

Adsorptionskältemaschinen auf dem Vormarsch

Standardanwendungen beweisen ihre Praxistauglichkeit

Walter Schindler,
Klima- und Anlagentechnik Schindler GmbH,
Henstedt-Ulzburg

Wurden die ersten Anlagen mit Adsorptionskältemaschinen noch 2010 als Prototypen und im Rahmen von Forschungsprojekten gebaut (siehe KKA Großkälteheft 2010, „Wärme ist Antrieb für Kälte“), so kann man mittlerweile beobachten, dass Anlagen mit Adsorptionskältemaschinen mehr und mehr in allgemein üblichen Anwendungen ihren Platz finden.

Im Gegensatz zu Absorptionskältemaschinen benötigen Adsorptionskältemaschinen relativ niedrige Temperaturen für die Antriebswärme und eignen sich deshalb in sehr viel mehr Fällen zur Nutzung von Abwärme. Schon 55 °C warmes Wasser reicht aus, um Kälteleistung zu erzeugen, 65 - 85 °C sind für die volle Leistung dieser Kältemaschinen ausreichend. Auf der Kaltwasserseite sind Vorlauftemperaturen bis herunter auf 5 °C machbar, beste Ergebnisse bringen die Maschinen im Bereich um 10 °C. Dadurch ist die Adsorptionskältetechnik einsetzbar für normale Klimaanlage, auch mit Entfeuchtungsfunktion, und für technische Prozesse in Industrie und Gewerbe.

Wirtschaftlichkeit

Die Motivation, statt einer üblichen Kompressionskältemaschine eine neuartige Adsorptionskältemaschine einzusetzen,

kommt häufig aus rein wirtschaftlichen Überlegungen. Ob dies immer richtig ist, könnte man aus einer ökologischen Sicht heraus in Frage stellen. Tatsache jedoch ist, dass im Zuge der Anlagenplanung mit Adsorptionskältetechnik so gut wie immer eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung zu erstellen ist. Und das ist sicher auch richtig so, da eine Adsorptionskältemaschine ein Mehrfaches dessen kostet, was eine Kompressionskältemaschine mit vergleichbarer Kälteleistung kostet.

Das Ergebnis dieser Wirtschaftlichkeitsberechnungen wird stark von diesen Faktoren beeinflusst:

BEREITSTELLUNGS- UND VERBRAUCHSKOSTEN FÜR DIE ANTRIEBSENERGIE DER KÄLTEMASCHINE:

› Als Antriebsenergie für die Adsorption dient heißes Wasser. Je nach Art und Ent-

fernung der Wärmequelle können die Kosten für den hydraulischen Anschluss und die Erzeugung der Antriebswärme stark unterschiedlich sein.

› Auch bei der elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschine können hier erhebliche Kosten entstehen. Wenn z.B. eine Elektroinspeisung für den Betriebs- und/oder Anlaufstrom des Kältemittelverdichters nicht stark genug ist und eine neue Einspeisung aufgebaut werden muss.

ANZAHL DER JAHRESBETRIEBSSTUNDEN:

› Die höheren Investkosten für eine Adsorptionskältemaschine müssen sich über die geringeren Betriebskosten amortisieren. Geringe Jahresnutzungsdauern führen dann zu sehr langen Amortisationszeiten.

ZINSSATZ DER FINANZIERUNGSKOSTEN:

› Der meist große Vorteil in den Energieverbrauchsdaten bei der Adsorptionstechnik wird durch die Finanzierungskosten zum Teil wieder aufgeessen.

Auslegungsfall Biogastrocknung

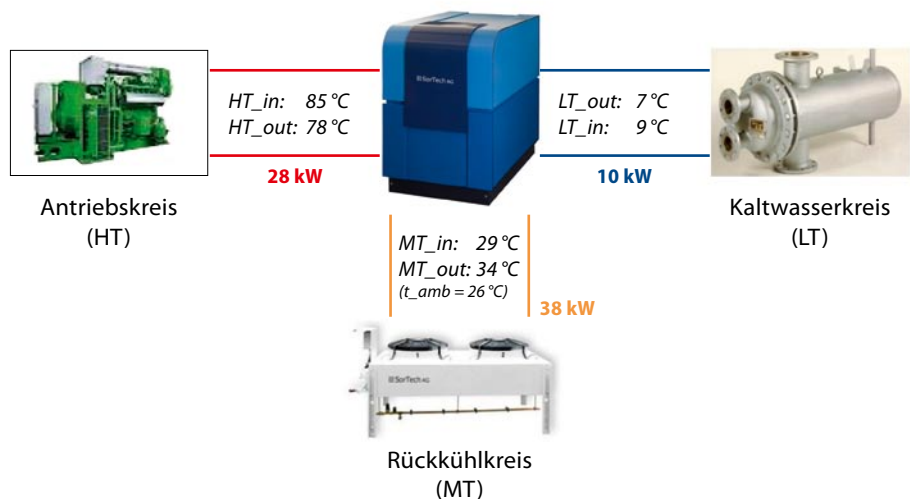


Bild 1: Aufbau einer Anlage mit Adsorptionskältemaschine; die Antriebsenergie ist heißes Wasser, in diesem Beispiel aus einem Blockheizkraftwerk. Über den Rückkühlkreis werden die verbrauchte Antriebswärme und die dem zu kühlenden Prozess entnommene Wärmemenge an die Außenluft abgeführt.

Die Tabelle auf der Folgeseite zeigt ein Beispiel einer solchen Wirtschaftlichkeitsberechnung. Die Anwendung ist hier die Kühlung von Biogas zur Trocknung des Gases. Als Antriebsenergie wird die Abwärme aus dem Blockheizkraftwerk (BHKW) der Biogasanlage genutzt. Verglichen wird eine Kompressionskältemaschine mit einer Adsorptionskältemaschine mit Freikühlfunktion über den Rückkühler („Sowieso“-Kosten, die bei beiden Anlagentypen auftreten, sind hier nicht berücksichtigt.).

In diesem Fall eines Biogaskühlers zeigt die detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung also tatsächlich, dass die Adsorptionskältemaschine bei Vorhandensein der richtigen

Wirtschaftlichkeitsvergleich von Kompressionskältemaschine vs. Adsorber

	Einheit	Kompressions-KM monovalent	Adsorptions-KM monovalent (+FK)
Performance Maschine			
Gesamt-Kälteleistung	kW		10,00
Kompressions-KM	kW	10,00	
Adsorptions-KM	kW		10,00
EER Kompressions-KM (Jahresmittel)	-	3,8	
EER Adsorptions-KM inkl. TK (Jahresmittel)	-		15
Wärmeverhältnis (Jahresmittel)	-		0,63
spez. Verbräuche			
Elektroenergie KKM	kW	2,6	
Elektroenergie AdKM	kW		0,014
Elektroenergie Peripherie	kW	0,5	0,67
Wärmeenergie	kW		16
Wasser	m³/a		0
Investitionskosten			
Kompressions-KM	€	4200	
Adsorptions-KM	€		15 500
Rückkühler	€		5100
Adaption BHKW	€		1000
Transport & Einbringung	€	100	600
Inbetriebnahme	€	750	750
Summe Investitionskosten	€	5050	22 950
Nutzercharakteristik			
Vollbenutzungsstunden KKM	h/a	8760	0
Vollbenutzungsstunden AdKM	h/a	0	8760
Verbrauchspreise			
Arbeitspreis Elektro	€/kWh		0,17
Leistungspreis Elektro	€/a	24	5
Verrechnungspreis Elektro	€/a	55	30
Wärmegestehungskosten	€/kWh	0	0
Wasser (ohne Abwasser)	€/m	0	0
Kapitalrelevante Größen			
Zinssatz	%		4,5
Nutzungsdauer	a		15
Annuitätssatz	%	9,31	9,31
Preissteigerung Elektroenergie	%		8,5
Verbräuche, absolut			
Elektroenergie	kWh	27 663	5963
Wärmeenergie	kWh	0	139 048
Wasser	m³	0	0
Erzeugte Kälteenergie			
aus KKM	kWh/a	87 600	0
aus AdKM + FK	kWh/a	0	87 600
Betriebskosten			
Elektroenergie	€/a	4781	1049
Wärme	€/a	0	0
Wartung / Service KKM	€/a	500	0
Wartung / Service AdKM	€/a	0	600
Wasser	€/a	0	0
Summe jährliche Betriebskosten	€/a	5281	1649
zzgl. Gemittelte Preissteigerung Elektroenergie	€	1084	238
Kapitaldienst			
Kapitalgebunden Kosten	€/a	470	2137
Jährl. Gesamtkosten Kälteerzeugung	€/a	6835	4023
spezif. Kälteerzeugungskosten	€/kWh	0,078	0,046
Kostenvorteil im Betrachtungszeitraum 15 Jahre	€		42 183

Tabelle: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Rahmenbedingungen der elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschine in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit weit überlegen ist. Dabei ist einer der wesentlichen Parameter, der Arbeitspreis für Elektroenergie, mit 17 Cent/kWh hier noch vorsichtig geschätzt, ebenso dessen mittlere jährliche Preissteigerung von 8,5 %.

Resümee: Gute Wirtschaftlichkeit bei richtigen Rahmenbedingungen

Bei sorgfältiger Planung und der richtigen Anwendung haben die Adsorptionskältemaschinen große Vorteile und werden sicher ihren Vormarsch auf dem Kältetechnikmarkt machen. Auch wenn es um eine rein hydraulische Anlage geht, ist der Kältetechniker auf der Seite des Kühlprozesses und der Kaltwasserseite gefragt. Die ersten Praxiserfahrungen mit Adsorptionskälteanlagen haben gezeigt, dass der Kältetechniker bei wesentlichen Teilen der Planung und Ausführung gebraucht wird.

Die möglichen wirtschaftlichen Vorteile beim Einsatz einer Adsorptionskältemaschine kehren sich ins Gegenteil, wenn eine ungünstige Anwendung oder unpassende Rahmenbedingungen vorliegen. So lassen sich die höheren Investitionskosten nicht in annehmbarer Zeit durch die Einsparung von Stromkosten amortisieren, wenn die Anlage nur wenige Wochen im Jahr genutzt wird. Auch hohe Kosten für die zum Antrieb der Kältemaschine notwendige Wärmemenge können eine wirtschaftliche Nutzung der Anlage unmöglich machen.

Bei diesen Rahmenbedingungen kann die Adsorptionskältetechnik große Vorteile bringen:

- › Ganzjähriger Bedarf an Kälteleistung im Klima-Temperaturbereich (z.B. Rechenzentren, Biogasanlagen o.ä.)
- › Kostenfreie Abwärme als Antriebsenergie verfügbar (BHKW, Produktionsabwärme, Fernwärme, überschüssige Solaranlagenwärme usw.)

Praxisbeispiel: Neustrukturierung Laborbereich der Rudolf Hensel GmbH

Im Zuge einer Erweiterung der Büro- und Laborflächen sollte bei der Rudolf Hensel GmbH in Börnsen bei Hamburg ein ehemaliger Laborbereich neu strukturiert und erweitert werden. Wegen zusätzlicher Büroräume und weil sich die gesamte neue Nutzfläche im Obergeschoss unter einem Flachdach mit großen Oberlichtern befindet, wurde für diesen Bereich eine Klimaanlage vorgesehen. Die Raumkühlung sollte über Klimakonvektoren und wassergekühlte Deckenkassettengeräte erfolgen. Als Aufstellraum für die Kältemaschinen stand nur ein direkt an die Büro- und Laborräume angrenzender Bereich zur Verfügung, weswegen die Schallemissionen der Kältemaschinen zu beachten waren.

Der Betrieb besitzt ein Blockheizkraftwerk mit 157 kW Wärmeleistung und 90 kW elektrischer Leistung. Beide Energieformen werden ständig in der Produktion und im Winter werden große Wärmemengen zur Gebäudeheizung genutzt. Zusätzlich gibt es im Keller einen ca. 80 m³ großen Prozesswasserspeicher, der im Sommer für die Prozesskühlung ungünstig hohe Temperaturen erreichte. Bis zum Umbau blieben im Sommer überschüssige Wärmemengen ungenutzt.



Bild 2: Zwei Adsorptionskältemaschinen mit in Summe 30 kW Nennkälteleistung



Bild 3: Labor mit Klimakonvektoren

Um die Nutzung des Blockheizkraftwerks weiter auszubauen, entschied sich die technische Leitung der Rudolf Hensel GmbH für den Einsatz von Adsorptionskältemaschinen für die Klimaanlage und zur Kühlung des Prozesswasserspeichers. Diese brachten auch den Vorteil mit sich, fast geräuschlos zu arbeiten. So war es ohne weitere Maßnahmen möglich, diese Kältemaschinen in der Nähe der Büros aufzustellen.



Bild 4: Prozesswasserspeicher im Keller mit an HT-Rohren aufgehängten Edelstahl-Wellschläuchen als Wärmeübertrager



Bild 5: Rückkühler der Adsorptionskältemaschinen mit energiesparenden EC-Ventilatormotoren

Trotz der fehlenden Ganzjahresnutzung der Anlage ergibt sich für die Fa. Rudolf Hensel eine positive Wirtschaftlichkeit durch den Einsatz der Adsorptionskältemaschinen. Dies liegt auch an der ganz konsequent eingehaltenen Strategie, alle Komponenten der Anlage nach höchstmöglicher Energieeffizienz auszuwählen. Dazu gehören

- › Rückkühler mit EC-Ventilatormotoren,
- › Hocheffizienzpumpen,
- › genau berechnete Rohrleitungsdimensionierung.

Projektbeteiligte Neustrukturierung Laborbereich Rudolf Hensel GmbH, Börnsen:

- › *Wirtschaftlichkeitsrechnung und Hydraulikplanung: Ingenieurbüro green engineers, Leipzig*
- › *Klimatechnik, Elektrotechnik, Regelungstechnik: Fa. Klima- und Anlagentechnik Schindler GmbH, Henstedt-Ulzburg*
- › *Adsorptionskältemaschinen: Fa. SorTech AG, Halle*
- › *Klimakonvektoren und Deckenklimakassetten: Fa. Rhoss Deutschland GmbH*

Planung der Hydraulikkreise

Um eine Adsorptionskälteanlage mit ihren drei hydraulischen Kreisen, dem Antriebskreis, dem Rückkühlkreis und dem Kaltwasserkreis, effizient und betriebssicher auslegen zu können, sind Erfahrung und genaue Kenntnisse dieser Technik notwendig. Schon geringe Fehler in der Auslegung oder Ausführung und dadurch verursachte falsche Werte der Massenströme können die Leistung der Anlage empfindlich stören. Hier sollte man immer ein mit dieser Technik vertrautes Planungsbüro hinzuziehen.

Bild 6 zeigt vereinfacht das Hydraulikschema der Anlage bei der Firma Rudolf Hensel.

Nach der Montage der Verrohrung wurde mit Hilfe einer Ultraschall-Mengenmessung jeder Strang hydraulisch abgeglichen und die Druckverluste wurden eingestellt. Erst nach Korrektur kleiner Ausführungsfehler stellten sich die richtigen Massenströme ein und die Anlage konnte die geplante Kälteleistung erbringen.

Elektrische Steuerung und Regelungstechnik

Alle Verbraucher der gesamten Kälte- und Klimatechnik in der Anlage sind einphasige Verbraucher. Die größte elektrische Leistung kann der Rückkühler aufnehmen. Die Kältemaschinen selbst benötigen nur wenige Watt zur Steuerung der Ventile und für den internen Mikroprozessorregler. Die Berücksichtigung großer Anlaufströme, wie sie beim Start eines Verdichtermotors auftreten, entfällt. Die Regelung der Kältemaschinen, die Verwaltung der Pumpen und die automatische lastgeführte Umschaltung des Kühlbetriebs von Klimakühlung auf Prozesswasserkühlung befinden sich zusammen mit der kleindimensionierten elektrischen Verteilung für

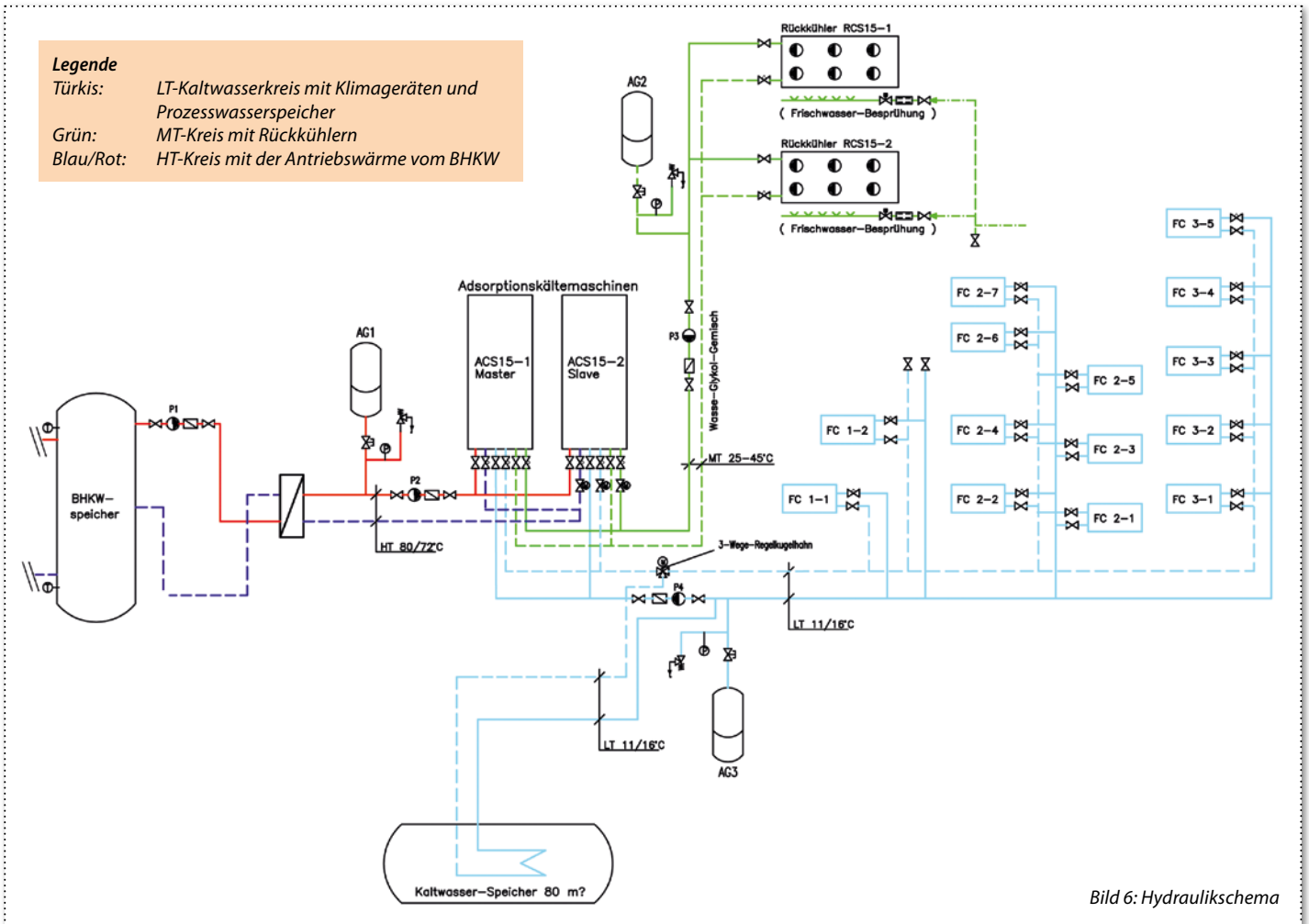


Bild 6: Hydraulikschema

alle elektrischen Kälte- und Klimakomponenten in einem gemeinsamen Schaltkasten. Die Rückkühler werden über die interne Regelung der Adsorptionskältemaschine selbst gesteuert und konsumieren so nur so viel Elektroenergie, wie zwingend für den



Bild 7: Verrohrung mit den drei Hocheffizienzpumpen und Verbindung in den Keller zum Prozesswasserspeicher

Adsorptionsprozess erforderlich ist. Die Klimatisierung der Büro- und Laborräume hat in dieser Anlage Vorrang vor der Kühlung des Prozesswasserspeichers. Die Regelung erfasst über einen separaten Regler, ob die Klimageräte noch Leistung abfordern. Ist das nicht mehr der Fall, schaltet die Regelung den Kaltwasservorlauf zur Kühlung des Prozesswasserspeichers um. Im Teillastfall wird eine der beiden Kältemaschinen abgeschaltet und über Motorventile hydraulisch abgesperrt. Die selbstregelnden Pumpen reduzieren dann automatisch ihre Leistungsaufnahme.

Fazit

War vor zwei Jahren der Ausblick bezüglich der Zukunft der Adsorptionskältetechnik noch nicht ganz ohne Zweifel, so kann man heute sagen, dass diese Technik ihren Platz finden wird. Die Entwicklung der Energiepreise trägt ihres zum Erfolg dieser Maschinen bei. Jeder wird dies persönlich beim Blick auf die Tank- und Stromrechnung (im Vergleich zu vor zwei Jahren) nachempfinden können.



Bild 8: Schaltkasten mit Steuerung und Regelung. Die gesamte Elektroverteilung für Kältemaschinen, Rückkühler, Pumpen und alle Klimageräte, die Pumpen- und Ventilsteuerung, automatische lastabhängige Funktionsumschaltung, Teillaststeuerung für die Slave-Kältemaschine und die Temperaturregelung sind hier enthalten.

Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig, müssen aber auch sorgfältig vor Projektbeginn geprüft werden. Nicht jedes potentielle Projekt ist für thermische Kühlung geeignet. Bei richtiger Planung und Ausführung kann der Betreiber jedoch große Vorteile für sich verbuchen. Das gute Zusammenspiel von Planer, Installationsfirma und Klima-/Kältetechniker ist hier besonders entscheidend für den Erfolg.