

Demonstrator ViPROFIL¹ - praktische Testung der Prozesskette für die rechnerbasierte Auslegung von Profilwerkzeugen

Dr.-Ing. Seok-Won Lee

1 Ausgangssituation

Neue informationstechnische Anforderungen, die derzeit von kommerziellen Informationssystemen zur Bearbeitungsplanung nicht oder nur unzulänglich unterstützt werden, resultieren aus der Integration von Profilfräswerkzeugen unterschiedlichster Formausprägung in bestehende Prozessketten. Diese formgebenden Werkzeuge kommen zunehmend für schraubenförmige Strukturen kundenindividuell gestalteter Werkstücke zum Einsatz (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht zum fertigungstechnischen Hintergrund schraubenförmiger Strukturen

schraubenförmige Strukturen <i>profiliert, entlang beliebiger Körper (Zylinder, Kegel,...); Element in der Ebene, im Raum, und Kombinationen</i>			
Funktion und Anwendungsbeispiele	Befestigen: Schraube und Mutter (typisch: Massenfertigung) Bewegen: Gewindespindel, Umwandlung Rotation - Translation (typisch: Serierfertigung) Fördern: Schneckenförderer, Transport von Material, Stoff (typisch: Einzelfertigung)		
Branchen	Fertigungstechnik, Verfahrenstechnik, Verpackungstechnik, Fahrzeugtechnik, Medizintechnik, Mikrosystemtechnik, ...		
Formen	Außen- und Innenformen	standardisiert (DIN, ISO), Sonderformen	
Herstellung	Werkzeuge	Werkstücke (Einzelteil, Baugruppe)	
Formgebung	abbildend und/oder kinematisch		
Fertigungsverfahren	urformend (Spritzen, ...)	umformend (Walzen...)	spanend (Drehen, Bohren, Fräsen, ...)

Sowohl zur konstruktiven Auslegung für herzustellende Werkzeuge als auch zur Bahnplanung und -verifikation durch Bearbeitungssimulation herzustellender Werkstücke fehlen geeignete Softwaretools und -techniken: für iterative Planungsabläufe, zur Handhabung von Geometrie- und Technologiedaten sowie zu intuitiven Arbeitsweisen mit effektiven Methoden der Mensch-Maschine-Kommunikation. Ausgehend davon entstanden die Forschungsergebnisse zum System ViPROFIL für das durchgängig integriertes Engineering und die virtuell-unterstützte Prozessabsicherung von Profilwerkzeugen [Lee13, Lee13a].

2 Erprobung des Systems

Das Erzeugen von Profilen z.B. durch Gewindefräser oder Profilschleifscheiben ist immer mit einer Verzerrung des Profils behaftet. Um diese Profilverzerrung zu erkennen und die drauf basierende Werkzeugauslegung zu ermöglichen, wurde der Demonstrator ViPROFIL durch die modular aufgebaute, durchgängige Prozesskette für die rechnerbasierte Auslegung von Profilwerkzeugen und deren Verifikation am Beispiel von Gewindefräswerkzeugen mit Spannuten entwickelt. Das Ergebnis dieses Projektes soll es sein, dass das vorverzerrte Zahn- und Spannutenprofil vom

¹ AIF/IGF-Vorhaben: Softwaremodul für durchgängig integriertes Engineering und virtuell unterstützte Prozessabsicherung von Profilwerkzeugen (ViPROFIL)

Gewindfräser beschrieben wird und somit eine hohe Flexibilität bei der Werkzeugauslegung von Profilwerkzeugen erzeugt werden kann.

Der Test widmet sich daher dem Ziel, auf einer 5-Achsfräsmaschine ein Werkzeugspanutenprofil experimentell zu erzeugen und mit analytischen Ergebnissen zu vergleichen. Darüber hinaus soll ein komplettes 3D-Werkzeugmodell von einem vorgegebenen Gewindeprofil und der zur Konstruktion relevanten Parameter entstehen.

2.1 Überblick zum System ViPROFIL

Abbildung 1 zeigt die detaillierten Funktionen des implementierten Systems in Ihrer modularen Struktur, die im Folgenden erläutert ist.

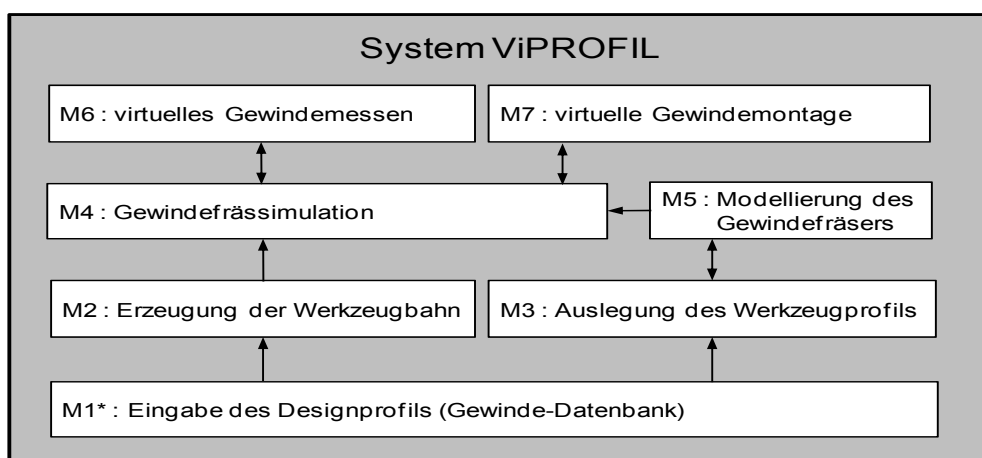


Abbildung 1. modularisierte Funktionen des zu implementierenden Systems

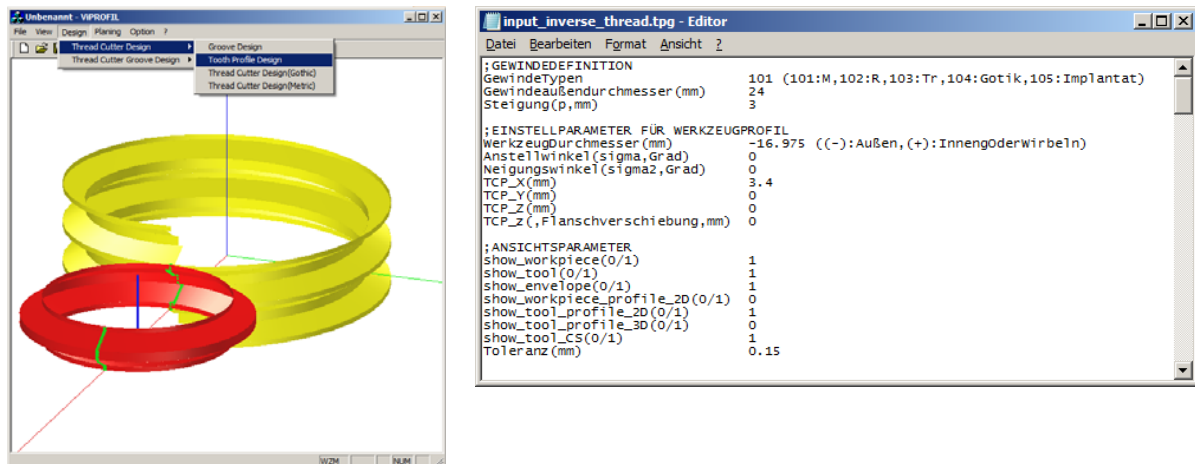
Zunächst im Modul 1 wird ein Gewindedesignprofil bzw. Soll-Profil über eine Gewindedatenbank oder aus den Informationen einer 2D-Zeichnung importiert. Im Modul 2 wird die zum Soll-Profil passende Werkzeugbahn des Gewindfräasers generiert. Parallel dazu wird im Modul 3 eine Methode zur geometrisch exakten Vorverzerrung des Werkzeugprofils zum am Institut entwickelten NC-Simulationskern (NCSK) erforscht und entwickelt, um mit Hilfe der Gauß-Abbildung das Werkzeugprofil auszulegen [Lee10]. Die exakte Berechnung des Werkzeugprofils ist erforderlich, damit bei der anschließenden Werkzeugfertigung bereits funktionsfähige Werkzeuge herstellbar sind. Basierend auf den vorverzerrten Werkzeugprofilen wird die Bearbeitung des Gewindfräsens im Modul 4 simuliert und das Werkzeugprofil als 2D-Schnittdarstellung zur Weiterverarbeitung in einer Konstruktionssoftware und für nachfolgend benötigte Fertigungs- bzw. Dokumentationsunterlagen bereitgestellt (Modul 5). Darüber hinaus liegt im Ergebnis der Bearbeitungssimulation das virtuelle Werkstück vor, um in den nachgeschalteten Modulen weiter verwendet zu werden. Jeweils im Modul 6 und Modul 7 werden mit dem ausgelegten Werkzeug- und Gewindeprofil im NCSK geometrische und funktionelle Überprüfungen durchgeführt, um auf kosten- und zeitaufwendige reale Tests verzichten zu können.

2.2 Gestaltung Mensch-Maschine-Interface

Die Benutzungsoberfläche der entwickelten ViPROFIL-Software zeigt Abbildung 2. Das entwickelte MMI steht zentral für das gesamte Projekt. Die Software ViPROFIL

(v1.0) verfügt über ein Pull-Down-Menü und das Hauptanzeigefenster. Grundlage für schnelles Arbeiten ist auch die Eingabemöglichkeit durch die ASCII-Text-Datei.

Die geometrischen Parameter für die Gewindefinition wie z.B. Gewindesteigung und –profil, Gewindedurchmesser usw. sowie die Einstellparameter für Werkzeug wie z.B. Werkzeugdurchmesser, Abstand zwischen Werkzeug- und Werkstückachsen usw. sind über eine ASCII-Datei einbringbar.



(a) Hauptfenster und Menü (b) Eingabedatei zur Werkzeugprofilauslegung

Abbildung 2. Benutzeroberfläche des Systems ViPROFIL

2.3 Demonstrator²: Testumgebung

Um die spiralförmigen Werkzeugspannten³ herzustellen wurde eine 5-Achs-Werkzeugmaschine (NC-Rundtisch und C-Drehtisch) Maho 800C mit CNC-Steuerung andronic 2060 vorbereitet (siehe Abbildung 3(a)).

Durch ein Schrägstellen der Schleifscheibe entsteht in dem spiralförmigen Nutprofil ein Hinterschliff. Über diesen erzeugten Hinterschliff lässt sich das IST-Profil mit dem SOLL-Profil besser vergleichen. Zur Herstellung der Nut soll eine Schleifscheibe verwendet werden. Vor dem Schleifen ist die Schleifscheibe abzurichten, um ein möglichst exaktes Profil der Nut zu erhalten. Die Schleifscheibe wiederum wird an einer Halterung befestigt, die zunächst konstruiert werden muss. Um die Proben auf dem Maschinentisch zu befestigen ist es ebenfalls nötig die Spannvorrichtung für die Proben zu konstruieren (siehe Abbildung 3(b)).

NC-Programme zum Abrichten der Schleifscheiben und zum Schleifen der Proben werden vom Berechnungsmodul im System ViPROFIL generiert. Es sollen mehrere verschiedene Schleifvorgänge an unterschiedlichen Körpern vorgenommen werden, um ein breiteres Spektrum an Profilen zu erzeugen (siehe Abbildung 3(c)). Infolge dessen werden die Nuten vermessen. Die Messergebnisse werden anschließend mit simulierten Werten, welche ebenfalls vom System ViPROFIL bereit gestellt werden, verglichen. Dies dient der Überprüfung ob die Ergebnisse, welche die im Vorhaben entwickelten Simulationsansätze von der Werkzeugmodellierung über die Abtrag-

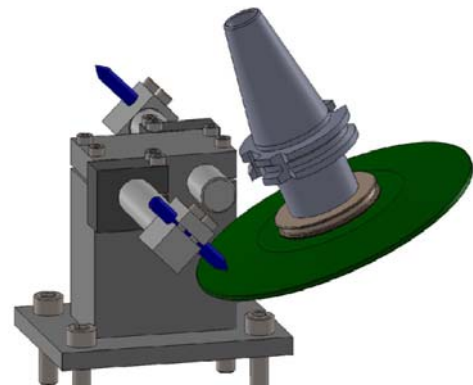
² Unter Demonstrator ist das softwaretechnisch umgesetzte System ViPROFIL und die hardwaremäßig eingesetzte Testumgebung zu verstehen.

³ Da sich Hartmetall als Schneidwerkstoff nicht einfach abrichten lässt und das Abrichten nicht das Hauptinteresse des Vorhabens ist, wird hier das Material durch einen normalen Stahl ersetzt und nur der Eingriffskurven-Ansatz überprüft. Die Testumgebung vom Gewindefräsen soll hier behandelt werden.

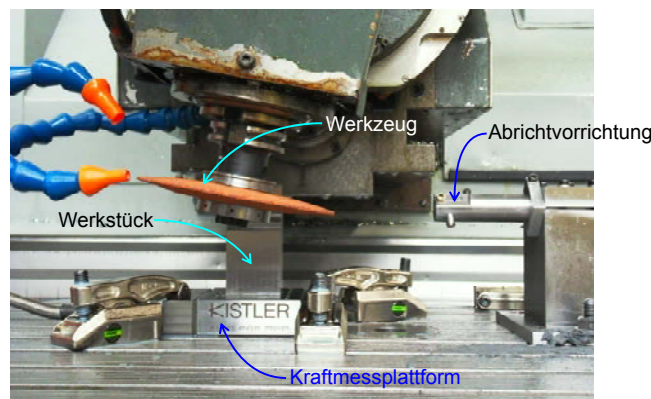
simulation bis zum virtuellen Messen und Montieren liefern, für praktische Zwecke tauglich sind.



(a) Testfräsmaschine im Versuchsfeld



(b) Abrichtvorrichtung



(c) reale Testumgebung zum Bearbeiten, Abrichten und zur Kraftmessung

Abbildung 3. Demonstrator: Testumgebung am Beispiel Nutenschleifen

2.4 Szenario der Erprobung

Das Szenario der Erprobung besteht aus mehreren Teilaufgaben. Dem System ViPROFIL wird ein Gewindeprofil vorgegeben, welches durch Gewindefräsen hergestellt werden soll. Als erste Aufgabe sind die Werkzeugprofile auszulegen. In Abbildung 4 links oben sind das vorgegebene Gewindeprofil und das Gewindefräserprofil, das aus dem Gewindeprofil ermittelt wird, veranschaulicht.

Nach der Ermittlung des Gewindefräserprofils wird die zweite Teilaufgabe, die Spannutenerzeugung, durchgeführt. Da das Spannutenprofil durch Schleifen erzeugt wird, sind ein Schleifscheibenprofil und die Einstellparameter der Schleifscheibe, wie z.B. Anstell- und Überschwenkwinkel, usw. eingegeben. Dabei wird der Eingriffskurven-Ansatz im AP2 wiederverwendet um die Eingriffskurve der Schleifscheibe zu berechnen. Die berechnete Eingriffskurve ist die Eingabe zur Abtragsimulation. D.h. zur Modellierung des realitätsnahen 3D-Werkzeugkörpers werden die zwei unterschiedlichen Eingriffskurven benötigt. Nämlich zum einen die Eingriffskurve die zur Berechnung des Gewindefräserprofils vom Gewindeprofil ermittelt wird und zum andern die Eingriffskurve die zur Berechnung des Gewindefräserspannutenprofils der Schleifscheibe ermittelt wird. Mit beiden Eingriffskurven kann ein Werkzeugkörper mit Hilfe von Abtragsimulation nach AP3 herausgebildet werden (s. Abbildung 4).

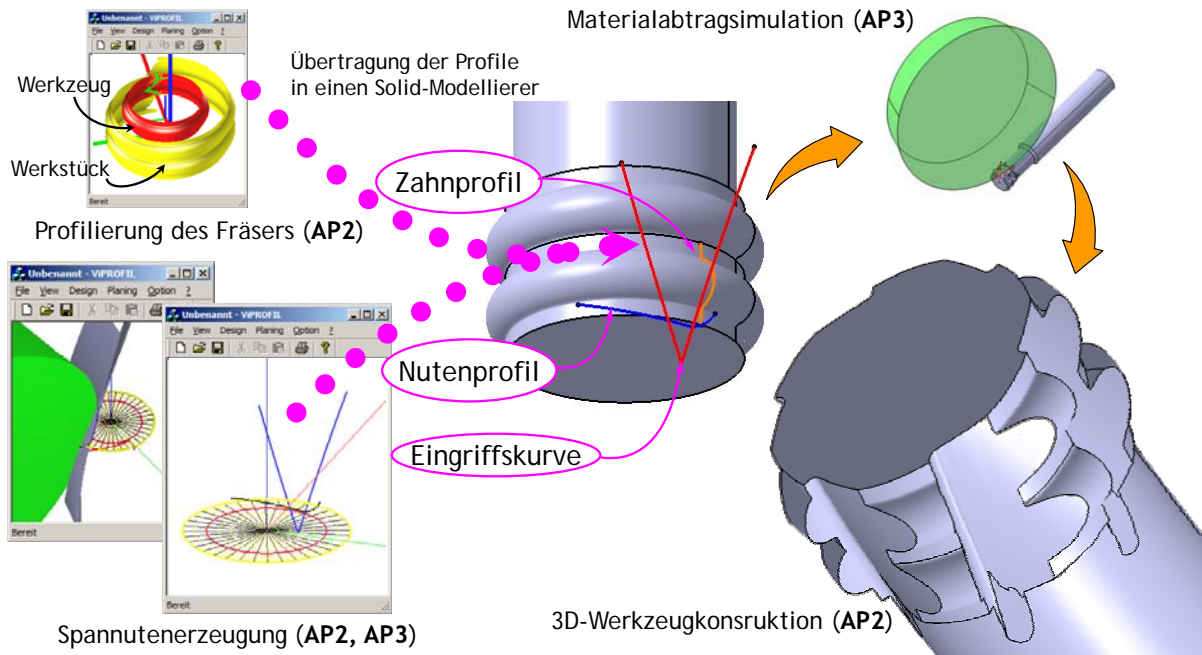


Abbildung 4. Szenario der Erprobung, Teil I

Nachdem das Werkzeug in 3D konstruiert vorliegt, wird damit ein Werkstück virtuell gefräst (AP3). Damit liegt das virtuelle Werkstück vor, sodass danach real und virtuell erzeugte Profile gemessen und verglichen werden können (AP4). Anschließend kann mit dem virtuell gefrästen Gewindepaar eine virtuelle Montage durchgeführt werden (s. Abbildung 5).

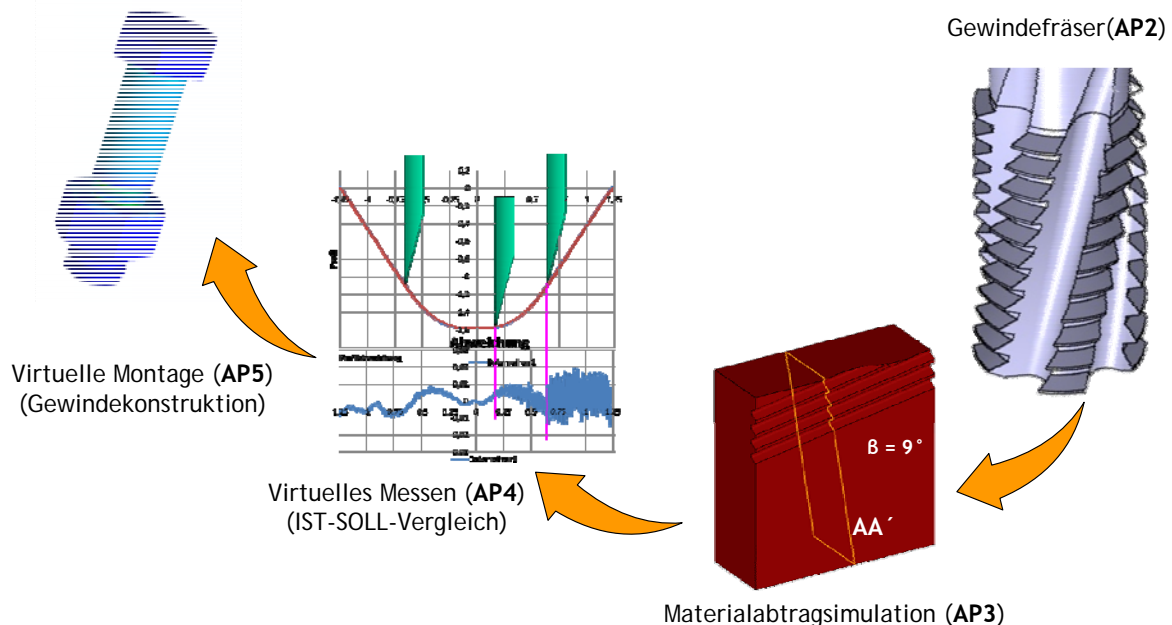
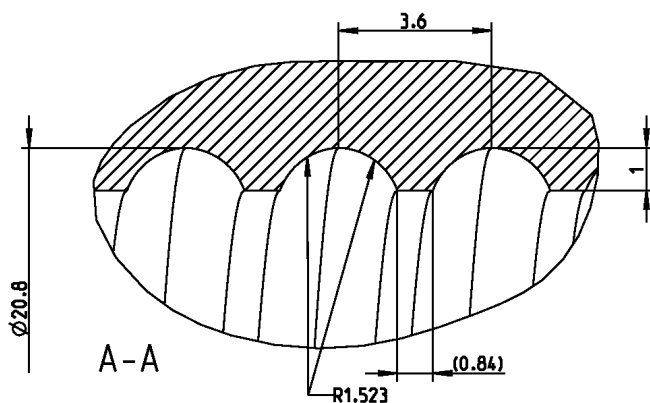


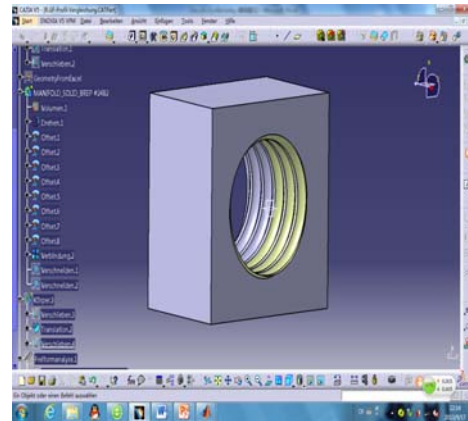
Abbildung 5. Szenario der Erprobung Teil II

2.4.1.1 Testbeispiel Gewinde

Zur Überprüfung bisheriger Ansätze wurde ein Sondergewindeprofil vom Industriepartner bereitgestellt. Das Sondergewinde hat ein s.g. gotisches Profil welches eine Unstetigkeit am Außendurchmesser ($D=20,8\text{mm}$) besitzt (s. Abbildung 6). Die Steigung beträgt $3,6\text{ mm}$. Für das Gewindefräsen dieses Sondergewindes wird ein Werkzeug mit Außendurchmesser 14 mm angenommen (siehe Abbildung 6(a)). Abbildung 6(b) zeigt das SOLL-Gewindeprofil, welches im .igs-Dateiformat bereitgestellt wurde.



(a) Werkstückprofil



(b) 3D-Werkstückmodell

Abbildung 6. Testbeispiel des Sondergewindes [Lee-13]

2.4.1.2 Auslegung des Werkzeugprofils

Zunächst zeigt Abbildung 7 die von Gewindeprofil abgeleitete Eingriffskurve des Gewindefräasers und die virtuell gefräste Gewindefläche. Da die Eingriffskurve eine gemeinsame Kurve zwischen Gewinde und Gewindefräser ist, kann die gefräste Gewindefläche durch den Zwangslauf der Eingriffskurve entlang der Leitkurve oder die Helixbahn mit der Steigung vom Gewinde generiert werden.

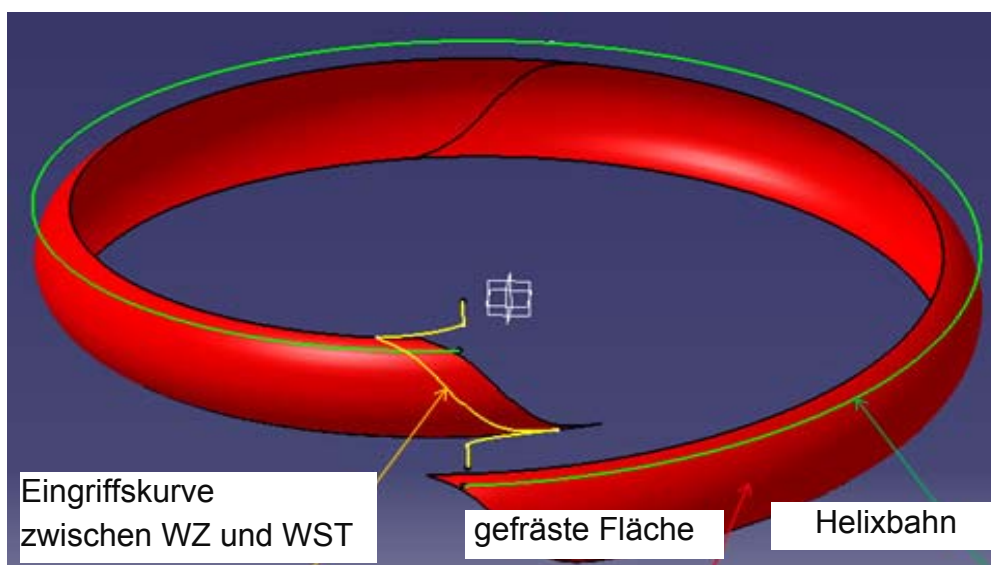


Abbildung 7. Simulierte Werkstückoberfläche

Diese virtuell gefräste Gewindefläche wird im nächsten Schritt mit der ursprünglichen Gewindefläche, welche vom Industriepartner geliefert wurde, virtuell verglichen.

Das Ergebnis zeigt die deckungsgleiche Überlappung der beiden Flächen. Die maximalen Abstände liegen bei $1\mu\text{m}$ (Abbildung 8). Damit kann davon ausgegangen werden, dass die virtuelle Prozesskette zur Auslegung der Profilwerkzeuge korrekt dargestellt wurde.

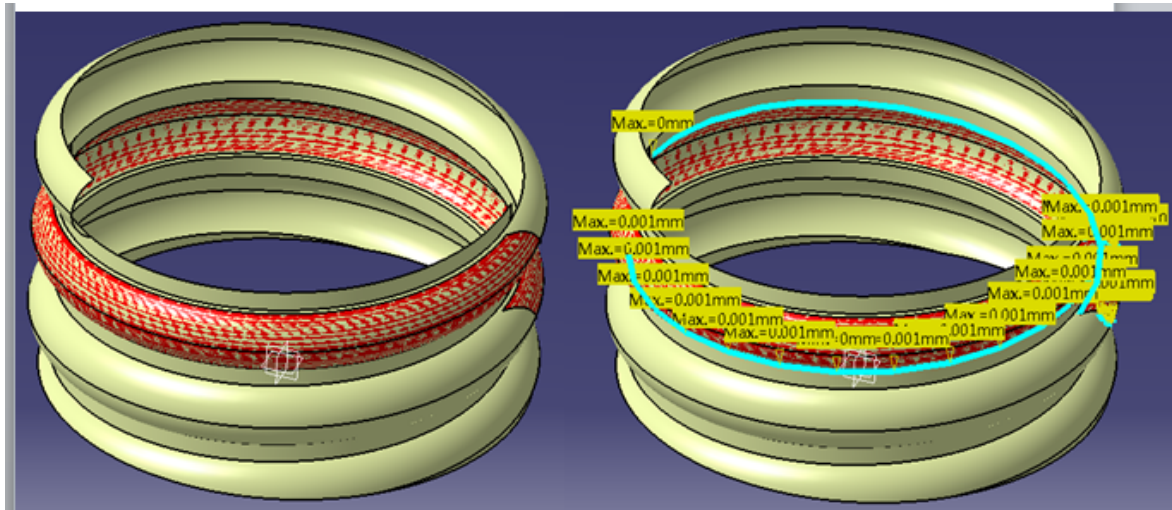


Abbildung 8. Vergleiche zwischen ursprünglichen und simulierten Gewindeflächen

3 Zusammenfassung

Zur Testung und Demonstration der Ergebnisse wurden unterschiedliche Varianten der Gewindegeometrie und Gewindeherstellungsverfahren z.B. Gewindefräsen und Gewindewirbeln erprobt. Der Demonstrator hat gezeigt, dass der Lösungsansatz prinzipiell geeignet und praktikabel nutzbar ist. Mit diesem neuen Auslegungspotenzial des Werkzeugprofils lässt sich die Produktivität vieler kmU speziell im Bereich der Werkzeugentwicklung und –profilierung und in der eigentlichen Fertigung steigern. Diese ersten Ergebnisse mit dem Demonstrator können bereits in industrielle Anwendungen überführt werden.

Literatur

- [Lee-10] Lee, S.W.; „Resuming Milling Process after Intra-operational Interruptions based on the Enhanced NC Simulation“, Dissertation, TUDPress der Wissenschaft Verlag, Dresden, ISBN 978-3-942710-08-4, 2011
- [Lee-13] Lee, S.W.; Nestler, A.: Softwaremodul für durchgängig integriertes Engineering und virtuell unterstützte Prozessabsicherung von Profilwerkzeugen. AiF-Schlussbericht, TU Dresden, 22.11.2013
- [Lee-13a] Lee, S.W.; Kasten, A.; Nestler, A.: Analytic mechanical cutting force model for thread milling operations. Proceedings of the 14th CIRP Conference of Modelling of Machining Operations (CMMO). Turin, Italy, June 13th - 14th, 2013. Procedia CIRP, Vol. 8, 2013, pp. 546-551, DOI: 10.1016/j.procir.2013.06.148