



Performance Days

Fokus: Power Skiving

HELLER

HELLER Technology Power Skiving

Daniel Kehl 06/2023



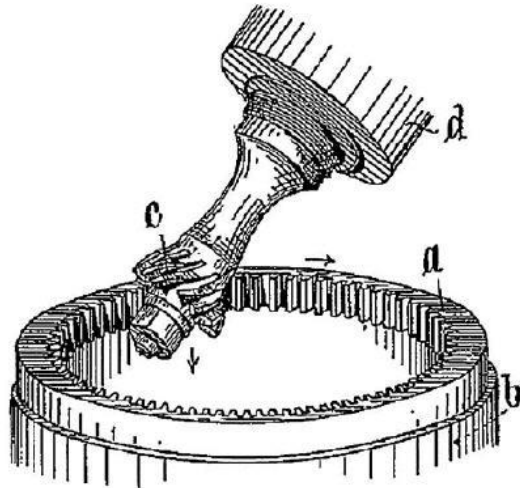
HELLER Lösungen: Wissen, wie es geht.

WAS IST POWER SKIVING?

_ Auch genannt: Wälzschälen, Gear Skiving, Scudding, ...

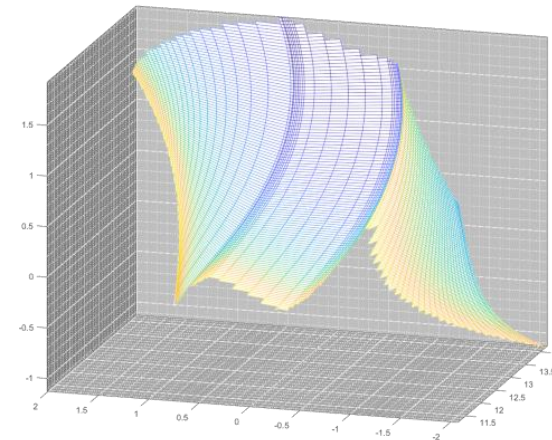
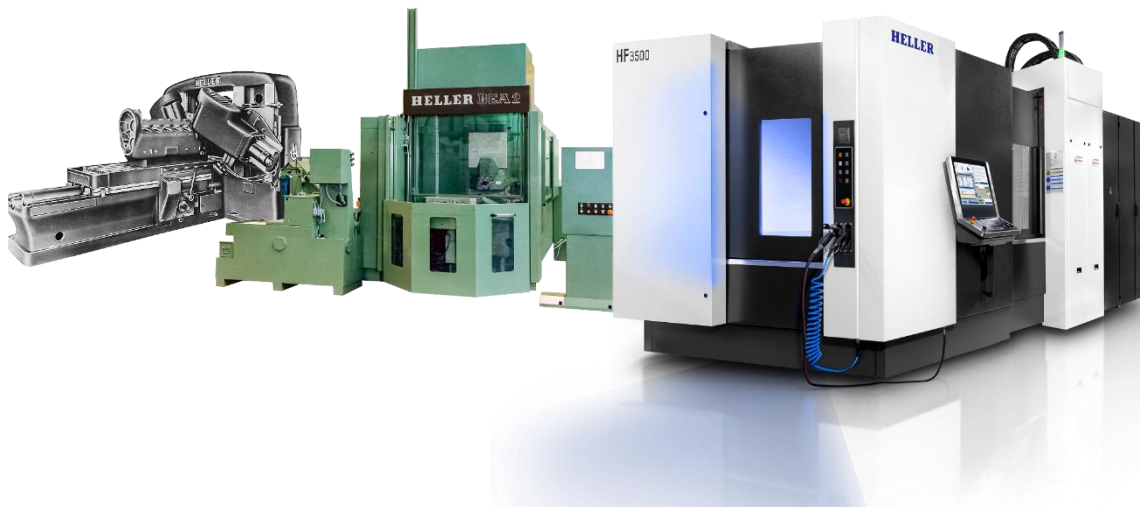
_ Kontinuierliches, zerspanendes Verfahren zur Herstellung von Verzahnungen.

_ Basierend auf dem Patent von Wilhelm von Pittler aus dem Jahr 1910.



WIESO ERST IM 21. JAHRHUNDERT?

- _Hohe Drehzahlen und hochgenaue Achskopplung erfordern hochdynamische Maschinen und sehr leistungsfähige Steuerungen.
- _Hohe Anforderungen an Schneidstoffe und Beschichtungen der Werkzeuge.
- _Komplexe Werkzeug- und Prozessauslegung erfordern Berechnungstools und Simulationen.



WAS IST MÖGLICH?

_ Steckverzahnungen DIN 5480

_ Laufverzahnungen DIN 3960/3972

_ Innen- und Außenverzahnungen (auch mit Schulter)

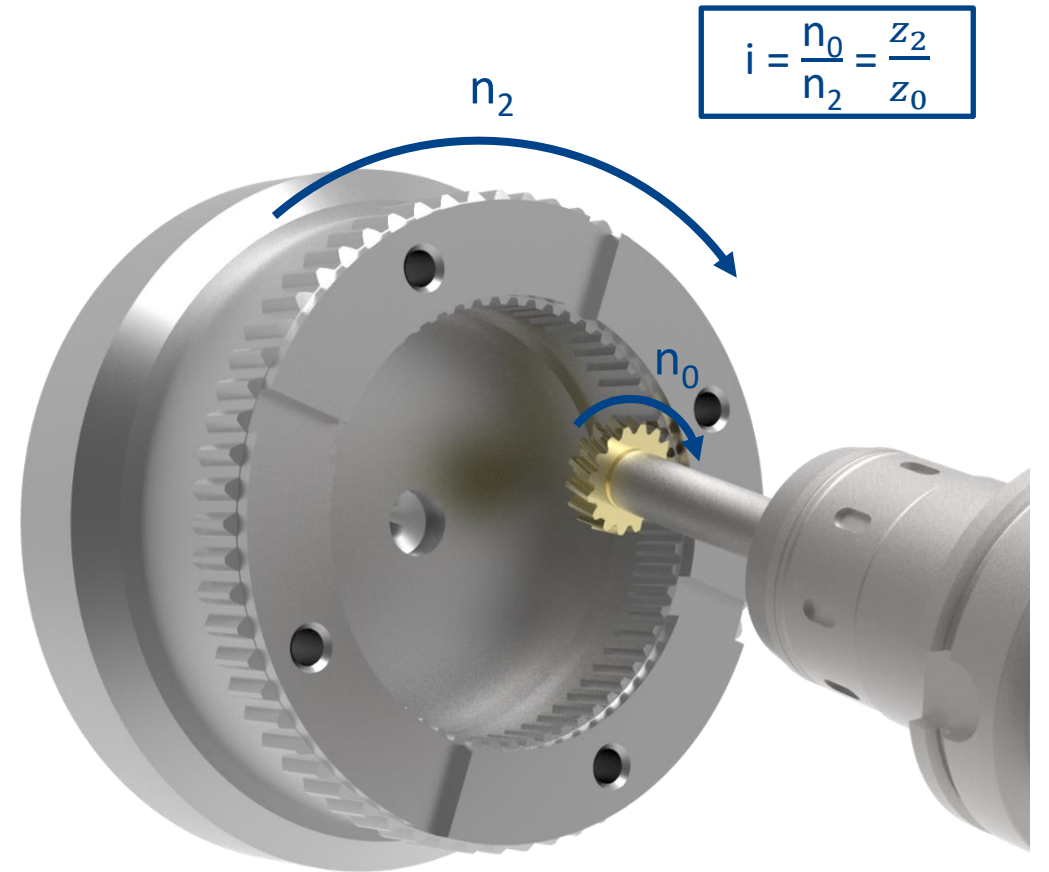
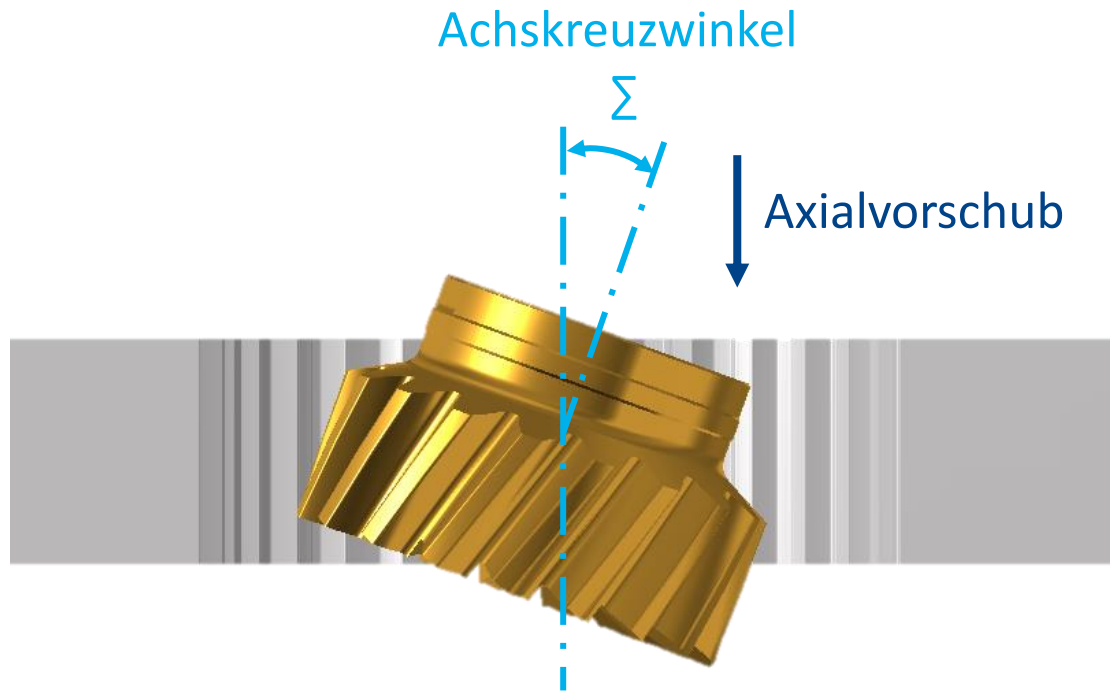
_ Gerad- und Schrägverzahnungen

_ Kettenrad- und Zahnriemenprofile

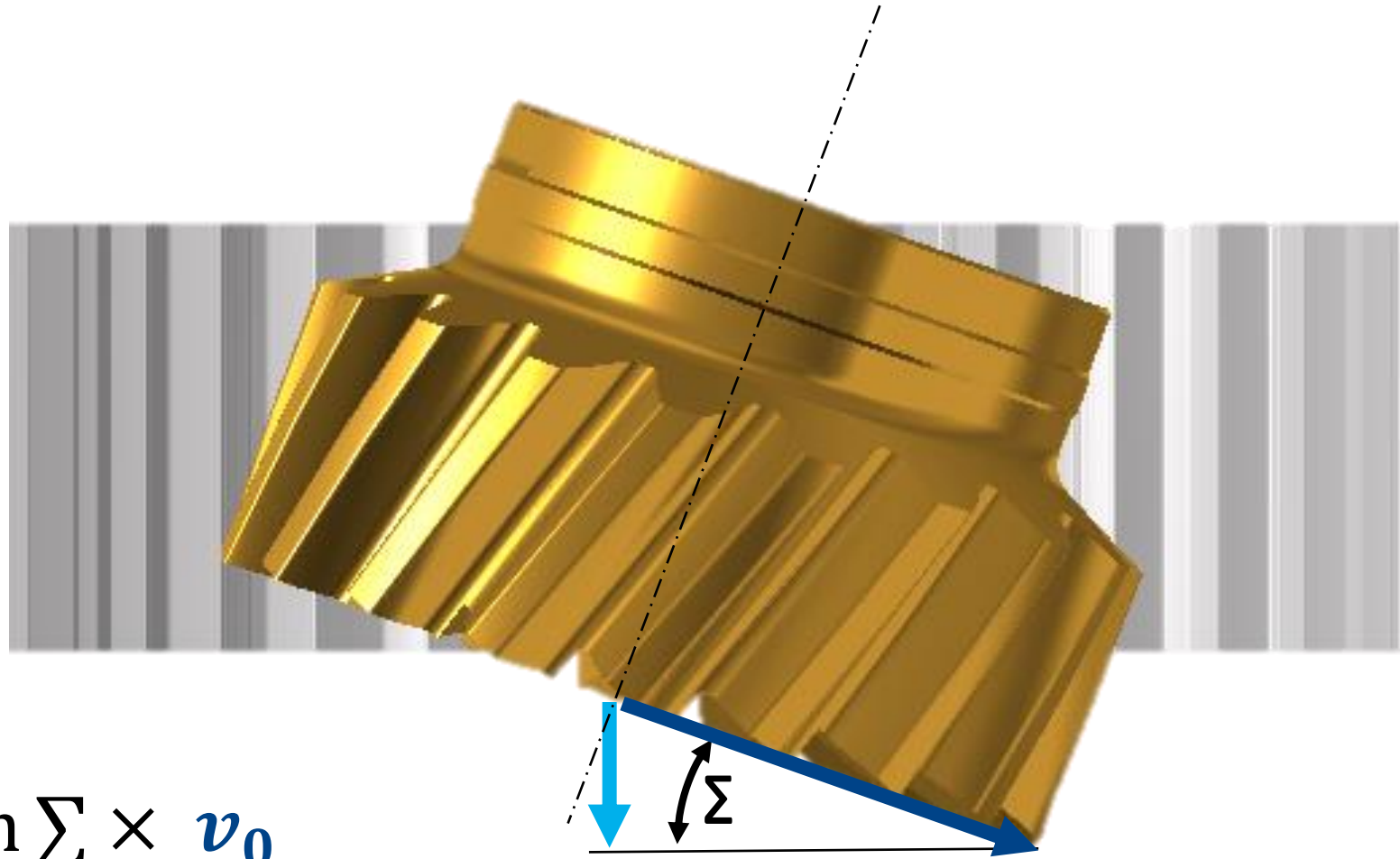
→ „*Alle Profile die aufeinander abgewälzt werden können*“



PROZESSKINEMATIK



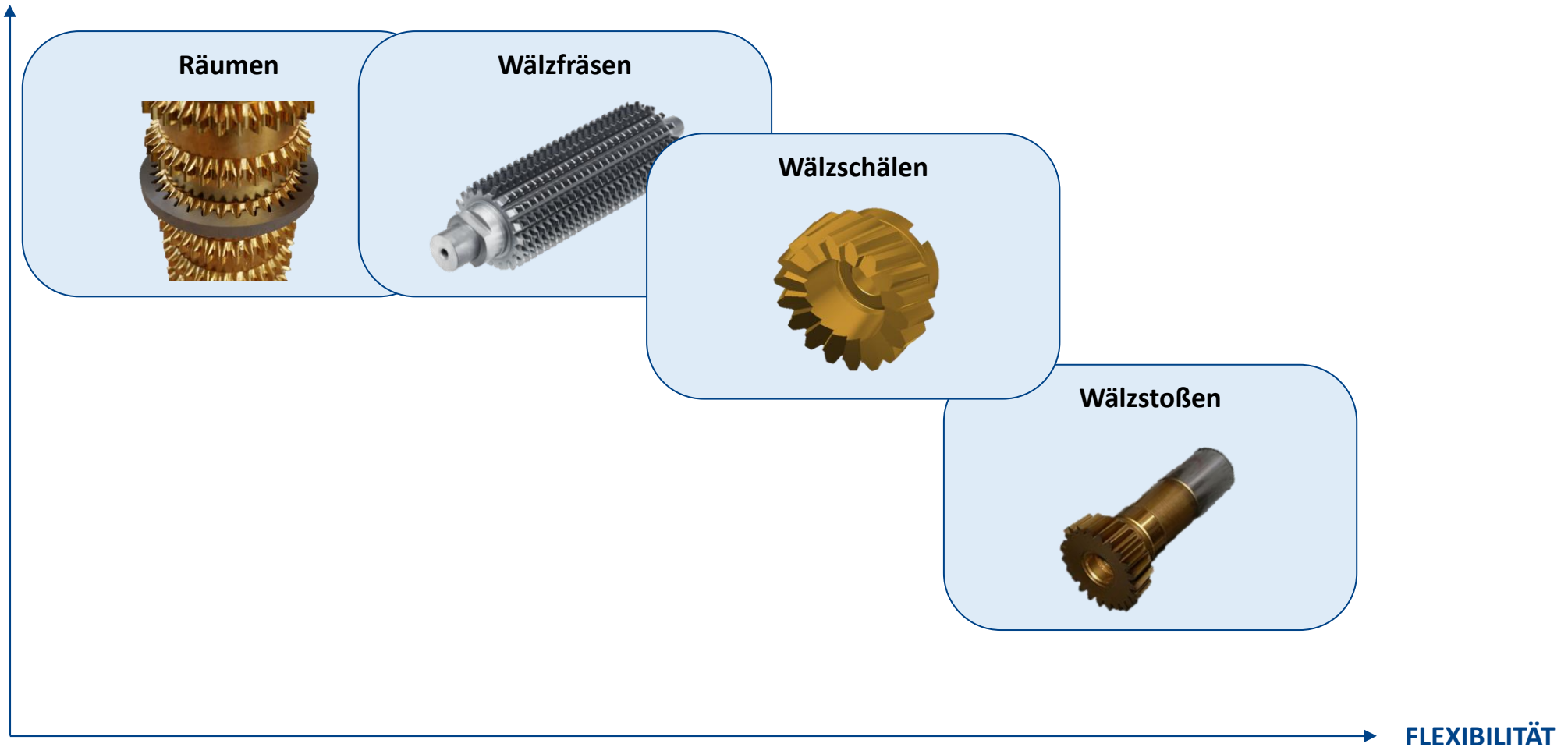
PROZESSKINEMATIK



$$v_c \approx \sin \Sigma \times v_0$$

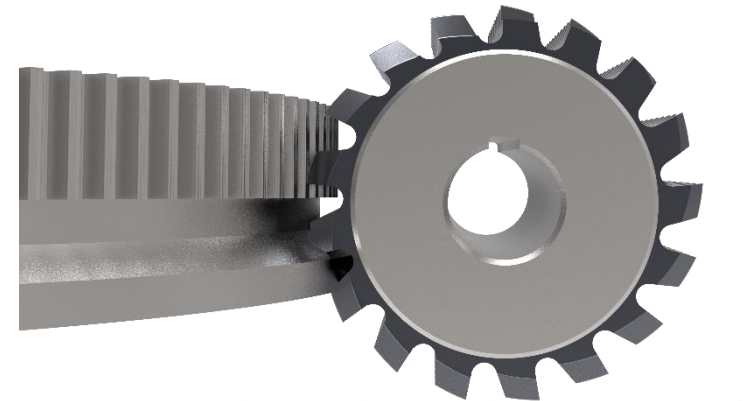
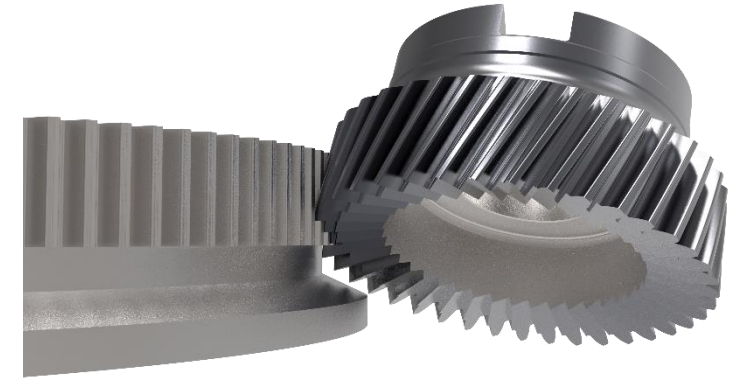
EINORDNUNG VERZÄHNUNGSVERFAHREN

PRODUKTIVITÄT

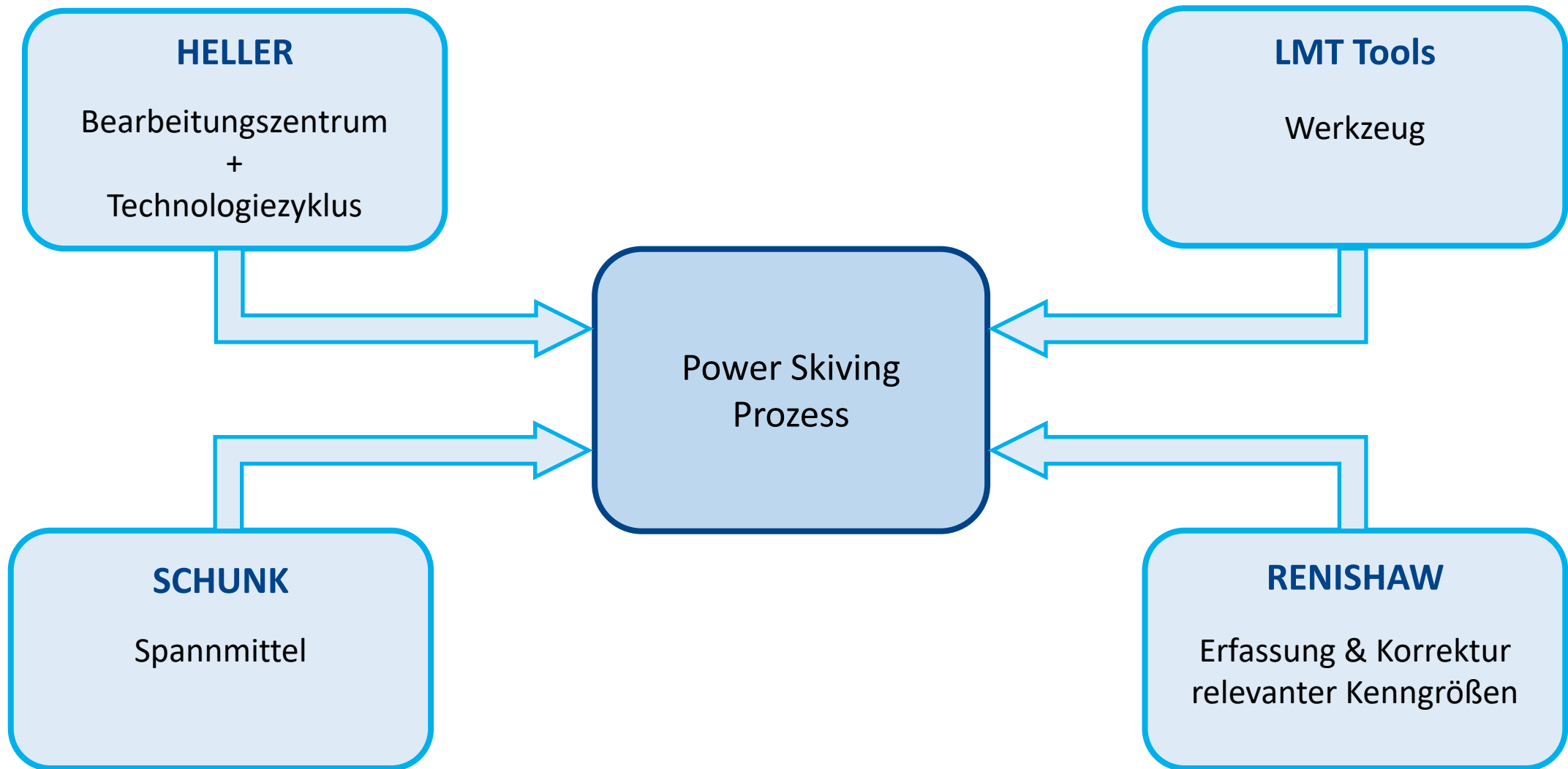


VORTEILE WÄLZSCHÄLEN

- _ Herstellung von Innen- und Außenverzahnungen
- _ Deutlich geringere Störkonturen als Wälzfräsen und v.a. Räumen
- _ Um Faktor 2-3 schneller als Wälzstoßen
- _ Moderate Werkzeugkosten
- _ Keine spezielle Verzahnungsmaschine notwendig
- _ Kombinationsbearbeitung mit Drehen, Fräsen und Verzahnen in einer Aufspannung



POWERSKIVING PROZESS



BEISPIELPROZESS

_Innenverzahnung

_Modul 4

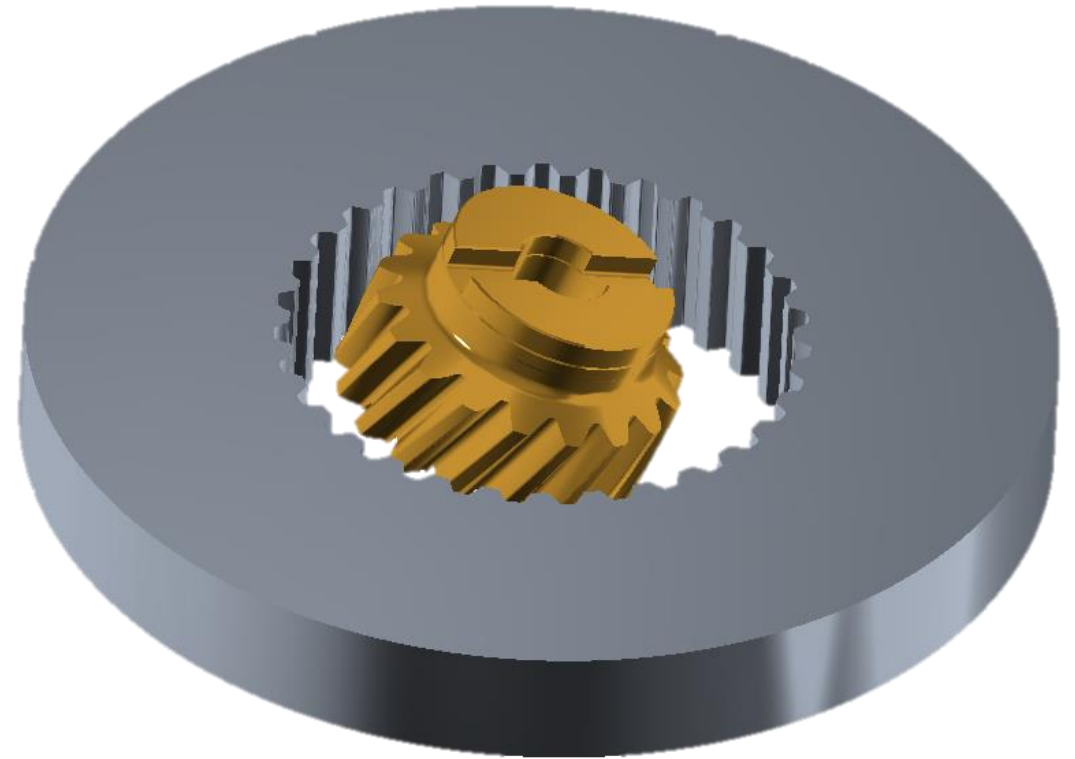
_Steckverzahnung DIN 5480

_Zähnezahl $z = 51$

_Schrägungswinkel $\beta = 0^\circ$

_Kopfkreisdurchmesser $d_a = 202 \text{ mm}$

_Zahnhöhe $h = 4 \text{ mm}$



HELLER HF 5500 MillTurn

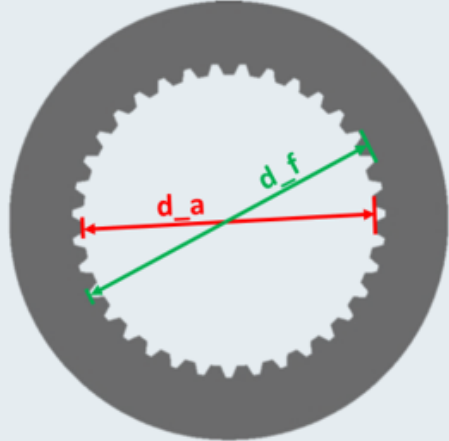
HORIZONTALES 5-ACHS-BEARBEITUNGSZENTRUM

- _ NC-Schwenkrundtisch mit Gegenlager
- _ MillTurn-Option
- _ Arbeitseinheit DC 100 i
 - _ Werkzeugaufnahme HSK-T100
- _ Palettenwechsler
- _ Siemens SINUMERIK 840D sl
- _ Technologiezyklus: Power Skiving



TECHNOLOGIEZYKLUS

CS_SKIVING(042 , Z_1 , d_{a1} , d_{f1} , b , β_1 , rot_1 , Z_0 , β_0 , m , akw , K , rot_0 , pos_0 , S_{in} , S_{out} , ro_{mode} , ro_{var} , $No. cuts$, n_1 , $t_{schlicht}$, n_2 , f_{ax_fin})



| Parameter Zahnrad | | | |
|-------------------|---------|--------|---------|
| Type | IN | b | 40.000 |
| Z | 51 | beta | 0.000 ° |
| d_a | 202.000 | spiral | RH |
| d_f | 210.000 | rot | 0.000 ° |

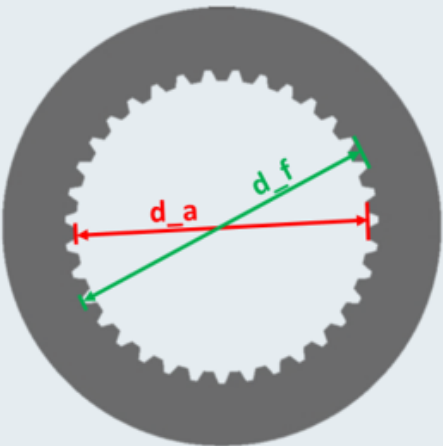
| Parameter Werkzeug | | | |
|--------------------|---------|--------|----|
| Z | 23 | spiral | RH |
| rot | 0.000 ° | | |

| Parameter Prozess | | | |
|-------------------|-----------|---------|-------|
| m | 4.000 | pos_0 | 0.000 |
| akw | 20.0000 ° | s_in | 5.000 |
| K | 20.0000 ° | s_out | 5.000 |
| safe_pos | 1 | ro_mode | - |
| addcut | 0 | ro_var | |

| Schnittparameter | | | |
|------------------|-------------|-----------|-------|
| Schruppen | | Schichten | |
| No. cuts | 10 | t | 0.000 |
| n | 668.0 1/min | | |
| label | IVZ_M4 | | |

EINGABEMASKEN

1. Prozessparameter



| Parameter Zahnrad | | | |
|-------------------|---------|--------|---------|
| Type | IN | b | 40.000 |
| Z | 51 | beta | 0.000 ° |
| d_a | 202.000 | spiral | RH |
| d_f | 210.000 | rot | 0.000 ° |

| Parameter Werkzeug | | | |
|--------------------|---------|--------|----|
| Z | 23 | spiral | RH |
| rot | 0.000 ° | | |

| Parameter Prozess | | | |
|-------------------|-----------|---------|-------|
| m | 4.000 | pos_0 | 0.000 |
| akw | 20.0000 ° | s_in | 5.000 |
| K | 20.0000 ° | s_out | 5.000 |
| safepos | 1 | ro_mode | - |
| addcut | 0 | ro_var | |

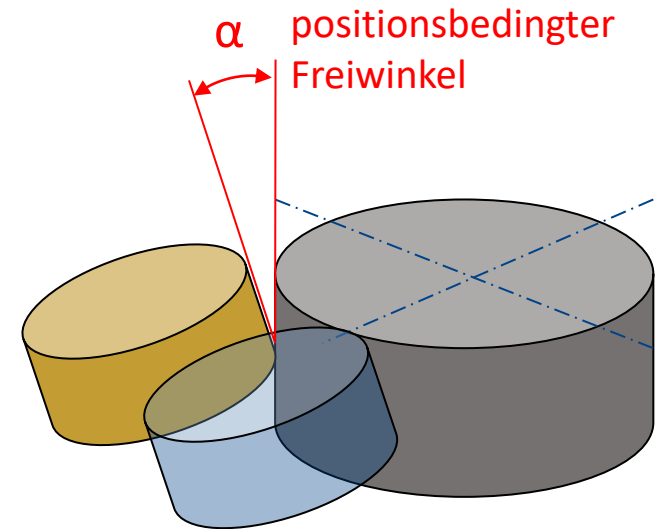
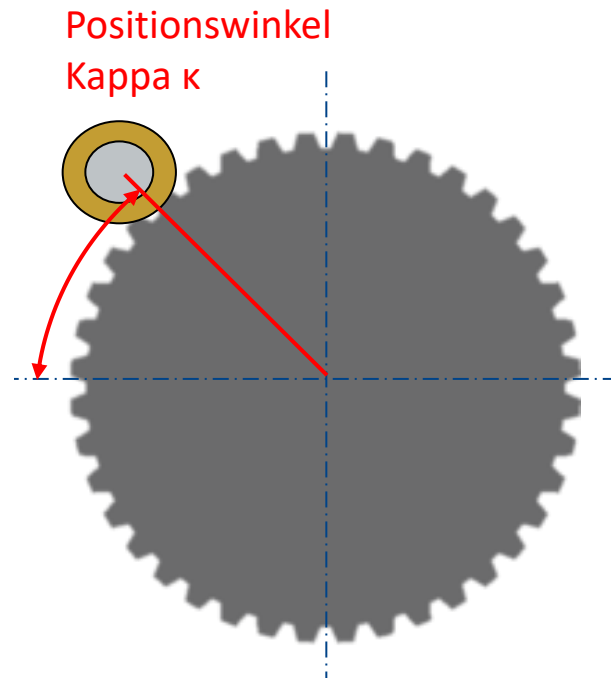
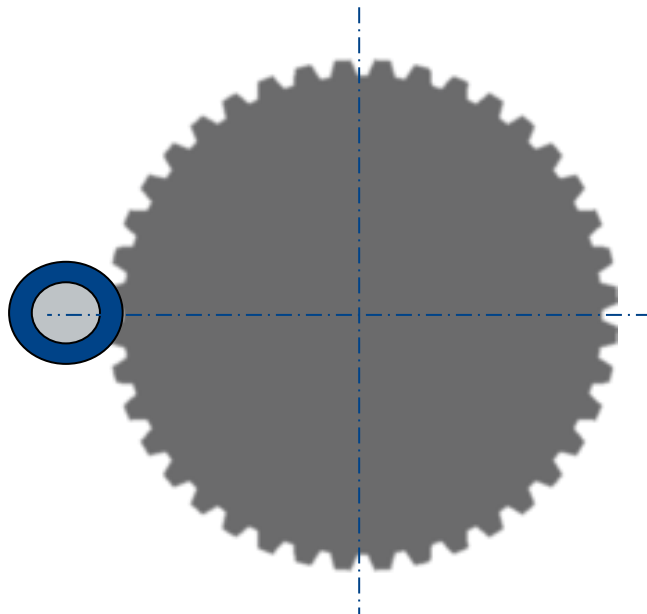
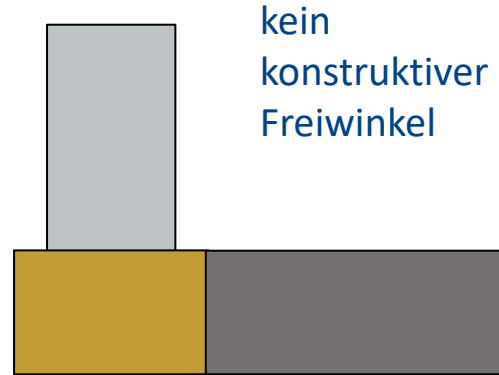
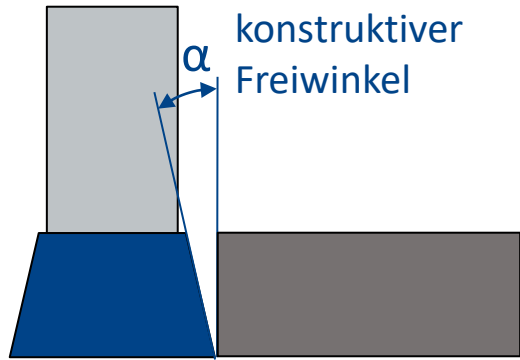
| Schnittparameter | | | |
|------------------|-------------|-----------|-------|
| Schruppen | | Schichten | |
| No. cuts | 10 | t | 0.000 |
| n | 668.0 1/min | | |
| label | IVZ_M4 | | |

2. Schnittdefinition

| label | | IVZ_M2 | | No | | 20 | |
|-------|-------|--------|----------|-----|-------|-------|----------|
| | t | F_ax | ° Offset | | t | F_ax | ° Offset |
| 1. | 0.600 | 0.300 | 0.000 | 11. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2. | 0.400 | 0.300 | 0.000 | 12. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3. | 0.300 | 0.300 | 0.000 | 13. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 4. | 0.200 | 0.300 | -0.300 | 14. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5. | 0.200 | 0.000 | 0.300 | 15. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 6. | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 16. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 7. | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 17. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8. | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 18. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 9. | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 19. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 10. | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 20. | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| total | | 1.700 | | | | | |

POSITIONSWINKEL KAPPA

KONISCHE UND ZYLINDRISCHE WERKZEUGE

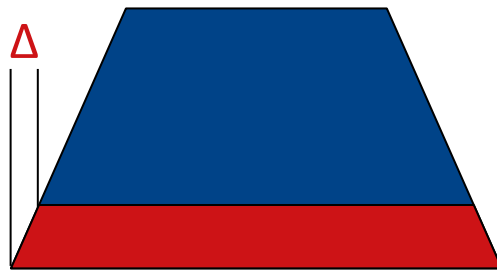


VERGLEICH WERKZEUGE

KONISCH VS. ZYLINDRISCH

Konische Werkzeuge

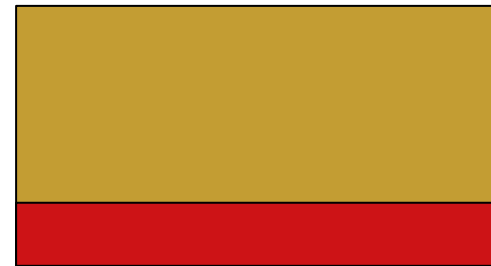
- _ Vergleichsweise einfache Positionierung
 - _ Nur wenige Nachschleifdurchgänge
 - _ Geringe Profilkonstanz nach dem Nachschleifen
- Prozesskorrekturen immer notwendig



nachgeschliffenes
Profil

Zylindrische Werkzeuge

- _ Komplexere Positionierung mit Kappa-Winkel
 - _ Deutlich mehr Nachschleifdurchgänge
 - _ Unbegrenzte Profilkonstanz nach dem Nachschleifen
- keine Prozesskorrekturen notwendig



EINSTELLBLATT

| | | |
|---------------|-------------------------|-------------|
| Einstellpara. | Achsabstand [mm] | 50,535536 |
| | Achskreuzwinkel [°] | -25 |
| | Spanflächenversatz [mm] | siehe Kappa |
| | Kappa [°] | 20 |

| | | |
|---------|-----------------|-----------|
| Hauptz. | Hauptzeit [min] | 10,283333 |
| | Hauptzeit [sek] | 617 |

| Schnittparameter | Schnitt | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| rel. Schnitttiefe [mm] | 1,045 | 0,85 | 0,75 | 0,66 | 0,57 |
| Koordinate X [mm] | 41,941616 | 42,740355 | 43,445125 | 44,065322 | 44,600946 |
| Koordinate Y [mm] | 18,265278 | 18,555995 | 18,81251 | 19,038243 | 19,233195 |
| Koordinate Z [mm] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Axialvorschub [mm/WSU] | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,35 | 0,38 |
| Werkzeugdrehzahl [WkzU/min] | 668 | 668 | 668 | 668 | 668 |
| Einlaufweg [mm] | 0,659 | -1,256 | -2,603 | -3,627 | -4,423 |
| Überlaufweg [mm] | 6,761 | 6,761 | 6,761 | 6,761 | 6,761 |



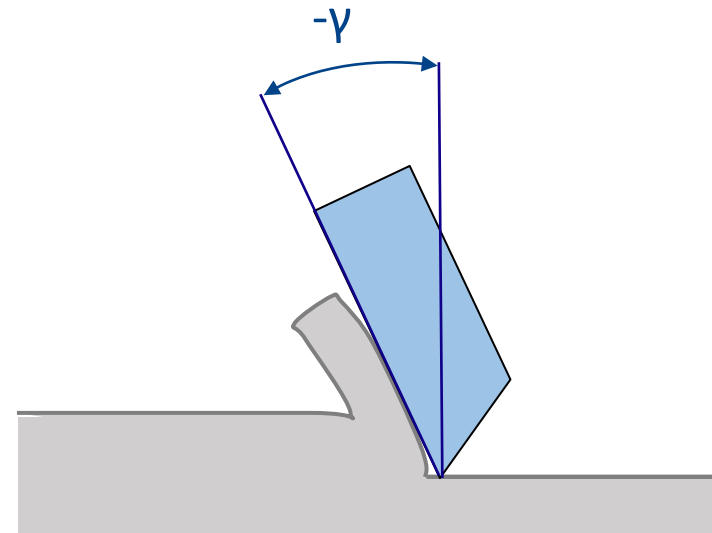
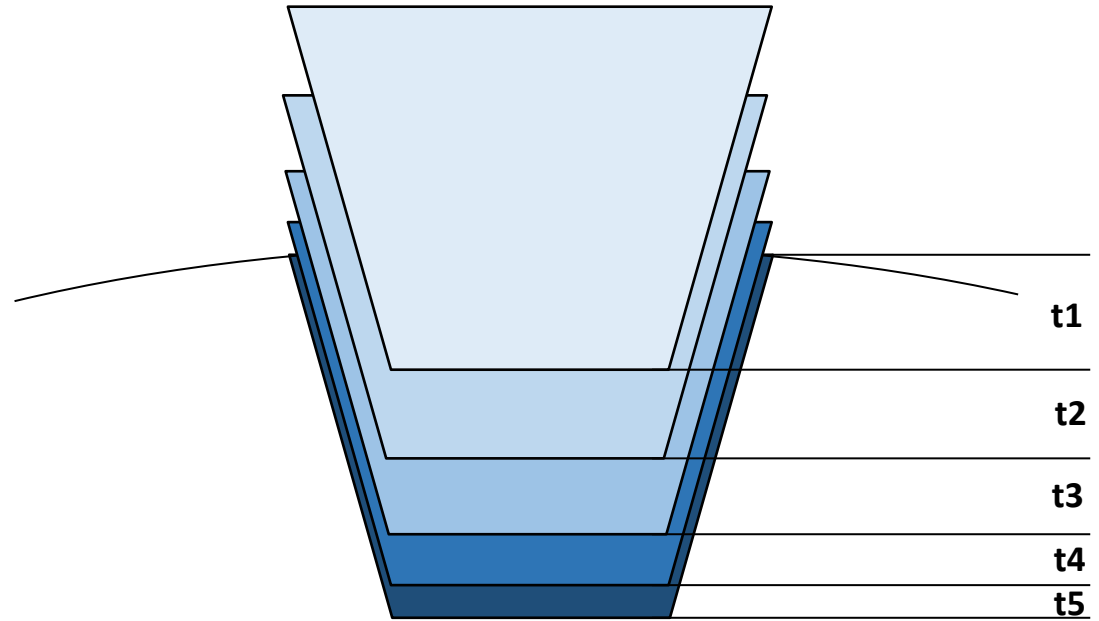
Zustelltiefen und
Axialvorschübe
variieren



| Schnittparameter | Schnitt | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| rel. Schnitttiefe [mm] | 0,49 | 0,45 | 0,4 | 0,37 | 0,34 |
| Koordinate X [mm] | 45,061396 | 45,484258 | 45,860135 | 46,207821 | 46,527316 |
| Koordinate Y [mm] | 19,400785 | 19,554694 | 19,691502 | 19,818049 | 19,934336 |
| Koordinate Z [mm] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Axialvorschub [mm/WSU] | 0,41 | 0,44 | 0,46 | 0,48 | 0,49 |
| Werkzeugdrehzahl [WkzU/min] | 668 | 668 | 668 | 668 | 668 |
| Einlaufweg [mm] | -5,055 | -5,6 | -6,058 | -6,464 | -6,822 |
| Überlaufweg [mm] | 6,761 | 6,761 | 6,761 | 6,761 | 6,761 |

SCHNITTAUFTEILUNG

- _Zustelltiefe in der Regel nicht konstant, sondern degressiv
- _Zunehmende Schneidenumschlingung bei tieferer Zustellung
- _Zu große Zustellung führt zu stark negativen Spanwinkeln
→ möglicher Schneidenbruch ab kritischem Wert

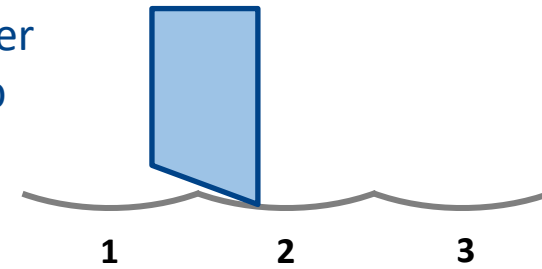


AXIALVORSCHUB

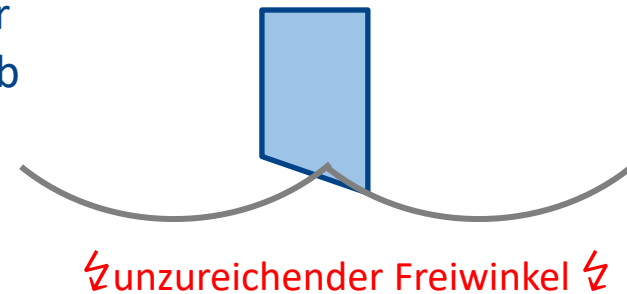
_ Freiwinkelverletzungen bei zu hohen Axialvorschüben

_ Fehlende Produktivität und ein „drückender“ Schnitt bei zu niedrigen Vorschüben

geeigneter Vorschub



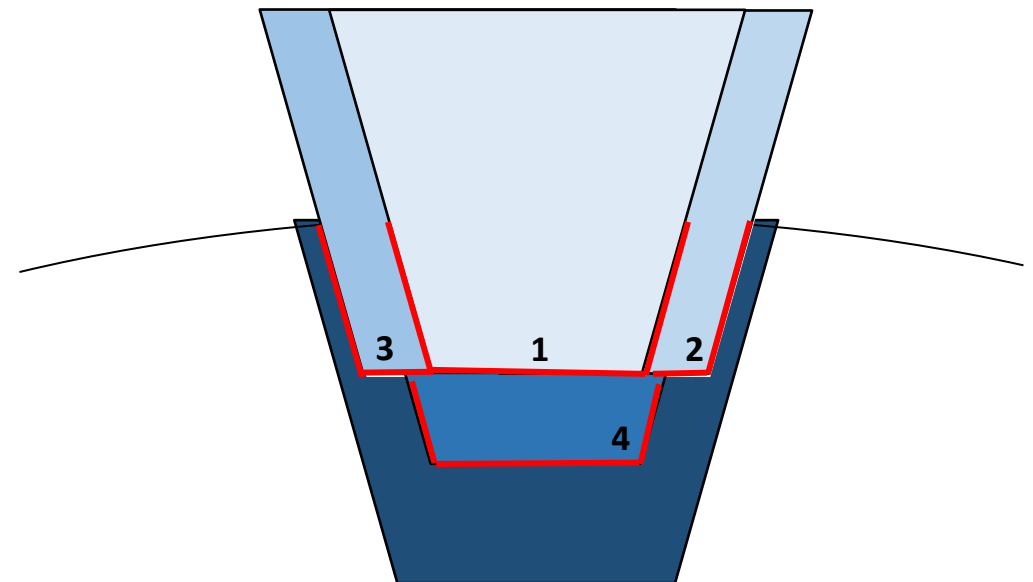
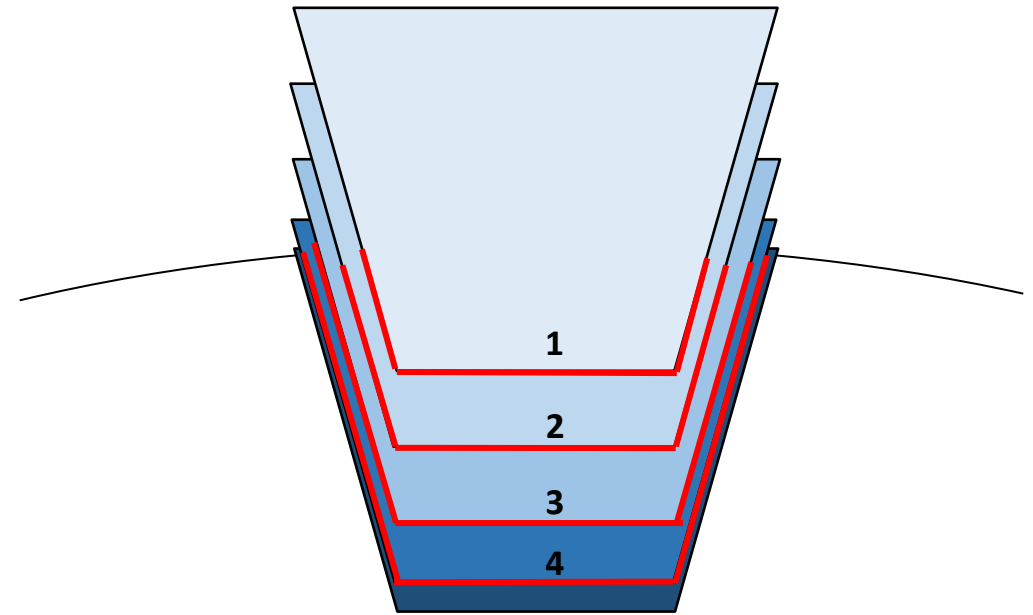
zu hoher Vorschub



SCHNITTAUFTEILUNG

PENDELND

- _ Über den Winkeloffset wird der Koppelwinkel verändert
 - _ Anpassung der Schnittposition in der Zahnücke
 - _ Reduzierung der Schneidenumschlingung
 - _ Vermeidung Mehrflankenspan
 - _ Erhöhung der Spandicke an den Zahnflanken (Mindestspandicke)
 - _ Bessere Korrekturmöglichkeiten (z.B. Zweikugelmaß)
- Vibrationsanfällige und großmodulige Bauteile



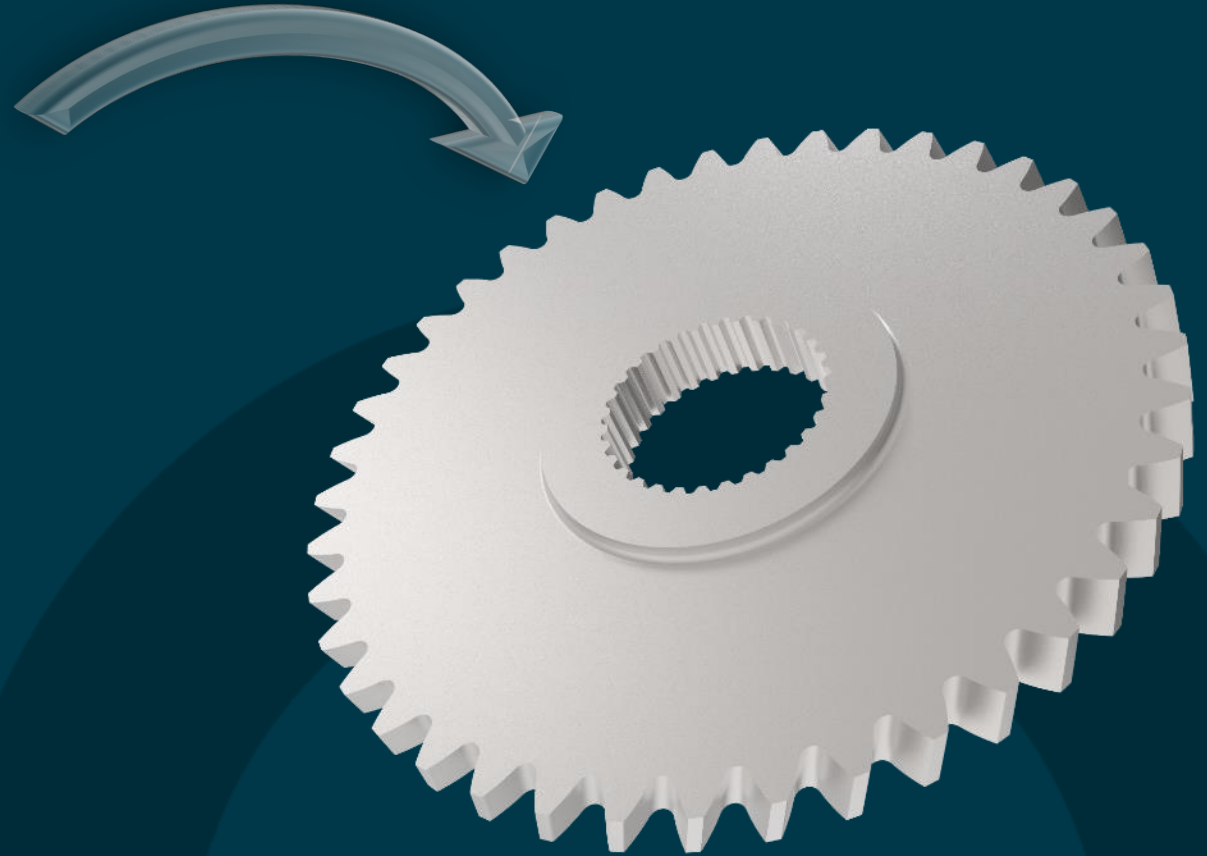
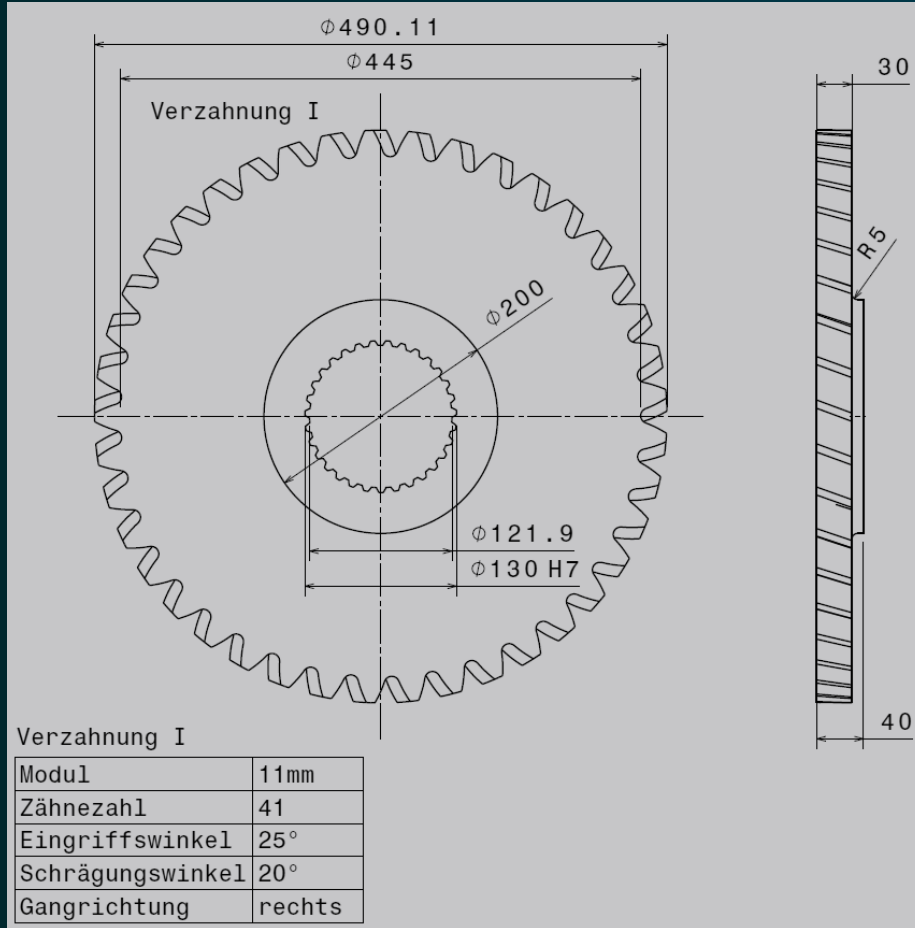
Gear Skiving Tools

Simulation schafft Sicherheit

Michel Meyer
18.07.2023

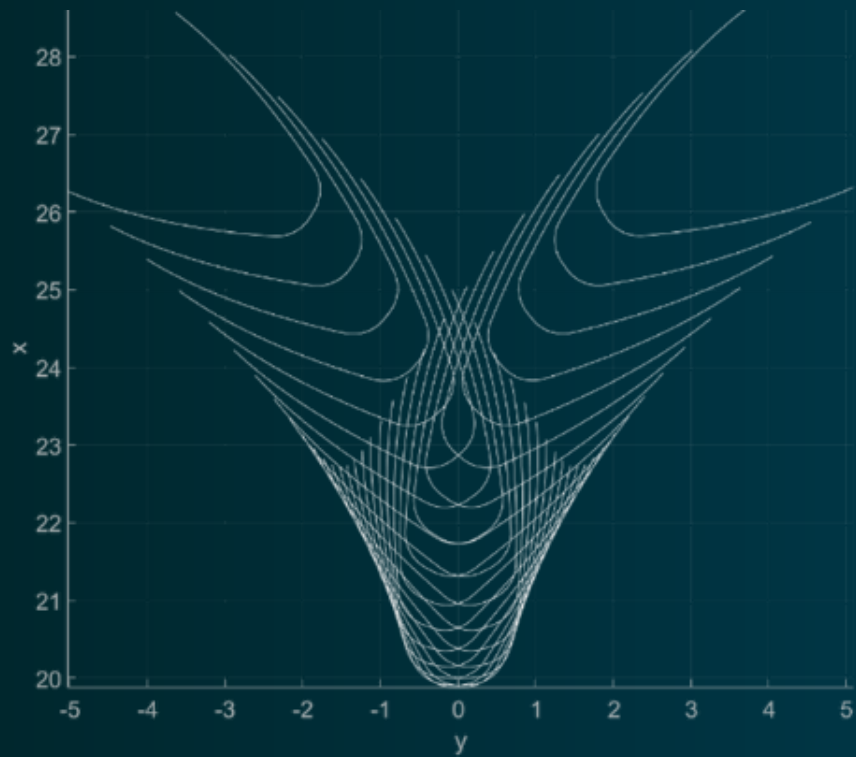


Von der Zeichnung zum Zahnrad – Wir begleiten Sie!



Profilbestimmung Wälzschalen

Wälzstellungen Wälzschalen



Warum simulieren ?

*„Besser 31 oder doch 53?“
„Egal Hauptsache eine Primzahl“*

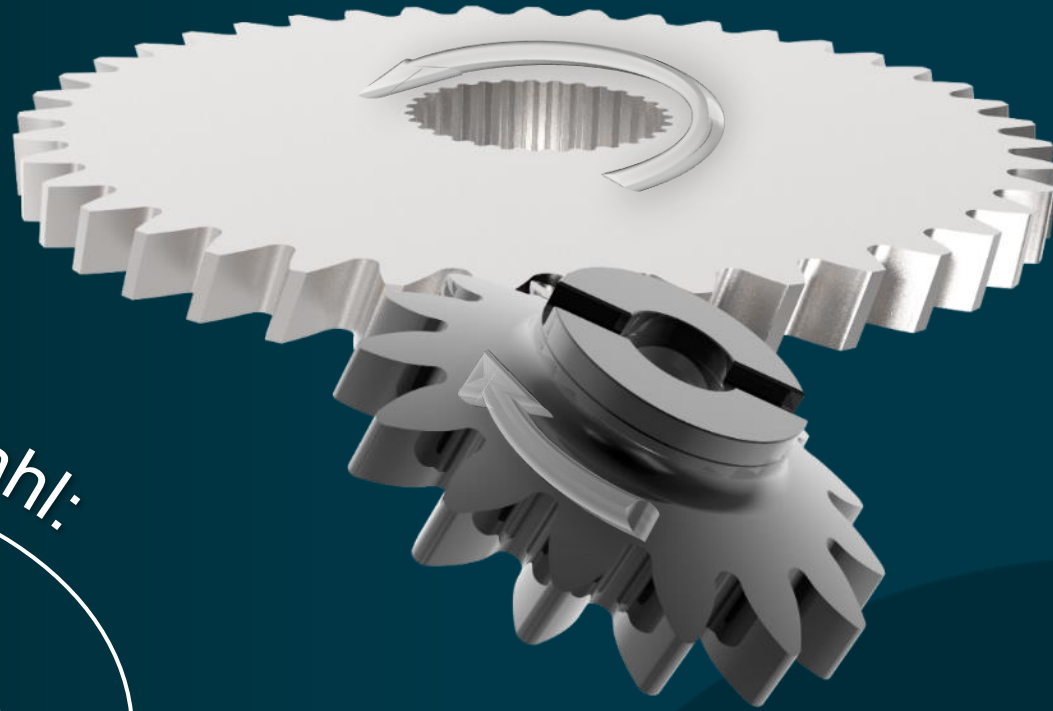
*„Beim Werkzeugfreiwinkel orientiert
man sich einfach am Stoßen“*

Welche Zähnezahl ist die Richtige?

Welche Winkel sind am Werkzeug vorzusehen?

Wie soll das Werkzeug eingesetzt werden?

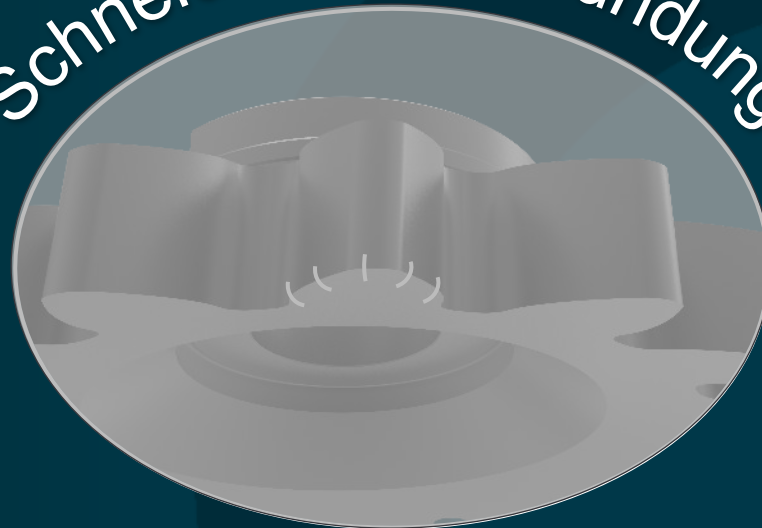
*„10-15 lineare Zustellungen und dann funktioniert das immer“
„Lieber drei Zustellungen und ganz wenig Vorschub“*



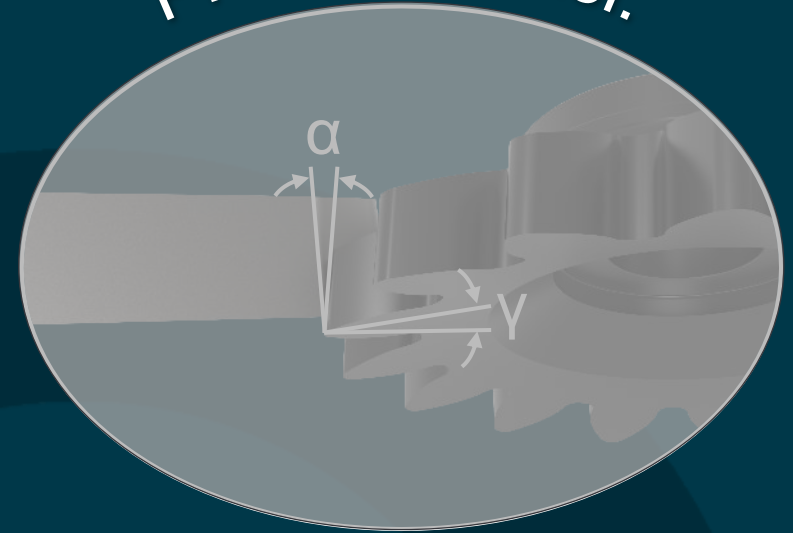
Werkzeugzähnezahl:



Schneidkantenverrundung

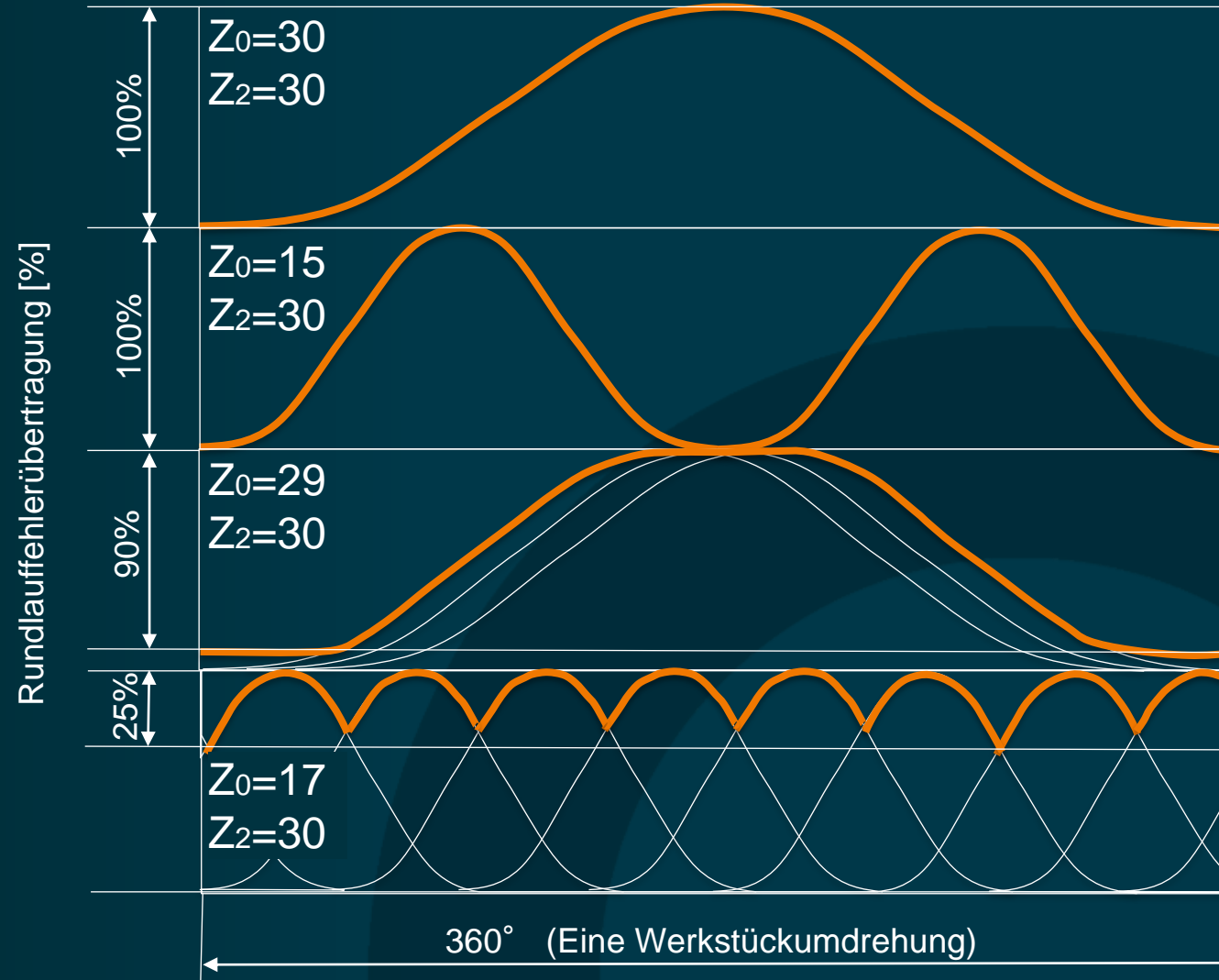


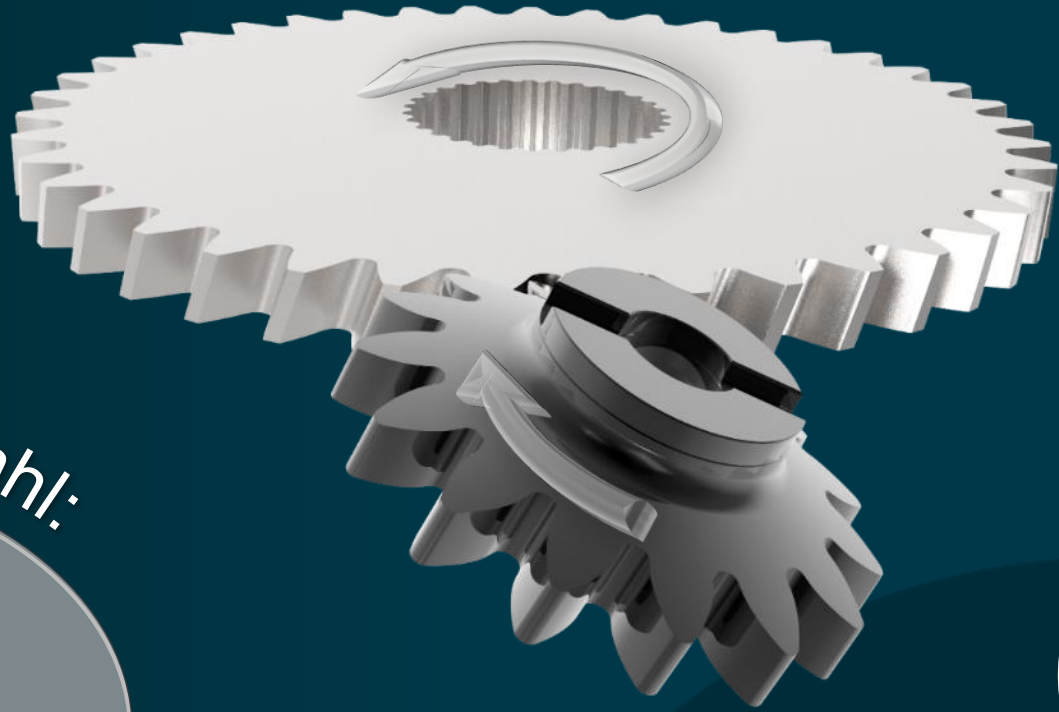
Prozesswinkel:



Werkzeugzähnezahl – Rundlauffehlerübertragung in Abhängigkeit der Zähnezahl

Zähnezahl:
Werkzeug: Z_0
Werkstück: Z_2

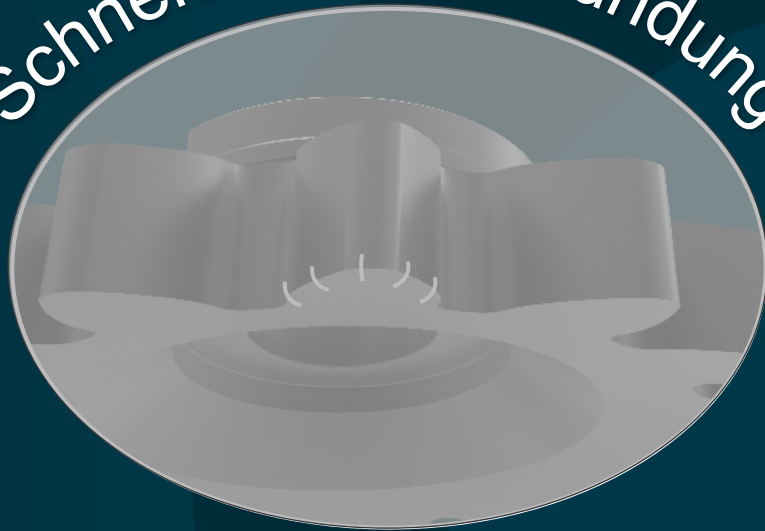




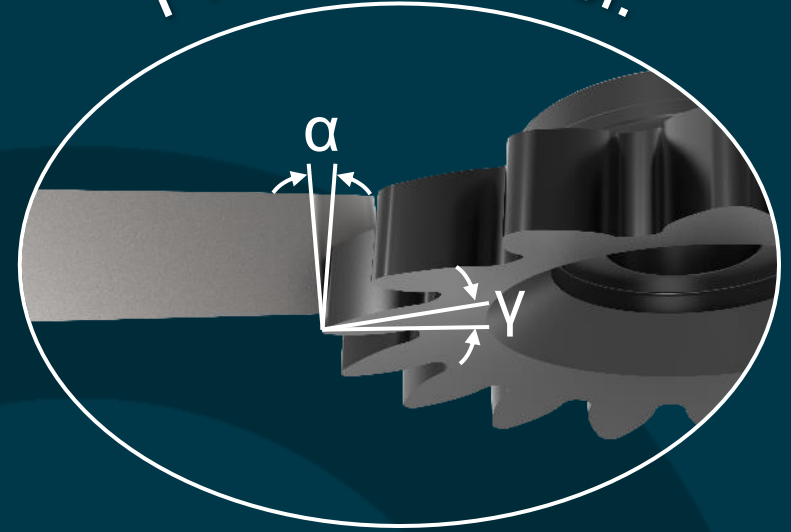
Werkzeugzähnezahl:



Schneidkantenverrundung

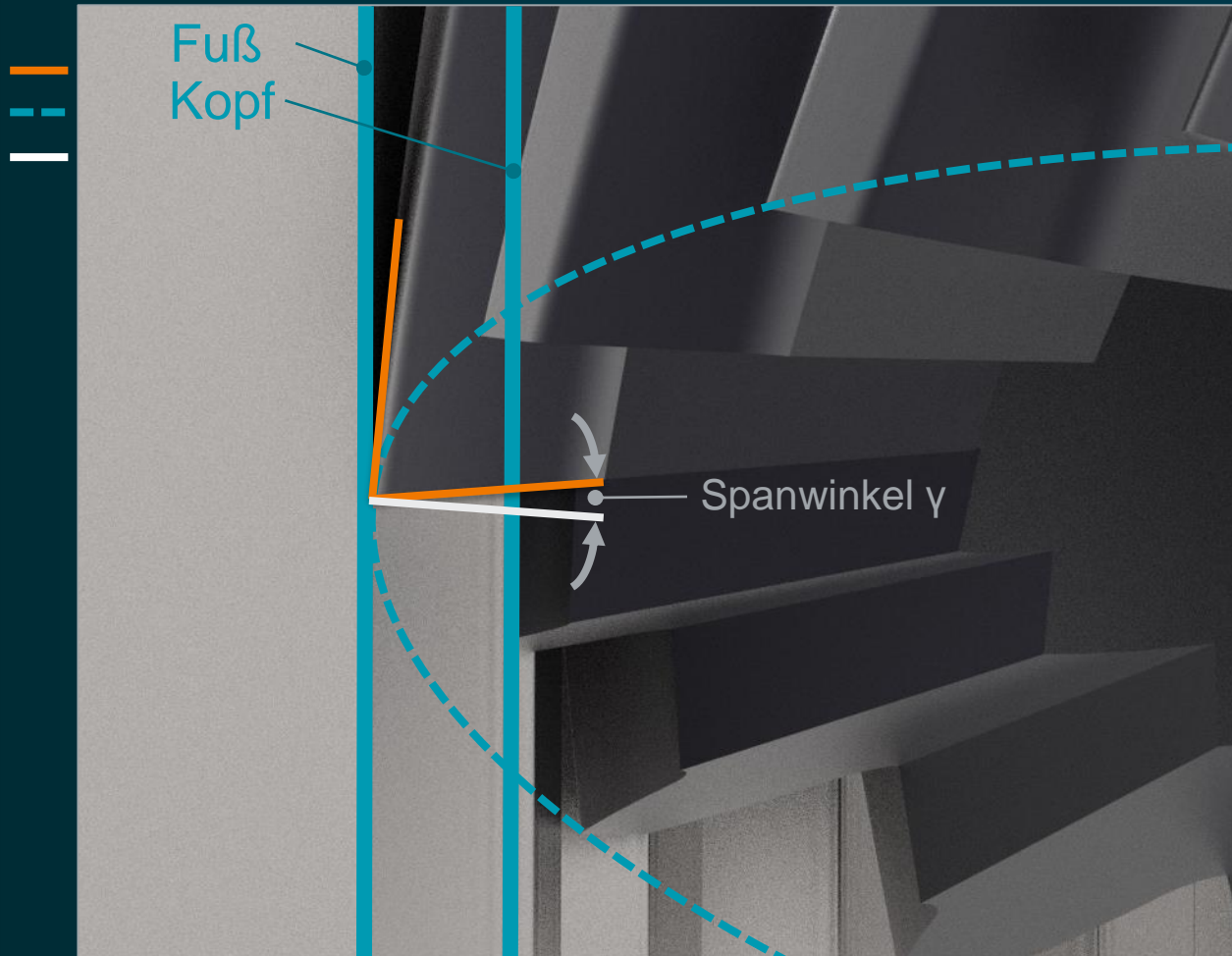


Prozesswinkel:



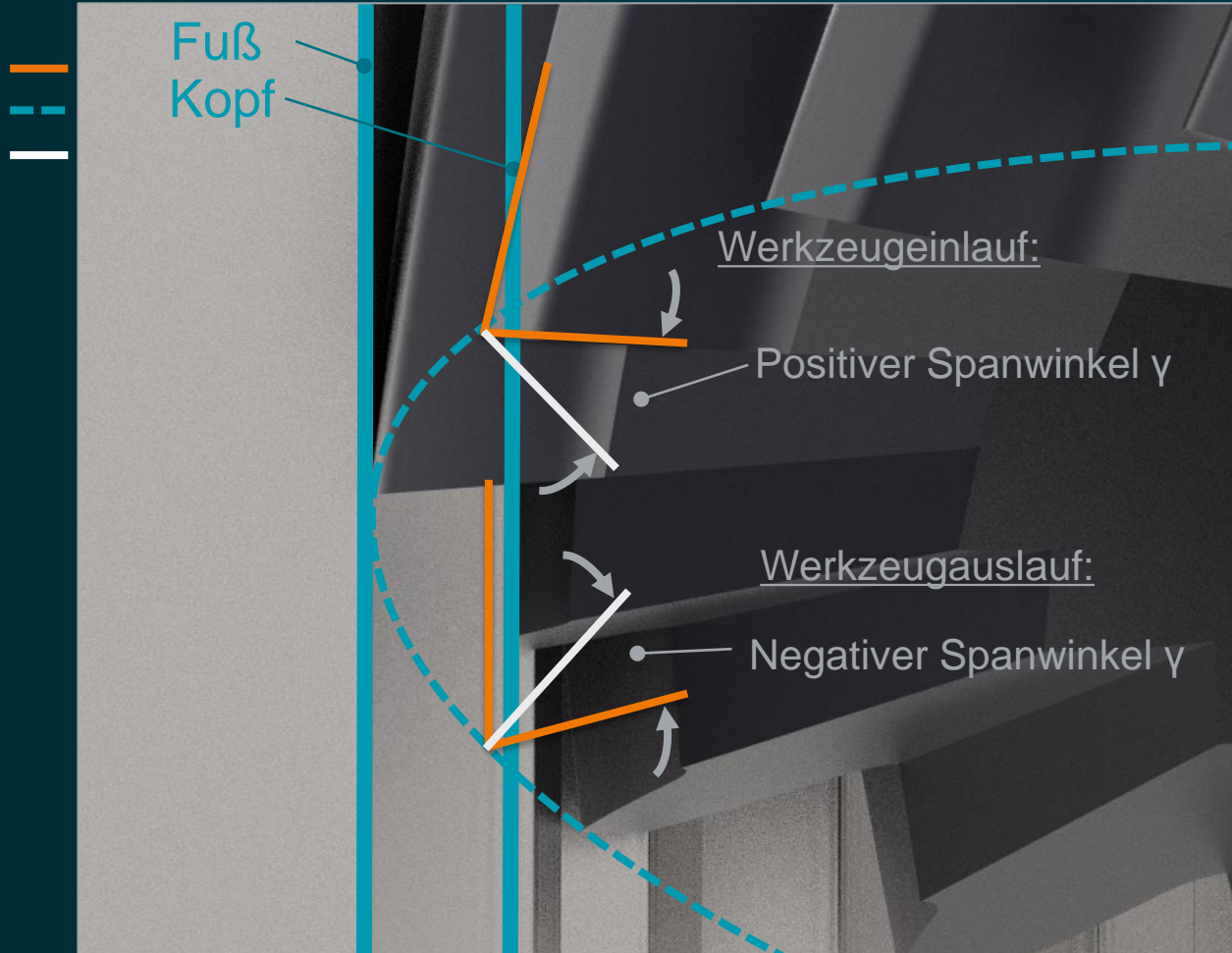
Prozesswinkel – effektiver Spanwinkel im Vollschnitt

Schneidkeil
Kopfpunktbahn
Normale zur
Kopfpunktbahn

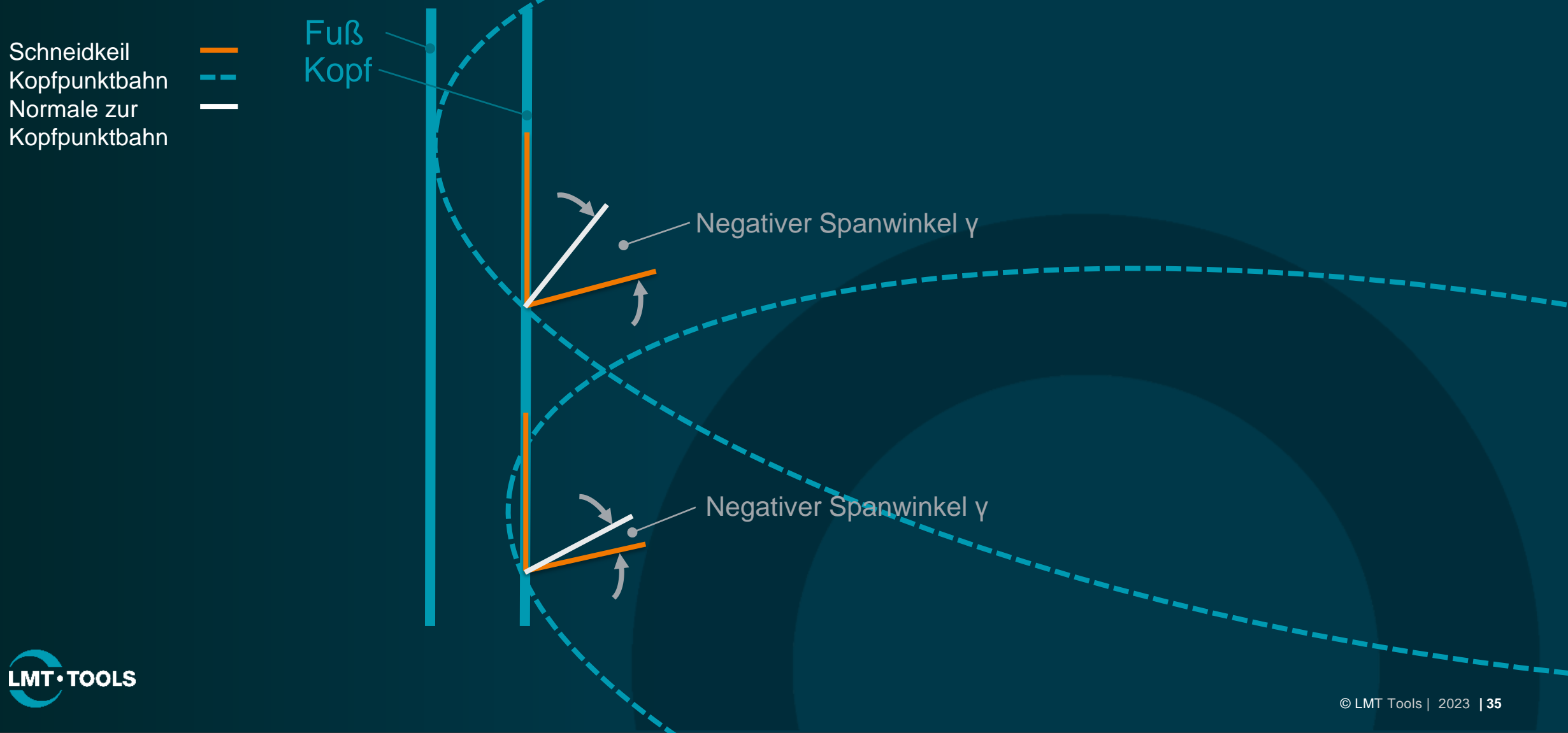


Prozesswinkel – effektiver Spanwinkel im Vollschnitt

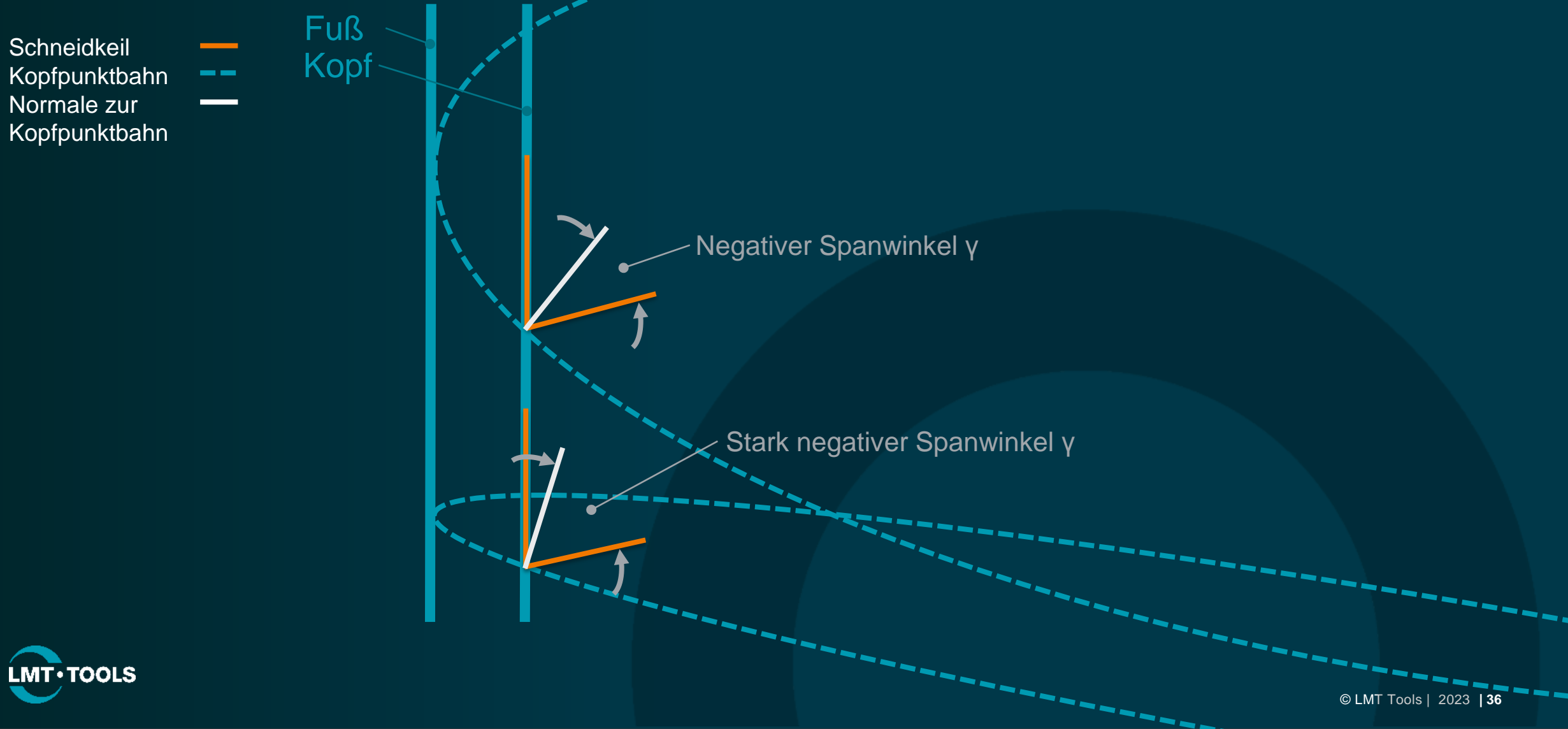
Schneidkeil
Kopfpunktbahn
Normale zur
Kopfpunktbahn



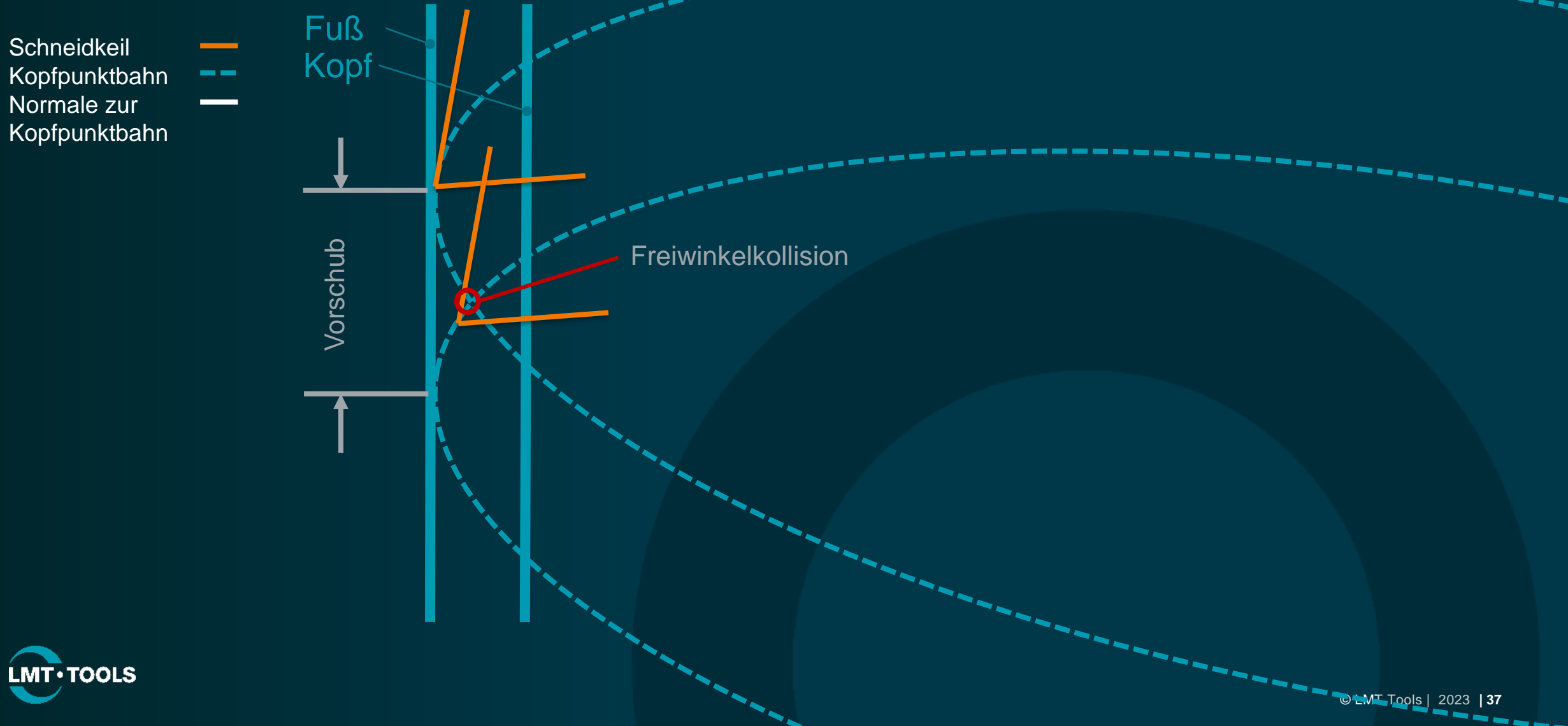
Prozesswinkel – Einfluss Zustellung



Prozesswinkel – Einfluss des Achskreuzwinkels auf den effektiven Spanwinkel

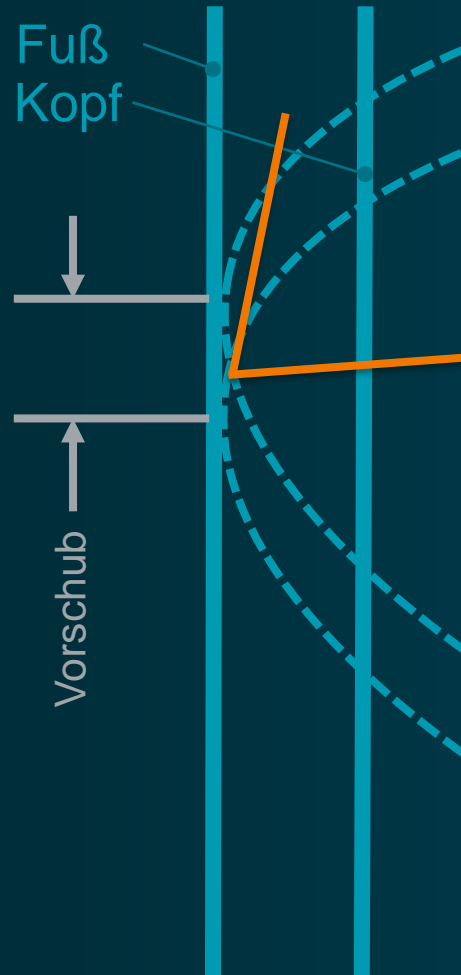


Prozesswinkel – Einfluss des Vorschubes auf den effektiven Freiwinkel

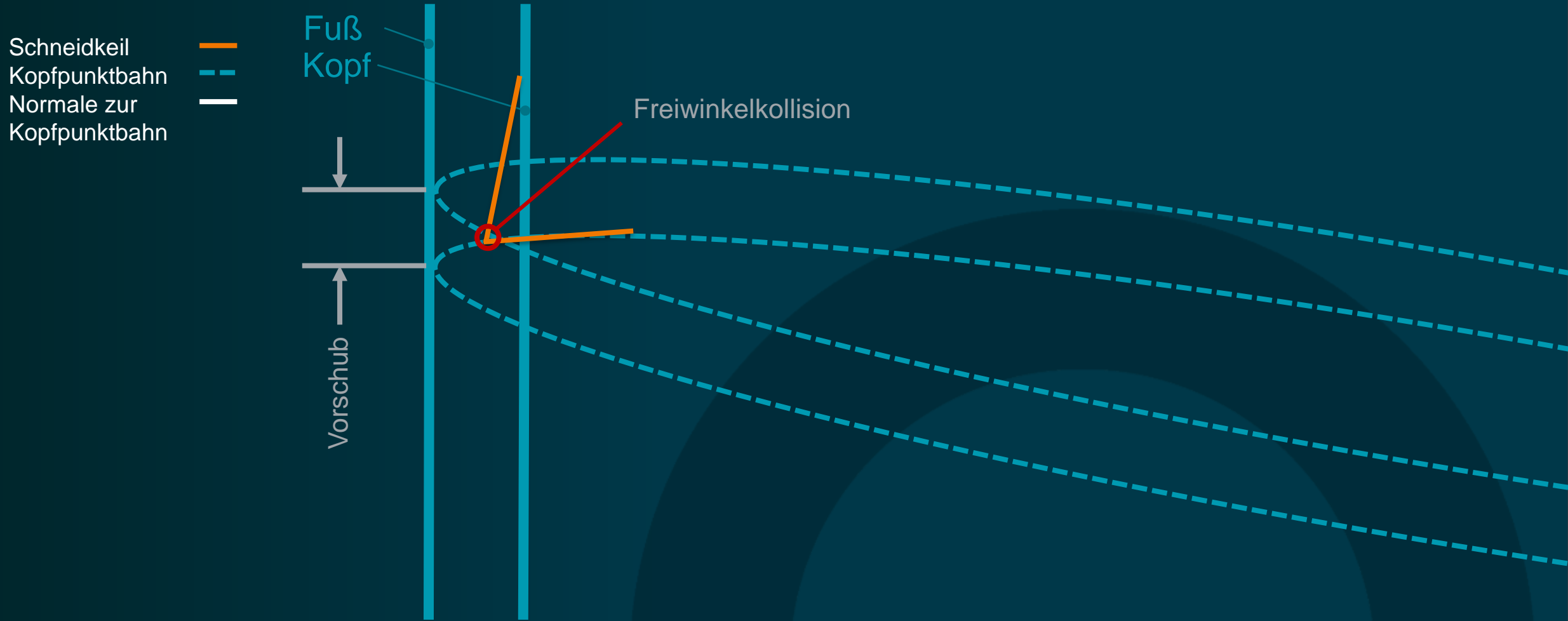


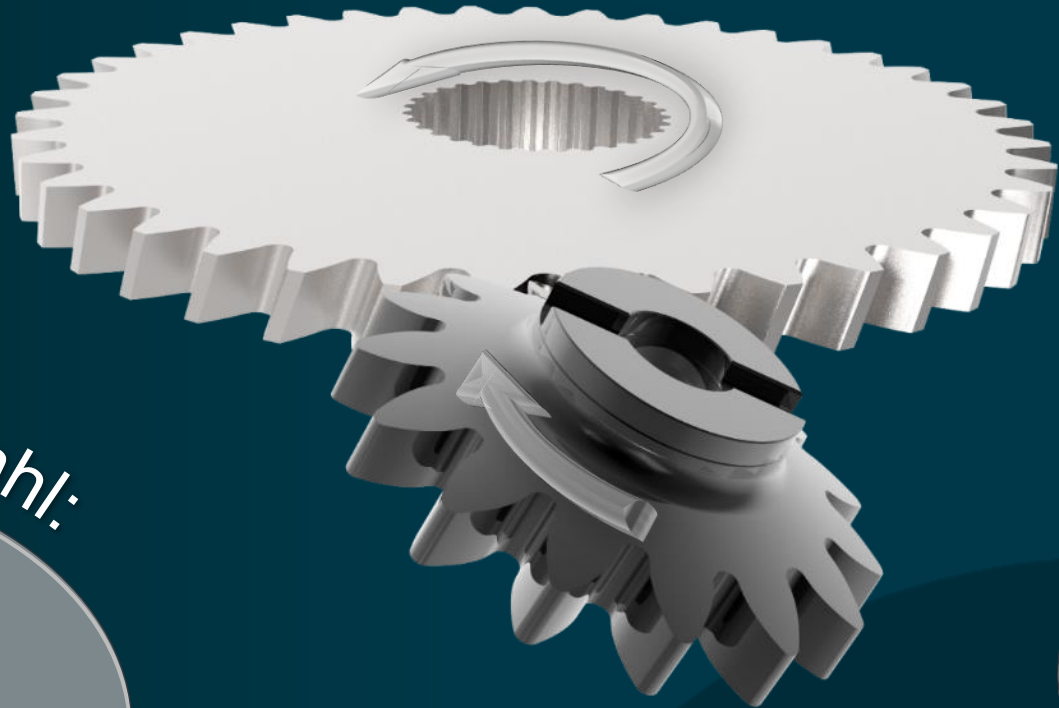
Prozesswinkel – Einfluss einer Vorschubreduktion auf den effektiven Freiwinkel

Schneidkeil
Kopfpunktbahn
Normale zur
Kopfpunktbahn



Prozesswinkel – Einfluss des Achskreuzwinkels auf den effektiven Freiwinkel

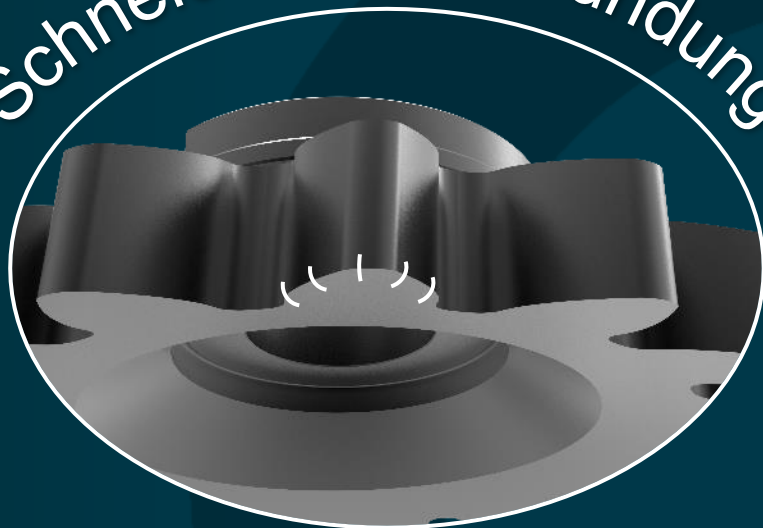




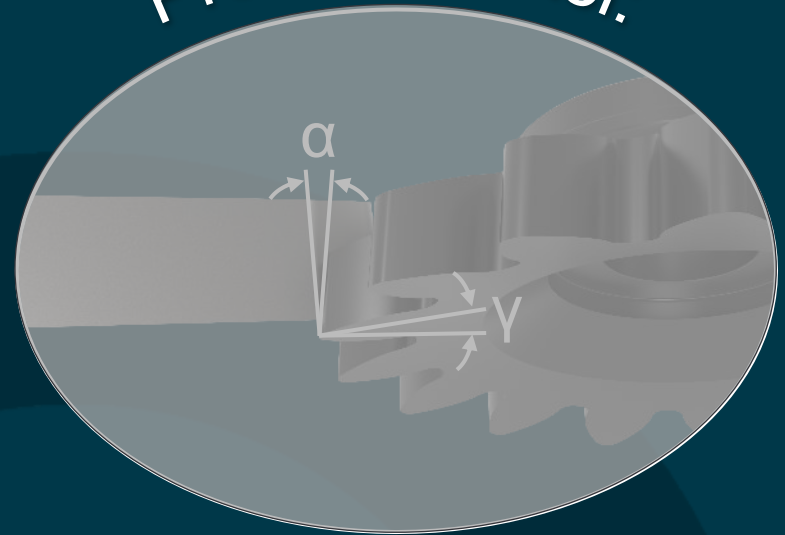
Werkzeugzähnezahl:



Schneidkantenverrundung



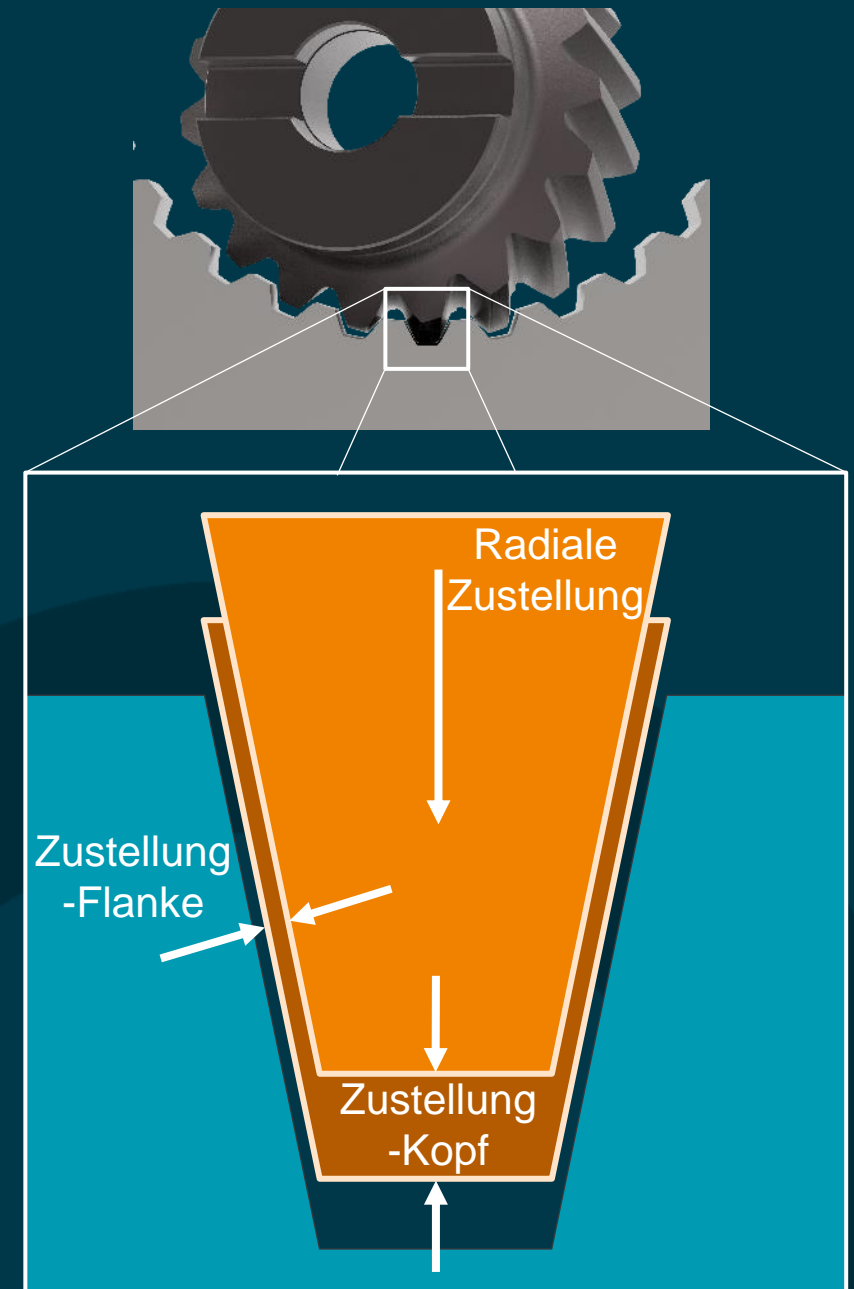
Prozesswinkel:



Schneidkantenverrundung – Richtige Wahl der SKV

- Dünne Späne in der Flanke
- Kenntnis über Spandicken durch 3D Simulation
- Schneidkantenverrundung muss auf den Prozess zugeschnitten sein
- Herstellung der Schneidkantenverrundung um möglichst homogene SKV herzustellen ist maßgeblich für die Werkzeugstandzeit
- Eigenes Herstellungsverfahren entwickelt → Standzeitsteigerung um 50%

Zustellung Kopf >> Zustellung Flanke
Kritische Spandicke in den Flanken ↴



Konfliktpotenzial Wälzschälen

Kollisionsgefahr → Achskreuzwinkel klein → effektiver Span- & Freiwinkel klein

Vorschub klein → effektiver Freiwinkel groß → Spandicken klein → Gefahr von drückenden Prozessen

Vorschub groß → effektiver Freiwinkel klein → Gefahr von Freiflächenkollision → Prozessvibrationen

Viele Radialzustellungen → gute effektive Spanwinkel → sehr dünne Flankenspäne → reiben statt schneiden

Wenig Radialzustellungen → schlechte effektive Spanwinkel → Starker Werkzeugverschleiß → Prozessvibrationen

Zerspankraft bei gleicher Kopfspandicke inhomogen → ungleichmäßige Belastung in den Schnitten

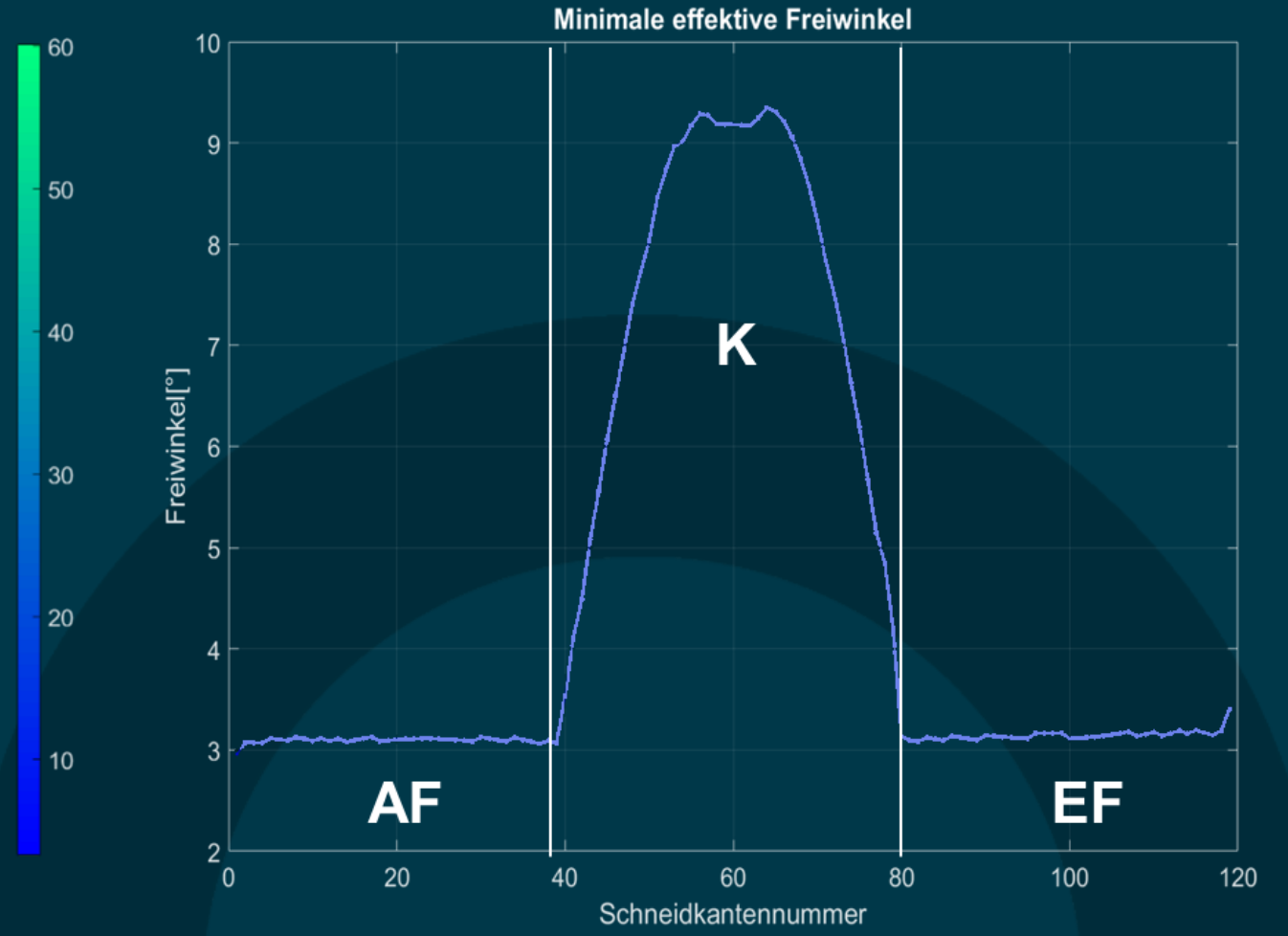
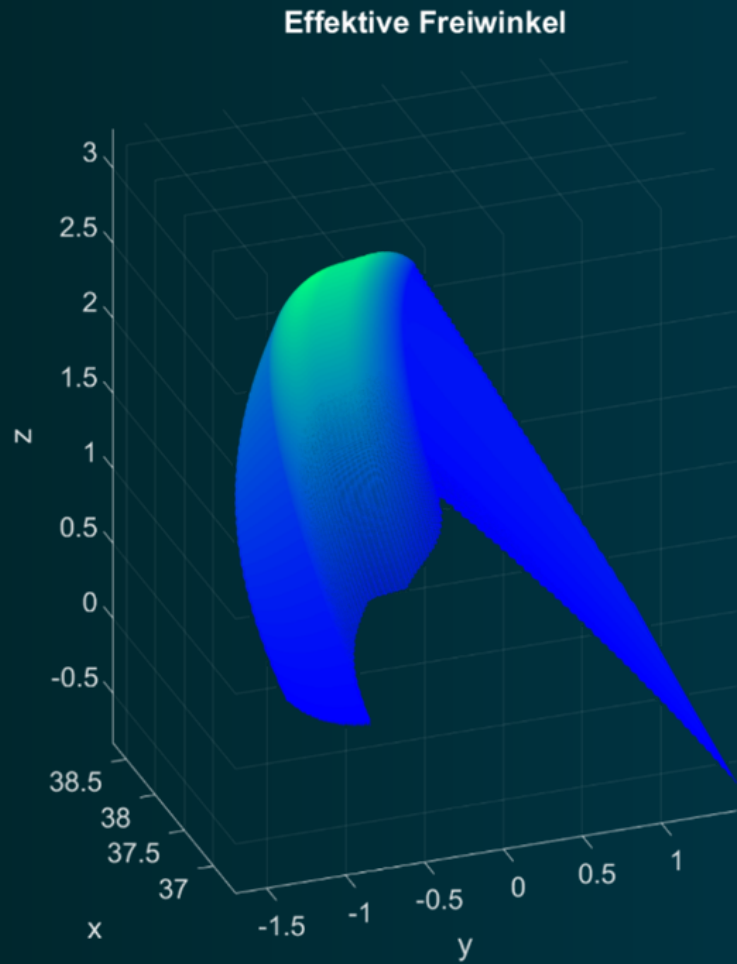


**Simulation schafft
Sicherheit**

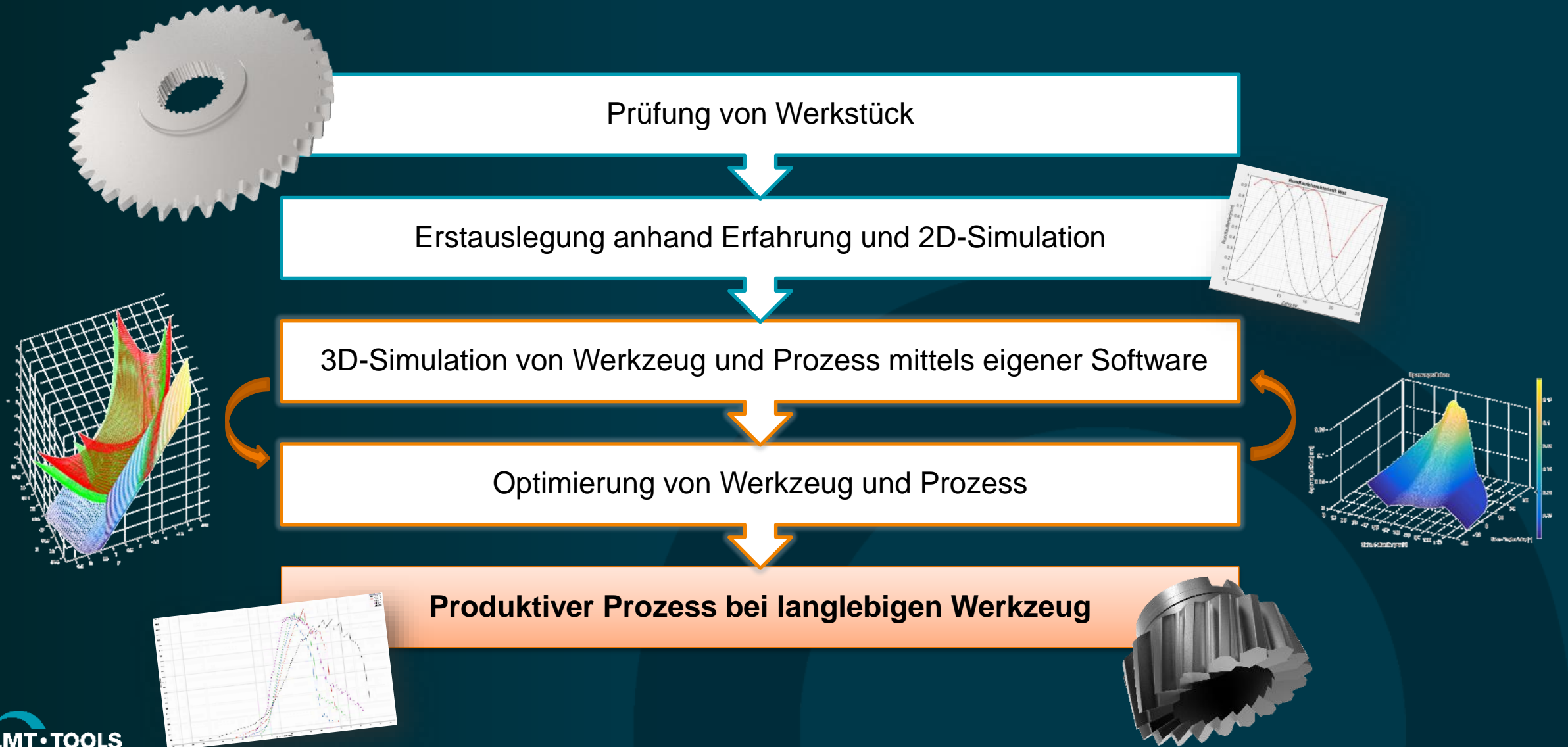


Ideales Werkzeug mit bestmöglichem Prozess

Warum 3D – Simulation?



Konstruktionsprozess bei LMT Fette



Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Wälzschälprozess

Einstellblatt LMT • F

GEARSKIVING III

| | | | |
|----------------------------|--------|----------------------------|-----------------------|
| Kunde | Heller | LMT Ansprechpartner | Michel Meyer |
| Kundenzeichnung-Nr. | | E-Mail | meyer@lmt-geraete.com |
| Kundenwerkzeug-Nr. | | Materialnummer | 7435553 |

| | | | |
|-------------------------------|--------|---------------------------------|------------------|
| Werkstoff | 5235JR | Werkstoff / Beschichtung | PM14 / ALSP |
| Normalmodul [mm] | 4 | Zahnzahl | 18 |
| Profilwinkel [°] | 30 | Schälungswinkel [°] | 19,481721 |
| Rad-Zahnzahl | 31 | Rad-Ø [mm] | 79,5 |
| Schälungswinkel [°] | 0 | Wälzrollen-Ø [mm] | 81,149984 |
| Stärkenrichtung | links | Fräslächenform | 290dloch |
| Radaußen-Ø [mm] | 122 | Scharfchiffgeometrie | Treppenschiff |
| Verzahnungsbreite [mm] | 40 | Aufnahme | Glockenauführung |

| | | | |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|----------|
| Achsstand fm. Sch. [mm] | 25,303404 | Wälzrollen (Fräsen) [mm] | 1,611667 |
| Achshochverstell [°] | 20 | Staubzeit (Fräsen) [sek] | 95 |
| Stopp [°] | 20 | | |

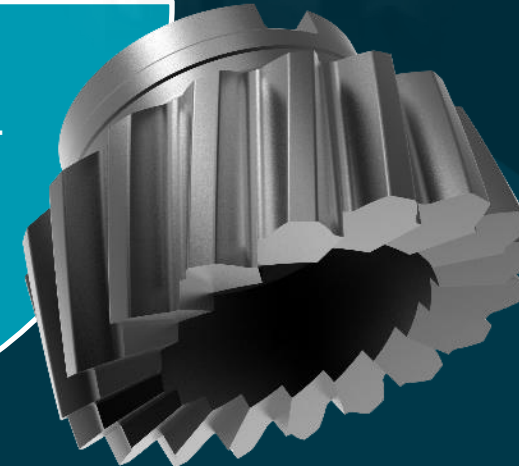
| | Schritt | | | | |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Relative Schnitttiefe [mm] | 0,666667 | 0,666667 | 0,666667 | 0,666667 | 0,666667 |
| Schnitttiefe Gesamt [mm] | 0,666667 | 1,333334 | 2,000001 | 2,666668 | 3,333335 |
| Koordinate 1 [mm] | 20,381538 | 21,008 | 21,634462 | 22,260924 | 22,887386 |
| Koordinate 2 [mm] | -9,923468 | -9,200862 | -8,508775 | -7,793569 | -7,064902 |
| A-Rotation [°] | -23,948911 | -23,634763 | -23,278664 | -23,624488 | -23,527775 |
| Axialvorschub [mm/Wkkt.] | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Wälzrollenschub [mm/min] | 174,193548 | 174,193548 | 174,193548 | 174,193548 | 174,193548 |
| Werkzeugdrehzahl [Wkkt./min] | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Werkstückdrehzahl [Wkkt./min] | 870,967742 | 870,967742 | 870,967742 | 870,967742 | 870,967742 |
| Schälgeschwindigkeit [mm/min] | 116,468225 | 116,468225 | 116,468225 | 116,468225 | 116,468225 |
| Einbaufweg [mm] | 0,444 | -1,092 | -2,136 | -3,067 | -3,869 |
| Staubaufweg [mm] | 4,444 | 4,444 | 4,444 | 4,444 | 4,444 |

Schnitt-
daten

Werkzeug-
maschine

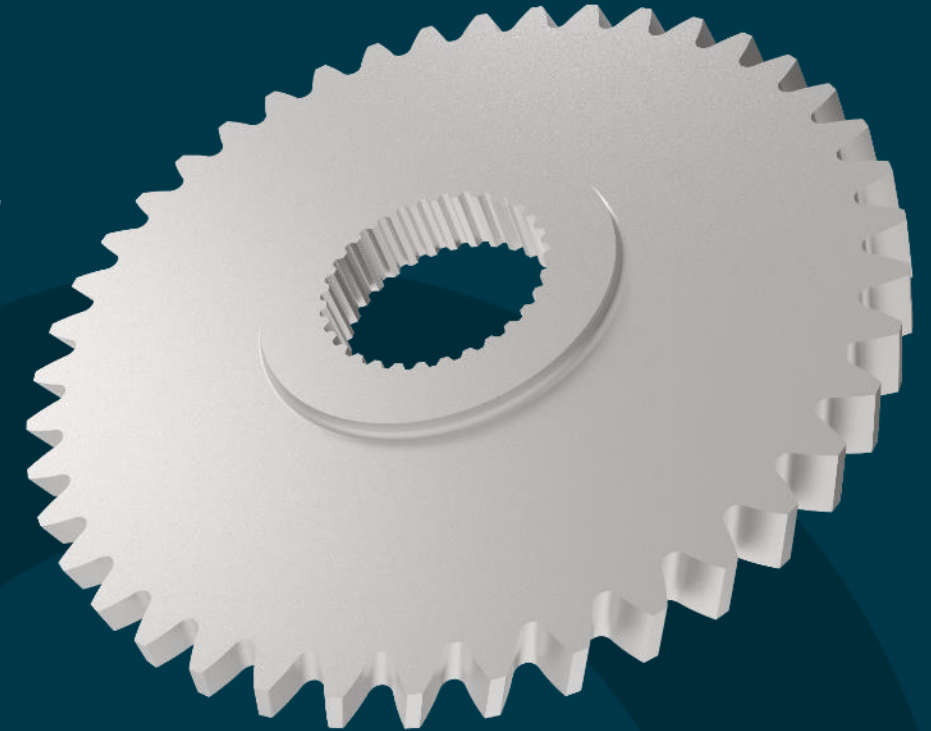
Werkzeug
&
Werkstück-
aufnahme

Werkzeug-
design



Einstelldatenblatt – Betreuung Ersteinsatz – Korrekturen

| | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------|------------|------------|------------|------|
| Kunde | Kunde | Heller | | | | |
| | Kundezeichnungs-Nr. | | | | | |
| | Kundenwerkzeug-Nr. | | | | | |
| Werkstoffe | Werkstoff | S235JR | | | | |
| | Normalmodul [mm] | 4 | | | | |
| | Eingriffswinkel [°] | 30 | | | | |
| | Rad-Zähnezahl | 31 | | | | |
| | Schrägungswinkel [°] | 0 | | | | |
| | Flankenrichtung | links | | | | |
| Werkzeuge | Werkstoff / Beschichtung | PM14 / AL6P | | | | |
| | Zähnezahl | 18 | | | | |
| Einsatz per | Achsabstand fin. Sch. [mm] | 25,303404 | | | | |
| | Achskreuzwinkel [°] | 20 | | | | |
| | Kappa [°] | 20 | | | | |
| | Schnitt | | | | | |
| | Relative Schnitttiefe [mm] | 1,2 | 0,78 | 0,6 | 0,45 | 0,35 |
| Schnitttiefe Gesamt [mm] | 1,2 | 1,08 | 2,58 | 3,03 | 3,38 | |
| Koordinate 1 [mm] | 20,882707 | 21,615867 | 22,179483 | 22,802344 | 22,931237 | |
| Koordinate 2 [mm] | -9,236269 | -9,502034 | -9,707247 | -9,861156 | -9,980863 | |
| A Rotation [°] | -23,857139 | -23,729818 | -23,63745 | -23,571117 | -23,521172 | |
| Axialvorschub [mm/WkstU] | 0,5 | 0,45 | 0,5 | 0,7 | 1 | |
| Axialvorschub [mm/min] | 336,483871 | 302,835484 | 336,483871 | 471,077419 | 672,967742 | |
| Werkzeugdrehzahl [WkstU/min] | 1159 | 1159 | 1159 | 1159 | 1159 | |
| Werkstückdrehzahl [WkstU/min] | 672,967742 | 672,967742 | 672,967742 | 672,967742 | 672,967742 | |
| Schnittgeschwindigkeit [m/min] | 89,991115 | 89,991115 | 89,991115 | 89,991115 | 89,991115 | |
| Einlaufweg [mm] | -0,741 | -2,105 | -2,955 | -3,516 | -3,918 | |
| Überlaufweg [mm] | 4,444 | 4,444 | 4,444 | 4,444 | 4,444 | |
| Schnittparameter | Schnitt | | | | | |
| | Relative Schnitttiefe [mm] | 0,32 | 0,3 | | | |
| | Schnitttiefe Gesamt [mm] | 3,7 | 4 | | | |
| | Koordinate 1 [mm] | 23,231938 | 23,513846 | | | |
| | Koordinate 2 [mm] | -10,090309 | -10,192915 | | | |
| | A Rotation [°] | -23,476714 | -23,43604 | | | |
| | Axialvorschub [mm/WkstU] | 1,1 | 0,15 | | | |
| | Axialvorschub [mm/min] | 740,264516 | 100,945161 | | | |
| | Werkzeugdrehzahl [WkstU/min] | 1159 | 1159 | | | |
| | Werkstückdrehzahl [WkstU/min] | 672,967742 | 672,967742 | | | |
| Schnittgeschwindigkeit [m/min] | 89,991115 | 89,991115 | | | | |
| Einlaufweg [mm] | -4,262 | -4,566 | | | | |
| Überlaufweg [mm] | 4,444 | 4,444 | | | | |



ggf. Korrekturen über
Achskreuzwinkel Σ & Kappa κ

Spannfutter

Zuverlässige Spannung für Ihre Produktivität

Andreas Holstein
18.07.2023



- 1. Kurzvorstellung SCHUNK**
- 2. Spannfutterauswahl**
- 3. Spannfutter auf Fräs-Drehmaschinen**
- 4. Werkzeugspannung Power-Skiving**
- 5. Referenzen**
- 6. Zusammenfassung**



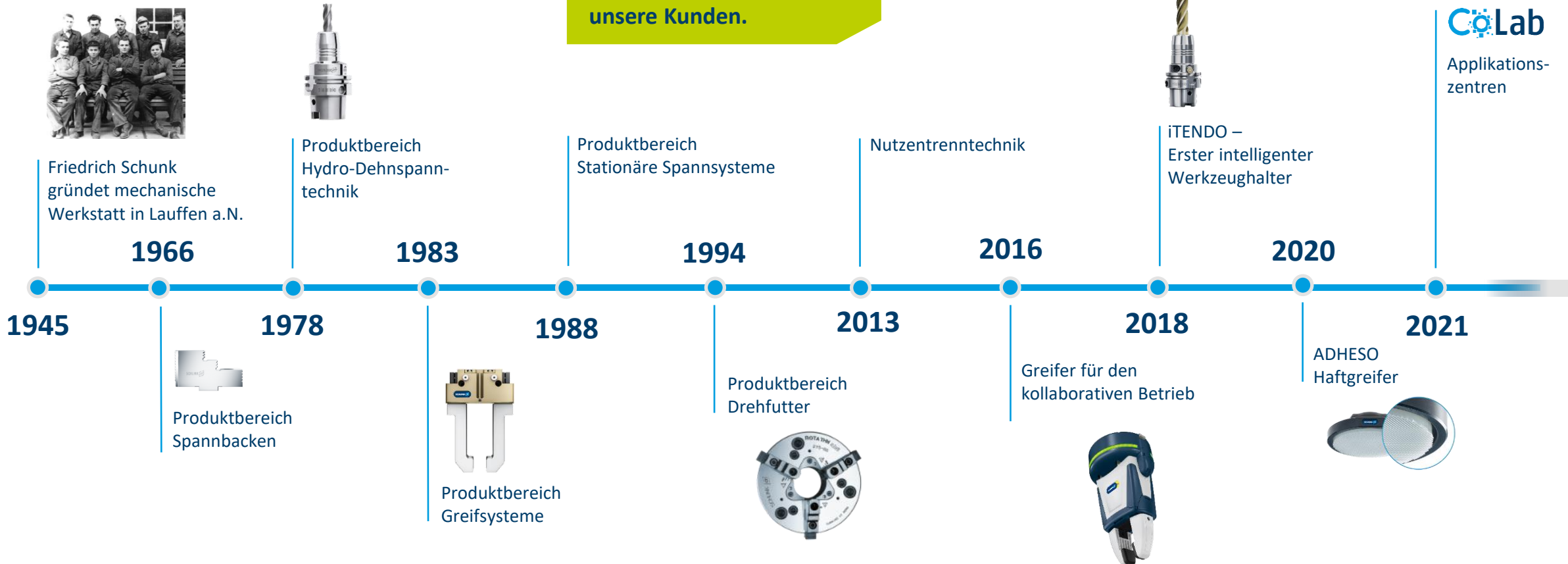
Gründer:
Friedrich Schunk

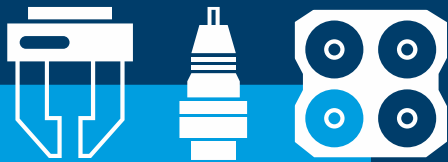


Heute von den beiden Enkeln Kristina I. Schunk und Henrik A. Schunk geführt.
Rechts: Sohn des Gründers Heinz-Dieter Schunk

Von der Werkstatt zum Partner für Produktivität

Das leisten wir:
Mehr Produktivität für
unsere Kunden.





Über **11.000**
Standardkomponenten

500 Mio. €

Umsatz 2021



2.000 Kundenspezifische
Lösungen pro Jahr



9 Werke

34 Standorte

3.500 Mitarbeiter



8,5%

Investitionsquote F&E

SCHUNK ist in Ihrer Nähe – weltweit



- + In über 50 Ländern
- + Mit 34 eigenen Niederlassungen
- + 9 Produktions-Werke weltweit



Lauffen/Neckar



Brackenheim-Hausen



Mengen



St. Georgen



Morrisville USA



S.P.D. S.p.a.
Italien



Gressel AG
Schweiz



Winkler
Präzisionswerke



Eberhardt
Stanztechnik

Ansprechpartner

Drehfutter



Andreas Holstein
+49 7572 7614-1037
andreas.holstein@de.schunk.com

Teamleitung PAC Drehfutter

Heinz-Jürgen Frick
+49 7254-203-1924
heinz-juergen.frick@de.schunk.com

Global Key Account Manager



Wie finde ich das passende Spannmittel?

- Maschine | Werkstück | Bearbeitung

Schnittstelle Maschine



Quelle: <https://www.heller.biz/>

Werkstückgeometrie



Bearbeitungsstrategie

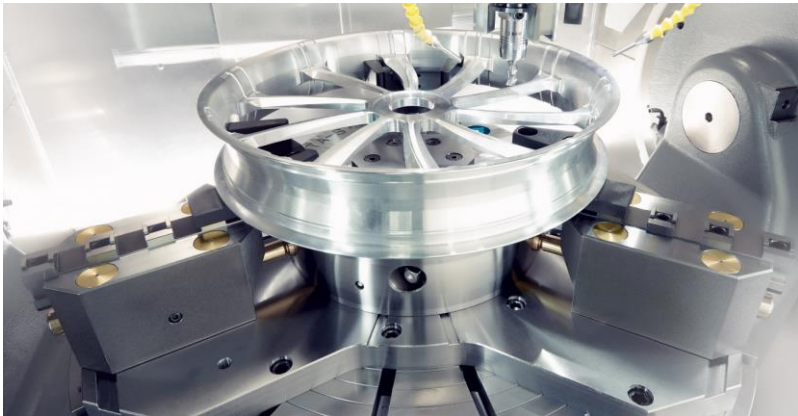


Quelle: <https://mav.industrie.de/>

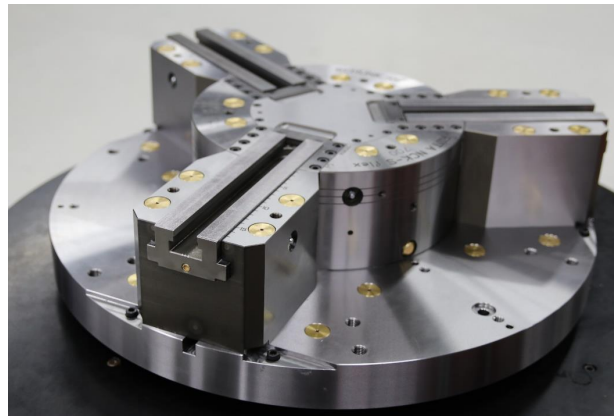
Wie finde ich das passende Spannmittel?

- **Maschine**

Manuelle Spannmittel



Hydraulische Spannmittel

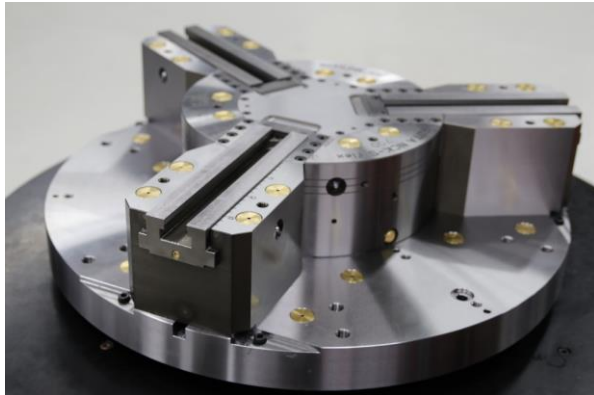


- Fräsmaschine?
- Drehmaschine?
- Fräs-Drehmaschine?
- Hat die Maschine Hydraulik durch den Maschinentisch?

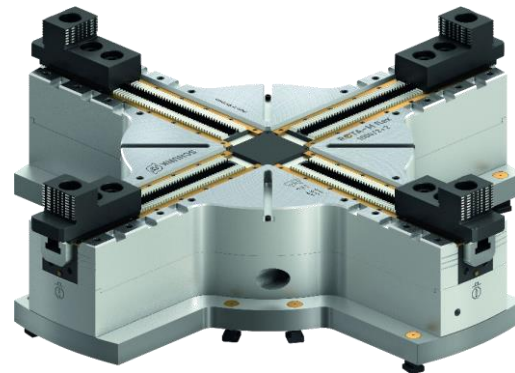
Wie finde ich das passende Spannmittel?

- Werkstückgeometrie

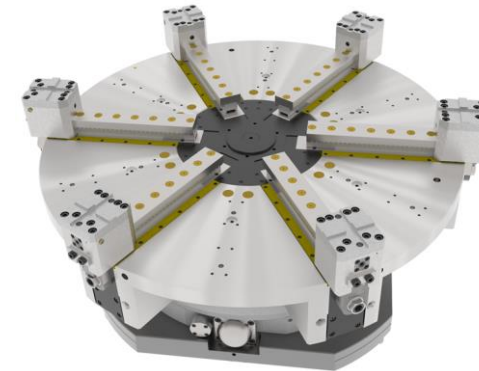
3-Backen



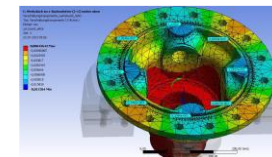
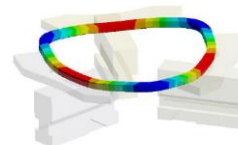
2/4-Backen



6-Backen

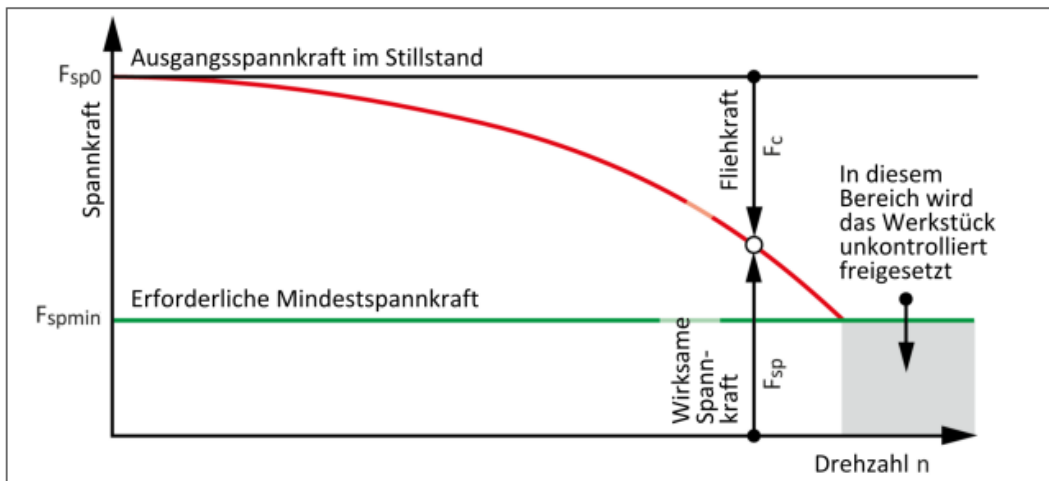


- Welche Geometrie hat das Werkstück?
- Welche Eigensteifigkeit hat das Werkstück?

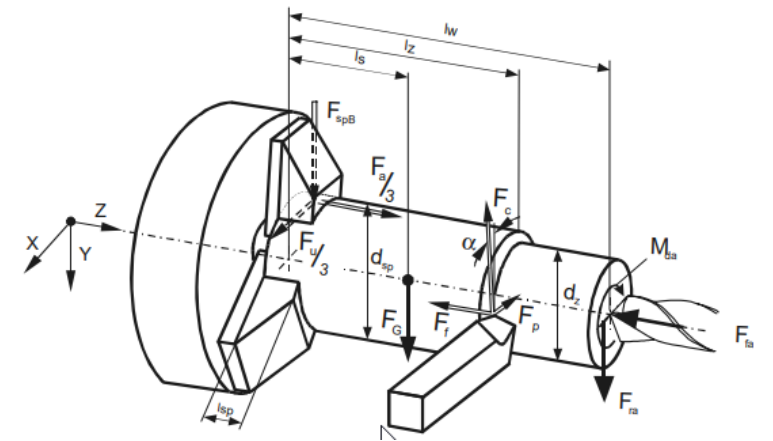


Wie finde ich das passende Spannmittel?

- **Bearbeitungsstrategie**
- + Was soll wie bearbeitet werden?
- + Welche Spannkraften werden benötigt?
- + Max. Drehzahl?
- + Welches Drehmoment soll übertragen werden?



Verringerung der wirksamen Spannkraft um den Betrag der Gesamtfiehkraft, bei einer Spannung von außen nach innen.



$$F_{spz} = \sqrt{F_{sptan}^2 + F_{spa}^2} \text{ in N} \quad (7)$$

$$= S_{\mu} \cdot \sqrt{\left(\frac{F_c \cdot d_z + 2 \cdot M_{da}}{d_{sp} \cdot \mu_{spt}} \right)^2 + \left(\frac{F_f + F_{fa}}{\mu_{spa}} \right)^2}$$

Quelle: VDI3106

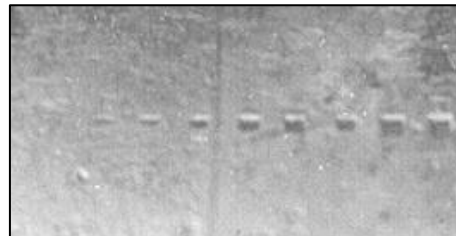
Wie finde ich das passende Spannmittel?

- Einfluss Spannkontur

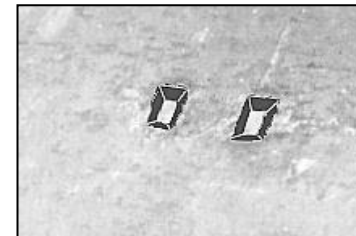
glatt



pflastersteinartig

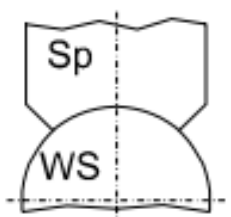
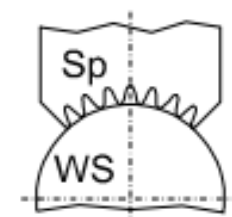
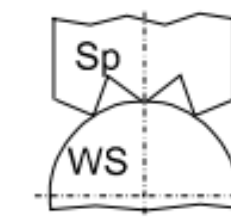


krallenartig



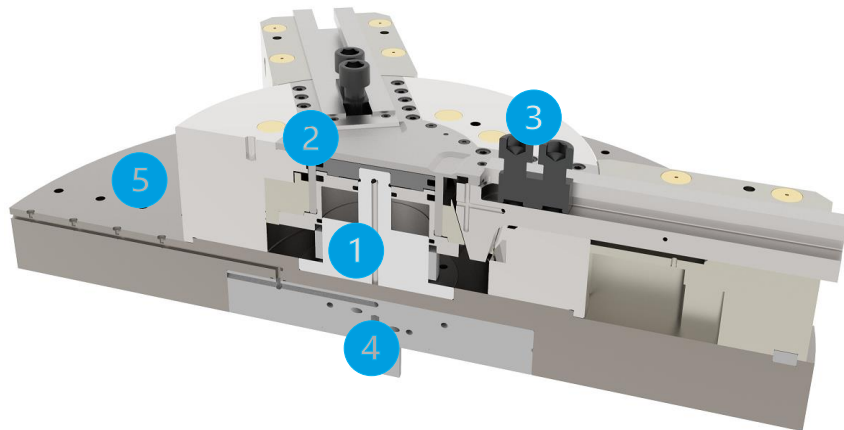
Wie finde ich das passende Spannmittel?

- Einfluss Spannbackenkontur

| Backenspannfläche Clamping surface Werkstück- oberfläche Surface of workpiece | Glatt Smooth  | Pflastersteinartig Cobbled  | Krallenartig Clawed  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Feingeschliffet, geschliffen Fine-finished, ground | $\mu_{spt} = 0,06$ $\mu_{spa} = 0,12$ | $\mu_{spt} = 0,12$ $\mu_{spa} = 0,22$ | $\mu_{spt} = 0,22$ $\mu_{spa} = 0,36$ |
| Geschliffet bis geschruppt Finished to roughed-down | $\mu_{spt} = 0,10$ $\mu_{spa} = 0,20$ | $\mu_{spt} = 0,20$ $\mu_{spa} = 0,36$ | $\mu_{spt} = 0,36$ $\mu_{spa} = 0,60$ |
| Roh bzw. unbearbeitet Crude, or non-machined | $\mu_{spt} = 0,14$ $\mu_{spa} = 0,28$ | $\mu_{spt} = 0,28$ $\mu_{spa} = 0,50$ | $\mu_{spt} = 0,50$ $\mu_{spa} = 0,84$ |
| Werkstoff-Korrekturwerte Material corrections | Al-Legierungen (Al alloys) = 0,97 Ms 58 = 0,92 GG-18 = 0,80 | | |

Welche Besonderheiten gibt es?

- **Hydraulische Spannfutter auf Fräs-Drehzentren**
 - + Geringe Eigenmasse
 - + Geringes Massenträgheitsmoment
 - + Geringe Bauhöhe



1 Patentierter Einbauzylinder (hydraulisch)

2 Sehr lange und stabile Grundbacken

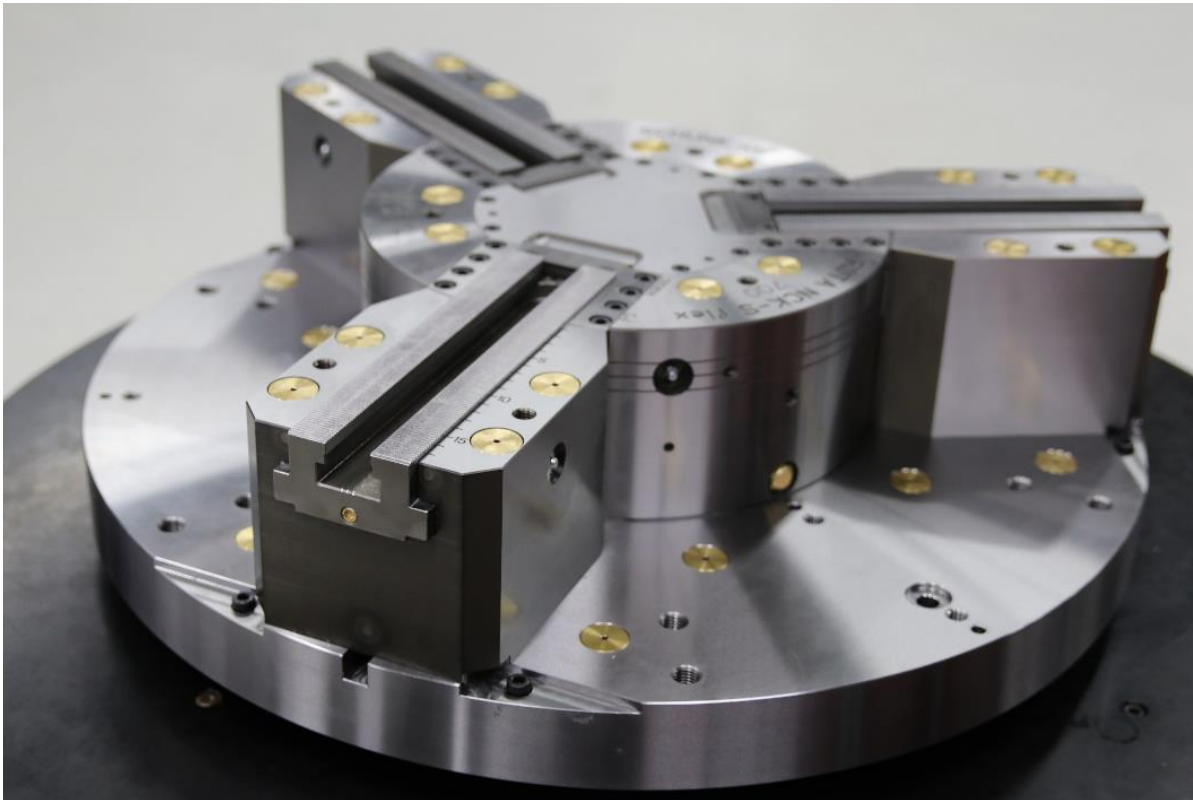
3 Späneoptimiertes Design

4 Medienübergabe aus dem Maschinentisch

5 Extrem gewichtsreduzierter Grundkörper

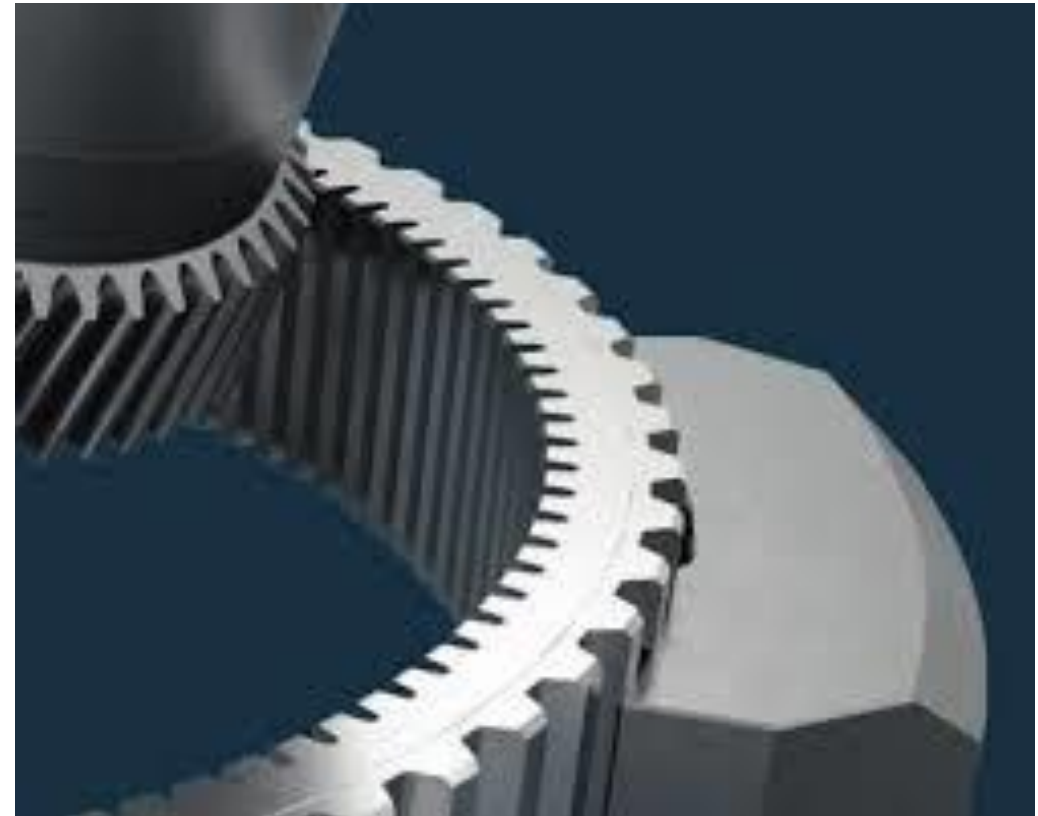
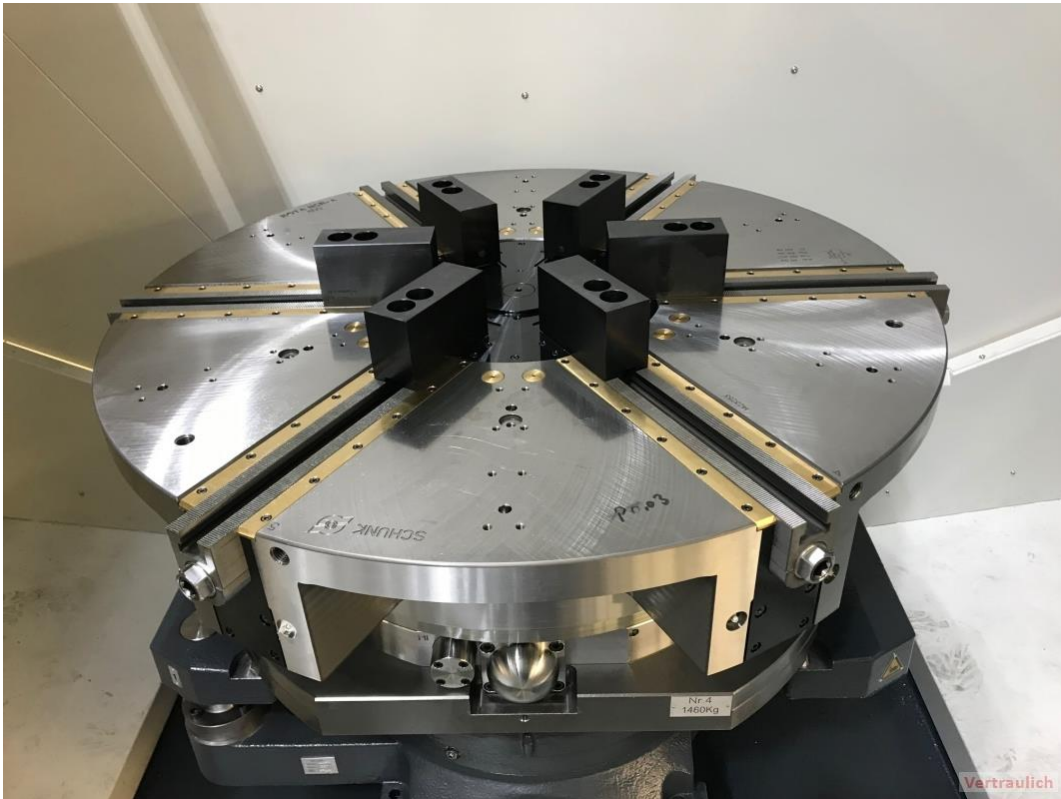
Werkstückspannung Power-Skiving

- Hydraulisches 3-Backenfutter auf Heller CP4000 I Werkstück



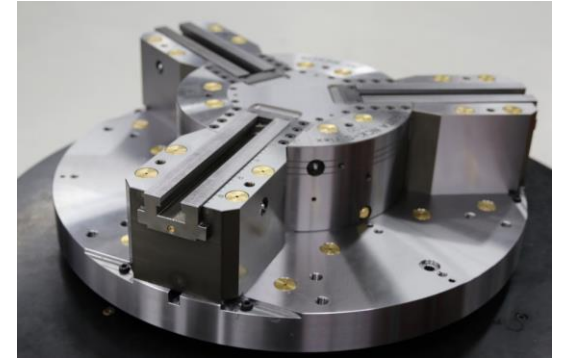
Werkstückspannung Power-Skiving

- Hydraulisches 6-Backen Ausgleichsfutter D = 1000 mm auf Heller CP8000



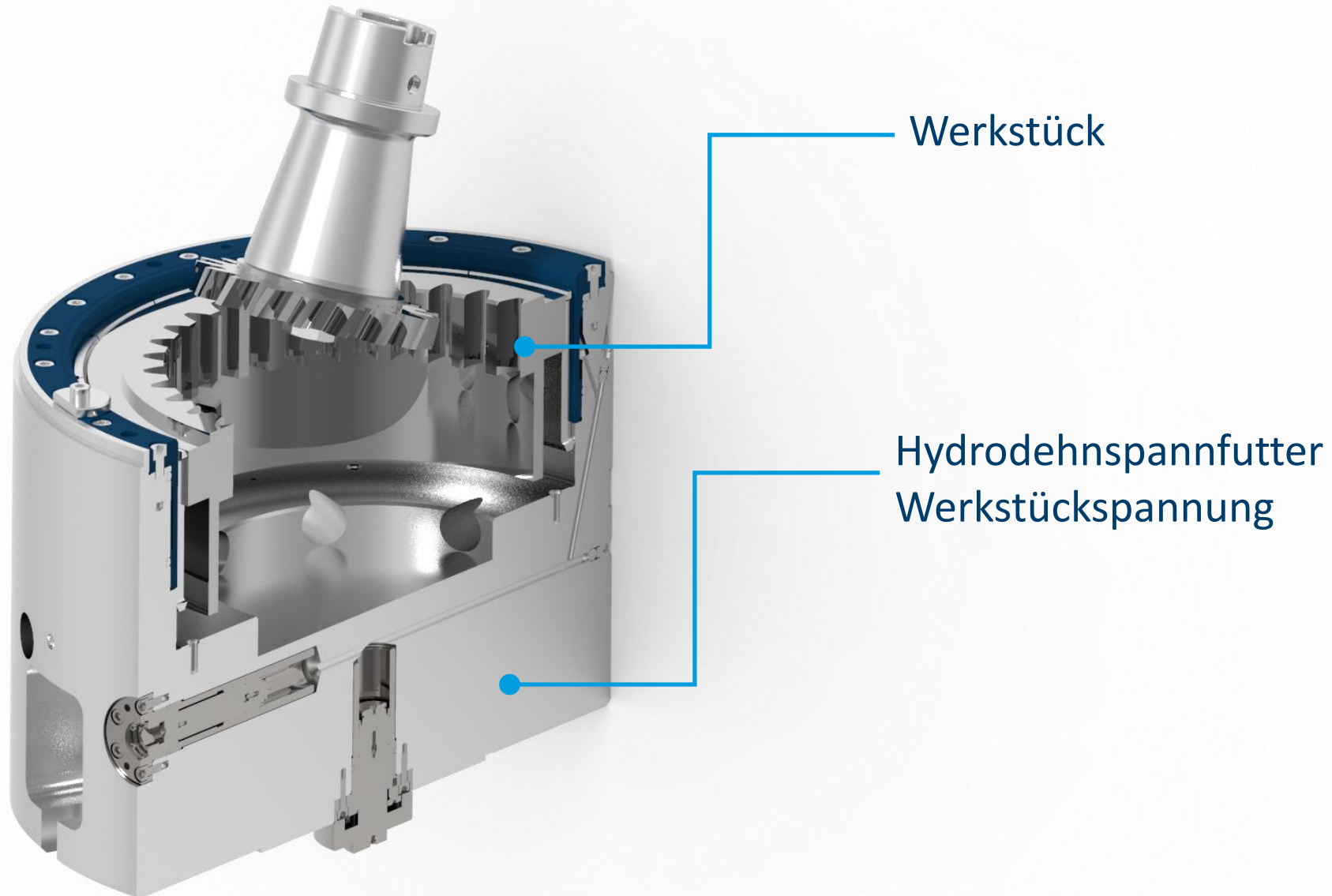
Quelle: LMT Tools

Werkstückspannung beim Power-Skiving

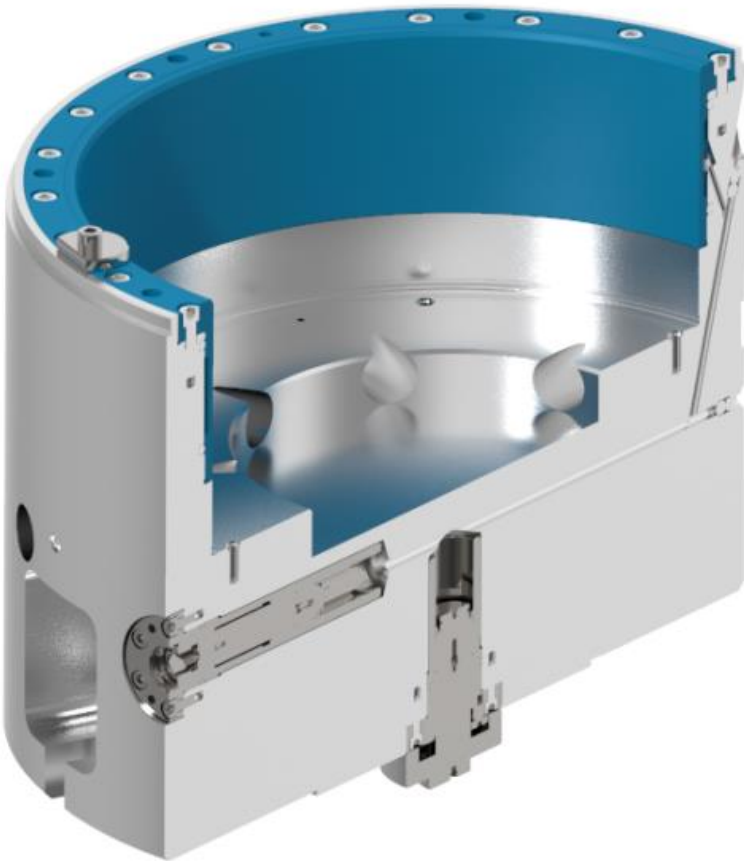


| Anforderung an das Spannmittel beim Power-Skiving | Eigenschaft Drehfutter |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hohe Wiederholgenauigkeit | Funktionsteile gehärtet und geschliffen |
| Spannkraft angepasst an Werkstückgeometrie | 2, 3, 4, 6-Backenspannfutter zur Auswahl → optimales Spannfutter für entsprechende Werkstücke |
| Steife Spannung | Spannfutter ausgelegt nach modernsten FEM-Methoden |
| Übertragung hohe Bearbeitungskräfte | Hohe, konstante Spannkräfte mit bis zu 300 kN |
| Gute Zugänglichkeit für Werkzeug (Kreuzwinkel) | Niedrige Bauhöhe und störkonturoptimiert |
| Hohe Prozessdynamik für Synchronlauf Maschinenspindel und Werkzeugspindel | Gewichtserleichtert → geringes Massenträgheitsmoment |

Werkstückspannung Power-Skiving



Werkstückspannung Power-Skiving



Beispiel: Gear Skiving – Werkstückspannung

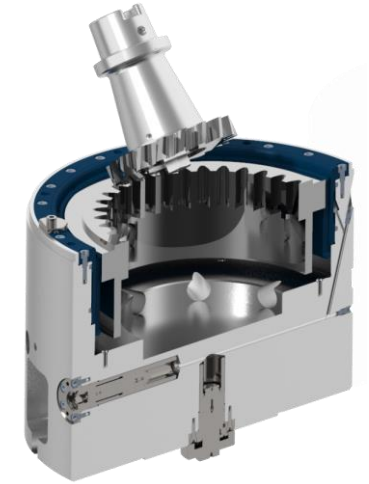
Prinzip: Hydrodehnzentrierung + Spannung

Futter: D = 390 mm

Funktionsablauf:

- + Werkstück automatisiert zentriert und anschließend über die Erhöhung des Spanndrucks sicher gespannt
- + Zusätzlich kann manuell der Spanndruck über eine Dosierschraube reguliert werden
- + Entsprechend dimensionierte Ablaufbohrungen gewährleisten eine sichere Spanabfuhr

Werkstückspannung beim Power-Skiving



Anforderung an das Spannmittel beim Power-Skiving

Hohe Genauigkeiten. Bestmögliche Rund- und Planlaufgenauigkeiten

Dämpfende Eigenschaften

Deformationsarmes Spannen

Wartungsfreundlich

Schmutzunempfindlich

Eigenschaft Hydrodehnspannfutter

Rundlaufgenauigkeit $\leq 0,003$ mm

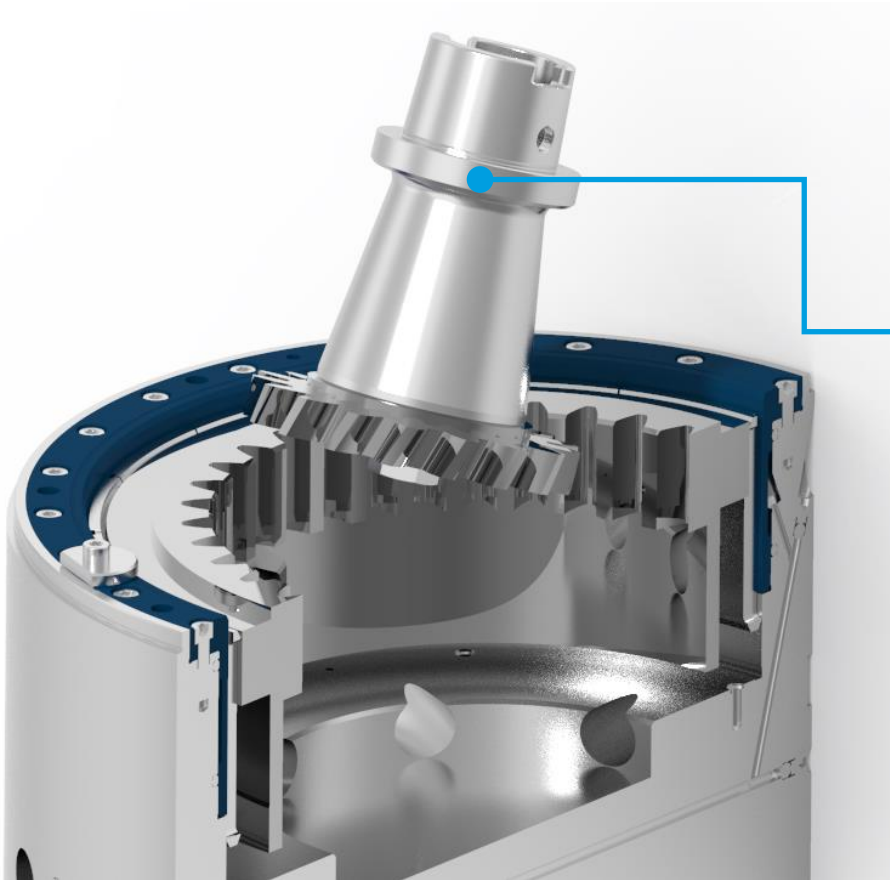
Schwingungsdämpfung durch integrierte Hydrodehntechnik

Deformationsarmes Spannen wird durch Dosiermöglichkeiten der Hydrodehntechnik ermöglicht

Bedingt durch hermetisch dichtes System muss nicht geschmiert werden

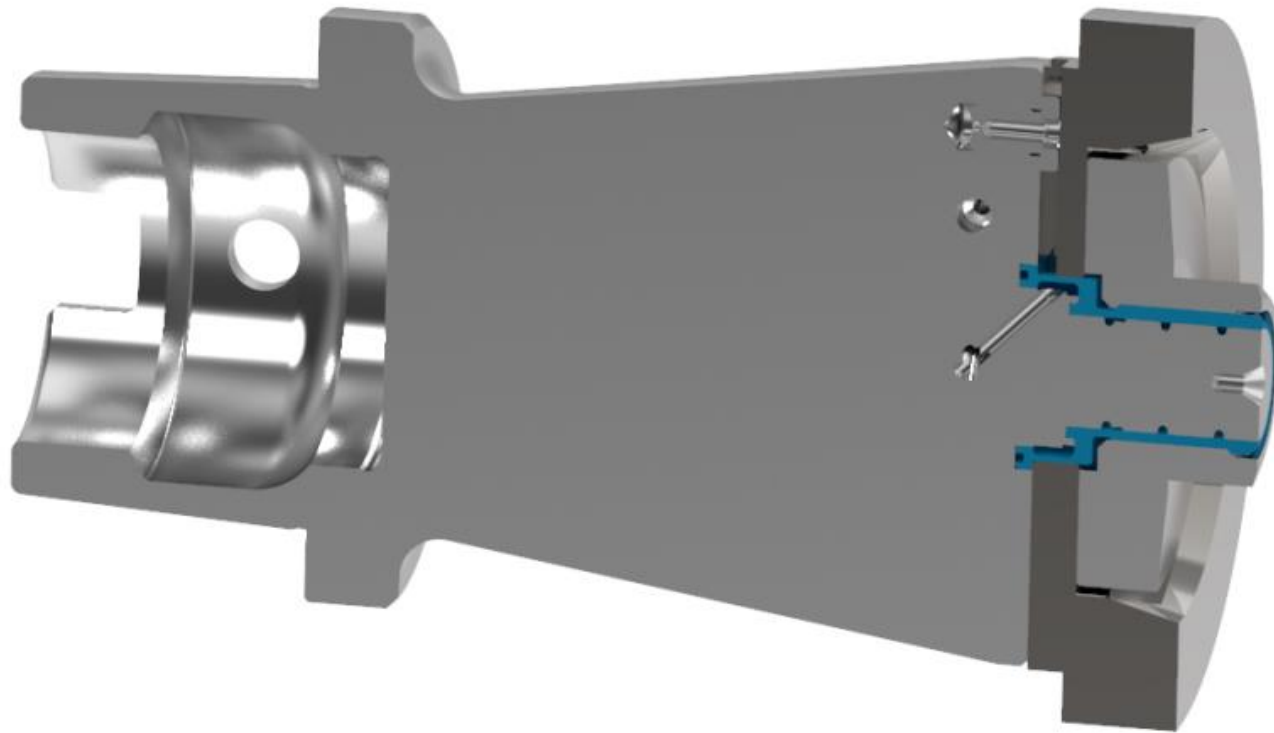
Einfache Reinigung durch geschlossenes System, keine Schlitze

Werkzeugspannung Power-Skiving

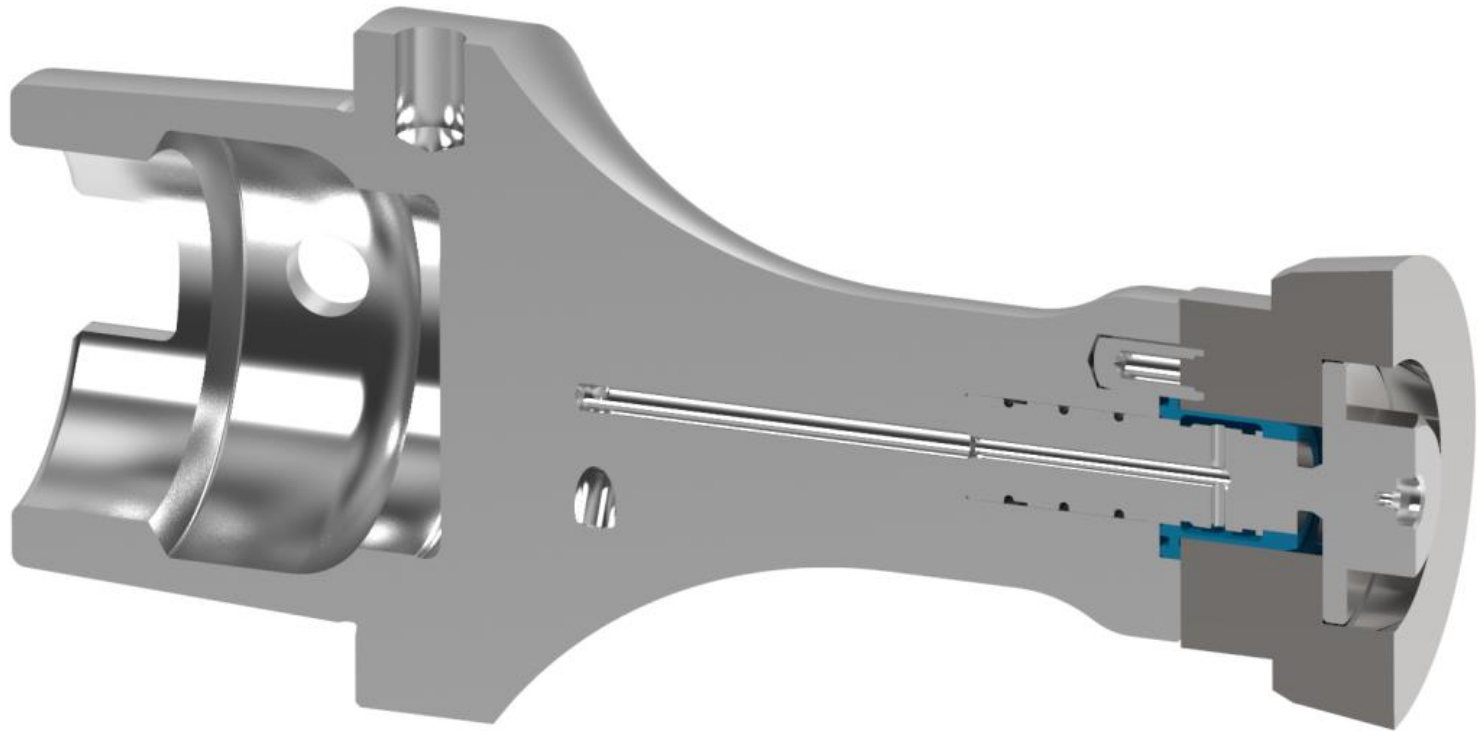


Hydrodehnspanndorn
Werkzeugspannung

Hydrodehn-Halter



Hydrodehn-Halter



Werkzeughalter beim Power-Skiving

| Anforderung an Werkzeughalter beim Power-Skiving | Eigenschaft Hydrodehn-Halter |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hohe Genauigkeiten. Bestmögliche Rund- und Planlaufgenauigkeiten | Rundlaufgenauigkeit $\leq 0,003$ mm |
| Dämpfende Eigenschaften | Schwingungsdämpfung durch integrierte Hydrodehn-technik |
| Halter muss axiale und radiale Belastungen standhalten | Stabiler Grundkörper. Radiale Auszentrierung des Werkzeugs durch Hydrodehnspanntechnik. Spannkraft wird über axiale Spannmutter aufgebracht |
| Wartungsfreundlich | Bedingt durch hermetisch dichtes System muss nicht geschmiert werden |
| Bedienungsfreundlich | Kein Verkanten beim Werkzeugwechsel bedingt durch erhöhtes Beladespiel |

Spannmittel für Power-Skiving

Die Anforderungen an das Spannmittel für die Werkstückspannung und die Werkzeugspannung beim Power-Skiving sind anspruchsvoll

Gemeinsam mit dem Maschinen- und Werkzeughersteller kann SCHUNK der ideale Partner zur Auslegung der Spannmittel für Ihren Produktivitäts-Boost sein

Ob Nachrüstlösung auf eine Bestandsmaschine mit manuellen Spannmitteln, oder als Vollintegriertlösung für eine hydraulische Palettenwechsellmaschine; SCHUNK kann auf ein breites Portfolio und auf Erfahrungen zurückgreifen

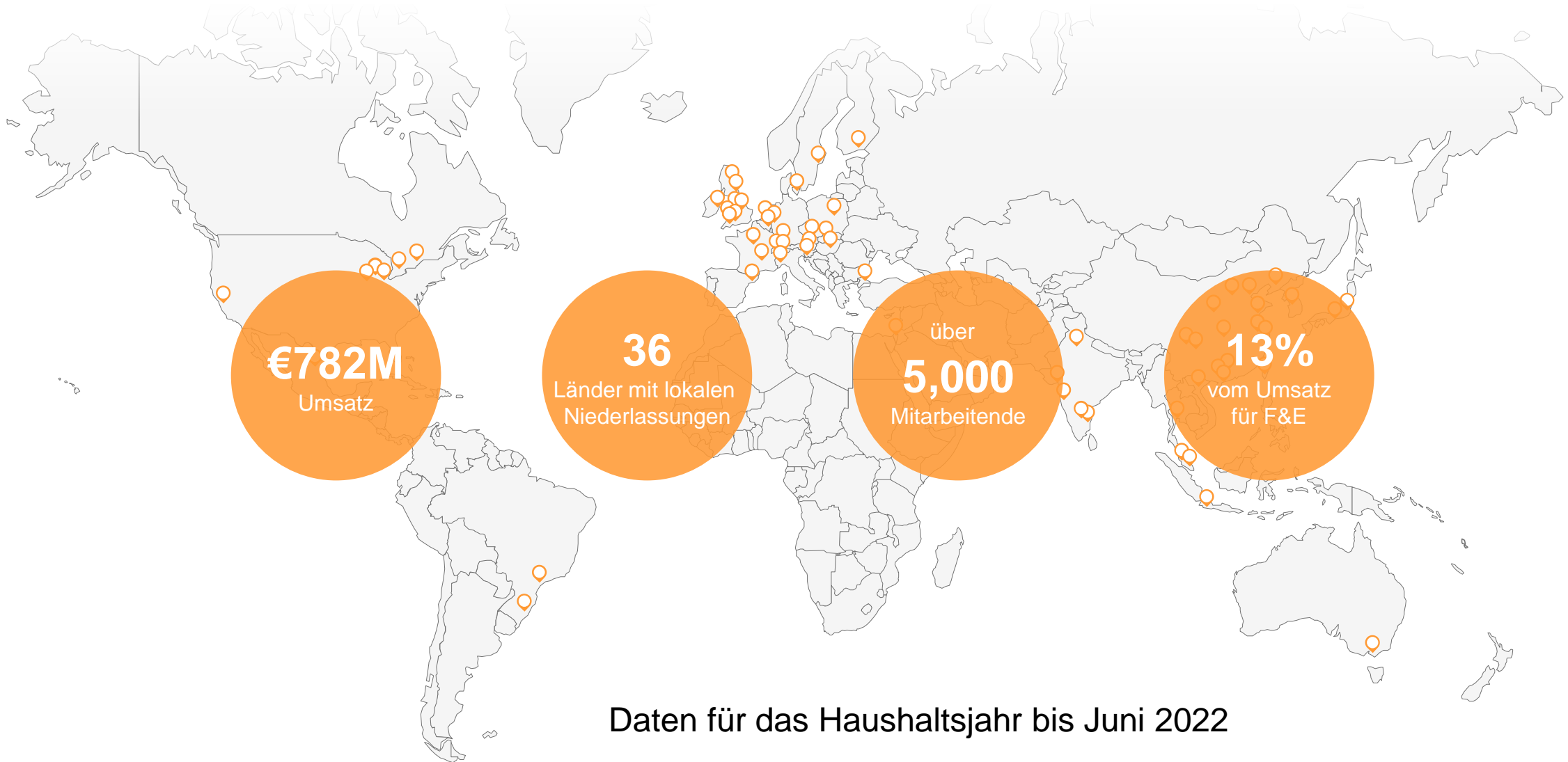


Hand in hand for tomorrow

Erfassung & Korrektur bearbeitungsrelevanter Kenngrößen auf der Maschine

Dr.-Ing. Jan Linnenbürger
Leiter Messtechnik und
Anwendungstechnik Werkzeugmaschinen

Renishaw - ein globales Unternehmen



Daten für das Haushaltsjahr bis Juni 2022

Renishaw - Gemeinsam die Zukunft gestalten

Wir ermöglichen die Entwicklung von **Produkten**, **Materialien** und **Therapien**, die unsere Welt in den kommenden Jahrzehnten prägen und das Leben von Milliarden von Menschen beeinflussen werden

Produkte

Fertigungstechnologie

Industrielle
Messtechnik

Wegmess-
Systeme

Additive Fertigung

Materialien

Analytische Instrumente

Therapien

Medizintechnik

Spektroskopie

Neurochirurgie



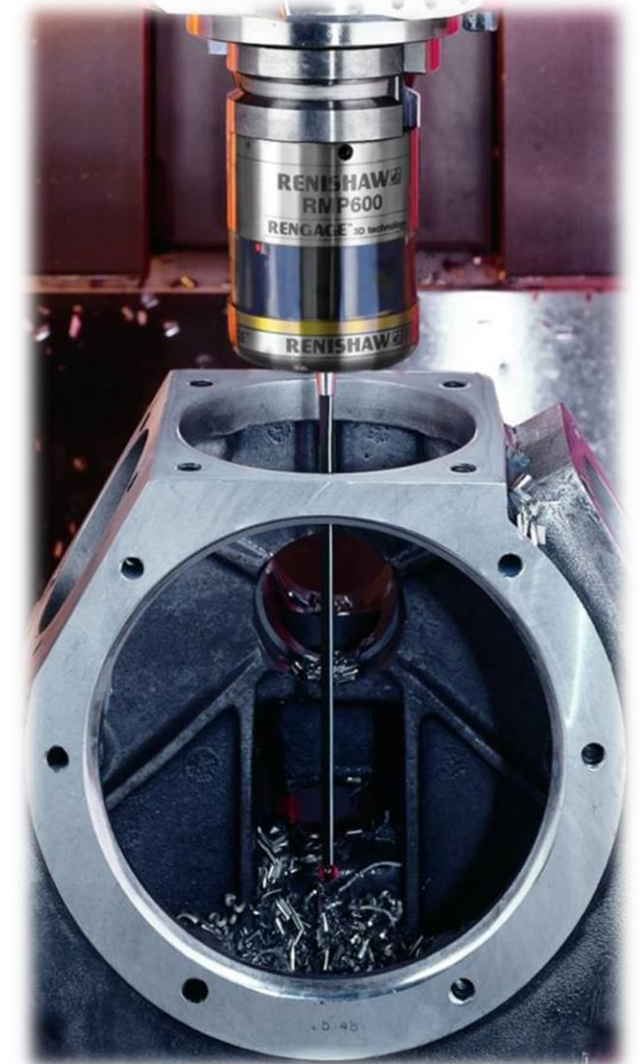
Agenda

- Geometriemessungen in der Maschine
 - Betrachtungen zur Messgenauigkeit
 - Unterschied zum Koordinatenmessgerät
 - Messtasterauswahl
- Programmierung von Messoperationen am Beispiel Verzahnungsmessung
 - Messverfahren
 - Messmakro zur Bestimmung der Verzahnungsorientierung (Zahnlücke)
 - Messmakro zur Bestimmung des 2-Kugel-Maßes von Innen- und Außenverzahnungen
- Diskussion

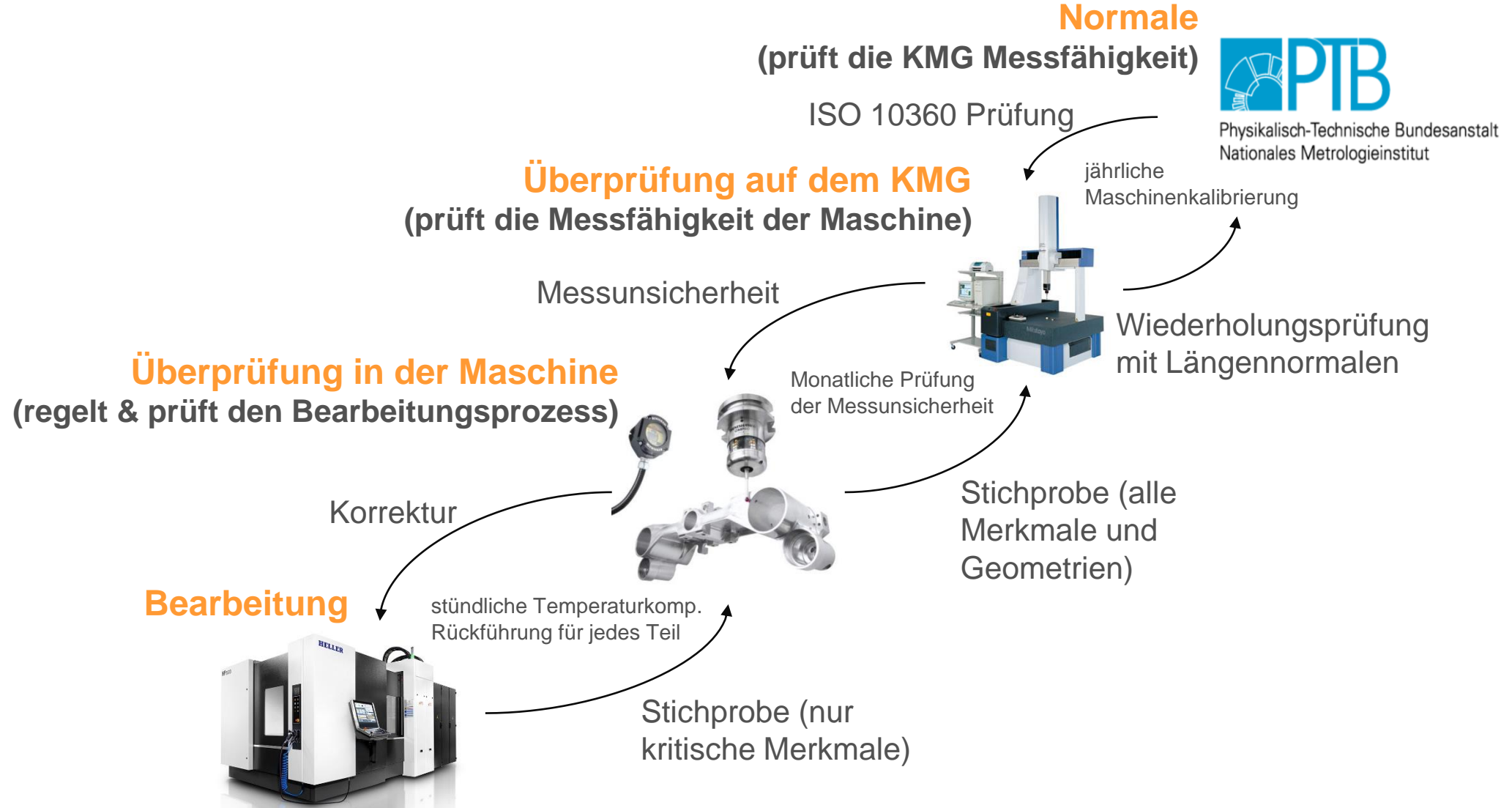
Messgenauigkeit auf der Werkzeugmaschine

- Durch das Messprinzip immer ca. Faktor 2 besser als Wiederholgenauigkeit beim Positionieren
 - => **Wiederholgenauigkeit immer besser als bei der Bearbeitung**
- Absolute Genauigkeit hängt von der Maschine ab
 - => **Reicht die Genauigkeit für die Bearbeitung, reicht sie auch für die Prüfung**

| Renishaw RMP600 Funkmesstaster | | | | | |
|-----------------------------------------------------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Tasterlänge | | | | |
| | 35 mm | 50 mm | 100 mm | 150 mm | 200 mm |
| Wiederholgenauigkeit Max. 2 σ in jeder Richtung | - | 0,25 μm | 0,35 μm | 0,50 μm | 0,70 μm |

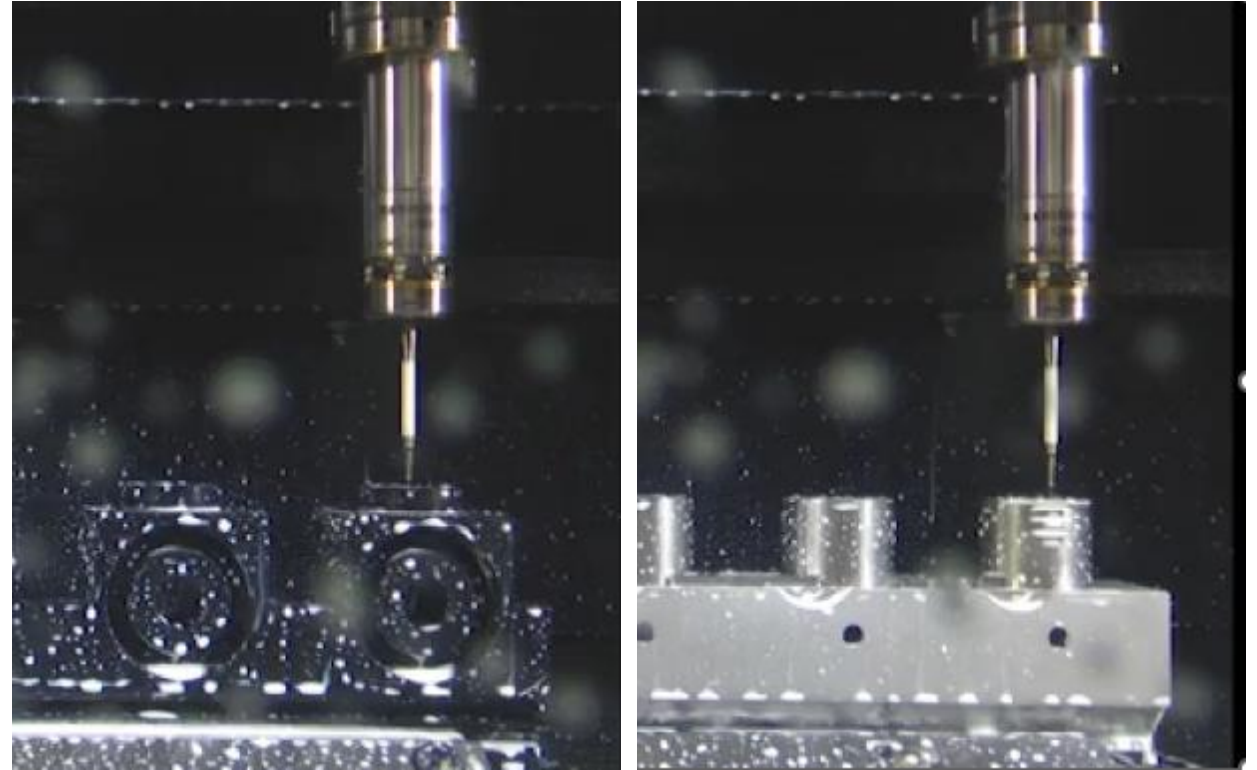


Prozesskette für rückführbare Werkstückgenauigkeit



BEISPIEL: Referenzteilvergleich, dann Prüfung des ersten Teils

- Der Messtaster erfasst verschiedene Merkmale am Referenzteil zur Kompensation von:
 - Maßfehlern
 - Positionsfehlern
- Messen der kritischen Merkmale des ersten Werkstücks (Ein Merkmal pro Werkzeug). Korrektur mit den Ergebnissen vom Referenzteil
- Bei Korrekturen wird auch das nächste Teil gemessen – sonst erst wieder das Letzte des Loses



Erfassung von:

- Temperaturverlagerungen
- Werkzeugkorrekturen

- Fehlbeladungen
- Maßabweichungen

- Messtasterkorrekturwerten

Vergleich der Messmethoden: Koordinatenmessgerät

- Messung aller Merkmale im Koordinatensystem des KMG
- Einpassung eines lokalen Koordinatensystems
- Mathematische Auswertung aller Merkmale im lokalen Koordinatensystem
- Einpassung in Toleranzen (z.B. Ebenheit)
- Auswertung nicht messbarer Merkmale (z.B. Teilkreisdurchmesser)

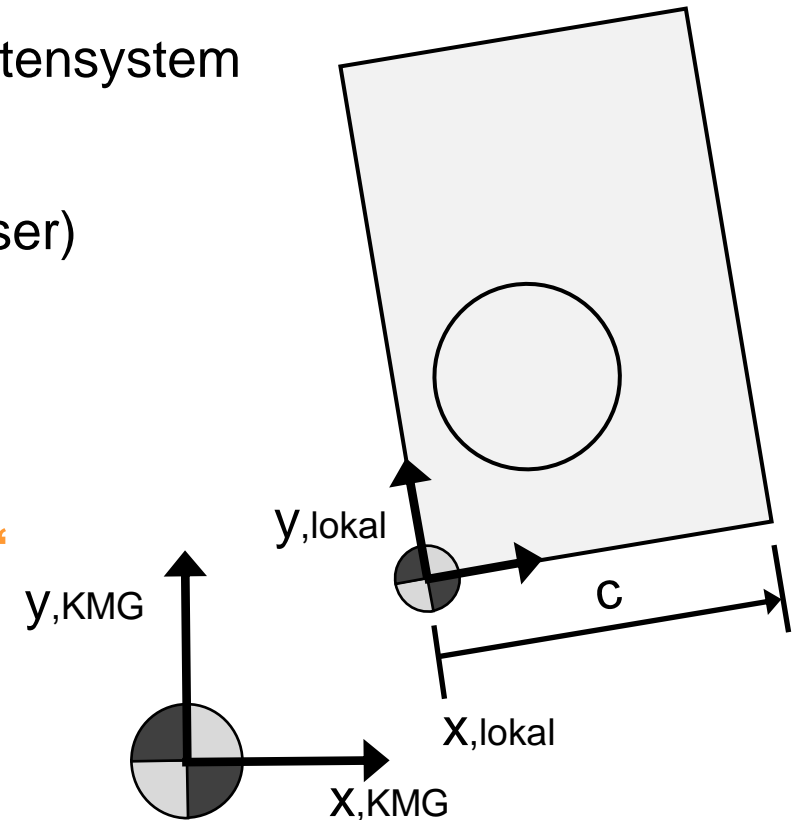
Zielsetzung:

- Prüfung des Werkstücks
„**Werden Maße und geometrische Toleranzen eingehalten?**“

Aber: Kaum Rückführung auf die Bearbeitung möglich

„**Wenn c nicht stimmt, welche Fläche(n) hat(ten) dann nicht gestimmt?**“

Koordinatenmessgerät



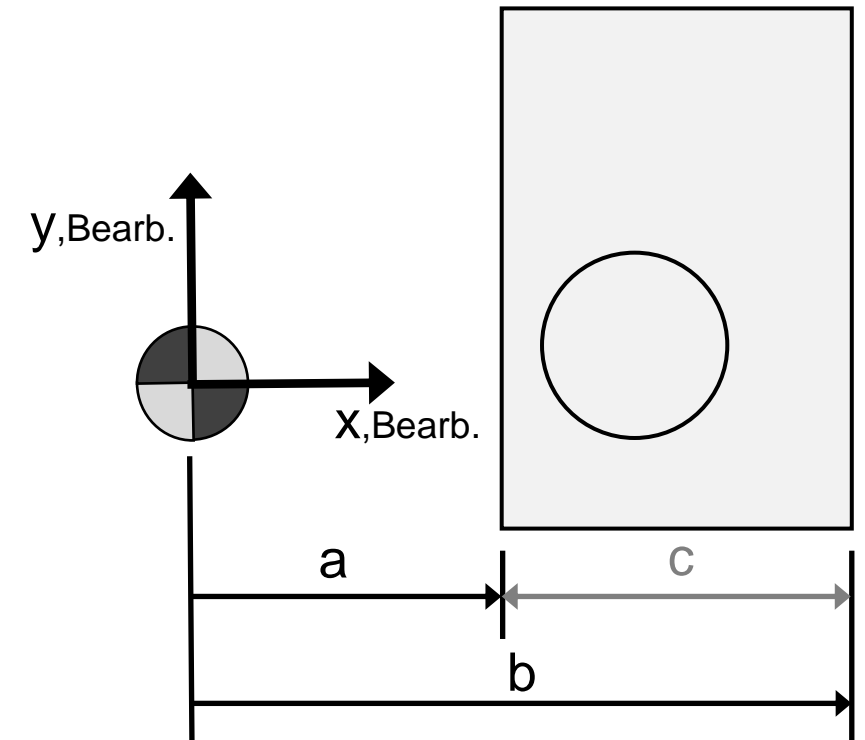
Vergleich der Messmethoden: Werkzeugmaschine

- Messung im Bearbeitungskoordinatensystem
- Jedes Merkmal wird „einzeln“ und „absolut“ gemessen
- Keine Einpassung in Toleranzen (z.B. Ebenheit)

Zielsetzung:

- Prüfung des Bearbeitungsergebnisses
„**Macht die Maschine was sie soll?**“
- Rückführung auf jedes gemessene Merkmal ermöglichen
„**Wenn a und b stimmen muss auch c stimmen!**“

Werkzeugmaschine



Vorteile der hochgenauen RENGAGE Messtaster

Die **Dehnmessstreifen-Technologie** ermöglicht geringe Auslösekräfte, da sie unabhängig von den Auslenkkräften der Überlaufkinematik sind.

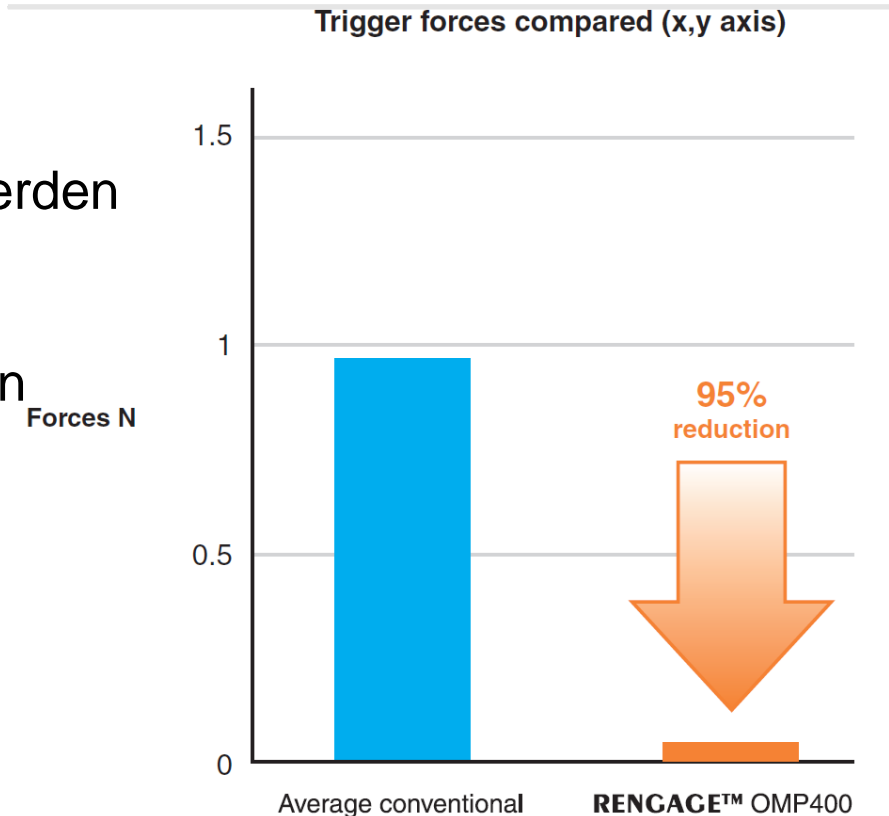
Dies bedeutet:

Bei gleicher Genauigkeit kann die Tasterlänge vergrößert oder der Tastkugelradius verringert werden

Zu den Vorteilen gehören:

- Genaue Messungen auch mit langen Taststiften
- Kleinste Tastkugeldurchmesser möglich
- Reduziertes Risiko empfindliche Teile zu beschädigen

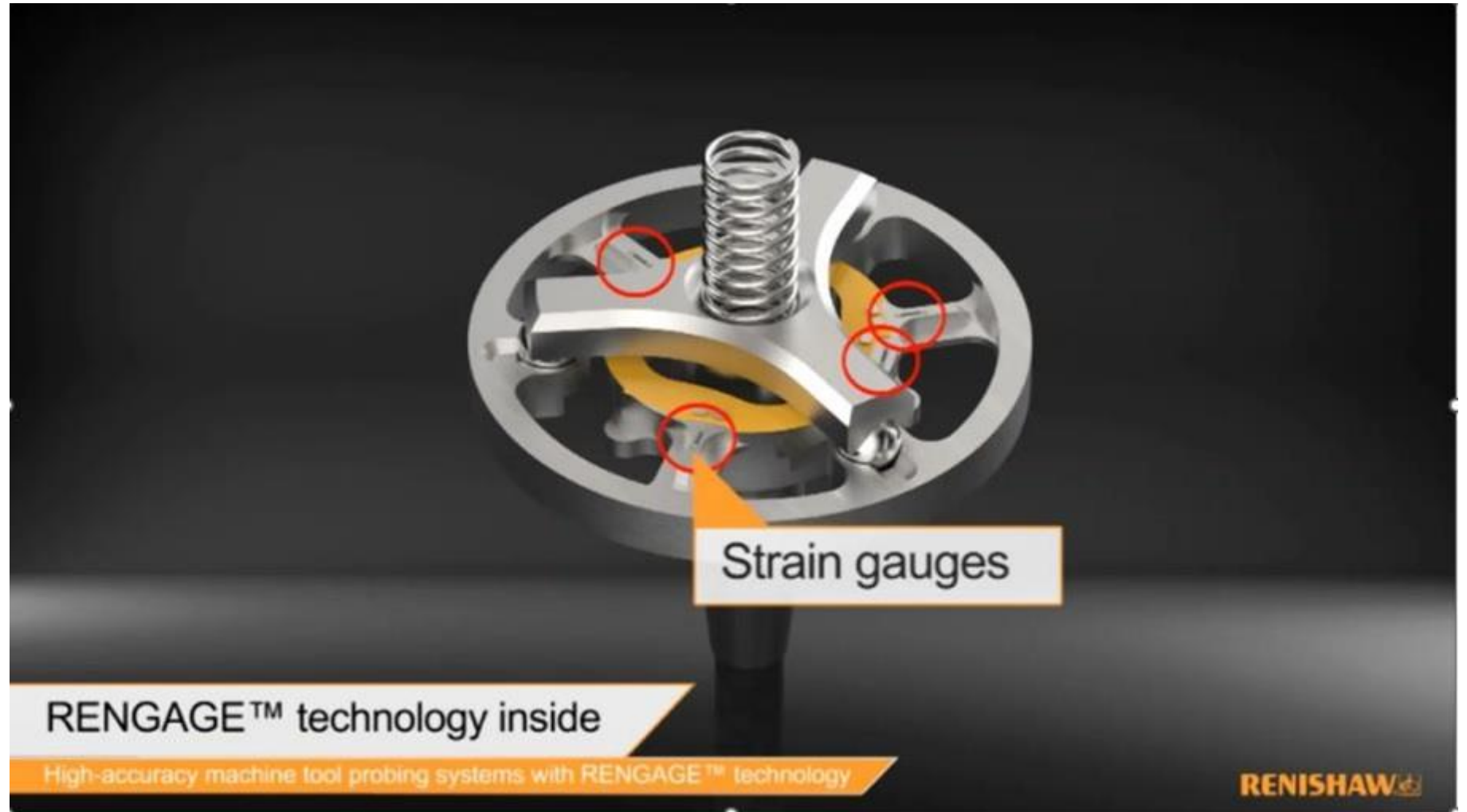
**Sehr niedrige
Auslösekräfte**



Aufbau der RENGAGE Messtaster



Eliminierung
von Vorlauf-
variation

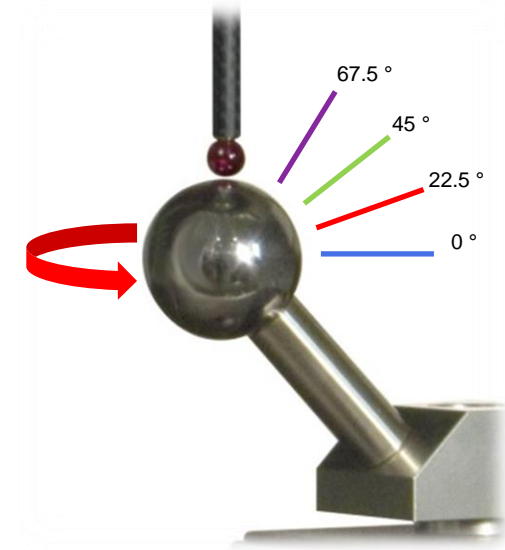


Vorteile der hochgenauen **RENGAGE** Messtaster

Bestätigung bei praktischen Vergleichstests:

Eine genaue 25 mm Kugel wurde in X,Y in 5° Schritten und 22.5° Intervallen in Z-Richtung angetastet.

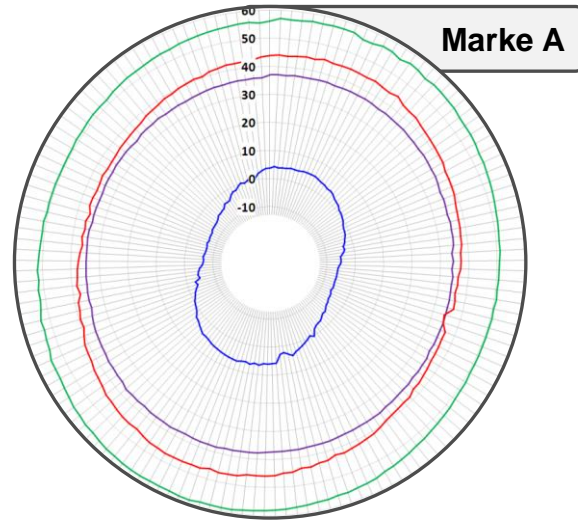
Diese Daten zeigen eindeutig die Tastervorlaufvariation des jeweiligen Messtastertyps.



**Eliminierung
von Vorlauf-
variation**

Die folgenden Diagramme zeigen das 2D- und 3D- Verhalten von drei Messtastern anderer Hersteller im Vergleich zum **RMP600 mit Rengage Dehnmessstreifen-Technologie**

Vorteile der hochgenauen RENGAGE Messtaster



RMP600 mit Rengage

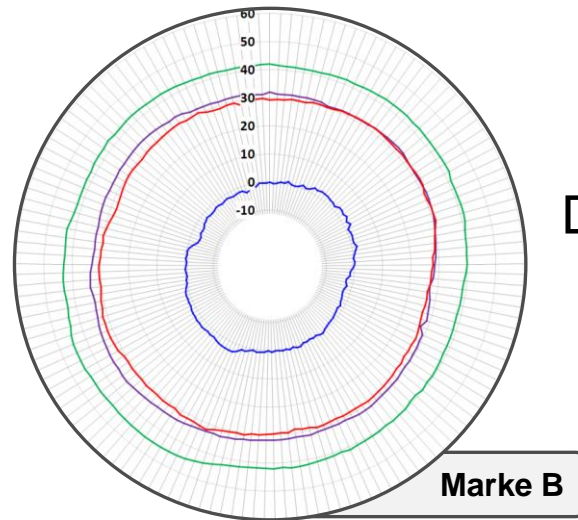
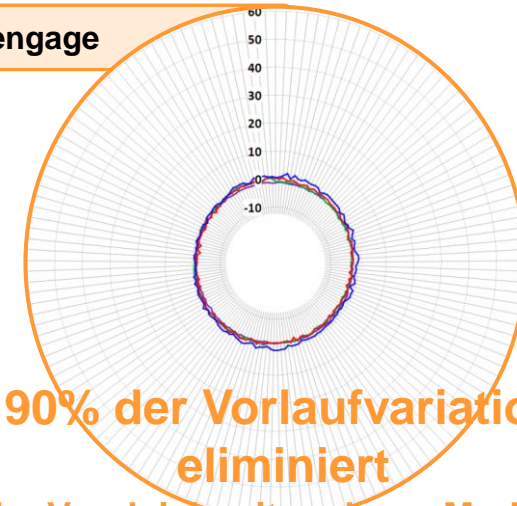
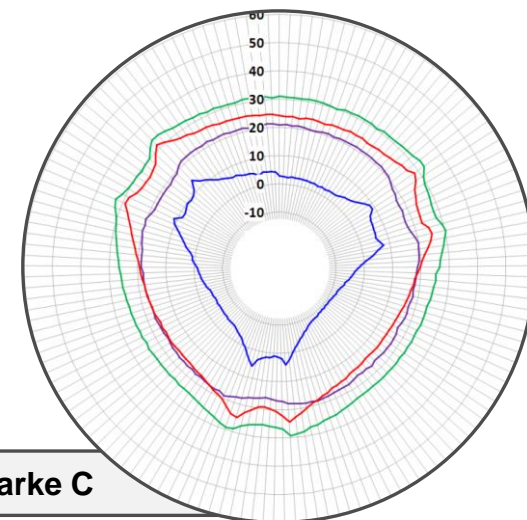


Diagramme im selben Wertebereich:
-10 μm bis +60 μm



Eliminierung von Vorlaufvariation

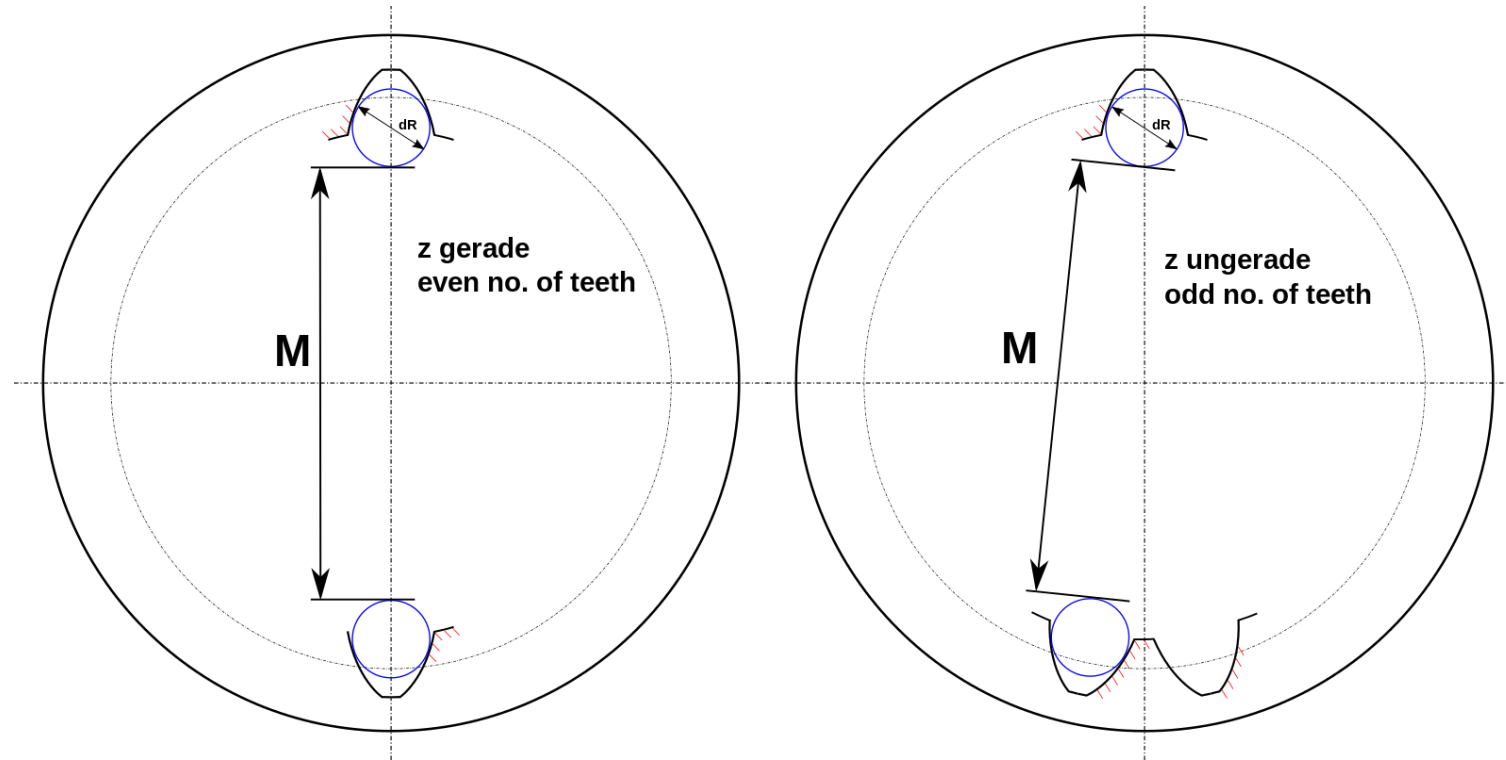
Rollenmaß zur Verifikation von Stirnverzahnungen

Man misst das Rollenmaß bei Innenverzahnungen zwischen und bei Außenverzahnungen über zwei Messrollen mit Durchmesser dR , die in gegenüberliegenden Zahnlücken liegen.

(Wikipedia)

Zielsetzung Heller:

- Automatisierung der Messung
- Rückführung der Kenngrößen über Parameter auf der CNC
- Konzeption und Umsetzung geeigneter Messmakros durch Renishaw



Schritt 1: Zahnlücke finden und Werkstück orientieren

PROC-Anweisung

Name: *RENFG()*

Übergabeparameter: 6

Beispiel:

Aufruf und Eingabewerte:
RENFG(196,-20,7,50,3.4,1)

| Stelle in PROC | Typ | Name | Abk. | Bezeichnung |
|----------------|------|--------|------|-----------------------------------|
| 1 | REAL | RENTKD | d_t | Teilkreisdurchmesser |
| 2 | REAL | RENMT | t | Messtiefe |
| 3 | REAL | RENKR | d_k | Kugeldurchmesser |
| 4 | REAL | RENSH | h | Sicherheitshöhe |
| 5 | REAL | RENTEI | p | Teilung |
| 6 | BOOL | IAV | type | AV = außen- IV = innenverzahnt |

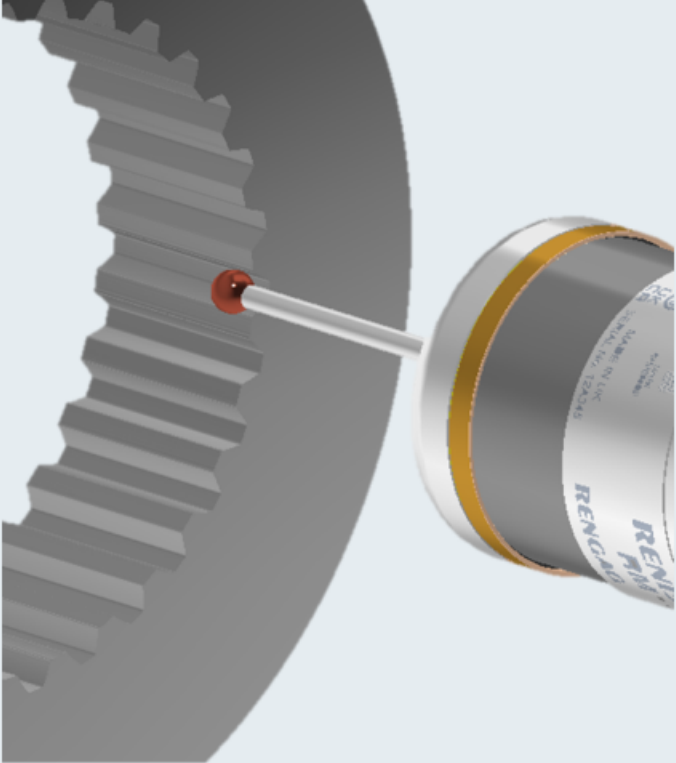
Ausgaben:

- Winkel der Zahnlücke in der globalen Variable *_RENZM*
- Taster wird mittig über der Lücke in der angegebenen Sicherheitshöhe positioniert

Eingabemaske für Messmakro um Zahnlücken zu finden

ZAHNLUECKE FINDEN

Kugeldruchmesser **Zahnluecke**

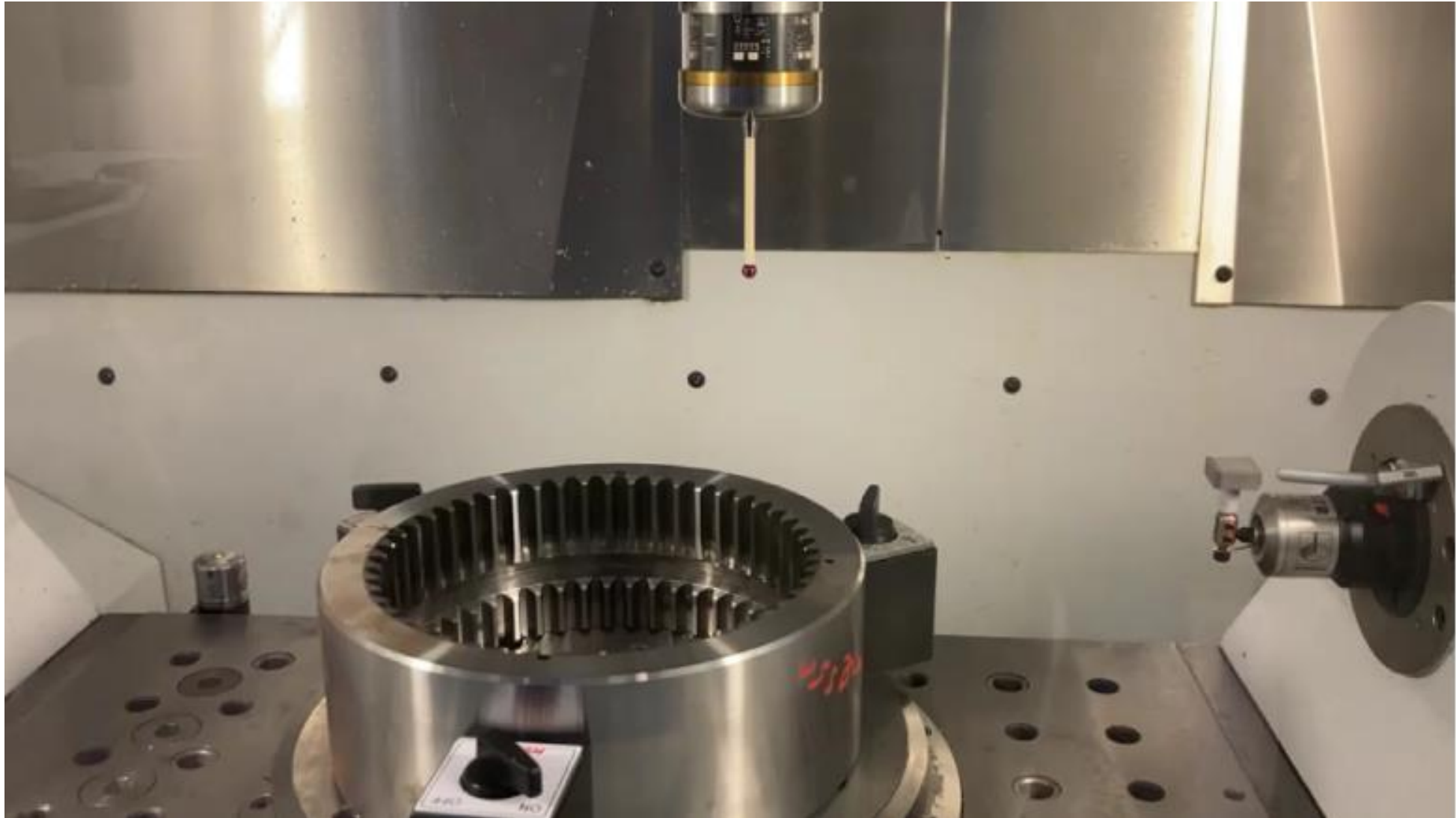


| | |
|------|---------|
| d_t | 100.000 |
| t | 20.000 |
| d_k | 8.000 |
| h | 10.000 |
| p | 9.686 |
| type | IV |

Abbruch

OK

Video vom Ablauf des Makros zum Finden einer Zahnücke



Schritt 2: Kugelmaß bestimmen und in Variable speichern

PROC-Anweisung

Name: *RENRM* ()

Übergabeparameter: 9

Beispiel:

Aufruf und Eingabewerte:

RENRM(49, 196, 185.758, 3, 50, -10, -50, 7, 1)

| Stelle in PROC | Typ | Name | Abk. | Bezeichnung |
|----------------|------|-------|-------|-----------------------------------|
| 1 | REAL | RENZA | z | Teilkreisdurchmesser |
| 2 | REAL | RENTD | d_t | Teilkreisdurchmesser |
| 3 | REAL | RENPM | pm | Prüfmaß |
| 4 | REAL | RENNM | No. | Anzahl Schnitte |
| 5 | REAL | RENSP | h | Sicherheitshöhe |
| 6 | REAL | RENSV | start | Start Verzahnung |
| 7 | REAL | RENEV | end | Ende Verzahnung |
| 8 | REAL | RENSD | d_k | Kugeldurchmesser |
| 9 | BOOL | RENAI | type | AV = außen- IV = innenverzahnt |

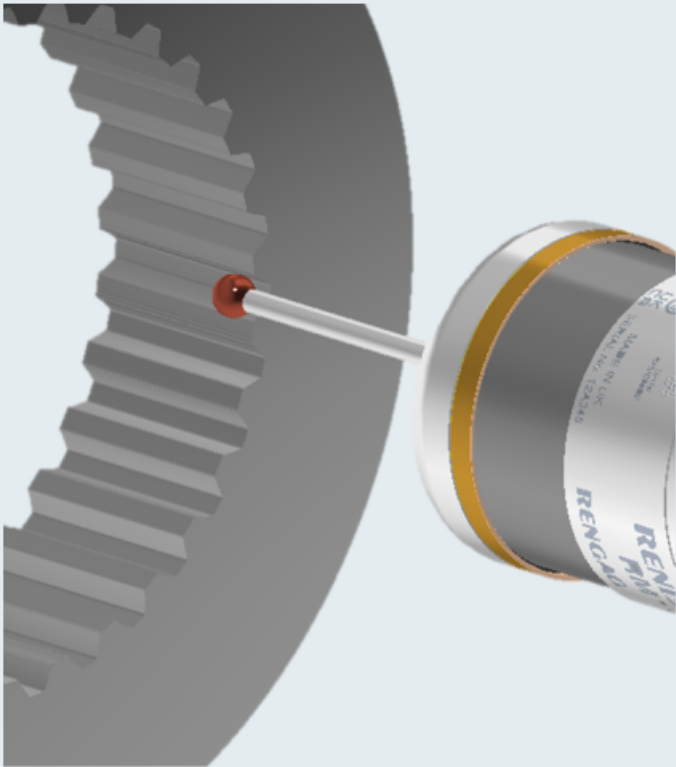
Ausgaben:

- Winkel der Zahnlücke in den globalen Variablen *_RENRES*[1-6]
- Ergebnisprotokoll mit Datum und Zeitstempel in einer Ausgabedatei

Eingabemaske für Messmakro zum Kugelmass bestimmen

ZWEIKUGELMASS

Verzahnungsart Zahnluecke



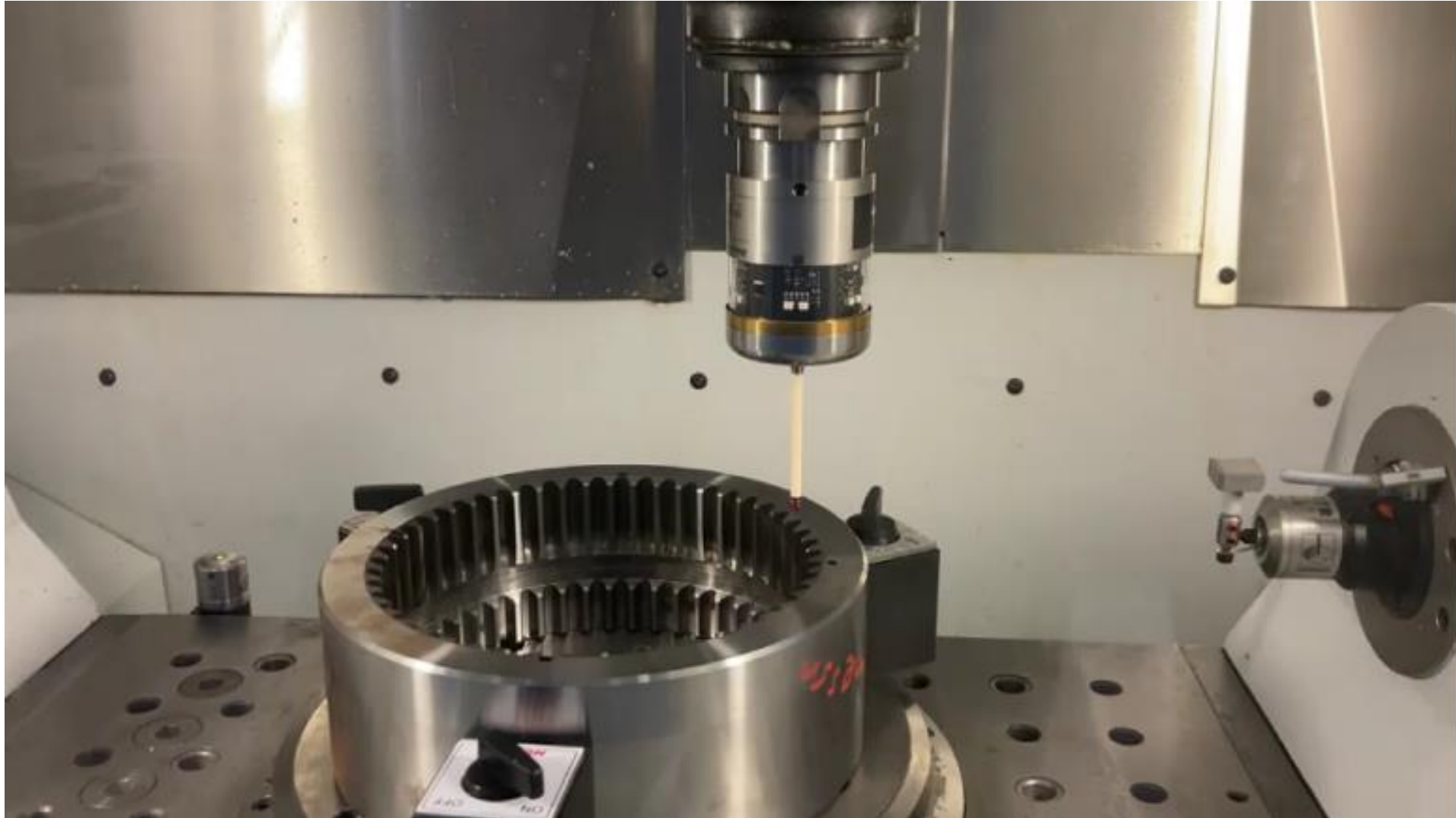
| | |
|-------|--------|
| z | 12 |
| d_t | 36.000 |
| pm | 25.000 |
| No. | 2.000 |
| h | 10.000 |
| start | 10.000 |
| end | 50.000 |
| d_k | 8.000 |
| type | IV |

Kugelmass

Abbruch

OK

Video vom Ablauf des Makros zum Kugelmass bestimmen



Ergebnis

In-Prozessregelung bei der Verzahnungsbearbeitung

wird möglich durch

- hochgenaue Renishaw Messtaster,
- effiziente anwendungsspezifische Messmakros von Renishaw,
- Parameterausgabe passend zu den Heller Technologiezyklen
- Fertigungsbegleitende Ergebnisdokumentation

-----START OF REPORT-----

DATUM: 10.07.23

UHRZEIT: 15:23 UHR

ZAEHNEZAHL: 49

TEILKREISDURCHMESSER: 196.00mm

PRUEFMASS: 185.758mm

KUGELDURCHMESSER: 7.00mm

MESSSCHNITTE: 3

| | SOLL | IST |
|----------------|-----------|----------|
| 1.MESSSCHNITT: | 185.758mm | 185.75mm |
| 2.MESSSCHNITT: | 185.758mm | 185.75mm |
| 3.MESSSCHNITT: | 185.758mm | 185.75mm |

-----END OF REPORT-----

Haben Sie Fragen?

Brauchen Sie Informationen?

Suchen Sie Problemlösungen?

Renishaw GmbH

T: +49 (0) 71 27 / 9 81 - 0

www.renishaw.de

Die optimale Fertigung erfordert...



1. **Bekannte und rückführbare Maschinenfähigkeit durch Maschinenkalibrierung**
2. **Automatisierung der Werkzeugmessung und Werkstückeinrichtung in der Werkzeugmaschine**
3. **Überwachung der Werkzeuge auf Bruch/Verschleiß**
4. **Rechnergestütztes Programmieren von Messabläufen**
5. **Werkstückabnahme auf der Maschine durch Kontrolle in der Aufspannung und automatische Protokollierung**

... mit **RENISHAW** 

Jedes Teil ein Gutteil – immer!