

Hochtemperatur-Wärmespeicher – der Schlüssel zu erneuerbarer und bedarfsgerechter Industriewärme

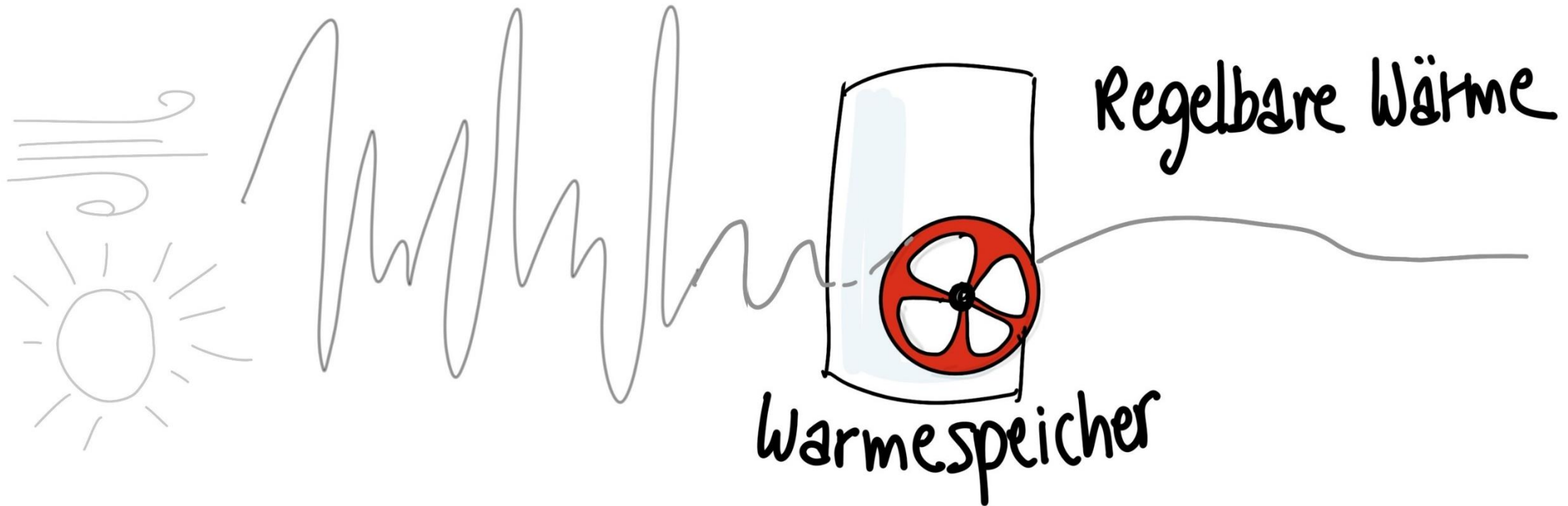
- **Prof. Dr. Annelies Vandersickel, Dr. Stefano Giuliano, Dr. Panagiotis Stathopoulos, DLR**
- **Dr. Thomas Fluri, Fraunhofer ISE**
- **Dr. Klarissa Niedermeier, KIT**
- **Michael Brütting, ZAE Bayern**

Hochtemperatur-Wärmespeicher liefern einen entscheidenden Beitrag zur Dekarbonisierung der Industriewärme

- Sie sind der Schlüssel zu regelbarer Wärme aus erneuerbarer Energie
- In Kombination mit Power-to-Heat unterstützen Sie die Integration von erneuerbarem Strom
- Sie bewirken eine deutliche Einsparung des erforderlichen Energiebedarfs durch Abwärmerückgewinnung

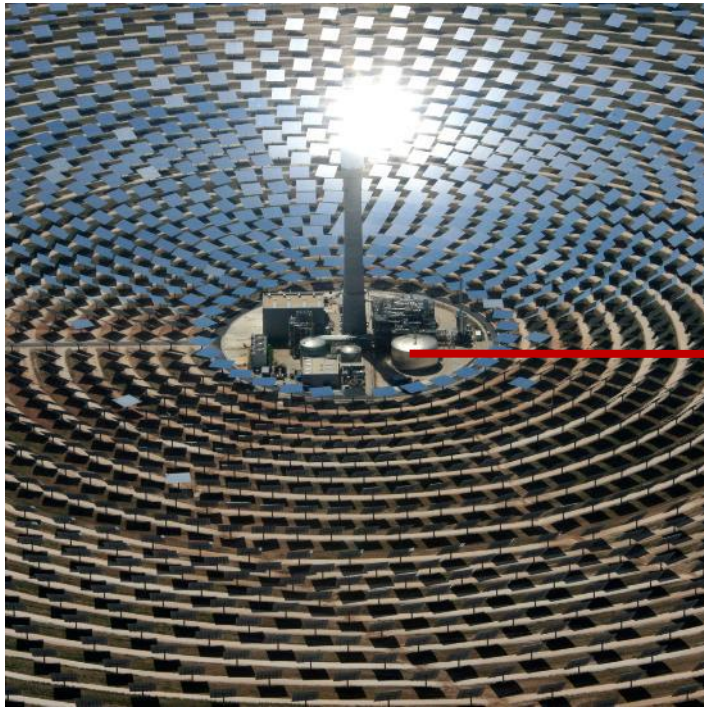
REGELBARE WÄRME AUS FLUKTUIERENDER ERNEURBARER ENERGIE

Der Wärmespeicher als Schlüssel



REGELBARE SOLARE WÄRME

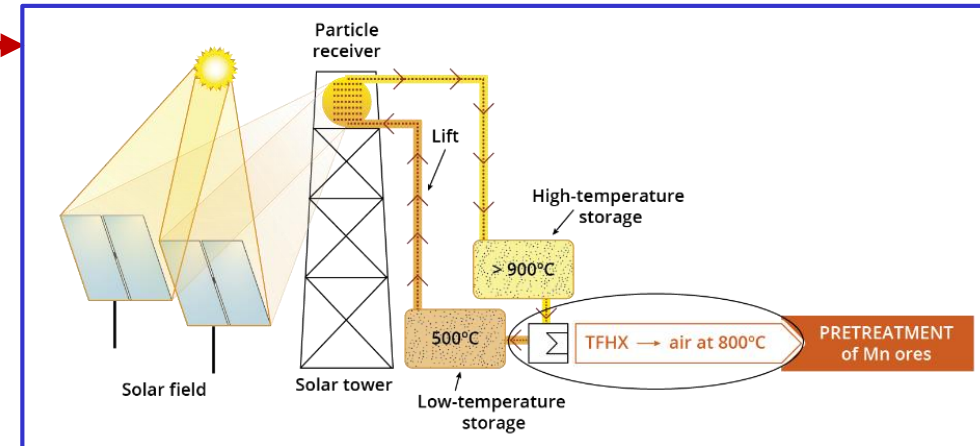
Auch für Wärmeerzeugung jenseits 400°C



Direkte Nutzung der Wärme für Industrieprozesse:

Stromerzeugung mittels konzentrierender Solartechnik ist Stand der Technik und weltweit installiert

Wärmetransportmedium	Wärmespeichermedium	Temperaturen bis
Flüssigsalz	Flüssigsalz	565 °C
Luft	Festkörper	>1000 °C
Partikel / Luft	Partikel	>1000 °C

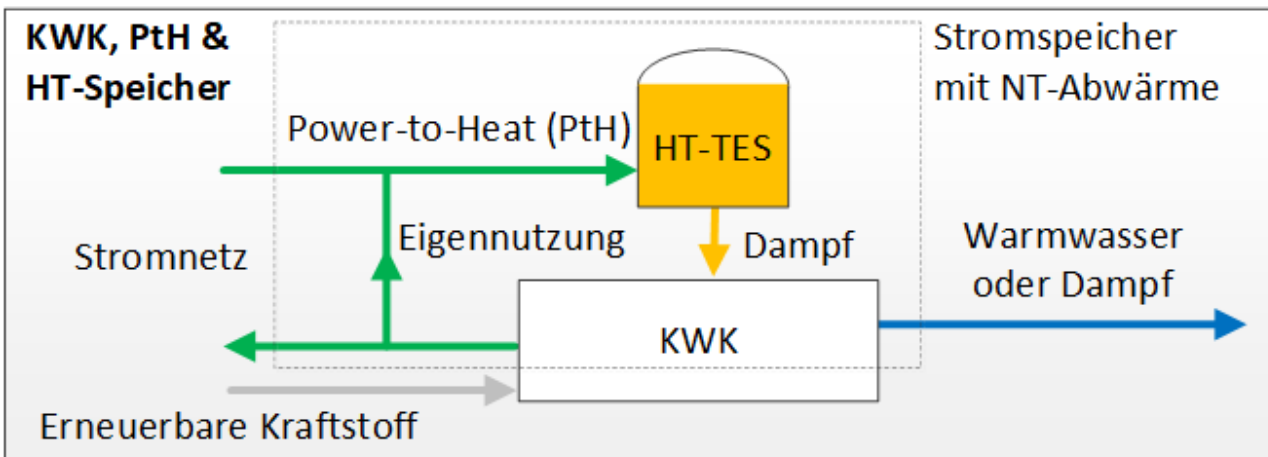
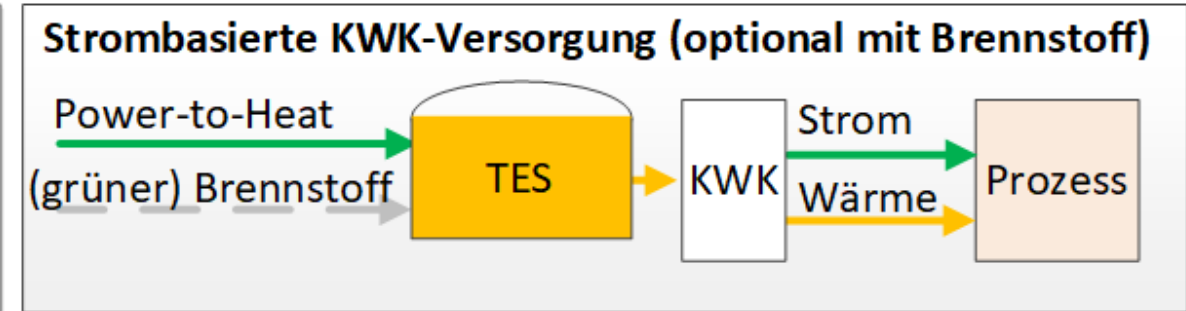
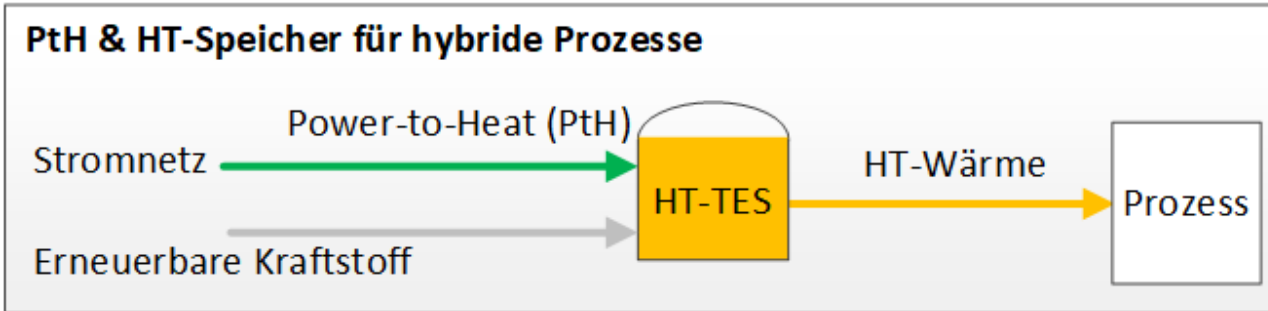


Beispiel EU-Projekt PreMa: Thermische Vorbehandlung von Mangan-Erzen bei 800 °C

Beispiel EU-Projekt HiFlex: Wärme für die Pastaherstellung

SEKTORKOPPLUNG mit thermischem Energiespeicher

Power-to-Heat & Power-to-Heat-to-Power/Heat

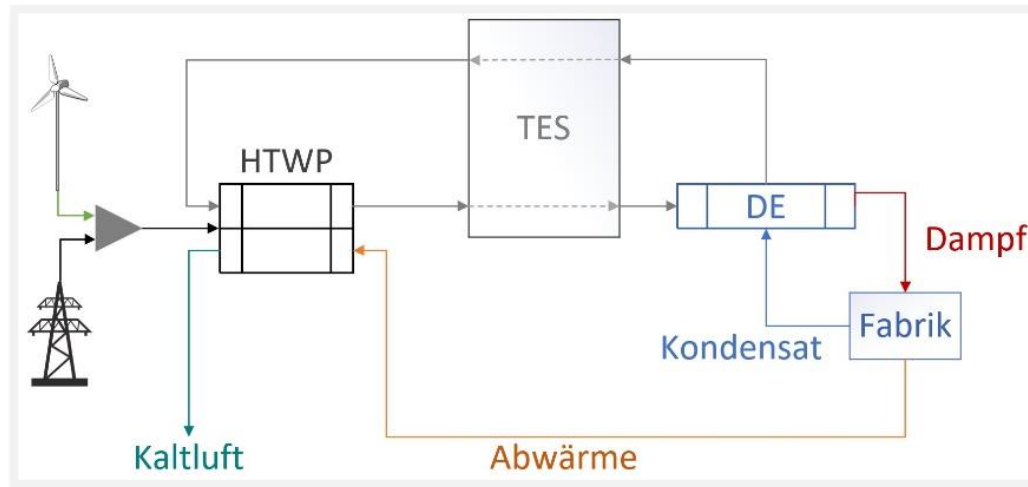


- Ausgleich von Schwankungen bei der Stromerzeugung
- Höhere Flexibilität für den Strommarkt
- Strom → HT-Wärme → Strom (Carnot Batterie/Wärmespeicherkraftwerk)
- Hoher Gesamtwirkungsgrad

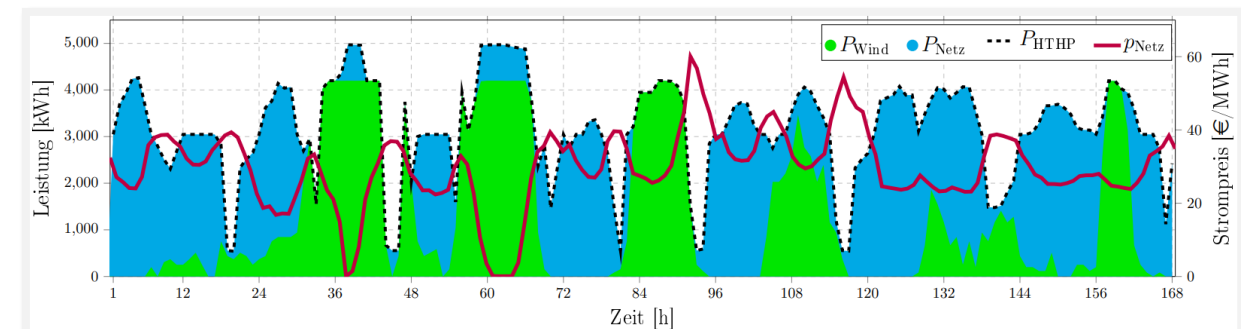
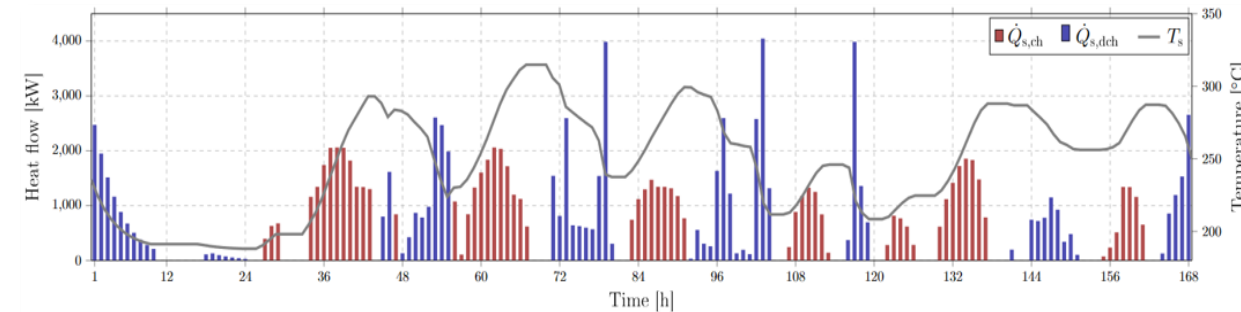
REGELBARE WÄRME AUS FLUKTUIERENDEM ERNEURBAREN STROM

Power-to-Heat in Industrieanwendung

- **Aufgabe:** Elektrifizierte Dampferzeugung
- **Schwankender Windstrom** wird durch HTWP und thermischen Speicher abgefangen
- **Ziel:** Kosten- oder emissionsoptimierter Betrieb des Gesamtsystems



Systemdesign: Stromerzeugung, Hochtemperaturwärmepumpe, Thermischer Speicher und Dampferzeuger für Industrieanwendung



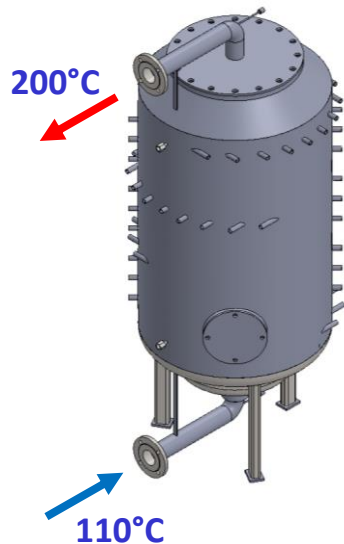
Beispiel: kostenoptimierter 7-Tages-Betrieb mit schwankendem Windstrom

WÄRMERÜCKGEWINNUNG zur Reduktion des Energiebedarfs

GIEßEREI

Prototyp im Labormaßstab mit Thermoöl als WT

- Anwendung: Wärmerückgewinnung Kupolofen zur Unterstützung der Lacktrocknung
- Volumen: 700 Liter
- Größe: $\varnothing = 0,8 \text{ m}$, $H = 2 \text{ m}$
- Temperatur: $100 \text{ }^\circ\text{C} - 215 \text{ }^\circ\text{C}$



- ✓ 6700 Aufheiz-/Abkühlzyklen abgeschlossen
- ✓ Demonstrator geplant (3,6 MWh)
- ✓ Einsparungen > 50% des Wärmebedarfs für die Lacktrocknung



SCHLEIFSCHEIBEN-HERSTELLUNG

Demonstration im Pilotmaßstab mit Luft als WT

- Anwendung: Zwischenspeicherung Abwärme aus der Herstellung keramischer Schleifscheiben bis zur Reintegration in den Prozess
- Speicherkapazität: **900 kWh**
- Größe: $2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m}$
- Temperatur: $200 - 450^\circ\text{C}$

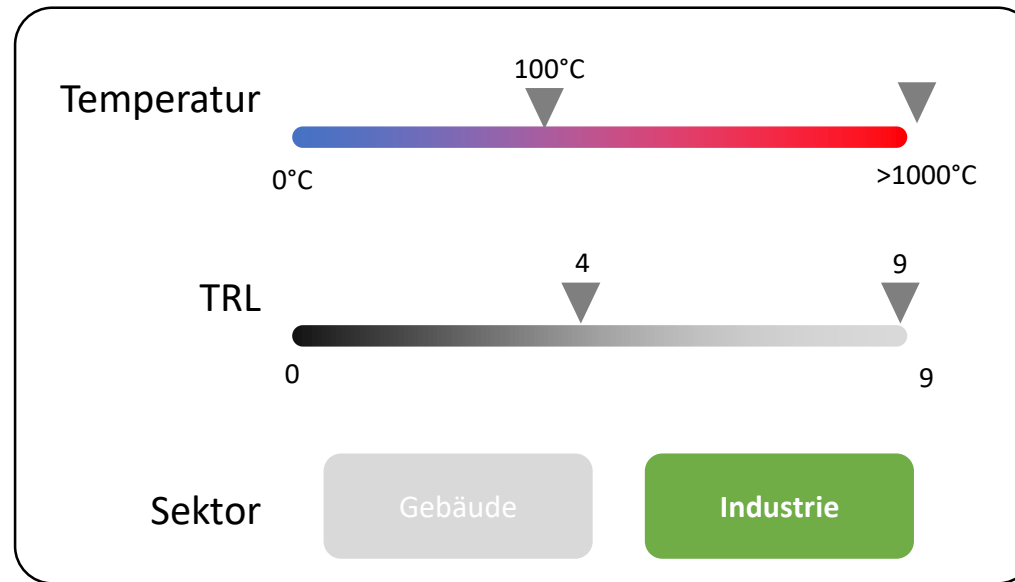


Demonstrator beim Endanwender

- ✓ Speichereinbindung abgeschlossen
- ✓ Erste Tests laufen
- ✓ Einsparungen: 45 MWh/a (9,8 Tonnen CO₂)

WÄRMESPEICHER IM HOCH-TEMPERATUR-BEREICH

Keine „One-fits-it-all“ Lösung

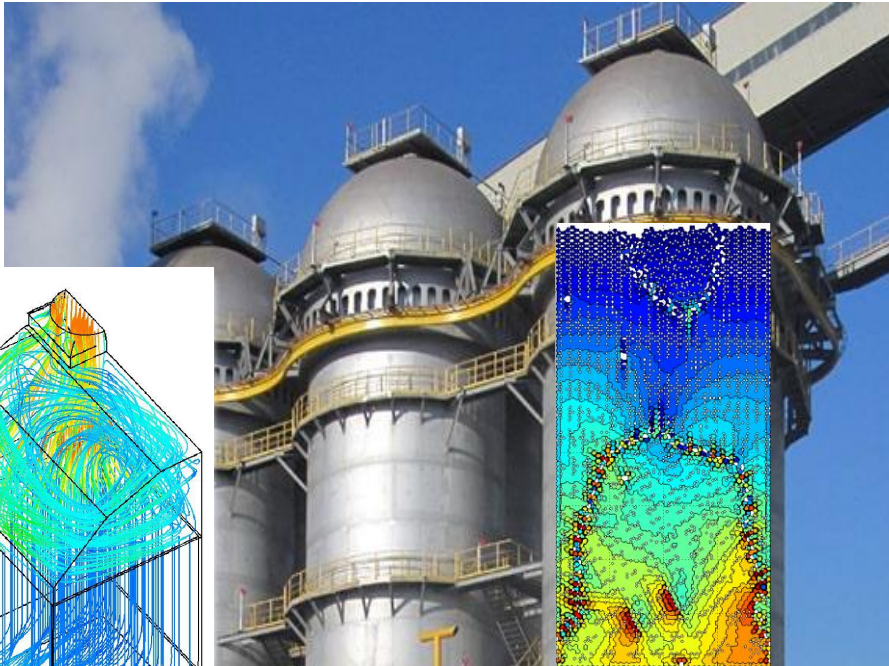


WÄRMESPEICHER IM HOCH-TEMPERATUR-BEREICH

Keine „One-fits-it-all“ Lösung

	Regenerator	Regenerator	Flüssigsalz	Ruths	PCM	Flüssigmetall
Speichermaterial	Keramik	Naturstein-schüttung	Nitratsalz flüssig	Druckwasser	Nitratsalz fest/flüssig	Festkörper-schüttung
Energiedichte <i>in kWh/m³</i>	75 - 200	75 - 200	75 - 200	bis 100	50 - 200	75 - 200
Kapazität	bis 1000 MWh	k.A.	bis 4500 MWh	bis 30 MWh	bis 500 MWh	100 kWh
Typ. Temperaturen	400-1600 °C	200-800 °C	170-560 °C	150-230 °C	130-330 °C	100-700 °C
Typ. Wärmeträger	Gase	Gase	WÜ für überhitzter Dampf	Sattdampf, Druckwasser	Dampf, max. Überh. 330 °C	Flüssigmetall, WÜ für überhitzter Dampf
Investitionskosten TES <i>in €/kWh</i>	15 – 40	k.A.	15 – 70	70 – 300	40 – 80	k.A.
Technologiereife	6 – 9 TRL	4 – 5 TRL	4 – 9 TRL	8 – 9 TRL	4 – 5 TRL	3 – 4 TRL

Feststoffspeicher mit Gas als WT



Cowper-Speicher im
Hochofenprozess in Stahlindustrie



REGENERATOR:

- Einsatz als Winderhitzer seit den 1860'ern
- Kurze Zyklenzeiten von 30-180 min
- Temperatur: 200 bis > 1000°C
- Anwendung: Konzentrierende Solarthermie, Power-to-Heat, Hochtemperaturprozesse

Forschungsschwerpunkte:

- Entwicklung und Optimierung kosteneffizienter Füllkörpermaterialien
- Speicherdesign und Aufskalierung
- Passende Hoch-Temp.- Pth

TRL: Demonstratoren in MWh – bis TRL 9

→ Fraunhofer ISE: BMWK-Projekt FENOPTHES

→ DLR: HotReg-Testanlage



Flüssigsalzspeicher – 1-Tank/2-Tank Systeme



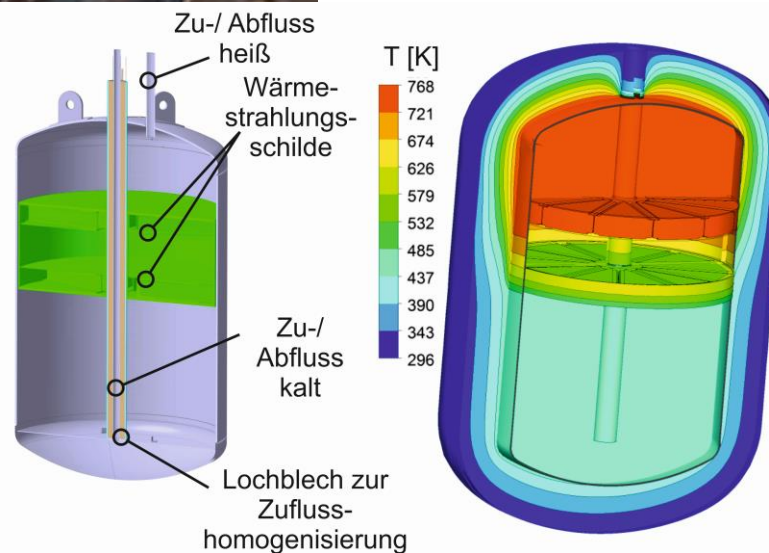
2-Tank Solarsalz
Andasol

SALZSCHMELZE

- Einsatz in Solarkraftwerken
- Temperatur: 170 – 560°C (600°C)
- Anwendung: Solarthermie, Industriewärme, Power-to-Heat

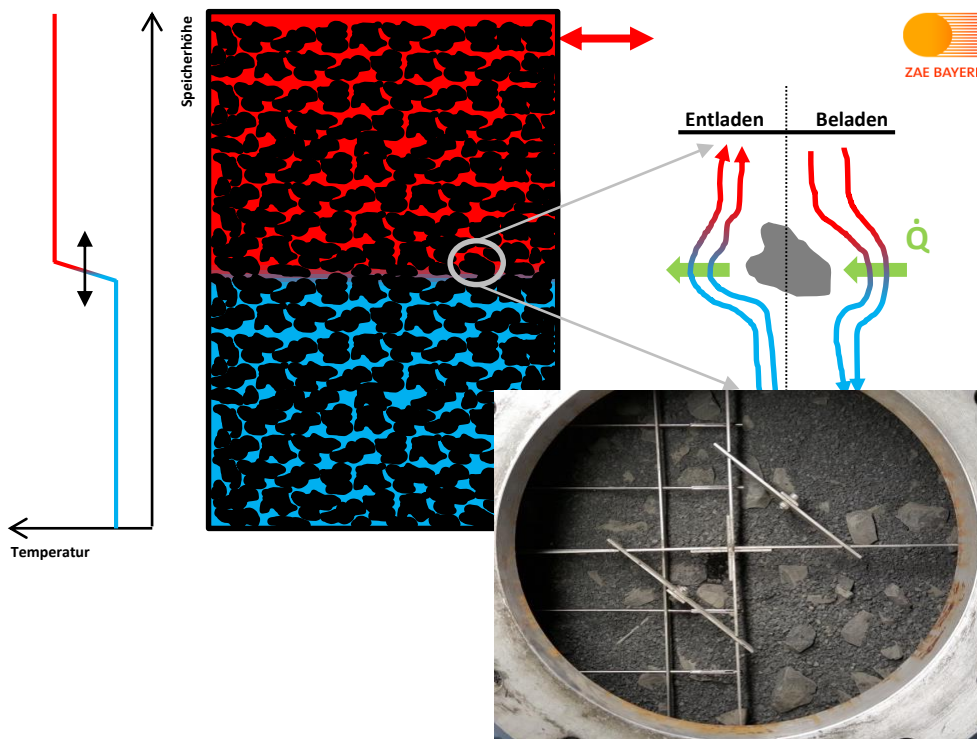
Forschungsschwerpunkte:

- Entwicklung und Optimierung kosteneffizienter Eintankkonzepte
 - Erhöhung Max. Betriebstemperatur
 - Entwicklung passender E-Erhitzer
- ✓ TRL: Demonstration in MWh bis GWh Maßstab
TRL 4-9



Thermokline mit
Flüssigen Natrium

Eintankspeicher mit Festbett und flüssigem Wärmeträger



Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte:

- Materialkompatibilität
- Tankdesign

THERMÖL

- Temperatur: 200 – 450°C
- TRL 4-5
- ✓ Demonstration in kWh Maßstab
Kein Staub, keine Abnutzung Öl & Feststoff

SALZSCHMELZE

- Temperatur: 170 – 560°C
- TRL 4-5
- ✓ Demonstration in kWh/MWh Maßstab

FLÜSSIGMETALL

- Temperaturstabil bis weit über 600°C
- Hohe Wärmeleitfähigkeit → kompakte Wärmeübertrager
- TRL 3-4
- ✓ „First-of-its-kind“ Speicher erfolgreich getestet

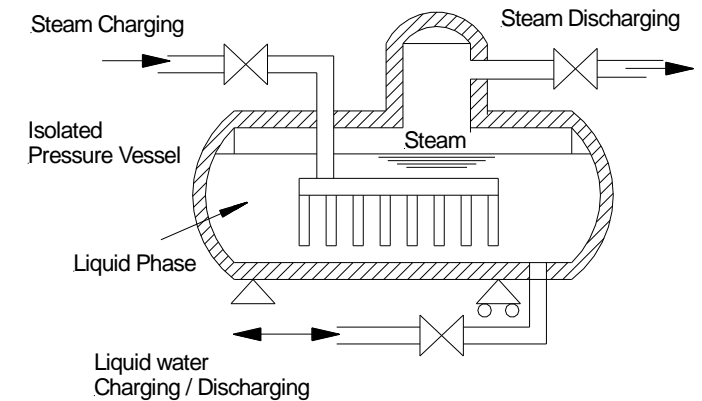


Gleitdruckwasserspeicher/PCM-Speicher zur Dampfbereitstellung



Ruths-Speicher

- Einsatz in der Prozessindustrie
- Bereitstellung von gesättigtem Dampf
- Arbeitsbereich:
150 °C / 5 bar bis 230 °C / 30 bar
- Verwendung als Leistungsspeicher
- TRL 9



Herausforderung von Ruths-Speichern:

- Druckabfall → DLR entwickelt PCM-Speicher für Prozessdampf

PCM-Speicherentwicklung für Industrieanwendungen (100 °C - 300 °C)

Materialauswahl, Materialcharakterisierung und Stabilitätsuntersuchungen:

- Zuckeralkohole
- Polymere
- Salzhydrate
- Salzmischungen

	Materialklasse	Schmelzpunkt in °C
Erythritol	Zuckeralkohol	121°C
D-Mannitol	Zuckeralkohol	166°C
HDPE	Polymer	133°C
LiNO ₃ /NaNO ₃ /KNO ₃	Salzmischung	123°C
MgCl*6H ₂ O	Salzhydrat	117°C

→ BMWK-gefördertes Projekt PROLATENT, FKZ 0325549A

- ✓ Prototyp eines Erythritol-Speicher im Labor vermessen
- ✓ Ca. 1m³ Volumen, Temperatur 100-140°C

Komponentenentwicklung:

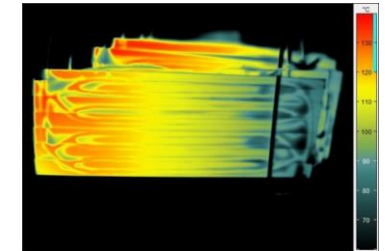
- Evaluierung
- Wärmeübertragerkonzepte für Latentwärmespeicher



Lamellenwärmeübertrager

Systemintegration:

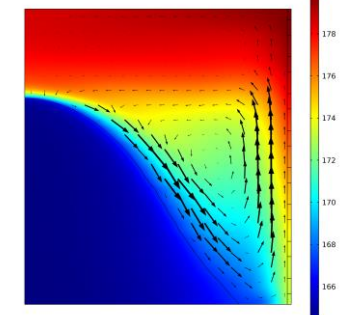
- Systemsimulation
- Systemevaluierung
- Monitoring



Thermographie Fracthermplatten®



Vermessung des Prototyps



Strömungssimulation im Speicher

Herausforderungen für die Umsetzung in der Praxis

- Keine „One-fits-it-all“-Lösungen
- Fehlende Tools und F&E Programme für Potentialstudien zur Prozessdetailbetrachtung
- Genehmigungstechnische und sicherheitstechnische Lücken in Regelwerken für neue Speicher
- Fehlende Anreize für erstmalige Demonstration neuer Konzepte in Anwendung
- Niedrige Energiepreise und hoher Wettbewerbsdruck erschweren Amortisation
- Hohe Investkosten und fehlende Contracting-Lösungen
- Fehlende Betriebserfahrung mit Energieversorgungsanlagen

Schlussbemerkungen

Hochtemperatur-Wärmespeicher für Prozesswärme...

- sind ein Schlüsselement zur Integration großer Solar- und Windanteile in der Wärmeversorgung sowohl in Kombination mit WP, CSP als auch PtH
- bieten hohes Potential für Flexibilität am Strommarkt / Sektorkopplung
- sind bereits als Feststoffspeicher und Speicher mit flüssigen Medien bis zu 600°C verfügbar und zum Teil etabliert oder demonstriert
- im Hinblick auf die erforderliche Größe von Industrie-Speichern besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich noch kompakterer, leistungstärkerer und kostengünstigerer Konzepte und höheren Temperaturen (>600°C)

Größere Demonstrationsprojekte weiterhin erforderlich um Vertrauen für den Einsatz in Industrie-Prozesswärme-Anwendungen zu generieren

Danke!

- **Prof. Dr. Annelies Vandersickel, Stefano Giuliano, Dr. Panagiotis Stathopoulos, DLR**
- **Dr. Thomas Fluri, Fraunhofer ISE**
- **Dr. Klarissa Niedermeier, KIT**
- **Michael Brütting, ZAE Bayern**