



Dipl.-Ing. Klaus Hartmann,
Prokurist und Direktor
Qualität und Training,
Carrier GmbH, Unterschleißheim.

Am 22. Mai des letzten Jahres wurde die Turbokältemaschine 75 Jahre alt. Sie entstand aus dem Verlangen der Industrie nach einer leistungsfähigen und einfachen Maschine für große Kälteleistungen. Die 1922 von dem genialen amerikanischen Konstrukteur Dr. Willis H. Carrier entwickelte kompakte Turbokältemaschine sollte zunächst nur zur Kühlung großer Wassermengen für Klimaanlagen in Textilfabriken, Theatern, Verwaltungsgebäuden, Hotels usw. dienen.

Es zeigte sich jedoch schon vor dem Zweiten Weltkrieg nicht nur in der chemischen Industrie ein wachsender Bedarf an Kältemaschinen, die in der Lage waren, große Kälteleistungen bei immer tieferen Verdampfungstemperaturen zu erzeugen: ein nahezu ideales Einsatzgebiet für die Turbokältemaschine.

Nachfolgend werden einige typische Anwendungen beschrieben und mit teilweise nostalgischen Fotos die 75jährige Entwicklungsgeschichte nachgezeichnet.

Turbokältemaschinen für industrielle Prozesse

Klaus Hartmann, München

Fortsetzung aus KK 2/98

Verflüssigung von Erdgasen

Das jüngste Betätigungsfeld der Kälteindustrie ist die Verflüssigung von Erdgasen. Um die Lagertanks druckfrei oder nur unter geringem Überdruck halten zu können, werden die Erdgase bei einer dem gewünschten Druck entsprechenden Temperatur verflüssigt, gekühlt und auf diesem Temperaturniveau gehalten.

Großanlagen dieser Art sind in den Ölfeldern von Texas, Venezuela und im Mittleren Osten in Betrieb. Vielfach werden auch die nach diesem Kondensationsprinzip arbeitenden Turbokälteeinheiten auf Flüssiggastankern eingesetzt.

Eine Teilansicht der großen Raffinerie und der Erdgasverflüssigungsanlage in Kuwait zeigt Abb. 11. Die beiden Turbokältemaschinen dienen zur Verflüssigung von Butan und Propan. Die sehr großen Gasmengen, welche hier bis in 2000 m Tiefe unter der Erdoberfläche vorkommen, wurden bis zum Einsatz

der sechs Turbokältemaschinen verbrannt. Zwei Maschinen in der höchsten Temperaturstufe dienen zur Trennung der Hauptbestandteile des Erdgases, das 76 % Butan, 23 % Propan und als Reste Äthan und Methan enthält. In der mittleren Temperaturstufe bewirkt je eine Einheit die druckfreie Lagerung der Flüssiggase, und in der tiefsten Temperaturstufe werden die Flüssiggase unterkühlt, um zu ermöglichen, daß sie die beim Füllen der Tanker anfallende Wärme aufnehmen können, ohne zu verdampfen.

Das Kondensationsystem mittels Turbokälteanlagen kommt aber auch bereits in den Prozessen der Raffinerien vor. Abb. 12 stellt das Schema einer in Italien gebauten mehrstufigen Verflüssigungsanlage dar. Die drei Temperaturstufen werden mit einem zweistufigen und zwei dreistufigen R 12-Turbokompressoren bewältigt, die in Serie geschaltet sind. In der tiefsten Temperaturstufe wird Erdgas, das überwie-

Abb. 11 Turbokälteanlage zur Verflüssigung von Erdgas in Kuwait.



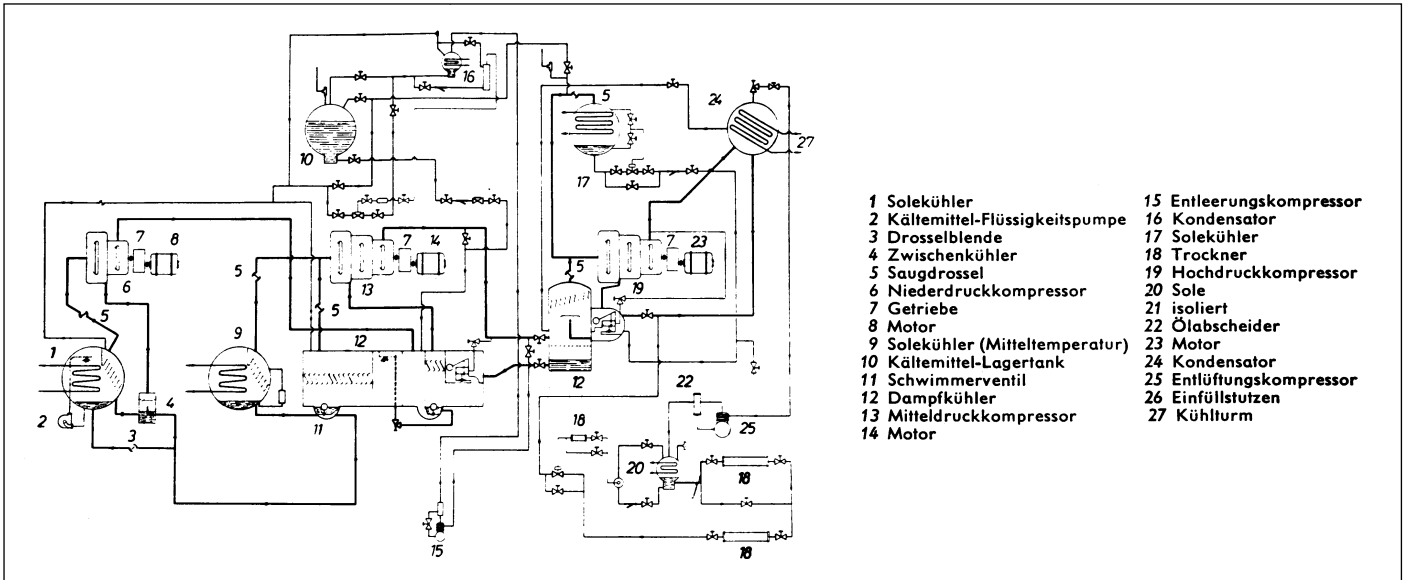


Abb. 12 Mehrstufige Verflüssigungsanlage mit Turboverdichtern in einer Raffinerie.

gend aus Äthylen besteht, bei -77°C verflüssigt. In der mittleren Temperaturstufe wird Erdgas, das jedoch einen etwas geringeren Äthylen-Anteil aufweist, bei -58°C kondensiert. Der Verflüssiger in der Hochdruckstufe dient zur Kondensation eines Propan-Propylen-Gemisches bei -21°C . Die ganze Kälteanlage wurde so bemessen, daß der Energiebedarf so klein wie möglich ist. Deshalb ist der Verflüssiger in der untersten Stufe mit einer Kältemittel-Berieselungseinrichtung ausgerüstet, um einen Flüssigkeitsstand in diesem Kühler zu vermeiden. Ein solcher Kältemittel-Flüssigkeitsstand hätte bei dieser Temperatur zur Folge, daß nur an der Oberfläche eine Verdampfung auftritt, während das Kältemittel im unteren Teil wegen des hydrostatischen Druckes nicht verdampfen würde. Um einen intensiven Kälteeffekt zu erzie-

len, wäre es deshalb notwendig, die Verdampfungstemperatur wesentlich tiefer zu wählen, was einen entsprechend höheren Energiebedarf dieses Anlageteils zur Folge hätte. Das komprimierte Kältemittel der beiden Turbo-Kompressoren der kälteren Stufen wird in den entsprechenden Mitteldruckbehälter geführt. Darin wird durch Verdampfen von flüssigem Kältemittel der überhitzte Dampf bei gleichem Druck auf seine Sättigungstemperatur zurückgeführt. In diesem Mitteldruckbehälter sind noch weitere Zwischenkühler eingebaut. Dadurch ist eine mehrstufige Entspannung des bei höherer Temperatur kondensierten Kältemittels sowie ein Absaugen des Dampfes in den entsprechenden Verdichter-Zwischenstufen möglich und es kann eine wesentliche Energieeinsparung erzielt werden.

achteten die Projektingenieure für überflüssig. Hingegen hat man zu den standardmäßig in Turboverdichter und Getriebe eingebauten Ölsystemen je ein Hilfsölsystem vorgesehen, das einerseits ein sehr schnelles Anfahren der Anlage ermöglicht und zum anderen als Reserve dient. Diesen komplizierten Ölkreislauf der an sich einfachen Turbomaschine wird man allerdings nur dann in Kauf nehmen, wenn bei derartigen Prozeßmaschinen ein ganzjähriger Tag- und Nachtbetrieb sichergestellt sein muß.

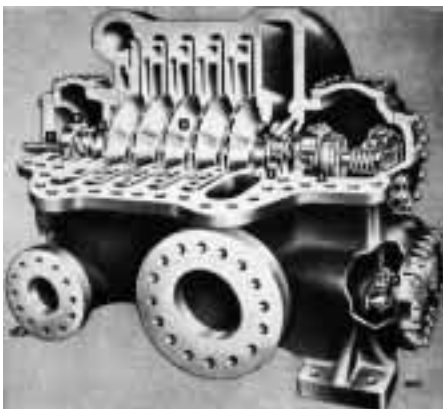


Abb. 13 Fünfstufiger Turboverdichter für Propan.

Verflüssigung von CO_2 , SO_2 und anderen Gasen

Die beschriebenen Anlagentypen wurden auch in Europa mehrfach zur Verflüssigung von CO_2 , SO_2 und anderen Gasen verwendet.

Abb. 14 zeigt die Turbokältemaschine zur CO_2 -Verflüssigung bei einer bekannten englischen Petroleumgesellschaft. Ähnliche Kältesätze sind von der gleichen Firma auch in ihren Raffinerien in Deutschland und Frankreich installiert. Bei diesen Anlagen ist besonders beachtenswert, daß pro Raffinerie nur eine Turbokältemaschine eingebaut wurde, eine Reserveeinheit er-



Abb. 14 Turbokältemaschine für eine CO_2 -Verflüssigungsanlage.

Abb. 14 ermöglicht auch einen freien Blick auf die Saugseite des Turboverdichters. Ein Temperaturregler, dessen Impulse durch einen im flüssigen CO₂ am Kühlaustritt eingebauten Thermostatfühler ausgelöst werden, bewirkt das Verstellen der Saugdrosselklappe mittels des links in der Abbildung gezeigten Stellmotor. Dadurch wird das Sauggasvolumen des Kältemittels verändert und die CO₂-Austrittstemperatur automatisch konstant gehalten. Ferner erkennt man auf der Abbildung deutlich den als Öltank ausgebildeten Sockel des Turboverdichters, in den das komplette standardmäßige Ölsystem eingebaut ist. Neben der über ein Schneckengetriebe von der Hauptwelle des Verdichters angetriebenen Ölpumpe, gehören auch Ölfilter, -schauglas, -kühler und -heizung zur serienmäßigen Ausrüstung der Turbomaschine. Die Leitungen rechts im Bild gehören zum zusätzlichen Hilfsölsystem.

Der als CO₂-Verflüssiger ausgebildete Verdampfer konnte bei dieser Anlage selbstverständlich nicht mit den üblichen Kupferrippenrohren ausgerüstet werden. Je nach Art der Prozesse müssen die Kühler aus demjenigen Werkstoff gebaut werden, der voraussichtlich eine große Korrosionsbeständigkeit aufweist. Bei der beschriebenen Anlage wurde ein speziell hochwertiger Stahl verwendet, während für andere Anwendungszwecke auch Materialien wie Aluminium, Alu-Legierungen, Nickel- und Kupfernickel-Stahl eingesetzt werden.

Zusammenfassung

Nach bescheidenen Anfängen in den beginnenden 20er Jahren sind heute Turbokältemaschinen zur Erzeugung mittlerer und großer Kälteleistungen nicht mehr wegzudecken. Sie werden sowohl für gewerbliche als auch industrielle Anlagen verwendet. Man fertigt sie in Leistungsgrößen bis 30 MW in einer Einheit und für Anwendungen vom Temperaturbereich für Klimaanlage bis zu den tiefsten Temperaturen. Während die Turbokältemaschine in bezug auf die Kälteleistung einen bestimmten Mindestwert nicht unterschreiten sollte, bestehen hinsichtlich der Verdampfungstemperatur keinerlei Beschränkungen. Es wurden schon Turbokältemaschinen für Verdampfungstemperaturen von -120 °C und darunter ausgeführt, was jedoch nicht als unterste Temperaturgrenze anzusehen ist. Welche Verdampfungstem-

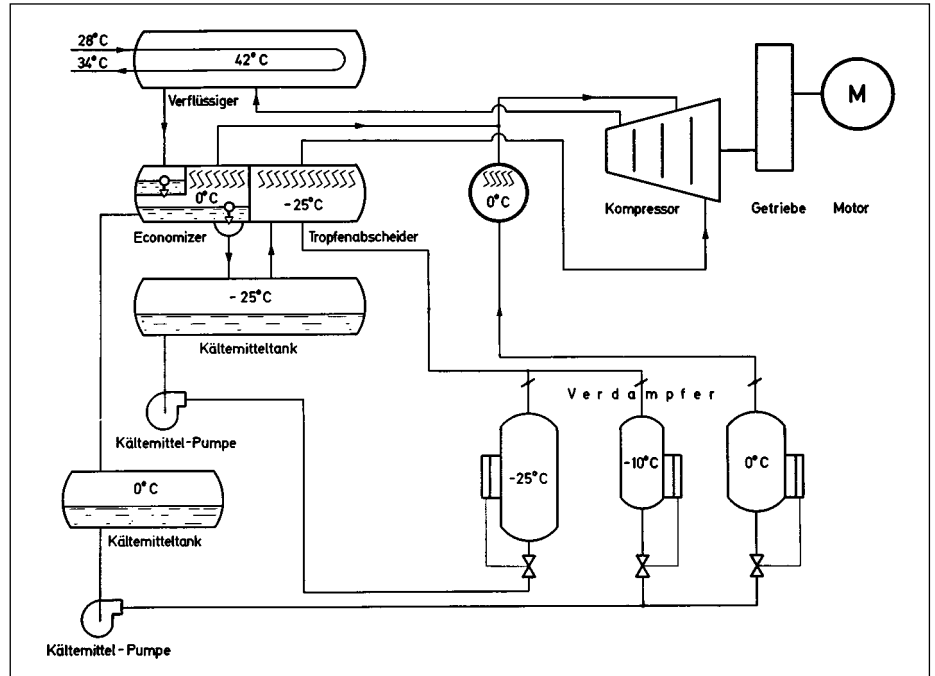


Abb. 15 Schema einer dreistufigen Turbokälteanlage mit Seitenlasten.

Abb. 16 Dreistufige Turbokältemaschine zur Gaszerlegung mit Seitenlasten.



peraturen von der Industrie auch benötigt werden, die Turbokältemaschine ist jederzeit in der Lage, diese Anforderungen in höchst wirtschaftlicher Weise zu erfüllen.

In den letzten Jahren sind wesentliche Innovationen und technische Verbesserungen ausschließlich an Turbokältemaschinen zur Wasserkühlung im Klimatemperaturbereich erfolgt, dem Hauptanwendungsgebiet des Turboverdichters. Letzte Entwicklungen sind neben dem neuartigen Ringdiffusor vor allem die Energierückgewinnung mittels auf der Motorwelle angebrachter Entspannungsturbine zur Optimierung des Wirkungsgrades bei Verwendung des chlorfreien Kältemittels R 134a.

Doch nichts hindert daran, diese modernen Technologien auch für Turbokältemaschinen für industrielle Tieftemperatur einzusetzen.

Der Turboverdichter in der Kältetechnik ist 75 Jahre jung!

Literatur

- [1] Carrier, Corporation: System Design Manual.
- [2] Ph. Goldmann, V. Füner, Turbokältemaschinen zur Erzeugung tiefer Temperaturen, „Kältetechnik“, Bd. 7 (1955), Heft 7, C. F. Müller, Karlsruhe.
- [3] J. Ruedl, Der Turbo-Kompressor für Industrielle Tieftemperatur, „Die Kälte“, April 1965, Axel A. Lindow, Hamburg.
- [4] R. Dahm, Großkältemaschinen in der Lebensmitteltechnologie, aus dem Tagebuch „Tagung über Kältetechnik“, Ostende 1968.
- [5] K. Hartmann, Der Turboverdichter in der Kältetechnik, „Der Kälte-Klima-Praktiker“, Jan./Febr./März 1972, C. F. Müller, Karlsruhe