

newsletter



CARV 2005 – 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production

Am 22. und 23. September 2005 veranstaltet das *iwb* die erste internationale wissenschaftliche Konferenz zur Integration von *Wandlungsfähiger* und *Virtueller Produktion* auf dem Campus in Garching. Erwartet werden 150 Teilnehmer, die an zwei Tagen aktuelle Trends, neueste Forschungsergebnisse und zukünftige Fragestellungen der Wandlungsfähigen und Virtuellen Produktion diskutieren. Ziel der Veranstaltung ist es, die internationalen Kompetenzen auf beiden Gebieten zu einem zielgerichteten Dialog und Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie zusammenzuführen.

Florian Aull, Marco Carnevale

Sowohl Wirtschaft als auch Forschung erwarten, dass das Unternehmensumfeld im produzierenden Gewerbe künftig in noch größerem Maße von Turbulenz, Dynamik und Komplexität geprägt sein wird als bisher. Die Herausforderungen für Unternehmen liegen daher darin, organisatorische und technische Strukturen zu schaffen, die auf nicht vorhersehbare Ereignisse reaktionsschnell und aufwandsarm anpassbar sind. Zusätzlich zur unternehmensinternen Gestaltung adaptierbarer Strukturen werden unternehmensübergreifend Wertschöpfungsketten und -netze erforderlich sein, um mit derartig zusätzlich eröffneten Handlungsspielräumen den Herausforderungen der Zukunft erfolgreich begegnen zu können. Das Vorhalten von über den Flexibilitätsbegriff hinausgehenden Lösungen wird zukünftig die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen entscheidend beeinflussen.

Ziel der Forschung im Bereich der *Wandlungsfähigen Produktion* ist es, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, die Unternehmen von der technischen Ausgestaltung der Ressourcen bis hin zur Planung organisatorischer Strukturen



unterstützen, um sich sowohl proaktiv als auch reaktiv verändernden Anforderungen des Umfelds stellen zu können. Darüber hinaus werden Lösungsansätze benötigt, um einen Wandlungsbedarf zu

erkennen, den Wandlungsprozess selbst zu steuern und die Auswirkungen mess- und bewertbar zu machen. Die Wandlungsfähigkeit als das Potenzial

(Fortsetzung Seite 2)

Inhalt

Seite 1–2:
CARV 2005 – 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production

Seite 2–3:
Bewertung von Wandlungsfähigkeit im Rahmen der Fabrikplanung

Seite 4–5:
Ablaufsimulation für die Auslegung von Steuerungen in komplexen Systemen

Seite 6–8:
FE-Simulation des Reib- rührschweißens (Friction Stir Welding)

Seite 8:
Joachim Milberg erhielt Arthur-Burkhardt-Preis für Wissenschaftsförderung

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh
Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
www.iwb.tum.de

unvorhergesehene Ereignisse auch jenseits geplanter Flexibilitätsskoridore effektiv und effizient auf allen Ebenen zu bewältigen, ist daher der zukünftige strategische Erfolgsfaktor für produzierende Unternehmen.

Rechnerunterstützte Werkzeuge auf der anderen Seite stellen unabdingbare Instrumente für die Realisierung wandlungsfähiger Strategien dar. Werden technische und organisatorische Lösungen jedoch isoliert voneinander betrachtet, so können sie den unterschiedlichen Aspekten der Wandlungsfähigkeit nicht gerecht werden. Die hierfür benötigte Integration wird durch die Methoden der *Virtuellen Produktion* bereitgestellt. Diese

ermöglichen eine durchgängige und experimentierfähige Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsprozessen sowie -anlagen mit Hilfe digitaler Modelle über den gesamten Lebenszyklus von Produkten und Produktionssystemen. Die Implementierung geeigneter Reaktionsstrategien für wandlungsfähige Produktionsstrukturen muss durch angepasste digitale Planungs- und Simulationswerkzeuge unterstützt werden.

Ein effizientes Zusammenspiel von *Wandlungsfähiger* und *Virtueller Produktion* ist folglich der geeignete Schlüssel zur Schaffung reaktionsschnell adaptierbarer Unternehmensstrukturen mit dem Ziel der Bewältigung eines sich turbulent verhaltenden Unternehmensumfeldes.

Ziel der Konferenz ist es, die beiden dargestellten Handlungsfelder, die *Wandlungsfähige* und *Virtuelle Produktion*, in ihren jeweiligen Ausprägungen

zu diskutieren und synergetisch zu verbinden. Thematisch ist die Konferenz in vier Schwerpunkte gegliedert:

- Fabrikplanung und -betrieb / Supply Chain Design
- Produktentwicklung und Produktionsplanung
- Kostenmanagement und Geschäftsmodelle
- Mitarbeiterintegration und Arbeitsbedingungen

Die Konferenz dient der internationalen Wissenschaft als Podium für einen zielgerichteten Dialog und Wissenstransfer. Neben dem Stand der Forschung in den Themenschwerpunkten aus Sicht der *Wandlungsfähigen* und *Virtuellen Produktion* sind Vorträge erfolgreich umgesetzter Anwendungsfälle vorgesehen. Wegweisende Fortschritte in den einzelnen Forschungsfeldern sowie Ausblicke auf zukünftige Fragestellungen sollen Impulse für die weitere internationale Forschung geben.

Die weltweite Relevanz der

Konferenzthemen spiegelt sich neben der internationalen Besetzung des Scientific Committees auch im Eingang von mehr als 80 Beiträgen aus über 15 Ländern zu den einzelnen Schwerpunkten wider. Die Qualität der Konferenzbeiträge wird durch einen anspruchsvollen Auswahlprozess des Scientific Committee sichergestellt.

Als Keynotespeaker werden Prof. Suh vom MIT, Hr. Zipse von der BMW Group und Prof. Zäh vom *iwb* zu den Themen *Wandlungsfähige* und *Virtuelle Produktion* den Stand der Technik skizzieren, Visionen aufzeigen, Forschungspfade ableiten und damit den inhaltlichen Rahmen der Konferenzthematik aufspannen.

Nähere Informationen sowie die Möglichkeit zur Anmeldung finden Sie im Internet auf der Seite www.carv-production.com.

Termine 2005

■ Seminare

Rapid Manufacturing
07.07.2005

■ Veranstaltungen

1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005)
22./23.09.2005

■ Vorschau

8. Münchener Kolloquium
9./10.03.2006
www.muenchener-kolloquium.de

■ Geplante Messeauftritte

Schweissen und Schneiden 2005
12.09.–17. 09.2005
EMO 2005
14.09.–21.09.2005
Productronica 2005
15.11.–18.11.2005

Die Themen der Seminare und Messeauftritte finden Sie unter www.iwb.tum.de/Aktuelles

Bewertung von Wandlungsfähigkeit im Rahmen der Fabrikplanung

Flexibilität und Wandlungsfähigkeit sind bei Fabrikplanungsprojekten wichtige Zielgrößen. Bisher versuchte man vor allem, diese anhand spezieller Kennzahlen zu beurteilen und zu berücksichtigen. Gemeinsam mit der Siemens AG arbeitet das *iwb* derzeit an einem Softwaretool, das für verschiedene Aufgaben im Fabrikplanungsprozess einsetzbar ist und das speziell darauf fokussiert, den Nutzen von Wandlungsfähigkeit und Flexibilität monetär zu bewerten.

*Niklas Möller
Christoph Rimpau (iwb)
Dr. Bernd Müssig
Axel Dietrich (Siemens AG,
Corporate Technology)*

Das heutige globale Wettbewerbsumfeld ist von starker Konkurrenz und kurzen Innovationszyklen gekennzeichnet. Speziell in Deutschland produzierende Unternehmen erlangen einen Wettbewerbsvorteil oft durch ihre schnelle Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen, durch Reaktion auf geänderte Kundenanfor-

derungen und durch die Nutzung von Produkt- und Prozessinnovationen. Diese Unternehmen agieren in einem unsicheren Umfeld, in dem die zukünftigen Entwicklungen wie bspw. Absatzmengen und Kundenwünsche schwer vorherzusagen sind und gleichzeitig eine sehr große Auswirkung auf die Produktion haben.

Anforderungen

Entsprechend erlangt die Planung des richtigen Verhältnisses aus Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der Fabriken

essentielle Bedeutung. Dabei reicht es nicht, lediglich einen technisch sinnvollen Grad an Wandlungsfähigkeit oder Flexibilität zu bestimmen, sondern es müssen der zu ihrer Erreichung notwendige Aufwand und der Nutzen in Bezug auf die zukünftige Unsicherheit bereits im Fabrikplanungsprozess monetär aufgezeigt werden. Eine Risikodarstellung, die mögliche extreme finanzielle Auswirkungen aufzeigt, ist ebenso abzubilden wie die Entwicklung für die als wahrscheinlich angenommene Zukunft (Abb. 1).

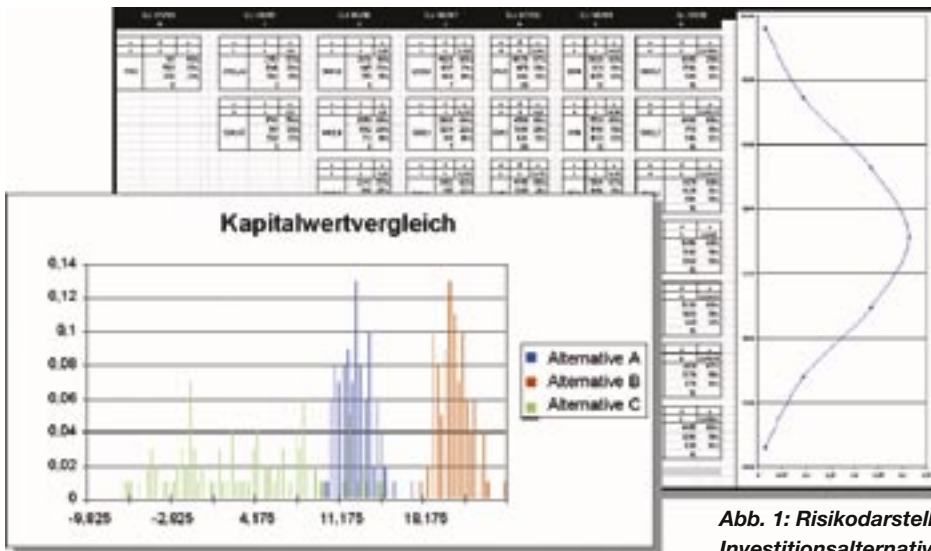


Abb. 1: Risikodarstellung von Investitionsalternativen

Bestehende Planungsansätze beschränken sich häufig darauf, den Grad der Flexibilität oder Wandlungsfähigkeit einer Planungsalternative qualitativ oder mit Hilfe einer Ordinalskala zu beurteilen. Einfache, statische monetäre Bewertungsverfahren der Kosten- und Investitionsrechnung vernachlässigen die vielfältigen Handlungsmöglichkeiten des Unternehmens, sich einer unsicheren Zukunft anzupassen. Methoden des Lifecycle Costing, die unterschiedliche Szenarien berücksichtigen und wirtschaftlich bewerten, sind zumeist ausgesprochen komplex und zudem entweder auf allgemeinem Niveau gehalten oder auf ein sehr spezielles Planungsproblem in einem eingeschränkten Umfeld angepasst.

Gemeinsam mit der Abteilung Corporate Technology der Siemens AG hat sich das *iwb* zum Ziel gesetzt, ein System zur flexibilitätsorientierten Bewertung zu entwickeln, dessen Komplexität und Spezialisierung sich skalieren lässt und das auf unterschiedliche Fragestellungen im Rahmen der Fabrikplanung anwendbar ist. Dabei soll das System vor allem die monetäre Investitionsbewertung auf Basis des Kapitalwertes fokussieren und weniger auf die integrierte Planung von Alternativen abzielen, wie sie heute bereits mit den

Werkzeugen der Digitalen Fabrik wie dem eM-Planner der Firma UGS Tecnomatix abbildbar sind.

Lösungskonzept

Um die Vielfältigkeit denkbarer Planungsaufgaben mit einem Werkzeug abbilden zu können, ist ein modularer Aufbau notwendig, um im Laufe der Zeit zusätzliche Funktionalitäten einbinden zu können. Da die Berücksichtigung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit auf allen Planungsebenen erfolgen soll, muss das System unterschiedliche Nutzergruppen in ihrem Verhalten und ihrem Wissensstand entsprechend unterstützen und in der Bedienung führen. Aus diesem Grund ist es in eine Steuerungsschicht und eine Funktionsschicht getrennt.

Die Funktionsschicht beinhaltet verschiedene Module, die mit Hilfe von MS Excel erstellt werden. In ihnen sind die eigentlichen Berechnungsvorschriften und die stochastische Modellierung der unsicheren Zukunft enthalten, die wenn nötig in jedem Planungsprojekt von Bewertungsspezialisten flexibel verändert werden können. Eingeschränkte Änderungen an speziell definierten Feldern können auch von anderen Personen vorgenommen werden, da ausreichende Excel-Kennt-

nisse im Allgemeinen vorausgesetzt werden können. Die Steuerungsschicht besteht aus einer zentralen Projektverwaltung, mit deren Hilfe vor allem logische Verbindungen zwischen unterschiedlichen Modulen verwaltet werden können. So kann man für verschiedene Planungsaufgaben spezielle Modulkonfigurationen anlegen. Darüber hinaus sind unterschiedliche Auswertungen zentral verfügbar.

Modulstruktur

Basis des dargestellten Bewertungs- und Planungswerk-

zeuges ist eine Grundstruktur aus mehreren Modulen, die sich an der Zusammensetzung des Kapitalwertes orientiert. Eine strenge hierarchische Aufteilung, die Speicherung jeden Moduls in einer separaten Datei und eine intelligente Verlinkung ermöglichen es, verschiedene Bestandteile der Lebenszykluskosten eines Projektes je nach Planungsfokus in unterschiedlicher Detaillierung abzubilden, indem die entsprechenden Kosten- und Unsicherheitsmodule auf den gewünschten Ebenen verknüpft werden.

Ausblick

Das System befindet sich derzeit in der Entwicklungsphase. Viele Unsicherheiten wurden bereits modelliert, ebenso die wichtigsten Kostenpositionen. In der aktuellen Projektphase geht es primär darum, die Modulgrundstruktur so zu definieren, dass diese später dezentral von mehreren Personen einfach detailliert werden kann. Die Struktur wird darüber hinaus so gestaltet, dass aufwändige Bewertungsverfahren wie die Realoptionsbewertung als erweiterte Form der des Kapitalwertes zukünftig ebenfalls integriert werden können.

Impressum

Der *iwb* newsletter erscheint vierteljährlich und wird herausgegeben vom

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)
Technische Universität München
Boltzmannstraße 15
D-85748 Garching
Tel.: 089/289-155 00
Fax: 089/289-155 55
ISSN 1434-324X

Redaktion:
Dipl.-Kffr. Nicole Raab
(verantwortl.)
Tel.: 089/289-155 37
Nicole.Raab@iwb.tum.de
www.iwb.tum.de

Herstellung:
dm druckmedien gmbh
Paul-Heyse-Straße 31a
80336 München
dm@druckmedien.de

Verlag:
Herbert Utz Verlag
Zieblandstr. 7 · 80799 München
Tel.: 089/27 77 91-00
Fax: 089/27 77 91-01
info@utzverlag.com
www.utzverlag.com

Natürlich gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Umweltpapier.

Adressverteiler:
Möchten Sie in den Verteiler aufgenommen werden oder hat sich Ihre Adresse geändert? Dann schicken Sie bitte eine E-Mail an info@iwb.tum.de.

Ablaufsimulation für die Auslegung von Steuerungen in komplexen Systemen

In diesem Beitrag werden Ansätze zur aufwandsarmen Ablaufsimulation von Produktionssteuerungsstrategien präsentiert. Die Erprobung in der industriellen Praxis konnte anhand einer variantenreichen manuellen Montage bei einem Nutzfahrzeughersteller durchgeführt werden.

Nils Müller, Georg Wünsch

Vor dem Hintergrund des hohen Lohnniveaus in Deutschland können vor allem in mitarbeiterintensiven Bereichen wie der manuellen Serienmontage durch die Optimierung von Produktionssteuerungen Einsparungspotenziale realisiert werden. Im laufenden Betrieb gewachsene Strukturen können meist nicht mehr durch lokale Optimierungen hinsichtlich einer Effizienzsteigerung des Gesamtsystems verbessert werden. Zudem erschweren mitunter unübersichtliche Ausnahmeregelungen und betriebsorganisatorische Randbedingungen das Finden einer optimalen Steuerungsstrategie. Wenn darüber hinaus das zu steuernde System starke innere und äußere Abhängigkeiten aufweist, ist die optimale Auslegung der Ablaufsteuerungen statisch nicht mehr lösbar. Für diese komplexe Problemstellung bietet das Werkzeug der Ablaufsimulation die Möglichkeit, Steuerungsstrategien dynamisch zu evaluieren. Hierbei stellt jedoch der derzeitige hohe Modellierungsaufwand

beim Vergleich unterschiedlicher Steuerungsstrategien ein hohes Hindernis dar.

Ablaufsimulation

Die Ablaufsimulation ist ein Werkzeug zur Abbildung komplexer Systeme mit ihren dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell. Dabei wird das Ziel verfolgt, Erkenntnisse zu erhalten, welche möglichst direkt in die Realität umgesetzt werden können. Mit Hilfe von Simulationsexperimenten können die zeitliche Reihenfolge von Ereignissen und die Auswirkungen verschiedener Steuerungsstrategien in komplexen Systemen untersucht werden.

Systemanalyse

Um den Modellierungsaufwand im Vorfeld möglichst gering zu halten, muss der Modellierung eine eingehende Systemanalyse vorangestellt werden. Hierbei wird unterschieden in:

■ **Eingangsgrößen:** von außen beeinflusste Randbedingungen und evtl. langfristigen Veränderungen unterliegende Systemparameter

■ **Freiheitsgrade:** innerhalb des Systems verfügbare Einflussmöglichkeiten, für die jeweils verschiedene Steuerungsvarianten modelliert werden können

■ **Zielgrößen:** technische, wirtschaftliche und/oder soziale Messgrößen, die in einer Zielfunktion das Bewertungskriterium für die Auswahl der Steuerungsstrategie darstellen

Im Rahmen des Anwendungsbeispiels aus der industriellen Praxis wurde mit Hilfe der Systemanalyse der Variantenmix der Produktionsaufträge, die Taktzeit sowie der zur Verfügung stehende Ressourcenpool als Eingangsgrößen festgelegt. Die Auftragsvorpufferung und -einlastung auf die Montagearbeitsplätze, die Priorisierung

des Materialflusses sowie die Kapazitätsaufteilung konnten als Freiheitsgrade identifiziert werden. Die Zielfunktion zur Bewertung setzte sich aus einer primären (Liefertreue) und mehreren sekundären Zielgrößen (Anzahl der Mitarbeiter, Pufferauslastung und Mitarbeiterzufriedenheit) zusammen.

Konzeption von Steuerungsstrategien

Bei der Konzeption von Steuerungsstrategien werden zu jedem ermittelten Freiheitsgrad verschiedene Steuerungsvarianten gebildet. Unter dem Begriff Steuerungsstrategie wird in diesem Zusammenhang eine Kombination von einer Ausprägung einer Steuerungsvariante in jedem Freiheitsgrad verstanden. Bereits bestehende Steuerungsstrategien sollten hierbei ebenso abgebildet werden, um die Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse mit der Realität zu erhöhen. Eine dynamische Bewertung erfolgt in der Ablaufsimulation über die Durchführung von Simulationsexperimenten mit variierenden

Steuerungsstrategien.

Modellbildung

Ziel des Simulationsmodells ist die Ermittlung der optimalen Steuerungsstrategie. Diese wird in einem Ablaufsimulationsmodell implizit und durch die Modellstruktur verteilt in Methoden abgelegt. Für jede zu vergleichende Steuerungsvariante müsste demnach ausgehend von einem Grundmodell zunächst die vorhandene Steuerungsvariante entfernt und im Methodencode der Steuerung neu programmiert werden. Durch Schaffung einer einheitlichen Datenschnittstelle zwischen Modell und Steuerung an jedem Freiheitsgrad wird es möglich, die Steuerungsvarianten vom Modell zu trennen. Dies erleichtert zum einen das Umschalten zwischen verschiedenen Steuerungsvarianten, da diese einfach an der Schnittstelle durch andere Varianten ersetzt werden können. Zum anderen wird dadurch das Erstellen neuer Varianten vereinheitlicht, da diese auf dieselben Daten zurückgreifen. Das

Personalien

Neu am iwB sind:

- Dipl.-Ing. Marcus Hennauer
Strukturverhalten
- Dipl.-Ing. Axel Pöhler
Werkzeugmaschinen,
Mechatronik
Fertigungstechnologien

Das iwB haben verlassen:

- Dr.-Ing. Robert Cisek
Mc Kinsey & Company
- Dr.-Ing. Thomas Fusch
Brose Fahrzeugteile
GmbH & Co. KG
- Dipl.-Kfm. Siegfried Suchanek

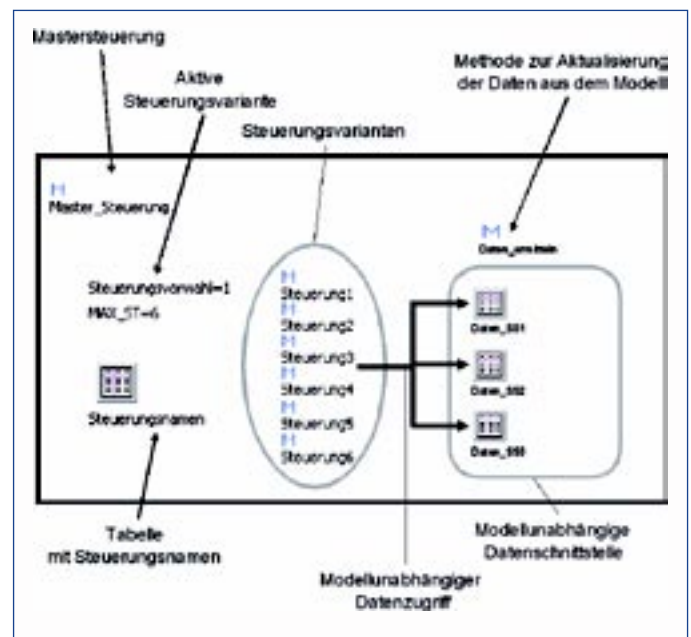


Abb. 1: Kapselung von Steuerungsvarianten in einer Mastersteuerung

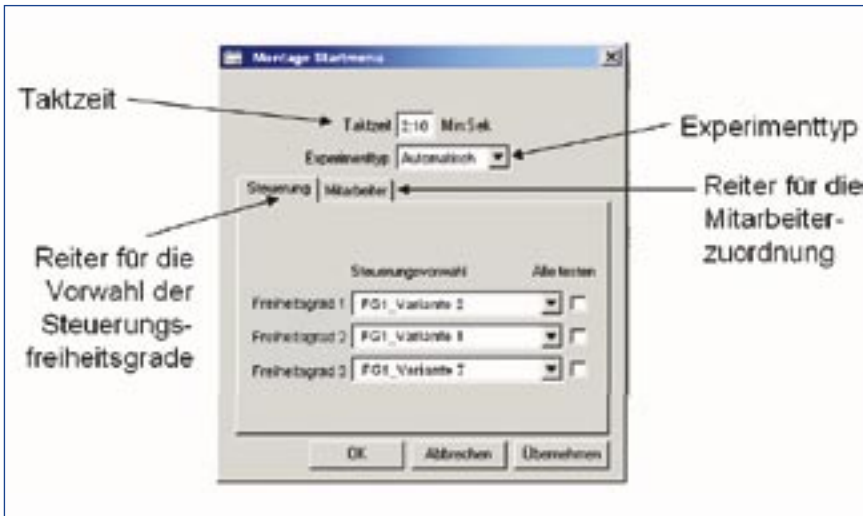


Abb. 2: Startmenü des Experimentmanagers

Im Anwendungsbeispiel konnten hierbei Ergebnisse erzielt werden, die in mehrfacher Hinsicht in der Praxis genutzt werden können. Zum einen wurden in einem ersten Schritt drei Freiheitsgrade mit hohem Einfluss auf ein Gesamt optimum identifiziert.

In einem zweiten Schritt wurde die unter den gegebenen Randbedingungen optimale Steuerungsstrategie ermittelt.

Zusammenfassung

Mit den in diesem Beitrag vorgestellten Ansätzen und ihrer Umsetzung in der industriellen Praxis ist es möglich,

- Experimente zum analytischen Vergleich komplexer Steuerungsstrategien aufwandsarm durchzuführen,
- die Einflussmöglichkeit der Freiheitsgrade eines Systems auf eine Zielfunktion zu bestimmen, sowie
- letztendlich in Abhängigkeit von variablen Randbedingungen die jeweils optimale Steuerungsstrategie auszuwählen.

Die Ansätze werden derzeit am *iwb* weiterentwickelt und mit Werkzeugen der Prozessplanung und der Echtzeit-simulation gekoppelt, um die ganzheitliche virtuelle Abbildung und Inbetriebnahme von Produktionssystemen zu ermöglichen.

Konzept wurde in Form einer so genannte „Mastersteuerung“ für jeden Freiheitsgrad realisiert, die zunächst zentral alle Daten aus dem Modell aktualisiert und dann die vorgewählte Steuerungsvariante aufruft (siehe Abb. 1).

Für die Analyse sind eine gezielte Veränderung von Randbedingungen und Eingangsgrößen, sowie eine bequeme Einstellbarkeit der variablen Steuerungslogiken in den jeweiligen Freiheitsgraden des Modells notwendig.

Durchführung von Simulationsexperimenten

Da diese bei der zumeist sehr hohen Modellkomplexität im Modell verteilt sind, wird für alle Wahl- und Einstellmöglichkeiten eine zentrale und intuitive Bedienerschnittstelle vorgesehen. Dabei wird zwischen langfristig bzw. selten und kurzfristig bzw. häufig zu ändernden Größen unterschieden. Die langfristigen Größen werden in einer zentralen Konfigurationsdatei auf Excel-Basis abgelegt und können dort verändert werden. Diese wird vor jedem Simulationslauf vom Modell eingelesen. Kurzfristige Einstellmöglichkeiten werden in Form eines intuitiven Startmenüs in die Simulation integriert (siehe Abb. 2). Unterstützung für umfang-

reiche Simulationsstudien liefert eine integrierte Experimentverwaltung. Um den repetitiven Aufwand zu reduzieren erlaubt die Experimentverwaltung ein automatisches oder manuelles Durchführen von Simulationsexperimenten. Hierbei kann jeder Freiheitsgrad festgehalten (manuell) oder im Hinblick auf Kombination aller modellierten Varianten (automatisch) nacheinander simuliert und ausgewertet werden. Dies erlaubt eine schnelle und aufwandsarme Stapelverarbeitung von Simulationsexperimenten, für einen analytischen Vergleich möglicher Steuerungsalternativen. Somit besteht i.A. keine Notwendigkeit zur permanenten Änderung des

Programm- bzw. Modellcodes, wodurch es möglich wird, Experimente auch ohne Programmier- und Simulationskenntnisse durchzuführen.

Das Simulationsmodell gibt die Experimentergebnisse in Form von detaillierten Statistikdaten automatisch in einer Exceldatei aus, anhand derer umfangreiche Analysen durchgeführt werden können. Darüber hinaus werden automatisch dreidimensionale Auswertungsdiagramme generiert (siehe Abb. 3). Somit kann in Abhängigkeit von variablen Randbedingungen die jeweils optimale Steuerungsstrategie auf Basis der Zielfunktion ermittelt werden.

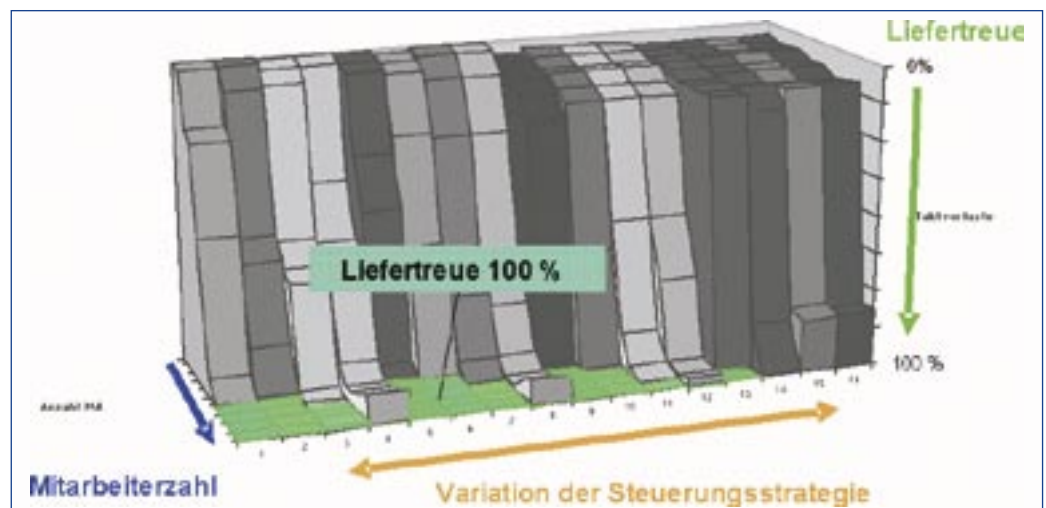


Abb. 3: Diagramm zur Auswertung von Experimenten

FE-Simulation des Reibrührschweißens (Friction Stir Welding)

Dieter Eireiner
Loucas Papadakis
Sven Roeren

Das Reibrührschweißen (engl. Friction Stir Welding, FSW) ist aufgrund seiner herausragenden Eigenschaften in den letzten Jahren in den Blickpunkt der produzierenden Industrie gerückt. Erste industrielle Anwendungen im Schiffs- und Waggonbau sowie in der Luft- und Raumfahrttechnik und steigendes Interesse der Automobilindustrie verdeutlichen das Potenzial dieser Technologie. Eine Beschreibung des Verfahrensprinzips enthält Abbildung 1.



Abb. 1. Verfahrensprinzip des Friction Stir Welding

Ein rotierendes Werkzeug wird in Richtung der Werkzeugachse in die Fügezone eingedrückt. Durch die Reibung zwischen dem Werkzeug und dem Bauteil wird Energie in Form von Wärme zugeführt. Der lokale Anstieg der Temperatur führt zu einer Abnahme der Festigkeit des Werkstoffes. Im Zusammenspiel der Werkzeugrotation mit der Vorschubbewegung des Werkzeugs entlang der Fugenahnt kommt es, ähnlich wie beim Strangpressen von Hohlprofilen, zur Verbindung der beiden Fügepartner. Dadurch kann unter der Einleitung hoher Kräfte und Momente eine stoffschlüssige Verbindung erzeugt werden. Da im Gegensatz zu den Schmelzschweißverfahren die maximale Temperatur des Prozesses deutlich unterhalb der Schmelztemperatur verbleibt, sind die Spannungen und der resultierende Verzug im gefügten Bauteil geringer als bei konventionellen Schweißprozessen [1].

Zur unterstützenden Auslegung des Prozesses gibt es bereits einige Ansätze, den Prozess des FSW in der Simulation abzubilden. Dabei werden meist komplexe Prozessmodelle, basierend auf Wärmeleitungsgleichungen und temperaturabhängigen Reibungskoeffizienten, erstellt, die die physikalischen Wechselwirkungen im Bereich der Fügezone abbilden

und mit Hilfe von allgemeinen FE-Codes (z. B. ANSYS oder ABAQUS) umgesetzt werden [2,3,4,5]. Ein Handlungsfeld im Bereich der Simulation des FSW-Prozesses besteht allgemein in der Generierung und Implementierung konsistenter Materialdatensätze [6]. Nur durch kosten- und zeitaufwendige Versuche lassen sich derzeit die für die Simulation benötigten temperaturabhängigen Werkstoffkennwerte ermitteln.

Am *iwb* hat sich eine Forschergruppe gebildet, die zunächst zum Ziel hat, eine anwenderfreundliche Simulationsmethode auf der Basis der Finite-Elemente-Methode (FEM) zu generieren, die es erlaubt, die Auswirkungen des FSW-Prozesses im bearbeiteten Bauteil zu erkennen. Effiziente Modelle zur FE-Simulation von Fertigungsverfahren, die am *iwb* innerhalb der letzten 10 Jahre entwickelt worden sind, werden zu Grunde gelegt und um spezifische Charakteristika des FSW ergänzt. Dabei soll vor allem die Möglichkeit einer industriellen Anwendung berücksichtigt werden. Am *iwb* erarbeitete Vorgehensweisen zur Simulation von Fertigungsverfahren, wie zum Beispiel zur Modellierung des Laserstrahlschweißens,

sollen dabei übernommen werden [7]. Deshalb wurde als Implementierungsplattform der entwickelten Modelle das industriell eingesetzte, kommerzielle Schweißsimulationsprogramm SYSWELD der Fa. ESI, basierend auf dem FE-Code SYSTUS, ausgewählt [8].

Die Zielgrößen in der Simulation sind in erster Linie das instationäre Temperaturfeld im Bauteil, im Weiteren aber auch die thermischen Spannungen, das Verzugverhalten und der Eigenspannungszustand. Als Grenze des modellierten Systems gilt die Außengeometrie des Bauteils. Sämtlich Randbedingungen und Eingangsgrößen werden auf ihre Wirkung innerhalb des Systems hin abstrahiert dargestellt.

Ein maßgeblicher Unterschied des FSW im Gegensatz zu Strahlschweißverfahren besteht in der Einleitung hoher mechanischer Beanspruchung in das Bauteil. Eine erste Untersuchung ergab, dass diese Kräfte (vor allem die Anpresskraft des Werkzeugs auf die Bauteiloberfläche) als Belastung ebenso Einfluss auf das Bauteilverhalten haben, wie die durch Reibung entstehende Wärme im Bauteil. Physikalisch betrachtet besteht

ein Zusammenhang zwischen der Anpresskraft, der Rotation und der durch die Reibung entstehenden Wärme im Bauteil. Eine umfassende Modellierung der kausalen Verknüpfung dieser Phänomene in der FE-Simulation würde den Anspruch der industriellen Einsetzbarkeit der Methode in weite Ferne rücken lassen. Daher wurde eine sequenzielle Implementierung der entstehenden Wärme und der Kräfteinleitung realisiert. Dieser Ansatz, der die unabhängige Betrachtung der Kräfteinleitung von den thermischen Phänomenen beinhaltet, ist bisher in der Literatur nicht zu finden.

Die Vorgehensweise in der Simulation ist geteilt in zwei Schritte: Zunächst wird im Rahmen der thermischen Simulation ausgehend von einer definierten, dynamischen Wärmeverteilung (so genannte bewegte Wärmequelle) das instationäre Temperaturfeld im Bauteil berechnet. Als Randbedingungen dienen hierbei die Wärmeabströmungen durch Konvektion und Strahlung an der Oberfläche des Bauteils sowie durch Konduktion an den Einspannstellen und an der Kontaktfläche zum Werkzeug. Für die Abbildung dieser Phänomene werden allgemein

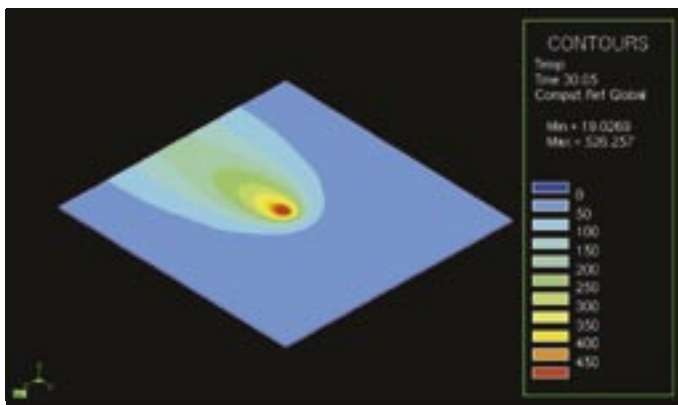


Abb. 2. Darstellung des Temperaturverlaufs in der Simulation des Friction Stir Welding

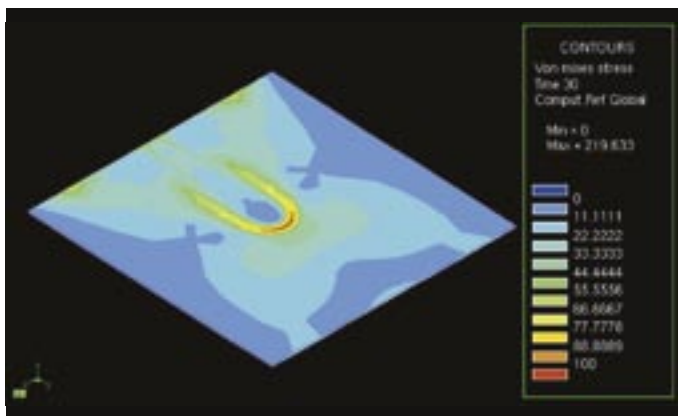


Abb. 3. Darstellung der überlagerten Spannungen in der Simulation des Friction Stir Welding

bekannte FE-Modelle verwenden [2,3,4,5].

In einem weiteren Schritt, der thermomechanischen Berechnung, wird das ermittelte Temperaturfeld in thermische Spannungen übersetzt und mit weiteren Eingangsgrößen überlagert. Hier werden die Kräfte des FSW-Prozesses als Eingangsparameter implementiert. Derzeit wird vor allem eine effiziente Möglichkeit gesucht, eine kontinuierlich variable Kraft

einzuweisen, um die Relativbewegung des Werkzeugs zum Bauteil abzubilden. Eine Unterteilung des Bauteils in geometrische Zonen wird definiert, die als Diskretisierungskriterium für die Einleitung der Kraft dienen. Dadurch können die Wärme- und die Kräfteinleitung synchronisiert werden. Die Ergebnisse der Simulation sind in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 2 zeigt das instationäre Temperaturfeld, während

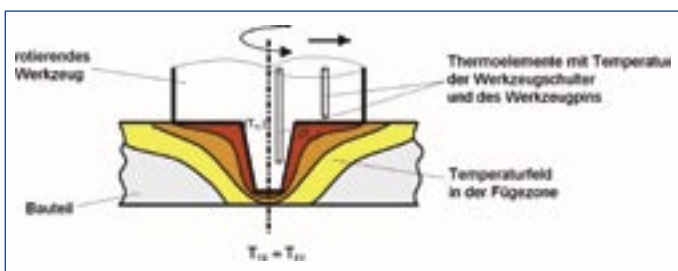


Abb. 4. Positionierung der Thermoelemente im Werkzeug zur Validierung der thermischen Simulation

Neu erschienen

Im Rahmen der Berichtserien am *iwb* sind neu im Buchhandel (Utz Verlag) erhältlich:

iwb

Seminarberichte

■ Berührungslose Handhabung – Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle

■ ERP-Systeme – Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen

■ Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen

iwb

Forschungsberichte

■ Matthias Meindl
Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing

■ Thomas Fusch
Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der

Automobilindustrie

■ Thomas Mosandl
Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme

■ Christian Patron
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung

■ Robert Cisek
Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen

■ Florian Auer
Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen

■ Carsten Selke
Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung

in Abbildung 3 das überlagerte Spannungsprofil aus thermischer und mechanisch induzierter Spannung in den Elementen, gemittelt als Vergleichsspannung, dargestellt ist.

Ein wesentlicher Vorteil der am *iwb* entwickelten Methode ist die Möglichkeit zum Abgleich des berechneten Temperaturfelds mit den während des realen Prozesses erreichten Temperaturen. Die prozessspezifische Gültigkeit der abstrakten Annahmen (z.B. eine von den realen Prozessparametern weitgehend unabhängige Wärmequelle) kann durch den Abgleich gezeigt werden. Beispielsweise werden sämtliche fluidmechanischen Vorgänge im Bereich des plastifizierten

Werkstoffs nach diesem Modell vernachlässigt. Durch die Validierung der thermischen Berechnung über Messungen wird eine hinreichend genaue Grundlage für die thermomechanische Berechnung der Spannungen und des Verzugs gegeben. Daher liegt ein besonderes Augenmerk auf der Messung des Temperaturprofils während der FSW-Bearbeitung. Mit Hilfe von Thermoelementen kann zeitabhängig an definierten Punkten der Temperaturverlauf gemessen werden. Aus systemtechnischen Gründen ist eine Sensordotierung im bearbeiteten Werkstück nur sehr aufwendig zu realisieren. Daher wird derzeit ein Temperatur-

(Fortsetzung Seite 8)

messsystem erprobt, mit dem es möglich ist, die Temperatur am Übergang zwischen dem Werkstück und dem Werkstück im rotierenden Werkzeug zu erfassen. Durch den direkten Kontakt zwischen den Bauteilen und dem Schweißwerkzeug sind hierbei nur geringe Verluste durch den Wärmeübergang an den Kontaktflächen und durch die Wärmeleitung im Werkzeug zu erwarten. Dadurch kann der Temperaturverlauf in der Fügezone während des gesamten Prozesses ermittelt werden. In Abbildung 4 ist der Aufbau des Werkzeugs mit integrierter Temperaturmessung dargestellt.

Mit Hilfe der aufgezeigten Methode soll eine für den industriellen Anwender umsetzbare Strategie generiert werden, um

Tendenzen im Hinblick auf das erwartete Temperaturprofil, die Spannungen und den Verzug im Bauteil erkennen zu können. Auf diese Weise soll der industrielle Einsatz der noch „jungen“ Technologie Friction Stir Welding weiter voran getrieben werden.

Literatur

[1] Blach, O.; Senne, F.: *Reibrührschweißen aus der Sicht eines Anwenders im Schienenfahrzeugbau*. In: *Reibrührschweißen*; 2. GKSS Workshop, Geesthacht 23. Januar 2002, S. 85–94.
 [2] Dong, P.; Lu, F.; Hong, J. K.; Cao, Z.: *Analysis of Weld Formation Process in Friction Stir Welding*. In: *TWI (Hrsg.): Proceedings of the 1st Friction Stir Welding*

Symposium; Thousand Oaks (USA) 14.–16. Juni 1999.
 [3] Frigaard, O.; Grong, O.; Bjorneklett, B.; Midling, O. T.: *Modelling of the thermal and microstructure fields during friction stir welding of aluminium alloys*. In: *TWI (Hrsg.): Proceedings of the 1st Friction Stir Welding Symposium; Thousand Oaks (USA) 14.–16. Juni 1999.*
 [4] Takai, H.; Ezumi, M.; Kawasaki, T.; Ina, Y.; Matsunaga, T.: *Application of Friction Stir Welding to Rolling Stock Body Shell*. In: *Proceeding of the 3rd Friction Stir Welding Symposium; Kobe (Japan) 27.–28. September 2001.*
 [5] Xu, S.; Deng, X.: *Two- and Three-Dimensional Finite Element Models for the Friction-Stir Welding Process*. In:

TWI (Hrsg.): Proceedings of 4th International Friction Stir Welding Symposium; Park City (USA) 14.–16. Mai 2003.
 [6] Palm, F.; Henneboehle, U.; Erofeev, V.; Karpuchin, E.; Zaitzev, O.: *Improved verification of FSW-process modelling relating to the origin of material plasticity*. In: *TWI (Hrsg.): Proceedings of the 5th International Friction Stir Welding Symposium; Metz, France 14.–16. September 2004.*
 [7] Zaeh, M. F.; Auer, F.; Roreren, S.: *Simulation of Laser Beam Welding Production Processes*. In: *Tagungsband zur Konferenz CIMTEC. Act-reale: 30.05.–04.06.2004.*
 [8] SYSTUS: *Analysis Reference Manual – SYSTUS 2004*. Paris: Eigenverlag ESI 2004.

Joachim Milberg erhielt Arthur-Burkhardt-Preis für Wissenschaftsförderung

Der Präsident von acatech wurde am 19. April in Stuttgart für sein persönliches Engagement ausgezeichnet

Der diesjährige Preisträger des von der „Arthur-Burkhardt-Stiftung für Wissenschaften“ verliehenen gleichnamigen Preises heißt Joachim Milberg. Als Präsident von acatech, dem Konvent für Technikwissenschaften der Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften, gelingt es dem ehemaligen Vorstandsvorsitzenden und jetzigen Aufsichtsratschef der BMW AG seit über 3 Jahren interdisziplinäre und gesellschaftliche Brücken zu schlagen. Mit seinem Engagement bei acatech vereint er die Spannungsfelder Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. Erklärtes Ziel von acatech ist es, die technologische Leistungsfähigkeit Deutschlands derart zu unterstützen, dass sie weiterhin zur Weltspitze zählt.

Im Mittelpunkt der Arbeit Milbergs bei acatech steht der öffentlichkeitswirksame Dialog

Als zukünftige Akademie der Technikwissenschaften versteht sich acatech als Forum für die kritische Beleuchtung technikkissenschaftlicher Fragen mit gesellschaftspolitischem Hintergrund.

Joachim Milberg ist der 22. Preisträger der Arthur-Burkhardt-Stiftung, die unter dem Dach des Stifterverbandes der Deutschen Wissenschaft von dem früheren Chef der Württembergischen Metall-

warenfabrik (WMF) gegründet worden ist.

Den mit 10.000 Euro dotierten Preis wird Joachim Milberg seiner Arbeit bei acatech widmen.



acatech steht für die Symbiose von Akademie und Technik. Der gemeinnützige Verein „acatech – Konvent für Technikwissenschaften der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e.V.“ wurde im Februar 2002 offiziell gegründet. Erstmalig sind damit die technikkissenschaftlichen Aktivitäten der sieben Länderakademien der Wissenschaften unter einem Dach vereint. acatech strebt an, die selbstbestimmte, unabhängige und anerkannte Institution in Deutschland für alle technikkissenschaftlichen Belange nach innen und nach außen zu sein. Der Verein versteht sich als Forum für die kritische Beleuchtung technikkissenschaftlicher Fragen mit gesellschaftspolitischem Hintergrund. Zu den 209 Mitgliedern acatechs zählen herausragende Persönlichkei-

ten aus Wissenschaft und Wirtschaft. Getragen von deren Reputation und Unabhängigkeit will acatech seine Leitbildfunktion für Wissenschaft, Wirtschaft, Öffentlichkeit und Politik proaktiv wahrnehmen.

Präsident von acatech ist Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg. Den Vorsitz des Senats hat Bundespräsident a.D. Prof. Dr. Roman Herzog inne. Weitere Informationen unter www.acatech.de

Arthur-Burkhardt-Preis

Die „Arthur-Burkhardt-Stiftung für Wissenschaftsförderung“ wurde 1983 von Arthur Burkhardt unter dem Dach des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft gegründet. Hintergrund des jährlich vergebenen Preises ist es, einen „Brückenschlag“ zwischen den Natur- und Technikwissenschaften sowie der Medizin herzustellen.