Universität Rostock Traditio et Innovatio

LTT ROSTOCK

Forschungszentrum Verbrennungsmotoren Thermodynamik Rostock

Ein Beitrag zum 14. Symposium Energieinnovation
10.02.2016

Dynamische Simulation von Gas- und Dampfturbinenkraftwerken mit Kraft-Wärmekopplung

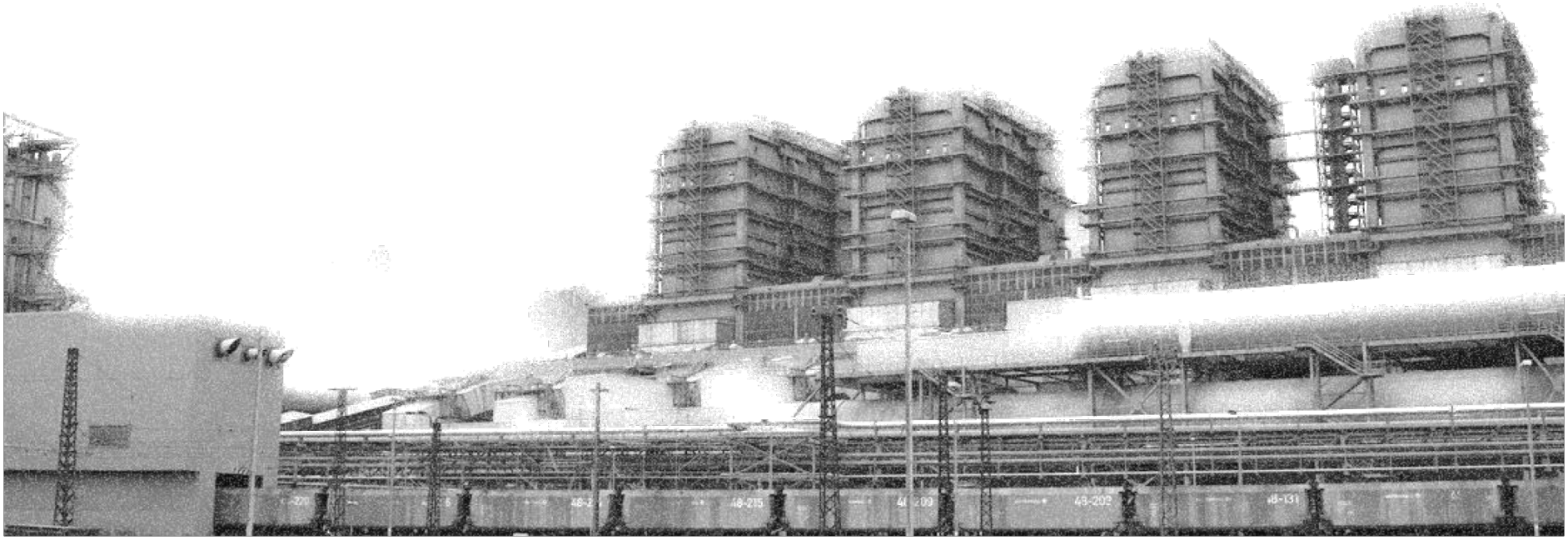
von Jens Hinrich Prause M.Sc.

DYNAMISCHE SIMULATION ROSTOCK

Team der dynamischen Simulation an der Universität Rostock:
Dipl.-Ing. Moritz Hübel
Conrad Gierow M.Sc.
Dorian Holtz M.Sc.
Dr.-Ing. Jürgen Nocke
Prof. Dr.-Ing. Egon Hassel

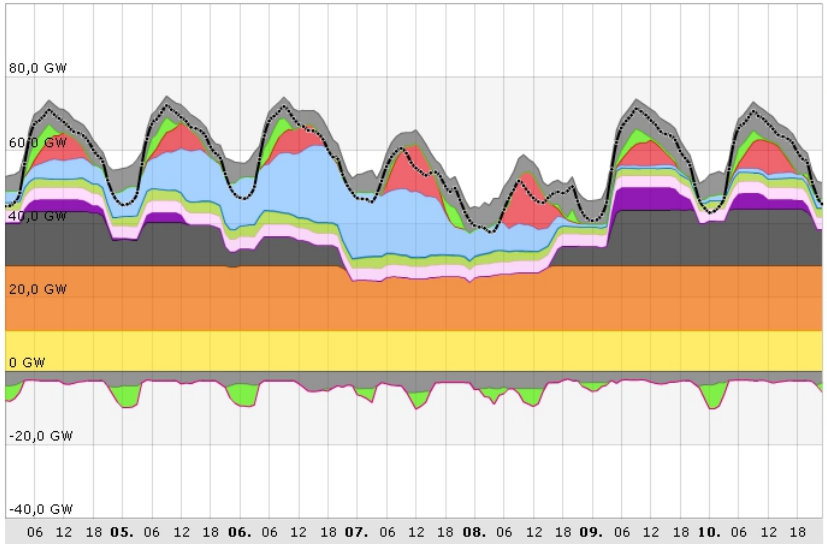
Inhalt

- Motivation
- Kraftwerksmodelle
- Validierung
- Untersuchungsszenarien
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

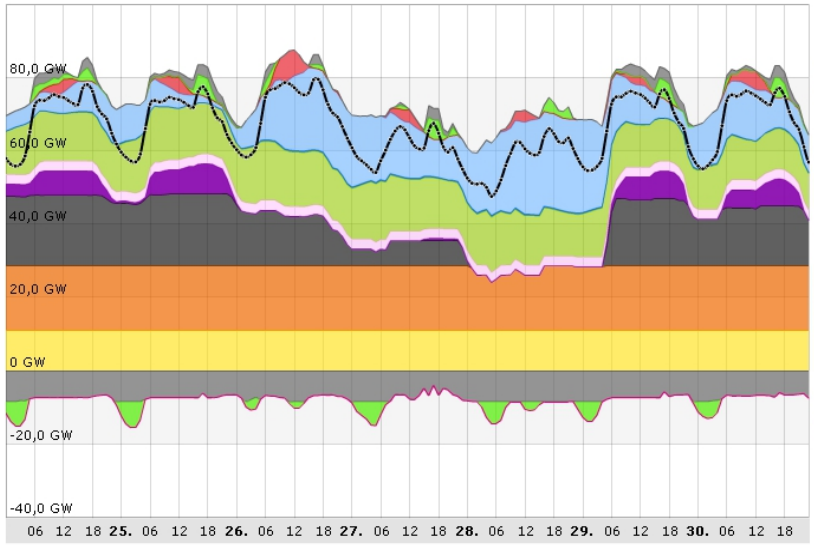


Motivation: Elektrisches Energiesystem in Deutschland 2011

Sommerwoche



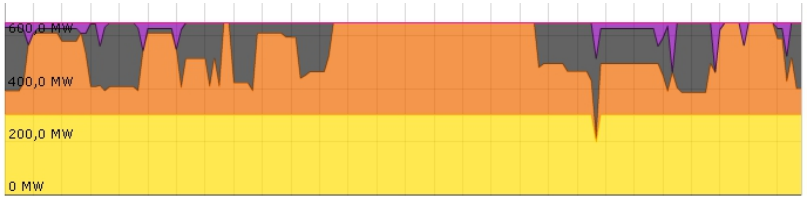
Winterwoche

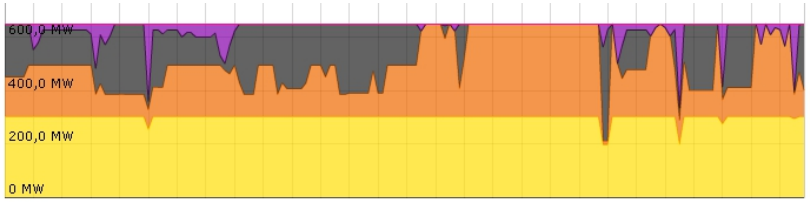


Erzeugertypen

- KKW
- BKW
- SKW
- GuD/GT
- Wasser
- KWK
- Wind Offshore
- Wind Onshore
- PV
- PSW Turbine
- Import
- Export
- PSW Pumpe
- Überschuss
- Gesamtlast

Primärregelreserve

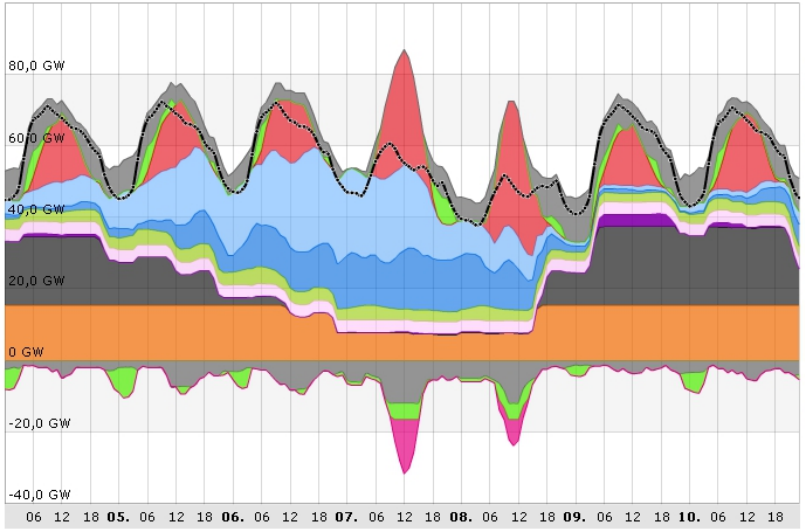




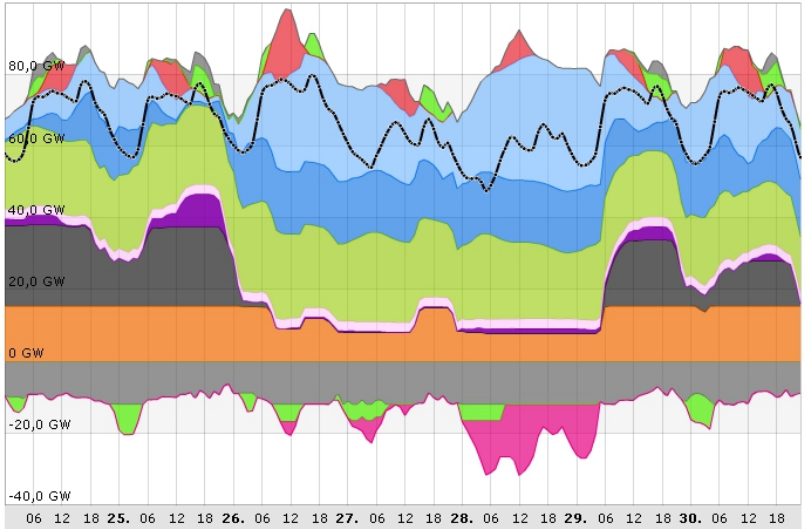
Quelle: Uni Rostock, IET

Motivation: Elektrisches Energiesystem in Deutschland 2023

Sommerwoche



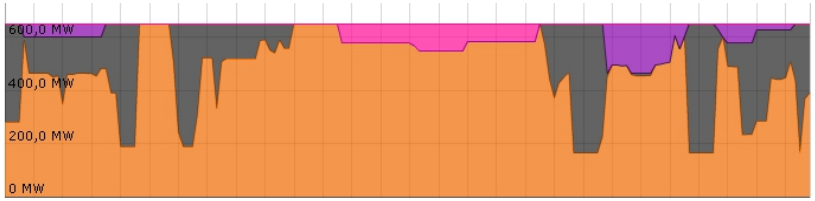
Winterwoche

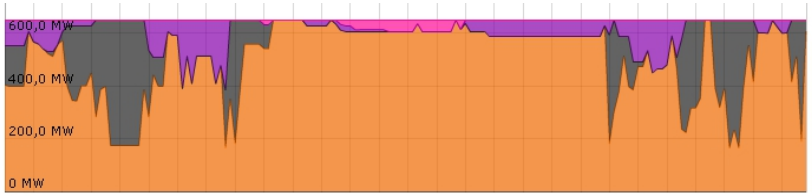


Erzeugertypen

- KKW
- BKW
- SKW
- GuD/GT
- Wasser
- KWK
- Wind Offshore
- Wind Onshore
- PV
- PSW Turbine
- Import
- Export
- PSW Pumpe
- Überschuss
- Gesamtlast

Primärregelreserve

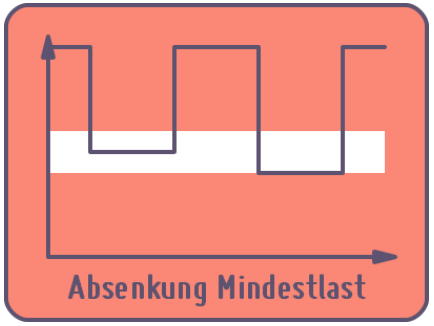


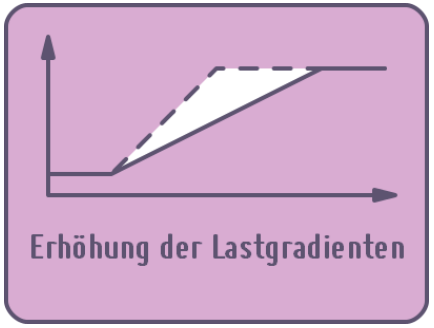


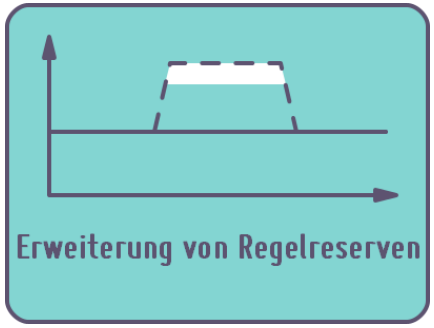
Quelle: Uni Rostock, IET

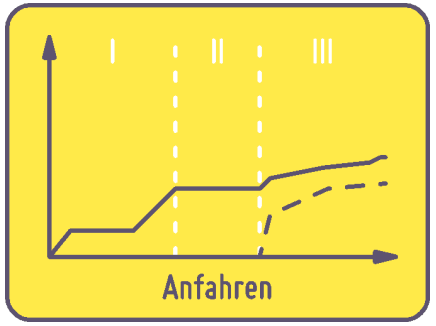
Motivation: Kraftwerkssimulation

Ziel: Flexibilisierung thermischer Kraftwerke





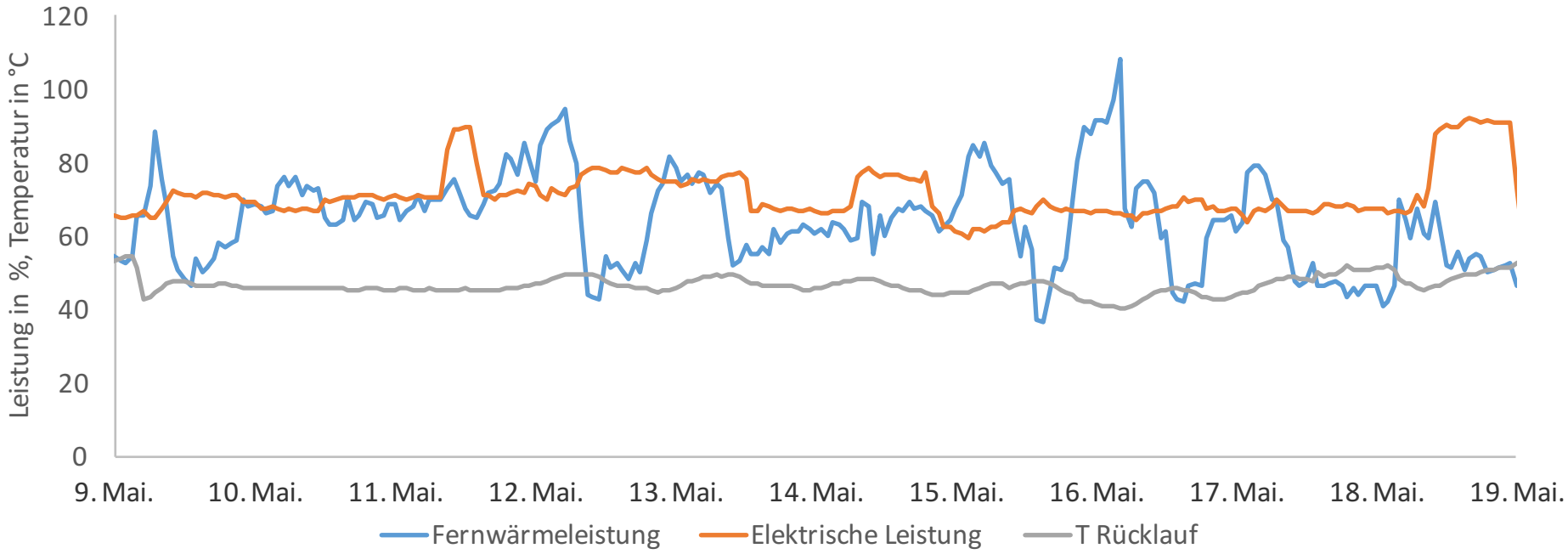




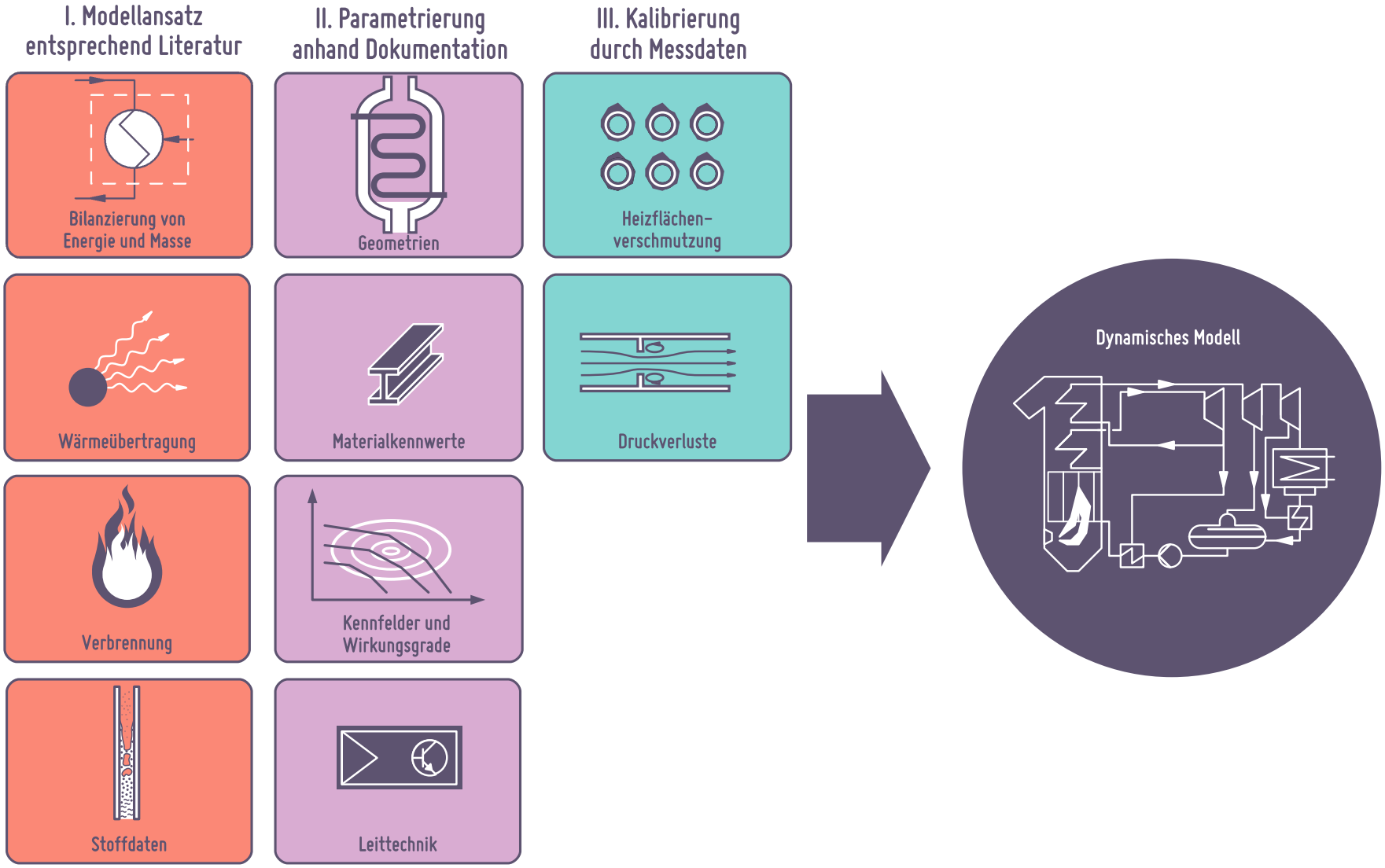
METHODE: Dynamische Simulation

- Identifizierung vorhandener Restriktionen
- Entwicklung von Optimierungsstrategien
- Vergleich von Szenarien (Wirkungsgrad, Lebensdauerverbrauch)

Motivation: Restriktionen aus der Wärmeauskopplung



Kraftwerksmodelle: Überblick über das Vorgehen



Kraftwerksmodelle: Detailmodell Dampftrommel

- Bilanzierung von Energie und Masse erfolgt für alle verfahrenstechnischen Komponenten des Modells
- Zusätzlich bei Bedarf: Impulsbilanzen (Druckverluste), Speziesbilanzen (Verbrennung), Entropie und Exergiebilanzen.

Massenbilanz

Dampfphase

$$\frac{dm_d}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_i x_i + \dot{m}_{ver} - \dot{m}_{kon}$$

Flüssige Phase

$$\frac{dm_f}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_i (1 - x_i) - \dot{m}_{ver} + \dot{m}_{kon}$$

Energiebilanz

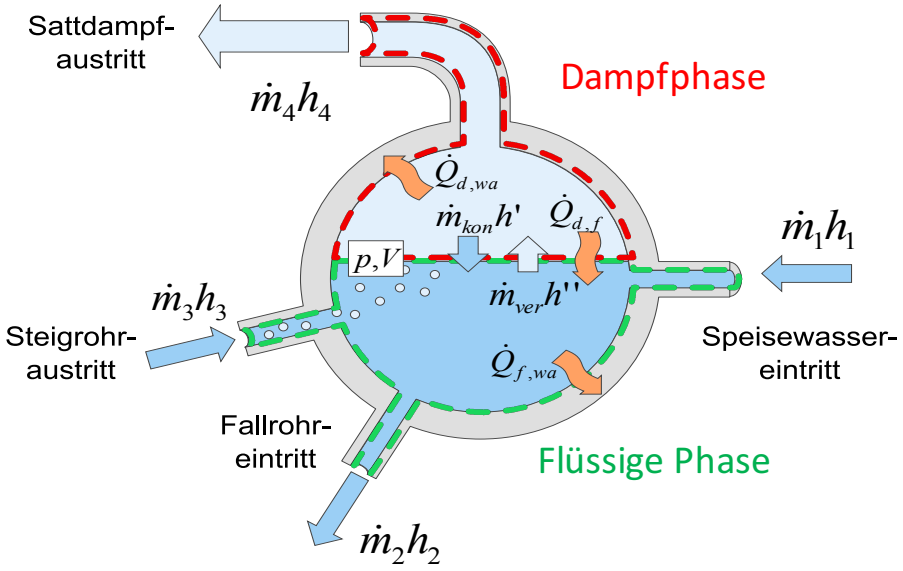
Dampfphase

$$\frac{dU_d}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_i x_i h_{i,d} + \dot{m}_{ver} h'' - \dot{m}_{kon} h' - \dot{Q}_{d,f} - \dot{Q}_{d,wa}$$

Flüssige Phase

$$\frac{dU_f}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_i (x_i - 1) h_{i,f} - \dot{m}_{ver} h'' + \dot{m}_{kon} h' + \dot{Q}_{d,f} - \dot{Q}_{f,wa}$$

Beispiel Dampftrommel



Kraftwerksmodelle: Werkzeug

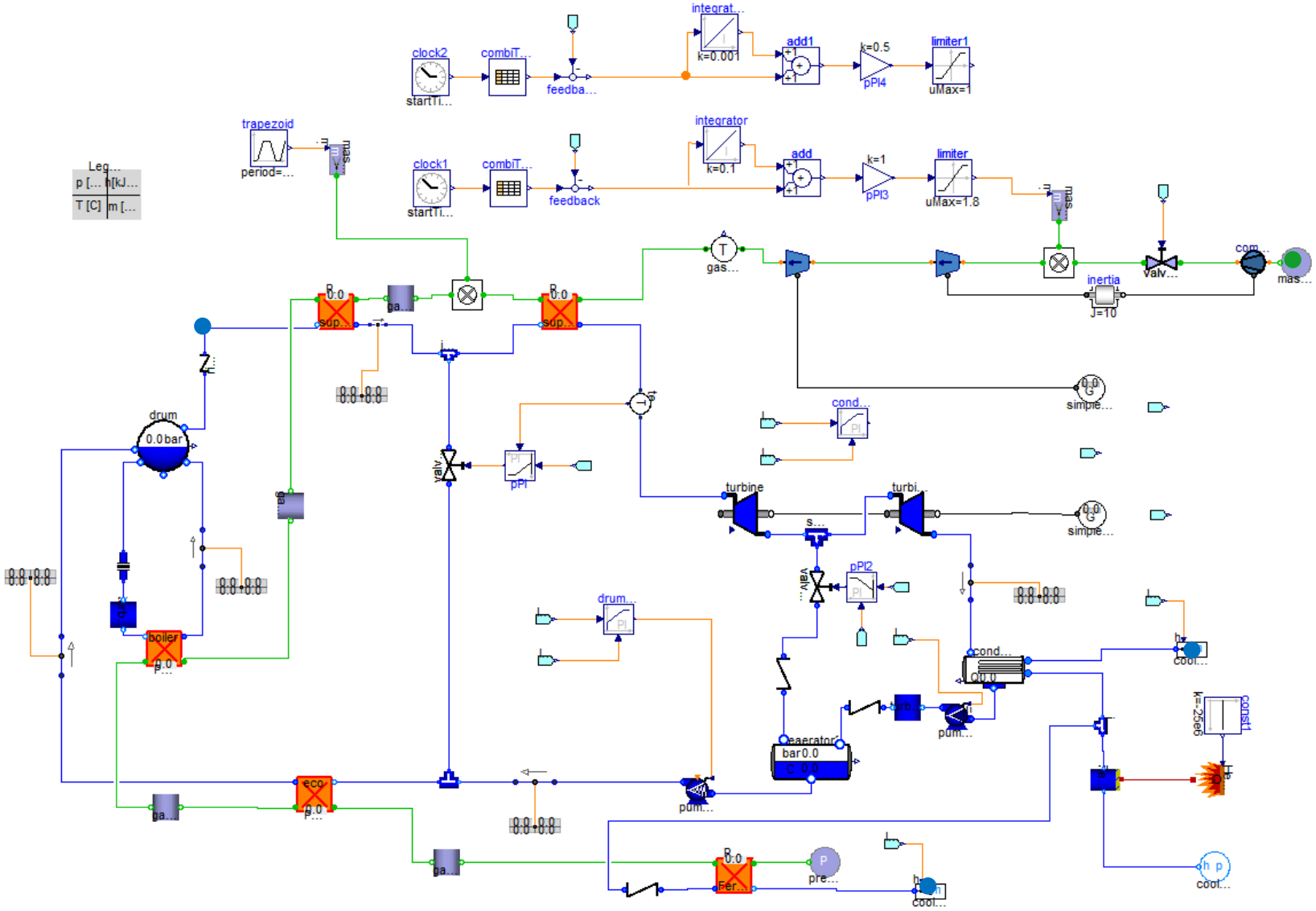
Bauteilbibliotheken:

- ThermalPowerLibrary, kommerzielle Bibliothek entwickelt von Modelon AB, Schweden
- ClaRa: (Clausius-Rankine Cycles) in der Entwicklung befindliche offene Bibliothek
- ThermoPower, offene Bibliothek, entwickelt von F. Casella (Politecnico Milano)
- Eigene Modellentwicklungen

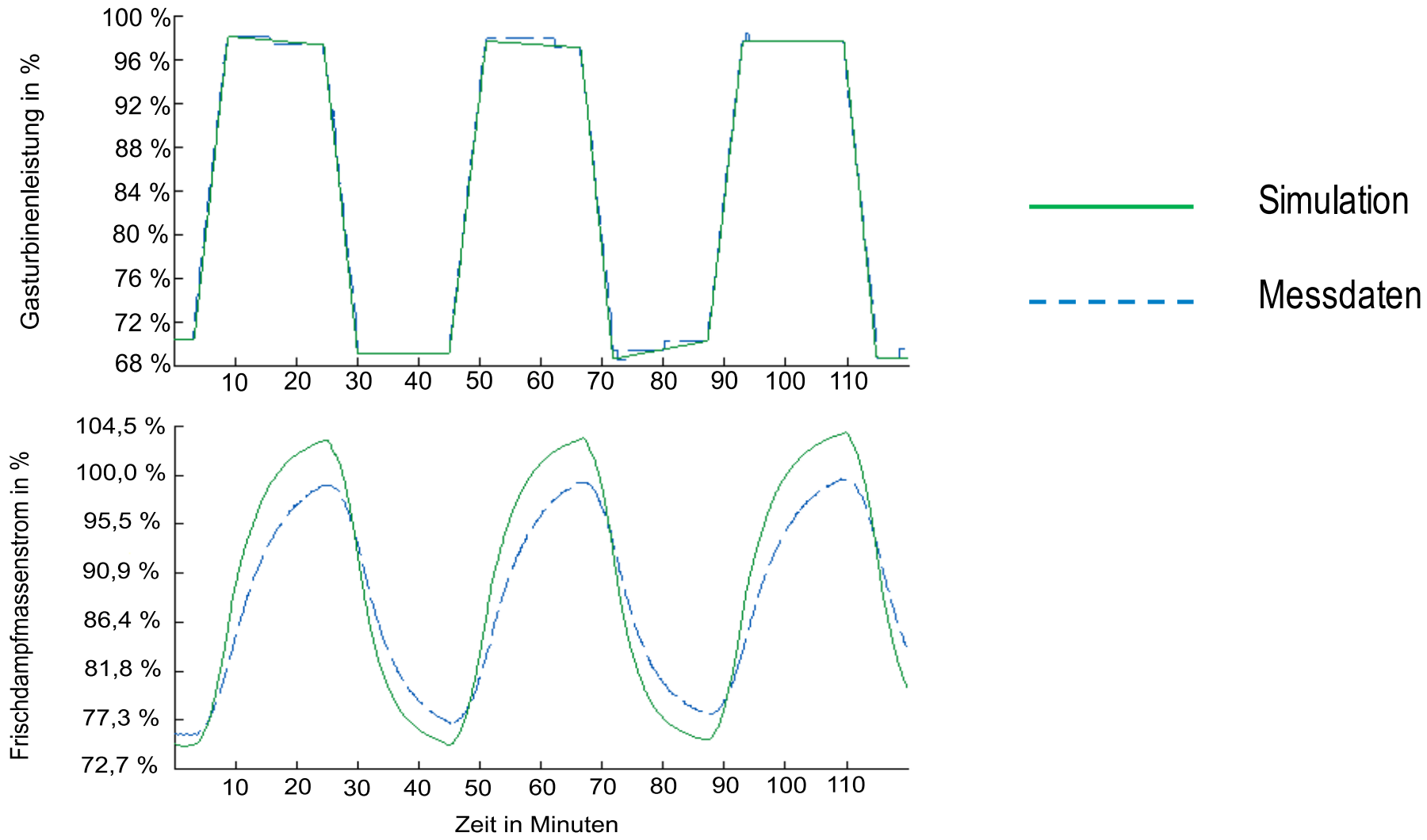
MODELICA: Gleichungsbasierte, offene, objektorientierte Programmiersprache zur Beschreibung komplexer Systeme unterschiedlicher physikalischer Bereiche

DYMOLA: kommerzielles Modellierungs- und Simulationsprogramm auf Basis von Modelica mit grafischer Benutzeroberfläche und verschiedenen Differentialgleichungslösern:

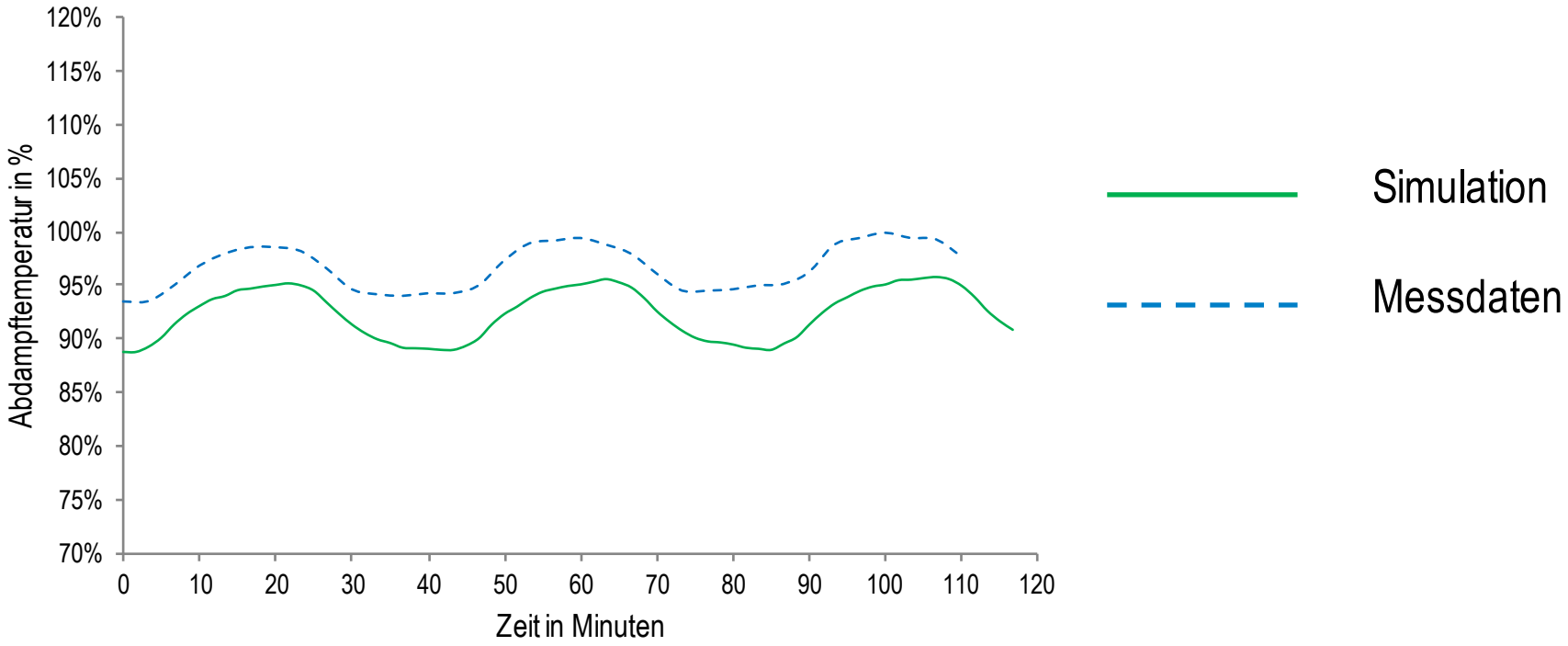
Kraftwerksmodelle: Übersichtsbild



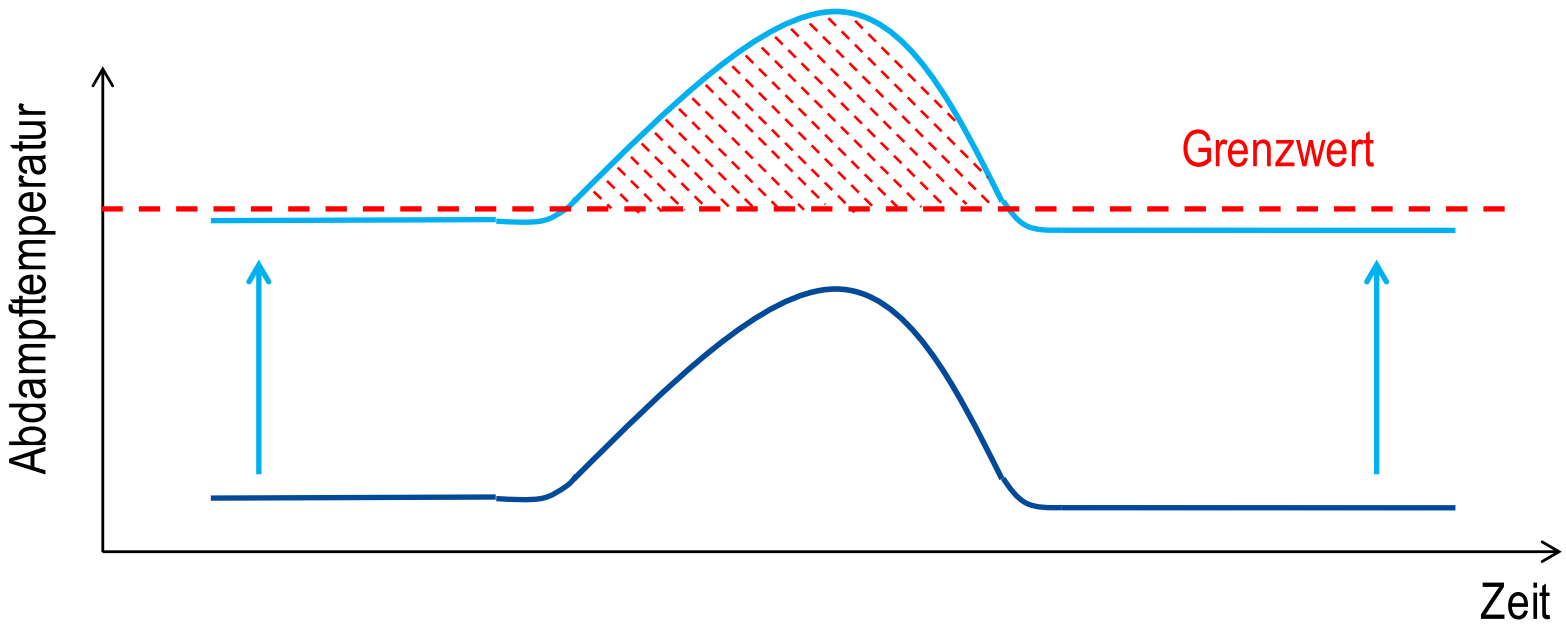
Validierung



Validierung

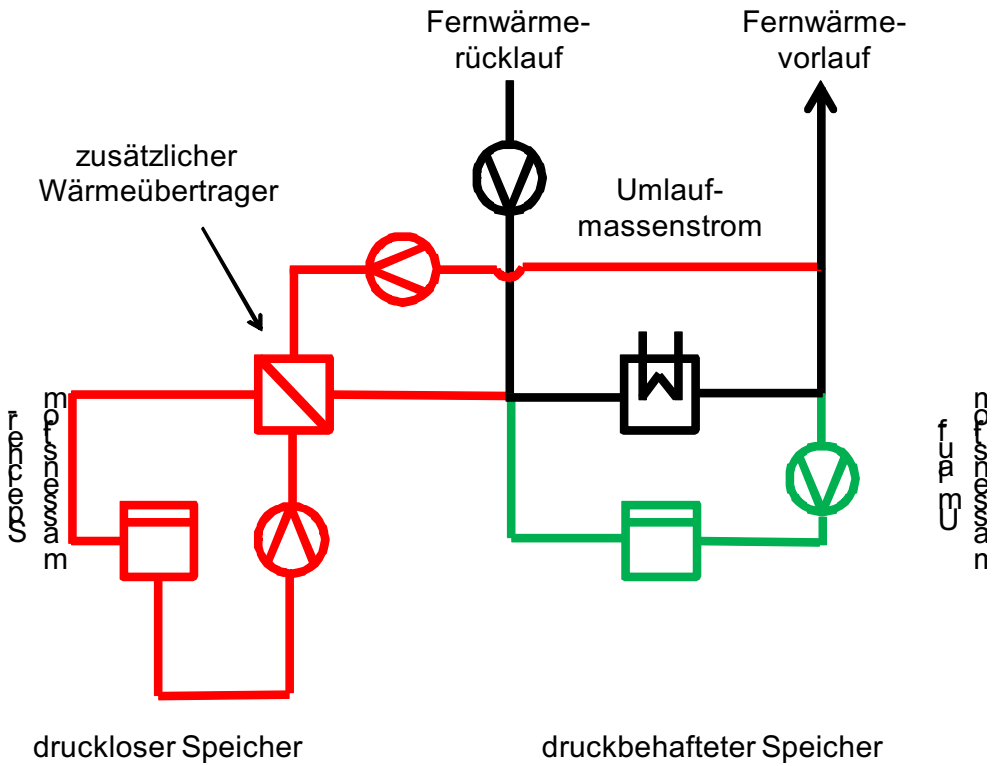


Simulationsszenarien



bei Abnahme des Kühlmassenstromes
steigt die Abdampftemperatur!

Simulationsszenarien



Anfangsbedingungen:

druckbehafteter Speicher:

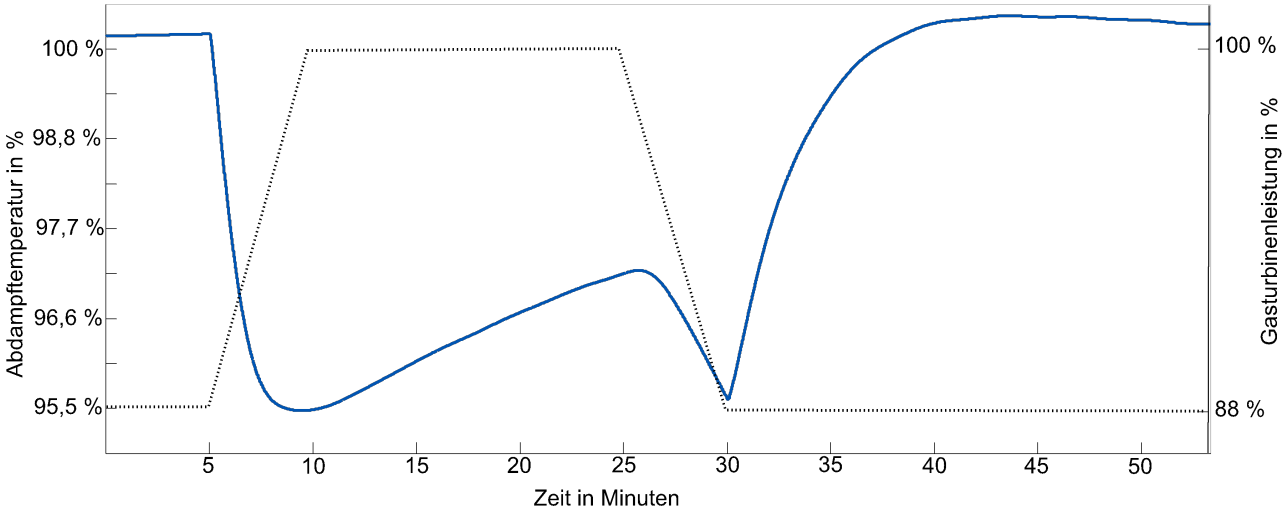
- Anfangstemperatur: 50 °C
- Größe: 120 m^3

druckloser Speicher:

- Anfangstemperatur: 50 °C
- Größe: 2000 m^3

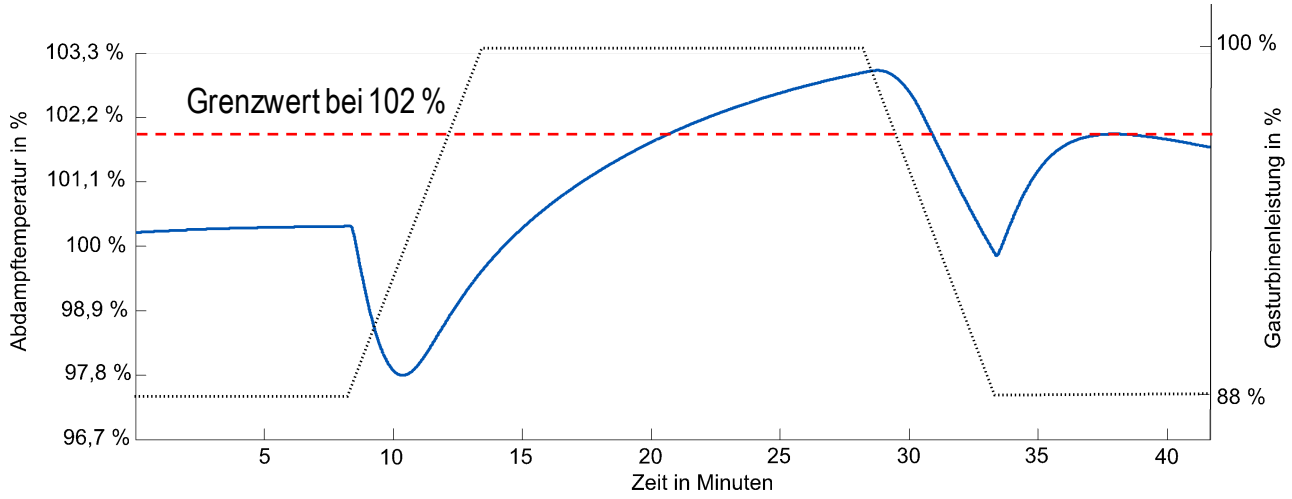
Kraftwerkssimulation

Abdampftemperaturgrenzwert bei 102 %



Beispiel des Abdampftemperaturverlaufes während der Anhebung der Gasturbinenleistung bei Integration eines thermischen drucklosen Speichers

Kraftwerkssimulation



Beispiel des Abdampftemperaturverlaufes während der Anhebung der Gasturbinenleistung bei Integration eines thermischen druckbehafteten Speichers

Zusammenfassung

- **Thermische Speicher können elektrische und Fernwärmeleistung entkoppeln**

Vor- & Nachteile des druckbehafteten Speichers gegenüber dem des drucklosen Speichers:

✓ 10-mal geringerer Umlaufmassenstrom
✓ geringere Pumpenleistung
✓ bessere Entladungsmöglichkeiten, aufgrund des höheren Temperaturniveau

– Niedrigere Speicherkapazität, aufgrund des kleineren Speichervolumens
– Häufigere Be – und Entladungszeiten nötig
– Investitionskosten

Ernst Happel: „Der Fußball ist zu 80% Praxis und zu 20% Theorie“
In der Kraftwerkssimulation ist das Verhältnis umgekehrt

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

M. Hübel, C. Gierow, J. Nocke, E. Hassel
Lehrstuhl für Technische Thermodynamik

A. Berndt, H. Weber
Institut für Elektrische Energietechnik

H. Prause, B. Buchholz
Forschungszentrum für Verbrennungsmotoren und Thermodynamik Rostock GmbH

Universität Rostock

Traditio et Innovatio

ROSTOCK

Forschungszentrum Verbrennungsmotoren Thermodynamik Rostock