

Industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpen

Nachhaltige Bereitstellung von Prozessvorlauf-Temperaturen größer 100 °C

Vivien Klein,
Combitherm GmbH,
Fellbach

Der kontinuierliche Anstieg des CO₂-Anteils in der Atmosphäre ist die treibende Kraft der Energie- und Wärmewende. Mit der Einführung der CO₂-Bepreisung für die Sektoren Wärme und Verkehr im Jahr 2021 und den Änderungen der ARUG II und der DCGK, welche die Vorstandsvergütung von börsenorientierten Aktiengesellschaften auf eine nachhaltige und langfristige Unternehmensentwicklung auslegen, rückt die effizient arbeitende Industrierärmepumpe immer mehr in den Vordergrund. Besonderer Fokus liegt dabei auf der Hochtemperatur-Wärmepumpe.

Energie und Wärme sind ein wichtiger Bestandteil unserer Gesellschaft sowie unserer Wirtschaft. Für die Erzeugung dieser Energie/Wärme werden seit Jahrhunderten konventionelle Energieträger wie Erdgas, Erdöl und Kohle genutzt. Da diese fossilen Energieträger kohlenstoffhaltige Substanzen sind, werden bei ihrer Verbrennung große Mengen an CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt. Als Treibgas verstärkt dieses den Treibhauseffekt. Die begrenzte Verfügbarkeit fossiler Energieträger und der kontinuierliche Anstieg des Anteils an CO₂-Emissionen in unserer Atmosphäre sind die treibenden Kräfte für das Erreichen der Klimaziele. Auch in der Politik ist die Dringlichkeit zum Handeln angekommen. Verschiedenste politische Rahmenbedingungen sind gesetzt. So beschloss die Bundesregierung, ab 2021 eine CO₂-Bepreisung von zunächst 25 € pro ausgestoßener Tonne CO₂ einzuführen. Der Ausstoß von Emissionen beim Heizen und Autofahren erhält über einen nationalen Zertifikate-Emissionshandel einen Preis. Bis zum Jahr 2025 wird eine Tonne CO₂ bis zu 55 € kosten. Nach dieser Einführungsphase soll der Preis mit einer begrenzten Anzahl zu erwerbenden Zertifikaten über Angebot und Nachfrage gebildet werden. Eine weitere Notwendigkeit zum Handeln ergibt sich durch die Änderung des Gesetzes zur Umsetzung der zweiten Aktionärsrichtlinie (ARUG II) und der daraus resultierenden, überarbeiteten Fassung des Deutschen Corporate Governance Kodex (DCGK). Börsenorientierte Aktiengesellschaften werden darüber verpflichtet, die Vergütungsstruktur von Vorstand und Aufsichtsrat auf eine „nachhaltige und lang-

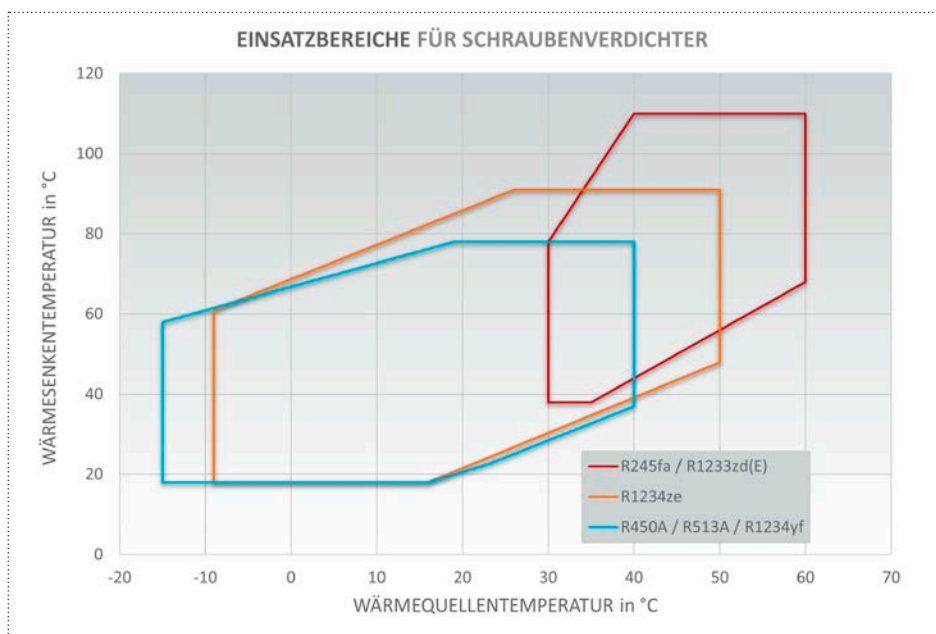


Abbildung 1: Einsatzgrenzen von Schraubenverdichtern hinsichtlich verschiedener Kältemittel

fristige Entwicklung der Gesellschaft“ auszurichten. Konkret bedeutet das, die Gehälter von Konzernchefs zukünftig auch von ihren Anstrengungen hinsichtlich des Klimaschutzes abhängig zu machen. Durch diese politischen Beschlüsse wird die Nutzung klimaschonender Technologien wie der Hochtemperatur-Wärmepumpe um einiges vorteilhafter. Besonders in der Industrie kann sie als nachhaltige Alternative zu konventionellen Wärmeerzeugern eingesetzt werden und zur Dekarbonisierung des Wärmesektors beitragen. Mit dem von der Combitherm GmbH (www.combitherm.de) entwickelten Konzept ist es möglich, Temperaturen von größer 100 °C, wie sie für verschiedene industrielle Prozesse oftmals

benötigt werden, effizient zu erzeugen. Die Hochtemperatur-Wärmepumpen verfügen dabei über eine Heizleistung zwischen 50 bis 2.500 kW. Die Standardanlagen decken einen Bereich von -15 °C Wärmequellen-Eintrittstemperatur bis +110 °C Wärmesenken-Austrittstemperatur ab. Für andere Temperaturbereiche stehen Sonderlösungen bereit.

Potenziale und Anwendungsgebiete

Der Einsatz von Hochtemperatur-Wärmepumpen ist abhängig von der Wärmequelle (Verdampfer) und der Wärmesenke (Verflüssiger). Für eine ausfallsichere Erzeugung der Prozesswärme ist eine stabile Wärmequelle wichtig, die keiner jahreszeitlichen Schwan-

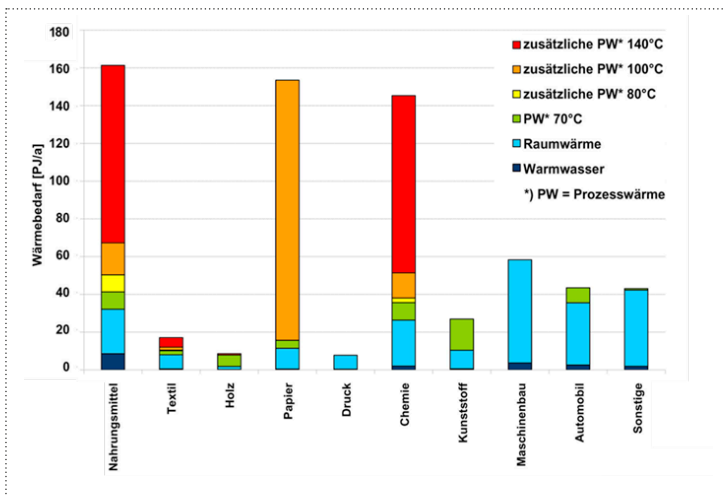


Abbildung 2: Wärmebedarf und Temperaturniveau verschiedener Industrien [1]

kung unterliegt. Daher scheiden natürliche Wärmequellen wie Luft und Erdreich weitgehend aus. Die Hauptanwendung der Hochtemperaturen fokussiert sich auf die Wärmerückgewinnung von Abwärme industrieller Prozesse. Anstatt die Prozessabwärme ungenutzt an die Umgebung abzugeben, kann sie durch Hochtemperatur-Wärmepumpen rückgewonnen und dem Prozess erneut zugeführt werden. Alternativ kann die rückgewonnene Wärme in Nah- oder Fernwärmenetze eingespeist und zur Bereitstellung von Frischwasser genutzt werden.

Abwärme auf einem für Hochtemperatur-Wärmepumpen nutzbaren Niveau liegt oftmals bei industriellen Prozessen wie dem Sterilisieren, Trocknen oder Bleichen in der Lebensmittel-, Metall- oder Papierindustrie vor. Auch Abwärme aus Rechenzentren gerät zunehmend in den Fokus. Eine Studie des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) an der Universität Stuttgart schlüsselt verschiedene Industrie-sektoren nach ihrem jährlichen Wärmebedarf und den dabei benötigten Prozesswärmepumpen-Temperaturen auf. Daraus geht hervor, dass ein hinreichendes Potenzial für die Einbindung von industriellen Wärmepumpen im Hochtemperaturbereich besteht.

Konstruktionskriterien

Hauptkriterien für den effektiven Einsatz einer Hochtemperatur-Wärmepumpe sind die Leistungszahl und die Amortisationszeit. Je höher die Leistungszahl, desto attraktiver der Einsatz einer Wärmepumpe. Aus Erfahrungen bereits installierter Anlagen hat sich eine Jahresarbeitszahl von größer 3,0

als praktikable Grenze herauskristallisiert. Die Amortisationszeit sollte unter Berücksichtigung des Life-Cycle-Konzepts innerhalb von sechs bis acht Jahren liegen, bei Großanlagen oder ideellen Ansätzen auch länger. Um die Wirtschaftlichkeit der Hochtemperatur-Wärmepumpe einzuschätzen, kann als Richtwert die Differenz zwischen Wärmequellen-Eintrittstemperatur am Verdampfer und Wärmesenken-Austrittstemperatur am Verflüssiger herangezogen werden: Ist die mittlere Differenz über den Jahresverlauf größer 60 K, wird die Jahresarbeitszahl wahrscheinlich unter 3,0 liegen. Bei einer Differenz kleiner 60 K kann von guten Betriebsbedingungen ausgegangen werden. Ein weiteres Kriterium für den effizienten Einsatz solcher Anlagen stellt der Kältemittelverdichter dar. Dieser muss in der Lage sein, die hohen auftretenden Druckdifferenzen zu überwinden. Grundsätzlich sind alle üblichen Verdichterbauarten wie Scroll, Kolben, Schraube und mehrstufige Turbos für Hochtemperatur-Anwendungen denkbar, jedoch haben sich Verdrängungsverdichter wie der Kolben oder die Schraube hinsichtlich Energieeffizienz und mechanischer Stabilität als vorteilhafter herausgestellt. Auch die thermische Stabilität spielt eine große Rolle. Bedingt durch die hohe Verflüssigungstemperaturen ergeben sich in der Folge hohe Druckgastemperaturen, welche bei der Konstruktion und Materialauswahl zu berücksichtigen sind. Ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Konzeption von Hochtemperatur-Wärmepumpen spielt die Wahl des Kältemittels und des Öls. Aufgrund der temperaturbedingt

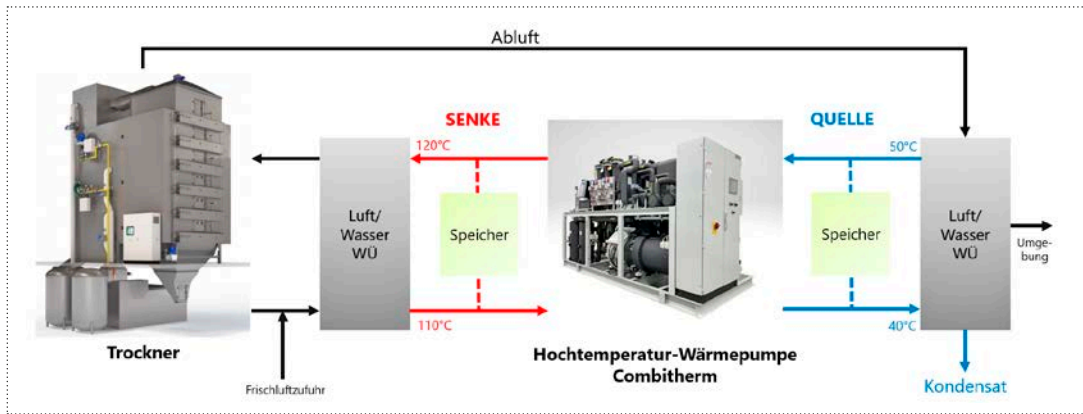


Abbildung 3: Einbindung einer Hochtemperatur-Wärmepumpe in den Trocknungsprozess eines Tierfuttermittelherstellers

hohen Drucklage auf der Verflüssigerseite bietet sich die Verwendung eines Niederdruckkältemittels an. Gefahren durch hohe Drücke können so verringert werden. Soweit möglich empfiehlt sich der Einsatz eines sowohl für den Menschen als auch die Umwelt ungefährlichen Kältemittels mit hoher kritischer Temperatur. Um effizient arbeiten zu können, sollte diese min. 20 K über der geforderten Prozesswasser-Vorlauftemperatur liegen. Zusätzlich sind günstige thermodynamische Eigenschaften, besonders hohe volumetrische Heizleistungen wie beispielsweise bei R1233zd(E), vorteilhaft. Die Auswahl des Öls erfolgt dabei in Abhängigkeit des Kältemittels. Neben der Verträglichkeit und Viskosität ist auch hier die thermische Stabilität von Bedeutung. Eine Verkokung des Öls bei den hohen Druckgastemperaturen gilt es unbedingt zu vermeiden.

Beispiel: Einbindung in einen industriellen Trocknungsprozess

Aufgrund des breiten Temperaturbereichs von Trocknungsprozessen in der Lebensmittelindustrie bietet sich eine solche Anwendung besonders für die Einbindung einer Hochtemperatur-Wärmepumpe an. Abbildung 3 zeigt ein mögliches Konzept der Wärmerückgewinnung. Die aus dem Trocknungsprozess entstehende, nicht ohne Wei-

Abbildung 4: Hochtemperatur-Wärmepumpe zur Bereitstellung von Vorlauftemperaturen größer 100 °C



Bezeichnung nach ASHRAE	Kritische Temperatur in °C	GWP	Sicherheitsklasse
R1234yf	94,7	4	A2L
R1234ze(E)	109,4	7	A2L
R134a	101,1	1430	A1
R245fa	154,0	1030	B1
R1233zd(E)	166,5	4,5	A1
R1336mzz(Z)	171,3	9	A1
R365mfc	186,9	794	A2
R236fa	124,9	9810	A1
R600	152,0	4	A3
R600a	134,7	3	A3
R601	196,6	5	A3
R717	132,3	0	B2L
R744	31,0	1	A1
R718	373,9	0	A1

Tabelle 1: Übersicht verschiedener Kältemittel

teres nutzbare Abluft wird über Zwischenkreise rückgewonnen. Dabei kann durch die Hochtemperatur-Wärmepumpe ein doppelter Nutzen aus der Abwärme gezogen werden. Zum einen wird die Temperatur auf ein nutzbares Niveau angehoben, bei welchem die entstehende Wärme dem Prozess erneut zugeführt werden kann. Gleichzeitig wird die Abluft über Luft-Wasser-Wärmeübertrager zum Teil kondensiert und in das Verbrauchernetz des Industriebetriebs in Form von kaltem Prozesswasser eingespeist. Mit gleichzeitigem Heizen und Kühlen können die Einsatzgrenzen der Großwärmepumpe optimal und effizient ausgenutzt werden. Anstatt die rückgewonnene Wärme in den industriellen Prozess einzuspeisen, könnte die Wärme alternativ für das Beheizen oder die Frischwassererzeugung nahegelegener Stadtquartiere genutzt werden.

Fazit

Zusammenfassend können folgende Kriterien für Hochtemperatur-Wärmepumpen festgehalten werden:

- › Hochtemperatur-Wärmepumpen finden überwiegend im industriellen Bereich zur Wärmerückgewinnung Anwendung.
- › Kontinuierlich zur Verfügung stehende Wärmequellen bei nutzbarem Temperaturniveau sind für einen ausfallsicheren Betrieb essenziell.
- › Die Wärmesenke ist nutzungsdefiniert und stellt damit einen gegebenen, unveränderlichen Parameter dar.
- › Die Temperaturdifferenz zwischen Wärmesenke und -quelle sollte bei <60 K liegen, bei Nutzung von Heizen und Kühlen auch höher.
- › Die Herstellung von Hochtemperatur-Wärmepumpe erfordert ein hohes Qualitätsniveau und hohe Flexibilität.

Quelle

[1] Wolf, S.; Fahl, U.; Blesl, M.; Voß, A.; Jakobs, R.: Analyse des Potenzials von Industriewärmepumpen in Deutschland. Forschungsbericht des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart: <https://bit.ly/3vBUQhT> (2014), S. 22