

# DIE CARNOT-BATTERIE

## WIRKUNGSGRAD VON STROM-WÄRME-STROM-SPEICHERSYSTEMEN

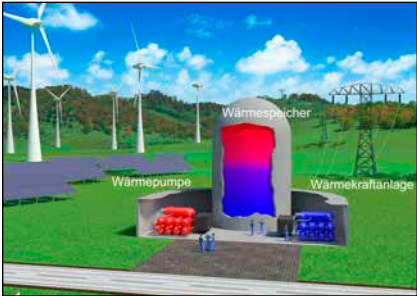


Bild 1: Die Carnot-Batterie im Verbund

Die Energiewirtschaft erlebt durch die Energiewende einen Paradigmenwechsel von einem bedarfsorientierten hin zu einem angebotsorientierten Energiesystem, das im Wesentlichen Energie aus Sonne und Wind schöpft. Das zukünftige Energiesystem könnte zu einem weitaus überwiegenden Teil auf elektrischer Energie basieren. Deren bedarfsgerechte Nutzung aus den fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen, erfordert mehr denn je deren Speicherung, auch aufgrund mangelhafter Synchronizität von Energieangebot und Energienachfrage. Die Bedeutung der Energiespeicherung für das zukünftige Energiesystem Deutschland wurde bisher unterschätzt, woraus ein erheblicher Nachholbedarf entstanden ist.

### Stromspeicher der Zukunft

Unter dem Begriff Carnot-Batterie werden momentan Systeme diskutiert, die die fluktuierenden Energien aus Sonne und Wind zunächst in elektrische Energie umwandeln und danach in leicht speicherbare Wärme, mit anschließender bedarfsgerechter Rückverstromung der gespeicherten Wärme. Dabei werden Strom-Strom-Wirkungsgrade von bis zu 70% als möglich genannt [1], [2], [3]. Nachfolgend wird belegt, dass die vorgenannten Wirkungsgrade nicht annähernd erreicht werden können.

In der Umwandlungskette macht aus Effektivitätsgründen bei der Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme nur der Einsatz von Wärmepumpen (WP) Sinn. Der direkten Umwandlung von Solarstrom in Wärme wäre die Solarthermie der Photovoltaik vorzuziehen, da die Effektivität der Photovoltaik der Solarthermie deutlich, etwa um den Faktor 3, un-

terlegen ist. Für den Umwandlungs-Teilprozess Wärme in elektrische Energie kommen Wärmekraftmaschinen (WKM) verschiedenster Bauarten in Frage.

Das angesprochene Strom-Wärme-Strom-Speichersystem, Carnot-Batterie genannt, kann mit nachfolgender Skizze schematisch dargestellt werden. Es handelt sich um ein Energiesystem bestehend aus WP, Wärmespeicher (WS) und WKM.

### Effektivität

Die Effektivität der Carnot-Batterie ergibt sich aus dem Quotienten  $W_{el,aus}$  und  $W_{el,ein}$ . Durch formale Erweiterung mit  $Q_{ein}$  und  $Q_{aus}$  erhält man ein Produkt aus Leistungsziffer der Wärmepumpe ( $Q_{ein}/W_{el,ein}$ ), Wirkungsgrad des Wärmespeichers ( $Q_{aus}/Q_{ein}$ ) und Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine ( $W_{el,aus}/Q_{aus}$ ).

$$\frac{W_{el,aus}}{W_{el,ein}} = \frac{Q_{ein}}{W_{el,ein}} \cdot \frac{Q_{aus}}{Q_{ein}} \cdot \frac{W_{el,aus}}{Q_{aus}}$$

Es ist interessant festzustellen, dass das Produkt aus Leistungsziffer der WP und Wirkungsgrad der WKM für den jeweiligen Carnot-Prozess unabhängig von den Temperaturniveaus immer kleiner als 1 ist. Um den Einfluss der tatsächlichen, verlustbehafteten Prozesse zu berücksichtigen, werden üblicherweise die Gütegrade bezogen auf den jeweiligen Carnot-Prozess verwendet. Der Wirkungsgrad des Wärmespeichers liegt unter 1.

Trifft man praxismgerechte Annahmen für die Gütegrade, so liegen die bei der Wärmepumpe zwischen 0,4 und 0,6, bei der Wärmekraftmaschine zwischen 0,5 und 0,75. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen, ergeben sich Wirkungsgrade der Carnot-Batterie unterhalb des Bereiches 0,2 bis 0,45. Werte von 0,7 sind nicht annähernd erreichbar. Werden

Hochtemperatur-WP eingesetzt, dann liegt der Wirkungsgrad der Carnot-Batterie aufgrund derer niedrigen Gütegraden [4] deutlich unter dem vorgenannten Bereich. Demnach ist der Einsatz von Hochtemperatur-WP fraglich.

Der Grund für die geringen Wirkungsgrade liegt in den hohen Exergieverlusten und damit niedrigen Gütegraden der eingesetzten Energiewandler Wärmepumpe und Niedertemperatur-Wärmekraftmaschine. Eine Beurteilung auf der Basis reversibler Prozesse nach Carnot führt zu utopisch hohen Wirkungsgraden [1], [2], [3] und ist ohne Aussagekraft für die Beurteilung realer irreversibler Prozesse.

Damit wird deutlich, dass bei der Effektivitätsbewertung energietechnischer Systeme eine exergetische Analyse mit Berücksichtigung der bei Realprozessen immer auftretenden Exergieverlusten unverzichtbar ist. Eine Beschränkung auf reversible, exergieverlustlose Prozesse ist unzulässig, da dies utopische Ergebnisse zur Folge hat.

### Literatur

- [1] Löffler, M.: Thermische Speicherung elektrischer Energie, BWK 70, 2018
- [2] Eder, S.W.: DLR arbeitet an Gigabatterie: VDI Nachrichten 4.5.2018,
- [3] Thess, A.: Die Rolle der Wärme im Energiesystem. Tagungsband FVEE-Tagung 2015
- [4] Voß, A. u.a.: Analyse des Potenzials von Industrierärmepumpen in Deutschland, IER Stuttgart

### ZUM AUTOR:

▶ Prof. Dr.-Ing. Robert Heß  
Westfälisches Energieinstitut, Westfälische Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen

Robert.Hess@w-hs.de

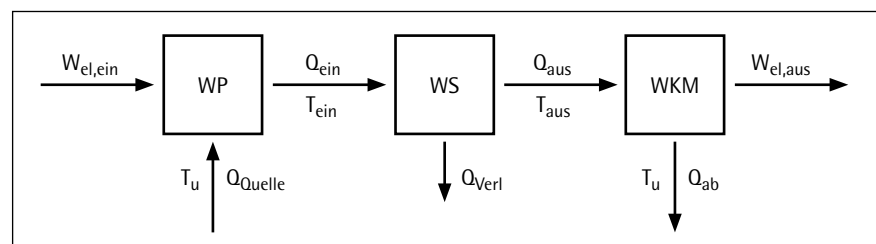


Bild 2: Das Strom-Wärme-Strom-Speichersystem aus Wärmepumpe (WP), Wärmespeicher (WS) und Wärmekraftmaschine (WKM) schematisch skizziert.