



## I. Kurzdarstellung

### 1. Aufgabenstellung

Um die Effizienz von Triebwerken zu steigern, werden in den neuesten Triebwerksgenerationen Getriebe eingesetzt. Diese Getriebe sind in der Regel doppelschrägverzahnte Planetenradgetriebe. Die Doppelschrägverzahnung ist notwendig, um eine hohe Lastaufnahme bei gleichzeitig hoher Laufruhe zu gewährleisten. Nachteil der Verzahnung ist die anspruchsvolle Fertigung. Gängige Fertigungsverfahren (z.B. das Wälzfräsen) benötigen verfahrensbedingt große Ein- und Auslaufzonen, welche in der Regel eine Nut zwischen den Radteilen erfordert (Bild 1). Dies führt dazu, dass doppelschrägverzahnte Zahnräder hohe Verzahnungsbreiten und ein hohes Gewicht aufweisen. Beides ist nachteilig für die Verwendung in Triebwerken, wird jedoch wegen fehlender Alternativen geduldet.



**Bild 1: Doppelschrägverzahnung**

Gesamtziel des Vorhabens "CompactGears4Turbo" war die Entwicklung eines automatischen CAM-Planungs-Moduls zur Herstellung von Zahnrädern für Luftfahrtgetriebe auf Basis des 5-Achsfräsens und -schleifens. Dieses Ziel sollte die son-x GmbH mit

- der Festlegung der Bearbeitungsstrategie für das 5-Achsschleifen,
- der Anpassung des Werkzeugsystems an die Bearbeitungsaufgabe und Zahnradgeometrie,
- mit Zerspanuntersuchungen zum 5-Achsschleifen von Verzahnungen und der dazugehörigen Analyse der Messergebnisse sowie
- mit der Entwicklung einer Prozessauslegungssystematik für das 5-Achsschleifen von Verzahnungen

unterstützen.

### 2. Voraussetzung, unter der das Vorhaben durchgeführt wurde

Zum Zeitpunkt der Antragstellung stellte die son-x GmbH nachgiebige Werkzeughalter für die feinmechanische Bearbeitung her. In der Anwendung dieser Werkzeugsysteme lagen Erfahrungen zur Bearbeitung von Formeinsätzen für den Werkzeug und Formenbau vor. Die Endbearbeitung von Zahnrädern war jedoch ein neues Feld. Ziel war es, das vorhandene Prozesswissen aus anderen Anwendungsbereichen in dieses Projekt einzubringen und auf die neue Anwendung zu übertragen.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Teilvorhaben vom son-x wurde in 6 Arbeitspakete unterteilt. Im Arbeitspaket 0 findet das Projektmanagement statt. Das Arbeitspaket 1 widmet sich der Festlegung der Bearbeitungsstrategie. Das Arbeitspaket 2 beinhaltet die Anpassung des Werkzeugsystems an die Bearbeitungsaufgabe und der Geometrieform. Im Arbeitspaket 3 finden die Schleifversuche statt. Die Tätigkeiten des Teilvorhabens schließen mit der Entwicklung der Prozessauslegungssystematik für das 5-Achsschleifen von Verzahnungen (Arbeitspaket 5) und der Dokumentation der Ergebnisse (Arbeitspaket 6) ab. Eine schematische Darstellung der Projektstruktur ist in Bild 2 zu sehen.



**Bild 2: Projektstrukturplan**

Die detaillierten Inhalte und Teilziele der einzelnen Arbeitspakete inkl. der geplanten Zeit-, Material- und Personalaufwände, die erwarteten jeweiligen Ergebnisse sowie mögliche auftretende Risiken sind bereits in den Antragsunterlagen aufgeführt und soll an dieser Stelle nicht weiter präzisiert werden.

### 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens

Zu Beginn des Vorhabens stellte sich der Stand der Technik und Wissenschaft wie folgt dar:

Die Fertigung von Verzahnungen durch Freiformfräsen mit Standardwerkzeugen auf Universalmaschinen stellt die Zusammenführung der klassischen Verzahnungsfertigung auf Spezialmaschinen und der integrierten NC-Bearbeitung komplexer Bauteilgeometrien auf Universalfräsmaschinen dar. Maschinenseitige Hindernisse bei der Verzahnungsfertigung wurden durch die Entwicklung der letzten Jahre überwunden. Die Maschinensteifigkeit und begrenzte Spindelleistung stellen heute keine

limitierenden Faktoren dar. Die hohen Anforderungen an Verzahnungen hinsichtlich der Form- und Lagetoleranz sowie der Oberflächengüte unterscheiden sich jedoch deutlich von Bauteilen, die heutzutage bereits standardmäßig auf Universalfräsmaschinen gefertigt werden. Die geforderten Toleranzen von wenigen Mikrometern liegen ebenfalls in den von Herstellern angegebenen Grenzen der Maschinengenauigkeit.

Aktuelle Beiträge auf Tagungen und Konferenzen zeigen, dass großes Interesse an der Herstellung von Verzahnungen auf Universalfräsmaschinen besteht. Hierbei liegt der Fokus auf drei unterschiedlichen Gebieten. Die Darstellung in Bild 3 gibt einen Überblick über die Beiträge zum Freiformfräsen von Verzahnungen.

Zunächst ist kommerzielle Software zur Abbildung der CAx-Prozesskette von großem Interesse. Hier wurden in den vergangenen Jahren unterschiedliche Lösungen präsentiert, die entweder die komplette Prozesskette abbilden, oder die bestehende CAD/CAM-Kopplung um den Aspekt der Geometrierzeugung der Verzahnung ergänzen. Aus wissenschaftlicher Sicht liegt der Schwerpunkt nicht bei dem Schritt der CAD-Daten-Erzeugung oder der CAD/CAM-Kopplung. Die grundsätzliche Erzeugung von Zahnflankengeometrien ist aus wissenschaftlicher Sicht bereits in umfangreichen Forschungsvorhaben untersucht worden.

CAx-Prozesskette	Flexible Verzahnungsauslegung	Fertigungstechnologie
Jaster 2012	Sauer 2012	Leoni 2010
Engeli 2013	Müller 2012	Klocke 2013
Weser 2013	Potts 2014	Bieker 2014
Langhart 2014		
<ul style="list-style-type: none"> <li>kommerzielle Software</li> <li>CAD-Daten Generierung</li> <li>CAD/CAM-Kopplung</li> <li>Ableitung der NC-Programme</li> <li>Korrektur der Zahnflanke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Innovative Verzahnungsauslegung</li> <li>Alternative Zahnformen</li> <li>Sonderverzahnungen</li> <li>Korrektur der Zahnflanke</li> <li>Grenzen prakt. Nutzen alternativer Verzahnungsarten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wirtschaftliche Grenzen durch lange Bearbeitungszeiten</li> <li>Technologische Grenzen durch Wissensdefizit in der Prozessauslegung</li> <li>Wissensdefizit bei Qualitätsprüfung und Einsatzverhalten</li> </ul>
<b>Fazit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kommerzielle Software ist gerade für Firmen die über keine konventionelle Fertigung/Auslegung verfügen ein wichtiges Thema.</li> <li>Große Kegelräder sind im Fokus der Betrachtung weil dort die größten Herausforderungen bestehen und die Möglichkeiten der Flankenmodifikationen unmittelbar Vorteile nutzbar machen</li> <li>Die Prozessführung ist birgt hinsichtlich Qualität und Produktivität große ungenutztes Potenzial</li> </ul>	

**Bild 3: Überblick über die Beiträge zum Freiformfräsen von Verzahnungen**

Neben der theoretischen Auslegbarkeit alternativer Verzahnungsarten stellt deren prozesssichere Überführung auf das Bauteil einen zusätzlich wichtigen Aspekt dar, der betrachtet werden muss. Die Grenzen der Flexibilität hinsichtlich einer robusten Auslegung und prozesssicherer Montierbarkeit wurden von MÜLLER<sup>1</sup> aufgezeigt. Hier konnte gezeigt werden, dass die existierenden Verzahnungsarten zwar auch auf dem Aspekt der Herstellbarkeit mit konventionellen Maschinen beruhen, aber

<sup>1</sup> Müller, H.: Funktionsgerechte 5-Achsbearbeitung von Kegelrädern. In: Tagungsunterlagen zum Seminar "Innovationen rund ums Kegelrad", Aachen, 14.-15. März 2012.

hinsichtlich robuster Auslegung bezüglich des Verlagerungsverhaltens deutliche Vorteile gegenüber theoretisch optimierten Verzahnungsgeometrien haben können.

Die fertigungstechnischen Herausforderungen stellen einen weiteren Schwerpunkt bei der aktuellen Betrachtung des Verfahrens dar. LEONI<sup>2</sup> zeigt die CAx-Prozesskette und thematisiert die Schnittstelle zwischen den Auslegungen der Werkzeugbahnen im CAM-System und der daraus resultierenden Oberflächenstruktur. Leoni kommt hierbei zu dem Fazit, dass die Charakterisierung der verfahrensspezifischen Oberfläche bis dato nicht möglich ist. Darüber hinaus ist es notwendig, die Bearbeitungszeit zu verkürzen. BIEKER<sup>3</sup> zeigt, dass die Prozessführung, über die Definition der Werkzeugbahnen hinaus, deutlichen Einfluss auf die resultierende Oberfläche haben kann. So sind in Abhängigkeit der gewählten Schnittparameter und der eingesetzten Schneidstoffe Rauheitsunterschiede um den Faktor zehn feststellbar (Bieker 2014).

Eine grundsätzliche Verfahrensbeschreibung und die damit einhergehende Charakterisierung der Einflüsse auf die resultierende verfahrensspezifische Oberfläche konnte bereits gegeben werden (Klocke et al. 2013<sup>4</sup>). Eine darüber hinaus gehende sehr detaillierte Betrachtung der Zahnflankenoberfläche und dem daraus resultierenden Einsatzverhalten der Verzahnung ist Bestandteil aktueller Forschungsvorhaben.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass kommerzielle Software zur Abbildung der gesamten CAx-Prozesskette ein wichtiges Thema darstellt und gerade für Firmen, die keine konventionelle Auslegungssoftware zur Zahnflankengenerierung zur Verfügung haben, von Interesse ist.

Die Betrachtung des Fertigungsprozesses fokussiert sehr auf Sonderverzahnungen und alternative Zahnformen, sowie auf große Kegelräder. Dies ist auf die Flexibilität, die das Verfahren bietet, zurückzuführen. Die Vorteile der flexiblen Geometrie können hier auf Grundlage der existierenden Optimierungsprozesse – wie Ease-Off-Entwicklung und Closed Loop – unmittelbar umgesetzt und wirtschaftlich genutzt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass hinsichtlich der Prozessführung nach wie vor Wissensdefizite bestehen. So ist der Einfluss der Fertigungstechnologie auf die Funktionalität der Verzahnung nicht wissenschaftlich erforscht. Dies gilt insbesondere für die verfahrensspezifische Oberflächenstruktur an Zahnflanke und Zahnfuß. Des Weiteren ist eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit hin zu kürzeren Bearbeitungszeiten von besonderem Interesse. Hierbei ist aus wissenschaftlicher Sicht vor allem die Steigerung der Produktivität bei gleichbleibender Qualität sowie die Optimierung der Bearbeitungsstrategie bei gleichbleibender Funktionalität der Verzahnung zu betrachten.

Über den wissenschaftlichen und technischen Stand **zum Ende des Vorhabens** kann seitens son-x aufgrund des vorzeitigen Projektausstiegs sowie der Tatsache, dass das Vorhaben insgesamt noch

---

<sup>2</sup> Leoni, P.: Erfahrungen mit dem Freiformfräsen von Kegelradverzahnungen. In: *Tagungsunterlagen zum Seminar "Innovationen rund ums Kegelrad"*, Aachen, 13-14. April.

<sup>3</sup> Bieker, R.: Herausforderungen beim 5-Achsfräsen von Kegelrädern. In: *Tagungsunterlagen zum Seminar „Innovation rund ums Kegelrad“*. Aachen, 12.-13. März.

<sup>4</sup> Klocke, F.; Brumm, M.; Staudt, J.: Potentiale des FreiformfräSENS von Verzahnungen. In: WZL Getriebekreis (Hg.): Arbeitstagung "Zahnrad- und Getriebeuntersuchungen". Unter Mitarbeit von Christian Brecher und Fritz Klocke. 54. Arbeitstagung "Zahnrad- und Getriebeuntersuchungen". Aachen, 15./16.05.2013. Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen.

nicht abgeschlossen ist, keine Aussage getroffen werden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass der dargestellte Stand der Technik nach wie vor gültig ist und somit das Vorhaben von seiner Aktualität nichts eingebüßt hat.

### **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Das Projektmanagement und die Koordination des Teilvorhabens wurden von son-x übernommen. Der verantwortliche Projektmanager hat bis zum Ausstieg der Firma son-x die zeitgemäße Bearbeitung der technologischen Aufgaben sichergestellt und die technischen und wissenschaftlichen Arbeiten begleitet.

Über den aktuellen Projektverlauf wurde entsprechend der Struktur der Arbeitspakete im Rahmen der Projekttreffen berichtet. Die Projekttreffen fanden ca. halbjährlich jeweils bei einem anderen Partner statt. Darüber hinaus waren Projekttreffen mit dem Projektträger geplant. Gemeinsam mit allen Projektpartnern wurden (und werden) im Rahmen dieser Treffen die Zwischenstände sowie mögliche Verbesserungsmaßnahmen diskutiert, um eine zielführende Bearbeitung der Teilaspekte gewährleisten zu können. Darüber hinaus fanden kleinere Arbeitstreffen bei den Projektpartnern statt. Die bilateralen Treffen wurden aufgrund der räumlichen Nähe der Unternehmen kurzfristig und bedarfsgerecht organisiert.

Parallel zu diesen Treffen wurden die Partner während der Projektlaufzeit konstant per E-Mail und/oder telefonisch über den jeweils aktuellen Stand informiert. Im Rahmen der Treffen konnte (und kann) über inhaltliche, organisatorische und zeitliche Änderungen im Arbeitsplanablauf beraten werden. Der Austausch von Dokumenten und digitalem Arbeitsmaterial wurde (und wird) über eine Austauschplattform realisiert. Dazu wurde (und wird) der vom Fraunhofer IPT zur Verfügung gestellte Content-Server genutzt. Neben der Möglichkeit zum Datenaustausch gewährleistet diese Lösung unter anderem auch eine übersichtliche Darstellung von ausstehenden Projektaufgaben, sodass der Projektverlauf und -fortschritt ergänzend zu den konventionellen Werkzeugen (z.B. E-Mails und MS Office Dateien) dargestellt werden kann.

## II. Eingehende Darstellung

### 1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen

Die son-x GmbH ist aus dem Vorhaben nach einem Jahr ausgestiegen, weil es aufgrund einer angepassten strategischen Ausrichtung die Schleifaufgaben nicht mehr weiterverfolgen konnte (siehe Ausführungen in der Stellungnahme vom 20.02.2020). Nachfolgend werden daher die erzielten Ergebnisse bis zum Projektaustritt beschreiben.

Das Lastenheft für die Arbeiten im Projekt wurde vollständig definiert. Unter Berücksichtigung der Bauteildefinition aus AP1 wurden 2 Beispielgeometrien (Bild 4 und Bild 5) für die nachfolgenden Prozessuntersuchungen und -auslegungen ausgewählt:

- für Technologieuntersuchungen: Schrägverzahnung ( $m = 4$ )
- für Tragfähigkeitsuntersuchungen: Geradverzahnung ( $m = 5$ ) aus 18CrNiMo7-6FP

#### ■ Verzahnungsdaten

$m_n = 4,0 \text{ mm}$   
 $z_{1,2} = 20 / 33$   
 $\alpha_n = 18,0^\circ$   
 $\beta_{1,2} = -/+ 20,4^\circ$   
 $d_1 = 85,4 \text{ mm}$   
 $d_{Na1} = 93,1 \text{ mm}$   
 $d_{Nf1} = 81,1 \text{ mm}$   
 $d_2 = 140,8 \text{ mm}$   
 $d_{Na2} = 146,0 \text{ mm}$   
 $d_{Nf2} = 135,2 \text{ mm}$   
 $x_{1,2} = 0 / -0,145$   
 $\epsilon_\alpha = 1,43$   
 $a = 112,5 \text{ mm}$

#### ■ Tragfähigkeitsverzahnung

$b = 21,5 \text{ mm}$   
 $\epsilon_\beta = 0,60$   
 $\epsilon_\gamma = 2,03$

#### ■ Geräuschverzahnung

$b = 36,1 \text{ mm}$   
 $\epsilon_\beta = 1,00$   
 $\epsilon_\gamma = 2,43$

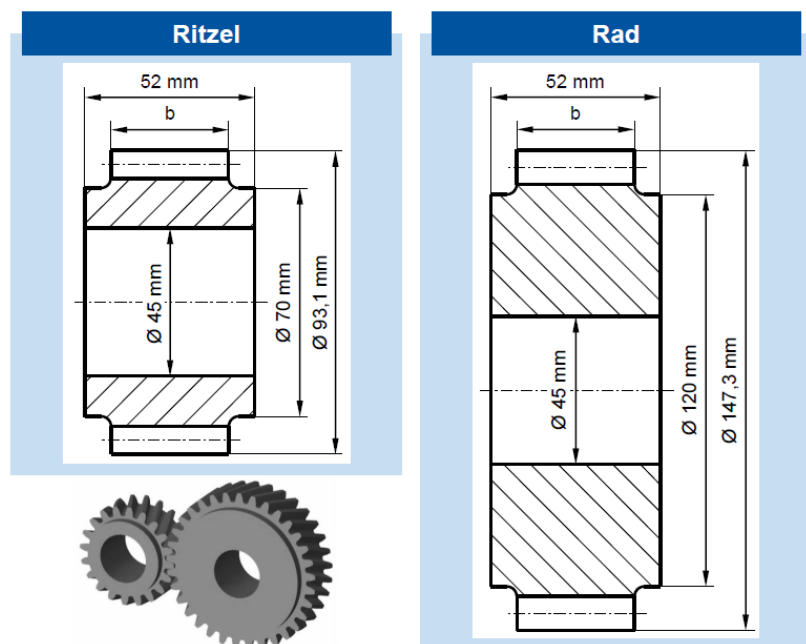
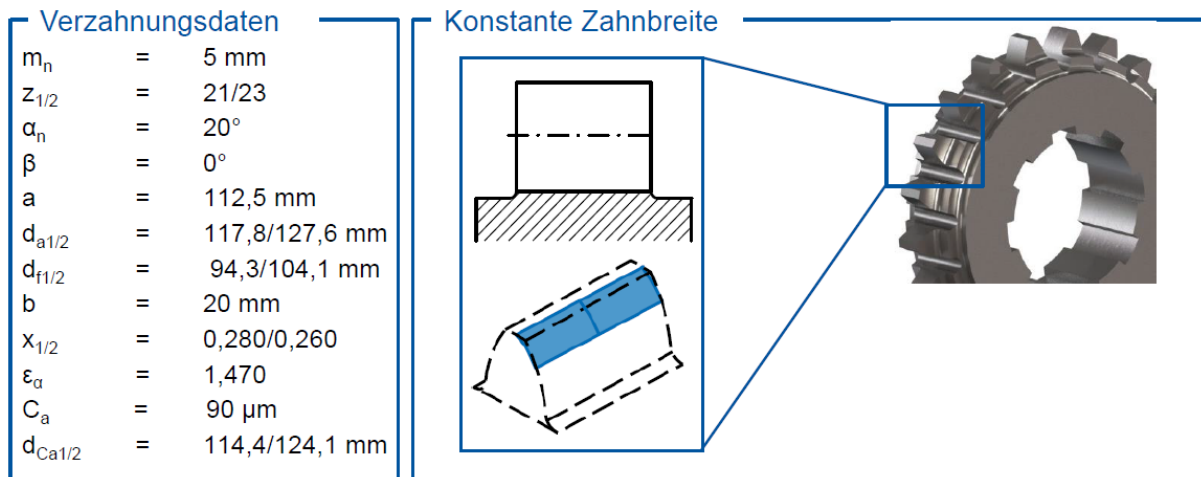


Bild 4: Schrägverzahnung für Technologieuntersuchungen





**Bild 5: Geradverzahnung für Tragfähigkeitsuntersuchungen**

Ferner wurden durch den Projektpartner ModuleWorks die CAX-Schnittstellendefinition durchgeführt. Die Definition orientierte sich an der Geometrie der Musterbauteile, der Geometrie der Werkzeuge sowie der Maschinenumgebungen. Weitere Informationen, welche im Rahmen der Schnittstellendefinition von Bedeutung sind, sind die zu erreichenden Oberflächenqualitäten, die Datenformate (STEP, IGES, NURBS etc.) und die Kinematik der Bearbeitungsmaschinen.

Als Bearbeitungsmaschinen wurden die beiden im Bild 6 dargestellten Bearbeitungszentren ausgewählt. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden ausgewählten Maschinen stellt die Positioniergenauigkeit dar. Die für die Hartbearbeitung vorgesehene Makino-Fräsmaschine hat laut Herstellerangaben eine um etwa den Faktor 5 höhere Positioniergenauigkeit. Daher eignet sich diese Maschine insbesondere für die Hartbearbeitung.

#### Weichbearbeitung

- Alzmetall GX 1000/5-FDT
  - Max. Bauteildurchmesser: 930 mm
  - 3-Achs-Positionsgenauigkeit: < 7  $\mu\text{m}$
  - Max. Drehzahl: 18.000 1/min
- Bearbeitungszeitraum: 18.6 – 20.7



#### Hartbearbeitung

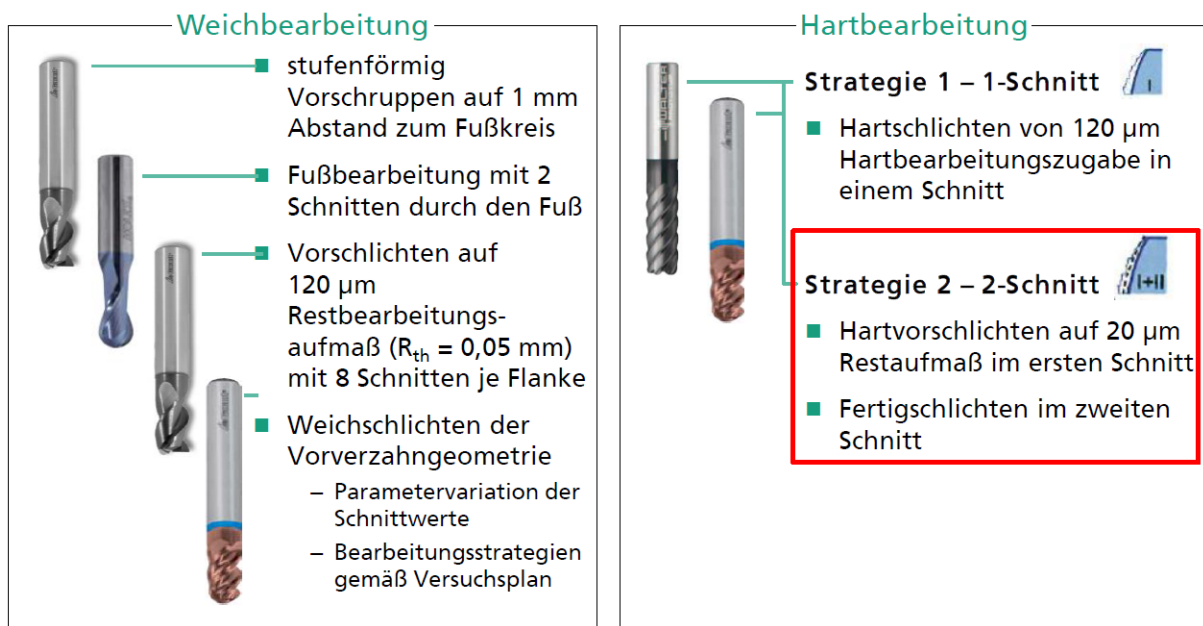
- Makino D500
  - Max. Bauteildurchmesser: 650 mm
  - 3-Achs-Positionsgenauigkeit: < 1,5  $\mu\text{m}$
  - Max. Drehzahl: 20.000 1/min
- Bearbeitungsstart: Ende des Jahres



**Bild 6: Werkzeugmaschinen zur Weich- und Hartbearbeitung**



Hinsichtlich der Bearbeitungsstrategien wurde eine mehrstufige Bearbeitung sowohl für die Weich- als auch für die Hartbearbeitung vorgesehen (Bild 7). Dabei kommt insbesondere der Hart-Schlichtbearbeitung eine besondere Bedeutung zu: Sie definiert schließlich das Maß, welches in der anschließenden Endbearbeitung mittels 5-Achsschleifen (durch die Fa. son-x) bearbeitet werden muss und damit den Endbearbeitungsaufwand.



Quelle: Hoffmann Group; Dissertation Julian Staudt, RWTH Aachen 2016

**Bild 7: Mögliche Bearbeitungsstrategien**

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Punkte berücksichtigt und durchgeführt:

- Analyse der Musterverzahnung zur Bestimmung z.B. des kleinsten vorkommenden Radius, des minimalen Abstandes der Zahnflanken usw. Weiterhin wird das Prozessfenster definiert. Anhand dieser Informationen werden die Werkzeuge ausgewählt.
- Werkzeugauswahl für die Fertigung der Zahnücke. Die Werkzeugauswahl umfasst die Auswahl der Geometrie (Form des Schleifstiftes), die Bindung (z.B. Kunstharz, Hybrid usw.) sowie die Art (CBN, Diamant usw.), Größe und Konzentration der Körnung.
- Berechnung der Schnittaufteilung je Werkzeug im Hinblick auf die zu erreichenden Qualitätsmerkmale

Basierend auf der Definition dieser wichtigen Randbedingungen (Bauteildefinition, CAx-Schnittellendefinition, Definition der Bearbeitungsstrategie) konnten die für den weiteren Verlauf des Vorhabens wesentlichen Punkte festgelegt werden. Hierauf aufbauend wurden weitere vorbereitende Tätigkeiten zur Bearbeitungsstrategie der Schleifaufgabe (AP1) durchgeführt. Diese vorbereitenden Tätigkeiten umfassten die Analyse der Musterverzahnung zur Bestimmung und Auswahl der zu verwendeten Werkzeuggeometrien (Form der Schleifwerkzeuge, Bindungstyp und Art des Schleifabstrahivs, Größe und Konzentration der Körnung), die Berechnung der Schnittaufteilung je Werkzeug im Hinblick auf die zu erreichenden Qualitätsmerkmale sowie die Auswahl einer geeigneten Maschinenkinematik. Das Ergebnis des Arbeitspaketes ist die theoretische Prozessauslegung für das 5-Achsschleifen.

Durch die intensive Zusammenarbeit mit den anderen Projektpartnern konnten wichtige Ergebnisse erzielt werden, die wiederum den Grundstein für andere Arbeiten darstellen. Mit der Musterverzahnung als Grundlage wurde eine Vorauswahl an Werkzeugen getroffen, die zur Bearbeitung der Zahnflanke genutzt werden können. Es handelt sich hierbei um Kugelpkopfwerkzeuge mit unterschiedlichen Bindungen und Kornarten. Des Weiteren wurde sich für ein 5-Achsbearbeitungszentrum der Firma Röders entschieden, welches den Anforderungen für das Schleifen entspricht. Erkenntnisse, die auf dieser Bearbeitungsmaschine erzielt werden, können auf andere Bearbeitungszentren übertragen werden.

Im Bereich der Zerspanuntersuchungen (AP2) wurden erste Importierungen des NC-Codes vorgenommen. Durch die Verwendung der gleichen Werkzeuge kann auf die Vermessungen zurückgegriffen werden, die auf anderen Werkzeugmaschinen übertragen werden. Ebenso ist das Importieren des NC-Codes durch eine einfache Anpassung des Postprozessors ohne weitere Probleme möglich.

Im Bereich der Modellbildung (AP3) wurden erste Abstimmungen für die Modellbildung getroffen. Hierbei handelt es sich um Absprache mit den beteiligten Projektpartnern für die Identifizierung des optimalen Überganges von der Fräs- zur Schleifbearbeitung. Auf Grund der Prozessauslegung ist dieser Prozess fortlaufend und wird abhängig durch die Erkenntnisse aus den Versuchen erneut hinterfragt.

## **2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind die Personalaufwendungen gewesen. Reisegelder und Materialgelder wurden nicht beansprucht (siehe zahlenmäßiger Verwendungsnachweis).

## **3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die son-x GmbH hat durch die intensive Zusammenarbeit mit den anderen Projektpartnern im ersten Jahr den Grundstein für die entsprechend folgenden bzw. nun anstehenden Arbeitspakete gelegt. So konnten mit der Musterverzahnung als Grundlage eine Vorauswahl an Werkzeugen getroffen werden, die zur Bearbeitung der Zahnflanke genutzt werden können. Es handelt sich hierbei um Kugelpkopfwerkzeuge mit unterschiedlichen Bindungen und Kornarten. Des Weiteren wurde sich für ein 5-Achsbearbeitungszentrum der Firma Röders entschieden, welches den Anforderungen für das Schleifen entspricht.

Das Fraunhofer IPT kann auf die gewonnenen Erkenntnisse zurückgreifen und auf Ihnen aufbauen. Insbesondere die Erkenntnisse des 5-Achsbearbeitungszentrum lassen sich einfach auf die Bearbeitungsmaschinen des Fraunhofer IPT übertragen. Für die nun anstehenden Umsetzungen wird eine Werkzeugmaschine der Firma Kern verwendet und man wird damit den gleichen Anforderungen für das Schleifen gerecht.

Des Weiteren hat son-x die ersten Importierungen des NC-Codes vorgenommen. Durch die Verwendung der gleichen Werkzeuge kann auf die Vermessungen zurückgegriffen werden, die auf die andere Werkzeugmaschine übertragen werden. Ebenso ist das Importieren des NC-Codes durch eine einfache Anpassung des Postprozessors ohne weitere Probleme möglich. Dies wird ermöglicht, da das Fraunhofer IPT eine enge Zusammenarbeit mit der Firma ModuleWorks pflegt und mit der

gleichen Software die CAM-Planung durchführt. Für die anschließende Versuchsdurchführung auf Basis des Design of Experiments (DoE), die nun am Fraunhofer IPT stattfindet, wird darauf zurückgegriffen.

Die von son-x erbrachten Arbeiten stellen somit eine wichtige Basis dar, auf der das Fraunhofer IPT aufbaut bzw. noch aufbauen wird. Diese Arbeiten sind in Abstimmung mit den Projektpartnern erfolgt und korrespondierten in ihrem Umfang in angemessener Weise mit dem ursprünglich verfassten Arbeitsplan.

#### **4. Nutzen für das Unternehmen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses**

Wie bereits in der Stellungnahme vom 20.02.2020 erläutert, kristallisierte sich während des Jahres 2018 immer mehr heraus, dass das für das Vorhaben verwendete Produkt, der nachgiebige Werkzeughalter (Compliant Tool Holder CTH) nicht die gewünschten Umsätze erzielte, weswegen dieser aus dem Produktportfolio der Firma son-x entfernt wurde. Im weiteren Verlauf wurden auch sämtliche Aktivitäten zum Thema Schleif-/ Polierbearbeitung eingestellt, was schließlich zur Entscheidung führte, aus diesem Projekt auszusteigen (siehe Stellungnahme vom 20.02.2020). Vor diesem Hintergrund sind die bis zum Ausstieg erzielten Ergebnisse als eine allgemeine Erweiterung des Technologieverständnisses zu bewerten, die jedoch keinen unmittelbaren Nutzen für das Unternehmen haben. Folglich wurden die Ergebnisse durch die son-x GmbH auch nicht weiter verwertet:

#### **5. Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen**

Es sind bis zum Zeitpunkt des Ausstiegs (Anfang 2019) keine FE-Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens Relevanz haben.

#### **6. Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc.**

Es wurden keine Veröffentlichungen, Vorträge o.ä. gemacht.