

CARNOT-BATTERIE MIT KWK

multiTESS - DER MULTIFUNKTIONALE THERMISCHE STROMSPEICHER



Bild 1: Wärmespeichersystem (große Tanks am rechten Bildrand) im Parabolrinnenkraftwerk Shagaya (Kuwait)

Quelle: ISK Group

Zum Ausgleich der Volatilität der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien unter Wahrung der Versorgungssicherheit bedarf es eines Ausbaus der Speicherkapazitäten im deutschen Stromnetz. Aktuell dominieren Pumpspeicherkraftwerke und Batteriespeicher den Markt. Trotz der bewährten Technologie ist das Potenzial für den Zubau von weiteren Pumpspeicherkraftwerken in Deutschland eingeschränkt. Andererseits ist es fraglich, ob der wachsende Speicherbedarf überwiegend durch Batteriespeicher zu vertretbaren Kosten gedeckt werden kann, da damit ein hoher Verbrauch an begrenzten Ressourcen einhergeht sowie ein hoher Bedarf in anderen Sektoren, wie z.B. der E-Mobilität, besteht. Infolgedessen wird von zahlreichen Institutionen an alternativen Speichertechnologien geforscht. Hierzu zählen neben Druckluftspeichern auch thermische Stromspeicher, für die sich der Begriff der Carnot-Batterie zu etablieren beginnt.

Benannt ist dieser Batterietyp nach dem Urvater der Thermodynamik, dem französischen Physiker Sadi Carnot (1776 bis 1832), der erstmalig den Zusammenhang zwischen Wärme und mechanischer Arbeit theoretisch beschrieb und damit einen entscheidenden Beitrag zum Siegeszug der Wärmekraftmaschinen leis-

tete. Wärmekraftmaschinen bildeten die Grundlage der industriellen Revolution. Die dort ablaufenden Kreisprozesse werden auch als Carnot-Prozesse bezeichnet. In einem solchen Prozess wird Wärme, aktuell überwiegend erzeugt durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, entweder direkt in mechanische Arbeit oder weiter in elektrischen Strom umgewandelt.

Das Thema Speicherung spielt bei fossil angetriebenen Maschinen eine untergeordnete Rolle, da der Brennstoff quasi selbst als Speicher fungiert. Anders bei solarthermischen Kraftwerken, die mit Hilfe konzentrierter Solarstrahlung klassische Kraftwerksprozesse antreiben. Solche Kraftwerke stehen in größerer Zahl im Sonnengürtel der Erde (ca. 119 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 6.2 GW¹⁾). Mit speziellen thermischen Hochtemperaturspeichern kann die eingesammelte Sonnenwärme bei hohen Temperaturen zwischengespeichert werden, anstatt sie direkt zur Stromproduktion zu verwenden (Bild 1). Dadurch gelingt eine Entkopplung von Strahlungsangebot und Stromproduktion. Die erste Anlage nach diesem Konzept wurde bereits im Jahr 2008 in Spanien in Betrieb genommen¹⁾ und arbeitet mit Flüssigsalz als Speichermedium. Das kalte und das heiße Salz werden dabei in zwei unterschiedlichen

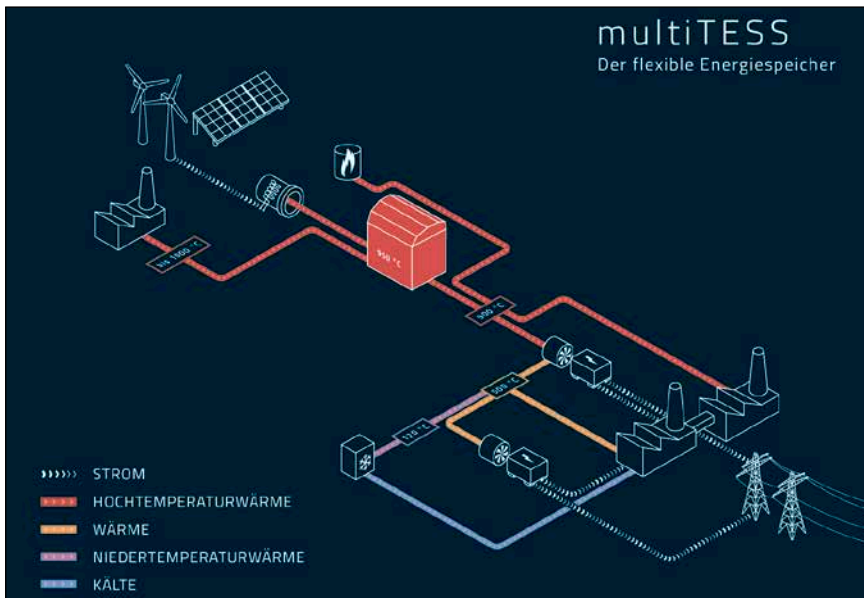
Tanks gespeichert und zum Be- und Entladen zwischen den Tanks hin- und hergepumpt. Inzwischen wird kaum ein neues solarthermisches Kraftwerk ohne einen solchen Speicher gebaut.

Vom Kraftwerk zur Batterie

Nun ist ein Kraftwerk mit Speicher noch keine Batterie. Doch der Schritt dahin ist nicht gewaltig. Dazu muss lediglich das Solarfeld durch eine Hochtemperatur-Power-to-Heat-Anlage ersetzt werden. So kann in einem solchen System nicht nur direkte Solarwärme, sondern auch sogenannter Überschussstrom aus Wind- und PV-Anlagen eingespeichert und später wieder rückverstromt werden. Für diese Art der thermischen Stromspeicherung wurde der Begriff „Carnot-Batterie“ eingeführt.

Mehrere Forschungseinrichtungen und Unternehmen arbeiten seit einigen Jahren an solchen Konzepten. Deutschlands größte und bis dahin einzige Carnot-Batterie, die den Prozess vollständig umsetzt, wurde 2019 in der Versuchsanlage ETES realisiert²⁾. Als Speichermedium wird dabei Vulkangestein eingesetzt. Dieses Material verspricht besonders kostengünstig zu sein, muss sich aber noch im Langzeitbetrieb bewähren. Die Power-to-Heat-Einheit besteht aus einem elektrischen Widerstandsheizgeräts durch den der Speicher auf bis zu 750 °C erwärmt wird. Mit der Wärme aus dem Speicher wird dann eine Dampfturbine mit einer Leistung von 1.4 MW betrieben.

Ein Nachteil des Prozesses liegt darin, dass nicht die gesamte Wärme in Arbeit oder Strom umgewandelt werden kann. Dieses wird sehr eindrücklich durch die Kühltürme von Kraftwerken symbolisiert, wo mehr als 50% der eingesetzten Wärme wieder in die Umgebung abgegeben wird, so auch beim ETES-Demonstrator. Allerdings versprechen diese Anlagen trotz geringer elektrischer Wirkungsgrade deutlich kostengünstiger als Batteriespeicher³⁾ zu sein. Darüber hinaus gibt es mehrere Ansätze, den Nutzungsgrad der Anlagen zu erhöhen. So könnte bspw. die Widerstandsheizung durch einen effizienteren Wärmepumpenprozess nach dem Joule-Prinzip ersetzt werden. Das verspricht Strom-Wirkungsgrade von bis zu 65 %⁴⁾. Bislang ist noch kein Prototyp dieses Konzepts bekannt.



Quelle: Solar-Institut Jülich, FH Aachen

Bild 2: Speicherkonzept multiTESS mit flexiblen Wärmequellen und -senken

Kraft-Wärme-Kopplung

Einen anderen Weg beschreitet das Forschungskonsortium bestehend aus dem Solar-Institut Jülich der FH Aachen und den Firmen Dürr Systems, Kraftanlagen Energies & Services und Otto Junker, die gemeinsam den multiTESS, ein multifunktionales Power-to-Heat-to-Power&Heat-Konzept, entwickeln⁵⁾. Im Zentrum steht ein thermischer Speicher bestehend aus keramischen Wabensteinen (Bild 3), welcher mit Luft als Wärmeträgermedium auf 1.000 °C aufgeladen wird. Dieses Speichermaterial wird bereits seit vielen Jahrzehnten erfolgreich in der Prozessindustrie als Speicher eingesetzt.

Die Multifunktionalität des Speicherkonzepts begründet sich in der flexiblen Wahl der Wärmequelle und -senke (Bild 2). Als Wärmequelle dient eine elektrische Widerstandsheizung, die mit Überschussstrom aus Erneuerbaren Energien betrieben werden kann. Alternativ kann auch Abwärme aus Industrieprozessen verwendet werden.

Die Wärmesenke kann je nach Bedarf ebenfalls flexibel gestaltet werden. Die Hochtemperaturwärme kann zur Stromerzeugung genutzt werden und mit einer Kaskadierung der Prozessführung ist es möglich, zudem Prozesswärme auf verschiedenen Temperaturniveaus auszukoppeln. Durch diese Art der Kraft-Wärme-Kopplung können Energienutzungsgrade von mehr als 80 Prozent erreicht werden.

Im vom BMWi geförderten Projekt TESS 2.0 wird erstmals die vollständige Nutzungskette Power-to-Heat-to-Power&Heat in Form einer Pilotanlage abgebildet (Bild 3). Für die Erzeugung der Hochtemperaturwärme bei 1.000 °C hat der Projektpartner Otto Junker ein Heizungskonzept entwickelt, das deutlich über den Stand der Technik von 750 °C hinausgeht. Die Konzeptionierung sowie der Bau des Keramikspeichers wurde durch Dürr Systems durchgeführt. Die Nutzung der gespeicherten Wärme wird in einem

dreistufigen Prozess realisiert. Die Rückverstromung ist als zweistufiger Prozess aus den Wärmekraftmaschinen Stirlingmotor und Organic-Rankine-Cycle (ORC) ausgeführt. Ferner wird Wärme bei 80 °C ausgekoppelt. Die elektrische Heizung hat eine Leistung von ca. 360 kW_{el}, der Speicher eine Kapazität von rund 1400 kWh_{th}. Beim Entladen werden ca. 60 kW elektrische und ca. 240 kW thermische Leistung ausgekoppelt. Bei größeren Anlagen kann sich die Aufteilung von Strom zu Wärme unter Verwendung anderer Wärmekraftmaschinen hin zu einer höheren Stromauskopplung verschieben.

Die Detailplanung des Anlagenkonzeptes wurde maßgeblich von der Kraftanlagen Energies & Services realisiert. Das Solar-Institut Jülich ist Initiator des Projektes, fungiert als Projektkoordinator, ist verantwortlich für das Gesamtkonzept und führt den Betrieb der Anlage sowie die wissenschaftlichen Untersuchungen durch. Die Anlage wurde im Herbst 2021 in Betrieb genommen, erste aussagekräftige Ergebnisse werden für 2022 erwartet.

Fazit

Durch ihre flexible Integration können thermische Speicher als sog. Carnot-Batterien zum Gelingen der Energiewende beitragen. Neben der reinen Stromspeicherung können sie ebenfalls für die Kraft-Wärme-Kopplung oder Prozesswärmebereitstellung eingesetzt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, sie in bestehende Kohlekraftwerke zu integrieren und diese so nach ihrer Abschaltung in CO₂-freie Speicherkraftwerke umzurüsten³⁾.

Fußnoten

- 1) <https://solarpaces.nrel.gov/>
- 2) Özdem, Lange, Hohnholz: Vom konventionellen Kohlekraftwerk zum CO₂-freien Energiespeicher (Energie-wirtschaftliche Tagesfragen, 2021)
- 3) Herrmann, Schwarzenbart, Dittmann-Gabriel: Speicher statt Kohle (BWK, 2019).
- 4) Bollinger: Malta Pumped Heat Energy Storage (Long Duration Energy Storage Workshop, 2021)
- 5) Meyer, Hänel, Beeh, Dittmann-Gabriel, Dluhosch, May, Herrmann, Dorerbeck, Högemann, Müller, Schrüfer, Schmitz: Multifunktionaler thermischer Stromspeicher für die Strom- und Wärmeversorgung der Industrie von morgen (ETG Journal, 2020).



© MWIDE NRW/M. Kusch

Bild 3: Innenansicht der multiTESS Versuchsanlage an der FH Aachen

ZUM AUTOR:

▶ Prof. Dr.-Ing. Ulf Herrmann
Solar-Institut Jülich der FH Aachen, University of Applied Sciences
herrmann@sj.fh-aachen.de