

Benutzeranleitung Programm CAD-Tragbild

Verwendung

Das Programm Tragbild ermöglicht die virtuelle Berechnung von Tragbildern zwischen zwei Zahnrädern, die in der Realität mit Hilfe von Tuschierpaste geprüft werden. Bild 1 zeigt ein so berechnetes Tragbild:

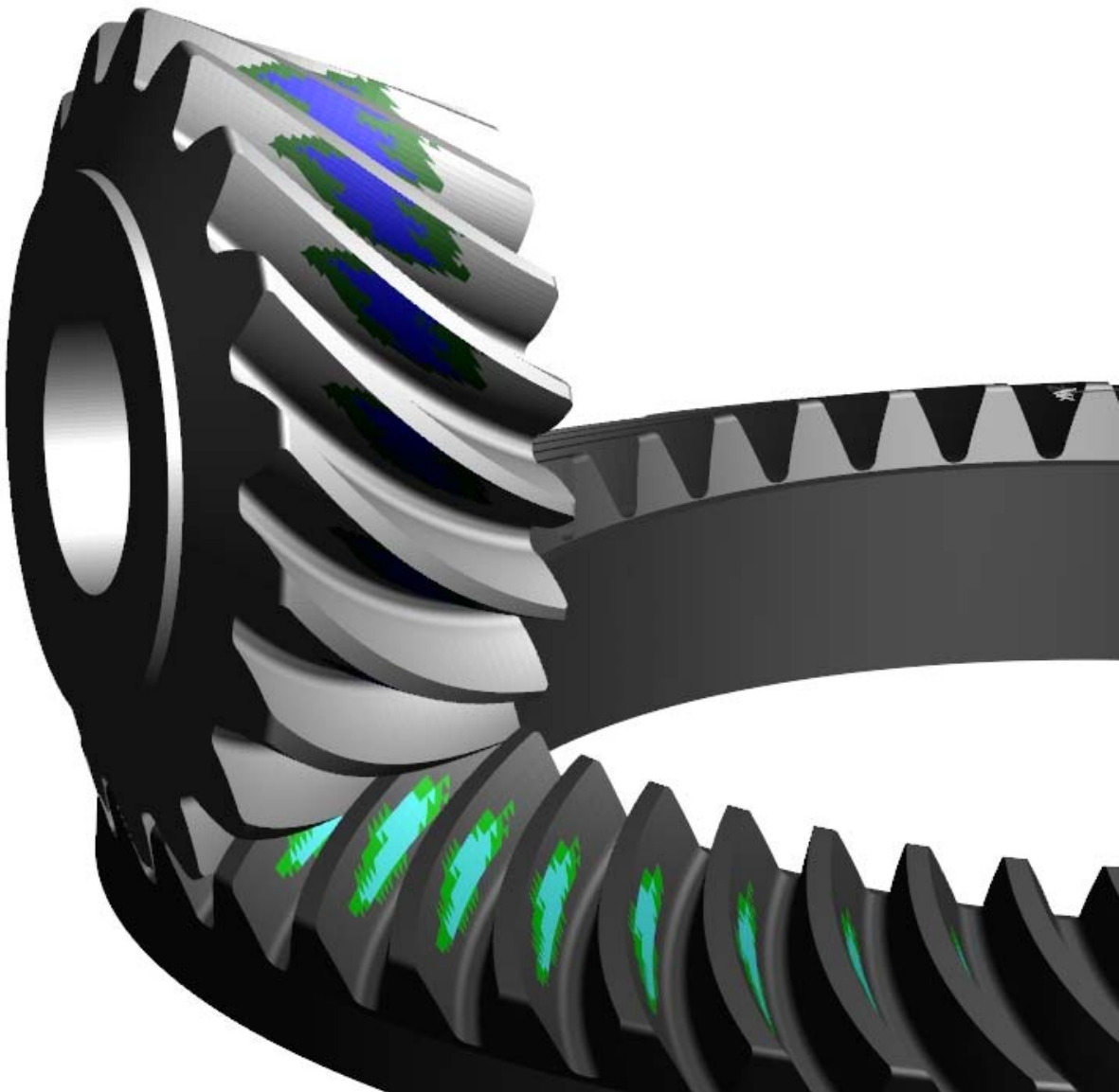


Bild1: mit dem Programm CAD-Tragbild berechnete Kontaktflächen eines Kegelradsatzes



Anleitung Programm CAD-Tragbild

Hochschule Osnabrück
Prof. Dr.-Ing. B. Schwarze
21.10.2013

Seite
Page

2 / 12

Voraussetzung dafür ist, dass die Geometrie der beiden Zahnräder als tesselierte CAD-Daten vorliegen, d.h. im VRML- oder STL-Format. In diesen Formaten werden die komplexen Flächen durch kleine ebene Dreiecksflächen angenähert. Durch die Berechnung erfolgt eine Einfärbung dieser Dreiecksflächen, auch Facetten genannt. Die Ausgabe erfolgt in VRML-Dateien, die mit kostenlosen Viewern oder in CAD-Programmen dargestellt werden können.

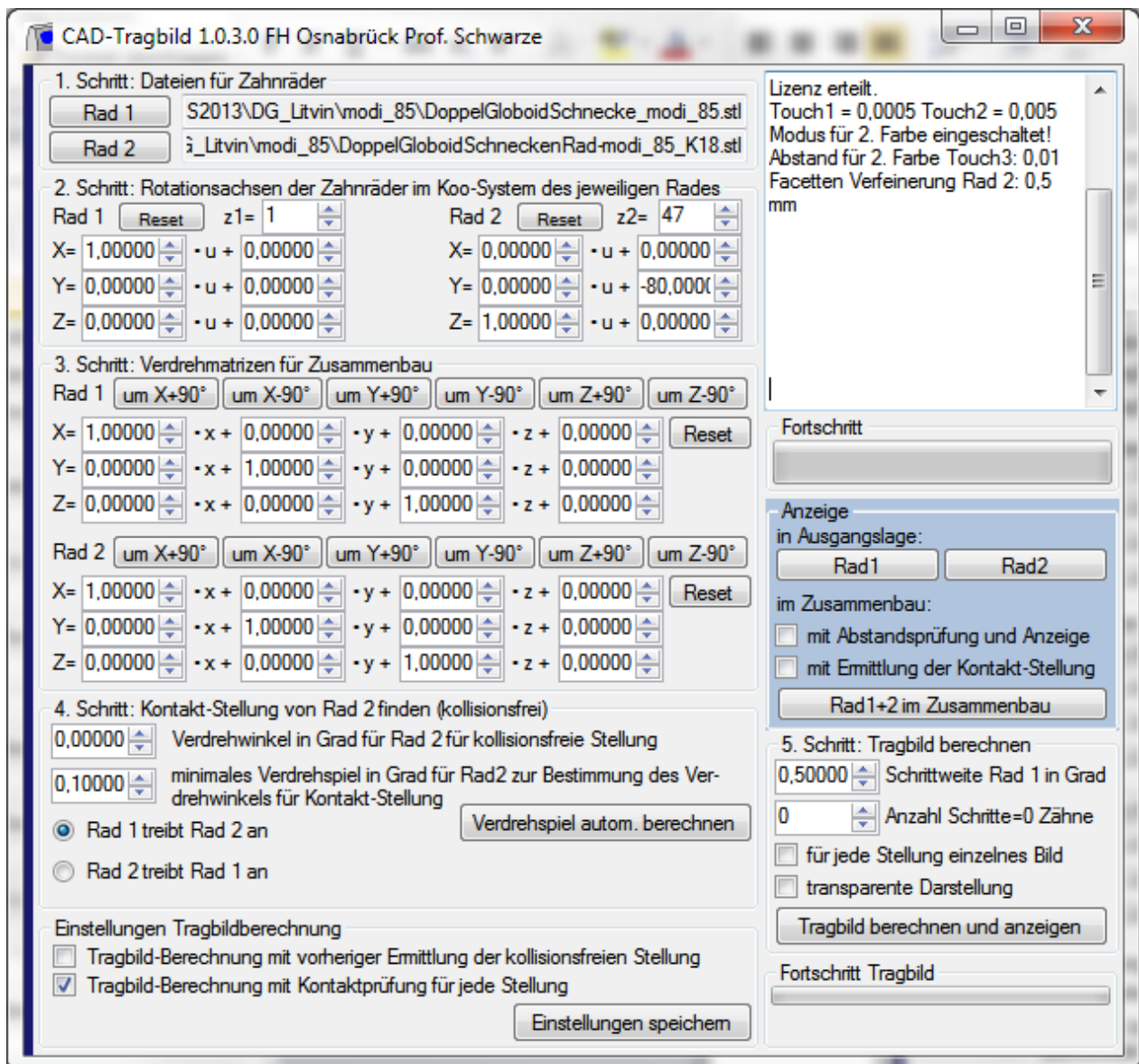
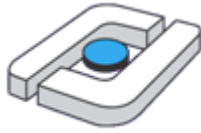


Bild 2: Oberfläche des Programms CAD-Tragbild

1. Installation

Alle Dateien müssen entweder auf der lokalen Festplatte oder im Netzwerk in einem Ordner abgelegt werden. In der Datei "TragbildConf.txt" können folgende Einstellungen vorgenommen werden:

```
#Konfigurationsdatei zum Programm Tragbild
```



Anleitung Programm CAD-Tragbild

Hochschule Osnabrück
Prof. Dr.-Ing. B. Schwarze
21.10.2013

Seite
Page

3 / 12

```
VrmlViewer=C:\Programme\vrmlview\vrmlview.exe  
Resolution=100000000  
Touch1=0.002  
Touch2=0.015  
Touch3=0.030
```

In der Zeile "VrmlViewer" kann der Pfad für eine Anzeigeprogramm für die VRML-Dateien angegeben werden.

Der Wert "Resolution" gibt an, wie groß die maximale Kantenlänge einer Dreiecksfläche (Facette) sein darf. Überschreitet eine Dreiecksfläche in den Eingabedaten diese Länge, so wird sie in mehrere kleinere Facetten zerlegt. Dadurch kann man die Darstellungsauflösung für nur Flächen, die nur in einer Richtung gekrümmt sind verbessern, allerdings erhöht sich dadurch die Rechenzeit. Diese Option macht eigentlich nur bei geradflankigen Zahnrädern Sinn, weil sich die Facetten über die gesamte Breite erstrecken. Ist der Wert größer oder gleich 10^8 so erfolgt keine Verfeinerung der Dreiecksflächen. Es ist auch möglich für Rad 1 und Rad 2 unterschiedliche Verfeinerungen zu definieren, dann muss man beispielsweise Folgendes eingeben:

```
Resolution1=3  
Resolution2=0.5
```

Der Wert "Touch1" gibt an, wie nah zwei Flanken einander kommen müssen, damit von einer sogenannten Kontaktstellung sprechen kann (siehe 3.)

Der Wert "Touch2" stellt die Dicke der Tuschiepaste dar. Das heißt, dass alle Facetten, die näher liegen als blaue Berührflächen markiert werden.

Der Wert "Touch3" ermöglicht in einer zweiten Farbe das Tragbild für einen größeren Abstand als "Touch2". Das heißt, dass alle Facetten, die einen kleineren Abstand als "Touch2" aufweisen, aber kleiner als "Touch3" als grüne Berührflächen markiert werden. Ist der Wert kleiner als "Touch2" oder 0, dann wird die zweite Farbe nicht verwendet.

In der Datei "Matrix.txt" werden alle Zahleneingaben aus der Oberfläche bei jedem Verlassen gespeichert und wenn man den Knopf "Einstellungen speichern" drückt. Diese Datei kann auch für spätere Aufrufe oder den Batch-Betrieb archiviert werden. Wenn keine existiert, wird eine neue Datei mit Voreinstellungen erstellt.

2. Start des Programms

Der Start des Programms erfolgt über die EXE-Datei.



Anleitung Programm CAD-Tragbild

Hochschule Osnabrück
Prof. Dr.-Ing. B. Schwarze
21.10.2013

Seite
Page

4 / 12

3. Vorgehensweise

Alle Eingaben werden beim Verlassen des Programms in der Datei Matrix.txt gespeichert und beim erneuten Start des Programms wieder eingelesen, so dass keine Mehrfacheingaben nötig sind.

3.1. Schritt 1: CAD-Daten zuweisen

Durch klicken auf die Knöpfe "Rad 1" und "Rad 2" kann man die entsprechenden CAD-Dateien auswählen. In der TextBox erscheint der komplette Pfad.

1. Schritt: Dateien für Zahnräder	
Rad 1	C:\schwarze\V5\Programme\Tragbild\Schnecke.stl
Rad 2	C:\schwarze\V5\Programme\Tragbild\Schneckenrad.stl

Bild 3: Eingabedateien

Die Daten können den kompletten Radkörper enthalten oder nur die relevanten Teile davon. Oft bietet es sich an, überflüssige Bereiche auszuschneiden, um Rechenzeit zu sparen. Es kann aber auch nur mit der Flankenfläche gearbeitet werden.

3.2. Schritt 2: Rotationsachse und Zähnezahlen definieren

2. Schritt: Rotationsachsen der Zahnräder im Koo-System des jeweiligen Rades							
Rad 1		Reset	z1=	Rad 2		Reset	z2=
X=	0,00000	• u +	0,00000	X=	1,00000	• u +	0,00000
Y=	0,00000	• u +	0,00000	Y=	0,00000	• u +	325,000
Z=	1,00000	• u +	0,00000	Z=	0,00000	• u +	0,00000

Bild 4: Eingabe der Rotationsachsen

Für Rad 1 und 2 müssen jeweils ein Richtungsvektor (1. Spalte) und ein Punkt auf der Achse (2. Spalte) angegeben werden. Beim Drücken auf Reset wird die x-Achse als Rotationsachse eingetragen. Dabei beziehen sich die Werte auf das Koordinatensystem des jeweiligen Zahnrades, nicht auf den Zusammenbau. In die Felder z1 und z2 sind die jeweiligen Zähnezahlen einzutragen.



Anleitung Programm CAD-Tragbild

Hochschule Osnabrück
Prof. Dr.-Ing. B. Schwarze
21.10.2013

Seite
Page

5 / 12

3.3. Schritt 3: Verdrehmatrizen für die Lage im Raum definieren

Bild 5: Verdrehmatrizen für den Zusammenbau der Zahnräder

Die ersten 3 Spalten stellen die Matrix zum Verdrehen der Zahnräder im Zusammenbau dar, die letzte Spalte den Verschiebungsvektor. Manche CAD-Systeme sind in der Lage diese Matrix auszugeben, so dass die Felder damit gefüllt werden können. In der Regel sind die CAD-Daten der Zahnräder zu den Achsen ausgerichtet, so dass eine 90°-Drehung um eine oder mehrere Achsen zu der gewünschten Position führt. Mit den Knöpfen oberhalb können diese Drehungen um die Achsen des Zusammenbaus ausgeführt werden (positiv und negativ nach Rechter-Hand-Regel). "Reset" setzt das Achsensystem des Zahnrades auf das Achsensystems des Zusammenbaus.

Um den Zusammenbau zu prüfen, kann der Knopf "Rad 1+2 im Zusammenbau" gedrückt werden. Wenn ein VRML-Viewer in der Konfigurationsdatei angegeben wurde, erfolgt eine Visualisierung (siehe Ausgabedateien).

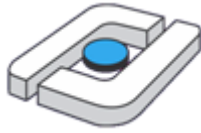
3.4. Schritt 4: Kontakt-Stellung finden

Bild 6: Eingabefelder zur Ermittlung der Kontakt-Stellung

Kurzanleitung: In das obere Feld 0° eingeben, in das untere Feld 0,1° und den Knopf "Verdrehspiel automatisch berechnen" drücken. Das sollte immer zu einer Kontaktstellung führen, solange kein Klemmen zwischen den Zahnrädern auftritt.

Hier die Erklärung für das Vorgehen:

Bevor ein Tragbild berechnet werden kann, muss das Rad 2 in eine kollisionsfreie Stellung gedreht werden. Für eine automatische Ermittlung muss das minimale Verdrehflankenspiel von Rad 2 ungefähr bekannt sein. Im Zweifelsfall etwas kleinere Werte angeben. Der Knopf "Kontaktstellung berechnen" startet folgenden Ablauf:



Anleitung Programm CAD-Tragbild

Hochschule Osnabrück
Prof. Dr.-Ing. B. Schwarze
21.10.2013

Seite
Page

6 / 12

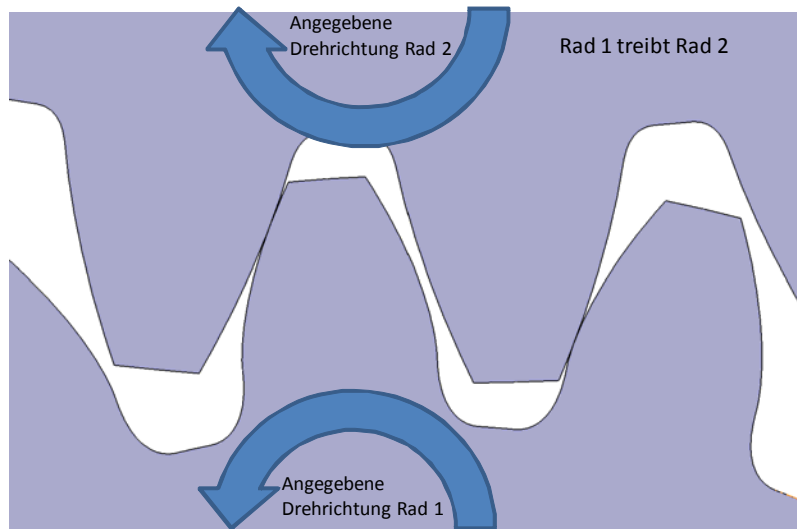


Bild 7: Kontaktstellung Rad 1 treibt Rad 2

Fall Rad 1 treibt Rad 2:

Rad 2 wird in der in Schritt 2 angegebenen Drehrichtung um den Winkel des minimalen Verdrehflankenspiels gedreht und der Abstand zwischen Rad 1 und Rad 2 berechnet. Beträgt der Abstand 0, wird weiter gedreht, solange bis der Abstand > 0 ist. Ist eine solche Position gefunden, wird Rad 2 entgegengesetzt zur angegebenen Drehrichtung in sehr kleinen Schritten solange gedreht, bis die Flanken einen kleineren Abstand als in der Konfigurationsdatei mit "Touch1" angegeben. Ist dies erreicht, wird der Winkel in das Eingabefeld "Verdrehwinkel für Rad 2" eingetragen. Um diesen Vorgang zu beschleunigen, kann man zu Beginn auch schon einen Winkel eintragen, der kurz vor der Kontaktstellung liegt. Eine Visualisierung kann wieder über den Knopf "Rad 1+2 im Zusammenbau" erfolgen. Dabei wird das Rad2 um den dort eingetragenen Winkel gedreht dargestellt.

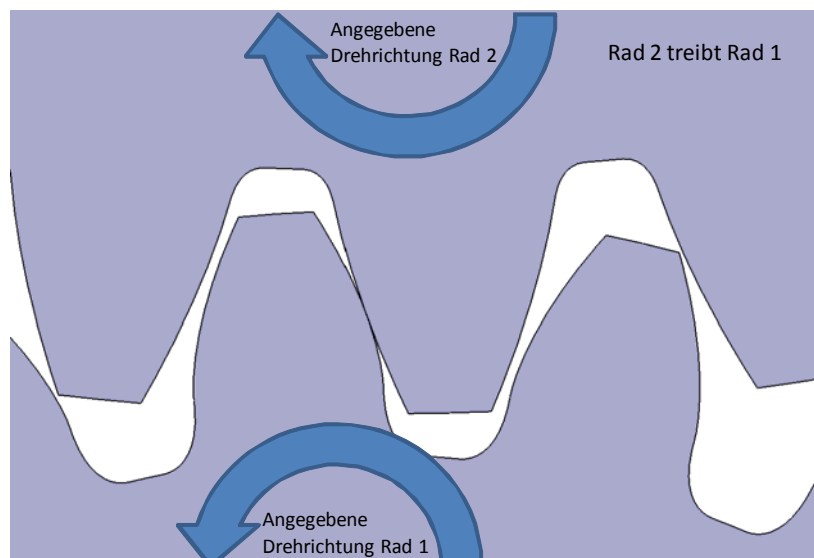
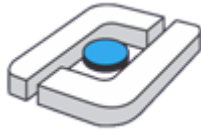


Bild 8: Kontaktstellung Rad 2 treibt Rad 1



Fall Rad 2 treibt Rad 1:

Der Ablauf ist identisch, nur dass zunächst entgegen der angegebenen Drehrichtung Rad 2 verdreht wird, bis der Abstand > 0 ist, dann wird in der angegebenen Drehrichtung die Kontaktstellung gesucht.

Der Knopf "Verdrehspiel autom. berechnen" führt dasselbe aus, nur, dass in dem Fall, dass keine kollisionsfreie Stellung gefunden wird, das Verdrehspiel reduziert wird und erneut eine Stellung gesucht wird. Wenn das Verdrehspiel kleiner als $0,0001^\circ$ wird, bricht der Vorgang ab. Sobald eine kollisionsfreie Stellung gefunden wird, erfolgt eine Ermittlung des Verdrehspiels durch eine Drehung des Rades bis die Gegenflanke anliegt. Dadurch kann das Verdrehspiel aus der Differenz der Winkel berechnet werden. Dieses Vorgehen ist dann zu empfehlen, wenn das Verdrehspiel nicht bekannt ist. Allerdings kann der Vorgang insbesondere bei sehr kleinem Verdrehspiel einige Zeit in Anspruch nehmen.

3.5. Schritt 5: Tragbild berechnen

The screenshot shows a software window with the following elements:

- Left Panel:**
 - Two spinners for angles: "0,00000" (Verdrehwinkel in Grad für Rad 2 für kollisionsfreie Stellung) and "0,10000" (minimales Verdrehspiel in Grad für Rad2 zur Bestimmung des Verdrehwinkels für Kontakt-Stellung).
 - Two radio buttons: "Rad 1 treibt Rad 2 an" (selected) and "Rad 2 treibt Rad 1 an".
 - A button: "Verdrehspiel autom. berechnen".
 - Section: "Einstellungen Tragbildberechnung".
 - Two checkboxes: "Tragbild-Berechnung mit vorheriger Ermittlung der kollisionsfreien Stellung" (unchecked) and "Tragbild-Berechnung mit Kontaktprüfung für jede Stellung" (checked).
 - A button: "Einstellungen speichern".
- Right Panel:**
 - Section: "5. Schritt: Tragbild berechnen".
 - A spinner: "0,50000" (Schrittweite Rad 1 in Grad).
 - A spinner: "0" (Anzahl Schritte=0 Zähne).
 - Two checkboxes: "für jede Stellung einzelnes Bild" (unchecked) and "transparente Darstellung" (unchecked).
 - A button: "Tragbild berechnen und anzeigen".
 - Section: "Fortschritt Tragbild" with a progress bar.

Bild 9: Einstellungen für die Tragbildberechnung

Wenn die Kontakt-Stellung ermittelt wurde, dann die Tragbildberechnung beginnen. Dafür wird eine Schrittweite in Grad für die Drehung von Rad 1 vorgegeben und die Anzahl der Schritte. Für jeden weiteren Schritt werden Rad 1 und Rad 2 entsprechend der eingegebenen Zähnezahlen weitergedreht und die Berührflächen berechnet, die unterhalb des Wertes "Touch2" in der Konfigurationsdatei sind. Die Ermittlung dieser Berührflächen erfolgt nach Bild 10:

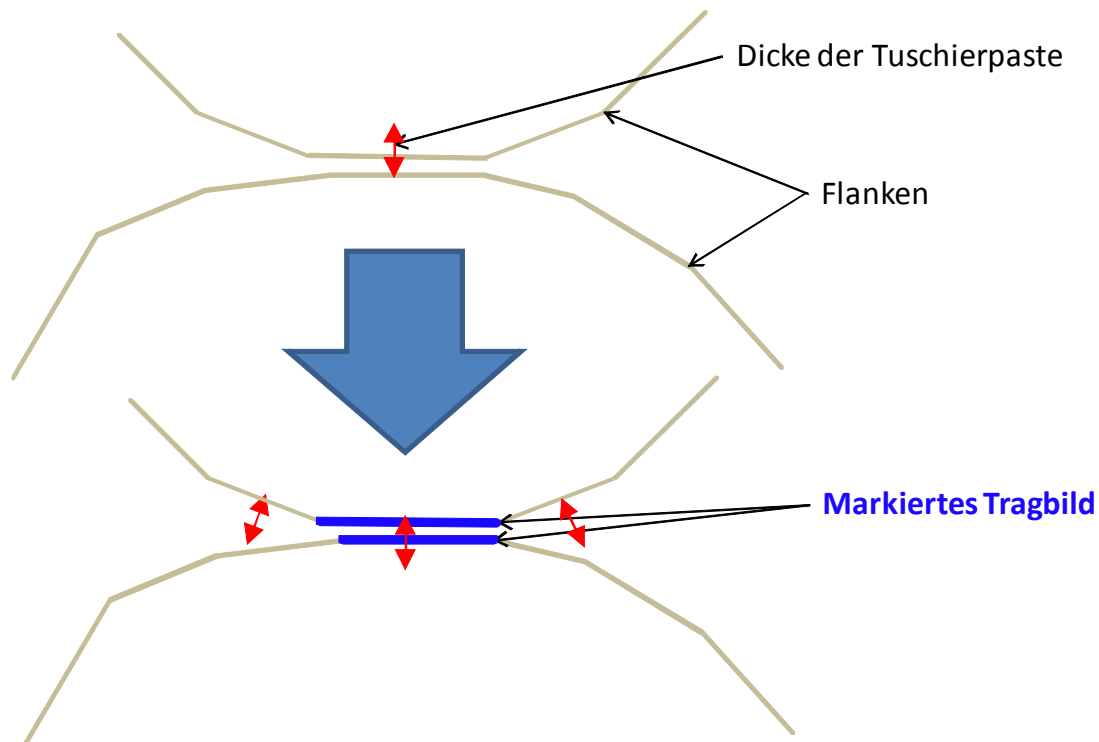
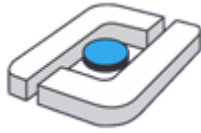


Bild 10: Ermittlung der berührenden Facetten

Die grauen Linien stellen einen Schnitt durch die Dreiecksflächen dar. In der Mitte der Facette wird eine Normale errichtet, mit der Länge "Touch2". Berührt diese Linie die Gegenflanke, liegt eine Berührung vor.

Es ist auch möglich nur für eine Position ein Berührbild zu berechnen. Dazu muss man in das Feld "Anzahl Schritte" den Wert -1 eintragen. In das darüber liegende Feld ist dann die Winkelposition von Rad 1 einzugeben. Die Winkelposition von Rad 2 wird nicht automatisch bestimmt, sondern aus dem Feld "Verdrehwinkel für Rad 2" verwendet.

Wenn die Checkbox "Tragbild-Berechnung mit Kontaktprüfung für jede Stellung" eingeschaltet ist, wird bei jedem Schritt geprüft, ob der Abstand der Flanken noch unter dem Wert "Touch1" aber über 0 liegt. Ist dies nicht der Fall, weil die Flankengeometrie nicht exakt das Übersetzungsverhältnis einhält, wird die Stellung von Rad 2 korrigiert. Dadurch wird quasi eine Einflankenwälzprüfung simuliert. Nur dadurch kann man gewährleisten, dass das berechnete Tragbild mit der Realität übereinstimmt. Natürlich kann es auch durch die Tesselierung (Vereinfachung durch Dreiecksflächen) zu kleineren Abweichungen kommen, je nachdem mit welcher Genauigkeit man die Eingabedaten (STL/VRML) erzeugt hat.

Bei betätigter Checkbox "Tragbild-Berechnung mit vorheriger Ermittlung der kollisionsfreien Stellung" kann vor der Tragbild-Ermittlung die Kontaktstellung berechnet werden (siehe 3.4).

Bei betätigter Checkbox „für jede Stellung einzelnes Bild“, werden die Traganteile nicht aufsummiert, sondern für jede Stellung in einer separaten Datei abgespeichert.



Anleitung Programm CAD-Tragbild

Hochschule Osnabrück
Prof. Dr.-Ing. B. Schwarze
21.10.2013

Seite
Page

9 / 12

Bei eingeschalteter Checkbox „transparente Darstellung“ werden in den VRML-Dateien (*.wrl) die Zahnräder transparent angezeigt. Anmerkung: Catia unterstützt leider diesen Anzeigemodus nicht! Die Zahnräder werden dann in Catia nicht transparent dargestellt.

3.6. Anzeige und Ausgabedateien

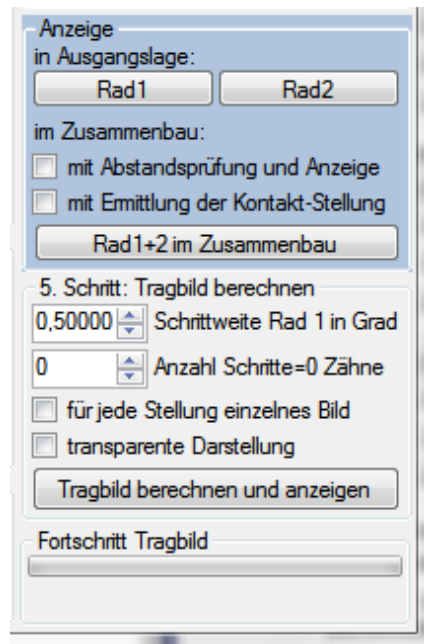


Bild 11: Anzeige-Möglichkeiten

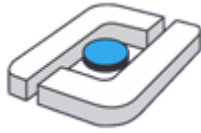
Alle Ausgaben erfolgen in VRML-Dateien. Diese Dateien haben denselben Namen, wie die zugehörige Protokolldatei, ergänzt um einige Anhänge:

Tragbild_Prot_NAME_DATUM-UHRZEIT.txt	Protokoll-Datei
Tragbild_CAD-Daten-NUR_Rad1_NAME_DATUM-UHRZEIT.wrl	Rad1-Eingabedaten
Tragbild_CAD-Daten-NUR_Rad2_NAME_DATUM-UHRZEIT.wrl	Rad2-Eingabedaten
Tragbild_CAD-Daten-ZSB_Rad1_NAME_DATUM-UHRZEIT.wrl	Zusammenbau nur Rad 1 dargestellt
Tragbild_CAD-Daten-ZSB_Rad2_NAME_DATUM-UHRZEIT.wrl	Zusammenbau nur Rad 2 dargestellt
Tragbild_CAD-Daten-ZSB_NAME_DATUM-UHRZEIT.wrl	Zusammenbau Rad 1 und 2 dargestellt

Der Knopf "Rad1" bzw. "Rad2" erzeugt die Dateien mit den Eingabegeometrien ergänzt um die Achsensysteme und Rotationsachsen (doppelte Pfeilspitze).

Der Knopf "Rad 1+2 im Zusammenbau" erzeugt 3 Dateien, einmal nur mit Rad 1 oder 2 oder beiden.

Diese Dateien werden immer wieder überschrieben, bis eine neue Sitzung gestartet wird.



Anleitung Programm CAD-Tragbild

Hochschule Osnabrück
Prof. Dr.-Ing. B. Schwarze
21.10.2013

Seite
Page

10 / 12

Wenn die Checkbox "mit Abstandsprüfung und Anzeige" angehakt ist, wird der Abstand zwischen den Rädern berechnet und alle Bereiche mit roten Punkten markiert, wo eine Kollision vorliegt.

Die eingeschaltete Checkbox "mit Ermittlung der Kontakt-Stellung" bewirkt, dass vor der Darstellung die Kontaktstellung (siehe 3.4) berechnet wird.

Bei betätigter Checkbox „für jede Stellung einzelnes Bild“, werden die Traganteile nicht aufsummiert, sondern für jede Stellung in einer separaten Datei abgespeichert.

Bei eingeschalteter Checkbox „transparente Darstellung“ werden in den VRML-Dateien (*.wrl) die Zahnräder transparent angezeigt. Anmerkung: Catia unterstützt leider diesen Anzeigemodus nicht! Die Zahnräder werden dann in Catia nicht transparent dargestellt.

In der Protokolldatei wird am Ende der Tragbildberechnung der Winkelfehler der Einflankenwälzprüfung ausgegeben, wenn die Checkbox "mit Abstandsprüfung und Anzeige" eingeschaltet ist. Dabei sind die einzelnen Werte mit Tab's getrennt, so dass über Kopieren/Einfügen die Werte ins Excel übernommen werden können. Beispiel:

```
Einflankenwälzprüfung: Phi1 abs., Phi2 abs., Phi2 rel., Phi2 Soll rel., Phi2 Soll rel. - Phi2  
rel.  
0      11,145 0      0      0  
0,5    11,655 0,5099993 0,5    -0,0099999275  
1      12,161 1,015999 1      -0,01599884  
1,5    12,669 1,523998 1,5    -0,02399826  
2      13,177 2,031998 2      -0,03199768  
2,5    13,683 2,537997 2,5    -0,03799725  
3      14,187 3,041997 3      -0,04199696  
3,5    14,691 3,545997 3,5    -0,04599667  
4      15,195 4,049996 4      -0,04999638  
4,5    15,695 4,549996 4,5    -0,04999638  
5      16,199 5,053997 5      -0,05399704  
5,5    16,701 5,555998 5,5    -0,05599785  
6      17,201 6,055998 6      -0,05599785  
6,5    17,699 6,553997 6,5    -0,05399704  
7      18,199 7,053997 7      -0,05399704  
7,5    18,697 7,551996 7,5    -0,05199623
```

Der erste Wert (Phi1 abs.) ist der Verdrehwinkel des Rades 1, der zweite Wert (Phi2 abs.) der Verdrehwinkel des Rades 2 und der letzte Wert stellt die Abweichung des Verdrehwinkels (Winkelfehler) des Rades 2 von dem Wert dar, der sich aus der Übersetzung ergibt. Trägt man diese Abweichung über dem Verdrehwinkel des Rades 1 auf, ergibt sich folgendes Diagramm:

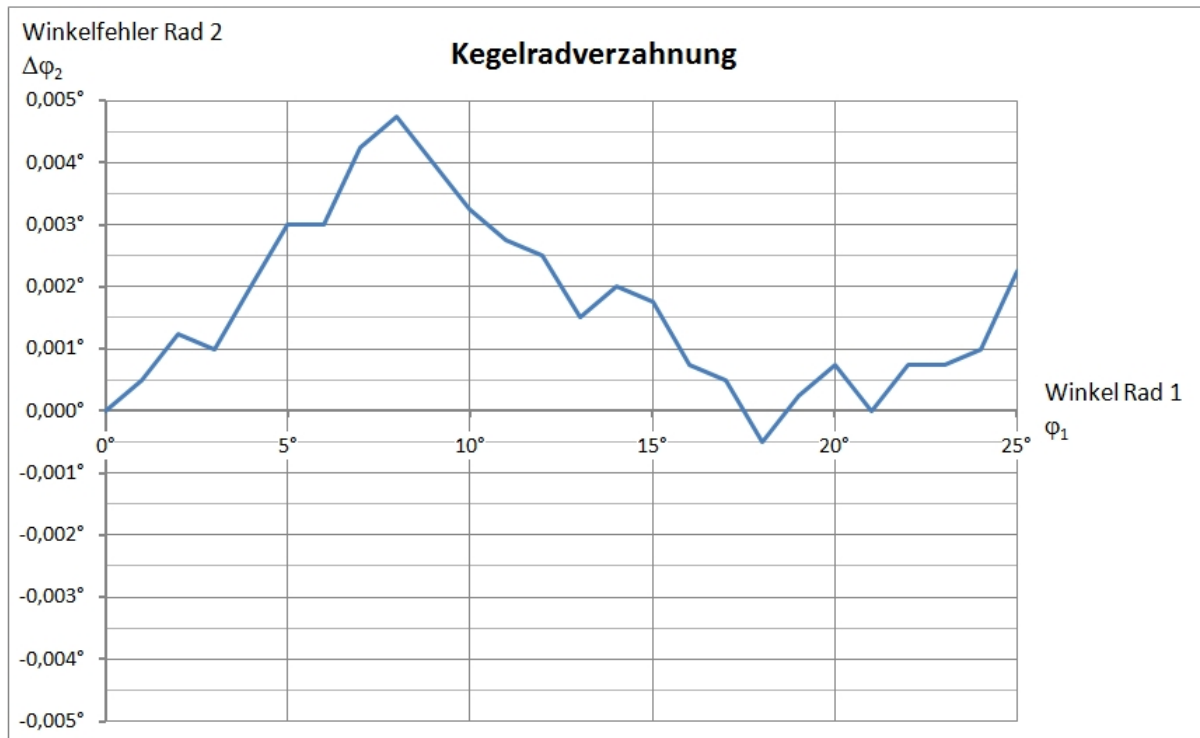


Bild 12: Winkelfehler der Einflankenwälzprüfung in Excel dargestellt.

3.7 Batch-Betrieb

Das Programm kann auch direkt von der Kommando-Zeile aus gestartet werden. Dazu muss man als Parameter den Namen der Matrix-Datei angeben, in der die Eingabeinformationen stehen. Der Name muss in Anführungszeichen stehen. Dahinter werden Buchstaben verwendet um die gewünschte Aktion zu starten:

T : Tragbildanalyse starten (muss immer vorkommen)
 E : Ermittlung der Kontaktstellung vor der Tragbildanalyse
 K : Prüfung der Kontaktstellung während der Tragbildanalyse
 V : Ermittlung des Verdrehspiels und der Kontaktstellung vor der Tragbildanalyse

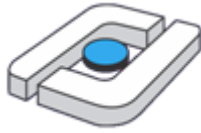
Mögliche Varianten:

T
 TE
 TK
 TKE
 TKV

Beispiele:

tragbild.exe "Matrix1.txt" TKE

oder



Anleitung Programm CAD-Tragbild

Hochschule Osnabrück
Prof. Dr.-Ing. B. Schwarze
21.10.2013

Seite
Page

12 / 12

tragbild "c:\temp\Matrix_Schnecke.txt" TK

4. Tipps und Hinweise

Vor dem Start der Tragbildberechnung sollte immer mit dem Knopf "Verdrehspiel automatisch ermitteln" die richtige Kontakt-Stellung und das Spiel berechnet werden. Das stellt sicher, dass zumindest in der Ausgangsstellung Spiel vorliegt und die Flanken Kontakt haben.

Kommt es dann während der Tragbildberechnung zu langen Rechenzeiten, wegen großer Korrekturen aufgrund von Kollision, kann das daran liegen, dass in diesen Stellungen kein Spiel vorliegt, beziehungsweise eventuell Kollisionen in Bereichen stattfinden, die gar nicht im Flankeneingriff liegen, also z.B. am Kopf-/Fußkreis.

Wenn das Programm nach längerer Suche keine kollisionsfreie Stellung ermitteln konnte erfolgt ein Abbruch.

Die Verwendung von kleinen Werten für die Einstellung "Resolution" in der Datei "TragbildConf.txt" kann zu deutlich längeren Rechenzeiten führen. Deswegen kann es Sinn machen, zunächst ein Tragbild mit großem Wert ($\geq 10^8$, was eine Verfeinerung ausschaltet) zu berechnen. Wenn das problemlos ausgeführt wurde, kann man kleinere Werte einstellen und das Tragbild verfeinern.

Ermittlung der Kontaktstellung/Verdrehspiel:

Wenn man den Winkel für Rad 2 kennt, bei dem eine kollisionsfreie Stellung vorliegt, sollte man diesen Winkel im Feld "Verdrehwinkel in Grad für Rad2" eintragen, damit die Ermittlung schneller geht.

Wenn die Größe des Verdrehspiels von Rad 2 bekannt ist, sollte dieser in dem Feld "minimales Verdrehspiel in Grad für Rad 2" eingetragen werden, dann kann die Kontaktstellung über den Knopf "Kontaktstellung berechnen" ermittelt werden.

Ist das Verdrehspiel nicht bekannt, muss der Knopf "Verdrehspiel automatisch berechnen" verwendet werden.