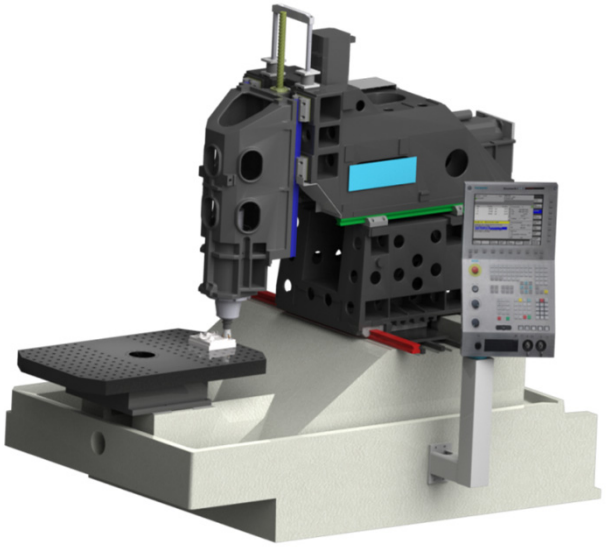
Echtzeitfähige energiesensitive Maschinensimulation

Dipl.-Ing. Marco Witt

Technische Universität Chemnitz
Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse
Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

Abteilung Prozessinformatik und Virtuelle Produktentwicklung



© TU Chemnitz, IWP /
Fraunhofer IWU

Vorstellung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Fakultät für Maschinenbau

IWP INSTITUT WERKZEUGMASCHINEN UND PRODUKTIONSPROZESSE

Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik

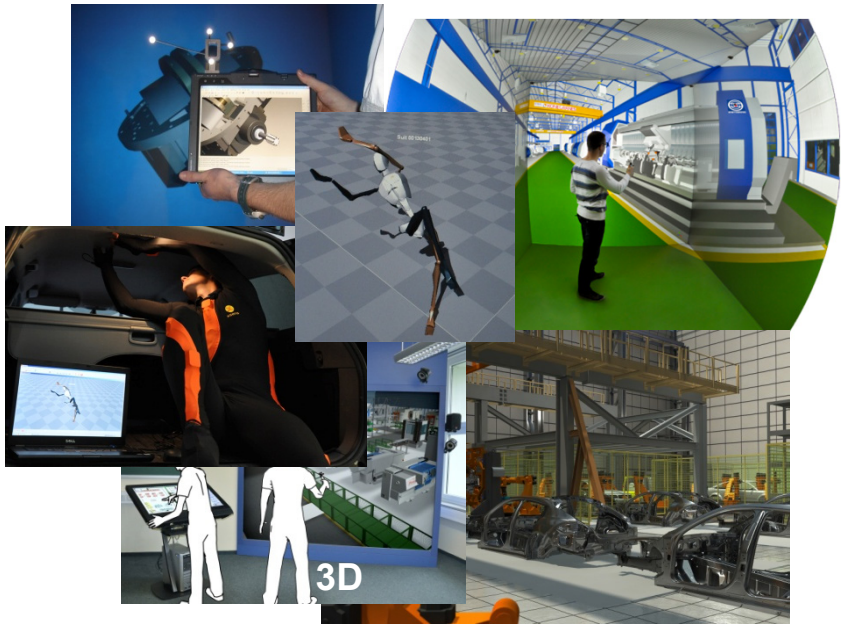
Lehr- und Forschungsabteilungen

- Werkzeugmaschinen
- Steuerungs- und Regelungstechnik
- Umformen
- Spanen
- **Prozessinformatik und virtuelle Produktentwicklung**

Vorstellung

Forschungsschwerpunkte:

- Produkt- und Prozessvisualisierung
- Virtuelle Maschineninbetriebnahme
- Interaktion
- 3D-Realdaten
- Simulation und Virtuelle Prototypen
- Methodenentwicklung
- Schnittstellenentwicklung
- Schulungsanwendungen

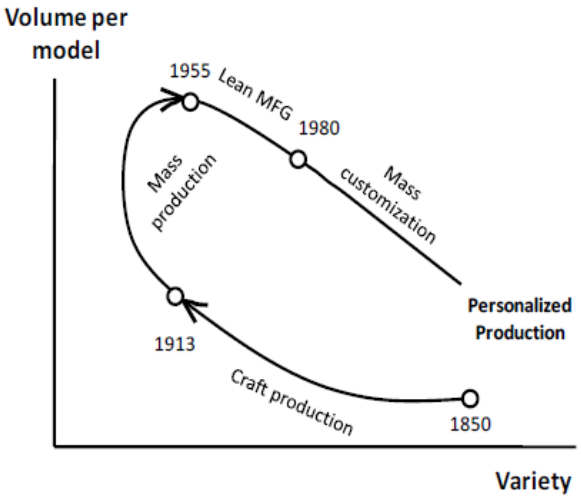


Agenda

1. Motivation
2. Energieeffizienz in der Produktentwicklung
3. Maschinensimulation
4. Integration von Energie in die Maschinensimulation
5. Visualisierung von Energie
6. Zusammenfassung und Ausblick

Motivation

- Fortsetzender Trend zur personalisierten Produktion
- Zunehmende Relevanz von Energie- und Ressourceneffizienz
- Berücksichtigung des Energieverbrauchs während der Fertigungsplanung birgt großes Potenzial
- Kaum / unzureichende Werkzeuge in der Fertigungsplanung
- Fertigung mit der „Stückzahl 1“ verlangt energie- und ressourcenoptimierte Fertigungsplanung



[1] Hu, S. J.: Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization. In: Procedia CIRP 7, 2013, S. 3-8

Agenda

1. Motivation
2. Energieeffizienz in der Produktentwicklung
3. Maschinensimulation
4. Integration von Energie in die Maschinensimulation
5. Visualisierung von Energie
6. Zusammenfassung und Ausblick

Energieeffizienz in der Produktentwicklung

- Unterteilung der energetischen Optimierung in:
  - Optimierung des Produktes
    - Reduzierter Energiebedarf in der Produktanwendung bspw. Leichtbaukomponenten
  - Optimierung der Prozesskette
    - Auswahl der energetisch günstigsten Prozesskette
  - Optimierung des Prozesses
    - Optimierung der Maschine
    - Optimierung während der Fertigungsplanung

Agenda

1. Motivation
2. Energieeffizienz in der Produktentwicklung
3. Maschinensimulation
4. Integration von Energie in die Maschinensimulation
5. Visualisierung von Energie
6. Zusammenfassung und Ausblick

Maschinensimulation

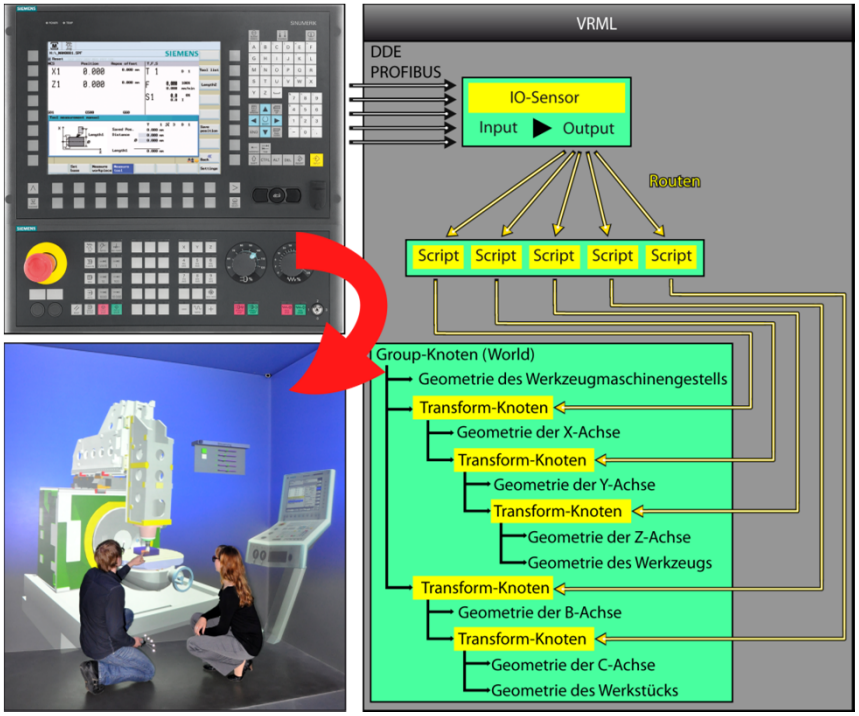
- Unterscheidung nach Anwendungsgebiet:
  - Inbetriebnahme von Steuerungen an Maschinen und Anlagen
  - Inbetriebnahme von NC-Programmen auf NC-Steuerungen
- Unterscheidung nach Simulationsart:
  - Hardware-in-the-Loop-Simulationen
    - Bspw. Siemens Machine Simulator
  - Software-in-the-Loop-Simulationen
    - Bspw. Siemens Virtual NC Controller Kernel (VNCK)

Maschinensimulation

- Prüfung von NC-Programmen auf:
  - Kollisionsfreiheit
  - Fehlerfreie Werkzeugbahn
  - Korrekter NC-Satz
  - Resultierendes Werkstück (Materialabtrag)
  - Fertigungszeit

Maschinensimulation

- Umsetzung auf Basis von VRML:
  - Hardware-in-the-Loop-Simulation
  - Virtuelles Maschinenmodell
  - Echtzeitfähig
  - Materialabtrag auf Basis eines Nagelbrettmodells
  - Bounding-Box-basierte Kollisionskontrolle



[2] Klimant, P.: Virtual-Reality-gestützte Kinematik- und Materialabtragssimulation für Fräsmaschinen mittels Hardware-in-the-Loop. Dissertation TU Chemnitz. ISBN: 978-3-942267-87-8, Verlag Wissenschaftliche Scripten, Auerbach, 2013

Agenda

1. Motivation
2. Energieeffizienz in der Produktentwicklung
3. Maschinensimulation
4. Integration von Energie in die Maschinensimulation
5. Visualisierung von Energie
6. Zusammenfassung und Ausblick

Integration von Energie in die Maschinensimulation

Ziel:

- Energiesensitive Maschinensimulation
  - Basis: vorhandene Maschinensimulation
  - Beibehaltung der Basisfunktionalitäten
  - Vorhersage der momentanen Leistungsaufnahme
  - Berechnung der Energieverbräuche
  - Visualisierung zur Entscheidungsfindung

Integration von Energie in die Maschinensimulation

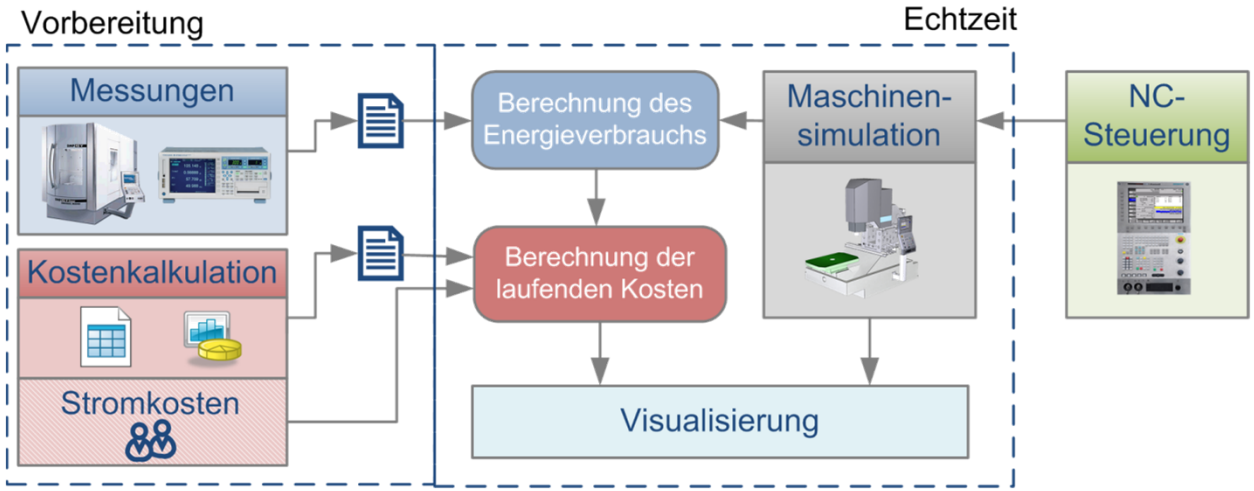
Probleme:

- Primärenergie fällt an den Antrieben bzw. elektrischen Verbrauchern ab
- Maschinensimulation verwendet nur reale NC-Steuerung jedoch keine elektrischen Verbraucher
- Berechnung der elektrischen Leistung auf Basis zur Verfügung stehender Werte der NC-Steuerung
  - Achspositionen, Achsgeschwindigkeiten
- Fertigungsprozess hat Einfluss auf Leistungsaufnahme und Energieverbrauch
  - Beispiel Fräsen: Schnittkraft variiert abhängig von Prozessparametern (bspw. Schnitttiefe, Material etc.)

Integration von Energie in die Maschinensimulation

Ansatz:

- Wesentliche physikalische Einflussfaktoren: Beschleunigung von Massen, Überwindung von Reibungen / Widerständen
- Berechnung der Leistungsaufnahme und des Energieverbrauchs auf Basis von im Vorfeld durchgeführten Messungen an der realen Maschine
- Simulationsparameter sind Achsgeschwindigkeiten und Achsbeschleunigungen



Integration von Energie in die Maschinensimulation

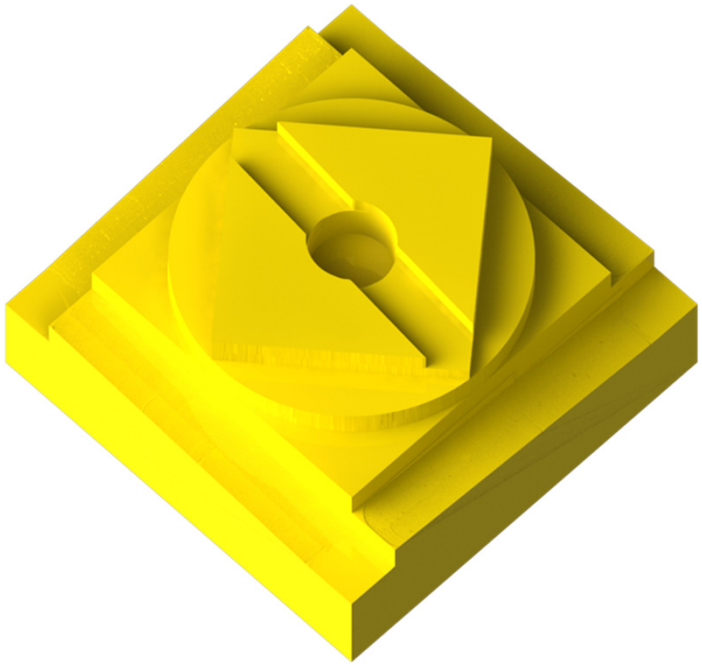
Vorbereitende Messung:

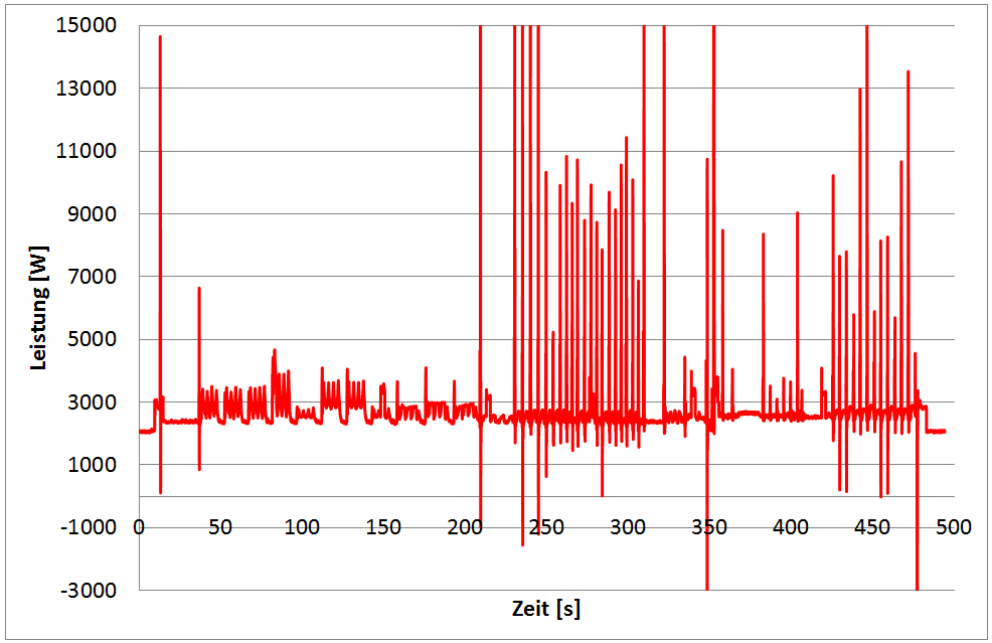
- Leistungsaufnahme jeder Achse für den Leerlauf in Abhängigkeit von Beschleunigung und Geschwindigkeit
- Leistungsaufnahme von zusätzlichen Aggregaten (bspw. Kühlpumpen) als Grundlast
- Leistungsaufnahme der Hauptspindel im Leerlauf
- Vergleichsmessung am realen Prozess

– Aktuell jedoch Vernachlässigung der Schnittkraft !

Integration von Energie in die Maschinensimulation

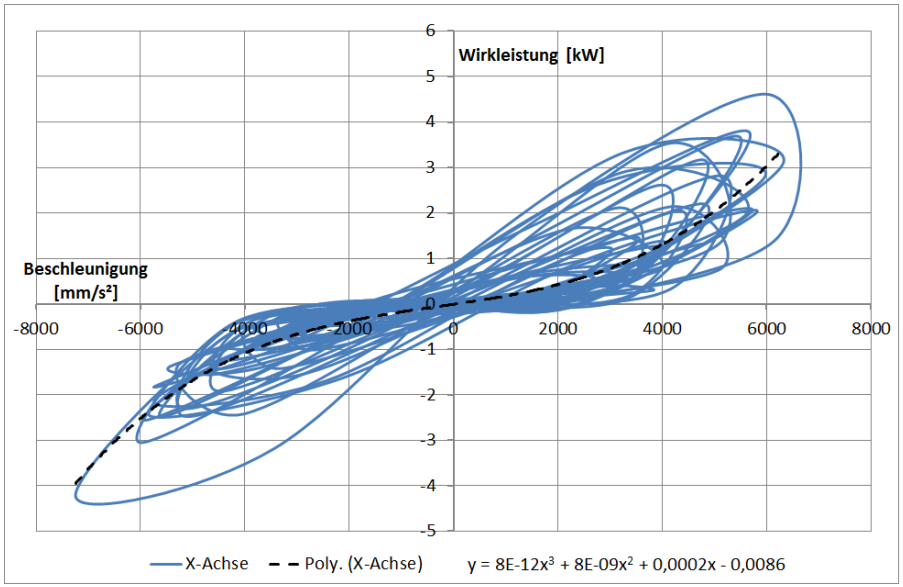
Beispiel Prozess, angelehnt an NAS 913:





Integration von Energie in die Maschinensimulation

Beispiel Messung an DECKEL MAHO DMP 45 V linear:



Integration von Energie in die Maschinensimulation

Integration und Berechnung:

- JavaScript zur Berechnung der Leistung und der Verbräuche innerhalb des VRML-Modells der Maschine
- Erweiterung der Schnittstelle um Achsgeschwindigkeiten
- Berechnung von Beschleunigungen anhand der Achsgeschwindigkeiten
- Analytische Approximation der Messergebnisse
  - Berechnung der Momentanleistung für jede Achse
  - Ermittlung der Energieverbräuche

Agenda

1. Motivation
2. Energieeffizienz in der Produktentwicklung
3. Maschinensimulation
4. Integration von Energie in die Maschinensimulation
5. Visualisierung von Energie
6. Zusammenfassung und Ausblick

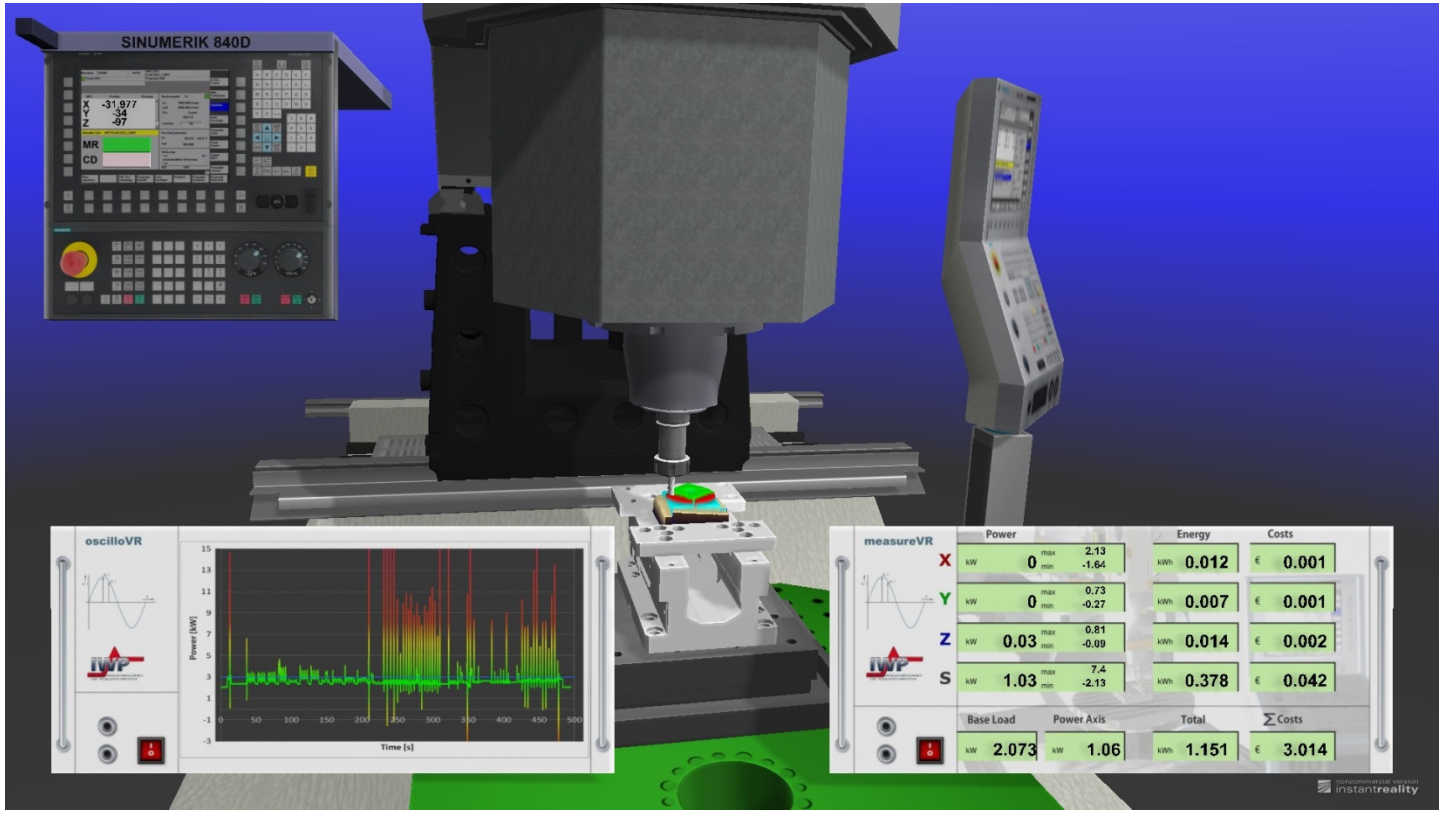
Visualisierung von Energie

- Visualisierung ist essentiell zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung während der Fertigungsplanung
- Darf Basisfunktionalitäten der Maschinensimulation nicht überdecken
- Verschiedene Ansätze bereits im Stand der Technik betrachtet und abhängig vom Ziel:
  - Numerische Darstellung
  - Einfärbung von Bauteilen
  - Sankey-Diagramme

Darstellung angelehnt an Messtechnik über virtuelle Messgeräte

Visualisierung von Energie

Umgesetzte Maschinensimulation:



Agenda

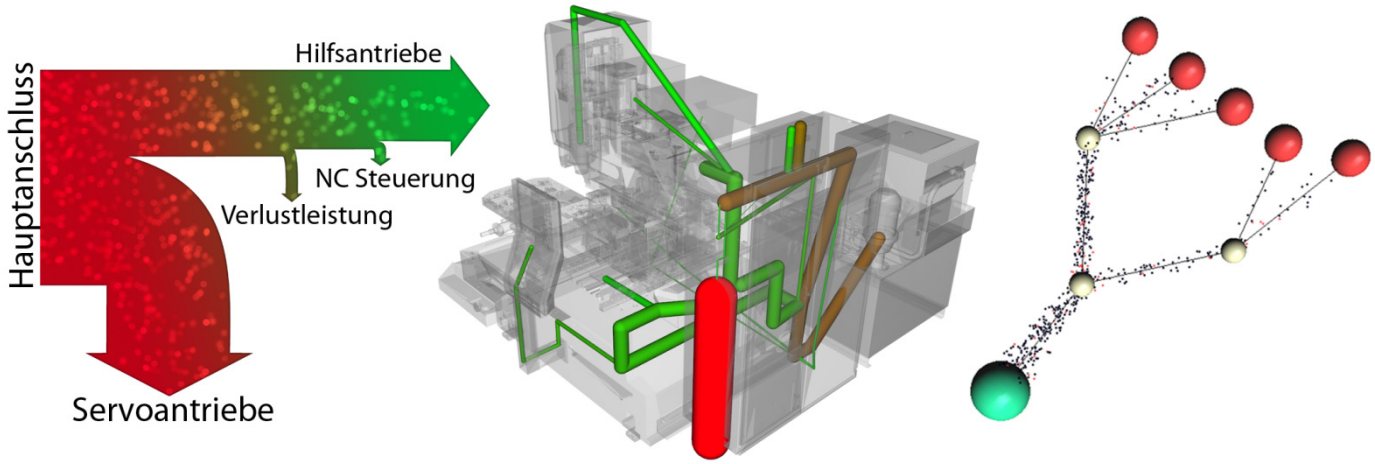
1. Motivation
2. Energieeffizienz in der Produktentwicklung
3. Maschinensimulation
4. Integration von Energie in die Maschinensimulation
5. Visualisierung von Energie
6. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick

- Echtzeitfähige Maschinensimulation
- Beibehaltung der Basisfunktionalitäten
- Abschätzung von Leistungsaufnahme und Energieverbräuchen für den Leerlauf
- Energetischer Vergleich am Beispielprozess zeigt Abweichungen von ca. 10%
  → Ursache: Simulation ohne Prozesskräfte und Maschineneigenschaften
- Darstellung über virtuelle Messgeräte zeigt hohe Akzeptanz
- Manuelle Korrektur des Prozesses notwendig

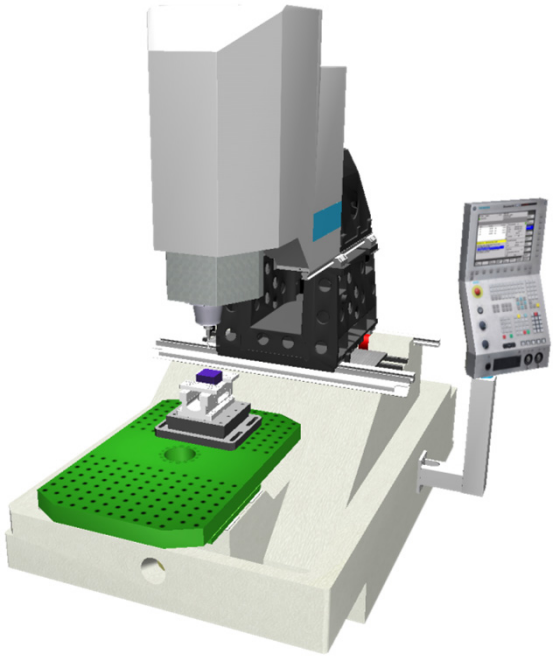
Zusammenfassung und Ausblick

- Untersuchung neuer Darstellungsmethoden (bspw. über Partikelsysteme) für Energieflüsse
- Exaktere Leistungsberechnung durch Integration einer Antriebssimulation
- Berechnung der Prozesskräfte bspw. nach Kienzle denkbar
- Weitere Verifikationen notwendig



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?



Kontakt
Marco Witt
Email: marco.witt@mb.tu-chemnitz.de
Tel: +49 371 / 531-38953

Der Spitzentechnologiecluster eniPROD® wird gefördert von der Europäischen Union aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) sowie aus Landesmitteln des Freistaats Sachsen.

Gefördert aus Mitteln der Europäischen Union
Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
STAATSMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND KUNST
Freistaat SACHSEN