



Vortragsreihe
„Energieeffiziente Produktion – Forschung und Praxis“
des Spitzentechnologieclusters eniPROD

Methoden und Werkzeuge
der energiesensitiven virtuellen Produktentwicklung

Dr.-Ing. Volker Wittstock

23. Mai 2013

Inhalt

Überblick

1. Virtuelle Produktentwicklung

Ausgewählte Beispiele

2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen
3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion
4. Nutzung von Workflowsysteme
5. Virtuelle Prototypen mittels NC-VR-Kopplung

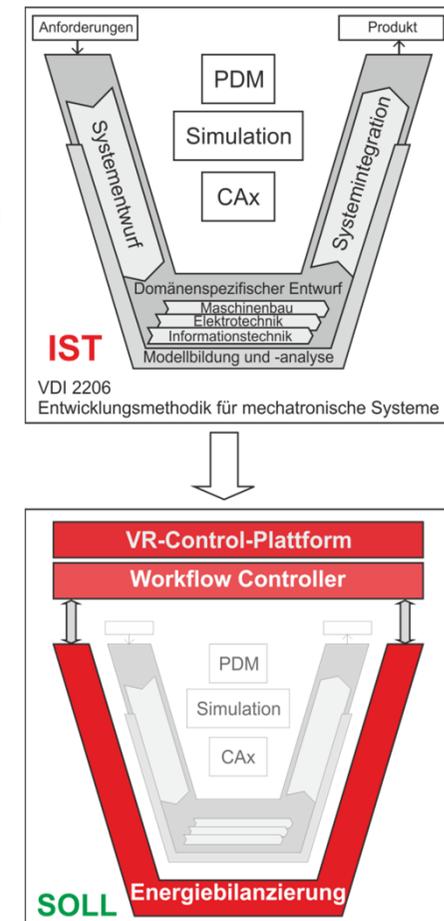
Demonstration Virtual Reality

6. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen
7. Kopplung von NC-Steuerung und VR-Maschinenmodell

1. Virtuelle Produktentwicklung

Zielstellung

- **Ausrichtung** herkömmlicher Workflows der Produktentwicklung **auf Energieeffizienz** von Produkten und Prozessen
- Integration **betriebswirtschaftlichen** Wissens in Workflows
- **Entscheidungsunterstützung** der interdisziplinären Arbeit **durch** leistungsfähige **Visualisierungstechniken**
- **schnelle Berechnungs**algorithmen für Simulation von Produkteigenschaften
- Einsparung von Energie durch Einsatz von **virtuellen Prototypen**



Wissenschaftliche Herausforderungen

Basistechnologien

- **Visualisierung** energierelevanter Daten und **Interaktionskonzept** für VR
- Nutzung und Weiterentwicklung des **adaptiven FEM-**Programmpakets

Methoden

- Betrachtung von **energierelevanten Prozessbedingungen** in der Produktentwicklung
- Einbeziehung von **Energie als Kostenfaktor**
- integratives **Daten- und Workflowmanagement**

Wissenschaftliche Herausforderungen

Basistechnologien

- **Visualisierung** energierelevanter Daten und **Interaktionskonzept** für VR
- Nutzung und Weiterentwicklung des **adaptiven FEM-**Programmpakets

Methoden

- Betrachtung von **energierelevanten Prozessbedingungen** in der Produktentwicklung
- Einbeziehung von **Energie als Kostenfaktor**
- integratives **Daten- und Workflowmanagement**

Werkzeuge

- **Virtueller Prototyp** der Maschine
- **Prototypische Software** zur Umsetzung der Entwicklungsmethodik

Beitrag der virtuelle Techniken für Energieeffizienz

Entwicklung- und Planungsphase

- Bewertung eines virtuellen Objektes
- *Planungsphase* durch virtuelle Verifizierung *intensiver*
- Integration von Simulationen
- *interdisziplinär*

Erhöhung der planerischen
Variantenvielfalt

Realisierungsphase u. Lebenszyklus

- nur noch gezielte Bewertung am realen Objekt notwendig
- Verkürzung der Realisierung durch *geringeren Änderungsbedarf*
- Nutzung bestehender geom. Daten für wandelbare Einsatzzwecke

Erhöhung der nachhaltigen
Nutzung

Jeder nicht gebauter (fehlerhafte) Prototyp verringert
den Energieverbrauch!

2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

2.1 Visualisierung diskreter Energiekennwerte in der 3D-Welt

Ausgangssituation: Mess- oder Simulationsdaten eines Energieflusses

- Kennwertlinien bspw. als txt- oder Excel-Dateien

Store No.	Date	Time	U-E1	I-E1	P-E1	S-E1	O-E1	U-E2	I-E2	P-E2	S-E2	O-E2	U-E3	I-E3	P-E3	S-E3	O-E3	U-SigA	I-SigA	P-SigA	S-SigA	O-SigA			
1	2009/07/21		13.55 13 0.000E+00	0.000E+00	-1.85E-01 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-3.68E-01 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	4.55E+05 0.000E+00	9.53E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-5.52E-01 0.000E+00	0.000E+00	
2	2009/07/21		13.55 14 0.000E+00	0.000E+00	1.53E-01 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-2.90E-01 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	4.45E+05 0.000E+00	1.11E+05 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.37E-01 0.000E+00	0.000E+00	
3	2009/07/21		13.55 15 0.000E+00	0.000E+00	1.65E-01 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-4.33E-01 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	4.36E+05 0.000E+00	1.49E+05 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-2.89E-01 0.000E+00	0.000E+00
4	2009/07/21		13.55 16 0.000E+00	0.000E+00	3.73E-01 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-4.90E-01 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.42E+05 0.000E+00	1.61E+05 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.17E-01 0.000E+00	0.000E+00
5	2009/07/21		13.55 17 0.000E+00	0.000E+00	6.63E-01 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.64E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	8.26E+05 0.000E+00	4.34E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6	2009/07/21		13.55 18 0.000E+00	0.000E+00	7.14E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.04E+05 0.000E+00	1.50E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.35E+02	1.04E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.16E+02 0.000E+00	7.82E+02 0.000E+00							
7	2009/07/21		13.55 19 0.000E+00	0.000E+00	6.47E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.03E+05 0.000E+00	1.50E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.33E+02	9.57E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.16E+02 0.000E+00	8.52E+02 0.000E+00							
8	2009/07/21		13.55 20 0.000E+00	0.000E+00	6.50E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.03E+05 0.000E+00	1.60E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.34E+02	5.49E+02 0.000E+00	0.000E+00	5.16E+02 0.000E+00	9.51E+02 0.000E+00							
9	2009/07/21		13.55 21 0.000E+00	0.000E+00	5.94E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.87E+02 0.000E+00	1.49E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.36E+02	1.15E+05 0.000E+00	0.000E+00	4.93E+02 0.000E+00	8.99E+02 0.000E+00							
10	2009/07/21		13.55 23 0.000E+00	0.000E+00	7.14E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.04E+05 0.000E+00	1.55E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.36E+02	8.49E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.21E+02 0.000E+00	9.41E+02 0.000E+00							
11	2009/07/21		13.55 24 0.000E+00	0.000E+00	6.20E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.99E+02 0.000E+00	1.43E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.52E+02	8.11E+05 0.000E+00	0.000E+00	4.99E+02 0.000E+00	8.07E+02 0.000E+00							
12	2009/07/21		13.55 25 0.000E+00	0.000E+00	6.53E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.04E+05 0.000E+00	1.54E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.38E+02	1.04E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.21E+02 0.000E+00	8.87E+02 0.000E+00							
13	2009/07/21		13.55 26 0.000E+00	0.000E+00	6.39E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.93E+02 6.06E+02	1.34E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.26E+02	2.95E+05 0.000E+00	0.000E+00	4.97E+02 3.03E+02	6.98E+02 0.000E+00							
14	2009/07/21		13.55 27 0.000E+00	0.000E+00	6.09E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.98E+02 0.000E+00	1.41E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.32E+02	5.96E+05 0.000E+00	0.000E+00	4.99E+02 0.000E+00	8.00E+02 0.000E+00							
15	2009/07/21		13.55 28 0.000E+00	0.000E+00	6.07E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.00E+05 0.000E+00	1.38E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.23E+02	3.49E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.00E+02 0.000E+00	7.70E+02 0.000E+00							
16	2009/07/21		13.55 29 0.000E+00	0.000E+00	6.67E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.02E+05 0.000E+00	1.31E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.39E+02	5.53E+02 0.000E+00	0.000E+00	5.12E+02 0.000E+00	6.46E+02 0.000E+00							
17	2009/07/21		13.55 30 0.000E+00	0.000E+00	6.55E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05 0.000E+00	1.50E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.46E+02	7.00E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.05E+02 0.000E+00	8.46E+02 0.000E+00							
18	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	6.54E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.03E+05 6.01E+02	1.54E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.34E+02	1.20E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.16E+02 3.00E+02	8.86E+02 0.000E+00							
19	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	6.16E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.98E+02 0.000E+00	1.21E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.37E+02	8.35E+02 0.000E+00	0.000E+00	4.99E+02 0.000E+00	6.97E+02 0.000E+00							
20	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	5.89E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.94E+02 0.000E+00	1.41E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.37E+02	9.91E+05 0.000E+00	0.000E+00	4.92E+02 0.000E+00	8.48E+02 0.000E+00							
21	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	6.52E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.99E+02 6.13E+02	1.49E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.36E+02	1.47E+05 0.000E+00	0.000E+00	4.99E+02 3.07E+02	8.38E+02 0.000E+00							
22	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	6.76E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.05E+05 6.02E+02	1.55E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.38E+02	1.03E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.24E+02 3.01E+02	8.78E+02 0.000E+00							
23	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	6.37E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.88E+02 6.02E+02	1.43E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.36E+02	1.30E+05 0.000E+00	0.000E+00	4.94E+02 3.01E+02	7.95E+02 0.000E+00							
24	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	7.05E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.05E+05 0.000E+00	1.67E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.39E+02	9.98E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.24E+02 0.000E+00	9.15E+02 0.000E+00							
25	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	5.90E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05 0.000E+00	1.40E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.37E+02	2.21E+02 0.000E+00	0.000E+00	5.07E+02 0.000E+00	8.14E+02 0.000E+00							
26	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	6.34E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	9.99E+02 0.000E+00	1.41E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.40E+02	1.10E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.00E+02 0.000E+00	7.72E+02 0.000E+00							
27	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	7.21E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.03E+05 0.000E+00	1.60E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.35E+02	1.92E+05 0.000E+00	0.000E+00	5.13E+02 0.000E+00	8.80E+02 0.000E+00							
28	2009/07/21		13.55 31 0.000E+00	0.000E+00	6.17E+0																				

2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

2.1 Visualisierung diskreter Energiekennwerte in der 3D-Welt

Ausgangssituation: Mess- oder Simulationsdaten eines Energieflusses

- Kennwertlinien bspw. als txt- oder Excel-Dateien

Store No.	Date	Time	U-E1	I-E1	P-E1	S-E1	O-E1	U-E2	I-E2	P-E2	S-E2	O-E2	U-E3	I-E3	P-E3	S-E3	O-E3	U-SigA	I-SigA	P-SigA	S-SigA	O-SigA	
1	2009/07/21		13.55 13.0 0.000E+00	0.000E+00	-1.85E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-3.68E-01	0.000E+00	0.000E+00	4.55E+05	0.000E+00	9.53E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-5.52E-01	0.000E+00	0.000E+00
2	2009/07/21		13.55 14.0 0.000E+00	0.000E+00	1.53E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-2.90E-01	0.000E+00	0.000E+00	4.56E+05	0.000E+00	1.11E+05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.37E-01	0.000E+00	0.000E+00
3	2009/07/21		13.55 15.0 0.000E+00	0.000E+00	1.66E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-4.10E-01	0.000E+00	0.000E+00	4.49E+05	0.000E+00	1.49E+05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-2.69E-01	0.000E+00	0.000E+00
4	2009/07/21		13.55 16.0 0.000E+00	0.000E+00	3.73E-01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-4.30E-01	0.000E+00	0.000E+00	5.42E+05	0.000E+00	1.61E+05	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.17E-01	0.000E+00	0.000E+00
5	2009/07/21		13.55 17.0 0.000E+00	0.000E+00	6.63E-02	0.000E+00	0.000E+00	1.03E+05	0.000E+00	1.54E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.34E+02	1.32E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.17E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.35E+02	0.000E+00	0.000E+00
6	2009/07/21		13.55 18.0 0.000E+00	0.000E+00	7.14E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.04E+05	0.000E+00	1.50E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.35E+02	1.04E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.16E+02	0.000E+00	0.000E+00	7.62E+02	0.000E+00	0.000E+00
7	2009/07/21		13.55 19.0 0.000E+00	0.000E+00	6.47E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.03E+05	0.000E+00	1.50E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.33E+02	9.57E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.16E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.52E+02	0.000E+00	0.000E+00
8	2009/07/21		13.55 20.0 0.000E+00	0.000E+00	6.50E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.03E+05	0.000E+00	1.60E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.34E+02	5.49E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.16E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.51E+02	0.000E+00	0.000E+00
9	2009/07/21		13.55 21.0 0.000E+00	0.000E+00	5.94E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.87E+02	6.00E+00	1.49E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.36E+02	1.15E+05	0.000E+00	0.000E+00	4.93E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.99E+02	0.000E+00	0.000E+00
10	2009/07/21		13.55 23.0 0.000E+00	0.000E+00	7.14E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.04E+05	0.000E+00	1.65E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.36E+02	8.49E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.21E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.41E+02	0.000E+00	0.000E+00
11	2009/07/21		13.55 24.0 0.000E+00	0.000E+00	6.20E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.99E+02	6.00E+00	1.43E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.52E+02	8.11E+05	0.000E+00	0.000E+00	4.99E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.07E+02	0.000E+00	0.000E+00
12	2009/07/21		13.55 25.0 0.000E+00	0.000E+00	6.53E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.04E+05	0.000E+00	1.54E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.38E+02	1.04E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.21E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.87E+02	0.000E+00	0.000E+00
13	2009/07/21		13.55 26.0 0.000E+00	0.000E+00	6.39E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.93E+02	6.06E+00	1.34E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.26E+02	2.95E+05	0.000E+00	0.000E+00	4.97E+02	3.03E+02	6.98E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
14	2009/07/21		13.55 27.0 0.000E+00	0.000E+00	6.09E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.98E+02	6.00E+00	1.41E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.32E+02	5.96E+05	0.000E+00	0.000E+00	4.99E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.00E+02	0.000E+00	0.000E+00
15	2009/07/21		13.55 28.0 0.000E+00	0.000E+00	6.87E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.02E+05	0.000E+00	1.48E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.23E+02	3.48E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.00E+02	0.000E+00	0.000E+00	7.76E+02	0.000E+00	0.000E+00
16	2009/07/21		13.55 29.0 0.000E+00	0.000E+00	6.67E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.02E+05	0.000E+00	1.48E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.39E+02	5.53E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.12E+02	0.000E+00	0.000E+00	6.46E+02	0.000E+00	0.000E+00
17	2009/07/21		13.55 30.0 0.000E+00	0.000E+00	6.55E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.46E+02	7.00E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.05E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.46E+02	0.000E+00	0.000E+00
18	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.54E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.34E+02	1.20E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.16E+02	3.00E+02	8.89E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
19	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.16E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.37E+02	8.35E+02	0.000E+00	0.000E+00	4.99E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.97E+02	0.000E+00	0.000E+00
20	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	5.89E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.37E+02	9.81E+05	0.000E+00	0.000E+00	4.93E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.46E+02	0.000E+00	0.000E+00
21	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.52E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.36E+02	1.47E+05	0.000E+00	0.000E+00	4.99E+02	3.07E+02	8.38E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
22	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.76E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.38E+02	1.03E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.24E+02	3.01E+02	8.78E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
23	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.37E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.36E+02	1.30E+05	0.000E+00	0.000E+00	4.94E+02	3.01E+02	7.95E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
24	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	7.05E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.39E+02	9.99E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.24E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.15E+02	0.000E+00	0.000E+00
25	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	5.90E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.37E+02	2.21E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.07E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.14E+02	0.000E+00	0.000E+00
26	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.34E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.40E+02	1.10E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.00E+02	0.000E+00	0.000E+00	7.72E+02	0.000E+00	0.000E+00
27	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	7.21E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.35E+02	1.92E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.13E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.80E+02	0.000E+00	0.000E+00
28	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.17E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.39E+02	1.03E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.08E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.68E+02	0.000E+00	0.000E+00
29	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.13E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.35E+02	1.32E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.05E+02	0.000E+00	0.000E+00	7.79E+02	0.000E+00	0.000E+00
30	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	7.30E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.38E+02	1.18E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.10E+02	3.03E+02	8.55E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
31	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.64E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.30E+02	2.07E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.13E+02	0.000E+00	0.000E+00	8.03E+02	0.000E+00	0.000E+00
32	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.83E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.36E+02	1.09E+05	0.000E+00	0.000E+00	5.07E+02	0.000E+00	0.000E+00	7.73E+02	0.000E+00	0.000E+00
33	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	6.28E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.39E+02	2.17E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.13E+02	0.000E+00	0.000E+00	9.29E+02	0.000E+00	0.000E+00
34	2009/07/21		13.55 31.0 0.000E+00	0.000E+00	5.89E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.01E+05	0.000E+00	1.01E+02	0.000E+00	0.000E+00	5.96E+05	4.40E+02	1.15E+05	0.							

2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

3D-Sankey-Diagramm - Grundlagen

- 2D → 3D
- Dicke/Durchmesser entspricht Durchschnittswert
- darstellbarer Wertebereich konfigurierbar

2D



2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

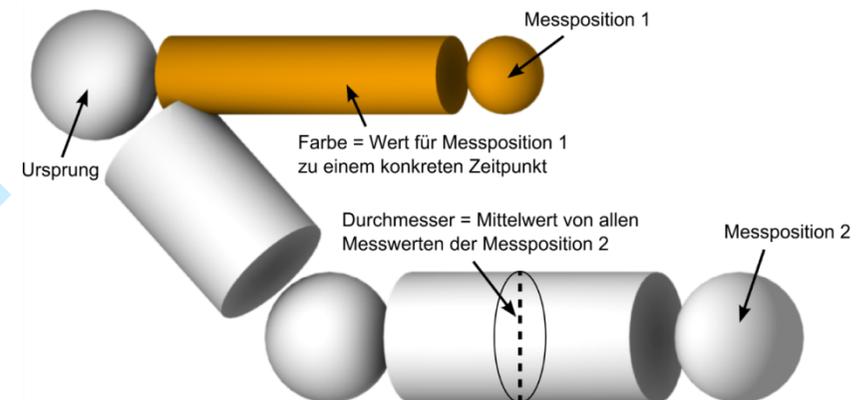
3D-Sankey-Diagramm - Grundlagen

- 2D → 3D
- Dicke/Durchmesser entspricht Durchschnittswert
- darstellbarer Wertebereich konfigurierbar

2D



3D

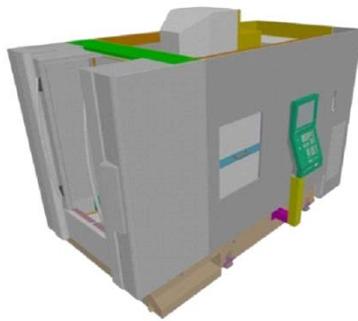


7

2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

Anwendung und Nutzen

- einfache **Verortung** von Verbrauchern in einem technischen System
- **qualitative** und **quantitative** Bewertung von Energiekennwerten
- **zeitabhängige** Darstellung von Änderungen

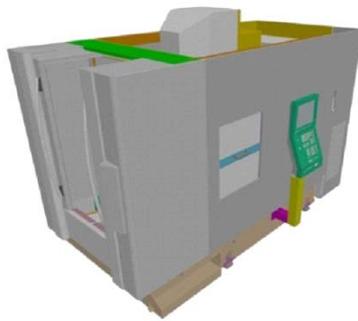


*CAD-Modell
Maschine*

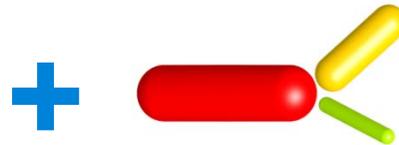
2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

Anwendung und Nutzen

- einfache **Verortung** von Verbrauchern in einem technischen System
- **qualitative** und **quantitative** Bewertung von Energiekennwerten
- **zeitabhängige** Darstellung von Änderungen



*CAD-Modell
Maschine*

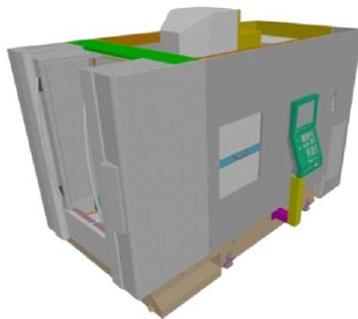


*Zeitabhängige
Energiekennwerte*

2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

Anwendung und Nutzen

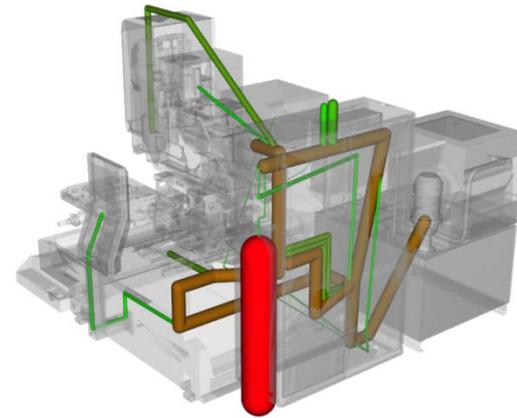
- einfache **Verortung** von Verbrauchern in einem technischen System
- **qualitative** und **quantitative** Bewertung von Energiekennwerten
- **zeitabhängige** Darstellung von Änderungen



CAD-Modell
Maschine



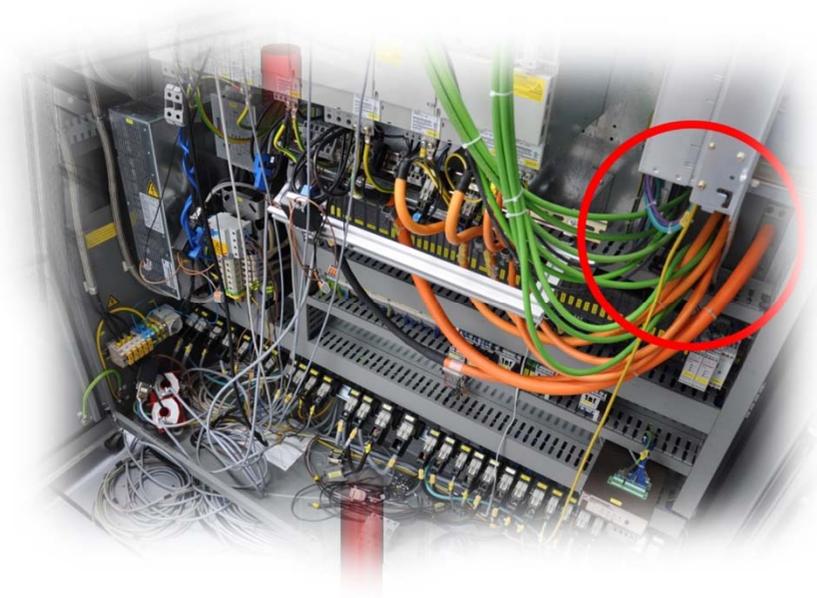
Zeitabhängige
Energiekennwerte



3D-Sankey VR-
Visualisierung

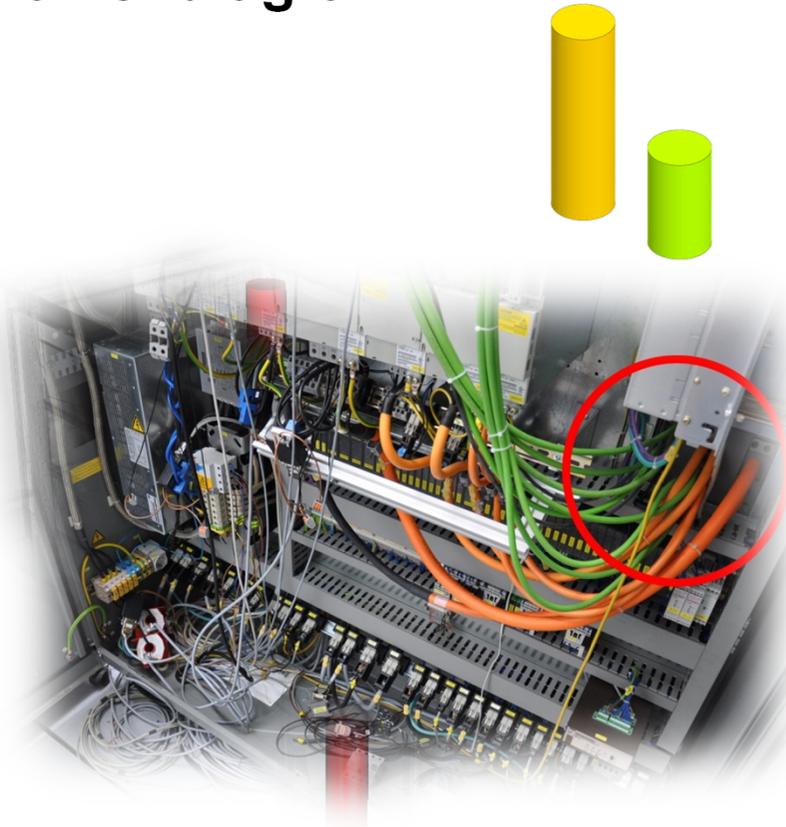
2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

Bauteilbezogene Visualisierung von Energiekennwerten Balkendiagramm



Bauteilbezogene Visualisierung von Energiekennwerten

Balkendiagramm



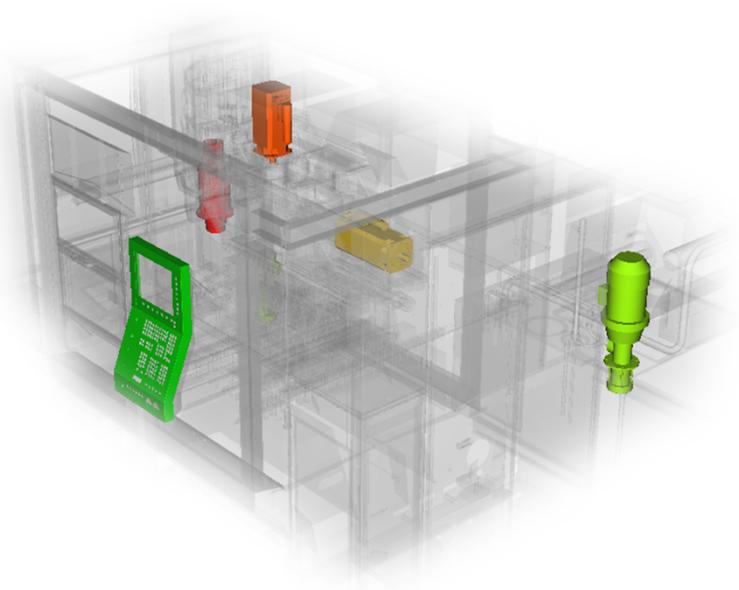
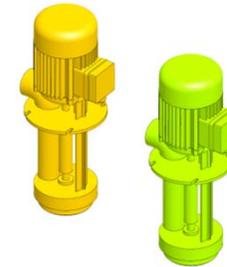
Vorteile

- mehrere Werte (z. B. P + Q parallel)
- verständliche Abstraktion
- Größe abhängig von Sichtbarkeit
- keine geometrische Repräsentation notwendig

Nachteile

- keine Zusammenhänge zwischen Bauteilen
- schnell unübersichtlich
- Verdeckung bei Perspektivwechsel
- Zuordnung Bauteil nicht gegeben

Bauteileinfärbung auf Basis entsprechender Energiewerte



Vorteile

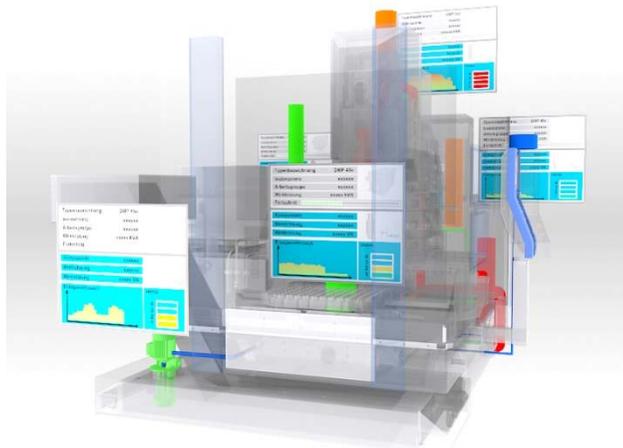
- keine zusätzliche Geometrie nötig
- geringe Abstraktion
- übersichtlich durch Verwendung vorhandener Funktionseinheiten

Nachteile

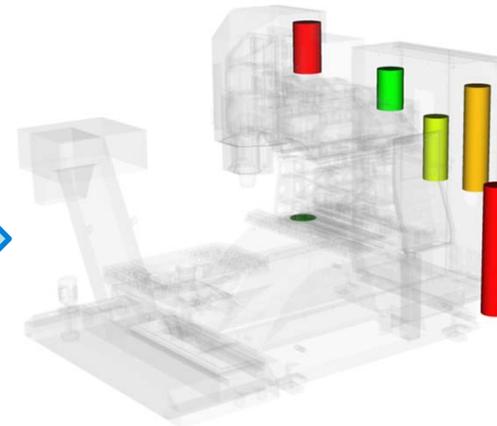
- keine Zusammenhänge zwischen Bauteilen
- nur ein Energiewert pro Bauteil abbildbar
- qualitative Beurteilung

2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

2.2 Akzeptanz und Wirkung von Energievisualisierungen



- viele Parameter
- hohe Komplexität
- Übersichtlichkeit ?

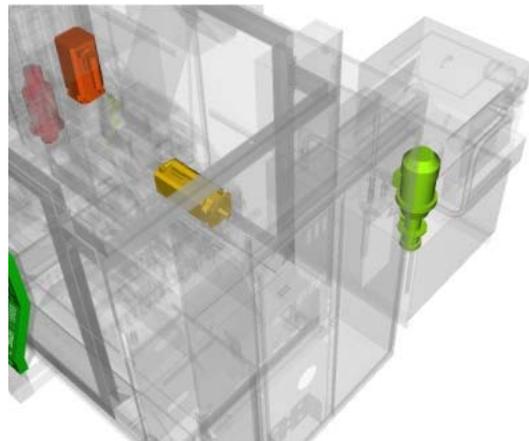
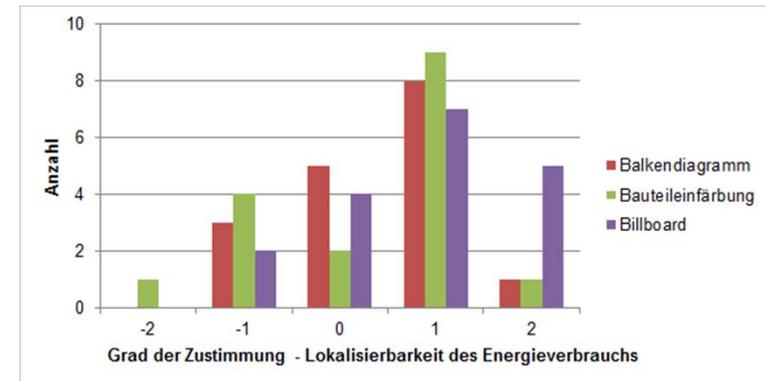


- ein Parameter
- geringere Komplexität
- Übersichtlichkeit !?

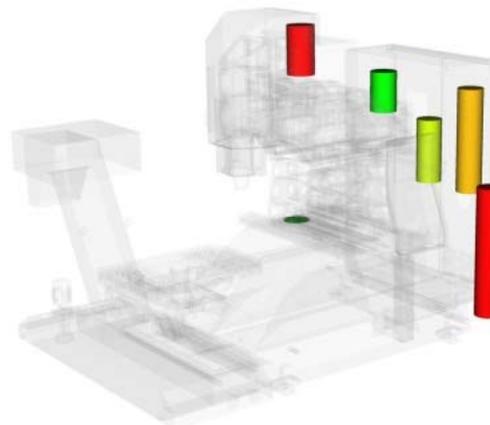
2. Energiesensitive Visualisierung von Medienflüssen

Beispiel: Lokalisierbarkeit des Energieverbrauchs

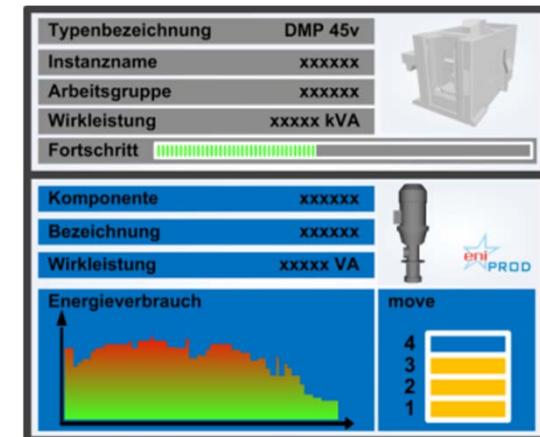
- Billboard-Visualisierung hinsichtlich der Lokalisierbarkeit der verbrauchenden Baugruppen am positivsten bewertet



Bauteileinfärbung



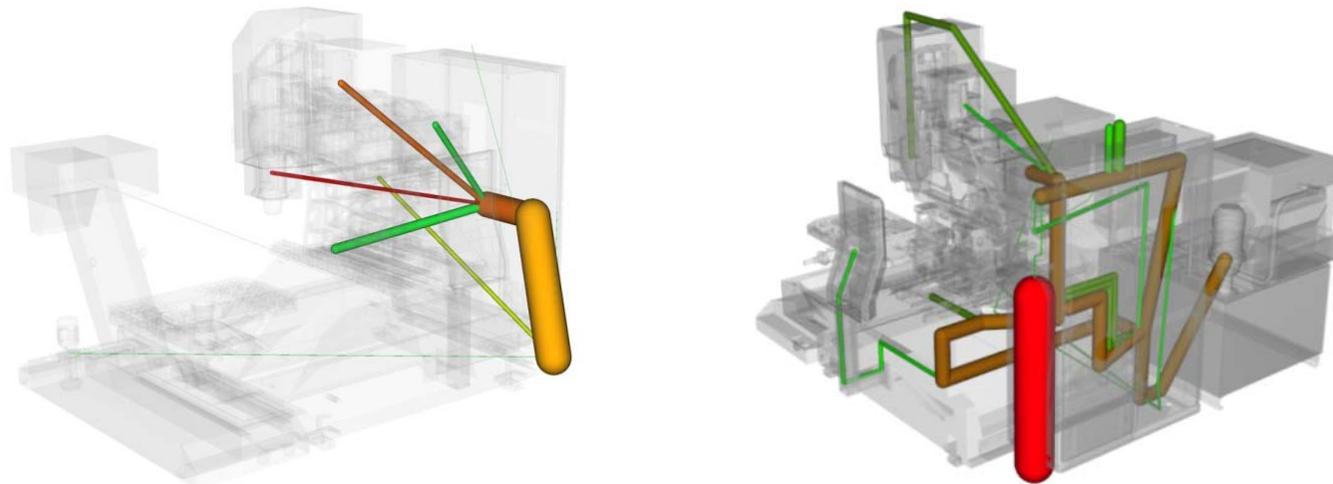
Balkendiagramm



Billboard

Energievisualisierung mittels 3D-Sankey

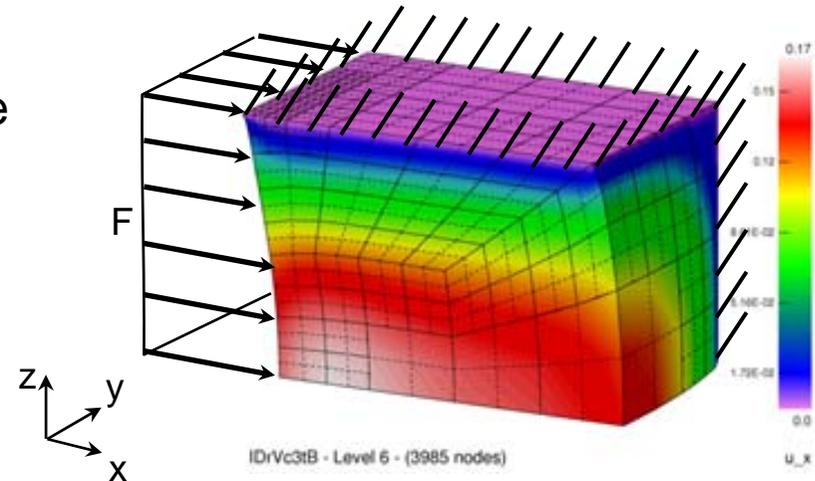
- Überwiegend positive Einschätzung
- größtes Verbesserungspotenzial bei der intuitiven Verständlichkeit
- Zusammenhang zwischen Energiefluss und Verbrauchern ist nachvollziehbar
- Vergleichbarkeit allein anhand des Durchmessers der Sankey-Zweige wird angezweifelt



3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

3.1. Adaptive FEM – Programmpaket: SPC-PM3AdH-XX

- seit 1988 Forschung für ein aFEM Programm für lineare 2D Elastizitätsprobleme
- seit 2001 Weiterentwicklung im SFB 393 für lineare und nichtlineare 3D-Elastizitätsprobleme
- heute: modulares Programm zur flexiblen Anpassung u. Erweiterung an neue Problemstellungen
- ausgewählte aFEM-Programm-Module für verschiedene Materialien
- Vorteile
 - schnell
 - genau

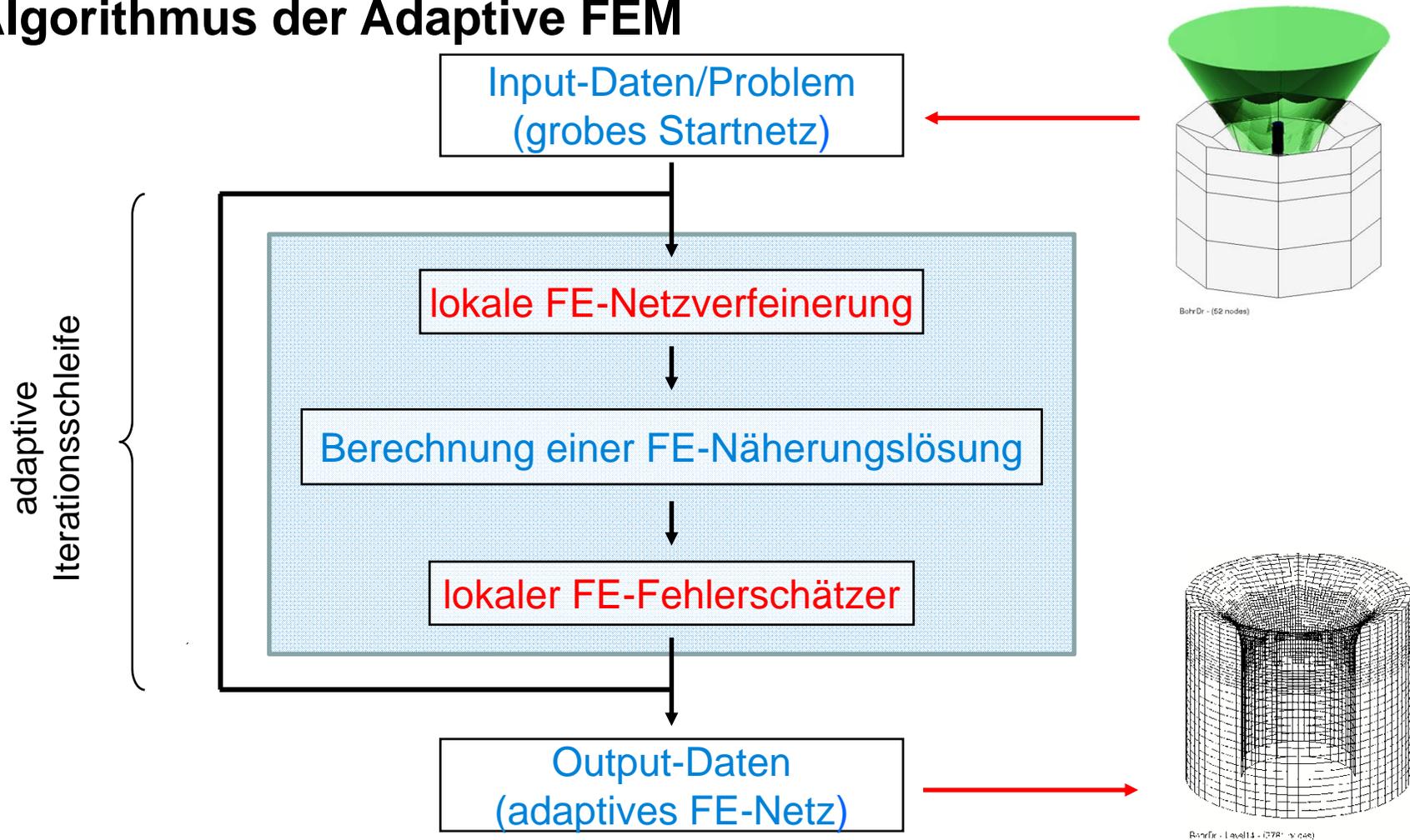


Inkompressibles Materialverhalten

15

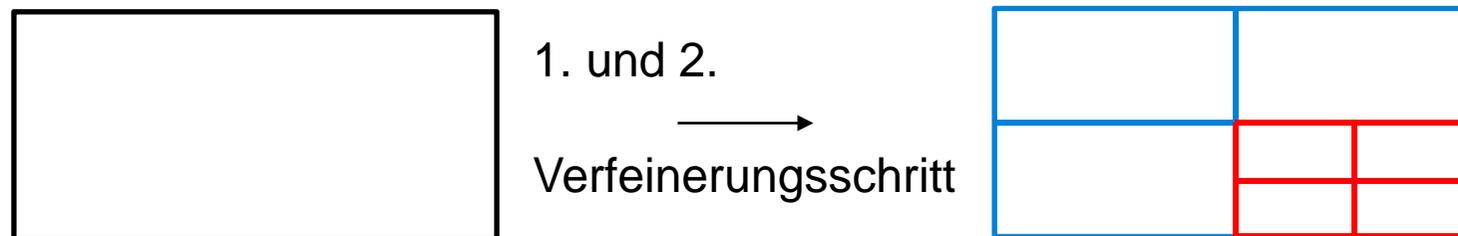
3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

Algorithmus der Adaptive FEM



Löser und Netzverfeinerung

- Nutzung eines iterativen Verfahrens zur Lösung des FE-Gleichungssystems (Konjugierte Gradienten-Methode)
- Adaptivität bildet Netzhierarchie
- lokale Anpassung des FE-Netzes an den relevanten Stellen (Spannungspitzen)



- kompletter Iterationsdurchlauf wird schneller gelöst als ein einzelnes Problem mit der klassischen FEM

Vorteile gegenüber klassischer FEM

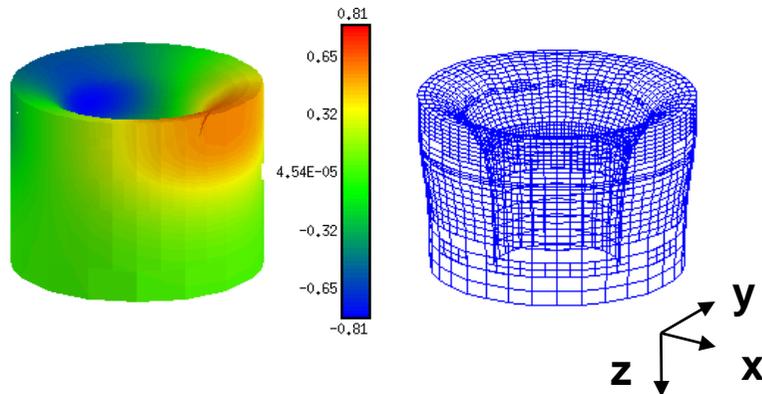
- **„klassische“ FEM**: die Berechnung findet auf festem FE-Netz statt
- **adaptive FEM**: aufeinander folgende Berechnungen mit lokal immer feiner werdendem FE-Netz
- Vorteile:
 - automatische Anpassung des FE-Netz an das Problem → fehlergesteuert
 - genaue Abbildung von Spannungsspitzen
 - hochgenaue Ergebnisse
 - extrem kurze Berechnungszeit → ermöglicht echtzeitnahe Simulation und Interaktion

3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

Vergleich: Kontaktproblem Kegel auf Hohlzylinder

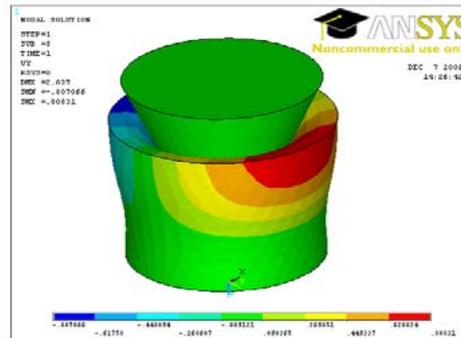
aFEM: SPC-PM3AdH-XX

max. x-Verschiebung verformtes Netz

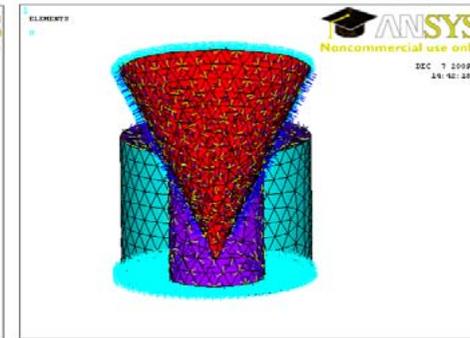


klassisch: ANSYS

max. x-Verschiebung



Darstellung der RB



- In beiden Fällen beträgt die maximale Ausdehnung (entlang des Hindernisses) in x- und y-Richtung 0.81 LE

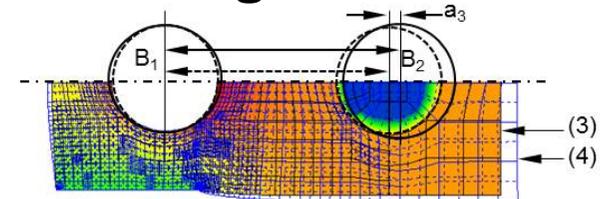
Zeitmessung: ca. 28 Sekunden

ca. 4 Minuten

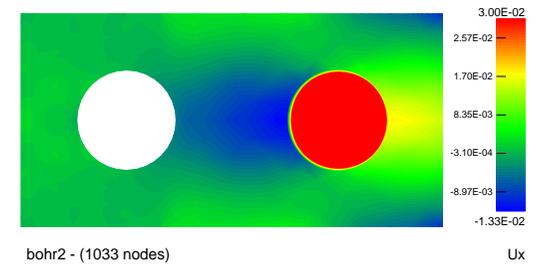
3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

3.2 Grundidee der thermo-elastische Berechnungen

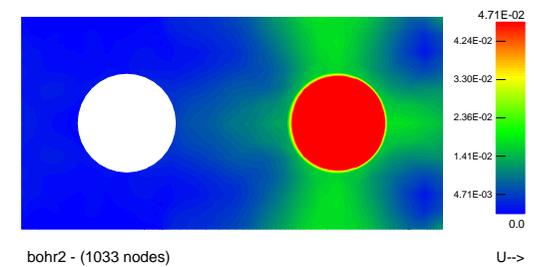
- Berechnung der Bohrung auf einen „virtuellem“ FE-Netz
- Berechnung von geeigneten Abbildungen/Parametertransformationen zwischen „virtuellen“ und realen FE-Netz
- Ermittlung des optimalen Bohrungsmittelpunktes bzw. Fräserposition
- Korrektur des NC-Programms vor dem ersten Musterteil



----- Sollkontur
——— aktuelle Istkontur } der Bohrung



bohr2 - (1033 nodes) Ux
Längenänderung in x-Richtung

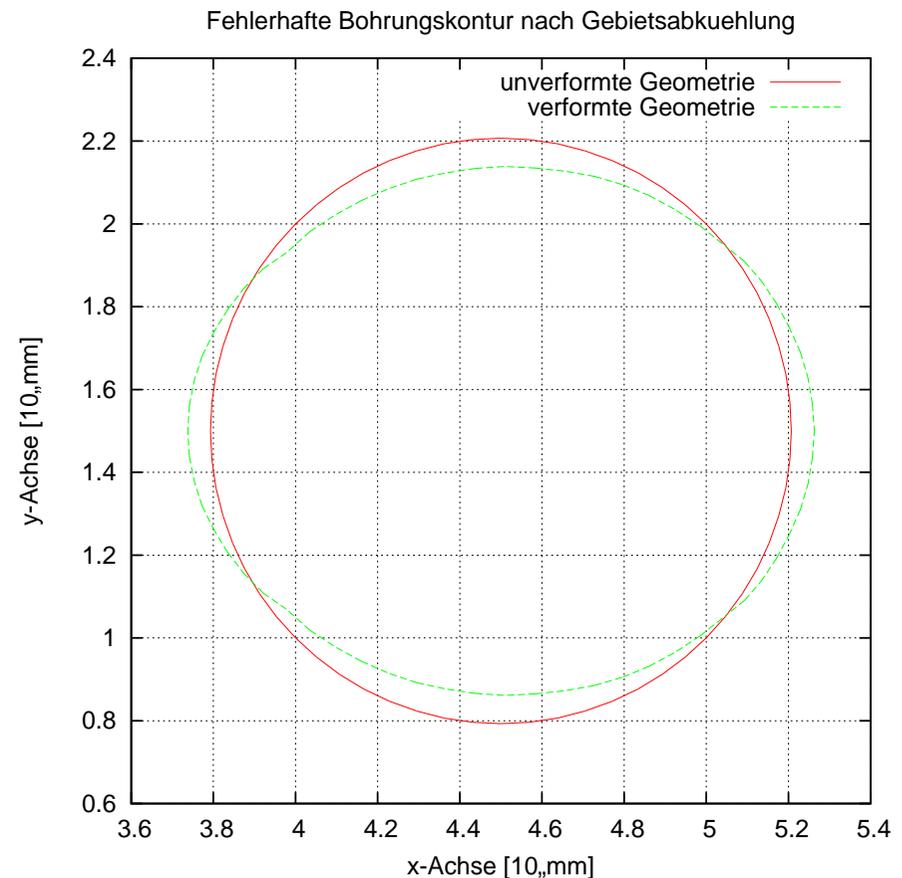


bohr2 - (1033 nodes) U-->
Längenänderung in x- und y-Richtung

20

Darstellung der Bohrungskontur

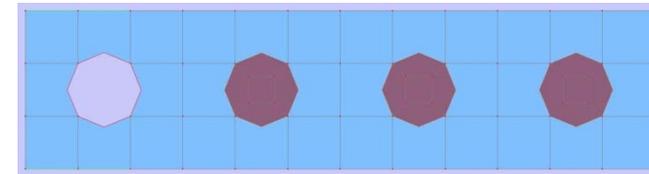
- Überlagerung der Soll-Kontur und der Ist-Kontur nach der Bearbeitung
- verformte Geometrie gleicht einer Ellipse
- Skalierung des Fehlers zur Verdeutlichung um Faktor fünf



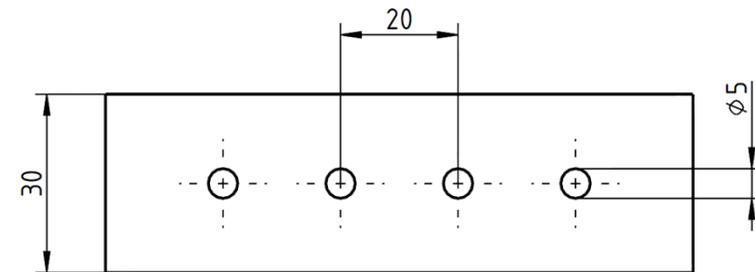
3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

Erweiterung des Korrekturalgorithmus für n Bohrungen

- Modifizierung des Ausgangsnetze für vier Bohrungen
- Modifikation der Randbedingung, so dass die Wärmeeinträge nacheinander im Modell angetragen werden



Geometrie des FE-Startnetzes



Geometrie einer Probe

Experimentelle Verifizierung

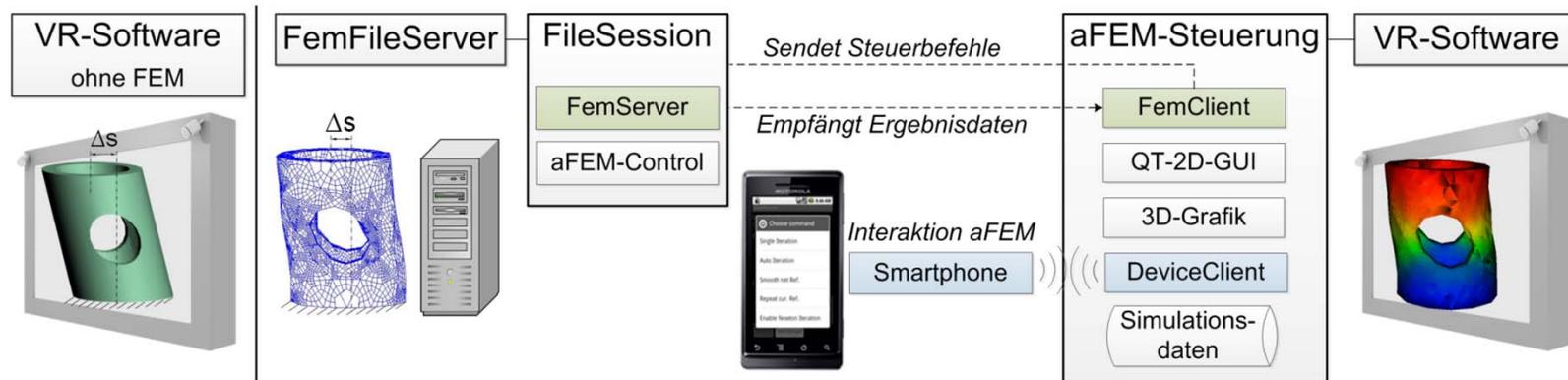
- Untersuchungen an Stahl und Aluminium Proben
- definierter Temperatureintrag erfolgt über Heizstäbe und Wärmepaste
- Messungen über Temperatursensoren und Wärmebildkamera



elektrischer Heizstab

3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

3.3 Interaktive Steuerung von Simulationen in VR



Gesamtkonzept aFEM-VR-Kopplung

3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

3.3 Interaktive Steuerung von Simulationen in VR

- **Änderungen** von Simulationsparametern *online* in VR ermöglichen ein zeitnahes visuelles Feedback

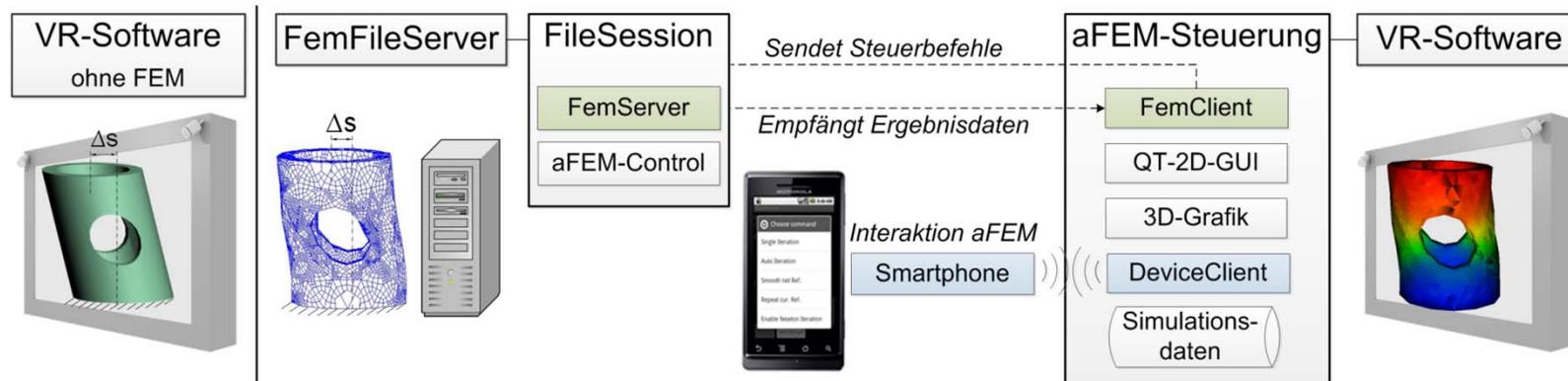


Gesamtkonzept aFEM-VR-Kopplung

3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

3.3 Interaktive Steuerung von Simulationen in VR

- **Änderungen** von Simulationsparametern *online* in VR ermöglichen ein zeitnahes visuelles Feedback
- verschiedene Settings können getestet werden (z. B. Änderung der Motorleistung)



Gesamtkonzept aFEM-VR-Kopplung

3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

3.3 Interaktive Steuerung von Simulationen in VR

- **Änderungen** von Simulationsparametern *online* in VR ermöglichen ein zeitnahes visuelles Feedback
- verschiedene Settings können getestet werden (z. B. Änderung der Motorleistung)
- nur möglich, wenn Simulationsprogramm ausreichend schnell ist (z. B. adaptive FEM)

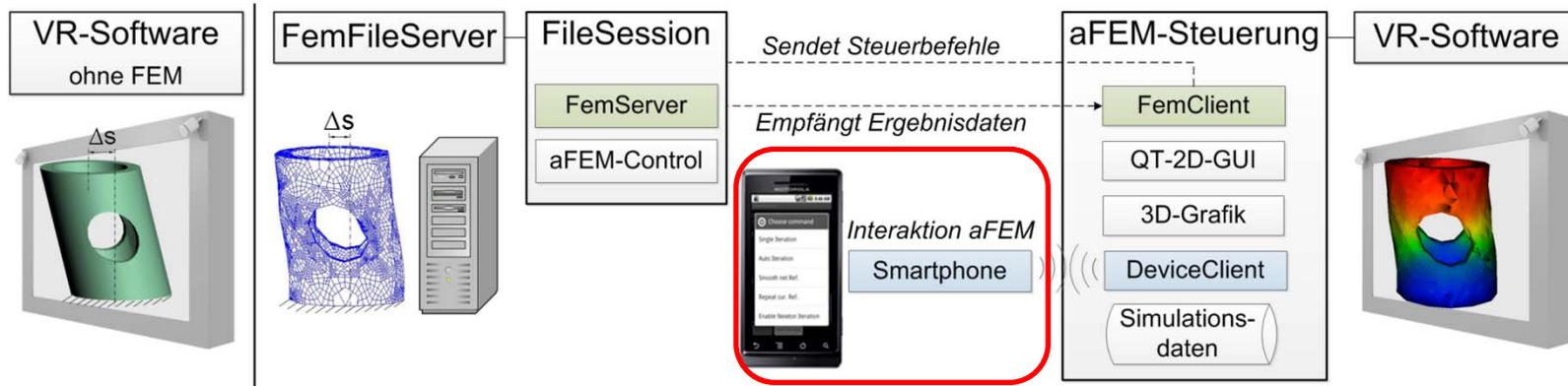


Gesamtkonzept aFEM-VR-Kopplung

3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion

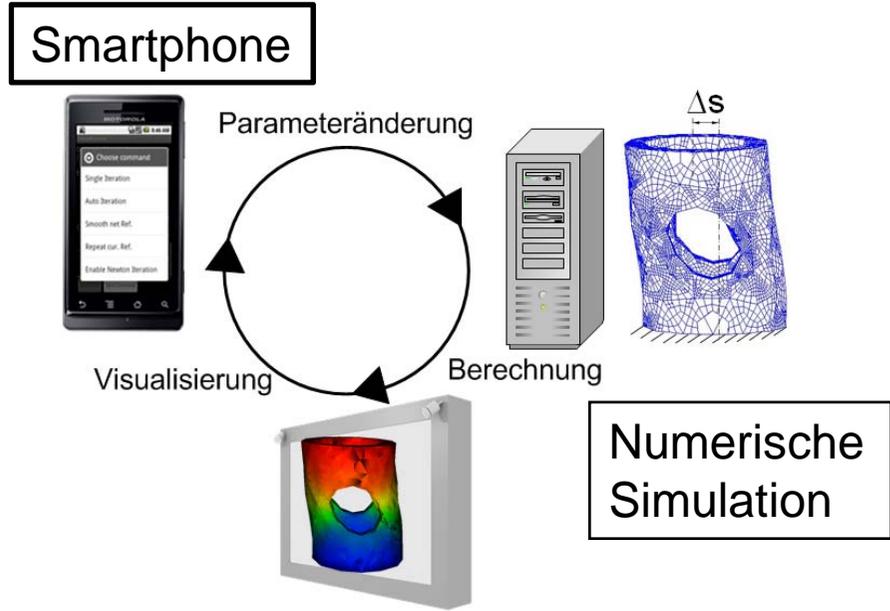
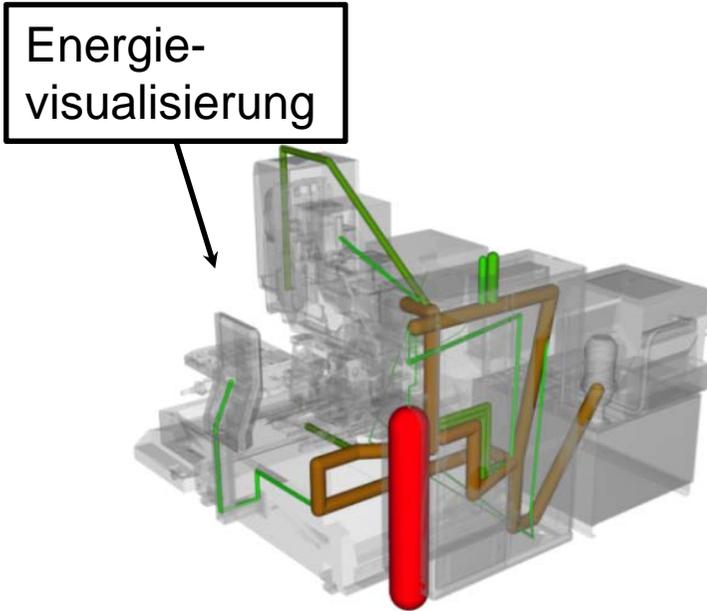
3.3 Interaktive Steuerung von Simulationen in VR

- **Änderungen** von Simulationsparametern *online* in VR ermöglichen ein zeitnahes visuelles Feedback
- verschiedene Settings können getestet werden (z. B. Änderung der Motorleistung)
- nur möglich, wenn Simulationsprogramm ausreichend schnell ist (z. B. adaptive FEM)
- Smartphone dient als Interaktionsgerät um die Simulation zu steuern



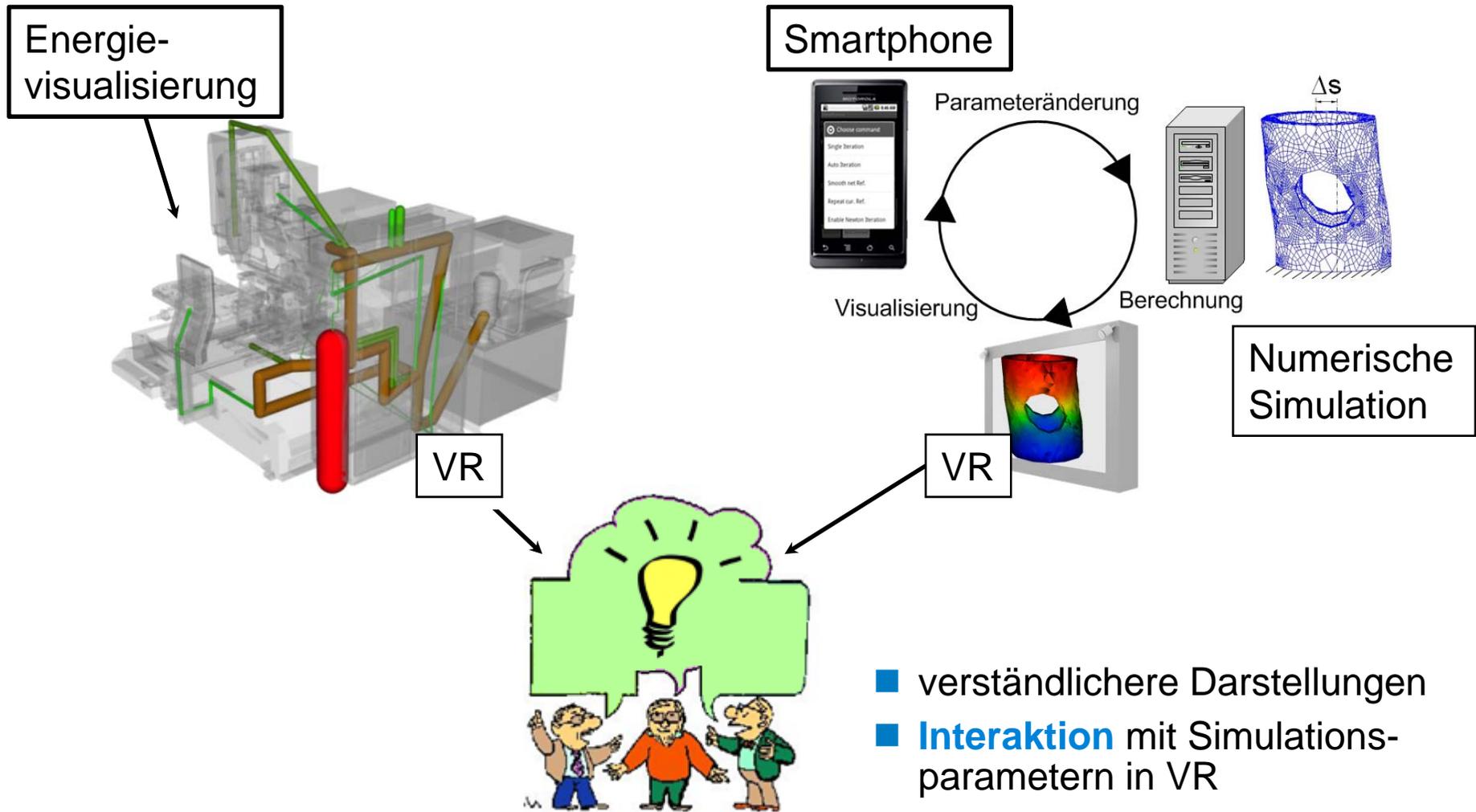
Gesamtkonzept aFEM-VR-Kopplung

3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion



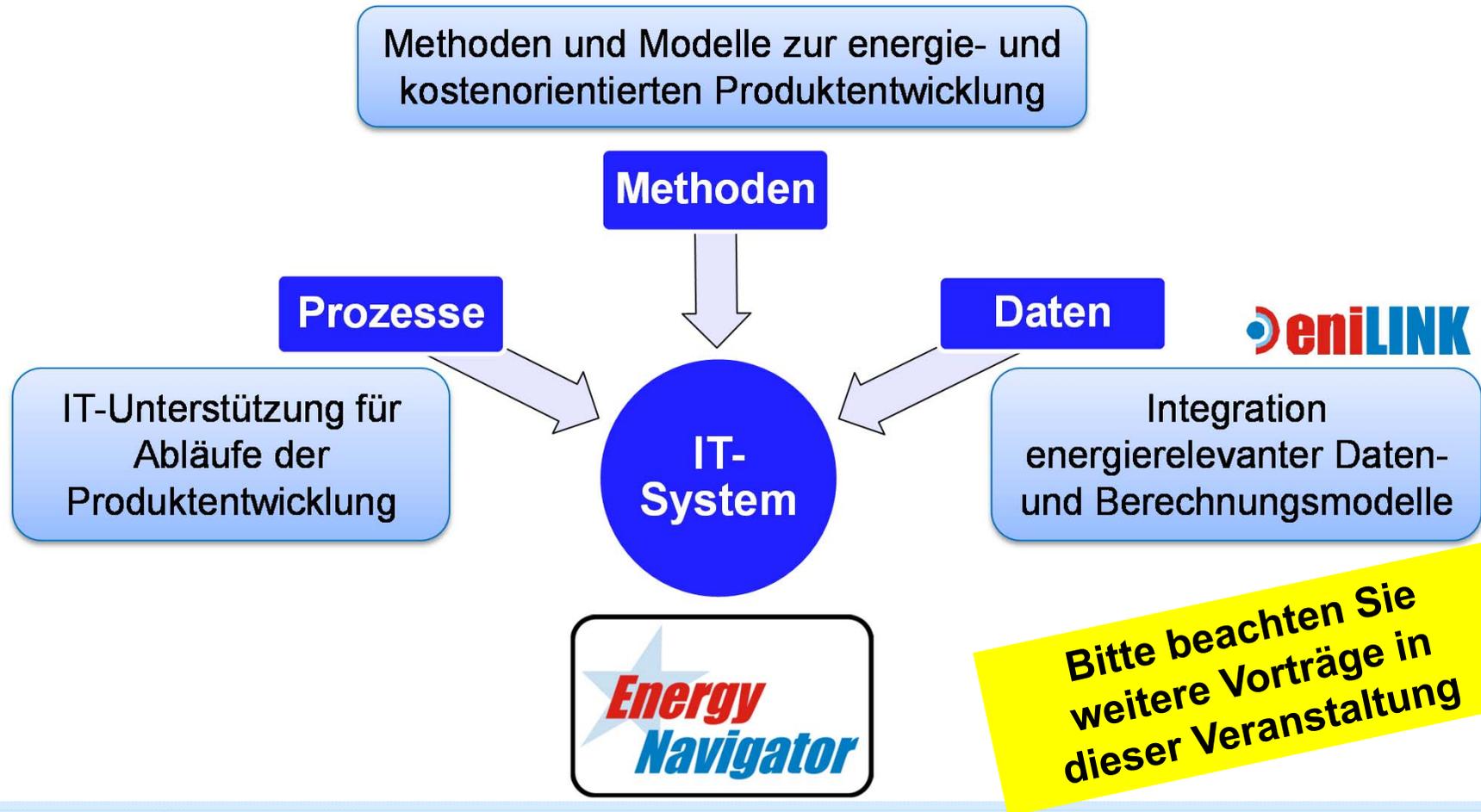
- verständlichere Darstellungen
- **Interaktion** mit Simulationsparametern in VR

3. Berechnungswerkzeuge und Interaktion



4. Nutzung von Workflowsystemen

Integration von Workflow-, Daten- und Kostenmanagement

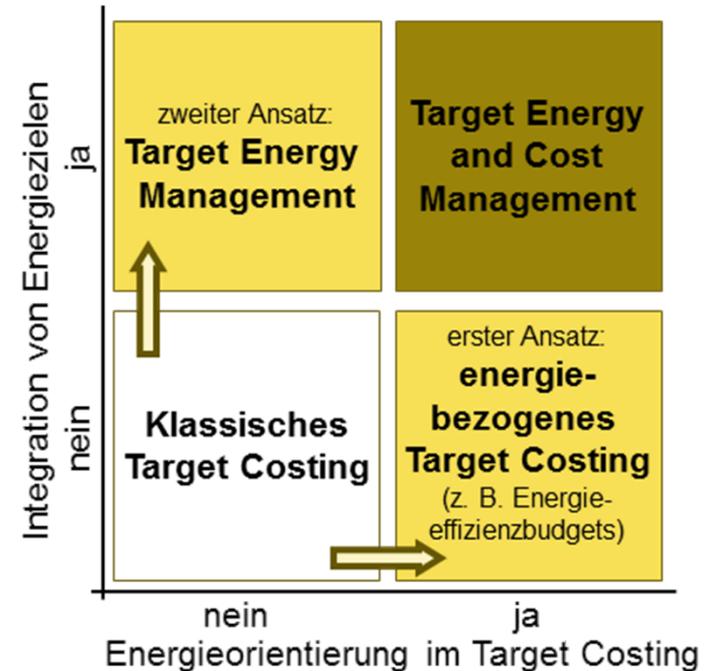


4. Nutzung von Workflowsystemen

Kostenmanagement

- Weiterentwicklung der **Energiekostenrechnung** als Partialsystem → Nutzung handlungsfeldübergreifend
- Integration der **Energieorientierung** in das **Target Costing** zur frühzeitigen und zielgerichteten Gestaltung energie- und kosteneffizienter Produkte
- Vergleich zu Ansätzen für die **entwicklungsbegleitende Energieverbrauchs- und -kostenschätzung**

**Bitte beachten Sie
weitere Vorträge in
dieser Veranstaltung**

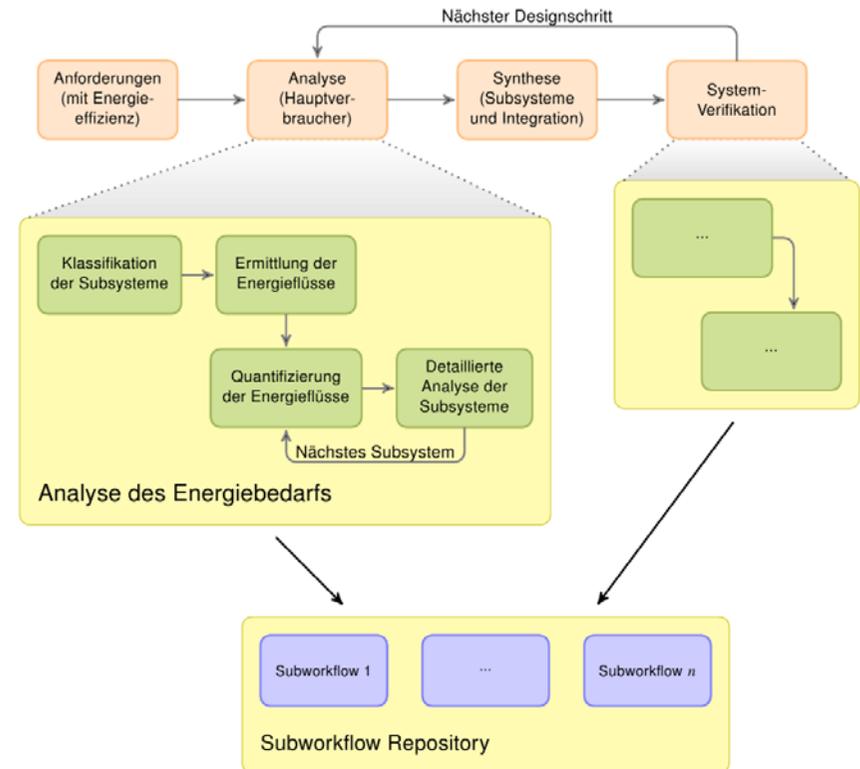


Gestaltungsansätze für energieorientiertes Target Costing



Workflowmanagement: EnergyNavigator

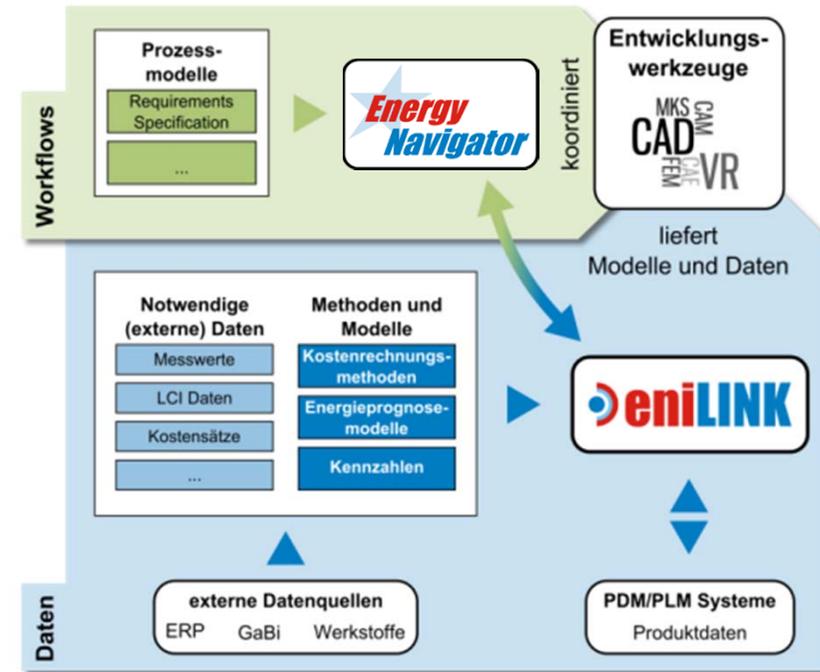
- Transformation von herkömmlichen Abläufen der Produktentwicklung in **energieeffizienzorientierte Workflows**
- Workflowmodell für Produktentwicklungsprozesse** auf Basis des Property-Driven-Designs (PDD)
- Ausführung von **Subworkflows** in den Hauptschritten des PDD: Anforderungen Analyse, Synthese, Verifikation
- IT-Umsetzung von **Referenzworkflows**
- Demonstrator-Portal **EnergyNavigator**



4. Nutzung von Workflowsystemen

Datenmanagement: eniLINK

- Datenmanagementsystem „eniLINK“ zur **Verwaltung energetisch relevanter Daten** im Entwicklungsprozess
- Verknüpfung relevanter Daten aus heterogenen Quellen mit **Semantic Web**-Technologien
- **Integration von Messdaten** durch ein generisches Modell zur Beschreibung von Sensoren, Prozessen, Ressourcen und Messwerten
- **Weiterverwendung von Produktmodellen** in Verbindung mit Energie- und Kostendaten sowie zugehörigen Kennzahlen



Datenmanagementsystem eniLINK.

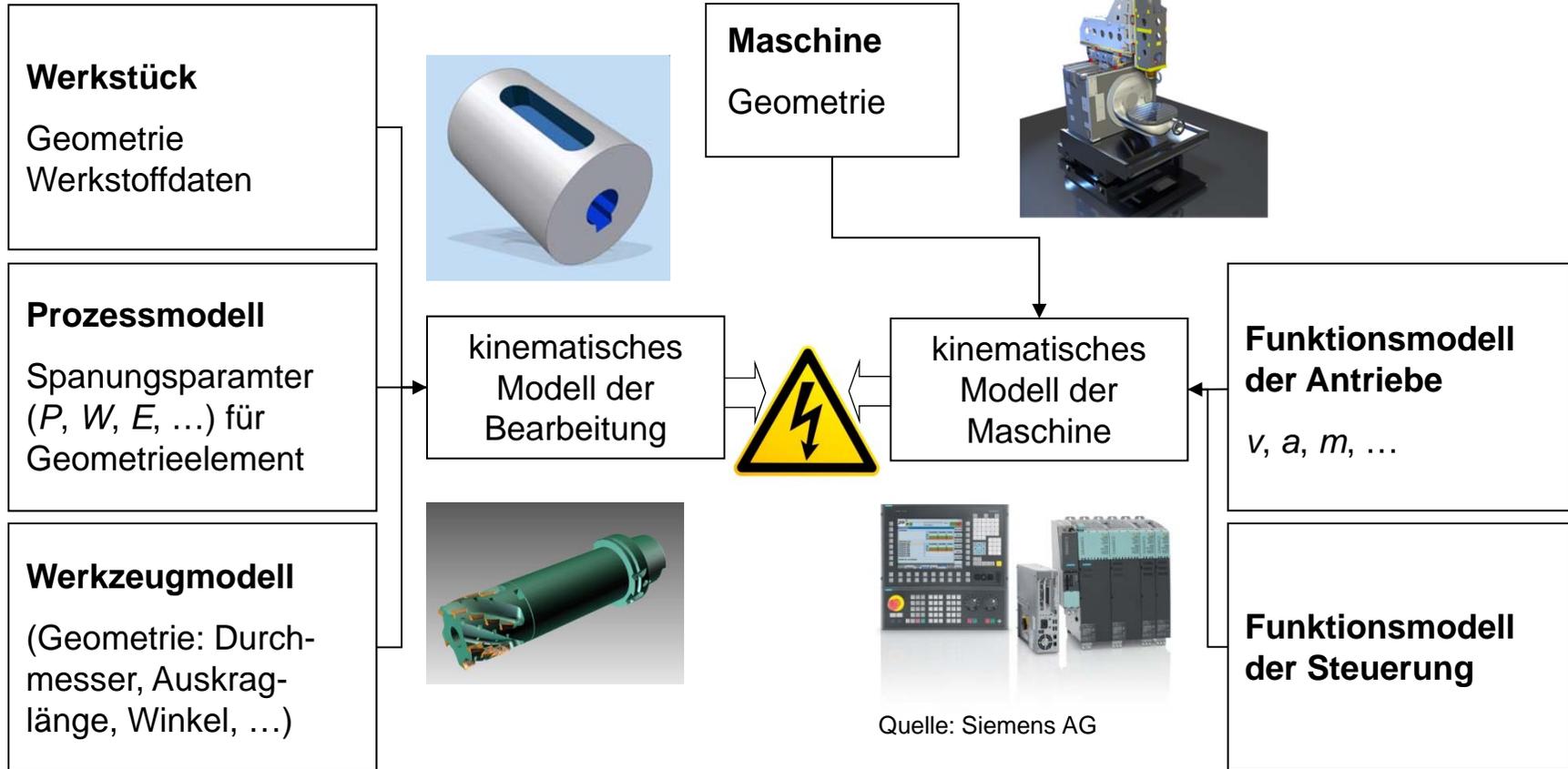
5. Virtuelle Prototypen mittels NC-VR-Kopplung

5.1 Herangehensweise

Prozess

VR-Modell

Antriebstechnik



5. Virtuelle Prototypen mittels NC-VR-Kopplung

Prozess

Ausgangspunkt:

- Keine automatische Weitergabe von Informationen bzgl. Toleranzen, Oberflächen und Werkstoffdaten vom CAD ins CAP

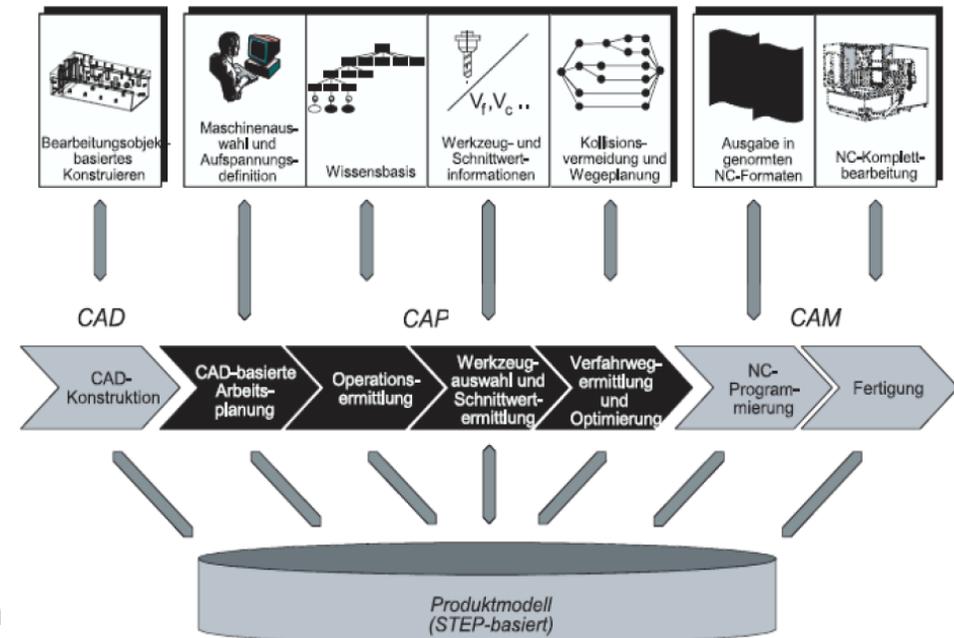
→ **durchgängigen Einsatz virtueller Prototypen** in der Produktentwicklung notwendig

Methode:

- Nutzung der systemneutralen Schnittstelle STEP** zur featurebasierten Produkt- u. Prozessmodellierung

Ergebnisse:

- Methode zur Integration von **Energiekennwerten für Design- und Fertigungs-Features**



5. Virtuelle Prototypen mittels NC-VR-Kopplung

Antriebstechnik

Ausgangspunkt:

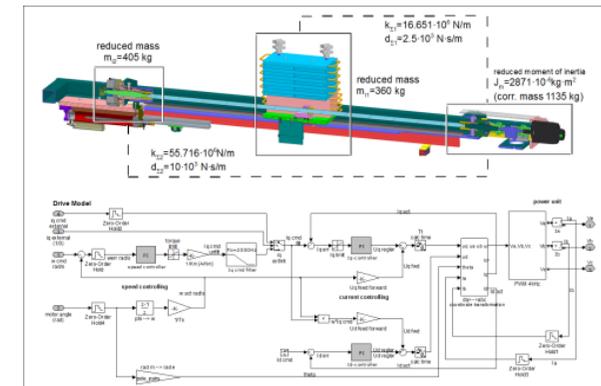
- notwendige Basis für effiziente Produktion (Energieverbrauch, Genauigkeit, Produktivität):
 - ➔ Gut abgestimmte (Antriebs-) Regelkreise
 - ➔ Ganzheitliche Betrachtung der Antriebsregelung mit Steller, E-Maschine und (schwingungsfähiger) Mechanik

Methode:

- **Mechatronische Modellbildung** und realitätsnahe Simulation der verschiedenen Aspekte
- Bewertung mittels **Performance-Indizes**, die Zielkriterien abbilden

Ergebnisse:

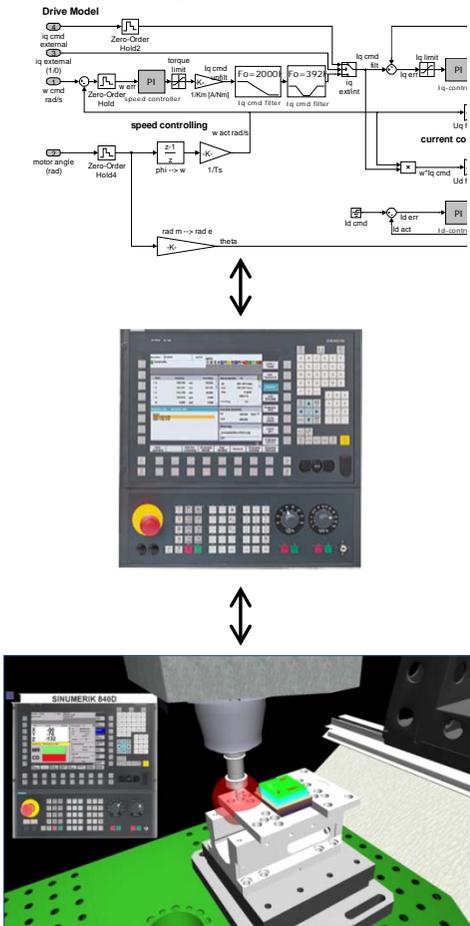
- Parametrierbares Modell auf Basis eines Versuchsstandes Vorschubachse
- **Energieverbrauch** ableitbar in Abhängigkeit von
 - der Parametrierung (Regelung),
 - der Konfiguration (E-Maschine + Mechanik) für Positioniervorgänge ableiten



*abstrahierte Mechanik + Simulation
Antriebssteller*

5. Virtuelle Prototypen mittels NC-VR-Kopplung

Energetische Bewertung am virtuellen Prototypen



Mechatronisches Simulationsmodell

- **Antriebssimulation** inkl. Regelkreise und Steller

Hardware-in-the-Loop-Kopplung von NC-Steuerung und VR-Maschinenmodell (NC-VR)

- Vorabprüfung des Bearbeitungsprozesses in VR
- Sicherstellung von Kollisionsfreiheit
- Vergleich verschiedener Bearbeitungsstrategien
- Rückschlüsse auf **Effizienz des NC-Programms**

Fertigungsprozess

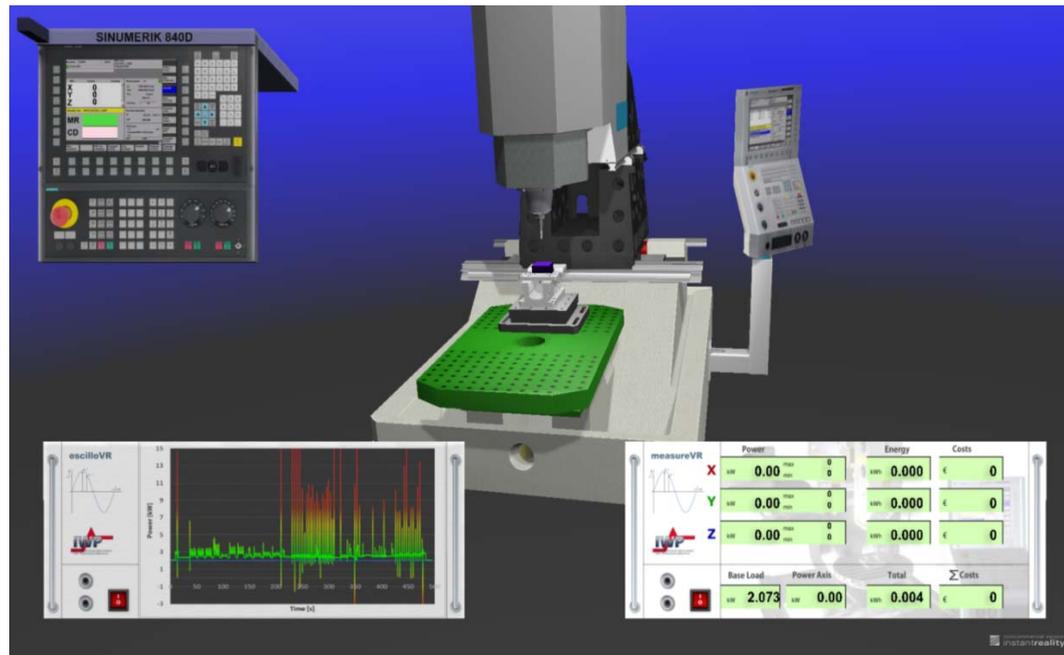
- Integration energierelevanter Daten in **STEP-Features**

→ **Simulationsergebnisse als Ausgangsbasis für energiebezogene Prozessplanung**

5. Virtuelle Prototypen mittels NC-VR-Kopplung

5.2 Energetische Bewertung am virtuellen Prototypen

Demonstrator – Energievisualisierung am virtuellen Prototyp



Maschine: DMP45v, Deckel Maho,
3-Achs-Bearbeitungs-zentrum (Fräsen, Bohren)

Darstellung von

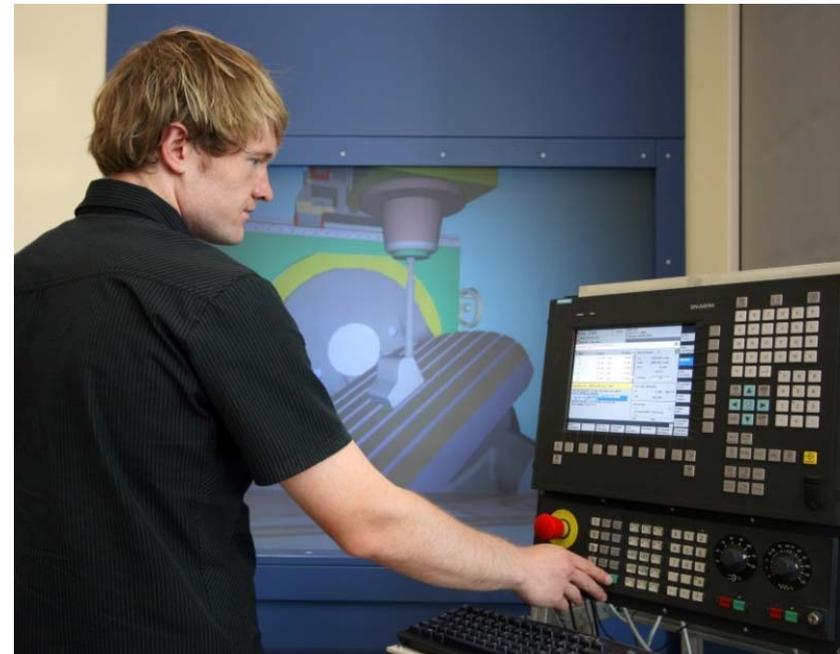
- Maschinenbewegungen durch NC-VR-Kopplung
- **Materialabtrag**, echtzeitfähig
- **Energieverbräuchen** der Maschinenachsen basierend auf empirischen Messdaten der realen Maschine

5. Virtuelle Prototypen mittels NC-VR-Kopplung

Energetische Bewertung am virtuellen Prototypen

Demonstrator – Energievisualisierung am virtuellen Prototyp

- Ziele: Leicht erfassbare **Energiedatenvisualisierung** in der Entwurfsphase und für die Messung
- Darstellung des virtuellen Prototyps in seiner **ganzen Komplexität**
- Gesamtdarstellung verschiedener Informationen auf einem Ausgabemedium
- Darstellung von **Leistung**, **Energie** und **Kosten** insgesamt und für einzelne Achsen
- Einbeziehen von **Grundlast** und **Basiskosten**



34

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dieses Projekt 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.



Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

STAATSMINISTERIUM
FÜR WISSENSCHAFT
UND KUNST



Freistaat
SACHSEN

35



Gefördert aus Mitteln
der Europäischen Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung