

Multimediales Modell des Zerspanprozesses³

Dipl.-Ing. Jens Hoffmann

1. Einleitung

Die Lehre der spanenden Fertigungsverfahren bildet einen wesentlichen Schwerpunkt des Lehrgebietes von PAZAT. Dabei ist es eine besondere Herausforderung, die Verfahrensgrundlagen mit ihren komplex wirkenden Einflussgrößen darzustellen und den Studierenden anschaulich zu vermitteln.

Durch die Förderung im Rahmen des zweiten Multimediafonds der TU Dresden bestand die Möglichkeit, die im Projekt „Multimediale Darstellung des Zerspanprozesses am Beispiel des einschneidigen Trennverfahrens Drehen“ begonnenen Arbeiten / MUM-07, FEB-08, MUM-09/ fortzuführen.

Neben dem weiteren Ausbau der vorhandenen Modelle spielte die Realisierung der Online-Nutzbarkeit eine wesentliche Rolle innerhalb der Projektarbeiten.

Die online-verfügbaren Zerspanprozessmodelle werden derzeit im Rahmen der Lehrveranstaltungen „Fertigungstechnik I – Zerspan- und Abtragtechnik (ZAT)“, „Fertigungstechnik II – ZAT“ sowie „Fertigungstechnisches Praktikum“ im Direkt- und Fernstudium eingesetzt. Diese Lehrveranstaltungen werden aktuell pro Studienjahr von insgesamt ca. 800 Studenten besucht. Zusätzlich zu den bisher nur in der Vorlesung demonstrierten Modellen können sie jetzt auch von den Studenten zur Nachbereitung der Vorlesungen sowie zur Vorbereitung der Übungen und Praktika genutzt werden. Sie stellen damit eine Ergänzung zu den bisher bereits verfügbaren Skripten und Lehrbriefen jedoch keinen Ersatz dafür dar.

Auf Grund spezieller Softwareanforderungen, auf die im folgenden noch näher eingegangen wird, ist der online-Kurs zur Zeit nur mit dem Internet Explorer von Microsoft voll nutzbar.

7 OPAL-Plattform

Die online-Plattform für Akademisches Lehren und Lernen an den sächsischen Hochschulen OPAL /OPAL-09/ stellt eine Möglichkeit zur Integration von Lehrinhalten in das Internet dar. Zugriff haben alle Mitarbeiter und Studenten sächsischer Universitäten und Hochschulen. Das System wird durch die Bildungsportal Sachsen BPS GmbH in Chemnitz betrieben und gepflegt. Der Aufwand für den Nutzer besteht nur in der Erstellung und Pflege der eigenen Lerninhalte in Form sogenannter Kurse. Dazu steht eine Programmieroberfläche zur Verfügung. Einschränkungen ergeben sich aus der z.Zt. verfügbaren Funktionalität des Systems. Teilweise können diese durch nachladbare Plug-In's beseitigt werden.

Eine Alternative dazu wäre die Nutzung eines eigenen oder externen Web-Servers für den Betrieb der entsprechenden Seiten. Hierbei würde jedoch ein wesentlich höherer Aufwand auf den Nutzer zukommen. Andererseits steht dem Anwender (meist) der volle Umfang der HTML- und Java-Programmierung zur Verfügung.

Entsprechend dieser Abwägungen wurde die Nutzung der OPAL-Plattform für das zu bearbeitende Projekt speziell aus der Sicht des administrativen Handlings bevorzugt.

³ Gefördert im Rahmen des 2. Multimedial-Fonds der TU Dresden als Projekt „Online-Nutzung Multimedialer Zerspanprozessmodelle“

8 Kurs „Fertigungstechnik I - ZAT“

Im Rahmen des Projektes wurde der OPAL-Kurs „Fertigungstechnik I – ZAT“ erstellt. Dieser beinhaltet ausgewählte virtuelle Modelle und hat folgende Grundstruktur:

- Einführung
- Nutzungshinweise
- Drehen
 - Vorgangsbetrachtung
 - Querschnittbetrachtung
 - Ebenenbetrachtung
 - Kräftebetrachtung
- Fräsen
 - Vorgangsbetrachtung
 - Querschnittbetrachtung
 - Ebenenbetrachtung
 - Kräftebetrachtung
- Linkliste
- Kontaktformular

Die untersetzten Module innerhalb der Bereiche Drehen und Fräsen beinhalten jeweils folgende Grundstruktur:

- Visualisierung
Mit gängigen Voreinstellungen wird zunächst der Sachverhalt an Hand des virtuellen Modells vorgestellt.
- Interaktion
 - Handling des virtuellen Modells
Mit Hilfe spezieller Funktionen kann der Nutzer die Darstellung modifizieren. Dazu besteht die Möglichkeit des Modell zu bewegen und zu skalieren, verschiedene Größen (z. B. Kraft- und Geschwindigkeitsvektoren) können selektiv dargestellt werden.
 - Visualisierung von Einflussparametern
Bei einer Reihe von Einflussparametern existieren mathematische Zusammenhänge mit den dargestellten Prozessgrößen. Um dies besser zu verdeutlichen sind in die virtuellen Modelle entsprechende Formeln mit den erforderlichen Eingaben integriert. Die Modelle werden entsprechend den getätigten Eingaben online aktualisiert.
- Kontrolle des Lernergebnisses
Mit Hilfe von drei bis vier Kontrollfragen kann der Lernende seinen Kenntnisstand überprüfen. Dazu werden die entsprechenden Werkzeuge der OPAL-Plattform verwendet.

8.1 Modul „Einführung“ und Modul „Nutzungshinweise“

Der Kurs beginnt mit dem Modul „Einführung“. Neben einem kurzen fachlichen Einführungstext ist die Vorstellung des Handlings des Kurses und speziell der virtuellen Modelle der Schwerpunkt dieses Abschnittes.

Für die Nutzung der virtuellen Zerspanprozessmodelle ist die Installation eines speziellen Plug-In's erforderlich. Hierbei handelt es sich um einen Viewer für die mit Hilfe von EONstudio erzeugten virtuellen Modelle. Dieser ist zur Zeit nur für den Internet Explorer von Microsoft verfügbar. In der Bedienungsanleitung sind Hinweise für die Installation und für die Handhabung enthalten.

8.2 Modul „Drehen“

Die beiden Module „Drehen“ und „Fräsen“ sind die Hauptbestandteile des OPAL-Kurses. Sie beinhalten jeweils Bereiche zur Darstellung des Bearbeitungsvorganges, des Spanungsquerschnittes, der Bearbeitungsebenen sowie der während der Bearbeitung auftretenden Kräfte. Diese Modelle für das Verfahren Drehen wurden aus den Ergebnissen des früheren Projektes übernommen und weiterentwickelt. Der Schwerpunkt der Überarbeitung der Modelle war eine klare innere Systematik sowie die Integration von Möglichkeiten zur Interaktion durch den Lernenden.

Das Drehen ist ein spanendes Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide und einem einschneidigen Werkzeug (Bild 8). Das entsprechende virtuelle Modell wird zunächst mit voreingestellten technologischen Werten für den Vorschub f und die Drehzahl n zur Visualisierung geladen. Im Modell werden die verschiedenen Elemente des Vorschubweges L dargestellt (Vorlauf l_v , Anschnittweg l_a , Werkstücklänge l_w , Überlauf $l_ü$).

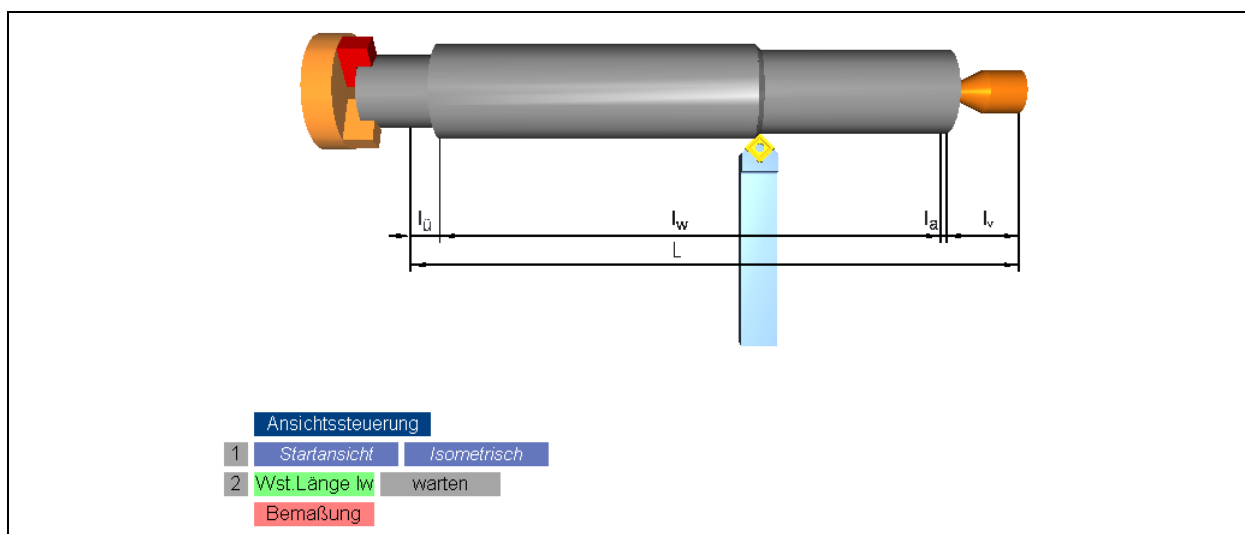


Bild 8: Virtuelles Modell des Fertigungsverfahrens Drehen

Durch Umschaltung des Steuerungsmenüs (Ebene 2, siehe Bild 9) kann der Nutzer diese Parameter selbst verändern. Über die entsprechenden Verknüpfungen mit der Simulation werden dynamisch diese Veränderungen in das Modell übernommen und verarbeitet. Außerdem wird der Schnittweg l_c entsprechend der Formel

$$l_{c_{\text{exakt}}} = d_m \cdot \pi \cdot \frac{l_f}{f} = d_m \cdot \pi \cdot \frac{l_w + l_a}{f} \text{ berechnet.}$$

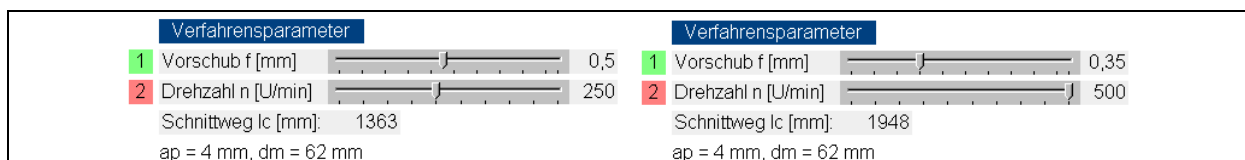


Bild 9: Einstellparameter für das virtuelle Modell des Fertigungsverfahrens Drehen

Das zweite Modell innerhalb des Verfahrens Drehen beschäftigt sich mit dem Spanungsquerschnitt und seinen Einflussgrößen (Bild 10). Hierbei besteht die Möglichkeit, Werkzeuge mit verschiedenen Einstellwinkeln κ_r zu verwenden sowie den Vorschub f zu modifizieren. Der Spanungsquerschnitt A wird jeweils berechnet

$$A = a_p \cdot f, \text{ die Schnitttiefe } a_p \text{ wird als konstant vorausgesetzt.}$$

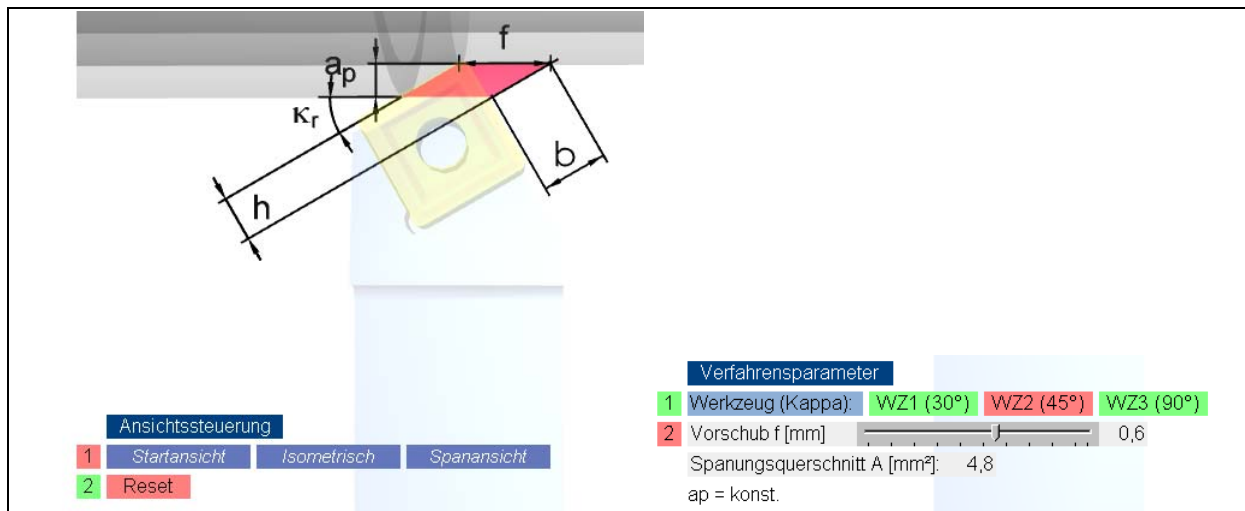


Bild 10: Größen am Spanungsquerschnitt beim Drehen mit Einstellmöglichkeiten

Der dritte Bereich beschäftigt sich mit den Ebenen und Geschwindigkeiten bei der Drehbearbeitung (Bild 11). Die Ansichtsteuerung erlaubt die Nutzung vordefinierter Ansichten sowie das selektive ein- bzw. ausschalten von Ebenen und Geschwindigkeitsvektoren. Außerdem können Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit analog zu den Potentiometern an einer CNC-Steuerung beeinflusst werden. Die entsprechenden Werte werden in der Simulation grafisch umgesetzt.

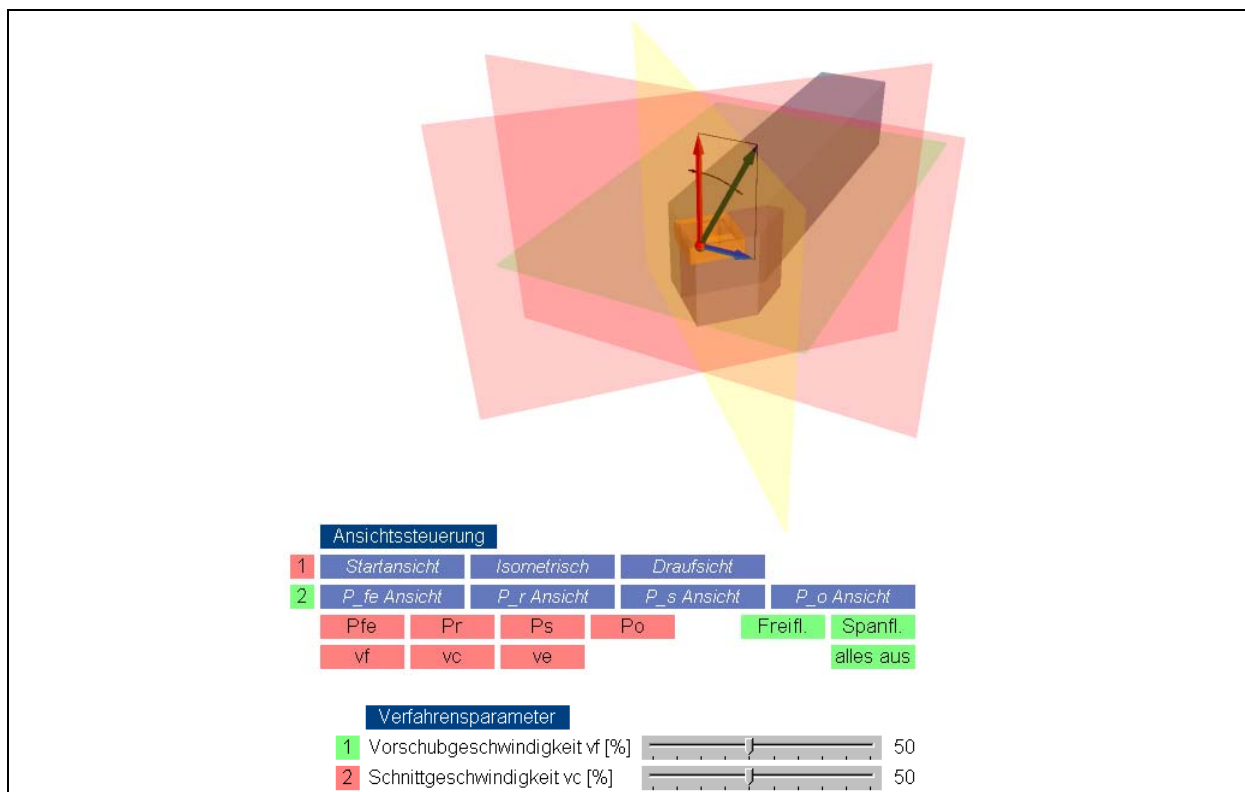


Bild 11: Ebenen und Geschwindigkeiten beim Drehen mit Einstellmöglichkeiten

Der vierte Bereich innerhalb des Bereiches Drehen dient der Darstellung der Zerspankraft und ihrer Komponenten Schnittkraft F_c , Vorschubkraft F_f , Aktivkraft F_a und Passivkraft F_p (Bild 12). Diese werden in Verbindung mit den Geschwindigkeiten dargestellt. Vorschub f und Drehzahl n sind durch den Nutzer modifizierbar, ihre Auswirkungen auf die Komponenten der Zerspankraft werden berechnet und am

Modell aktualisiert dargestellt. Zur besseren Zuordnung sind die Kraftkomponenten (F_c mit v_c sowie F_f mit v_f) und die entsprechenden Geschwindigkeiten in einer identischen Farbe dargestellt.

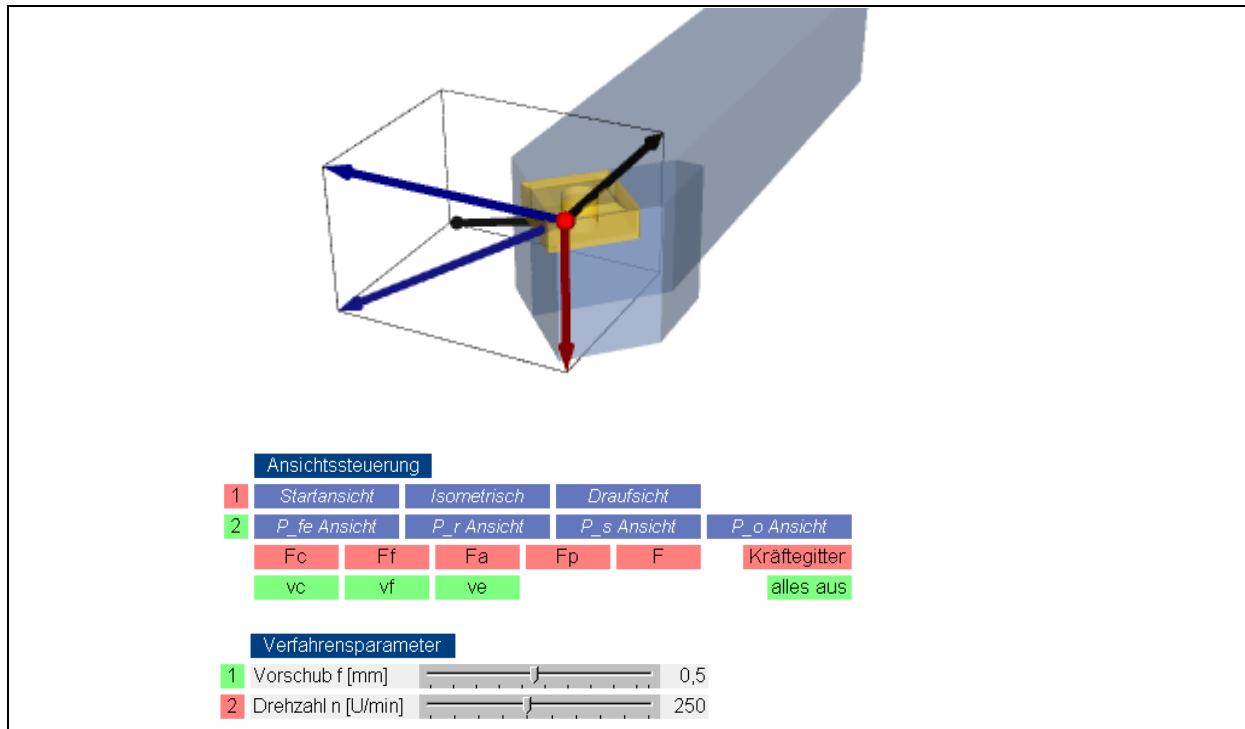


Bild 12: Kräfte und Geschwindigkeiten beim Drehen mit Einstellmöglichkeiten

Für jeden der Teilbereiche im Modul Drehen und ebenfalls im Modul Fräsen wurden Testfragen zur Selbstkontrolle der Lernenden entwickelt und entsprechend im Kurs implementiert (Bild 13). Er kann damit jederzeit seinen Kenntnisstand überprüfen und entsprechend den weiteren Lernprozess gestalten. Die Testergebnisse werden bisher durch den Kursleiter nicht erfasst und ausgewertet.

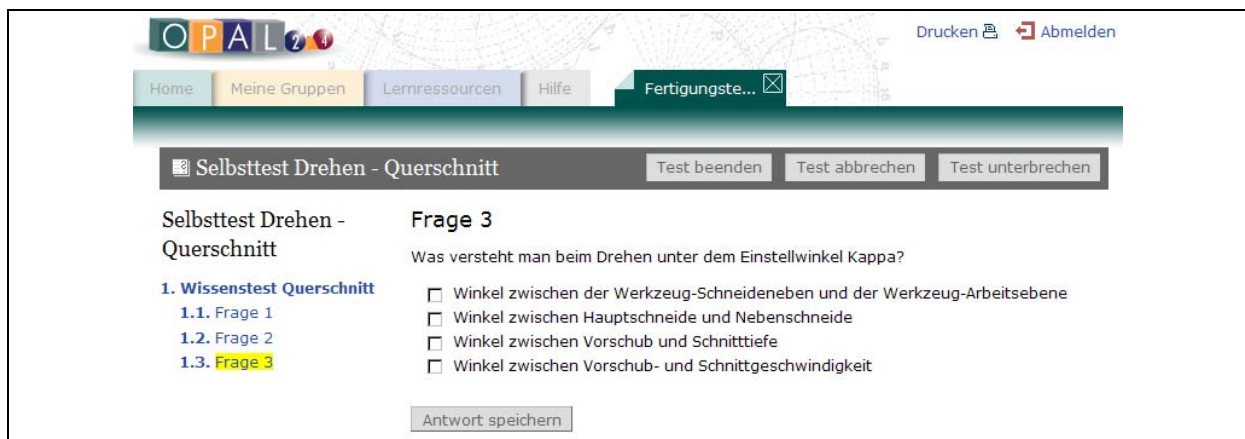


Bild 13: Beispiel für die im Kurs integrierten Wissenstests

8.3 Modul „Fräsen“

Für das Fräsen existieren analog zum Drehen die vier Bereiche zur Darstellung des Bearbeitungsvorganges, des Spannungsquerschnittes, der Bearbeitungsebenen sowie der während der Bearbeitung auftretenden Kräfte. Im Unterschied zum Drehen konnte hier nur auf einige studentische Arbeiten aus der Lehrveranstaltung

„Rechentechisches Praktikum“ zurück gegriffen werden. Sie wurden ebenso wie die Modelle des Drehens modifiziert und speziell um Funktionalitäten für die Interaktion des Lernenden ergänzt

Das Fräsen ist ein spanendes Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide und einem mehrschneidigen Werkzeug. Im Unterschied zum Drehen ist beim Fräsen die einzelne Schneide nur zeitweise im Eingriff. Dies hat wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung des Zerspanprozesses bei diesem Fertigungsverfahren.

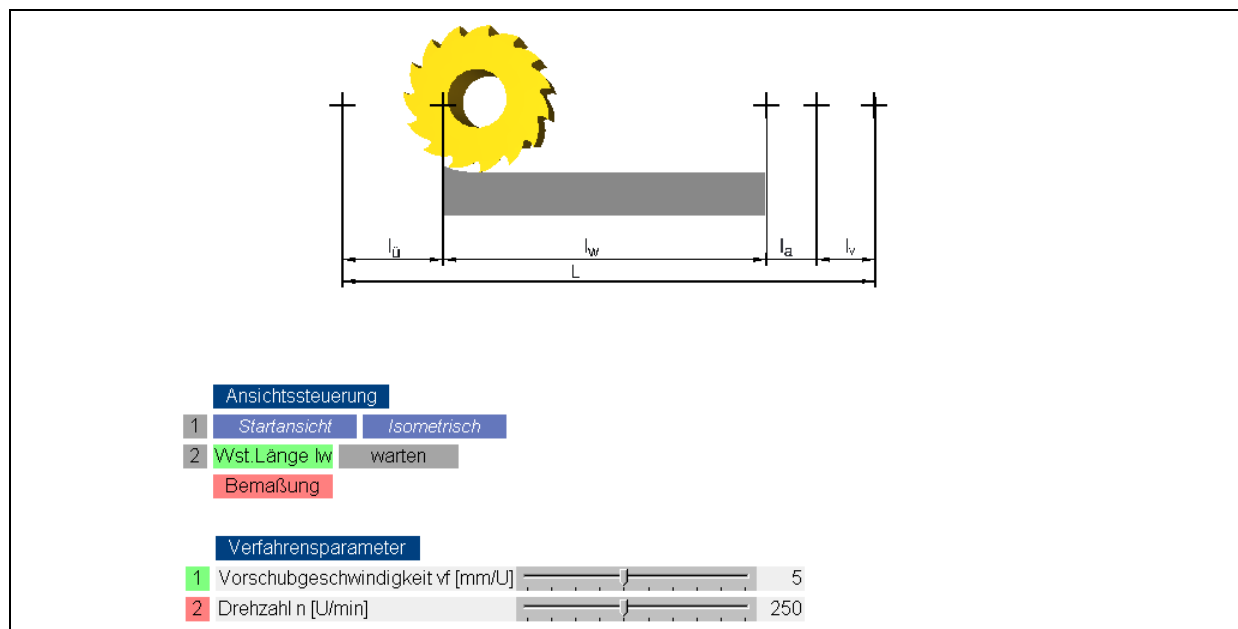


Bild 14: Virtuelles Modell des Fertigungsverfahrens Fräsen

Die Inhalte des ersten Bereiches beschäftigen sich wiederum mit den Verfahrensgrundlagen (Bild 14). Die Interaktion besteht in der Eingabeoption für die Vorschubgeschwindigkeit sowie die Drehzahl.

Die in diesem virtuellen Modell (analog zum vergleichbaren Drehmodell) dargestellten Verfahrenwege sind die Basis für die Berechnung der Hauptzeit t_h nach

$$t_h = \frac{L \cdot i}{v_f} = \frac{(l_v + l_a + l_w + l_u) \cdot d \cdot \pi \cdot i}{f \cdot v_c}$$

der allgemeinen Formel

Der zweite Bereich innerhalb der Modelle zum Fräsen beschäftigt sich mit dem Spanungsquerschnitt. Im Unterschied zum Drehen ist der Spanungsquerschnitt beim Fräsen nicht konstant. Mögliche Eingaben zur interaktiven Simulation sind der Vorschub pro Zahn f_z und der Eingriffswinkel φ . Es erfolgt darauf basierend die Berechnung der aktuellen Spanungsdicke h .

Der dritte Bereich im Modul „Fräsen“ bezieht sich wiederum auf die Bearbeitungsebenen. Für die Interaktion stehen die Größen Schnittgeschwindigkeit v_c , Vorschubgeschwindigkeit v_f und der Vorschubrichtungswinkel φ für die Variation durch den Nutzer zur Verfügung. Es erfolgt wiederum eine dynamische Anpassung des Simulationsmodells entsprechend dieser Werte. Die dazu erforderlichen Berechnungen werden wiederum innerhalb des virtuellen Modells realisiert.

Der vierte und letzte Bereich umfasst wieder die Problematik zur Zerspankraft und ihren Komponenten. Die Kräfte und die zugehörigen Geschwindigkeiten werden wiederum farblich gekennzeichnet:

- Schnittgeschwindigkeit v_c und Schnittkraft F_c rot

- Vorschubgeschwindigkeit v_f und Vorschubkraft F_f blau
- Wirkgeschwindigkeit v_e und Aktivkraft F_a schwarz

Außerdem können das Kräfte- und das Geschwindigkeitsgitter angezeigt werden. Für die Interaktion stehen die Drehzahl n , der Vorschub f sowie der Vorschubrichtungswinkel φ zur Verfügung. Deren Einfluss auf die Zerspankraftkomponenten wird berechnet und in der Anzeige dynamisch berücksichtigt.

8.4 Modul „Linkliste“ und Modul „Kontaktformular“

Neben den fachlich orientierten Modulen innerhalb des Kurses „Fertigungstechnik I – ZAT“ sind zusätzlich die Bereiche „Linkliste“ und „Kontaktformular“ vorhanden.

Die Linkliste dient zur Verknüpfung mit weiterführenden externen Inhalten, die im Internet zu finden sind. Bisher sind nur die Homepage der Arbeitsgruppe PAZAT (als Autor des Kurses) sowie die Homepage der EONstudio-Software integriert. Bei Bedarf kann dies jedoch kurzfristig zum Beispiel um den Download-Link für die Inhalte spezieller Vorlesungen erweitert werden.

Das Kontaktformular dient im Falle von Problemen mit dem Kurs, Fragen oder Hinweisen zum Inhalt zur schnellen Verbindungsaufnahme mit den verantwortlichen Autoren.

Beide Module wurden mit Hilfe der Standardelemente der OPAL-Plattform erstellt.

9 Erstellung der virtuellen Modelle

Ausgangspunkt für die Erstellung der virtuellen Modelle ist die 3D-Modellierung der Objekte mit Hilfe des CAD-Systems SolidWorks. Umgesetzt wurden die für das jeweilige Modell relevanten Komponenten des Systems Werkstück – Werkzeug – Spannmittel – Werkzeugmaschine. Das komplexe Gesamtsystem wurde, ausgehend von der Wirkstelle Werkzeug – Werkstück, stufenweise mit den entsprechenden Komponenten des Gesamtsystems verknüpft. Damit wurde es möglich, für ein gewähltes Bearbeitungsverfahren, die relevanten Vorgänge zu modellieren und zu animieren.

Für die Erstellung der virtuellen Modelle kam die Software EON Studio zu Einsatz. Die Auswahl der Software erfolgte auf Grund der Verfügbarkeit an der Fakultät Maschinenwesen. Der Einsatz anderer Software wurde aus finanziellen Gründen (keine Mittel für die Beschaffung im Projekt vorgesehen) sowie aus damit verbundenen personellen Risiken (fehlende Erfahrungen im Umgang, erhöhter Schulungsaufwand) nicht betrachtet. Ein für die Nutzung der Modelle erforderlicher Viewer ist kostenlos über das Internet verfügbar. Damit ist ein Einsatz der erzeugten Software problemlos möglich. Weiterhin ist dieses System auch für die Anwendung zur 3D-Visualisierung innerhalb der an der Fakultät Maschinenwesen installierten VR-Technik im Lichtenheldt-Hörsaal und bzw. der Powerwall der Cave des Zentrums für virtuellen Maschinenbau (ZVM) verfügbar, sodass der bei der Portierung der Modelle erforderliche Aufwand relativ gering ist.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Im Ergebnis des Projektes steht der Kurs „Fertigungstechnik I – ZAT“ mit den virtuellen Modellen zu den Grundlagen der spanenden Fertigungsverfahren Drehen und Fräsen zur Nutzung in der Lehre bereit.

Der Einsatz dieser neuen Multimediaanwendungen erfolgt im Rahmen der LV „Fertigungstechnik I“ (ca. 600 Direktstudenten und ca. 40 Fernstudenten) des Grundlagenstudiums Maschinenbau sowie „Fertigungstechnik II“ (ca. 50 Studenten) des Hauptstudiums Produktionstechnik und erlaubt den verstärkten Einsatz der an der Fakultät vorhanden Präsentationstechnik in der Lehre.

Die Arbeiten an den multimedialen Prozessmodellen sollen fortgesetzt werden. Vorgesehen ist die Erstellung weiterer Modelle für die Verfahren Bohren und Schleifen. Darauf aufbauende Entwicklungsoptionen sind die schrittweise Anpassung der Software an den Einsatz im Rahmen der an der TU Dresden vorhandenen VR-Technik einschließlich Cave sowie die Integration von weiteren Interaktionsmöglichkeiten für den Nutzer. Daraus leiten sich zwei Arbeitsrichtungen für zukünftige Projekte ab:

1. Erstellung von weiteren Prozessmodellen für spanende und generative Fertigungsverfahren
2. Entwicklung eines Baukastensystems von virtuellen Prozessmodellen bis hin zu vollständigen Maschinenmodelle mit Bearbeitungsabläufen

Damit wird auch der Einsatz virtueller Modelle zum Beispiel im Rahmen der Lehrveranstaltungen „Produktionsautomatisierung“ und „Fertigungsplanung I und II“ möglich.

Literatur

/FEB-08/ Hoffmann, J.: Multimediales Modell des Zerspanungsprozesses. In: Forschungsergebnisbericht 2007/08 der Arbeitsgruppe Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik. TU Dresden, 2009; S. 19-23

/MUM-07/ Multimediale Darstellung des Zerspanprozesses am Beispiel des einschneidigen Trennverfahrens Drehen. Abschlussbericht und Softwaredokumentation zum Projekt im Rahmen des Multimediafonds der TU Dresden. TU Dresden, 2007

/MUM-09/ Online-Nutzung Multimedialer Zerspanprozessmodelle. Abschlussbericht und Softwaredokumentation zum Projekt im Rahmen des Multimediafonds der TU Dresden. TU Dresden, 2009

/OPAL-09/<https://bildungsportal.sachsen.de/>