



Hochschule
Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Institut für Prozeßtechnik,
Prozeßautomatisierung
und Meßtechnik



Zukunftssichere Stromerzeugung durch die Integration eines thermischen Energiespeichers in Wärmekraftwerke

Vivien Müller-Seelig, Prof. Alexander Kratzsch

Europa fördert Sachsen.
ESF
Europäischer Sozialfonds



Europäische Union

FORSCHEN_OHNE_GRENZEN



Inhalt

1. Motivation
2. Projekt
3. THERmische EnergieSpeicherAnlage
4. Modellentwicklung
5. Zusammenfassung und Ausblick

1. Motivation

- stetiger Ausbau EE und zunehmend volatile Einspeisung von Strom
 - Angebotsschwankungen in den Übertragungsnetzen
 - Notwendigkeit der Erhöhung von Betriebsflexibilität und Lastdynamik der thermischen Kraftwerke zur Kompensation der Residuallast
 - Kompensation der Residuallast erforderlich
 - Wandel der Erzeugungslandschaft
 - regionaler Zubau von Windenergieanlagen
 - Veränderungen im Kraftwerkspark
 - Verzögerungen im Netzausbau
- Anstieg netzstabilisierender Maßnahmen, wie z. Bsp.
- Redispatch
 - Einsatz von Netzreservekraftwerken
 - Einspeisemanagement (EinsMan)

1. Motivation

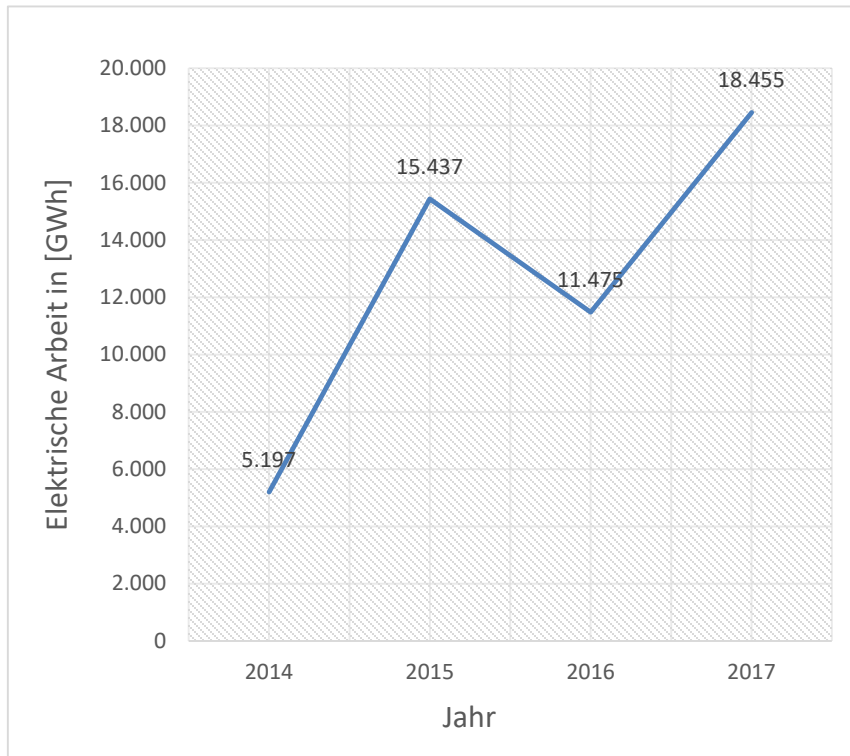


Abb. 1: Redispatch – Gesamtmenge (Erhöhungen und Reduzierungen) der Marktkraftwerke der Jahre 2014 – 2017 in Deutschland [4, 5, 6, 7]

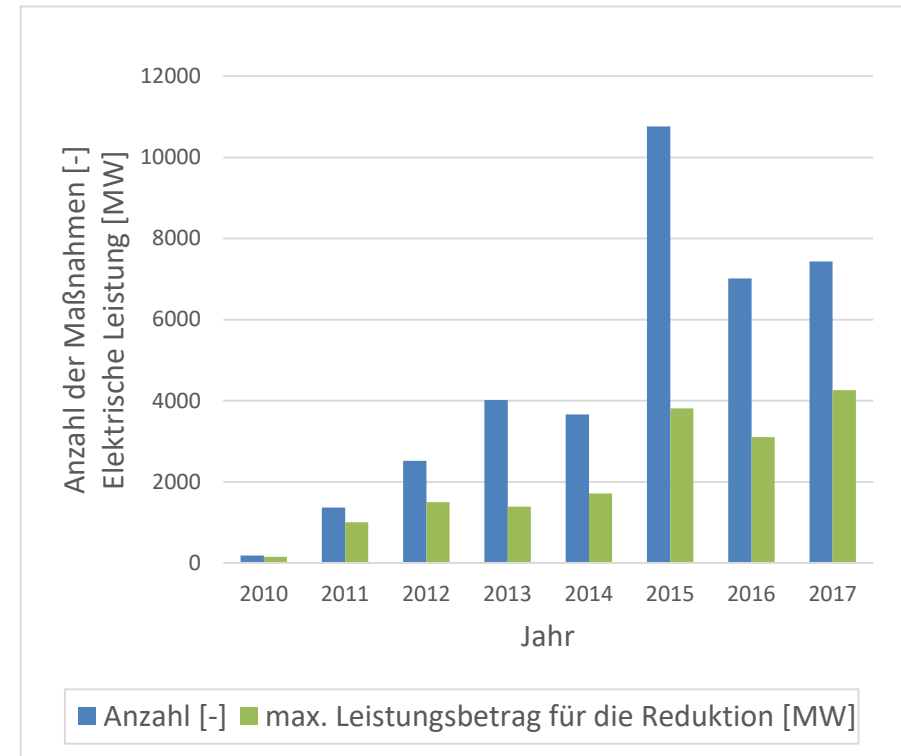


Abb. 2: Anzahl der Maßnahmen und elektrische Leistung nach EnWG §13 Abs. 2 von 50 Hertz der Jahre 2010 – 2017 [8]

1. Motivation

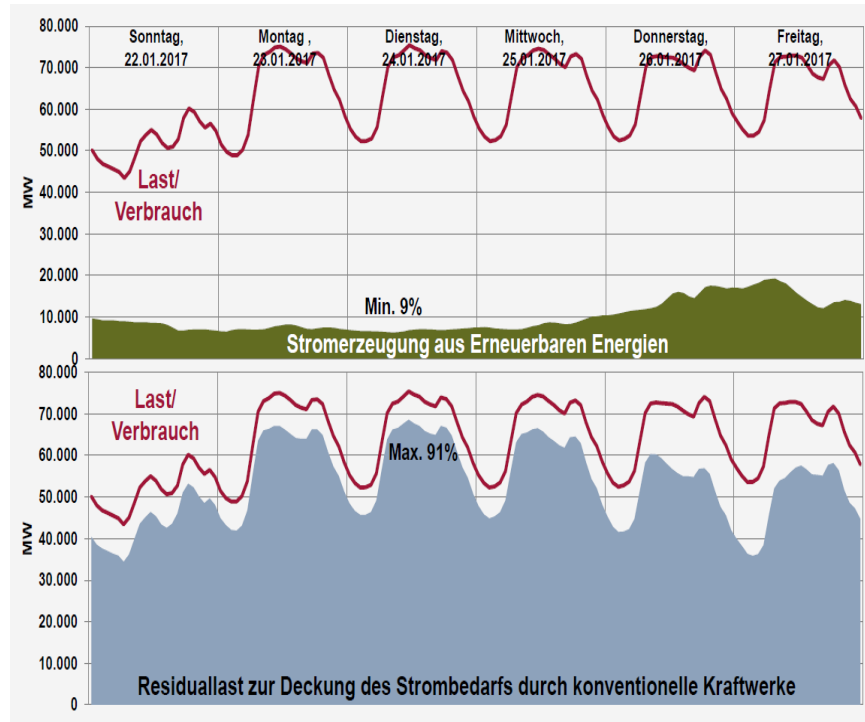


Abb. 3: Volatilität der Einspeisung aus EE – niedrige Einspeisung, Deckung des Strombedarfs 22. Januar – 27. Januar 2017 [12]

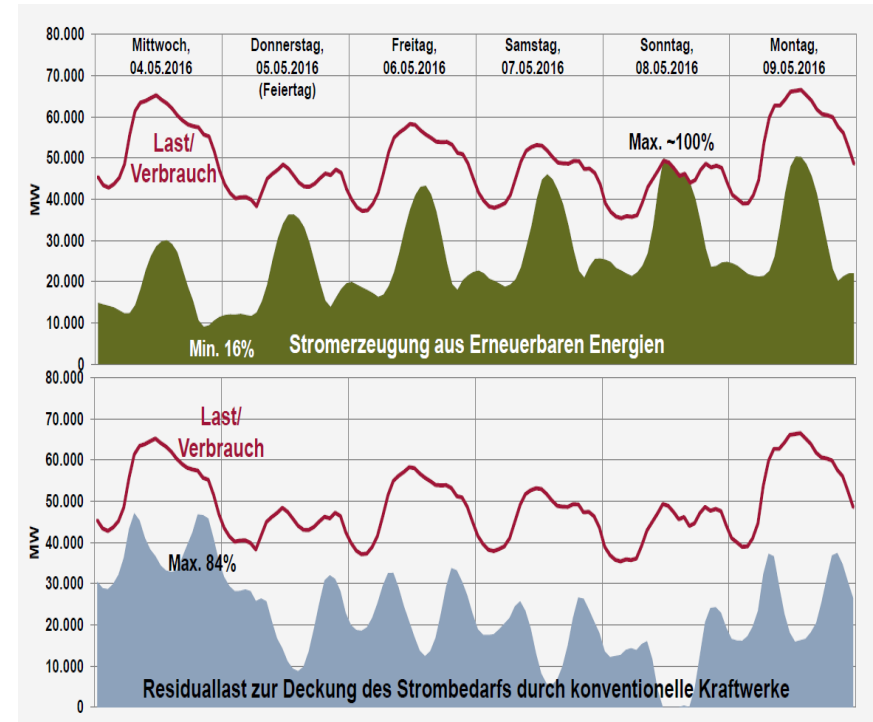


Abb. 4: Volatilität der Einspeisung aus EE – hohe Einspeisung, Deckung des Strombedarfs 04. Mai – 09. Mai 2016 [12]

1. Motivation

- Anstieg der Maßnahmen in den letzten Jahren
 - Verzögerungen im Netzausbau
 - stetiger Ausbau an EE-Anlagen
 - Gründe für den Rückgang der Redispatch- und Einspeisemanagementmaßnahmen im Jahr 2016:
 - vermehrter Einsatz von Netzreservekraftwerken
 - windschwaches Jahr
 - optimiertes Kraftwerks-Einsatzkonzept
- flexible Kraftwerke werden in den kommenden Jahren weiterhin benötigt
- Maßnahmen zur Flexibilisierung insbesondere durch Speichertechnologien sind notwendig

2. Projekt

Die Arbeiten ordnen sich in das vom Europäischen Sozialfond (ESF) finanzierte Vorhaben „Nachwuchsforschergruppen“ ein.

- Laufzeit: 01.08.2018 – 31.07.2020
- verankert im Graduiertenkolleg der Hochschule Zittau / Görlitz
 - „Neue Systeme zur Ressourcenschonung“
 - Ziel: Entwicklung von Systemen zur Ressourcenschonung
- Inhalt der Arbeit ist eine zukunftsichere Stromerzeugung in Kraftwerken mit dem Fokus auf unverzichtbare moderne Wärmekraftwerke, deren Flexibilisierung und Wirtschaftlichkeit



Europäische Union

2. Projekt

Entwicklung eines
Hochleistungsspeichersystems
(HLSS) ✓

experimentelle
Untersuchungen ✓

✓ Entwicklung
skalierfähiger
Simulationsmodelle

Simulationsrechnungen mit
dem Thermohydraulikcode
ATHLET (GRS) ✓

Modellentwicklung und dynamische Simulation mit dem
Simulationstool DynStar für die wirtschaftliche Bewertung
thermischer Energiespeicher in einen Kraftwerksprozess

3. THERmische EnergieSpeicherAnlage

- Nachbildung und Analyse thermischer Kreisprozesse in Analogie zu thermischen Kraftwerken
- zentrales Element: Gleichdruckverdrängungsspeicher
- Fokussierung auf Integration thermischer Energiespeicher zur zeitlichen Entkopplung zwischen Wärmequelle und Wärmesenke
- Nutzung der Forschungsergebnisse zur Auslegung von Wärmespeichern

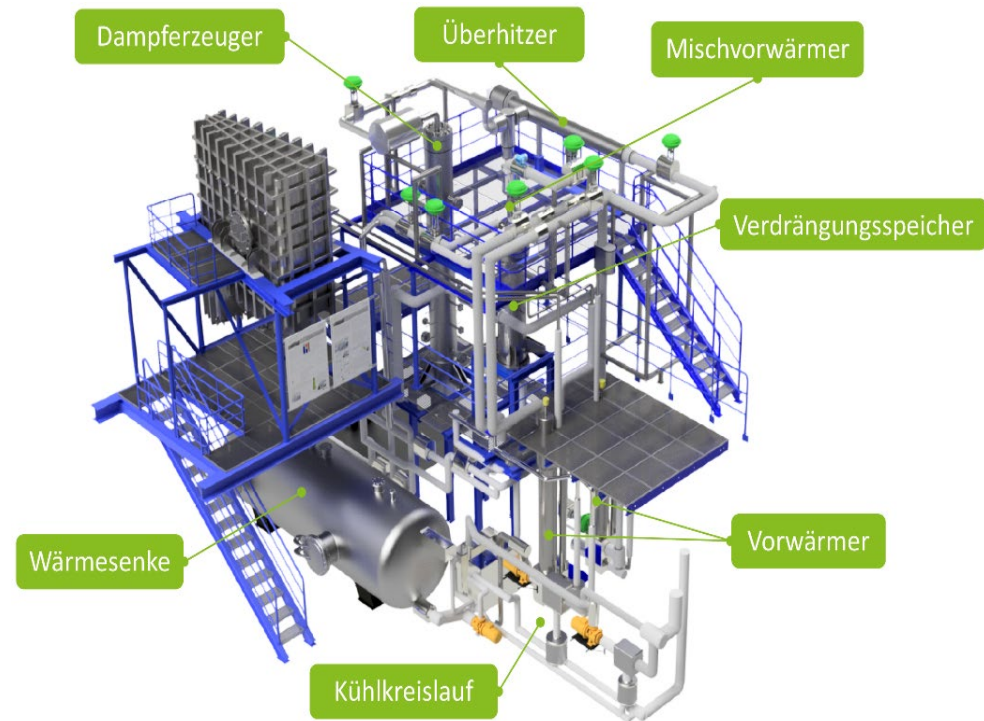


Abb.5: VA THERESA [2]

3. THERmische EnergieSpeicherAnlage

- vereinfachter Kreisprozess eines Kraftwerksblocks mit Kessel, Turbine, Kondensator, Vorwärmschiene und Speisewasserbehälter
- mögliche Einbindung des Speichers in ein Kraftwerk in HD-Schiene & Nutzung des Anzapfdampfes

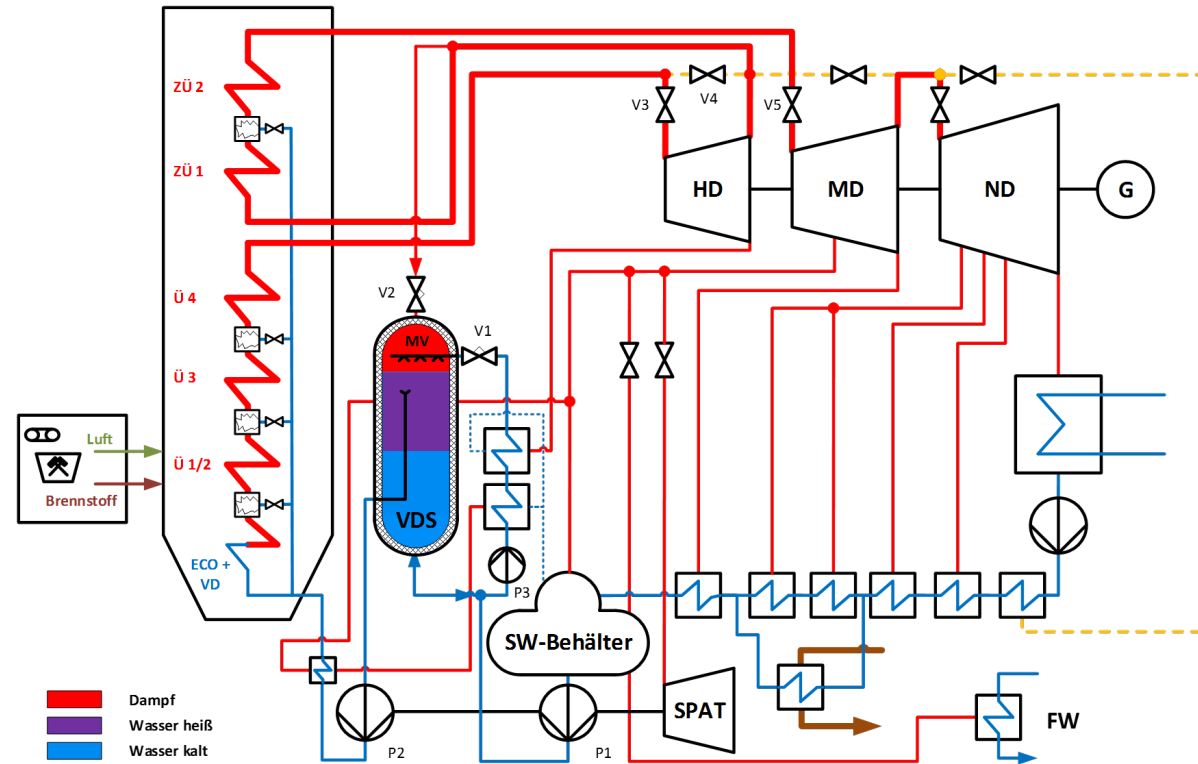


Abb. 6: Konzept zur Einbindung eines thermischen Energiespeichers in eine Bestandsanlage



4. Modellentwicklung

- Thermohydraulikcode ATHLET ist ein validierter Systemcode der GRS
- ATHLET ist ein in der Reaktorsicherheit zugelassener Code zur Störfallanalyse und besitzt eine hohe Güte
- Vorteile
 - dynamische Prozesssimulation
 - Reproduktion des Strömungsweges in industriellen Großanwendungen
 - Nachbildung der Prozess- und Regelungstechnik
 - einfache Modellskalierung
 - kurze Rechenzeit

4. Modellentwicklung

- Entwicklung eines auf Wirtschaftlichkeit optimierten Simulationsmodells für die Auslegung thermischer Energiespeicher zur Integration in einen Kraftwerksprozess
- Grundlage bildet das validierte Simulationsmodell eines HLSS im Simulationscode ATHLET

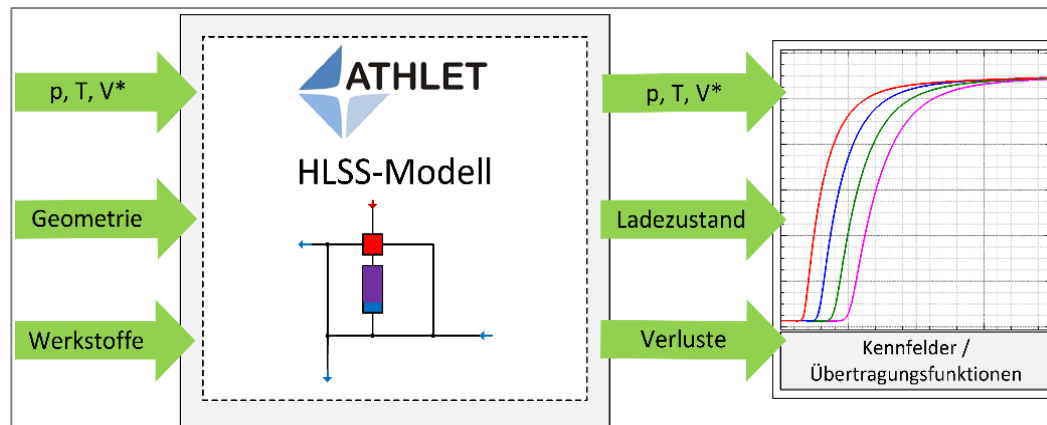
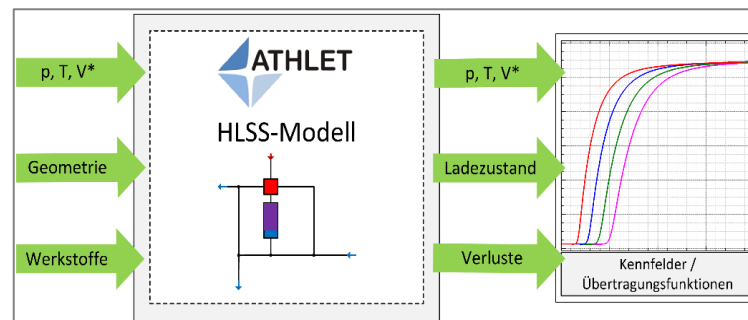


Abb. 7: Experimentell validiertes Simulationsmodell des Hochleistungsspeicher-systems im Simulationscode ATHLET

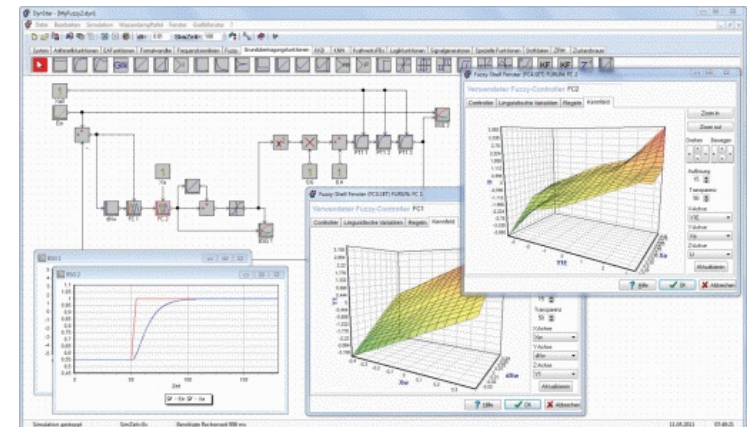
4. Modellentwicklung

- erfolgreiche Modellvalidierung für das HLSS
 - das Modell des HLSS wird verfahrens- und reglungstechnisch abgebildet
 - Berücksichtigung physikalischer Istzustände, Geometrie und Werkstoffdaten
- als Ergebnis der Simulation können Aussagen über den Be- und Entladezustand, die Beladecharakteristik und die Verluste des HLSS abgeleitet werden (bei gewählten Anfangs- und Randbedingungen)
- Ableitung von Kennfeldern und Übertragungsfunktionen



4. Modellentwicklung

- DynStar ist ein Softwareprodukt des Instituts für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM)
- Anwendungen:
 - Modellierung und Simulation des statischen sowie dynamischen Systemverhaltens
 - Simulation von Mess- und Regelsystemen
 - Simulation von komplexen Prozessen in der Energietechnik
 - Datenerfassung und –aufzeichnung
 - Prozessbedienung und –überwachung
- bereits validierte Modelle vorhanden



4. Modellentwicklung

- zur Untersuchung der wirtschaftlichen und technischen Einflussparameter wird für die weitere Modellentwicklung das Simulationstool DynStar verwendet
- Kopplung des Modells aus ATHLET mit DynStar

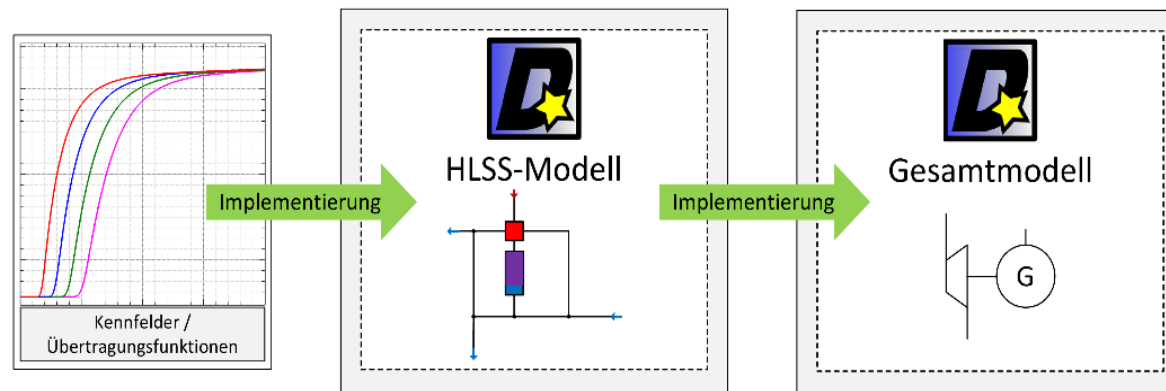
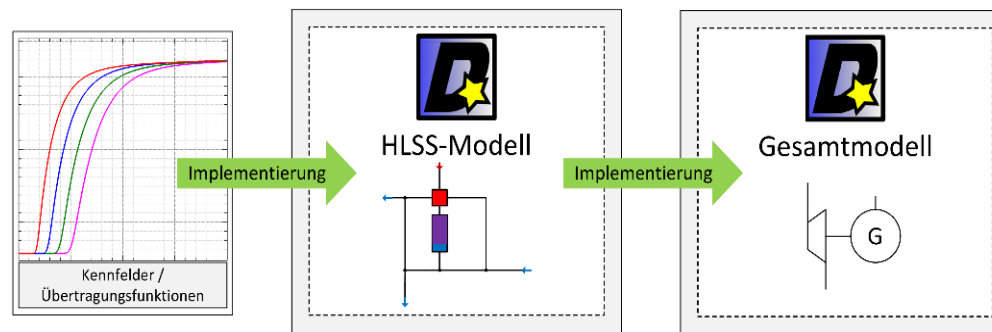


Abb. 8: Kopplung des Hochleistungsspeichersystems aus ATHLET mit dem Gesamtmodell eines thermischen Kraftwerks in DynStar

4. Modellentwicklung

- erstellte Kennfelder bzw. Übertragungsfunktionen aus ATHLET werden als eigener Baustein in DynStar implementiert
- DynStar besitzt bereits eine Programmbibliothek mit Standardkomponenten für thermische Kraftwerke wie Dampferzeuger, Turbine, etc.
- Erstellung eines Gesamtmodells eines thermischen Kraftwerks



4. Modellentwicklung

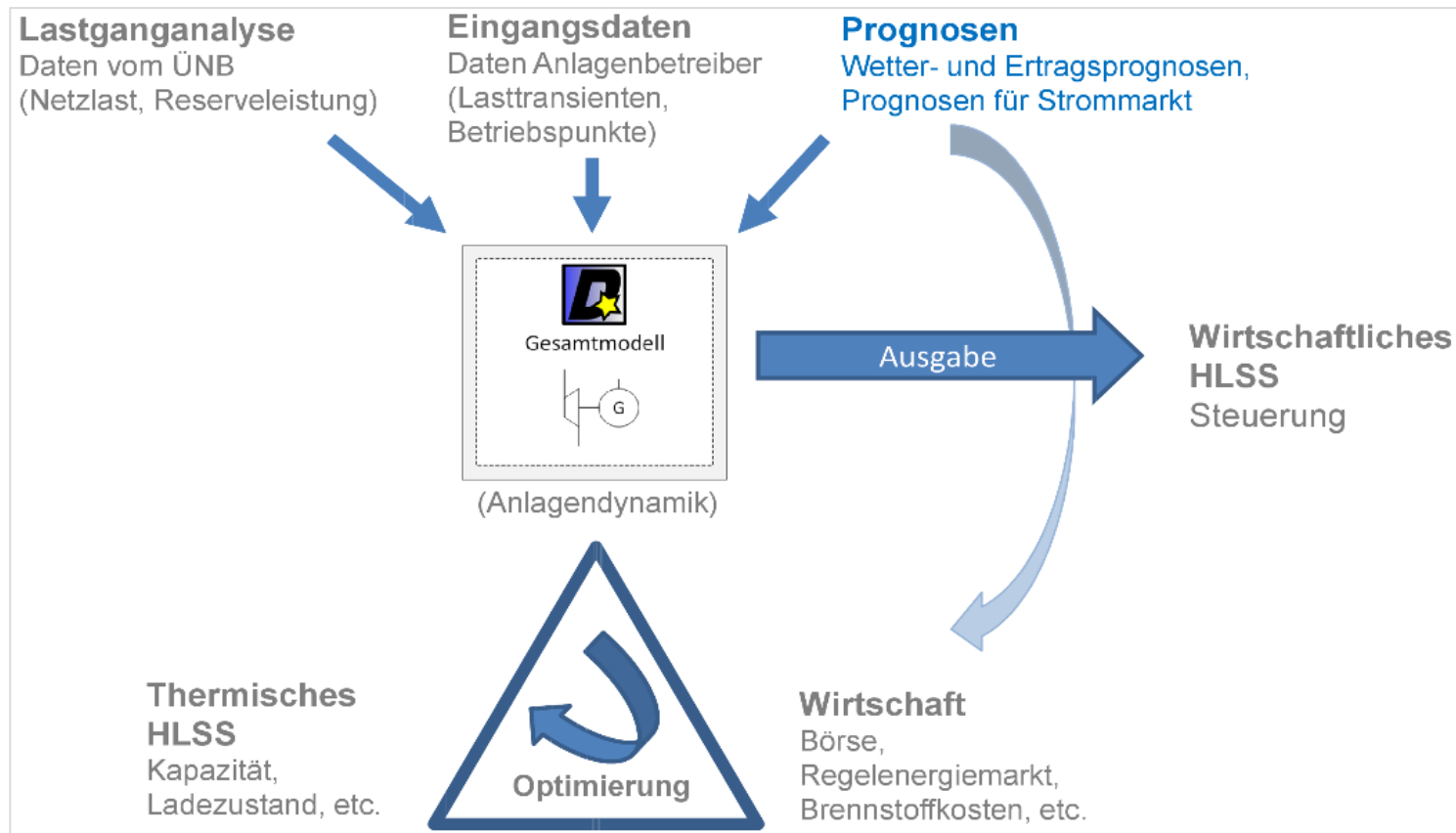


Abb. 9: Wirtschaftliche und technische Einflussfaktoren auf das Gesamtmodell eines thermischen Kraftwerks mit HLSS im Simulationstool DynStar

5. Zusammenfassung und Ausblick

- Zubau EE-Anlagen und Anstieg volatiler Stromeinspeisung
- Kompensation der Residuallast erforderlich
- Entwicklung Simulationsmodell im Simulationstool DynStar
 - Verwendung von Kenngrößen zur Dimensionierung und Integration von thermischen Hochleistungsspeichersystemen in einen thermischen Kraftwerksprozess
 - Darstellung des Flexibilitätsbedarfs (Speicherbedarf und Häufigkeit)
 - Darstellung von Zusatzerlös durch Integration des Speichers sowie der Investitionskosten
- Kopplung des experimentell validierten Simulationsmodells aus ATHLET mit DynStar
- Übertragung auf andere Anwendungsgebiete innerhalb der Energietechnik



Kontakt:

Ansprechpartner/-in:

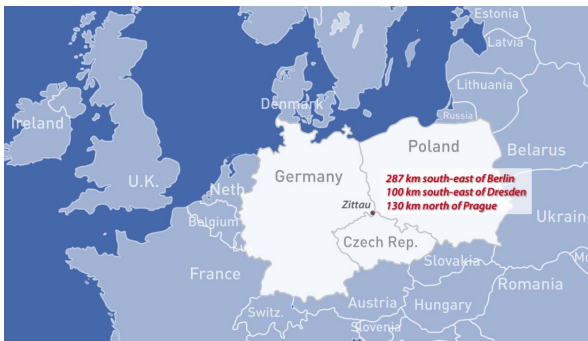
Prof. A. Kratzsch
Direktor
Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und
Meßtechnik

Telefon: +49 3583 – 612 4282
Telefax: +49 3583 – 612 3449
E-Mail: A.Kratzsch@hszg.de
Web: www.hszg.de/ipm

Hausanschrift:

Hochschule Zittau/Görlitz
IPM
Theodor-Körner-Allee 16
02763 Zittau

 Facebook.com/IPM.HSZG/



Quellen

- (1) Schneider, C.; Braun, S.; Klette, T.; Härtelt, S.; Kratzsch, A.: Development of Integration Methods for Thermal Energy Storages into Power Plant Processes, Proceedings of the ASME POWER & ENERGY Conference 2016, June 26-30, 2016, Charlotte, North Carolina, USA
- (2) <https://theresa.ipm.hszg.de>, 2018
- (3) Fiß, D., Vogel, C.: Advanced analysis of the structure of a reactor protection system, Proceedings of the 23rd International Conference on Nuclear Engineering, May 17-21, 2015, Chiba, Japan
- (4) Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: „Quartalsbericht zu Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen – Gesamtjahr und Viertes Quartal 2017“; Stand: 06.07.2018
- (5) Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: „Quartalsbericht zu Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen – Viertes Quartal und Gesamtjahr 2016“; Stand: 29. Mai 2017
- (6) Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: „Monitoringbericht 2015“; Stand: 10. November 2015; Korrektur: 21. März 2016
- (7) Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: „3. Quartalsbericht 2015 zu Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen – Viertes Quartal 2015 sowie Gesamtjahresbetrachtung 2015“; Stand: 02. August 2016
- (8) <https://www.50hertz.com/de>, 2018
- (9) Klette, T.; Gubsch, T.; Vogel, C.; Kratzsch, D.; Braun, S.; Härtelt, S.; Kratzsch, A.: ATHLET simulation code: Model validation of a thermal high-performance storage system, 3rd International Conference on Sustainable and Renewable Energy Engineering, May 9.-11. 2018, University of Salamanca, Zamora, Spain (paper and presentation)
- (10) Klette, T.; Braun, S.; Kratzsch, A.; Schneider, C.: Model development and dynamic simulation of a thermal high-performance storage system with the simulation code ATHLET to increase the flexibility of thermal power plants, International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications Vol. 7, No. 2, April 2018, pp. 43-50, ISSN: 2319-2518
- (11) Klette, T.; Kratzsch, A.: Dynamische Simulation und experimentelle Validierung eines thermischen Energiespeichers für die Flexibilisierung thermischer Kraftwerke, Smart Energy 2017, 9.–10. November 2017, Dortmund, pp. 25-35, ISBN 978-3-86488-125-1
- (12) Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: „Fakten und Argumente – Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2017)“; 10. Juli 2017

Erläuterungen

- Netzreserve § 13d EnWG
 - dient zur Entlastung des Stromnetzes
 - hoher Bedarf im Winter
 - hohe Produktion der Windenergieanlagen im Norden (Winter)
 - Netzengpässe, Nord-Süd-Gefälle (KW im Norden werden abgeschaltet und Anlagen mit gleicher Leistung im Süden hochgefahren - Redispatch)
 - Netzreserve (hauptsächlich in Bayern und Baden-Württemberg)
 - Vorhaltung flexibler KW-Leistungen, die bei Netzengpässen, Spannungsverlusten oder Blackout einspringen können
 - wird aus Anlagen gebildet, die momentan nicht betriebsbereit, aber vom ÜNB als systemrelevant eingestuft sind
 - Anlagen der Netzreserve können auch bei Ausschreibungen der Kapazitätsreserve teilnehmen

Erläuterungen

- Kapazitätsreserve neuer § 13e EnWG
 - Vorhaltung von Leistungskapazitäten, wenn Angebot und Nachfrage auf dt. Strommärkten nicht ausgeglichen werden können
 - zeitlich hinter Strombörse und Regelenergiemärkten eingestuft
 - ab Winterhalbjahr 2018/19 schrittweise Überführung der KW in Kapazitätsreserve
 - nehmen nicht mehr aktiv am Strommarkt teil (Vermarktungsverbot)
 - ausschließlich auf Signal des ÜNB wird Leistung erhöht
 - wettbewerbliche Ausschreibung der Kapazitätsreserve
 - jährliche Vergütung, welche auf Netzentgelte umgelegt werden
 - Anlagen die aus der Kapazitätsreserve gehen, müssen anschließend stillgelegt werden (Rückkehrverbot)

Erläuterungen

- Sicherheitsbereitschaft § 13g EnWG
 - Paragraph zur Stilllegung Braunkohlekraftwerken
 - KW dürfen nicht mehr am Markt aktiv sein
 - Vorhaltung für den Fall, dass reguläre Maßnahmen nicht ausreichen (Redispatch, Regelenergie, Netzreserve & Kapazitätsreserve)
 - Anlagen müssen innerhalb von 240 h (10 Tagen) betriebsbereit sein
 - danach innerhalb von 11 h auf Mindestleistung
 - nach weiteren 13 h auf Nettoleistung
 - 8 Kraftwerksblöcke in Sicherheitsbereitschaft
 - Buschhaus (MIRAG, 1. Okt. 2016)
 - Frimmersdorf (2 Blöcke, RWE, 1. Okt. 2017)
 - Niederaußern (2 Blöcke, RWE, 1. Okt. 2018)
 - Jänschwalde (2 Blöcke, Vattenfall, 1.Okt. 2018 u. 1. Okt. 2019)
 - Neurath (RWE, 1. Okt. 2019)

■ DynStar – Funktionen (Funktionsbausteinbibliotheken) u.a.:



- Arithmetische Funktionen
- Diskrete Übertragungsfunktionen
- Frequenzgangverhalten
- Fuzzy-Modell
- Künstliche neurale Netzwerke
- Lineare/nichtlineare Übertragungsfunktionen auf Basis:
- Komponenten der Kernkraftwerke
- Kraftwerkskomponenten
- Partikelablagerung
- Verbrennung
- Zustandsraum
-

