

# MESYS Tutorial: Zylindrisches Stirnrad 01

## 1 Einleitung

### 1.1 Anwendung

In diesem Tutorial wird die Geometrieberechnung für ein einzelnes Stirnrad verwendet. Die folgenden Aspekte werden betrachtet

- Zahnschräge und Eingriffswinkel.
- Zahndickenabmasse, Kopfkreisdurchmessertoleranzen.
- Kopfhöhenänderung und Kopfkantenbruch.
- Bezugsprofil.
- Berechnung der Profilverschiebung aus Prüfmassen.

### 1.2 Zielsetzung

Tutorial	Eigenschaft
Geeignet für	Zum Start.
Voraussetzungen	MESYS Lizenz (Testlizenz, kommerzielle Lizenz).
Lernziele	Eingaben Stirnradgeometrie kennenlernen. Umrechnungen Geometriewerte anwenden. Geometrieangaben im Protokoll kennen.
Datei	MESYS-Tutorial-Cyl_gear_single_01-v2500.mSCG.

### 1.3 Inhalt

1	Einleitung .....	1
1.1	Anwendung.....	1
1.2	Zielsetzung .....	1
1.3	Inhalt.....	1
1.4	Aufgabenstellung .....	3
2	Umsetzung, Schritt 1 .....	4
2.1	Start MESYS und Einstellungen .....	4
2.2	Eingabe bekannter Daten .....	5
2.3	Berechnung durchführen .....	6
2.4	Ausgabe Protokoll.....	7
2.5	Grafiken .....	9
2.6	Datei .....	10
3	Umsetzung, Schritt 2 .....	11

3.1	Obere und untere Grenze Profilverschiebung.....	11
3.2	Profilverschiebung umrechnen .....	12
3.3	Herstellprofilverschiebung .....	12
4	Umsetzung Schritt 3 .....	15
4.1	Zahnhöhe einstellen. ....	15
4.2	Eingriffswinkel anpassen.....	15
4.3	Fussrundung maximieren.....	15
5	Umsetzung, Schritt 4 .....	18
5.1	Kopfhöhenänderung berechnen .....	18
5.2	Umsetzung über Kopfhöhenänderung.....	18
5.3	Umsetzung über Abmasse .....	19
5.4	Umsetzung über Bezugsprofil .....	20
6	Umsetzung Schritt 5 .....	21
6.1	Datei .....	21
6.2	Kantenbruch .....	21
6.3	Angaben zur Qualität der Verzahnung.....	21
6.4	Berechnung der Prüfmasse .....	22
6.5	Sofortige Geometrieberechnung nach jeder Eingabe.....	23
7	Definition Verzahnung über das Werkzeug.....	24
7.1	Datei .....	24
7.2	Definition als Fräser .....	24
7.3	Definition Protuberanzfräser, mit Vor- und Schlussbearbeitung.....	27
7.4	Datei .....	30
7.5	Definition über das Stossrad .....	30

## 1.4 Aufgabenstellung

Schritt	Aufgabe
1	MESYS starten, Stirnraddaten eingeben. Berechnung durchführen, Grafiken anordnen, Protokoll erstellen, Stirnradgeometrie exportieren.
2	Einfluss Profilverschiebung auf die Zahnform. Profilverschiebung umrechnen. Herstellprofilverschiebung und Zahndicke.
3	Zahnhöhe einstellen. Eingriffswinkel anpassen. Fussrundung maximieren.
4	Kopfhöhenänderung berechnen.
5	Kopfkantenbruch erzeugen. Prüfmasse berechnen.
6	Definition Zahnradgeometrie über Eingabe Bezugsprofil Wälzfräser und Eingabe Stosssrad.

## 2 Umsetzung, Schritt 1

### 2.1 Start MESYS und Einstellungen

MESYS per Doppelklick auf Datei *MesysSingleCylindricalGear64.exe* starten. Die Datei befindet sich im Installationsverzeichnis, typischerweise in *C:\Program Files\MESYS 12-2025*. Damit wird die Stirnradpaarberechnung gestartet.

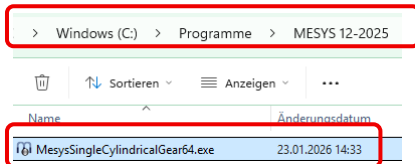


Abbildung 2-1 Start der Stirnradberechnung über die entsprechende \*.exe im Installationsverzeichnis.

Die Sprache wird im Menü Extras/Sprache ausgewählt.

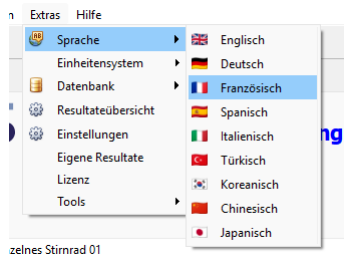


Abbildung 2-2 Auswahl der Sprache.

In *Extras/Settings* sind relevante Einstellungen vorgegeben und selbsterklärend. Die Auswahl *Alle Meldungen anzeigen* sollte gewählt sein, damit gerade zu Beginn der Verwendung von MESYS Fehler, Warnungen und Informationen beachtet werden.

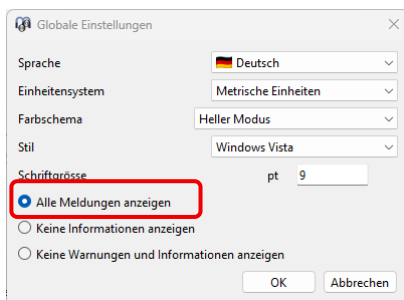


Abbildung 2-3 *Extras/Settings* mit Standardeinstellungen.

Im Tab *Allgemein*, Felder *Projektname* und *Beschreibung* wird die Berechnungsdatei frei kommentiert.

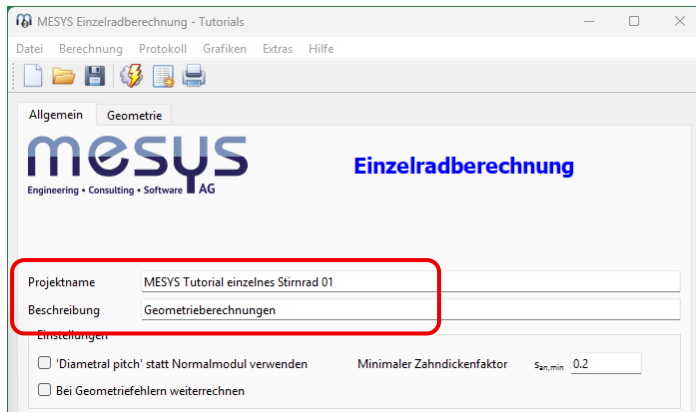


Abbildung 2-4 Tab *Allgemein*, *Projektname* und *Beschreibung*.

## 2.2 Eingabe bekannter Daten

Die folgenden Angaben sind bekannt

Normalmodul	$m_n = 10.00 \text{ mm}$
Zähnezahl	$z = 37$
Zahnbreite	$b = 100.00 \text{ mm}$
Normaleingriffswinkel	$\alpha = 20.00^\circ$
Schrägungswinkel	$\beta = 15^\circ$ , links
Innendurchmesser	$d_i = 140.00 \text{ mm}$

Im Tab *Geometrie* werden diese wie folgt eingegeben. Für die Eingabe der Schrägungsrichtung, Knopf «+» bei Schrägungswinkel drücken.

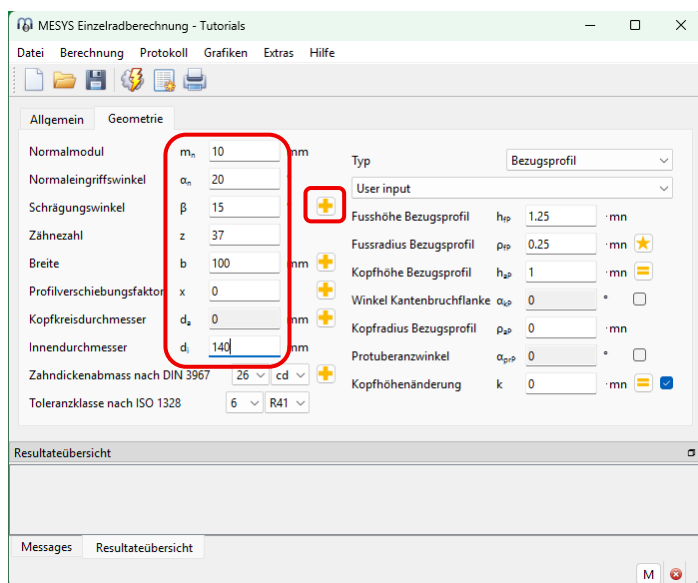


Abbildung 2-5 Eingabe der gegebenen Daten. «+» Knopf bei Schrägungswinkel für die Eingabe der Schrägungsrichtung.

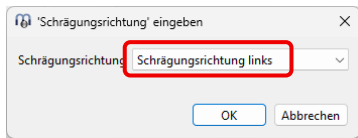


Abbildung 2-6 Auswahl Schrägungsrichtung.

## 2.3 Berechnung durchführen

Die Berechnung kann über verschiedene Arten aufgerufen werden

- Tastaturbefehl F5 drücken.
- Knopf drücken, siehe Abbildung unten.
- Menü *Berechnung/Berechnen* wählen, siehe zweite Abbildung unten.

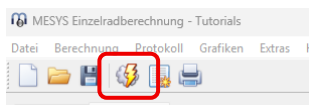


Abbildung 2-7 Knopf für die Durchführung der Berechnung.

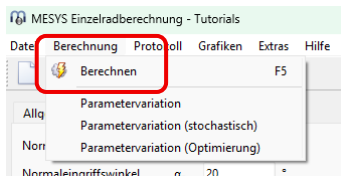


Abbildung 2-8 Menü *Berechnung/Berechnen* zum Durchführen der Berechnung.

Meldungen zur Berechnung werden im Fenster *Messages* dargestellt. In dieser Berechnung sind keine Meldungen aufgetreten, das Fenster ist leer.

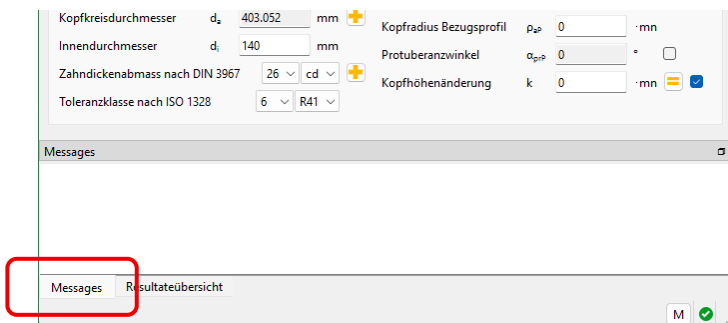


Abbildung 2-9 Fenster *Messages*.

Im Fenster *Resultateübersicht* werden relevante Resultate ausgegeben.

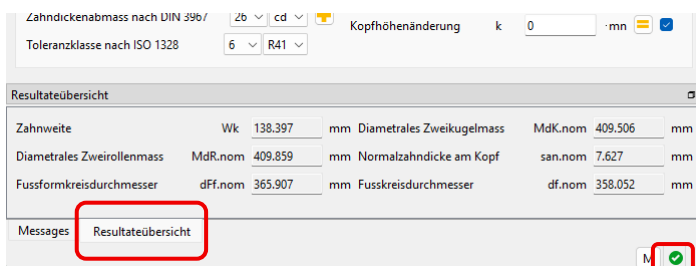


Abbildung 2-10 Fenster *Resultateübersicht*.

Rechts unten findet sich die Anzeige *Resultate sind aktuell*. Ist sie grün, bedeutet das, dass die Resultate in der *Resultateübersicht* zu den Eingaben konsistent sind. Wird eine Eingabe verändert, so schaltet diese zu gelb um. Das bedeutet, dass Eingaben und Resultate nicht mehr unbedingt konsistent sind.

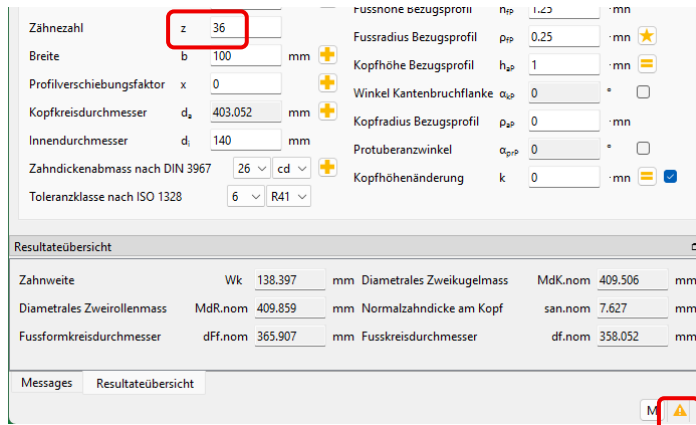


Abbildung 2-11 Veränderte Eingabe, ursprüngliche Resultate bleiben erhalten, Anzeige *Resultate sind aktuell* schaltet zu gelb.

Wird die Eingabe wieder zu  $z = 37$  gesetzt und die Berechnung erneut durchgeführt, ist der konsistente Zustand wieder hergestellt.

## 2.4 Ausgabe Protokoll

Das Berechnungsprotokoll dokumentiert die Eingaben, Zwischenwerte und Resultate. Es wird als \*.pdf Datei erzeugt und als solches dargestellt. Es kann auf drei Arten aufgerufen werden

- Tastaturbefehl F6 drücken.
- Knopf drücken, siehe Abbildung unten.
- Menü *Protokoll/Protokoll anzeigen* wählen, siehe zweite Abbildung unten.

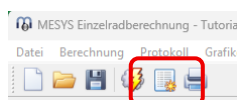


Abbildung 2-12 Knopf für die Ausgabe des Protokolls.

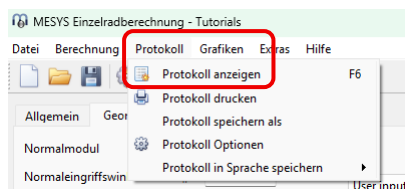


Abbildung 2-13 Menü *Protokoll/Protokoll anzeigen* zur Ausgabe des Protokolls.

Das Protokoll wird im \*.pdf Viewer geöffnet. Spezifische Resultate können über die Suchfunktion, Ctrl + F, gefunden werden.

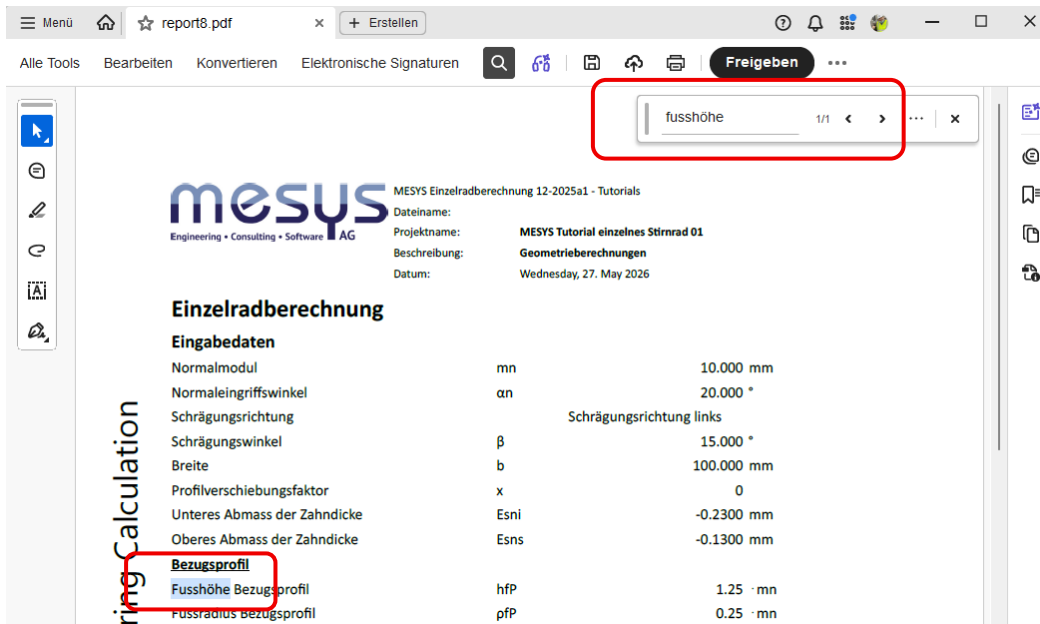


Abbildung 2-14 Suche im Protokoll.

Eigenschaften des Protokolls können in der Datei *mesys.ini*, im Installationsverzeichnis, verändert werden. Eigenschaften wie Papierformat, Ränder oder der seitliche Text können dort angepasst werden. Wird beispielsweise der Eintrag für den seitlichen Text verändert, so wird dieser in den folgenden Protokollen angepasst.

```
[report]
format=INTERNALPDF
tableformat=XLSX
topmargin=20
bottommargin=20
leftmargin=20
rightmargin=20
papersize=A4
marginbox1\active=true
marginbox1\rect=@Rect(-35 -20 30 20)
marginbox1\text=#page/#pageCount
marginbox1\angle=0
marginbox1\isHtml=false
marginbox1\drawBox=false
marginbox2\active=true
marginbox2\rect=@Rect(5 50 200 20)
marginbox2\text="<html><center><font size=8>MESYS Tutorial Einzelnes Stirnrad 01</font></center></html>"
marginbox2\angle=-90
marginbox2\isHtml=true
marginbox2\drawBox=false
```

Abbildung 2-15 Anpassung seitlicher Eintrag in der Datei *mesys.ini*.

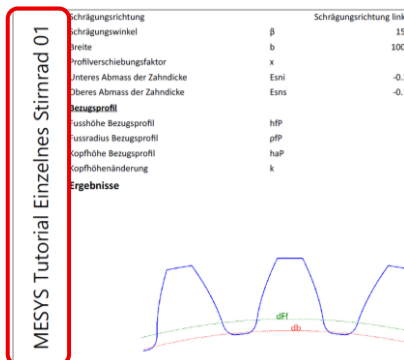


Abbildung 2-16 Angepasster seitlicher Eintrag im Protokoll.

Über den Befehl im Menü *Protokoll/Protokoll drucken* wird dieses gedruckt, über *Protokoll/Protokoll speichern als* kann es in verschiedenen Formaten, z.B. geeignet für Microsoft Word<sup>®</sup> oder Microsoft Excel<sup>®</sup> abgespeichert werden.

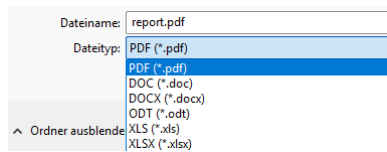


Abbildung 2-17 Abspeichern des Protokolls in verschiedenen gebräuchlichen Formaten.

Das Protokoll wird in verschiedenen Sprachen gespeichert. Die Sprache für das Protokoll ist unabhängig von der Einstellung der Sprache für die Software.

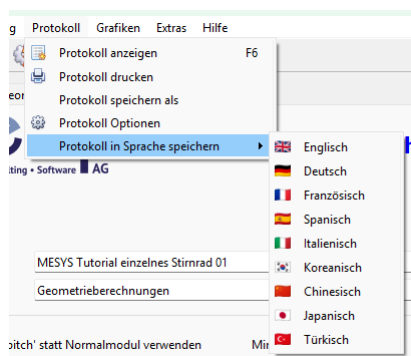


Abbildung 2-18 Auswahl der Sprache für den Befehl *Protokoll/Protokoll speichern als*.

## 2.5 Grafiken

Grafiken werden über das Menü *Grafiken* aufgerufen.

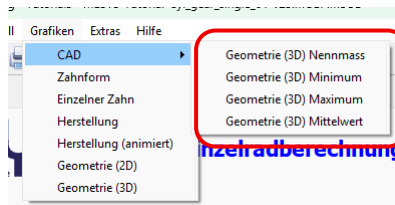


Abbildung 2-19 Aufruf der Grafiken im Menü *Grafiken*.

Die Grafiken im Menü *Grafiken/CAD* erzeugen die Geometrie des Zahnrades für das Nennmass (theoretische Verzahnung ohne Spiel), die unteren Abmasse, oberen Abmasse und mittleren Abmasse. Das Grafikmenü wird über die rechte Maustaste aufgerufen. Die Zahnradgeometrie kann über *Grafik exportieren als ...* als \*.stp oder \*.stl Datei exportiert werden.

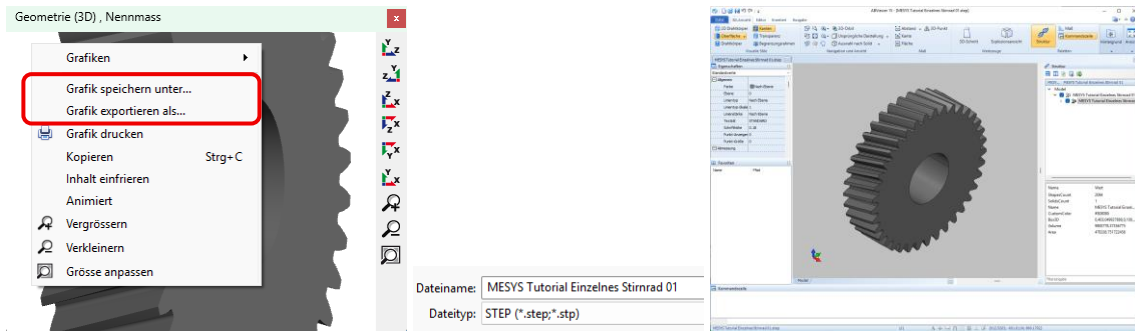


Abbildung 2-20 Links: Grafikkontextmenü (rechte Maustaste). Mitte: Grafik exportieren als, Ausgabe als \*.stp Datei. Rechts: Zahnradgeometrie in einem CAD-Viewer.

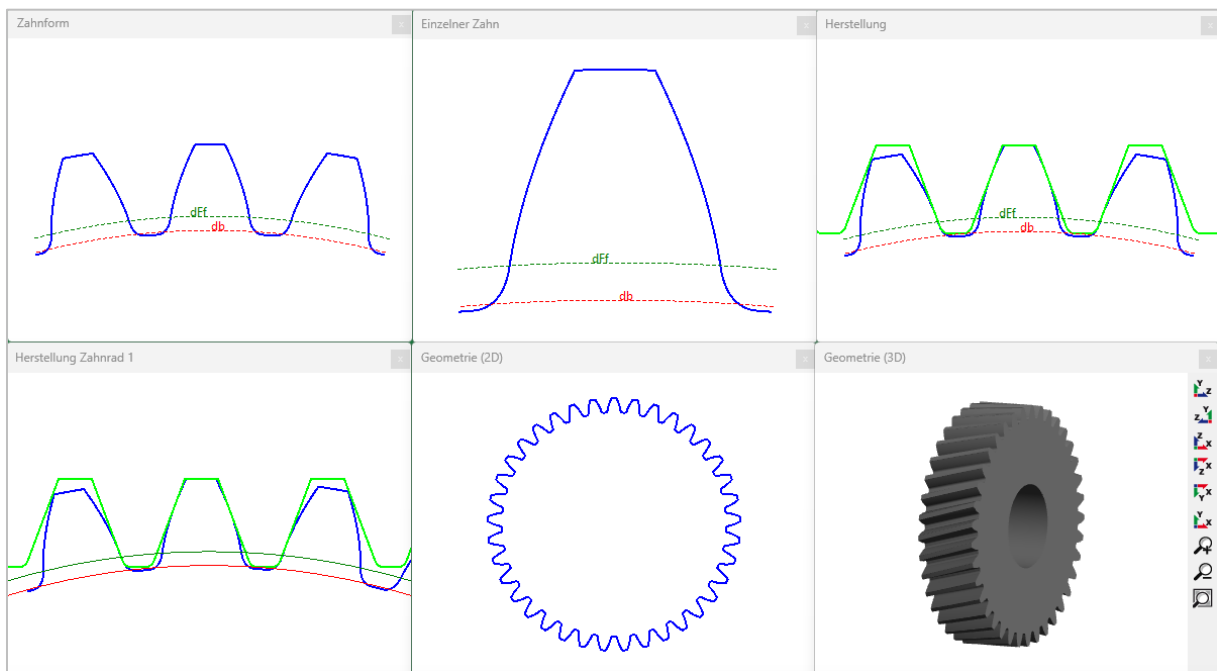


Abbildung 2-21 Grafiken Zahnform bis Geometrie (3D).

Über das Kontextmenü *Grafik speichern unter*, werden die Grafiken als Bilddatei mit gewünschten Abmessungen gespeichert. Über das Kontextmenü *Kopieren* wird ein Screenshot der Grafik erstellt, z.B. für die Weiterverwendung in einem Bericht.

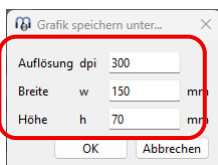


Abbildung 2-22 Definition der Grafikdatei, Grösse und Auflösung.

Über das Kontextmenü, Punkt *Grafik einfrieren*, wird der Inhalt der Grafik eingefroren. Wird eine Eingabe verändert und die Berechnung neu durchgeführt, werden dann der alte, eingefrorene und der neue, soeben berechnete Zustand dargestellt.

## 2.6 Datei

Siehe dazu Datei *MESYS-Tutorial-Cyl\_gear\_single\_01-v2500.mSCG*. In den folgenden Schritten wird die Datei nicht überschrieben.

## 3 Umsetzung, Schritt 2

### 3.1 Obere und untere Grenze Profilverschiebung

Die Profilverschiebung wird im Tab *Geometrie*, Eingabe *Profilverschiebungsfaktor* gesteuert und die Geometrie in der Grafik *Grafiken/Einzeln Zahn* betrachtet. Wird die Profilverschiebung reduziert, so entsteht ein Unterschnitt und die Zahnform kann ungeeignet für den Betrieb werden.

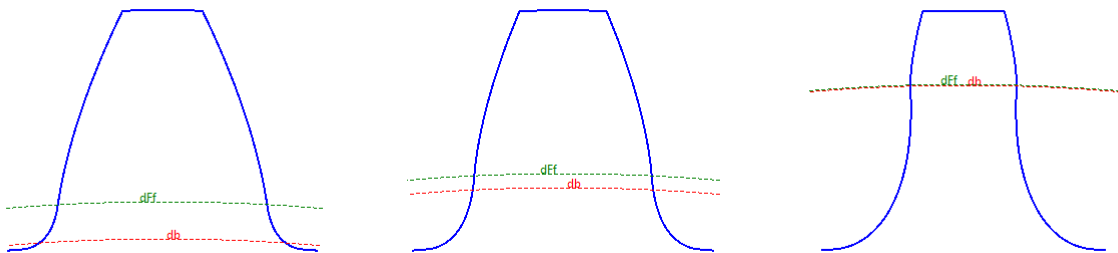


Abbildung 3-1 Zahnform für verschiedene Profilverschiebungsfaktoren. Links:  $x = 0$ . Mitte:  $x = -0.5$ . Rechts:  $x = -1.5$ .

Wird der Profilverschiebungsfaktor erhöht, so wird der Zahn im Fuss breiter, an der Spitze dünner.

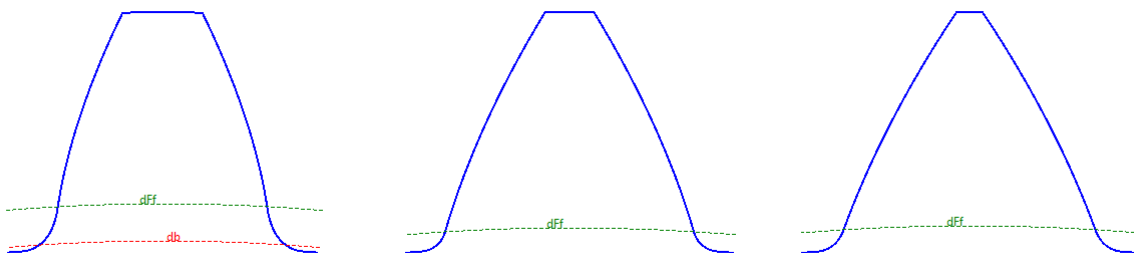


Abbildung 3-2 Zahnform für verschiedene Profilverschiebungsfaktoren. Links:  $x = 0$ . Mitte:  $x = 1.0$ . Rechts:  $x = 1.5$ .

Wird der Profilverschiebungsfaktor zu hoch gewählt und die Zahndicke am Kopf wird zu null, wird die Zahnhöhe reduziert.

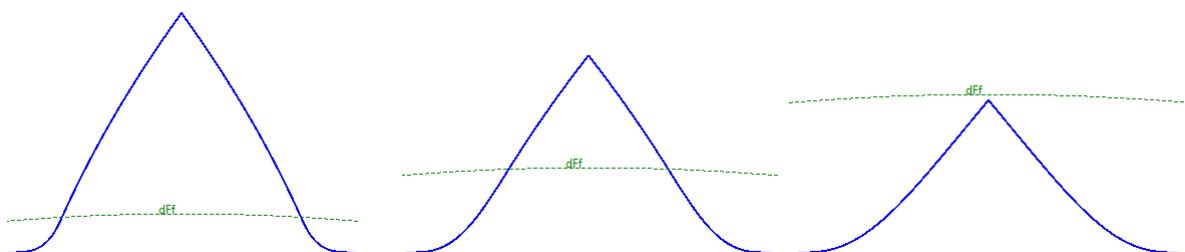


Abbildung 3-3 Zahnform für verschiedene Profilverschiebungsfaktoren mit reduzierter Zahnhöhe. Links:  $x = 2.0$ . Mitte:  $x = 3.0$ . Rechts:  $x = 4.0$ .

Im Tab *Geometrie*, über den «+» Knopf bei der Eingabe des *Profilverschiebungsfaktors*, sind die Grenzen *Unterschnittgrenze  $x_{min}$*  und *Grenze für minimale Zahndicke am Kopf*

$x_{max}$  für den Profilverchiebungsfaktor angegeben. Letztere wird durch die Vorgabe im Tab *Allgemein/Minimaler Zahndickenfaktor*,  $s_{an,min}$  gesteuert.

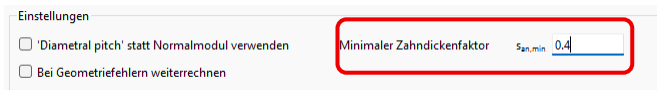


Abbildung 3-4 Vorgabe für *Minimaler Zahndickenfaktor*  $s_{an,min}$ , im Tab *Allgemein*.

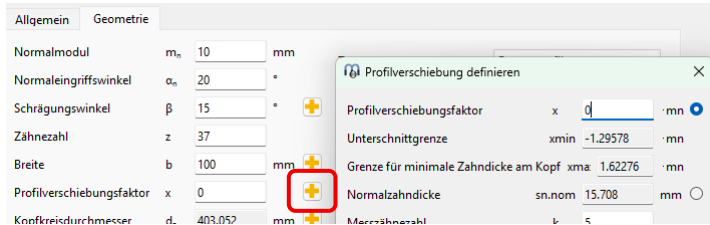


Abbildung 3-5 «+» Kopf bei *Profilverchiebungsfaktor* im Tab *Geometrie*. Fenster *Profilverchiebung definieren*.

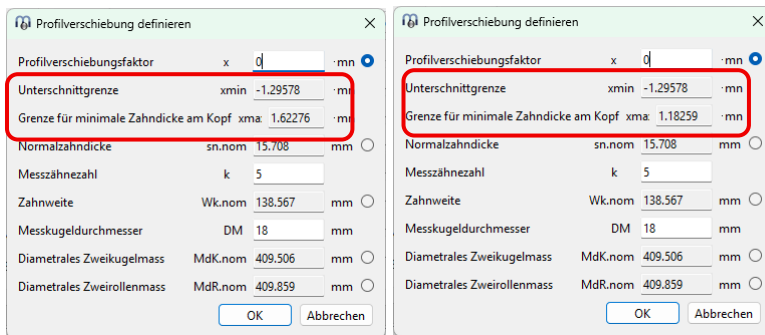


Abbildung 3-6 Links: für vorgegebene minimalze Zahndicke am Kopf  $s_{an,min} = 0.20$ . Rechts: Für  $s_{an,min} = 0.40$ .

### 3.2 Profilverchiebung umrechnen

Im Tab *Geometrie*, über den «+» Knopf bei der Eingabe des Profilverchiebungsfaktors, steht eine Umrechnung für diesen zur Verfügung. Es sei die Zahnweite über vier Zähne zu  $Wk.nom = 110.85$  gegeben. Wird die *Messzähnezahl*  $k = 4$  und die *Zahnweite*  $Wk.nom = 110.85$  eingegeben, wird daraus die Profilverchiebung berechnet. Sie ist nach Eingabe der Daten und drücken des *OK* Knopfes im Tab *Geometrie* sichtbar.

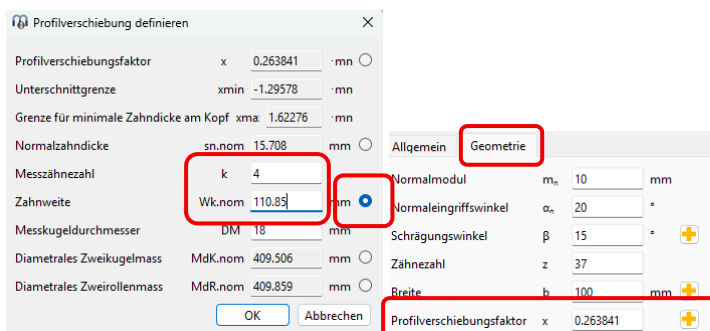


Abbildung 3-7 Links: Auswahl Eingabe Profilverchiebung aus Zahnweite. Eingabe *Messzähnezahl* und *Zahnweite*. *OK* Knopf drücken. Rechts: Resultierender *Profilverchiebungsfaktor* im Tab *Geometrie*.

### 3.3 Herstellprofilverschiebung

Im Protokoll sind für die Profilverchiebung vier Werte angegeben, der Nennwert sowie der untere, obere und mittlere Wert.

		Nennmass	Mittelwert	Minimum	Maximum
Profilverschiebungsfaktor	x	0.2638	0.2391	0.2322	0.2460

Abbildung 3-8 Profilverschiebungsfaktor x im Protokoll, verschiedene Werte.

Der Nennwert entspricht dem Wert im user interface,  $x = 0.2638$ . Das Minimum und das Maximum sind der obere und untere Wert der Erzeugungprofilverschiebung. Sie werden durch das Zahndickenabmass gesteuert. Wird das Zahndickenabmass nach DIN 3967 im Tab Geometrie über den «+» Knopf zu Null gesetzt, so sind alle vier Werte gleich dem Nennmass.

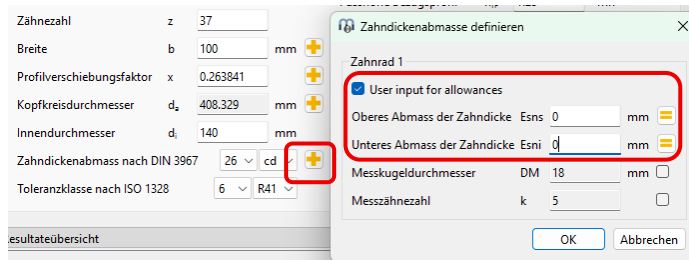


Abbildung 3-9 Zahndickenabmasse zu Null gesetzt, Tab Geometrie, «+» Knopf für Zahndickenabmass nach DIN 3967.

		Nennmass	Mittelwert	Minimum	Maximum
Profilverschiebungsfaktor	x	0.2638	0.2638	0.2638	0.2638

Abbildung 3-10 Profilverschiebungsfaktor x im Protokoll, alle Werte gleich.

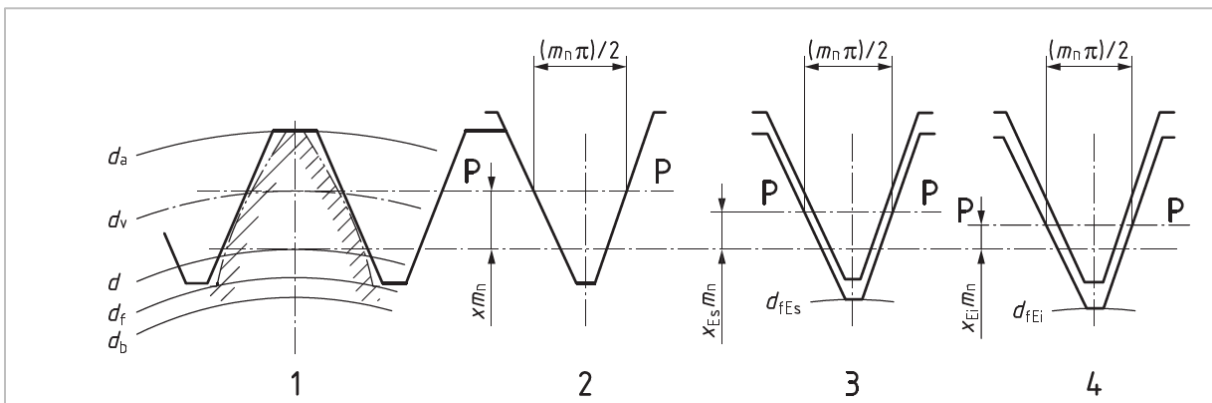


Abbildung 3-11 Konzept Herstellprofilverschiebung, nach ISO 21771-1:2024, Figure 55.

- 1: Bezugsprofil Zahnrad (ausgezogene Linie, Zahnrichtung nach oben).
- 2: Bezugsprofil Werkzeug (ausgezogene Linie, Zahnrichtung nach unten). Fusshöhe Bezugsprofil Werkzeug > Kopfhöhe Bezugsprofil Werkstück. Positiver Profilverschiebungsfaktor  $x$  als Nennmass, Profilverschiebung  $x \cdot m_n$ . Theoretische Zahndicke (spielfreie Zahndicke) wird erzeugt.
- 3: Profilverschiebungsfaktor  $x$  wird reduziert, zu  $x_{Es}$ . Positive Profilverschiebung wird kleiner, Werkzeug taucht tiefer ein. Oberes Abmass der Zahndicke wird erzeugt.
- 4: Profilverschiebungsfaktor  $x$  wird weiter reduziert, zu  $x_{Ei}$ . Positive Profilverschiebung wird noch kleiner, Werkzeug taucht noch tiefer ein. Unteres Abmass der Zahndicke wird erzeugt.



## 4 Umsetzung Schritt 3

### 4.1 Zahnhöhe einstellen.

Im Tab Geometrie, wird nun die Zahnhöhe vergrößert. Damit soll im Eingriff eine höhere Profilüberdeckung  $\varepsilon_\alpha$  erreicht werden. Die Fusshöhe soll dabei um 0.20 grösser bleiben als die Kopfhöhe, also  $h_{fP} - h_{aP} = 0.20 \cdot m_n$ .

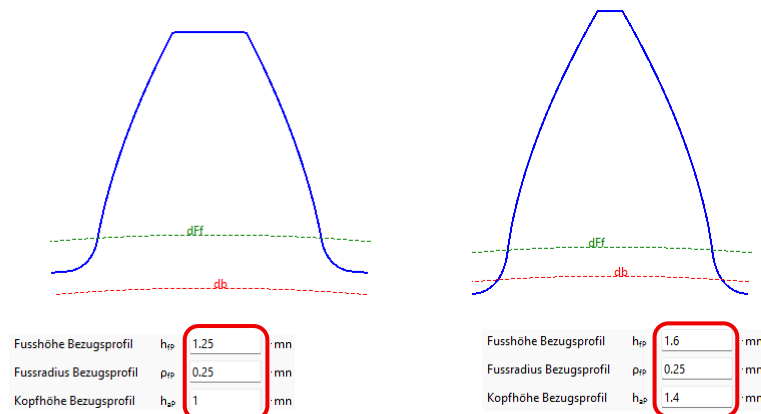


Abbildung 4-1 Links: Ursprüngliche Zahnform mit  $h_P = h_{fP} + h_{aP} = 2.25 \cdot m_n$ . Rechts: Zahnhöhe erhöht,  $h_P = h_{fP} + h_{aP} = 3.00 \cdot m_n$ . Grafiken nicht masstäblich.

### 4.2 Eingriffswinkel anpassen.

Um den Zahn noch schlanker und höher auszuführen, kann der Eingriffswinkel reduziert werden, hier zu  $\alpha_n = 17.5^\circ$ . Dann kann die Zahnhöhe weiter erhöht werden, ohne dass ein spitzer Zahn resultiert.

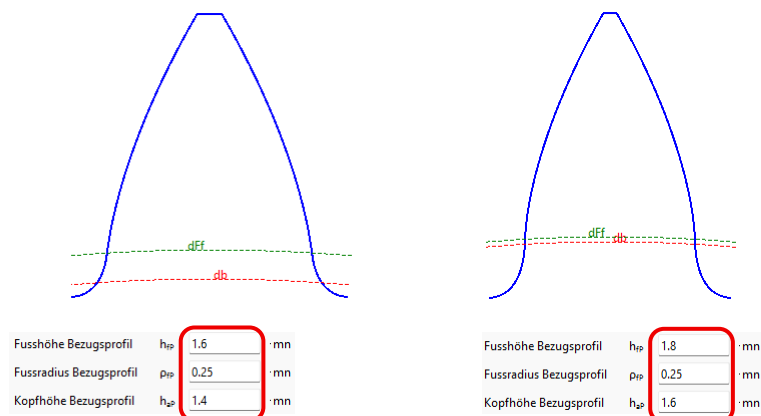


Abbildung 4-2 Links: Zahnhöhe erhöht mit  $h_P = h_{fP} + h_{aP} = 3.00 \cdot m_n$ . Rechts: Normaleingriffswinkel reduziert, Zahnhöhe weiter erhöht,  $h_P = h_{fP} + h_{aP} = 3.4 \cdot m_n$ . Grafiken nicht masstäblich.

### 4.3 Fussrundung maximieren.

Im Tab Geometrie wird wieder die ursprüngliche Zahnhöhe eingestellt. Die Berechnung wird ausgeführt und die Grafik Grafiken/Herstellung angezeigt. Im Kontextmenü der zwei Grafiken wird jeweils *Inhalt einfrieren* gewählt.

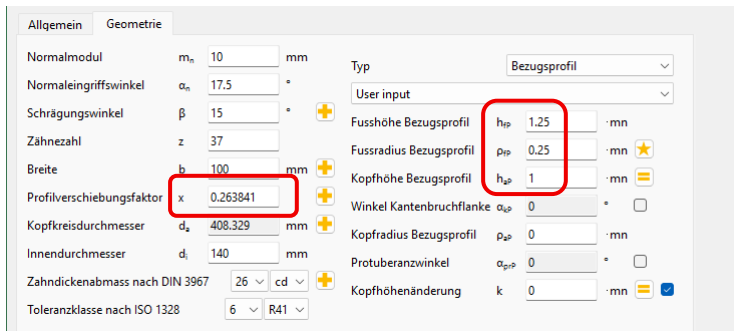


Abbildung 4-3 Zahnhöhe auf Originalwert zurückgesetzt. Resultierende Zahnform nach Berechnung.

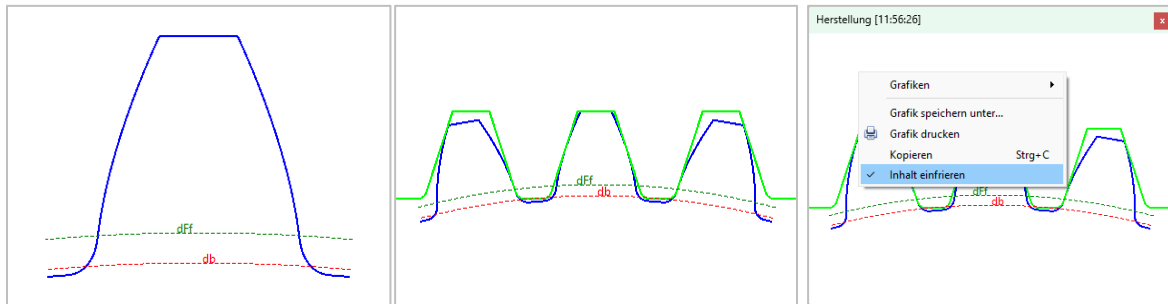


Abbildung 4-4 Links: Grafik *Grafiken/Einzler Zahn*. Mitte: Grafik *Grafiken/Herstellung*. Grün: Bezugsprofil Werkzeug. Blau: Zahnform, Stirnschnitt. Rechts: *Inhalt einfrieren* (rechte Maustaste für Kontextmenü).

Nun wird der Fussradius Bezugsprofil von  $\rho_{fp} = 0.25$  auf  $\rho_{fp} = 0.10$  gesetzt. Die Berechnung wird erneut durchgeführt und die beiden Grafiken *Grafiken/Einzler Zahn* und *Grafiken/Herstellung* erneut geöffnet. Die vorher eingefrorenen Grafiken haben nicht geändert und können nun mit den neuen verglichen werden.

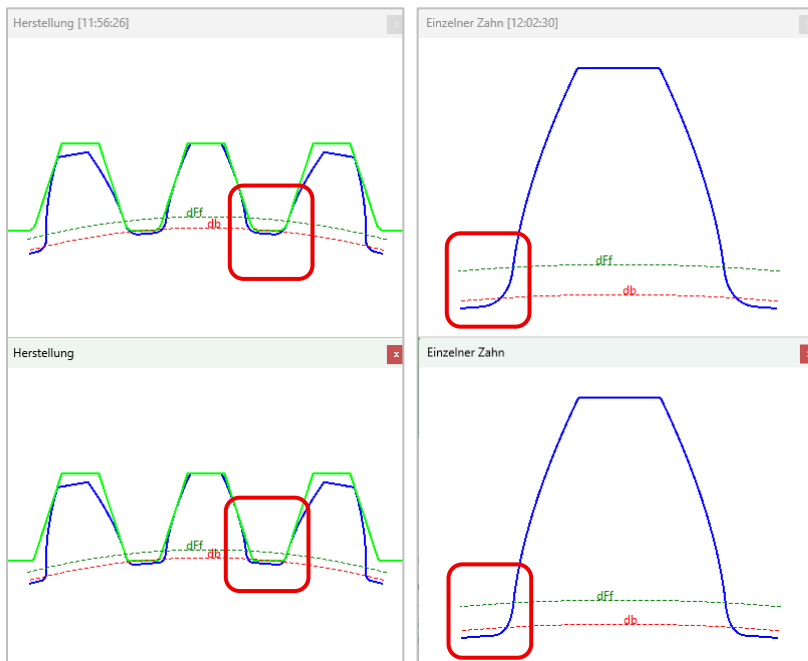


Abbildung 4-5 Vergleich  $\rho_{fp} = 0.25$  (oben) zu  $\rho_{fp} = 0.1$  (unten). Links: Eingriff Herstellung. Rechts: Einzler Zahn. Beachte die Fussrundung.

Um die Fussrundung zu maximieren wird der «\*» Knopf verwendet. Dadurch wird der maximal mögliche Radius am Kopf des Werkzeuges berechnet. Die Berechnung wird danach erneut aufgeführt und die Zahnfußgeometrie dargestellt.

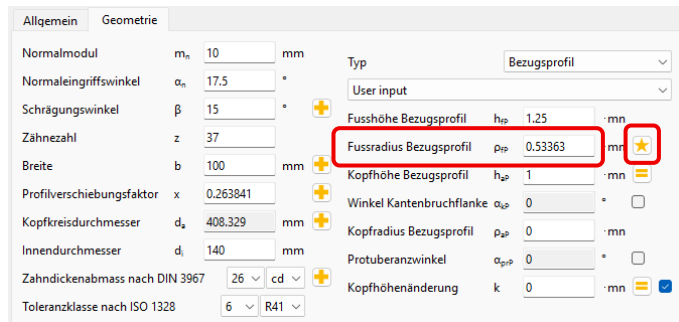


Abbildung 4-6 Auslegung des maximalen *Fussradius Bezugsprofil* über den «\*» Knopf.

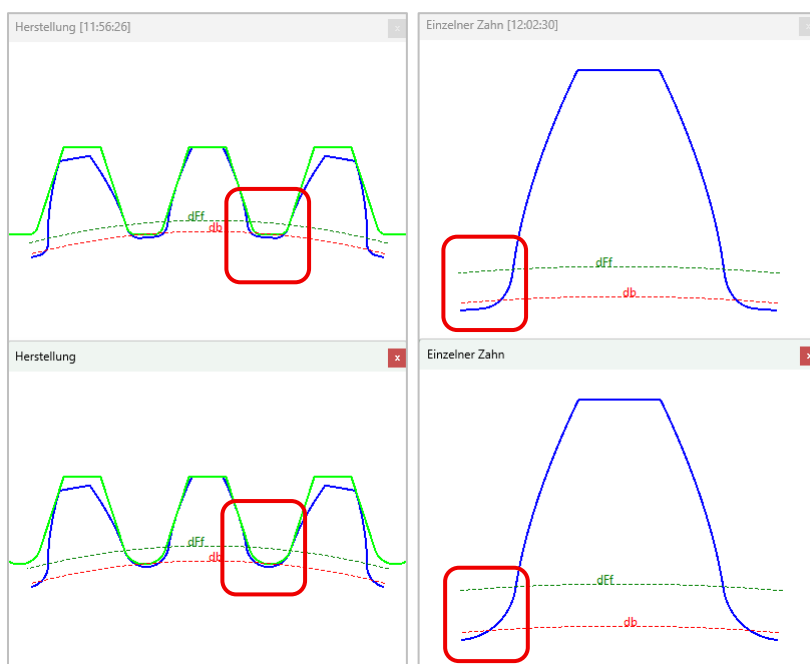


Abbildung 4-7 Vergleich  $\rho_{fp} = 0.25$  (oben) zu  $\rho_{fp} = 0.53$  (unten). Links: Eingriff Herstellung. Rechts: Einzelner Zahn. Beachte die Fussrundung.

## 5 Umsetzung, Schritt 4

### 5.1 Kopfhöhenänderung berechnen

Bei den gegebenen Daten ist der Kopfkreisdurchmesser als Nennmass  $d_a = 408.329$  mm. Die *Kopfkreisdurchmessertoleranz (ISO 286)* ist mit h8 gewählt. Das obere Abmass ist gleich dem Nennmass  $d_a = d_{a,s}$ , das obere Abmass ist  $\Delta d_{a,s} = 0.000$  mm. Das untere Abmass ist tiefer als das Nennmass,  $d_{a,i} = d_a + \Delta d_{a,i} = 408.329$  mm –  $0.097$  mm =  $408.232$  mm.

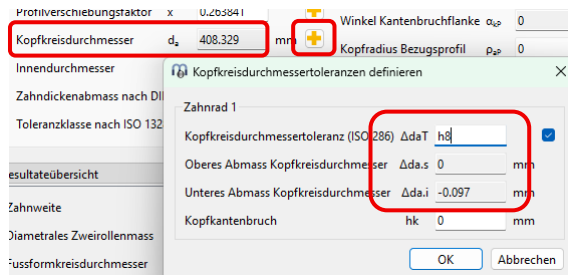


Abbildung 5-1 Angaben zur Kopfkreisdurchmessertoleranz.

Die entsprechenden Werte finden sich im Protokoll.

		Nennmass	Mittelwert	Minimum	Maximum
Profilverschiebungsfaktor	x	0.2638	0.2353	0.2274	0.2432
Kopfkreisdurchmesser	da	408.3290	408.2805	408.2320	408.3290 mm
Fusskreisdurchmesser	df	363.3290	362.7581	362.5995	362.9167 mm
Fussformkreisdurchmesser	dFf	372.6896	372.3022	372.1962	372.4090 mm

Abbildung 5-2 Kopfkreisdurchmesser, Nennmass, Mittelwert, Minimum, Maximum.

Der Kopfkreisdurchmesser soll nun  $d_a = 408.000$  betragen und die Abmasse  $+0.050 - 0.100$  mm. Der Kopfkreisdurchmesser mit oberem Abmass ist also  $d_{a,s} = 408.050$  mm und mit unterem Abmass  $d_{a,i} = 407.900$  mm. Eine solche Vorgabe kann nun auf verschiedene Arten realisiert werden, es werden hier drei Arten betrachtet.

### 5.2 Umsetzung über Kopfhöhenänderung

Kopfhöhe Bezugsprofil wird zu  $h_{aP} = 1.00$  belassen. Das Nennmass wird zu  $d_a = 408.050$  mm festgelegt und über eine Kopfhöhenänderung realisiert. Die Abmasse sind dann  $+0.000 - 0.150$ .

Dazu wird bei *Kopfhöhenänderung* der Knopf «=> gedrückt und der gewünschte *Kopfkreisdurchmesser*  $d_a = 408.050$  mm eingegeben. Es resultiert die *Kopfhöhenänderung*  $k$  zu  $k = -0.014$  und nach der Berechnung der Wert für  $d_a$ ,  $d_a = 408.050$  mm .

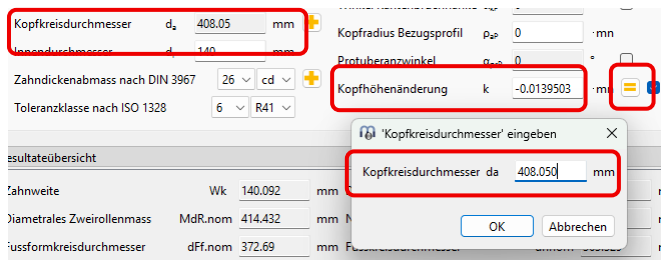


Abbildung 5-3 Eingabe *Kopfkreisdurchmesser*, um die *Kopfhöhenänderung* zu berechnen. Resultierender *Kopfkreisdurchmesser* nach Durchführen der Berechnung.

Damit haben wir das Nennmass festgelegt und in einem zweiten Schritt sind die Abmasse über den «+» Knopf beim *Kopfkreisdurchmesser* einzugeben.

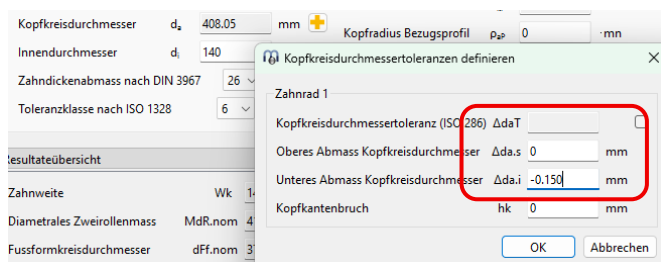


Abbildung 5-4 Eingabe Abmasse *Kopfkreisdurchmesser* über den «+» Knopf.

Im Protokoll findet sich nach Durchführen der Berechnung:

		Nennmass	Mittelwert	Minimum	Maximum
Profilverschiebungsfaktor	x	0.2638	0.2353	0.2274	0.2432
<b>Kopfkreisdurchmesser</b>	<b>da</b>	<b>408.0500</b>	<b>407.9750</b>	<b>407.9000</b>	<b>408.0500 mm</b>
Fusskreisdurchmesser	df	363.3290	362.7581	362.5995	362.9167 mm

Abbildung 5-5 *Kopfkreisdurchmesser*, Nennmass  $d_a = 408.050$  mm. Minimum und Maximum Wert stimmen mit der Vorgabe überein, damit auch der Mittelwert. Das Nennmass ist eine Bezugsgrösse.

### 5.3 Umsetzung über Abmasse

Kopfhöhe Bezugsprofil wird zu  $h_{aP} = 1.00$  belassen. Das Nennmass wird zu  $d_a = 408.329$  mm belassen, die *Kopfhöhenänderung* ist null. Die Abmasse sind dann  $408.050$  mm –  $408.329$  mm =  $-0.279$  mm und  $407.900$  mm –  $408.329$  mm =  $-0.429$  mm.

Dazu wird die *Kopfhöhenänderung*  $k$  zu  $k = 0$  gesetzt. Es wird der «+» Knopf beim *Kopfkreisdurchmesser* verwendet und die Abmasse eingegeben.

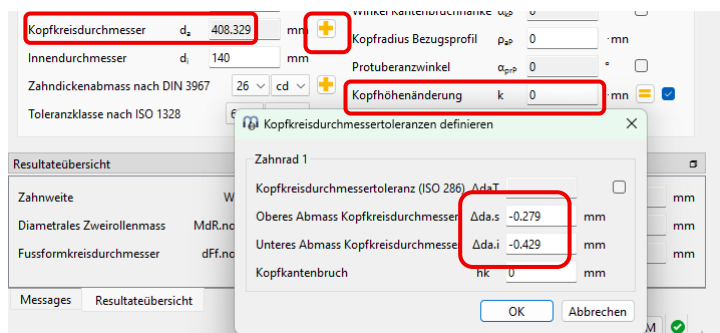


Abbildung 5-6 Eingabe *Kopfkreisdurchmesser* abmasse über den «+» Knopf beim *Kopfkreisdurchmesser*. *Kopfhöhenänderung*  $k$  zu null gesetzt.

Nach der Berechnung wird im User Interface das Nennmass  $d_a = 408.329$  mm angezeigt und im Protokoll findet sich dieselben Werte für den oberen, unteren und mittleren Wert (aber ein anderes Nennmass) wie vorhin.

		Nennmass	Mittelwert	Minimum	Maximum
Profilverschiebungsfaktor	x	0.2638	0.2353	0.2274	0.2432
Kopfkreisdurchmesser	da	408.3290	407.9750	407.9000	408.0500 mm
Fusskreisdurchmesser	df	363.3290	362.7581	362.5995	362.9167 mm

Abbildung 5-7 Kopfkreisdurchmesser, Nennmass  $d_a = 408.329$  mm. Minimum und Maximum Wert stimmen mit der Vorgabe überein, damit auch der Mittelwert. Das Nennmass ist eine Bezugsgrösse.

## 5.4 Umsetzung über Bezugsprofil

Kopfhöhe Bezugsprofil wird so angepasst, dass das Nennmass für den Kopfkreisdurchmesser  $d_a = 408.000$  mm resultiert. Die Kopfhöhenänderung ist null. Die Abmasse sind dann  $+0.000 - 0.150$ .

Dazu bleibt die *Kopfhöhenänderung*  $k$  zu  $k = 0$  gesetzt. Es wird der « $\Rightarrow$ » Knopf beim der Kopfhöhe Bezugsprofil verwendet und das gewünschte Nennmass für den Kopfkreisdurchmesser  $d_a = 408.000$  eingegeben. Daraus resultiert neu  $h_{aP} = 0.984 * m_n$ .

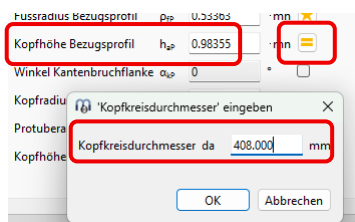


Abbildung 5-8 Umrechnung Nennmass Kopfkreisdurchmesser zu Kopfhöhe Bezugsprofil.

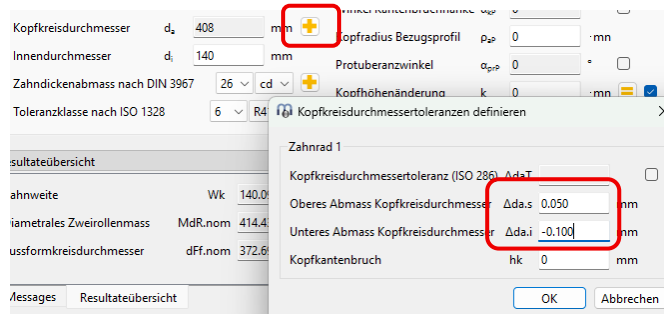


Abbildung 5-9 Eingabe Kopfkreisdurchmesserabmasse über den «+» Knopf beim Kopfkreisdurchmesser.

Nach der Berechnung findet sich im Protokoll das geänderte Nennmass, die anderen Werte sind gleich wie oben.

		Nennmass	Mittelwert	Minimum	Maximum
Profilverschiebungsfaktor	x	0.2638	0.2353	0.2274	0.2432
Kopfkreisdurchmesser	da	408.0000	407.9750	407.9000	408.0500 mm
Fusskreisdurchmesser	df	363.3290	362.7581	362.5995	362.9167 mm

Abbildung 5-10 Kopfkreisdurchmesser, Nennmass  $d_a = 408.000$  mm. Minimum und Maximum Wert stimmen mit der Vorgabe überein, damit auch der Mittelwert. Das Nennmass ist eine Bezugsgrösse.

## 6 Umsetzung Schritt 5

### 6.1 Datei

Datei *MESYS-Tutorial-Cyl\_gear\_single\_01-v2500.mSCG* öffnen, um den Zustand nach Schritt 1 wieder herzustellen.

### 6.2 Kantenbruch

Im Tab Geometrie, wird über die Eingabe Winkel Kantenbruchflanke  $\alpha_{kP} = 45^\circ$  und Kopfformhöhe Bezugsprofil  $h_{FaP} = 0.80$  eingegeben. Damit wird am Kopf des Zahnes eine zweite Evolvente mit Eingriffswinkel  $\alpha_n = 45^\circ$  erzeugt. Diese ist dann in den Grafiken *Grafiken/Einzeln Zahn* oder *Grafiken/Geometrie (3D)*, *Nennmass* usw. sichtbar.

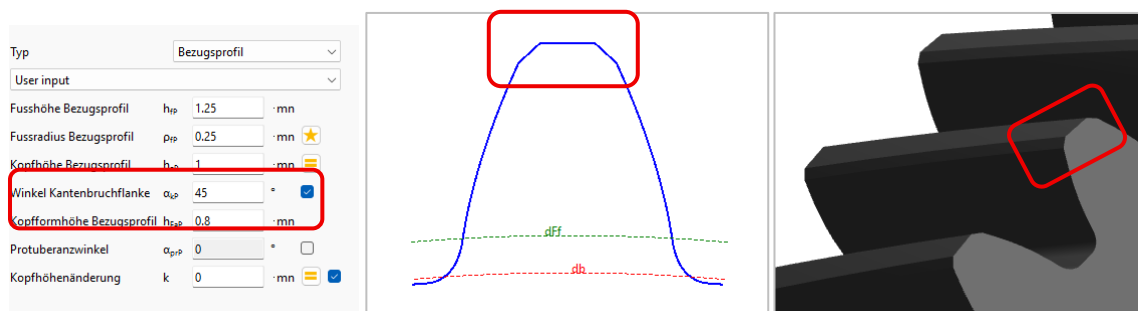


Abbildung 6-1 Definition Kopfkantenbruch über das Bezugsprofil.

Um den Kopfkantenbruch zu erzeugen, wird im Fuss des zahnstangenförmigen Werkzeuges eine zweite Flanke (als gerade Linie) hinzugefügt. Beim Abwälzvorgang erzeugt diese wiederum eine Evolvente, mit  $\alpha_n = 45^\circ$ , am Kopf des Zahnrades.

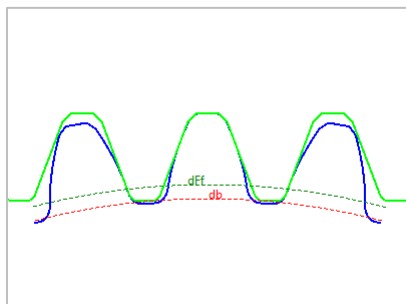


Abbildung 6-2 Erzeugen des Kopfkantenbruchs aus dem Profil des Werkzeuges.

### 6.3 Angaben zur Qualität der Verzahnung

Aus der Eingabe der *Toleranzklasse nach ISO 1328* wie unten gezeigt werden die zulässigen Fertigungsabweichungen bestimmt. Sie sind im Protokoll im Abschnitt *Toleranzen* aufgeführt.



Abbildung 6-3 Eingabe der Toleranzklasse im Tab *Geometrie*.

Toleranzen		
Toleranzklasse ISO 1328-1	A	6
Teilungs-Einzelabweichung	fpT	13.000 µm
Teilungs-Gesamtabweichung	FpT	43.000 µm
Profil-Winkelabweichung	fHαT	12.000 µm
Profil-Formabweichung	ffαT	15.000 µm
Profil-Gesamtabweichung	FαT	19.000 µm
Flankenlinien-Winkelabweichung	fHβT	12.000 µm
Flankenlinien-Formabweichung	ffβT	14.000 µm
Flankenlinien-Gesamtabweichung	FβT	18.000 µm
Toleranzklasse ISO 1328-2	R	41
Zweiflanken-Wälzsprung	fidT	84.000 µm
Zweiflanken-Wälzabweichung	FidT	95.000 µm

Abbildung 6-4 Toleranzen im Sinne maximal zulässiger Fertigungsfehler, aufgelistet im Protokoll.

## 6.4 Berechnung der Prüfmasse

Um die Prüfmasse zu berechnen, ist die Eingabe des Messkugeldurchmessers und der Messzähnezahl notwendig. Sie wird automatisch gesetzt oder über den «+» Knopf bei der Eingabe Zahndickenabmass nach DIN 3967 eingegeben. Bei einer direkten Eingabe muss der entsprechende, unten gezeigte Flag, aktiviert werden.

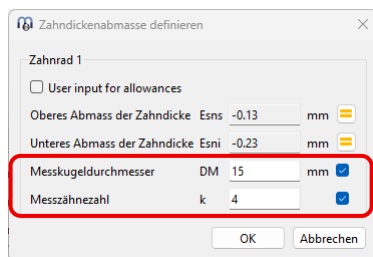


Abbildung 6-5 Eingabe Messkugeldurchmesser und Messzähnezahl.

Die Prüfmasse sind im Protokoll wie folgt aufgeführt.

Messzähnezahl	k	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
Zahnweite	Wk	109.0452	108.8761	108.8291	108.9231 mm
Messkreisdurchmesser, Zahnweite	dMWk	373.7290	373.6826	373.6697	373.6955 mm
Messkugeldurchmesser	DM	15.0000	15.0000	15.0000	15.0000 mm
Radiales Einkugelmass	MrK	199.3738	199.1285	199.0600	199.1969 mm
Diametrales Zweikugelmass	MdK	398.4018	397.9117	397.7748	398.0483 mm
Diametrales Zweirollenmass	MdR	398.7475	398.2570	398.1200	398.3937 mm
Messkreisdurchmesser, Kugelmass	dMBall	378.7961	378.3523	378.2284	378.4759 mm

Abbildung 6-6 Liste der Prüfmasse.

Falls die Messung nicht möglich ist, wird eine entsprechende Meldung ausgegeben. Unten wurde eine solche Meldung provoziert, indem die Zahnhöhe derart reduziert wurde, dass eine Zahnweitenmessung mit einer Lehre nicht möglich ist.

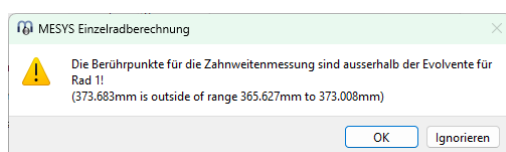


Abbildung 6-7 Meldung, dass Messung nicht möglich ist.

## 6.5 Sofortige Geometrieberechnung nach jeder Eingabe

Die Voreinstellung in MESYS ist so, dass nach einer oder mehreren Eingaben die Berechnung über den entsprechenden Knopf oder F5 aufgerufen wird. Alternativ kann MESYS so eingestellt werden, dass nach jeder Eingabe die Berechnung sofort durchgeführt wird. Solange diese auf Geometrieberechnungen (ohne 3D Grafiken) beschränkt ist, ist sie so schnell, dass der Arbeitsfluss nicht gestört wird. «M» steht dabei für manuelle Auslösung der Berechnung, «A» für die automatische.

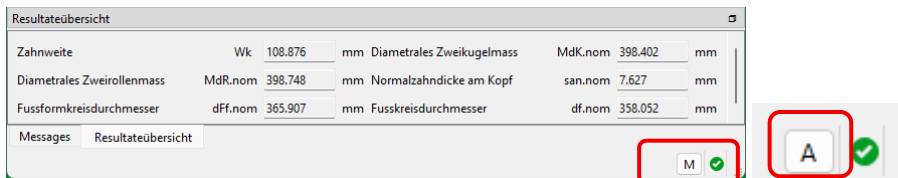


Abbildung 6-8 Einstellung, dass Berechnung nach jeder Eingabe direkt ausgeführt wird.

## 7 Definition Verzahnung über das Werkzeug

### 7.1 Datei

Datei *MESYS-Tutorial-Cyl\_gear\_single\_01-v2500.mSCG* öffnen, um den Zustand nach Schritt 1 wieder herzustellen.

Grafiken *Grafiken/Einzeln Zahn*, *Grafiken/Herstellung* und *Grafiken/Herstellung (animiert)* öffnen. Die Animation wird in den Screenshots unten nicht dargestellt.

### 7.2 Definition als Fräser

Die Bestimmungsgrößen für die Definition des Bezugsprofils des zahnstangenförmigen Werkzeuges (des Fräses) sind gemäss ISO 21771-1:2024 wie folgt definiert. In der Abbildung unten, ist für den Fuss des Werkzeuges links eine Kantenbruchflanke mit der Fussformhöhe des Werkzeuges  $h_{FFP0}$  und dem Winkel Kantenbruchflanke  $\alpha_{kP0}$  gezeigt. Daraus wird am Zahnrad (dem Werkstück) ein Kopfkantenbruch erzeugt. Rechts ist eine Fussrundung dargestellt, mit dem Fussradius des Werkzeuges  $\rho_{FP0}$ . Daraus wird eine Kopfrundung am Zahnrad erzeugt.

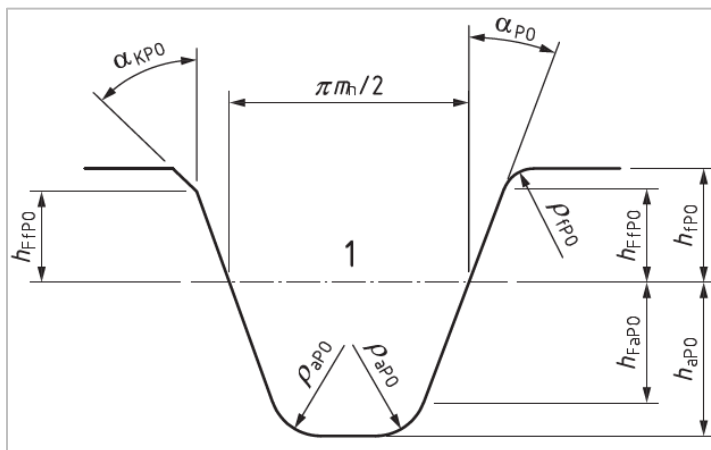


Abbildung 7-1 Definition Bezugsprofil Werkzeug als Fräser. Die Bemessung der Längen erfolgt an oder von der Bezugslinie.

Im Tab Geometrie, wird nun statt der Eingabe *Typ = Bezugsprofil* die Eingabe *Typ = Fräser* gewählt. Die Eingaben für das Bezugsprofil des Zahnrades werden zu Eingaben des Bezugsprofils des zahnstangenförmigen Werkzeuges (hier Fräser genannt) umgerechnet. Im einfachsten Fall, wenn das Bezugsprofil der Verzahnung lediglich über die Fusshöhe Bezugsprofil  $h_{fP}$ , den Fussradius Bezugsprofil  $\rho_{fP}$  und die Kopfhöhe Bezugsprofil  $h_{aP}$  definiert ist, ist die Umrechnung zum Fräser trivial. Beim Werkzeug wird in den Symbolen der Zusatz «0» verwendet. Die Kopfhöhe  $h_{aP}$  wird zur Fusshöhe am Fräser  $h_{fP0}$  und die Fusshöhe  $h_{fP}$  zur Kopfhöhe am Fräser  $h_{aP0}$ .

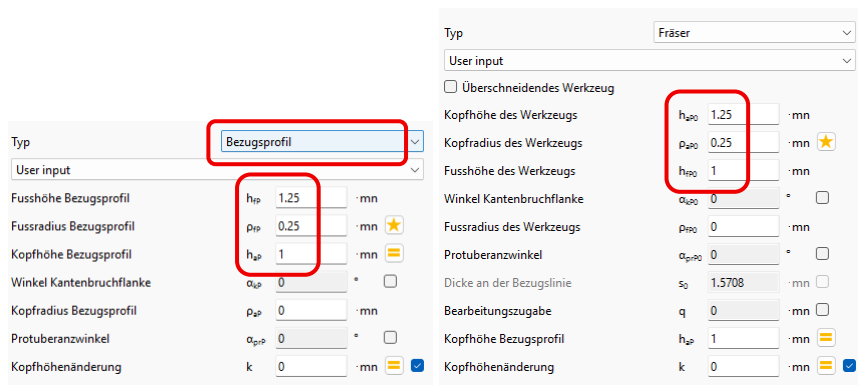


Abbildung 7-2 Links: Ursprüngliche Definition der Verzahnung über deren Bezugsprofil. Rechts: Umgerechnet auf das Bezugsprofil des Fräasers.

Die Kopfhöhe des Bezugsprofils des Zahnrades wird weiterhin benötigt, da in der Regel der Aussendurchmesser der Verzahnung nicht durch die Fusshöhe des Werkzeuges bestimmt wird, sondern in einem vorgelagerten Bearbeitungsschritt, dem Drehen des Rohlings auf Aussendurchmesser. Zu beachten ist, dass die Fusshöhe des Werkzeuges darum in der Regel grösser als die Kopfhöhe des Zahnrades eingegeben wird.

Im einfachsten Fall wird die Kopfhöhe des Zahnrades gleich der Fusshöhe des Fräasers gesetzt, siehe unten. In der Grafik Grafiken/Herstellung berühren sich dann der Fussbereich des Fräasers und der Kopfbereich des Zahnrades.

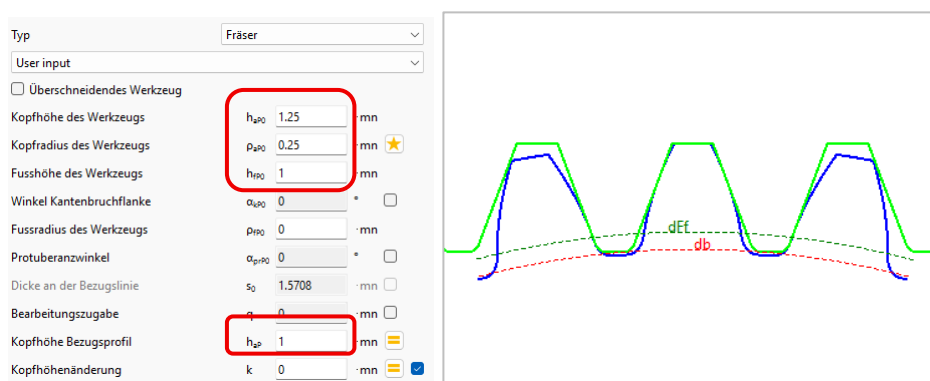


Abbildung 7-3 Kopfhöhe Zahnrad = Fusshöhe Fräser.

Wird die Fusshöhe des Fräasers reduziert, z.B. auf  $h_{fP0} = 0.80$ , aber die Kopfhöhe des Zahnrades belassen, z.B. auf  $h_{aP} = 1.00$ , besteht ein Widerspruch. Die Zahnform wird nicht geändert und für die eingegebene Kopfhöhe des Zahnrades berechnet. D.h. die Berechnung folgt der Definition von  $h_{aP}$ , nicht der Definition von  $h_{fP0}$ .

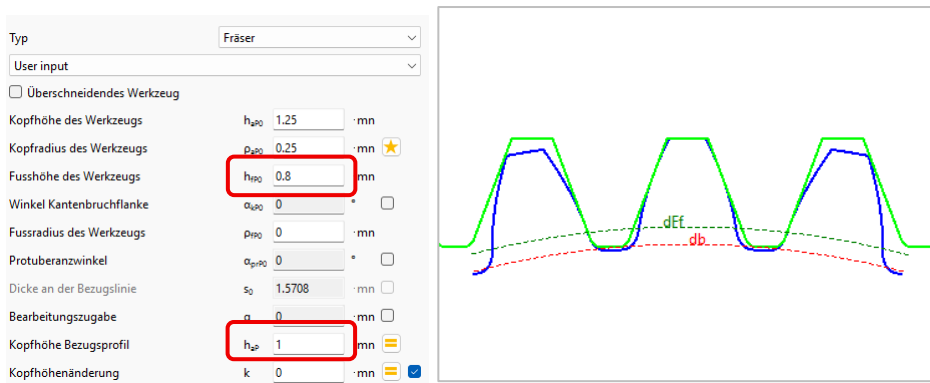


Abbildung 7-4 Kopfhöhe Zahnrad  $\neq$  Fusshöhe Fräser. Die Berechnung wird über die Kopfhöhe Zahnrad gesteuert.

Wird nun der Flag *Überschneidendes Werkzeug* aktiviert, so wird die Geometrie des Zahnrades aus der Geometrie des Fräsers bestimmt. D.h. die Berechnung folgt nun der Definition von  $h_{fP0}$ , nicht der Definition von  $h_{aP}$ . Damit wird also die Zahnhöhe am Zahnrad gleich der Fusshöhe des Werkzeuges. Die Eingaben für die Kopfhöhe  $h_{aP}$  und die Eingabe für die Kopfhöhenänderung  $k$  werden entfernt.

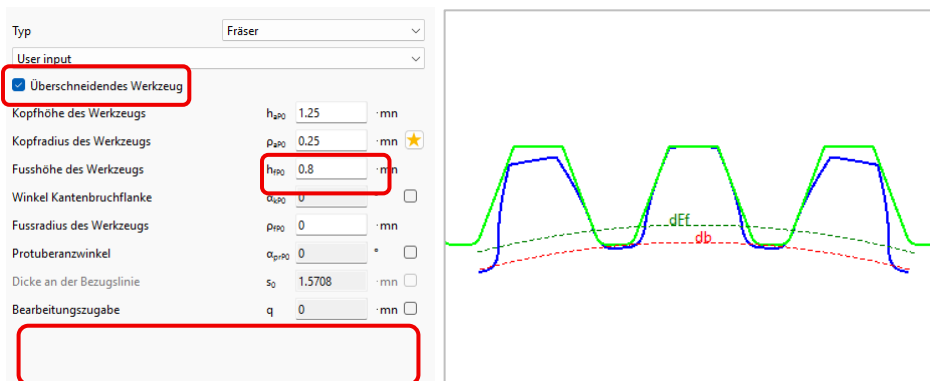


Abbildung 7-5 Kopfhöhe Zahnrad wird nicht mehr eingegeben, Kopfhöhe wird nun aus der Fusshöhe Fräser bestimmt. Flag *Überschneidendes Werkzeug* aktiviert.

Am Fuss des Werkzeuges kann ein Fussradius des Werkzeuges eingegeben werden, dieser erzeugt dann wälzend eine Kopfrundung am Zahnrad.

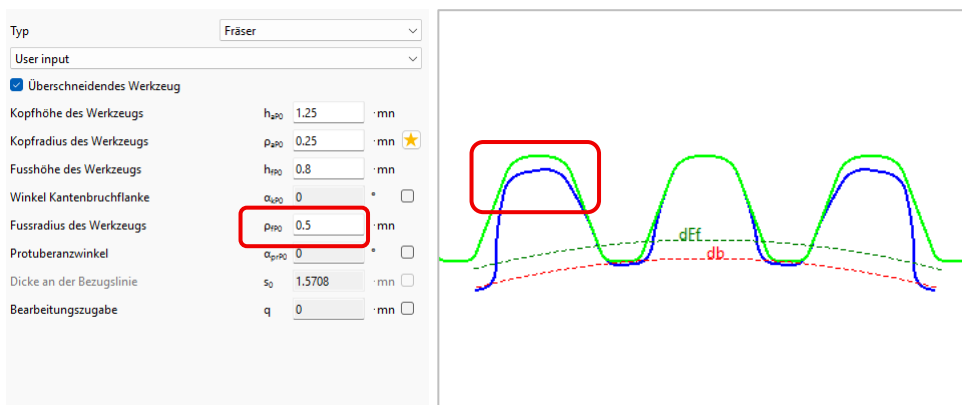


Abbildung 7-6 Definition einer Fussrundung am Fräser, für ein überschneidendes Werkzeug. Am Kopf des Zahnrades wird wälzend eine Kopfkantenrundung erzeugt.

Alternativ kann statt einer Rundung im Fuss des Fräasers eine Kantenbruchflanke definiert werden. Dazu den entsprechenden Flag setzen und  $\alpha_{kp0} = 60^\circ$  und  $h_{FTPO} = 0.60$  eingeben.

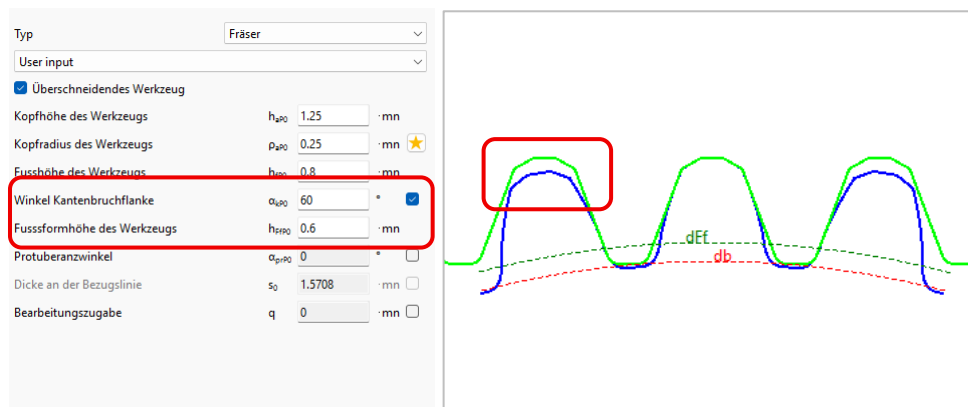


Abbildung 7-7 Definition eines Kopfkantenbruchs am Zahnrad, für ein überschneidendes Werkzeug, über die Kantenbruchflanke am Fuss des Fräasers.

### 7.3 Definition Protuberanzfräser, mit Vor- und Schlussbearbeitung

Bei einer Herstellung einer Verzahnung über eine Vorbearbeitung mit einem Protuberanzfräser und einer Schlussbearbeitung durch Schleifen (andere Kombinationen sind möglich), wird am Fräser zusätzlich eine Protuberanz und für die Schlussbearbeitung eine Bearbeitungszugabe definiert. Die Bestimmungsgrößen sind gemäss ISO 21771-1:2024 wie folgt definiert.

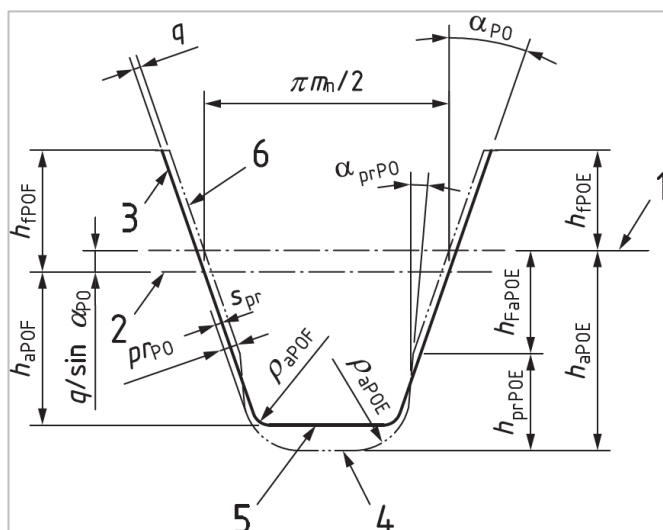


Abbildung 7-8 Bezugsprofil Wälzfräser (für die Vorbearbeitung, Index «E») und Schleifscheibe (für die Schlussbearbeitung «F»).

#### Bedeutung

- 1 Bezugslinie Vorbearbeitungswerkzeug.
- 2 Bezugslinie Schlussbearbeitungswerkzeug.
- 3 Bezugsprofil Schlussbearbeitungswerkzeug.
- 4 Kopf des Vorbearbeitungswerkzeuges.

- 5 Kopf des Schlussbearbeitungswerkzeuges.
- 6 Bezugsprofil Vorbearbeitungswerkzeug.

6+4 = Vorbearbeitungswerkzeug, 3+5 = Schlussbearbeitungswerkzeug, 3+4 =  
Hypothetisches Werkzeug das die Zahnform bestimmt.

In MESYS wird die Protuberanz des Vorbearbeitungswerkzeuges entweder über Eingabe Protuberanzwinkel  $\alpha_{prP0}$  und

- Der Kopfformhöhe des Werkzeuges  $h_{FaP0}$ .
- Der Höhe der Protuberanz  $h_{prP0}$  oder
- Dem Betrag der Protuberanz  $p_{rP0}$

definiert. Es gilt dabei  $h_{prP0} + h_{FaP0} = h_{aP0}$  (Kopfhöhe des Werkzeuges). In den drei Abbildungen unten sind die drei Fälle dargestellt. Die Eingabe der Protuberanz ist über den Flag bei *Protuberanzwinkel* aktiviert und der *Protuberanzwinkel* ist eingegeben, hier  $\alpha_{prP0} = 10^\circ$ .

Protuberanzwinkel	$\alpha_{prP0}$ 10	*	<input checked="" type="checkbox"/>
Kopfformhöhe des Werkzeuges	$h_{FaP0}$ 1.1	·mn	<input checked="" type="radio"/>
Höhe der Protuberanz	$h_{prP0}$ 0.15	·mn	<input type="radio"/>
Betrag der Protuberanz	$p_{rP0}$ -0.00617992	·mn	<input type="radio"/>

Abbildung 7-9 Eingabe Protuberanzwinkel und Kopfformhöhe Werkzeug. Höhe der Protuberanz und Betrag der Protuberanz folgen.

Protuberanzwinkel	$\alpha_{prP0}$ 10	*	<input checked="" type="checkbox"/>
Kopfformhöhe des Werkzeuges	$h_{FaP0}$ 1.05	·mn	<input type="radio"/>
Höhe der Protuberanz	$h_{prP0}$ 0.2	·mn	<input checked="" type="radio"/>
Betrag der Protuberanz	$p_{rP0}$ 0.00263643	·mn	<input type="radio"/>

Abbildung 7-10 Eingabe Protuberanzwinkel und Höhe der Protuberanz. Kopfformhöhe des Werkzeuges und Betrag der Protuberanz folgen.

Protuberanzwinkel	$\alpha_{prP0}$ 10	*	<input checked="" type="checkbox"/>
Kopfformhöhe des Werkzeuges	$h_{FaP0}$ 0.497824	·mn	<input type="radio"/>
Höhe der Protuberanz	$h_{prP0}$ 0.752176	·mn	<input type="radio"/>
Betrag der Protuberanz	$p_{rP0}$ 0.1	·mn	<input checked="" type="radio"/>

Abbildung 7-11 Eingabe Protuberanzwinkel und Betrag der Protuberanz. Kopfformhöhe des Werkzeuges und Höhe der Protuberanz folgen.

Für die Eingabe des Protuberanzwinkels  $\alpha_{prP0} = 10^\circ$  und dem Betrag der Protuberanz  $p_{rP0} = 0.10$  ist die Zahnform wie folgt.

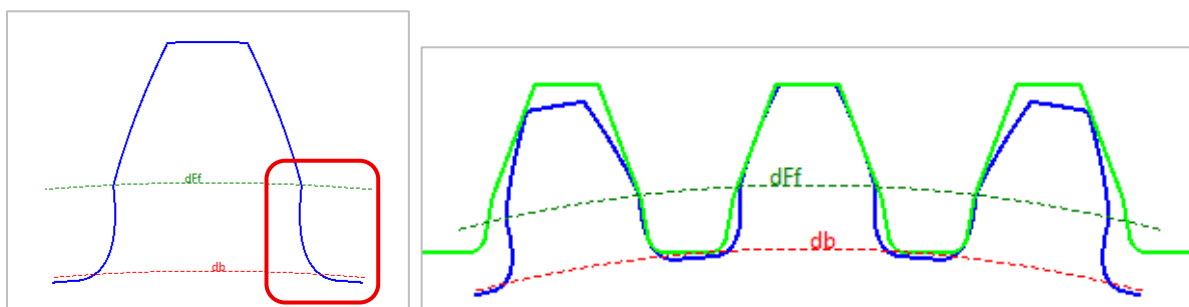


Abbildung 7-12 Zahnform mit Unterschnitt infolge der Protuberanz am Werkzeug.

Wird nun zusätzlich über die Eingabe der Bearbeitungszugabe eine Schlussbearbeitung definiert, so muss auch die relevante Geometrie des Fertigbearbeitungswerzeuges definiert werden. Hier wird die Bearbeitungszugabe  $q = 0.05 \cdot m_n$ , die Kopfhöhe des Fertigbearbeitungswerzeugs  $h_{aPOF} = 1.00$  und der Kopfradius des Fertigbearbeitungswerzeugs  $\rho_{aPOF} = 0.05 \cdot m_n$ .

Betrag der Protuberanz	<input type="text" value="0.1"/>	·mn	<input checked="" type="checkbox"/>
Dicke an der Bezugslinie	<input type="text" value="1.5708"/>	·mn	<input type="checkbox"/>
Bearbeitungszugabe	<input type="text" value="0.05"/>	·mn	<input checked="" type="checkbox"/>
Kopfhöhe Bezugsprofil	<input type="text" value="1"/>	·mn	<input type="checkbox"/>
Kopfhöhenänderung	<input type="text" value="0"/>	·mn	<input checked="" type="checkbox"/>
Kopfhöhe des Fertigbearbeitungswerzeugs	<input type="text" value="1"/>	·mn	<input type="checkbox"/>
Kopfradius des Fertigbearbeitungswerzeugs	<input type="text" value="0.05"/>	·mn	<input type="checkbox"/>

Abbildung 7-13 Eingaben zur Fertigbearbeitung.

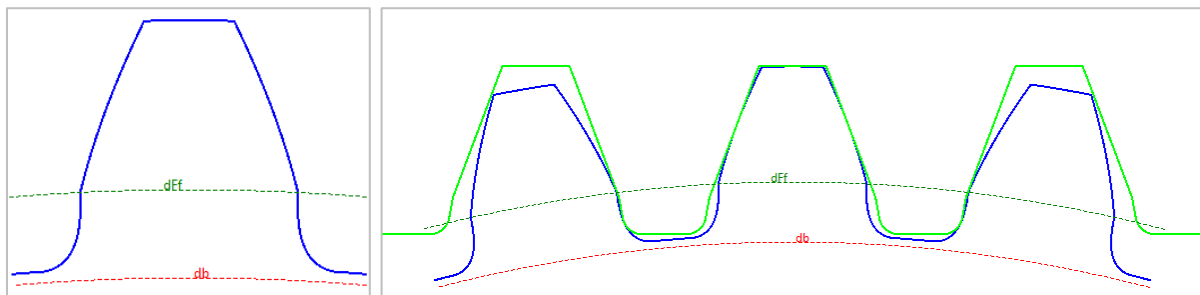


Abbildung 7-14 Zahnform nach der Fertigbearbeitung. Rechts: Hypothetisches Werkzeug in grün.

Werden die Parameter für die Vor- und Fertigbearbeitung ungünstig gewählt, so resultieren entsprechende Zahnformen. In der folgenden Berechnung wurde die Bearbeitungszugabe grösser als der Betrag der Protuberanz definiert,  $q = 0.20$ ,  $p_{rPO} = 0.10$ . Die Kopfhöhe des Fertigbearbeitungswerzeuges wurde zu tief gewählt,  $h_{aPOF} = 0.50$ . Daraus resultiert dann eine reduzierte Zahnhöhe und eine Schleifkerbe.

Betrag der Protuberanz	<input type="text" value="0.1"/>	·mn	<input checked="" type="checkbox"/>
Dicke an der Bezugslinie	<input type="text" value="1.5708"/>	·mn	<input type="checkbox"/>
Bearbeitungszugabe	<input type="text" value="0.2"/>	·mn	<input checked="" type="checkbox"/>
Kopfhöhe Bezugsprofil	<input type="text" value="1"/>	·mn	<input type="checkbox"/>
Kopfhöhenänderung	<input type="text" value="0"/>	·mn	<input checked="" type="checkbox"/>
Kopfhöhe des Fertigbearbeitungswerzeugs	<input type="text" value="0.5"/>	·mn	<input type="checkbox"/>
Kopfradius des Fertigbearbeitungswerzeugs	<input type="text" value="0.05"/>	·mn	<input type="checkbox"/>

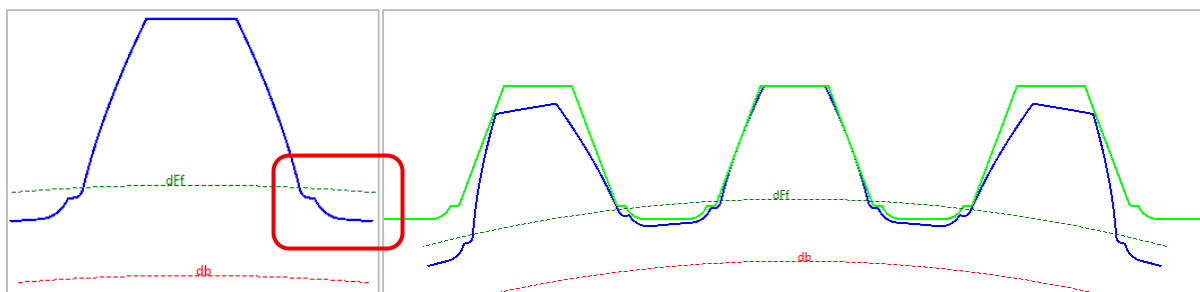


Abbildung 7-15 Links: Zahnform mit ungünstiger Definition der Vor- und Fertigbearbeitung, Schleifkerbe. Rechts: Hypothetisches Werkzeug in grün.

## 7.4 Datei

Datei *MESYS-Tutorial-Cyl\_gear\_single\_01-v2500.mSCG* öffnen, um den Zustand nach Schritt 1 wieder herzustellen.

Grafiken *Grafiken/Einzler Zahn*, *Grafiken/Herstellung* und *Grafiken/Herstellung (animiert)* öffnen. Die Animation wird in den Screenshots unten nicht dargestellt.

## 7.5 Definition über das Stossrad

Für die Verwendung eines Stossrades zur Erzeugung der Zahnradgeometrie, Typ = Stossrad wählen. Für das Stossrad wird eine Zähnezahl  $z_0 = 20$  und Profilverschiebung  $x_0 = 0.00$  gewählt. Die Zahnform und die Herstellung ist in den Grafiken *Grafiken/Einzler Zahn* und *Grafiken/Herstellung* dargestellt.

Typ	<input type="text" value="Stossrad"/>
User input	<input type="text"/>
Zähnezahl des Werkzeugs	<input type="text" value="z&lt;sub&gt;0&lt;/sub&gt; 20"/>
Profilverschiebung des Werkzeugs	<input type="text" value="x&lt;sub&gt;0&lt;/sub&gt; 0"/>
Kopfhöhe des Werkzeugs	<input type="text" value="h&lt;sub&gt;wp0&lt;/sub&gt; 1.25"/> · mn
Kopfradius des Werkzeugs	<input type="text" value="ρ&lt;sub&gt;wp0&lt;/sub&gt; 0.25"/> · mn <input type="checkbox"/>
Fusshöhe des Werkzeugs	<input type="text" value="h&lt;sub&gt;fp0&lt;/sub&gt; 1"/> · mn
Fussradius des Werkzeugs	<input type="text" value="ρ&lt;sub&gt;fp0&lt;/sub&gt; 0"/> · mn
Kopfhöhe Bezugsprofil	<input type="text" value="h&lt;sub&gt;sp&lt;/sub&gt; 1"/> · mn <input type="checkbox"/>
Kopfhöhenänderung	<input type="text" value="k 0"/> · mn <input type="checkbox"/>

Abbildung 7-16 Eingabe Stossrad.

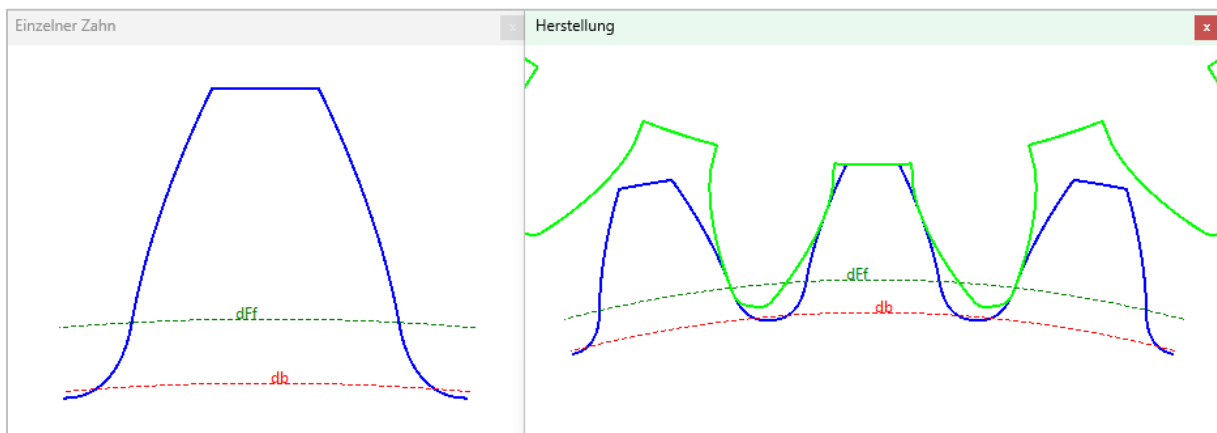


Abbildung 7-17 Links: Zahnform. Rechts: Herstellung mit Stossrad.