

Konzept einer Carnot-Batterie als flexibles Stromspeichersystem zur Sektorenkopplung von Strom und Wärme

T. Schäfer^{a)}, T. Gubsch^{a)}, T. Voß^{b)}, C. Vogel^{a)}, T. Klette^{a)}, S. Braun^{a)} und A. Kratzsch^{a)}

^{a)} Hochschule Zittau/Görlitz, Institut für Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik (IPM), Theodor-Körner-Allee 16, 02763 Zittau

^{b)} Spilling Technologies GmbH, Werftstraße 5, 20457 Hamburg

Motivation

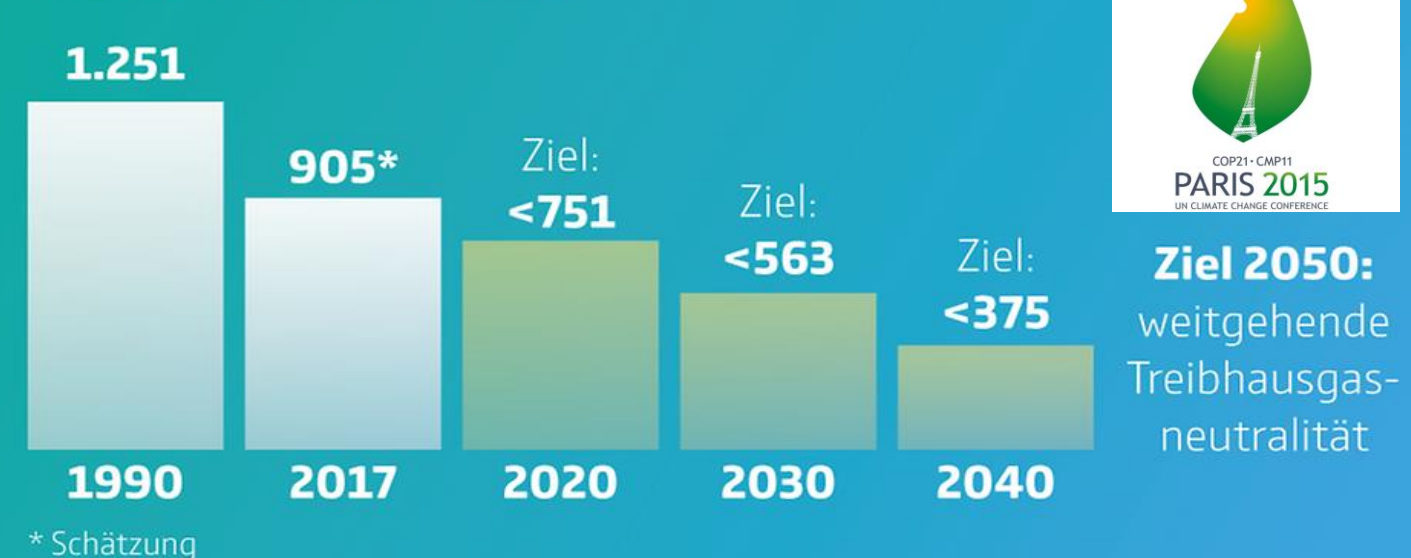
Hintergrund

- Energiewende bis 2050
Ziel: **Dekarbonisierung**
- zunehmende Nutzung regenerativer **Energiequellen**
- Steigerung der Effizienz des Energiesystems durch **Sektorenkopplung** → CO₂-Reduktion
- Notwendigkeit der **Adaption vorhandener Energiesysteme**



Treibhausgasausstoß in Deutschland

Angaben in Millionen Tonnen



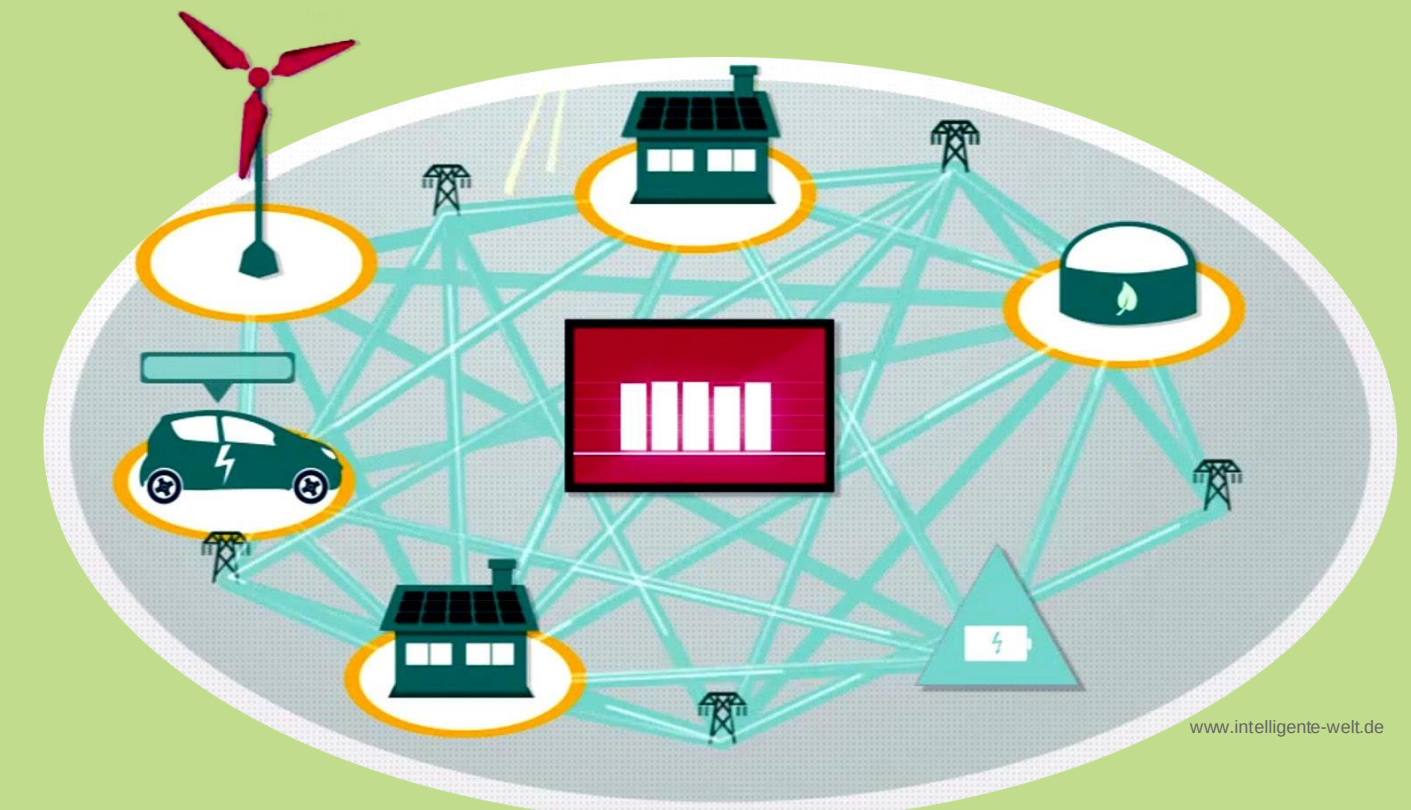
Herausforderung



- **Volatilität** in der Verfügbarkeit regenerativer Energien
- Fluktuationen im **Energiebedarf**
- **Angebot ↔ Nachfrage**
→ hochvolatil
Erzeugung vs. Verbrauch
→ zeitlich und örtlich variabel
→ muss in Einklang gebracht werden



Lösung



- Energiemanagement
- Netzoptimierung (Smart Grids)
- Sektorenkopplung
- Speicherung elektrischer Energie

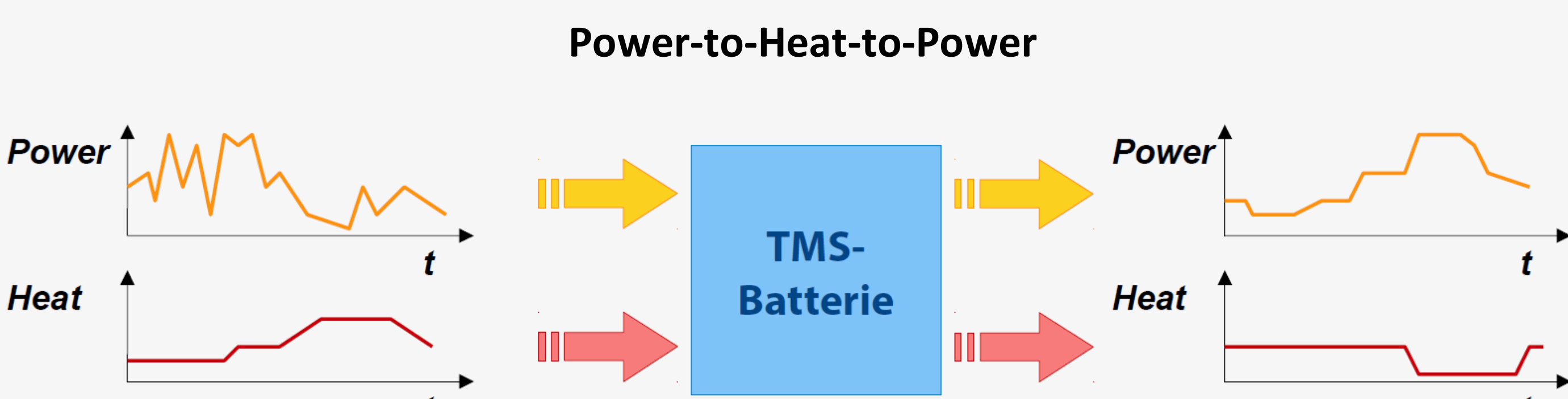


→ **Notwendigkeit von flexiblen Stromspeichern**

Thermo-Mechanischer Stromspeicher – Die TMS-Batterie

Die TMS-Batterie ist eine Carnot-Batterie basierend auf dem Rankine-Kreisprozess. Die TMS-Batterie arbeitet mit Niederdruck- und Hochdruck-Dampfspeichern, die mit der TMS Dual-Mode Kolbendampfmaschine betrieben werden. Die Maschine ist in der Lage, entweder im Kompressions- oder im Expansions-Modus zu arbeiten. Die TMS-Batterie ist durch einen CO₂-freien Kernprozess gekennzeichnet, der mit Dampf betrieben wird und mit diversen Wärmespeichern kombinierbar ist. Die TMS-Batterie bietet verschiedene Betriebsarten: Power-to-Heat / Heat-to-Power / Power-to-Power und Heat-to-Heat. Das ermöglicht eine sehr flexible Energiespeicherung für die Sektorenkopplung von Strom, Wärme und Verkehr.

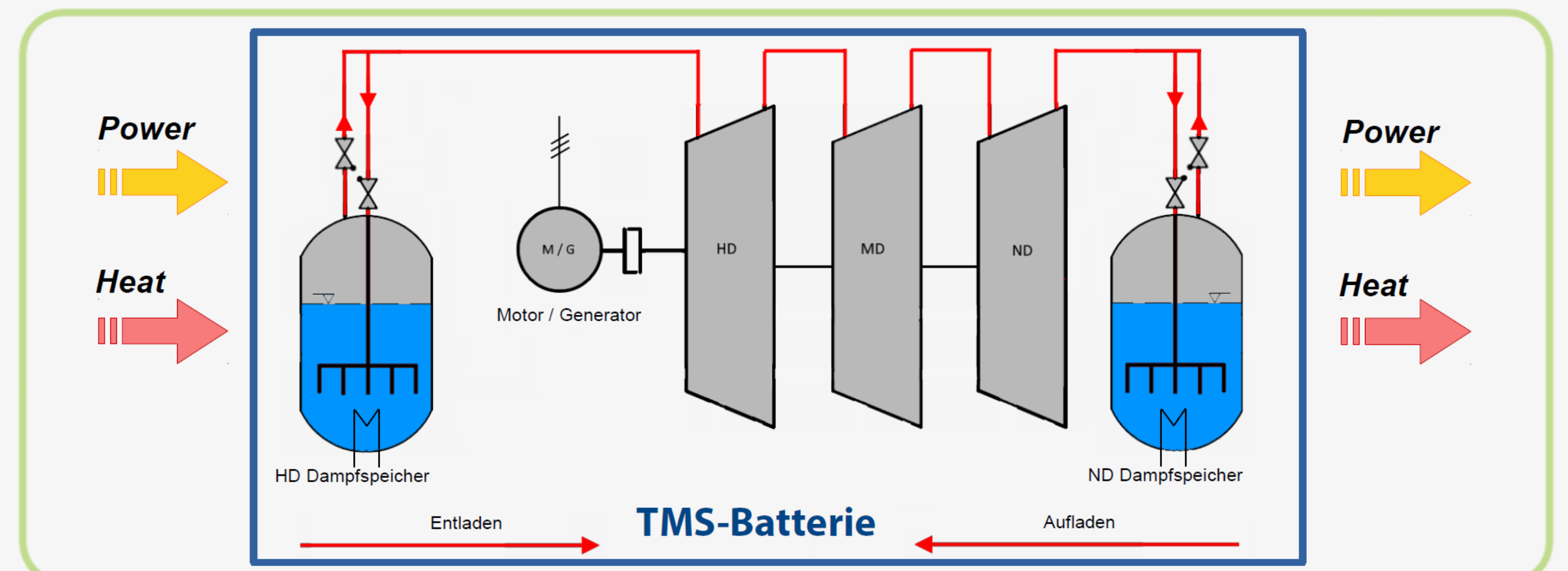
Idee



- Nutzung verfügbarer, überschüssiger Energien (Strom, Prozesswärme) und bedarfsgerechte Rückverstromung oder Wärmeauskopplung
- Einspeicherung → Strom und/oder Wärme
- Ausspeicherung → Strom und/oder Wärme
- thermische Energiespeicherung → Nutzung Dampfspeicher (Druckwasserspeicher)

Funktionsweise

- HD- / ND- Dampfspeicher (Druckwasserspeicher)
- Kopplung über Kombimaschine (RANKINE-Kreisprozess)
→ Strom- und/oder Wärmeeinspeicherung
→ Rückverstromung und/oder Wärmeauskopplung
- direkte Kondensation → keine Wärmeübertrager notwendig
- Wärme Ein-/Auskopplung über Wärmetauscher am HD/ND-Speicher möglich



Eigenschaften

Anwendungen

- flexibler Speicher
- dezentral einsetzbar
- Netzstabilisierung + Bereitstellung disponibler Energie
- inselnetzfähig (alle Netzdienstleistungen)
- Sektorenkopplung von Strom, Wärme und Verkehr

Vorteile

- CO₂-freier Kernprozess
→ Arbeits- und Speichermedium (Wasser)
- universell einsetzbar
- umweltfreundliche Materialien
→ Wasser, Stahl
- flexible Speicheroptionen
→ skalierbar
→ Kombination mit anderen Speichersystemen möglich (z.B. PCM)
- einfaches Numbering up möglich

System	
Typ	Rankine-Batterie (Power-to-Heat-to-Power Anlage)
Maschine	
Typ	Dreizylinder Dual-Mode Kolbenmaschine
P _{nom}	bis zu 2,5 MW
Platzbedarf	~10 m ³
Temperaturbereich	~110...280 °C
Druckbereich	~2...55 bar(a)
Thermisches Speichersystem	
Typ	Dampfspeicher (Druckwasserspeicher)
Speichermedium	Druckwasser
Speicherkapazität	skalierbar (kWh _{th} ...MWh _{th})
Speicherdichte	50...200 kWh _{th} /m ³
Temperaturbereich	100...280 °C
Zyklenanzahl	(1...100)/Tag flexibler Kurzzeitspeicher (Minuten-Stunden-Tage)
weitere Eigenschaften	
TRL	3
Effizienz (elektrisch)	~35%...60% (power-to-heat-to-power)
Effizienz (gesamt)	~90% (kombiniert, mit Sektorenkopplung)
Speicherkapazitätskosten (SCC)	~100 €/kWh
Speicherleistungskosten (SPC)	~800 €/kW
Lebensdauer	sehr hoch >>20 Jahre (bis zu 50 Jahre)
Zyklenanzahl (gesamt)	>20.000
Sektorenkopplung	Strom, Wärme, Mobilität
Rohstoffverfügbarkeit	sehr gut (Wasser und Stahl)
Umweltverträglichkeit	sehr gut, keine Interaktionen, stofflich geschlossener Kreislauf
Entsorgung	vollständig recycelbar

F&E Aktivitäten

- Modellierung des Thermo-Mechanischen Stromspeichersystems
- Entwicklung und Aufbau einer prototypischen Versuchsanlage
- experimentelle Untersuchung von Betriebsverhalten, Effizienz und sektorenkoppelnden Eigenschaften
- technische Optimierung

