

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 | 20 | Normalmodul [mm] | |
| | 15 | Normaleingriffswinkel [°] | |
| 0 | 0 | Schrägungswinkel [°] | |
| 0 | 0,04 | Profilverschiebungsfaktor | |
| 80 | 80 | Zahndickenabmaß [mm] | |
| 1 | 1 | Zahnbreite [mm] | |
| 1,25 | 1,25 | Kopfhöhenfaktor | |
| 0 | 0 | Fusshöhenfaktor | |
| | 2 | Vermundung Kopf [mm] | |
| | 0 | Vermundung Fuß [mm] | |
| | 0 | Sicherheitsfaktor Flanke | |
| | | Rotationswinkel | |

Pfeilverzahnung: Aus Offen Geschlossen

5 [Nutbreite \[mm\]](#)
0,05 [Spaltbreite \[mm\]](#)

Schrägungswinkel

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

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.

31.7 mm

Soliddarstellung

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

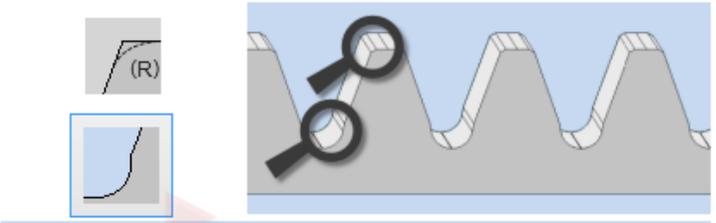
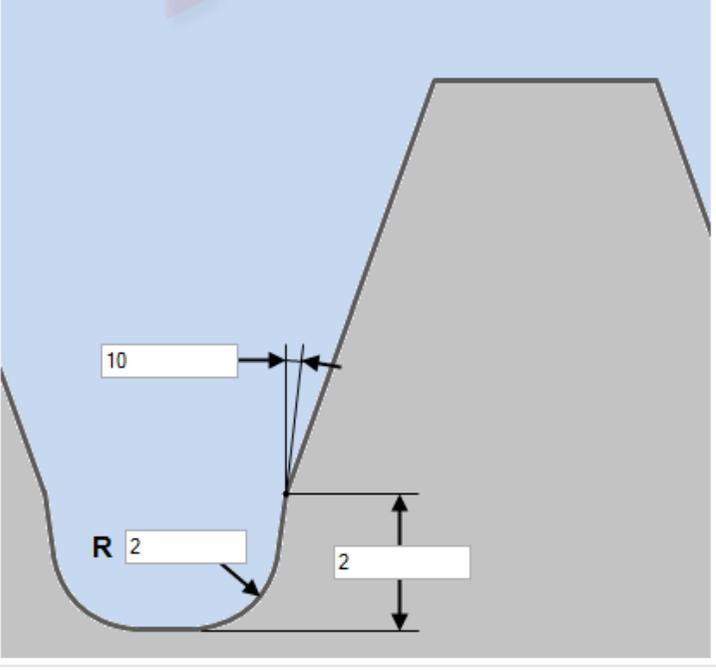
1 / 1,25 / 0,25 DIN 867:1986

Dateneingabe

Bezugsprofil - Eigene Eingabe | Ohne Bezugsprofil

Flankenkorrekturen | Toleranzen / Abmaße / Prüfwerte

Zahnradparameter | Bezugsprofil L | Berechnete Werte

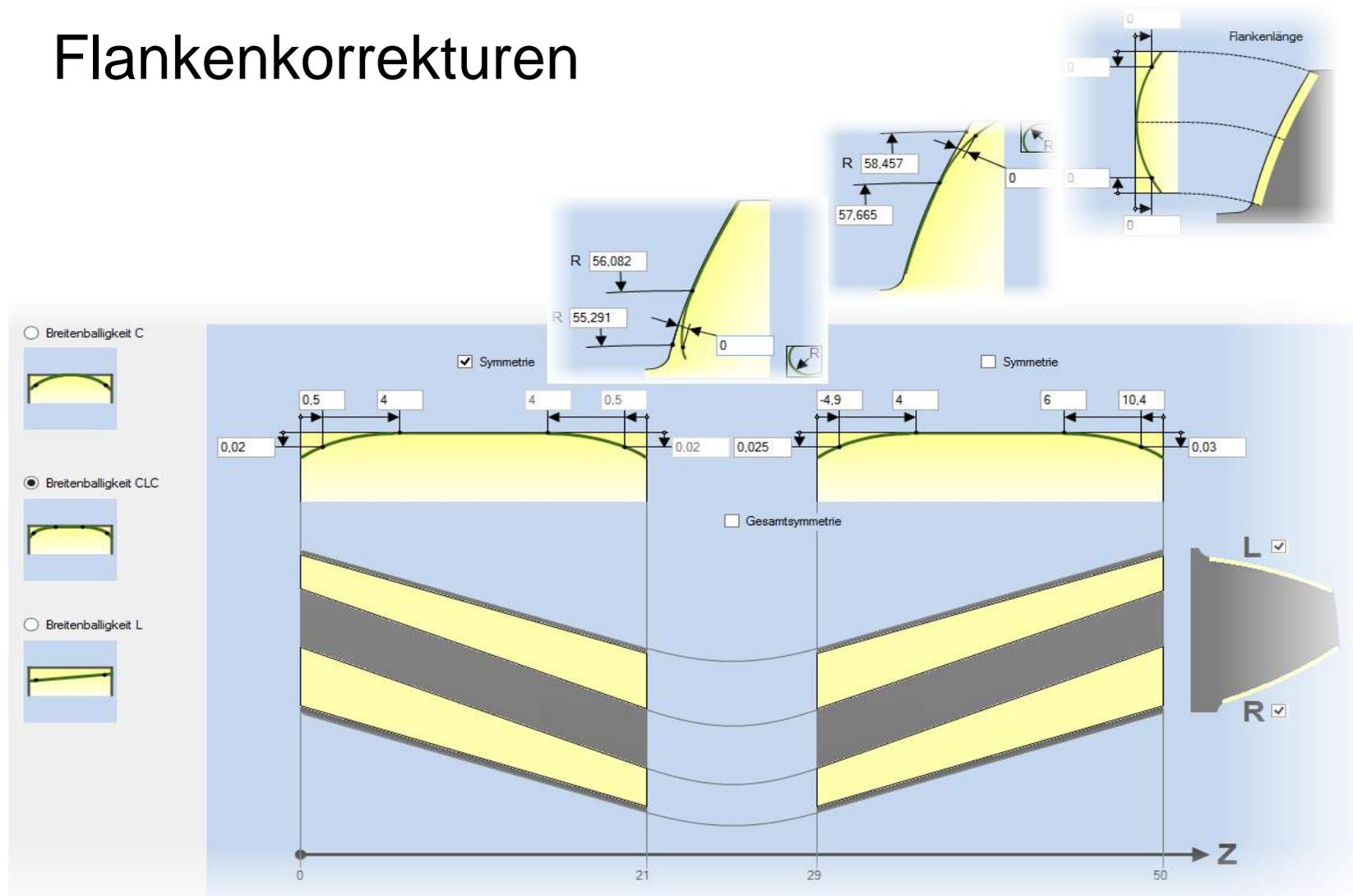



fil - Eigene Eingabe | Ohne Bezugsprofil

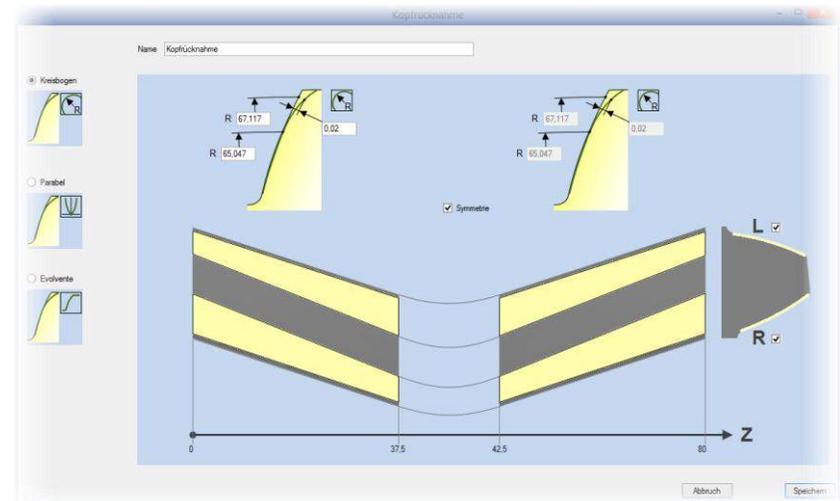
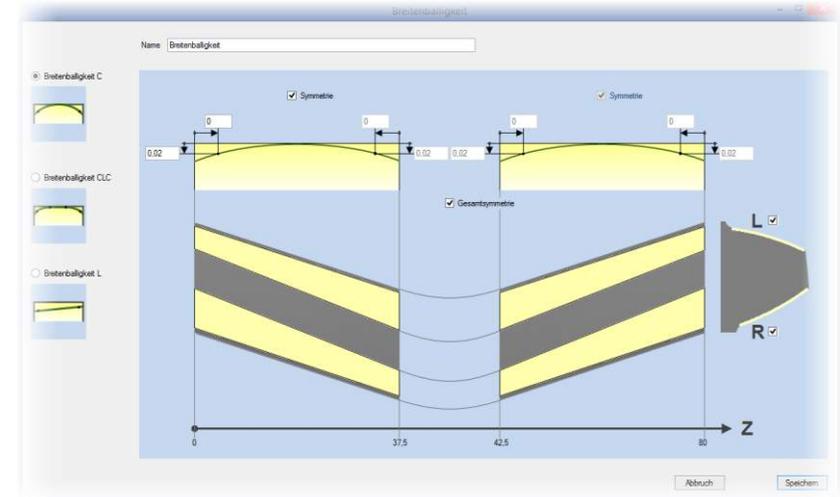
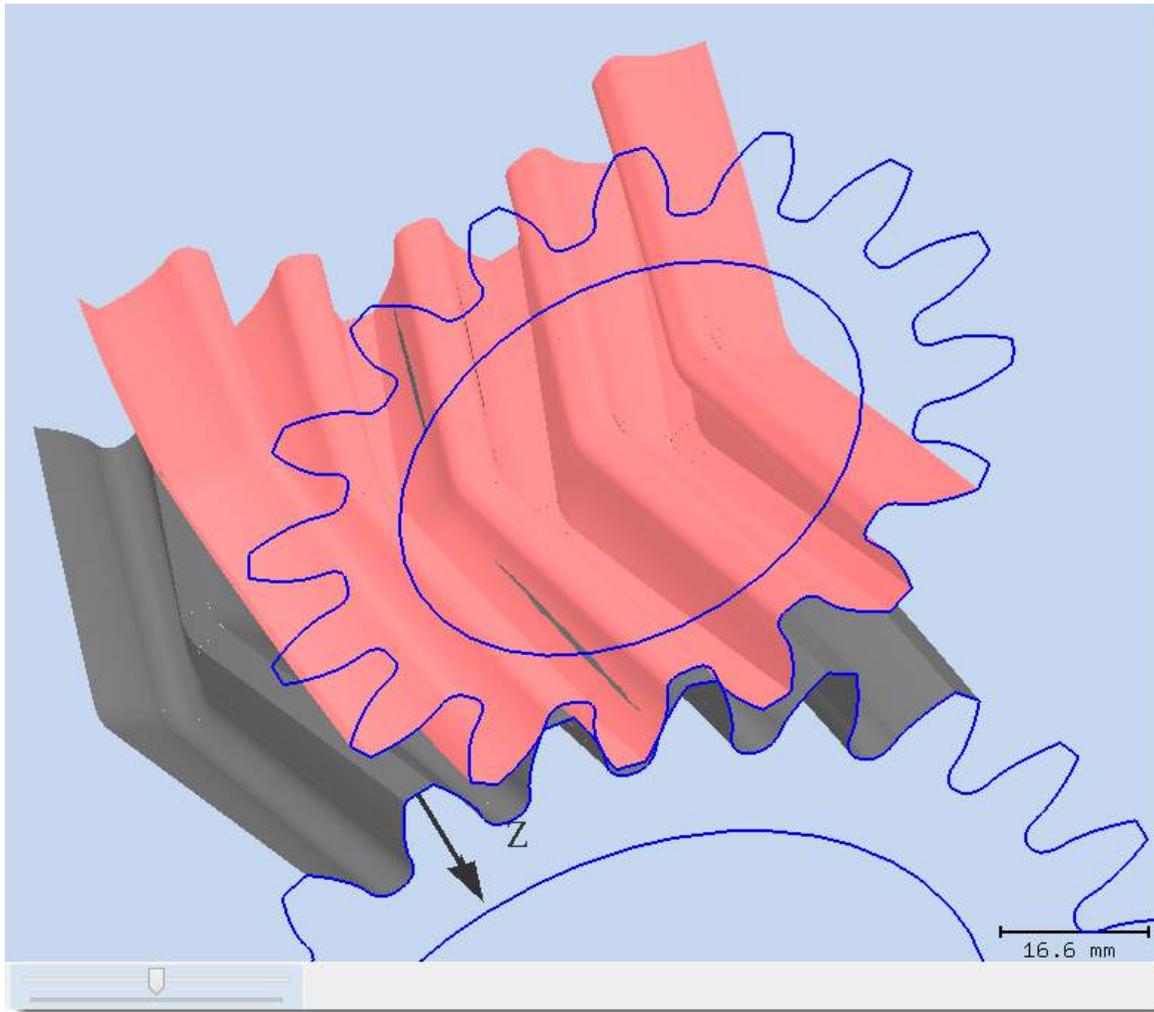
| innradparameter | Bezugsprofil L | Berechnete Werte |
|--|--|--|
| flankenkorrekturen | Toleranzen / Abmaße / Prüfwerte | |
| <input checked="" type="radio"/> Links <input type="radio"/> Rechts | | |
| <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | Profilverschiebungsfaktor |
| <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> | Zahndickenabmaß [mm] |
| <input type="text" value="124,23314"/> | <input type="text" value="7,85398"/> | Messkreis [mm] |
| 5398 | <input type="text" value="7,85398"/> | Zahndicke [mm] |
| <input checked="" type="radio"/> Normalschnitt <input type="radio"/> Stimschnitt | | |
| <input checked="" type="radio"/> Bogenlänge <input type="radio"/> Sehnenlänge | | |
| <input type="text" value="35"/> | Durchm. Tastkugel [mm] | |
| <input type="text" value="3,46863"/> | <input type="text" value="103,46863"/> | <input type="text" value="103,46863"/> |
| <input type="text" value="3,93726"/> | <input type="text" value="206,93726"/> | <input type="text" value="206,93726"/> |
| <input checked="" type="radio"/> Kugelmaß <input type="radio"/> Diametral | | |
| <input type="text" value="3"/> | Messzähnezahl | |
| 75698 | <input type="text" value="38,75698"/> | <input type="text" value="38,75698"/> |
| Zahnweite effektiv [mm] | | |

Protuberanz

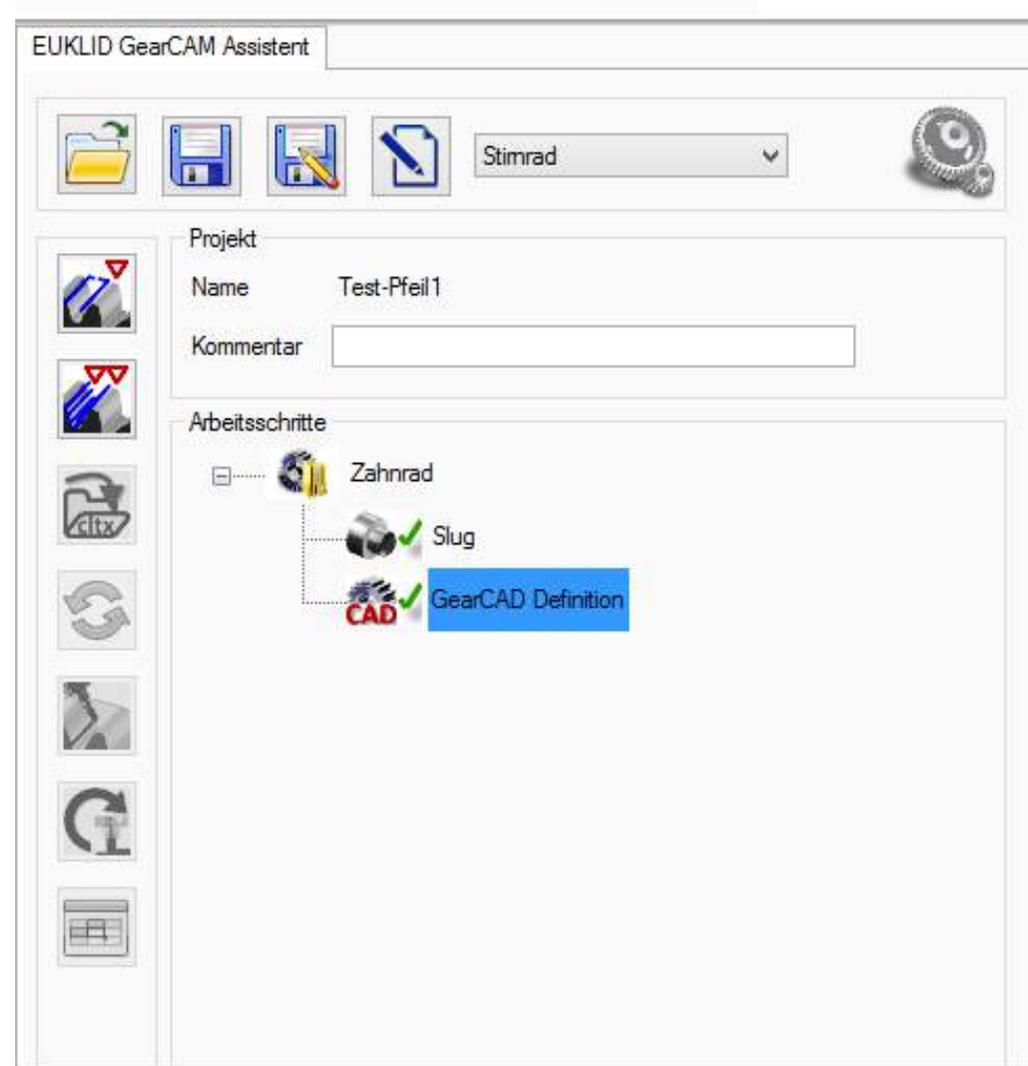
Flankenkorrekturen



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 |

Werkzeug

Tonradfräser Kugelfräser Scheibenfräser InvoMM

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 |

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)

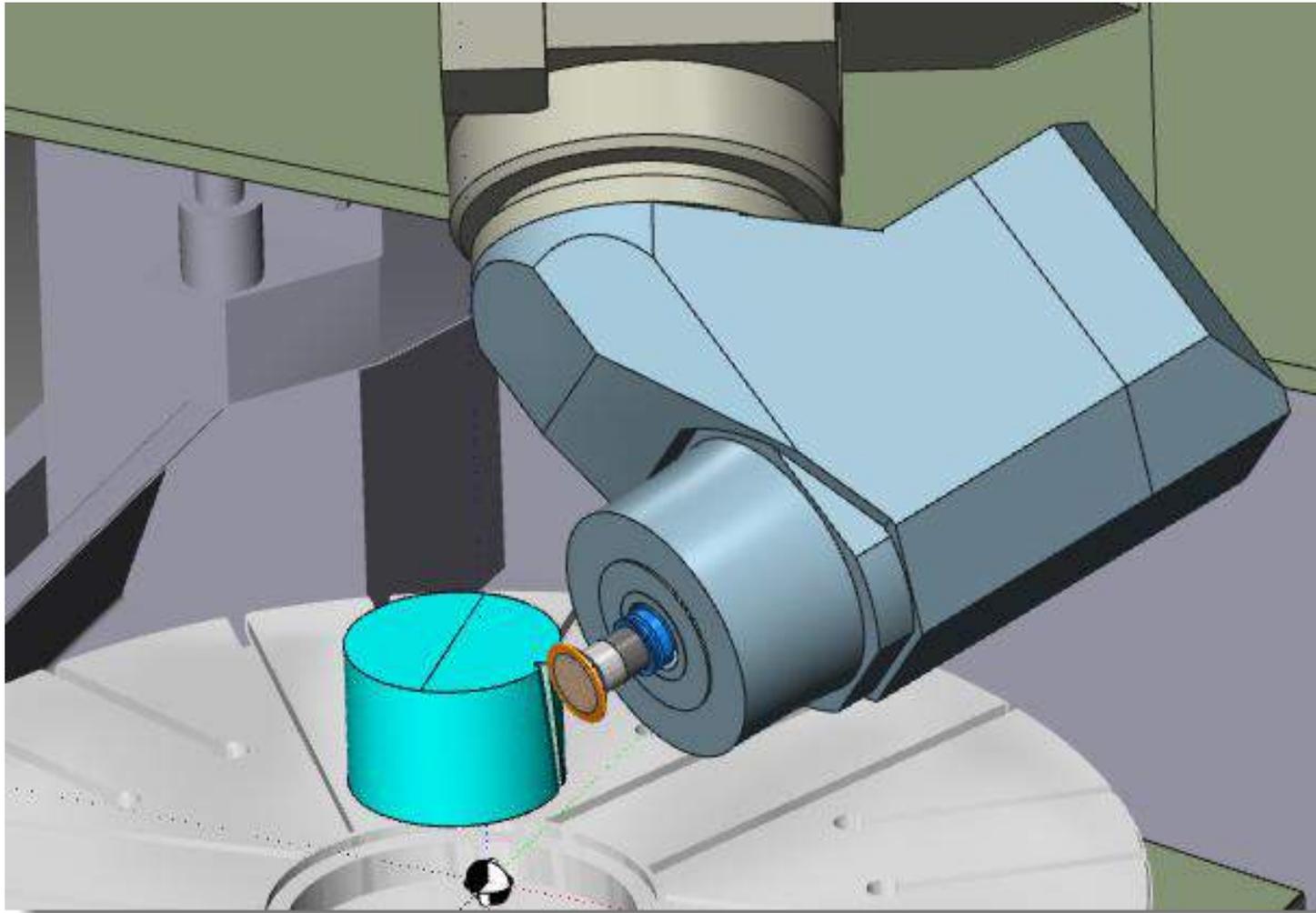
| Move | X | Y | Z | C | B |
|-------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1422 | 48.192 | 133.607 | 123.964 | 325.488 | 279.391 |
| 1423 | 48.477 | 133.505 | 125.214 | 325.366 | 279.391 |
| 1424 | 48.762 | 133.400 | 126.464 | 325.244 | 279.391 |
| 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 |
| 1430 | 50.465 | 132.765 | 133.964 | 324.510 | 279.391 |
| 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

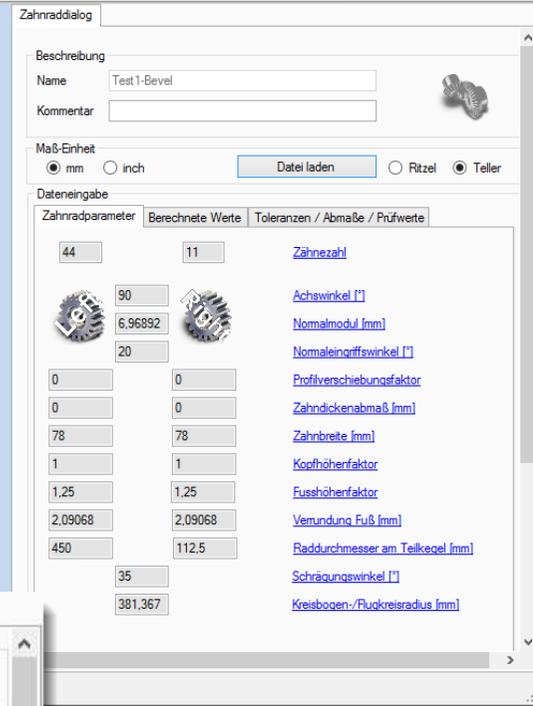
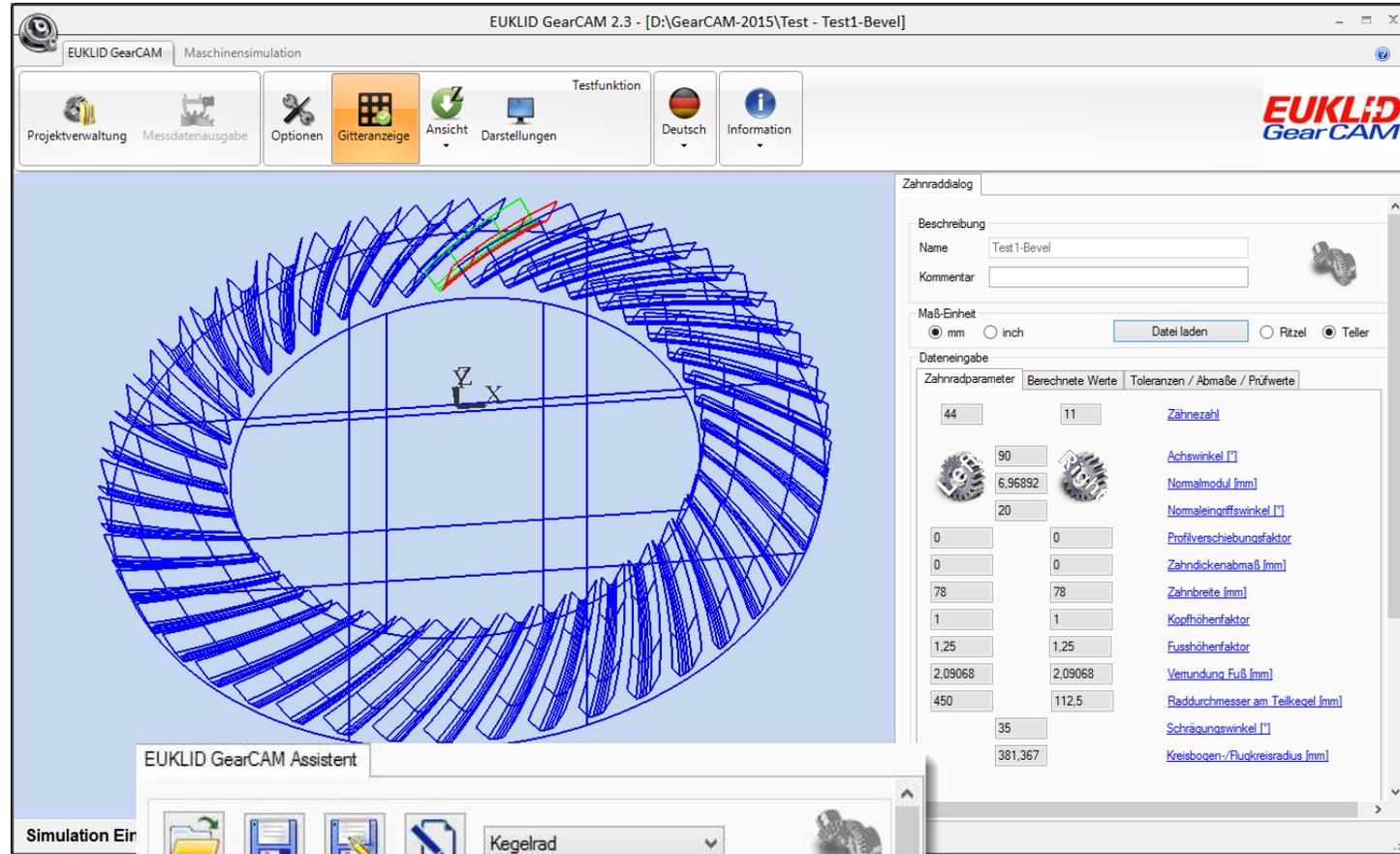
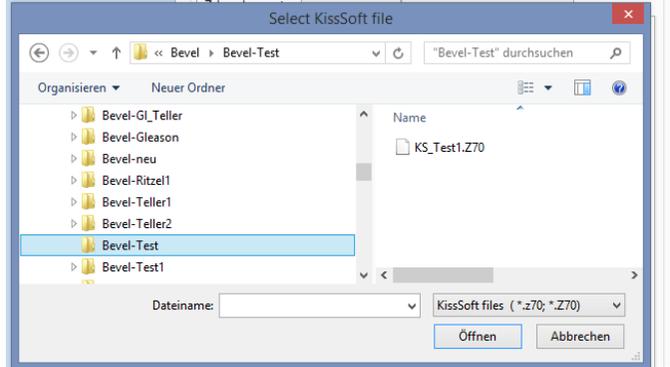
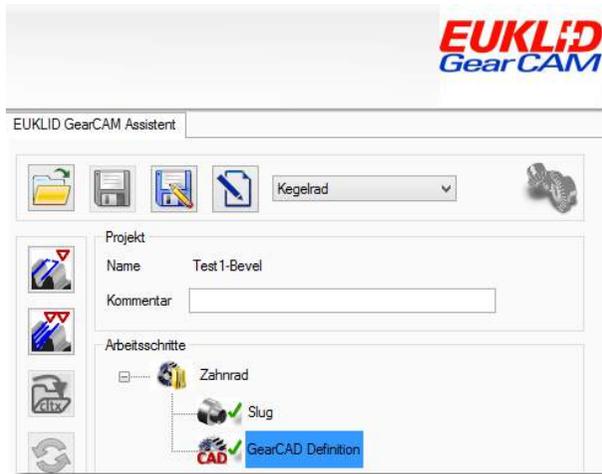


Verzahnungsfräsen von Kegeelrädern

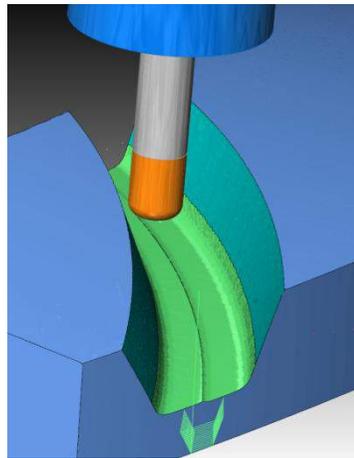


EUKLID
GearCAM

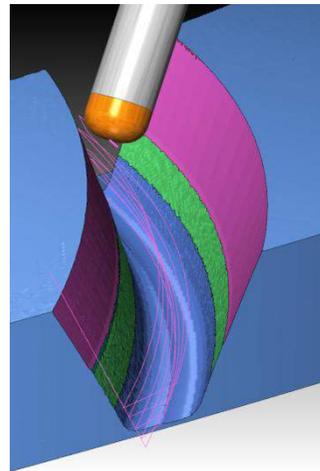
Definition Kegelrad



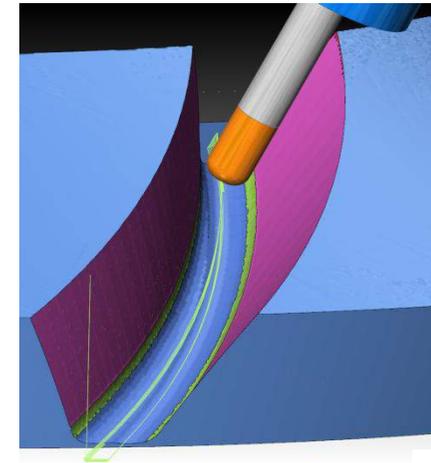
Bearbeitungsfolge, Schnittaufteilung / Eingriffsverhältnisse beim Schlichten:



Schruppen

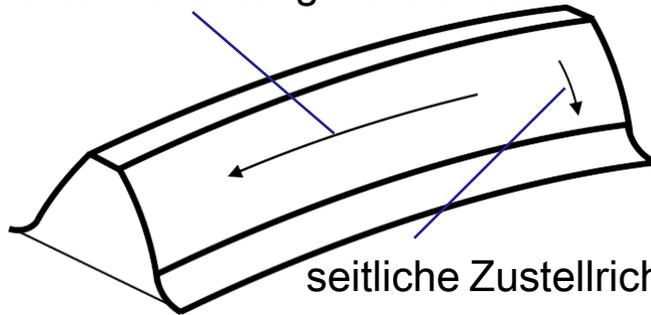


Vorschlichten

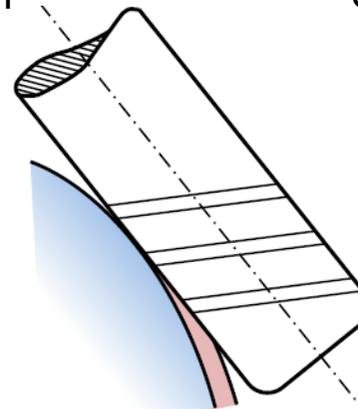


Schlichten

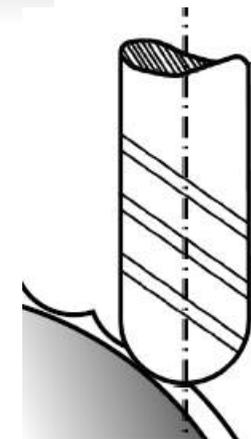
Vorschubrichtung / Gleichlauf



seitliche Zustellrichtung

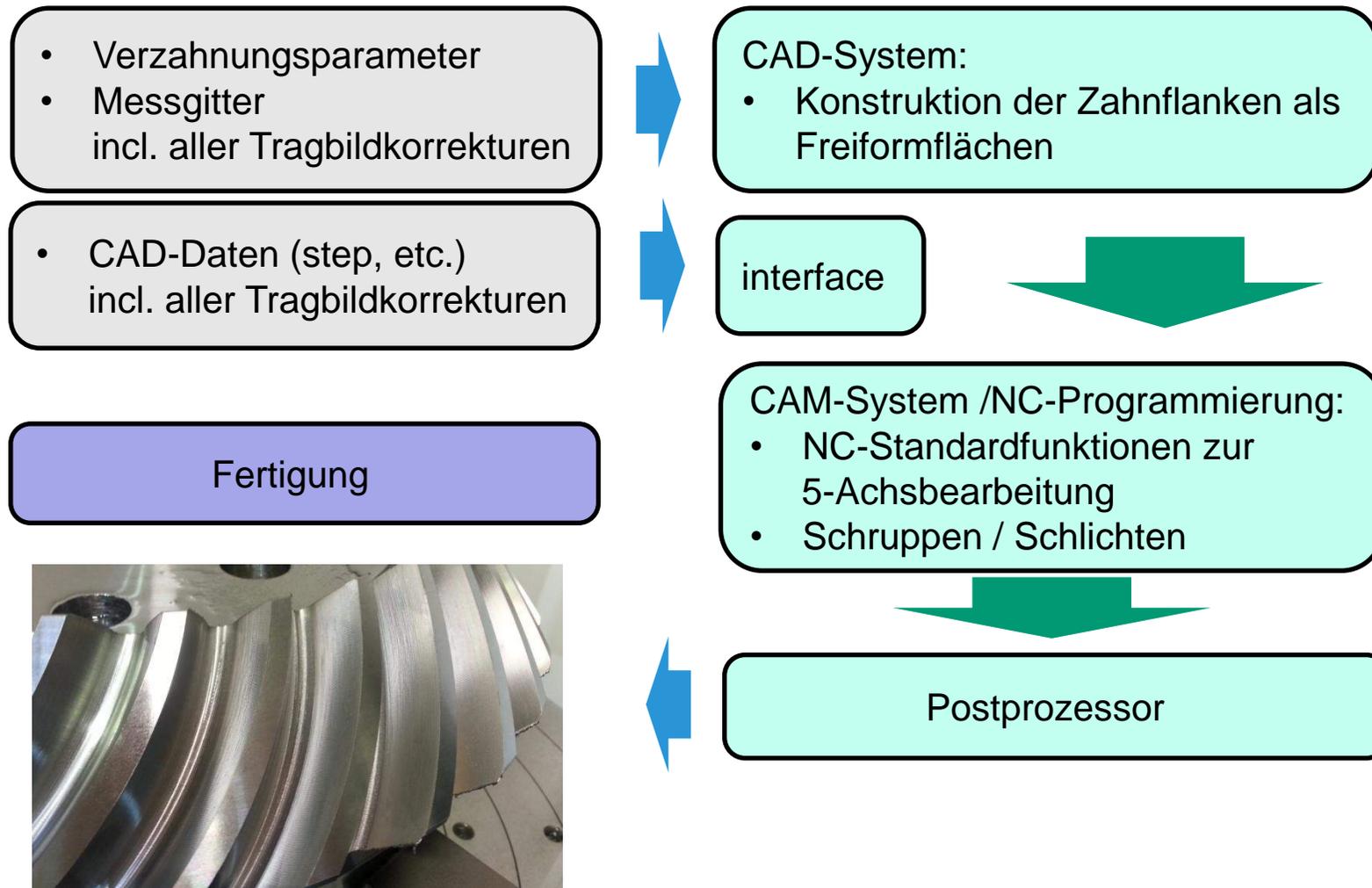


5-achsiges
Abwälzfräsen



Freiformfräsen
3-achsig mit
Radiusformfräsern

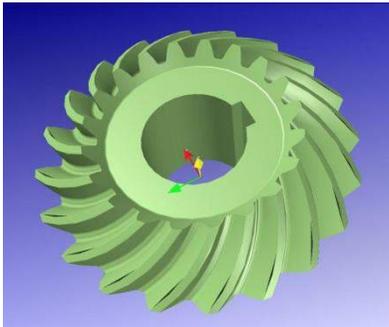
Standardprozesskette für das Freiformfräsen



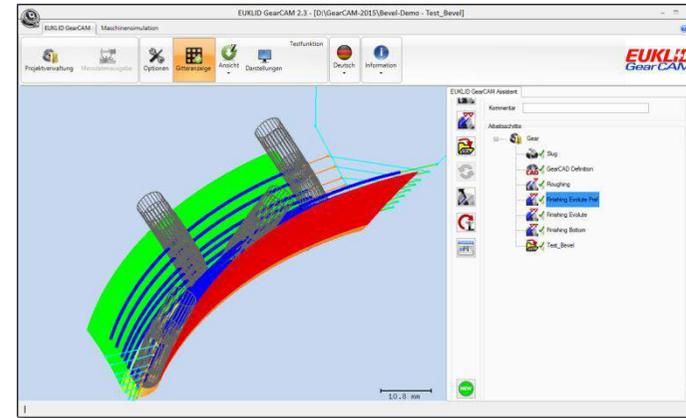
© GIFmbH & Co.KG



Fräsen von Kegelrädern mit GearCAM



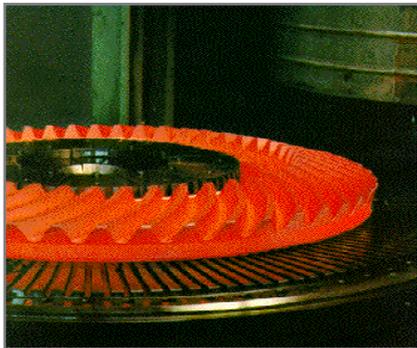
Datenbasis:
- KISSsoft (.Z70)



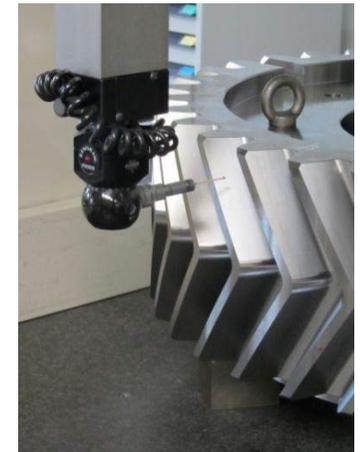
Prozessauslegung /
NC-Programmerstellung



Härten



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



Ausgangskontrolle
Zahnradmessprotokoll

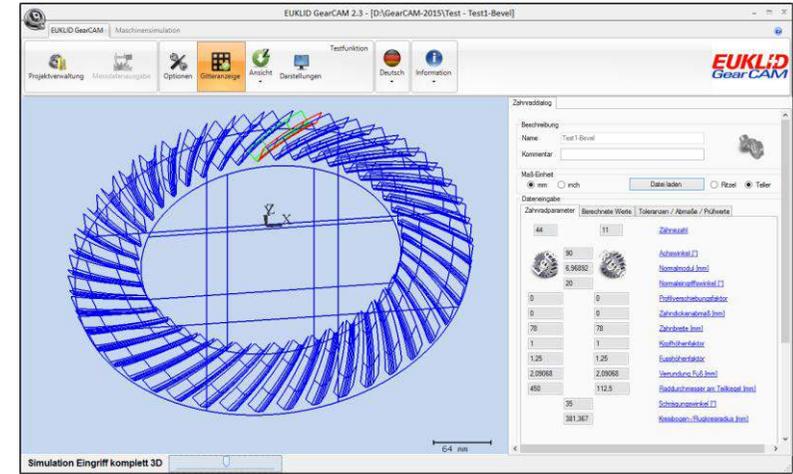


© GIFmbH & Co.KG

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



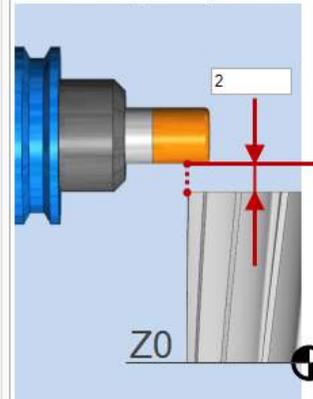
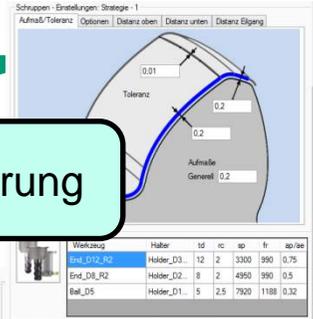
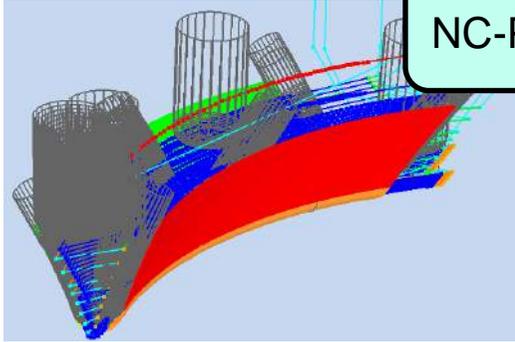
© GIFmbH & Co.KG



EUKLID
GearCAM

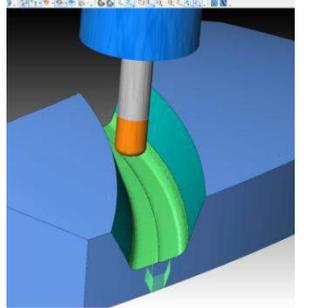
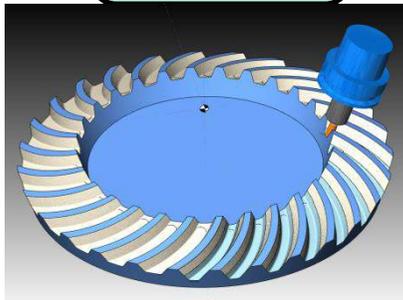
automatische,
vollständige
Dokumentation

NC-Programmierung

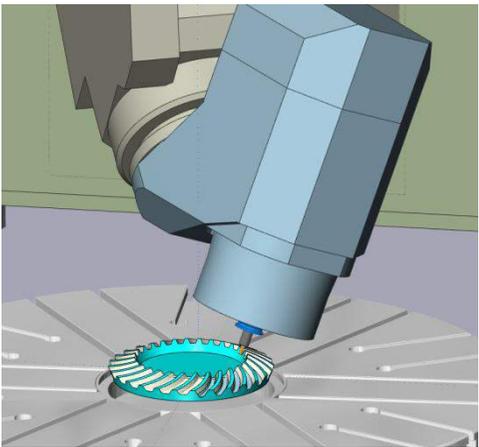


Simulation

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

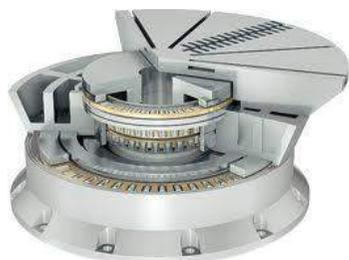
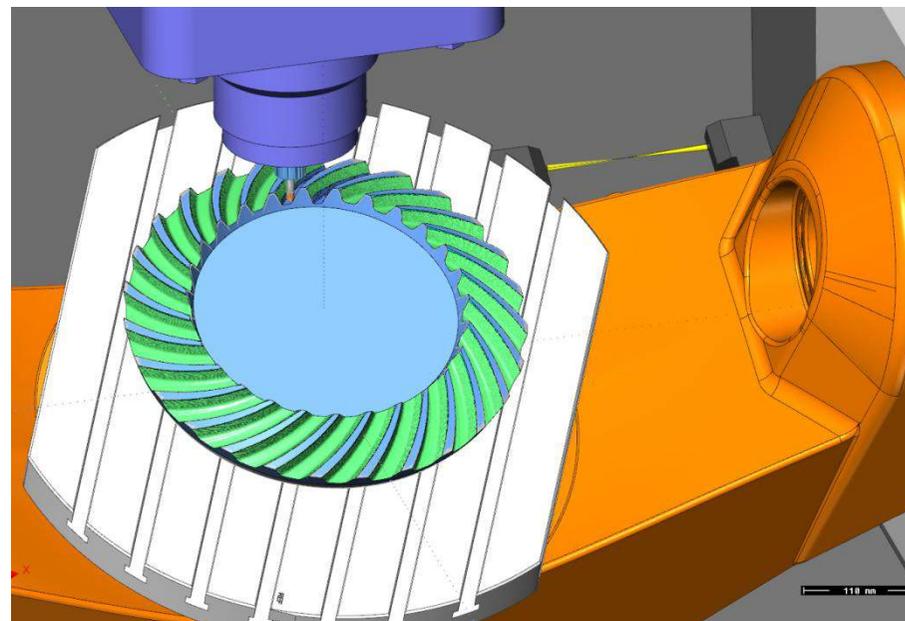


Anordnung der Rotationsachsen:

- beide Rotationsachsen auf Werkstückseite nur bei geringem Werkstückgewicht (< ca. 500 kg)
- schwere/große Zahnräder ($> dk = \text{ca. } 2000 \text{ mm}$, $> \text{ca. } 4 \text{ t}$) => 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

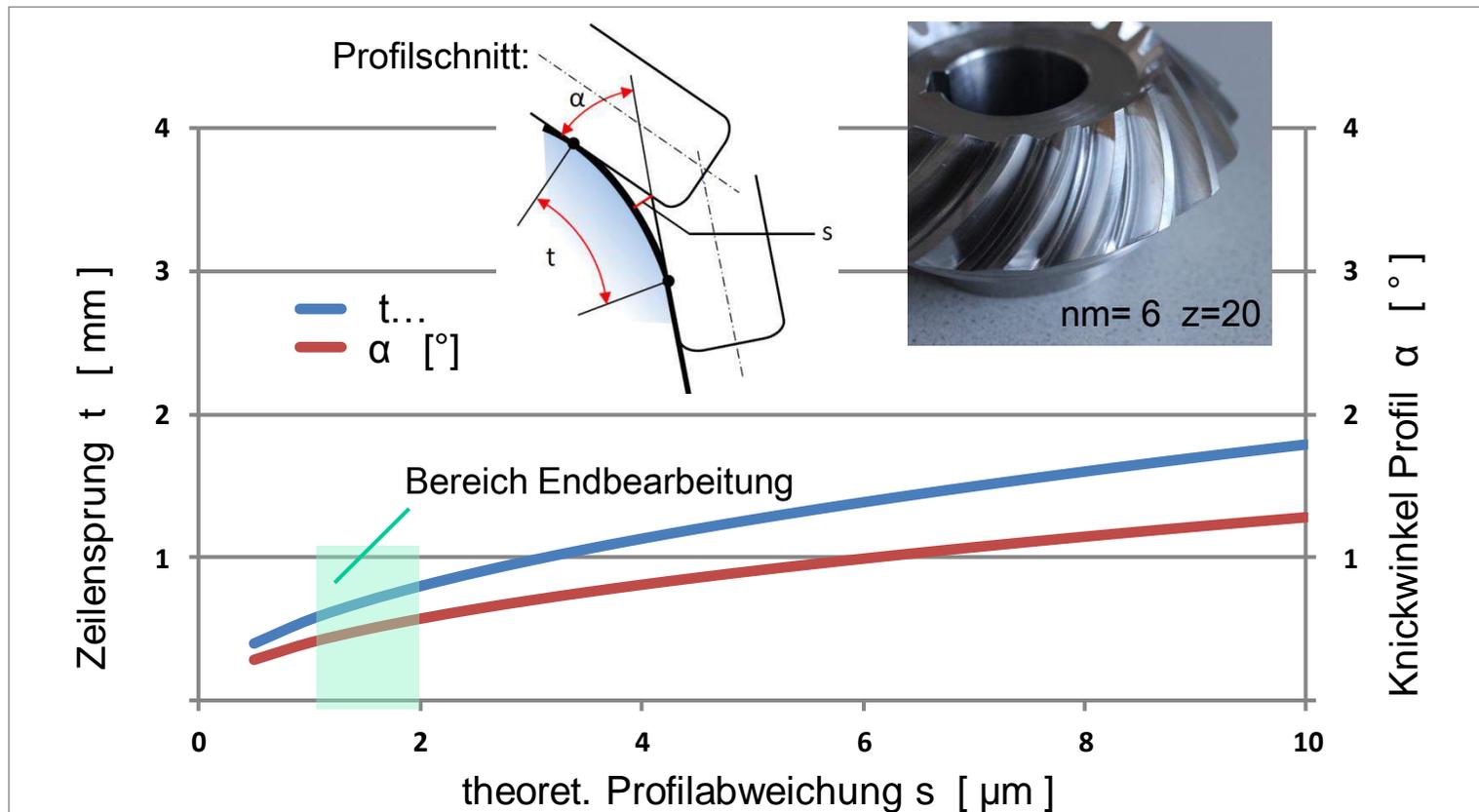


Quelle: ELHA



© GIFmbH & Co.KG

EUKLID
GearCAM



Oberflächen-
Topologie
beim
5-achsigen
Wälzfräsen

- bei üblichen Schlichtbedingungen (theoret. Polygonhöhe 1-2 μm) 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

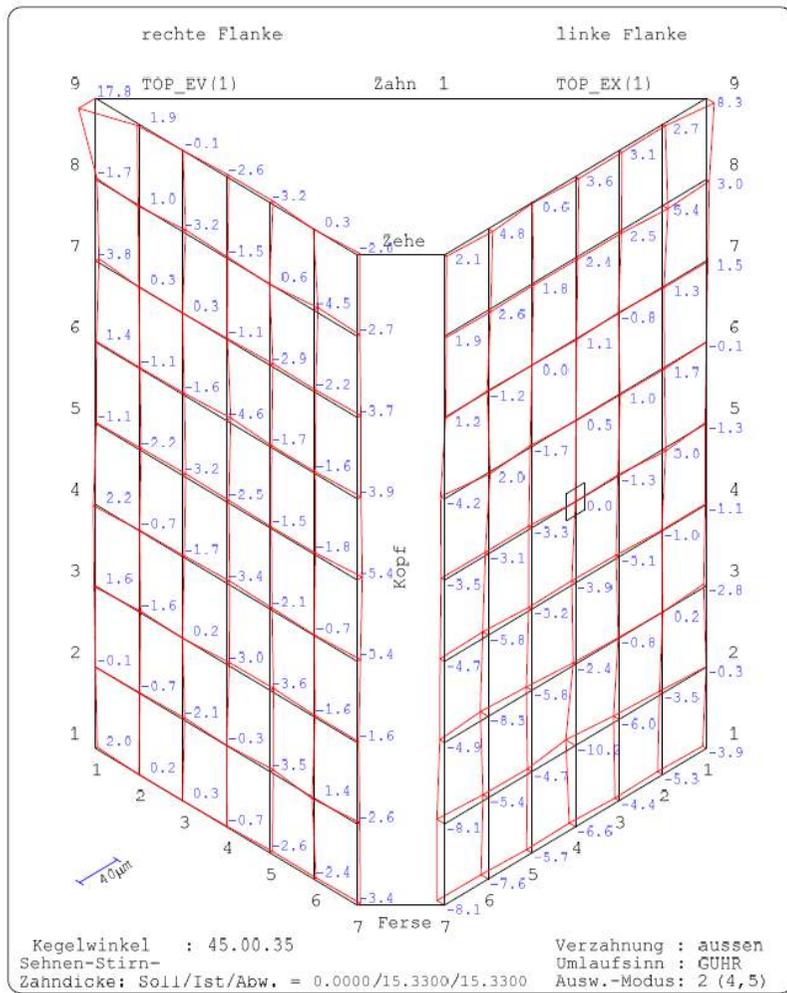
Kegelrad:

- Klingenbergverzahnung
- 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

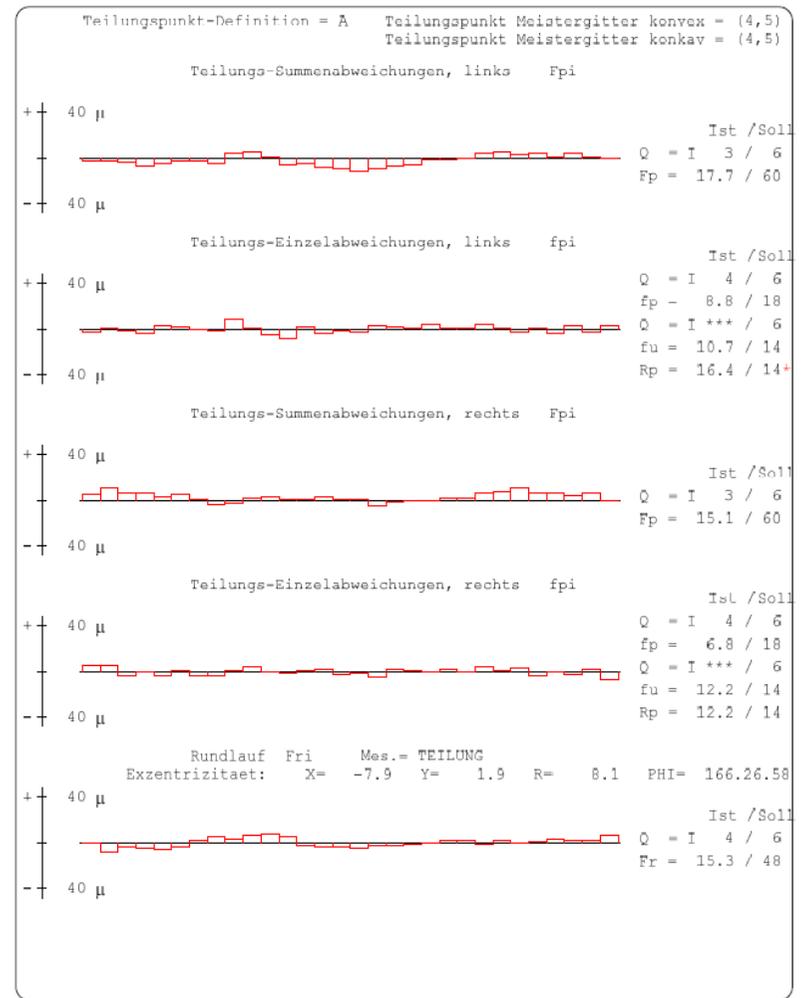
EUKLED
GearCAM



| | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|------|-----|------|-----|------|
| SPIRAL-KEGELRAD | Bezeichnung : Spiralkegelrad | Mes. | Tol | Sym. | Tol | Mes. |
| | Zeichn. Nr. : | 20.6 | 30 | Pri | 30 | 6.2 |
| | Pruefer : A. Reinus | 1.4 | 30 | Pra | 30 | 4.2 |
| | Datum : 12-FEB-2014 | 0.6 | 30 | Lik | 30 | 10.2 |
| | Bemerkung : Testmessung | 19.8 | 30 | Lif | 30 | 12.3 |
| | Masssystem : metrisch | 23.1 | 50 | Ges | 50 | 10.5 |
| KSY : Wks | | | | | | |



Qualität:
Soll: 6
Ist: 4



| | | |
|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| SPIRAL-KEGELRAD | Bezeichnung : Spiralkegelrad | Zaehnezahl : 30 |
| | Zeichn. Nr. : | Modul : 12.833 |
| | Pruefer : A. Reinus | Verzahnung : aussen |
| | Datum : 12-FEB-2014 | Messung : Zahn |
| | Bemerkung : Testmessung | Umlaufsinn : GUHR |
| | Masssystem : metrisch | Q-Typ: ISO 17485-2006 |
| KSY : Wks | | |

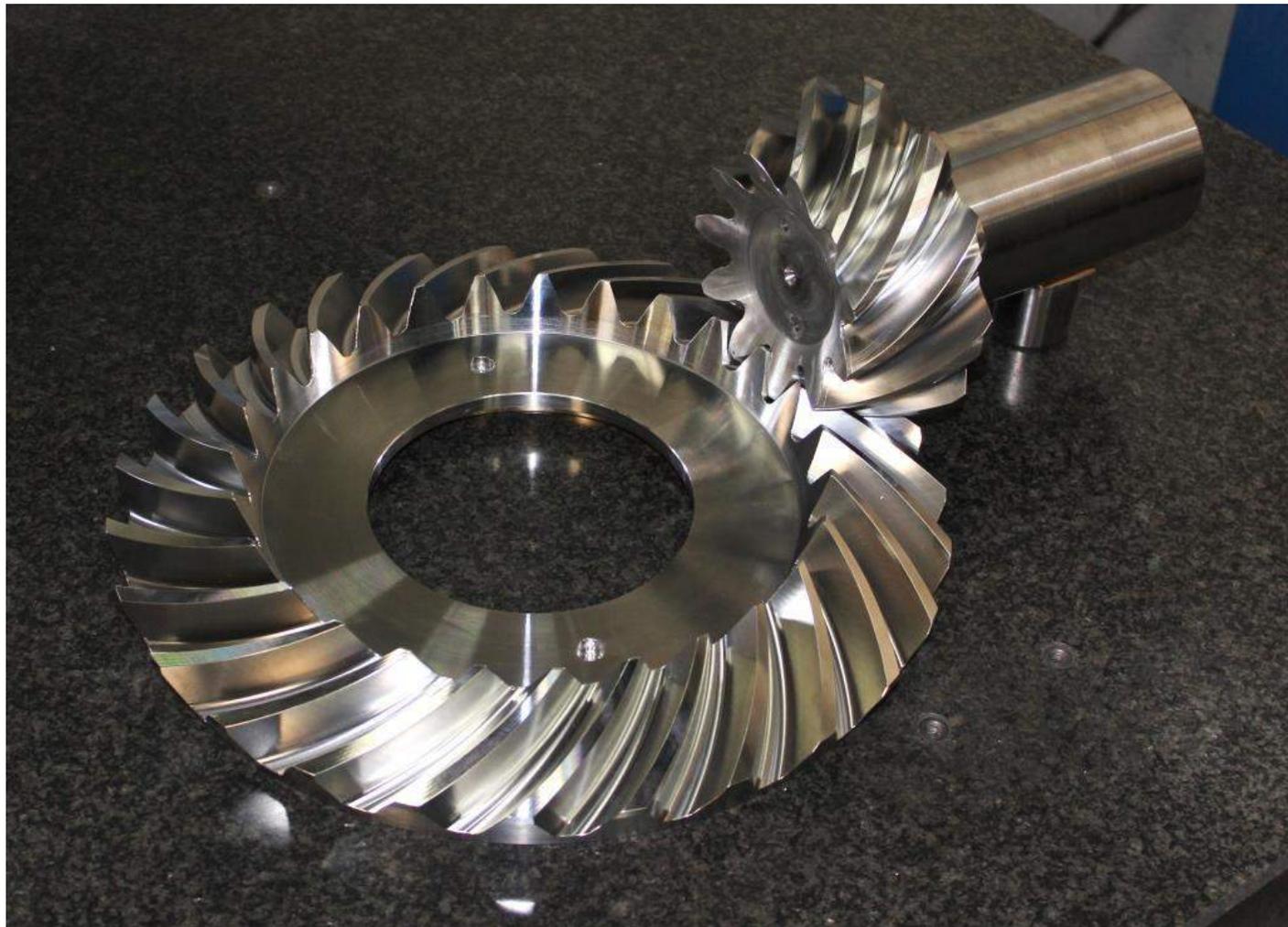


© GIFmbH & Co.KG



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.**



© GIFmbH & Co.KG

EUKLID
GearCAM