



1 *Roboterbasiertes Entgratsystem zur Durchführung der Machbarkeitsuntersuchung.*

2 *Darstellung iteratives Abzeilen der Profilkontur.*

## AUTOMATISIERTE ENTGRATUNG FÜR TURBINENTEILE

### EINE ENTWICKLUNG UND PROTOTYPISCHE UMSETZUNG

#### Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Division Power Generation der Siemens AG bietet ihren Kunden hocheffiziente Komplettlösungen, um aus fossilen Brennstoffen Strom zu erzeugen. Die Fertigung der einzelnen Komponenten entspricht höchsten Qualitätsanforderungen. Nur durch die gut strukturierten und effizienten Fertigungsabläufe und die jahrzehntelangen Erfahrungen von Siemens in der Herstellung von Großbauteilen ist es möglich, das enorme Spektrum an Bauteilvarianten zu beherrschen.

Um die Durchlaufzeiten zu verkürzen, die Fertigungsqualität zu steigern und die Ergonomie des Arbeitsplatzes zu verbessern, untersuchte das Fraunhofer IPA gemeinsam mit Siemens die Möglichkeit der automatisierten Entgratung für Turbinenteile. Bei der Herstellung der Niederdruckwellen für Dampfturbinen werden Nuten zur formschlüssigen Aufnahme der Schaufeln in die Wellen gefräst. Nach dem Fräsen dieser so-

genannten Tannennuten ist es erforderlich, ihre Kante zu entgraten und eine definierte Verrundung zu erzeugen. Die Automatisierung dieses Verrundungsprozesses mit Robotern war Gegenstand des Projekts. Das Ziel war es, die effizienten Prozesse in der maschinellen Fertigung bei Siemens auch auf die Verrundung der Tannennuten zu übertragen. Ausgehend von den Kundenwünschen und den Produktanforderungen sollten die Durchlaufzeiten durch Automatisierung verkürzt und ein gleichmäßiges Verrundungsergebnis erzielt werden.

#### Vorgehen und Ergebnisse

Folgende Vorgehensweise wurde aus der Aufgabenstellung abgeleitet:

##### 1. Ist- und Potenzialanalyse

Zu Beginn wurden die aktuellen Prozesse analysiert und die Potenziale für eine Automatisierung identifiziert. Hierbei wurde auch

#### Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

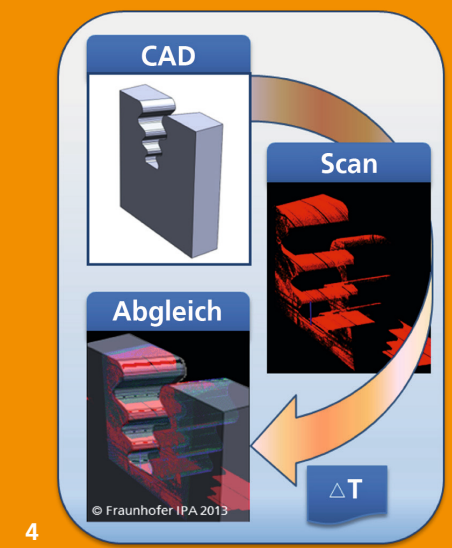
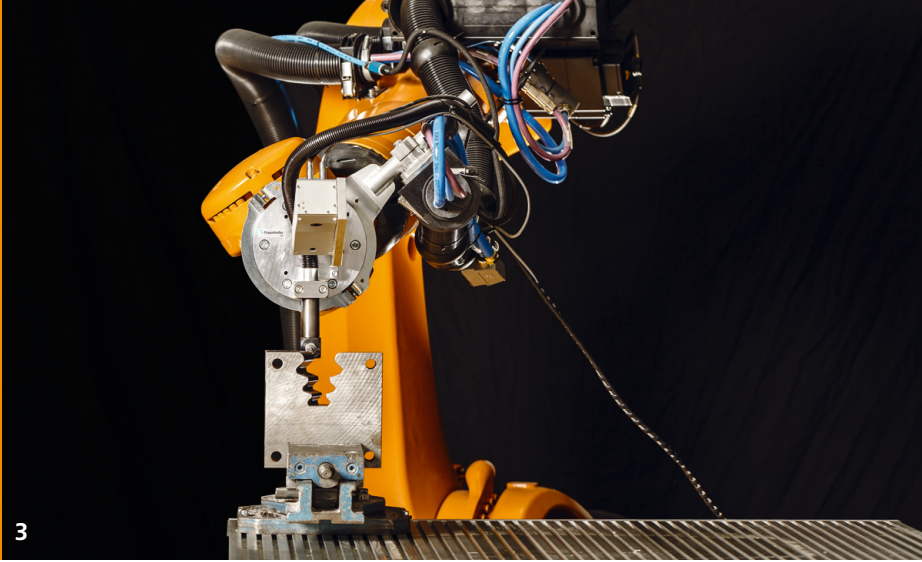
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Ansprechpartner  
Dipl.-Ing. Manuel Drust  
Telefon +49 711 970-1286  
manuel.drust@ipa.fraunhofer.de

[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)

#### IN ZUSAMMENARBEIT MIT





der Verrundungsprozess in vor- und nachgelagerten Prozessen einbezogen. Gegenüber der bisherigen manuellen Nachbearbeitung bietet eine automatisierte Entgratung vor allem Vorteile hinsichtlich der Bearbeitungsqualität, der Durchlaufzeit und der Betriebskosten.

### 2. Prozessidentifikation

Um die Verrundung der Nutprofile zu erreichen, wurde nach der Bewertung verschiedener Konzepte ein roboterbasierter Fräsprozess als geeignetes Verfahren identifiziert. Durch iteratives Abzeilen der Profilkontur mithilfe eines Torusfräasers wird hierbei eine Kantenverrundung erzielt. Auf diese Weise kann ein einheitliches Standardwerkzeug für die verschiedenen Geometrievarianten verwendet werden. Ein robotergestützter Prozess stellt eine hohe räumliche Reichweite sicher und ermöglicht gleichzeitig einen Sechs-Achs-Betrieb zur Werkzeugführung an komplexen geometrischen Konturen. Dadurch lassen sich verwinkelte Strukturen, die mit Werkzeugmaschinen nicht zugänglich sind, verrunden.

### 3. Erreichen hoher Genauigkeiten

Der entscheidende Faktor bei der Konzeption der Gesamtanlage war die Genauigkeit, mit welcher der Roboter die Bearbeitungsaufgabe durchführen kann. Eine Bearbeitung mit Ausweichspindeln schied aufgrund der Anforderungen aus. Um die erforderliche Genauigkeit zu erreichen,

wurde ein spezieller Endeffektor entwickelt, in dem – neben einer Frässpindel – ein hochauflösender Lichtschnittsensor integriert ist. Auf diese Weise kann der Sensor vor jedem Bearbeitungsprozess über den zu bearbeitenden Bereich geleitet und ein lokaler Einmessvorgang berührungslos am Werkstück durchgeführt werden. Somit ist ein anschließender Bearbeitungsprozess im Rahmen der Wiederholgenauigkeit des Roboters möglich.

### 4. Prototypische Implementierung

Die einzelnen Komponenten wurden prototypisch realisiert und erstmalig in ein roboterbasiertes Entgratsystem integriert. Vor allem die neu entwickelte Software zur automatisierten Erkennung der exakten Lage der Nutprofile stellt eine Schlüsseltechnologie der Automatisierungslösung dar. Mit der Software können Roboterbahnen vollautomatisch registriert und Fräsprogramme generiert werden. Dadurch ergibt sich eine flexible Lösung bei wechselnden Produktvarianten. Zudem kann auf manuelle Programmieraufwände verzichtet werden.

### 5. Experimente zur Machbarkeitsuntersuchung

Für die Versuche standen die bestens ausgestatteten Labore am Fraunhofer IPA zur Verfügung. An Versuchswerkstücken konnte die Eignung des Gesamtkonzepts zum Entgraten und Verrunden der Nutprofile nachgewiesen werden.

## Nutzen

Die automatisierte Entgratung bietet das Potenzial, die Durchlaufzeit um etwa drei Tage pro Turbinenwelle zu reduzieren. Zudem wird eine höhere und gleichmäßigere Qualität der Entgratung ermöglicht. Auf manuelle Bearbeitungsprozesse bei Werkstücken mit bereits hoher Wertschöpfung kann verzichtet werden. Außerdem ist eine Übertragung der Technologie auf weitere Produkte innerhalb der Turbinenfertigung möglich.

Das Fraunhofer IPA betreute das Projekt von der ersten Idee bis zum Nachweis der Machbarkeit. In den Laboren des Fraunhofer IPA konnte der Kunde mit geringem Aufwand und ohne Investitionen in Equipment Vorversuche durchführen. Die aus dem Projekt gewonnenen Ergebnisse dienen künftig als Grundlage für die Weiterentwicklung und Umsetzung der Verfahren in Zusammenarbeit mit Systempartnern.

3 Gesamtansicht des roboterbasierten Entgratsystems.

4 Einmessvorgang und Abgleich mit CAD.