

HELLER Technology Power Skiving

Daniel Kehl 06/2023

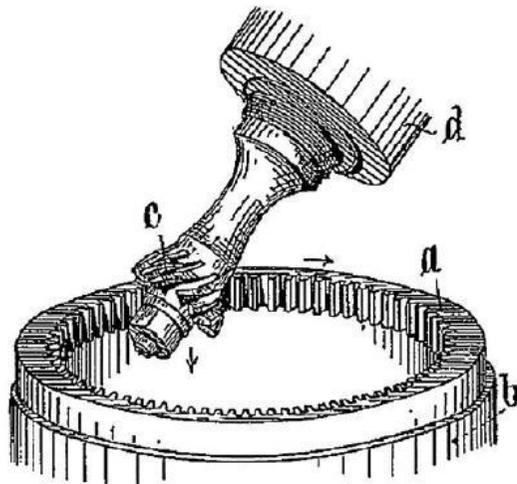


WAS IST POWER SKIVING?

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

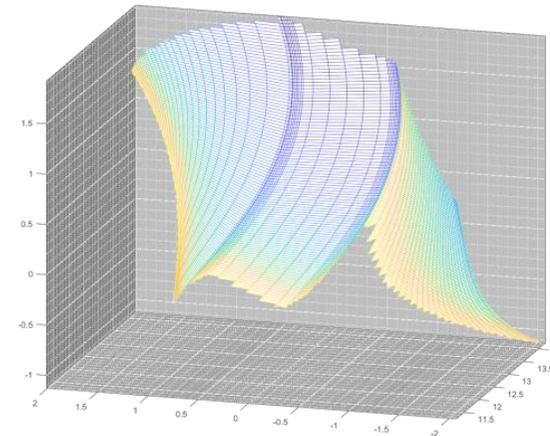
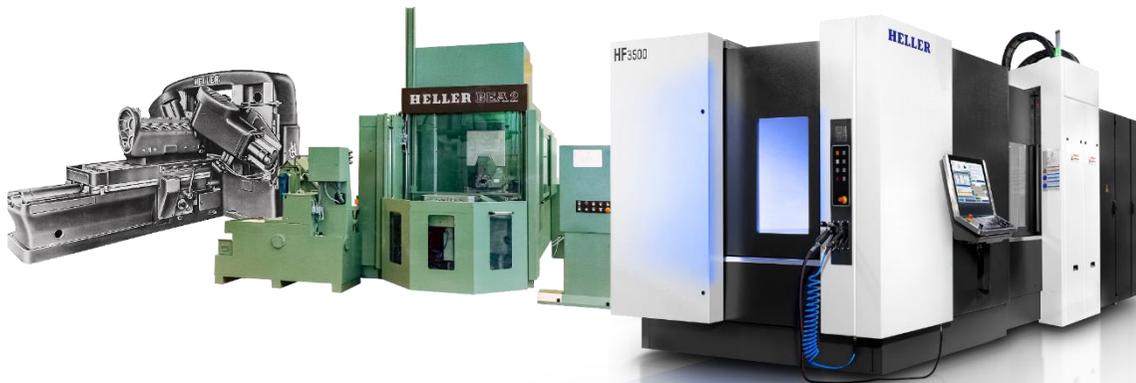
_ Kontinuierliches, zerspanendes Verfahren zur Herstellung von Verzahnungen.

_ 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)

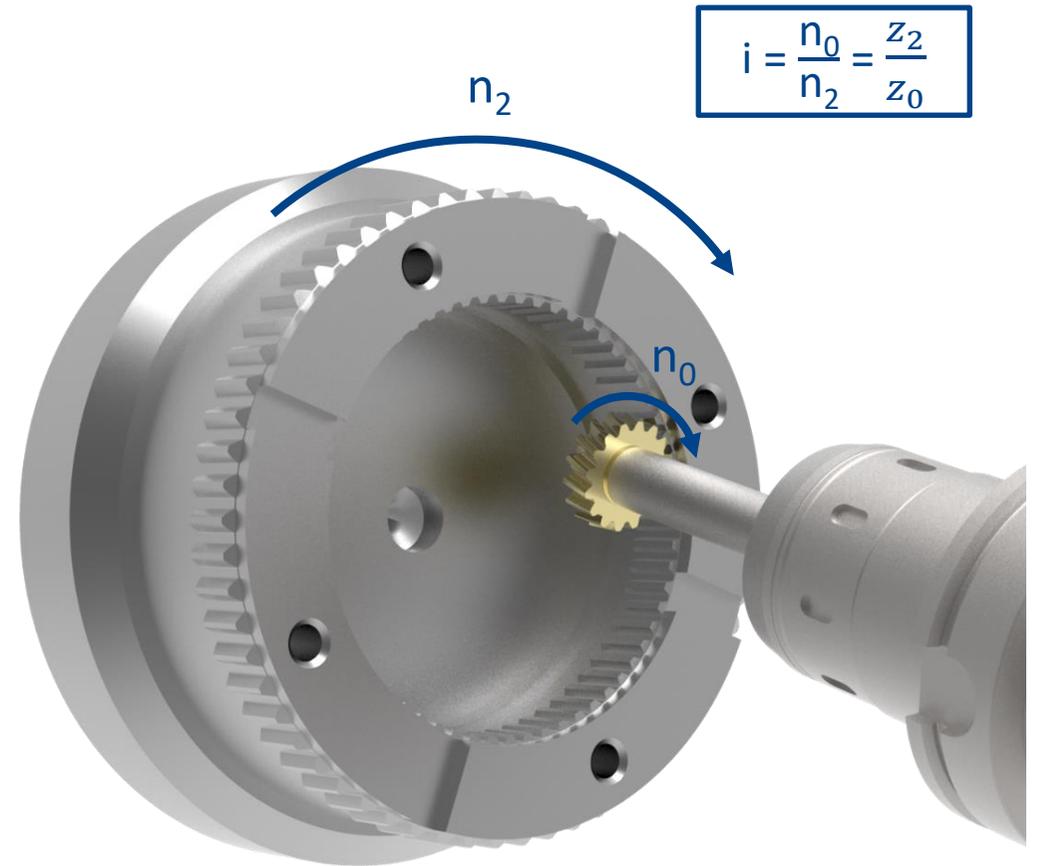
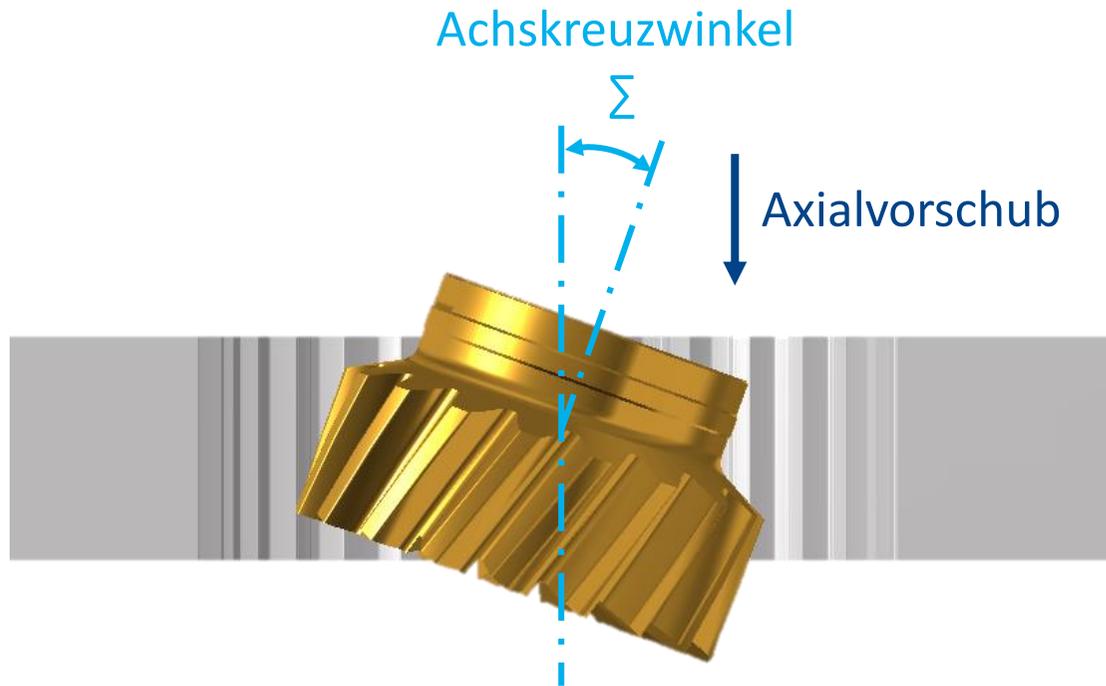
_ Gerad- und Schrägverzahnungen

_ Kettenrad- und Zahnriemenprofile

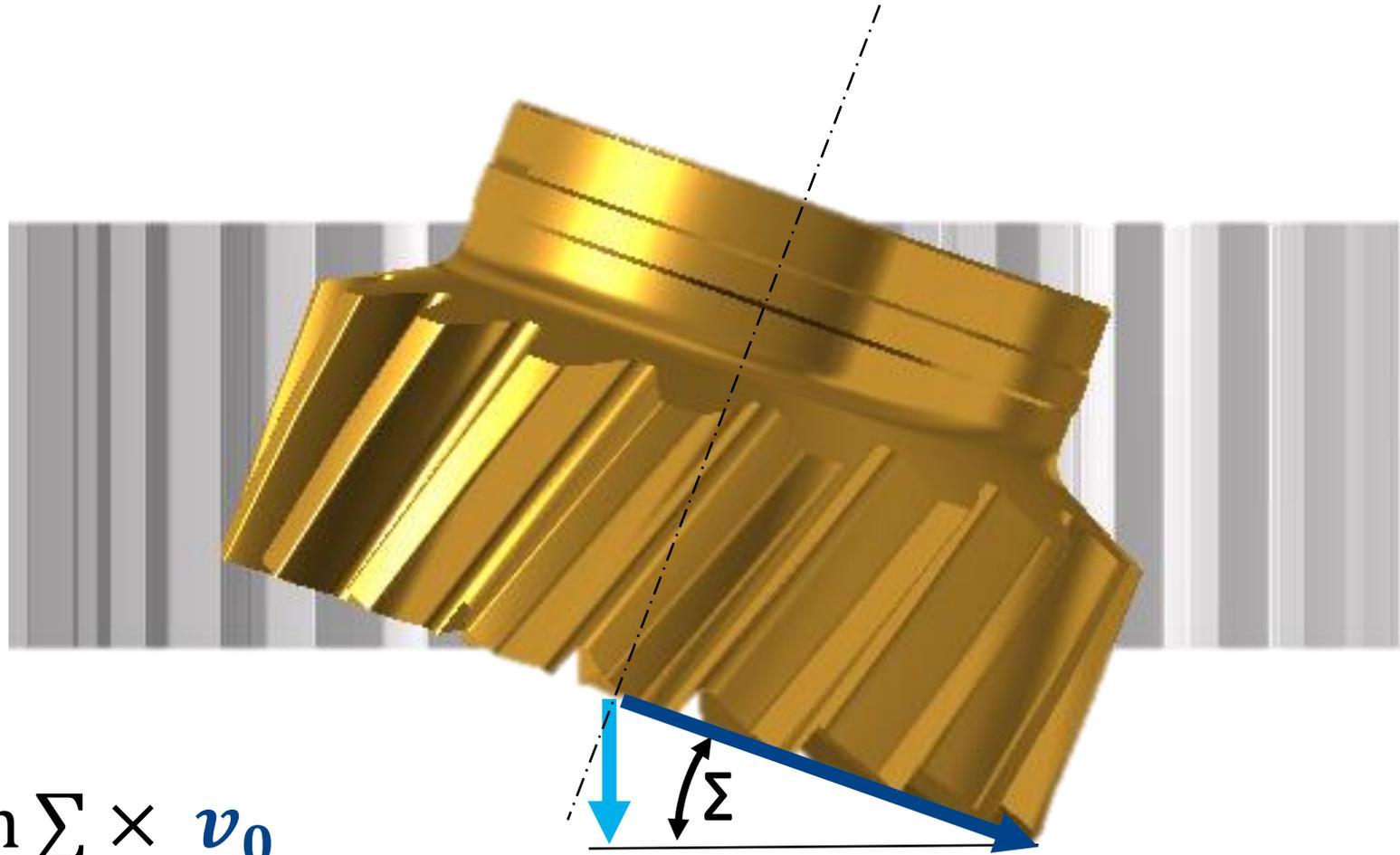
→ „*Alle Profile die aufeinander abgewälzt werden können*“



PROZESSKINEMATIK



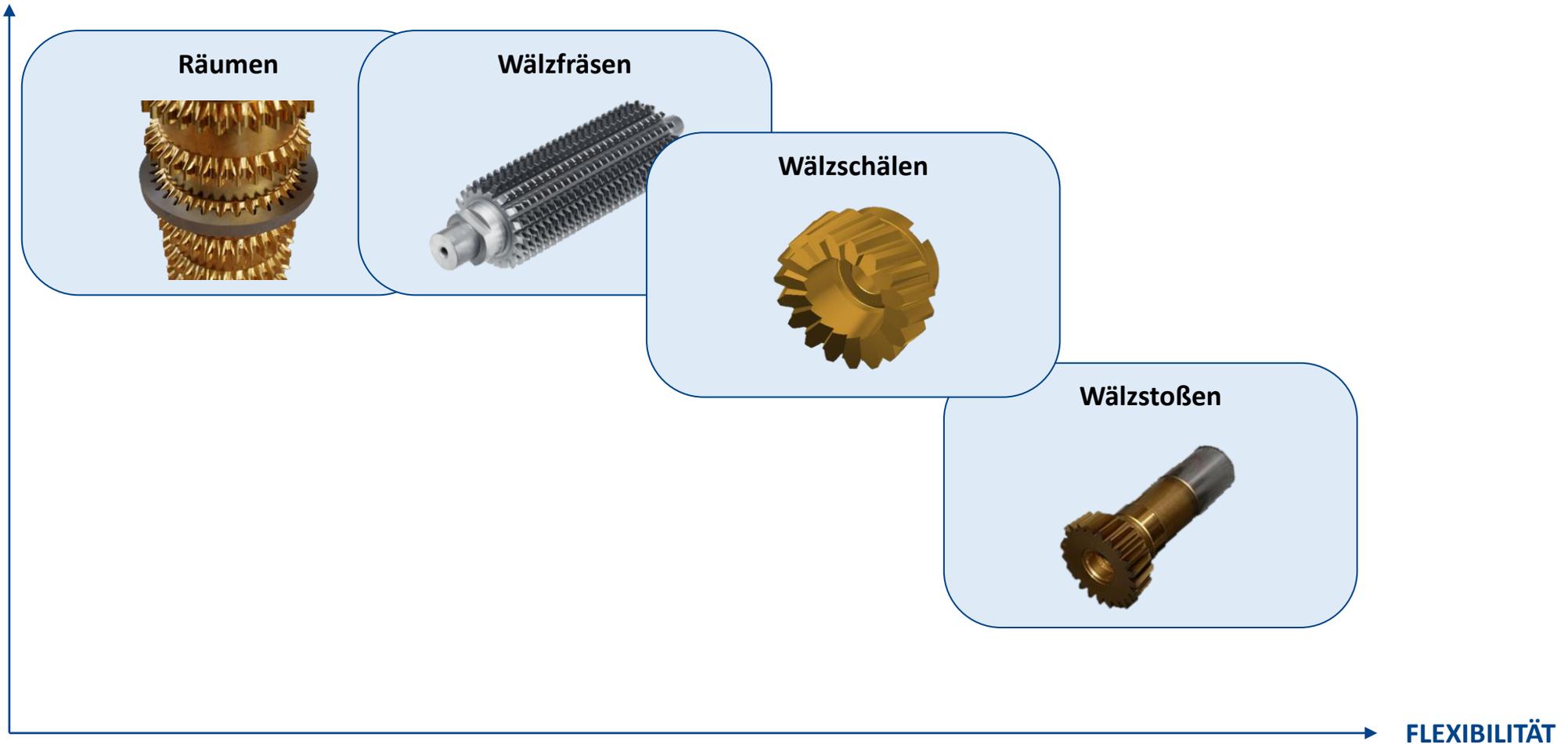
PROZESSKINEMATIK



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

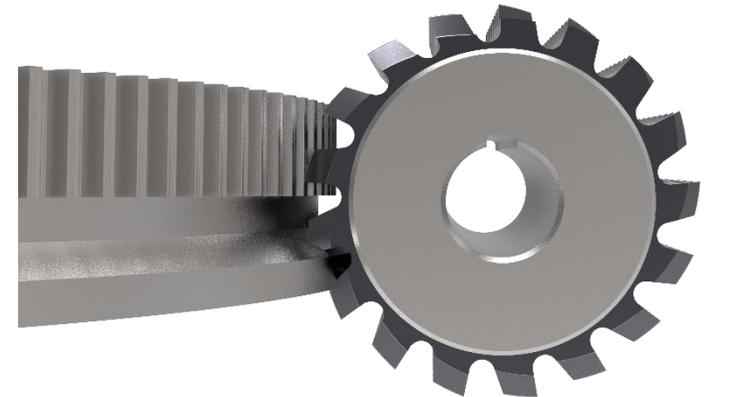
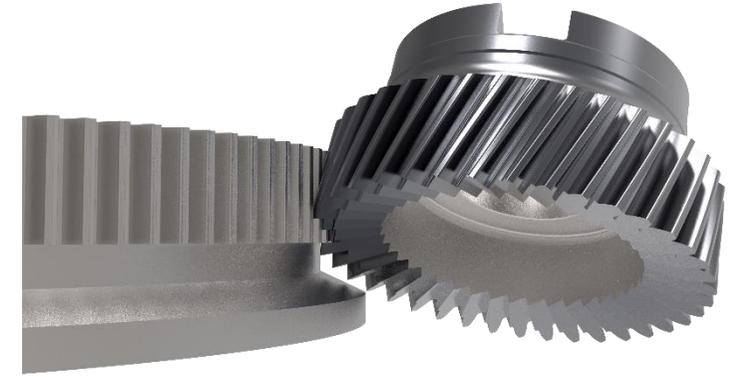
EINORDNUNG VERZÄHNUNGSVERFAHREN

PRODUKTIVITÄT

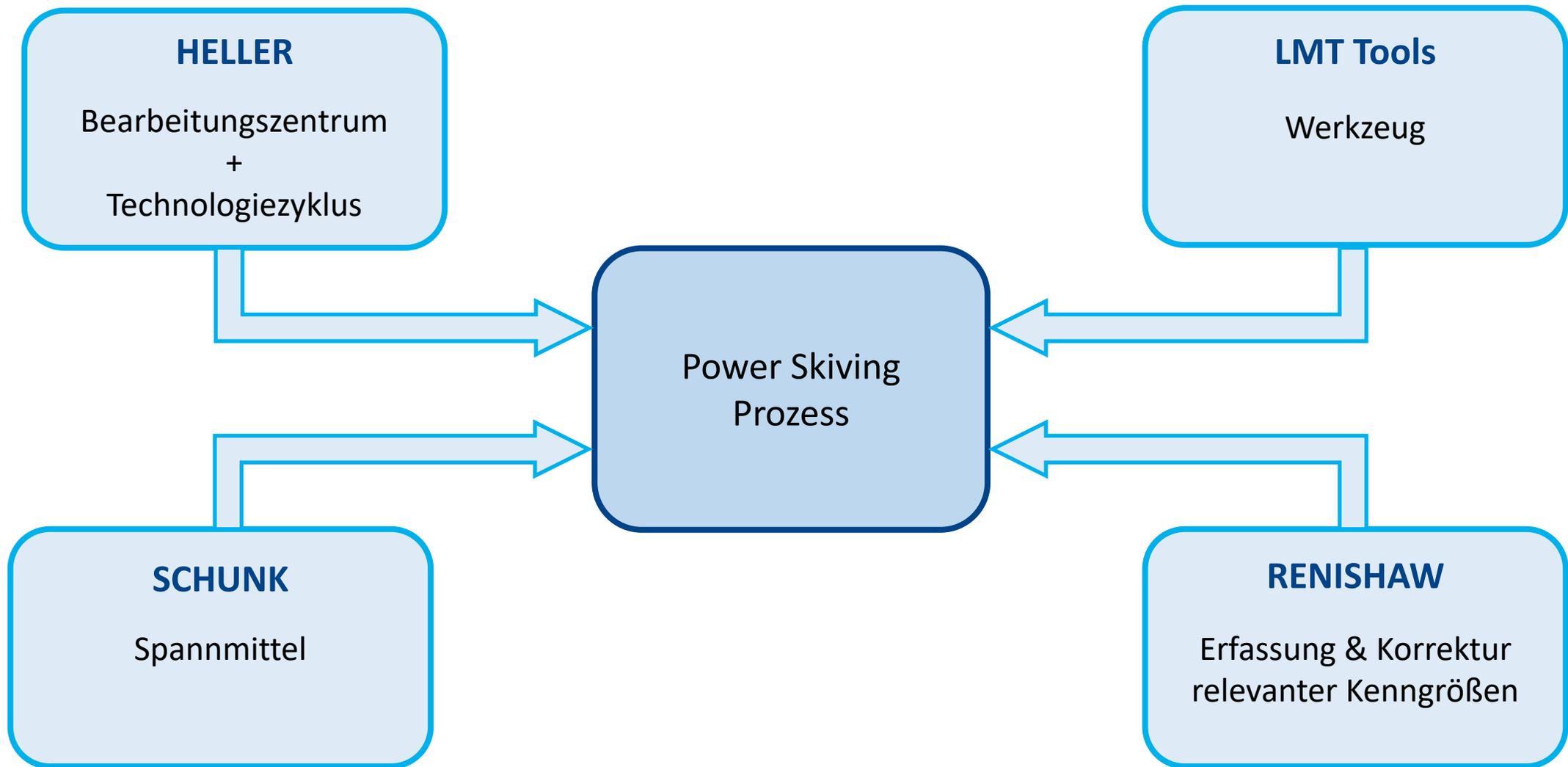


VORTEILE WÄLZSCHÄLEN

- _ 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

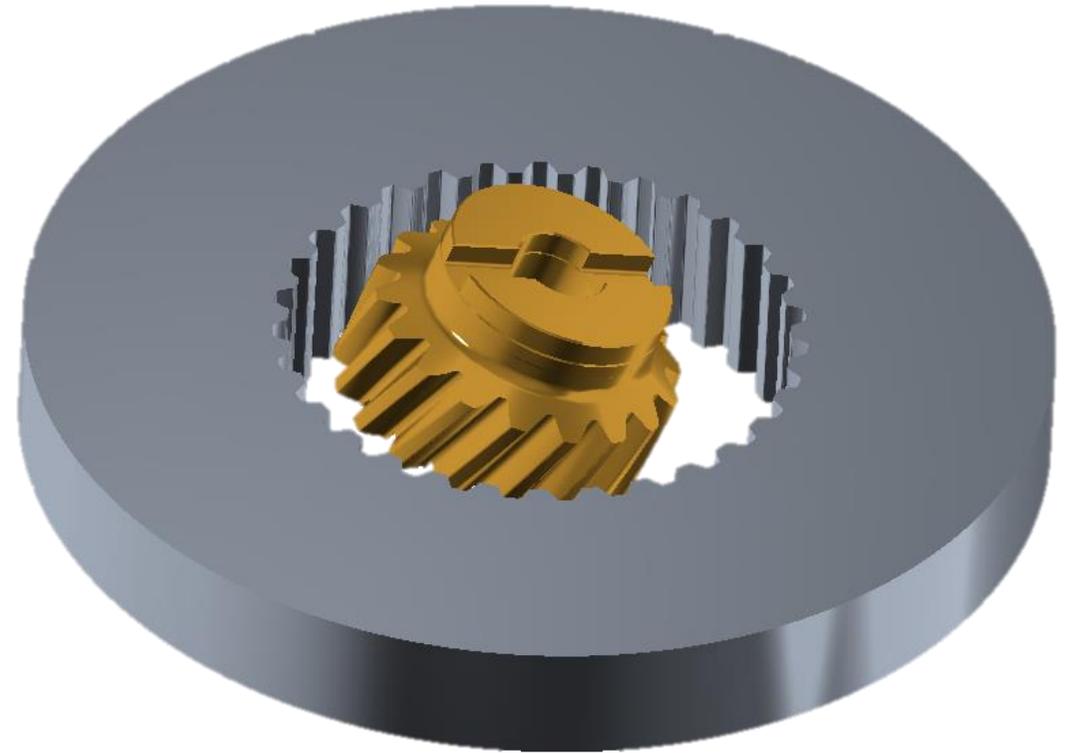
_Steckverzahnung DIN 5480

_Zähnezahl $z = 51$

_Schrägungswinkel $\beta = 0^\circ$

_Kopfkreisdurchmesser $d_a = 202 \text{ mm}$

_Zahnhöhe $h = 4 \text{ mm}$



HELLER HF 5500 MillTurn

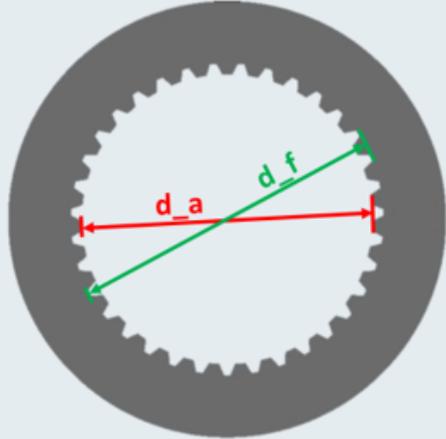
HORIZONTALES 5-ACHS-BEARBEITUNGSZENTRUM

- _ 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 °

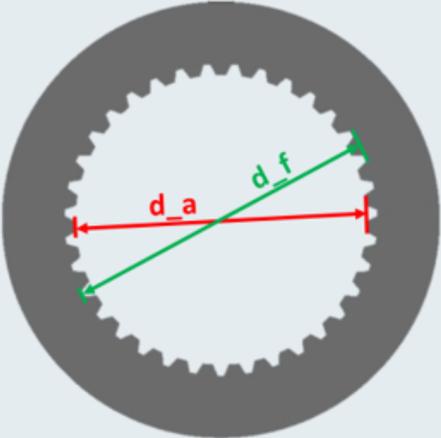
Parameter Werkzeug			
Z	23	spiral	RH
rot	0.000 °		

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



The diagram shows a gear with two diameters: d_a (addendum diameter) and d_f (pitch diameter). d_a is shown as a red horizontal line across the outermost teeth, and d_f is shown as a green diagonal line passing through the pitch circles.

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	

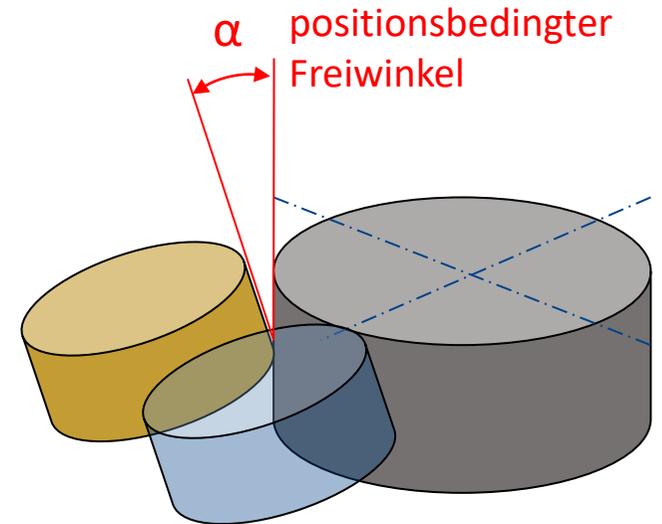
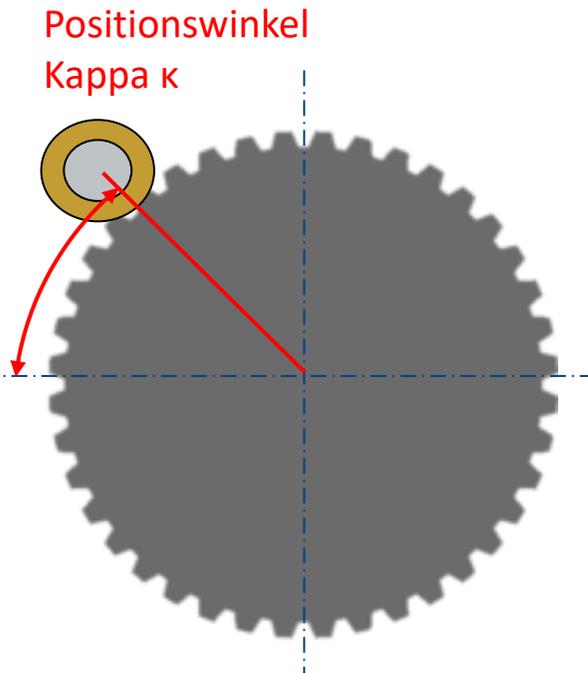
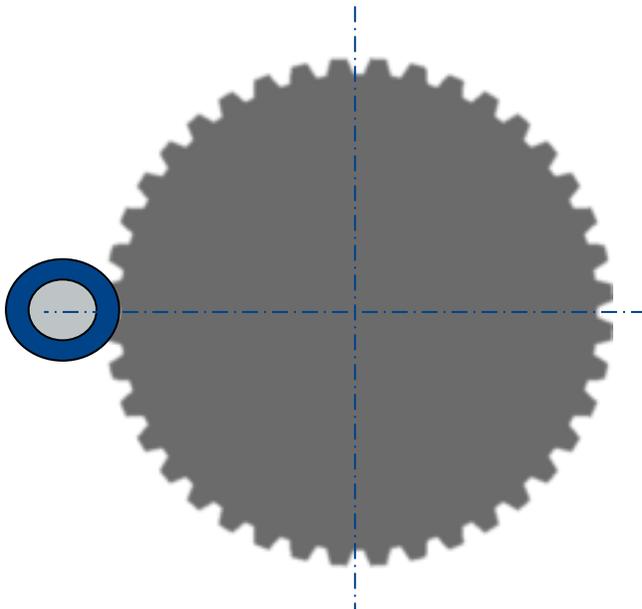
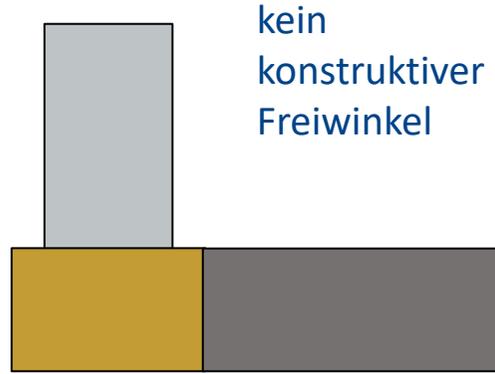
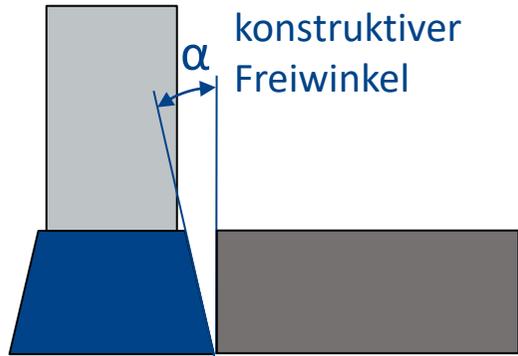
Schnittparameter			
Schruppen		Schichten	
No. cuts	10	t	0.000
n	668.0 1/min		
label	IVZ_M4		

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

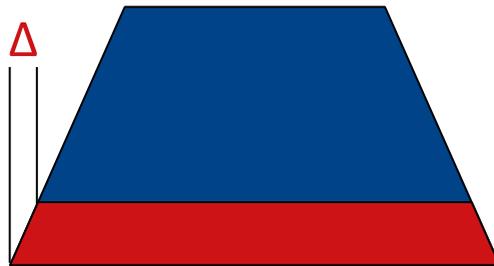


VERGLEICH WERKZEUGE

KONISCH VS. ZYLINDRISCH

Konische Werkzeuge

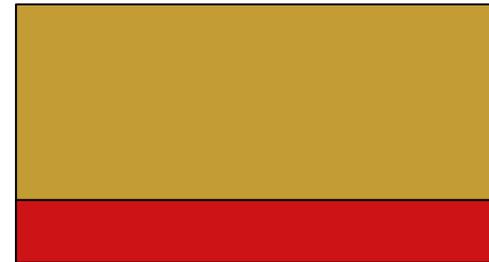
- _ Vergleichsweise einfache Positionierung
 - _ Nur wenige Nachschleifdurchgänge
 - _ Geringe Profilkonstanz nach dem Nachschleifen
- Prozesskorrekturen immer notwendig



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



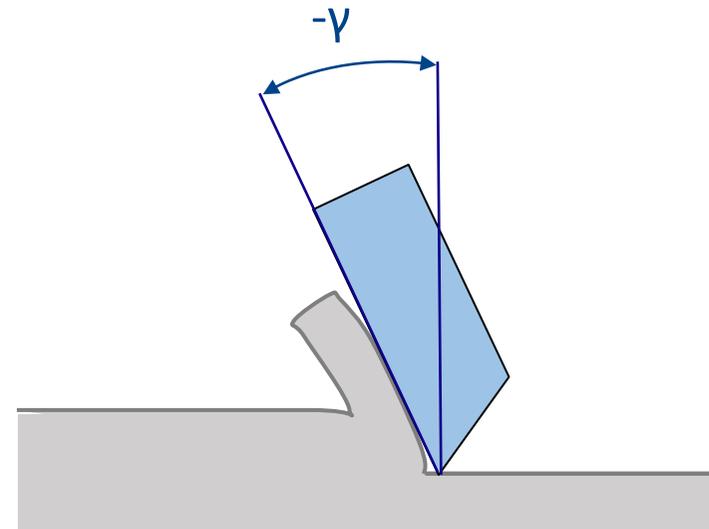
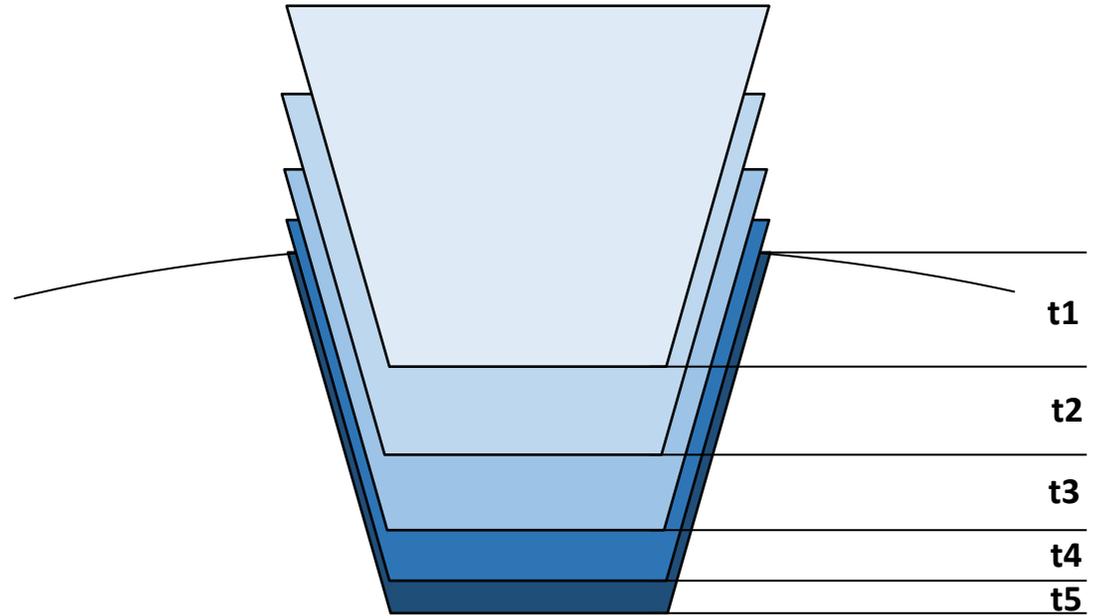
Zustelltiefen und
Axialvorschübe
variieren



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

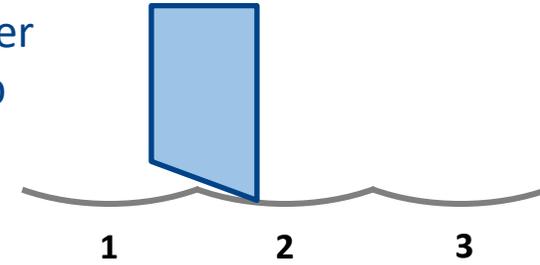


AXIALVORSCHUB

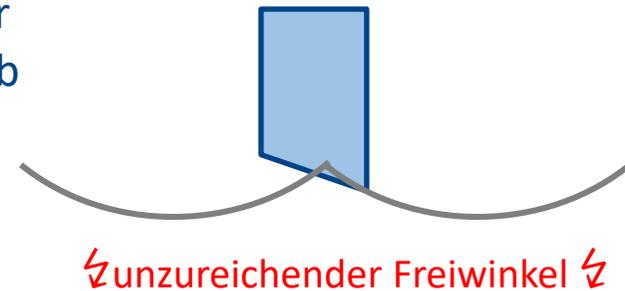
_ Freiwinkelverletzungen bei zu hohen Axialvorschüben

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

geeigneter Vorschub



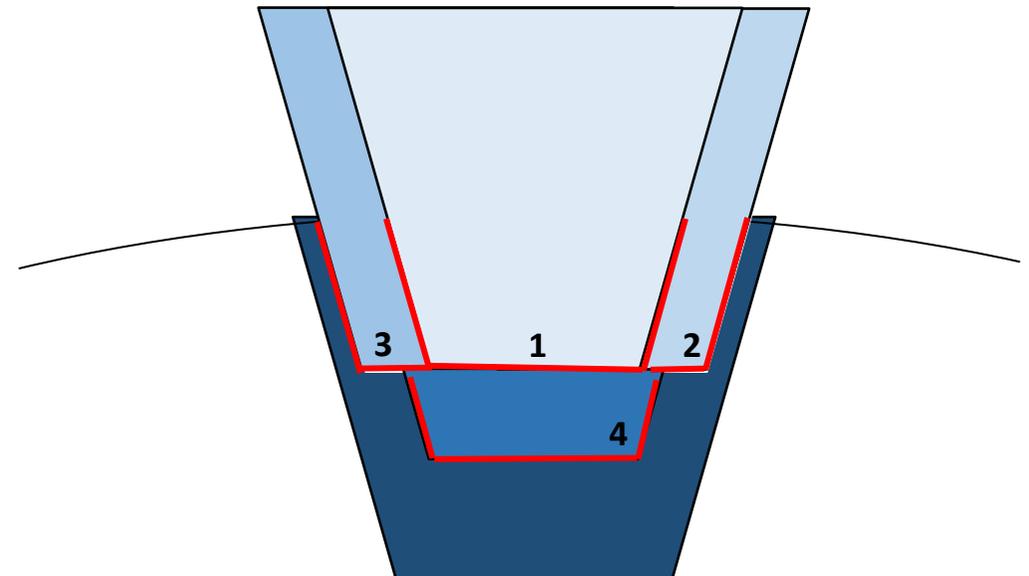
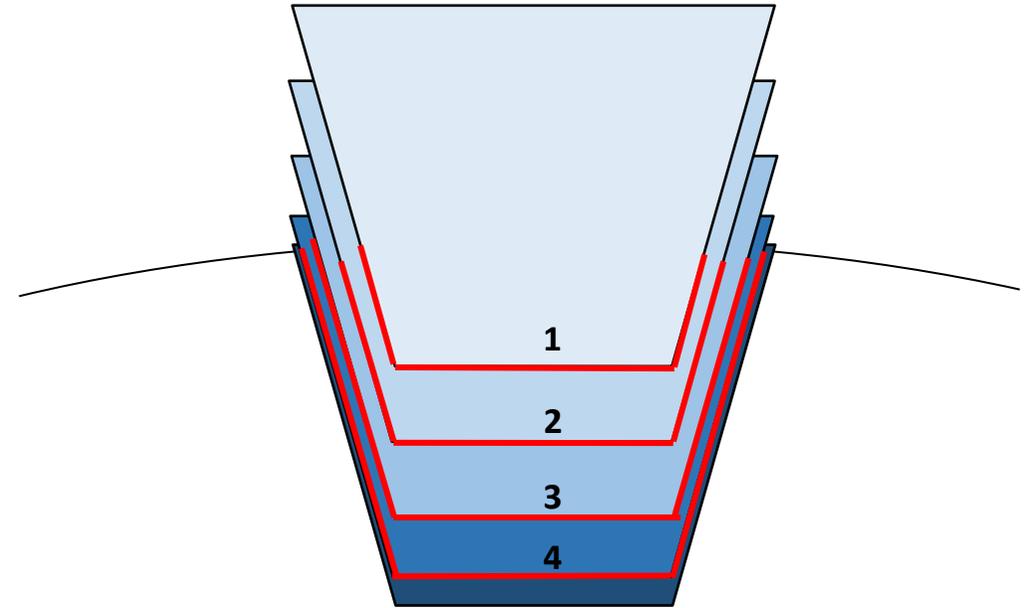
zu hoher Vorschub



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



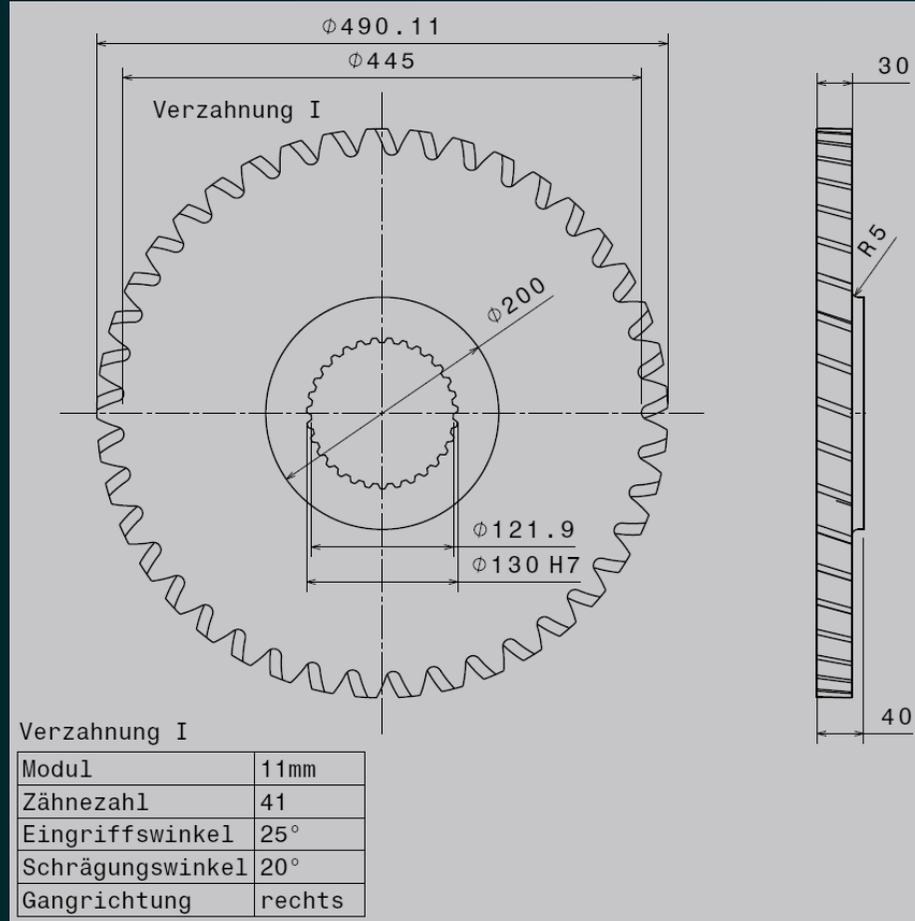
Gear Skiving Tools

Simulation schafft Sicherheit

Michel Meyer
18.07.2023

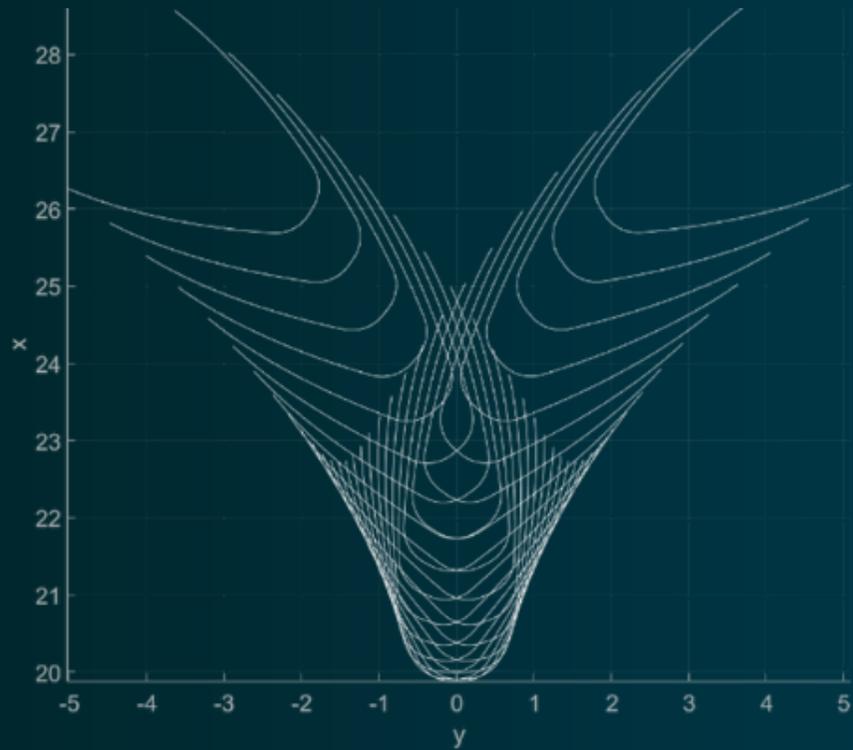


Von der Zeichnung zum Zahnrad – Wir begleiten Sie!



Profilbestimmung Wälzschalen

Wälzstellungen Wälzschalen



Warum simulieren ?

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

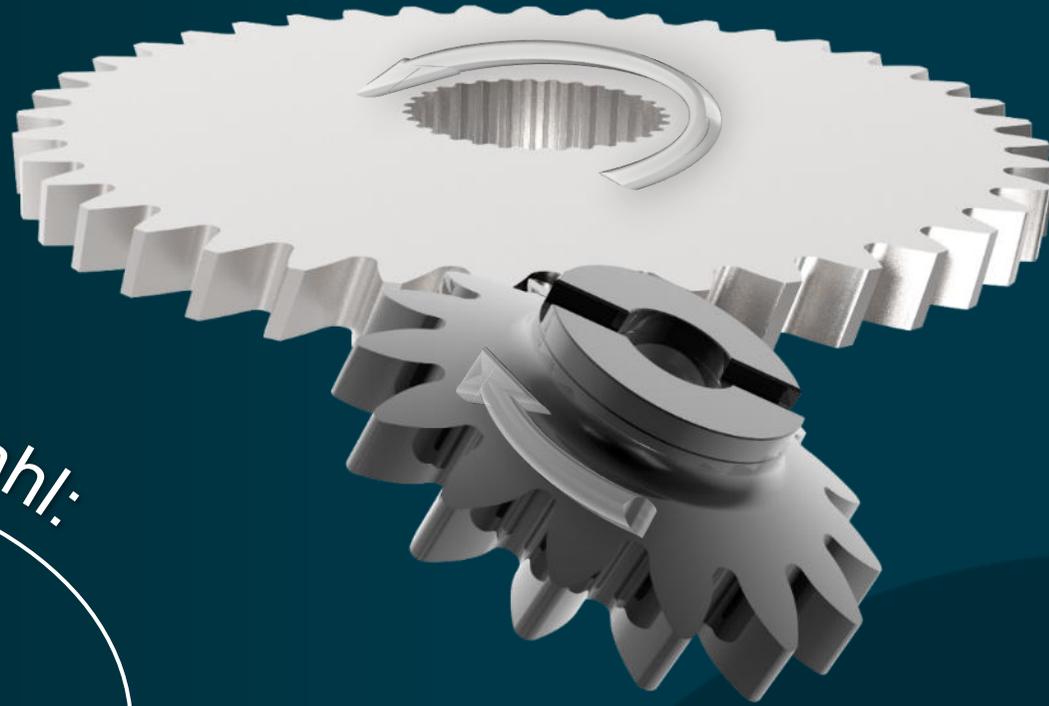
*„Beim Werkzeugfreiwinkel orientiert
man sich einfach am Stoßen“*

Welche Zähnezahl ist die Richtige?

Welche Winkel sind am Werkzeug vorzusehen?

Wie soll das Werkzeug eingesetzt werden?

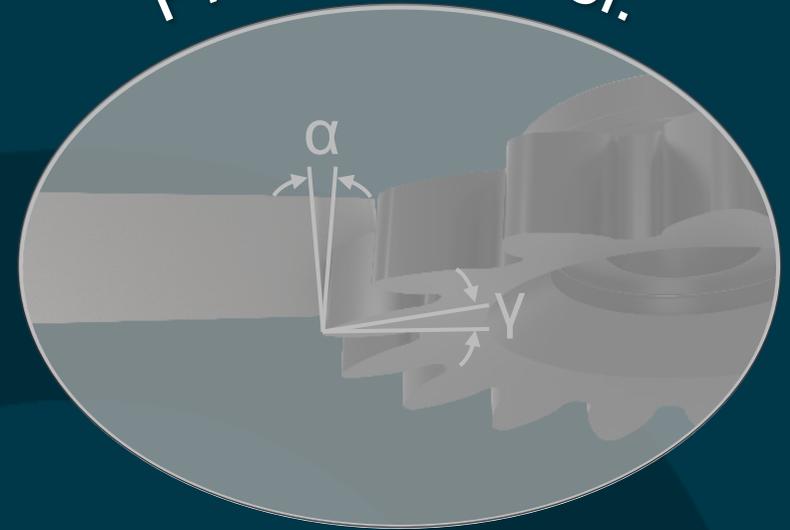
*„10-15 lineare Zustellungen und dann funktioniert das immer“
„Lieber drei Zustellungen und ganz wenig Vorschub“*



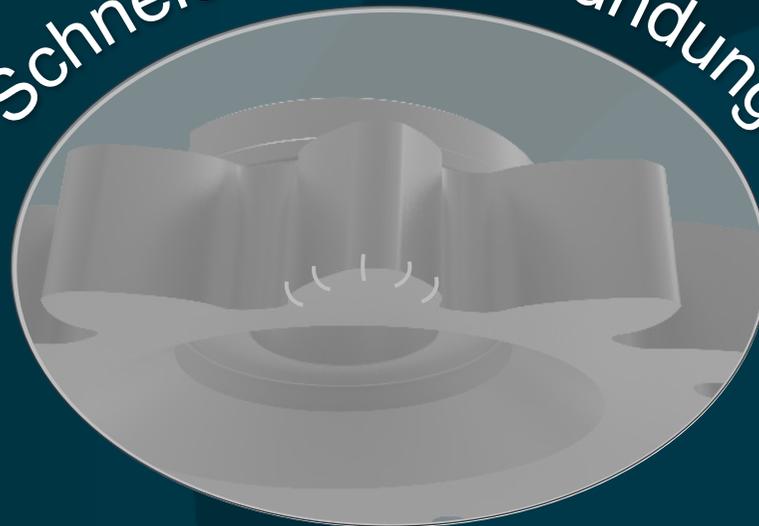
Werkzeugzähnezahl:



Prozesswinkel:

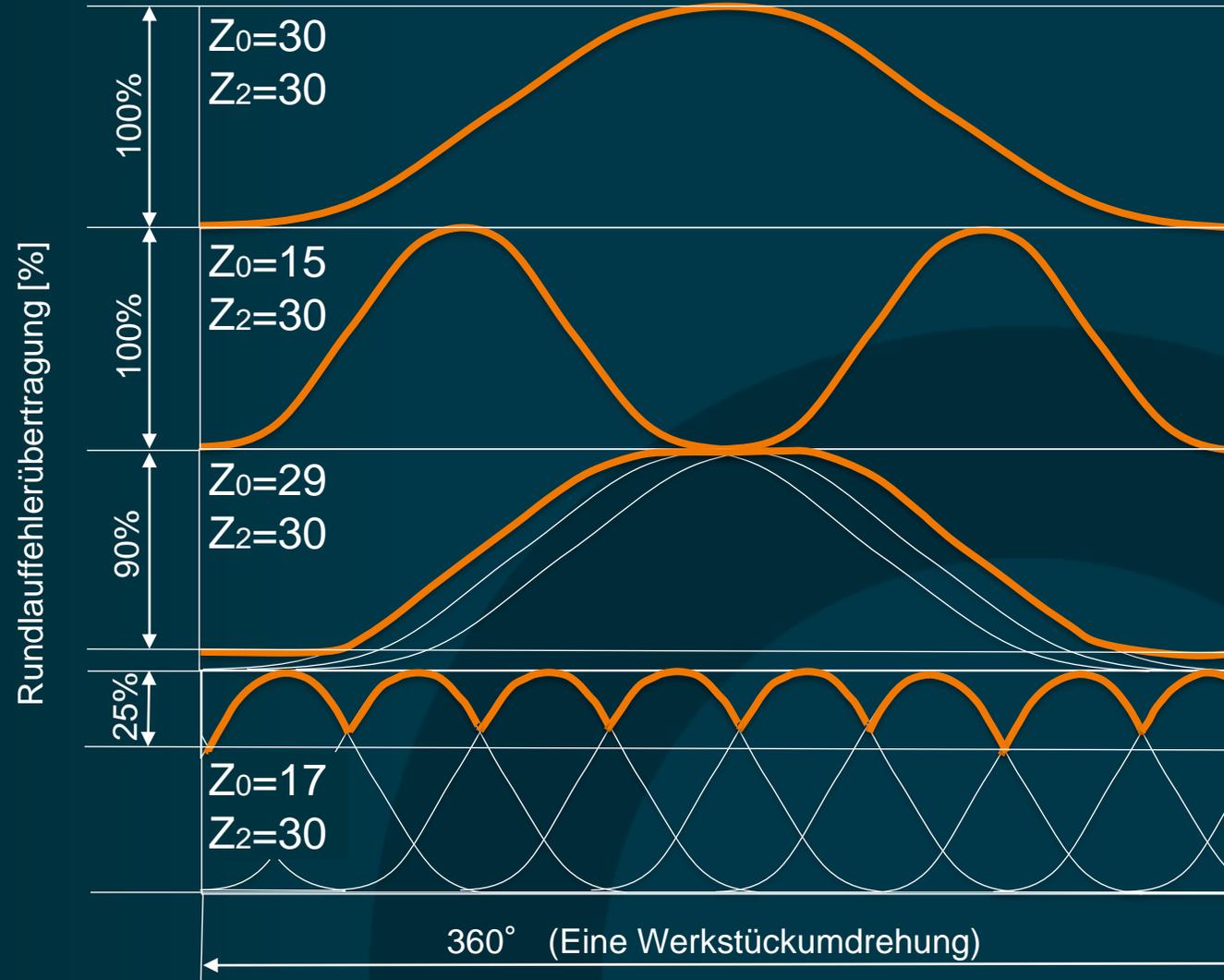


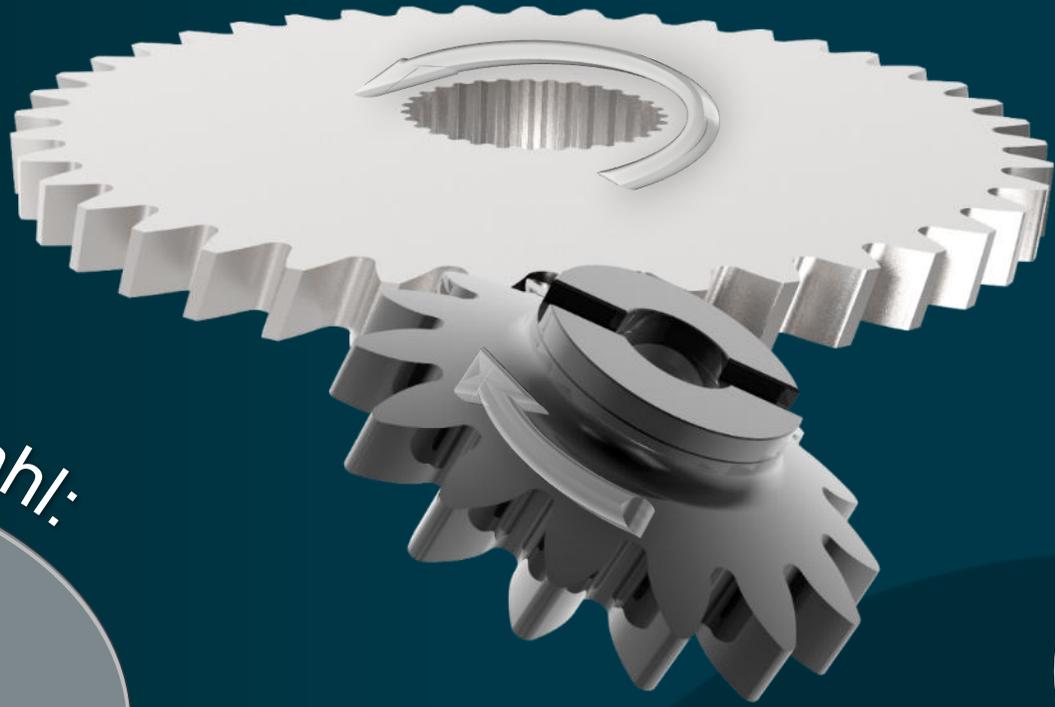
Schneidkantenverrundung



Werkzeugzähnezahl – Rundlauffehlerübertragung in Abhängigkeit der Zähnezahl

Zähnezahl:
Werkzeug: Z_0
Werkstück: Z_2

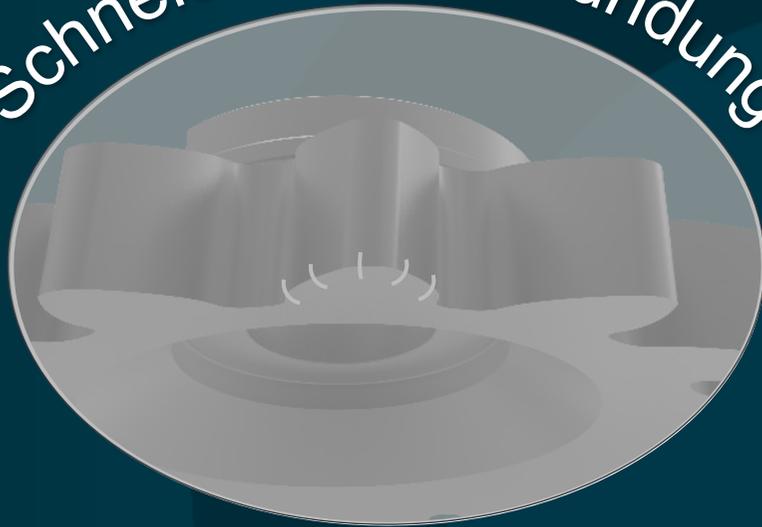




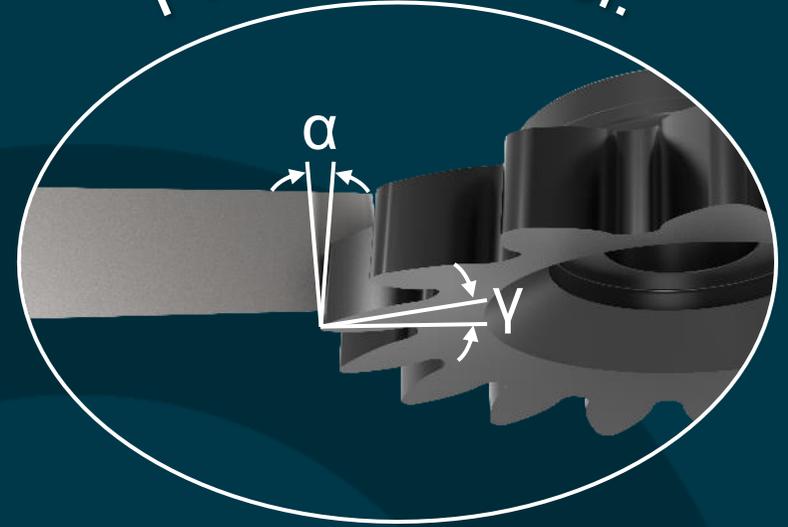
Werkzeugzähnezahl:



Schneidkantenverrundung

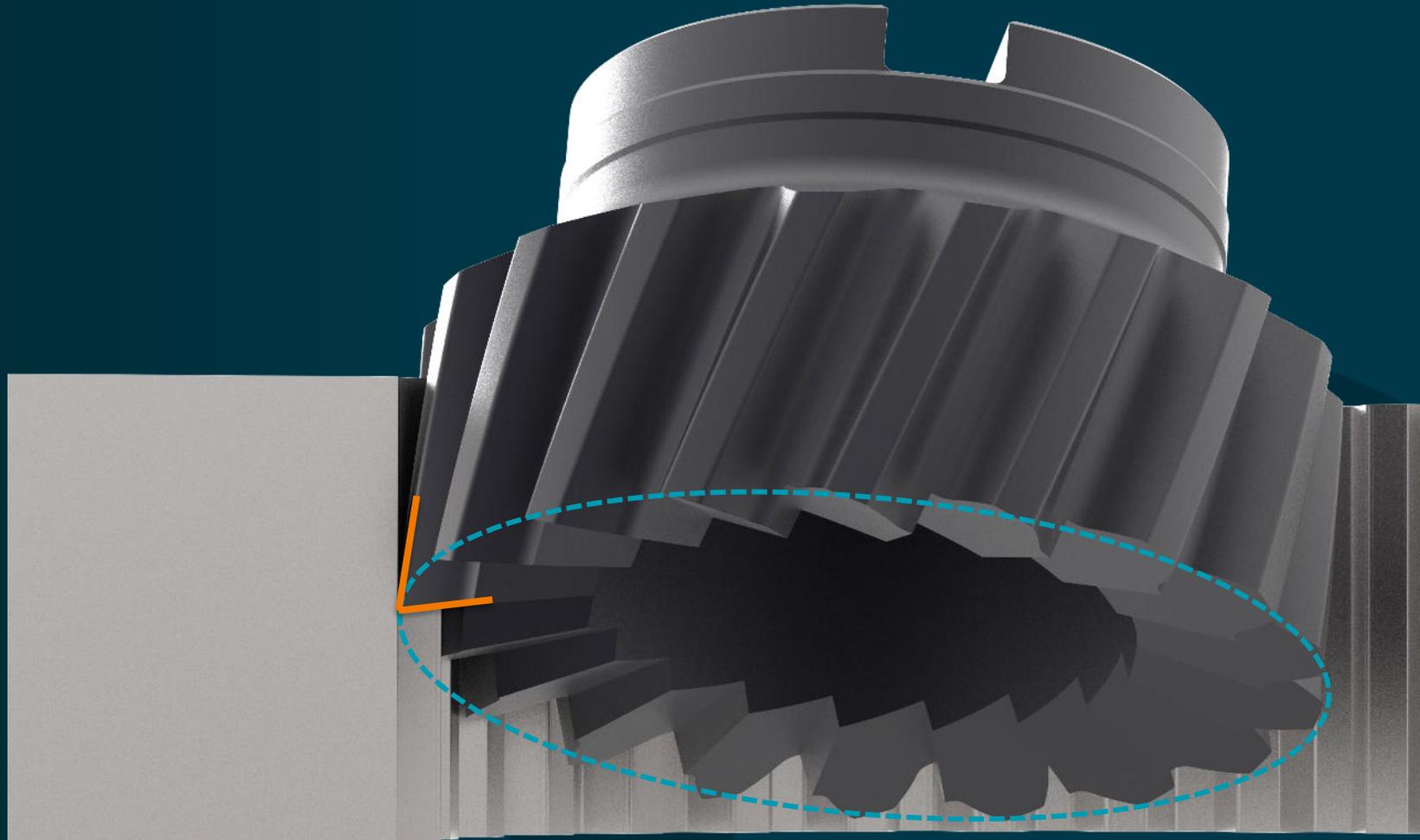


Prozesswinkel:



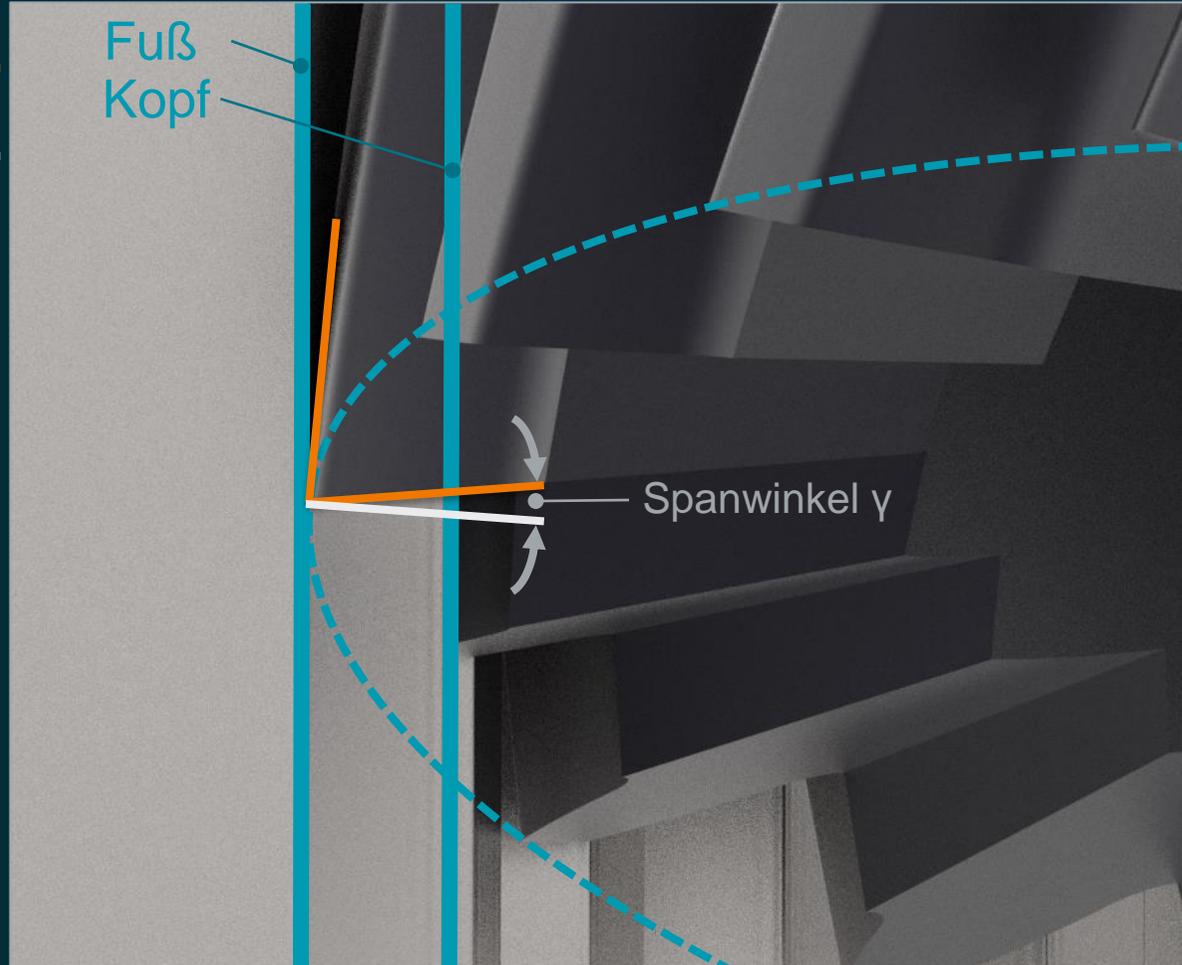
Prozesswinkel – Kopfpunktbahn Wälzschälen

Schneidkeil ———
Kopfpunktbahn - - -



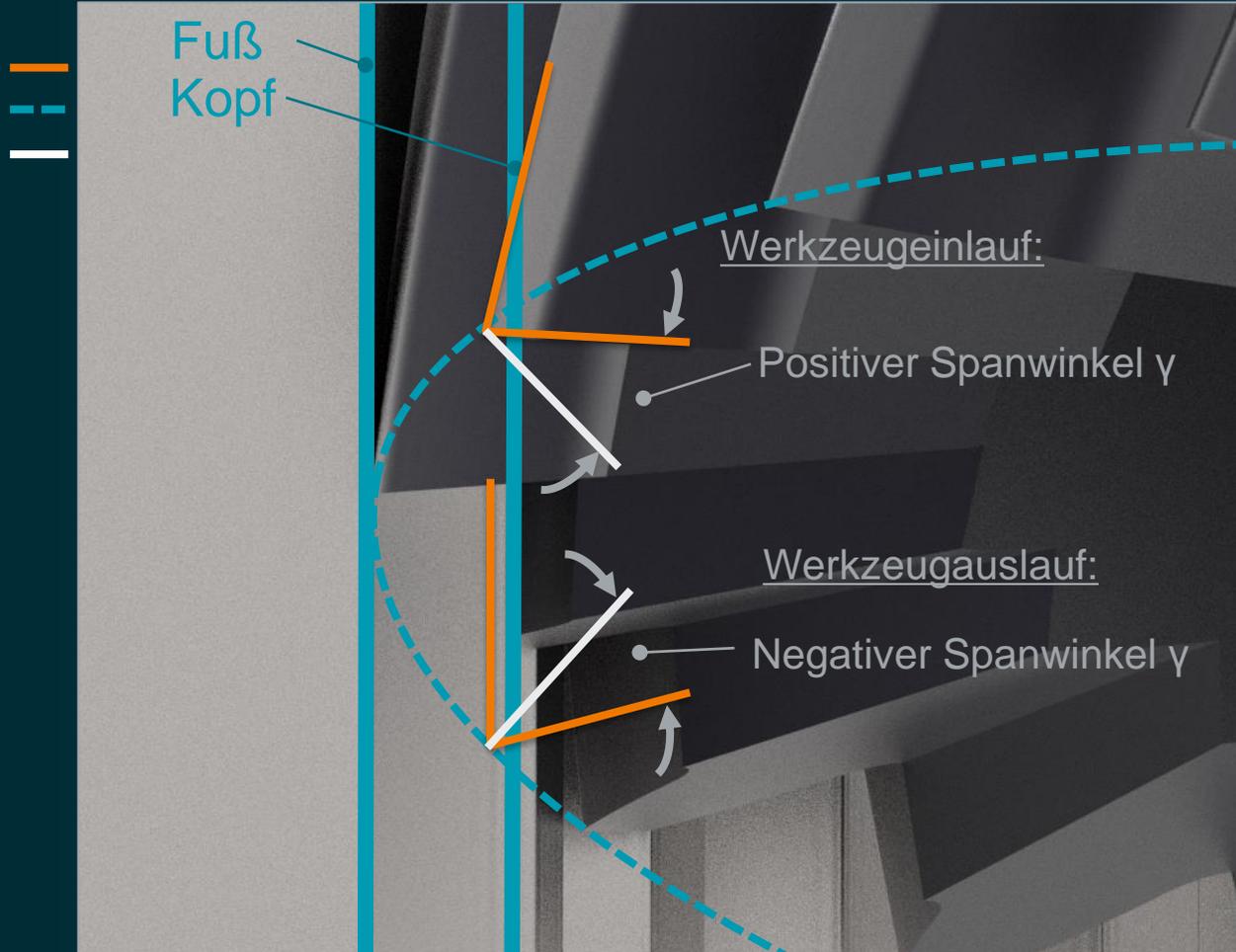
Prozesswinkel – effektiver Spanwinkel im Vollschnitt

Schneidkeil
Kopfpunktbahn
Normale zur
Kopfpunktbahn

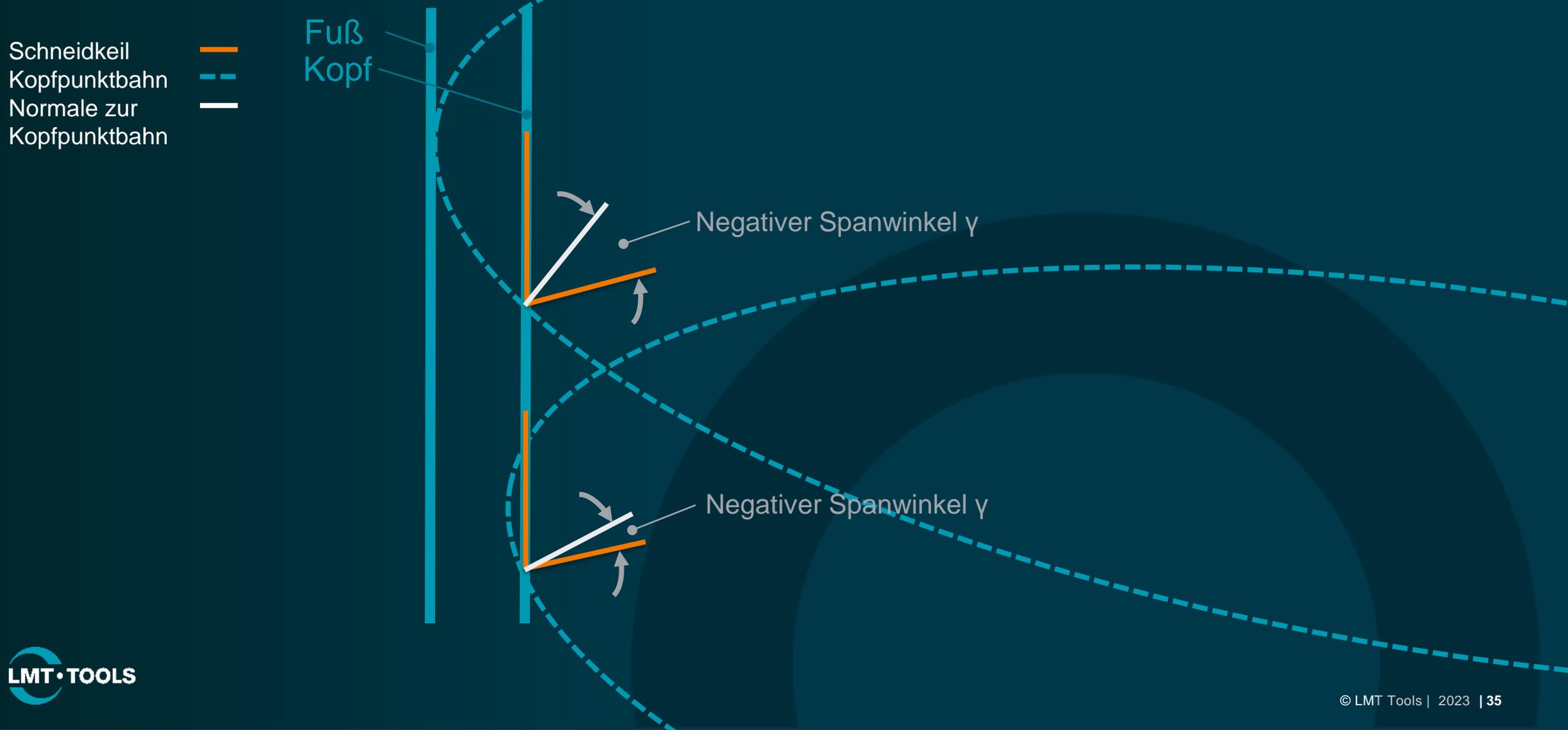


Prozesswinkel – effektiver Spanwinkel im Vollschnitt

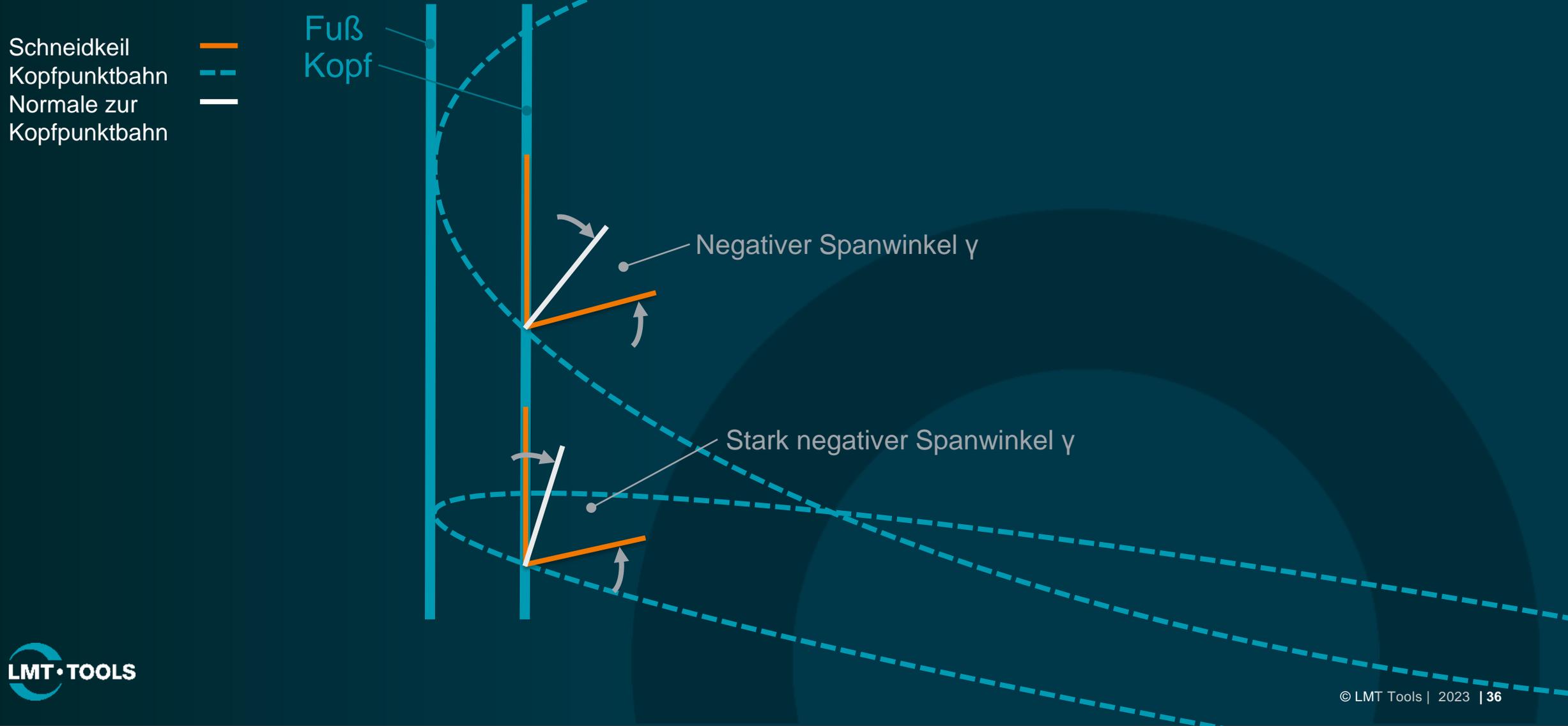
Schneidkeil
Kopfpunktbahn
Normale zur
Kopfpunktbahn



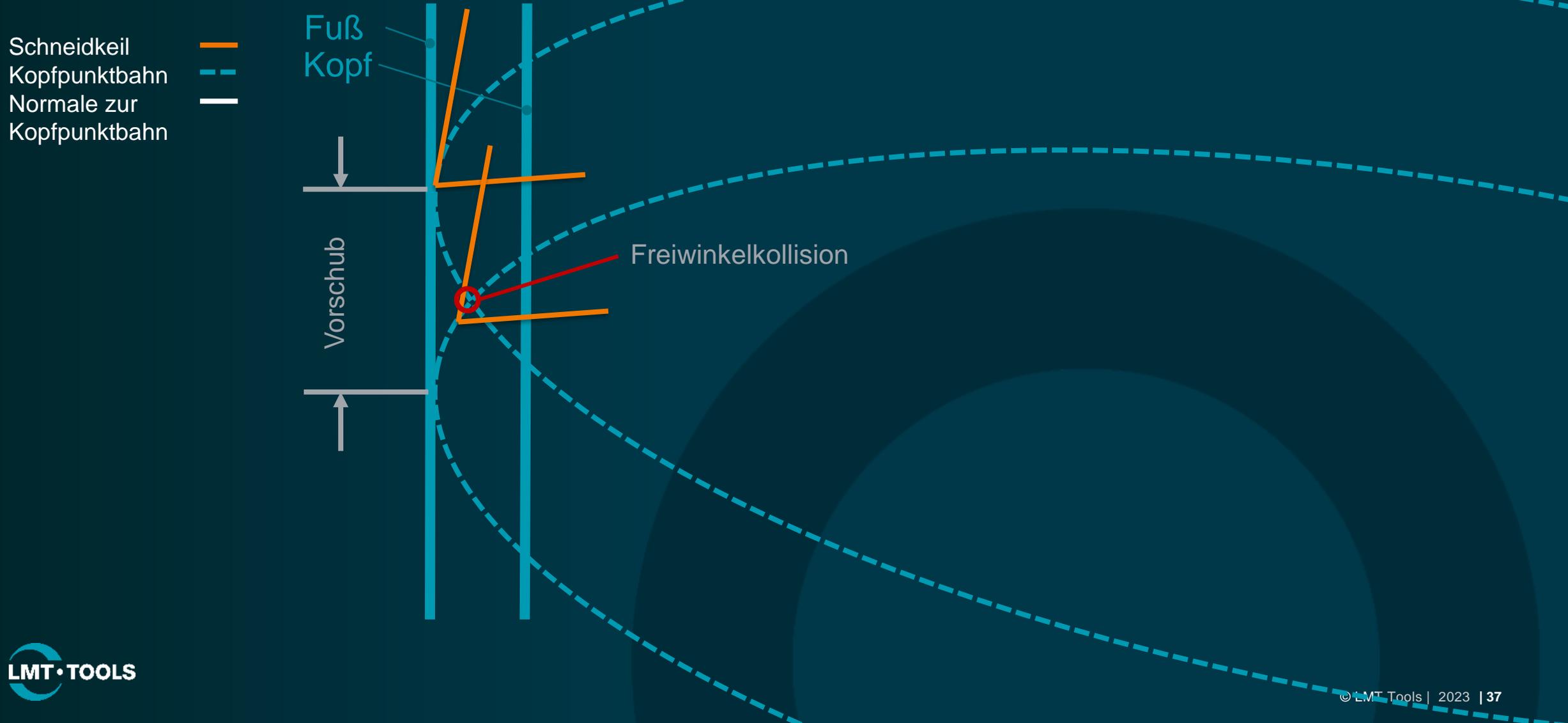
Prozesswinkel – Einfluss Zustellung



Prozesswinkel – Einfluss des Achskreuzwinkels auf den effektiven Spanwinkel

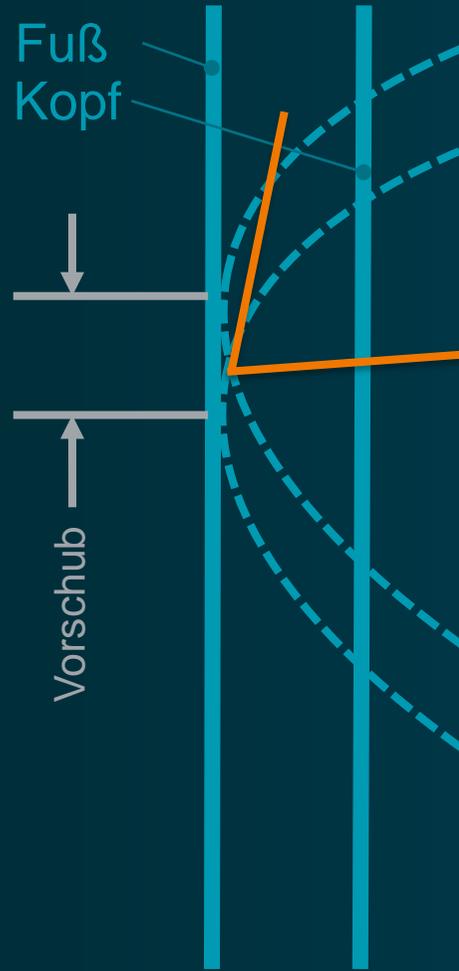


Prozesswinkel – Einfluss des Vorschubes auf den effektiven Freiwinkel

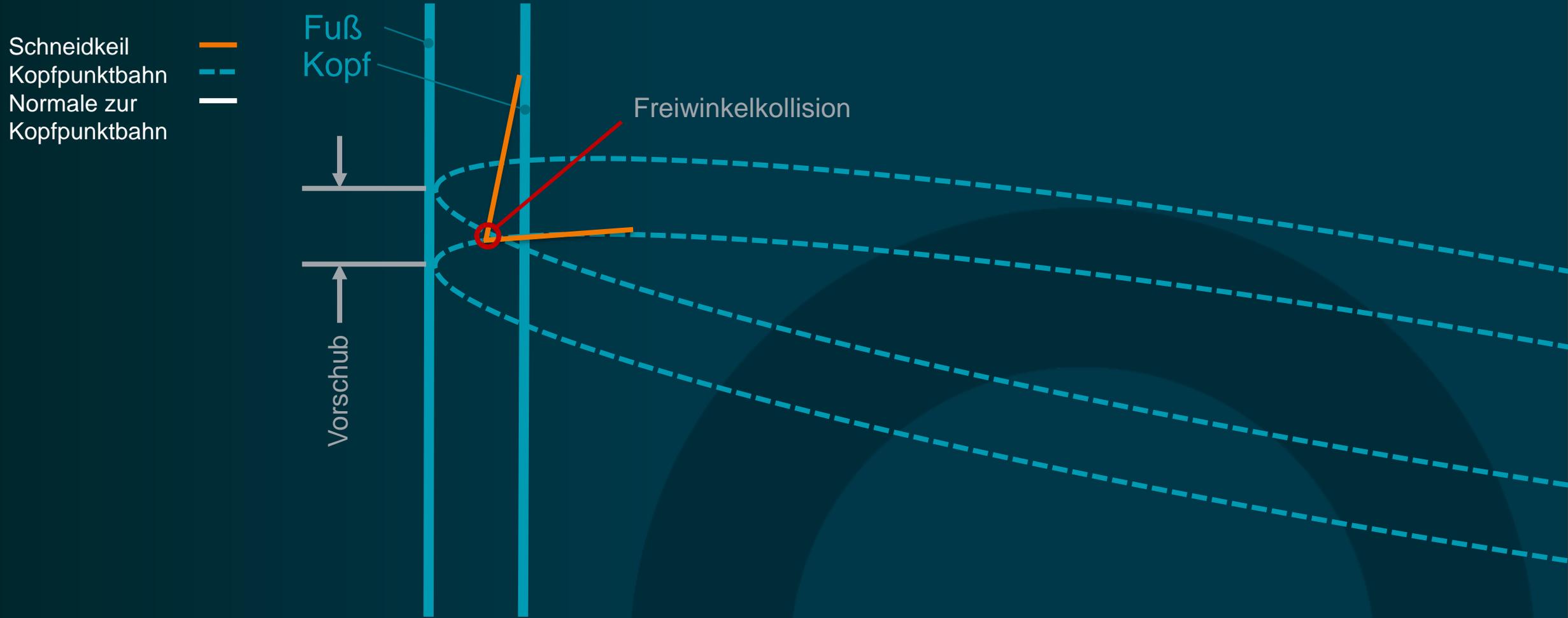


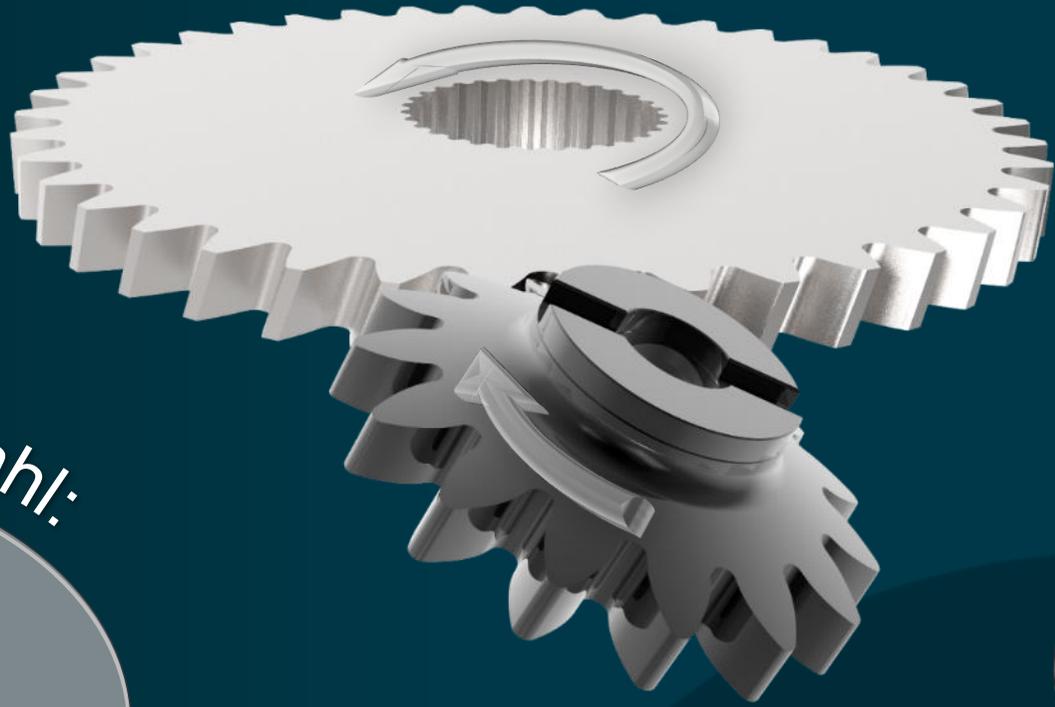
Prozesswinkel – Einfluss einer Vorschubreduktion auf den effektiven Freiwinkel

Schneidkeil
Kopfpunktbahn
Normale zur
Kopfpunktbahn



Prozesswinkel – Einfluss des Achskreuzwinkels auf den effektiven Freiwinkel

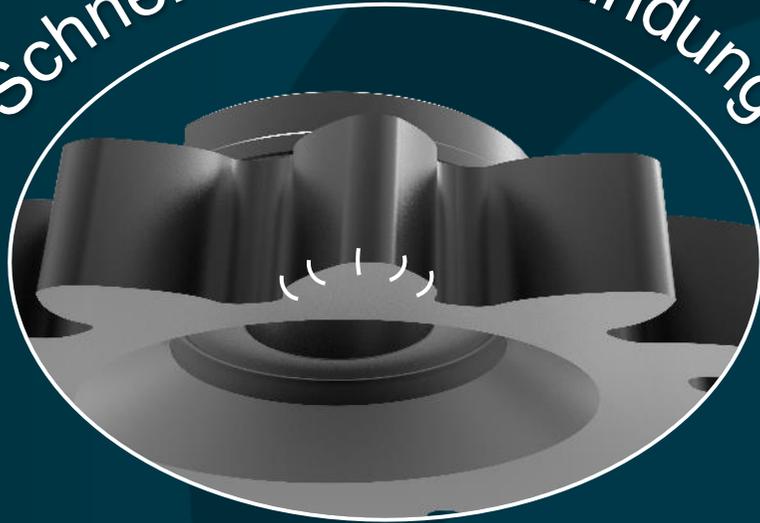




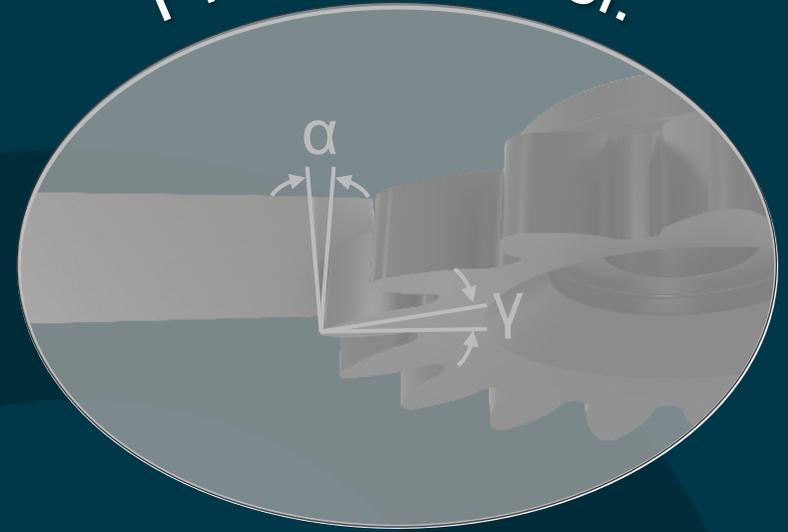
Werkzeugzähnezahl:



Schneidkantenverrundung



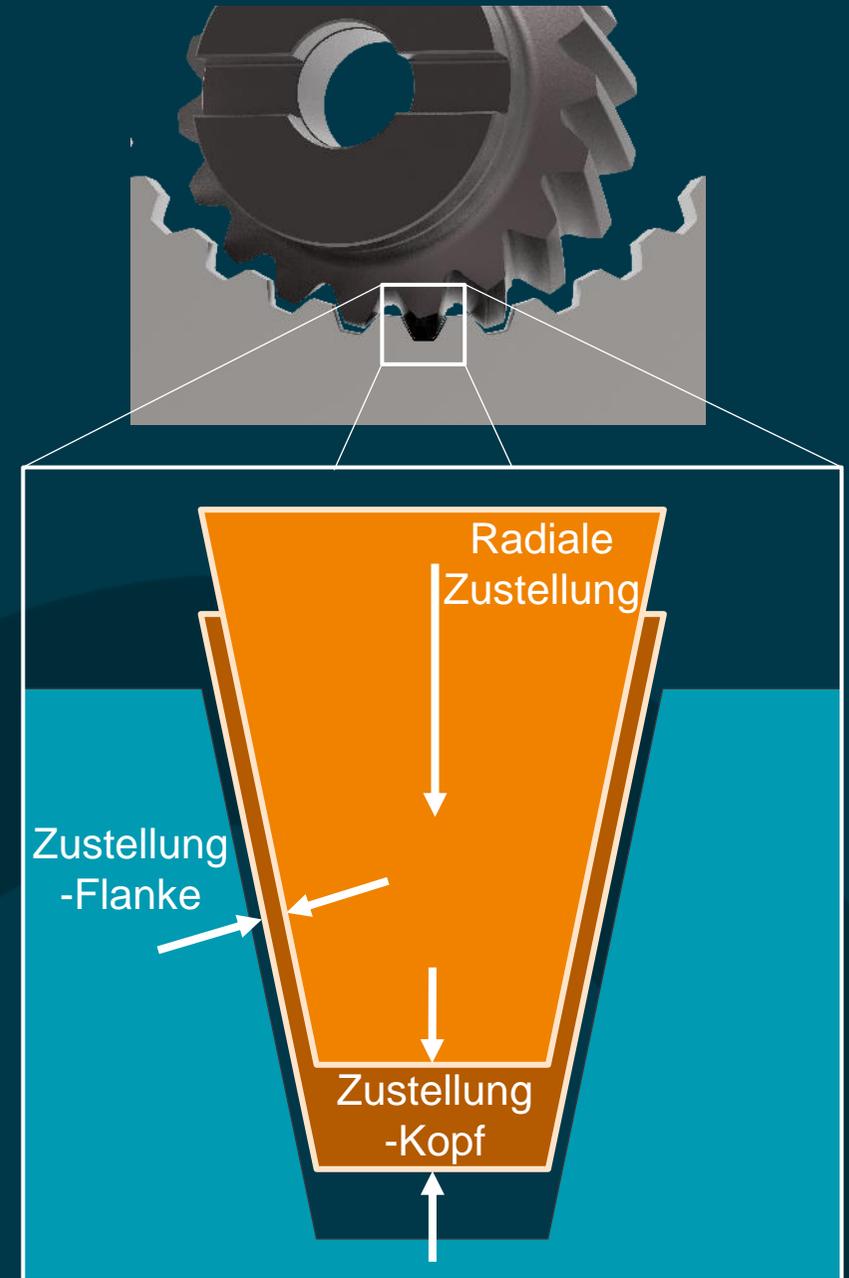
Prozesswinkel:



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

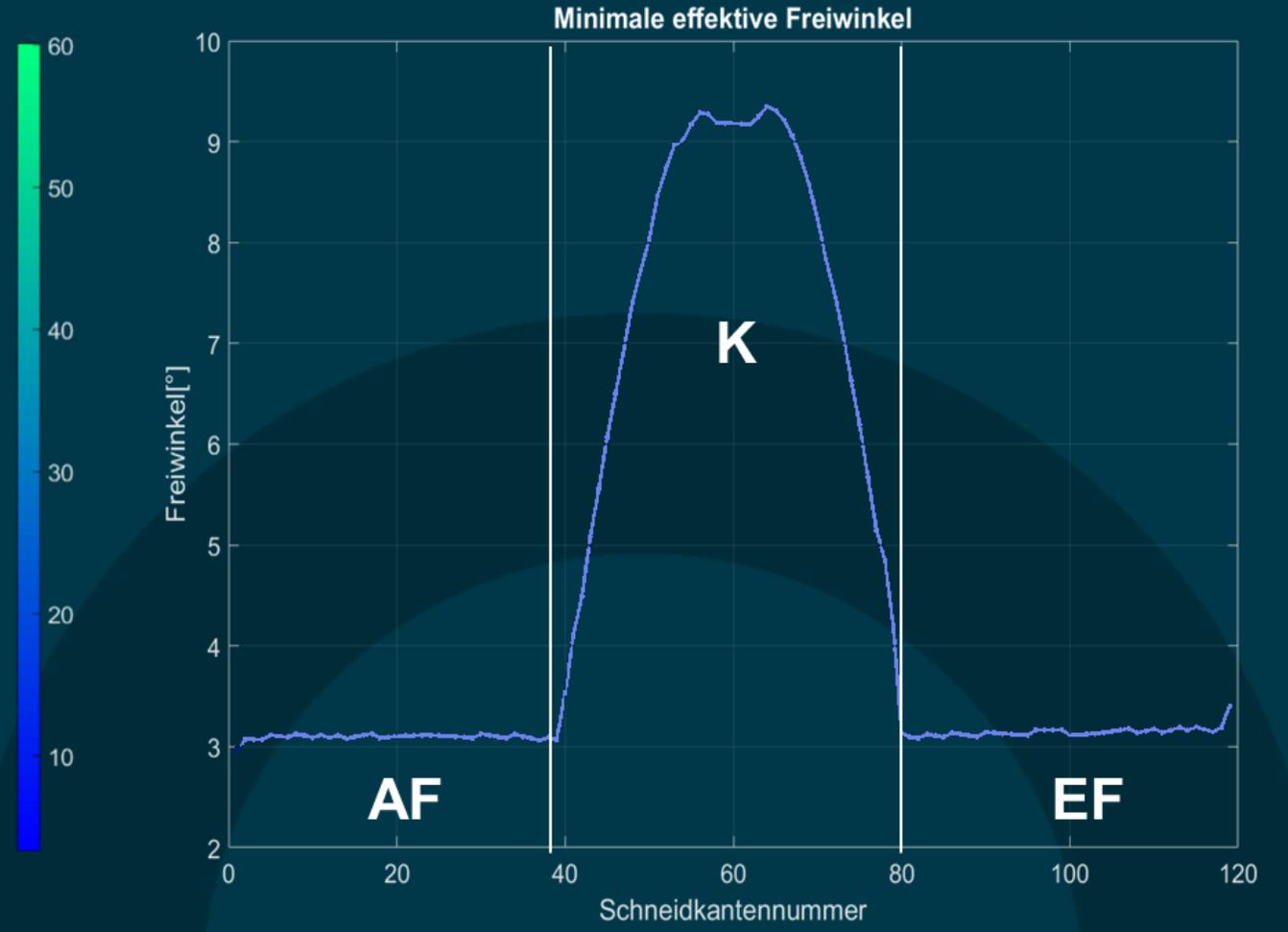
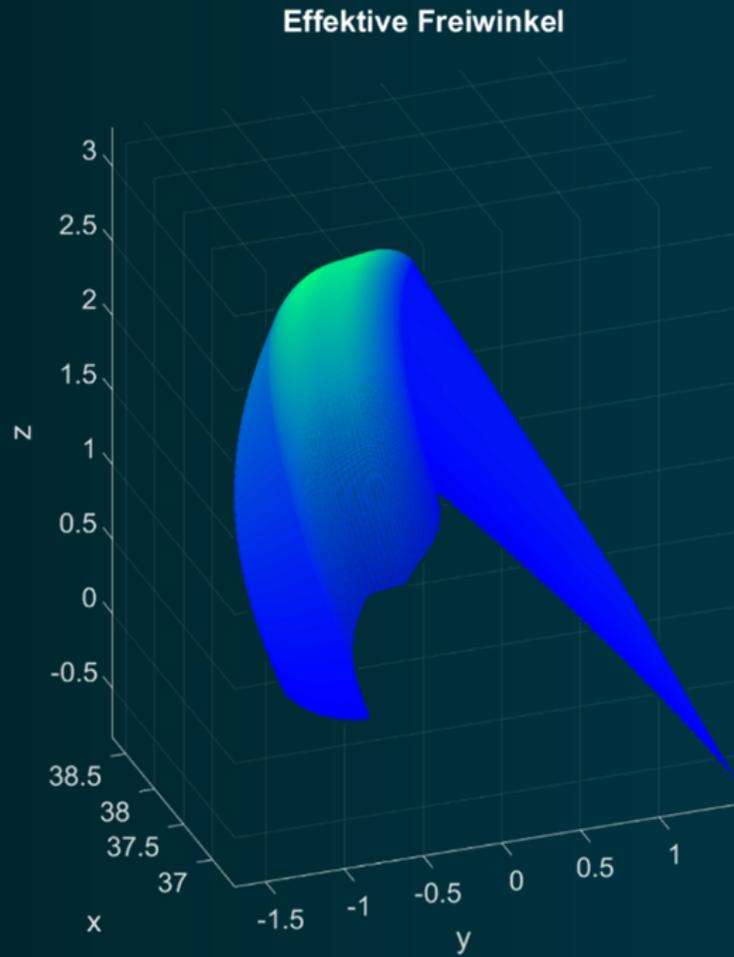


**Simulation schafft
Sicherheit**

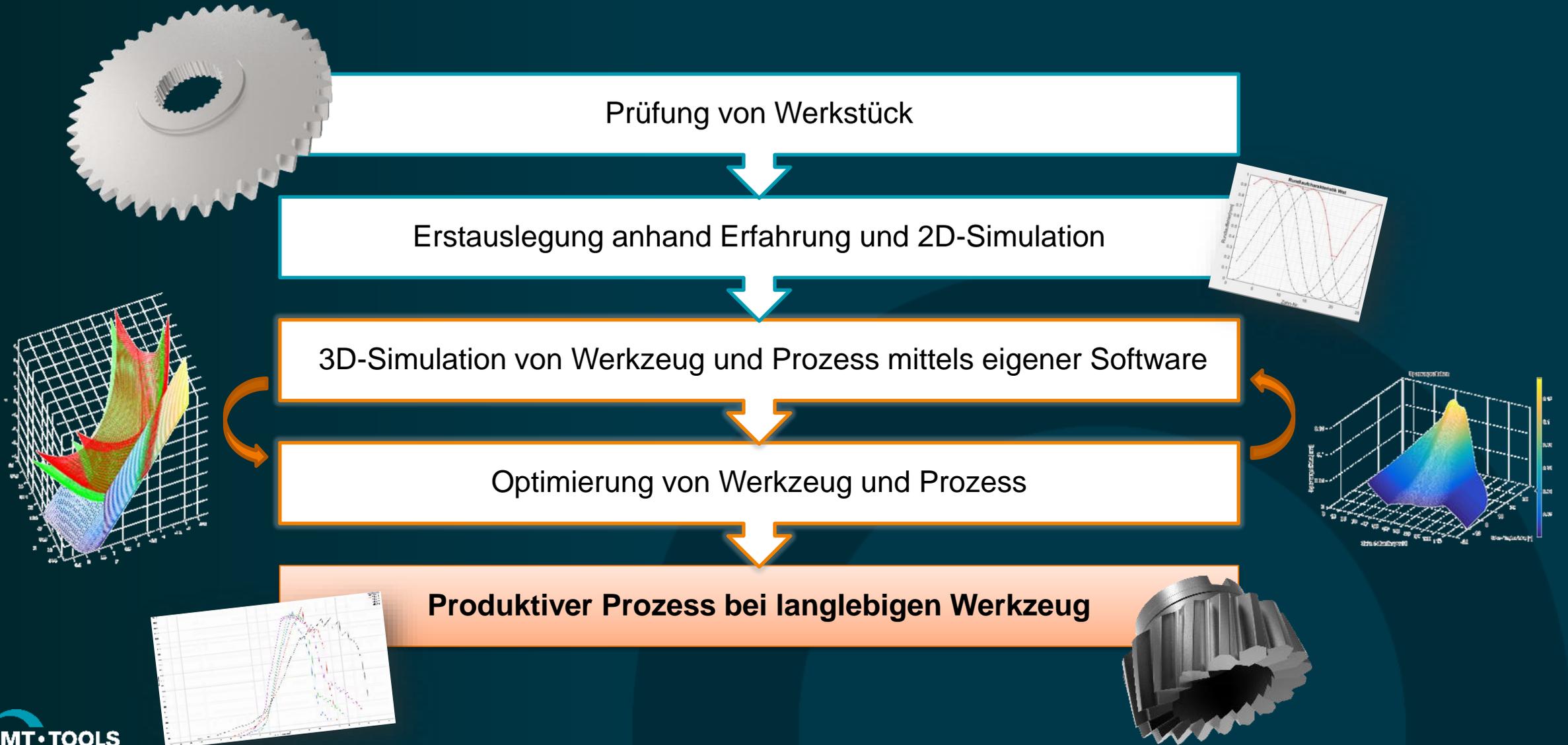


Ideales Werkzeug mit bestmöglichem Prozess

Warum 3D – Simulation?



Konstruktionsprozess bei LMT Fette



Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Wälzschälprozess

Einstellblatt LMT • F

GEARSKIVING III

Kunde	Heller	LMT Ansprechpartner	Michel Meyer
Kundenbestellungs-Nr.		E-Mail	meyer@lmt-werk.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	Profilartenform	2990sch
Radaußen-Ø [mm]	122	Scharfkipfgeometrie	Treppenschärf
Verzahnungsbreite [mm]	40	Aufnahme	Glockenauführung

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

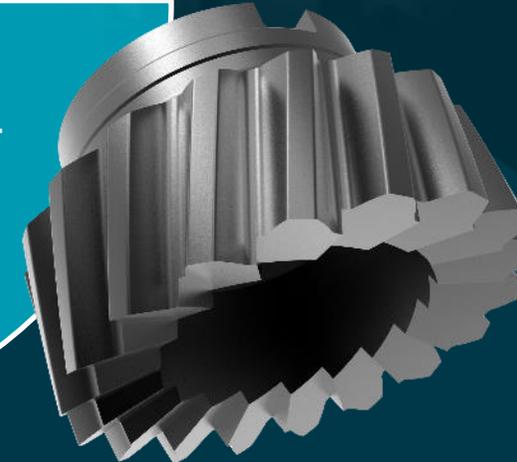
	Schritt				
	1	2	3	4	5
Relative Schnitttiefe [mm]	0,666667	0,666667	0,666667	0,666667	0,666667
Schnitttiefe Gesamt [mm]	0,666667	1,333334	2,000001	2,666668	3,333335
Koordinate 1 [mm]	20,381538	21,008	21,634462	22,260924	22,887386
Koordinate 2 [mm]	-9,923468	-9,200862	-8,508775	-7,793569	-7,064902
A-Rotation [°]	-23,948911	-23,634763	-23,278664	-23,624488	-23,527775
Axialvorschub [mm/Wkzt.]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Wälzrollenschub [mm/min]	174,193548	174,193548	174,193548	174,193548	174,193548
Werkzeugdrehzahl [Wkzt./min]	1500	1500	1500	1500	1500
Werkstückdrehzahl [Wkzt./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
Staubfahrfweg [mm]	4,444	4,444	4,444	4,444	4,444

Schnitt-
daten

Werkzeug-
maschine

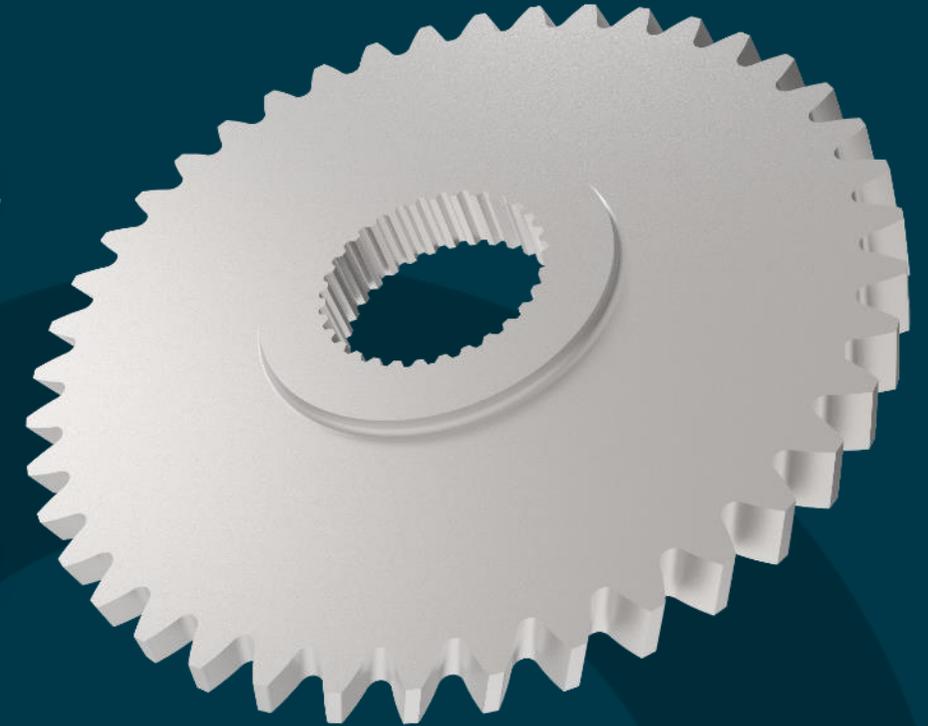
Werkzeug
&
Werkstück-
aufnahme

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																																																																																						
Einsatz per	Achsabstand fin. Sch. [mm]	25,303404																																																																																						
	Achskreuzwinkel [°]	20																																																																																						
Kappa [°]	Kappa [°]	20																																																																																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="5">Schnitt</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Relative Schnitttiefe [mm]</td> <td>1,2</td> <td>0,78</td> <td>0,6</td> <td>0,45</td> <td>0,35</td> </tr> <tr> <td>Schnitttiefe Gesamt [mm]</td> <td>1,2</td> <td>1,08</td> <td>2,58</td> <td>3,03</td> <td>3,38</td> </tr> <tr> <td>Koordinate 1 [mm]</td> <td>20,882707</td> <td>21,615867</td> <td>22,179483</td> <td>22,802344</td> <td>22,931237</td> </tr> <tr> <td>Koordinate 2 [mm]</td> <td>-9,236269</td> <td>-9,502034</td> <td>-9,707247</td> <td>-9,861156</td> <td>-9,980863</td> </tr> <tr> <td>A Rotation [°]</td> <td>-23,857139</td> <td>-23,729818</td> <td>-23,63745</td> <td>-23,571117</td> <td>-23,521172</td> </tr> <tr> <td>Axialvorschub [mm/WkstU]</td> <td>0,5</td> <td>0,45</td> <td>0,5</td> <td>0,7</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Axialvorschub [mm/min]</td> <td>336,483871</td> <td>302,835484</td> <td>336,483871</td> <td>471,077419</td> <td>672,967742</td> </tr> <tr> <td>Werkzeugdrehzahl [WkstU/min]</td> <td>1159</td> <td>1159</td> <td>1159</td> <td>1159</td> <td>1159</td> </tr> <tr> <td>Werkstückdrehzahl [WkstU/min]</td> <td>672,967742</td> <td>672,967742</td> <td>672,967742</td> <td>672,967742</td> <td>672,967742</td> </tr> <tr> <td>Schnittgeschwindigkeit [m/min]</td> <td>89,991115</td> <td>89,991115</td> <td>89,991115</td> <td>89,991115</td> <td>89,991115</td> </tr> <tr> <td>Einlaufweg [mm]</td> <td>-0,741</td> <td>-2,105</td> <td>-2,955</td> <td>-3,516</td> <td>-3,918</td> </tr> <tr> <td>Überlaufweg [mm]</td> <td>4,444</td> <td>4,444</td> <td>4,444</td> <td>4,444</td> <td>4,444</td> </tr> </tbody> </table>						Schnitt					1	2	3	4	5	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
	Schnitt																																																																																							
	1	2	3	4	5																																																																																			
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	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="5">Schnitt</th> </tr> <tr> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Relative Schnitttiefe [mm]</td> <td>0,32</td> <td>0,3</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Schnitttiefe Gesamt [mm]</td> <td>3,7</td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Koordinate 1 [mm]</td> <td>23,231938</td> <td>23,513846</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Koordinate 2 [mm]</td> <td>-10,090309</td> <td>-10,192915</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A Rotation [°]</td> <td>-23,476714</td> <td>-23,43604</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Axialvorschub [mm/WkstU]</td> <td>1,1</td> <td>0,15</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Axialvorschub [mm/min]</td> <td>740,264516</td> <td>100,945161</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Werkzeugdrehzahl [WkstU/min]</td> <td>1159</td> <td>1159</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Werkstückdrehzahl [WkstU/min]</td> <td>672,967742</td> <td>672,967742</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Schnittgeschwindigkeit [m/min]</td> <td>89,991115</td> <td>89,991115</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Einlaufweg [mm]</td> <td>-4,262</td> <td>-4,566</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Überlaufweg [mm]</td> <td>4,444</td> <td>4,444</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Schnitt					6	7	8	9	10	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			
		Schnitt																																																																																						
		6	7	8	9	10																																																																																		
	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

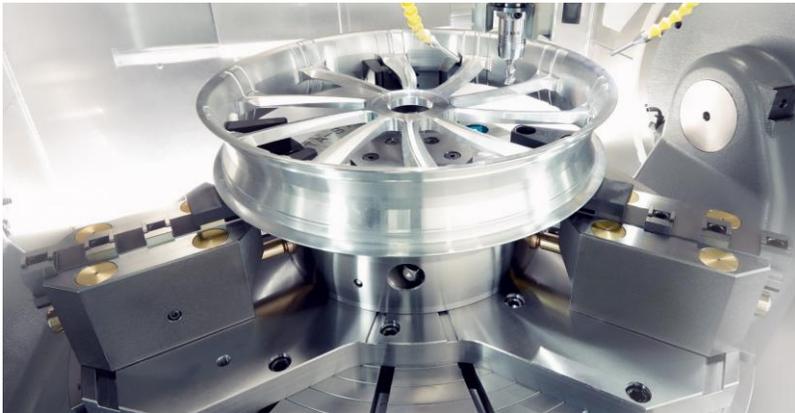


Quelle: <https://mav.industrie.de/>

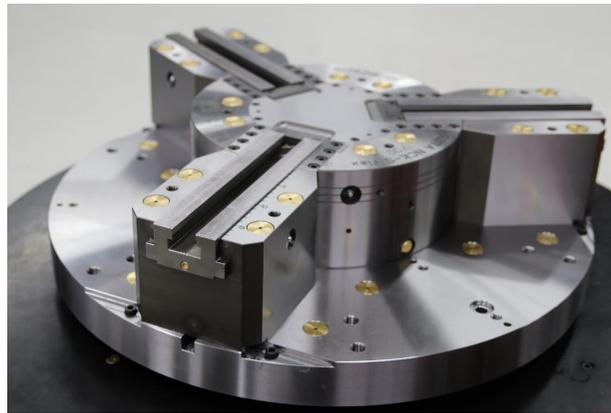
Wie finde ich das passende Spannmittel?

- **Maschine**

Manuelle Spannmittel



Hydraulische Spannmittel

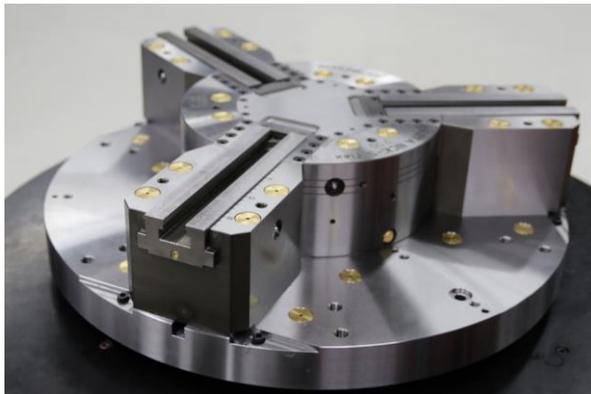


- Fräsmaschine?
- Drehmaschine?
- Fräs-Drehmaschine?
- Hat die Maschine Hydraulik durch den Maschinentisch?

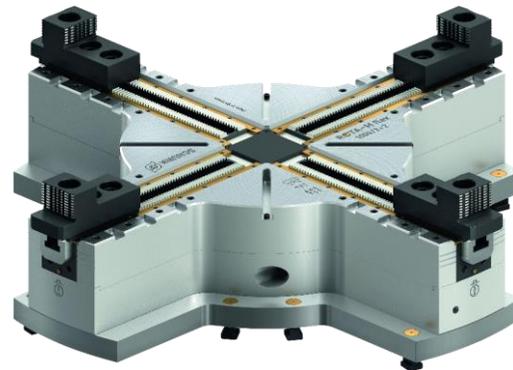
Wie finde ich das passende Spannmittel?

- Werkstückgeometrie

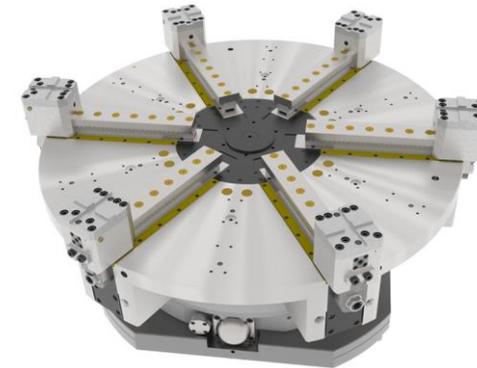
3-Backen



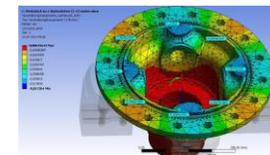
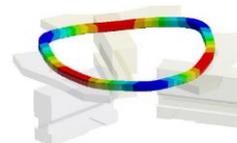
2/4-Backen



6-Backen

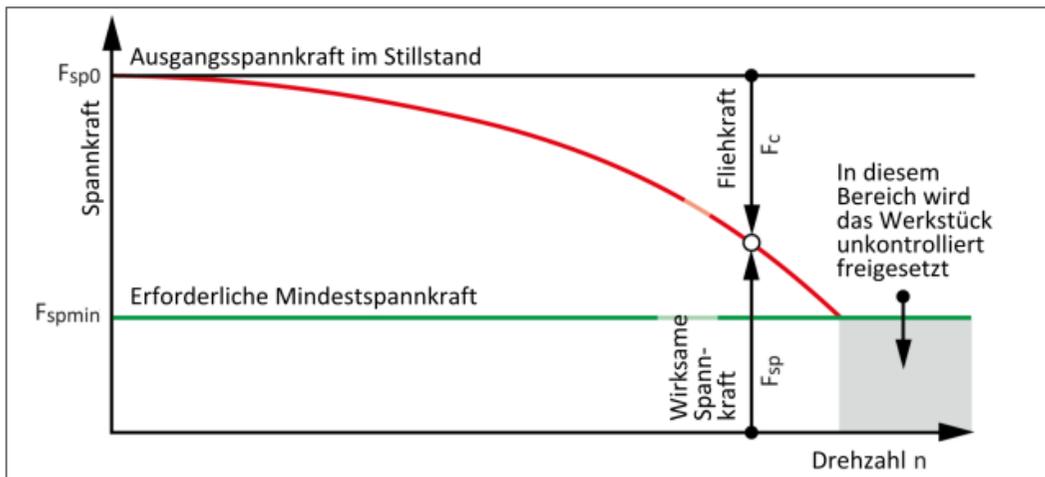


- Welche Geometrie hat das Werkstück?
- Welche Eigensteifigkeit hat das Werkstück?

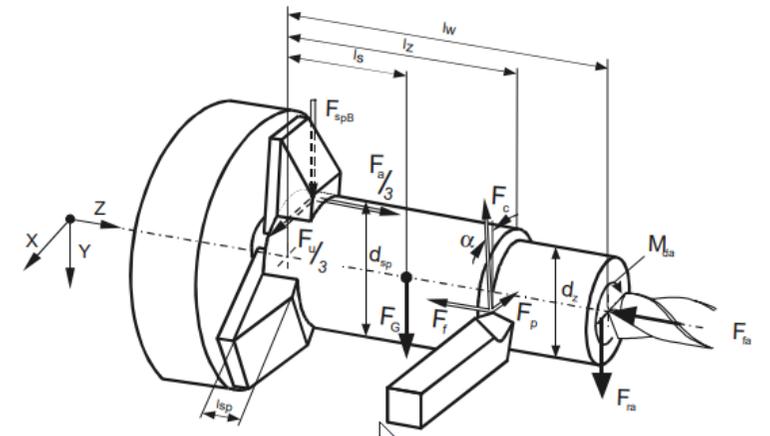


Wie finde ich das passende Spannmittel?

- **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

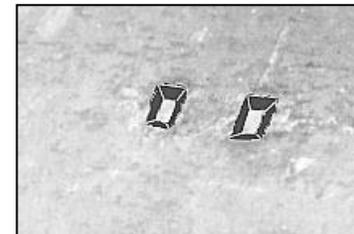
glatt



pflastersteinartig

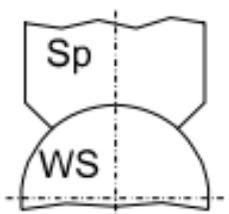
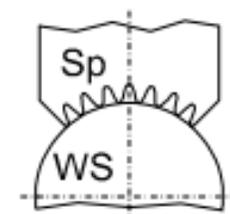
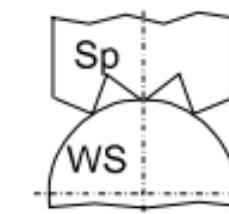


krallenartig



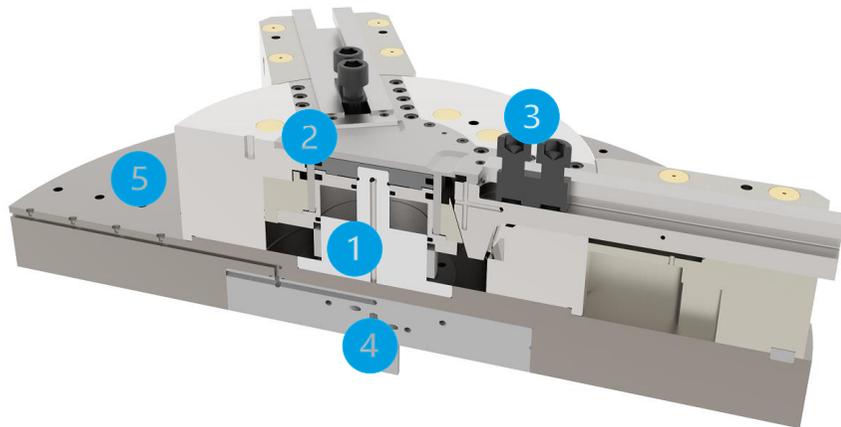
Wie finde ich das passende Spannmittel?

- Einfluss Spannbackenkontur

Backenspannfläche Clamping surface Werkstück- oberfläche Surface of workpiece	Glatt Smooth 	Pflastersteinartig Cobbled 	Krallenartig Clawed 
Feingeschliffen, geschliffen Fine-finished, ground	$\mu_{spt} = 0,06$ $\mu_{spa} = 0,12$	$\mu_{spt} = 0,12$ $\mu_{spa} = 0,22$	$\mu_{spt} = 0,22$ $\mu_{spa} = 0,36$
Geschliffen 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

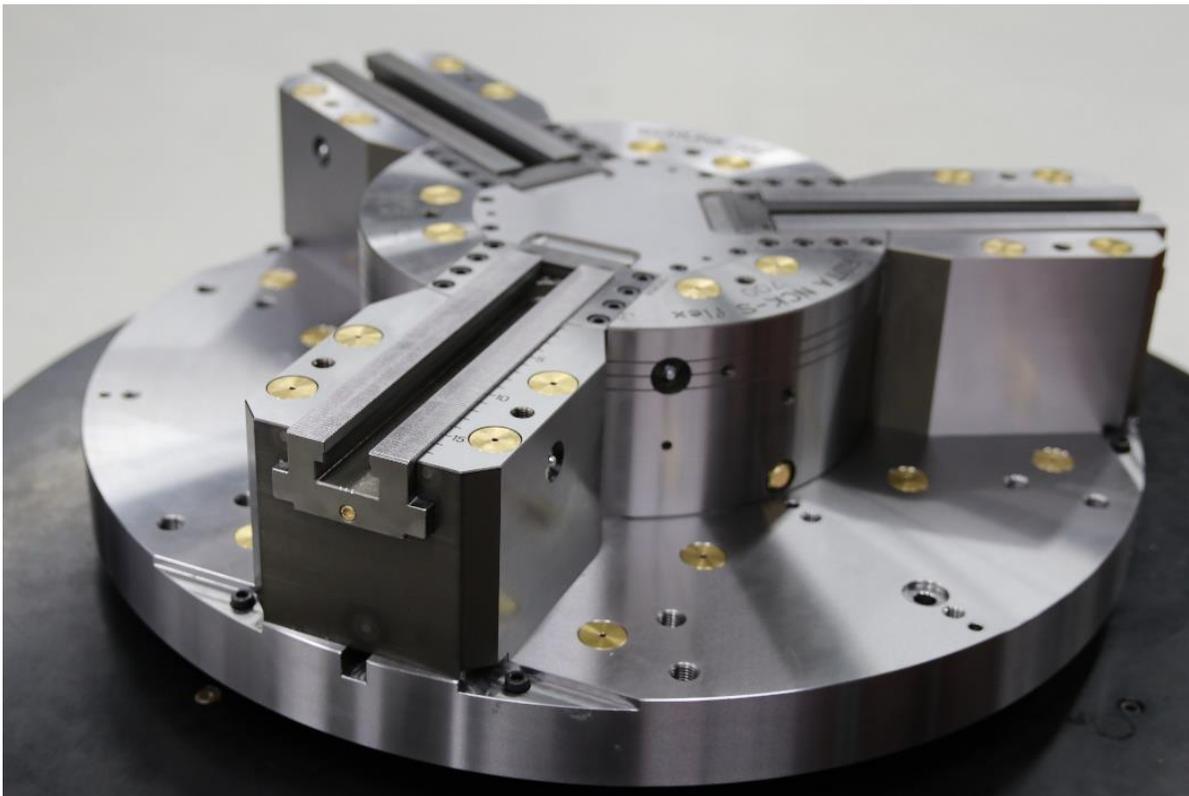
3 Späneoptimiertes Design

4 Medienübergabe aus dem Maschinentisch

5 Extrem gewichtsreduzierter Grundkörper

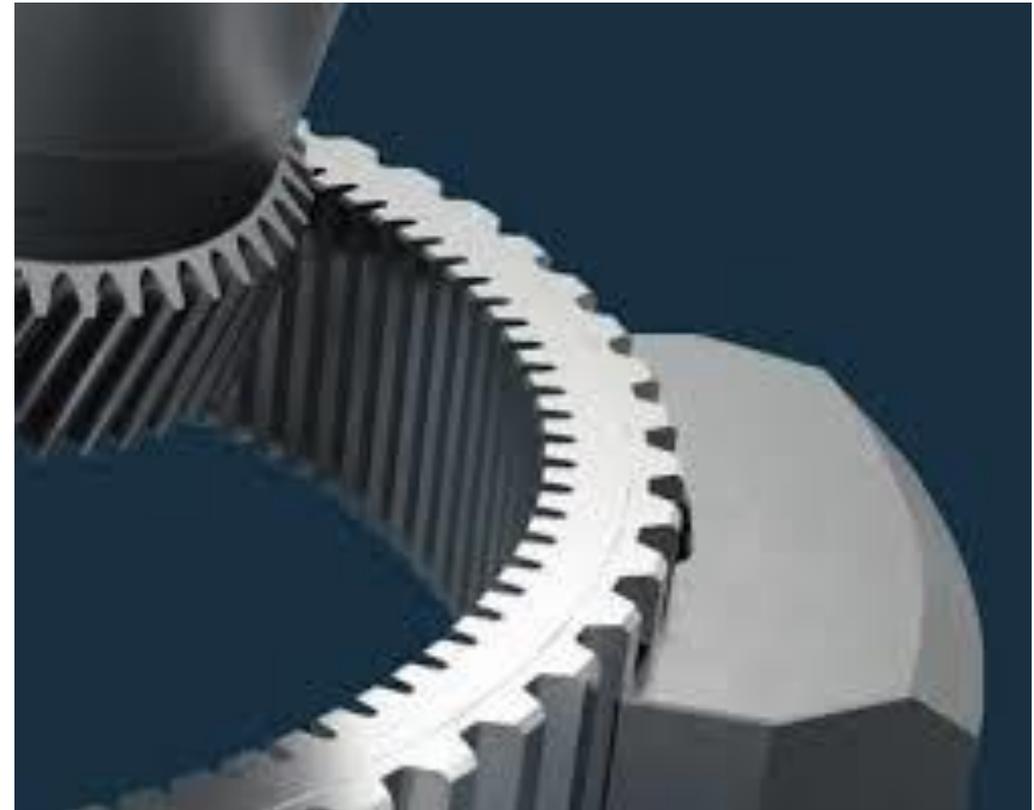
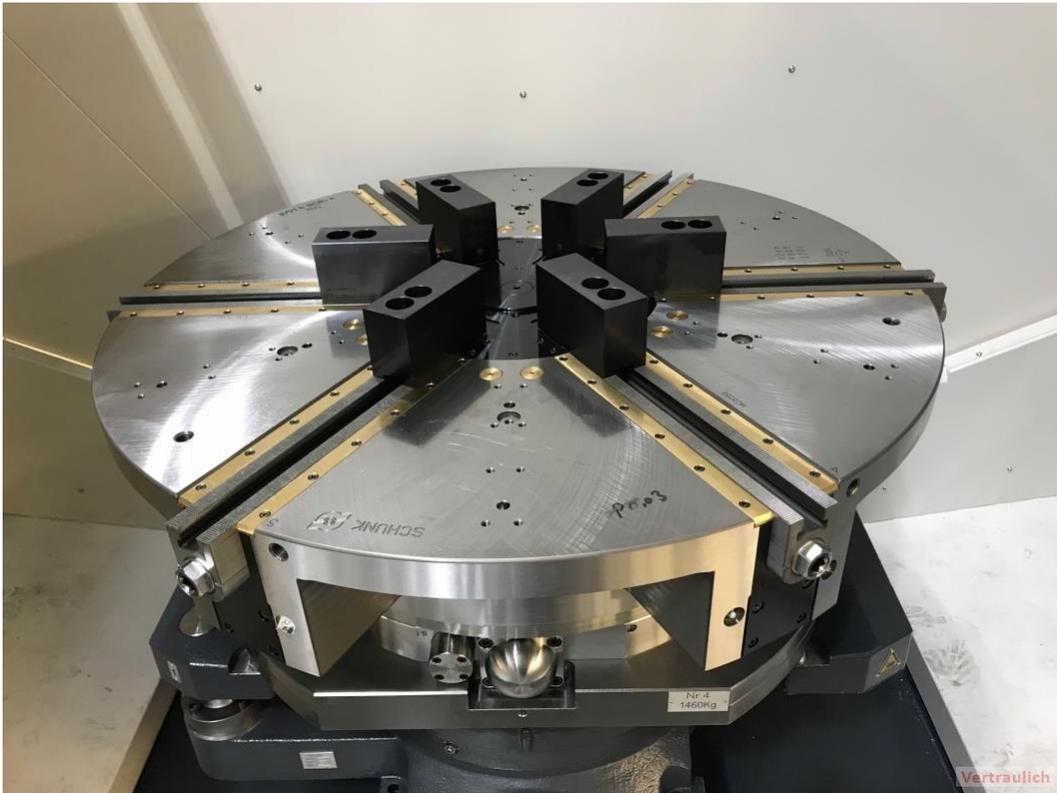
Werkstückspannung Power-Skiving

- Hydraulisches 3-Backenfutter auf Heller CP4000 I Werkstück



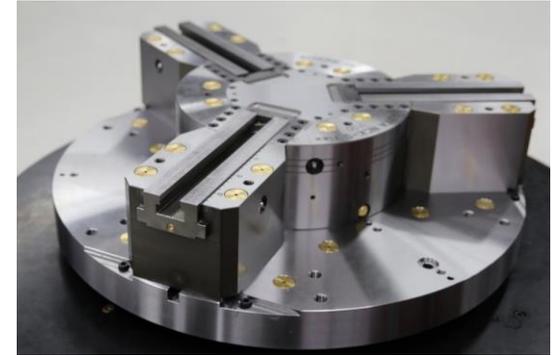
Werkstückspannung Power-Skiving

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



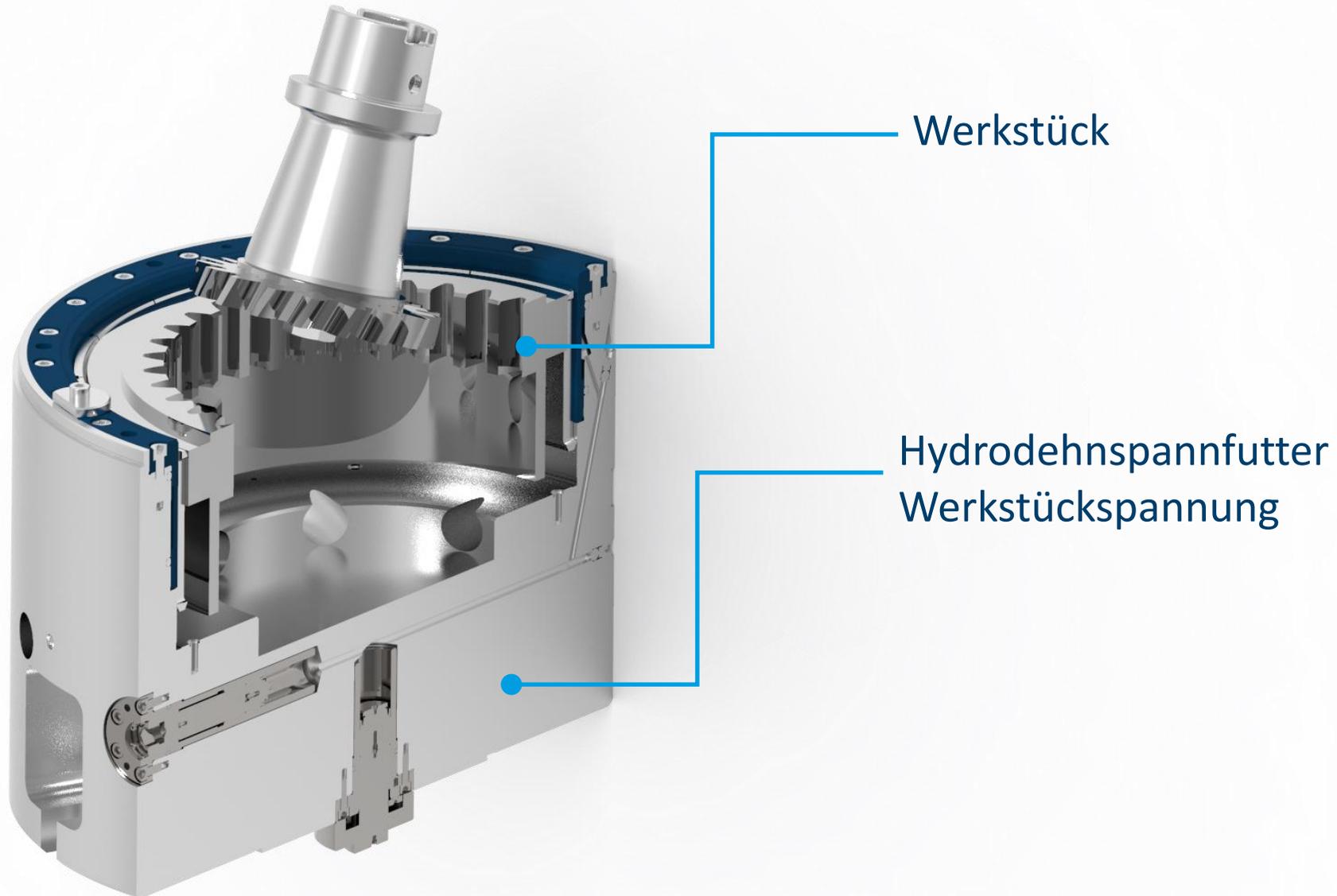
Quelle: LMT Tools

Werkstückspannung beim Power-Skiving

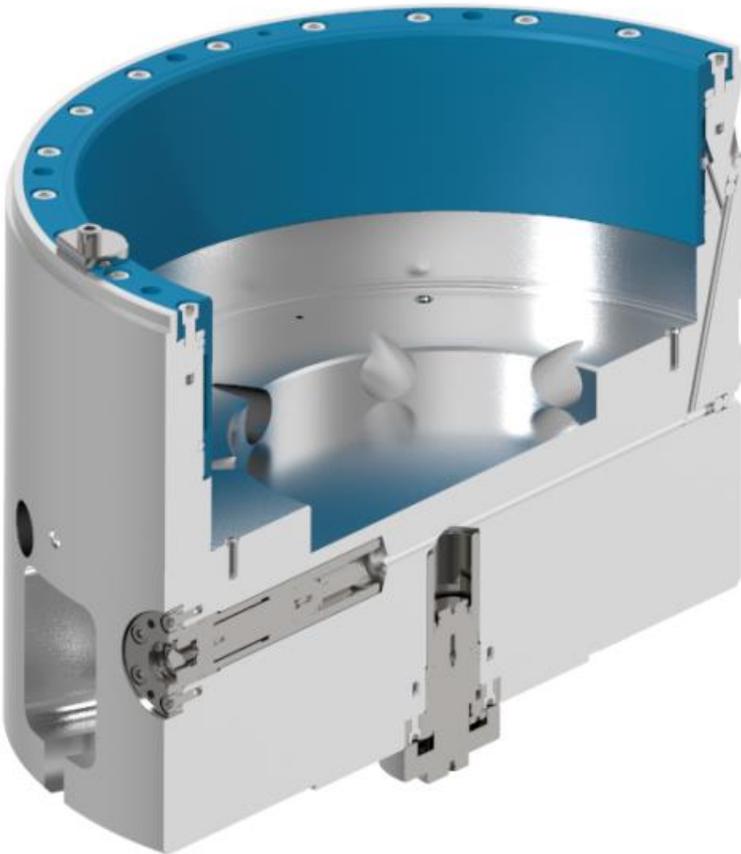


Anforderung an das Spannmittel beim Power-Skiving	Eigenschaft Drehfutter
Hohe Wiederholgenauigkeit	Funktionsteile gehärtet und geschliffen
Spannkraft angepasst an Werkstückgeometrie	2, 3, 4, 6-Backenspannfutter zur Auswahl → optimales Spannfutter für entsprechende Werkstücke
Steife Spannung	Spannfutter 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

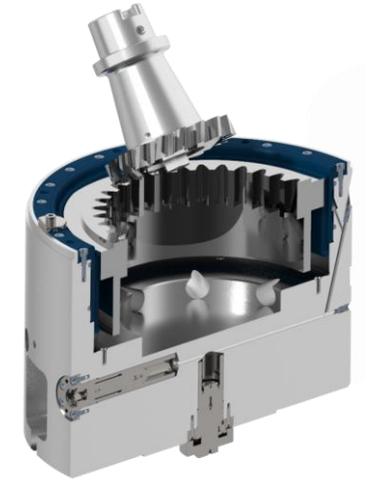
Prinzip: Hydrodehnzentrierung + Spannung

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

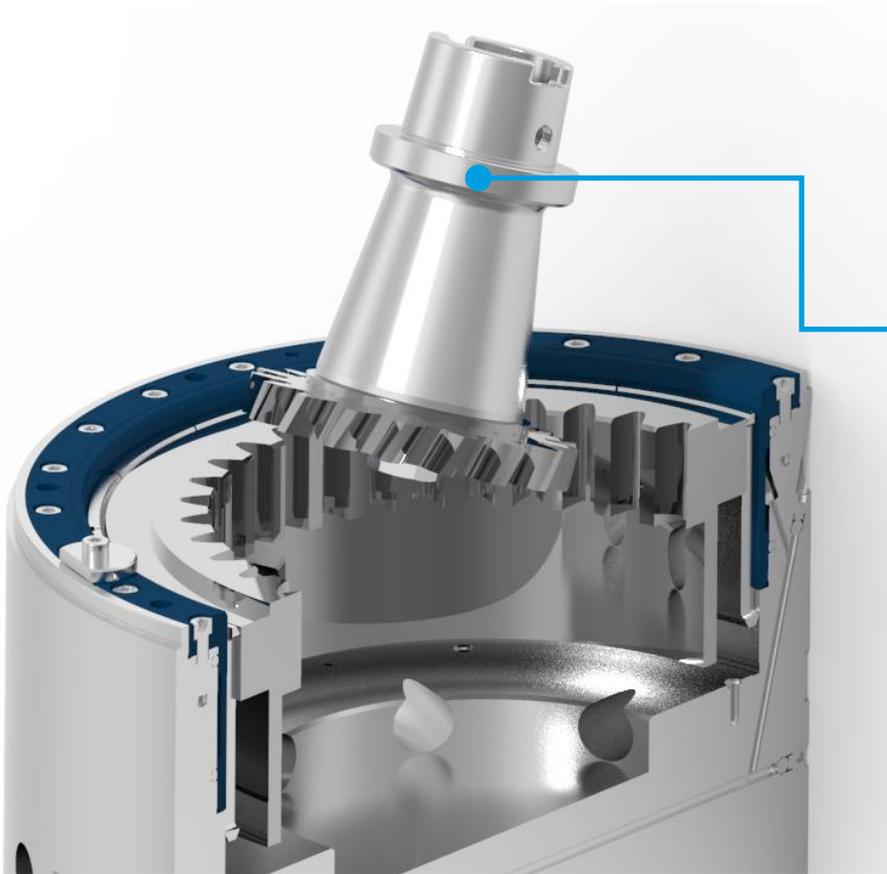
Schwingungsdämpfung durch integrierte Hydrodehnstechnik

Deformationsarmes Spannen wird durch Dosiermöglichkeiten der Hydrodehnstechnik ermöglicht

Bedingt durch hermetisch dichtes System muss nicht geschmiert werden

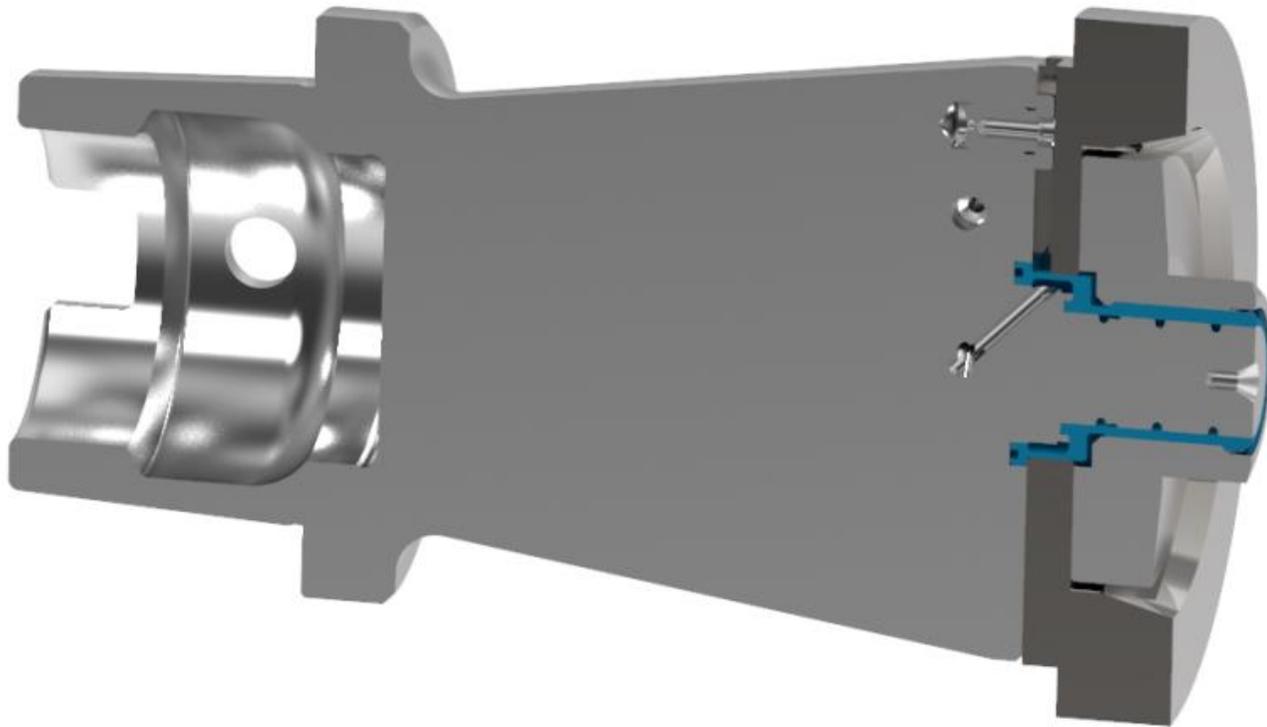
Einfache Reinigung durch geschlossenes System, keine Schlitz

Werkzeugspannung Power-Skiving

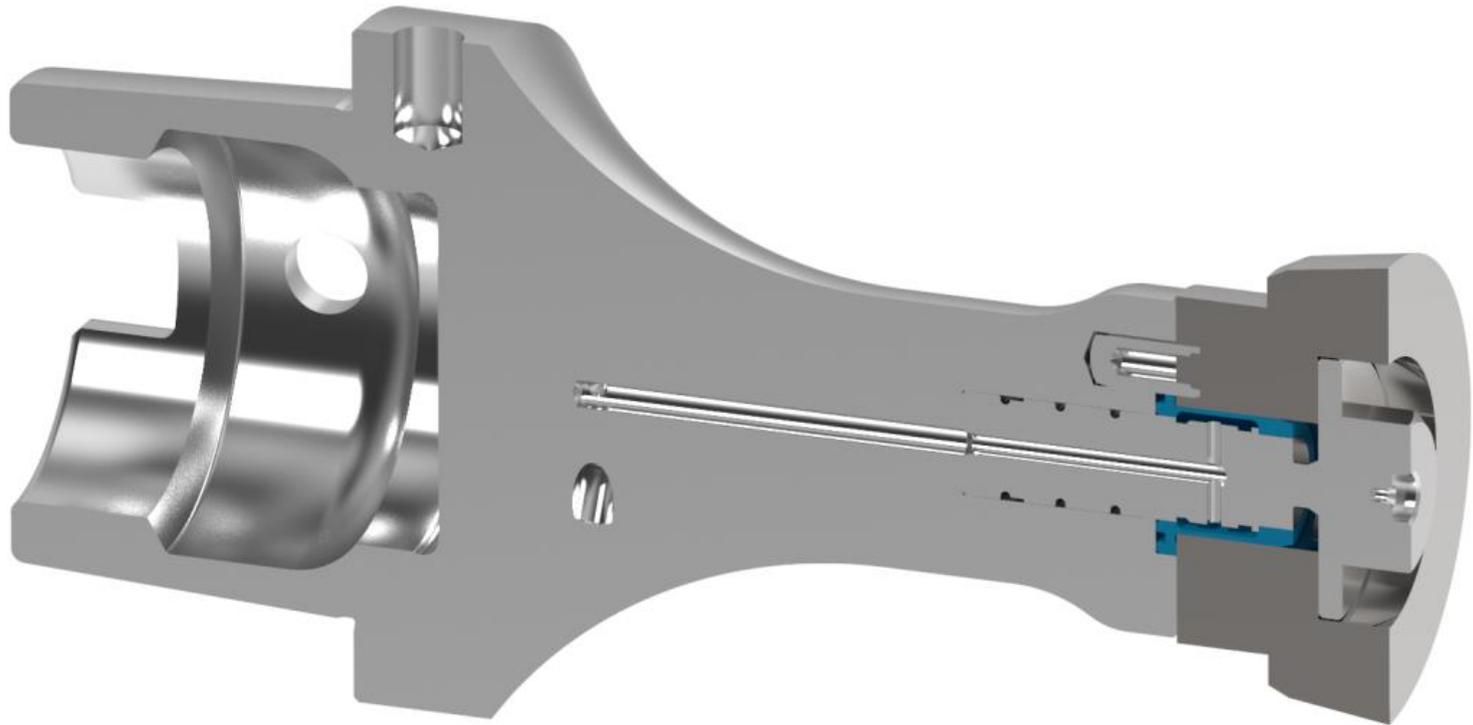


Hydrodehnspanndorn
Werkzeugspannung

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 Vollintegrallösung für eine hydraulische Palettenwechselmaschine; SCHUNK kann auf ein breites Portfolio und auf Erfahrungen zurückgreifen

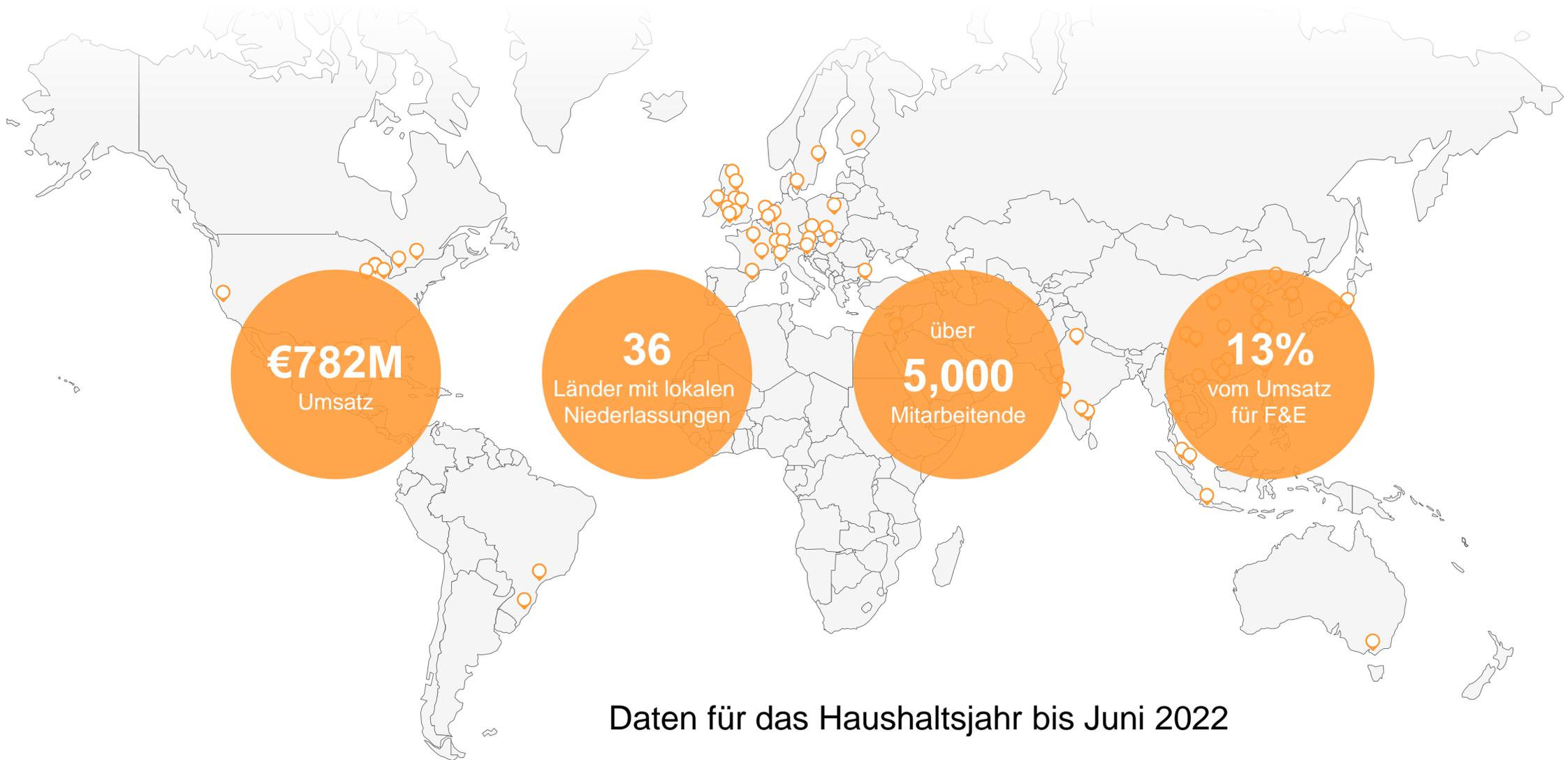


Hand in hand for tomorrow

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



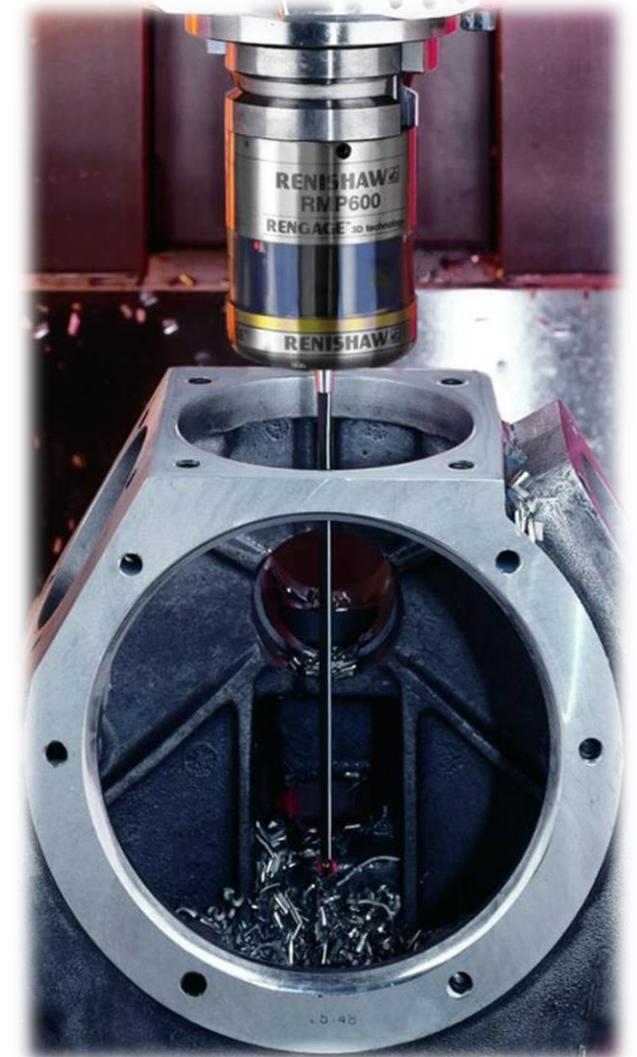
Agenda

- 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

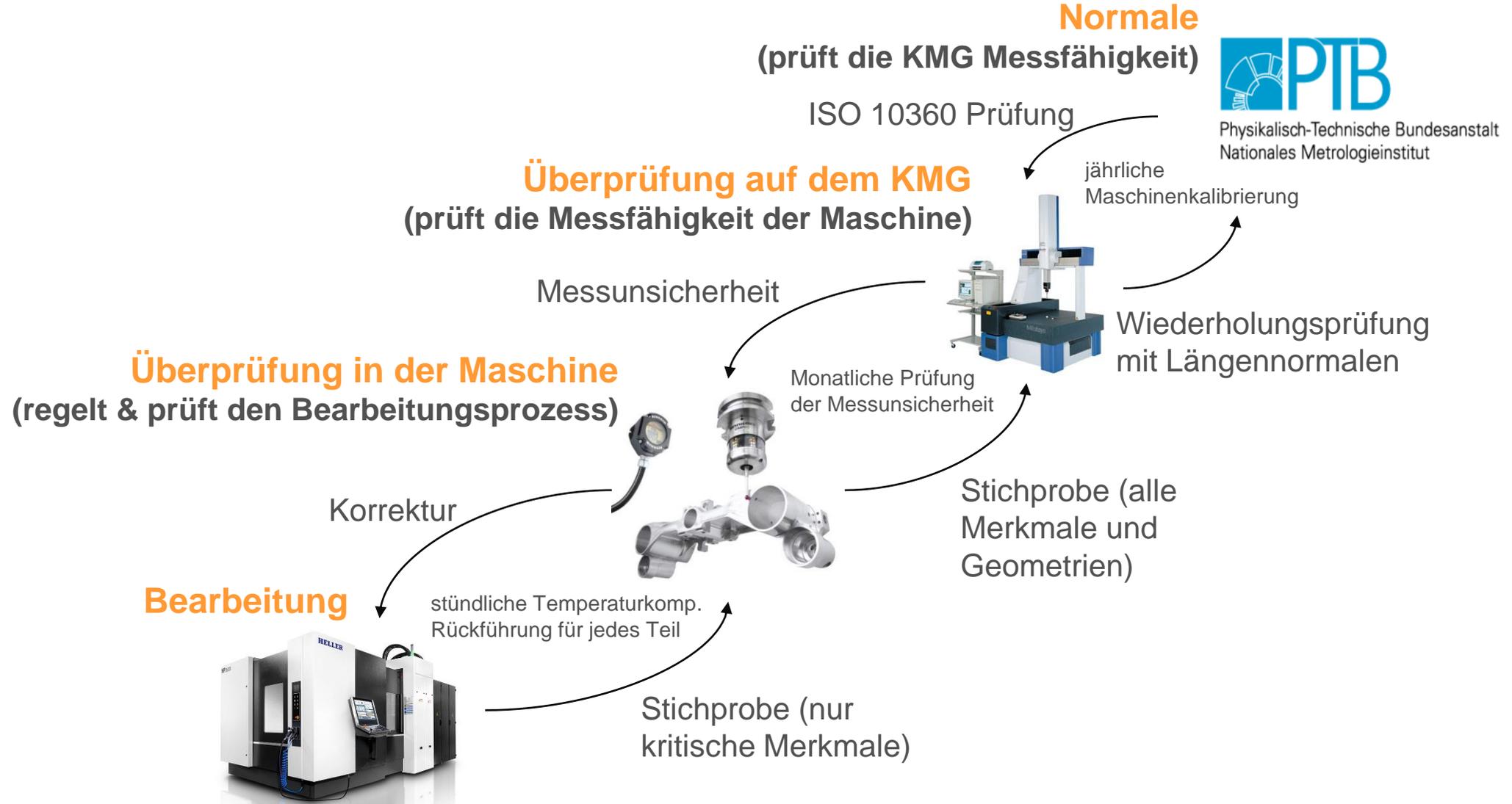
Messgenauigkeit auf der Werkzeugmaschine

- 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

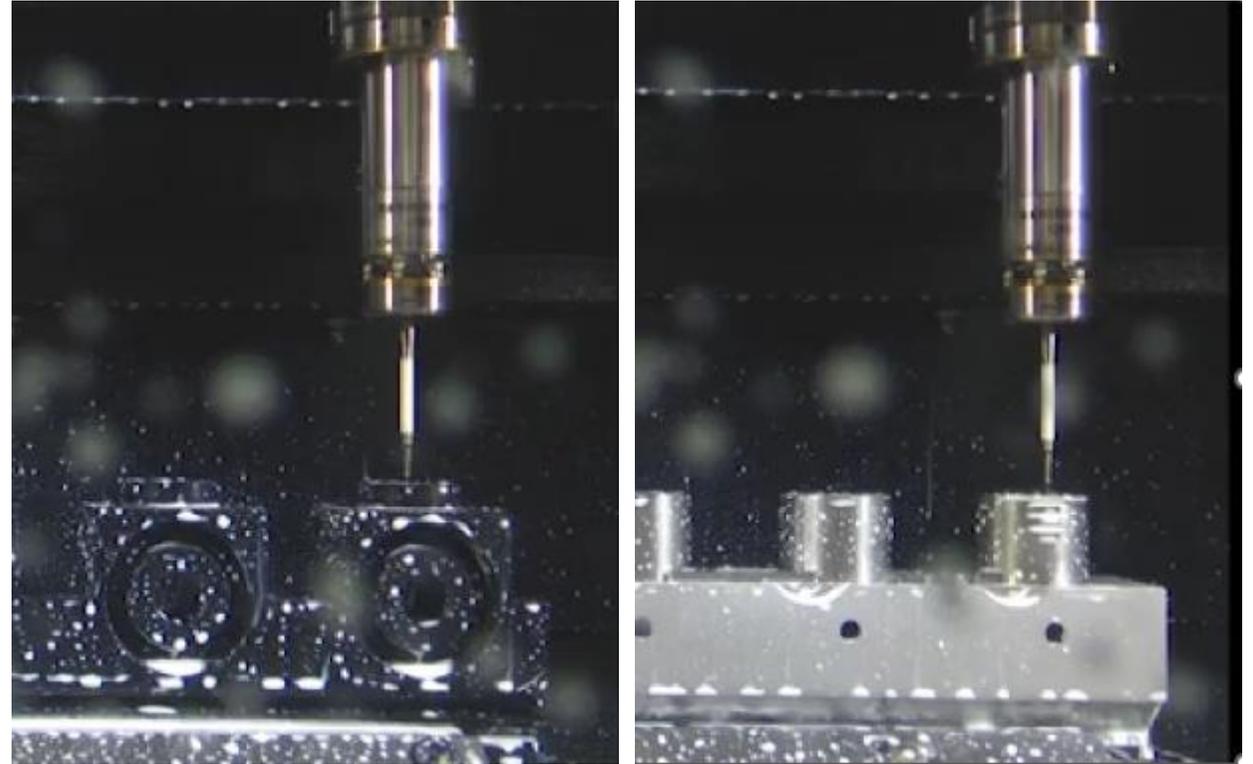


Prozesskette für rückführbare Werkstückgenauigkeit



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)

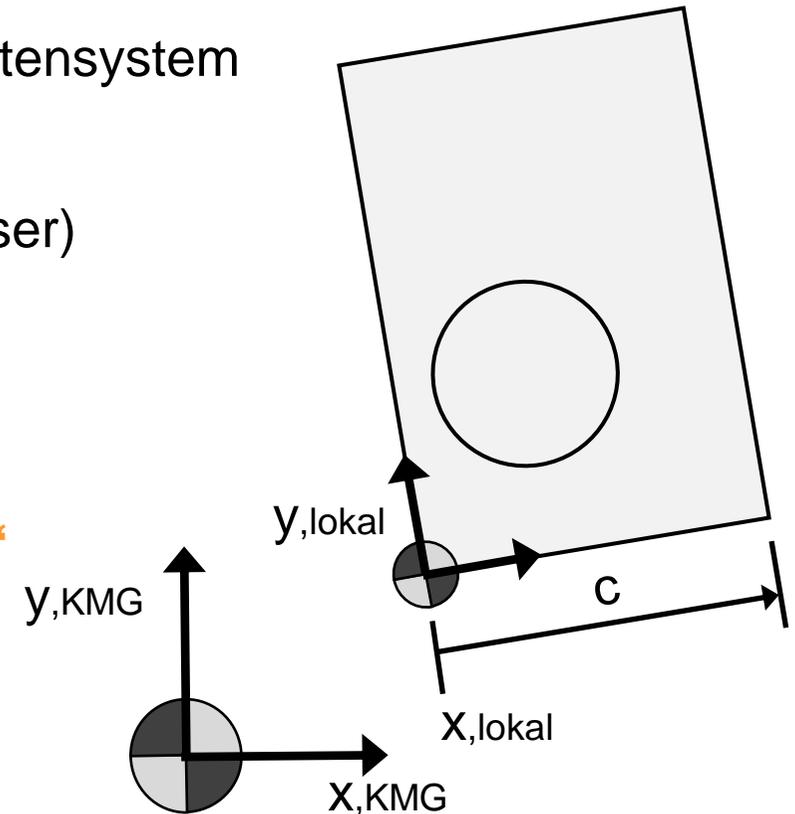
Zielsetzung:

- 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



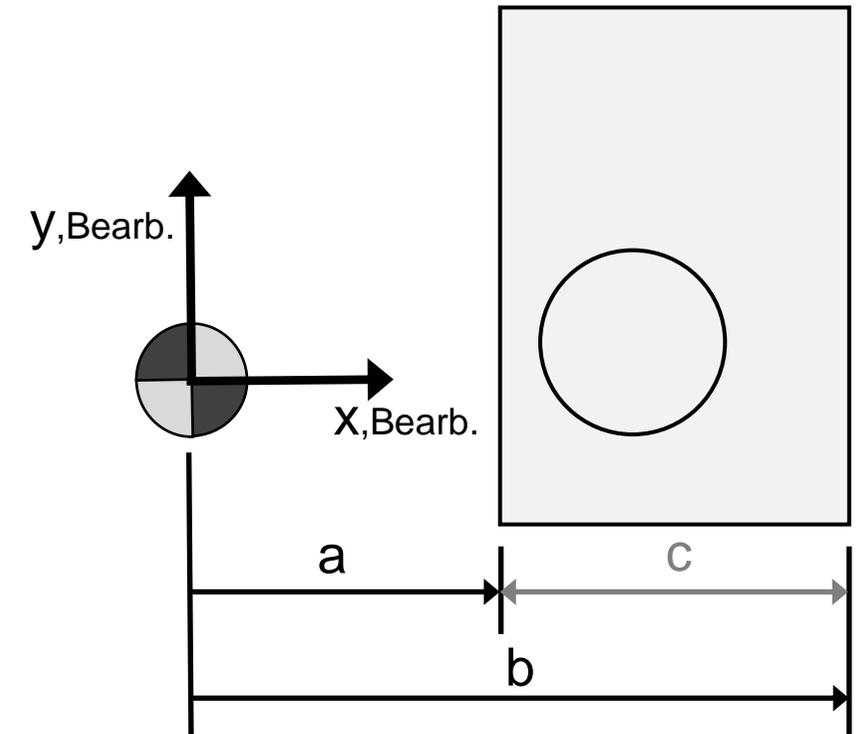
Vergleich der Messmethoden: Werkzeugmaschine

- 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.

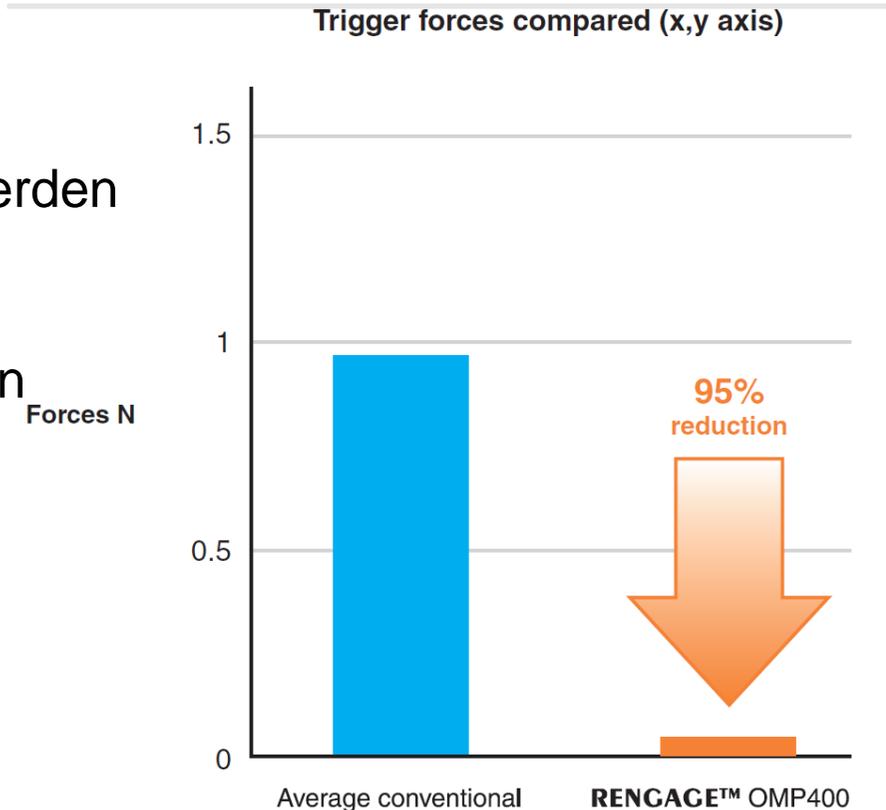
Dies bedeutet:

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

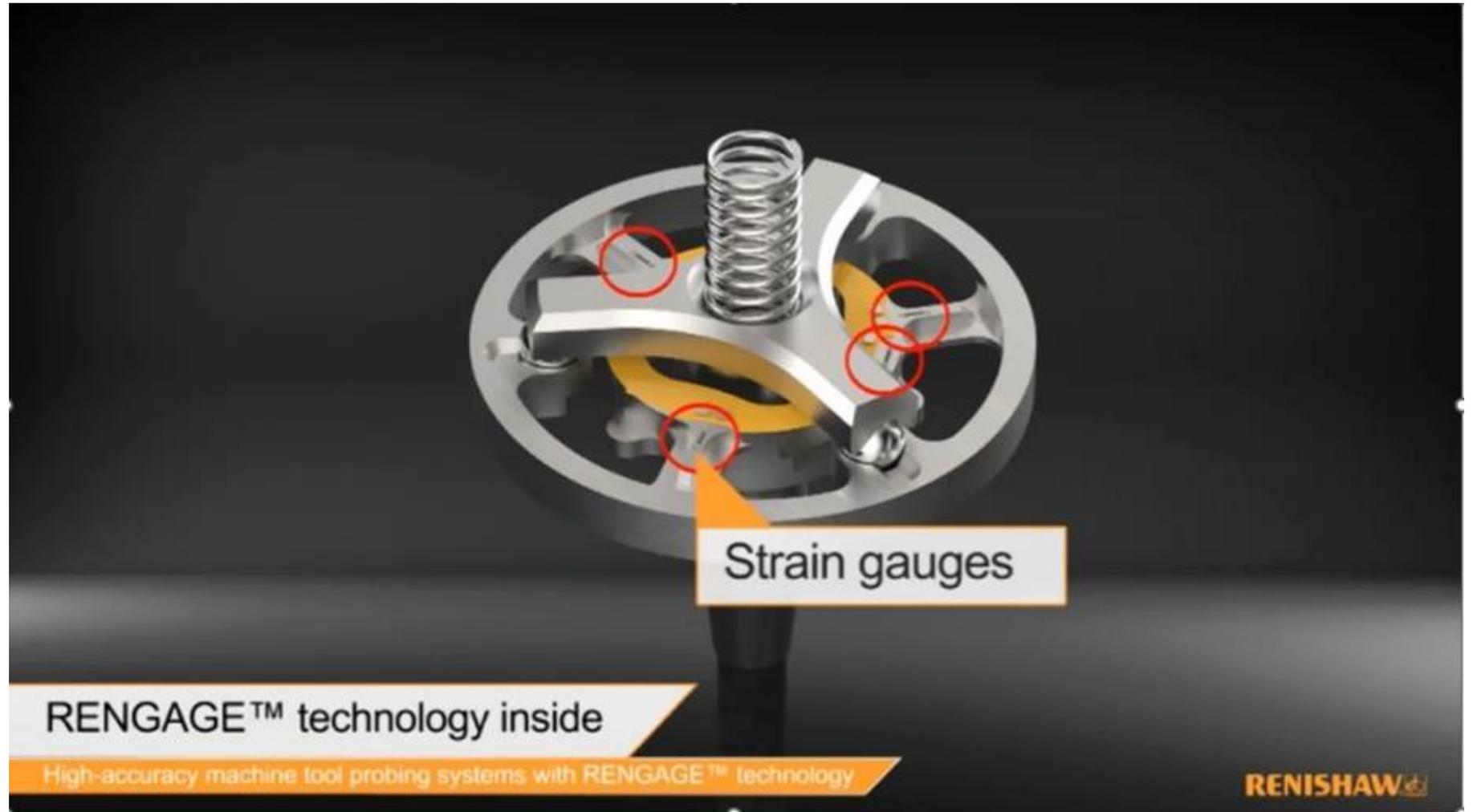
**Sehr niedrige
Auslösekräfte**



Aufbau der RENGAGE Messtaster



Eliminierung
von Vorlauf-
variation

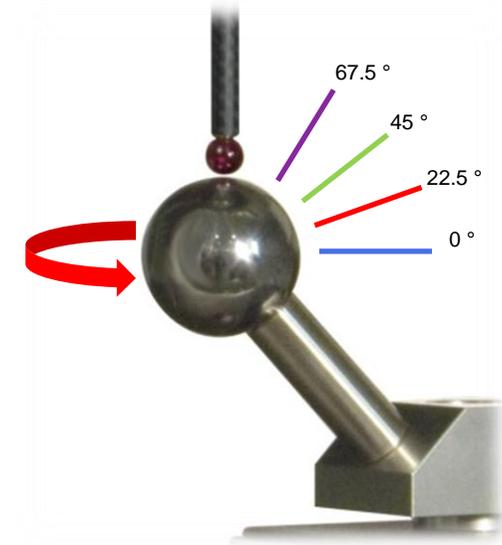


Vorteile der hochgenauen **RENGAGE** Messtaster

Bestätigung bei praktischen Vergleichstests:

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

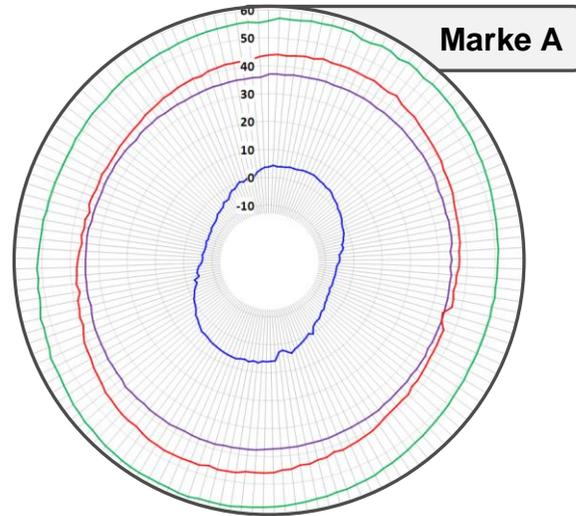
Diese Daten zeigen eindeutig die Tastervorlaufvariation des jeweiligen Messtastertyps.



**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

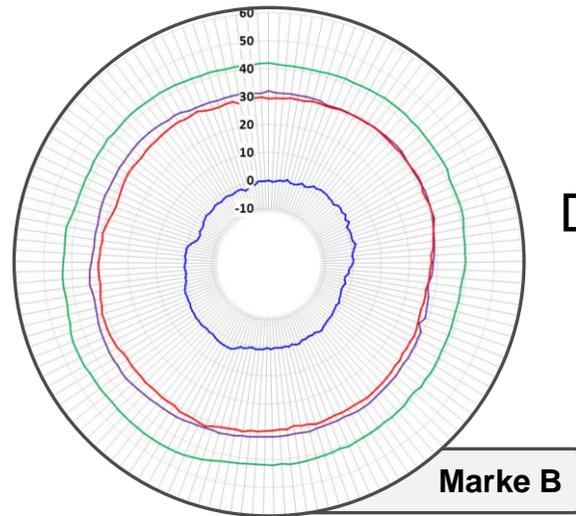
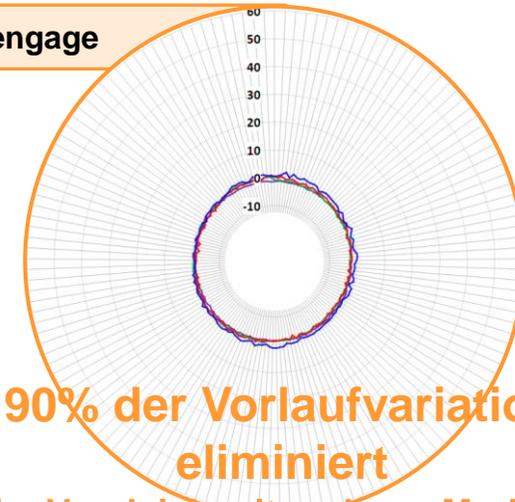
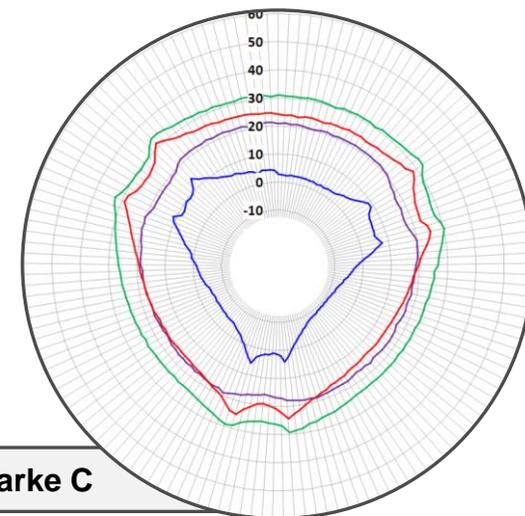


Diagramme im selben Wertebereich:
-10 μm bis +60 μm



Eliminierung von Vorlaufvariation

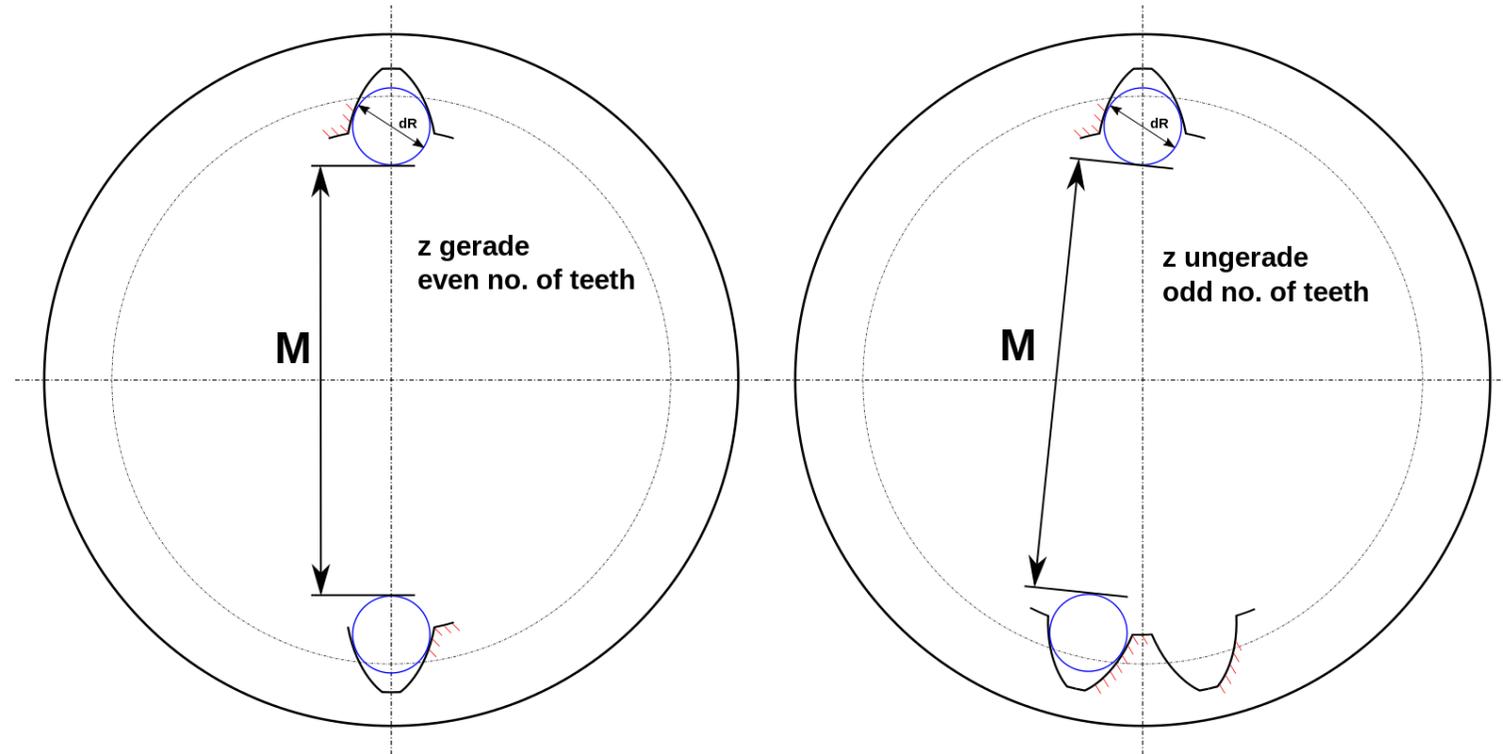
Rollenmaß zur Verifikation von Stirnverzahnungen

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

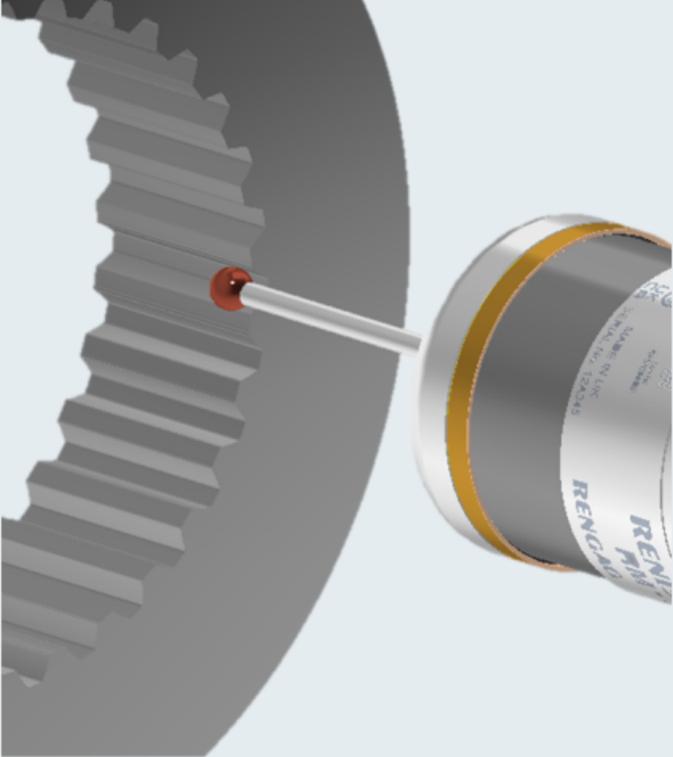
Ausgaben:

- 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**

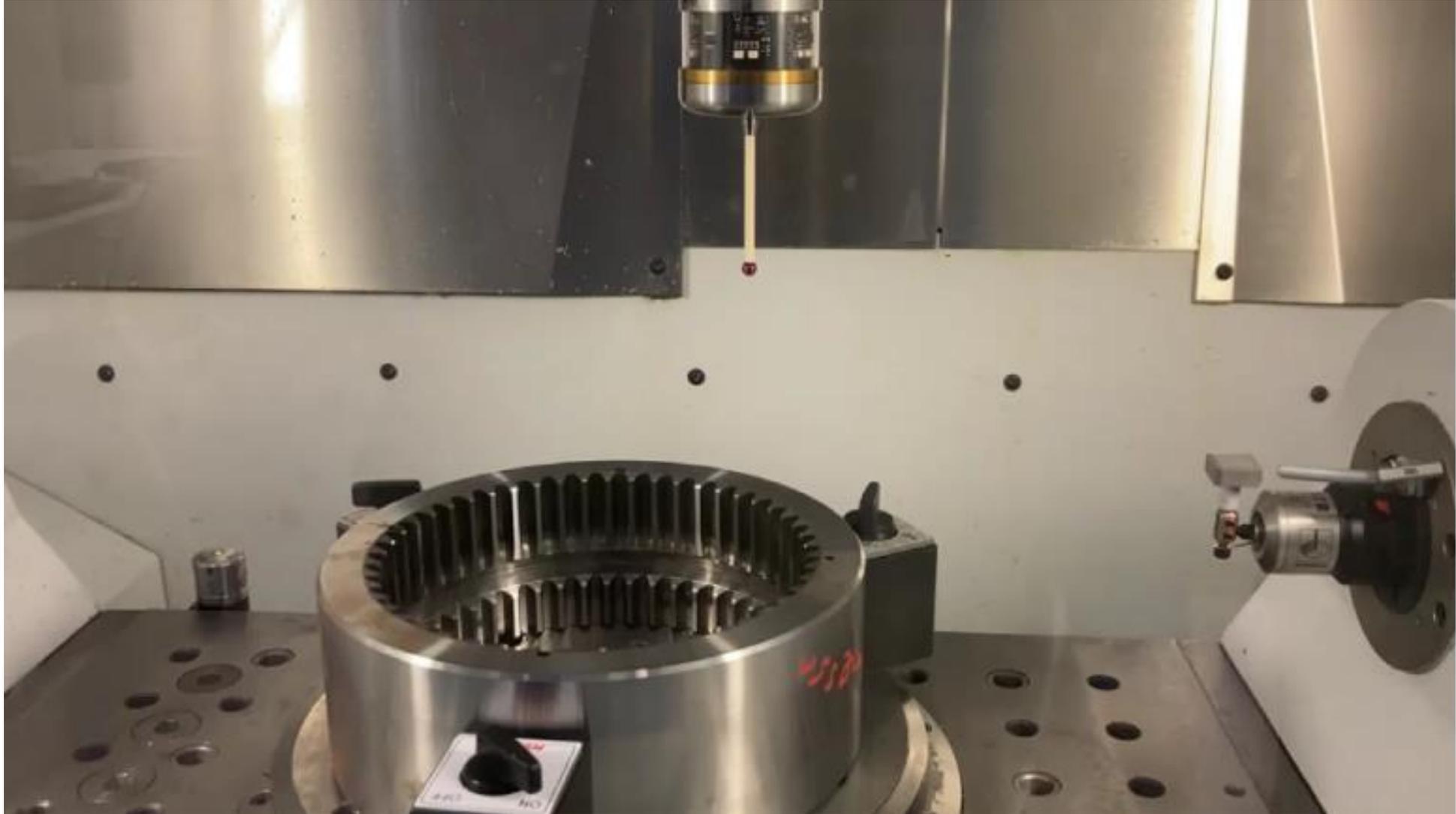


d_t	100.000
t	20.000
d_k	8.000
h	10.000
p	9.686
type	IV

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)

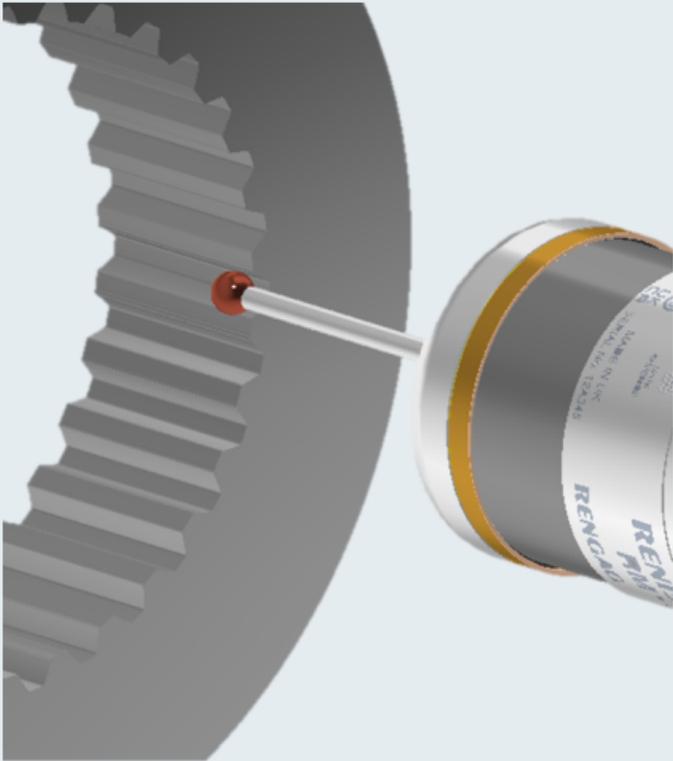
Stelle in PROC	Typ	Name	Abk.	Bezeichnung
1	REAL	RENZA	z	Teilkreisdurchmesser
2	REAL	RENTD	d_t	Teilkreisdurchmesser
3	REAL	RENPM	pm	Prüfmaß
4	REAL	RENNM	No.	Anzahl Schnitte
5	REAL	RENSP	h	Sicherheitshöhe
6	REAL	RENSV	start	Start Verzahnung
7	REAL	RENEV	end	Ende Verzahnung
8	REAL	RENSD	d_k	Kugeldurchmesser
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 Zahnluette



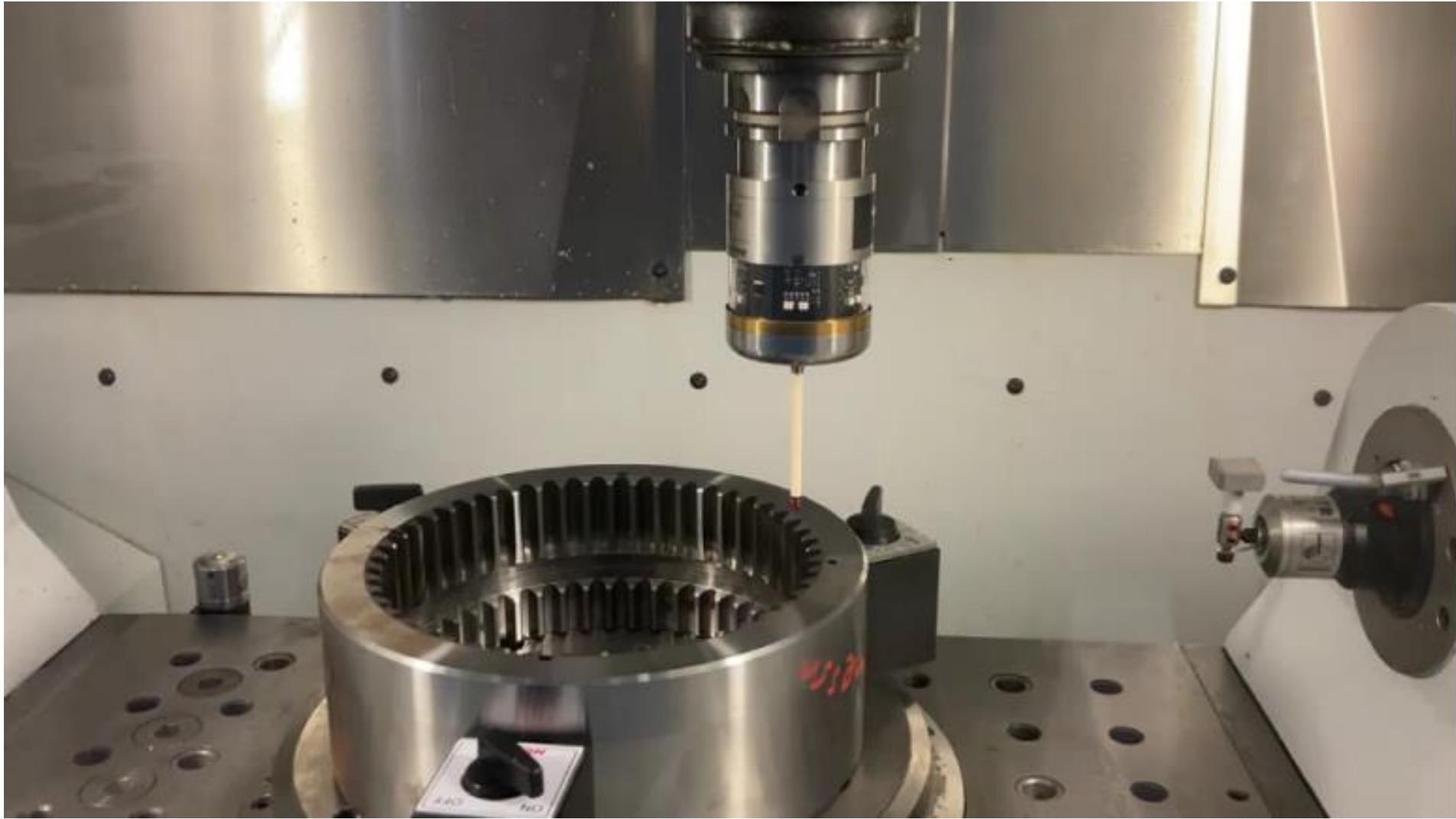
z	12
d_t	36.000
pm	25.000
No.	2.000
h	10.000
start	10.000
end	50.000
d_k	8.000
type	IV

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!