

# Definition und Fräsen von Stirn- und Kegelrädern

Dipl. Ing. Albert Zünd  
Euklid CAD/CAM AG

Photo by Courtesy of Sandvik Coromant, Schaumburg USA

**EUKLID**  
GearCAM

# Geometriedefinition mit GearCAM

**EUKLID GearCAM 2.3 - [D:\GearCAM-2015\Test - Test-Pfeil1]**

Projektverwaltung | Messdatenausgabe | Optionen | Gitteranzeige | Ansicht | Darstellungen | Testfunktion | Deutsch | Information

**EUKLID GearCAM**

**Zahnraddialog**

Maß-Einheit:  mm  inch

Dateneingabe: Bezugsprofil - Eigene Eingabe | Ohne Bezugsprofil

Zahnradparameter		Toleranzen / Abmaße / Prüfwerte	
Zahnradparameter	Bezugsprofil L	Berechnete Werte	
24	16	Zähnezahl	
5		Normalmodul [mm]	
20		Normaleingriffswinkel [°]	
15		Schrägungswinkel [°]	
0	0	Profilverschiebungsfaktor	
0	0,04	Zahndickenabmaß [mm]	
80	80	Zahnbreite [mm]	
1	1	Kopfhöhenfaktor	
1,25	1,25	Fußhöhenfaktor	
0	0	Vernundung Kopf [mm]	
	2	Vernundung Fuß [mm]	
	0	Sicherheitsfaktor Flanke	
		Rotationswinkel	

Pfeilverzahnung:  Aus  Offen  Geschlossen

5 | Nutbreite [mm]  
0,05 | Spaltbreite [mm]

**Schrägungswinkel**

Erklärung: Mit dem Schrägungswinkel wird eine Schrägverzahnung erzeugt. Der angegebene Winkel gilt auf dem Teilkreis des linken Zahnrads. Das Vorzeichen bestimmt die Schrägungsrichtung. Bei Pfeilverzahnungen bezieht sich der Winkel auf den Teil der Verzahnung, der am Nullpunkt beginnt.

**Spaltbreite**

Erklärung: Die Spaltbreite definiert einen Korrekturwert, um den die Aussenspitze der Pfeilverzahnung reduziert wird. Dadurch entsteht zwischen rechtem und linken Zahnrad im Übergangsbereich ein Spalt in der entsprechenden Größe. Zu den Zahnflanken hin reduziert sich der Wert auf 0, so dass ein tangentialer Übergang entsteht.

Soliddarstellung | 31.7 mm

**EUKLID GearCAM**

**Bezugsprofil - Eigene Eingabe**

Ohne Bezugsprofil

Bezugsprofil - Eigene Eingabe

1 / 1,25 / 0,38 ISO 53.2:1997 Profil B

1 / 1,25 / 0,3 ISO 53.2:1997 Profil B

1 / 1,25 / 0,25 ISO 53.2:1997 Profil C

1 / 1,25 / 0,39 ISO 53.2:1997 Profil C

1 / 1,25 / 0,3 DIN 867:1986

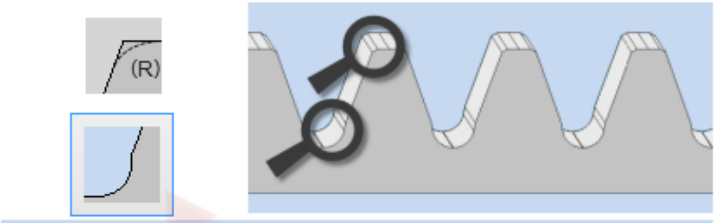
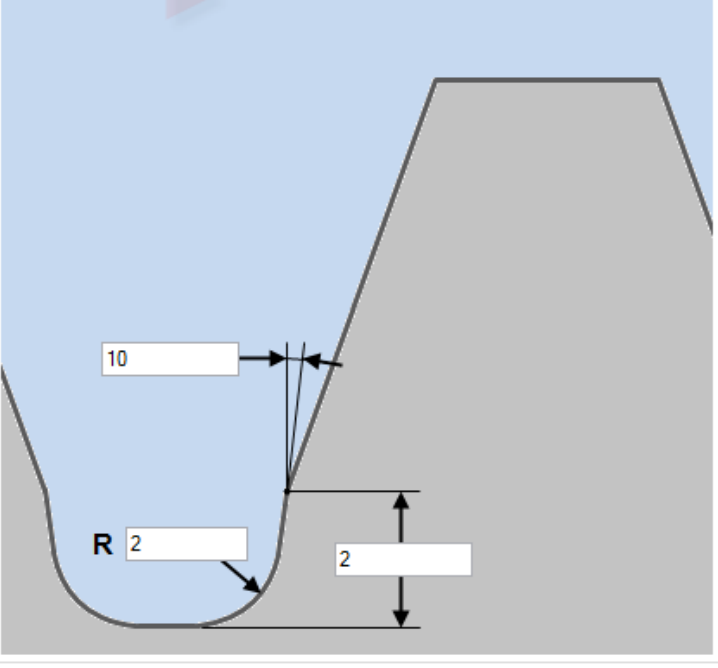
1 / 1,25 / 0,25 DIN 867:1986

**Dateneingabe**

Bezugsprofil - Eigene Eingabe | Ohne Bezugsprofil

Flankenkorrekturen | Toleranzen / Abmaße / Prüfwerte

Zahnradparameter | Bezugsprofil L | Berechnete Werte

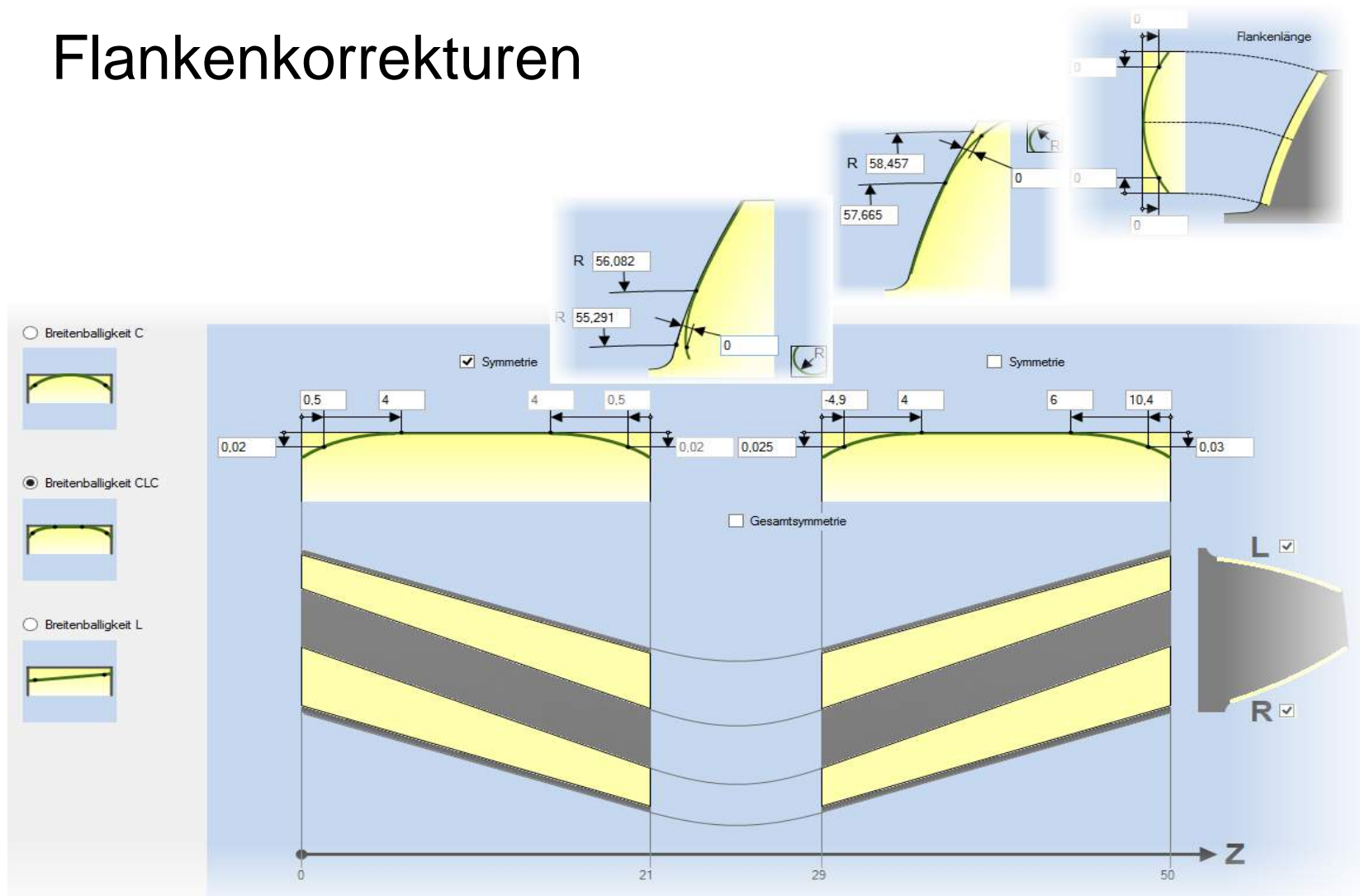



Zahnradparameter		Bezugsprofil L		Berechnete Werte	
Flankenkorrekturen		Toleranzen / Abmaße / Prüfwerte			
Typ	Name	Links	Rechts		
	Breitenballigkeit	✓	✓		
	Höhenballigkeit	✓	✓		
	Kopfrücknahme	✓	✓		
	Fußrücknahme	✓	✓		

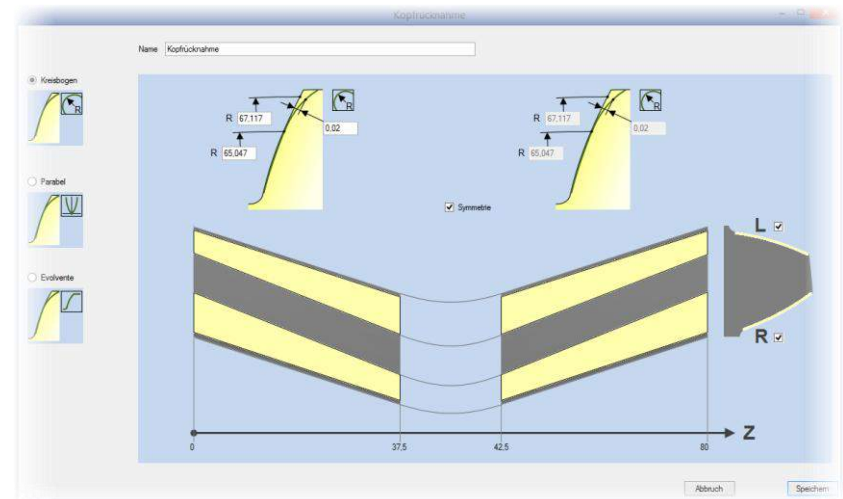
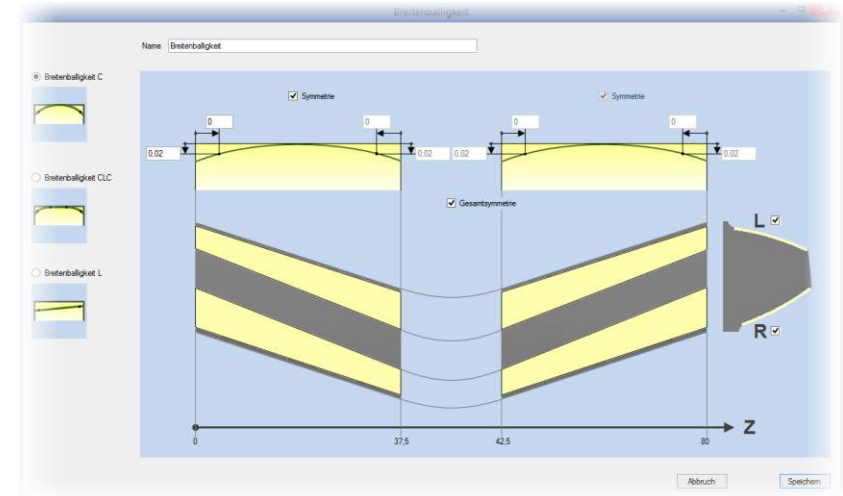
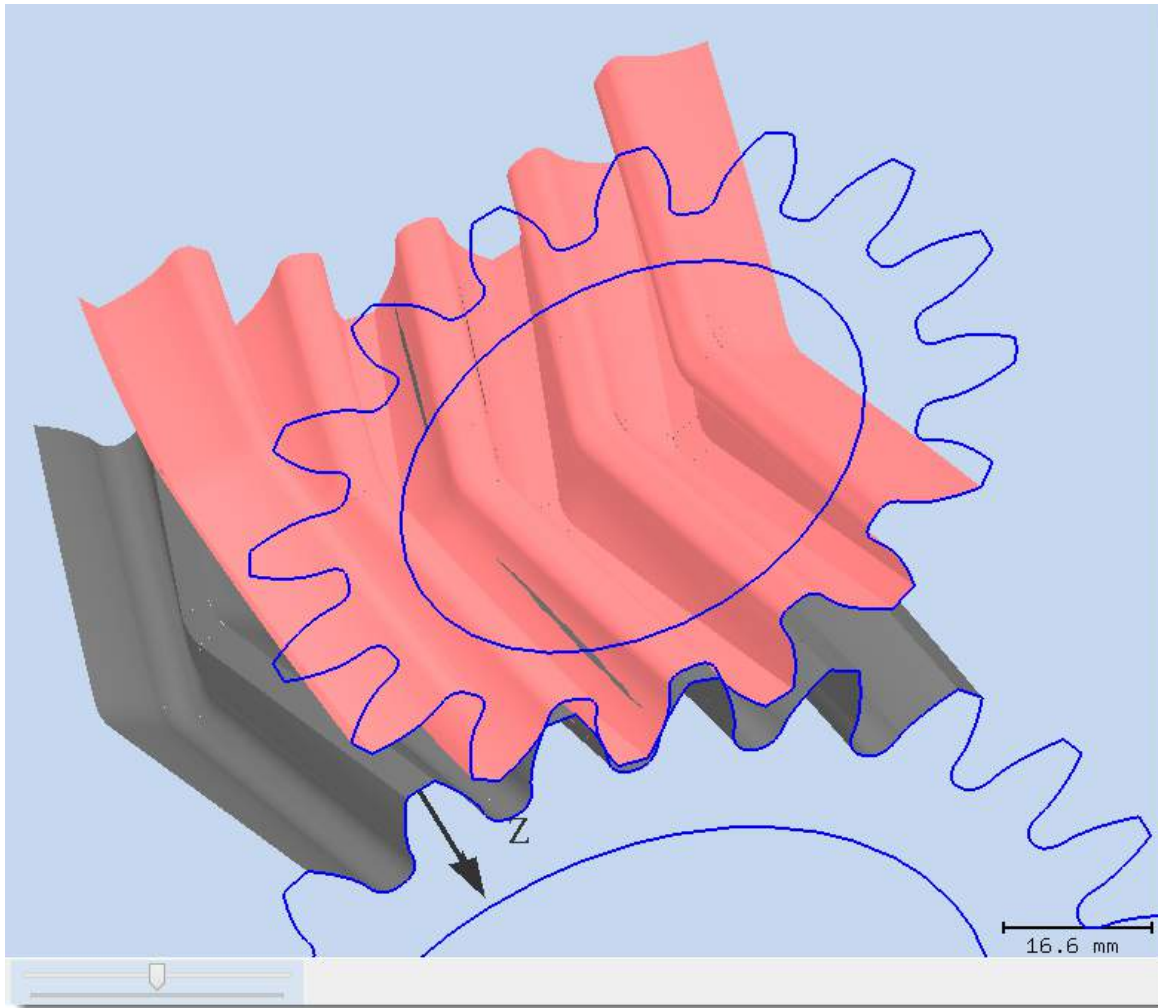
Protuberanz



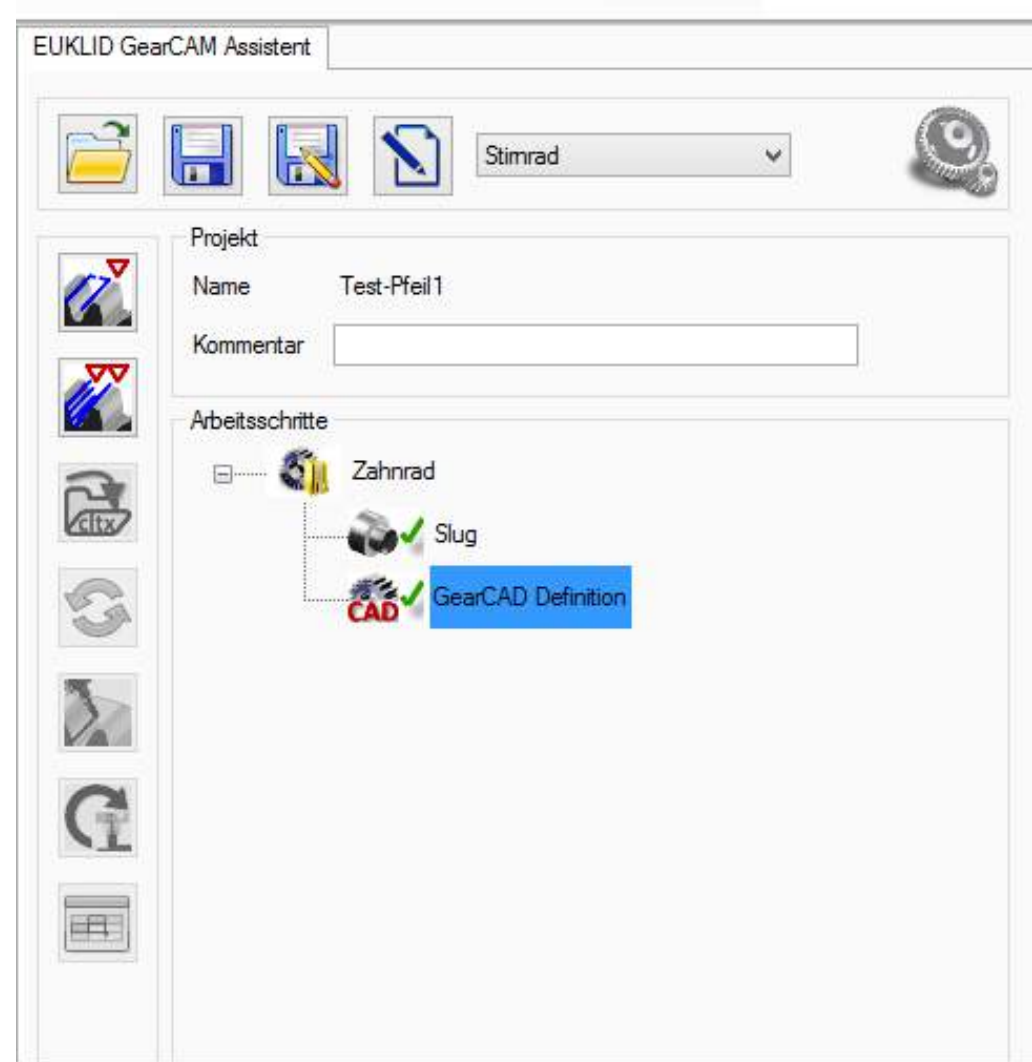
# Flankenkorrekturen



# Flankenkorrekturen abrollen



# NC-Programmierung



# Schruppen

EUKLID GearCAM 2.3 - [D:\GearCAM-2015\Test - Test-Pfeil1]

Maschinsimulation

Projektverwaltung Messdatenausgabe Optionen Gitteranzeige Ansicht Darstellungen Testfunktion Deutsch Information

Schruppdialog

Beschreibung  
Name: Roughing  
Kommentar:

Strategie

Schruppen - Einstellungen: Strategie - 1  
Aufmaß/Toleranz Optionen Distanz oben Distanz unten Distanz Elgang

Werkzeugdefinition

Werkzeug	Halter	td	rc	sp	fr	ap/ae

Soliddarstellung

Schruppen - Einstellungen: Strategie - 1

Aufmaß/Toleranz Optionen Distanz oben Distanz unten Distanz Elgang

Zwischenbahnen  zuerst

Laststep Einzelbahn

Zusatzaufmaß Gegenflanke: 0

Werkzeugmanager

ID	tool name	td	rc	tlen	sp/ae	sp	fr	ID	holder name	d1	d2	d3	I1	I2	I3	I4
51250	mm Dec_D125_W20_R2	125	2	80	6	380	455	9063	mm InvoMHHolder63	63	63	63	56	0	0	0

Werkzeugname: Dec\_D125\_W20\_R2 Werkzeug ID: 51250

Beschreibung: Disc cutter with diameter 125, width of 20 and corner radius of 2

Geometrie Technologie

Durchmesser [mm]	125
Cutting width [mm]	20
Eckradius [mm]	2
Anzahl Schneiden	6
Schneidlänge [mm]	15
Schaftdurchmesser [mm]	63
Einsparlänge [mm]	80
Durchmesser Zapfen [mm]	50
Länge Zapfen [mm]	8

Zylindrisch Konisch Abgestuft

Holder Name: InvoMHHolder63 Holder ID: 9063

Interface: HSKA63

Durchmesser1	63
Länge1	56
Faserbreite	0
Faserlänge	0

Werkzeugdatenbank

ID	tool name	td	rc	tlen	sp/ae	sp	fr
51000	mm Dec_D100_W12_R6	100	6	66	5	460	450
51001	mm Dec_D100_W10_R3	100	1	66	5	460	450
51002	mm Dec_D100_W6_R3	100	3	66	5	460	460
51003	mm Dec_D100_W6_R0.4	100	0.4	66	5	460	460
51200	mm Dec_D120_W16_R2	120	2	80	6	390	458

Holderdatenbank

ID	holder name	d1	d2	d3	I1	I2	I3	I4
1032	mm Holder_D32_cyl	32	32	32	76	0	0	0
1040	mm Holder_D40_cyl	40	32	32	76	0	0	0
1041	mm Holder_D40	40	32	32	66	0	0	0
1048	mm Holder_D48	48	32	32	66	0	0	0
1052	mm Holder_D52_cyl	52	32	32	81	0	0	0

# Schichten

Schichtdialog

Beschreibung

Name: Finishing

Kommentar:

Strategie

Schichten - Einstellungen: Strategie - 3

Aufmaß/Toleranz    Optionen    Distanz oben    Distanz unten    Distanz Eilgang

Toleranz: 0.0001

Aufmaße: Generell 0

Werkzeugdefinition

Tool name	Holder name	td	rc	sp	fr
End_D6_R2	Holder_D18_cyl	6	2	6600	1320

Aufmaß/Toleranz    Optionen    Distanz oben    Distanz unten    Distanz Eilgang

Flankenwahl

- beide Seiten
- links
- rechts

Nutze gesamte Werkzeuglänge

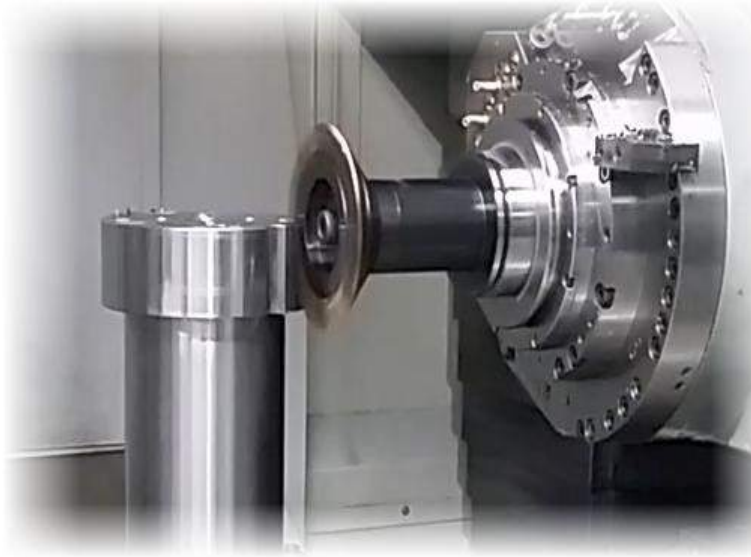
Aufmaß/Toleranz    Optionen    Distanz oben    Distanz unten    Distanz Eilgang

2

Z0



# InvoMilling



Strategie

Schichten - Einstellungen: Strategie - 1

Aufmaß/Toleranz    Optionen    Distanz oben    Distanz unten    Distanz Elfgang

Toleranz 0,0001

0,001

0

0

Aufmaße  
Generell 0

Werkzeugdefinition

Tool name	Holder name	td	rc	sp	fr
CoroMill 162-120	InvoMillHolder50	120	1,2	920	506

Schichten - Einstellungen, Strategie - 1

Aufmaß/Toleranz    Optionen    Distanz oben    Distanz unten    Distanz Elfgang

Höhe Basislinie 2,5  Auto

Faktor seiti. Überlappung 0,05

Anfahrdistanz als Evolvente 3

Par. Sicherheitsabstand 0,2

Tang. Sicherheitsabstand 1,5

Seitliche Ausfahrdistanz 2

Zusatzaufmaß Gegenflanke 0,05

Rückseite

Längsbahnen berechnen

Flankenwahl

beide Seiten     links     rechts

# Fräs-Simulation

EUKLID GearCAM 2.3 - [D:\GearCAM-2015\Test - Test-Pfeil]

Maschinensimulation

FILE SIMULATION VERIFICATION VIEW

Material Removal Mode Machine Simulation

Step Back Step Fwd

Previous Op Run Stop Fast Forward Next Op Restart

Simulation Run Speed

Fit Isometric Top Bottom Front Back Right Left

Toolpath Tool Workpiece Stock Initial Stock Machine Housing Tool Path Rendering

Move List

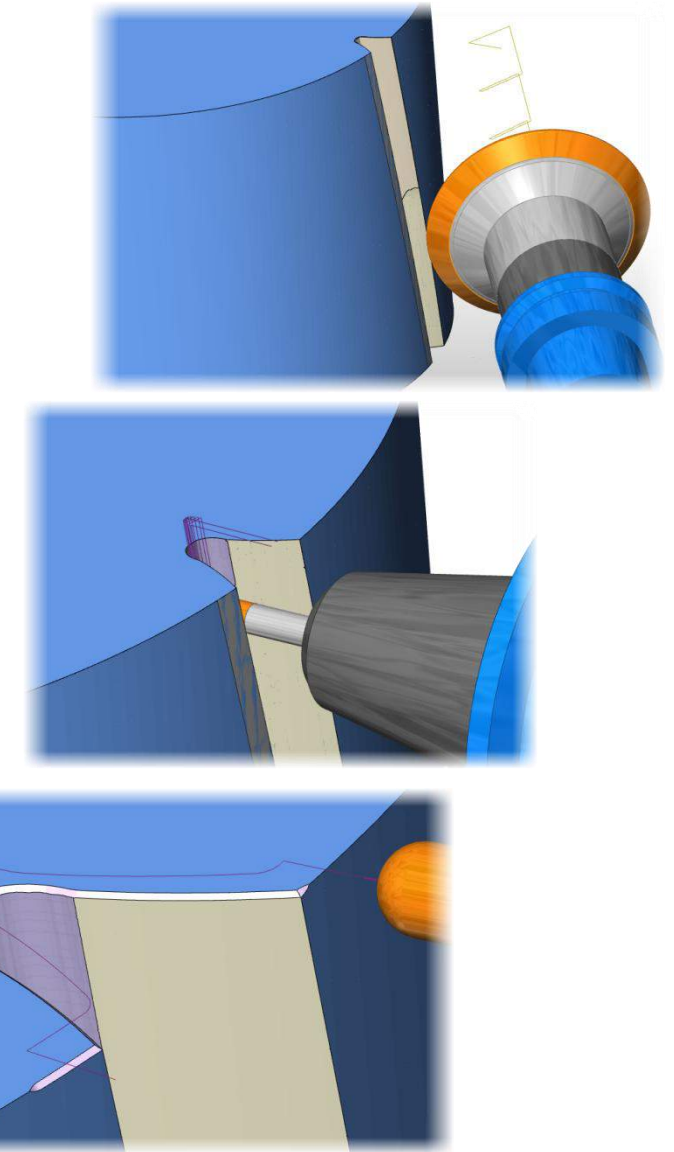
- Op. 1 (1): Roughing\_1 (CoroMill 162-090)
- Op. 2 (1): Finishing\_1 (CoroMill 162-090)
- Op. 3 (1): Finishing\_2 (CoroMill 162-090)
- Op. 4 (1): Finishing\_Root\_1 (Ball\_D4)
- Op. 5 (1): Deburring\_1 (Ball\_D4)
- Op. 6 (1): Deburring\_2 (Ball\_D4)

Move	X	Y	Z	C	B
1422	48.192	133.607	123.964	325.488	279.391
1423	48.477	133.505	125.214	325.366	279.391
1424	48.762	133.400	126.464	325.244	279.391
1425	49.046	133.295	127.714	325.121	279.391
1426	49.331	133.191	128.964	324.999	279.391
1427	49.615	133.086	130.214	324.877	279.391
1428	49.898	132.979	131.464	324.755	279.391
1429	50.182	132.872	132.714	324.632	279.391
<b>1430</b>	<b>50.465</b>	<b>132.765</b>	<b>133.964</b>	<b>324.510</b>	<b>279.391</b>
1431	50.749	132.658	135.214	324.388	279.391
1432	51.031	132.548	136.464	324.266	279.391
1433	51.314	132.439	137.714	324.144	279.391
1434	51.596	132.329	138.964	324.021	279.391
1435	51.879	132.220	140.214	323.899	279.391
1436	52.160	132.108	141.464	323.777	279.391
1437	52.442	131.996	142.714	323.655	279.391
1438	52.724	131.884	143.964	323.532	279.391
1439	53.005	131.772	145.214	323.410	279.391

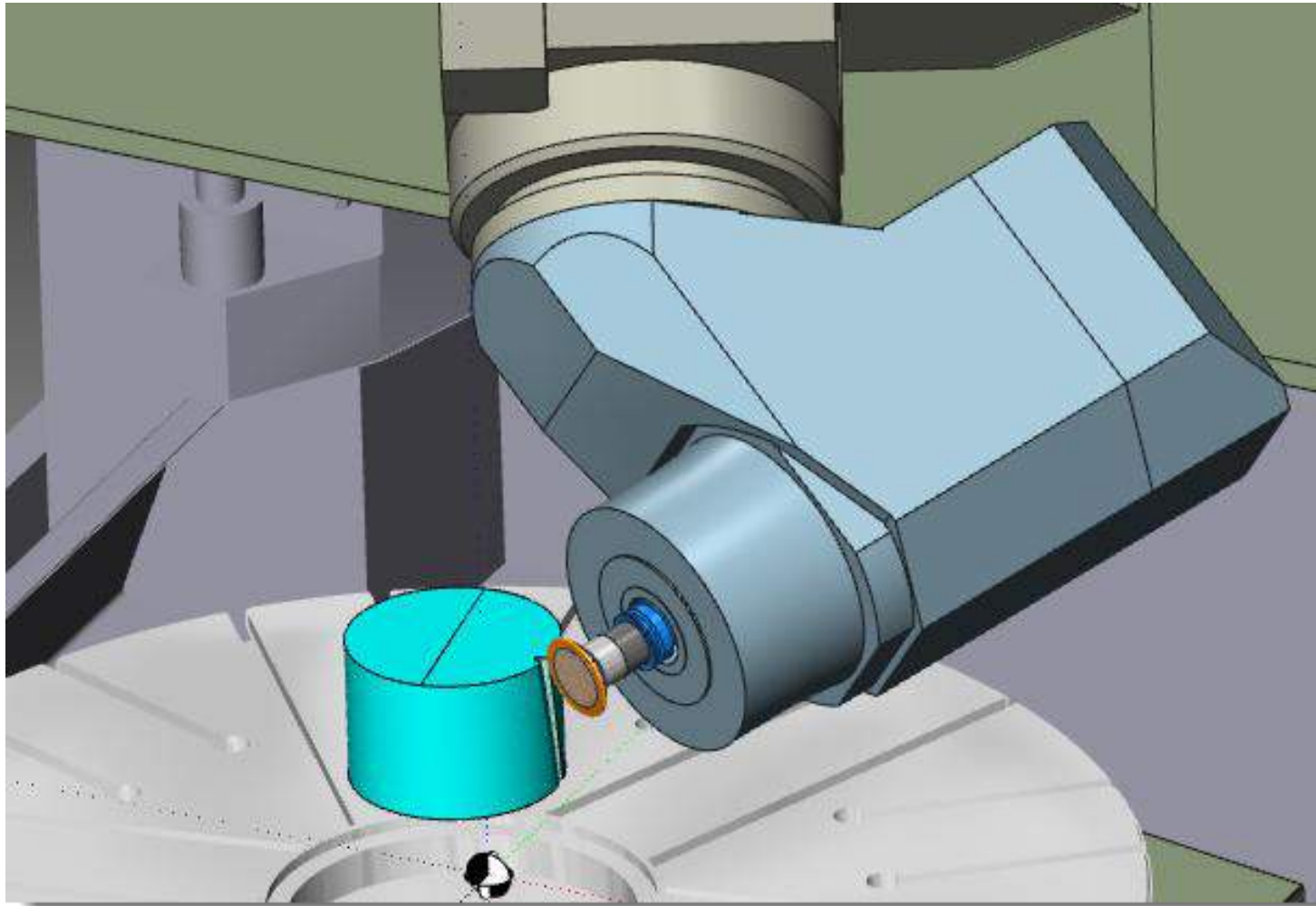
Analysis

Operation number

G&E	Number	Operation comment
<input type="checkbox"/>	1	Roughing_1 (CoroMill 162-090)
<input checked="" type="checkbox"/>	2	Finishing_1 (CoroMill 162-090)
<input checked="" type="checkbox"/>	3	Finishing_2 (CoroMill 162-090)
<input checked="" type="checkbox"/>	4	Finishing_Root_1 (Ball_D4)
<input checked="" type="checkbox"/>	5	Deburring_1 (Ball_D4)
<input checked="" type="checkbox"/>	6	Deburring_2 (Ball_D4)



# Fräs-Simulation mit 5-Achs-Maschine



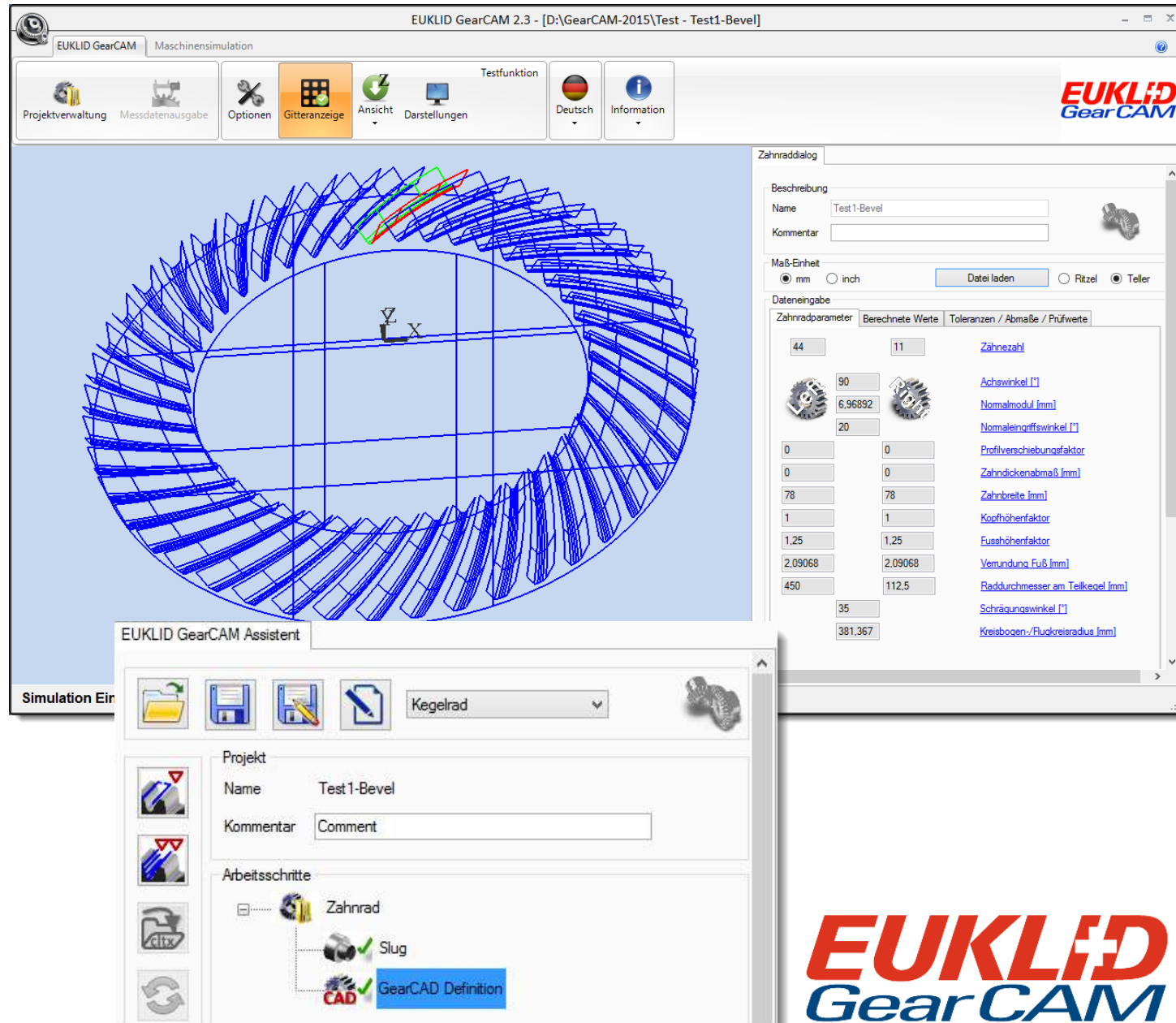
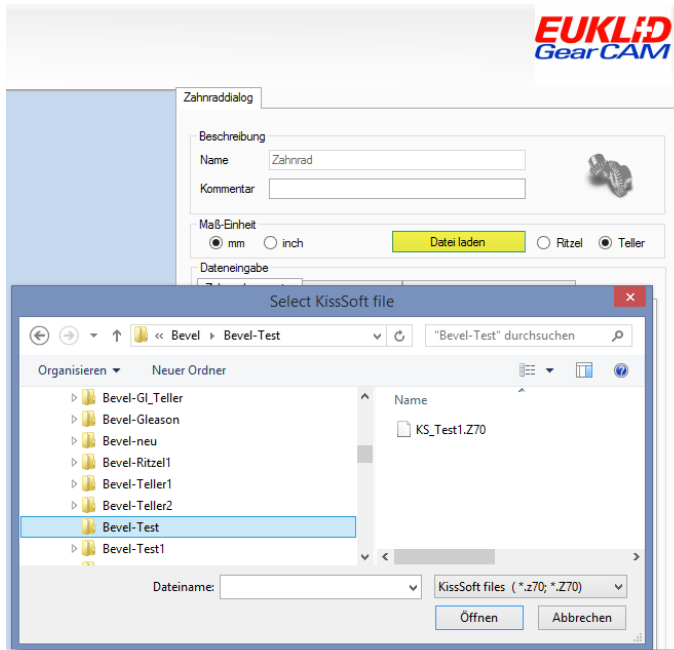
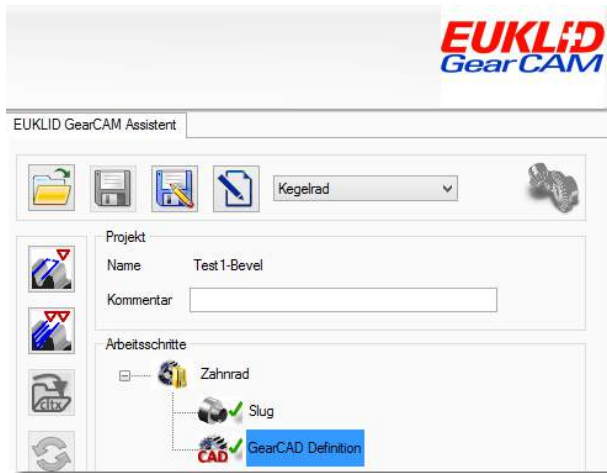
**EUKLID**  
GearCAM

# Verzahnungsfräsen von Kegeelrädern



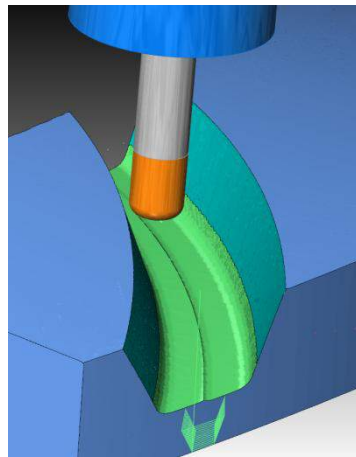
**EUKLID**  
GearCAM

# Definition Kegelrad

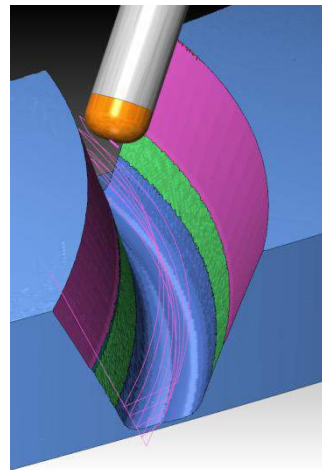


**EUKLID**  
 GearCAM

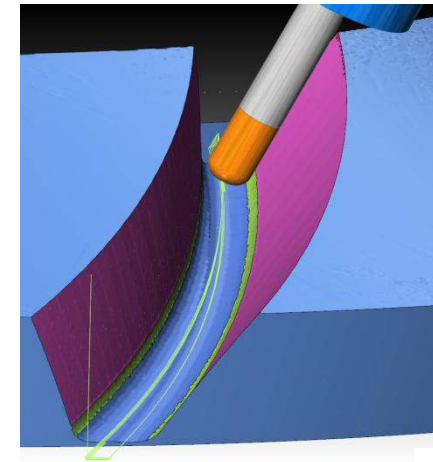
# Bearbeitungsfolge, Schnittaufteilung / Eingriffsverhältnisse beim Schlichten:



Schruppen

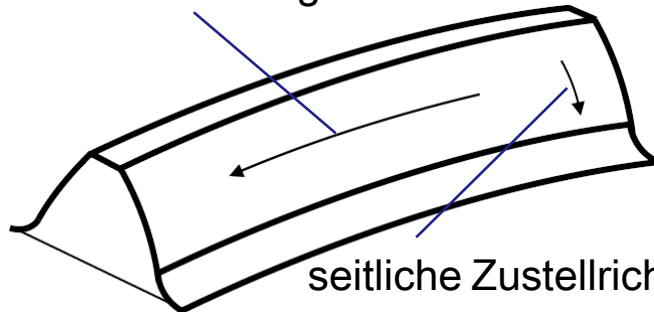


Vorschlichten

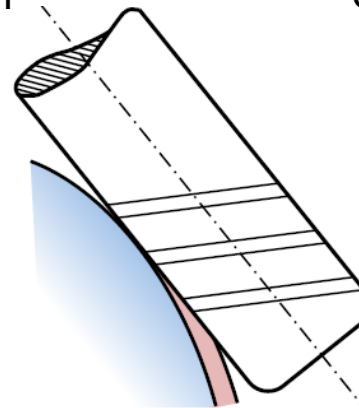


Schlichten

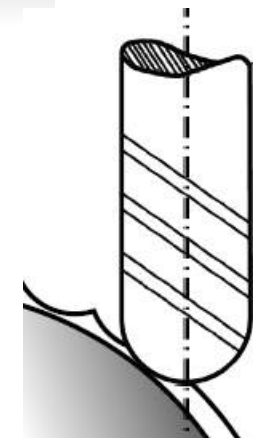
Vorschubrichtung / Gleichlauf



seitliche Zustellrichtung

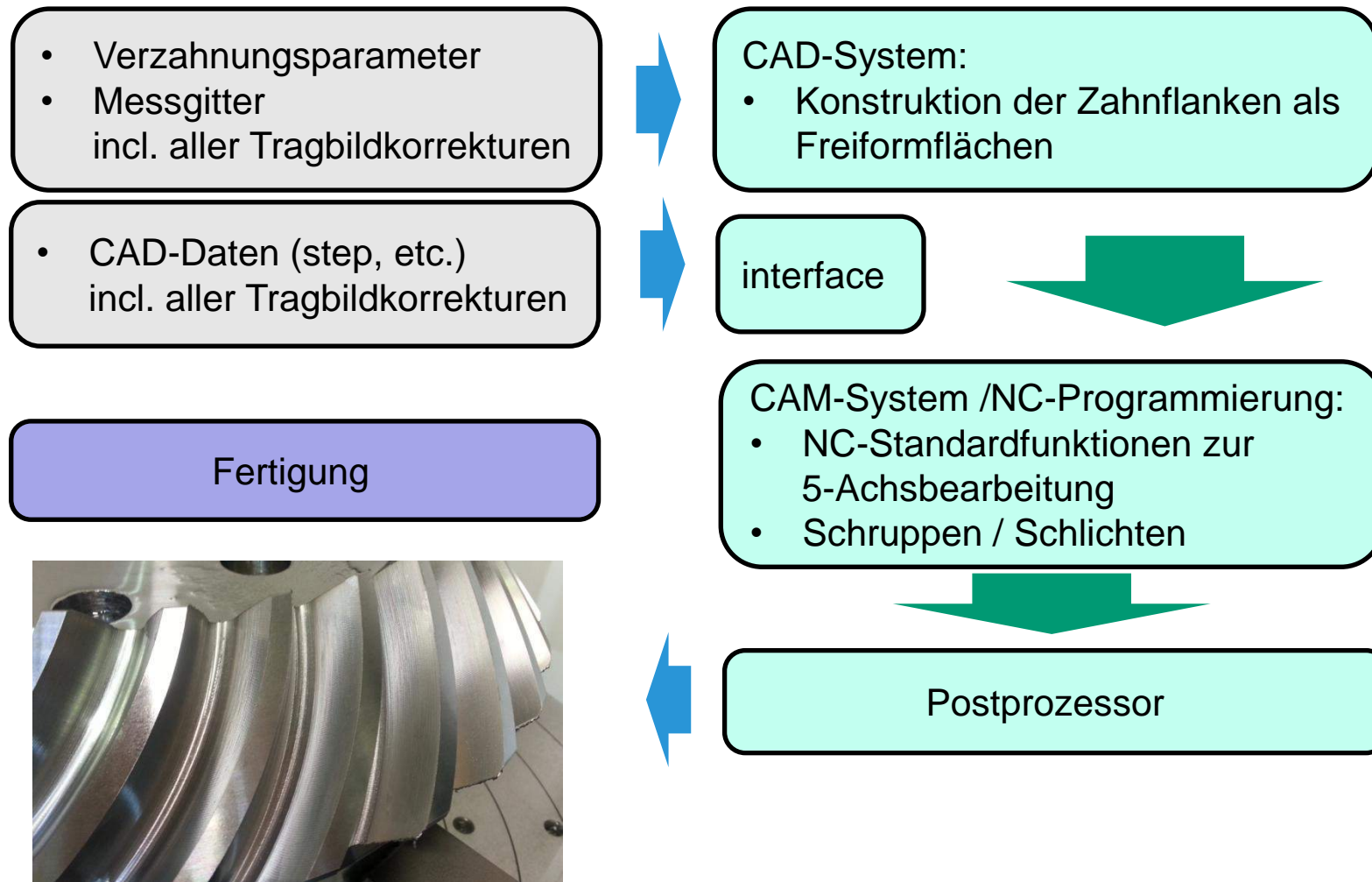


5-achsiges  
Abwälzfräsen

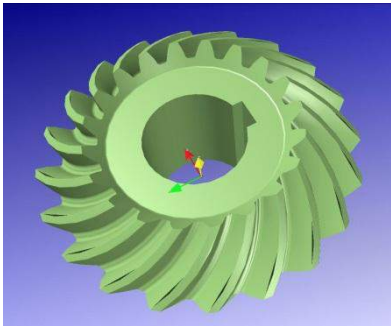


Freiformfräsen  
3-achsig mit  
Radiusformfräsern

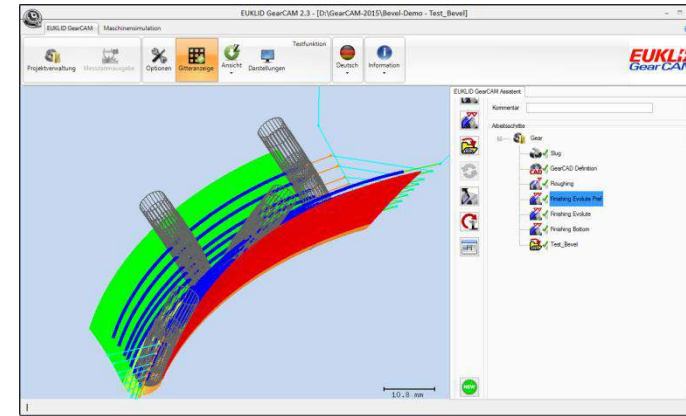
# Standardprozesskette für das Freiformfräsen



# Fräsen von Kegelrädern mit GearCAM



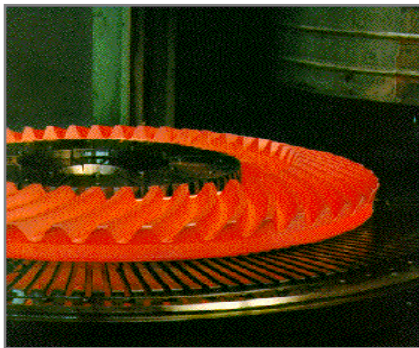
Datenbasis:  
- KISSsoft (.Z70)



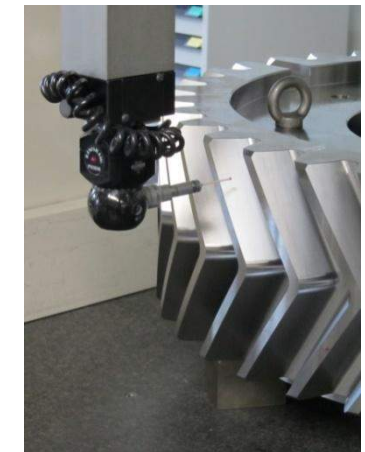
Prozessauslegung /  
NC-Programmerstellung



Härten



5-Achsfräsen der Verzahnung:  
weich / hart auf einer  
Universal-Werkzeugmaschine



Ausgangskontrolle  
Zahnradmessprotokoll



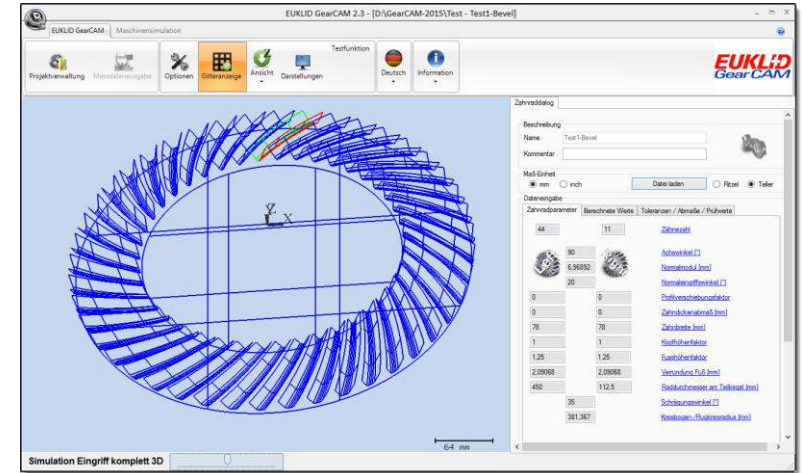
© GIFmbH & Co.KG

**EUKLID**  
GearCAM



# Verzahnungsspezifisches CAM-Modul

- Interface zu KISSsoft (.z70)  
(direkte Übernahme aller  
Daten und Parameter)



absolute Kontrolle  
der Genauigkeit

Benutzerführung:

- verzahnungsspezifisch
- intuitiv anwendbar – ohne CAD/CAM-Know-how

Funktionalität:

- Werkzeugdatenbank
- Projektverwaltung
- hohe Freiheitsgrade in der Prozessauslegung  
(Werkzeuge, Schnittaufteilung, Frässtrategie)
- qualitätsorientierte Steuerung von  
Bearbeitungsfolge und Zeiligkeit



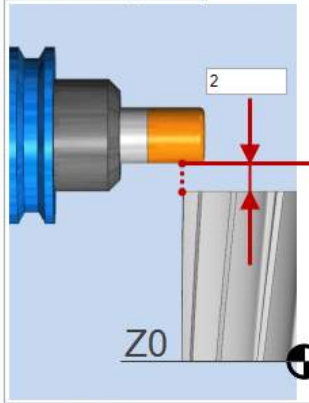
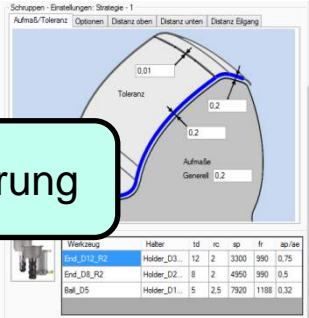
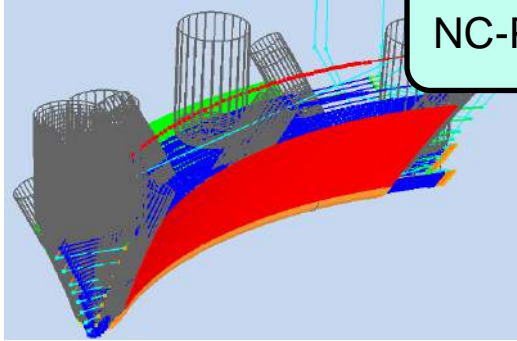
© GIFmbH & Co.KG



**EUKLID**  
GearCAM

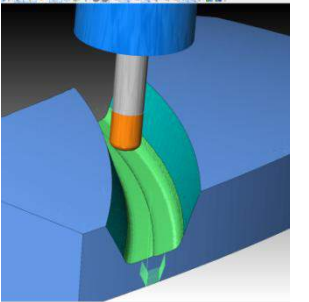
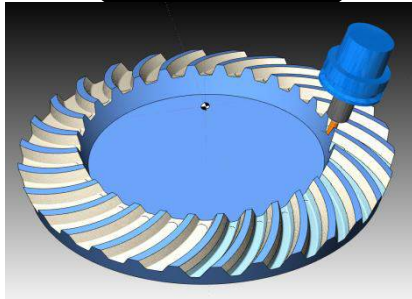
automatische,  
vollständige  
Dokumentation

NC-Programmierung

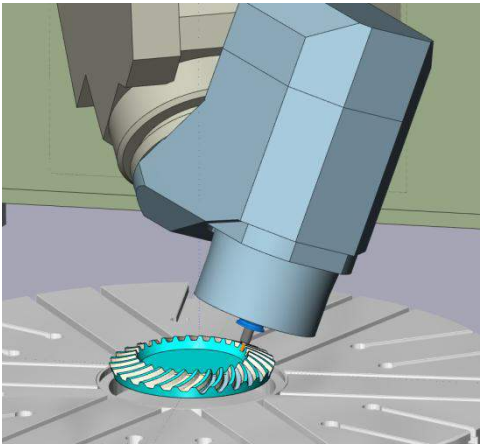


Simulation

Postprozessor



Fertigung



© GIFmbH & Co.KG

**EUKLID**  
GearCAM

# Anforderungen an Werkzeugmaschinen



Zahnräder auf 5-Achsbearbeitungszentren

technische Zusatzausrüstung:

- lasergestützte Werkzeugvermessung
- taktile 3D-Werkstückmessung gegen CAD
- Kalibrierfunktion 5-achsig



Ritzelwellen auf 5-Achs-Drehfräszentren

Die Qualität der Verzahnung ist primär von der Werkzeugmaschine abhängig:

- Achsanordnung (Rotationsachsen !)
- Teilungsgenauigkeit der Rotationsachsen !
- statische und dynamische Genauigkeit !
- thermische Stabilität (Langzeit) !
- Linearachsen von sekundärer Bedeutung

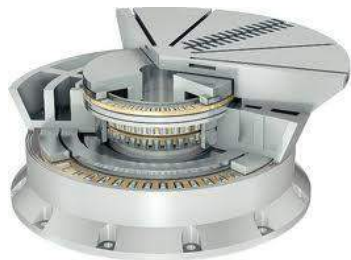
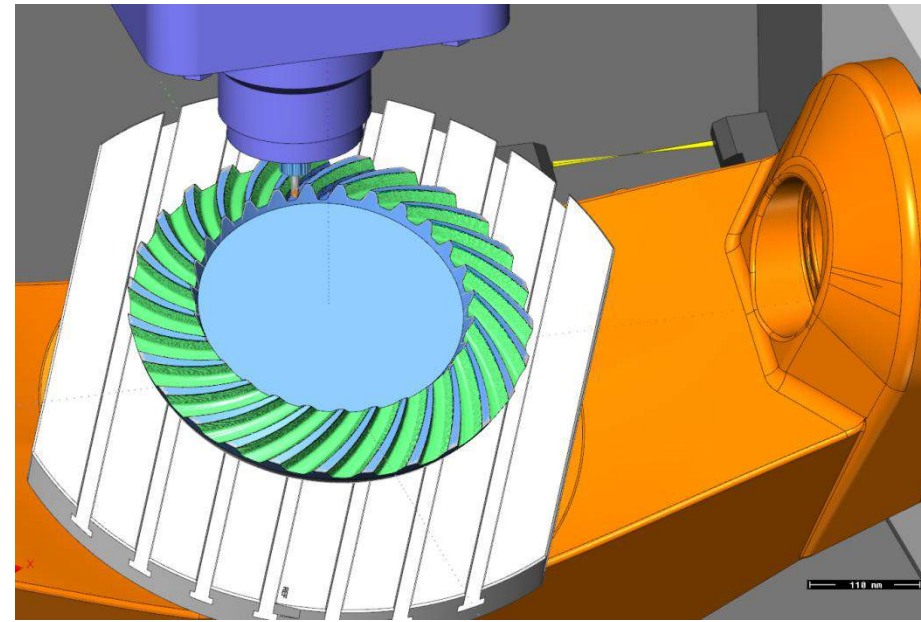


### Anordnung der Rotationsachsen:

- beide Rotationsachsen auf Werkstückseite nur bei geringem Werkstückgewicht ( < ca. 500 kg)
- schwere/große Zahnräder (>  $d_k =$  ca. 2000 mm, > ca. 4 t) => Portalbauweise vorteilhaft, beide Rotationsachsen im z-Schieber, statisch hochgenauer Rundtisch ausschließlich zur Positionierung

### Lagerung:

- erhöhte Anforderungen an Rundlauf / Planlauf
- hydrostatische Lagerung
  - => hohe Genauigkeit / Steifigkeit
  - => hohe Kosten
  - => Einsatzbereich: Großmaschinen / erhöhte Verzahnungsqualitäten



Quelle: Schaeffler

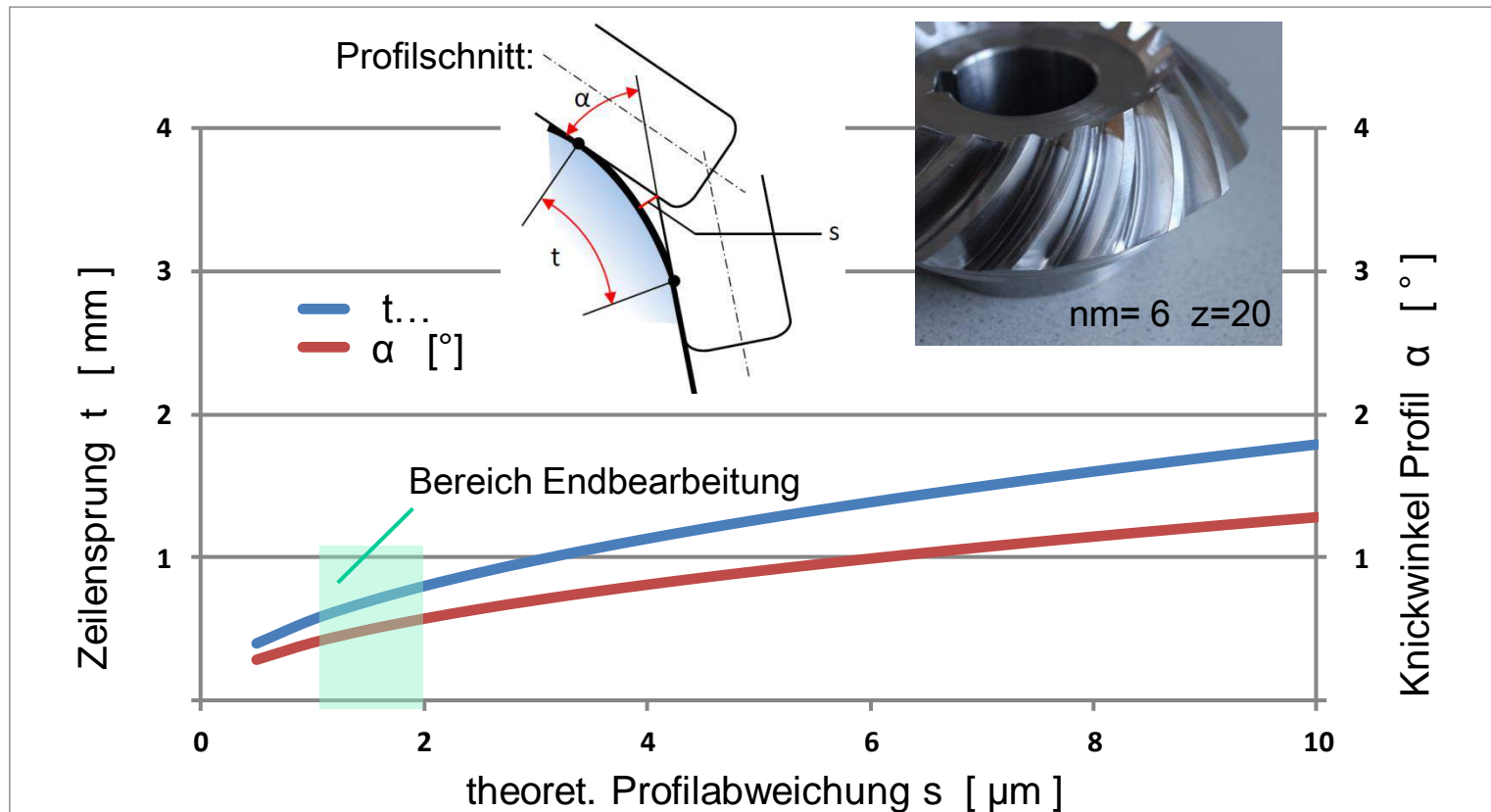


Quelle: ELHA



© GIFmbH & Co.KG

**EUKLID**  
GearCAM



Oberflächen-  
Topologie  
beim  
5-achsigen  
Wälzfräsen

- bei üblichen Schlichtbedingungen (theoret. Polygonhöhe 1-2  $\mu\text{m}$ ) kann keine signifikante Polygonstruktur entstehen ( $\alpha < 0,5^\circ$ )
- auch unter diesen Feinstschlichtbedingungen liegt der Zeilensprung immer noch bei ca. 0,5 - 0,8 mm !
- eine deutlichen Steigerung des Zeilensprungs ist durch die vorgegebene Fräsersteifigkeit begrenzt.



© GIFmbH & Co.KG

**EUKLID**  
GearCAM

# Kegeelrad:

- Klingelbergverzahnung
- bogenverzahnt
- Normalmodul Mitte  $m_n = 9,481 \text{ mm}$
- Zähnezahl  $z = 30$
- Zahnbreite  $b = 80 \text{ mm}$
- Kopfkreisdurchmesser aussen  $d_k = 398 \text{ mm}$



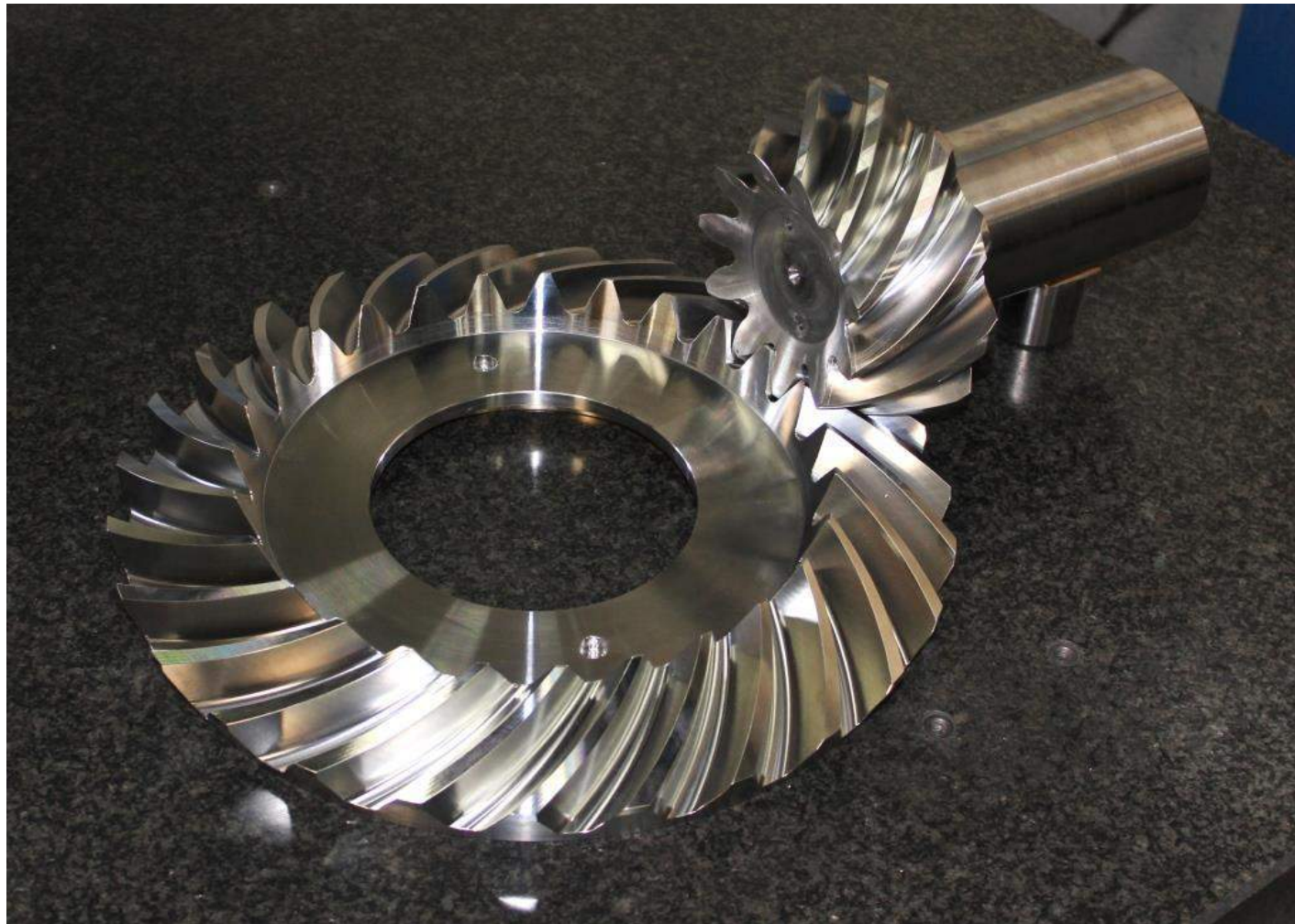
© GIFmbH & Co.KG

**EUKLID**  
GearCAM



Kegelradpaar:  
18CrNiMo7-6  
einsatzgehärtet  
58 HRC  
mn= 9mm  
z1= 11 / z2= 27

Auslegung  
nach  
KISSsoft



© GIFmbH & Co.KG

**EUKLED**  
GearCAM



## Resümee und Ausblick:

- **5-Achsfräsen von Zahnrädern gehört heute zum Stand der Technik.**
- **Die 5-Achsbearbeitung von Verzahnungen stellt besondere Anforderungen an verfahrensspezifische CAM-Module, Werkzeugmaschine, Zerspanungswerkzeuge und Prozess Know-how.**
- **Unter diesen Voraussetzungen können auch beim 5-Achsfräsen höhere Verzahnungsqualitäten erreicht werden.**
- **Verfahrensbedingt ist der Einsatz der 5-Achsfräsbearbeitung von Verzahnungen in der Serie im Vergleich zu den etablierten Technologien wirtschaftlichen Restriktionen unterworfen.**
- **Im Bereich der Ersatzteil- und Kleinserienfertigung sowie bei Sonderverzahnungen zeigt das 5-Achsfräsen signifikante Wettbewerbsvorteile hinsichtlich Durchlaufzeit und Kosten – nahezu ohne jegliche Restriktionen bzgl. der Zahnform und –profile.**
- **5-Achsfräsen von Verzahnungen steht nicht in direkter Konkurrenz zur etablierten Verzahnungstechnik, sondern wird in Zukunft eine zunehmend wichtige Rolle als ergänzendes Fertigungsverfahren darstellen.**

