

Modellierung von Zahnradern in CATIA V5

in <http://whz-cms-10.zw.fh-zwickau.de/wk/catia-verzahng.htm>.

Zweck der erstellten Modelle ist die grafische Darstellung von Verzahnungen für den Maschinenbau und die Feinwerktechnik in CATIA V5. Wie im Normalfall erforderlich, werden Zahnradpaare modelliert und zueinander positioniert. Das erfolgt in den Stirnradmodellen mittels berechneter Achsabstände. Diese aufwändigere Modellierung soll auch das schnellere Anpassen mehrerer Zahnradpaare in Schaltgetrieben mittels Profilverchiebungen erleichtern.

Im Unterschied zu den von Prof. Schwarze ohne Lizenzschlüssel mit nur einem Werkzeugbezugsprofil und einem Fußrundungsradius einfach zu erstellenden Einzelrädern (<http://www.ecs.hs-osnabrueck.de/zahnrad.html>) sind in den hier vorgestellten Modellen alle Varianten möglich und einige Werkzeugbezugsprofile für die Fertigbearbeitung zur Auswahl als Parameter enthalten.

1 Normen

Berücksichtigt sind die im Februar 2012 gültigen Normen. Auf ISO habe ich im Moment keinen Zugriff.

- DIN 867 vom Febr. 1986
Bezugsprofile für Evolventenverzahnungen an Stirnrädern (Zylinderrädern) für den allgemeinen Maschinenbau und den Schwermaschinenbau

Anwendungsbereich vorwiegend für Stirnräder nach DIN 3969 mit Moduln $m_n = 1$ mm bis 70 mm.
„Für Verzahnungen der Feinwerktechnik (Moduln 0,1 mm bis 1 mm) wird vorzugsweise das Bezugsprofil nach DIN 58400 angewendet.“

Kopfspiel $c_P = (0,1 \dots 0,4) \cdot m$
„In ISO 53 – 1974 ist nur das Wertepaar $c_P = 0,25 \cdot m$ und $\rho_{fP} = 0,38 \cdot m$ angegeben.“
- DIN 3960 vom März 1987
Begriffe und Bestimmungsgrößen für Stirnräder (Zylinderräder) und Stirnradpaare (Zylinderadpaare) mit Evolventenverzahnung
- DIN 3971 vom Juli 1980
Begriffe und Bestimmungsgrößen für Kegelräder und Kegelradpaare
- DIN 3972 vom Febr. 1952
Bezugsprofile von Verzahnwerkzeugen für Evolventenverzahnungen nach DIN 867
Bezugsprofile I und II für Fertigbearbeitung (auswählbar über Parameter im Eingabesteuerteil der CATIA-Modelle) sowie III und IV für die Vorbearbeitung
- DIN 58400 vom Juni 1984
Bezugsprofil für Evolventenverzahnungen an Stirnrädern für die Feinwerktechnik
- DIN 58405, Blatt 1 vom Mai 1972

Stirnradgetriebe der Feinwerktechnik – Geltungsbereich, Begriffe, Bestimmungsgrößen, Einteilung

DIN 58405 ist zwar aktuell nicht als zurückgezogen deklariert, aber u. a. wegen überholter Kurzzeichen nicht sinnvoll.

- DIN 58412 vom Nov. 1987

Bezugsprofile für Verzahnwerkzeuge der Feinwerktechnik – Evolventenverzahnungen nach DIN 58400 und DIN 867

4 Werkzeugbezugsprofile für die Fertigbearbeitung und 2 für die Vorbearbeitung. In den CATIA-Modellen für die Feinwerktechnik sind die Werkzeugbezugsprofile U1 und N1 berücksichtigt.

2 Vorbemerkungen zu den Modellen

Die Baugruppen der Zahnradpaare wurden ursprünglich mit R17 modelliert. Korrekturen und Verbesserungen an den Modellen nach 2012 wurden mit R19 durchgeführt, weil R17 nicht mehr installiert ist. Auf Anfrage könnten die älteren R17-Modelle zur Verfügung gestellt werden.

Für die **Stirnradstufen** wurde im Eingaben-Steuerteil der durch Iteration berechnete Achsabstand mit dem blau gekennzeichneten Term zur manuellen Anpassung versehen und auf 100stel-Millimeter aufgerundet.

$$\{\text{Achsabstand_gewaehlt}(\dots) = \text{ceil}((a_ca\text{Achsabstand_Iteration} + 0.005 * m) / 1\text{mm} * 100) / 100 * 1\text{mm}\}$$

Maßgeblich für die Zahnform sind die Herstellverfahren. Zahnräder mit sehr kleinen Zähnezahlen ohne Unterschnitt können nur mit Formwerkzeugen hergestellt werden, wie Formfräsern sowie Spritzgieß- oder Feinschneidwerkzeugen, deren Verzahnungsgeometrie durch Drahterodieren erzeugt wurde.

Das Zahnlückenprofil wird bei mit Wälzverfahren hergestellten Stirnrädern durch Ausschneiden des Erzeugungsprofils (Zahnkamm) aus einer schrittweise verschobenen und verdrehten Fläche (repräsentiert Zahnrad) erzeugt. Die aus den Schnitten entstehende Kontur der Zahnflanke und des Zahngrundes wird mit dem Befehl *Kurvenglättung/ Curve Smooth* geglättet.

Kegelräder haben je nach Fertigungsverfahren unterschiedliche Zahnlückenprofile. Die genaueste Zahngeometrie mittels Wälzverfahren verzahnter Kegelräder ergibt sich, wenn mit einem Planrad-„Werkzeugzahn“ die Zahnlücken erzeugt werden. Allerdings sind die Dateien recht groß und das Aktualisieren nach Parameteränderung dauert recht lange, weil im Interesse möglichst änderungsrobuster Modelle nicht immer die einfachste CATIA-Modellierung genutzt werden konnte. Wegen der größeren Zahnformabweichungen werden die früher veröffentlichten, grob angenäherten Kegelradmodelle trotz der wesentlich kleineren Dateigrößen nicht mehr angeboten.

[Für NX wurden mit der Dissertation http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2013/9177/pdf/-DortFlorian_2013_01_16.pdf mathematische Grundlagen für die Flankenpunkte bereitgestellt, aus denen Flankenflächen und die Bearbeitungsparameter erzeugt werden können.]

Die Kegelradmodelle sind (weitgehend) erprobt worden für Zähnezahlen von 10 bis 100, Übersetzungen bis 4 (5), Schrägungswinkel bis 45°, Achsenwinkel zwischen 45° und 135°, maximale

Zahnbreiten bis $0,4 \cdot R_m$ und Werkzeugbezugsprofil II nach DIN 3972 für den Maschinenbau bzw. Werkzeugbezugsprofil U1 nach DIN 58412 für die Feinwerktechnik.

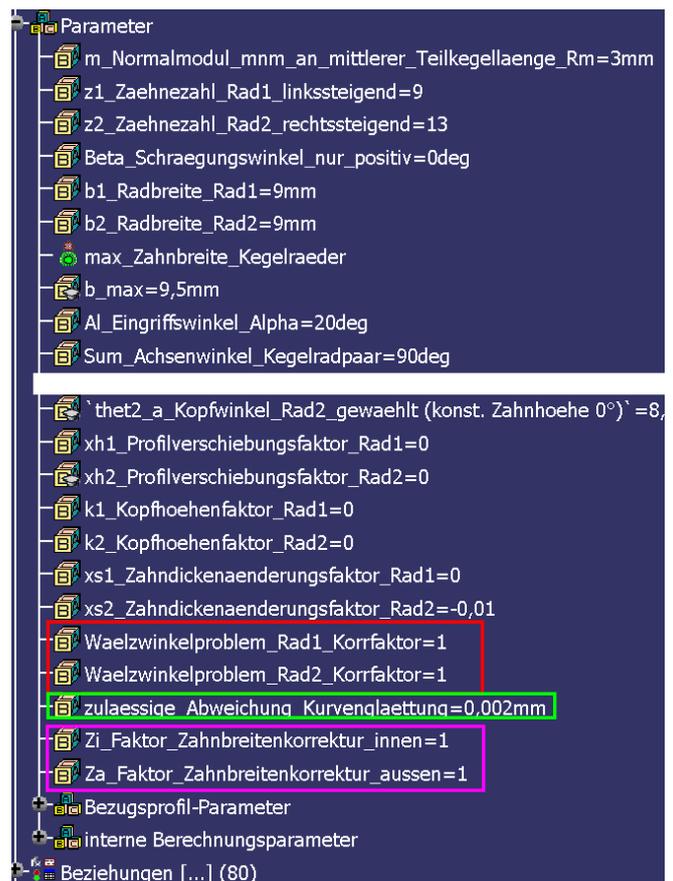
Die Subtraktion von Volumina ist zwar sehr robust, trotzdem kann es Konstellationen geben, wo es beim „Abwälzen“ zu Problemen kommt. Mit einer geringfügigen Änderung der Wälzwinkel konnte ich die Probleme bisher umgehen. Dazu ist im Steuerteil der „Waelzwinkelproblem_Rad1/2_Korrfaktor“ von 1 auf 1,05 oder 0,95 zu setzen. Sollte jemand ein weiteres Problem erkennen, erbitte ich eine Information, damit ich eventuell Modellmodifikationen vornehmen kann.

Bild 1: Eingabe-Steuerteil Kegelräder

Damit das Glätten der „geschnittenen“ Zahnlücke nicht zu grob erfolgt, wird die Geometrie im Maßstab $M = 40/\text{Modul}$ erzeugt und erst am Ende auf die reale Größe skaliert. Sollten in Ausnahmefällen dennoch Glättungsprobleme auftreten, muss ggf. im Steuerteil die zulässige Abweichung für das Glätten modifiziert werden.

Nur bei sehr großen Zahnbreiten, Schrägungswinkeln und Übersetzungen kann es notwendig sein, die Zahnbreiten mittels der Faktoren zur Zahnbreitenkorrektur im Steuerteil anzupassen.

Wegen der kleinen Ausrundungsradien und der Fase im Zahngrund der Feinwerktechnikverzahnung wird der Zahngrund bei 20 Schnitten pro Zahnflanke meist nicht ganz sauber geglättet. Eine größere Anzahl von Schnitten hätte aber zu noch größeren Dateien geführt.



3 Voreinstellungen

Unter Tools → Optionen/*Options* sind folgende Voreinstellungen erforderlich, wenn mit den Modellen effektiv gearbeitet werden soll.

- Parameter im Baum anzeigen, damit auch ohne Öffnen des Formeleditors die Parameter eingesehen und modifiziert werden können.
Beziehungen im Baum anzeigen, weil in diesem Ordner ein Teil der Prüfungen/*Checks* sowie Regeln/*Rules* und Reaktionen/*Reactions* abgelegt ist.

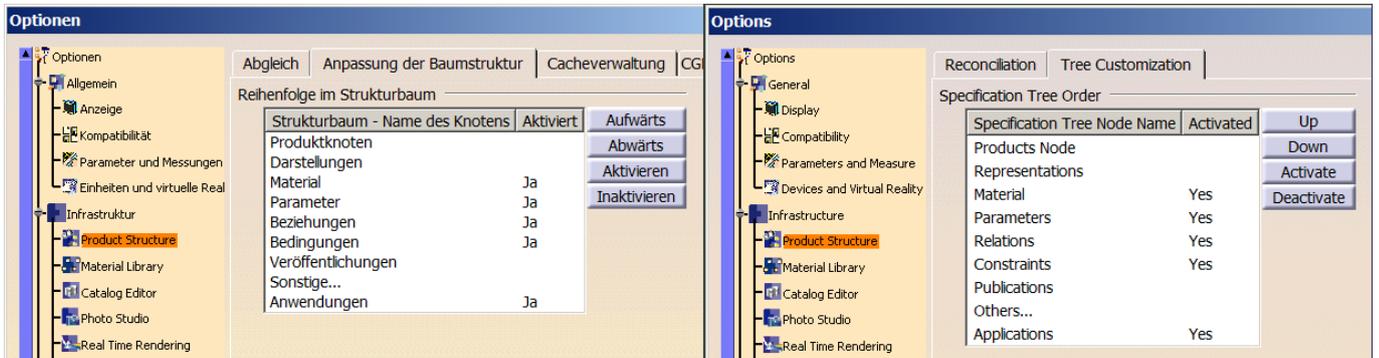


Bild 2: Optionen Baumstruktur

- Parameteranzeige mindestens „Mit Wert/*With Value*“, eventuell auch „Mit Formel/*With Formula*“, weil in den Modellen die Formeln verdeckt sind.

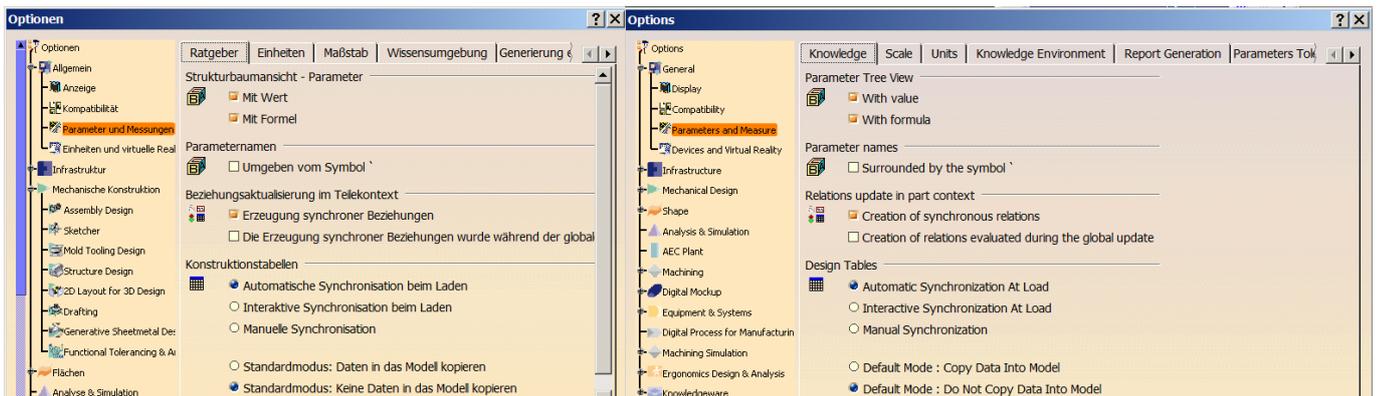


Bild 3: Optionen Parameteranzeige im Strukturbaum

- Das automatische Aktualisieren der Geometrieberechnung sollte besser nicht gewählt werden.

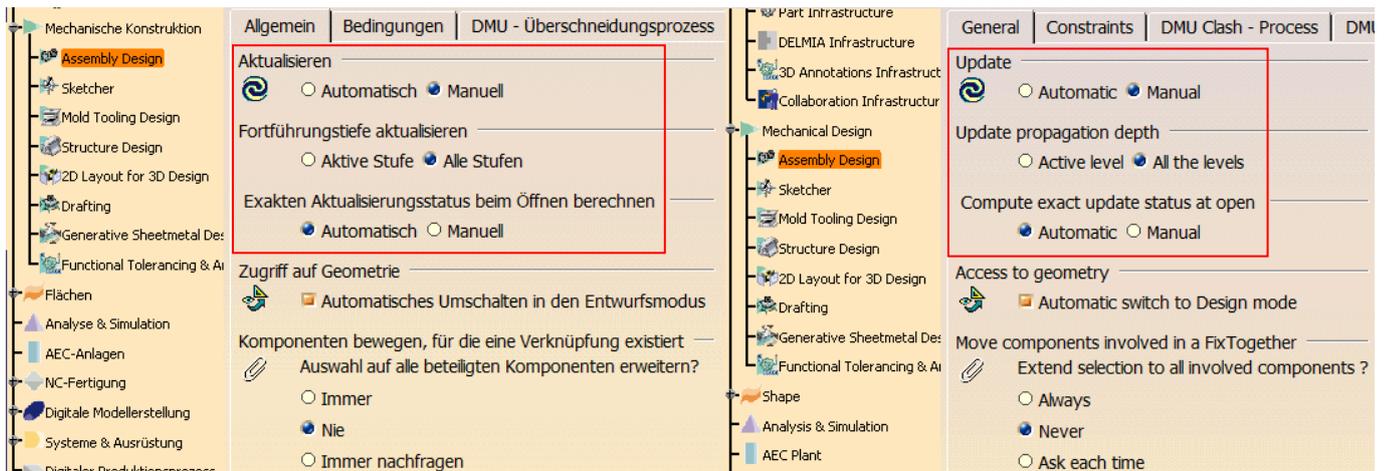
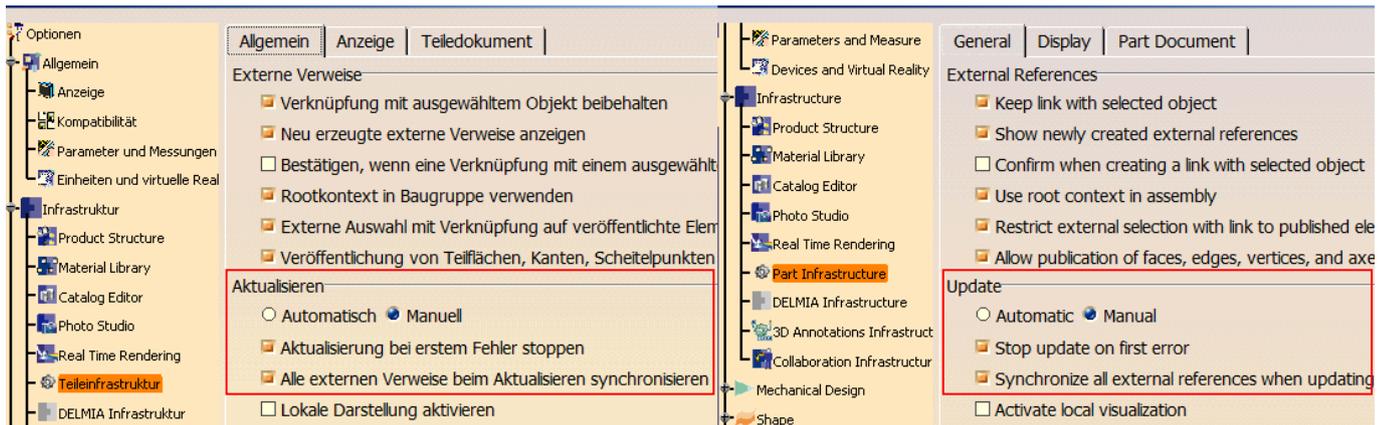


Bild 4: Optionen Aktualisierung

4 Anwendungshinweise

- Die allgemeinen Verzahnungswerte sind im Eingabe-Steuerteil_*.CATPart, Baumzweig Parameter zu modifizieren.

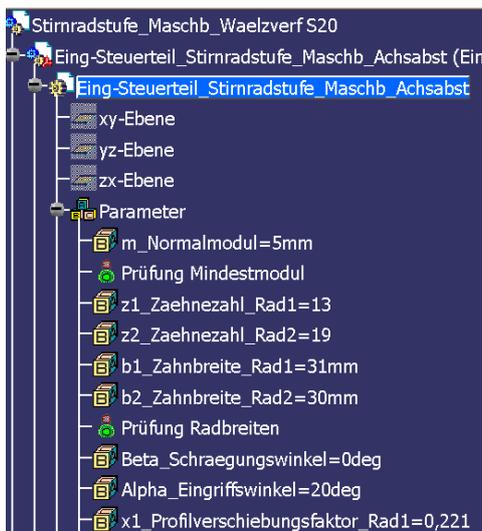


Bild 5: Eingabe der Verzahnungsparameter stets im Steuer- teil

Unter Parameter sind auch einige Prüfungen eingeordnet, die ggf. auf die jeweilige Parametereingabe mit einer Information oder Warnung reagieren.

- Damit der Erstanwender am Anfang nicht gleich mit einer Vielzahl von Parametern überfordert wird, sind spezielle Parameter untergeordneten Parametersets zugewiesen.

- Die Anpassung des Werkzeugbezugsprofils kann im Parameterset " Bezugsprofil-Parameter " vorgenommen werden, z. B. gem. Bild 6 für Stirnräder des Maschinenbaus.



Bild 6: Anpassen des Bezugsprofils

Voreingestellt ist als `hfw_Fusshoehe_des_gewaehlten_Bezugsprofils_DIN867` mittels Formel das Werkzeugbezugsprofil `hkwII_Abstand_v_Fusskreis_Bezugsprofil_II_DIN3972`. Soll ein anderes Bezugsprofil zugeordnet werden, dann Doppelklick auf den Parameter `hfw_Fusshoehe_des_gewaehlten_Bezugsprofils_DIN867` > „Parameter bearbeiten“ $f(x)$ > Formeleditor.

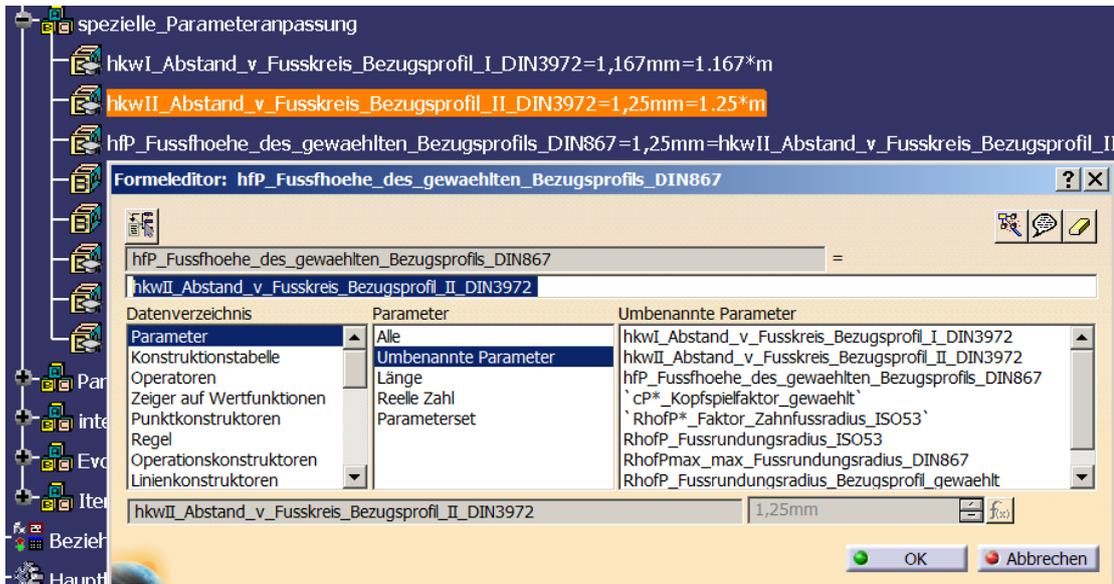


Bild 7: Vorgehen beim Zuweisen eines anderen Bezugsprofils

Im Formeleditor entweder den vordefinierten Parameter `hkwI_Abstand_v_Fusskreis_Bezugsprofil_I_DIN3972` zuweisen oder eine andere Formel eingeben.

Analog ist das Vorgehen für den Kopfspiefaktor `cP*` und den Fußrundungsradius `RhofP_Fussrundungsradius_Bezugsprofil_gewaehlt`.

- Anschließend die Bauteile aktualisieren und dann zur Neupositionierung der Zahnräder die Baugruppe `Stirnradstufe*.CATProduct` aktualisieren.
- Wenn die vielen Informationen und Warnungen nerven, kann entweder bei den Prüfungen den Prüfungstyp auf `Silent` abgeändert oder die Prüfung inaktiviert werden.
- Weitere Informationen enthalten die Modelle.

5 Aktualisierungsprobleme und Kurvenglättung

In den Modellen werden die Kurven vollständig geglättet mit dem Stetigkeitstyp „Krümmung“ und einer vorgegebenen maximalen Abweichung von meist 0,002 mm im Steuerteil. Sollten in Ausnahmefällen dennoch Glättungsprobleme auftreten, muss ggf. im Steuerteil die zulässige Abweichung für das Glätten modifiziert werden.

Sollte der Nutzer andere Glättungsoptionen wählen, dann aber bei allen Glättungsvarianten stets Vereinfachung der Topologie wählen!

Nicht immer kann die Rohkurve mit der Stetigkeits-Variante „Schwellenwert“ mit Krümmungs- und Tangentengrenzwert vollständig geglättet werden.

Bei der Stetigkeits-Variante „Tangente“ kommt es meist zu einem Warnhinweis hinsichtlich kleiner Kanten.



Bild 8: Warnung bei nicht hinreichend glatter Profilkurve

Soll die Unterschnittgrenze sichtbar sein, darf nicht zu sehr geglättet werden. Allerdings kann das ebenso zu Problemen beim Erzeugen der Flankenfläche führen, wenn beim unvollständigen Glätten der Rohprofilkurven **sehr kleine Kurvensegmente, kleinste Stufen oder Häkchen** entstehen.

Zum Beheben solcher Aktualisierungsfehler zunächst die entsprechende Operation samt ihren Kindern inaktivieren. Dann versuchen, das Problem durch schrittweises Modifizieren der Glättungsparameter zu beheben.

6 Bereitgestellte CATIA-R19-Modelle

Folgende Modellvarianten mit einheitlich 20 Schnitten pro Flanke bei Wälzverfahren und 20 Evolventenpunkten pro Flankenspline bei Formverfahren sind derzeit auf dem Server abgelegt:

- Stirnradpaare

Maschinenbau Zahnradherstellung durch Wälzverfahren, Moduln 1 mm bis 70 mm,

http://whz-cms-10.zw.fh-zwickau.de/wk/catia-verzahng/Stirnradstufe_MaschbauWaelzverf_S20_R19.zip (ca. 5 MB),

Maschinenbau Zahnradherstellung durch Formverfahren, Moduln 1 mm bis 70 mm,

http://whz-cms-10.zw.fh-zwickau.de/wk/catia-verzahng/Stirnradstufe_MaschbauFormverf_P20_R19.zip (ca. 1,7 MB),

Feinwerktechnik Zahnradherstellung durch Wälzverfahren, Moduln 0,1 mm bis 1 mm,

http://whz-cms-10.zw.fh-zwickau.de/wk/catia-verzahng/Stirnradstufe_Feinw_Waelzverf_S20_R19.zip (ca. 6 MB),

Feinwerktechnik Zahnradherstellung durch Formverfahren, Moduln 0,1 mm bis 1 mm,

http://whz-cms-10.zw.fh-zwickau.de/wk/catia-verzahng/Stirnradstufe_Feinw_Formv_P20_R19.zip (ca. 2 MB).

- Kegelradpaare

Maschinenbau Kegelradherstellung durch Wälzverfahren mit konstantem Ausrundungsradius im Zahngrund, soweit das Zahnbreite und Schrägungswinkel zulassen, Moduln 1 mm bis 70 mm,

http://whz-cms-10.zw.fh-zwickau.de/wk/catia-verzahng/Kegst_Waelz_konstRho_Trennfl.zip (ca. 30 MB),

Maschinenbau Kegelradherstellung durch Wälzverfahren mit nach innen (zur Zehe) abnehmendem Ausrundungsradius im Zahngrund, Moduln 1 mm bis 70 mm,

http://whz-cms-10.zw.fh-zwickau.de/wk/catia-verzahng/Kegst_Waelz_variabRho_Trennfl.zip (ca. 30 MB),

Feinwerktechnik Kegelradherstellung durch Wälzverfahren mit konstantem Ausrundungsradius im Zahngrund, soweit das Zahnbreite und Schrägungswinkel zulassen, Moduln 0,1 mm bis 1 mm,

http://whz-cms-10.zw.fh-zwickau.de/wk/catia-verzahng/Kegelradpaar_Feinw_Planradwaelzen_R19.zip (ca. 39 MB).