

POTENTIALANALYSE DER NUTZUNG TRANSKRITISCHER CO₂-PROZESSE ZUR FERN- UND INDUSTRIEWÄRMEBEREITSTELLUNG IN NORDRHEIN-WESTFALEN

Nils PETERSEN¹, Thomas POLKLAS, Tobias SIEKER, Emmanuel JACQUEMOUD, Thomas BEXTEN, Mario RESTELLI, Manfred WIRSUM, Philipp JENNY

Inhalt

Zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele ist neben einer Transformation der Stromerzeugungslandschaft auch eine Dekarbonisierung des Wärmesektors notwendig. Global gesehen ist der Wärmesektor für mehr als die Hälfte des gesamten Endenergiebedarfs verantwortlich, wobei aktuell nur ca. 10 % durch erneuerbare Energien bereitgestellt wird [1]. Durch Elektrifizierung dieses Anteils und Nutzung von regenerativ erzeugtem Strom mittels z. B. Power-to-Heat (PtH) Technologien können die Treibhausgasemissionen des Wärmesektors signifikant reduziert werden [2]. Vor allem elektrisch betriebene Wärmepumpen können aufgrund hoher Leistungszahlen ein Vielfaches der elektrischen Energie in Form von nutzbarer Wärme bereitstellen. Eine vielversprechende Lösung sind Wärmepumpen, die mit transkritischen CO₂-Prozessen betrieben werden. Die besondere Eigenschaft von CO₂ als Arbeitsfluid im Vergleich zu anderen Fluiden liegt in der Möglichkeit der Wärmebereitstellung bei Temperaturen jenseits von 120 °C bei gleichzeitiger sicherheitstechnischer und ökologischer Unbedenklichkeit des Arbeitsmittels. Das obere Temperaturniveau ist somit geeignet, Fernwärme oder Teile der industriellen Prozesswärme bereit zu stellen, die bisher vorwiegend durch den Einsatz fossiler Brennstoffe erzeugt wurde.

Ein Beispiel für die Nutzung transkritischer CO₂-Prozesse stellt das ETES-System der Firma MAN Energy Solutions dar. Eine Besonderheit dieses Systems ist, dass es neben der effizienten Wärme- und Kältebereitstellung auch eine Möglichkeit zur Stromspeicherung bietet (ETES = Electro-thermal Energy Storage). Der Stromspeicherbetrieb wird durch eine Speicherung der von der Wärmepumpe erzeugten Wärme und Kälte und bedarfsgerechte Rückverstromung in einer Wärmekraftmaschine realisiert.

Im Rahmen einer vom Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) geförderten Studie wurde u.a. eine detaillierte Potentialanalyse für Anwendungsszenarien und Standorte eines ETES-Systems in NRW durchgeführt. Im vorliegenden Dokument sollen ausgewählte Ergebnisse dieser Studie vorgestellt werden, die auf die Nutzung des ETES-Systems als Wärmepumpe zur Wärme- und Kältebereitstellung abzielen. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf die Auswirkungen der aktuellen und ggf. zukünftigen nationalen energiewirtschaftlichen Randbedingungen auf die Wirtschaftlichkeit solcher Systeme gegeben.

Methodik

Auf Grundlage eines zuvor definierten Maschinen- und Prozessgrundkonzeptes wurde ein stationäres Prozessmodell entwickelt, um die wesentlichen Betriebs- und Auslegungsparameter einer ETES-Gesamtanlage berechnen zu können. Parallel dazu wurden die relevanten Energiebedarfe und Temperaturniveaus verschiedener Industriebranchen (inkl. deren Subbranchen und ausgewählten Prozessen), Fernwärmenetze und Kälteabnehmer im Raum NRW recherchiert. Hierbei wurde insbesondere zwischen Raumwärme/Warmwasser, Prozesswärme, Klimakälte sowie Prozesskälte unterschieden und die entsprechenden Wärme-zu-Kälte-Verhältnisse ermittelt. Die Ergebnisse dieser Recherche wurden in einer interaktiven Karte zusammengefasst und dienen als Grundlage für die Bestimmung der Randbedingungen für die potentielle Implementierung eines ETES-Systems. Diese Informationen, die zwar auf in NRW-ansässige Unternehmen bezogen, aber aufgrund der diversen Industrielandschaft in NRW auch auf andere Regionen übertragen werden können, wurden in einem

¹ Zusatzinformationen des Korrespondenz-Autors: Anschrift: Mathieustraße 9, 52074 Aachen; Telefon: +4924126725; E-Mail: petersen@ikdg.rwth-aachen.de; Web: ikdg.rwth-aachen.de; Nachwuchsautor

folgenden Schritt mit den Spezifikationen des ETES-Systems abgeglichen und zu einer abschließenden Potentialbewertung zusammengefasst.

Ergebnisse

Die Analyse der Temperaturniveaus und Energiebedarfe von Industriebranchen zeigt, dass sich neben der Bereitstellung von Fernwärme insbesondere Anwendungen in der Autoindustrie, Chemieindustrie, Kunststoffindustrie, Papierindustrie und die Lebensmittelbranche für den Einsatz eines ETES-Systems eignen.

Dies ist unter anderem darin begründet, dass die Wärme- und Kältebedarfe im für das ETES-System passenden Temperaturbereich und in hinreichend großer Menge vorliegen sollten. Dies stellt sicher, dass die Wärmepumpe, bei der Turbomaschinen zum Einsatz kommen, eine bestimmte Mindestgröße nicht unterschreitet. Des Weiteren liegen in diesen Industriebranchen häufig sensible Aufheizvorgänge eines Wärmeträgermediums (z. B. von Wasser oder Luft) vor, die aufgrund des gleitenden Temperaturübergangs auf der wärmeabgebenden Seite des ETES-Systems exergetisch besonders günstig sind. Auffällig ist, dass das Wärme-zu-Kälte-Verhältnis zugunsten der Wärmeseite ausfällt, sodass das System aufgrund der Prozessführung generell für den Kältebedarf ausgelegt werden sollte.

Als vielversprechendster Anwendungsfall kann die Lebensmittelbranche identifiziert werden, in der circa 90 % der Gesamtwärme bei Temperaturen unterhalb von 120 °C auftritt sowie ein verhältnismäßig kleines Wärme-zu-Kälte-Verhältnis von ungefähr 6 vorliegt. Darüber hinaus bietet die Papierindustrie die Möglichkeit, 96 % (Wärme \leq 120 °C) bzw. 98 % (Wärme \leq 180 °C) des Gesamtwärmebedarfs durch ein ETES-System bereitzustellen.

Die Integrationsmöglichkeit des ETES-Systems hängt stark von der örtlichen Ausführung des bestehenden Wärmeversorgungssystems ab. Unter anderem werden bisher kostengünstige Gaskessel oder KWK-Anlagen für die Dampfproduktion genutzt, auch wenn die benötigten Temperaturen weit unterhalb der erzielten Feuerungstemperaturen liegen. Wenn solche Systeme vorliegen, kann das ETES-System nicht ohne Anpassungen in die bestehende Industrieinfrastruktur integriert werden, da sich die Dampferzeugung durch das ETES-System nicht anbietet. Sollte jedoch eine Heißwasserschleife genutzt werden können, stellt das ETES-System eine gute Möglichkeit dar, bestehende Wärmeinfrastruktur durch eine klimaneutrale Lösung zu ersetzen.

Der Coefficient of Performance (COP) des ETES-Systems hängt wie die Integrationsmöglichkeit stark von den örtlichen Randbedingungen ab und liegt im Bereich zwischen 2 (nur Heißwasser) bis 8 (bei Nutzung von Hochtemperatur- und Niedertemperaturwärme sowie Kälte).

Zusammenfassend zeigt die Analyse, dass es in Nordrhein-Westfalen aufgrund der vielfältigen Industrielandschaft ein großes Integrationspotential für ein ETES-System gibt, diese sich jedoch in Bezug auf den COP des Systems in Abhängigkeit der am Standort gegebenen Randbedingungen stark unterscheiden können. Deshalb können die vorgestellten Ergebnisse nur dem theoretischen Potential gerecht werden. Eine umfassende Aussage über individuelle Potentiale kann im Nachhinein nur mithilfe von detaillierten Informationen des Produktionsstandortes getroffen werden.

Referenzen

- [1] REN21: RENEWABLES 2021. GLOBAL STATUS REPORT. Available online at https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf.
- [2] Madeddu, Silvia; Ueckerdt, Falko; Pehl, Michaja; Peterseim, Juergen; Lord, Michael; Kumar, Karthik Ajith et al. (2020): The CO₂ reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (power-to-heat). In *Environmental Research Letters* 15 (12), p. 124004. DOI: 10.1088/1748-9326/abbd02.