

# NC-gesteuerte Maschinensimulation

Dipl.-Ing. Martin Erler

## 1 Einleitung

Die Kinematik einer Werkzeugmaschine (WZM) ist für sämtliche Betrachtungen mit virtuellem Charakter essentiell. Die Kenntnis über den aktuellen Bewegungszustand der gesamten WZM ist Voraussetzung, wenn deren Verhalten vor der Bearbeitung prognostiziert, während der Bearbeitung überwacht oder anschließend analysiert werden soll. Von besonderem Interesse sind dabei auf der NC-Steuerung implementierte Maschinensimulationen, die das reale Maschinenverhalten während der Bearbeitung abbilden können. Die Kinematik einer WZM ist dabei von deren Bauform und Aufbau abhängig. Wie in /ERL-10/ dargestellt wurde, sind WZM überwiegend als serielle Kinematik ausgelegt. Um die an eine Steuerung angeschlossene WZM abbilden zu können, muss deren serielle Kinematik nachgebildet/entwickelt werden und mit zur Darstellung geeigneten Grafikdaten verknüpft werden, welche in der Regel aufbereitet bzw. die zugrunde liegenden CAD reduziert werden müssen. Diese beiden zentralen Arbeitsschritte erfordern viel Arbeit und sind oftmals im Ergebnis an eine bestimmte Darstellungssoftware gebunden. Ein weiterer Großteil ist, dass bei geringen Änderungen an der Kinematik (z.B. Verschiebung einer Rotationsachse) unter Umständen die Kinematik vollständig neu entwickelt werden muss.

Die beschriebenen Umstände erschweren die Integration von virtuellen Maschinenmodellen und die damit möglichen Funktionen (z.B. Kollisionskontrolle) in eine CNC erheblich. Um dem zu begegnen wurde das in /ERL-10/ vorgestellte modulare Bewegungsmodell z.Zt. für serielle Kinematiken an eine NC-Steuerung gekoppelt und für den Einsatz darauf optimiert.

## 2 Erweiterung des Kinematikmodells zu einer Maschinensimulation

Das entwickelte Kinematikmodell /ERL-10/ bildet die Grundlage für das virtuelle Maschinenmodell. Erst durch Hinzufügen weiterer Funktionen zum Kinematikmodell entsteht eine Maschinensimulation. Mit der Simulation können ganz unterschiedliche Ziele verfolgt werden (z.B. Schwingungsverhalten oder Leistungsaufnahme). Bei der Integration des Kinematikmodells in die NC-Steuerung ist das Hauptziel die Bereitstellung eines geometrischen (reduzierten) Maschinenmodells, das die Steuerungsdaten umsetzen kann. Es soll neben der korrekten Bewegung der WZM-Achsen auch

- eine parametrierbare Werkzeug-Darstellung,
- ein Materialabtrag,
- ein parametrierbares Rohteil sowie
- weitere Peripherie (z.B. Werkzeugwechselsysteme)

umgesetzt werden. Zielsystem ist eine Andronic 2060. Nebenbedingungen sind

- die Integration in das bestehende Plug-In-System,
- eine weitestgehend ruckelfreie Darstellung und
- geringe Systemlast.

## 2.1 Werkzeug-Darstellung

Die Erzeugung der Geometrie eines Werkzeuges kann auf grundsätzlich verschiedene Weisen erfolgen. Weit verbreitet sind

- eine explizite Darstellung über Primitive (z.B. Kugel oder Zylinder) und
- vorher erzeugte Oberflächenmodelle (z.B. Dreiecksnetze aus CAD-Modellen).

Um ein Werkzeug (WZ) darstellen zu können, das durch die Werkzeugparameter von

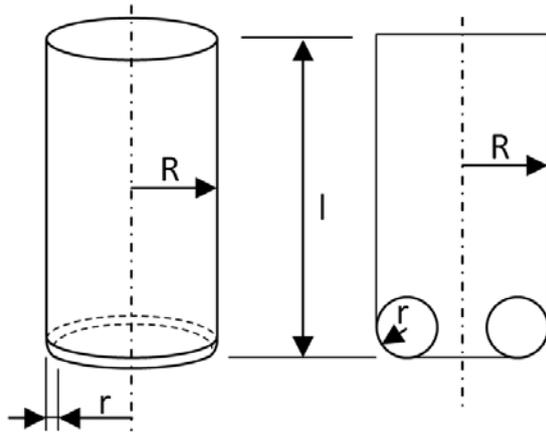


Abb. 1: verwendete Werkzeugparametrierung

der Steuerung parametriert wird, bieten sich die Primitive an. So lässt sich ein Schafffräser mit Eckenradius  $r$  über eine Kombination von Zylindermantelfläche, Torus und zwei Kreisflächen beschreiben (siehe Abb. 1). Über die Bedingung  $R = r$  lassen sich der Typ Kugelkopffräser und über sehr kleine  $r$  der Typ Schafffräser darstellen. Diese drei Typen sind die häufigsten Vertreter von Fräs Werkzeugen.

Um eine Darstellung zu ermöglichen, wird anschließend ein Dreiecksnetz aus den Oberflächen abgeleitet. Die Steuerung übermittelt die Parameter Werkzeuglänge, Schafradius und Eckenradius, so

dass die Ergebnisse eines Werkzeugwechsels korrekt abgebildet werden können.

Weiterhin ist es möglich das Werkzeug als eigenes Achsmodul abzubilden. Hierdurch wird die Möglichkeit des STL-Imports gegeben, was die Darstellung zuvor erzeugter Werkzeuggeometrien (z.B. via CAD) ermöglicht. Diese können dann ebenfalls für den Materialabtrag verwendet werden.

## 2.2 Materialabtrag

Für die NC-Verifikation ist der Materialabtrag mittlerweile Stand der Technik /LEE-11/. Diese erfolgt jedoch häufig NC-Code basiert mit einem systemeigenen NC-Code-Interpreter. Ziel ist eine Anwendung auf der Steuerung, um die Steuerungsdaten direkt verwenden zu können. Aufgrund der rechenintensiven Berechnungen dazu, ist eine Umsetzung auf einer NC-Steuerung direkt nur begrenzt möglich. Um keine grundsätzlichen Einschränkungen im Funktionsumfang zu erzeugen, wird sich für eine Reduktion der Auflösung entschieden. Zum Einsatz kommt das Dixelmodell /HOO-86/ in Kombination mit Time-Steps. Durch die Dreiecksfläche des WZes kann der Abtrag direkt durch Schnittgleichungen Strahl-Dreieck gelöst werden. Hierzu wird der Scan-Line-Algorithmus verwendet,



Abb. 2: Materialabtrag in der Maschinensimulation

welcher die gültigen Gitterpunkte des Dixelgitters für ein Dreieck ermittelt. Damit kann auch ein Abtrag bei fünffacher Bearbeitung simuliert werden (Abb. 2). Das Rohteil kann auf zwei verschiedenen Wegen erzeugt werden:

1. als parametrierbarer Quader
2. über den Import eines zuvor generierten Oberflächenmodell (STL-Dateiformat).

Der Quader kann dabei über die Konfigurationsdatei parametrierbar werden oder die Information über eine Schnittstelle zur Steuerung beziehen. Dies ermöglicht eine Anpassung während laufender Bearbeitung.

Die Platzierung erfolgt als Teil der kinematischen Kette. Durch Rückverfolgung der Kette kann die Transformation von Werkstückkoordinatensystem in das Maschinenkoordinatensystem vorgenommen werden.

### 3 Kopplung der Maschinensimulation mit der Steuerung

Das zu einer Maschinensimulation erweiterte Kinematikmodell kann auf zwei Wegen mit der Steuerung verwendet werden:

1. als externes, eigenständiges Programm, das auf einem separaten Rechner läuft (Abb. 3)
2. als Service-Dienst, der auf dem Steuerungsrechner läuft und über die Steuerungssoftware aufgerufen wird (Abb. 4).

Aufgrund der bisher nicht für Grafikanwendungen ausgelegten Hardwareausstattung der NC-Steuerung fällt die Qualität bei der steuerungsinternen Darstellung deutlich schlechter aus. Die Übertragung der Steuerungsdaten erfolgt

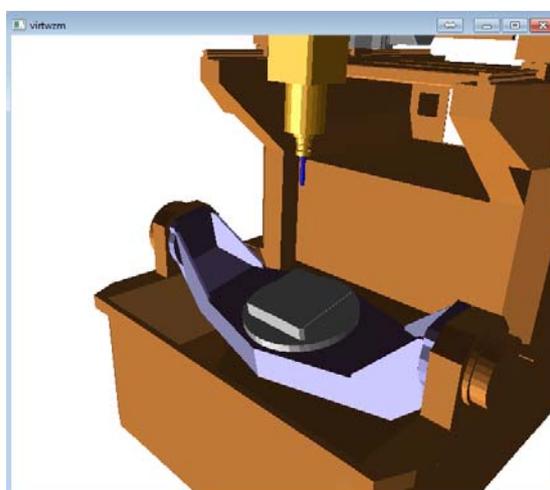


Abb. 3: AC-Maschine in eigenständigem Programmfenster

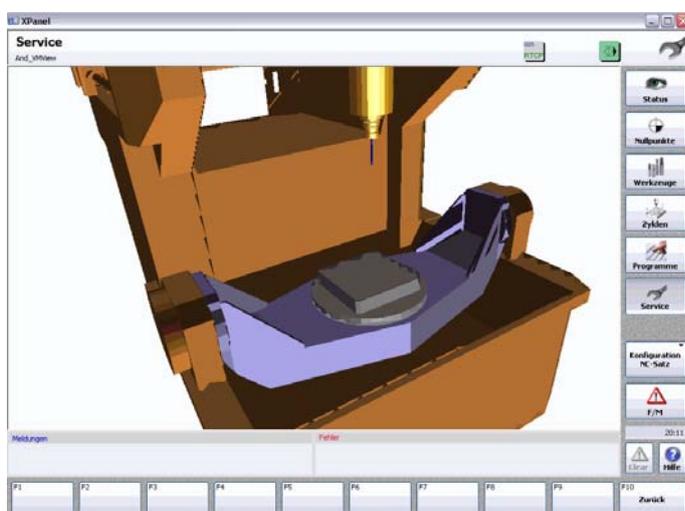


Abb. 4: AC-Maschine auf der Steuerung

in beiden Anwendungsfällen über eine steuerungsspezifische Schnittstelle. Die Schnittstelle ist über eine Konfigurationsdatei parametrierbar. So können beispielsweise schnell und einfach Achszuordnungen verändert werden. In Verbindung mit der parametrierten, modularen seriellen Kinematik können auf diese Weise in kurzer Zeit neue steuerungsfähige Maschinenmodelle erzeugt werden. Im Rahmen der Werkzeugspezifikationen (siehe 2.1) kann über die Schnittstelle auch ein Werkzeugwechsel simuliert werden.

Ist das Werkzeugwechselsystem als serielle Kinematik abgebildet, kann auch der Vorgang selbst dargestellt werden (Abb. 5).

Bei dem Betrieb auf einem separaten Rechner muss die Übertragung der Steuerungsdaten über das Netzwerk erfolgen. Dabei können Verzögerungen auftreten, die dann zu einer Schwemme an Steuerinformationen führen, was wiederum zu Sprüngen in der Simulation führt. Um dies zu vermeiden, wurde ein Datenpuffer integriert, der direkt mit den übermittelten Daten befüllt wird. Die Steuerungsdaten der einzelnen Achsen werden dort zusätzlich linear interpoliert, um zu große Sprünge, die durch Lücken auftreten können, zu schließen und so ein flüssigeres Bewegungsbild zu erzeugen. Dies entspricht zwar u.U. nicht den realen Bewegungen, fällt aber aufgrund der hohen Datendichte nicht ins Gewicht. Für weitergehende Anwendungen muss dies verbessert werden. Durch den Puffer kann es bei zu geringer Rechenleistung des Simulationsrechners zu einem Datenstau im Puffer kommen. Dieser wird deshalb überwacht und ggf. eine Meldung ausgegeben.

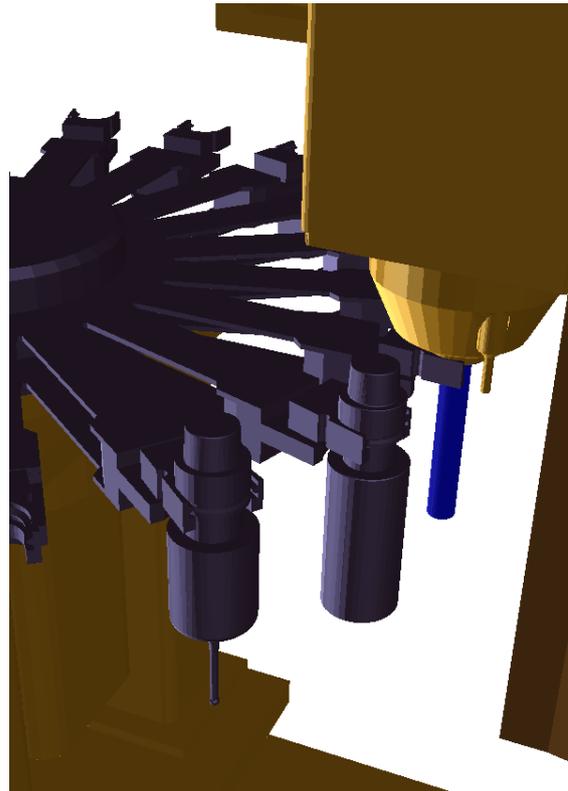


Abb. 5: simulierter Werkzeugwechsel

## 4 Zusammenfassung

Es wurde eine Maschinensimulation entwickelt, die auf einer modularen seriellen Kinematik basiert. Durch Konfigurationsdateien sind die Maschinenmodelle frei parametrierbar und änderbar. Die Steuerung der Maschinenmodelle erfolgt über eine proprietäre Schnittstelle der Andronic 2060, auf der die Simulation bereits erfolgreich getestet werden konnte. Durch diese Kombination können für beliebige serielle Kinematiken voll steuerungsfähige Maschinenmodelle in kurzer Zeit erstellt werden. Um die Nutzbarkeit und Anwendbarkeit zu demonstrieren, wurde eine fünffachsfähige Abtragsimulation implementiert.

### Literatur

- /ERL-10/ Erler, Martin; Modulares Bewegungs- und Darstellungsmodell für serielle Kinematiken; Forschungsergebnisbericht 2010 der Arbeitsgruppe Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik; TU Dresden; 2010; S. 21-27
- /LEE-11/ Lee, Seok Won; Nestler, A.; Complete swept volume generation - Part II: NC simulation of self-penetration via comprehensive analysis of envelope profiles; Computer Aided Design, vol.43, no.4, April 2011, 442-56
- /HOO-86/ Hook, Tim Van; Real-time shaded nc milling display; SIGGRAPH, 20(4): 15-20; Aug 1986