

LEBENSZYKLUSANALYSE (LCA) EINES TANK THERMAL ENERGY STORAGE (TTES)

Helene MIHATSCH^{1*}, Simon MOSER², Lukas ZEILERBAUER³

Inhalt

Thermische Energiespeicher (TES) stellen eine vielversprechende Maßnahme zur Unterstützung des Übergangs zu einer CO₂-ärmeren Fernwärmeversorgung dar. Sie tragen dazu bei, die Flexibilität und Systemstabilität von Fernwärmenetzen zu erhöhen [1] und ermöglichen zugleich, Wärmeerzeugung und Bedarf zu entkoppeln, wodurch ökonomische und ökologische Vorteile erzielt werden können [2]. Die ökologischen Auswirkungen von TES, insbesondere im Hinblick auf die Errichtung sowie Lade- und Entladevorgänge während der Betriebsphase, sind jedoch bislang kaum betrachtet worden. Insbesondere hinsichtlich des ökonomisch optimierten Einsatzes von Kraftwärmekopplungsanlagen (KWK) und des Ersatzes von CO₂- und kostenintensiven Spitzenlastkesseln gilt es, TES in Fernwärmenetzen zu bewerten. Hierfür wurde der TTES der LINZ AG herangezogen, eine Stahltankkonstruktion mit 35 000 m³ Fassungsvermögen. Ziel dieser Betrachtung ist es, auf Basis einer Lebenszyklusanalyse (LCA) einen Vergleich zwischen der Ist-Situation mit TTES und einer Situation ohne TTES durchzuführen.

Methodik

Die ökologischen Bewertungen wurden anhand der Methode der Lebenszyklusanalyse gemäß ISO 14040/14044 durchgeführt. Das Modell wurde in openLCA [3] mit der ecoinvent 3.11 Cut-off-Datenbank [4] abgebildet und in verschiedenen Szenarien analysiert. Die Systemgrenze wird durch das Fernwärmenetz definiert, und als Bezugszeitraum wird ein Jahr Wärmeaufbringung betrachtet. Die funktionelle Einheit ist 1 MWh thermische Energie, die an das Netz abgegeben wird. Diese wird entweder zwischengespeichert und dann bereitgestellt, oder andernfalls ohne Speicher direkt für das Netz erzeugt. Als Lebensdauer des Speichers werden 30 Jahre angenommen. Als Wirkungskategorie wird die ReCiPe (2016) Methode mit 100-jähriger Perspektive zu den Mittelpunktindikatoren gewählt [5]. Als Grundlage für die Energieaufbringung mit und ohne Speicher im Fernwärmenetz dient das Heat Merit Order Modell (HMO) [6]. Aus den Berechnungen der HMO ergeben sich Unterschiede in der Wärmebereitstellung pro Erzeugungseinheit mit und ohne Speicher. Ein wesentlicher Punkt der Methode zur Bewertung des Speichers liegt dabei in der Allokation der Umweltauswirkungen auf die beiden Produkte Wärme und Strom in KWK. Als erstes Szenario wurde das Modell basierend auf den definierten Prozessen der ecoinvent-Datenbank simuliert. Im nächsten Schritt wurden die Allokationsfaktoren basierend auf der Exergie-Methode und der Finnischen Methode verwendet [7]. Ein alternativer Ansatz zur Bewertung von KWK basiert auf einer Systemerweiterung mit Substitution [8], wobei der Strom, der durch das KWK erzeugt wird, durch eine Gutschrift einer anderweitigen Produktion ersetzt wird. Auch eine Allokation basierend auf der ökonomischen Verteilung zwischen den Produkten Wärme und Strom ist anwendbar.

Ergebnisse

Aufgrund der Energiemengen, die während der Lebensdauer des Speichers zwischengespeichert werden (ca. 3 TWh), sind die der Bauphase zugeschriebenen Umweltauswirkungen sehr gering. Sie belaufen sich je nach Szenario auf maximal 0,75 % der gesamten CO₂-Äquivalente. Die Ergebnisse der CO₂-Äquivalente variieren dabei deutlich zwischen den Szenarien. Sowohl für den Fall der Allokation aus der ecoinvent-Datenbank als auch für den Fall des Exergie-basierten Ansatzes zeigt sich ein ökologischer Vorteil des Einsatzes von TTES. Dieser beläuft sich jährlich auf 2280 t bzw. 2805 t eingesparte CO₂-Äquivalente. Wird die Finnische Methode zur Bewertung der KWK herangezogen, zeigt sich, dass der Betrieb des TTES keine Reduktion der Treibhausgasemissionen bewirkt, da hier Wärme aus KWK als CO₂-intensiver bewertet wird als Wärme aus Spitzenlastkesseln. Bei der

¹ Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, mihatsch@energieinstitutlinz.at, *Jungautorin

² Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, moser@energieinstitut-linz.at

³ Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, zeilerbauer@energieinstitut-linz.at

Stromsubstitution-Methode zeigt sich der größte Effekt beim Ersatz von Kohle, aber auch bei konventionellen Gaskraftwerken ergibt sich ein deutlicher Effekt. Im Szenario, bei dem das KWK Strom aus Windproduktion ersetzt, dreht die Bilanz ins Negative. Es kann abgeleitet werden:

- Der Vergleich der Szenarien macht deutlich, dass es eine Vielzahl an objektiven und nach Norm anwendbaren Bewertungsmethoden gibt, die zu divergierenden Ergebnissen führen (Abbildung 1).
- Je kleiner der Speicher im Verhältnis zur ein- bzw. ausgespeicherten Energiemenge (Zykluszahl), desto geringer der Anteil der Umweltrelevanz der Errichtung des Speichers.
- Das Laden mit Wärme aus CO₂-armen Quellen und der gleichzeitige Ersatz von CO₂-intensiven Energieträgern (für Wärme und Strom) ist essenziell für eine positive Bilanz in der Umweltdimension CO₂ (die aber nur eine von 18 bewerteten Größen ist).

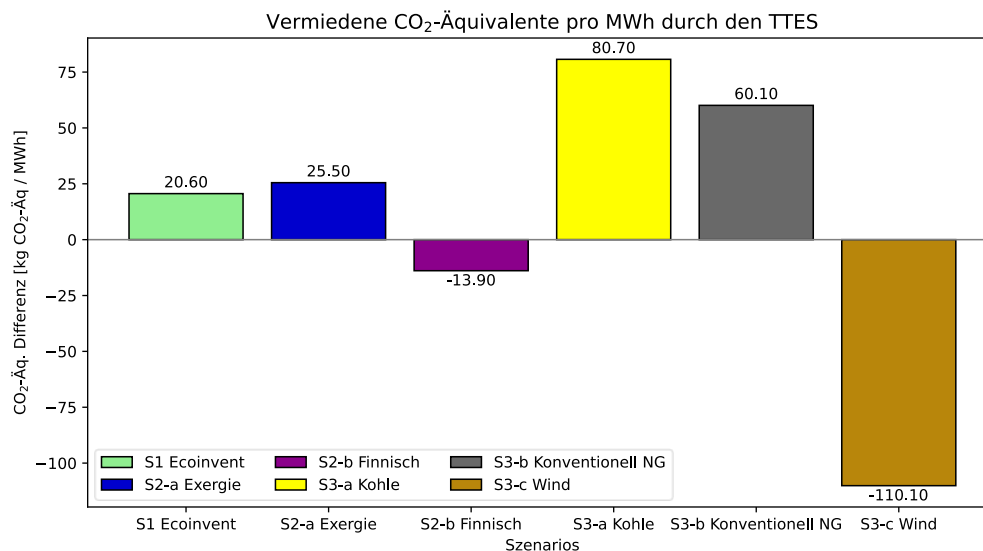


Abbildung 1 Auswirkungen von verschiedenen Allokationsmethoden von KWK für den Betrieb eines TTES, pro 1 MWh Wärme. A: Allokationsmethode, S: Substitutionsmethode.

Referenzen

- [1] T. Schmidt und P. A. Sørensen, „Monitoring Results from Large Scale Heat storages for District Heating in Denmark“, 2018.
- [2] I. Sifnaios, D. M. Sneum, A. R. Jensen, J. Fan, und R. Bramstoft, „The impact of large-scale thermal energy storage in the energy system“, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121663.
- [3] A. Ciroth, „ICT for environment in life cycle applications openLCA — A new open source software for life cycle assessment“, , doi: 10.1065/lca2007.06.337.
- [4] G. Wernet, C. Bauer, B. Steubing, J. Reinhard, E. Moreno-Ruiz, und B. Weidema, „The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology“, doi: 10.1007/s11367-016-1087-8.
- [5] M. A. Huijbregts *u. a.*, „ReCiPe 2016: a harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level report I: characterization“, 2016.
- [6] K. Rusch und S. Moser, „A new era of district heating thinking? Economic feasibility of implementing supra-regional connections of existing district heating networks“, doi: 10.1016/j.energy.2025.136664.
- [7] N. Buchenau, C. Hannen, P. Holzapfel, M. Finkbeiner, und J. Hesselbach, „Allocation of carbon dioxide emissions to the by-products of combined heat and power plants: A methodological guidance“, doi: 10.1016/j.rset.2023.100069.
- [8] J. Famiglietti *u. a.*, „Environmental Life Cycle Assessment scenarios for a district heating network. An Italian case study“, *Energy Rep.*, Bd. 7, S. 368–379, 2021.