

Dekarbonisierung von Prozesswärme mit Photovoltaik und thermischem Energiespeicher



Überblick

Im Jahre 2023 wurden 70% der gesamten industriellen Prozesswärme aus fossilen Brennstoffen erzeugt. Gleichzeitig verantwortete industrielle Hochtemperaturwärme ca. 11% der globalen CO₂-Emission. Der vorliegende Use Case zeigt, wie mit einer geeigneten Energiesystemlösung Hochtemperaturwärme CO₂-neutral erzeugt werden und damit ein maßgeblicher Beitrag zur Energiewende in der Industrie leisten kann.

Ausgangssituation

Unternehmen aus energieintensiven Industrien wie Wärmebehandlung, Oberflächentechnik, Keramik- Ziegel- oder Glasherstellung benötigen zur Herstellung ihrer Güter in der Regel Wärme auf hohem Temperaturniveau. Je nach Prozesstechnologie werden Temperaturen von 500 bis über 1000°C benötigt. Im vorliegenden Fall erzeugt ein Unternehmen Wärme für die Beschichtung von Bauteilen bei 200-500 °C größtenteils durch Verbrennung von fossilem Erdgas. Der ebenfalls teilweise für Prozesswärme eingesetzte Strom wird zu 100% aus dem Netz bezogen. Die drastischen Anstiege der Strom- und Gaspreise im Jahr 2022 bedeuteten für das Unternehmen eine Vervielfachung ihrer Energiekosten, welche sich im 6-stelligen Eurobereich bewegen.

Zielsetzung

Zielsetzung des Auftraggebers war eine alternative Energieversorgung mit deutlicher reduziertem CO₂-footprint, hoher Autarkierate und geringeren Energiekosten bei gleichzeitig akzeptabler Amortisation seiner Investition.

Die detaillierte Ist-Analyse des zeitlichen Verlaufes von Strom- und Wärmebedarf über ein komplettes Kalenderjahr bildeten die Basis für die Auswahl des optimalen Energiesystems. Darin zeigt sich eine starke Abhängigkeit des Verbrauchs davon, ob es sich um einen Arbeitstag (i.d.R. Montag bis Freitag) oder einen arbeitsfreien Tag (i.d.R. Samstag und Sonntag) handelt (Bild 1).

Um eigenen, CO₂-freien Strom mit Photovoltaik zu erzeugen, wurden geeignete Dachflächen auf dem Fabrikgelände identifiziert. Um neben dem Strombedarf auch den HT-Prozesswärmebedarf decken zu können, soll der am Wochenende nicht genutzte PV-Strom als Wärme gespeichert werden, um in der darauffolgenden Arbeitswoche zur Verfügung zu stehen.

Vorgehen

Im Schritt 1 wurde eine Photovoltaikanlage nur für den Strombedarf ausgelegt. Damit kann der Strombedarf im Sommer nahezu vollständig gedeckt wird. An arbeitsfreien Tagen wird der erzeugte Strom nicht abgenommen und ins Netz eingespeist. Der im Winter benötigte Strom

muss weiterhin größtenteils aus dem Netz bezogen werden. Damit ergibt sich in der Jahresbilanz eine Eigenverbrauchsquote von 54% und eine Autarkierate von ca. 37%. (Bild 1).

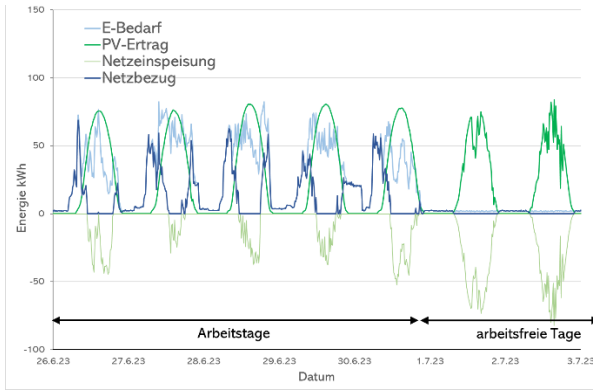


Bild 1: Auswertung des PV-Systems in einer Juni-Woche

Um auch den an arbeitsfreien Tagen vorhandenen PV-Strom selbst zu nutzen (anstatt einzuspeisen), muss dieser am Wochenende gespeichert und die gespeicherte Energie während der Arbeitswoche verbraucht werden. Rein elektrische Speicher zeigen sich bei Speicherkapazitäten im MWh-Bereich nach wie vor als immens teuer. Stattdessen wurde im Schritt 2 ein Konzept mit einem großen Hochtemperatur-Wärmespeicher, ergänzt um einem kleinen Batteriespeicher, ausgelegt. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Prozesswärme im Ausgangszustand bereits elektrisch (Fall 1) oder mit Gas (Fall 2) erzeugt wird.

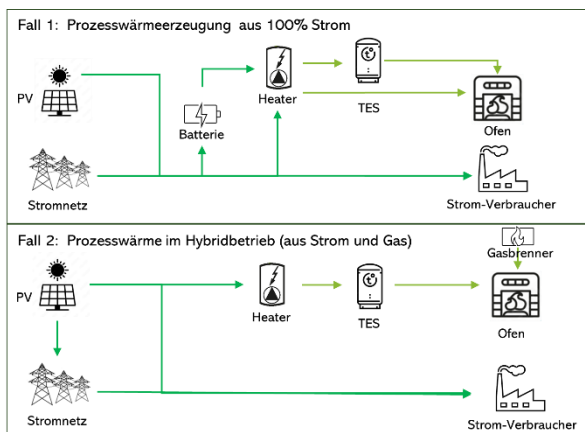


Bild 2: System mit PV und hybridem PV HT- Speicher

Im Fall 1 wird der Ofen durch Wärme aus dem Speicher – oder falls nicht ausreichend vorhanden – direkt vom Heater versorgt. Im Fall 2 wird der Ofen ebenfalls primär durch den Speicher versorgt. Falls dieser nicht ausreichend Wärme

liefern kann, wird zusätzlich Gas verbrannt. Fall 1 bietet das größte Potenzial hinsichtlich Kosteneinsparung (Strom ist teuer als Gas), Fall 2 bietet das größte Potenzial hinsichtlich CO₂-Einsparung (Netzstrom ist bereits zu 60% CO₂-neutral). Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen wurden die Systemkomponenten *Heater*, *TES* und *Batterie* so dimensioniert, dass sich hinsichtlich Wirtschaftlichkeit ein Optimum ergibt.

Ergebnisse

Im Fall 1 kann durch entsprechende Systemoptimierung erreicht werden, dass der Strombedarf des Heaters zu 82% aus dem bisherigen Einspeisestrom (im Fall nur mit PV) gedeckt wird. Dieser Anteil der HT-Wärme wird damit zum Preis der Einspeisevergütung (hier: 8 ct/kWh) gedeckt. Die Eigenverbrauchsquote kann auf 88%, der Autarkiegrad auf 47% gesteigert werden.

Im Fall 2 gelingt es, den Gasanteil zur HT-Wärmeversorgung von 100% auf 36% zu senken. Solange die Einspeisevergütung geringer als der Gasspreis ist, ergeben sich auch in diesem Fall Energiekosteneinsparungen.

Bild 3 zeigt die erzielbaren Energiekosteneinsparungen in beiden Fällen (Fall 1 = Strom, Fall 2 = Hybrid) in Abhängigkeit von Strom- und Gaspreis.

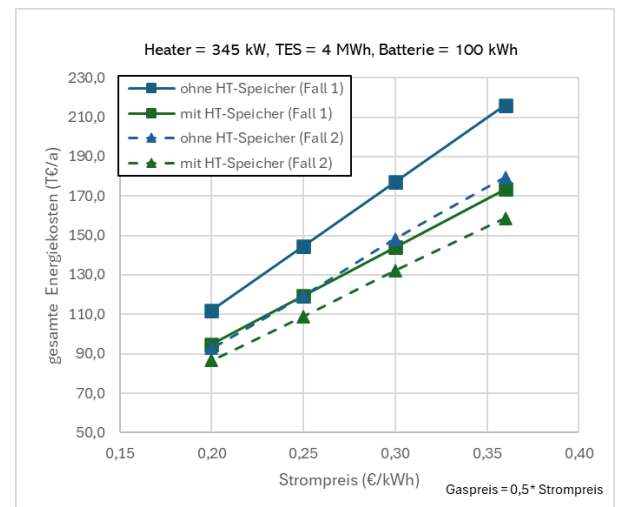


Bild 3: Gesamtenergiekosten mit u. ohne HT-Speicher

Verglichen mit den abgeschätzten Investitionskosten des Speichersystems

(Gesamtinvestitionskosten aus *Heater*, *TES* und *Batterie*), zeigt sich bei den aktuell hohen Energiepreisen des Unternehmens (langfristige Versicherungsverträge aus dem Krisenjahr 2022) eine hohe Wirtschaftlichkeit mit schneller Amortisation. Bei fallenden Energiepreisen bleibt die Investition wirtschaftlich, die Amortisationszeit verlängert sich aber (Bild 4).

Umsetzung der Dekarbonisierung der Prozesswärme starten.

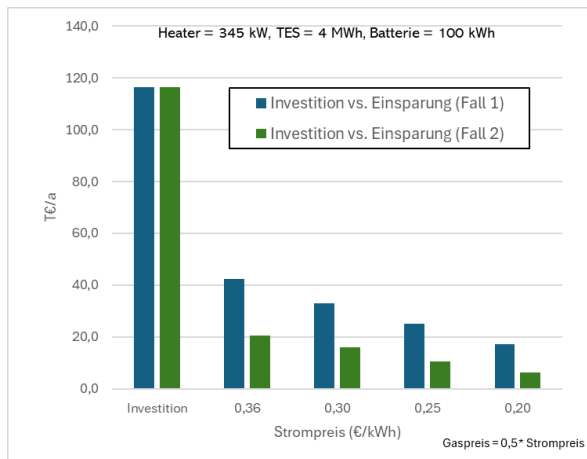


Bild 4: Investitionskosten vs. Betriebskosteneinsparung

Schlussfolgerung

Der vorliegende Fall zeigt, dass ein System mit Hochtemperaturspeicher auf Basis von regenerativ erzeugtem Strom eine geeignete Lösung darstellt, um bis dato fossil erzeugte Prozesswärme zu dekarbonisieren.

Damit werden nicht nur CO₂-Emissionen eingespart, sondern gleichzeitig die Energiekosten des Unternehmens gesenkt. Mit dem verwendeten System kann Hochtemperaturwärme bis ca. 1000°C elektrifiziert und gespeichert werden. In vielen Fällen ergibt sich damit eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zur wasserstoffbasierten Prozesswärmebereitstellung. Die Einspareffekte können weiter vergrößert werden wenn der für die Wärmeerzeugung zur Verfügung stehende Anteil des PV-Stroms vergrößert wird (geringerer Stromverbrauch oder größere PV-Anlage)

Realisierungsstand

Die PV-Anlage befindet sich aktuell im Aufbau (Q2/2024). In der 2. Jahreshälfte soll eine Pilotanlage zur Erprobung des Hochtemperaturspeicherkonzepts in Betrieb gehen. Auf Basis einer erfolgreichen Erprobung kann dann die