Hochschule Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik

IPM
HOCHSCHULE ZITTAU/GÖRLITZ

Möglichkeiten der Integration thermischer Energiespeicher in einen Kraftwerksprozess

A. Kratzsch, T. Klette, S. Braun, C. Schneider

Gliederung

1. **Ausgangssituation – Warum Energiespeicher?**
2. Bedarf an Energiespeichern
3. Flexibles Kraftwerk
4. Zusammenfassung

Ausgangssituation

Quantifizierte Ziele Energiekonzept	2020	2030	2040	2050
Minderung der THG-Emissionen (bezogen auf 1990)	-40%	-55%	-70%	-80 bis 95%
Mindest-Anteil der EE am Brutto-Endenergieverbrauch	18%	30%	45%	60%
Mindest-Anteil der EE am Bruttostromverbrauch	35%	50%	65%	80%
Minderung des Primärenergieverbrauchs	-20%			-50%
Minderung des Stromverbrauchs	-10%			-25%
Minderung des Endenergieverbrauchs Verkehr	-10%			-40%
Reduzierung des Wärmebedarfs (2020) bzw. des Primärenergiebedarfs (2050) von Gebäuden	-20%			-80%
Atomenergieausstieg	2022			

- Umbau der Energieversorgung zu einem regenerativ dominierten Energiesystem
- Problematik:
  - Fluktuierende Einspeisung aus Erneuerbaren Energien (*EE*)
  - Synchronisierung von EE-Angebot und Netzlast

Ausgangssituation

- Zielstellung: **Äquivalenz zwischen Elektroenergienachfrage und -angebot.**

- Es existieren entsprechende **Stelleinrichtungen** im Verbundnetz:
  - bestehender fossiler und nuklearer Kraftwerkspark
  - Gasturbinenkraftwerke (*schnellstartfähig*)
  - Pumpspeicherkraftwerke
  - Druckluftspeicherkraftwerk (*HUNTORF*)

- Durch den fortschreitenden Zubau **Erneuerbarer Energien** reicht der Stellbereich und die Stellgeschwindigkeit bestehender Stelleinrichtungen nicht mehr aus ➔ **instabiles Verbundnetz**

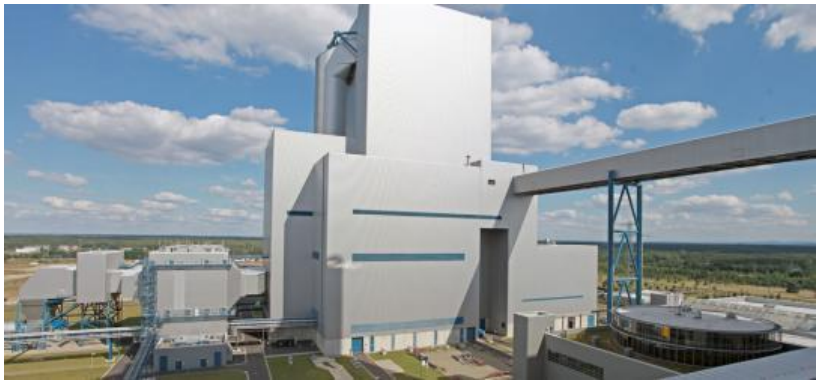
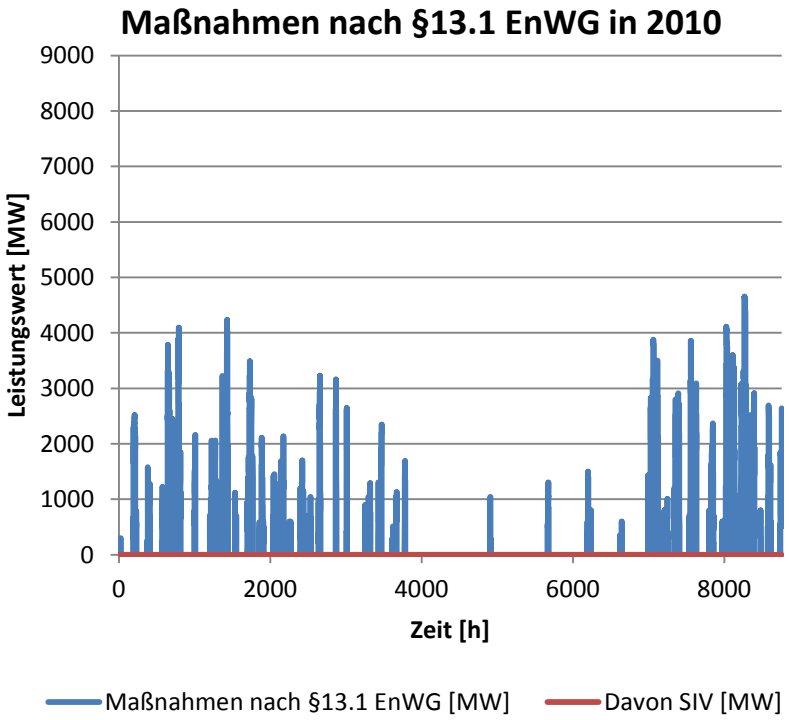


Abb. 1: KKW Krümmel, KW Boxberg (Quelle: Vattenfall)

Ausgangssituation

Netzeingriffe nach EnWG §13.1:

- Inhalt: Redispatch[1] und Countertrading[2]
- SIV: Sicherheitsbedingte Regelzoneninterne Verkäufe



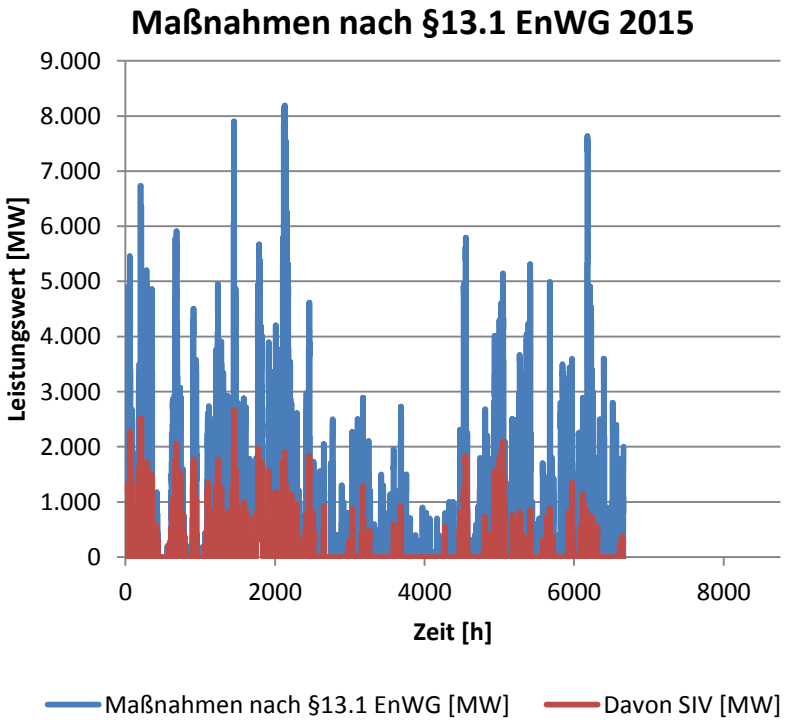
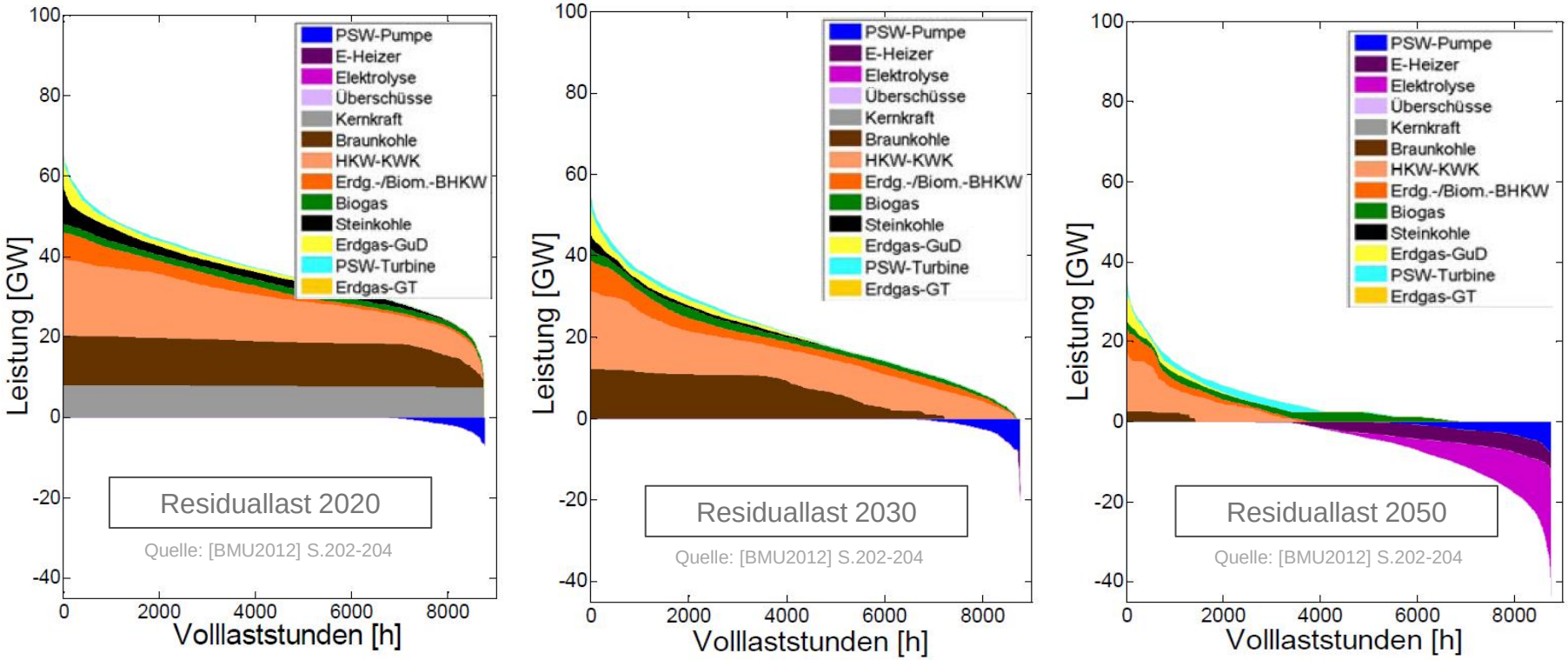


Abb. 2: Maßnahmen nach §13.1 EnWG

[1]Eingriffe in die Erzeugerleistung
[2]Handel an kurzfristigen Märkten
[Daten: 50 Hertz]

Ausgangssituation

Entwicklung der Residuallast 2020 bis 2050 nach Studie BMU2012, Szenario 2011A



- **Grundlast verschwindet** mit zunehmender Einspeisung aus EE
- zunehmend **hochflexibler** wirtschaftlicher **Kraftwerkspark** für **Spitzenlastdeckung** mit hohen Lastgradienten und **gesicherter Leistung** (Backup) notwendig
- **2050 Speicherkapazität ≈ flexible Erzeugungskapazität**

Abb. 3: Residuallast 2020, 2030, 2050 (Quelle: BMU)

Gliederung

1. Ausgangssituation – Warum Energiespeicher?
2. **Bedarf an Energiespeichern**
3. Flexibles Kraftwerk
4. Zusammenfassung

Bedarf an Energiespeichern

- Einteilung nach **Energieform**

Energiespeicher

Mechanische
- Pumpspeicher KW
- Druckluftspeicher (CAES, AA CAES, ADELE)
- Schwungräder (DYNASTORE)

Chemische
- Elektrochemische Batterien
- Brennstoffe
- Elektrolyse (Power-to-Gas)

Biologische
- Biopolymere (nachwachsende Rohstoffe)
- Erdöl, Kohle, Erdgas (fossile)

Elektrische
- Kondensator
- Superkondensator
- Batterien

Thermische
- Sensible Wärmespeicher
- Latente Wärmespeicher
- Thermochemische Wärmespeicher

- *Einteilung entsprechend Speicherdauer (Lang-/Kurzzeitspeicher)*
- *Einteilung hinsichtlich der Bewertungskriterien für Speicher*
- *Einteilung hinsichtlich der möglichen Beiträge zu Systemdienstleistungen*

Bedarf an Energiespeichern

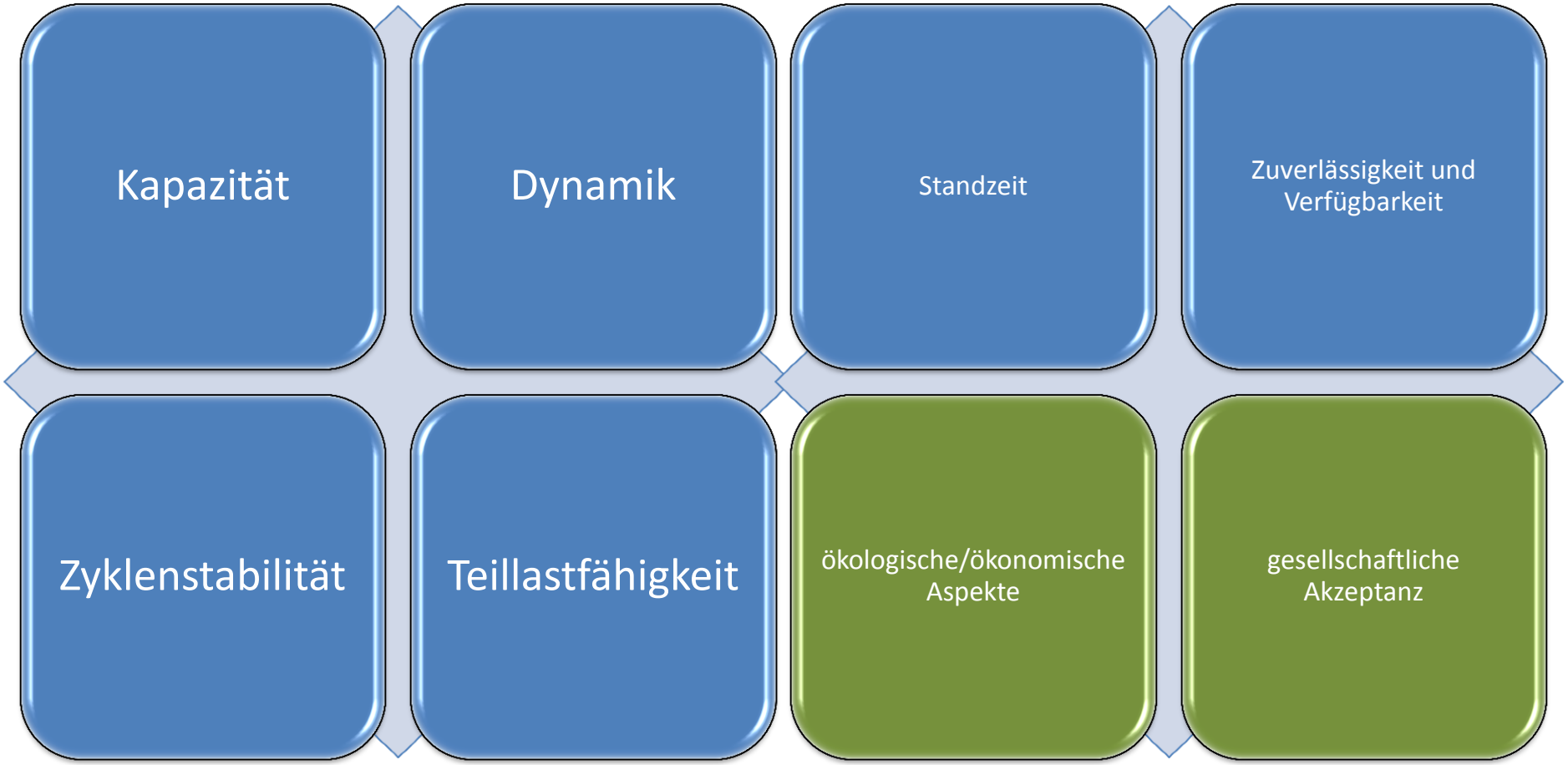
- Energiespeicher müssen in der Lage sein **Systemdienstleistungen** zu erbringen bzw. bisherige Systemdienstleister dahingehend unterstützen/ertüchtigen!

- Systemdienstleistungen
  - **Frequenzhaltung**
    - *Momentanreserve*
    - *Primärregelleistung*
    - *Sekundärregelleistung*
    - *Minutenreserve*
  - Spannungshaltung
  - Versorgungswiederaufbau
  - Betriebsführung

- Entsprechend werden **Anforderungen** an Speicher gestellt.

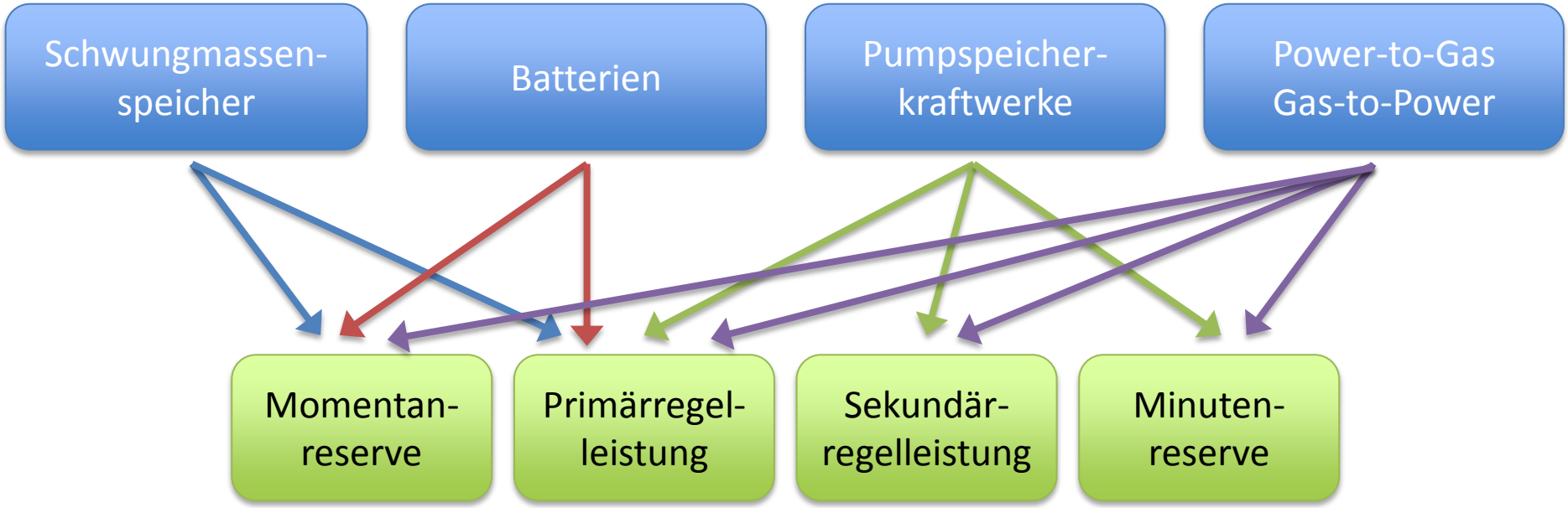
Bedarf an Energiespeichern

- **Anforderungen** an Stromspeicher im Verbundnetz (*Auszug*)



Bedarf an Energiespeichern

- **Beiträge** ausgewählter Energiespeicher zu Systemdienstleistungen:



Bewertung:

- Hohe Investitionskosten für die Realisierung von Stromspeichern als Stell-einrichtungen im Verbundnetz.
- Erforderliche dezentrale Strukturen führen zu einem hohen informations-technischen Aufwand (*IT-Sicherheit*).

Gliederung

1. Ausgangssituation – Warum Energiespeicher?
2. Einteilung von Energiespeichern
3. **Flexibles Kraftwerk**
4. Zusammenfassung

Flexibles Kraftwerk

Folgen für Großkraftwerke bis 2030 durch den zunehmenden Ausbau der EE

- **volatile Spitzen** durch EE-Einspeisung nehmen zu
- **zeitweise Vollversorgung** durch EE
- starker **Anstieg** des **Spitzenlastbedarfs**
- schrittweise **Abnahme** der Deckung des **Grundlastbedarfs** durch Bestandskraftwerke
- steigender Bedarf an **Regelenergie**
- **An- und Abfahrprozesse** nehmen stark zu
- **hohe Lastgradienten**
- Zunahme von **Lastwechselfahrweisen**
- erhöhte **Belastung** der **Bauteile**

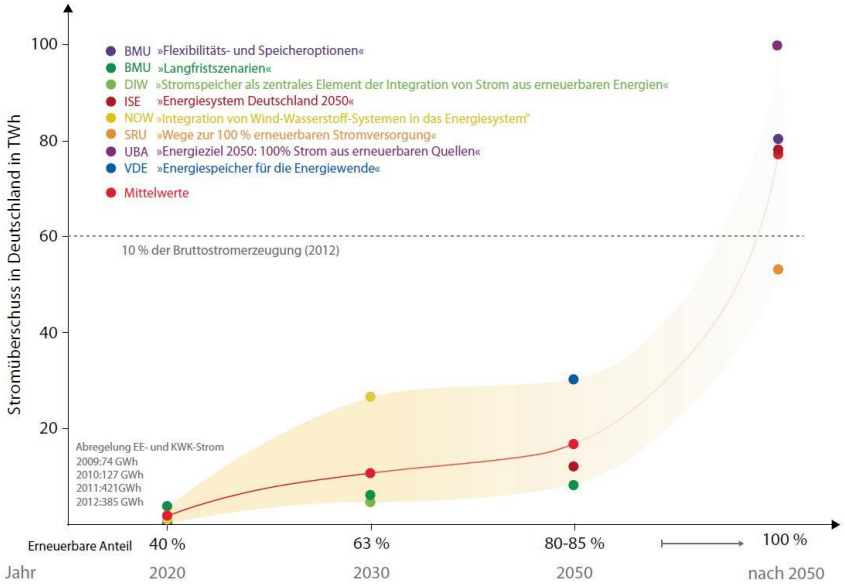


Abb. 4: Vergleich Studien (Sterner)

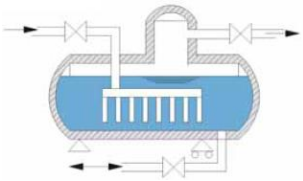
- Ertüchtigung von bestehenden Stelleinrichtungen (*Bestandskraftwerken*) in Hinblick auf Stellgeschwindigkeit und Stellbereich.
- **Integration thermischer Energiespeicher (TES) in den Kraftwerksprozess.**

Flexibles Kraftwerk

TES

- **Sensible Wärmespeicher**
  - *Flüssig* — Fluidspeicher
  - *Fest* — Feststoffspeicher
- **Latente Wärmespeicher**
  - *Übergang fest- flüssig* — Latentwärmespeicher
  - *Übergang flüssig- gasf.*
- **Thermochemische Wärmespeicher**
  - *Sorptions-speicher* — Ad- u. Absorptions-speicher
  - *Reaktions-wärme speicher* — Reaktions-wärmespeicher

Dampfspeicher



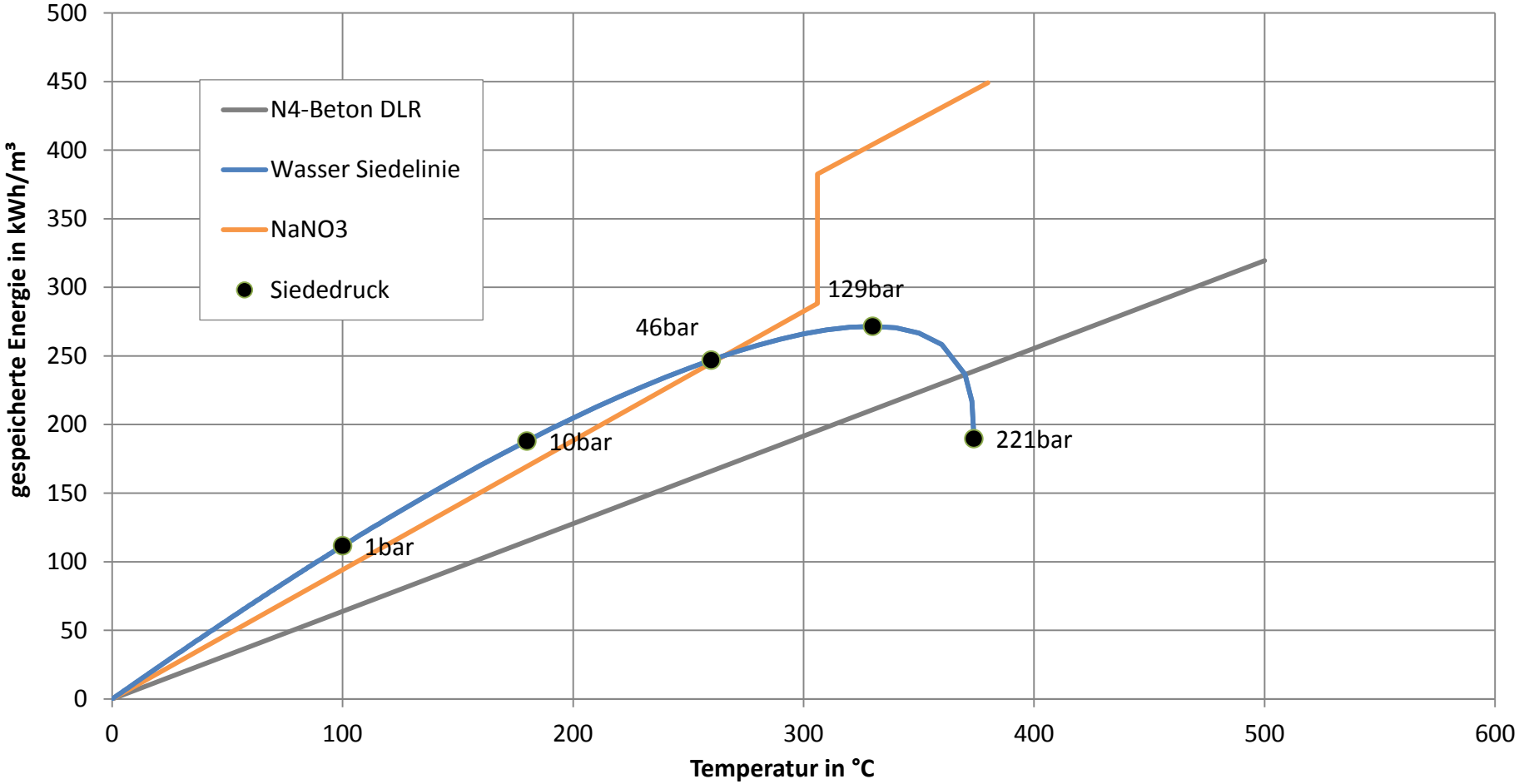
$AB+\Delta H_R \leftrightarrow A+B-\Delta H_R$

Hoch — Entwicklungsstand — Niedrig

Niedrig — Speicherdichte — Hoch

Flexibles Kraftwerk

- **Idealisierte** Darstellung der temperaturabhängigen **Speicherdichte** verschiedener Speichermedien



Flexibles Kraftwerk

- **Bewertungskriterien** für die Auswahl thermischer Energiespeicher zum Einsatz im Kraftwerksprozess (*Auszug*).

Flexibles Kraftwerk

Medium	Art	Speicherkapazität 160-270 °C [kWh/m³]	Kostenfaktor bezogen auf Wasser [-]
Therminol72	Flüssigkeit	64	190
N4-Beton DLR	Feststoff	70	10
Wasser	**Flüssigkeit**	**83**	**1**
Hitec (flüssig)	Flüssigkeit	97	136
$NaNO_3$+$KNO_{3\ 60/40}$	PCM	118	75
Gussstahl	Feststoff	143	2100
$AlCl_3$	PCM	268	2500
$LiNO_3$	PCM	372	10000

- **Wasser wird als am besten geeignet bewertet!**
- Wasser ist bereits im Kraftwerksprozess vorhanden.
- Für die Integration sind keine zusätzlichen Wärmeübertrager erforderlich (*maßgeblicher Beitrag zum Exergieerhalt der eingespeicherten Energie*).

Flexibles Kraftwerk

Betrachtete Integrationspunkte am Referenzkraftwerk

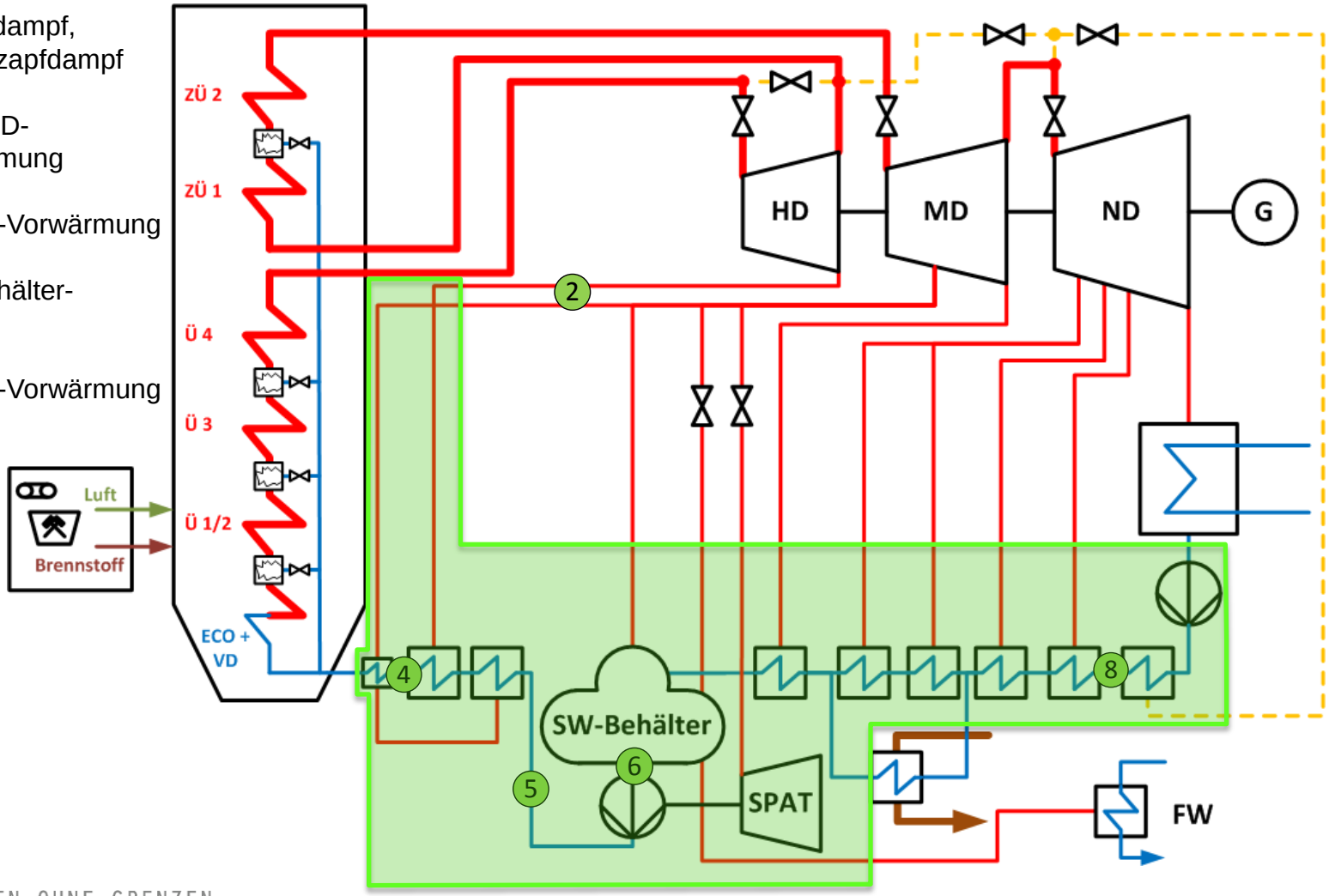
2 HD-Abdampf, MD-Anzapfdampf

4 Nach HD-Vorwärmung

5 Vor HD-Vorwärmung

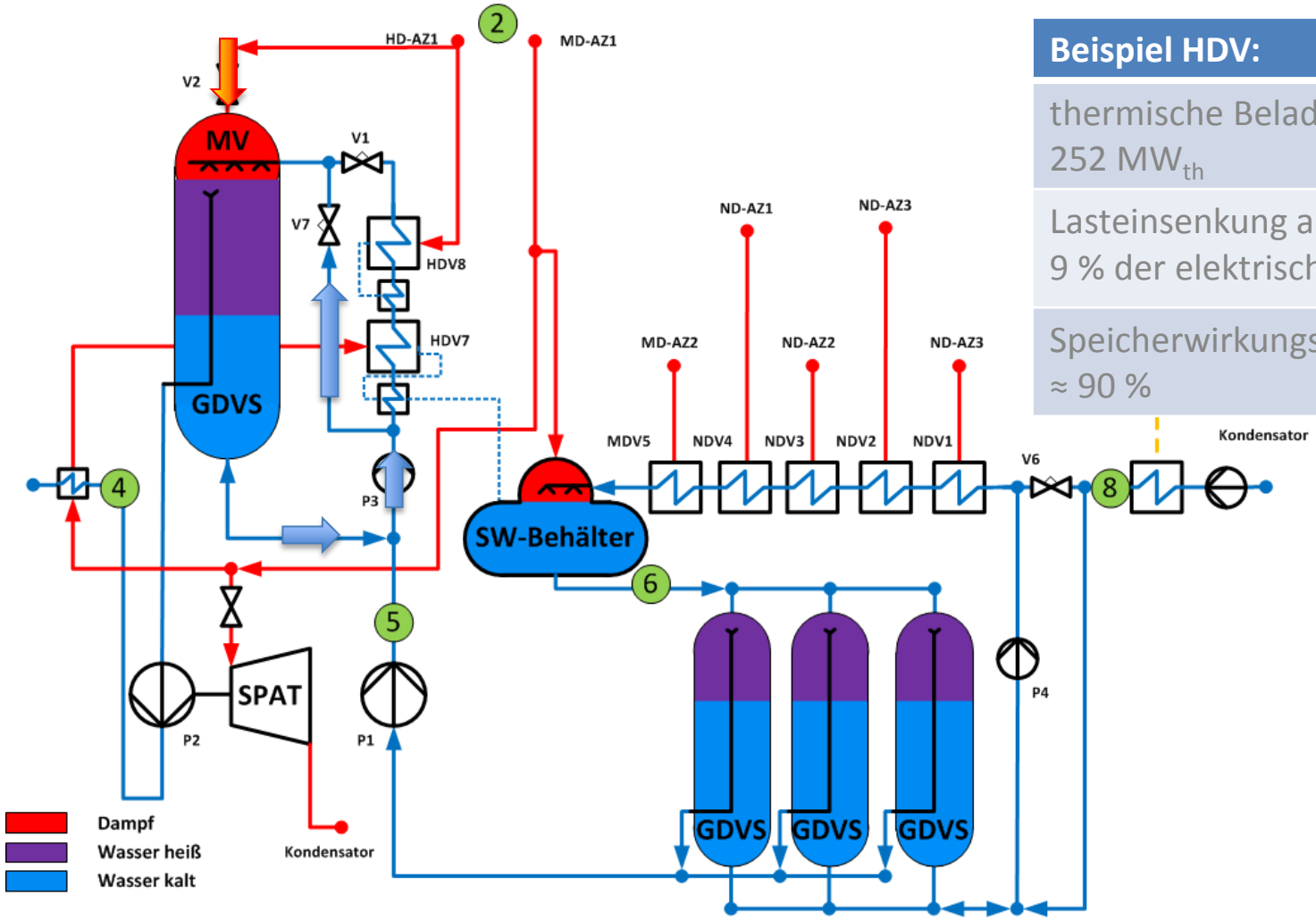
6 SW-Behälter-Austritt

8 Vor ND-Vorwärmung



Flexibles Kraftwerk

Flexibilisierungskonzept mit Gleichdruckversdrängungsspeichern



Beispiel HDV:

thermische Beladeleistung:
252 MW_{th}

Lasteinsenkung an der Turbine:
9 % der elektrischen Nennlast

Speicherwirkungsgrad:
≈ 90 %

Gliederung

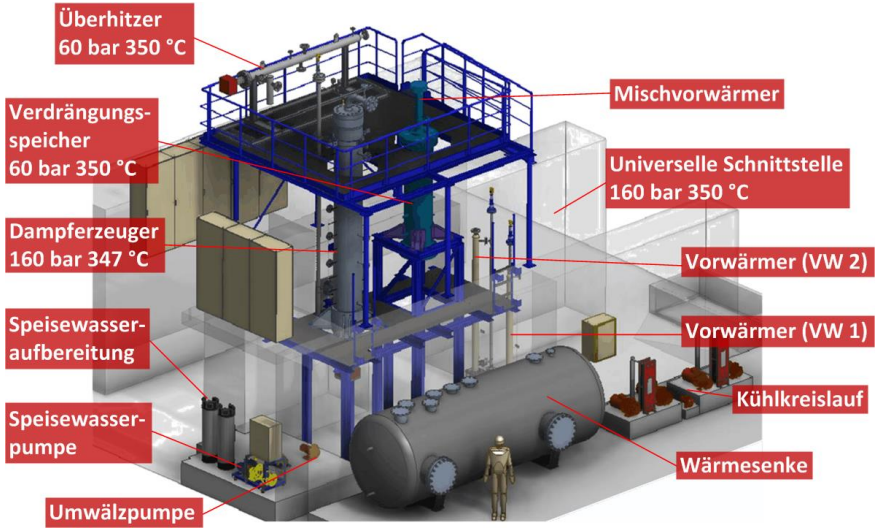
1. Ausgangssituation – Warum Energiespeicher?
2. Einteilung von Energiespeichern
3. Bedarf an Energiespeichern
4. Flexibles Kraftwerk
5. **Zusammenfassung**

Zusammenfassung

- Deutschland befindet sich in einem signifikanten Umbau des Energie-versorgungssystems.
- Aufgrund des rasanten Zubaus von Erneuerbaren Energien ist davon auszugehen, dass zukünftig die bestehenden Stelleinrichtungen an ihre Leistungs-grenzen kommen und die Netzstabilität nicht sicherstellen können.
- Stromspeicher sind geeignet, Systemdienstleistungen zu erbringen und können damit als Stelleinrichtung im Verbundnetz eingesetzt werden.
- Der Aufbau der erforderlichen Infrastruktur ist mit hohen Kosten und langen Zeiträumen verbunden.
- Bestandskraftwerke garantieren schon jetzt die Stabilität des Verbundnetzes.
- Die weitere Flexibilisierung der Kraftwerksanlagen durch die Integration thermischer Energiespeicher leistet einen Beitrag zur Erweiterung der Stellmöglichkeiten der Kraftwerke.

Ausblick

Energieeffizienzsteigerung in thermischen Energieanlagen



Merkmale:

- Nachbildung kraftwerksrelevanter Wasser-Dampf-Prozesse bis max. 350 °C und 160 bar
- universelle Schnittstelle für die Integration externer Untersuchungsgegenstände
- max. 0,1 kg/s Dampf; 0,5 kg/s Speisewasser
- korrosionsbeständige Ausführung

Versuchsanlage THERESA

Untersuchungsschwerpunkte:

- Analyse kraftwerksrelevanter Prozesse
- ***Integration thermischer Energiespeicher in den Kraftwerksprozess***
- Einzeleffektanalysen

Gefördert aus Mitteln der Europäischen Union
Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Ausblick

Übergabe Fördermittelbescheide durch Staatminister Prof. Unland

Gefördert aus Mitteln der Europäischen Union

Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Abb. 5: Übergabe Fördermittelbescheide 2015-2018 (v. li. Staatsminister Prof. Unland, Magnifizenz Prof. Albrecht)

Quellen

[0018]	DLR: „Schlussbericht Forschungsvorhaben WANDA WESPE-Speichertechnologie für ANDASOL“; DLR; 2007
[0036]	Laing, Bahl, Bauer, Lehmann, Steinmann: „Thermal energy storage for direct steam generation“; ELSEVIER; 2010
[0038]	Laing et al: „Test and Evaluation of a thermal energy storage system for direct steam generation“; SolarPACES 2011, Spanien
[0053]	Laing, Bahl, Bauer, Fiss, Breidenbach, Hempel: „High-Temperature Solid-Media Thermal Energy Storage for Solar Thermal Power Plants “; 2011
[0060]	Laing, Hempel, Stückle: „CONCRETE THERMAL ENERGY STORAGE FOR SOLAR THERMAL POWER PLANTS AND INDUSTRIAL PROCESS HEAT “; 2009
[0071]	Steinmann, Schulte, Scherrer: „EVA Thermische Energiespeicherung zur Verstromung diskontinuierlicher Abwärme “; 2010
[0126]	Kurt, Greiner, Kallina: „Verbesserung des Regelverhaltens von Dampfkraftwerksblöcken“; STEAG Energy Services; 2009
[0173]	Schüle, V.: „Betriebsflexibilität“; Alstom; 2011; Legin, M.: „Thermische Energiespeicherung für DKW; Alstom; 2011
[0186]	Pacheco, Kelly, Herrmann, Cable, Mahoney, Price, Blake, Nava, Potrovitza: „Engineering aspects of a molten salt heat transfer fluid in a trough solar field“; ELSEVIER; 2003
[0189]	Herrmann , Kelly, Price: „ Two-tank molten salt storage for parabolic trough solar“; ELSEVIER; 2004
[0231]	Pacheco J.: „Final test and evaluation results from the solar two project“, SNL; 2002
[SRU2011]	Sachverständigenrat für Umweltfragen: „Wege zur 100% erneuerbaren Stromversorgung Sondergutachten“; Januar 2011
[BMU2012]	Arbeitsgemeinschaft IWES, DLR, IFNE: „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“; März 2012
[BBC1980]	Sonderdruck aus Brown Boveri Mitteilungen Band 67, Heft 8/1980, Seite 465 bis 473
[EFZN2013]	efzn: „Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit“, Goslar, 2013

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Kontakt:

Ansprechpartner/-in:

Prof. A. Kratzsch
Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik
Fachgebiet Messtechnik / Prozessautomatisierung

Telefon: +49 3583 - 612 4282
Telefax: +49 3583 - 611288
E-Mail: A.Kratzsch@hszg.de
Web: www.hszg.de/ipm

Team THERESA bei der Verleihung des Prof. Hildebrand-Preises 2015