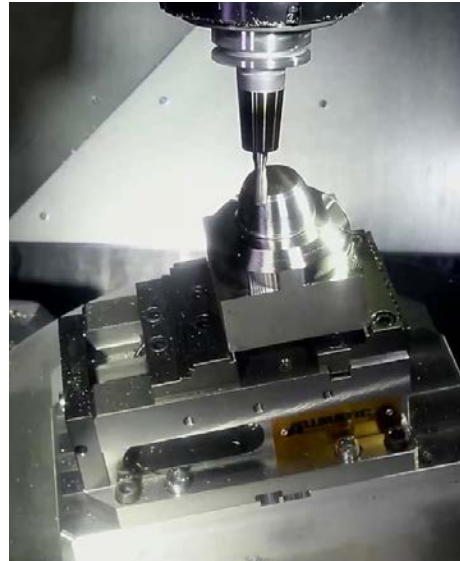


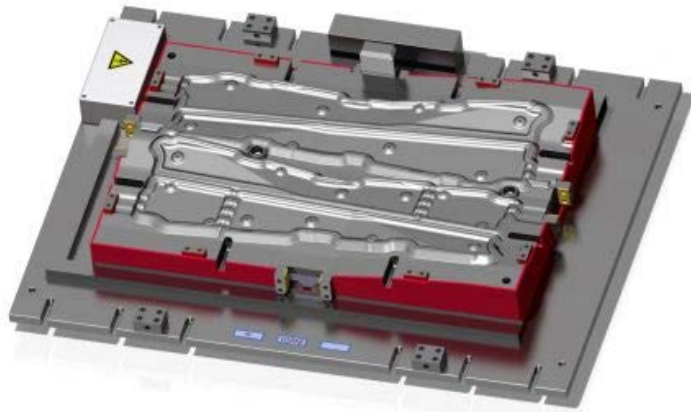
„Breitschlichtfräser für die Feinschlichtarbeit an Formwerkzeugen“



Gliederung

- Einleitung
- Werkstücke & Anforderungen
- bisherige Vorgehensweise
- neue Vorgehensweise
- Fertigungsmittel
- wirtschaftliche Analyse
- Zusammenfassung

Gliederung



Heißprägewerkzeug

- Einleitung
- Werkstücke & Anforderungen
- bisherige Vorgehensweise
- neue Vorgehensweise
- Fertigungsmittel
- wirtschaftliche Analyse
- Zusammenfassung

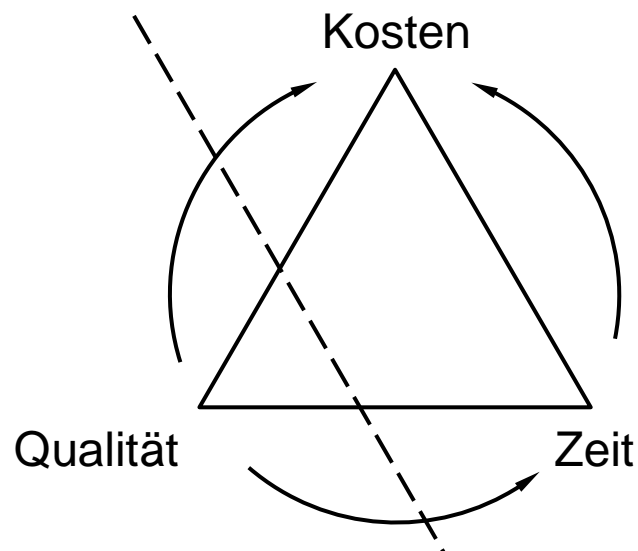
Bildquelle: Dornbusch GmbH, Hennef

Werkstückspektrum



- Werkstücke des Werkzeug & Formenbaus
- Bearbeitung aus dem Gußstück
- kennzeichnende Oberfläche: Freiformfläche
- Betrachtungsgegenstand: Schichtarbeiten
- lange Bearbeitungsdauer
- Anforderungen:
- hohe Oberflächengüte
- zügige Herstellung

Verfahrensverbesserungen: Leistungsbetrachtung



-> Qualität kostet Zeit und Kapital

Um die letzten 5% zum Optimum zu erreichen, sind hohe Anstrengungen nötig.

Es geht darum, daß entweder die Qualität in höherem Maße steigt als der Zeit- und Kapitalaufwand, oder bei gleicher Qualität der Zeit- und Kapitalaufwand verringert werden kann!

-> Ansatzpunkte sind die Größen die noch nicht oder nur in geringem Maße verbessert sind, denn in diesen Größen liegt das größte Potential!

- Für die Schnittleistung gilt:

$$P_c = z \cdot k_c \cdot A \cdot v_c = k_c \cdot a_p \cdot a_e \cdot v_f$$

- die spez. Schnittkraft kann bei Schlichtarbeiten vernachlässigt werden
- die axiale Schnitttiefe wird durch das Vorschlichten festgelegt
- die v_f hängt vom f_z und von der v_c bzw. vom Schneidstoff bzw. Standzeit ab
- Als Gestaltungsgröße kann die radiale Schnitttiefe identifiziert werden. Es gilt:

$$a_e = B_r \cdot \cos \Delta \kappa$$

- -> Analyse der Rillenbreite B_r des Oberflächenprofils ist notwendig

Gliederung



Blasformen

- Einleitung
- Werkstücke & Anforderungen
- bisherige Vorgehensweise
- neue Vorgehensweise
- Fertigungsmittel
- wirtschaftliche Analyse
- Zusammenfassung

Bildquelle: Dornbusch GmbH, Hennef

Schlichtarbeit - Feinfertigschichten

Schruppen
 Aufmaß ca. 10-12 mm
 stirnseitige Zustellung a = ca. 10 mm
 Zeilenabstand b = 8-10 mm

Kugelfräser (z.B. D = 40 mm) oder
 Torusfräser (z.B. D = 50 mm, Eckenradius R8)

gegossen Zielkontur

Schruppkontur (Aufmaß 1 mm)

Vorschlichten
 Aufmaß ca. 0,1 mm
 stirnseitige Zustellung ca. 1 mm
 Zeilenabstand b = 1-1,2 mm

Kugelfräser (z.B. D = 20 mm)

Feinfertigschichten
 Aufmaß 0 mm
 stirnseitige Zustellung ca. 0,1 mm
 Zeilenabstand b = 0,3-0,4 mm

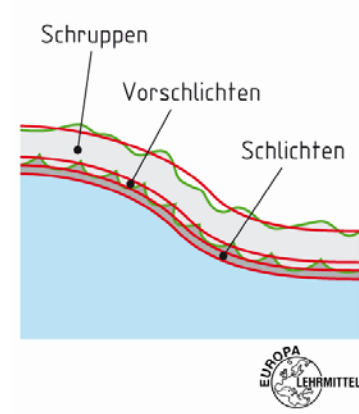
Kugelfräser (z.B. D = 20 mm)

theoretische Rautiefe: $R_{\text{th}} = \frac{d}{2} \cdot \sqrt{\frac{d^2 - b^2}{4}} = \frac{20}{2} \cdot \sqrt{\frac{20^2 - 0,4^2}{4}} = 0,002 \text{ mm} = 2 \mu\text{m}$

Verschleifen und ggf. Polieren

Abziehstein (z.B. 180er Körnung)

Quelle:
 Birkert, Haage Straub:
 Umformtechnische Herstellung komplexer Karosserieteile. Springer-Verlag, 2013



übliche Größen:

Rillenbreite B_r : 1,0 ÷ 1,2 mm
 Oberflächenrauwert R_t : 18,0 ÷ 12,5 μm

Werkstoffaufmaß: 0
 axiale Schnitttiefe a_p : 0,1 mm
 Eckenradius r_ϵ : 10 mm
 Rillenbreite B_r : 0,3 ÷ 0,4 mm
 Oberflächenrauwert R_t : 2 μm

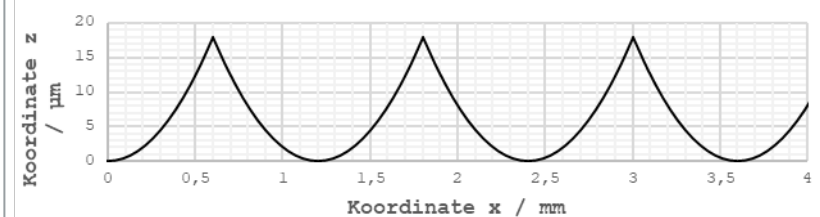
- Fertigungsschritte:

- I. Schrupparbeit
- II. Schlichtarbeit
 - II.a Vorschlichten
 - II.b Feinschlichten
 - II.c Schleifen / Polieren

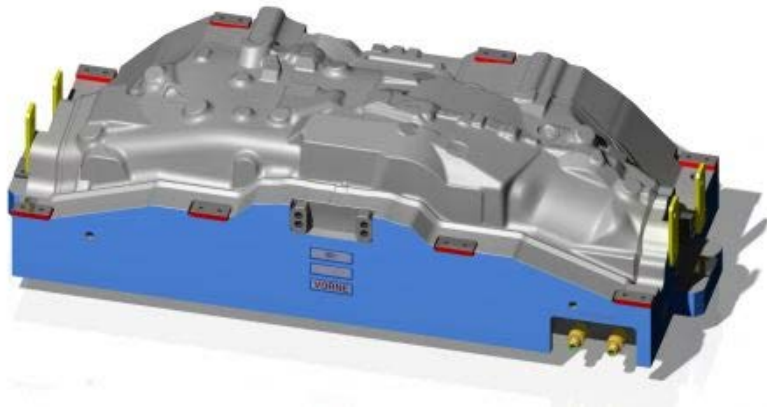
- geometrisch gilt:

$$R_t = r_\epsilon - \sqrt{r_\epsilon^2 - \frac{1}{4} \cdot L_r^2} \approx R_z \quad L_r = 2 \cdot \sqrt{R_t \cdot (2 \cdot r_\epsilon - R_t)}$$

- Ausgangsprofil :



Gliederung

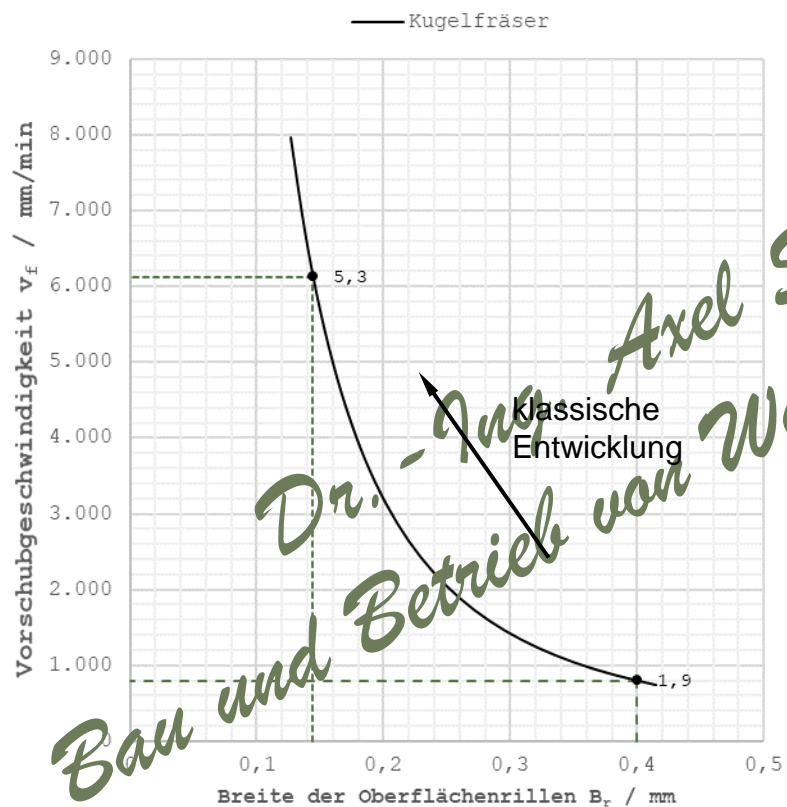


Schäumwerkzeuge

- Einleitung
- Werkstücke & Anforderungen
- **bisherige Vorgehensweise**
- neue Vorgehensweise
- Fertigungsmittel
- wirtschaftliche Analyse
- Zusammenfassung

Bildquelle: Dornbusch GmbH, Hennef

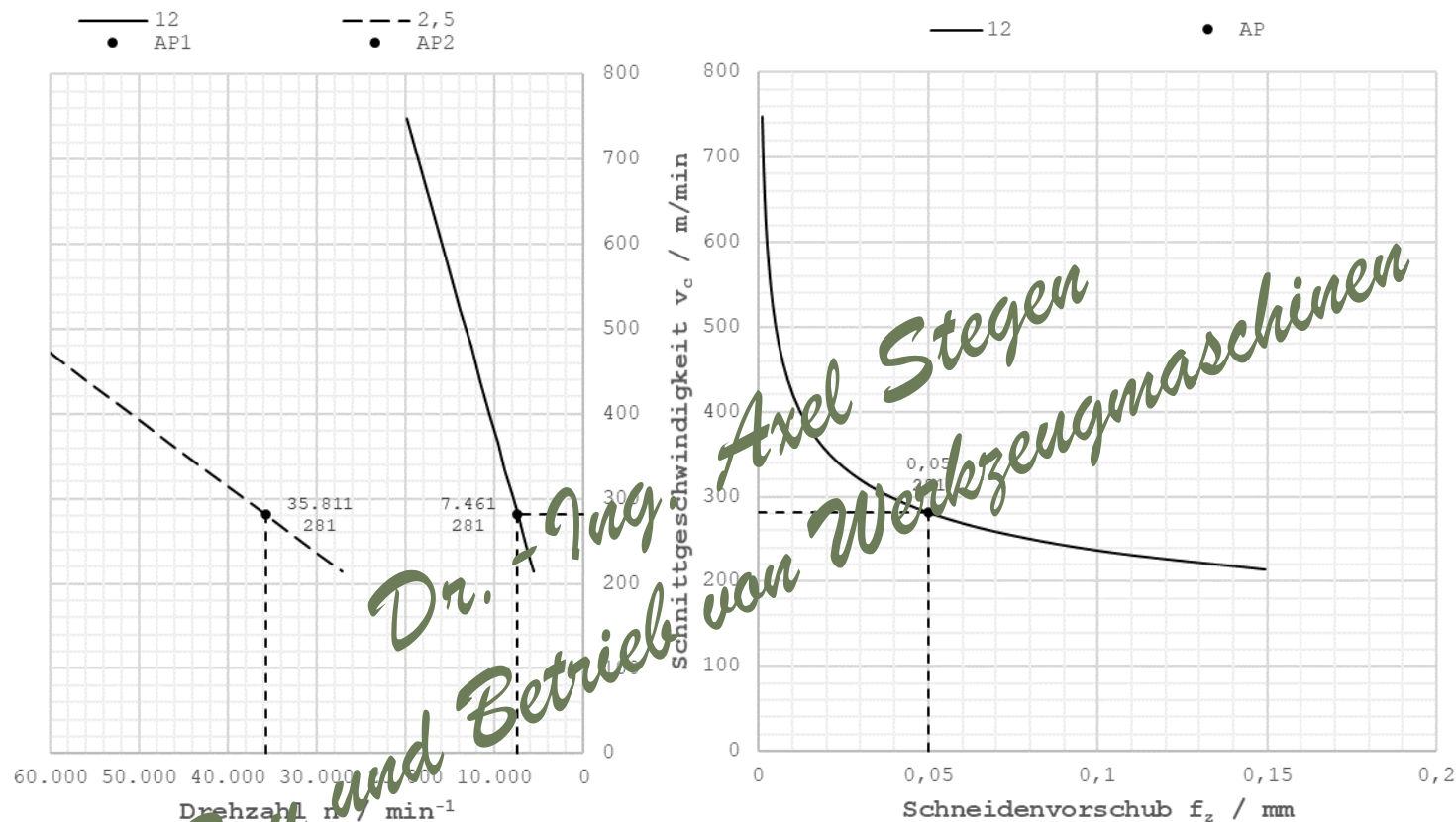
Produktionsdiagramm – Schlichtarbeit



- Verkürzung der Bearbeitungszeit
 - > höhere Vorschubgeschwindigkeit
- technische Grenzen
- häufige Verwechslung:
Hochgeschwindigkeitsbearbeitung und
Bearbeitung mit hohen Drehzahlen
bzw. mit hoher Vorschubgeschwindigkeit
- Entscheidend ist der verwirklichte
Flächendurchsatz!

$$Q_A = B_r \cdot v_f = B_r \cdot z \cdot f_z \cdot n$$

Produktionsdiagramm – Schrupparbeit



Wenn sich nur der Durchmesser ändert, aber die Schnittgeschwindigkeit gleich bleibt, liegt keine Hochgeschwindigkeitsbearbeitung vor!

- Schneidenvorschub sei gegeben
- Standzeit bestimmt die Schnittgeschwindigkeit
- gerade bei der Schlichtbearbeitung kommt es darauf an, möglichst wenige Werkzeugwechsel durchzuführen, um die Oberflächengüte nicht zu gefährden!
- bei gleicher Schnittgeschwindigkeit aber verschiedenen Durchmessern lassen sich die typischen Drehzahlen der sog. HSC-Maschinen auffinden

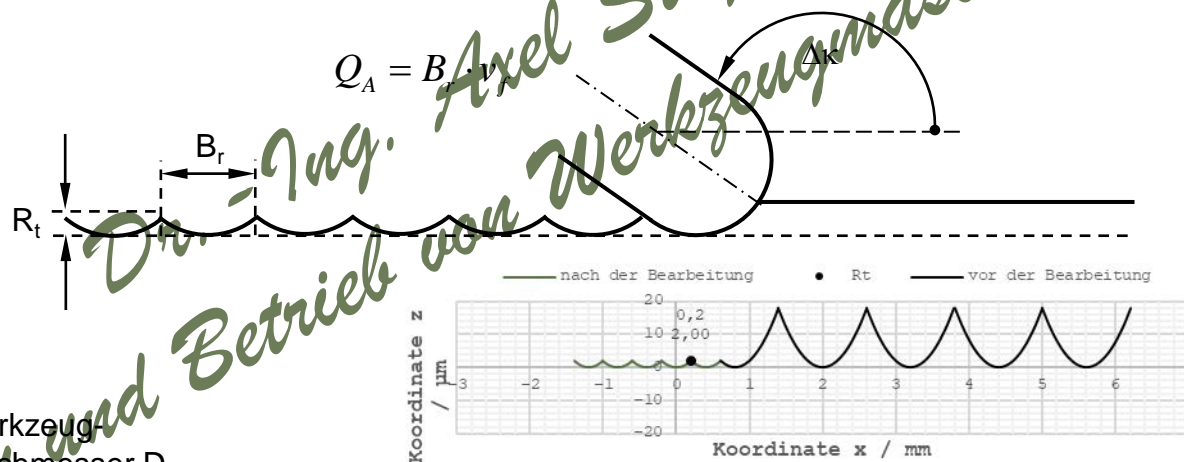
Werkzeugauswahl



Prof. Dr.-Ing.
Georg Schlesinger
T.H. Berlin

„Auf der der Schneide des Stahles sitzen die Dividenden, die Schnelligkeit dieser Schneiden ist aber eine Funktion der sie bewegenden Maschine, und bei den steigenden Arbeitslöhnen ist daher die Bearbeitungsmaschine Trumpf.“

Quelle: Z.VDI Bd. 55 Nr. 49 S.2042, 1911



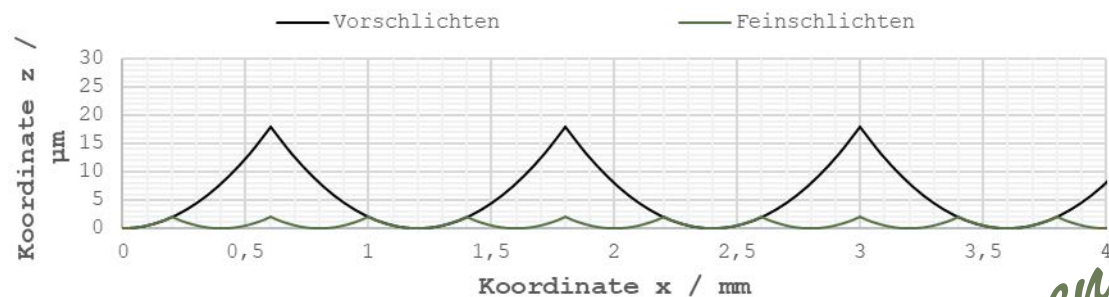
$$r_\epsilon = \frac{1}{2} \cdot D_{WZ}$$

Radiusgenauigkeit: $\pm 5 \mu\text{m}$
Kosten: ca. 110,-

- klassisches Werkzeug:
Kugelfräser bzw. Vollradiusfräser
- häufig wird der Eckenradius durch beengte Verhältnisse am Werkstück eingeschränkt
- geringer Abstand der Bearbeitungsspuren
- enormer Zeitaufwand für die Herstellung

* This release is for the stated purpose only. Disclosure to third parties is permissible only with the written agreement of Hoffmann SE. Please acknowledgement the source as: © Hoffmann SE, 2021

Berechnete Oberflächenprofile – Zerspanung mit klassischem Kugelfräser

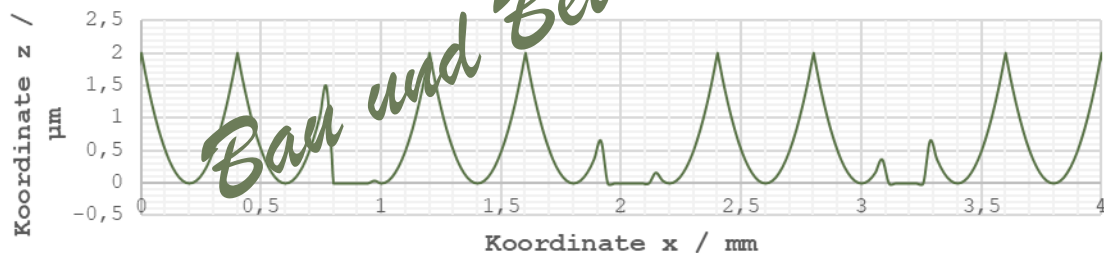


vorgeschlichtetes
Oberflächenprofil

feingeschlichtetes
Oberflächenprofil



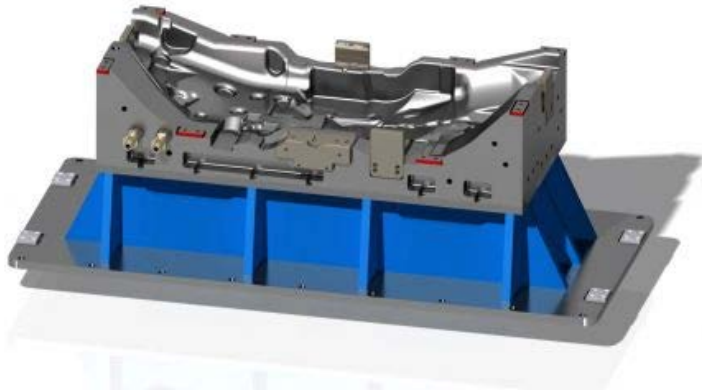
nicht gefundene
Vorschlichtrille



Ergebnis einer nicht
gefundenen Vorschlichtrille

- Wenn die Breite der Rillen der Profile ganzzahlige Vielfache voneinander sind, liegen gute Verhältnisse vor.
- Problem: Schnittbeginn des Feinschlichtens
- Wenn die Vorschlichtrille nicht gefunden wird, folgt:

Gliederung

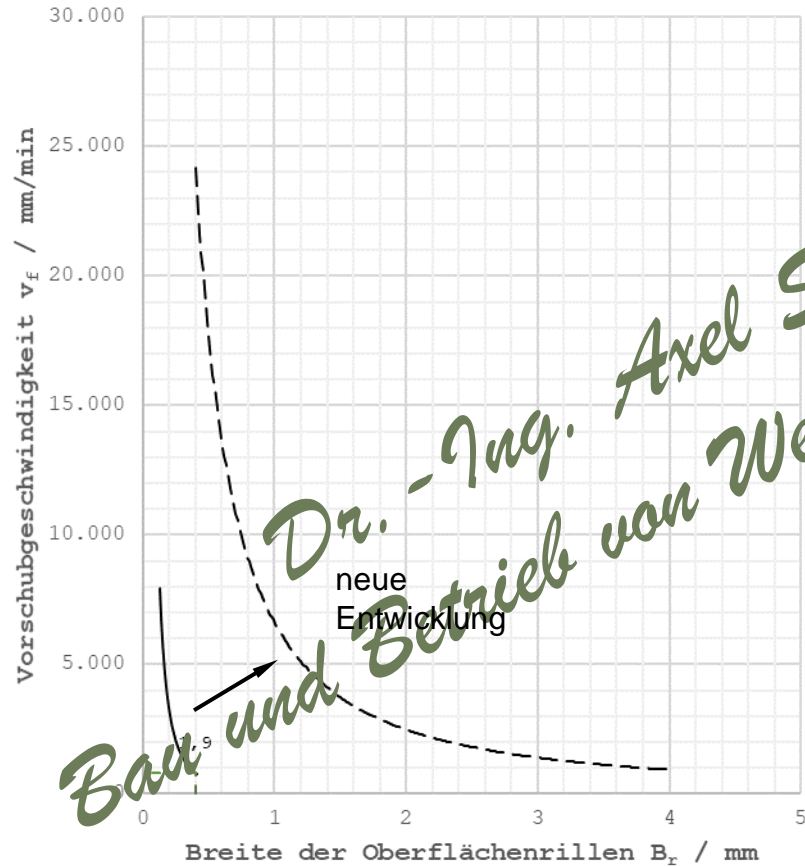


Reaktion-Spritzgußwerkzeuge
engl. Reaction-Injektion Moulding (RIM)

- Einleitung
- Werkstücke & Anforderungen
- bisherige Vorgehensweise
- neue Vorgehensweise
- Fertigungsmittel
- wirtschaftliche Analyse
- Zusammenfassung

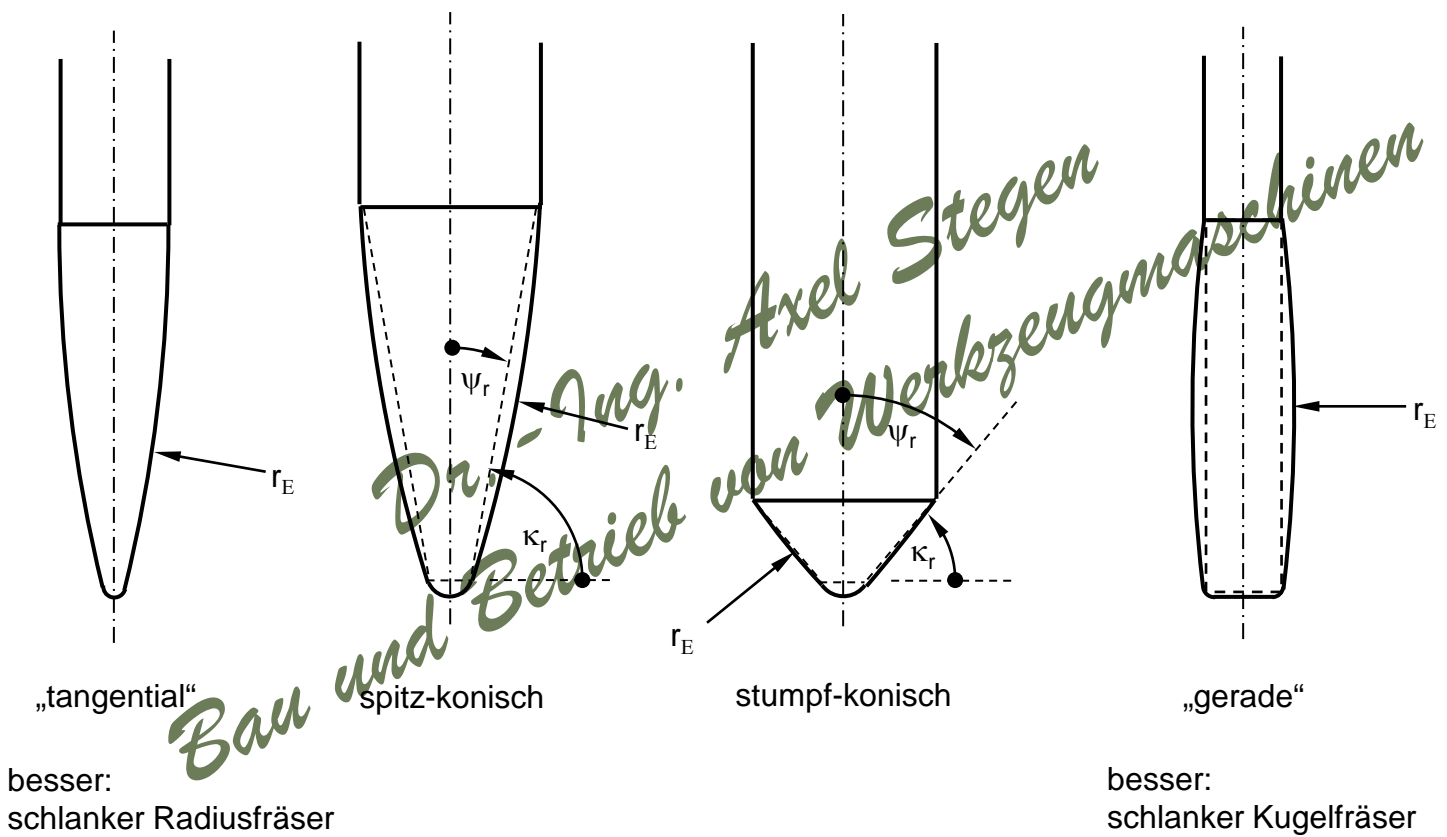
Bildquelle: Dornbusch GmbH, Hennef

Produktionsdiagramm – Schlichtarbeit



- Steigerung des Flächendurchsatzes
- Steigerung der radiale Zustellung
- Vorschubgeschwindigkeit muß nicht mehr oder nicht mehr so stark steigen
- Entkoppelung von Eckenradius und Werkzeugdurchmesser ist notwendig
- Ergebnis: Breitschlichtfräser

Werkzeug: Breitschlichtfräser – verfügbare Varianten



- Mantelflächen zylindrischer Werkzeuge lassen sich konvex wölben

-> Bombierung

- Handelsbezeichnung:

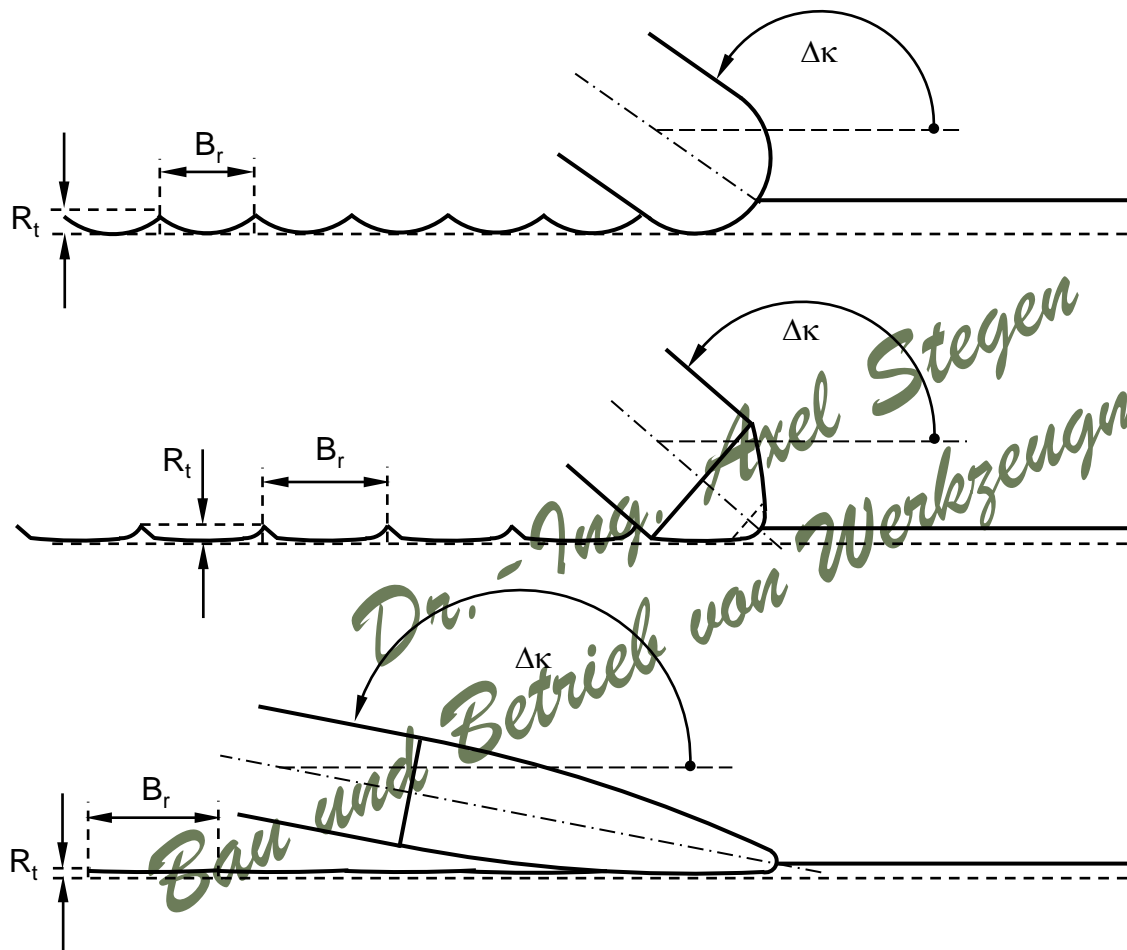
„Parabolic Performance Cutting“

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$$

$$y = -\left(a \cdot x^2 + b \cdot x + c\right) - \frac{1}{d} \cdot y^2$$

- Datenverarbeitung: Kreis wird durch Polynom angenähert (CAD) !

Werkzeug: Breitschlichtfräser – Einsatzorientierung



- Für den Einstelldifferenzwinkel des Kugelfräasers gilt:

$$\cos \Delta\kappa = 1 - \frac{a_p}{r_\varepsilon}$$

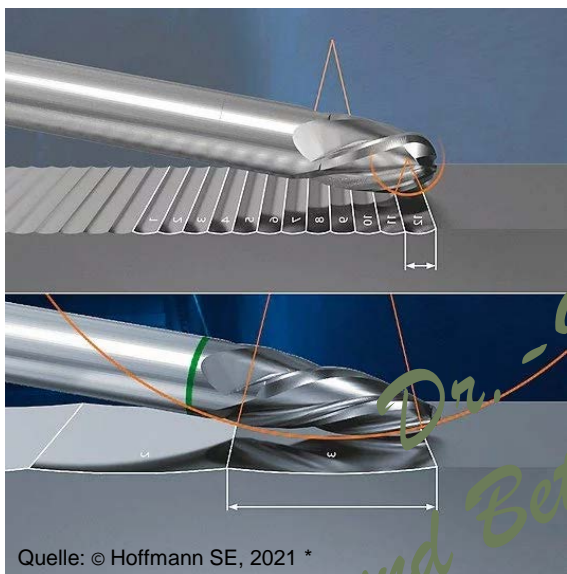
- Für den Einstelldifferenzwinkel des konischen Tonnenfräsers gilt:

$$\Delta\kappa = \kappa_r$$

- Für den Einstelldifferenzwinkel des tangentialen Tonnenfräsers gilt:

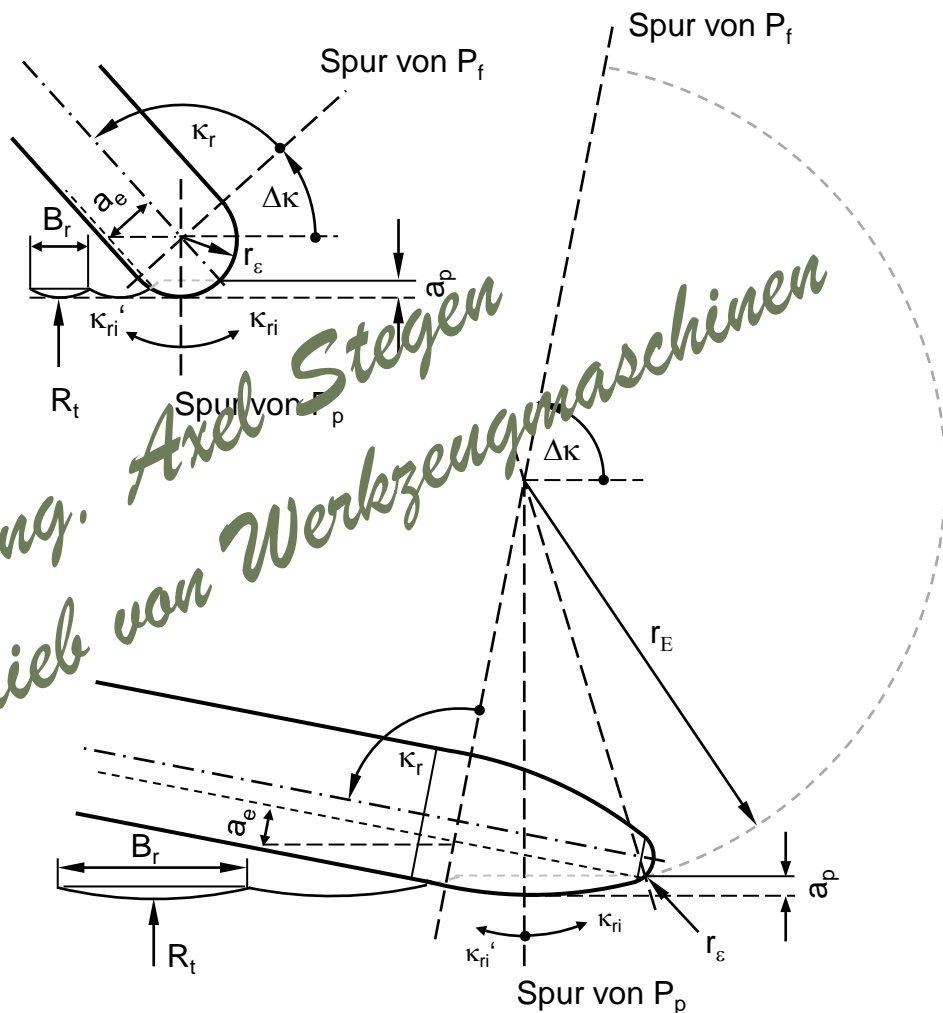
$$\sin \Delta\kappa = 1 - \frac{a_p}{r_E}$$

Werkzeug: Breitschlichtfräser



Quelle: © Hoffmann SE, 2021 *

Radiusgenauigkeit: $\pm 5 \mu\text{m}$
 Kosten: ca. 300,-



- Zeichenebene: Werkzeug-Bezugs-ebene P_r

- verfügbare Mantelradien r_E :

80 ÷ 1.200 mm

$$B_r = 2 \cdot B_r' = 2 \cdot r_\epsilon \cdot \sin \kappa_r' = 2 \cdot \sqrt{R_t \cdot (2 \cdot r_\epsilon - R_t)}$$

$$B_r = 2 \cdot B_r' = 2 \cdot r_E \cdot \sin \kappa_r' = 2 \cdot \sqrt{R_t \cdot (2 \cdot r_E - R_t)}$$

$$\cos \kappa_{ri}' = 1 - \frac{R_t}{r_E} \quad \cos \kappa_r = 1 - \frac{a_p}{r_E}$$

$$a_e = (B_r' + B_r) \cdot \cos \Delta \kappa$$

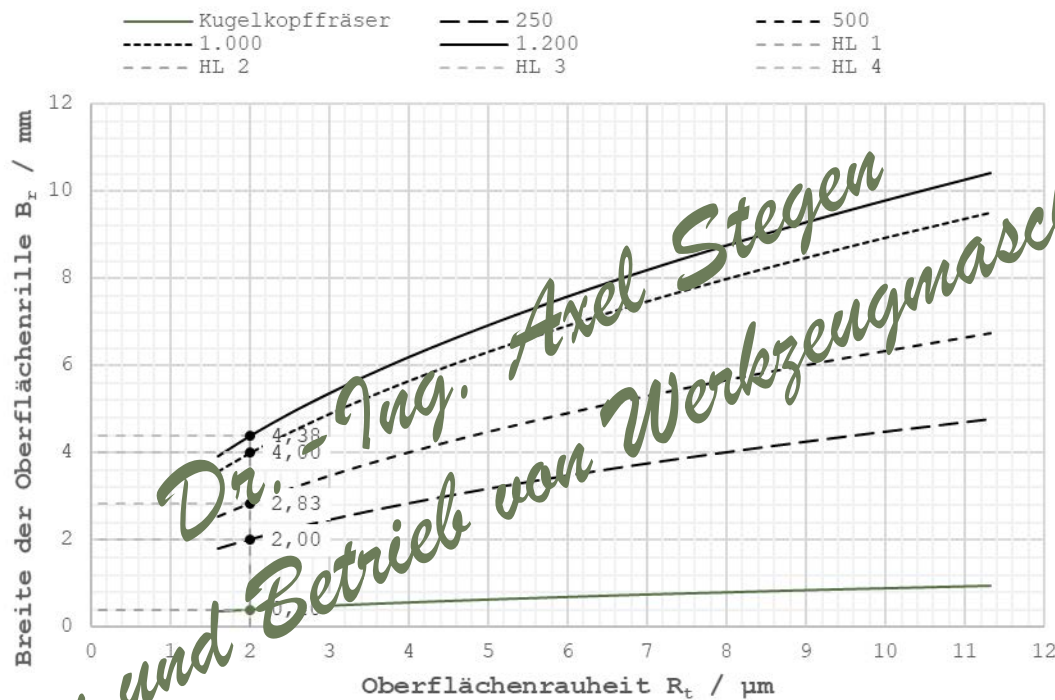
$$a_e = \left[\sqrt{R_t \cdot (2 \cdot r_\epsilon - R_t)} + \sqrt{a_p \cdot (2 \cdot r_\epsilon - a_p)} \right] \cdot \cos \Delta \kappa$$

$$a_e = \left[\sqrt{R_t \cdot (2 \cdot r_E - R_t)} + \sqrt{a_p \cdot (2 \cdot r_E - a_p)} \right] \cdot \cos \Delta \kappa$$

Werkzeug: Breitschlichtfräser



Quelle: © Hoffmann SE, 2021 *



*Dr.-Ing. Axel Stegen
Bau und Betrieb von Werkzeugmaschinen*



Quelle: © Hoffmann SE, 2021 *

- Gegenüberstellung der erreichbaren Rillenbreite bei verschiedenen Werkzeugen:

$$B_r = 2 \cdot B_r' = 2 \cdot r_\varepsilon \cdot \sin \kappa_r' = 2 \cdot \sqrt{R_t \cdot (2 \cdot r_\varepsilon - R_t)}$$

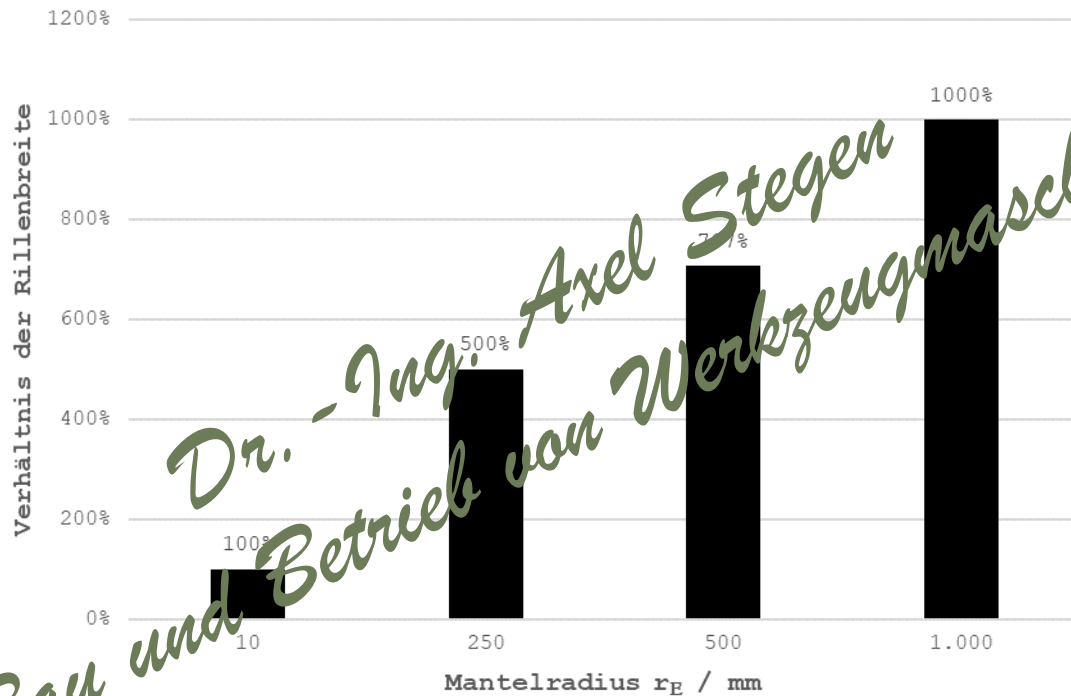
$$B_r = 2 \cdot B_r' = 2 \cdot r_E \cdot \sin \kappa_r' = 2 \cdot \sqrt{R_t \cdot (2 \cdot r_E - R_t)}$$

* This release is for the stated purpose only. Disclosure to third parties is permissible only with the written agreement of Hoffmann SE. Please acknowledgement the source as: © Hoffmann SE, 2021

Werkzeug: Breitschlichtfräser



Quelle: © Hoffmann SE, 2021 *



Quelle: © Hoffmann SE, 2021 *

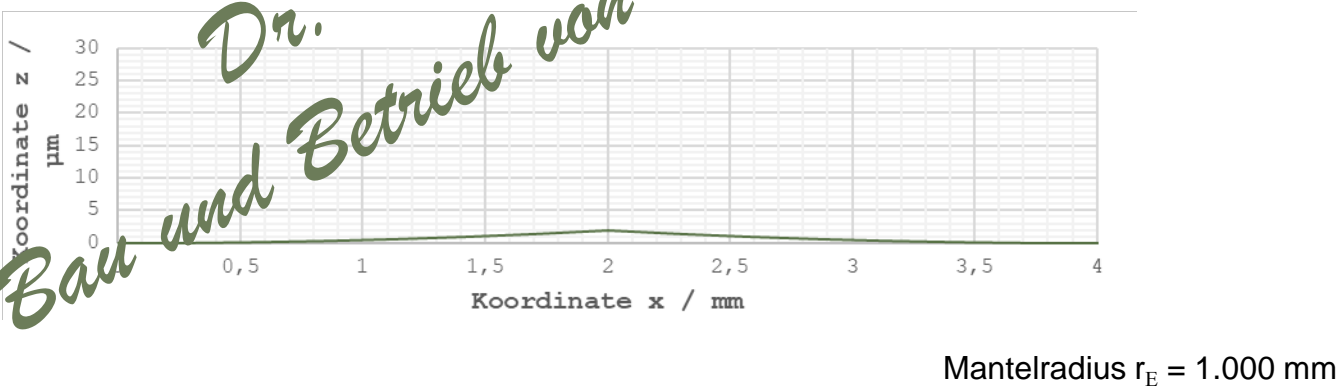
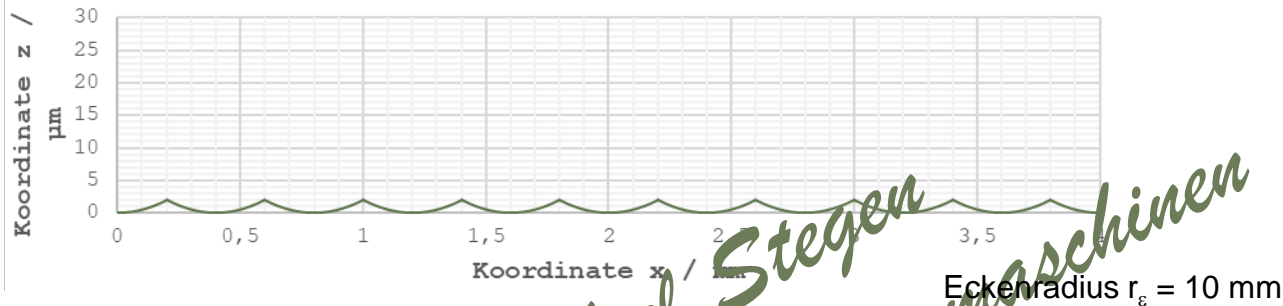
- Verhältnis der Rillenbreite verschiedener Werkzeuge:

$$\frac{B_{rBS}}{B_{rKF}} = \sqrt{\frac{2 \cdot r_E - R_t}{2 \cdot r_\varepsilon - R_t}}$$

*Dr.-Ing. Axel Stegen
Bau und Betrieb von Werkzeugmaschinen*

* This release is for the stated purpose only. Disclosure to third parties is permissible only with the written agreement of Hoffmann SE. Please acknowledgement the source as: © Hoffmann SE, 2021

Oberflächenprofile im Vergleich



- Rillenabstand beim Kugelfräser:
 $B_{rKK} = 0,4 \text{ mm (100\%)}$
- Rillenabstand beim Breitschlichtfräser:
 $B_{rBS} = 2,2 \text{ mm (548 \%)}$
- Betrachtung der Restfläche informiert über die Mittenrauhtiefe R_a .
- bisher: Betrachtungen bei gleichem R_t
- Die Sachlage ändert sich, wenn der Mittenrauhwert gleich bleiben soll.
- Die Rillenbreite B_r wird dadurch eingeschränkt!

* This release is for the stated purpose only. Disclosure to third parties is permissible only with the written agreement of Hoffmann SE. Please acknowledgement the source as: © Hoffmann SE, 2021

Gliederung



Umform- & Stanzwerkzeuge

- Einleitung
- Werkstücke & Anforderungen
- bisherige Vorgehensweise
- neue Vorgehensweise
- **Fertigungsmittel**
- wirtschaftliche Analyse
- Zusammenfassung

Bildquelle: Dornbusch GmbH, Hennef

Verschiedene Werkzeuge



Blasform eines Tankbehälters



Blasform einer Triebwerkskapsel (NKW)



Präge-Faltz-Werkzeug Gepäckraumboden



Umform-Stanz-Werkzeug Hitzeschild

Bildquelle: Dornbusch GmbH, Hennef

- Blasformen
- Heißprägewerkzeuge
- Fahrzeugbau

Werkzeugmaschine



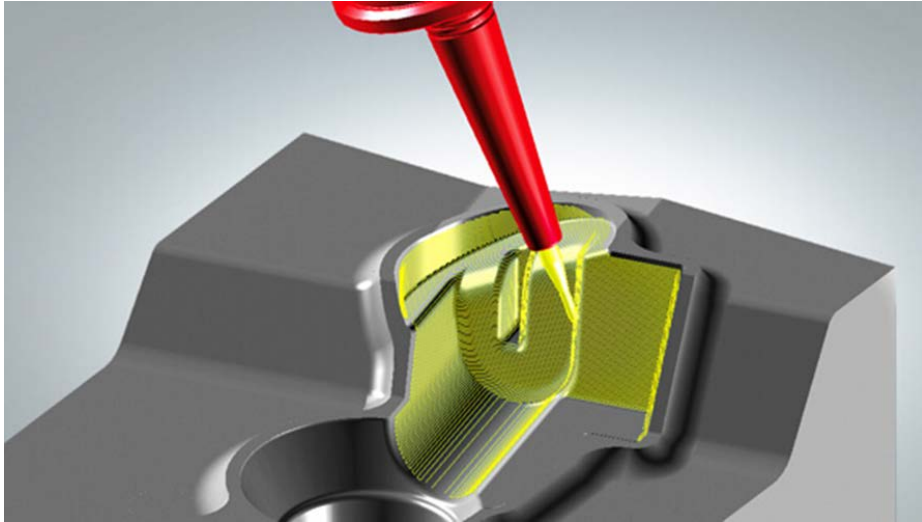
Bildquelle: WISA Werkzeug & Formenbau



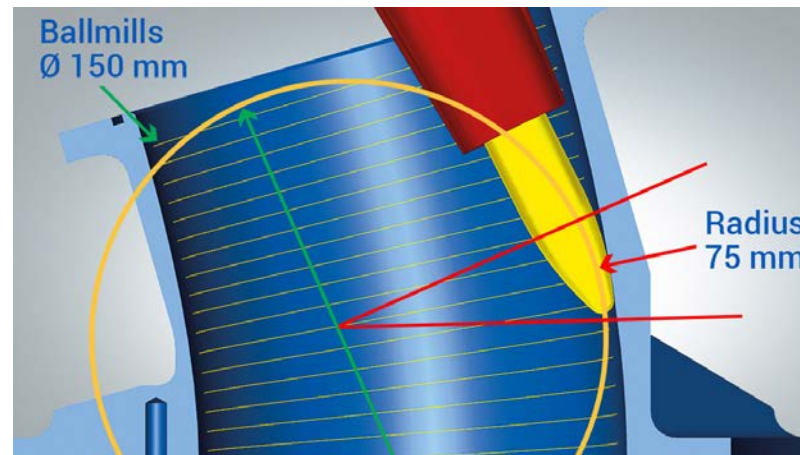
Bildquelle: F. Zimmermann

- Bereitstellung und Koordinierung von 5-Achsen
- 3 translatorische und 2 rotatorische Achsen
- alle Achsen müssen gleichzeitig gesteuert bzw. bewegt werden können
- Programmierung erfolgt über ein Programmiersystem (CAM)

Programmiersysteme



Bildquelle: OPEN MIND



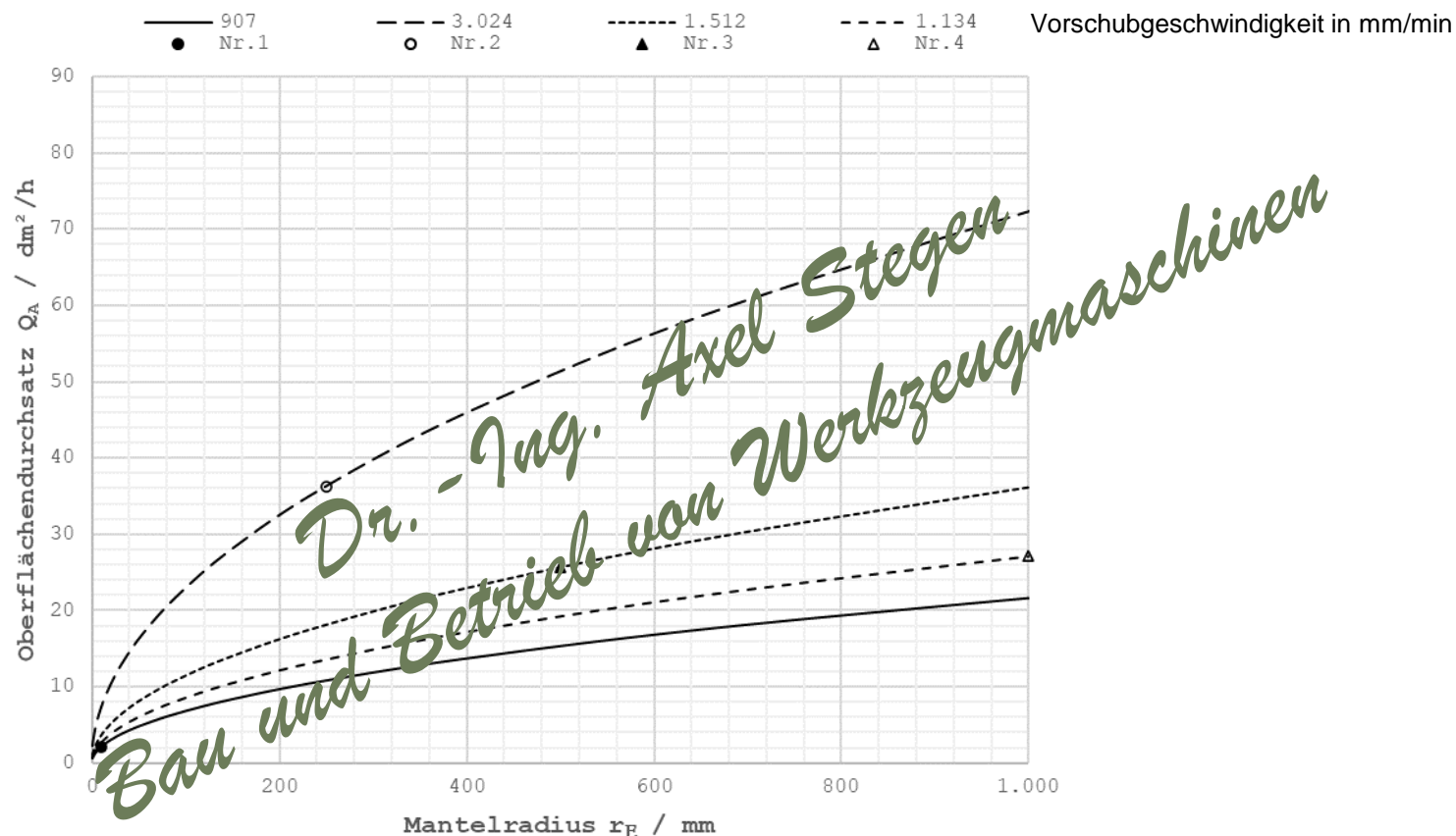
- Programmiersysteme ermöglichen eine kontinuierliche Ausrichtung zwischen Werkstück und Werkzeug oder umgekehrt
- Die Zusammenarbeit zwischen Herstellern von Programmsystemen und Werkzeugherstellern haben zu dem Fortschritt geführt!
- Wissenschaft und Werkzeugmaschinenbau waren nicht beteiligt

Gliederung



- Einleitung
- Werkstücke & Anforderungen
- bisherige Vorgehensweise
- neue Vorgehensweise
- Fertigungsmittel
- wirtschaftliche Analyse
- Zusammenfassung

Wirtschaftliche Analyse: Die Liefermenge - Oberflächendurchsatz



- Für die Liefermenge bei der Schlichtarbeit gilt:

$$Q_A = B_r \cdot v_f$$

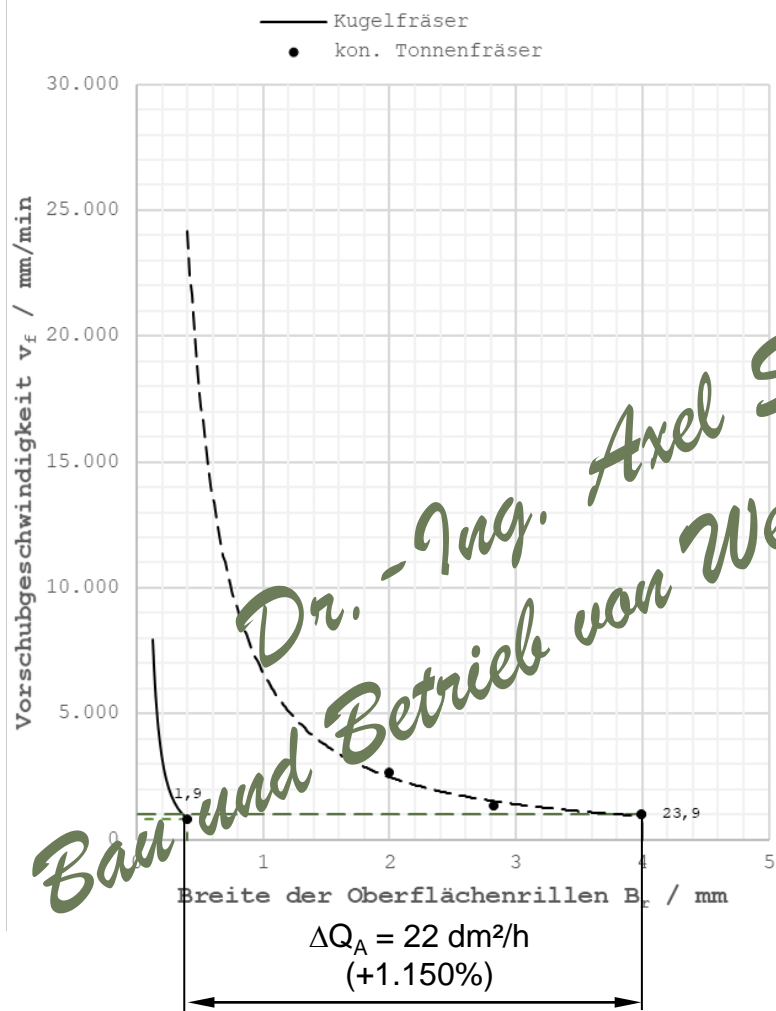
- Bei gleichen Schnittbedingungen ist also die Rillenbreite B_r als Durchsatzkenngröße zu betrachten!

- Es gilt weiter:

$$Q_A = 2 \cdot \sqrt{R_t \cdot (2 \cdot r_E - R_t)} \cdot v_f$$

- große Eckenradien steigern also die Liefermenge!
- geringe radiale Schnittiefen a_e führen allerdings zu kürzen Berührungszeiten von Schneide und Werkstück, was die Standzeit verlängert!

Wirtschaftliche Analyse: Die Liefermenge - Oberflächendurchsatz



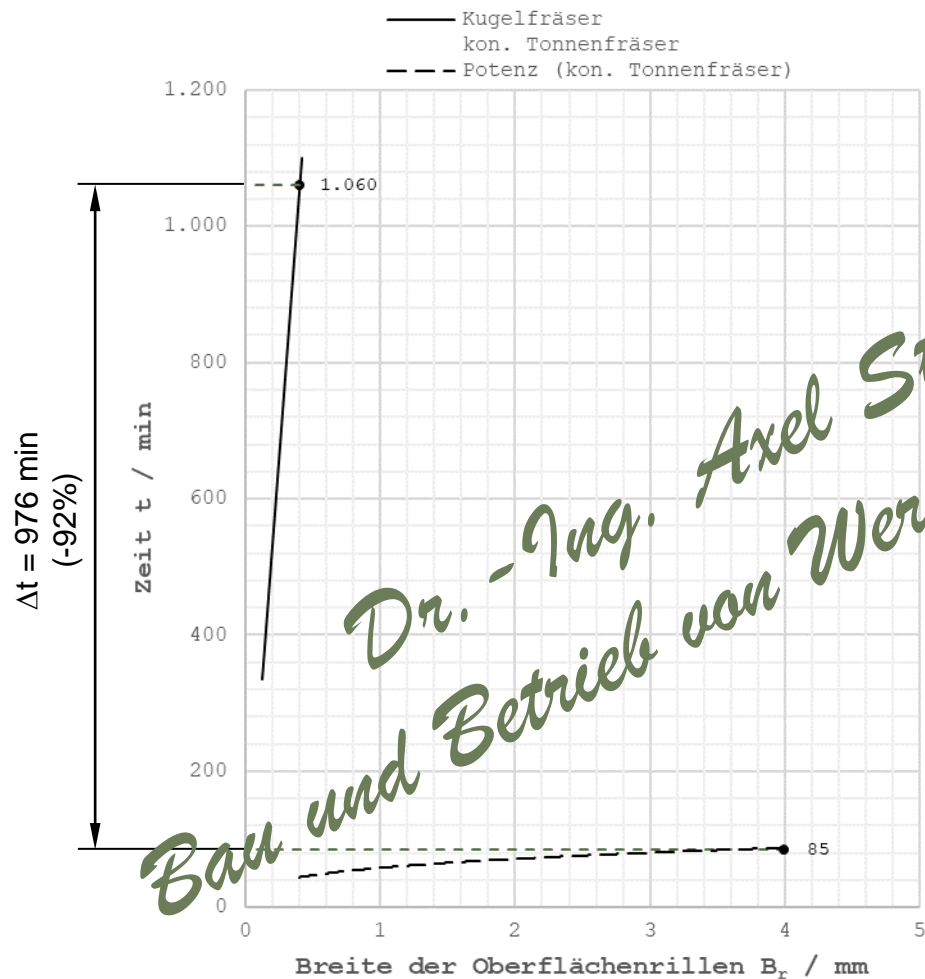
- konstante Schnittgeschwindigkeit v_c
- konstanter Schneidenvorschub f_z
- gleicher Werkzeugdurchmesser D_{WZ}

- Für die Liefermenge bei der Schlichtarbeit gilt:

$$Q_A = \frac{A_{WST}}{t} = B_r \cdot v_f$$

- Bei gleicher Vorschubgeschwindigkeit läßt sich der Flächendurchsatz um 22 dm²/h steigern (1.150%)

Wirtschaftliche Analyse: Die Schnittzeit

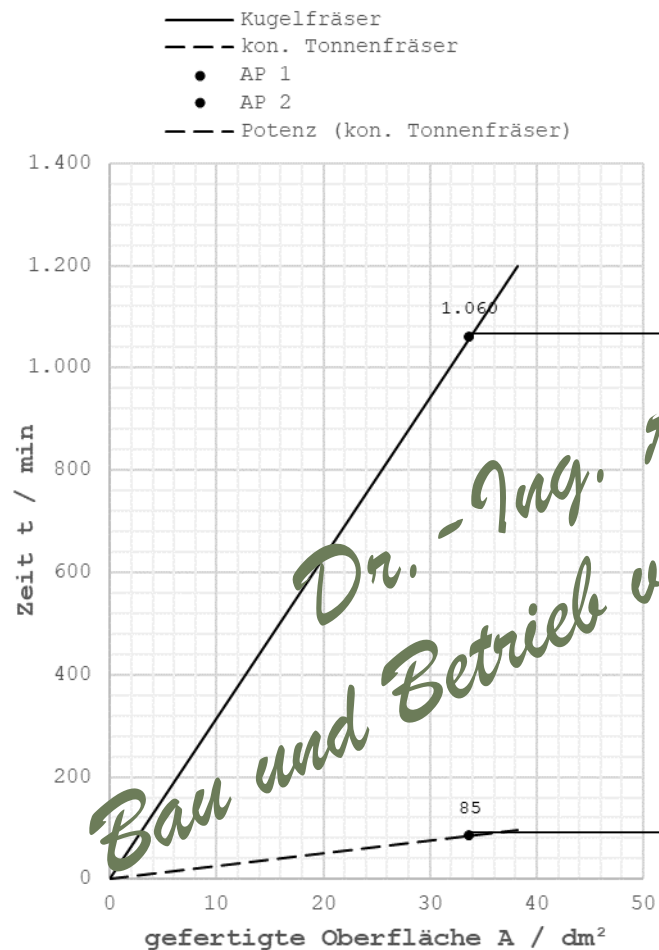


- Für die Liefermenge bei der Schlichtarbeit gilt:

$$Q_A = \frac{A_{WST}}{t} = B_r \cdot v_f$$

- Wie wirkt sich dies nun auf die Bearbeitungszeit aus?
- Bei gleichen Bedingungen lässt sich die Bearbeitungszeit um 976 min verringern (-92%)

Wirtschaftliche Analyse: Die Schnittzeit

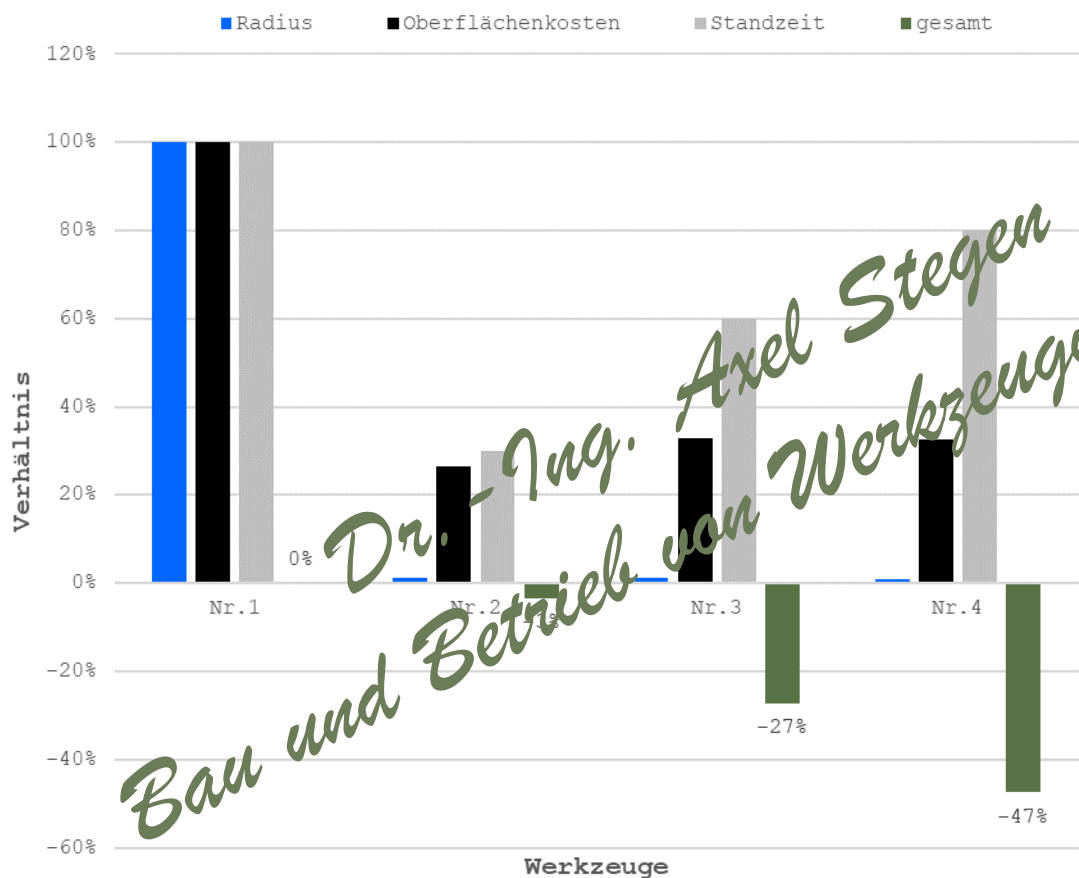


- Beachte:
- Verbessert wird der Flächendurchsatz.
- Die Auswirkung auf die Zeit ist um so größer, je größer die zu fertigende Fläche ist!

$$t = \frac{A}{Q_A} = \frac{A}{L_f \cdot v_f}$$

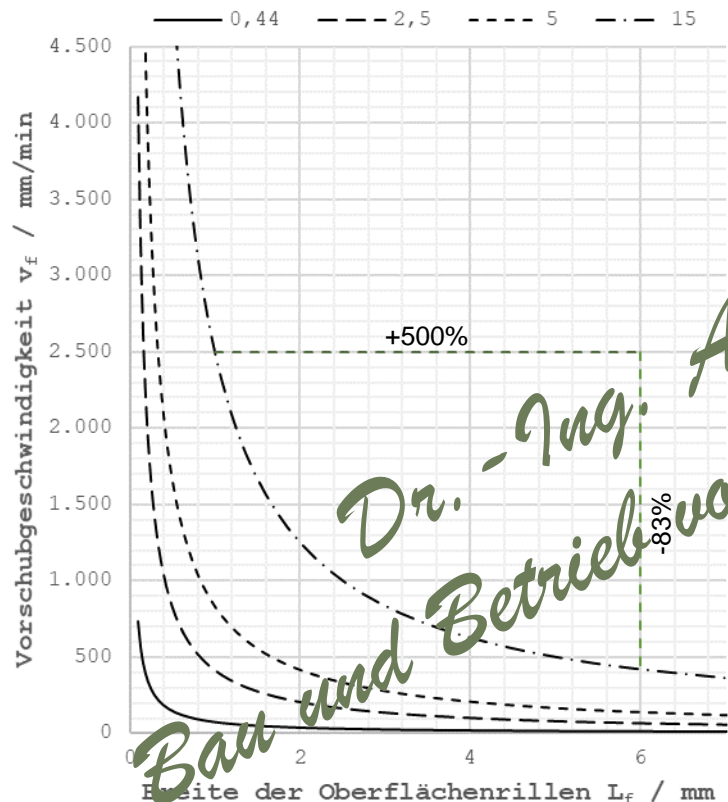
$$\Delta t = \frac{A}{Q_{A2}} - \frac{A}{Q_{A1}} = \frac{Q_{A1} - Q_{A2}}{Q_{A2} \cdot Q_{A1}} \cdot A$$

Wirtschaftlicher Erfolg: Der Verbesserungskniff



- Um eine Fläche möglichst schnell zu bearbeiten, ist eine möglichst breite Rille und eine möglichst hohe Vorschubgeschwindigkeit zu wählen.
- Bisher: viele Rillen herstellen, jede Rille schnell erledigen.
- Neu: wenige Rillen herstellen, dadurch bleibt für jede Rille mehr Zeit.

Wirtschaftlicher Erfolg: Der Verbesserungskniff



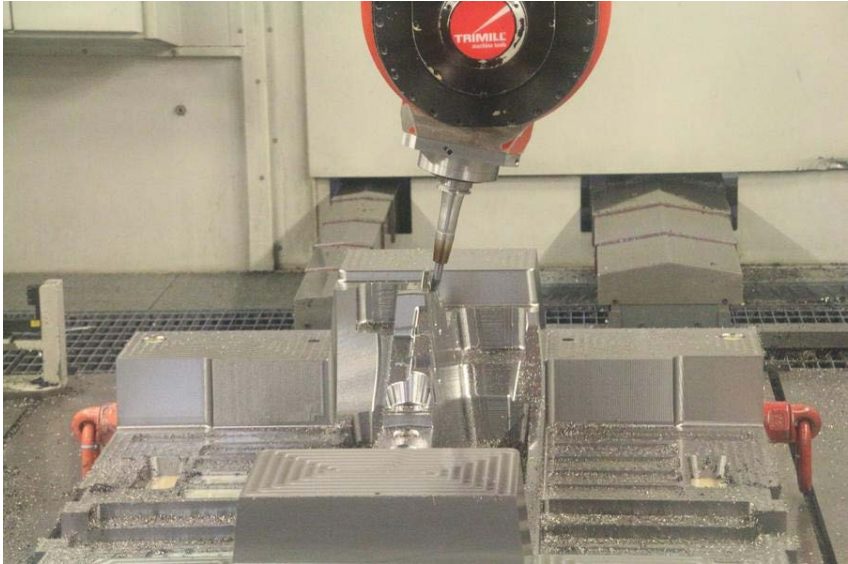
- Die Rillenbreite B_f wird bei gleichem Oberflächendurchsatz sehr viel stärker vergrößert, als die Vorschubgeschwindigkeit v_f verringert wird.

Gliederung



- Einleitung
- Werkstücke & Anforderungen
- bisherige Vorgehensweise
- neue Vorgehensweise
- Fertigungsmittel
- wirtschaftliche Analyse
- Zusammenfassung

Zusammenfassung



Bildquelle: Koller Formenbau



- Überblick über die Werkstücke
- Analyse der bisherigen Fertigung
- Werkzeuggestaltung als Verbesserungselement identifiziert
- durch die Möglichkeiten moderner Werkzeugmaschinen und Programmiersysteme ergeben sich zerspanungstechnische Vorteile, die hier genutzt wurden.