

Historische Kältetechnik

Faszination A-S: die Audiffren-Singrün-Kältemaschine

Joachim Naumann, Reichenbach

Das Interesse an der „historischen“ Kältetechnik wächst, die Messe IKK 2000 hat es bewiesen. Das ist gut so. An den Ständen des Vereins Historische Kältetechnik und der Innung der Feinwerktechnik Nürnberg war etwas Besonderes zu bestaunen, die erste hermetische Kältemaschine der Welt.

Die im Jahr 1905 (oder 1903 nach [1]) von dem französischen Abbé und Physiker Audiffren konstruierte und von der Fa. Singrün zuerst gebaute Kältemaschine ist „ein kleines technisches Wunder“ [2].

Bei dem Versuch, den Aufbau und die technische Wirkungsweise der Maschine zu verstehen, sind wir auf die Literatur und wenige (wie viele?) noch vorhandene Anlagen angewiesen. Bei einigen dieser Anlagen ist die Verflüssiger- und Verdampferkugel aufgeschnitten, und ein Blick in das Innere der ansonsten mit giftigem SO₂ im flüssigen und gasförmigen Zustand gefüllten Kugeln ist möglich. In der Literatur sind die Quellen zwar dünn gesät, aber bei näherem Betrachten offenbaren sich interessante Details.

Beginnt man mit dem „Herz“ der Kältemaschine, dem Verdichter, so scheint folgendes sicher:

- Es handelt sich um einen Hubkolbenverdichter.
- Die 2 Zylinder sind um ca. 90° versetzt angeordnet (Bild 1 und 2).
- Der Verdichter ist hängend auf der Welle in der Verflüssigerkugel angeordnet.
- Ein nach dem Verflüssigerdruck bemessenes Bleigewicht [11] hält den Verdichter während der Drehung der Welle in der senkrechten Lage unterhalb der Welle.

zum Autor

Dipl.-Ing.
Joachim
Naumann,
Leiter der
Sächsischen
Kälteschule,
Reichenbach



- Ein Exzenter auf der Welle sorgt für die Auf- und Abwärtsbewegung der Kolben (Ansaugung und Verdichtung des Gases).
- Da Kolben und Kolbenstange starr miteinander verbunden sind, schwingen die Zylinder um einen Drehzapfen.

In konstruktiven Details unterscheiden sich sowohl Beschreibungen als auch Darstellungen in der Literatur. Es stellt sich die Frage:

Waren die Verdichter mit Saug- und Druckventil oder nur mit Druckventil ausgerüstet, bzw. arbeitet der Verdichter gänzlich ohne Ventile? Hierzu liest man in der Literatur:

- „Das Druckventil des Verdichters öffnet dagegen direkt in das Verflüssigergehäuse“ [3].

und

- „Der Kolben wird durch einen Nocken auf der Hohlwelle auf und nieder bewegt, während der Zylinder um den Drehzapfen schwingt. Diese Bewegung wird zur Steuerung der Ein- und Auslaßöffnungen benutzt“ [4].

Die Maschine in Bild 2 besitzt Druckventile. Im Bild 3 ist um den linken Drehzapfen eine Feder (?) zu erkennen, die den Zylinder gegen die rechts befindliche Steu-

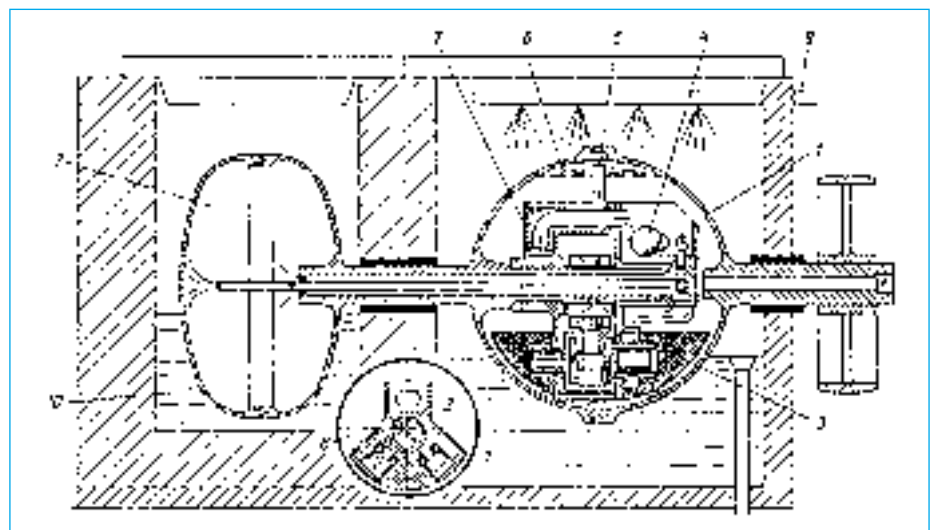


Bild 1 nach [1]: Schnitt durch die Maschine und zusätzlich durch den Verdichter: Audiffren-Aggregat von Brown-Boveri

1 Kompressor, Verflüssigerkugel; 2 Verdampfer; 3 Gegengewicht; 4 Hochdruck-Schwimmerregler; 5 Auffanganordnung, welche die Flüssigkeit von 6 nach 7 führt; 6 Flüssigkeitsring, bestehend aus Öl und verflüssigtem Kältemittel; 7 Ölabscheider; 8 Verkleinerter Querschnitt durch den Kompressor mit der Verflüssigerkugel; 9 Kühlwasserzulauf; 10 Sole



Bild 2 A-S-Maschine an der Sächsischen Kältefachschule im demontierten Zustand. Blick auf die Welle mit dem Exzenter und die beiden Zylinder mit Drehzapfen

erfläche mit der Ein- und Auslaßöffnung drückt. Dies läßt auf eine Bauart wie in [4] beschrieben schließen.

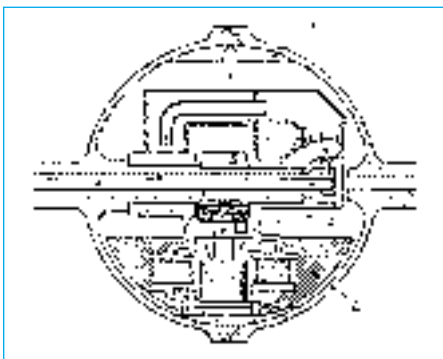


Bild 3 Ausschnitt aus einer Darstellung in [5]. Neben der Steuerfläche ist der Aufbau der Verflüssigerkugel aus zwei Hälften zu erkennen. Diese sind verschraubt und verlötet

In genial einfacher Weise ist die Maschine gegen Überlastung geschützt. Steigt, z. B. durch Ausfall der Kühlwasserversorgung der Druck im Kondensator, so ist der Kolben ab einem bestimmten Druckwert nicht mehr in der Lage, das Gas aus dem Zylinder zu pressen. Der Kolben steht still und der gesamte Verdichter mit dem Gegengewicht wird um die Welle geschleudert. Die Verdichtung kommt zum

Stillstand. Setzt die Kühlung wieder ein, überwiegt ab einem bestimmten Punkt die Masse des Verdichters und des Gegengewichts, der Verdichter bleibt wieder in der Stellung unterhalb der Welle und die Verdichtung beginnt erneut.

In Bild 4 wird eine Maschine ohne Ventile beworben, was sich unter Umständen auf die Arbeitsventile bezieht.

Wie beschrieben, weist bereits die



Bild 4 nach [6]: Werbeanzeige aus dem Jahr 1922

Betrachtung der Verdichtung der Rot-Silber-Kältemaschine (rote Verflüssigerkugel und silberfarbener Verdampfer) eine Fülle technischer Besonderheiten auf. Dies setzt sich fort bei der Darstellung

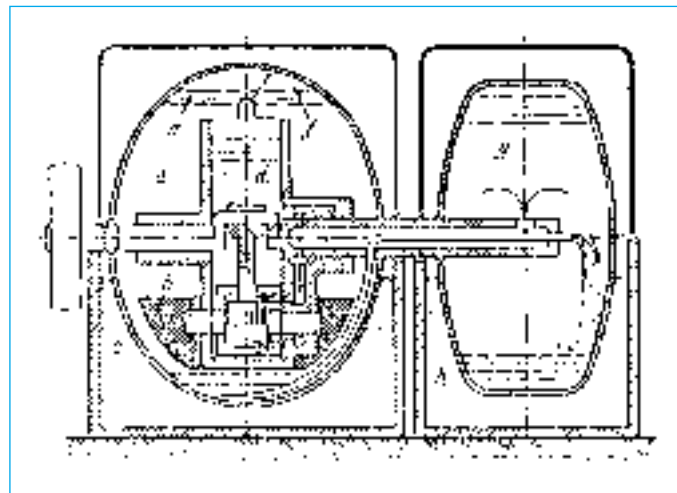


Bild 5 nach [7]: Erste vollkommen gekapselte Kältemaschine nach AUDIFFREN-SINGRÜN (Brown, Boveri). a Verflüssiger, b Gegengewicht, c Kühlwasser, d Öl, e Ölabbreiter, f verflüssigtes SO₂, g Verdampfer, h Sole

der Verflüssigung, der Einspritzung, des Ölkreislaufes.

Schließlich sind die elektrische Steuerung der Maschine und deren Leistungswerte bemerkenswert.

Die Verflüssigung des Kältemittels SO₂ geschieht an der Innenfläche der Verflüssigerkugel, die im Kühlwasser umläuft. Durch die Zentrifugalkraft wird ein Gemisch aus flüssigem Kältemittel und Öl an der Innenwand der Kugel nach oben befördert und dort abgestreift. Öl und Kältemittel trennen sich durch die unterschiedlichen Dichten (das Öl ist leichter als flüssiges SO₂).

Dieses Grundprinzip ist in den Darstellungen und Beschreibungen der einzelnen Literaturstellen so zu finden. Unterschiede in der Trennung von Öl und Kältemittel ergeben sich im Zusammenhang mit der Betrachtung der Einspritzung des Kältemittels.

1. Variante: Ölabscheider und Schwimmerventil.
2. Variante: Kapillareinspritzung ohne Abscheider zur Trennung von Kältemittel und Öl.

Bild 5 zeigt deutlich die 2. Variante. Dabei ragt der Abstreifer nur bis in die Ölschicht, das heißt, die Ölschicht muß im Betrieb stets im gleichen Abstand zur Innenwand der Verflüssigerkugel liegen. Die Trennung von Kältemittel und Öl kann hier nur die Zentrifugalkraft übernehmen.

Bild 1 und 3 zeigen die typischen Abbildungen mit Ölabscheider, Abstreifer bis fast an die Innenwand der Kugel und einem Tauchrohr, welches das schwerere, flüssige Kältemittel vom Grund des Abscheiders in das Schwimmergehäuse überströmen läßt. Dadurch hebt sich die Schwimmerkugel und über ein Ventil wird eingespritzt. Hat sich genügend Öl ange-

sammelt, läuft dieses oben aus dem Abscheider in die Verflüssigerkugel zurück und steht wieder zur Schmierung der bewegten Teile zur Verfügung. Wie im Bild 6 zu sehen ist, arbeitet auch die A-S-Kältemaschine an der Sächsischen Kältefachschule nach diesem Prinzip.



Bild 6 Blick in die Verflüssigerkugel mit Ölabscheider und Schwimmerkörper

Keine Schnittdarstellung in der Literatur zeigt Einbauten im Verdampfer, obwohl diese vorhanden sind, wie im Bild 7 zu sehen ist.



Bild 7 Verdampferkörper mit Einbauten

Es läßt sich vermuten, daß die Trennung von flüssigem Kältemittel und Öl nicht 100%ig möglich war und Öl mit dem Kältemittel in den Verdampfer gelangte. Über Mitnehmer an der Innenseite des Verdampfers könnte Öl nach oben transportiert worden, dort in den im Bild 7 zu sehenden schaufelförmigen Mitnehmer getropft und so wieder in das Innere der Welle gelangt sein. Im engeren Querschnitt dort erhöhte sich die Geschwindigkeit des Kältemitteldampfes. So konnte das Öl in den Verflüssiger zurückströmen.

Die Steuerung der A-S-Kältemaschine als Raumkälteanlage ist in [8] dargestellt und beschrieben.

Die Wirkungsweise wird folgendermaßen erklärt:

„Die Temperaturregelung erfolgt von einem Raumthermostaten, welcher ein

kombiniertes Fernsteuerventil steuert. Ist die Raumtemperatur zu hoch, so öffnet der Raumthermostat das Kühlwasser-ventil und schaltet sogleich den Motor ein.

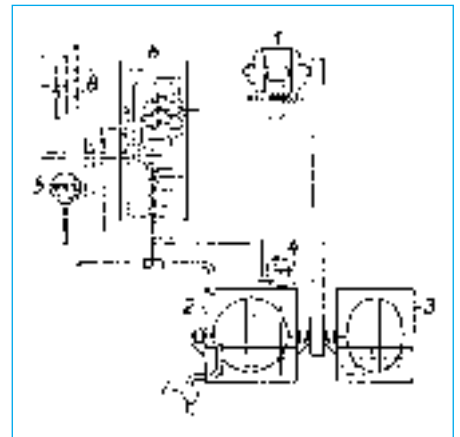


Bild 8 [8] Schema eines automatisch gesteuerten rotierenden Kühlautomaten

- 1 Motor
- 2 Kühlwasserbehälter mit Verdichter und Verflüssigerkugel
- 3 Solebehälter m. Verdampferkugel
- 4 Kühlwasserthermostat Type TNQF
- 5 Raumthermostat Type TLK
- 6 Kombiniertes Fernsteuerventil mit Quecksilberschaltröhre Type VFQ
- 7 Kühlwasserablauf
- 8 Handschalter mit Sicherungen

Bei erreichter Raumtemperatur schaltet er Motor und Ventil wieder ab. Steigt die Temperatur des Kühlwassers wegen Wassermangels oder aus einem anderen Grunde während des Betriebs über das zulässige Maß an, so unterbricht der Kühlwasserthermostat den Stromkreis des Motorschalters, während das Ventil geöffnet bleibt. Sobald eine hinreichende Wassermenge vorhanden ist, wird der automatische Betrieb der Anlage wieder aufgenommen“ [8].

Leistungstabellen der A-S-Kältemaschine finden sich in [4], [9] und [10]. Die umfangreichsten Daten finden sich in Tabelle 1, die [10] entnommen wurde.

Die größte dokumentierte einzelne Anlage hatte demzufolge eine Kälteleistung von ca. 10,5 kW und es waren 1,35 m³/h Wasser zur Kühlung des Verflüssigers

Leistungstabelle der AS-Kühlmaschine						
AS-Rotsilber-Kühlautomat						
Type	Verflüssigerkühlung	Leistung kcal/h – 5 °C Sole	Eisleistung kg/24 h	Stromverbrauch kW/h <i>t_{we}</i> = + 15 °C	Wasserverbrauch l/h	<i>n</i> /min
AS 2	Wasser	580	125	0,40	100	380
AS 2A		835	180	0,49	130	380
AS 3		1620	335	0,94	260	280
AS 3A		2250	540	1,35	360	280
AS 6B		6250	1400	3,60	980	170
AS 6A		9000	2200	3,90	1350	140

Tabelle 1 Leistungstabelle nach [10]

erforderlich. Der Betriebsvorschrift des Herstellers der A-S-Maschinen ist zu entnehmen, daß eine Differenz zwischen Kühlwasserein- und -austritt von 10 K angestrebt werden sollte (bei einer max. Kühlwasserablauftemperatur von 25 °C). Mit 1,35 m³/h Kühlwasser läßt sich somit eine Verflüssigerleistung von 15,2 kW abführen. Diese Leistungen werden nach Tabelle 1 mit einem Stromverbrauch von 3,9 kW/h (sicherlich kWh/h?) erreicht.

Man versuchte bereits frühzeitig, den relativ großen Kühlwasserverbrauch zu verringern. In [4] findet sich dazu die Bemerkung: „Der Verflüssiger läuft in dem Kühlwasserbehälter um, der für Fälle, bei denen Kühlwasser gespart werden soll, mit einer Lüftervorrichtung verbunden ist.“

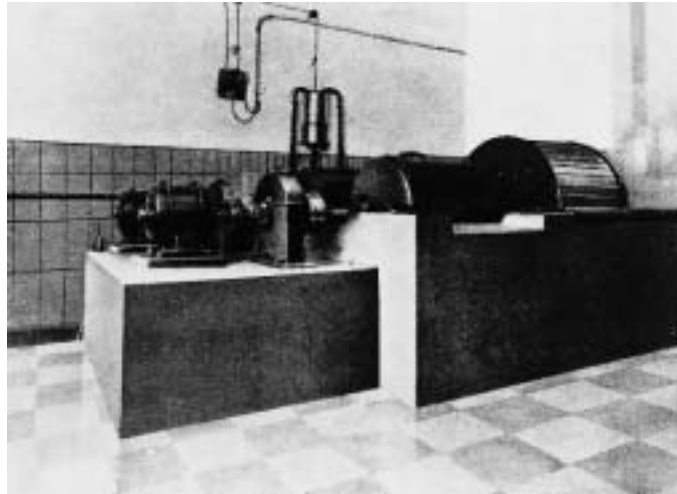


Bild 10 Kältemaschine mit Elektromotor durch Rädervorlage gekuppelt [9]

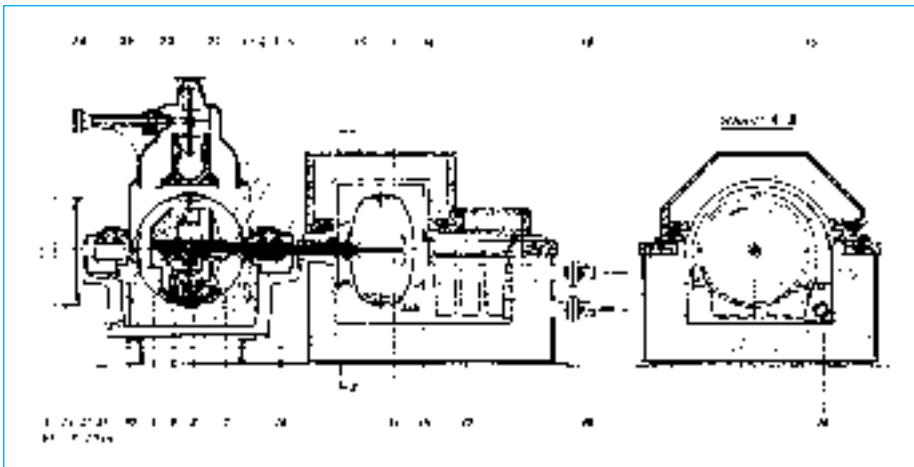


Bild 9 A-S-Kühlautomat mit zusätzlicher Eiserzeugung nach [2]

Im Bild 9 ist die Anordnung des Lüfters auf dem Kühlwasserbehälter erkennbar und zu sehen, daß dieser über die Welle der A-S-Maschine angetrieben wurde. Der Schnitt im Bild 9 ist bis auf diesen „Kühlwassersparer“ identisch mit dem Bild in [11]. Leider lassen sich deshalb die Erläuterungen zu den Zahlen 22 bis 26 in Bild 9 nicht rekonstruieren. Ähnliche Darstellungen mit Lüfter sind in [4] und [9] zu finden.

Eine Gesamtdarstellung der Anlage zeigt Bild 10. Geht man davon aus, daß es sich hierbei um die größte Maschine handelt, so kann man eine Vorstellung von der Größe des Maschinenraumes, bei dem es sich gehandelt haben muß, erhalten, wenn der ehemalige Hersteller in [11] schreibt: „Die uns bekannte größte erstellte Anlage für die Kühlräume des Konsumvereins Dresden hatte eine Gesamtkälteleistung von 120 000 kcal/h.“ Dies entspricht ca. 140 kW, also 9 bzw. 10 solcher Maschinen wie im Bild 10!

Abschließend sollen Drücke und Temperaturen des Kältemittels SO₂ in der Anlage betrachtet werden. Die Leistungstabellen liefern Hinweise auf eine Soletemperatur von -5 °C bzw. eine Verdampfungstemperatur von -10 °C (p₀ ~ 1 at absolut). In [8] wird im günstigsten Fall von einem Verflüssigungsdruck von 2,5 at absolut (t_c ~ 12,5 °C) und für tropische Verhältnisse von 4,5 at absolut (t_c ~ 28 °C) gesprochen.

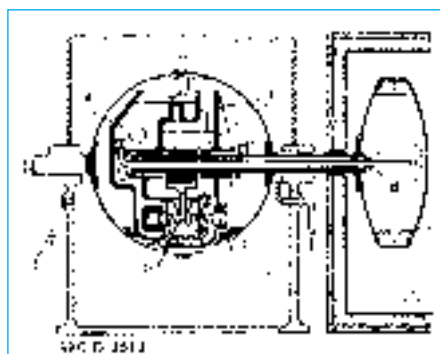


Bild 11 nach [8]
(Werkzeichnung Brown, Boveri & Cie)

Legt man Kühlwassereintrittstemperaturen von 10...15 °C und eine Kühlwassererwärmung von ca. 10 K zugrunde, dann scheinen Kondensationstemperaturen um die 20 °C realistisch (p_c ~ 3,4 at absolut).

Durch das Kältemittel bedingt herrschen während des Betriebes in den Anlagen relativ geringe Drücke, verglichen mit den heute üblichen Werten. Die Wasserkühlung und die Begrenzung des Verdampfungsdruckes durch die geforderte Soletemperatur führt zu einem niedrigen Druckverhältnis. Dadurch sind die hohen Verdichtungsendtemperaturen (Adiabatenexponent 1,35 für SO₂) beherrschbar.

Es sei noch auf ein Detail im Bild 11 verwiesen, welches ein Bauteil in der Verflüssigerkugel zeigt, dessen Aufgabe in keiner der Literaturstellen erklärt wird.

Ich bedanke mich bei den Fachkollegen des Instituts für Luft- und Kältetechnik Dresden, die 1989/90 eine dieser Maschinen vor der Verschrottung retteten und mir den Anstoß gaben, mich mit dieser Technik zu beschäftigen. Mein Dank gilt auch Herrn Holm Fischer aus Dresden. □

Literatur

- [1] Bäckström, Kältetechnik, G. Braun Karlsruhe, 1953.
- [2] Drees, Kühlanlagen, Fachbuchverlag GmbH Leipzig, 1952.
- [3] Faltblatt, Innung der Feinwerktechnik-Mittelfranken, 2000.
- [4] Hirsch, Die Kältemaschine, Julius Springer Berlin, 1932.
- [5] Hütte, Des Ingenieurs Taschenbuch, Teil 2B, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1960.
- [6] Göttsche-Pohlmann, Taschenbuch für Kältetechniker, 1922.
- [7] Plank, Handbuch der Kältetechnik, Band 1.
- [8] Reif, Kleinkühlanlagen für Gewerbe und Haus, Carl Marhold Verlagsbuchhandlung Halle a. S., 1945.
- [9] Göttsche, Die Kältemaschine und ihre Anlagen, Verlag für Kälte-Industrie Hamburg, 1915.
- [10] Pohlmann, Taschenbuch für Kältetechniker, Hamburg, 1947.
- [11] Firmenunterlage BBC-York Mannheim, 1998.