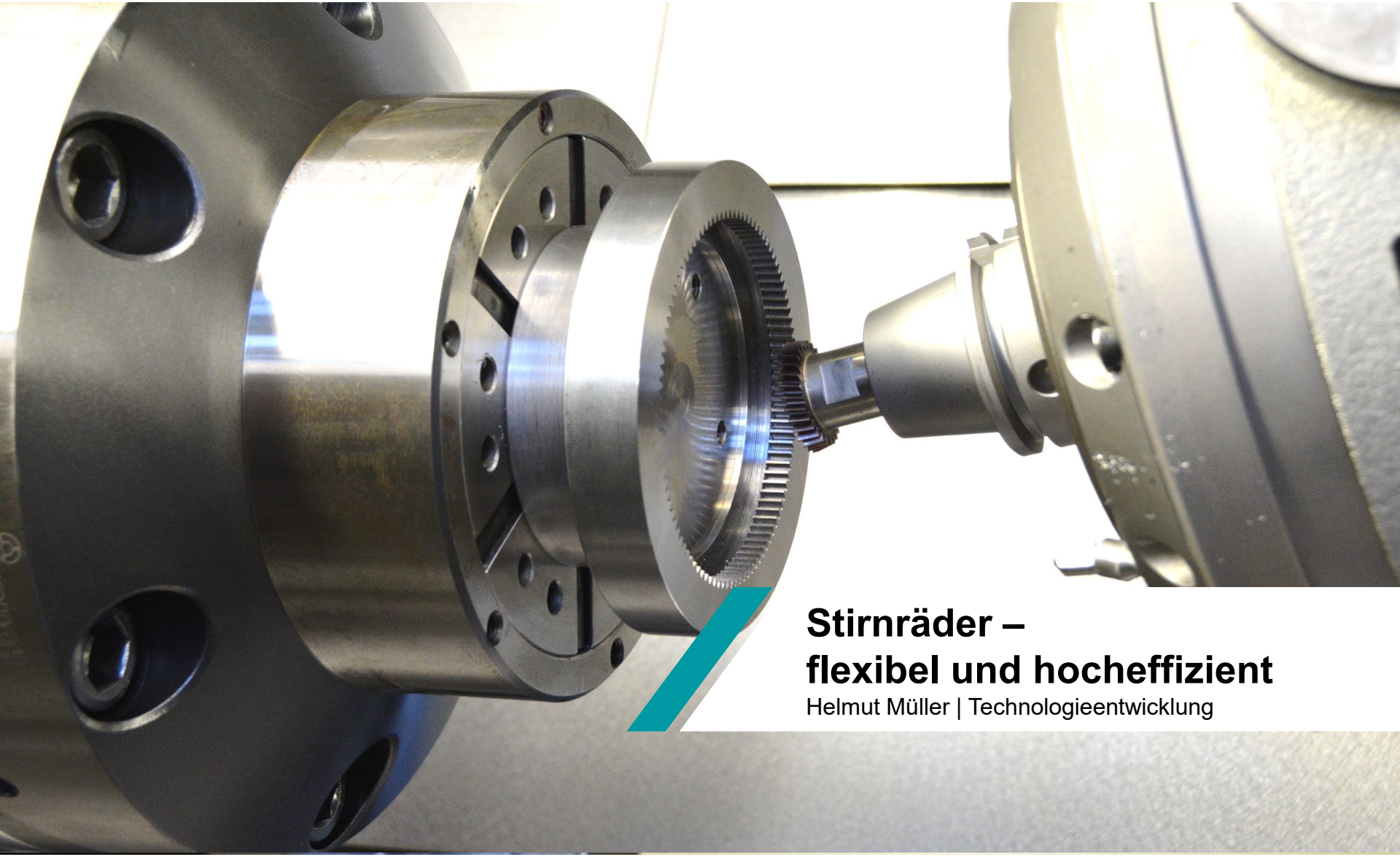
INDEX



Stirnräder – flexibel und hocheffizient

Helmut Müller | Technologieentwicklung

Fragestellungen

INDEX

- Warum Verzahnen auf INDEX-Traub Maschinen?
- Welche Verfahren kann ich auf INDEX-Traub Maschinen umsetzen?
- Möchte / Muss ich für die Zukunft flexibel* / agil** sein?
- Bin ich automatisch unproduktiver wenn ich mit einem agilen Maschinenkonzept arbeite?
- Welche Verfahrensgrenzen bzw. sonstige Einschränkungen gibt es?
- Wie kann ich einen Einstieg ins Verzahnen gestalten?

**flexibel* = *an veränderte Umstände anpassungsfähig, bei Entscheidungen wendig ➔ Reaktion*
***agil* = *von großer Beweglichkeit zeugend; regsam und wendig ➔ Aktion*

Gliederung

INDEX

Stirnradverzahnungen - Geometrie und Merkmale

Verzahnverfahren

- Übersicht Bearbeitungsverfahren spanend
- Merkmale Verfahren
  - Profilstoßen
  - Wälzfräsen
  - Wälzschälen

Prozessvoraussetzung und Umsetzung

- Meß. und Prüftechnik
- Steuerungstechnik
- Maschinenmerkmale
- Anlaufunterstützung / Anwenderkompetenz
- Geometrische Werkstückgegebenheiten
  - Verfahrenseinschränkungen
  - Prozessmöglichkeiten

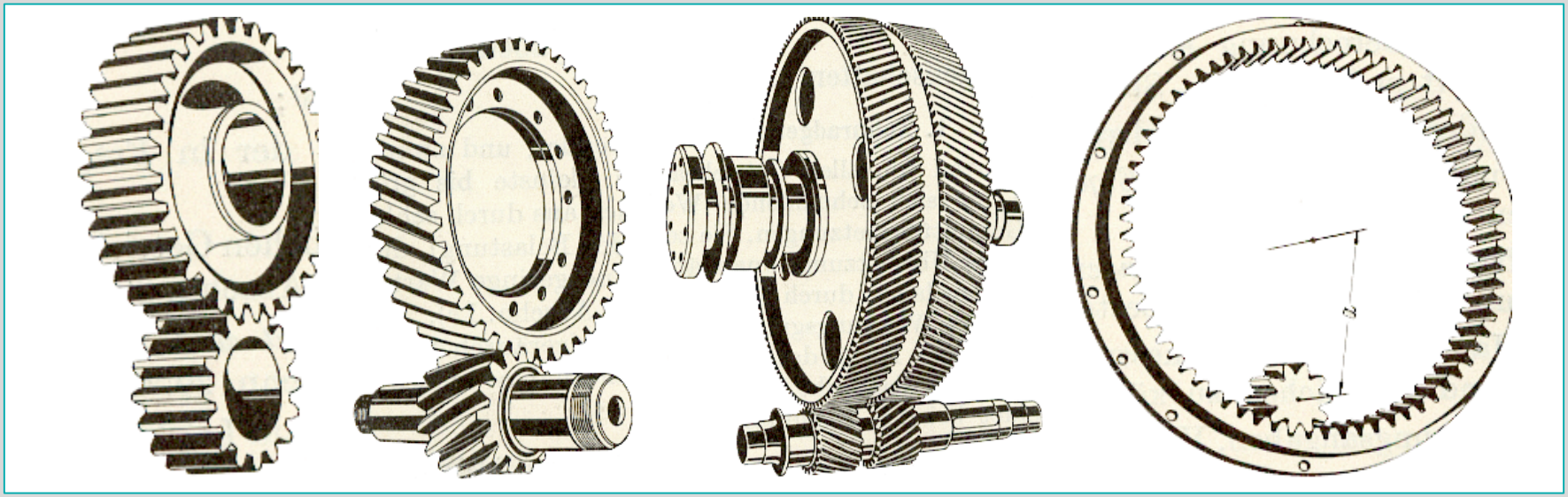
better.parts.faster.

Geometrie und Merkmale

INDEX

Stirnradverzahnung

- Verzahnungsmerkmale: Achsen sind parallel
- Ausführungsmerkmale
  - Gerade / schräg / pfeilverzahnt / innenverzahnt / aussenverzahnt



- Herstellverfahren
  - Weichbearbeitung: Wälzfräsen, Wälzstoßen, Wälzschälen, Profilfräsen, Profilstoßen, Räumen,
  - Hartbearbeitung: Hartfräsen, Schaben, Schleifen, Honen, Harträumen, Hartschälen
- Herstellqualitäten (DIN 3965/86 bewertet):
  - Weichbearbeitung IT (7).. 8..9
  - Hartfeinbearbeitung IT (5).. 6..7

better.parts.faster.

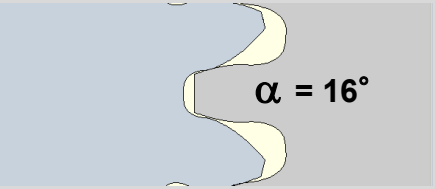
Geometrie und Merkmale

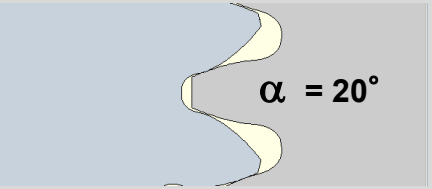
Stirnradverzahnungen

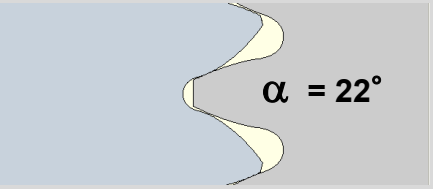
INDEX

- Einsatzgebiete und Ausprägungen:
  - Mikroantriebe ➔ Modul 0,08 .. 0,12
  - Werkzeugantriebe ➔ Modul 0,6 .. 2,5
  - PKW Getriebe ➔ Modul 1,5 .. 3,5
  - NKW Getriebe ➔ Modul 3,0 .. 5,0
  - Windkraftgetriebe ➔ Modul 15,0 .. 30,0
  - Schiffsantriebe ➔ Modul 100

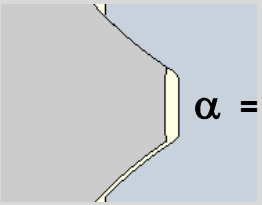
- Sonderausprägungen
  - Hochverzahnung Eingriffswinkel ~16˚
  - Breitverzahnung Eingriffswinkel ~22˚







- Steckverzahnungen DIN 5480 5482 / ISO 4156 / ANSI B92.1 / B92.2
  - Profilwinkel: 30˚ … 45˚



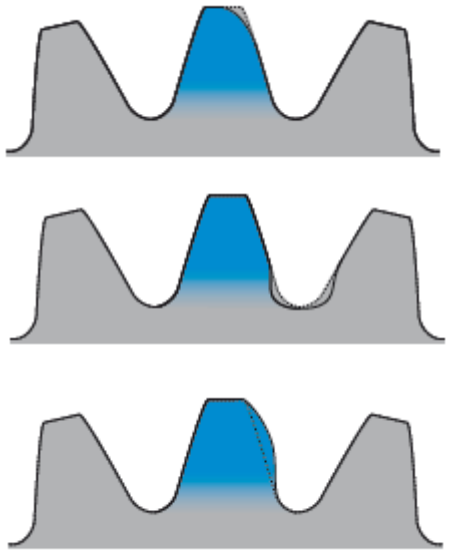
better.parts.faster.

Geometrie und Merkmale

INDEX

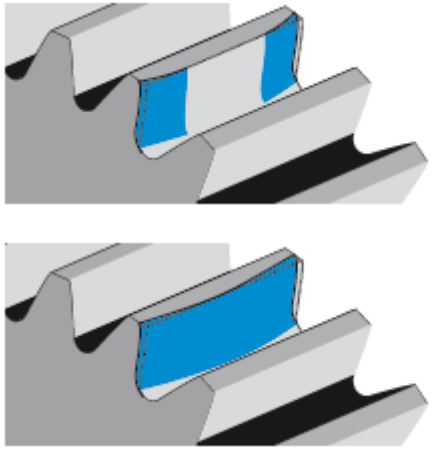
Flanken- und Profilmodifikationen

- Profilmodifikationen:
  - Profil-Kopfrücknahme $c_{\alpha a}$
  - Profil-Fußrücknahme $c_{\alpha f}$
  - Profil-Balligkeit c_{α}



Werkzeug

- Flankenlinienmodifikationen:
  - Flankenlinien Endrücknahme $c_{\beta I}$ / $c_{\beta II}$
  - Flankenlinien-Balligkeit c_{β}



Prozess

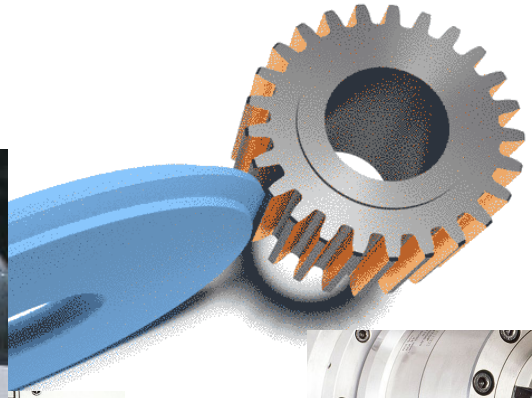
better.parts.faster.

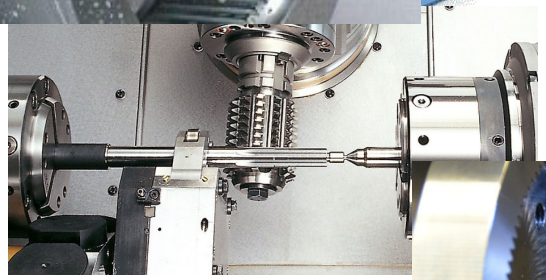
Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

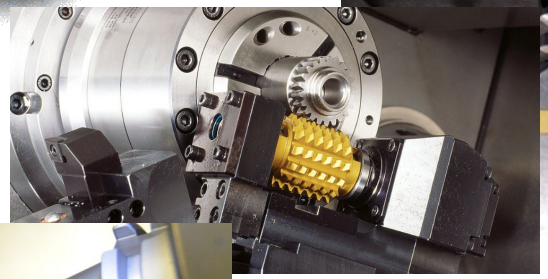
INDEX

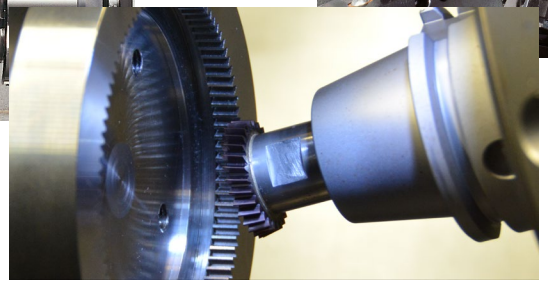
Übersicht

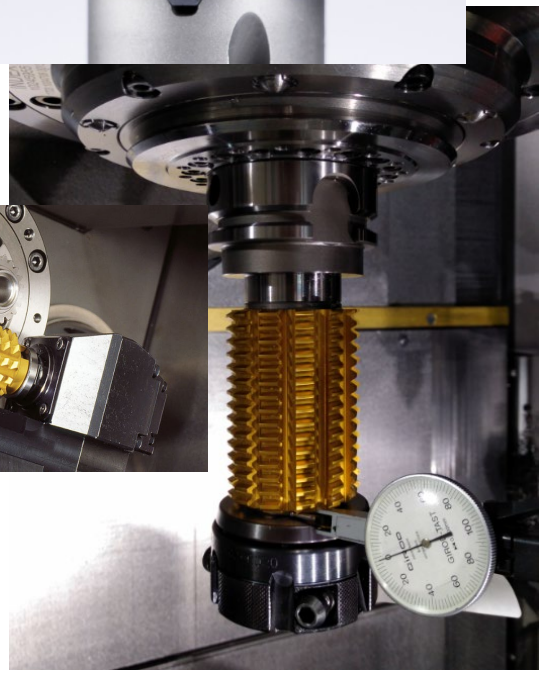
- Profilstoßen*
- Profilfräsen
- Profilschleifen
- Wälzstoßen
- Wälzfräsen*
- Wälzschälen*
- Freiformfräsen / Abzeilen











Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

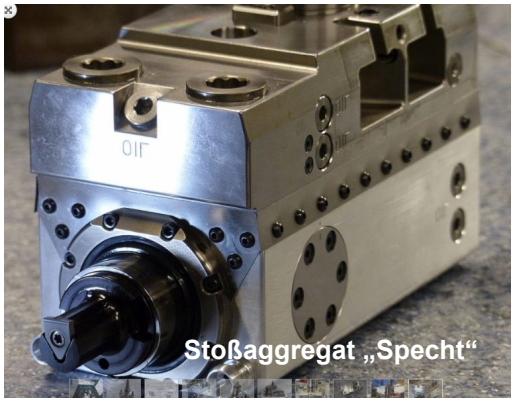
INDEX

Profilstoßen

- Sehr preiswertes Einstiegsverfahren
- Qualitäten IT8 .. (7)
- Innen- / Außenverzahnungen
- Störkonturen / Schultern stellen kein Problem dar
- Flankenlinienmodifikationen nicht möglich
- Prozessbeschränkung – max. Schneidkantenlänge < 8 mm (Stahl) bzw. < 12 mm (Alu)
- Stoßen mit der Achse – relativ langsam
- Stoßen mittels Antriebseinheit „Specht“: 12..17 Hübe/s (Wälzstoßmaschine: ~ 20 …25 Hübe/s)
- WSP mit Vorschneidern möglich
- WZ-Aufnahme über Schnittstellen
- Aufgrund der Einschaltdauer ist ein Profilstoßen auf MS-Maschinen nur bedingt tauglich

Referenzbeispiel: m:1,0 / z:16 / lz:10mm

	mit Achse	Specht-Aggregat
Verzahnzeit tz	**247 s**	**75 s**
Verzahnzeit tz (1 Vorschneider)	**134 s**	**43 s**



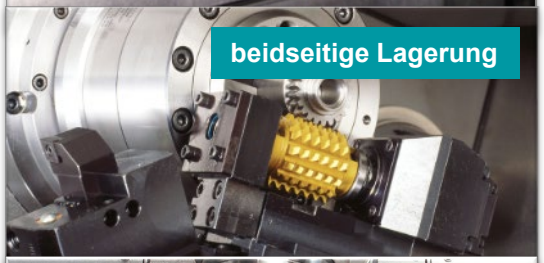
Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

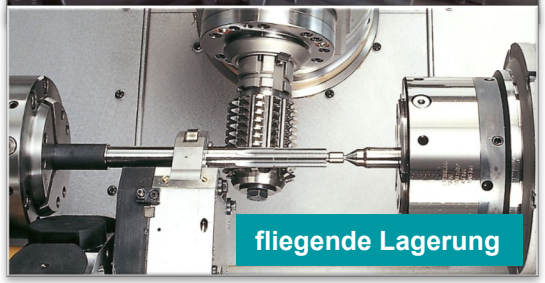
INDEX

Wälzfräsen

- Umsetzung mittels Antriebseinheit – Werkzeughalter – beidseitige Lagerung
- Umsetzung mittels Frässpindel – fliegende Lagerung
- hohe Anzahl an Werkzeuganbieter
- Geringe Werkzeugkosten
- Qualitäten IT8 .. (7)
- Nur Außenverzahnungen
- Gerad- und Schrägverzahnungen
- Fräserradius erfordert entsprechende Auslaufgestaltung
- Profil- und Flankenlinienmodifikationen möglich
- WZ-Aufnahme über Passfeder, Stirnfeder Verbindungen
- Sondergestaltungen Fräswerkzeug möglich – Zapfenmitnahme oder Konusmitnahme
- Werkzeugausrichtung relativ aufwändig - Taumel

Referenzbeispiel: m:1,0 / z:16 / vc:150 m/min
Fräszeit (Gangzahl 1) : **20s**





Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

INDEX

Wälzschälen

- Sehr schnelles Verfahren
- Modul 0,2 .. 4,0 mm auf INDEX-Maschinen direkt angetriebener Werkzeugspindel möglich
- Qualitäten IT7 .. (6)
- Innen- und Außenverzahnungen möglich
- Gerad-, Schräg- und Pfeilverzahnungen möglich
- Störkonturen / hohe Schultern möglich
- Erfahrungen mit Werkstoffen bis 54 HRC
- Spindelkoppelung über kompletten Drehzahlbereich
- Flankenlinienmodifikationen möglich
- Stirnschnittverfahren ➔ Lage der Verzahnung beachten
- Späneproblematik bei Innenverzahnungen – Spültechnik
- Nachschleifen der Werkzeuge möglich
- WZ-Aufnahme über Rundschaft oder Schnittstellen
- Anforderung an Steuerung sehr hoch, da reversierende Belastung
- Prozess auch für Mehrspindler verfügbar

Referenzbeispiel: m:1,0 / z:16 / vc:180m/min

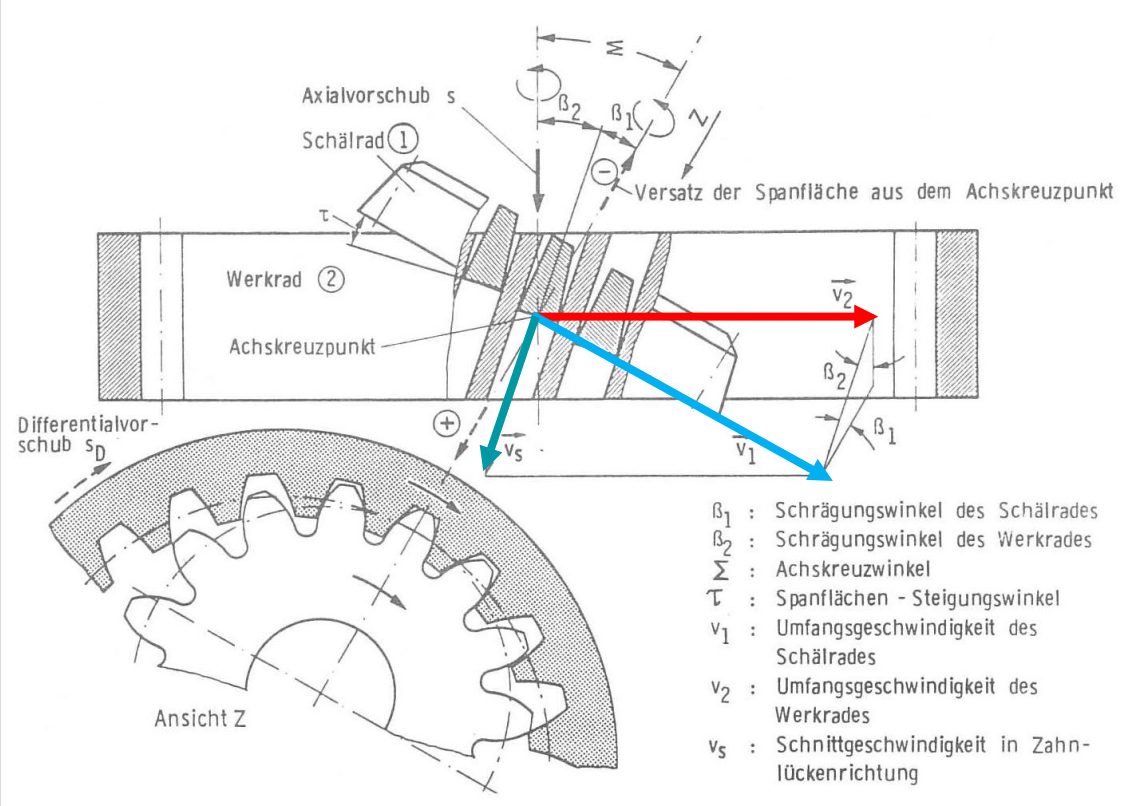
Verzahnzeit (5 Schnitte): **6s**

Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

INDEX

Wälzschälen

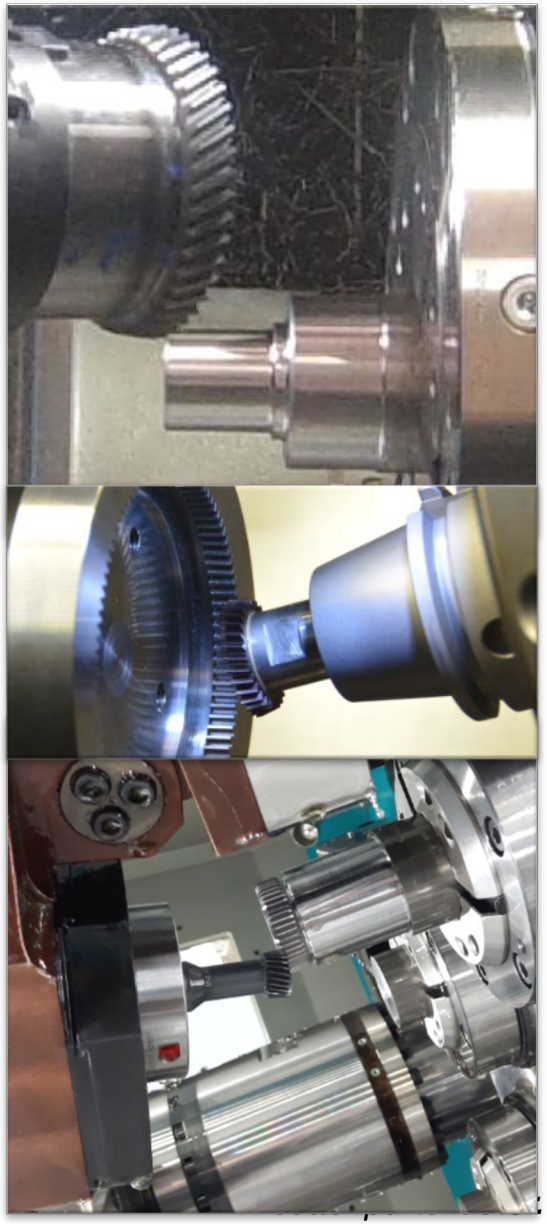
- Schnittgeschwindigkeiten



Quelle: Jansen, W.: *Verbesserung der Leistungsfähigkeit und der Fertigungsgenauigkeit beim Wälzschälen.* Dr.-Ing.-Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 1980.

Schnittgeschwindigkeit: $\mathbf{vc = \pi * Dwz * n * \sin(\Sigma)/\cos(\beta)}$

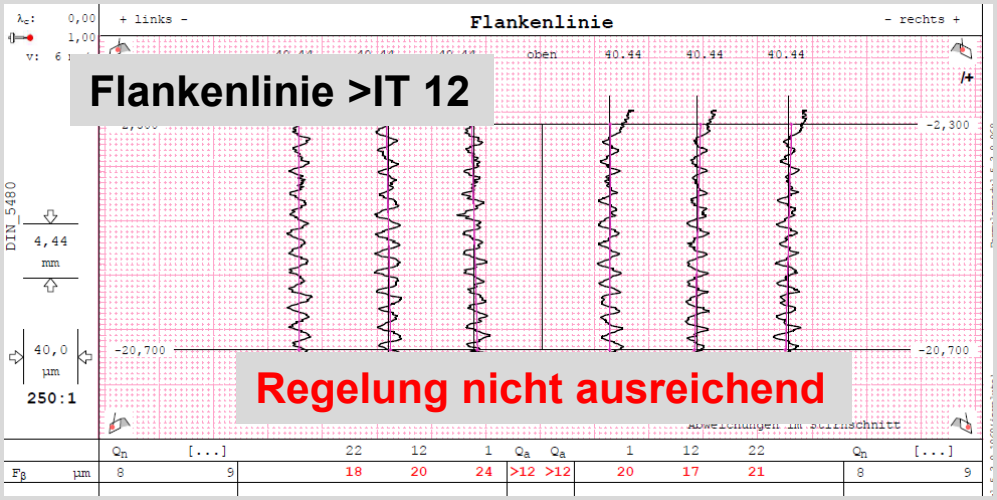
Dwz = Werkzeugdurchmesser / n = Werkzeugdrehzahl / ∑ = Achskreuzwinkel
β = Schrägungwinkel der Verzahnung



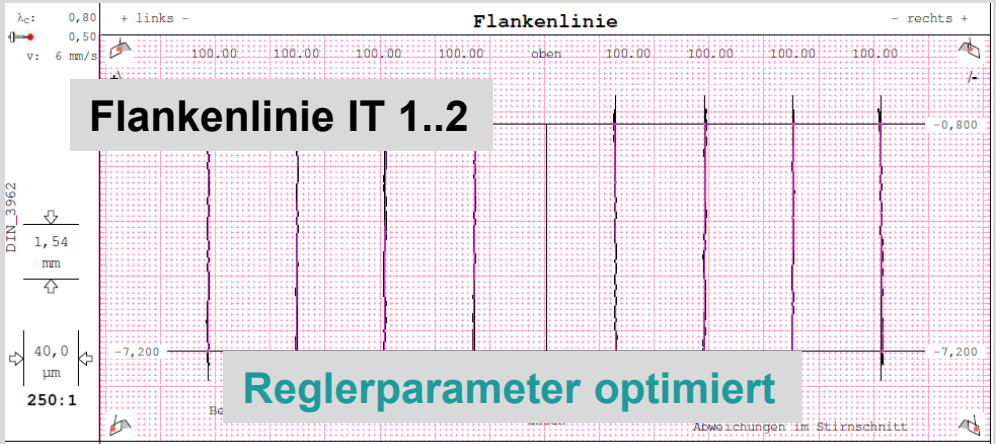
Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

INDEX

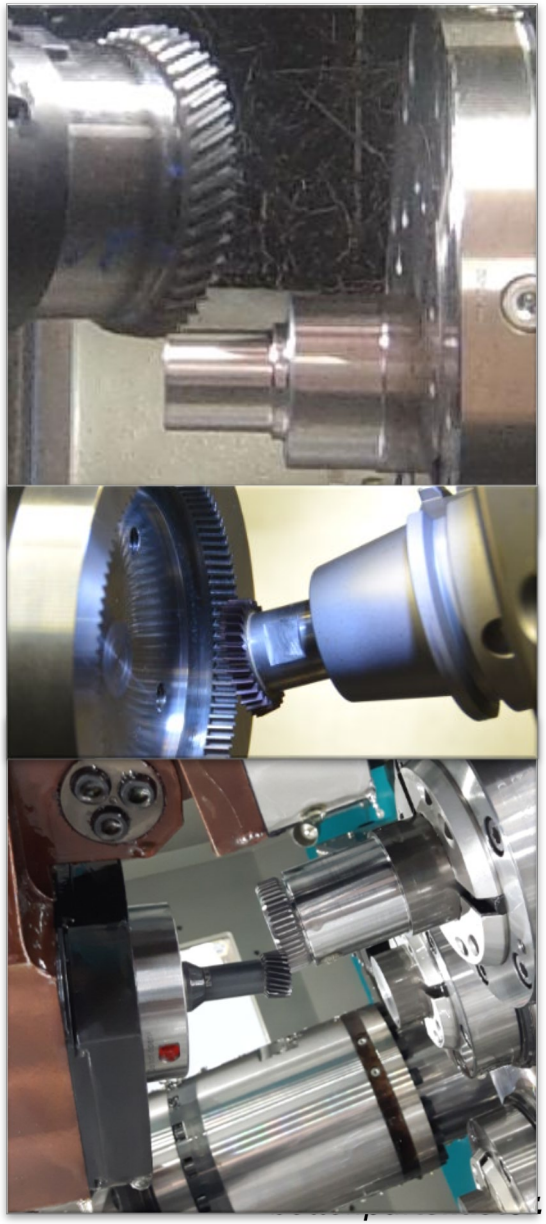
Wälzschälen



		Q_n	[...]	22	12	1	Q_a	Q_a	1	12	22	Q_n	[...]
F_β	µm	8	9	18	20	24	>12	>12	20	17	21	8	9



		Q_n	[...]	76	51	26	1	Q_a	Q_a	1	26	51	76	Q_n	[...]
F_β	µm	8	18,0	2,3	2,0	1,9	2,0	1	2	2,1	1,8	1,5	3,0	8	18,0
$f_{f\beta}$	µm	8	9,0	2,2	1,3	1,5	1,2	2	2	1,5	1,6	1,2	1,7	8	9,0
$f_{H\beta}$	µm	8	±16,0	0,1	-1,2	-1,2	-1,4	1	1	0,9	-0,8	-0,8	1,7	8	±16,0



Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

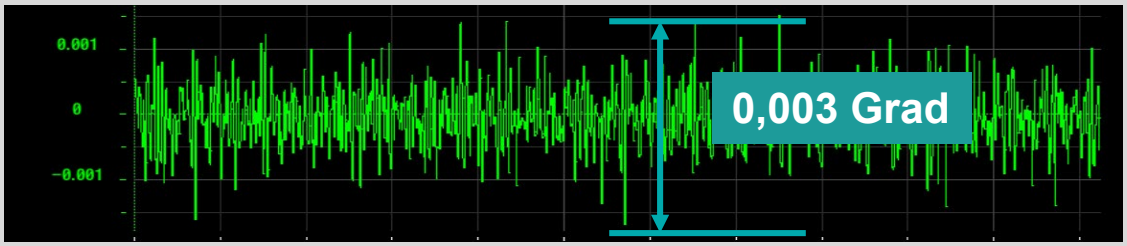
INDEX

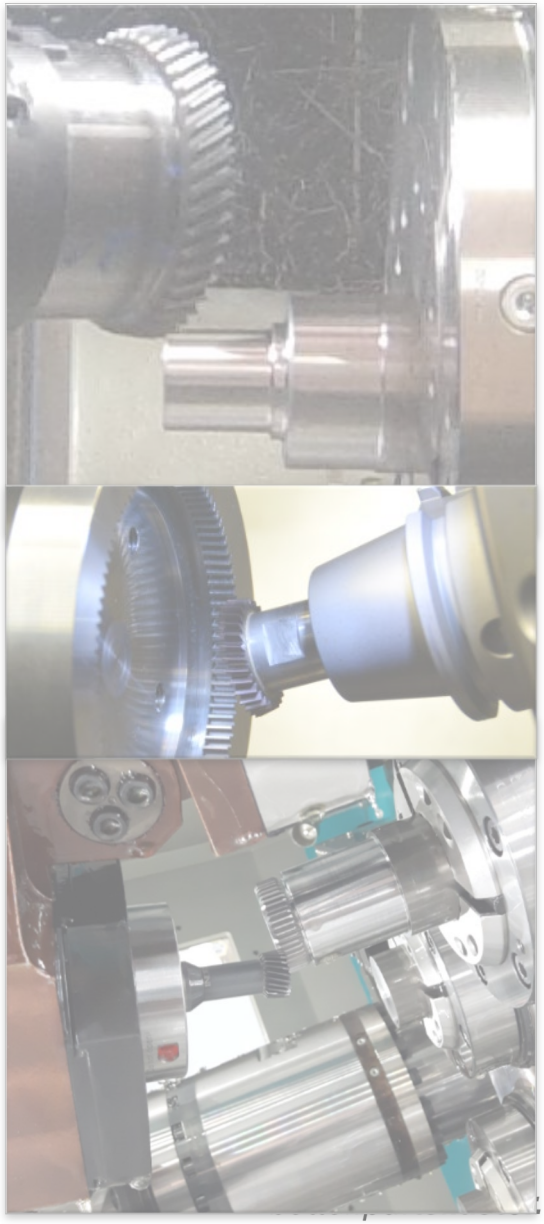
Wälzschälen

- Optimierung der Synchronlaufdifferenz

Ausgangssituation

Nach Regleroptimierung



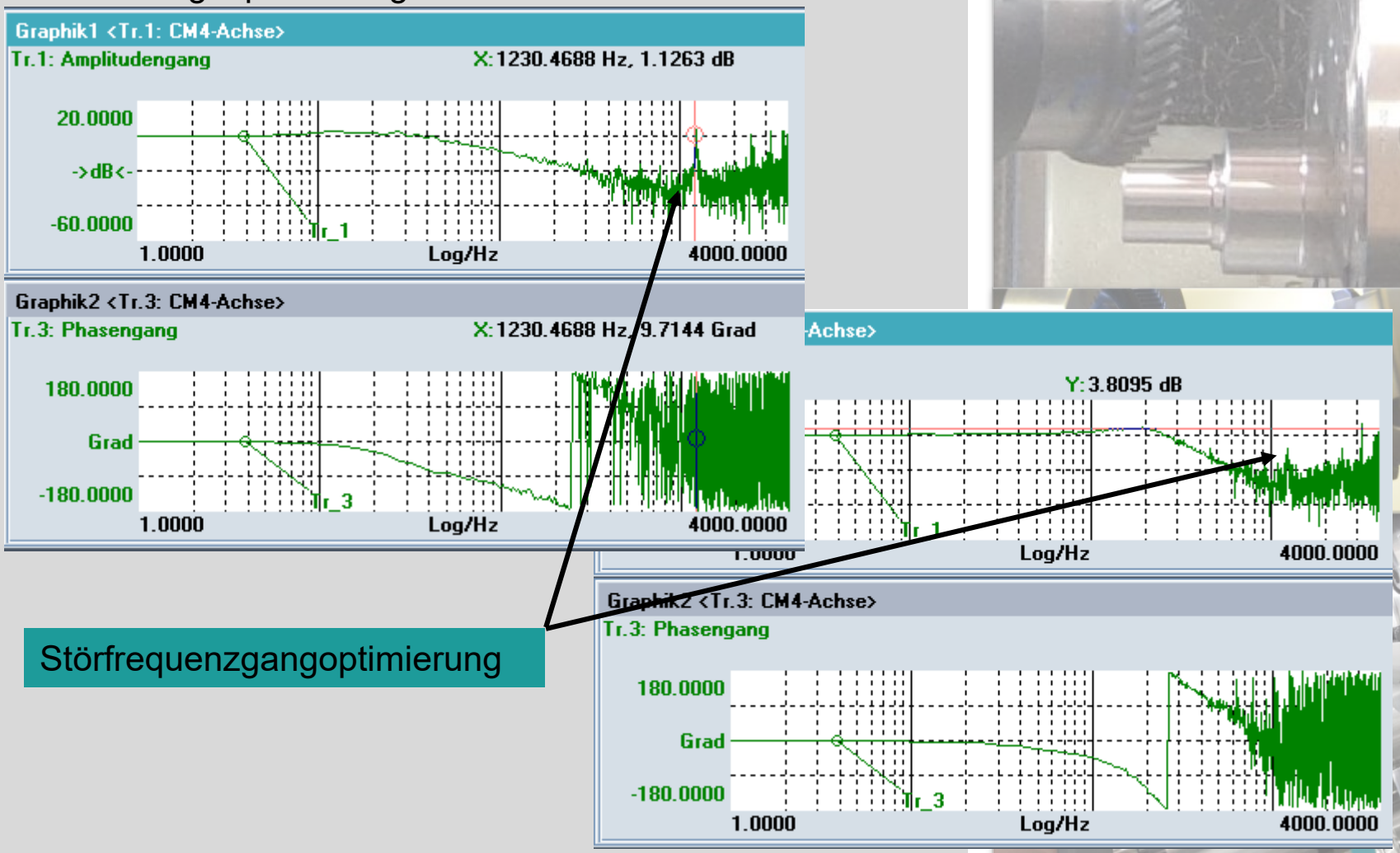


Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

INDEX

Wälzschälen

- Steuerungsoptimierung



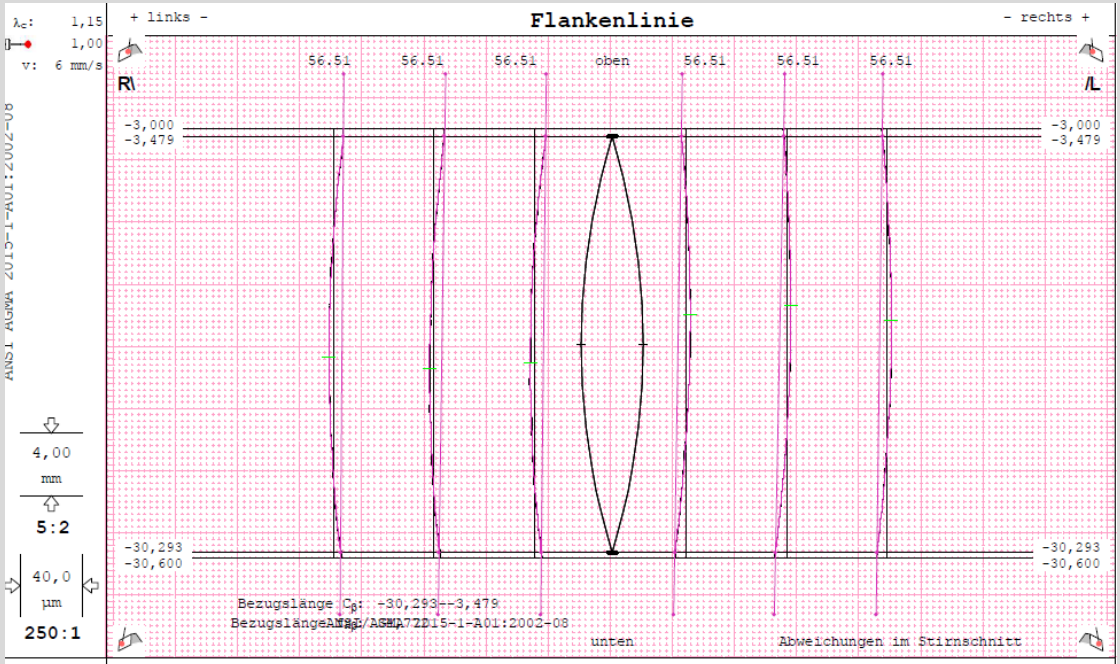
Störfrequenzgangoptimierung

Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

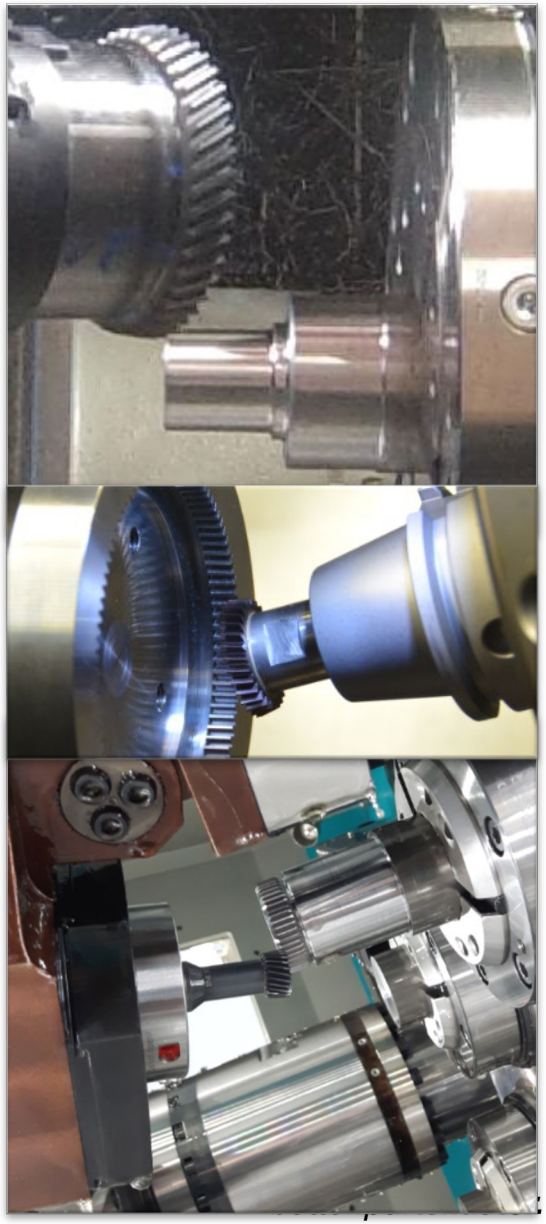
INDEX

Wälzschälen

- Umsetzen Längsballigkeiten



		Qn	[...]	15	8	1	Qa	Ø	Ø	Qa	1	8	15	Qn	[...]
F_β	µm	A8	24,0	12,4	13,4	13,2	A7	13,0	14,8	A7	14,6	15,8	14,0	A8	24,0
$f_{f\beta}$	µm	A8	17,0	1,0	1,3	1,5	A2	1,3	0,8	A2	0,9	0,6	0,9	A8	17,0
$f_{H\beta}$	µm	A8	±17,0	L 2,5	L 4,7	L 3,9	A5	L 3,7	L 5,7	A6	L 5,6	L 7,0	L 4,5	A8	±17,0
C_β	µm		20,0[±13,0]	8,2	7,8	8,5		8,2	7,4		7,5	7,2	7,5		20,0[±13,0]



Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

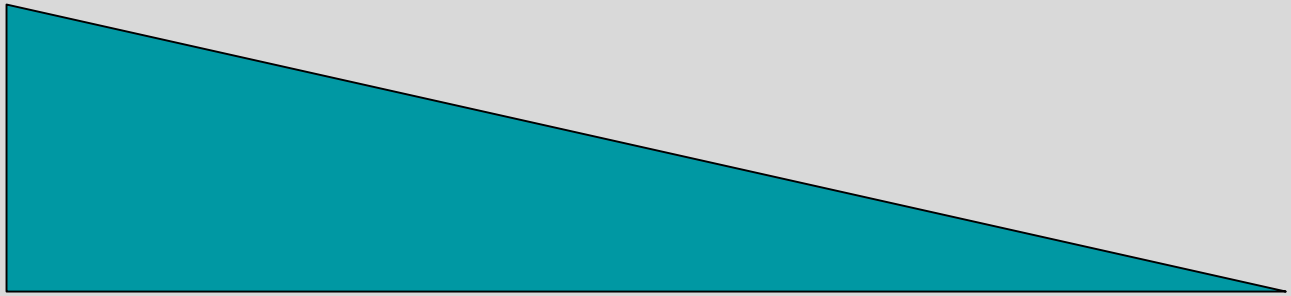
INDEX

Vergleich Verzahnungszeiten Referenzverzahnung

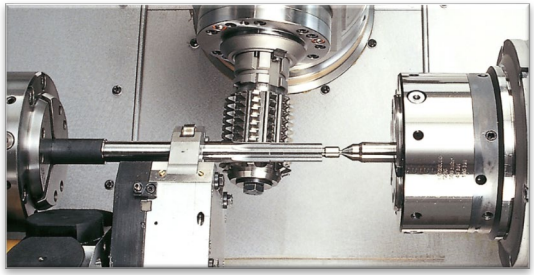
Profilstoßen
tz: 43s

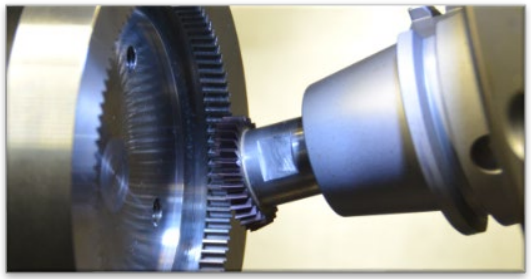
Wälzfräsen
tz: 20s

Wälzschälen
tz: 6s



7 **3** **1**



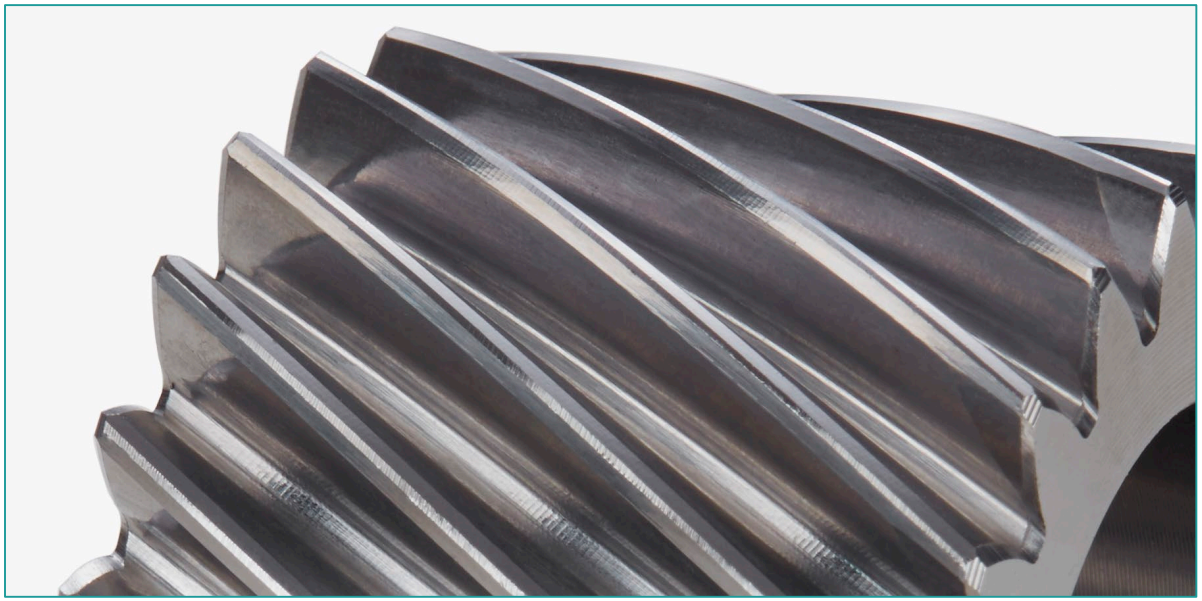


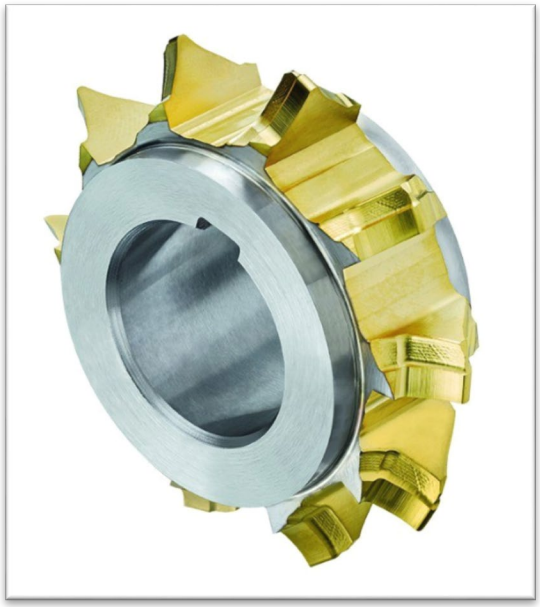
Verzahnverfahren - Stirnradverzahnungen

INDEX

ChamferCut – Anfasen

- Definiertes Entgraten/Anfasen von Stirnverzahnungen
- Außenverzahnungen
- Nur ein Chamfer-Werkzeug notwendig bei beidseitiger Entgratung – da Bearbeitung in Y+ und Y- möglich
- Sehr schnelles Verfahren (Bsp. Modul 1,75 z24 ➔5s)



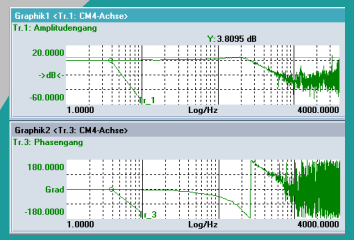


Prozessvoraussetzung und Umsetzung

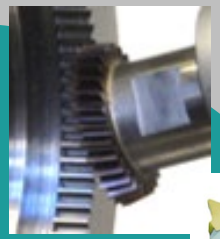
INDEX

Maschine / Steuerungstechnik

- „Schlupffreie“ Antriebe mit hoher Regelungsgüte
- Wälzkoppelung bis an Drehzahlgrenze
- Hochdynamische Antriebe
- Antriebsregelung optimiert
- Prozesskompetenz
- Steuerungszyklen



Werkzeuge



- Verzahnungskompetenz
- Auslegekompetenz
- Werkzeugqualität

TEAMWORK

- Verzahnungslehren
- Diametralmaß
- Einflankenwälzprüfung
- Zweiflankenwälzprüfung
- Meßmaschine
- Tragbildprüfung

Mess- und Prüftechnik

- INDEX - Traub Service
- Anlaufunterstützung
- Anwenderkompetenz

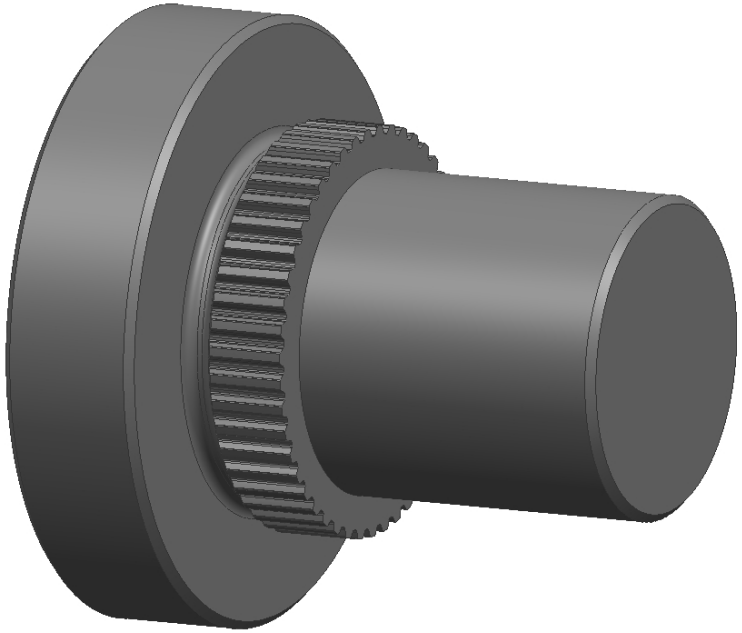
Service, Training

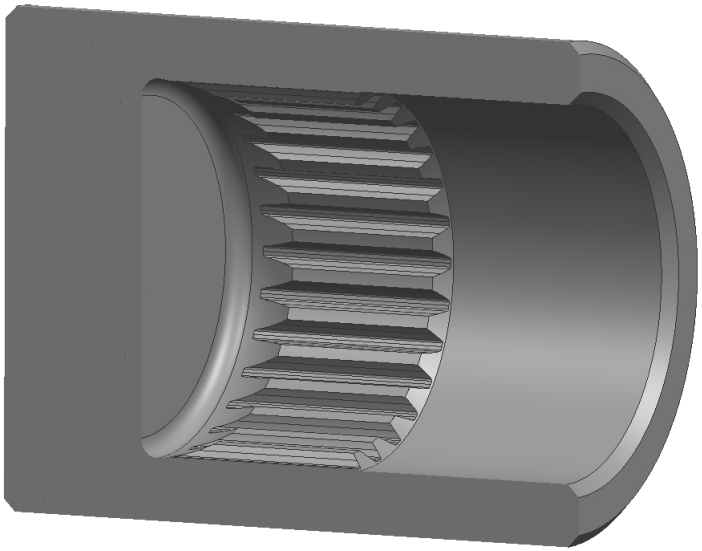
Prozessvoraussetzung und Umsetzung

INDEX

Geometrische Werkstückgegebenheiten ➔ Verfahrenseinschränkungen

- Geringer Verzahnungsauslauf - Schulter ➔ | Profilstoßen | ~~Wälzfräsen~~ | Wälzschälen |
- Innen liegende Verzahnung ➔ | Profilstoßen | ~~Wälzfräsen~~ | Wälzschälen |
- Lage der Außenverzahnung >L/D zentrisch ➔ | Profilstoßen | Wälzfräsen | ~~Wälzschälen~~ |





Stirnräder – flexibel und hocheffizient

INDEX

- Welche Verzahnverfahren kann ich auf INDEX-Maschinen umsetzen?

Nahezu ALLE

Grenzen / Einschränkungen

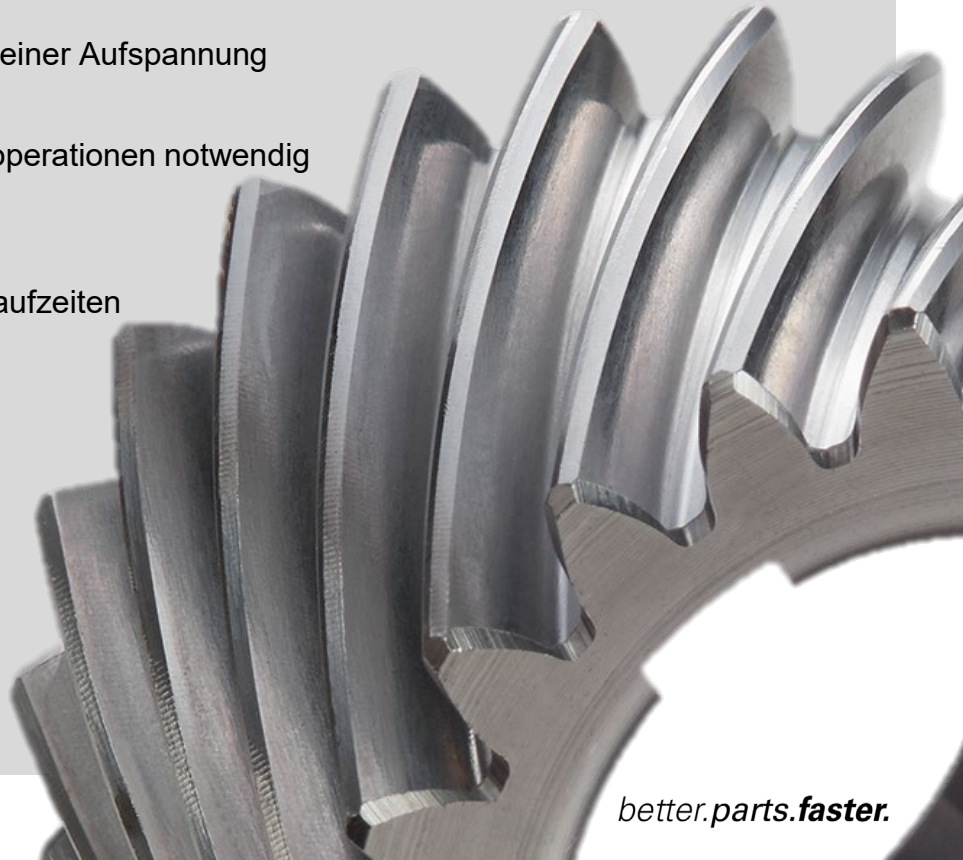
- Werkstückgeometrie
- Spannsituation
- Lage der Verzahnung
- Prozesskräfte
- IT-Qualitäten
- Modulgrößen (0,08 .. 4)

Stirnräder – flexibel und hocheffizient

INDEX

Warum Verzahnen auf INDEX-Traub Maschinen?

- Eine gute Achskinematik in Kombination mit wertigen Reglerkreisen weist keine Unterschiede zu einer Verzahnmaschine in Bezug auf die Präzision auf
- Wir verfügen über entsprechende Prozesskompetenz und können „supporten“
- Steuerungszyklen helfen notwendiges Prozess-KnowHow beim Einstieg bereitzustellen
- keine Umspannfehler – Bezüge und Verzahnung in einer Aufspannung
- keine Hilfspassungen für nachgeschaltete Verzahnoperationen notwendig
- keine internen Transport – Liegezeiten durch zusätzl. Maschinengruppen ➔ Reduzierung Durchlaufzeiten
- Werkzeugmagazin / „Schwesterwerkzeuge“ für Verschleissstrategie
- Bevorratung unterschiedlicher Verzahnwerkzeuge (Wälzschälen /Wälzfräsen..)
- Autarke Liefersituation und keine „Blackbox“ bei externem Verzahnungsbezug



Stirnräder – flexibel und hocheffizient

INDEX

Muss ich für die Zukunft flexibel sein und möchte agil werden ?

- Wenn sich Losgröße und ggf. Verfahren ändert kann reagiert werden ➔ Flexibilität
- Unterschiedlichste Verzahnverfahren möglich ➔ Agilität
- Kleine bis kleinste Losgrößen können mittels Werkzeugbevorratung und entsprechender Werkstückplanung „on demand“ umgesetzt werden
- Flexible Fertigung setzt agile Maschinenkonzepte voraus.

Stirnräder – flexibel und hocheffizient

INDEX

- Bin ich automatisch unproduktiver wenn ich mit einem agilen Maschinenkonzept arbeite?
  - Nein
  - Die Kunst liegt in der Losgrößen angepassten Prozessstrategie (Umrüsten Werkstoff / Spannmittel / Standardwerkzeuge..)
  - Maschine als reine Verzahnmaschine einsetzen
  - Rohlinge/Fertigteile handhaben mittels
    Be- Entladesystem (2fach / 4fach Greifersysteme)
    Roboter-Handhabung
  - Ggf. Entgratoperationen auf Gegenspindel integrieren
    (Bürsten | ChamferCut | Fräsen)
  - Bei Doppelspindelsystemen (R200 / R300)
    simultane 5-Achs Bearbeitung möglich
  - Simultane Verzahnprozesse von der Frässpindel aus
    und / oder Revolver

Stirnräder – flexibel und hocheffizient

INDEX

Welche Verfahrensgrenzen bzw. sonstige Einflüße gibt es?

- Prozesskräfte
- Geometrische Grenzen (Werkstück / Werkzeug)
- Verfahrensbedingte Abdrängungen Werkstück – Werkzeug
- Werkzeugqualitäten
- Ausrichtequalitäten (Rundlauf) Werkzeuge

better.parts.faster.

Stirnräder – flexibel und hocheffizient

INDEX

Wie kann ich einen Einstieg ins Verzahnen gestalten?

- Dreher ← → Verzahner
- Anlaufunterstützung – individuelle Heranführung gemäß Kenntnisstand
- Gemeinsame Definition von Ziel und den hierzu erforderlichen Etappen
- Skalierbare Schritte von Investitionen (Werkzeuge / Messtechnik)

Stirnräder – flexibel und hocheffizient

INDEX

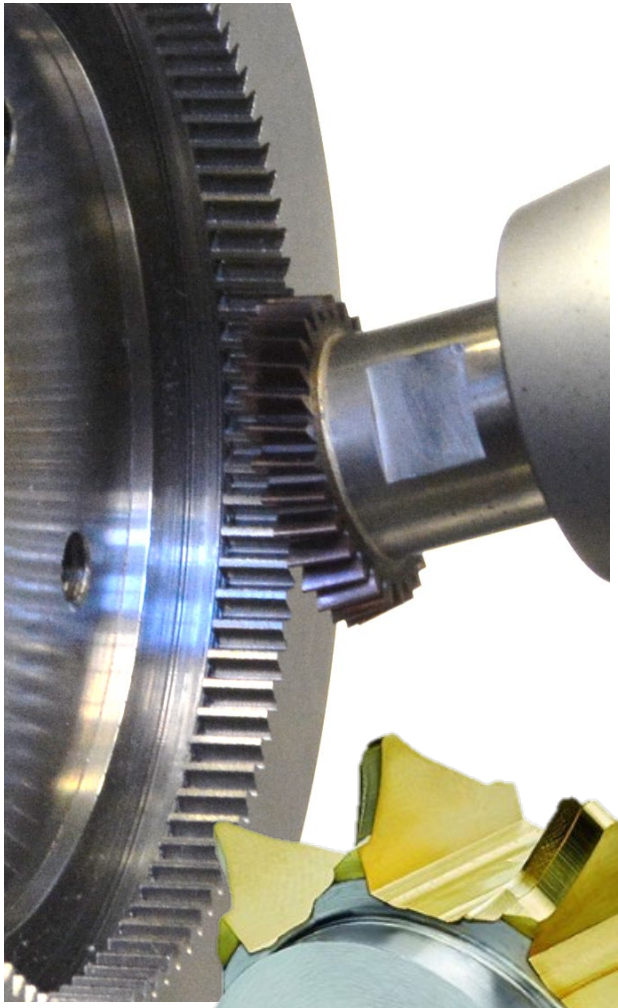
Zusammenfassung

- Nahezu alle Verzahnverfahren lassen sich umsetzen
- Flexible Fertigungsstrategien mittlerer, kleiner und kleinster Losgrößen
- Durch Spezialisierung als Verzahnmaschine höchste Produktivität erzielbar
- Steigerung der Genauigkeit durch Vermeiden von Umspannfehlern

Kontakt

INDEX

Internet
www.index-traub.com/verzahnen



Ansprechpartner
Helmut Müller
Technologieentwicklung | Verzahnen
+49 711 3191-9527
helmut.mueller@index-werke.de

Anschrift
INDEX-Werke GmbH & Co. KG
Hahn & Tessky
Plochinger Str. 44
73779 Deizisau

better.parts.**faster.**