

### 3. Bearbeitungsaufgabe

#### 3.1. Prozess und Werkzeug

- Werkzeuggeometrie
- Prozesskräfte
- Prozesskinematik

#### 3.2. Werkstück

- Losgröße
- Form und Abmessung
- Genauigkeit

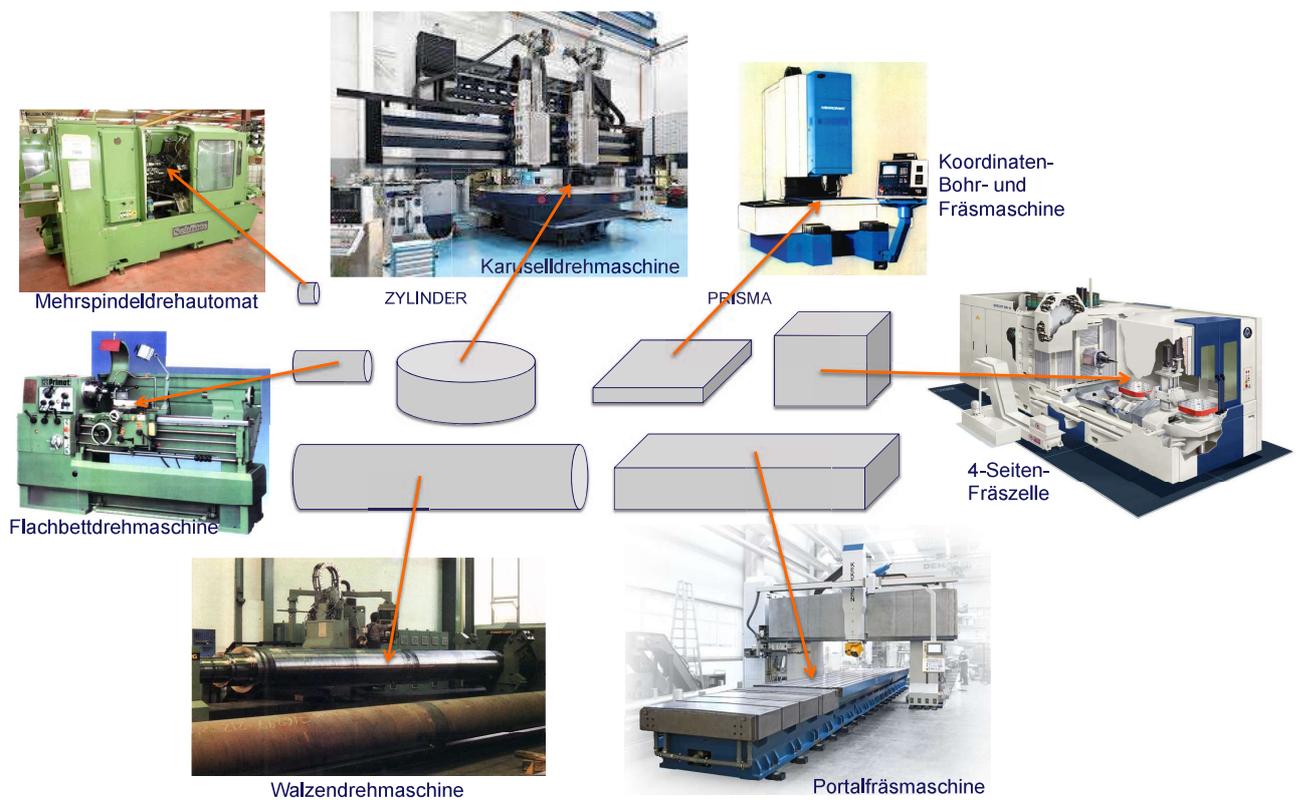


Bild 3.1 Werkstückform und -größe und die Zuordnung von Maschinenarten

#### 3.3. Arbeitsraum

- Abmessung
- Bewegungsaufteilung
- Kinematik

### 3.4. Analyse und Bewertung

#### Statische Verformung eines Werkstücks beim Drehen

##### Aufgabe:

Für das Langdrehen eines Werkstücks sind zwei Varianten der Werkstückaufnahme sowie zugehörige Prozessdaten und Kenngrößen gegeben, siehe Bild 3.2.

Es soll außerdem angenommen werden:

- die dominierende Nachgiebigkeit ist die Biegung des Werkstücks,
- die futterseitige Aufnahme des Werkstückes wirkt wie eine Einspannung,
- die Aufnahme in der Reitstockpinole wirkt wie ein Loslager,
- Rundlauf und Koaxialität von Spindel- und Reitstock-Achse sind einwandfrei,
- die Zustellung des Drehmeißels erfolgt auf Nennmaß  $D = 20\text{mm}$ .

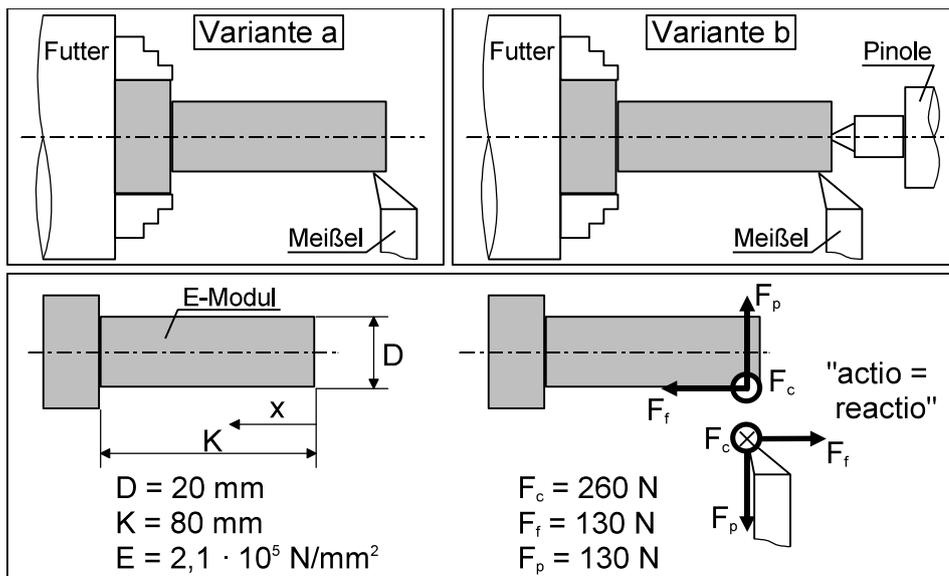


Bild 3.2 Werkstückaufnahmen für Langdrehen

- Berechnen Sie den entstehenden Werkstückdurchmesser an den Positionen  $x_1 = 0\text{ mm}$ ,  $x_2 = 20\text{ mm}$ ,  $x_3 = 40\text{ mm}$ ,  $x_4 = 60\text{ mm}$  und  $x_5 = 80\text{ mm}$  für beide Werkstückaufnahme-Varianten!
- Berücksichtigen Sie dabei nur Fehler I. Ordnung!
- Skizzieren Sie die entstehende Werkstückform für beide Varianten!
- Die für die Lösung notwendigen Verformungsbeziehungen zeigt Tabelle 3.1.

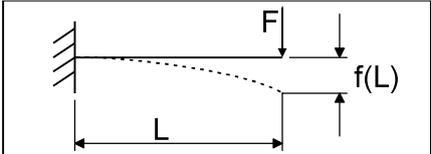
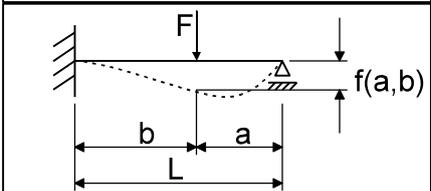
	$f(L) = \frac{F \cdot L^3}{3EI}$	Flächenträgheitsmoment I: $I = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$
	$f(a,b) = \frac{F \cdot a^2 \cdot b^3}{4 \cdot E \cdot I \cdot L^2} \left( 1 + \frac{a}{3 \cdot L} \right)$	

Tabelle 3.1 Verformungsbeziehungen

**Lösung:**

Grundüberlegungen:

- Die Verformung führt zu einer Radius-Vergrößerung; d.h. der sich unter der jeweiligen Belastungssituation einstellende Durchmesser ist  $D + 2f$ .
- Zu berücksichtigen ist nur  $F_p$ , wenn man die Aussage auf Fehler 1. Ordnung beschränkt.
- Das Flächenträgheitsmoment ist:  $I = \pi D^4 / 64 = 7854 \text{ mm}^4$

**Variante a:**  $D(x) = D + 2 F_p (K - x)^3 / 3EI$

Das ergibt:

$x [mm]$	0	20	40	60	80
$D [mm]$	20,027	20,011	20,003	20,0004	20

**Variante b:**  $D(x) = D + 2 [F_p x^2 (K - x)^3 / 4EI K^2] * (1 + x/3K)$

Das ergibt:

$x [mm]$	0	20	40	60	80
$D [mm]$	20	20,00058	20,00074	20,00022	20

Das führt zu folgender überhöhter Darstellung nach: Bild 3.3

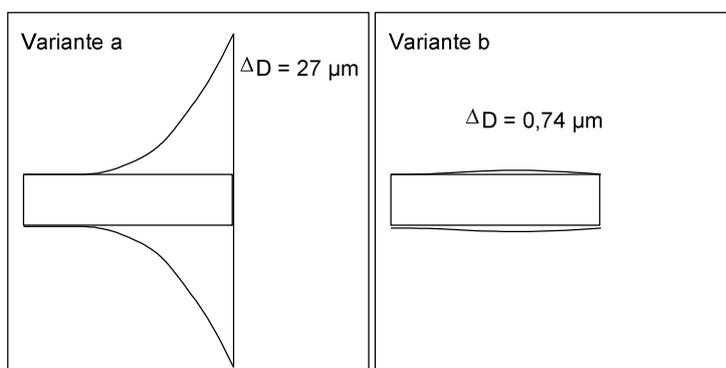


Bild 3.3 Darstellung der Ergebnisse

## 4. Anforderungen an die Hauptbaugruppen - Zusammenstellung der Abhängigkeiten

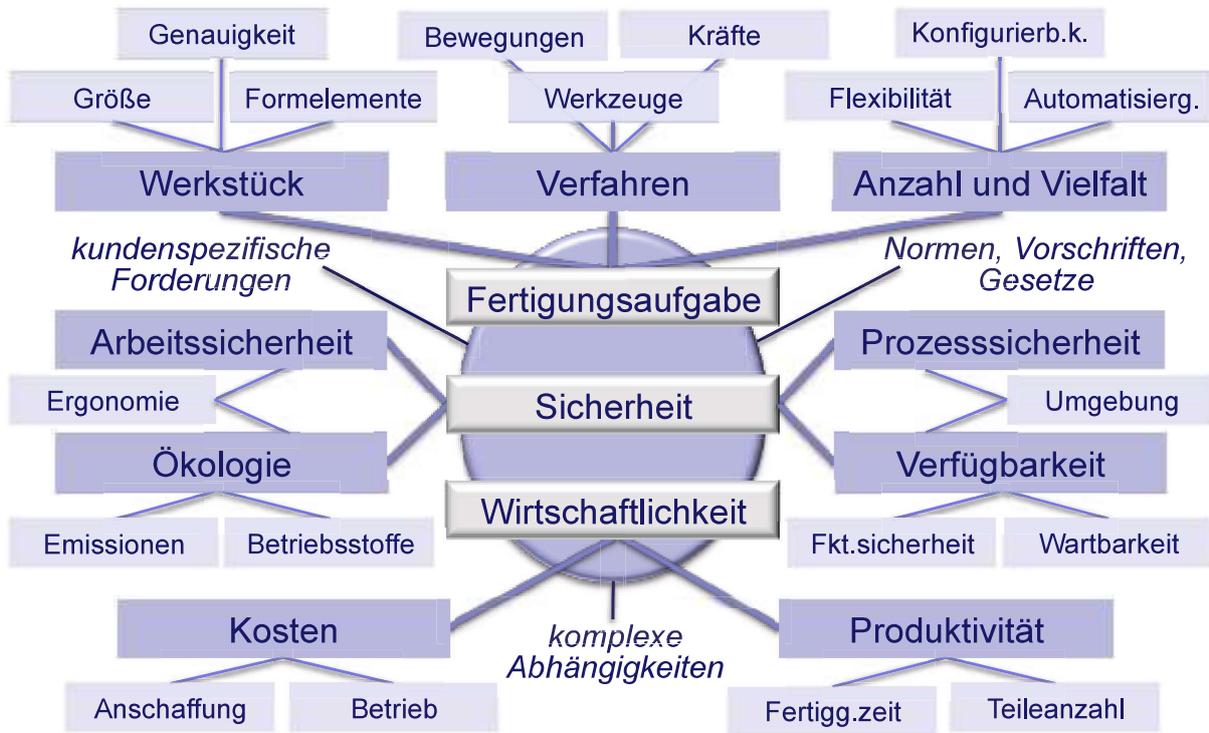


Bild 4.1 Anforderungsaspekte

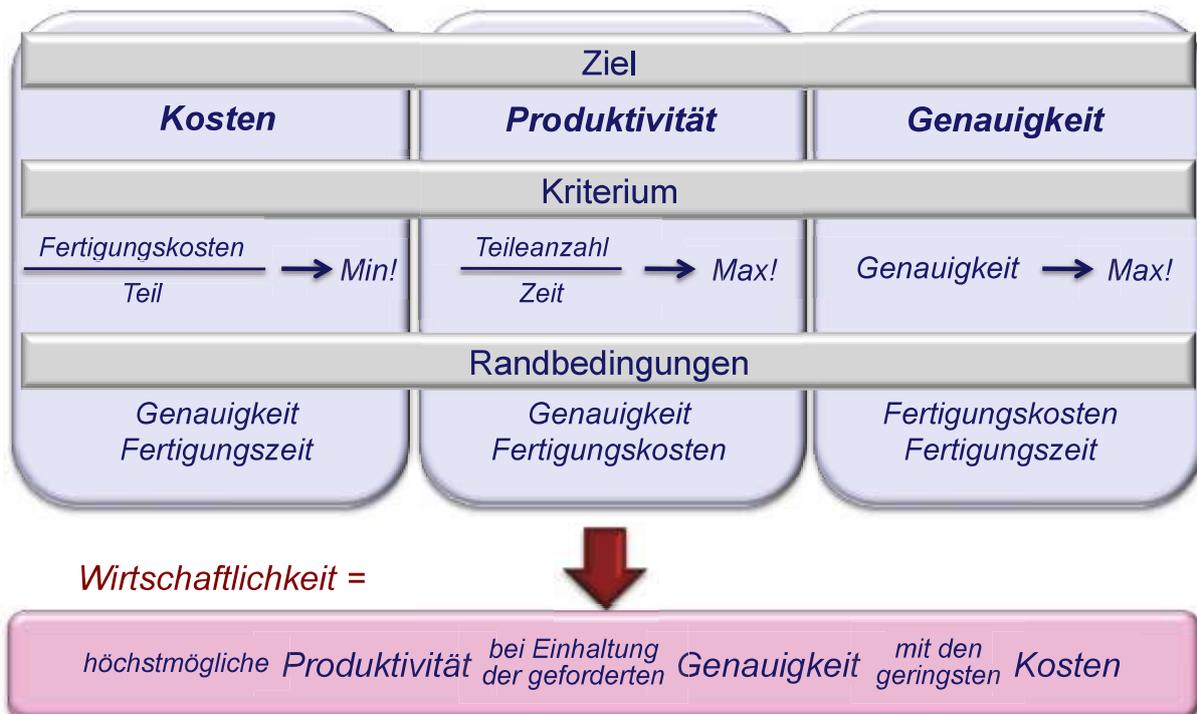


Bild 4.2 Optimierungsziele

## 4.1. Produktivität und Genauigkeit

Produktivität kann wie folgt definiert werden:

**Produktivität** ist eine volkswirtschaftliche Kennzahl für **Leistungsfähigkeit**. Sie bezeichnet das Verhältnis zwischen produzierten Gütern und den dafür benötigten Produktionsfaktoren [1].

Die Bildungsvorschrift und die Aussagefähigkeit von **Produktionskennzahlen** sind abhängig von den jeweils zugrundegelegten Zusammenhängen. Mögliche **Bezugsgrundlagen** können sein: Auftrag, Maschine, Teil, Prozess, Operation,...

z.B. Produktivität gemessen an der Mengenleistung:

$$\text{Produktivität} = \text{Teilanzahl} / \text{Zeit}$$

Eine hohe **Produktivität** bedeutet **nicht** zugleich auch **Wirtschaftlichkeit**, da dies die Berücksichtigung der Kosten erforderlich macht!

$$\begin{aligned} \text{z.B.:} \quad \text{Wirtschaftlichkeit} &= \text{Output} / \text{Input} \\ &= \text{Mengenleistung} / \text{Kosten} \\ &= \text{Produktivität} / \text{Kosten} \end{aligned}$$

Entscheidend für die Aussagefähigkeit der Kennzahlen für Produktivität und Wirtschaftlichkeit sowie deren Beeinflussung sind die Bemessungsgrundlagen für **Zeit** und **Kosten**.

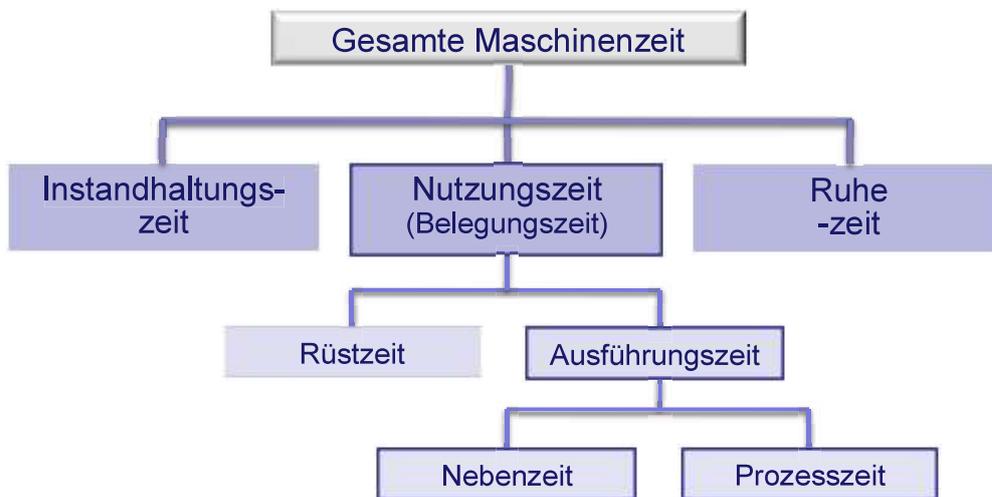


Bild 4.3 Produktivität und Zeit

Bild 4.3 zeigt den Zusammenhang von Produktivität und Zeit. Wird ein Fertigungsauftrag als Bezugsgrundlage angesehen folgt

$$\text{Produktivität} = \text{gefertigte Teileanzahl} / \text{Belegungszeit}$$

Dient die Zerspanungsoperation als Bezugsgrundlage folgt

$$\text{Produktivität} = \text{Zerspanungsvolumen} / \text{Prozesszeit} \text{ bzw.}$$

$$\text{Produktivität} = \text{Zeitspannvolumen}$$

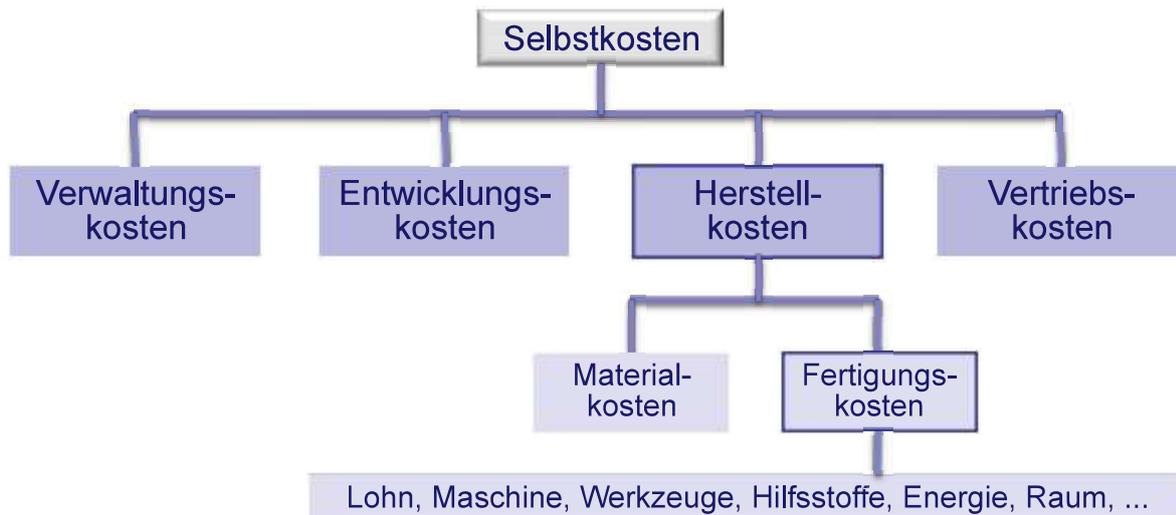


Bild 4.4 Produktivität und Kosten

Für den in Bild 4.4 dargestellten Zusammenhang von Produktivität und Kosten sind Auftrag, Maschine, Teil, Prozess und Operation mögliche Bezugsgrundlagen. Zum Beispiel bezogen auf einen Fertigungsauftrag folgt

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \text{Produktivität} / \text{Fertigungs} \quad \text{oder}$$

$$\text{Produktivität} = \text{gefertigte Teileanzahl} / (\text{Belegungszeit} * \text{Fertigungskosten}).$$

In Bild 4.5 bis Bild 4.10 sind weitere Zusammenhänge zwischen Produktivität und Fertigungsgrößen gezeigt

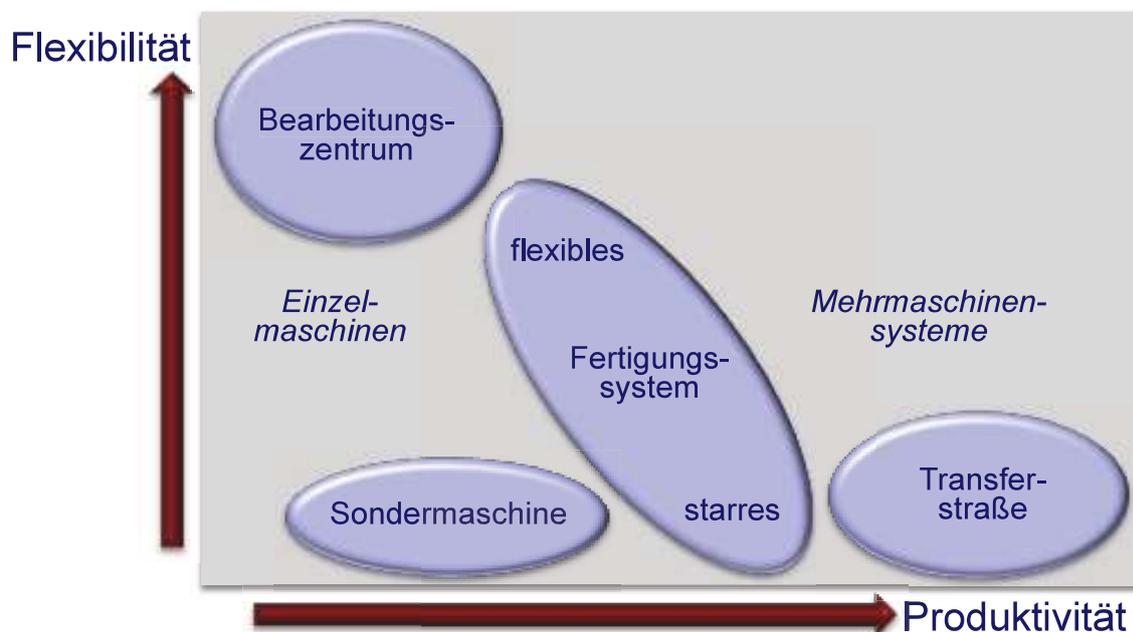


Bild 4.5 Produktivität und Flexibilität

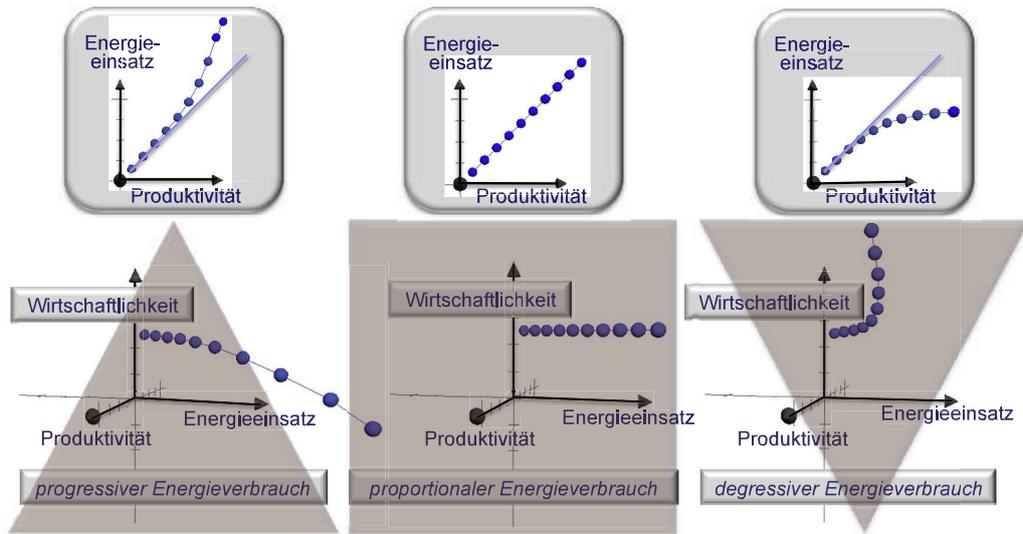


Bild 4.6 Produktivität und Energieeinsatz

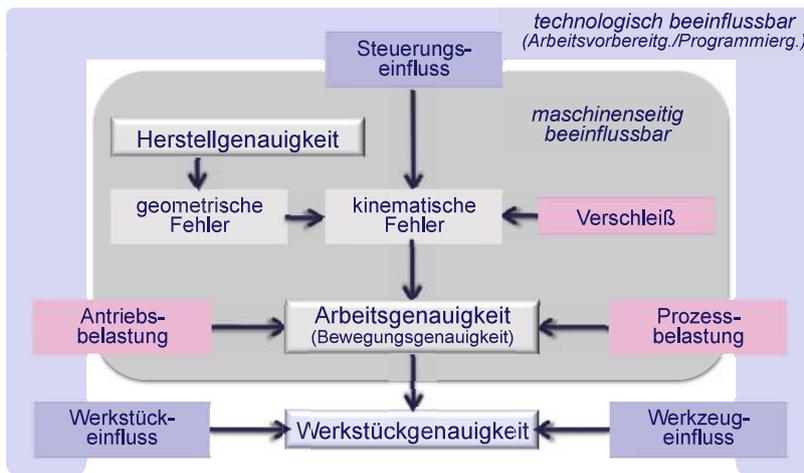


Bild 4.7 Produktivität und Genauigkeit

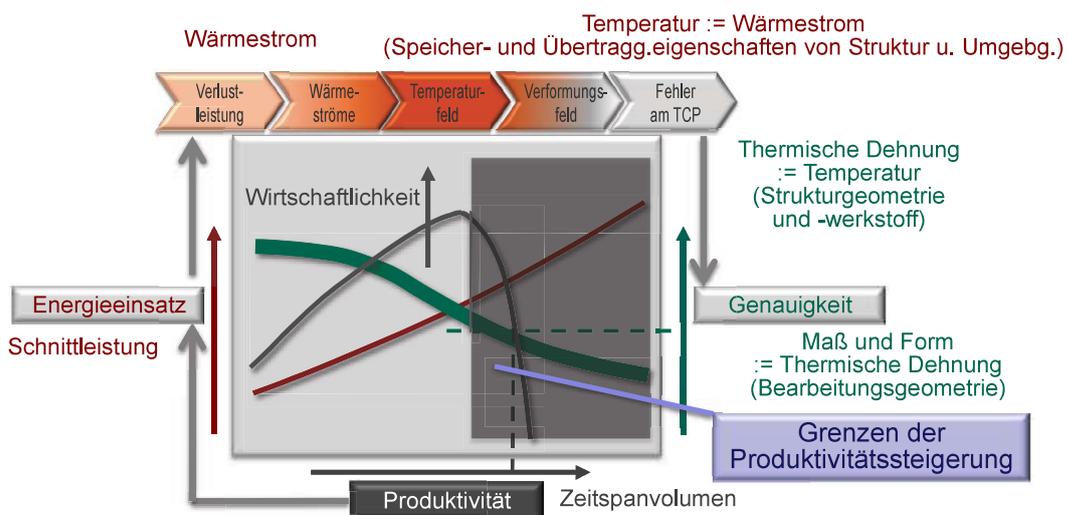


Bild 4.8 Produktivität, Energieeinsatz und Genauigkeit – Beispiel Thermik: Grenzen der Produktivitätssteigerung

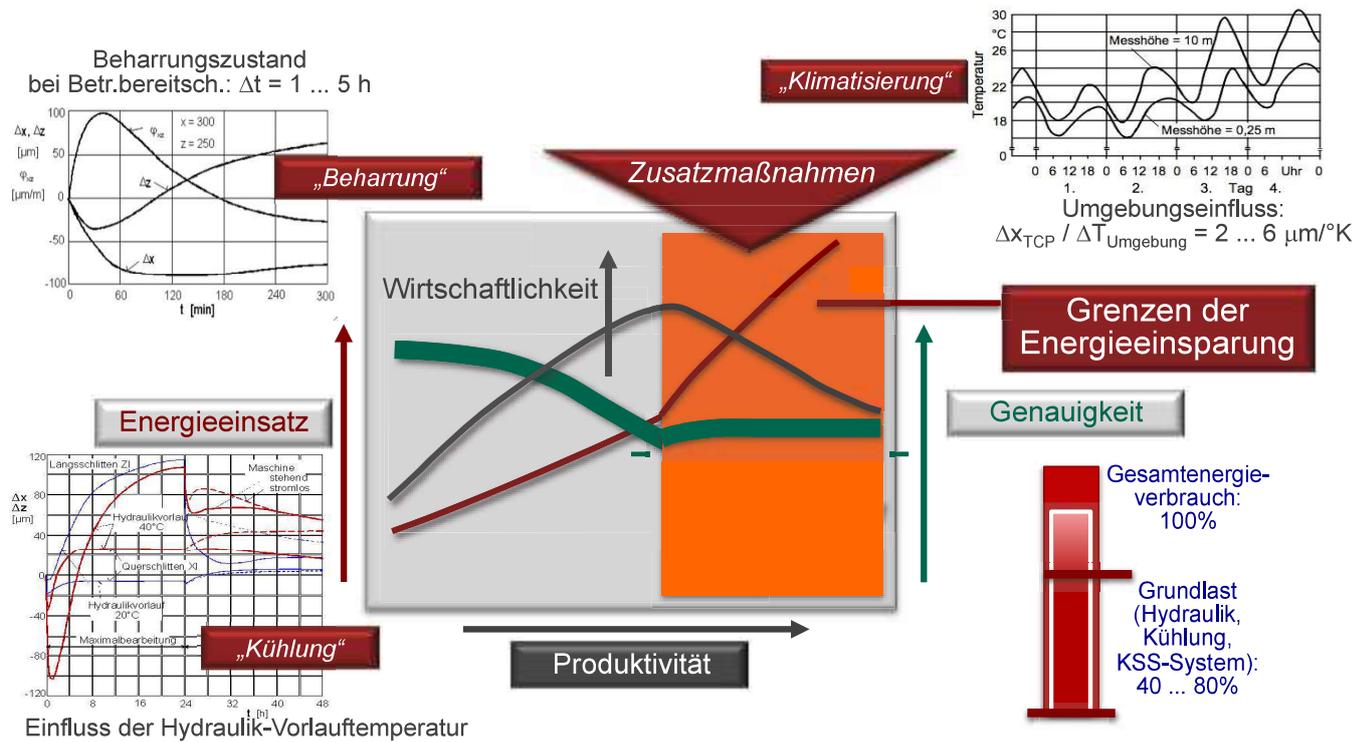


Bild 4.9 Produktivität, Energieeinsatz und Genauigkeit – Beispiel Thermik: Grenzen der Energieeinsparung

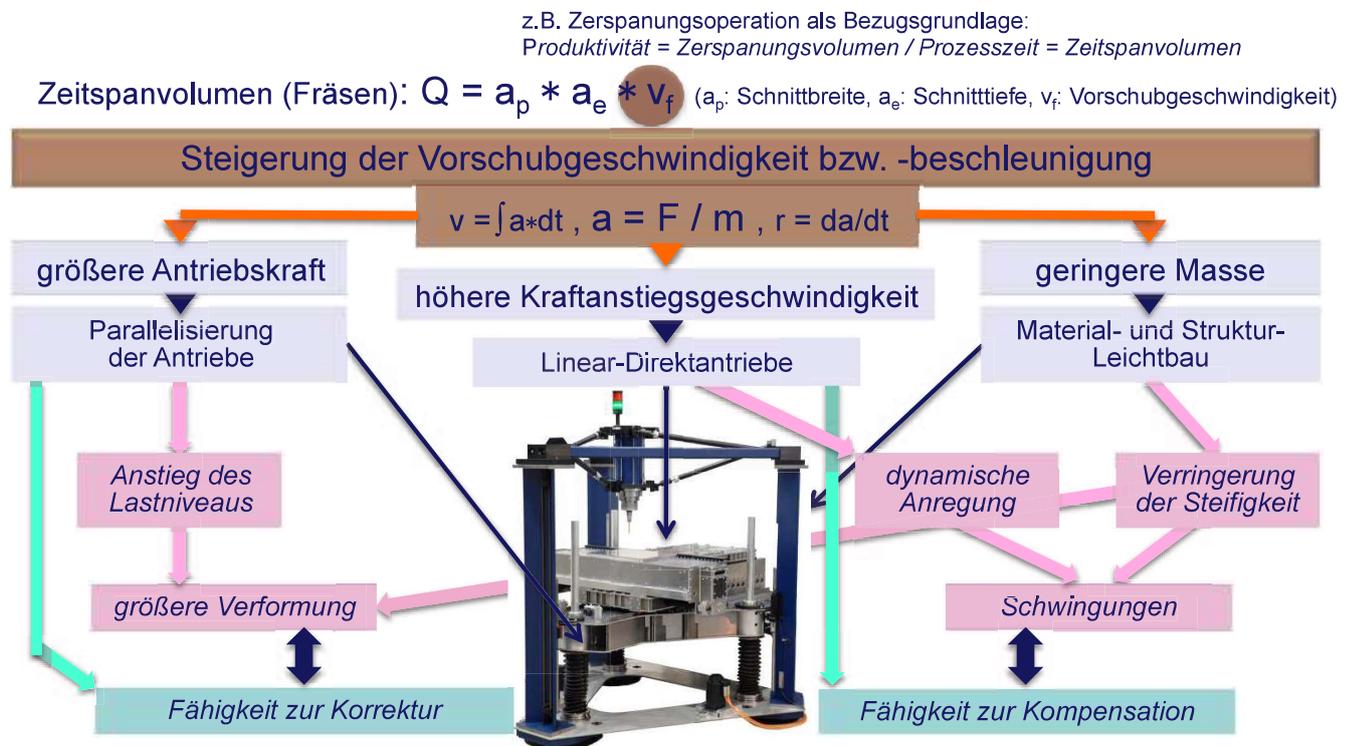


Bild 4.10 Produktivität, Energieeinsatz und Genauigkeit – Beispiel Dynamik

## 4.2. Konsequenzen für die Hauptkomponenten spanender Werkzeugmaschinen

In diesem Kapitel werden die sich ergebenden Konsequenzen aus der Steigerung der Produktivität auf die Hauptbaugruppen von Werkzeugmaschinen gezeigt.

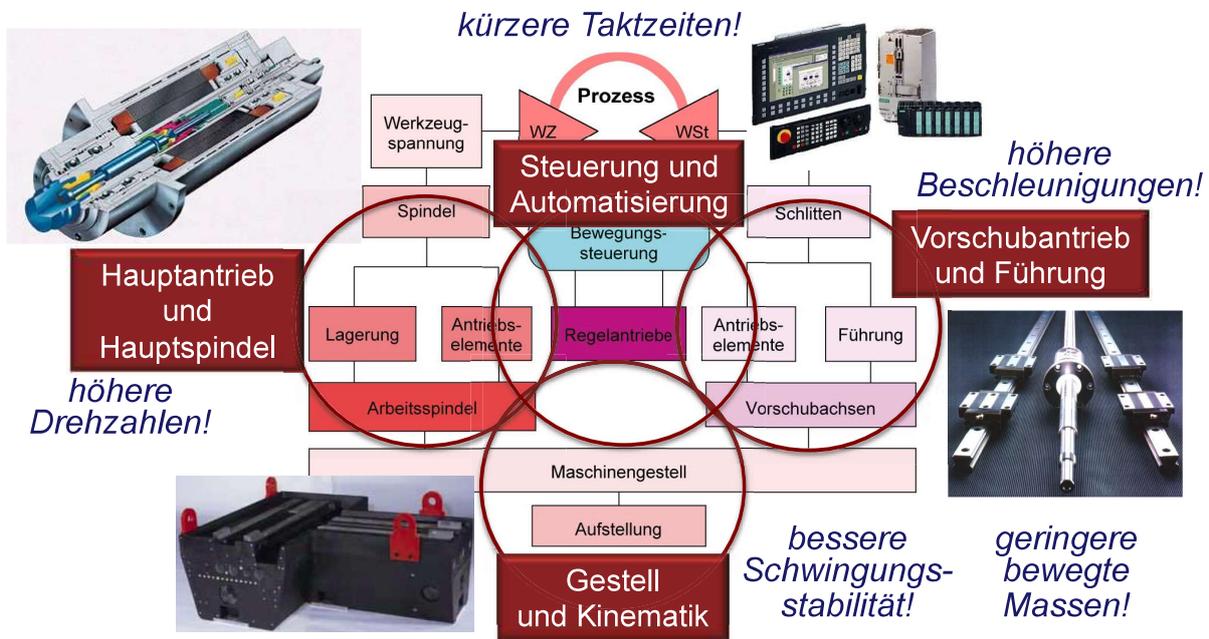


Bild 4.11 Schwerpunktforderungen an die Hauptbaugruppen

höhere Schnittgeschwindigkeiten → höhere Drehzahlen der Hauptspindel!

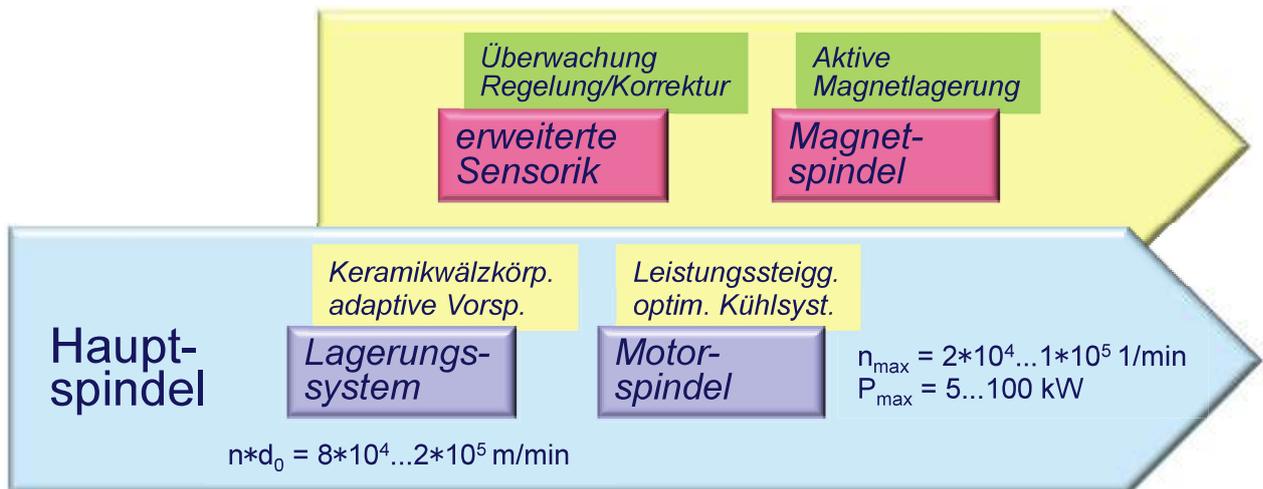


Bild 4.12 Konsequenzen für Hauptantrieb und Hauptspindel – Innovationen

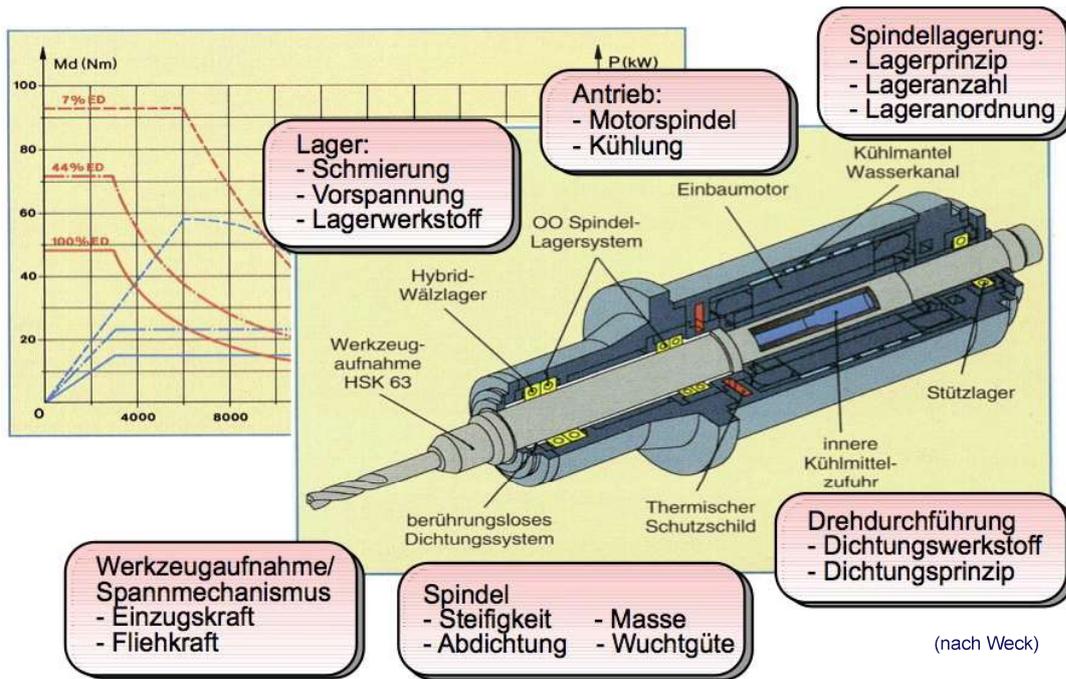


Bild 4.13 Konsequenzen für Hauptantrieb und Hauptspindel – Motorspindel

höhere Vorschubgeschwindigkeiten → höhere Beschleunigungen der Vorschubantriebe!

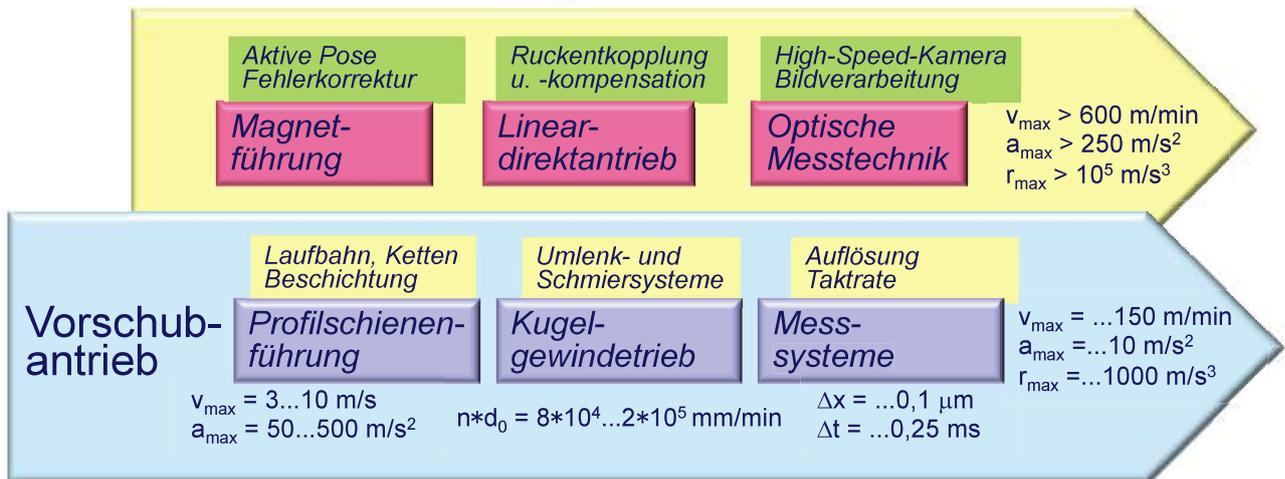


Bild 4.14 Konsequenzen für Vorschubantrieb und Führung – Innovationen

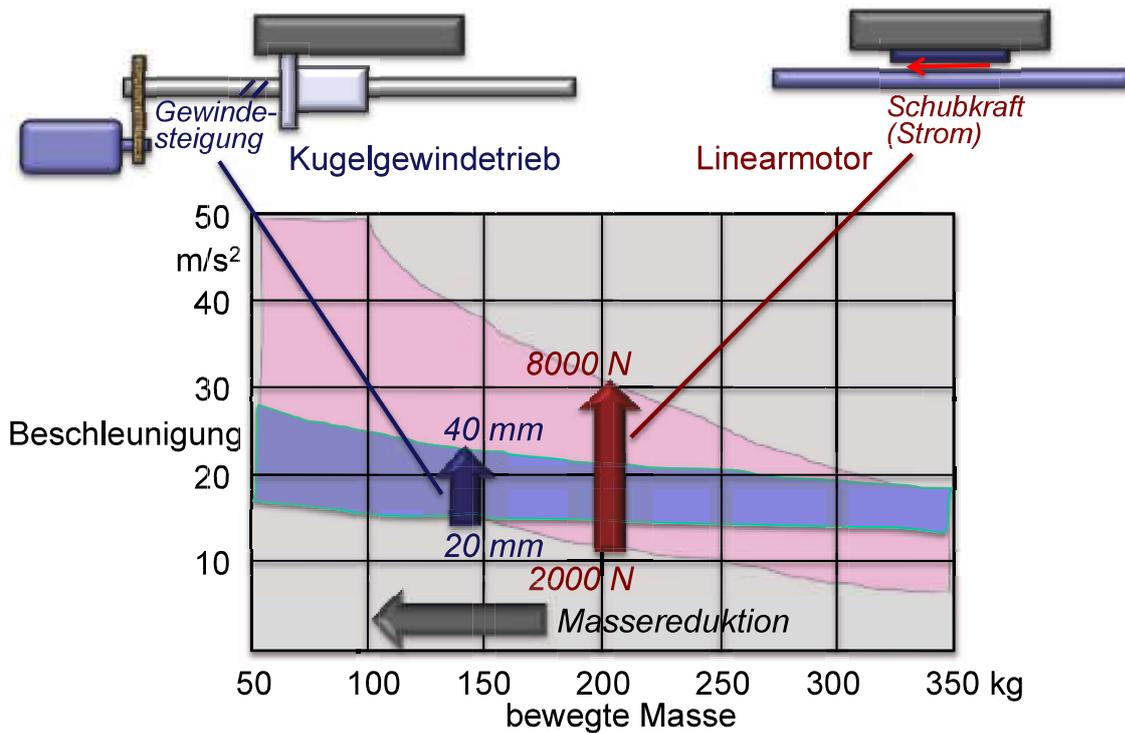


Bild 4.15 Konsequenzen für Vorschubantrieb und Führung – Linearmotor

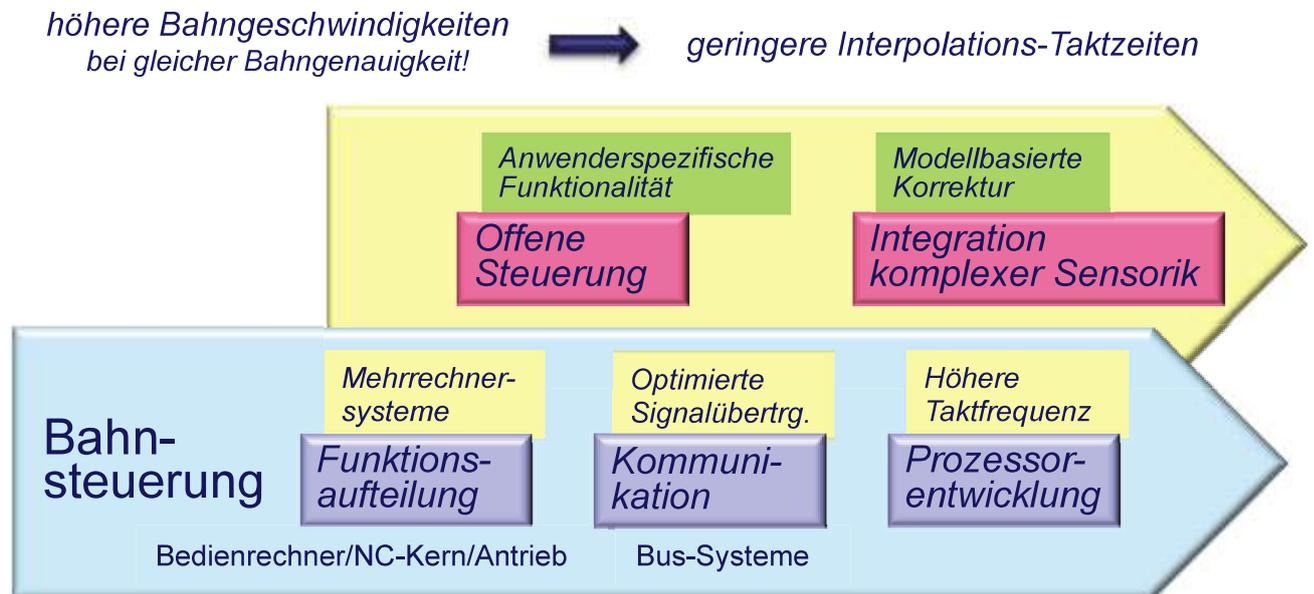


Bild 4.16 Konsequenzen für Steuerung und Automatisierung – Innovationen

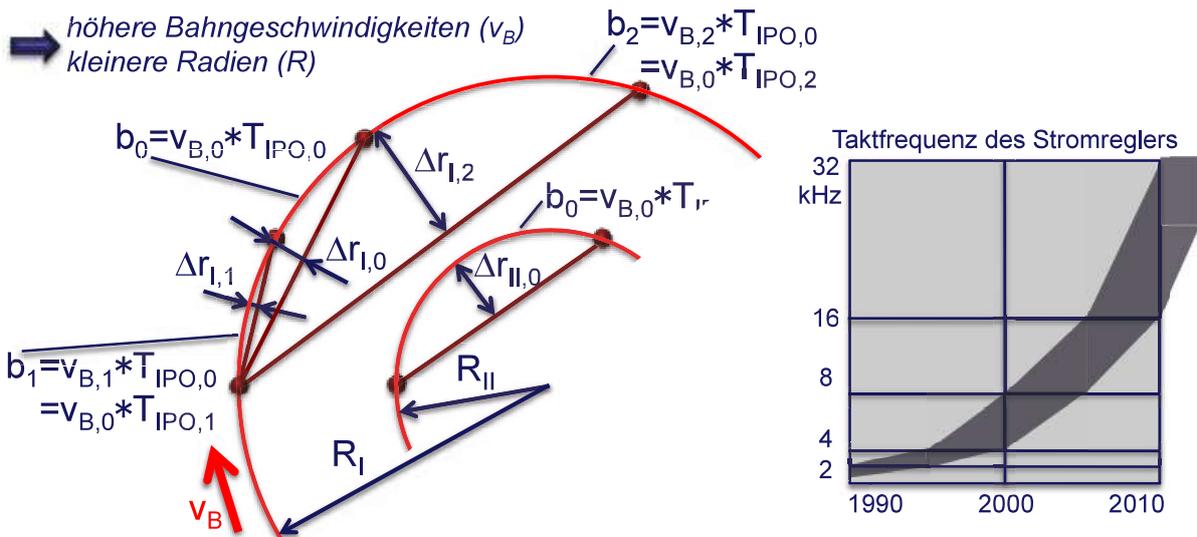


Bild 4.17 Konsequenzen für Steuerung und Automatisierung – Taktfrequenz

In Bild 4.17 gelten folgende Beziehungen:

$$v_{B,1} = 0,5 * v_{B,0} \quad T_{IPO,1} = 0,5 * T_{IPO,0}$$

$$v_{B,2} = 2 * v_{B,0} \quad T_{IPO,2} = 2 * T_{IPO,0}$$

- Interpolationstakt:  $T_{IPO}$  (1 ms ... 0,125 ms)  
 Lageregeltakt:  $T_{LR}$  (0,5 ms ... 0,0625 ms)  
 Stromregeltakt:  $T_{Str}$  (0,125 ms ... 0,03125 ms)  
 Damit gilt ca.  $T_{IPO} \geq T_{LR} \geq 2 * T_{Str}$

höhere Beschleunigungsfähigkeit  
bei gleicher Oberflächenqualität!



geringere bewegte Massen  
bessere Schwingungsstabilität

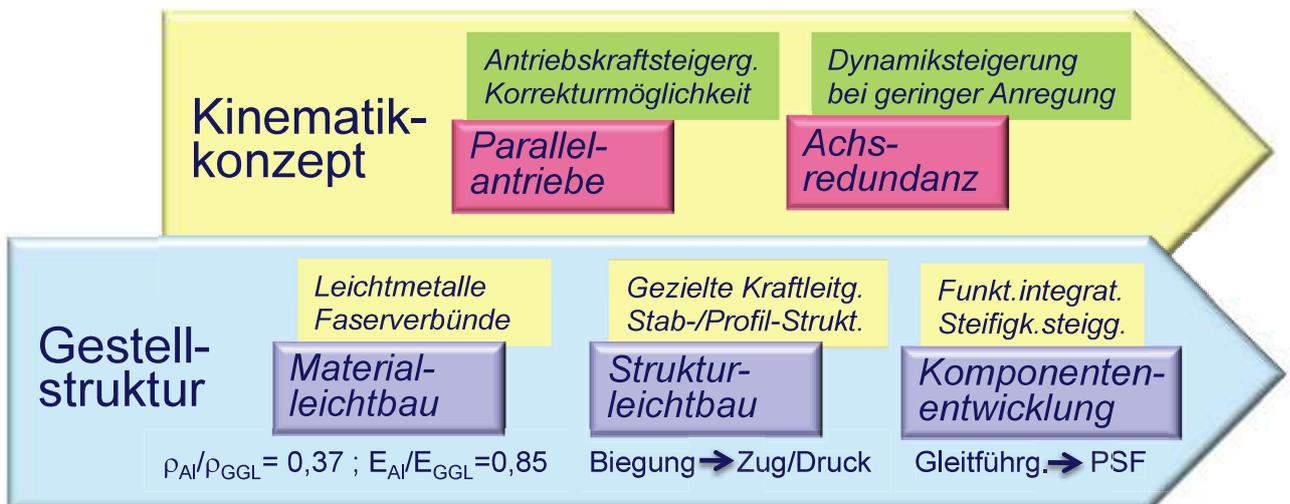


Bild 4.18 Konsequenzen für Gestell und Kinematik – Innovationen

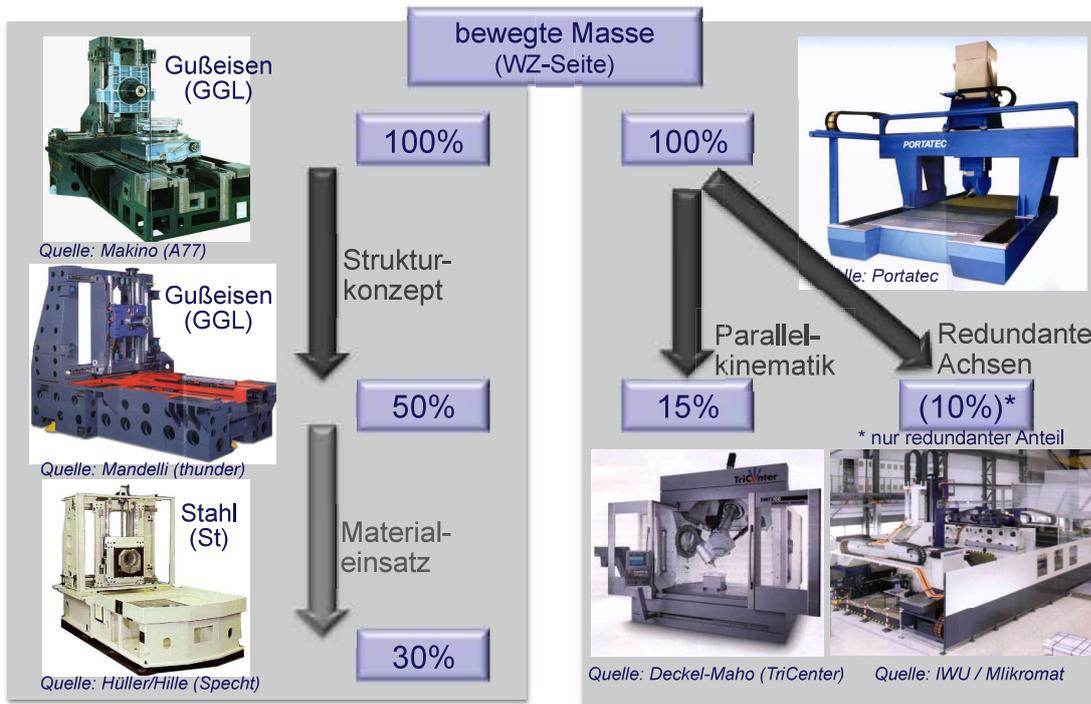


Bild 4.19 Konsequenzen für Gestell und Kinematik – Leichtbau