

# Methodische Aspekte der Gestaltung virtueller Bearbeitungszentren<sup>1</sup>

Priv.-Doz. Dr.-Ing.habil. Andreas Nestler

## 1 Sichten auf virtuelle Bearbeitungszentren

Bei der Ablaufplanung von Fertigungsaufgaben auf virtuellen Bearbeitungszentren ist die Unterstützung von Entscheidungsprozessen eine aktuelle Zielstellung. Die im Aufgabenbereich relevante CAx-Prozesskette berücksichtigt Produkte, Prozesse und Ressourcen. Die Modelle zu diesen Kategorien sind für die Zielstellung in Verbindung mit einzusetzender VR-Technik hinreichend auszulegen [NES\_05a].

Die Definition der Sicht „Ablaufplanung automatisierte Teilefertigung“ beinhaltet die Schwerpunkte Einzelteil (Werkstück), CNC-Maschine (System) und Herstellung (Prozess). Der prinzipielle Aufbau von Szenarien zu virtuellen Bearbeitungszentren (Bild 1) folgt der Zielstellung virtuelle Validierung und Verifizierung von Fertigungssystemen und –prozessen, um die Auslegung der realen Systeme und die Sicherheit der realen Prozesse zu erhöhen [NES\_09a].

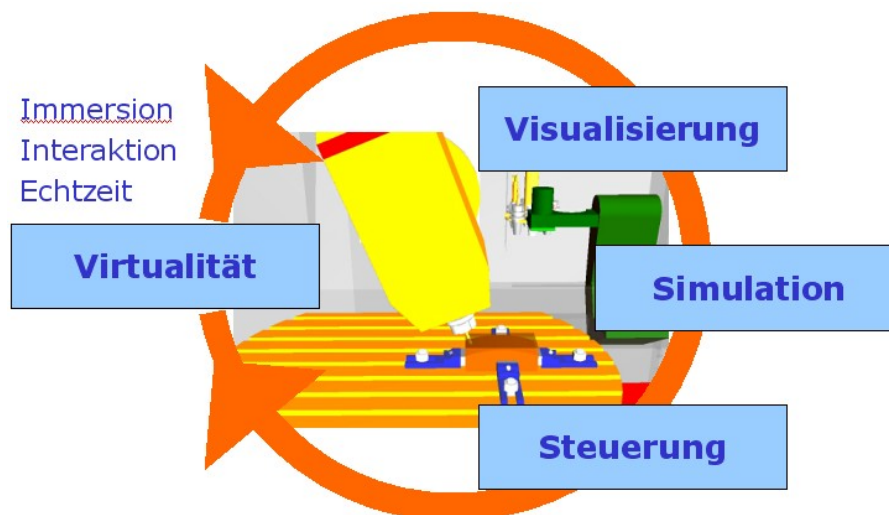


Bild 1: Szenarien virtueller Bearbeitungszentren

Der untersuchte Stand der Technik [NES\_05b, DUC\_06a, REI\_06, NES\_09b, HÜB\_09] bietet vielfältige Lösungen für *virtuelle Maschinen* z.B. als konfigurierbares Baukastensystem, in Verbindung reale oder virtuelle NC, SPS und MMC mit virtuellem Maschinenmodell und als Echtzeitvisualisierung sowie für *virtuelle Werkstücke* z.B. als Ergebnis des simulierten Bearbeitungsvorganges und als Prozessauslegung mit der simulierten Oberflächenqualität des Werkstückes.

Das Forschungsgebiet zielt auf folgende Anwendungsfelder für Systeme und Prozesse der Teilefertigung:

1. Auslegung von Maschinen und Komponenten (System)
  - Auslegung des Gesamtsystem (WZM-SPM-WST-WZ)
  - Koordination steuer- und regelbarer Komponenten (WZM-SPM-WZ)

<sup>1</sup> Beitrag zum Teilgebiet „Virtuelle Bearbeitungszentren“ am Zentrum Virtueller Maschinenbau (ZVM) an der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden

- Auslegung für Fertigungsaufgabe, Teileklassen (WST)
  - Training Bedienung, Programmierung, Kundenakquisition, Vertrieb u.ä.
2. Entwicklung von Alternativen zur Herstellung (Prozess)
- Analyse von gestalt- und funktionsbezogenen Abläufen
  - Auslegung von Spannsituationen bei komplizierten Bauteilgeometrien
  - Simulation von Bearbeitungsprozessen
  - Bewertung von Bauteilgeometrien, Qualität von Oberflächen
  - Analyse von NC-Programmen, Optimierung von Zerspanprozessen
  - Qualitätsbewertung und Messen Werkstück

## 2 Stufenkonzept zur Entwicklung von VR-Modellen

Der Vorgang der Modellerstellung für eine Simulation erfolgt in drei Hauptschritten, die bisher mit ausgewählten Aufgabenverteilungen [RTP] bearbeitet wurden:

- 3D-Modellierung
- 3D-Visualisierung und
- Virtualisierung.

Die Stufe **3D-Modellierung** beinhaltet die Erstellung von Volumenmodellen der Komponenten des zu betrachtenden Systems unter Berücksichtigung der Aspekte Struktur, Geometrie und Koordinatensysteme. Die Struktur des Maschinenmodells für die Realisierungsstufe automatisierter flexibler Fertigungssysteme in Form von Bearbeitungszentren wird vorrangig durch das Maschinensystem und die zugehörigen Werkstückspannsysteme, Werkzeugwechselsysteme, Komplettwerkzeuge sowie weitere benutzerdefinierte Objekte gebildet.

Anfangs ist eine Entscheidung über den objektspezifischen Detaillierungsgrad zu treffen, der u.a. vom Verwendungszweck des zu erstellenden Simulationssystems abhängig ist. So werden z.B. Werkzeuge detaillierter als Maschinengrundkörper auszuführen sein. Für vorhandene (importierte) Maschinenmodelle sind hinreichend starke geometrische Vereinfachungen z.B. durch Modellreduzierungen notwendig.

Alle Objekte sollten ein gemeinsames globales Koordinatensystem haben. Die zueinander unbeweglichen Objekte sind zu gruppieren, die zueinander beweglichen Bauteile und Baugruppen sind zu vereinzeln (Bild 2).

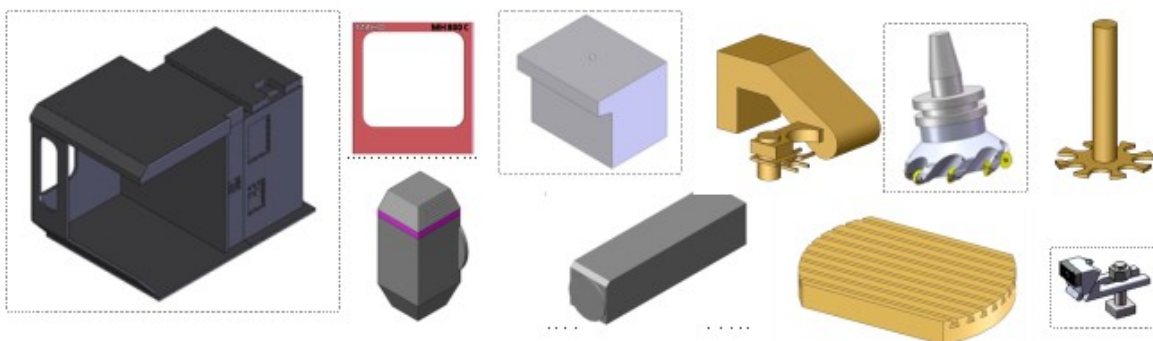


Bild 2: Detaillierung funktionaler Grundmodelle

In der Stufe **3D-Visualisierung** entsteht ein Simulationsmodell. Derzeit werden vorrangig Bewegungen und Sichtbarkeiten des Objektes aber auch spezielle Kontrollelemente (z.B. Knöpfe, Schieber, Kontextmenüs) und -mittel (z.B. Maus, Tastatur) zur Simulationsablaufsteuerung berücksichtigt. Eine erste Grundvoraussetzung für Modelle zu virtuellen Bearbeitungszentren ist die

Umsetzung der kinematischen Ketten aus werkzeug- und werkstückbezogenen Achsen einschließlich der zulässigen Verfahr- bzw. Schwenkbereichen (Bild 3) [DUC\_06b, KHA\_08, HÜB\_09].

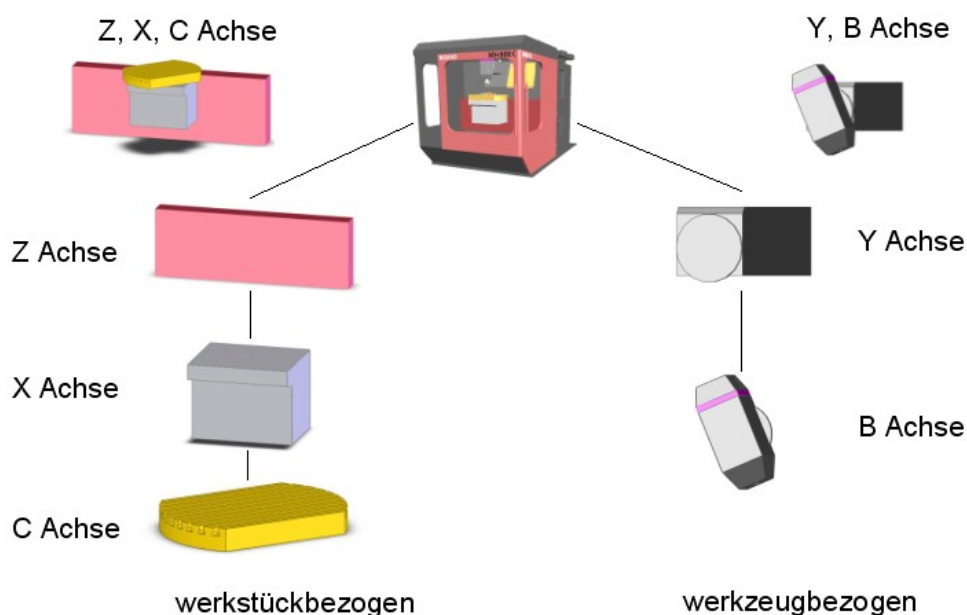


Bild 3: Kinematische Kette für eine spezielle Maschinenauslegung

Ein zweiter Schwerpunkt ist die Umsetzung weiterer Logiken zu steuer- und regelbaren Vorgängen, wie z.B. Schaltfunktionen und Werkzeugwechsellvorgänge, die den Simulationsablauf insgesamt beeinflussen. So ist z.B. der Werkzeugwechsellablauf stark von den Bauformen und Funktionsprinzipien der eingesetzten Greifer und Speicher abhängig. Realisiert wurden u.a. Steuerungsschritte für ein Doppelgreifersystem. Die Simulation berücksichtigt die Unterbrechung der Bearbeitung, die Lage der Werkzeuge im Magazin und die Achsen des Doppelarmgreifers. Beim Werkzeugwechsel müssen bestimmte Positionen berücksichtigt werden und der Schwenkarm muss Werkzeuge an der Spindel und im Speicher handhaben. Logischen Ketten wie Werkzeug 1 greifen, entnehmen, Schenkarm 180° drehen, Werkzeug 2 einbringen, ablegen sind zu implementieren. Erst mit der Rückschwenkbewegung in die Ruhestellung wird die Simulation für andere Funktionen freigegeben.

Mit der Konfiguration der notwendigen Komponenten wird die Auslegungsvariante oder Realisierungsform des Bearbeitungszentrums festgelegt. Darüber hinaus muss die Konfiguration in Abhängigkeit der Fertigungsaufgabe d.h. werkstückspezifisch berücksichtigt werden. Dazu zählen z.B. die zu konfigurierenden Werkstückspannmittel, die Lagebestimmung des Werkstückes und die Werkzeugträgerbestückung.

Kollisionen unterschiedlicher Art bei Bewegungsabläufen im Raum - zwischen kollisionsgefährdeten Komponenten der Maschine oder mit dem Werkstück - können z.B. durch Farbumschlag der kollidierenden Objekte berücksichtigt werden,

Die **Virtualisierung** verwendet darüber hinaus in erster Line andere Kontrollelemente (z.B. 3D-Menü-Objekte, Maschinenmodellobjekte) und -mittel (z.B. Brille, Flystick, 3D-Funkmaus). Zur Ausnutzung der neuen Möglichkeiten in virtuellen Umgebungen ist es notwendig insbesondere neue Formen der Interaktion und Kommunikation zu untersuchen [TÜR\_07].

### 3 Informationssysteme und -versorgung für VR-Modelle

CAD-Systeme wie z.B. SolidWorks und ProEngineer und das Simulationssystem EON-Sudio unter Verwendung der Standarddatenschnittstelle VRML sind die bisher eingesetzten Systeme für eigene Arbeiten. Das Ziel der Entwicklungsarbeiten ist die multivalente Nutzung der Grundmodelle für Desktop, Powerwall und CAVE mit geringen systemspezifischen Anpassungen.

Der Informationsfluss zur Modellerstellung ist zunächst mit Datentransformationen und –reduzierungen verbunden. Der Informationsfluss zur Modellnutzung erfordert die Bereitstellung der Maschinenkomponenten aus Datenbasen und die Informationsversorgung mit werkstückspezifischen Ablaufdaten aus CAM-Systemen wie z.B. GibCAM oder EXAPT.

Bei der Bereitstellung von Maschinendaten für Simulationssysteme sollte auf bereits vorhandenen Informationen aus diversen Betriebsmittelverwaltungssystemen aufgebaut werden. Die Bereitstellung von NC-Programmen sollte vorzugsweise auf der Basis kommerziell verfügbarer Systeme ohne Informationsbrüche erfolgen (Bild 4).

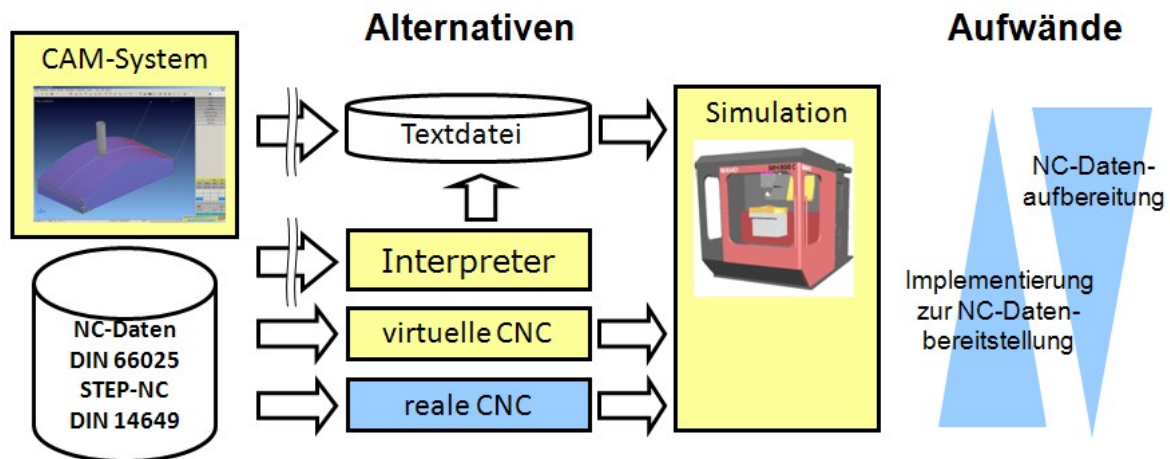


Bild 4: Ablaufprogramme und Steuerung

Im einfachsten Fall können zusätzliche Funktionen der manuellen Bedienung zur Informationsversorgung der Maschinenmodelle implementiert werden. Damit ist jedoch noch keine realitätsnahe Ablaufsimulation möglich. Zur Steuerung der Bearbeitungsabläufe können kommerziell verfügbare virtuelle Steuerungen unterschiedlicher Leistungsfähigkeit Anwendung finden. Eine Alternative ist der Einsatz realer Steuerungen, die herstellerabhängige oder –unabhängige Schnittstellen zur CNC voraussetzen. In Abhängigkeit die Zielstellung des Simulationssystems und unter Beachtung der Aufwände ist eine geeignete Alternative auszuwählen.

### 4 Virtuelles Werkstück – Materialabtrag durch Volumenaktualisierung

Informationssysteme zur Unterstützung der automatisierten spanenden Teilefertigung dienen der Werkzeug-Bahnplanung und der Erstellung von Steuerungsprogrammen für Bearbeitungsmaschinen und stellen die berechneten Ergebnisse dem Anwender als virtuelles Werkstück mit einer hohen geometrischen korrekten Abbildung dar (Verifikationssysteme). Um die Qualität der Abbildung der Realität weiter anzupassen, wurden neue Methoden zum Materialabtrag durch Volumenaktualisierung entwickelt. Diese „fotorealische“ Qualität am Werkstück wird durch exakte Hüllvolumenberechnungen ermöglicht [AIF\_07]. Das Ergebnis virtuelles

Werkstück widerspiegelt die vollständige Werkzeuggeometrie, die Einbeziehung der realen Eingriffsverhältnisse zwischen Werkstück und Werkzeug und die Relativbewegung zwischen beiden Objekten (Bild 5).

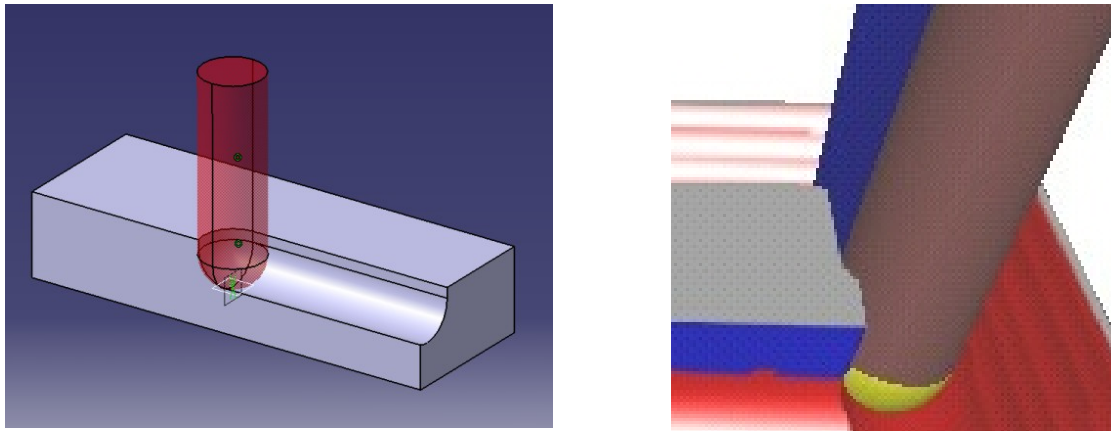


Bild 5: Werkstück-Volumenaktualisierung durch Hüllvolumen [LMN\_09]

Für eine sichere Prozessplanung besteht nun die weiterführende Anforderung darin, über die geometrisch orientierte Simulation hinausgehend den virtuellen Zerspanprozess hinreichend realistisch am virtuellen Werkstück abzubilden.

## 5 Eigenschaften und Funktionen virtueller Modelle

Aufbauend auf diesem Niveau der Modelle können in der Weiterentwicklung neue Anforderungen und Ziele für Eigenschaften und Funktionen der virtuellen Bearbeitungszentren berücksichtigt werden. Das betrifft z.B. physikalische der Mechanik: neben der bereits berücksichtigten Kinematik sind das weitere wie die der Statik, Kinetik und Schwingungen. Erst das prozessbezogene Verhalten des virtuellen Gesamtsystems bestimmt die Bearbeitungsqualität am virtuellen Werkstück.

Der Trend der Entwicklung geht hin zur möglichst vollständigen virtuellen Zerspannung durch das Zusammenfassen der Ergebnisse aus den relevanten Sachgebieten (Bild 6) der Bearbeitungssimulation.

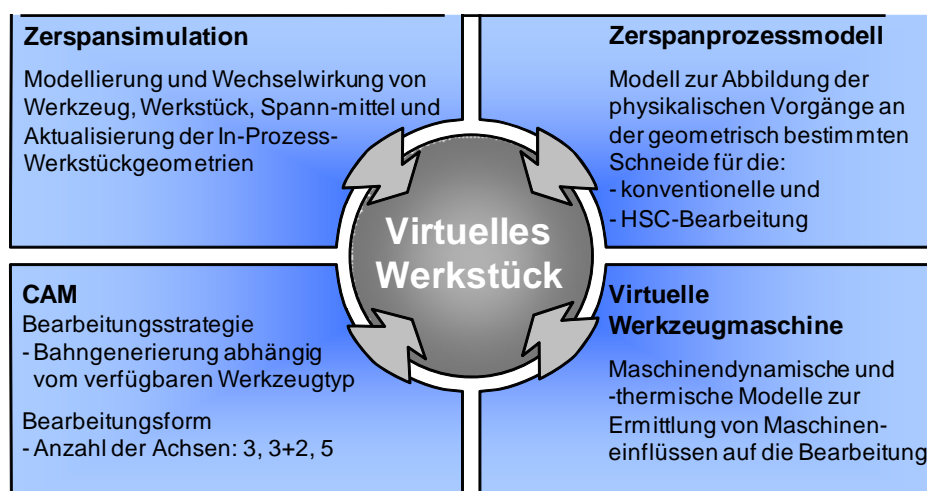
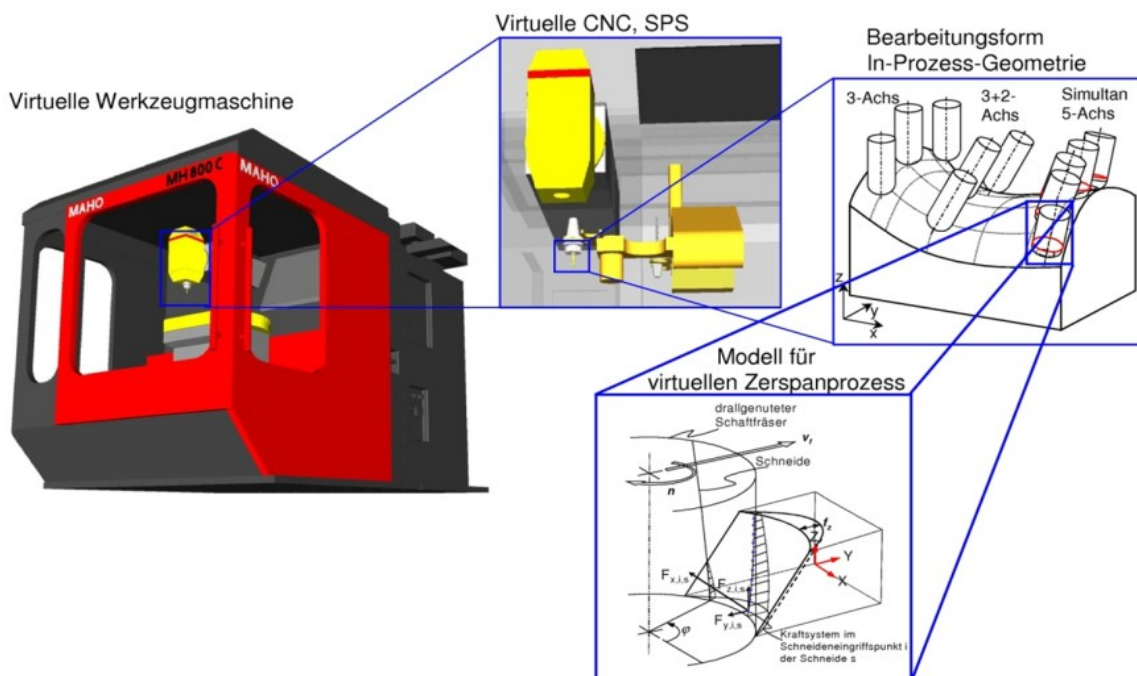


Bild 6: Sachgebiete der Bearbeitungssimulation

Die gestiegenen Möglichkeiten der Informationstechnik zur Entwicklung hochwertiger Simulationswerkzeuge und ein umfassenderes Prozessverständnis, z.B. durch neue Ansätze zur Zerspankraftmodellierung, Verschleißmodellierung und Berücksichtigung der Werkzeuggeometrie, ermöglichen gegenwärtig die Integration neuer Software-Funktionen in bestehende CAM-Systeme. Ziel ist es, das virtuelle Werkstück bereits vor der eigentlichen Fertigung am Rechner zu erstellen.

Die modellbasierte Zerspansimulation ist ein möglicher Weg, um das virtuelle Bearbeitungszentrum schrittweise mit hinreichender Prozessstauglichkeit auszustatten. Eine kraftmodellbasierte Zerspansimulation (Bild 7) soll zunächst auf der Basis eines Zerspankraftmodells zur Ermittlung der Kräfte am Werkzeug die Auslegung der Trajektoriegeschwindigkeit<sup>2</sup> für die simultane 5-Achsen-Fräsbearbeitung ermöglichen [AIF\_09]. Diese Geschwindigkeit des Werkzeuges entlang einer, vom CAM-System festgelegten Bearbeitungsbahn, gehört u.a. zu den entscheidenden Prozessparametern.



**Bild 7: Bestandteile der virtuellen Maschine und Einordnung des virtuellen Zerspansprozesses**

Eine weitere, abgeleitete Zielstellung verfolgt anwendungsorientierte Detaillierungsstufen für zweckbestimmte Simulationsansichten. Damit können Modellbestandteile für weitere verfahrensspezifische und technologische Teilaufgaben eingesetzt werden. So wurden für den Zweck der Lehre Module implementiert, mit denen z.B. die technologischen Grundlagen zum Bearbeitungsvorgang, zum Spannungsquerschnitt, zu den Bearbeitungsebenen und -kräften anschaulich vermittelt werden [SMWK\_06, SMWK\_08]. Für diese Vorgänge ist i.d.R. die Visualisierung der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück ausreichend. Mit der weiteren Einbeziehung mathematischer Modelle können vielfältige technologische Grundlagen über die Visualisierung anschaulich simuliert und das Prozessverständnis nachhaltig verbessert werden.

<sup>2</sup> entspricht fertigungstechnisch der Vorschubgeschwindigkeit; Die Trajektorie wird als Bewegungspfad (Bahnkurve) des Objektes Werkzeug in einer bestimmten Geschwindigkeit während einer Zeit am Werkstück verstanden.

## 6 Zusammenfassung

Die vorgestellten Modelle sind seit Jahren fester Bestandteil der Lehre und Forschung. Sie finden Einsatz im Rahmen der Lehrveranstaltungen Fertigungstechnik, Fertigungsplanung und Produktionsautomatisierung. Die Weiterentwicklung des Baukastensystems virtuelles Bearbeitungssystem ausgehend von technologischen Prozessmodellen bis hin zum kompletten Maschinenmodell erfordert insbesondere Weiterentwicklungen zur Konfigurierbarkeit des Gesamtsystems und Forschungsarbeit zum virtuellen Werkstück einschließlich der Werkstückaktualisierung.

### Literatur, eigene Arbeiten

- [DUC\_06a] Duc, V.C.: Grundlagen und Stand der Technik der Werkzeugmaschinen-simulation, Beleg Oberseminar, TU Dresden, 2006
- [DUC\_06b] Duc, V.C.: Kinematikmodell für Komponenten mehrachsiger Maschinen, Masterarbeit TU Dresden, 2006
- [HÜB\_09] Hübner, M.: Virtuelle Bearbeitungszentren – Kopplung reale CNC und virtuelles Maschinenmodell. Großer Beleg, TU Dresden, 2009
- [KHA\_08] Khattab, Y.: Virtuelle Bearbeitungszentren – Umsetzung von Maschinenkomponenten und Erarbeitung von Methoden zur Ablaufplanung, Großer Beleg, TU Dresden, 2008
- [LMN\_09] Lee, S.-W.; Münzner, J.; Nestler, A.: FlexMill: Flexible machining system tacking abnormal process status using NC milling simulation. In: Gantar, C: 7<sup>th</sup> International Conference on Industrial Tools and Material Processing Technologies, ICT&IPT 2009, Ljubljana, Slovenia. October 4-7, 2009, Vol.7, pp. 237-244, Celje: TECOS, ISBN 978-961-6692-01-4
- [NES\_05a] Nestler, A.: Intelligente Softwaretechnologien als Strategie der Produktions-automatisierung. In: Nestler, A.: Intelligente Produktionsprozesse - Softwarelösungen zur Gestaltung von Fertigungsprozessen. Vortragsband zum Fachkolloquium am 18.03.2005, Dresden: Selbstverlag TU Dresden, 2005, ISBN 3-86005-464-3
- [NES\_05b] Nestler, A.: Aktivitäten für VR-Anwendungen, PAZAT Forschungskolloquium 2005. Dresden, 18.04.2005
- [NES\_09a] Nestler, A.: Methodische Aspekte der Gestaltung virtueller und physischer Realität. Vortrag zum 3. SIT Ingenieurtag "Intelligente und wissensbasierte Wertschöpfungsketten". Chemnitz, 12.06.2009
- [NES\_09b] Nestler, A.: Virtuelle Bearbeitungszentren, PAZAT-Forschungskolloquium 2009. Dresden, 15.09.2009
- [NN\_09] N.N.: 3D-Realsimulation für exakteres Fräsen. Presseinformation VDI-Z 151 (2009), Nr.3, März, S. 42-43
- [REI\_06] Reinke, C.: NC-Simulation in der Fertigungsplanung spanender Prozesse, Diplomarbeit TU Dresden, 2006
- [RTP] 3D-Visualisierung virtueller Bearbeitungszentren. Rechentechnisches Praktikum, TU Dresden, Belege 2005-2009
- [TÜR\_07] Nestler, A.; Türke, O.: Virtuelle Bearbeitungszentren – 3D-Visualisierung in Lehre und Forschung
- [AIF\_07] FlexMill - Intraoperationell, flexible Fortführung der Bearbeitung nach Unterbrechung des NC-Fräsens, AIF-Projekt 02/2007 bis 03/2009
- [AIF\_09] OptiMill - Simultane 5-Achsfräsbearbeitung – Kraftmodellbasierte Zerspannsimulation, AIF-Projekt 04/2009 bis 03/2011
- [SMWK\_06] Multimediale Darstellung des Zerspanprozesses, SMWK-Projekt 2006
- [SMWK\_08] Online-Nutzung Multimedialer Zerspanprozessmodelle, SMWK-Projekt 2008