Resilienz durch Energiespeicher

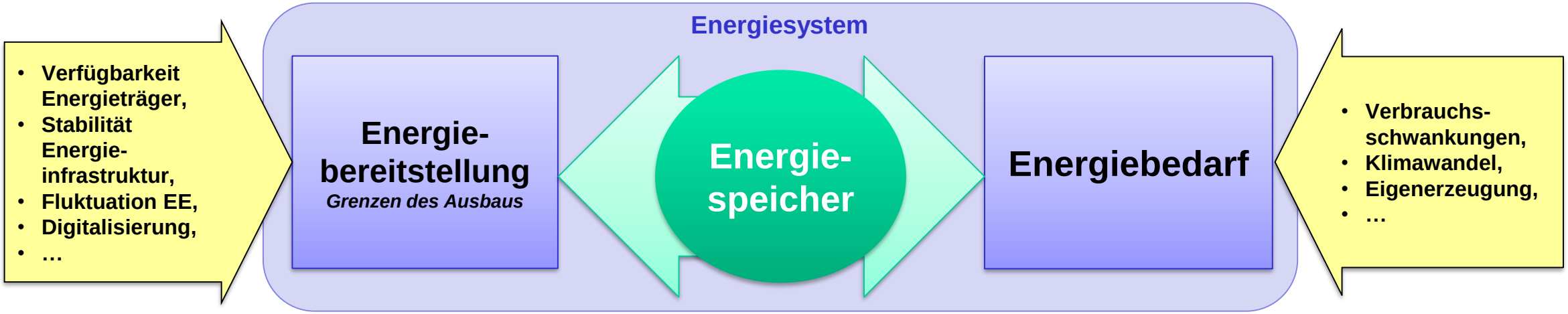
Anna Kümmel[1], Tino Barchmann[2], Karin Naumann[2], Dr.-Ing Martin Henke[3], Prof. Dr.-Ing Annelies Vandersickel[3], Dr. Stefan Zunft[3], Dr. Peter Nitz[4], Dr.-Ing Thomas Fluri[4], Dr.-Ing. Oliver Fitz[4], Dr. Lea Eisele[4], Dr. Peter Achtziger-Zupančič[5] und Prof. Dr. Eva Schill[6]

[1]Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. I ZAE Bayern
[2]Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH I DBFZ
[3]Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. | DLR
[4]Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme | Fraunhofer ISE
[5]Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie I Fraunhofer IEG
[6]Karlsruher Institut für Technologie I KIT

Wie definiert und bewertet man Resilienz im Hinblick auf Energiespeicher?

Wie definiert und bewertet man Resilienz im Hinblick auf Energiespeicher? Wie grenzt sich dabei Resilienz von Flexibilität ab?

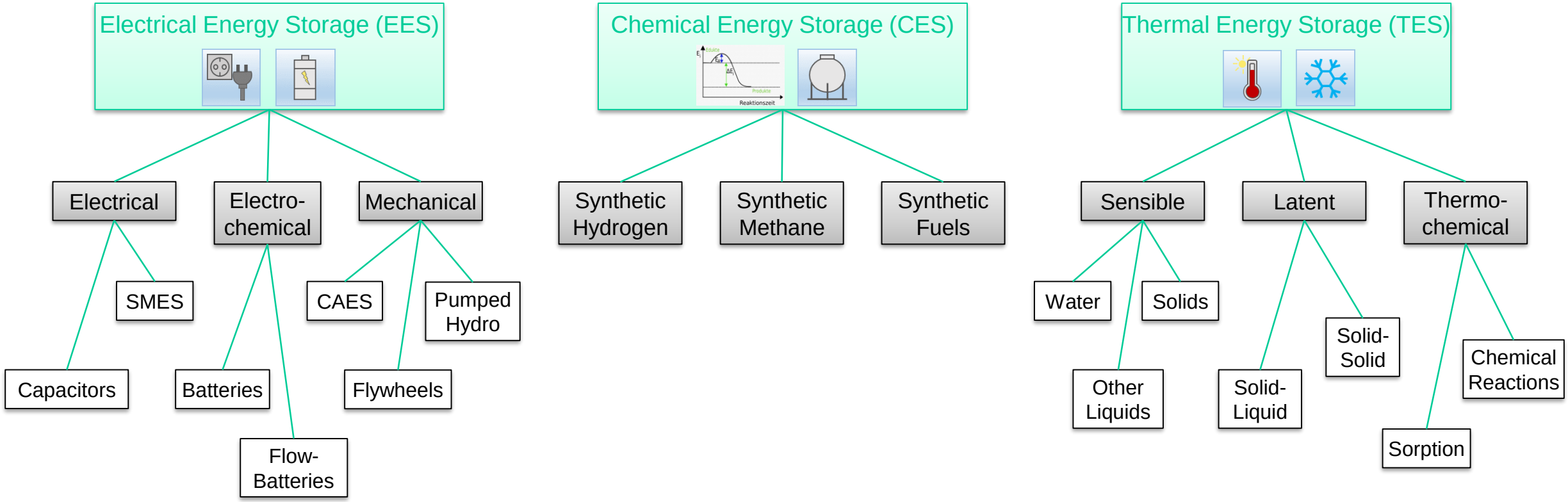
Resilienz = „Widerstandsfähigkeit“ → gegen äußere und innere Einflüsse/Stressfaktoren
Hauptziele: Versorgungssicherheit und Integration Erneuerbarer Energien



- Energiespeicher können Schwankungen bei Energiebereitstellung und Energiebedarf ausgleichen → System-Resilienz
- Resilienz ist etwas mehr als „nur“ Flexibilität

Welche Speichertechnologien stehen hierfür zur Verfügung?

Speichertechnologien



Welchen Beitrag können Energiespeicher für eine resiliente Energieversorgung leisten?

Welchen Beitrag können Energiespeicher für eine resiliente Energieversorgung leisten?

1. Ziel Versorgungssicherheit und Betriebssicherheit

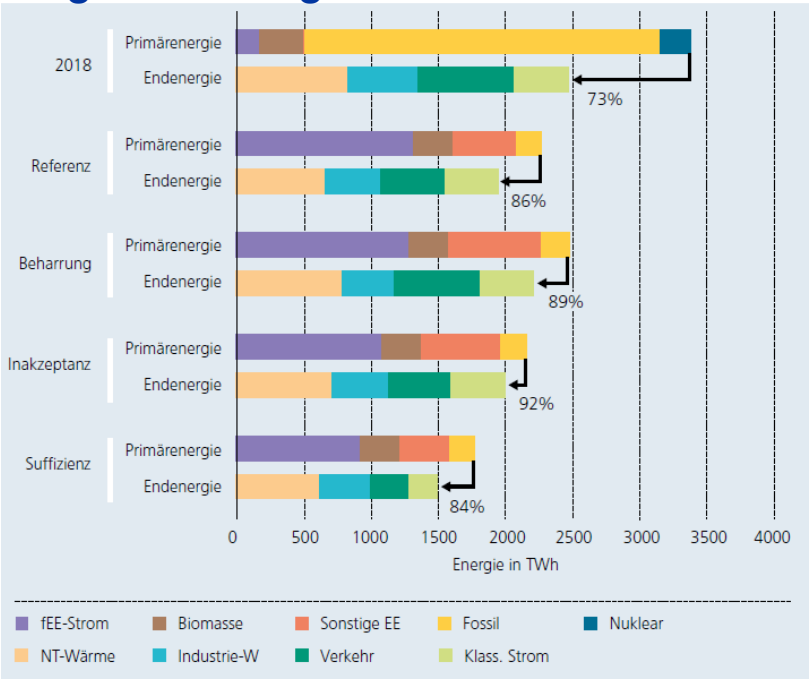
- Redundanz und Ausfallsicherheit:
  - Bereitstellung zusätzlicher Kapazitäten → EES/TES/CES
  - USV, Schwarzstartfähigkeit → EES
- Netzstabilität /-regelung:
  - Netzengpassmanagement / Redispatch → EES/TES(P2H)/CES(P2G)
  - Frequenzhaltung, Spannungshaltung → EES/TES(P2H)/CES(P2G)
  - Gradientensteuerung → EES/TES(P2H)/CES(P2G)
- Dezentralität, Integration Anwenderseite, Diversität
  - Inselnetzbetrieb → EES/TES/CES
  - Lastmanagement, Peak-Shaving → EES/TES/CES
  - Eigenerzeugung, Autarkie → EES/TES/CES
- …

2. Ziel Integration erneuerbarer Energien

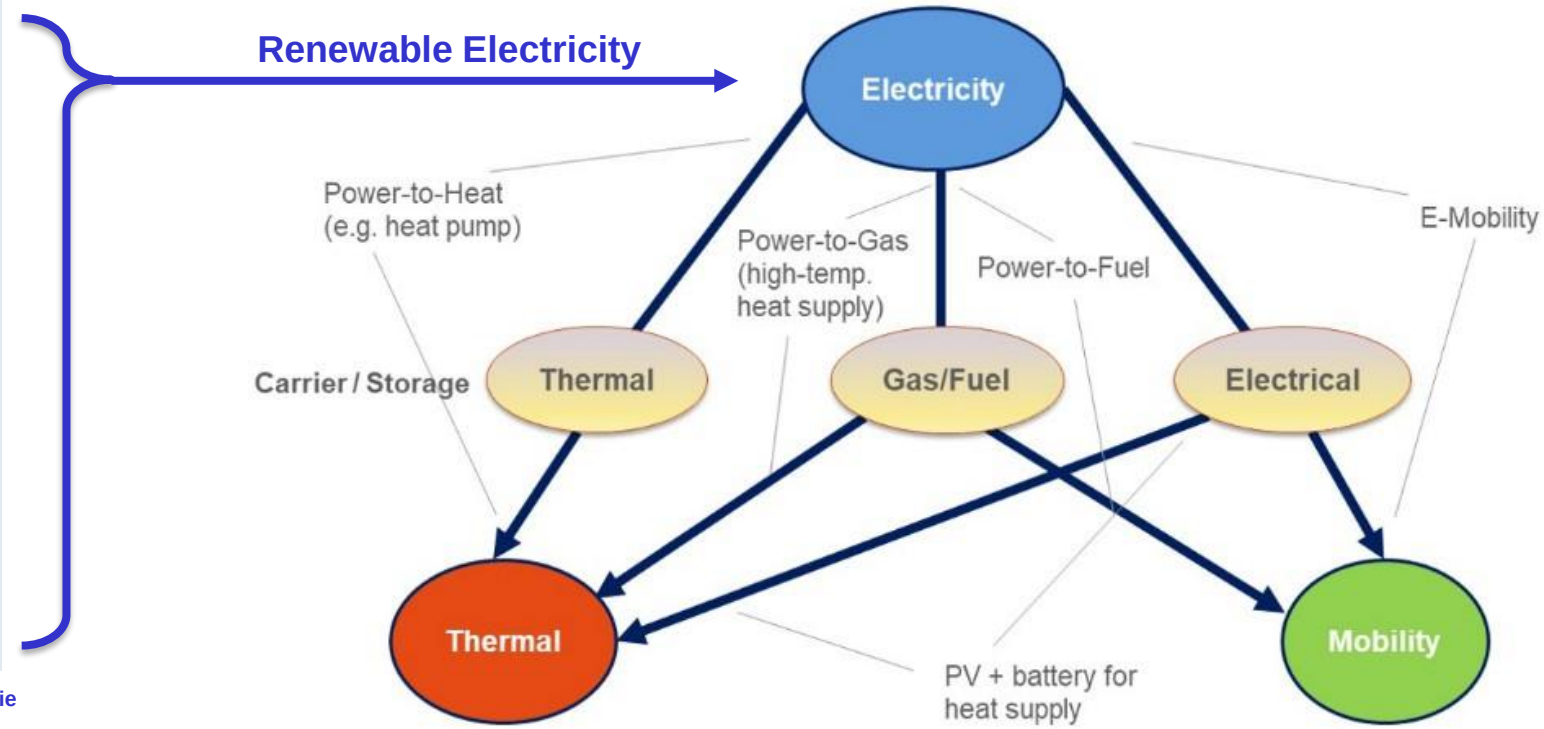
- „Flexible Sektorkopplung“: Power-to-X → EES/TES(P2H)/CES(P2G)
- Regelbarkeit, Lastverschiebung → EES/TES/CES
- …

Integration EE durch Flexible Sektorkopplung

Prognose Energiebedarf bis 2050



https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf



- *Sektorkopplung* ermöglicht die Integration EE auch im Wärme- und Mobilitätssektor
- Energiespeicher liefern die nötige zeitliche und räumliche *Flexibilität* für eine bedarfsgerechte Energiebereitstellung
- Durch flexible Sektorkopplung können sowohl der EE-Anteil als auch die Gesamt-Systemkosten verbessert werden

Welche konkreten Systemansätze und Projektbeispiele gibt es für Energiespeicher zur Steigerung der Resilienz?

Elektrische Speicher

EES: UPSP – Nachnutzung von Altbergbau als Pumpspeicher

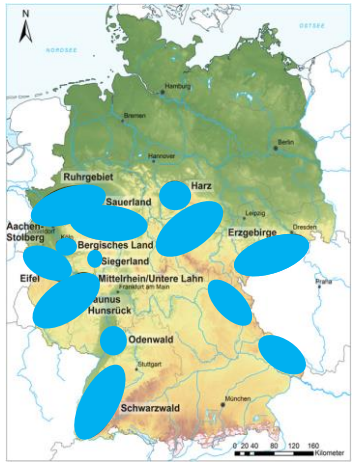
(UPSP: Cyclic Processes related to Underground Pumped Storage Power Plants)

Anwendung / Ziel:

- Altbergbau im Festgestein in Mittelgebirgen als Energiespeicher vor allem für PV und Windenergie. Untersuchung von Nutzungsmöglichkeiten und Einschränkungen
- Vorteile: geringer zusätzlicher Platzbedarf und Zusatzkosten (regionale Verbreitung bestehender Hohlräume, Anbindung an Stromnetz und Pumpentechnik zumeist vorhanden)

Speichertechnologie:

- Untertägiger Pumpspeicher
- Kapazität: ~10^5-10^6 m³
- Leistung: bis zu einigen GW
- Speicherperiode: stündlich bis jährlich
- Wirkungsgrad 70-75%
- Status: Versuchsanlagen

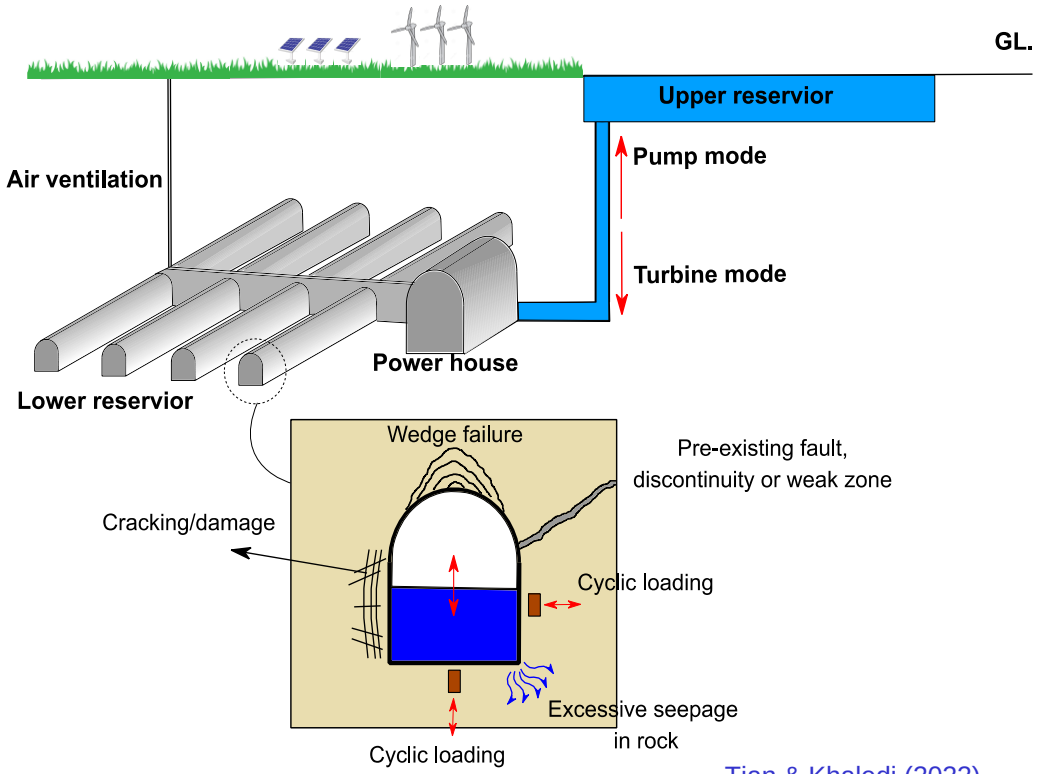


basierend auf BGR(2018)

Beitrag des Speichers zur Resilienz des Systems:

- ➢ Vorteile von obertägigen Pumpspeichern, aber weitgehend unabhängig von Trink- und Oberflächenwasser
- ➢ Dezentralisierung der Speicherinfrastruktur

Partner und Fördergesellschaften

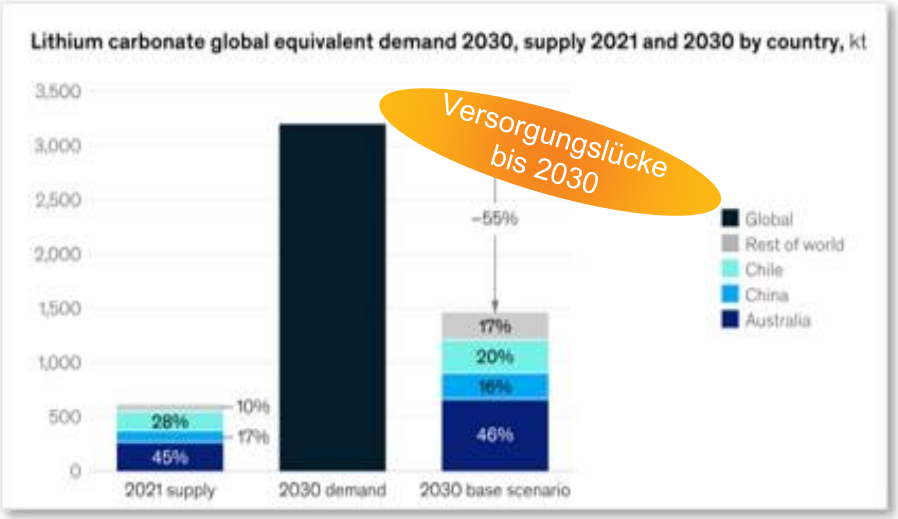


Tian & Khaledi (2022)

EES: Entwicklung von Batterietechnologien

Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz



Lithium-ion battery demand forecast for 2030 | McKinsey. W. Zhang *et al.* Approaching high-performance potassium-ion batteries via advanced design strategies and engineering. *Sci. Adv.* **5**, eaav7412 (2019).

Fraunhofer ISE
Universität Stuttgart Institut für Photovoltaik
KIT
hechinger
advanced clean production acp
StoREgio

	INFAB – Zink-Ionen-Batterien für die stationäre Energiespeicherung – Fertigung und Assemblierung Laufzeit 01/2020-12/2023; FKZ 03EI3040C; Fraunhofer ISE, ipv - Universität Stuttgart, Helmut Hechinger GmbH, acp systems AG	**PRONTO – Produktion von Natrium-Ionen-Batterien in Baden-Württemberg** Laufzeit 11/2022-12/2024; FKZ WM34-42-57/19; Fraunhofer ISE, Karlsruher Institut für Technology KIT, ipv - Universität Stuttgart
Speicher-technologie	**Zink-Ionen**-Batterie mit **wasserbasierten**, sauren Elektrolyten	**Natrium-Ionen**-Batterie mit organischen Elektrolyten bei **Raumtemperatur**
Zentrale Ziele	▪ Modellierung & Entwicklung der Zellchemie ▪ Herstellung von Prototypen ▪ Kostenberechnungen (TCO, LCA) ▪ Konzepte für Serienproduktion	▪ Materialentwicklung für Anode und Kathode ▪ Entwicklung Elektroden- und Prototypenherstellung ▪ Modellierung zur Zelloptimierung
Resilienz-beitrag	▪ Heimspeicher: Energieautarkie (z.B. mit PV) ▪ Industriespeicher: Reduktion Anschlussleistung/Netzbelastung ▪ Netzpufferung: Großspeicher möglich	▪ Heimspeicher/Industriespeicher: Netzpufferung ▪ Mobile Anwendungen: Integration in Stromnetz

https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/infab.html
https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pronto.html

Thermische Speicher

TES: LuftBlock

Hochtemperaturwärmespeicher mit innovativer Füllkörpertechnologie und Luft als Wärmeträger in der Keramikindustrie

(FKZ 03EN403A-C, Laufzeit 07/2023-06/2026, Projektpartner: Fraunhofer ISE, Kraftblock GmbH, Comet Schleiftechnik GmbH)

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Anwendung / Ziel:

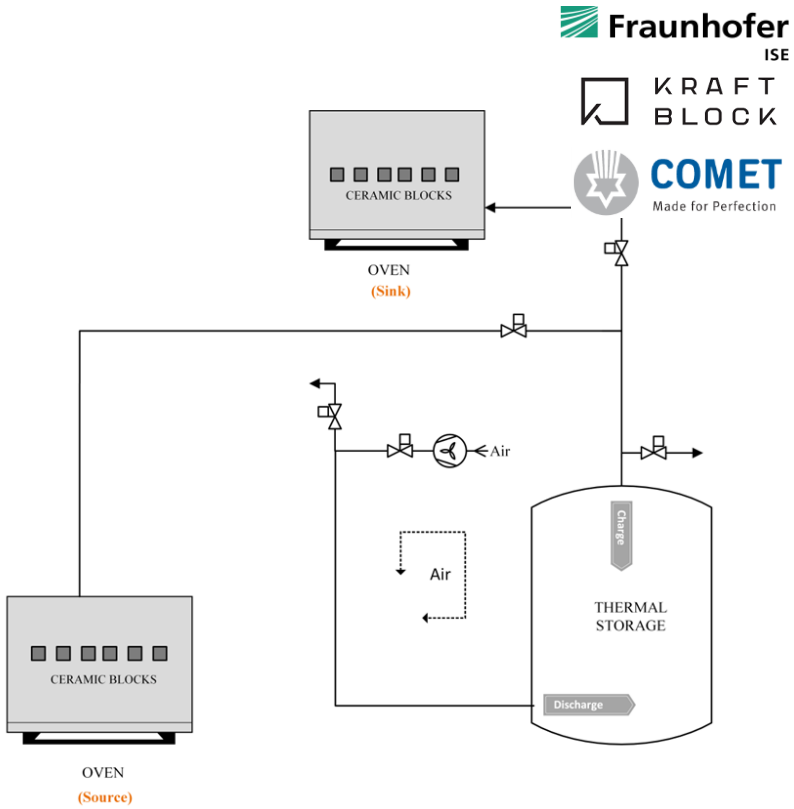
- Abwärmenutzung in der Keramikindustrie (Schleifscheibenherstellung)
- Weiterentwicklung der Speichertechnologie
- Untersuchung der thermo-mechanischen Stabilität
- Demonstration bei hohen Temperaturen

Speichertechnologie:

- Wärmespeicher mit Schüttgut als Speichermedium für Temperaturen bis 900 °C

Beitrag des Speichers zur Resilienz des Systems:

- ➢ Erhöhte Redundanz – Speicher kann als Back-up-Wärmequelle genutzt werden
- ➢ Dezentralität durch Eigenerzeugung
- ➢ Flexible Sektorkopplung durch Power-to-Heat
- ➢ Reduzierte Ressourcenabhängigkeit – Speichermaterial ist lokal verfügbar



Schematische Darstellung der Speichereinbindung

TES: Mikrogasturbinen-Kraft-Wärme-Kopplung mit integriertem strombeheizten Hochtemperaturspeicher

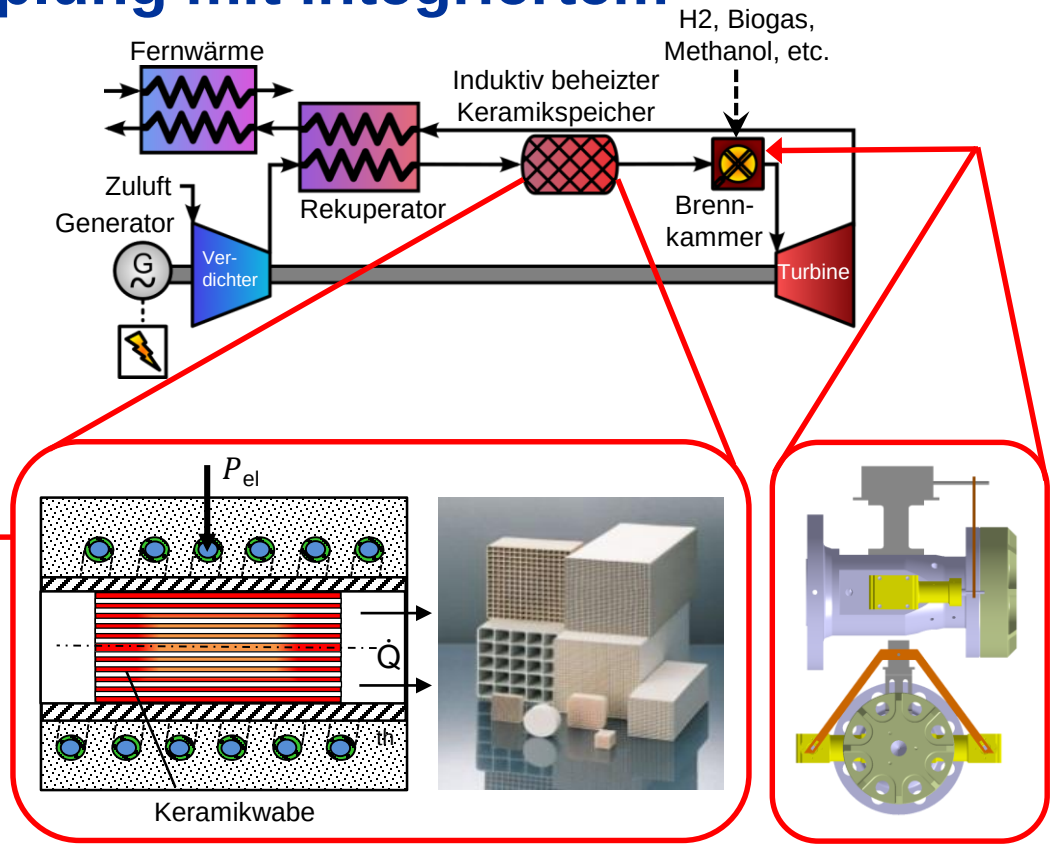
Speichertechnologie:

- Induktiver Heizer (bis 1000 °C)
- Keramikwabenspeicher (bis 1000 °C)
- Speicher-Kerngröße ca. 30 - 57 m^3 für:
  15 h bei 100 kW_{el} / 167 kW_{th} Gasturbinenleistung

Ziele/Forschungsaktivitäten:

- Numerische Prozessauslegung
- Brenner mit variabler Geometrie
- Elektrisch-induktive Hochtemperaturheizung

→ 2025 experimentelle Erprobung / virtuelle Kopplung



Beitrag des Speichers zur Resilienz des Systems:

- Zusätzliche Sektorkopplung mit zeitlicher Verschiebung
- Angebotsgerechte Brennstoff- und/oder Stromabnahme zur bedarfsgerechten Erzeugung von Wärme und/oder Strom

TES: Bio2Geo

(FKZ 03ET1593A-F, Laufzeit 10/2018-09/2021)

F&E-Einrichtungen
Unternehmen

Anwendung / Ziel: Entwicklung eines integrativen Hybridkraftwerks als Versorgungsoption für Direktabnehmer, Nah- und Fernwärme

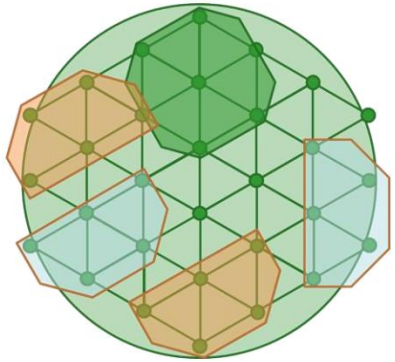
→ Link Projekt-Website: https://www.dbfz.de/bio2geo

Speichertechnologie:

- oberflächennaher geothermaler Speicher an der Biogasanlage (BGA) in Mörsdorf / Thüringen (Demonstrationsprojekt)
- nicht genutzte Wärme aus bestehender BGA wird in Erdwärmesondenfeld **saisonal** eingespeichert und anschließend verwertet z. B. Nahwärmenetz
- Speicher-Ø ca. 22 m; 30 Sonden á 30 m (28 MWh)
- Grundwassermessstelle als ausgebaute Brunnenbohrung in 71 m Tiefe

Beitrag des Speichers zur Resilienz des Systems:

- Hohe Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit auf saisonale Wärmebedarfe
- Sehr lange Lebensdauer (50 Jahre +)
- Betrieb auch ohne Überschusswärme einer BGA möglich
- Zusatzoption „passives Kühlen“ im Sommer → vielseitig, wirtschaftlich



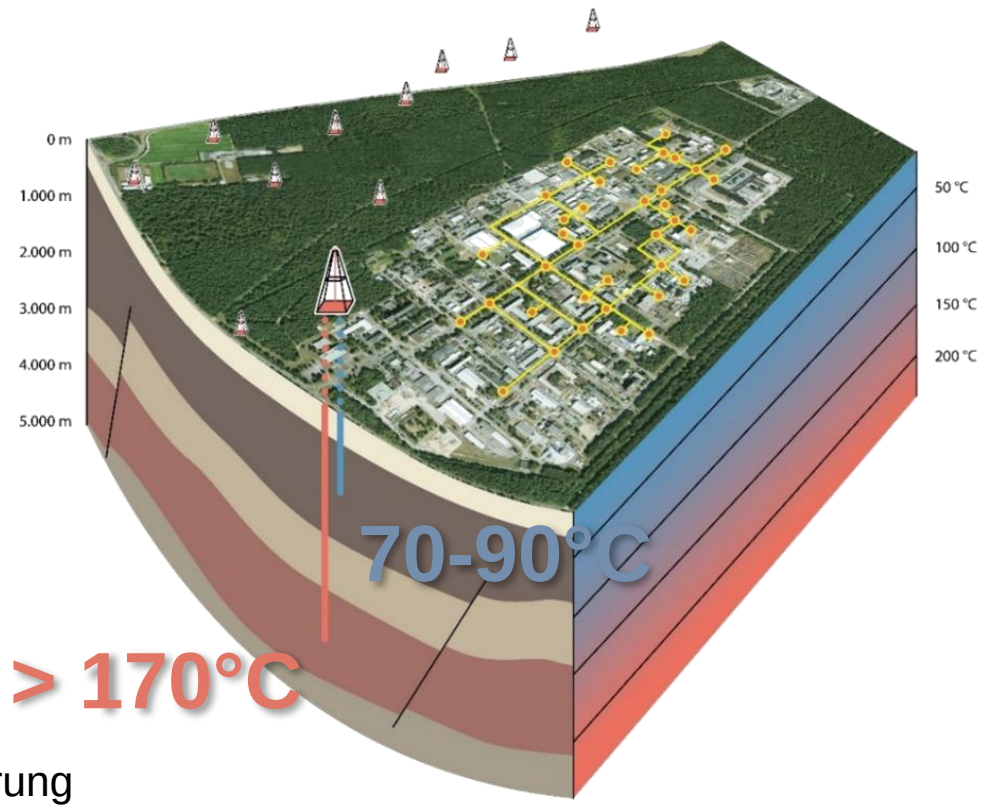
Geometrie der Sondenanordnungen
Quelle: © IAB, Abschlussbericht Bio2Geo, S. 10

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Ansicht des oberflächennahen Geothermiespeichers nach Fertigstellung
© Ingo Raufuss

TES: Geoenergiecampus

Anwendung / Ziel: Kopplung einer Wärmeversorgung aus Tiefengeothermie mit einem Hochtemperatur-Aquiferspeicher zur verlustfreien, dezentralen Versorgung.
Best-Practice am KIT-Campus Nord.



Speichertechnologie:

- HT-ATES (**H**ocht**t**emperatur **A**quifer **T**hermische **E**nergie **S**peicher)
- Technische Eckdaten:
  - Kapazitätserhöhung durch Speicher: 33,6 GWh
  - Leistungserhöhung (4 Speicher-, 2 Tiefengeothermie Bohrungen): 10 - 11 MW
  - Speicherperiode: 4 - 6 Monate

Beitrag des Speichers zur Resilienz des Systems:

➢ Steigerung des EE-Anteils an der Wärmeversorgung durch Speicherung von 25 auf > 65%

Chemische Speicher

CES: Pilot-SBG

Anwendung / Ziel: Bioressourcen und Wasserstoff zu Methan als Kraftstoff

Entwicklung von erneuerbarem fortschrittlichen Methan als Kraftstoff in Deutschland durch die erfolgreiche Pilotierung und Optimierung sowie Konzeptentwicklung für den kommerziellen Maßstab als innovationsunterstützende Dienstleistung

→ Link Projekt-Website: https://www.dbfz.de/pilot-sbg

Prozess:

- Pilotanlage in Leipzig (DBFZ) zur Demonstration eines integrierten Konzeptes von den erneuerbaren Ressourcen bis zum Methan in Kraftstoffqualität
- Katalytische Methanisierung von Biogas aus biogenen Rest- und Abfallstoffen (20 kg/d) mit Wasserstoff (7,3 m³/d) zu Methan (2,5 m³/d)

Beitrag zur Resilienz des Systems:

- ➢ Erhöhung der Speicher- und Transportfähigkeit von fluktuierenden nicht-biogenen erneuerbaren Energien sowie daraus resultierendem grünen Wasserstoff
- ➢ Optimiertes *Demand Side Management* (Simulation) zur Steigerung der Energieeffizienz sowie Reduktion und Flexibilisierung des prozessbedingten Wärme- und Strombedarfs

Ansicht vom Aufbau der Pilotanlage 03/2023 © DBFZ

Welche Herausforderungen gilt es aktuell bei der Integration von Speichern zur Steigerung der Resilienz zu überwinden?

Welche Herausforderungen gilt es aktuell bei der Integration von Speichern (zur Steigerung der Resilienz) zu überwinden?

Juristisch / Politisch:

- Regulatorische Hemmnisse: z. B. Abgaben- und Umlagensystematik
- Fehlende Anreize (z. B. flexible Stromtarife)
- …

Technisch / Ökologisch:

- Techn. Anforderungen: z. B. neue Batterieverordnung
- Technologischer Entwicklungsbedarf / Upscaling
- Systemintegration: Regelung, Standardisierung von Schnittstellen, …
- Teilweise eingeschränkte Verfügbarkeit von Speicherkenndaten
- Rohstoffe: Sicherheit, Herkunft, Verfügbarkeit, Ressourceneffizienz
- …

Ökonomisch:

- Wert von Resilienz/Flexibilität nicht beziffert/bezifferbar
- Teilweise Zusammenführung unterschiedlichster Stakeholder (div. techn. Fachrichtungen, Industrie, Behörden, etc.) nötig. Oftmals Bewertung in unterschiedlichen Zeitskalen (ROI).
- "Revenue-Stacking“
- …

Forschungsbedarf:

- Neue regulatorische Konzepte
- Forschung an alternativen Speichertechnologien
- Methoden / Ansätze für objektiven Vergleich verschiedener Speichertechnologien
  → Synergien und Nutzungskonkurrenzen identifizieren
  → z. B. Vorteile ressourcenschonender Speichertechnologien wie TES gegenüber elektrochemischen Speichern besser beziffern und kommunizieren
- …

Fazit

Energiespeicher haben eine zentrale Rolle für eine resiliente Energieversorgung:

- Energiespeicher können Energie **bedarfsgerecht** ein- und ausspeichern
- Es besteht ein **breites Portfolio verschiedener Speichertechnologien** für sämtliche Energieformen und diverse Anwendungsfälle
- Energiespeicher haben insbesondere hinsichtlich der Integration erneuerbarer Energien eine zentrale Rolle für die **flexible Sektorkopplung**
- Für **nachhaltig** resiliente Lösungen ist auch die **Ressourceneffizienz und -verfügbarkeit der Speichertechnologien** entscheidend
- Für eine höhere Verbreitung und Systemintegration gilt es, **regulatorische, technische und ökonomische Hürden** zu adressieren

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Kontaktdaten

Anna Kümmel	ZAE Bayern	anna.kuemmel@mail.de
Dr.-Ing Martin Henke	DLR	martin.henke@dlr.de
Prof. Dr.-Ing Annelies Vandersickel	DLR	annelies.vandersickel@dlr.de
Dr. Stefan Zunft	DLR	stefan.zunft@dlr.de;
Tino Barchmann	DBFZ	tino.barchmann@dbfz.de
Karin Naumann	DBFZ	karin.naumann@dbfz.de
Dr. Peter Nitz	Fraunhofer ISE	peter.nitz@ise.fraunhofer.de
Dr.-Ing Oliver Fitz	Fraunhofer ISE	oliver.fitz@ise.fraunhofer.de
Dr. Lea Eisele	Fraunhofer ISE	lea.eisele@ise.fraunhofer.de
Dr.-Ing Thomas Fluri	Fraunhofer ISE	thomas.fluri@ise.fraunhofer.de
Dr. Peter Achtziger-Zupančič	Fraunhofer IEG	peter.achtziger-zupancic@ieg.fraunhofer.de
Prof. Dr. Eva Schill	KIT	eva.schill@kit.edu