

# Wiederholung 1. Vorlesung

---

- Fertigungstechnische Sichtweise: Maschine, Anlage / Prozess
  - Definition Fertigung, Produktion
  - Entwicklung und Trends / Interdisziplinarität
  - Fertigungsverfahren DIN 8580 nach stofflichem Zusammenhang
  - Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaften ändern, Stoffaufbereitung
  - Stärken / Schwächen: Energieaufwand, Materialaufwand, Rauigkeit, Toleranzfähigkeit, Stückzahlfähigkeit
- Kriterien Verfahrenswahl



**ETH**

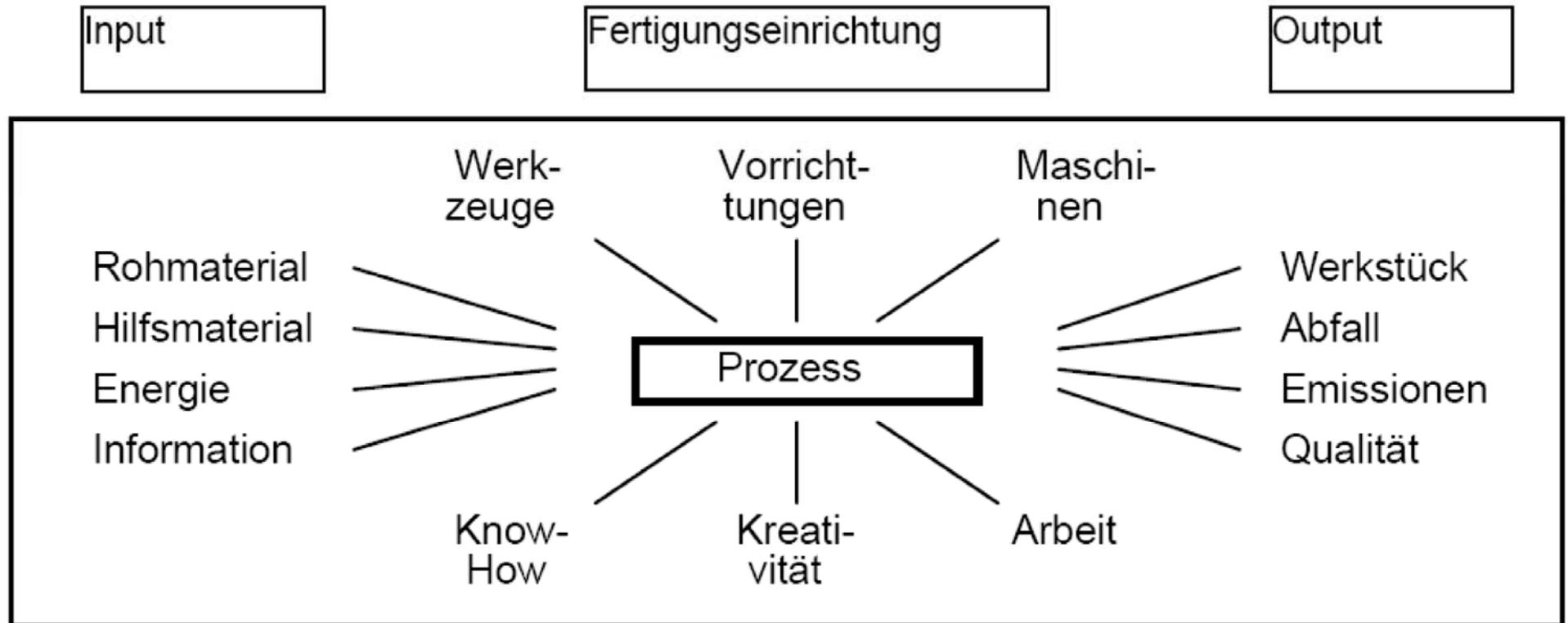
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 3. Fertigungsorganisation

Prozess = konkrete Realisierung



**Qualität - Kosten - Termine/Zeit - Ausbringung - Flexibilität**



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

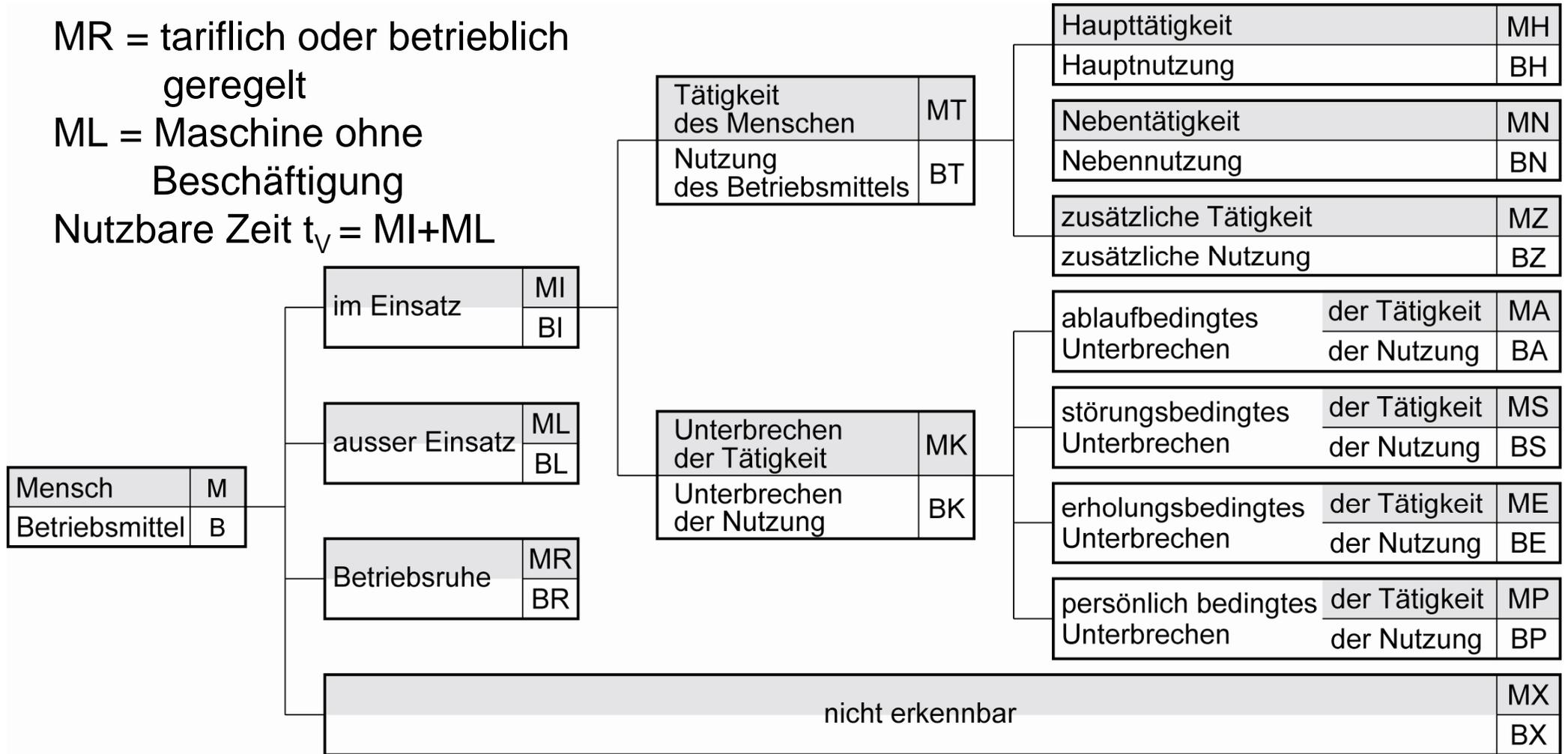
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 3. Fertigungsorganisation: Zeit: Ablaufarten

MR = tariflich oder betrieblich geregelt

ML = Maschine ohne Beschäftigung

Nutzbare Zeit  $t_v = MI + ML$



Nichtnutzung:

Langfristig

kurzfristig



El  
Si



Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 3. Vorgabezeiten Betriebsmittel: (Planung)

| $T_{bb}$<br>Belegungszeit           |   |                                    |                  |   |   |                             |   |   |                             |                  |   |  |                    |  |   |                            |  |
|-------------------------------------|---|------------------------------------|------------------|---|---|-----------------------------|---|---|-----------------------------|------------------|---|--|--------------------|--|---|----------------------------|--|
| Maschine im Einsatz                 |   |                                    |                  |   |   |                             |   |   |                             |                  |   |  |                    |  |   |                            |  |
| +                                   |   |                                    |                  |   |   |                             |   |   | +                           |                  |   |  |                    |  |   |                            |  |
| $t_{rB}$<br>Betriebsmittel-Rüstzeit | $t_{rgB}$<br>Betriebsmittel-Rüstgrundzeit   | $t_{rh}$<br>Rüsthaupt-nutzungszeit | $\Sigma t_{BHR}$ | Haupt-nutzung                               | $\Sigma t_{BH}$                               | $t_h$<br>Haupt-nutzungszeit | $t_{gB}$<br>Betriebsmittel-Grundzeit  | + | $t_n$<br>Neben-nutzungszeit | $\Sigma t_{BN}$  | Neben-nutzung                                 | $\Sigma t_{BN}$                            | $t_b$<br>Brachzeit | +  | $t_{eB}$<br>Betriebsmittelzeit je Einheit | $\times m$ (Auftragsmenge) | $t_{aB}$<br>Betriebsmittel-Ausführungszeit |
|                                     |   | $t_{rn}$<br>Rüstneben-nutzungszeit | $\Sigma t_{BNR}$ | Ablaufbedingtes Unterbrechen der Nutzung    | $\Sigma t_{BA}$                               |                             |   |   | $t_n$<br>Neben-nutzungszeit | $\Sigma t_{BA}$  | Erholungsbedingtes Unterbrechen der Nutzung   | $\Sigma t_{BE}$                            |                    |  |   |                            |  |
|                                     |   | $t_{rb}$<br>Rüst-brachzeit         | $\Sigma t_{BAR}$ | Erholungsbedingtes Unterbrechen der Nutzung | $\Sigma t_{BE}$                               |                             |   |   | $t_b$<br>Brachzeit          | $\Sigma t_{BE}$  | Persönlich bedingtes Unterbrechen der Nutzung | $\Sigma t_{BP}$                            |                    |  |   |                            |  |
|                                     | $t_{rvB}$<br>$= z_{rv} \times (t_{rgB} - \Sigma t_{BER})$<br>Betriebsmittel-Rüstverteilzeit |                                    | $\Sigma t_{BER}$ | $\Sigma t_{BPR}$                            | Persönlich bedingtes Unterbrechen der Nutzung | $\Sigma t_{BP}$             | $t_{vB}$<br>$= z_v \times (t_{gB} - \Sigma t_{BE})$<br>Betriebsmittel-Verteilzeit |   | +                           | $\Sigma t_{BSR}$ |   | Störungsbedingtes Unterbrechen der Nutzung | $\Sigma t_{BS}$    | $t_{eB}$<br>Betriebsmittelzeit je Einheit  |   | $\times m$ (Auftragsmenge) | $t_{aB}$<br>Betriebsmittel-Ausführungszeit |
|                                     | $z_{rv}$ : Rüstverteilzeitfaktor  |                                    | $\Sigma t_{BZR}$ | $\Sigma t_{BZR}$                            | Zusätzliche Nutzung                           | $\Sigma t_{BZ}$             | $\Sigma t_{BZ}$   |   |                             | $\Sigma t_{BZ}$  |   | Zusätzliche Nutzung                        | $\Sigma t_{BZ}$    | $t_{aB}$<br>Betriebsmittel-Ausführungszeit |   |                            |  |
|                                     |   |                                    | $\Sigma t_{BZR}$ | $\Sigma t_{BZR}$                            | Zusätzliche Nutzung                           | $\Sigma t_{BZ}$             | $\Sigma t_{BZ}$   |   |                             | $\Sigma t_{BZ}$  |   | Zusätzliche Nutzung                        | $\Sigma t_{BZ}$    | $t_{aB}$<br>Betriebsmittel-Ausführungszeit |   |                            |  |
|                                     |   |                                    |                  | <b>R</b>                                    | Rüsten  |                             |   |   | <b>A</b>                    |                  |   |  |                    |  |   |                            |  |
|                                     |   |                                    |                  |   |   | Ausführen                   |   |   |                             |                  |   |  |                    |  |   |                            |  |



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 3.1 Zeiten

---

**Betriebsmittelgrundzeit (Prozesszeit / Brauchzeit)  $t_{gB}$ :**

Zeit, die gebraucht wird, um den Prozess laufen zu lassen

$$t_{gB} = t_h + t_n + t_b$$

**Hauptzeit  $t_h$ :** Prozess läuft, Werkzeug im Eingriff

**Nebenzeit  $t_n$ :** Für den Prozess benötigte Zeit, kein Eingriff, stückzahlbezogene Zeit: Wechselzeit Werkzeug, Werkstück, Kontrollzeit

**Brachzeit  $t_b$ :** aus Sicht Betriebsmittel planmässige Unterbrechung

**Verteilzeit  $t_{vB}$ :** Zus. Zeit d. Bediener bedingt → Verteilzeitfaktor <0.15

**Ausführungszeit  $t_{aB}$ :** Für die eigentliche Bearbeitung erforderliche Zeit

**Rüstzeit  $t_{rB}$ :** Vorbereiten der Maschine auf neues Produkt, neue Serie

**Nettonutzzeit  $t_{NN}$ :**  $t_{NN} = t_h + t_n + t_{rh} + t_{rn}$

**Stillstands - / Ausfallzeiten  $t_S$ :** Zeit innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit (nach Schichtmodell), in der die Maschine nicht genutzt wird. Nutzen ist auch das Umrüsten  $t_S = t_V - t_{NN}$

## 3.1 Zeiten

---

**Werkzeugwechselzeit inf. Standzeitende  $t_{We}$ :**  $t_{We} = \frac{t_W}{M}$

ist die auf das Einzelteil bezogene Zeit  $t_W$  für den Werkzeugwechsel.  $M$  ist Standmenge des Werkzeugs.  $t_{We}$  ist ein Anteil der Nebenzeit  $t_n$

**Losgrösse  $L$ :** ist die Anzahl Teile, die gemeinsam abgearbeitet werden, ohne zwischendrin umzurüsten.

Annahme: nach jedem Los folgt Rüstvorgang mit Programmwechsel, Werkzeugtausch, Einstellarbeit

**Stückzeit  $t_e$ :** Anteilig für das einzelne Teil gebrauchte Zeit

$$t_e = t_h + t_N + t_{We} + \frac{t_{rB}}{L} \quad , \quad t_{bB} = t_e \cdot L \quad ,$$

$$t_N = t_n - t_{We} + t_b + t_{rB}$$

**Belegungszeit  $t_{bB}$ :** Zeit, in der die Maschine mit Auftrag blockiert ist



**ETH**

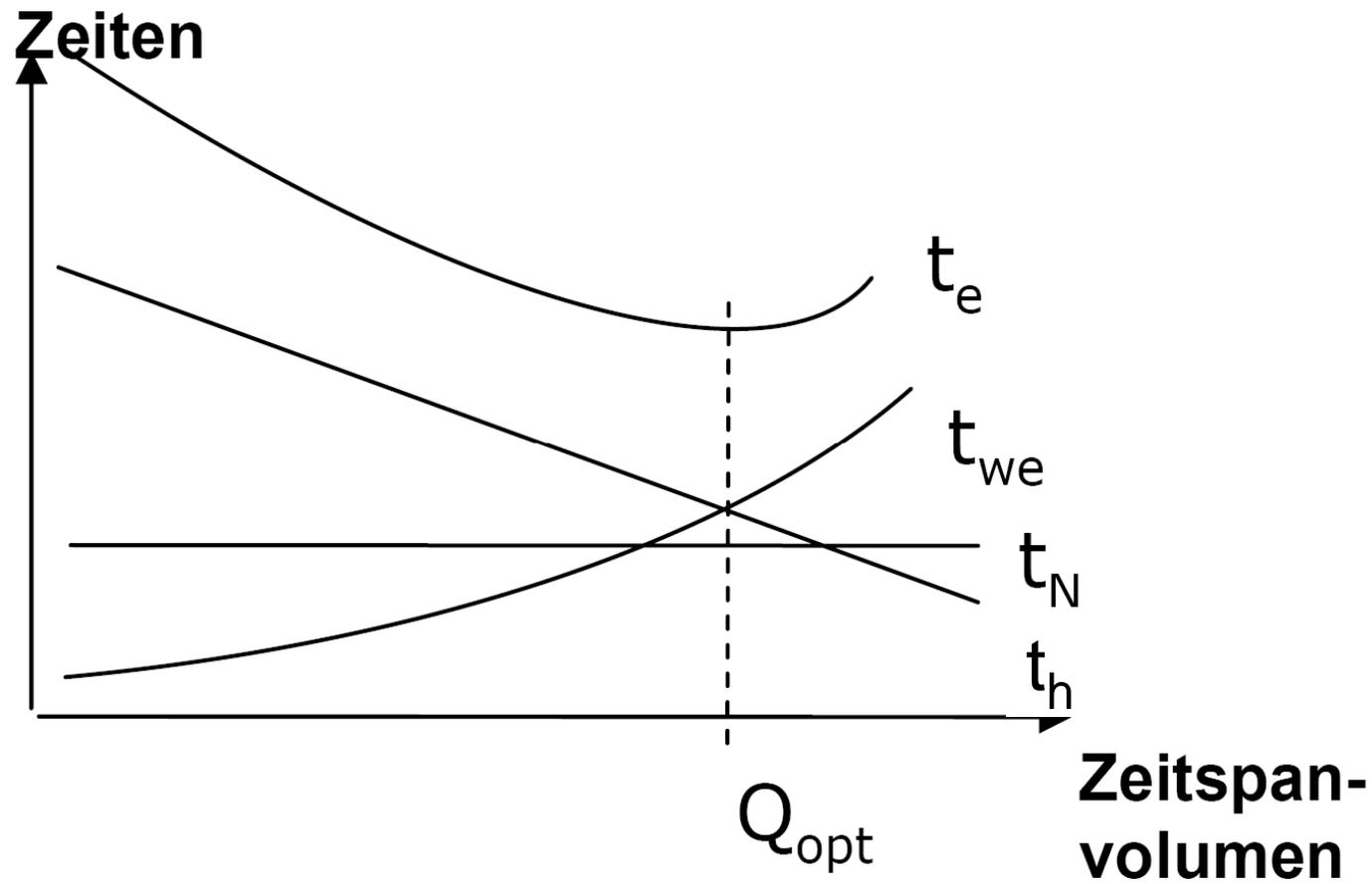
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 3.1 Zeiten

Abhängigkeit der Stückzeit von der Fertigungsgeschwindigkeit



## 3.1 Verfügbarkeit

---

**Totale Verfügbarkeit  $A_p$**  (VDI 4004) (total Availability):

$$A_p = \frac{MTBF}{MTBF + MRDT} = \frac{t_{NN}}{t_S + t_{NN}} = \frac{t_{NN}}{t_V}$$

**MTBF:** Mean Time Between Failure

**MRDT:** Mean Related Down Time

Betrachtung des Betriebs: Bezug ist die gesamte nutzbare Zeit incl. aller organisatorischen und logistischen Probleme

**Technische Verfügbarkeit  $A_e$**  (VDI 4004) (intrinsic Availability):

$$A_e = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MRDP}$$

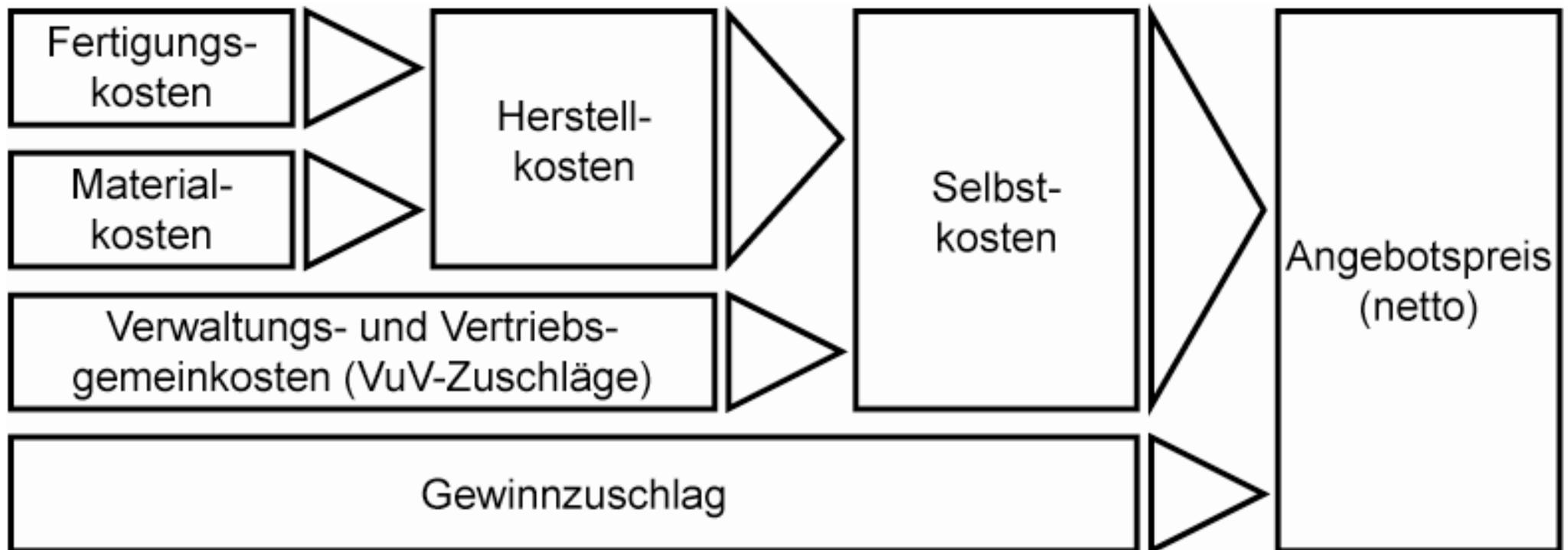
**MTTR:** Mean Time To Repair

**MRDP:** Mean Related Down time due to Preventive maintenance

Betrachtung Maschine: Bezug ist die Nutz -, Reparatur - und  
Wartungszeit

# 3.1 Kosten

Kostengliederung nach unterschiedlichen Gesichtspunkten.  
Allgemein übliches Kalkulationsschema für Produkte nach Leistungsbereichen



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

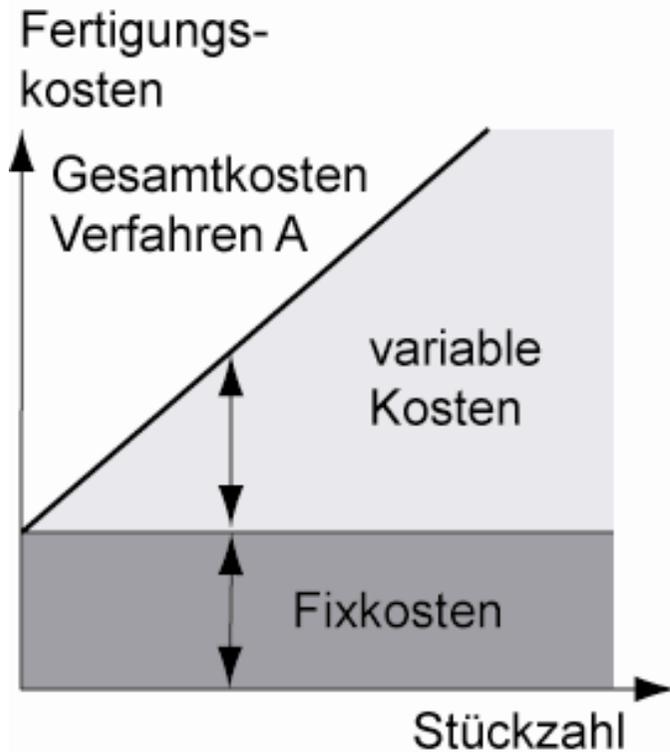
**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

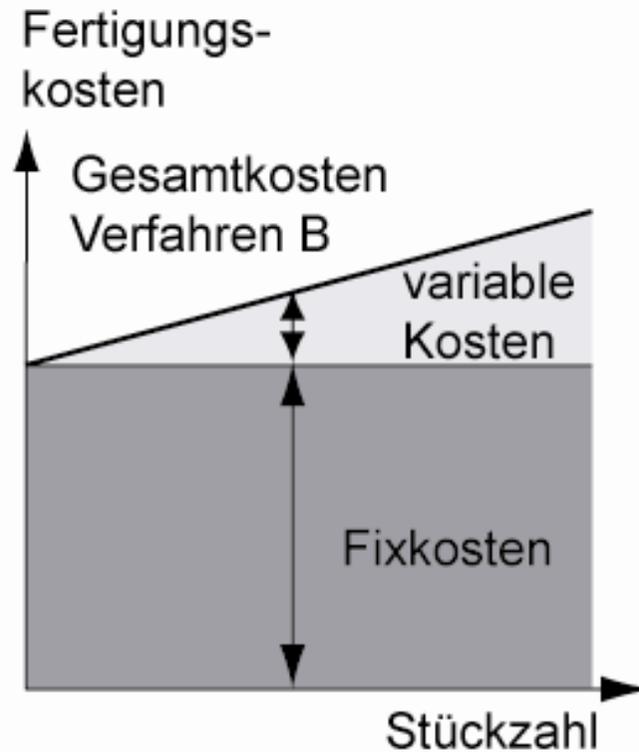
# 3.1 Kosten: Gliederung nach Kapitalbindung

**Variable Kosten, Hauptkosten:** stückzahlabhängig, Arbeitskosten, Werkzeugkosten, benutzungsabhängige Instandhaltung

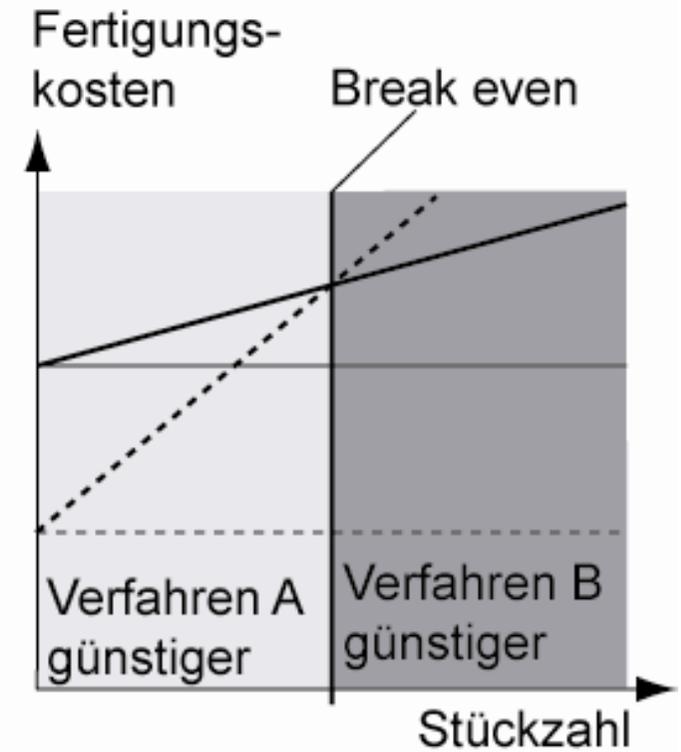
**Fixkosten, Nebenkosten:** benutzungsunabhängige Kosten, Kapitalkosten, Raumkosten, Ausbildungskosten, ggf. auch Rüstkosten



a) Für kleine Stückzahlen geeignetes Verfahren

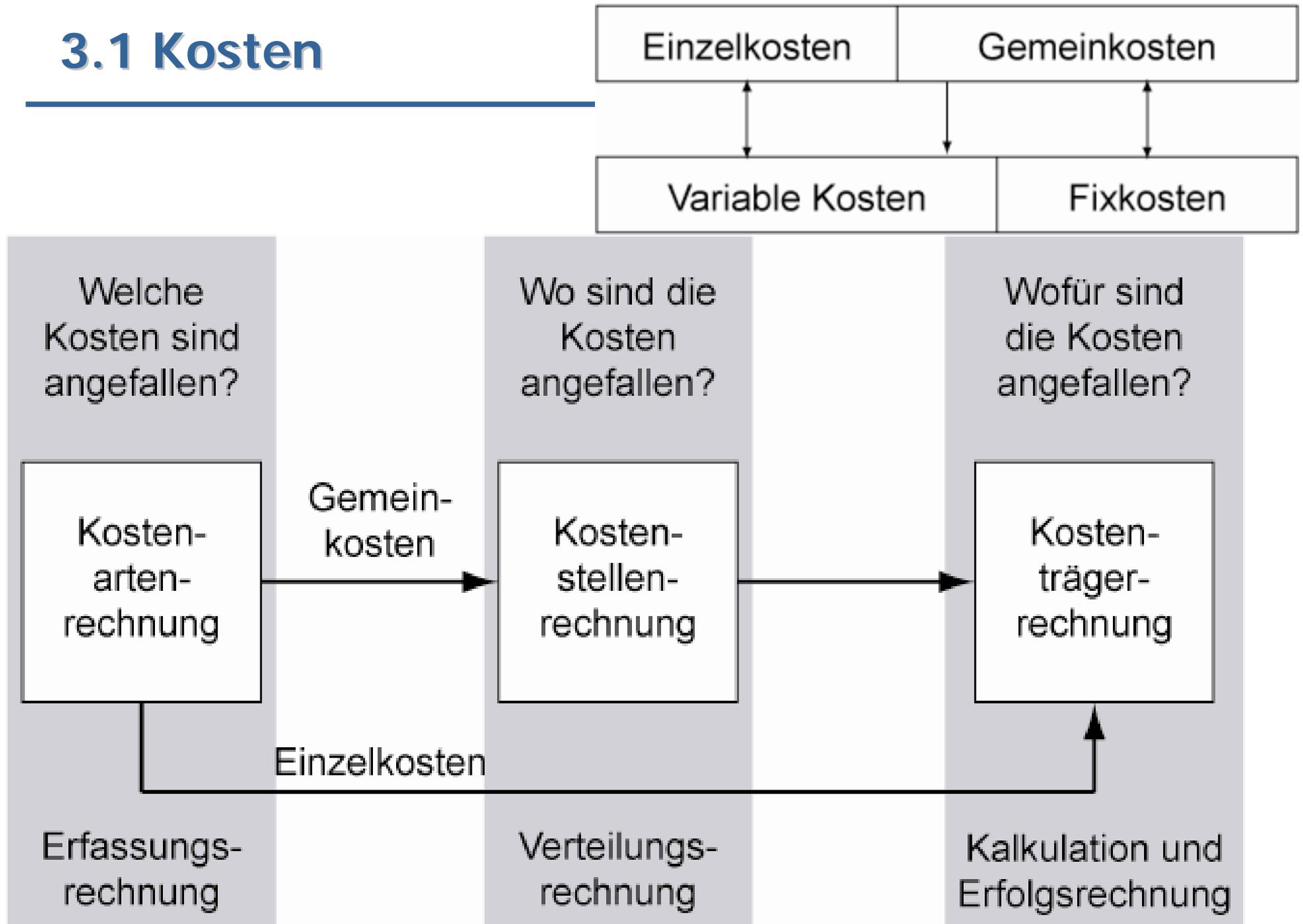


b) Für grosse Stückzahlen geeignetes Verfahren



c) Verfahren A (---) und B (—) im Kostenvergleich

# 3.1 Kosten



## 3.1 Ausbringung / Flexibilität

---

- 1.) Kleine Stückzahlen teuer: (Stückzahldegression, Lernkurve)
  - A.) Fixkostenblock
  - B.) Bei grossen Stückzahlen andere Verfahren
  
- 2.) Verfahren haben ausgeprägte stückzahlabhängige Eigenschaften:  
Abbildende Verfahren → höhere Stückzahlen, kleinste Hauptzeiten  
kleine Stückzahlen: Erodieren, Rapid Prototyping, Spanen  
grosse Stückzahlen: Gesenkschmieden, Tiefziehen, Druckguss
  
- 3.) Flexible Fertigung → langsam, teuer: Flexibilitätskosten  
Selektives Lasersintern
  
- 4.) Zusätzliche Eigenschaften
  - Automatisierbarkeit
  - Kombinierbarkeit mit anderen Verfahren



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 3.1 Kombination von Prozessen: Prozessketten

---

- 1.) Eignung für grosse Geometrieänderungen  
Giessen, Umformen, Schruppen
- 2.) Eignung für hohe Qualität  
Schlichten, Feindrehen, Schleifen, Honen
- 3.) Prozessvoraussetzungen  
Kernloch für Gewinde, gleichmässiges Aufmass zum Schleifen  
Zentrierungen
- 4.) Fehlerfortpflanzung Robustheit  
Unterdrückung anfänglicher Fehler und Schwankungen
- 5.) Verschleppung von Medien  
Ziehöl, Zwischenreinigung



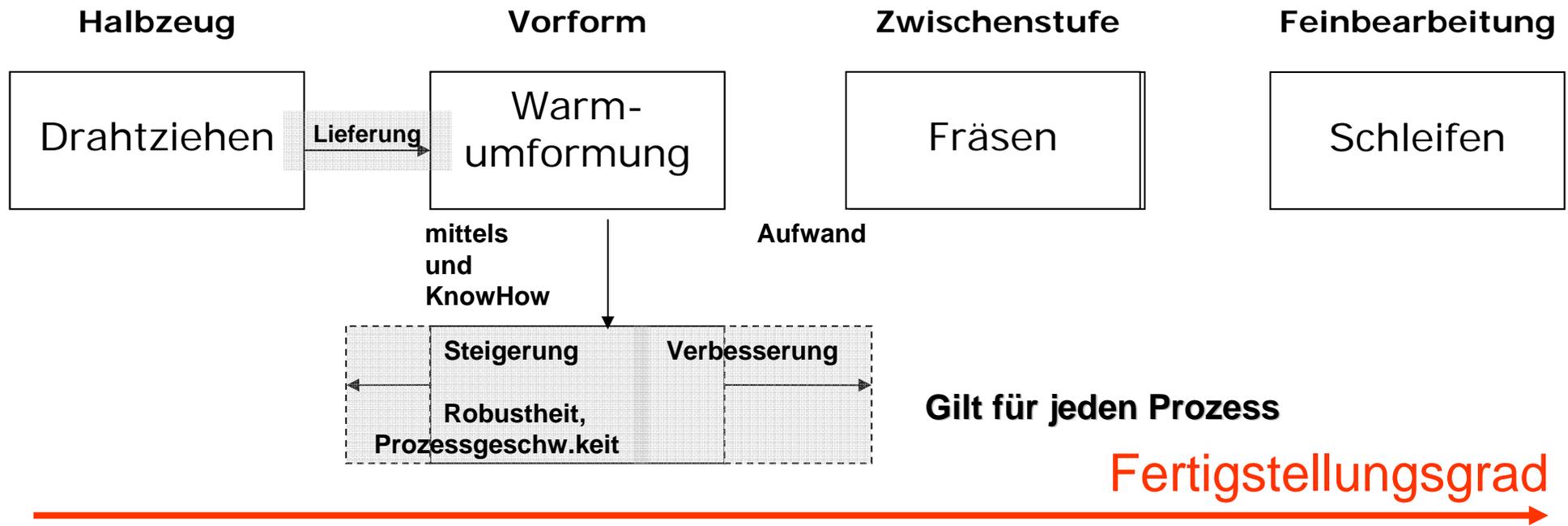
**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

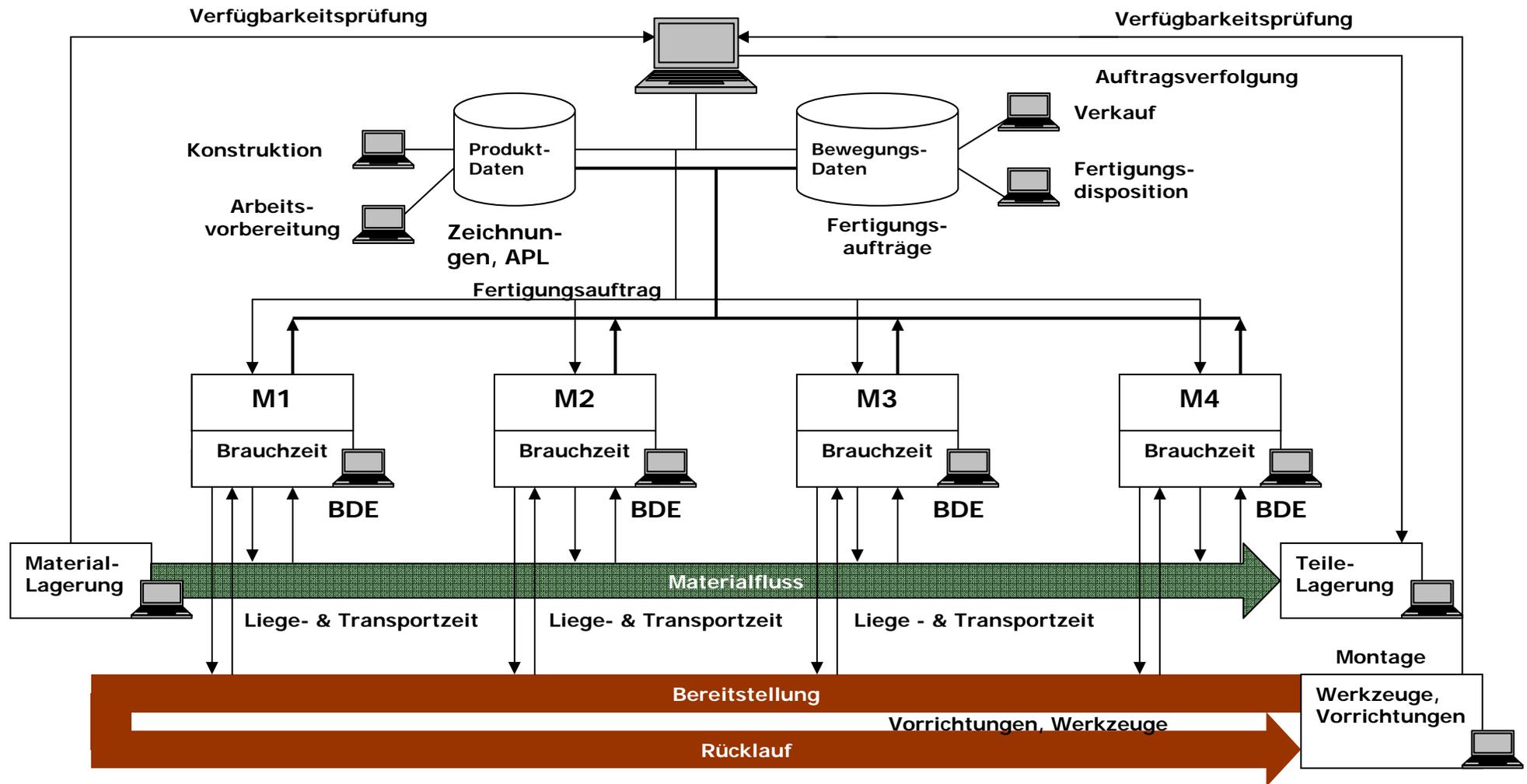
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 3.1 Kombination von Prozessen: Prozessketten



- Forschung:
- 1.) Steigerung der Abtragsleistung pro Verfahren
  - 2.) Steigerung der Endgenauigkeit pro Verfahren
  - 3.) Suche neuer Verfahren

# 3.2 Fertigungsbetrieb: Durchlaufzeit



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 3.2 Der Fertigungsbetrieb, Durchlaufzeit

---

$$t_D = \sum_i (t_{dSi} + t_{zWSi} + t_{zuSi})$$

**Durchlaufzeit:** Zeit zwischen Bedarfsanmeldung und Bedarfsdeckung

$i$  = Nummer der Arbeitsstation (Maschine)

**Durchführungszeit  $t_{dS}$ :** Zeit während der am Teil gearbeitet wird, Haupt – und Nebenzeitanteile

**Zwischenzeit, Übergangszeit  $t_{zWS}$ :**

Transportzeit, ablaufbedingte Liegezeiten

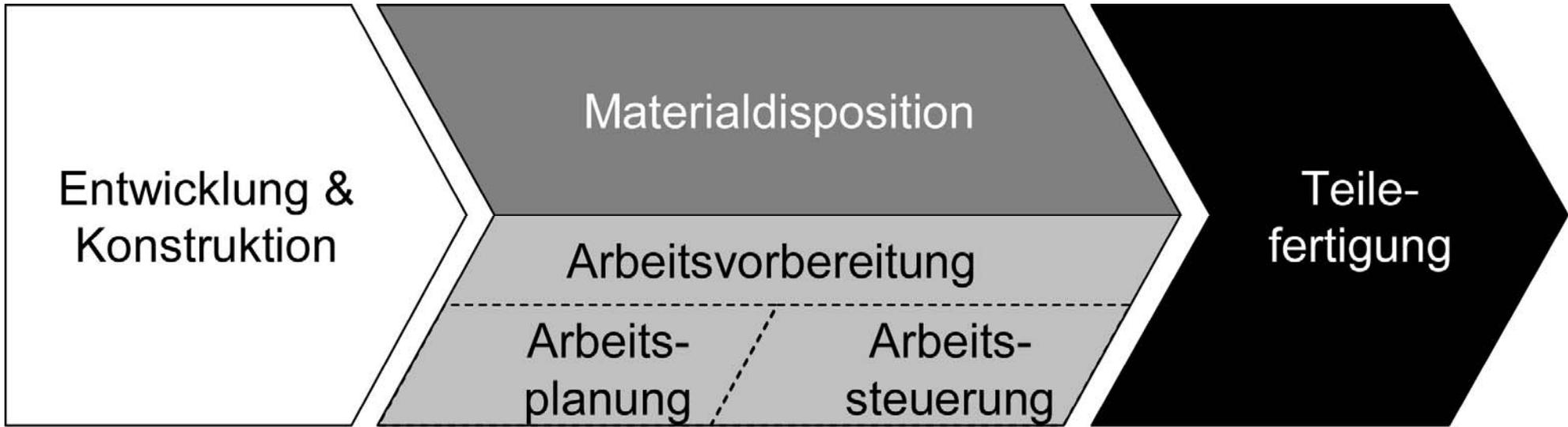
**Durchführungszusatzzeit  $t_{zuS}$ :**

Zusatzzeit störungsbedingte Unterbrechungen

- Warteschlangenprobleme
- Ausfallzeiten
- Einzelfert.: Durchlaufzeit schätzungsweise 1 Woche pro Arbeitsstation

# 3.3 Ablauf der Fertigung

---



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 3.3.2 Entwicklung und Konstruktion

---

### Aufgabe: Produktdefinition

EDV – Hilfsmittel: CAD → Konstruktion

PDM → Produktdatenspeicher

PDM: alle produktbezogenen Daten (Zeichnungen, Arbeitspläne, Prüfpläne, NC – Programme, Änderungshistorie, Stückliste)

Fertigungstechnisches Know How gehört in die Entwicklung → DFMA

Aufgaben der Stückliste:

- Modularisierung des Produktspektrums
- Ermittlung der Produktionsbedarfe (Auflösung der Primärbedarfe)
- Terminsteuerung und Produktionsplanung, (Montageplanung)
- Kostenerfassung



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

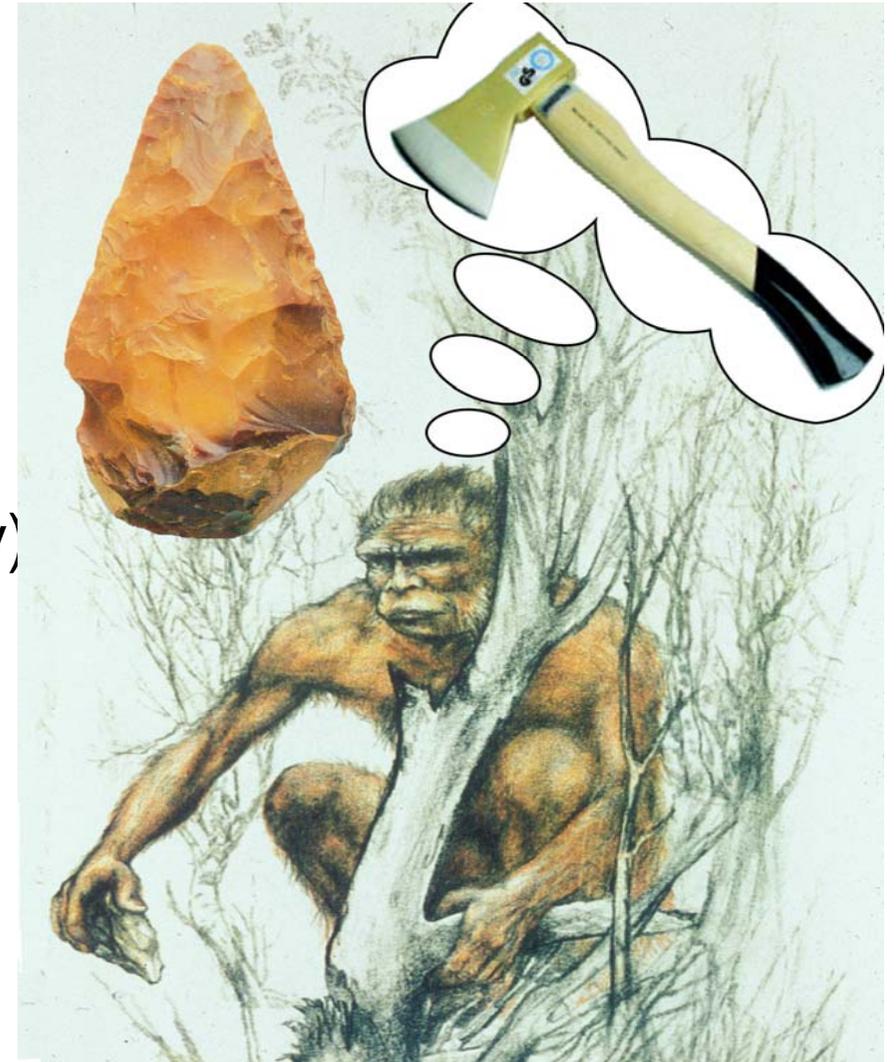
## 3.3.2 DFMA

Die gute Idee alleine ohne  
Umsetzungskompetenz hat keinen  
Wert

Früher: Design ist umzusetzen

DFMA: (Design for Manuf. and Assembly)  
Zu designen ist, was realisierbar ist

Fertigung und Produktentwicklung  
bedingen sich gegenseitig  
Richtig: DFMA + technologische  
Innovation



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 2. Lastenheft / Pflichtenheft

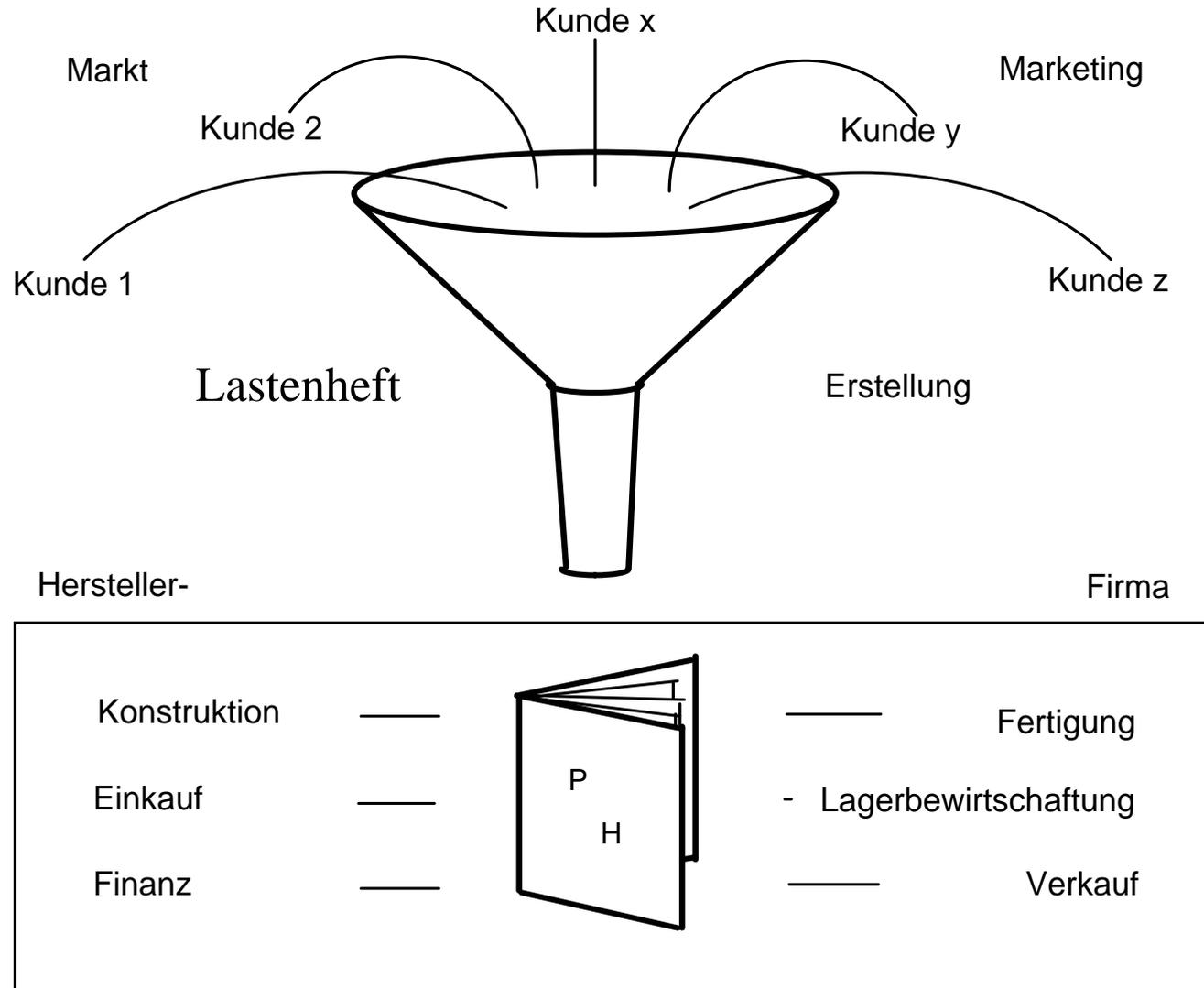
Lastenheft: **WAS WOFÜR**  
 Liste aller durch den Markt  
 aufgegebenen  
 Anforderungen



Filterung und  
 Anreicherung durch  
 Anforderungen zur  
 Erfüllung der  
 Marktforderungen



Pflichtenheft: **WIE WOMIT**  
 Umsetzung des  
 Lastenhefts in die Liste  
 der zu verwirklichenden  
 Produktdaten



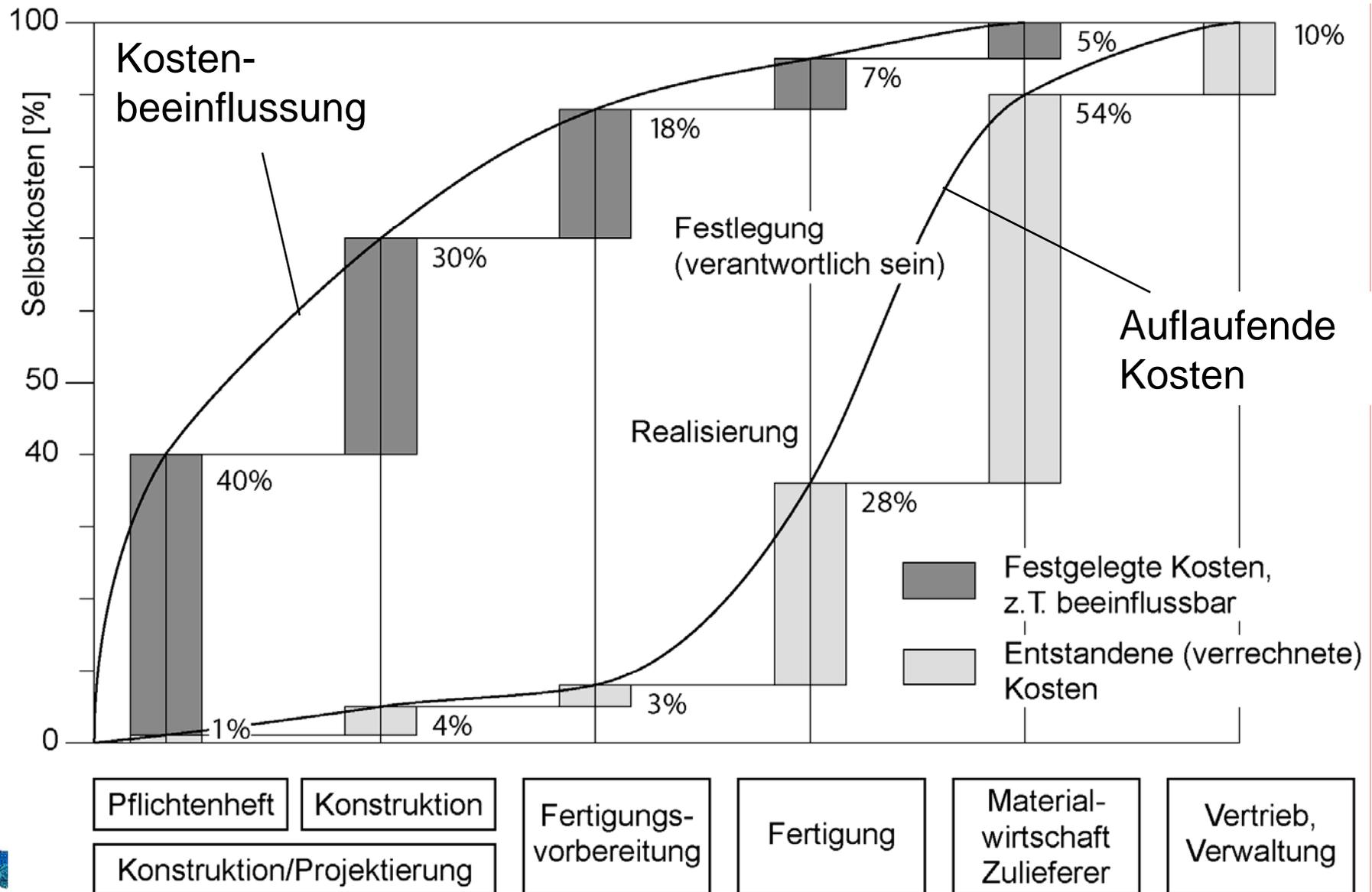
**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
 Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
 Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 2. Lastenheft, Pflichtenheft



## 3.3.2 Fertigungsvorbereitung, Arbeitsvorbereitung

---

### Aufgabe: Festlegung Arbeitsschritte, Produktionsmittel

|  |                     |
|--|---------------------|
| - Wahl der Fertigungsverfahren<br>- Arbeitsplangenerierung<br>- Zeitrechnung, Vorkalkulation   | Arbeitsplanung      |
| - NC – Programmierung<br>- Werkzeugdefinition<br>- Festlegung (Konstruktion) der Hilfs – und Spannvorrichtungen                                | NC - Programmierung |
| - Verfügbarkeitsprüfung<br>- Fertigungssteuerung (Kapazitätsplanung, Terminplanung)<br>- Make or Buy, Verlagerung                              | Arbeitssteuerung    |
| - Vorbereitung Maschineninvestition<br>- Unterstützung zu fertigungsgerechter Konstruktion<br>- Prüfplanung (Konstruktion, Qualitätssicherung) |                     |



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 3.3.3 Arbeitsplan

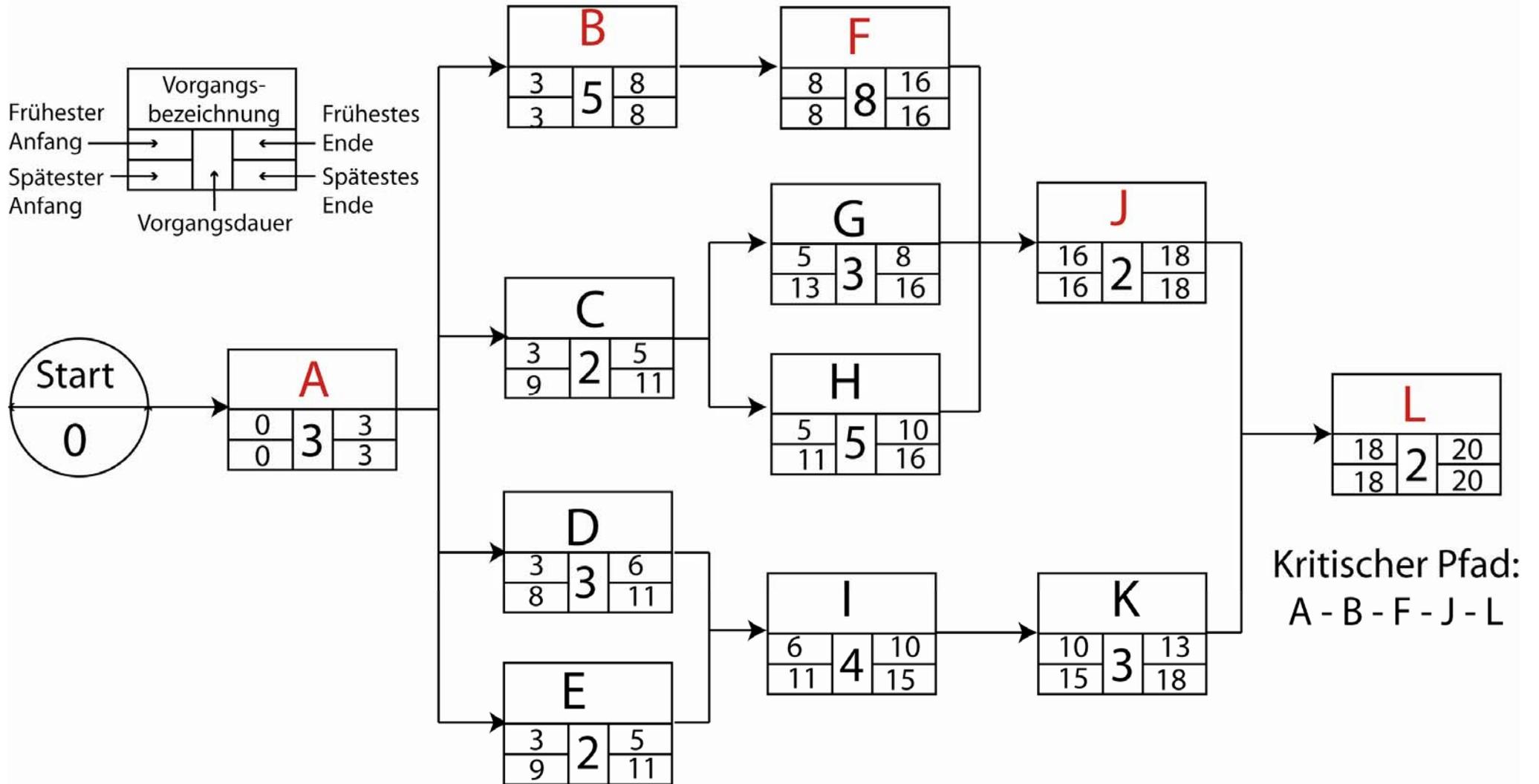
## Arbeitsplan

| Sachnummer<br>201 460 2302       |                   | Benennung<br>Lenkgehäuse   |    |     | Werkstoff<br>G-Al-Si 7  | Seite<br>1          |
|----------------------------------|-------------------|--|----|-----|---|---------------------|
| Zeichnungsnummer<br>201 460 2302 |                   | Zeichnungsstand<br>17.02.1994  |    |     | Modell/Gesenknr.:   | Datum<br>30.05.1994 |
| Arbeitsplaner<br>Linner          |                   | Bemerkungen<br>Unterschied zwischen 2702 und 2302: Sand- bzw. Kokillenguss |    |     |   |                     |
| AVO                              | Masch.-<br>gruppe | TR   | LG | TE  | Arbeitsvorgangsbeschreibung   |                     |
| 010                              | PEPR              | 5  | 05 | 5   | Rohteil prüfen  |                     |
| 020                              | AN04              | 90   | 05 | 0   | Austasten und Anreißen zum Fräsen und Bohren  |                     |
| 030                              | FR05              | 210  | 07 | 30  | mittlere Ansicht: Flanschtrennfläche vor- und fertig fräsen;<br>Justierbohrungen D12 H7 bohren, ausdrehen und reiben  |                     |
| 040                              | NC25              | 710  | 09 | 150 | 1. Aufspannung: Vorrichtung VV0055VS01 (Passlöcher D12)<br>mittlere Ansicht, untere Ansicht Schnitt H-H<br>Stirnseite Lenkwellenbohrung mit 0,5 mm Zugabe planen;<br>Kernlöcher für M12 x 1,5 bohren;<br>4 Gewinde M12 x 1,5 schneiden, fassen, Schnitt L-L;<br>... |                     |

```

$$* F
$$-> MFGI
PARTNO I
$$-> FEAT
MACHIN /
UNITS / M
TURRET /
COOLNT /
SPINDL /
$$ BEGIN_
$$ END_A
$$ BEGIN_
FROM / 70
$$-> SETS
FEDRAT /
GOTO / 70
FEDRAT /
GOTO / -0.
FEDRAT /
GOTO / -0.
$$ END_C
$$ BEGIN_
RAPID
GOTO / 71
RAPID
    
```

# 3.3.3 Fertigungssteuerung



**Pufferzeit**

$$\Delta t_P = t_R - t_V$$

Kritischer Pfad:  
A - B - F - J - L

## 3.3.3 Fertigungssteuerung

---

Aufgabe: Einplanung der Aufträge auf Maschinen zu Terminen

**Vorwärtsterminierung:** Ermittlung frühestmöglicher Starttermine  $t_V$

**Rückwärtsterminierung:** Ermittlung spätestmöglicher Starttermine  $t_R$



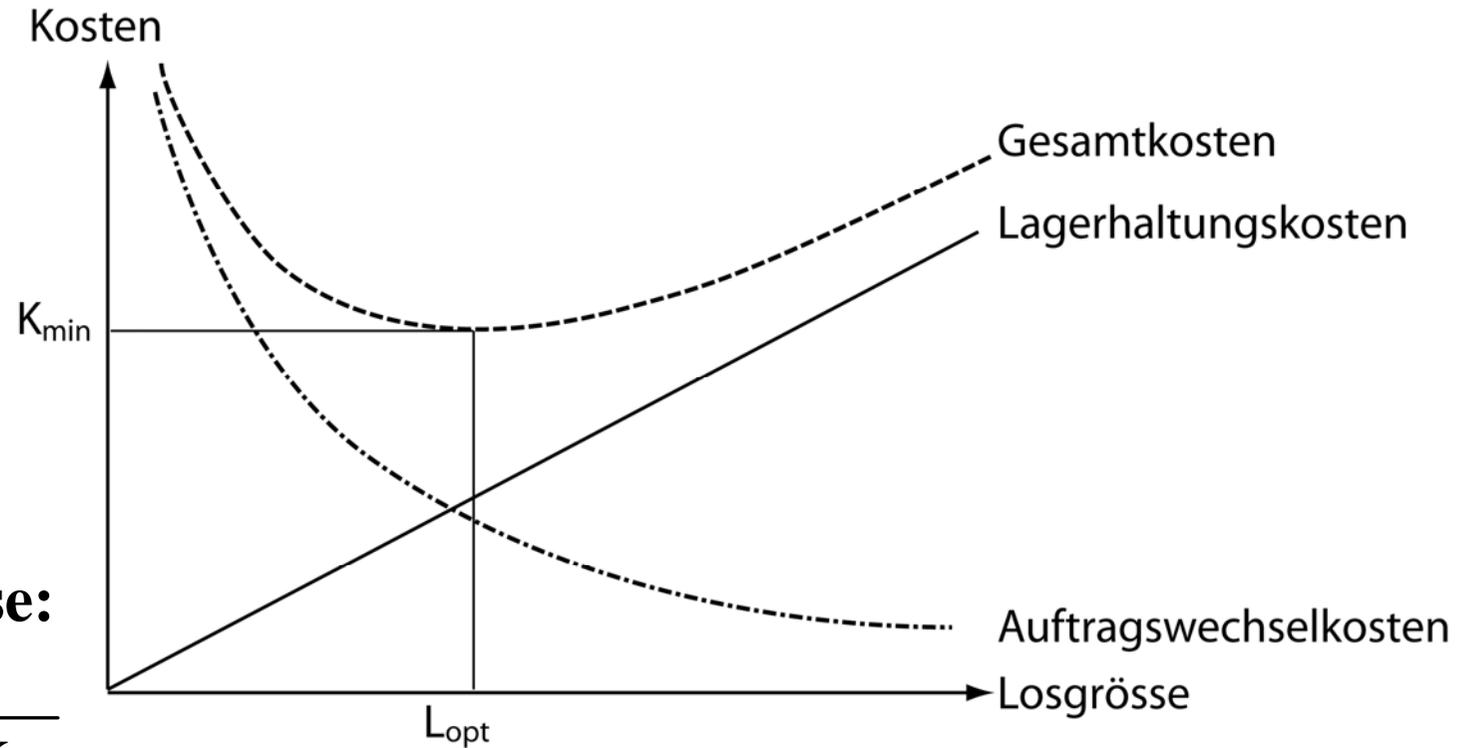
**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 3.3.3 Fertigungssteuerung: Optimale Losgrösse



**Optimale Losgrösse:**

$$L_{opt} = \sqrt{\frac{2x_{ges} \cdot K_A}{K_H \cdot i_L}}$$

- $x_{ges}$  Bedarfsmenge pro Planperiode
- $K_A$  Rüst - / Bestellkosten pro Auftrag
- $K_H$  Herstellkosten
- $i_L$  Zinssatz für Lagerung



## 3.3.4 Materialdisposition

---

Materialdisposition: Arbeitsvorbereitung für den Einkauf

- Bedarfsermittlung,
- Bestandsermittlung,
- Bestellmenge festlegen

Bestellplanung manuell:

- Beachtung Beschaffungsstrategie
- Rahmenverträge
- Zusammenfassung von Bedarfen



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 3.3.5 Fertigung

---

Freigabe zur Fertigung:

- Verfügbarkeitsprüfung durch PPS, Vorhandensein von
- Material
  - Arbeitsplan
  - NC – Programm
  - Vorrichtungen
  - Werkzeuge
  - Maschinen (mindestens für ersten Prozessschritt)

Nebenaufgaben der Fertigung (nicht wertschöpfend):

- Kontrollieren
- Transportieren
- Handhaben
- Lagern

**sind zu minimieren**



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 3.3.6 Recycling, Refurbishing

---

- Demontagegerechte Konstruktion
- Sortenreine Trennung
- Keine Verbundwerkstoffe
- Verwendung von Werkstoffen ohne Degradation
- Teileaustauschdienst (Spindeln, Turbinenschaufeln, Umform – und Spritzgusswerkzeuge, Druckübersetzer)
- Automatische Regenerierung  
Adaptive Bearbeitung

