

# Einsatz eines virtuellen Planungswerkzeuges in der technologischen Arbeitsvorbereitung unter Einbezug der Prozessphysik (Simulation Computer-Aided Planning)<sup>2</sup>

Dipl.-Ing. Marius Eßers

## 1 Einleitung

Die Auslegung von Prozessen zur Fertigung eines Einzelteils geschieht im Vorfeld der eigentlichen Durchführung. Dies umfasst primär technisch und technologisch orientierte Aufgaben und ist derzeit durch CAD/CAM-Systeme realisiert. Die möglichst vollständige digitale Absicherung der Prozesse durch Simulation gewinnt dabei immer mehr an Bedeutung. Der Projektschwerpunkt liegt deshalb auf der Prozessgestaltung als Bestandteil der Prozessplanung (CAP) in dessen Ergebnis ein Arbeitsablauf vorliegt. Ausgangspunkt ist eine gewählte Bearbeitungsmaschine, für die alternative Prozesse zu gestalten sind. Der zu entwickelnde Algorithmus für Tätigkeiten der Prozessgestaltung basiert auf der physikalischen Simulation mechatronischer Systeme, die in diesem Kontext in bisherigen CAx-Systemen nicht verfügbar sind.

## 2 Aufschlüsselung der Teilbereiche des Fertigungssystems

Die Prozesssituation wird in Teilsysteme zerlegt (Abb. 2.1), die als virtuelle Modelle mit physikalischen Eigenschaften eine Realisierung finden. Durch Realisierung einer Wirkstelle als Berechnungsmodell für Prozessgrößen sind folgende Eigenschaften des Prozesses zu berücksichtigen:

- Systemstatik (Kräfte, Momente, Arbeit, Leistung)
- Systemdynamik (Kinetik und Kinematik)
- Strukturmechanik (Deformation, Verdrehung)

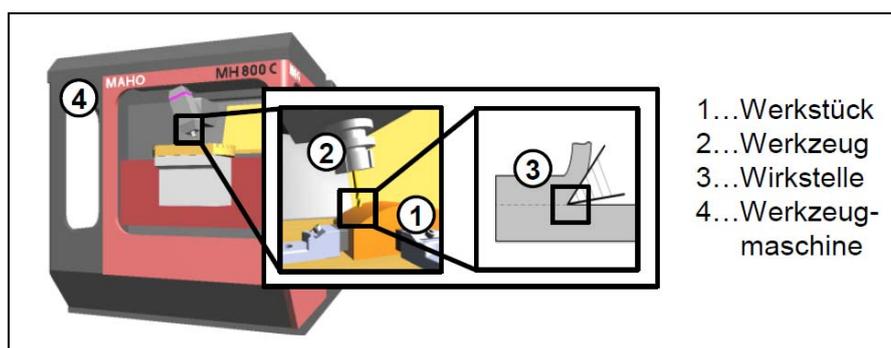


Abb. 2.1: Darstellung ausgewählter Fertigungsteilsysteme und Projektbereiche

Zur Auslegung des Prozesses wird zur Zeit eine Anwendungsoberfläche verwendet, die in Fortführung des Projekts durch Datenschnittstellen zu CAx-Systemen und weiterer Software (Konstruktion, Werkzeugwesen, Fertigung) aus dem direkten Umfeld ausgebaut wird.

<sup>2</sup> Das Projekt wird über die AiF im Rahmen des der Fördermaßnahme ZIM als Kooperationsprojekt vom BMWi gefördert.

Im ersten Meilenstein des Projektes wurde eine Prozessabbildung entwickelt, die die Teilsysteme Werkstück, Werkzeug und Wirkstelle umfasst.

### 3 Umsetzung der Teilbereiche des Fertigungssystems

Für die Realisierung des Projektvorhabens stehen verschiedene Softwaresysteme zur Verfügung. Vordergründig findet mit SimulationX eine CAE-Plattform /ITI-13/ Verwendung, in der, neben der Kopplung andere Systeme auch im fortschreitenden Projekt eine entsprechende Anwendungsoberfläche zu realisieren ist. Innerhalb von SimulationX wird der Prozess mit Werkstück, Werkzeug und Wirkstelle ausgelegt und parametrisiert und zusätzliche Simulationssysteme eingekoppelt. Alle Teilsysteme des Fertigungssystems wurden so ausgelegt, dass sie modular verschiedene Eigenschaften abbilden können.

Die CAE-Plattform bildet im Bereich der Strukturmechanik ideale Steifigkeit und das Verhalten eines Biegebalkens nach. Für detailliertere Berechnungen stehen in Erweiterung FEM-Module zur Verfügung, die zunächst durch das System Z88 Aurora /Z88-13/ realisiert, später jedoch durch Calculix /Cal-13/ ersetzt wurden. Damit ist es möglich beliebige Strukturen in ihrer Steifigkeit zu modellieren.

Neben der Verwendung einer internen Umsetzung der Wirkstelle, die in der Lage ist notwendige Prozesskräfte zu berechnen, dient auch ein externer NC-Simulationskern (NCSK) /Lee-10/, der bei Bedarf mit einer höheren Genauigkeit die entstehenden Kräfte im Zerspanprozess ermittelt. Diese Kräfte werden benötigt, um ein der Realität angenähertes Verhalten aller Komponenten und Teilsysteme zu ermöglichen.

#### 3.1 Teilsystem Werkstück

Das Werkstück wurde zunächst als ein in seinen Eigenschaften statisches Objekt betrachtet und ließ sich damit durch ein Oberflächen- und ein FEM-Modell abbilden. Als Grundlage für beides dient eine STL-Datei (Abb. 3.1). Im Rahmen des ersten Projektabschnittes fanden lediglich Betrachtungen zu einem Bauteil mit einem dünnen zu bearbeitendem Steg statt.

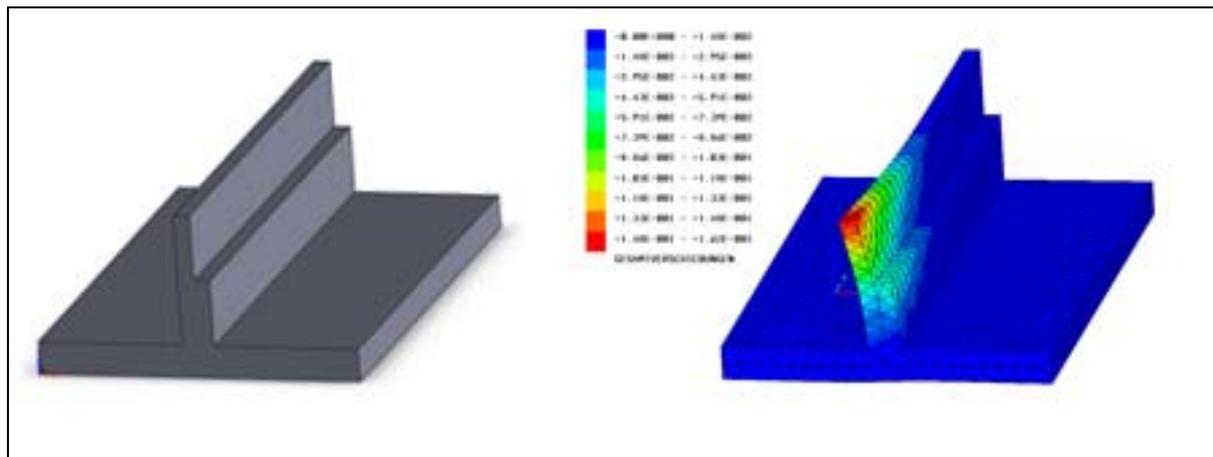


Abb. 3.1: Oberflächen- und deformiertes FEM-Modell des Werkstückes

Innerhalb dieser Umsetzung ließen sich durch die Verwendung des NCSK und des Calculix-Modules folgende Eigenschaften realisieren:

- Strukturmechanik
- Geometrie
- Volumen

- Masse

Diese dienen in darauffolgenden Schritten u. a. als Grundlage für die dynamische Betrachtung des Bearbeitungsprozesses.

### 3.2 Teilsystem Werkzeug

Das Werkzeug an sich unterliegt nur geringen Änderungen innerhalb eines Zerspanprozesses, die zunächst nicht berücksichtigt werden. Ähnlich dem Werkstück wurden auch für das Werkzeug unterschiedliche Visualisierungs- und Steifigkeitsmodelle angelegt (Abb. 3.2)

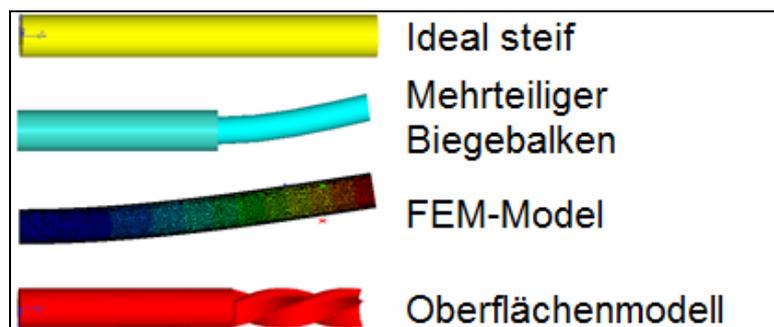


Abb. 3.2: Repräsentationsmodelle des Werkzeuges

Zusätzlich sind innerhalb der Prozessplanung unterschiedliche technologische Eigenschaften für das Werkzeug zu hinterlegen, damit diese sich in eine Prozessauslegung mit physikalischem Hintergrund einbeziehen lassen. Ein umgesetztes Datenmodell gewährleistet die Anwendung die in der Zerspanung verwendeten Normen von Werkzeugen und gängige Herstellerklassifizierungen. Darüber hinaus müssen technologische Daten erfasst werden, die für weitere Berechnungen notwendig sind, jedoch nicht von Herstellern unangefragt zur Verfügung stehen, noch normativ erfasst sind. Prototypische Werkzeuge, die angelegt wurden, lassen sich durch externe Datenbanken in Umfang und Inhalt erweitern.

Für das Werkzeug fanden Eigenschaften in den folgenden Bereichen Eingang:

- Strukturmechanik
- Geometrie
- Technologie.

### 3.3 Teilsystem Wirkstelle

Das Teilsystem Wirkstelle umfasst hier die Prozesskräfte, die durch die Durchdringung von und die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück entstehen und die damit einhergehende Veränderung des Werkstückes (Abb. 3.3).

Aufbauend auf der Kinematik des jeweiligen Prozesses und der Geometrie der beiden Teilsysteme lässt sich die Werkzeug-Werkstück-Durchdringung ermitteln. Dabei werden innerhalb der Durchdringung geometrische Algorithmen durchgeführt, die als Grundlage für die Prozesskraftberechnung dienen. Die errechneten Prozesskräfte lassen sich daraufhin auf die jeweiligen Strukturmodelle anwenden, deformieren diese ggf. und beeinflussen somit die Prozesssituation, neben der gezielten Bewegung. Weiterhin wird durch die Durchdringung ein Materialabtrag simuliert, der das sich während der Bearbeitung verändernde Werkstück repräsentiert. Es existiert hierbei eine vereinfachte Umsetzung mit der

Durchdringungs-, Geometrie-, und Prozesskraftberechnung, die eigens für SimulationX entwickelt wurde, sowie die Möglichkeit die genannten Berechnungen durch Co-Simulation im NCSK ausführen zu lassen.

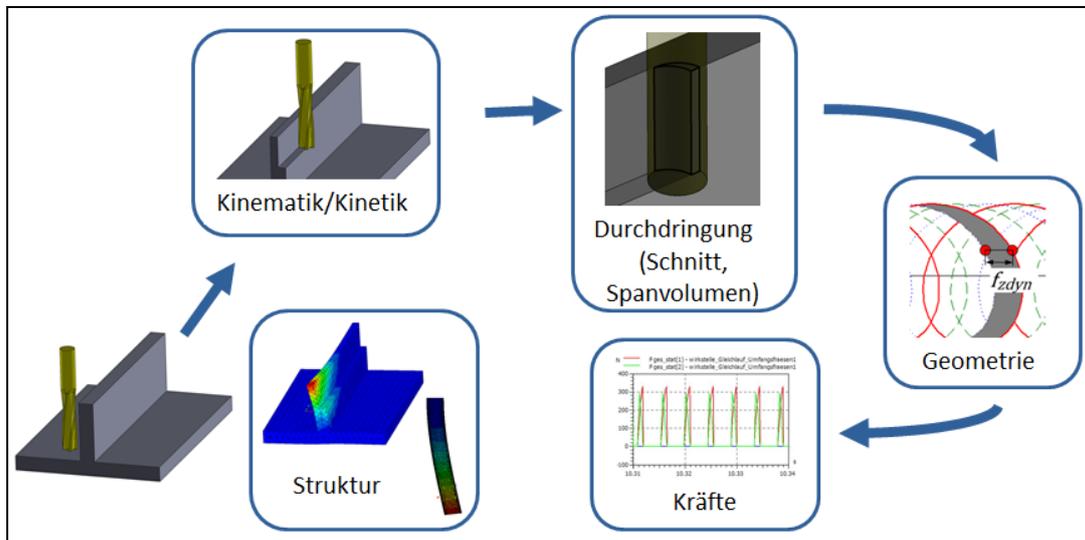


Abb. 3.3: Simulationsablauf mit Deformation und Materialabtrag

Für die Wirkstelle wurden somit folgende physikalische und prozessbeeinflusste Eigenschaften umgesetzt:

- Strukturmechanik
- Geometrie
- Volumen.

#### 4 Ergebnisse

In Kombination werden die realisierten drei Teilsysteme innerhalb SimulationX als objektorientierte Umgebung angewendet und verknüpft (Abb. 4.1). Dabei lassen sich Kräfte und Posen übertragen, die einerseits der Kinematik der Werkzeugmaschine zu Grunde liegen und andererseits berechnete Kräfte einkoppeln, die das strukturmechanische Verhalten aller Systemelemente beeinflusst.

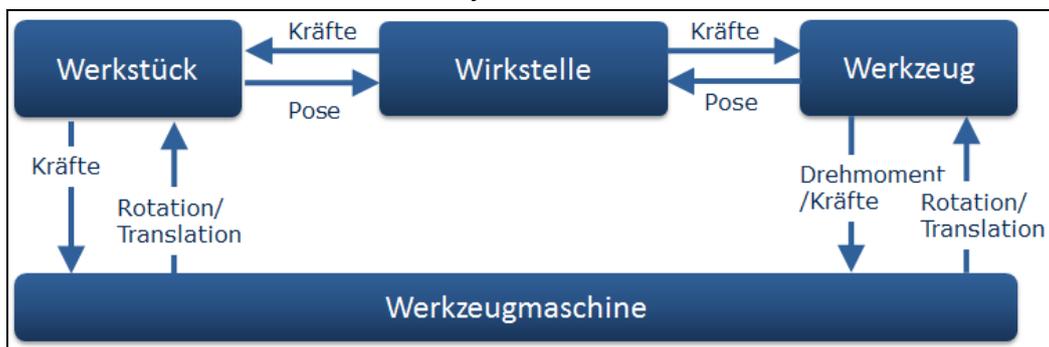


Abb. 3.3: Schematische Darstellung objektorientierter Simulationsaufbau

Neben den physikalischen Größen stehen allen Objekten auch die technologischen Größen der mit ihnen verknüpften Objekte zur Verfügung.

#### 5 Zusammenfassung

Durch die hier entstandene Umsetzung ist eine hinreichend genaue Berechnung der Prozesskräfte möglich, die universell für Planungsprozesse zur dreiachsigen Fräsbearbeitung einsetzbar ist. Ausgehend von der Wirkstellenkonzeption ist es nun möglich das System modular zu erweitern und mit weiteren Eigenschaften aus anderen Domänen (Elektrik, Elektrotechnik, Strukturdynamik) zu hinterlegen.

### **Literatur**

- /ITI-13/ <http://www.iti.de/>, Internetpräsenz, Stand Januar 2013
- /Z88-13/ <http://www.z88.uni-bayreuth.de/>, Internetpräsenz, Stand Januar 2013
- /Cal-13/ <http://www.calculix.de/>, Internetpräsenz, Stand Januar 2013
- /Lee-10/ Lee, S. W.; Nestler, A.: Modeling of Cutting Force for Cylindrical Milling Cutter and Feed Rate Optimization Using Five-Axis Milling Simulation, Proceedings of 8th International Conference on High Speed Machining (HSM), pp.64-70, Metz, France, 08-10 December 2010. ISBN 978-2-9534170-2-9.