



# PARADOM

*Parallele Algorithmische Differentiation in OpenModelica für  
energietechnische Simulationen und Optimierungen*

Martin Flehmig

6. HPC-Status-Konferenz der Gauß-Allianz, 29.11.2016

E-Mail: [martin.flehmig@tu-dresden.de](mailto:martin.flehmig@tu-dresden.de)

Umbruch in der Stromerzeugung

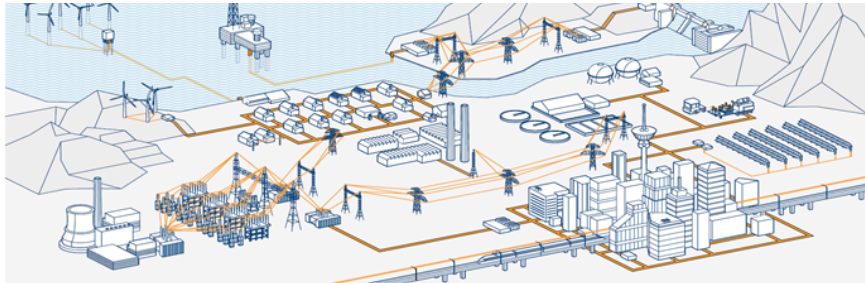
- Zentrale Großkraftwerke mit vorbestimmten Einsatzplänen



Braunkohle-Kraftwerk bei Jänschwalde, [guentherhh](#), CC BY 2.0

# Heute und Morgen

- Sehr viele Kleinerzeuger (Technologien: Wind, Solar, Biogas, etc.)
- Konventionelle Kraftwerke sichern Grundbedarfe und Lastspitzen ab



©ABB

## Herausforderungen

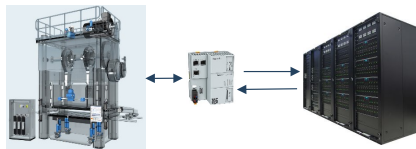
- Zusammenfassung und Steuerung der Kleinerzeuger in virtuellen Kraftwerken
- Echtzeitoptimierung aller Erzeuger, d. h. flexible Anpassung an Bedarfe

## Optimale Steuerung und Modellprädiktive Regelung

# Motivation II

## Optimale Steuerung

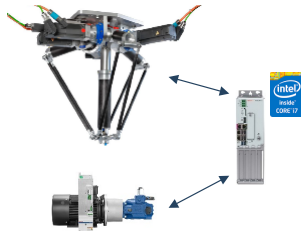
- Messdaten des Prozesses werden an HPC-System gesendet
- Controller triggert dynamische Optimierung
- Optimierung wird auf HPC-System ausgeführt
- Anpassung an geänderte Produktionsbedingungen



© Bosch Rexroth

## Modellprädiktive Regelung

- Vorausschauende Regelung auf Basis eines Modells
- Dynamisches Optimierungsproblem wird in (jedem Controllerschritt) gelöst
- Echtzeitanforderung
- Leistungsfähige Controller-Hardware



© Bosch Rexroth

## Aufgaben

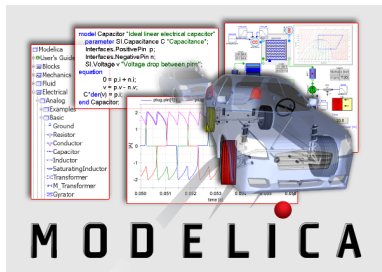
- Modellbildung der (energietechnischen) Anlagen und deren Komponenten
- Simulation und Optimierung
  - Komponenten und Prozesse
  - Verhalten von Produkten in der Anwendung
- Online-Optimierung: Flexible Anpassung an Bedarfe und Zustände

## Herausforderungen

- Immer größere und komplexere Modelle
- Rasch wachsende Systeme
- Grenzen der verfügbaren Optimierungstechnologien bald erreicht

## Beschreibungssprache für technische Systeme

- frei verfügbar
- objektorientiert
- gleichungsbasiert
- diskrete und kontinuierliche Simulation
- freie und kommerzielle Bibliotheken
- Simulation mittels Modelica-Compiler
- Entwicklung durch gemeinnützigen Modelica Association

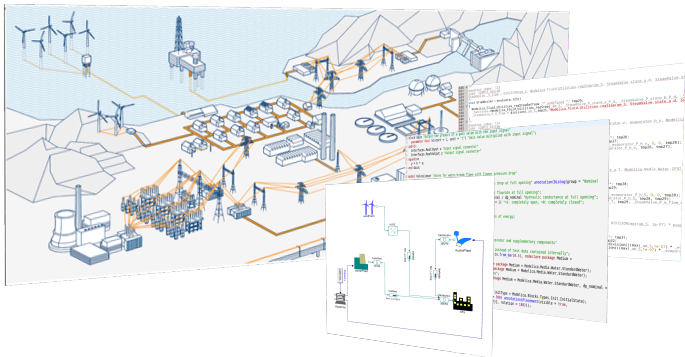


[<https://modelica.org>]



## Modelica-Compiler

- Analyse des Models
- Kausalisierung der Modellgleichungen
- Codegenerierung (z. B. C, C++)



Verfügbare Modelica-Compiler: Dymola, SimulationX, OpenModelica, ...

## OpenModelica

[<https://openmodelica.org/>]

### Open-Source-Entwicklungsumgebung für Modelica

- Kernstück ist Compiler (omc)
- Daneben weitere Tools, z. B. Debugger, OMEdit
- Koordination der Entwicklung durch Open Source Modelica Consortium
- Lizenzierung erlaubt auch gewerblichen Gebrauch
- Parallelisierung von Modelica Modellen (HPC-OM)
  - OpenModelica Compiler-Modul HPCOM
  - Darstellung komplexer Gleichungssysteme in Abhängigkeitsgraphen
  - Für SMP-Systeme

Simulationen und Optimierungen basieren grundlegend auf der effizienten Berechnung von Ableitungsinformationen

Algorithmisches Differenzieren (AD)

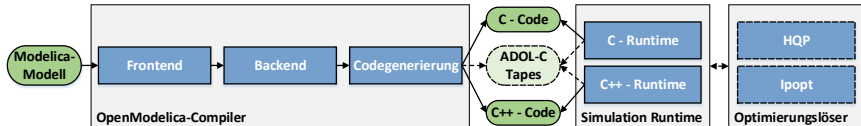
- Exakte Berechnung von Ableitungsinformationen (beliebiger Ordnung)
- Systematische Anwendung von Ableitungsregeln
- Zu differenzierende Funktion muss als Computerprogramm vorliegen

Softwarepaket ADOL-C (**A**utomatic **D**ifferentiation by **O**ver**L**oading in **C**++)

- Basiert auf Operatorüberladung in C/C++
- Umfangreiche Funktionalität
- Ableitungsberechnung auch für MPI- und OpenMP-parallele Programme
- Weltweit verwendet, hohe Akzeptanz
- Open-Source

Entwicklung paralleler Algorithmen und der Einsatz von effizienten Optimierungsverfahren in der OpenModelica-Entwicklungsumgebung auf HPC-Systemen

- Integration von ADOL-C in den OpenModelica-Compiler und die C bzw. C++ Simulation Runtime
- Anbindung der Optimierungslöser Ipopt und HQP an OpenModelica
- Schnittstellen zu geeigneten parallelen Gleichungssystemlösern
- Effiziente Parallelisierung der Ableitungsberechnung in ADOL-C
- Parallele Multiple-Shooting-Verfahren in HQP



# PARADOM

**SIEMENS**



**UNIVERSITÄT PADERBORN**  
*Die Universität der Informationsgesellschaft*

**Rexroth**  
Bosch Group

**ABB**



**FH Bielefeld**  
University of  
Applied Sciences

**LTX**  
Simulation GmbH



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**



**ZIH**  
Center for Information Services &  
High Performance Computing

OpenModelica, ADOL-C und HQP sind Open-Source-Software

- Entwicklungen finden in den jeweiligen Software-Repositories statt
- Weiterentwicklungen können sofort von den Communities genutzt werden
- Feedback von Anwendern
- Frühzeitiger und kontinuierlicher Wissensaufbau auf Anwenderseite

ADOL-C: Parallele Ableitungsberechnung

- Auch unabhängig von OpenModelica nutzbar
- Sichert Zukunftsfähigkeit

OpenModelica

- Machbarkeit und Beschleunigung großer Simulationen
- Kostenneutraler Einstieg in die Modelica-Welt (z. B. für KMUs, Hochschulen)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.