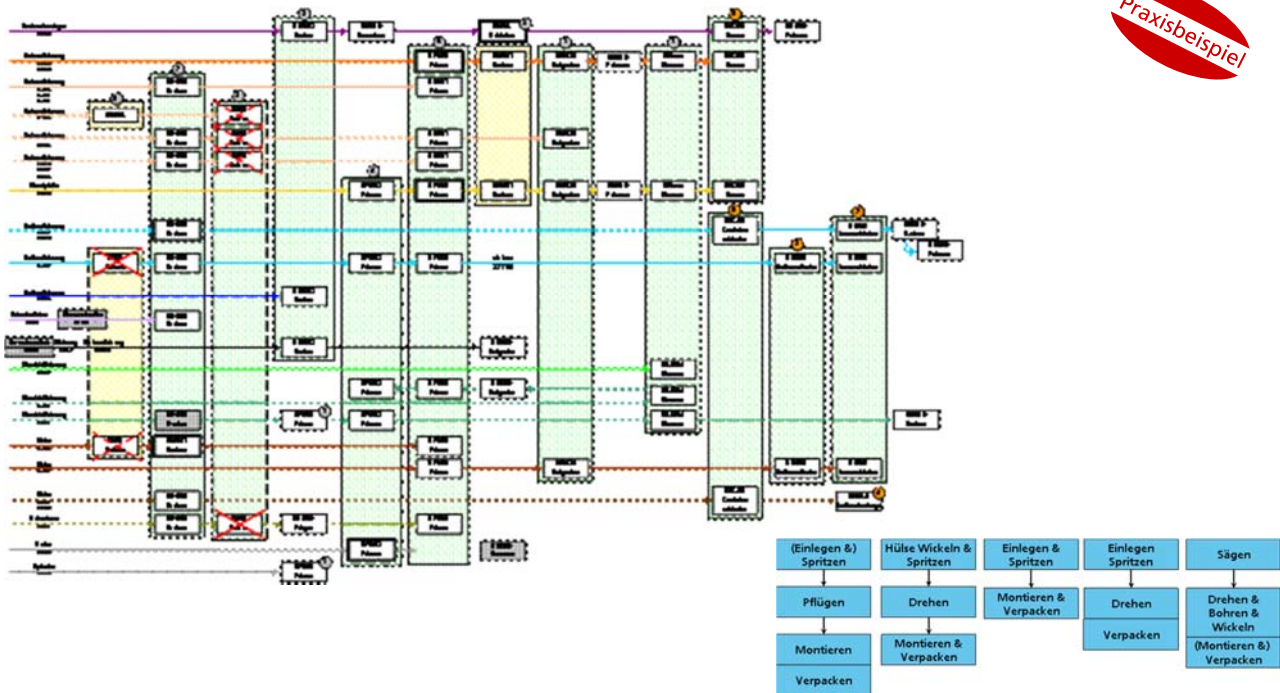
- Gliederung des Produktspektrums in **Produktfamilien**
- Definition eines **Repräsentanten** zur Aufnahme von Produktionsdaten
- Klare und eindeutige Zuordnung von Produkten zu Ressourcen

Merkmale einer Produktfamilie:

- Produkte, die überwiegend ähnliche Produktionsschritte benötigen
- Produkte, die überwiegend gleiche Produktions-einrichtungen benötigen
- Berücksichtigung aller Varianten

Insbesondere in der Fertigung kann eine Untersuchung zu Ablauffolgen sehr aufwendig sein ...

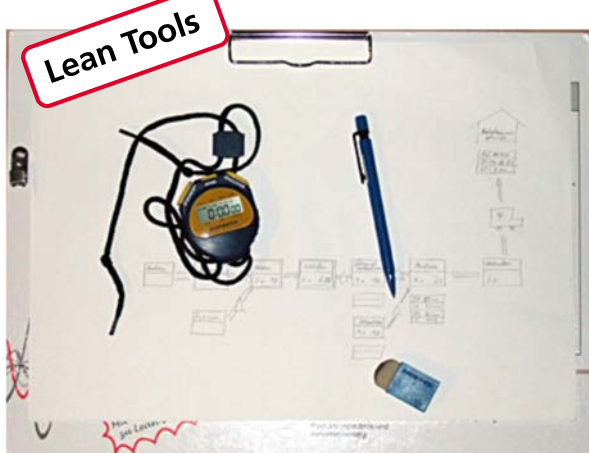
Praxisbeispiel



Die Wertstromanalyse soll den kompletten Produktionsablauf im Ist-Zustand darstellen und Verbesserungspotentiale ausweisen



Vertiefungs-Seminar:
Wertstromdesign – Das
Ganze sehen, um das
Ganze zu verbessern



Durchführung:
Erstellung einer **Momentaufnahme** vom
Shop Floor und im Office

Ergebnis:
**Verständnis des aktuellen Produktionsablaufes
in der Fabrik**

- **Transparente Darstellung** des kompletten Produktionsablaufes mit allen wichtigen Kenndaten
- Ausweisung von **Verbesserungspotentialen**

Die Modellierung des Kunden mit Berechnung des Kundentaktes

Beispiel: Federn KG, Darmstadt



2,1 Mio. Stck./a
FT = 250 d/a
AZ = 21 h/d
KT = $21h \cdot 250d / 2,1 \text{ Mio.}$ = 9 sec.

Zielsetzung:

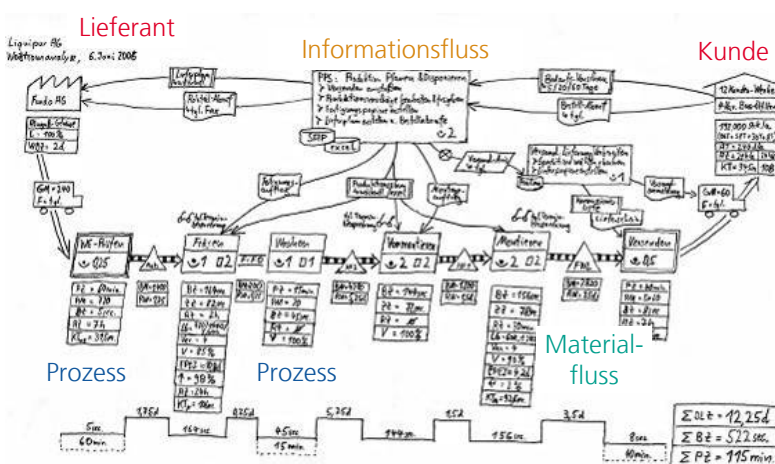
- eine am Kundenbedarf orientierte Produktion erreichen

Berechnung:

- Modellierung des Kunden mit Berechnung des **Kundentaktes**

$$\text{Kundentakt KT} = \frac{\text{verfügbare Betriebszeit pro Jahr}}{\text{Kundenbedarf pro Jahr}}$$

Wertstromanalyse: Liefert übersichtliche Darstellung einer Produktion im Ist-Zustand mit Verbesserungspotential I – Durchlaufzeit



Fertigung und Montage Bus-Ölfilter / Liquipur AG

DLZ = 12,25 d
BZ = 8,7 min.

Perspektivenwechsel:

Fokus auf die logistische Verknüpfung der Produktionsprozesse (und nicht nur einzelne Prozesse)

Übersicht:

Material- und Informationsfluss komplett dargestellt auf einer Seite

Kommunikation:

Klare und einfache Symbolik zur schnellen innerbetrieblichen Verständigung

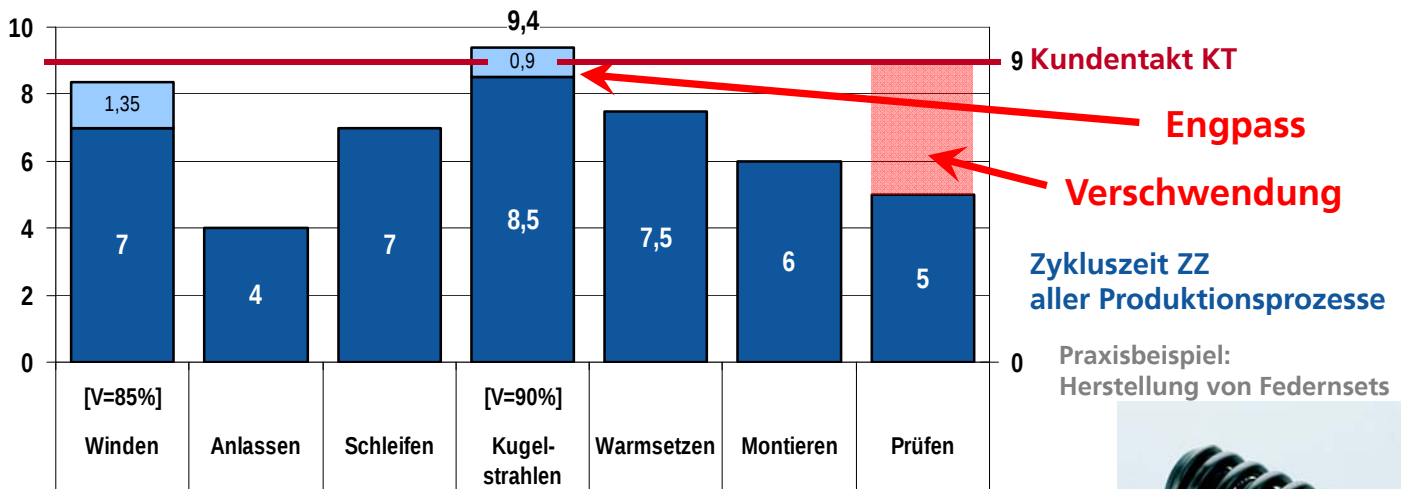
Verbesserungspotential I:

Einfacher Vergleich von Bearbeitungszeit und Durchlaufzeit auf Basis der Zeitlinie zeigt die Entfernung vom Idealzustand

Wertstromanalyse: Taktabstimmungsdiagramm aller Produktionsprozesse

Verbesserungspotential II – Taktabstimmung

Das **Taktabstimmungsdiagramm** zeigt übersichtlich, wie gut oder schlecht das Kapazitätsangebot mehrerer Prozesse zueinander passt

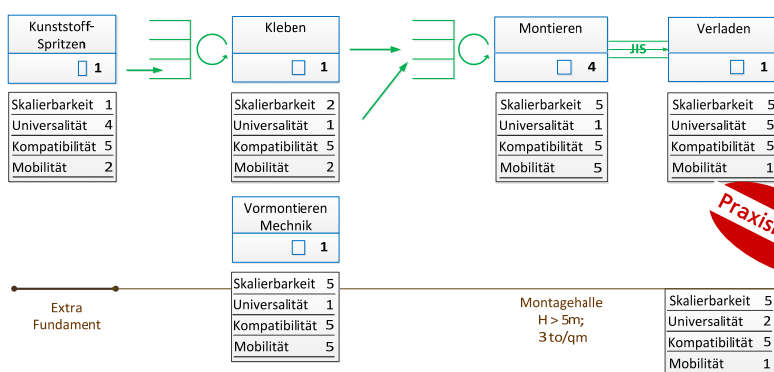


Verbesserungspotential II:

Einfacher Vergleich der Prozessleistungen (Zykluszeiten) mit dem Kundenbedarf (Kundentakt) zeigt Engpässe und Verschwendungen

Wandlungsbewertung: Bewertung aller Produktionsprozesse in 4 Dimensionen

Verbesserungspotential III – Wandlungsfähigkeit



Wandlungsbefähiger	Skalierbarkeit						
Kriterium	Geschwindigkeit/ Ausbringung		Arbeitszeit/ Schichtmodell		Anzahl Ressourcen/ Mitarbeiter/ Anlagen		Bewertung nach Skala
Ausprägung	erhöhen möglich	reduzieren möglich	hoch	runter	hoch	runter	
Gewichtung	1	1	1	1	1	1	
Produktfamilie 1							
Lager D+S (Fertigware)	x	x	x	x	x	x	5
Endmontieren	x	x	x	x	x		4
Vormontieren		x	x	x	x		4
Lackieren				x			2

Für die Bewertung der Wandlungsbefähiger sind jeweils mehrere Kriterien und deren mögliche Ausprägungen hinterlegt

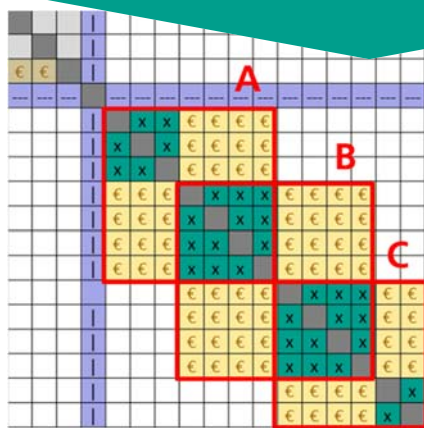
Verbesserungspotential III:

Die Punktzahl der Wandlungsfähigkeit zeigt die Fixpunkte und »Monumente« in der Produktion, die aufgelöst werden sollten oder um die herum die Fabrik geplant werden muss

Die Produktionsprozesse werden zusätzlich mit ihren Anforderungen an das Fabrikgebäude beschrieben

Praxisbeispiel

	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4	Prozess 5	Prozess 6
Höhe	5m			10m		12m
Tragfähigkeit	3t/m²			10t/m²	20t/m²	5t/m²
Medien	Standard		Sonder 1	Sonder 2	Standard	
Sauberkeit	normal	hoch	gering	hoch	normal	



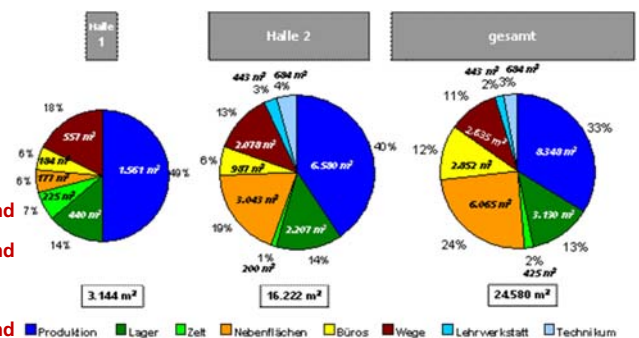
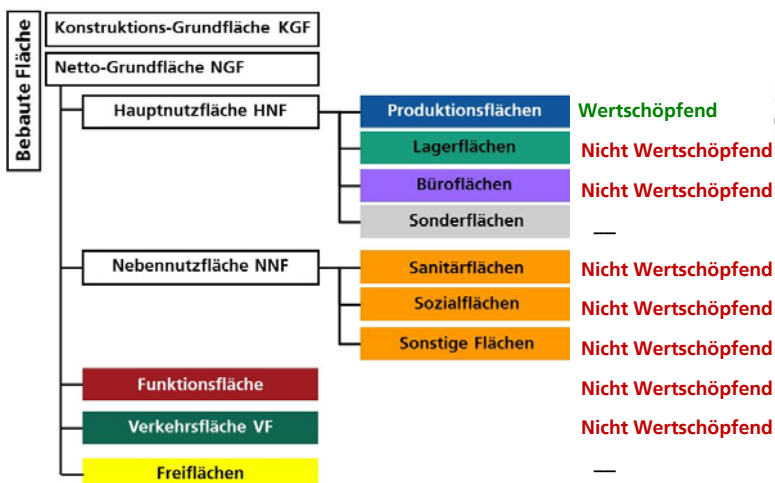
Bewertung der Wandlungsfähigkeit:

- X Transformierbar ohne Einschränkung
- € Anfallende Opportunitätskosten zur Erreichung voller Transformierbarkeit

- Sonder-Technologien müssen **baulich getrennt** werden und brauchen nicht mit den anderen Produktionsprozessen eng verzahnt sein
- Technische Monumente behindern Wandlungsfähigkeit (»lila Kreuz«)
- Für die übrigen **Technischen Module** ergeben sich **drei Kombinationsgruppen**, welche sich nur **durch die vier Sauberkeitsklassen** unterscheiden
- Kombinationen ohne bauliche Trennung:
 - A: geringe Sauberkeit
 - B: normal-saubere Montagen
 - C: Hoch-saubere Montagebereiche

Flächenanalyse: Prozentuale Flächennutzung nach Flächenarten Verbesserungspotential IV – Flächenverdichtung

Flächenarten in Anlehnung an VDI 3644 und DIN 277



Praxisbeispiel



- **Verbesserungspotential IV:**
Vergleich der Flächennutzung zeigt die Potentiale zur Flächenverdichtung

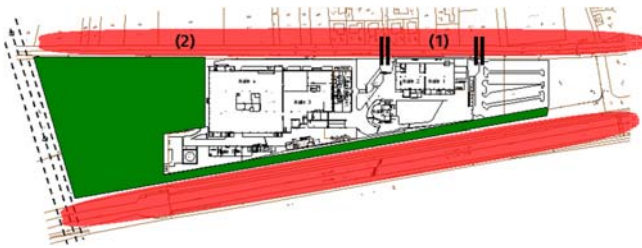
Werkstruktur mit Erschließung, Gebäudesubstanz und Restriktionen der Geländenutzung

Fragebogen zur Gebäudesubstanz

Gebäude: A 601

Beschreibung	
Baujahr des Gebäudes	1966
Geschätzte Restlebensd.	40
Verfügbare Nutzfläche: 456 (Prod. und Logistik)	

Bewertung IST		Bewertung Eignung		
Isolierung:	Dach:	gut mittel schlecht	Lager:	gut mittel schlecht
	Fassade:	gut mittel schlecht	Produktion:	gut mittel schlecht
	Verglasung:	gut mittel schlecht	Ausl. Stromversorg.:	100% 50% 0%
	Zustand Boden:	gut mittel schlecht	Ausl. Heizung:	100% 50% 0%
		Ausl. Kühlanlagen:		100% 50% 0%



Praxisbeispiel

Werkstruktur mit Erschließung



Werkstruktur mit Nutzungs- und Erweiterungsrestriktionen

Eine sorgfältige Erfassung der Rahmen-, Randbedingungen und Restriktionen vermeidet Planungsfehler und Blindarbeit

➤ Rahmenbedingungen:

Vorgaben aus der Unternehmensstrategie und vom Projektsponsor stecken den Spielraum des Planers ab:

1. Projektziele – Investitionsbudget, Terminschiene, Projektbeteiligte
2. Fabrikziele – Leistung hinsichtlich Qualität, Geschwindigkeit, Kosten, Produktspektrum

➤ Randbedingungen:

Explizite Vorgaben von Unternehmensexternen begrenzen den Spielraum des Planers:

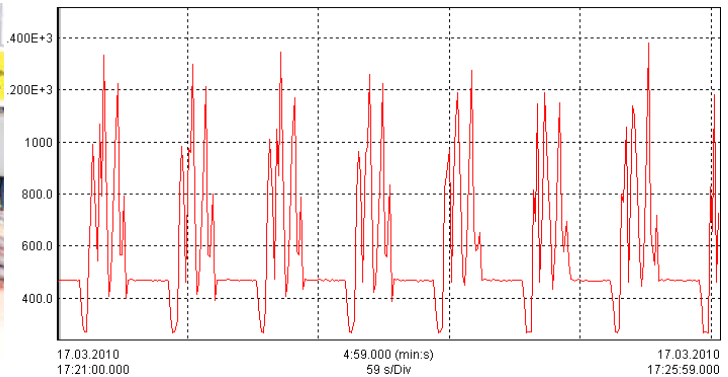
1. Behörden – Vorgaben aus Bebauungsplan für Baugenehmigung, Brandschutzverordnung, Gewässerschutz, Vorgaben für Emissionen, etc.
2. Verbände – Arbeitsschutz, Richtlinien, etc.

➤ Restriktionen:

Einschränkungen für den Spielraum des Planers, die sich aus den Gegebenheiten des Standortes, der Gebäude und der Betriebsmittel ergeben:

1. Erschließung – Anbindung an Straßen, Energieversorgung, etc.
2. Nutzungseinschränkung – Geländeform, Bauabstand, Hochspannungsleitung, Nutzungsrechte Dritter
3. Gebäudeform – Geschosse, Aufzüge, Säulenraster, Hallenhöhe, Fundamente, Kran, Klimatisierung
4. Konfligierende Betriebsmittel – Gefährdung (z.B. Brennstofflager neben Schweißerei), Schwingungen (Schmiedepresse neben Messraum), Wärme- und Kältelasten

Energiewertstrom: Energieverbräuche der Produktion mit mobilen Messgeräten Verbesserungspotential V – Steigerung der Ressourceneffizienz



- mobile Messgeräte erlauben die Ermittlung des jeweils aktuellen Bedarfs in der Produktion
- Erfassung aller im Produktionsprozess relevanten Energieverbrauchsarten (z.B. Strom, Gas, Druckluft usw.)
- Identifikation der wesentlichen Energieverbraucher: »Energiefresser«
- Schaffung von **Transparenz** bzgl. des produktionsablaufbezogenen Energieverbrauchs
- **Verbesserungspotential V:**
Übersichtliche und leicht nachvollziehbare Darstellung der Energieverbräuche in den Einzelprozessen zeigt die Potentiale zur Vermeidung von Energieverschwendung

Projektbeispiel: Der Stand-by-Verbrauch der Absauganlage macht einen Großteil des Gesamtverbrauchs beim manuellen Schweißen aus

Praxisbeispiel



Seitenteile Einschweißen	
2 	1 
Flaschenträger #T=49 80/133 - 430	
ZZ = 3 min	
A = 25%	
 G1 Absaugung	2.070 W
 H1 Schweißen	2x3.000 W
EI _S = 300 Wh	
EI _A = 104 Wh + 310 Wh	

Stand-by

Gesamtverbrauch der Absaugung



**Vertiefungs-Seminar:
Die Energiewertstrom-
Methode in der Lernfabrik**

**Stand-by-Anteil
der Absaugung**

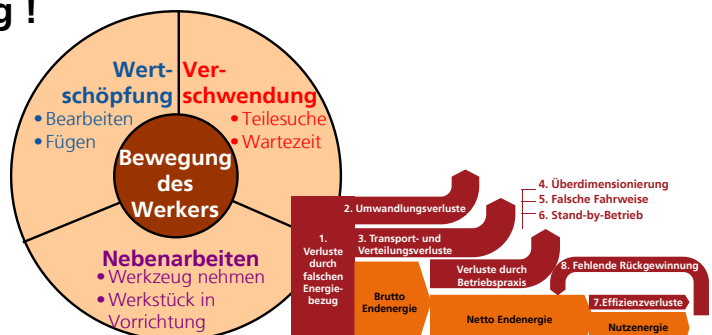
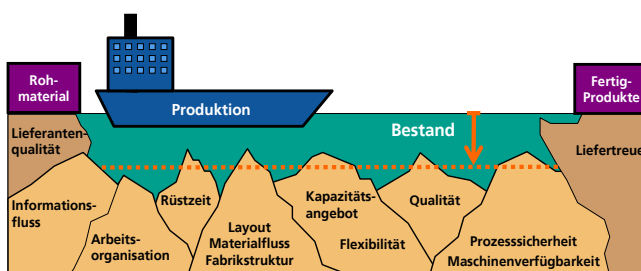
Produktion

Stand-by

1. IPA Fabrikplanungs-Leitfaden nach VDI-Richtlinie 5200 – Planungsgrundsätze und Planungssystematik
2. Festlegung von Fabrikzielen – Erfolgsmerkmale und Zielkonflikte
3. Grundlagenermittlung: Effiziente Analyse – Produktfamilien, Wertstromanalyse und Gebäudebestand
4. Konzeptplanung: Schlanke Gestaltung – Segmentierung, Wertstromdesign, Modularisierung und Lean Layouts, Energiekonzept



Grundidee des Lean Production als Ausgangspunkt für die Fabrikplanung: Vermeiden Sie jegliche Verschwendung !



Verschwendung im Ablauf:

1. Überproduktion → größere Pufferfläche
2. Bestände → mehr Lagerfläche
3. Transporte → mehr Wegefläche
4. PPS-Planung (Push) → Intransparenz Shop Floor

In Erweiterung zu Taiichi Ohno

➤ Zielsetzung:

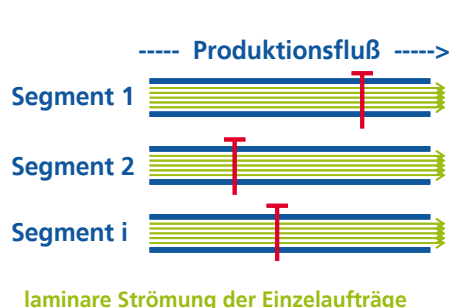
Durch Reduktion oder besser Eliminierung von **direkt sichtbarer** Verschwendung in der Produktion die (nicht sichtbaren) Herstellkosten kontinuierlich senken

Verschwendung im Produktionsprozess:

5. Qualitätsmängel → Fläche Nacharbeit, Sperrlager
6. Ungünstiger Produktionsablauf Mitarbeiter, Wartezeit → mehr Bedienerfläche
7. Ungünstiger Bearbeitungsprozess Maschine → schlechte Auslastung, mehr Maschinen
8. »Monumentale« Betriebsmittel → Fixpunkte
9. Energieverschwendung

Strukturplanung im Lean Production heißt Vermeidung von Verschwendung in der Auftragsabwicklung durch produktfamilienorientierte Segmentierung

3.1
Struktur-
planung



Rohrleitung - Kriterien der Segmentierung:

- Produktionsablauf
- Produktmerkmale (Geometrie, Rohmaterial, ...)
- Nachfrage und Markt (ABC-Klassen, Portfolio, ...)

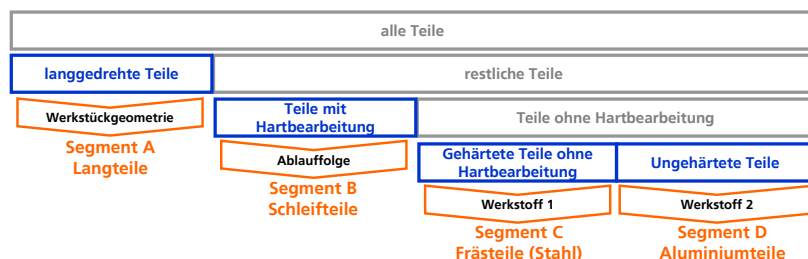
Ventil - Einheitliche Steuerungsprinzipien:

- eindeutiger Einstiegs- und Ausstiegspunkt am Schrittmacherprozess
- selbstregelnde Verknüpfung der Prozesse mit FIFO-Verkopplung und Kanban
- Intelligente Auftragsfreigabe: Feste Freigabeeinheit, Ausgleich des Produktmixes, Engpaßsteuerung

➤ Zielsetzung:

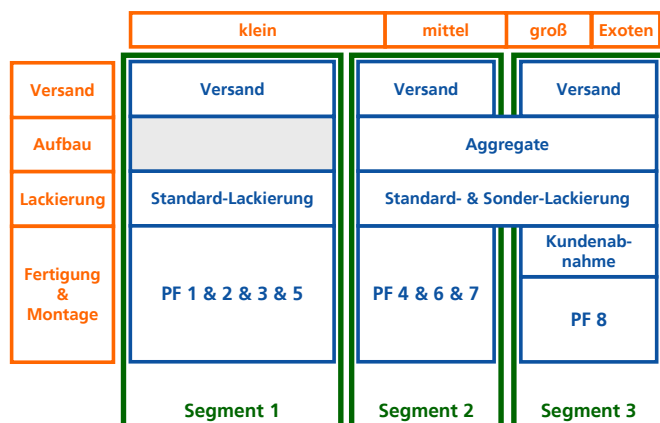
Eine segmentierte Produktion ermöglicht eine vereinfachte Steuerung mit gleichmäßigem, leicht beherrschbarem Produktionsablauf (laminarer Fluss)

Ergebnis der Strukturplanung ist die Fabrikstruktur mit ihren Segmenten



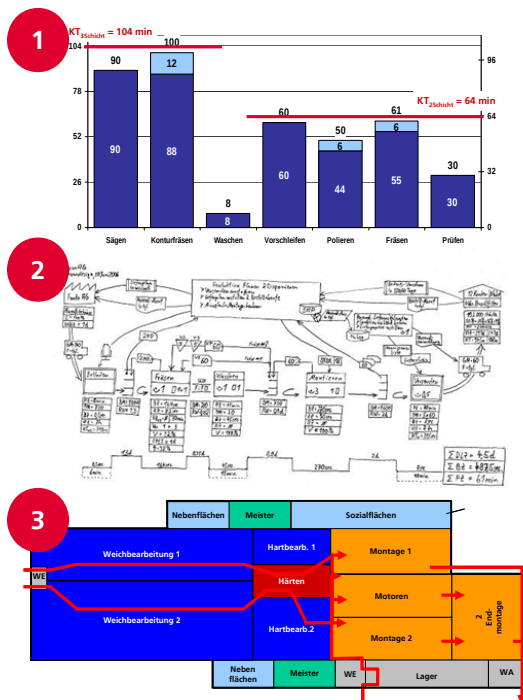
Teilklassenbildung als Grundlage der Segmentierung einer Fertigung nach vier einfachen Kriterien

Praxisbeispiel



Segmentierung nach Produktionsablauffolge und nach produktgeometrischen Unterschieden; dabei kann eine Zusammenfassung der in der Analysephase definierten Produktfamilien erfolgen

Ergebnis der Idealplanung sind der Soll-Zustand für den Produktionsablauf sowie das Ideal-Layout »Grüne Wiese« unter Vernachlässigung von Restriktionen



Zielsetzung:

- Produktion als **effizienten, kundenorientierten Wertstrom** gestalten
- **Transparenz** im Shop Floor erreichen mit **Visualisierung** der Produktionsabläufe durch eindeutige Markierungen

Vorgehensweise: Bewährte **Gestaltungsrichtlinien** zur

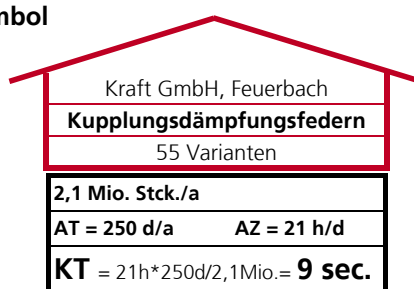
- (1) **Kapazitätsauslegung** mit Auswahl und Gestaltung der erforderlichen Betriebsmittel (impliziert Flächenbedarf)
- (2) **Ablaufverbesserung mit Wertstromdesign**
- (3) Räumliche Anordnung der **wandlungsfähigen** Betriebsmittel in **modularen Lean-Layouts**
- (4) **Energieeffiziente Gebäudestruktur**

Ergebnis:

- **Soll-Zustands-Zeichnung** des Wertstroms
- **Ideal-Layout-Darstellung** als restriktionsfrei gestaltete und materialflussoptimierte Flächenstruktur
- **Real-Layout mit Energiekonzept**

Eine am Kundenbedarf orientierte Produktion ist mit Synchronisierung von Produktionsrhythmus und Verkaufsrhythmus zu erreichen

Kunden-Symbol

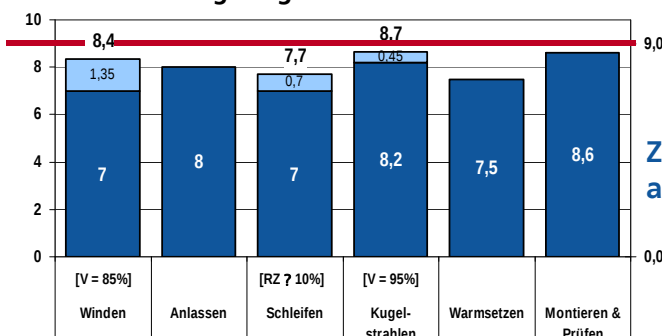


**ZZ jedes Produktionsprozesses
=!
KT der zugehörigen Produktfamilie**

3.2
Dimensio-
nierung

Richtlinie 1: Ausrichtung am Kundentakt
Das Kapazitätsangebot einer Produktion ist durchgängig am Kundentakt auszurichten

Taktabstimmungsdiagramm



Kundentakt KT Zielvorgabe für die Kapazitätsauslegung

Zykluszeit ZZ
aller Produktionsprozesse

Beispiel: Federn KG, Darmstadt

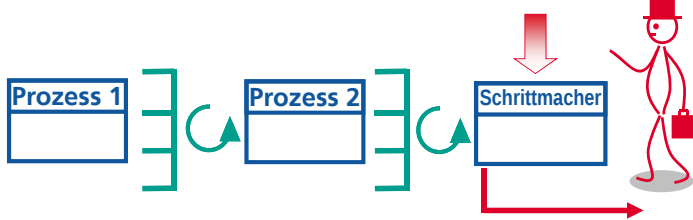
Ergebnis der Dimensionierung sind die dazu benötigten Betriebsmittel, Flächen und Mitarbeiterqualifikationen

Praxisbeispiel

Kosten		Grenzen		Profil Fixkosten		Kapfix Kosten		Kapfix Stufenkosten		Profil Stufenkosten		BAC	
2004	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010
Bsp. bei 100% Fixkosten		287.000	378.000	118.000	163.000	218.000	288.000	17.000	143.000	330.000	458.000	BAC	
Bsp. bei 80% Fixkosten		10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	PF 1-GW	
Bsp. bei 8% Fixkosten		8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	2006 2010	
Verfügbarkeit		87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	4,40 3,7	
Bsp. bei 100% Fixkosten		1,23	1,47	0,80	0,84	1,40	0,43	0,80	1,30	1,30	1,30	6,7	
Bsp. bei 8% Fixkosten		2,38	2,88	0,88	1,78	0,88	0,80	2,73	2,73	2,73	2,73	7 10	
Auslastung		2	3	1	1	1	1	2	1	1	2	8 1	
		62%	79%	60%	96%	94%	96%	43%	96%	96%	96%	2 1	
		PF 2											
Kosten		Grenzen		Profil Fixkosten		Kapfix Kosten		Kapfix Stufenkosten		Profil Stufenkosten		BAC	
2004	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010
Bsp. bei 100% Fixkosten		22.000	33.000	8.000	12.000	33.000	48.000	3.000	18.000	28.000	41.000	BAC	
Bsp. bei 80% Fixkosten		10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	PF 2-GW	
Bsp. bei 8% Fixkosten		8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	2006 2010	
Verfügbarkeit		87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	4,40 3,7	
Bsp. bei 100% Fixkosten		0,10	0,43	0,03	0,08	0,14	0,40	0,06	0,07	0,11	0,16	0,94 0,4	
Bsp. bei 8% Fixkosten		0,21	0,21	0,08	0,80	0,80	0,12	0,80	0,80	0,80	0,80	0,94 0,4	
Auslastung		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5 5	
		10%	21%	31%	6%	14%	30%	6%	12%	11%	20%	4 4	
		PF 3											
Kosten		Grenzen		Profil Fixkosten		Kapfix Kosten		Kapfix Stufenkosten		Profil Stufenkosten		BAC	
2004	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010	2006	2010
Bsp. bei 100% Fixkosten		22.000	33.000	8.000	12.000	33.000	48.000	3.000	18.000	28.000	41.000	BAC	
Bsp. bei 80% Fixkosten		10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	PF 3-GW	
Bsp. bei 8% Fixkosten		8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	2006 2010	
Verfügbarkeit		87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	4,40 3,7	
Bsp. bei 100% Fixkosten		0,10	0,43	0,03	0,08	0,14	0,40	0,06	0,07	0,11	0,16	0,94 0,4	
Bsp. bei 8% Fixkosten		0,21	0,21	0,08	0,80	0,80	0,12	0,80	0,80	0,80	0,80	0,94 0,4	
Auslastung		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5 5	
		10%	21%	31%	6%	14%	30%	6%	12%	11%	20%	4 4	

Eine transparent gesteuerte Produktion mit laminarem Produktionsfluss ist nur durch Beschränkung auf einen einzigen Einstuerungspunkt zu erreichen

Kundenauftrag, z.B. assembly-to-order



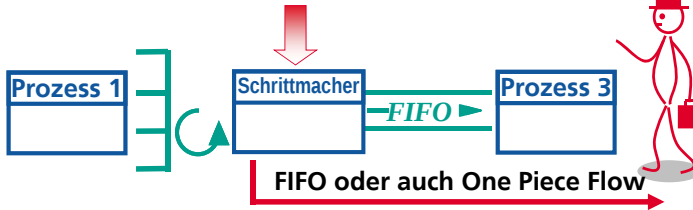
Richtlinie 5: **Schrittmacher-Prozess**

Jeder Wertstrom ist an genau einem eindeutig festgelegten Punkt im Kundentakt zu steuern

Merkmale:

- Der Steuerungspunkt markiert den **Schrittmacher-Prozess** des Wertstroms
- Der Schrittmacher-Prozess trägt den Kundenauftrag in die Produktion
- Am Schrittmacher liegt zugleich der **Kundenentkopplungspunkt**

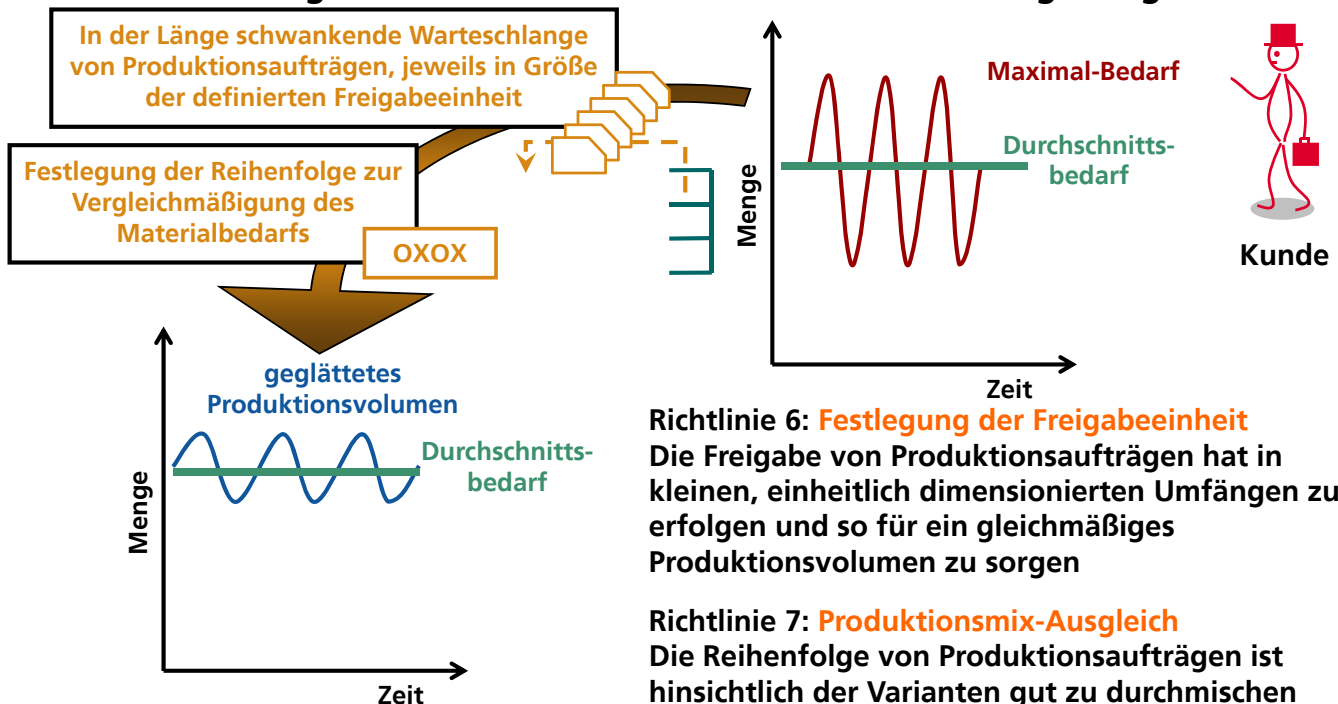
Kundenauftrag, z.B. make-to-order



Vorteile:

- eindeutig festgelegter Steuerungspunkt verhindert sich widersprechende Steuerung, die zu Beständen und Fehlmengen führen

Nachfrage-Schwankungen hinsichtlich Menge und Variantenmix sind durch einheitliche Freigabeeinheiten mit Hilfe einer Warteschlange zu glätten



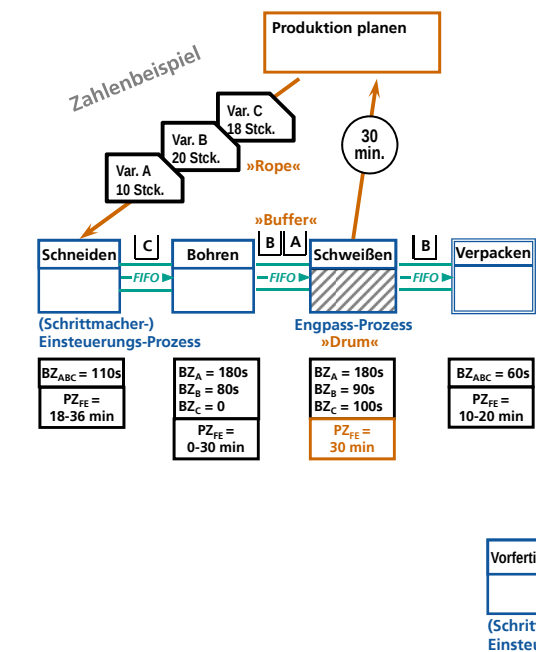
Richtlinie 6: **Festlegung der Freigabeeinheit**

Die Freigabe von Produktionsaufträgen hat in kleinen, einheitlich dimensionierten Umfängen zu erfolgen und so für ein gleichmäßiges Produktionsvolumen zu sorgen

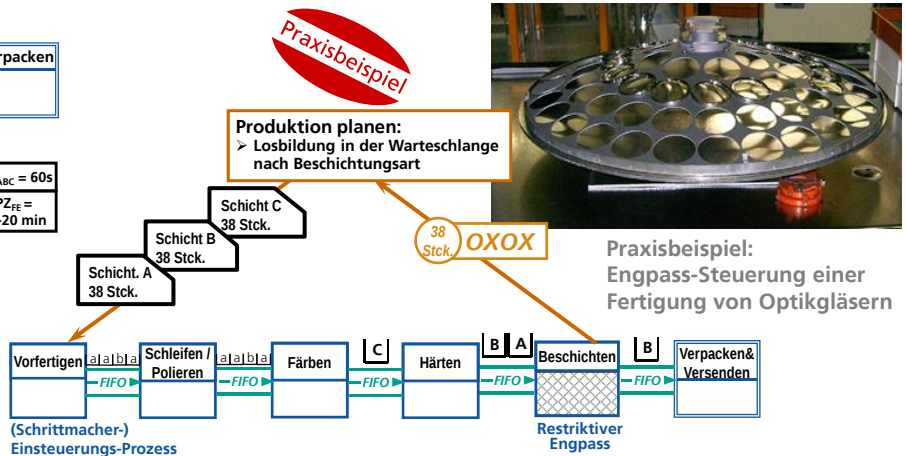
Richtlinie 7: **Produktionsmix-Ausgleich**

Die Reihenfolge von Produktionsaufträgen ist hinsichtlich der Varianten gut zu durchmischen

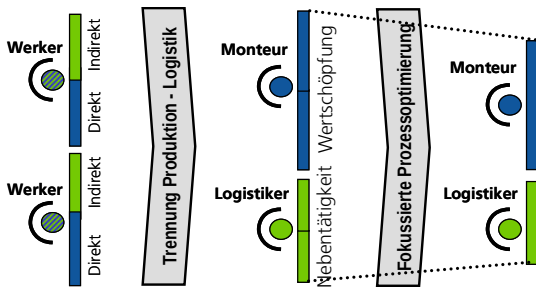
Bei der kundenspezifischen Produktion ist die Freigabeeinheit in Abhängigkeit vom Engpass-Prozess zu definieren und zu steuern



Richtlinie 8: Engpass-Steuerung
Die Freigabe von Produktionsaufträgen ist gegebenenfalls abhängig von den nachgelagerten Engpass-Prozessen in Volumen und Reihenfolge zu regeln.

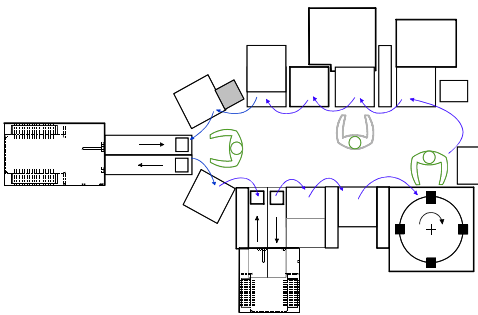


Wertschöpfende und logistische Tätigkeiten werden unabhängig voneinander gestaltet und können so insgesamt effizienter werden



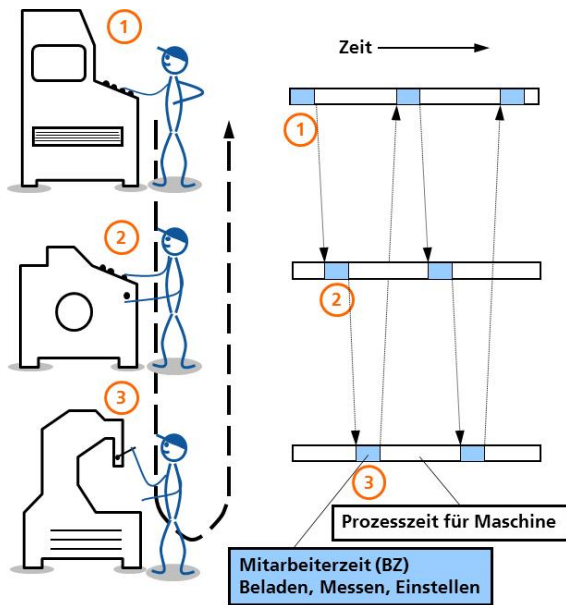
Richtlinie 9: Trennung von Produktion & Materialfluss
Wertschöpfende Tätigkeiten im Produktionsprozess sind von den unterstützenden, logistischen Tätigkeiten räumlich und personell abzutrennen.

Zellengestaltung für ein flächenoptimiertes Layout



- Merkmale:**
- Durchlaufregale zur Entkopplung zwischen Wertschöpfung und Materialversorgung
 - Minimaler Flächenbedarf wird meist in der U-Form erreicht
 - Gestaltung der Zelle für einen Mitarbeiter im Umlauf

Trennung der menschlichen Arbeit von der Maschinenlaufzeit (Mehrmaschinenbedienung)



Zielsetzung:

- Wartezeiten der Mitarbeiter eliminieren

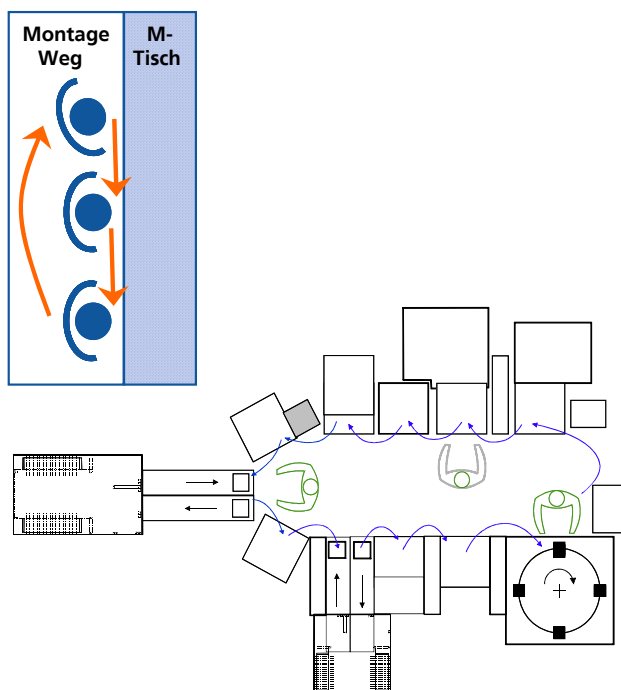
Merkmale:

- **Low-Cost-Automation:** automatischer Auswerfer nach Ablauf des Maschinenzklus macht Maschine bereit für neue Bestückung durch den Mitarbeiter
- Betätigung mehrerer Maschinen durch einen Mitarbeiter anstatt jeweils an der Maschine zu warten
- Maschinenzklus liegt deutlich unter dem Kundentakt (~ 50%)

Vorteile:

- **lohnkostenoptimiert:** Maschine wartet auf den Menschen, nicht der Mensch auf die Maschine

Planung von Innen nach Außen: Gestaltung des Layouts eines Produktionsbereiches, als ob nur eine Person produzieren würde



Grundidee:

- Gestaltung der Zelle für einen Mitarbeiter im Umlauf

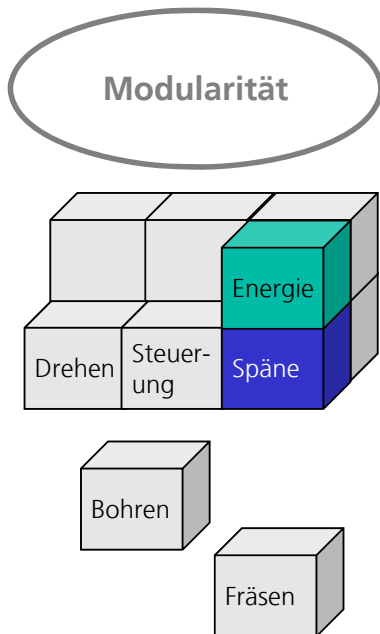
Vorgehen bei der Gestaltung:

- Wertschöpfenden Arbeitsstationen so dicht wie irgend möglich aneinander bringen -> weites Gehen eliminieren
- keine räumlich isolierten Arbeitsstationen
- Verhindern Sie das Aufbauen von Beständen zwischen den Stationen
- Fördern Sie den Fluss des Materials und der Mitarbeiter
- keine Hindernisse im Gehweg

Vorteil:

- minimaler Flächenbedarf – meist in der U-Form

Idealplanung: Modulare Fabrikkonzepte basierend auf Standardisierung



Aufbau eines modularen Fabriksystems aus **standardisierten, einfach austauschbaren Fabrik-Elementen** und **Komponenten** (der Fabrikelemente)

Beispiele:

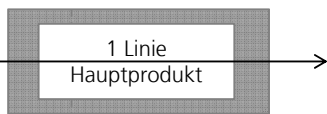
- **Betriebsmittel** : Baukastensystem, genormte Baugruppengrößen, Vorsehen von Schnittstellen, Zuordnen von Funktionen zu Baugruppen
- **Gebäude/Raum** : Dezentrale Versorgungsanlagen, Systemelemente, autonome Gebäudeteile, Skelettbauweise, Standardisiertes Gebäuderaster

Lösungsansatz: **Modularisierte Produktions- und Logistikflächen** für standardisierte Grundlayouts

Warum Modularisierung

- Module **standardisieren** die **Raumanforderungen** unterschiedlicher Fertigungsbereiche
 - **Rasterung**
 - **Breiten-** oder **Längenbedarf**
- Module **erlauben** die **Transformation von Fertigungsbereichen** ohne Anpassung von Gebäudestrukturen
- Module **führen** zu einer **weitest-möglichen Wandlungsfähigkeit von Layouts**
- Module **erhöhen** die **Freiheitsgrade der Layoutgestaltung**

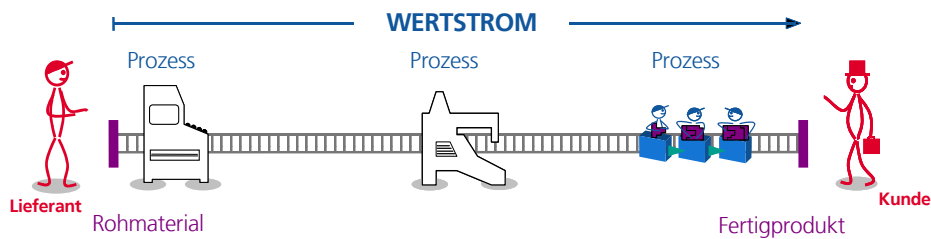
Produktionsmodule – Beispiel

- **Grundmodul : Standard-Modullänge, Basis-Modulbreite**
- 
- **Skalierung der Produktions-Gesamtfläche durch Kombination der Grundmodule sowie Skalierung der Modulbreite**

1 Grund-Modul

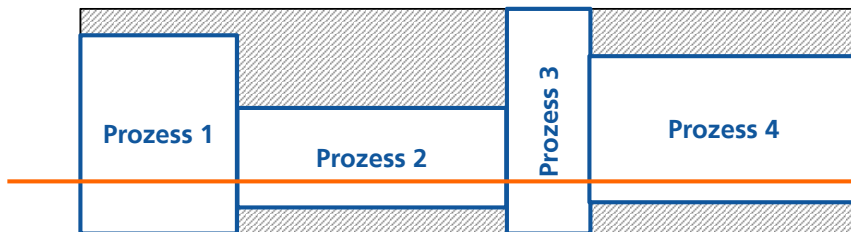
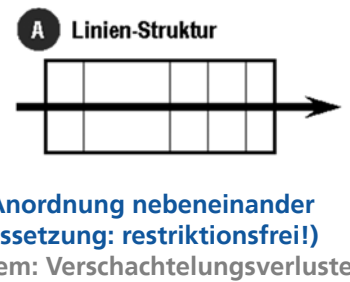
1 Grund-Modul,
hochskaliert

Grundidee des Lean Production fordert eine materialflussgerechte Anordnung der Teilflächen im Groblayout entlang des Wertstroms



Flussprinzip umsetzen: Die Logistik bestimmt das Layout!

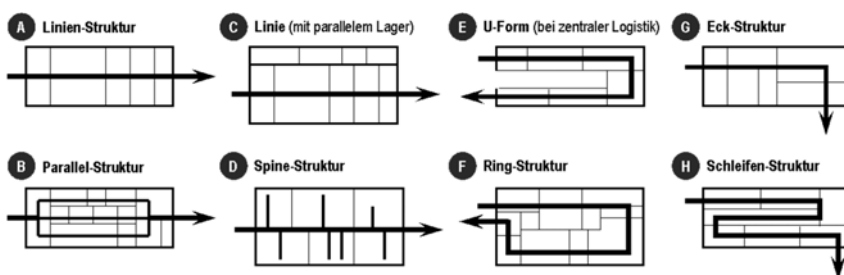
Planungsrichtung: vom Versand zum Wareneingang: die jeweils geeignete Fördertechnik (ist i.d.R. flächenwirksam) wird beginnend bei den Kundenanforderungen ausgewählt



Enge Anordnung nebeneinander (Voraussetzung: restriktionsfrei!) trotzdem: Verschachtelungsverluste

Eine Anordnung der Teilflächen im Groblayout entlang des Wertstroms führt automatisch zum materialflussgerechten Layout

Materialflussstrukturen für ein Wertstromorientiertes Layout

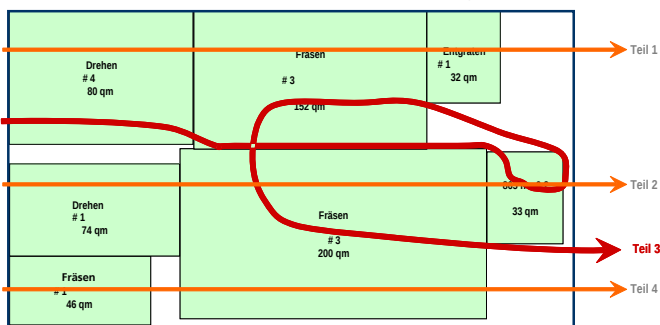


Richtlinie 10: Flussorientiertes & flächenoptimales Ideal-Layout
Die Betriebsmittel in einer Fabrik sind möglichst eng entsprechend ihrer Abfolge im Wertstrom nebeneinander anzuordnen.

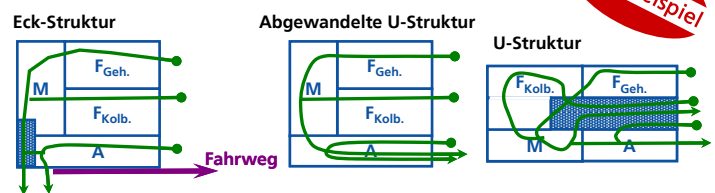
Vorgaben zur Layoutgestaltung:

- 1 Wertstrom = 1 Segment $\triangleq$ separater Materialfluss
- Anordnung entlang des Wertstroms nach einer übergeordneten Materialflussstruktur
- Definierte, eng begrenzte und gut visualisierte Bereitstellflächen

Ergebnis der Ideal-Layoutplanung sind Materialflussstruktur, flächenmaßstäbliche Maschinenanordnungspläne und Gesamtlayout

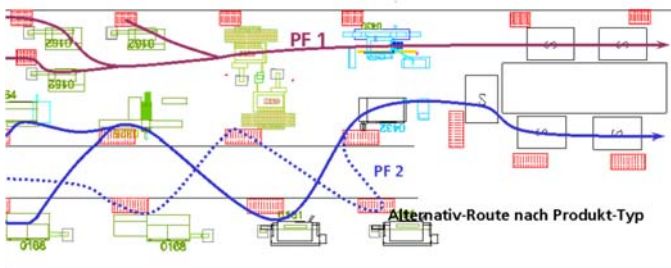


2. Dimensioniertes Teil-Segment mit Teilefluss ... und mit Maschinengrundriss

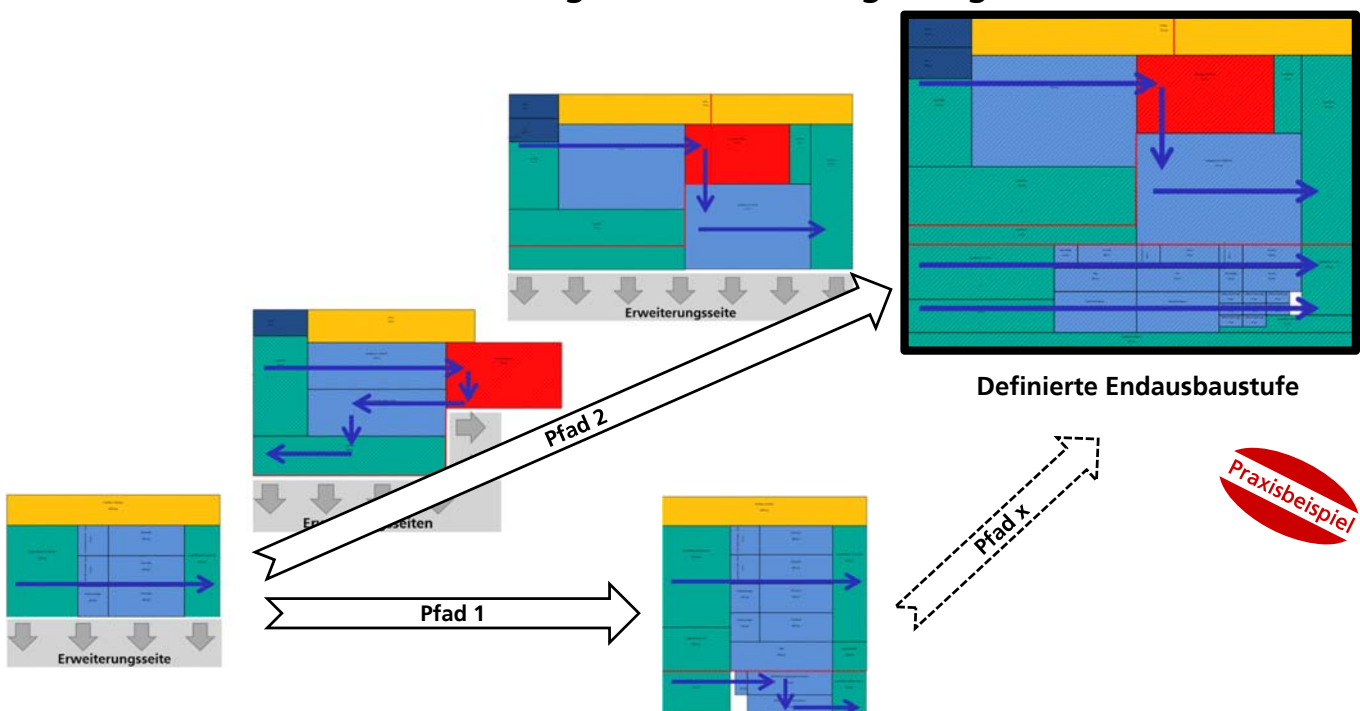


1. Möglichkeiten der mehrere Bereiche umgreifenden Materialflussstruktur

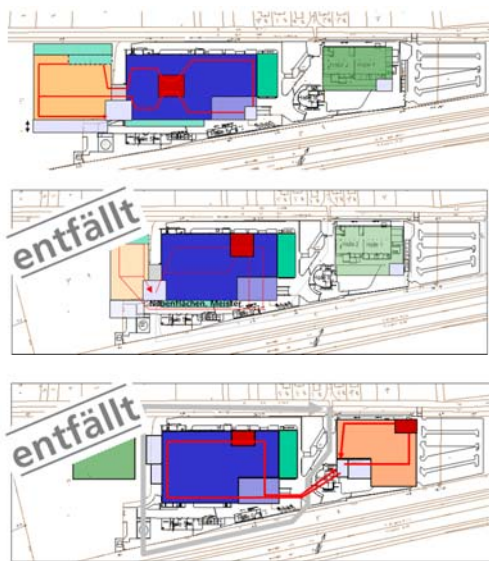
3. Ergebnis: Ideallayout eines Segmentes



Transformationsszenarien belegen die Wandlungsfähigkeit

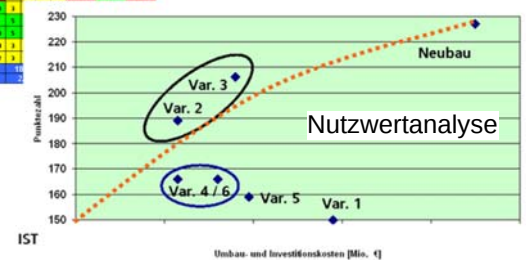


Reallayout mit »Adaption« an Restriktionen in Varianten Abschätzung von Investitionen und Variantenbewertung nach Nutzwert



Kostenpositionen	Kostenschätzung		Szenario A		Szenario B	
	Zweck	Kostenansatz	Bruttogrundfläche BGF	Kosten	Bruttogrundfläche BGF	Kosten
100	Grundstück					
200	Entwurf (Architekt, Bauleitung)	150.000,-	8.500 m²	17.100,-		
300	Bauwerk	1.200.000,-	1.700 m²	2.610.000,-	2.030 m²	2.980.000,-
400-499	Einrichtung	260.000,-	3.000 m²	2.070.000,-	2.700 m²	2.050.000,-
500	Außenanlagen					
600	Wasserbau					
700	Bauelemente		15%			
Summe	Bedarf in Investitionsmittel			6.677.100,-		5.977.900,-

	Vergleichswert ¹	von	is	Mittelpunkt
7	Kategorie: internationaler Standard	1.120 €/m ²	1.400 €/m ²	1.260 €/m ²
8	Kategorie: industrielle Produktionsweise	600 €/m ²	1.310 €/m ²	960 €/m ²
9	Kalkulationierung: 100 (Kategorie: B37) (Preis-Mittel)	870 €/m ²	1.160 €/m ²	1.015 €/m ²
10	Quellgruppe: Kalkulationen B30-B35			
11	Quelle: Baukosteninformationssystem Deutsche Architektenkammer GmbH, 2001			

[illegible]

Die acht Gestaltungsrichtlinien des Energiewertstromdesigns – Vorgehensmodell für die Konzeption des Soll-Zustands

- Richtlinie 1:** Ausrichtung auf den optimalen Betriebspunkt
 - Richtlinie 2:** Reduktion des Energiebedarfs im Normalbetrieb
 - Richtlinie 3:** Minimierung des Energieverbrauchs durch Warten bei Produktionsunterbrechungen
 - Richtlinie 4:** Minimierung des Standby sowie der An- und Abschaltverluste
 - Richtlinie 5:** Energierückgewinnung zur Mehrfachnutzung des Energieeinsatzes
 - Richtlinie 6:** Spitzenlastreduktion zum Ausgleich zwischen den Energieverbräuchen
 - Richtlinie 7:** Festlegung einer energieoptimalen Abarbeitungsreihenfolge am größten Energieverbraucher
 - Richtlinie 8:** Optimale Energieerzeugung und Energiewandlung zur Synchronisation von Energiebereitstellung und Energieverbrauch



Konsequente Reduktion der inneren Wärmelast und Nutzung der Abwärme zur Hallenklimatisierung



Ölkühlung
Bearbeitungs-
maschinen

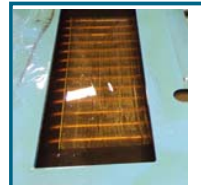


Kühlgerät
Spindel

Wärmelast



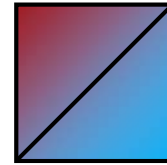
Druckluft-
kompressor



Produktions-
anlage



Abwärme



Wärmetauscher
WT



Warm-
Wasser-
Speicher

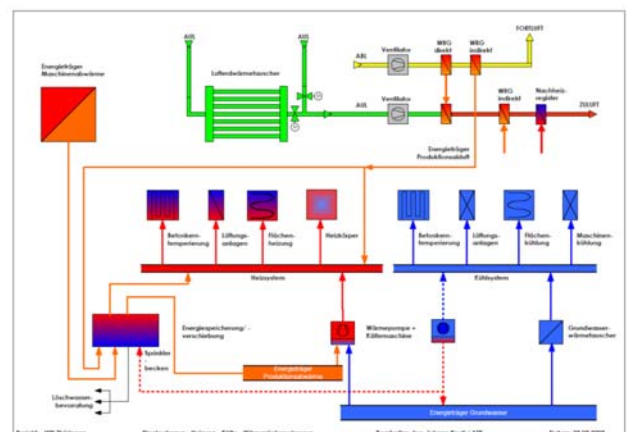
Praxisbeispiel

- Zentrale Ölkühlung aller Bearbeitungs-
maschinen
- Absaugung des Arbeitsraumes
- Konsequente Reduktion der Wärmelast und
Nutzung der Abwärme zur Hallenklimatisierung

Fundament bei Hilti mit Lufttemperierung sowie intensive Nutzung von Abwärme aus der Produktion



Praxisbeispiel



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Ihr Ansprechpartner:

Fraunhofer IPA
Fabrikplanung und Produktionsoptimierung
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Dr. Klaus Erlach

Tel. +49 (0) 711 / 970 - 1293
Fax. +49 (0) 711 / 970 - 1009
E-Mail: erlach@ipa.fraunhofer.de



www.wertstrom.de
www.wertstromdesign.de

Fabrikplanung und Produktionsoptimierung
© Fraunhofer IPA / 2014
Folie 65



Seminar Fabrikplanung





**Stuttgarter
Produktionsakademie**

FABRIKPLANUNG

VON DER STRATEGIE ZUM LEITKONZEPT

Seminar **SPA 060**
18. März 2014
Stuttgart

