

Fotos: ILK Dresden

Kälterzeugung mit R718-Turbo-KWS Wasser als Kältemittel



Bei VW in der Gläsernen Manufaktur Dresden (links), und bei DaimlerChrysler Düsseldorf (oben), und bei DaimlerChrysler Düsseldorf (oben) werden Aqua-Turbo-Kältemaschinen als Grundlast-Kälterzeuger eingesetzt



Wasser als Kältemittel wird seit vielen Jahrzehnten in Absorptions- und Dampfstrahlkälteanlagen eingesetzt. Seit einigen Jahren bewährt sich das natürliche Kältemittel aber auch in ersten Prototyp-Kompressionskältemaschinen.

Die ersten Untersuchungen zur Verwendung von Wasser als Kältemittel (R 718) in Kompressionskälteanlagen wurden durch die weltweiten Restriktionen zum Gebrauch von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) und von Hydrogenfluorchlorkohlenwasserstoffen (H-FCKW) initiiert. Dabei waren in erster Linie maschinenbauliche Schwierigkeiten zu überwinden. 1990 begannen dazu Forschungsarbeiten am Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH (ILK), die in der Entwicklung einer Baureihe von Kompressionskältemaschinen mit dem natürlichen Kältemittel Wasser mündeten.

Die Konstruktion und der Bau geeigneter energieeffizienter Verdichter wurden aber erst durch moderne Werkstoffe möglich. Die Turbinenschaufeln der am ILK entwickelten Aggregate bestehen beispielsweise aus einem extrem leichten aber hochfesten Kohlefaserwerkstoff. Bereits seit der Jahrtausendwende bewähren sich erste Prototypanlagen im Praxiseinsatz. Im Folgenden wird ein Kaltwassersatz mit

Wasser als Kältemittel (R 718-Turbo-KWS) beschrieben und es werden Praxiserfahrungen aufgezeigt.

Eigenschaften von Wasser als Kältemittel

Die Vorteile von Wasser als Kältemittel ergeben sich vor allem aus der hohen Verfügbarkeit, dem günstigen Preis der einfachen Handhabung und der Ungiftigkeit. Nachteilig sind insbesondere die geringe volumetrische Kälteleistung, hohe Druckverhältnisse für erforderliche Temperaturhübe, große Fördervolumenströme und die Arbeit des Prozesses unter Vakuum.

Die thermodynamischen und physikalischen Eigenschaften des Kältemittels Wasser beeinflussen in starkem Maße den Aufbau und die Funktion des Kaltwassersatzes. Ein Vergleich der wichtigsten Eigenschaften mit dem Kältemittel Ammoniak erfolgt in Tabelle 1. Verdichter für Wasser als Kältemittel müssen bei gleicher Kälteleistung einen bis 300-mal größeren

Kältemittelvolumenstrom ansaugen und verdichten. Außerdem ergibt sich ein doppelt so hohes Druckverhältnis wie bei Ammoniak. Im Vergleich zu herkömmlichen Kälteanlagen, die im Überdruckbereich arbeiten, erfolgt die Kälterzeugung mit Wasser als Kältemittel im Unterdruckbereich. Bei einer Verdampfungstemperatur von 5 °C ergibt sich beispielsweise ein Sättigungsdruck von 0,0087 bar.

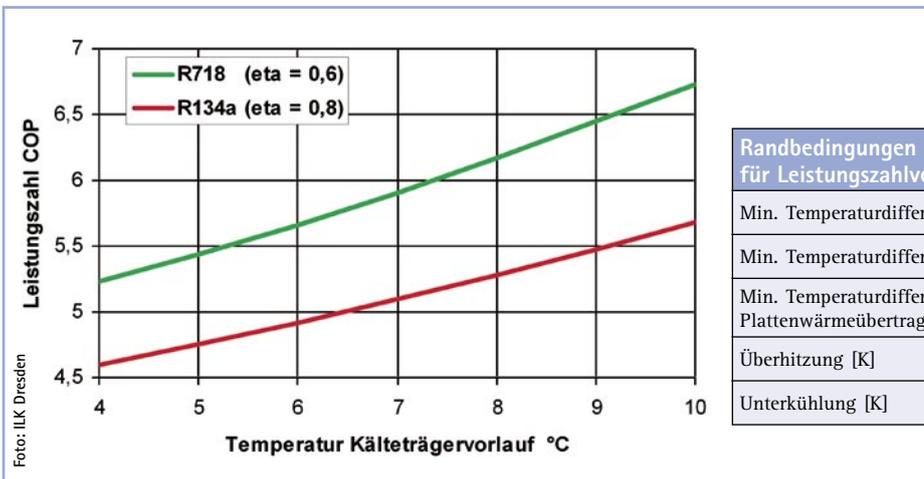
Ein Vergleich der Leistungszahlen (Verhältnis Kälteleistung zur elektrischen Antriebsleistung) für die Kältemittel R 134a und Wasser (R 718) für gleiche Kühl- und Kaltwasserbedingungen unter Einbeziehung der Temperaturdifferenzen in den Wärmeübertragern zeigt Bild 1. Unter den angegebenen Randbedingungen besteht ein deutlicher Vorteil für das Kältemittel Wasser.

Aufbau und Funktionsweise des R 718-Turbo-KWS

Als Ergebnis mehrjähriger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im ILK Dresden entstand eine zweistufige Kompressionskältemaschinenbaureihe mit Wasser als Kältemittel. Der Kälteleistungsbereich liegt zwischen 500 kW und 1 MW bei Kaltwassertemperaturen von 1 bis 15 °C. Die Eigenschaften des Kältemittels Was-

Kältemittel	Wasser R 718	Ammoniak R 717	Wasser R 718	Ammoniak R 717	Wasser R 718	Ammoniak R 717
Temperatur [°C]	0		10		20	
Dampfdruck [bar]	0,006	4,3	0,012	6,2	0,023	8,6
Dampfdichte [g/m ³]	4,8	3463	9,4	4876	17,3	6710
volumenbezogene Kälteleistung [kJ/m ³]	12	4364	23	5966	42	7946
Volumenstrom für 700 kW Kälte [m ³ /h]	208 000	664	108 000	466	59 000	352
Druckverhältnis für 25K Temperaturhub	5,2	2,3	4,6	2,2	4,1	2,1

Tabelle 1 Vergleich der Kältemittel Wasser (R 718) und Ammoniak (R 717)



Randbedingungen für Leistungszahlvergleich	R 718	R 134a
Min. Temperaturdifferenz Verdampfer [K]	1	5
Min. Temperaturdifferenz Kondensator [K]	1	5
Min. Temperaturdifferenz Plattenwärmeübertrager [K]	1	-
Überhitzung [K]	-	10
Unterkühlung [K]	-	5

Bild 1 Leistungszahlvergleich Kältemittel Wasser (R 718) und R 134a

ser erforderten die Entwicklung eines Turboverdichters, der die Verdichtung von großen Wasserdampfströmen mit geringer Dichte bei gleichzeitig hohem Druckverhältnis realisiert. Der Kaltwassersatz ist als zweistufige Anlage mit Turboverdichter radialer Bauart ausgeführt. Die Kältemaschine hat ein Gewicht von rund zehn Tonnen, ist ca. 8,5 m lang und 2,6 m hoch und weist damit etwas größere Abmessungen als konventionelle Kompressionskältemaschinen aus. Bild 2 zeigt schematisch den Aufbau der zweistufigen Kälteanlage.

Verdampfer, Zwischenkühler und Kondensator sind als Direktwärmeübertrager ausgeführt, weil es sich bei Kältemittel, Kälte­trä­ger und Wärmeträger um das gleiche Medium Wasser handelt. Im Verdampfer erfolgt die Entspannung des Kälte­trä­ger-Kältemittel-Gemisches auf einen Verdampfungsdruck von ca. 8 bis 10 mbar (KW 6 °C). Das verdampfende Kältemittel entzieht dem Kälte­trä­ger die erforderliche Verdampfungswärme, der sich dadurch bis dicht an die Verdampfungsdruck-abhängige Sättigungstemperatur abkühlt.

Die Zwischenkühlung des in der ersten Verdichterstufe verdichteten Wasserdampfs erfolgt durch direkten Kontakt mit einem Kühlwasservolumenstrom, der ohne Wärmeauskopplung nur im Kreislauf geführt wird. Die Kühlung des Kältemitteldampfs erfolgt durch die Verdampfung eines Teilstroms, der in flüssiger Form diskontinuierlich wieder aus dem Kondensator zugeführt wird. Die Zwischenkühlung erfolgt annähernd auf Sättigungstemperatur. Neben einer deutlichen Reduzierung der Verdichtungs­endtemperatur der zweiten Verdichterstufe werden durch die Zwischenkühlung positive energetische Effekte erzielt.

Die Kondensation des in der zweiten Stufe auf Kondensationsdruck verdichteten Wasserdampfs erfolgt im direkten Kontakt mit Kühlwasser. Das kondensierte Kältemittel wird diskontinuierlich in den Verdampfer zurückgeführt. Die Trennung der internen unter Unterdruck stehenden Kalt- und Kühlwasserkreisläufe gegenüber den äußeren Netzen zu den Verbrauchern und zum Kühlturm erfolgt mit Plattenwärmeübertragern.

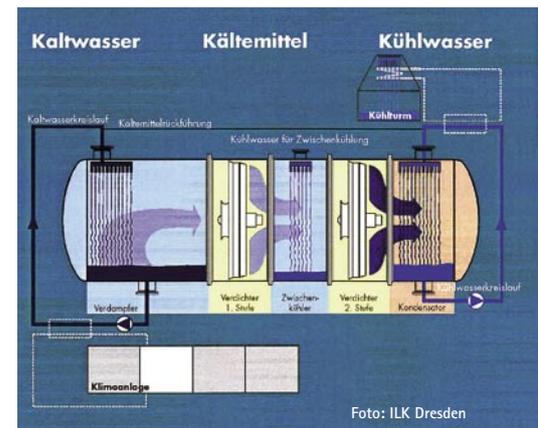


Bild 2 Funktionsschema des R718-Turbo-KWS

Das Herzstück des Kaltwassersatzes sind zwei Turboverdichter radialer Bauart, die getrennt von einander jeweils über einen in der Anlage integrierten Mittelfrequenzmotor angetrieben werden. Die Leistungsregelung des R718-Turbo-KWS erfolgt so über quasi stufenlose Drehzahlsteuerung beider Verdichterstufen jeweils in einem Drehzahlbereich zwischen 6000 und 9200 min⁻¹. Die zweistufige Ausführung und die hohen Drehzahlen sind notwen-

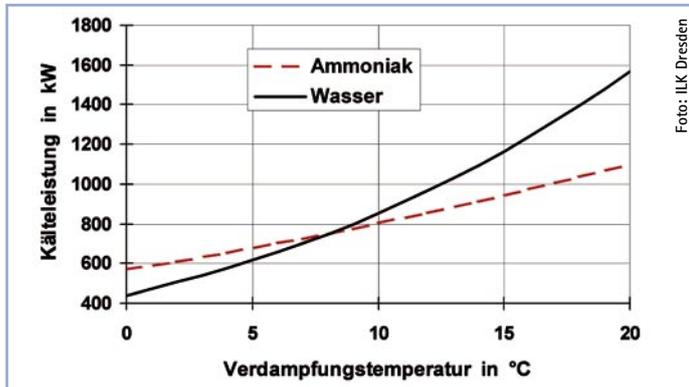


Bild 3 Kälteleistung als Funktion der Verdampfungstemperatur bei jeweils konstantem Ansaugvolumenstrom



Bild 5 Beispielhafter zeitlicher Verlauf der Kälteleistung eines R718-Turbo-KWS

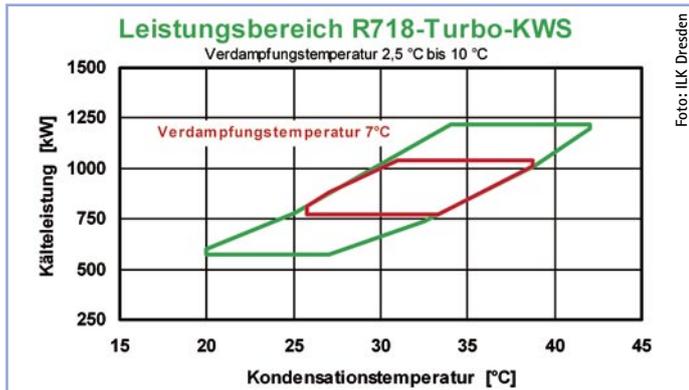


Bild 4 Leistungsbereich R718-Turbo-KWS (B1000)

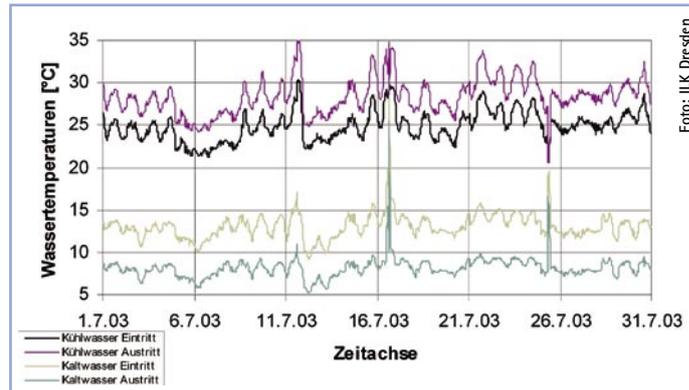


Bild 6 Beispielhafte Wassertemperaturen am R718-Turbo-KWS

dig, um bei der Verdichtung ein Druckverhältnis von 6,25 zu erreichen. Die Lagerung erfolgt mit dauerfettgeschmierten Kugellagern, so dass ein Ölkreislauf entfällt. Die Motorwärme wird über spezielle Kühlwasserkreisläufe abgeführt.

R 718-Turbo-KWS im Praxiseinsatz

Die Eigenschaften des Kältemittels Wasser wirken sich auf die Einsatzbedingungen aus. Der derzeitige Einsatzbereich der Kältemaschine liegt in einem Leistungsbereich zwischen 500kW und 1MW bei Kaltwassertemperaturen von über 0°C. Die Kälteleistung des Kaltwassersatzes hängt unmittelbar mit der Kaltwassertemperatur zusammen. Eine Anhebung der Kaltwassertemperatur bewirkt bei gleicher Maschine eine deutliche Steigerung der Kälteleistung. Dieses ist auf die starke Temperaturabhängigkeit der Dampfdichte zurückzuführen. Bild 3 verdeutlicht die Änderung der Kälteleistung bei konstantem Fördervolumen des Verdichters für die Kältemittel Wasser und Ammoniak. Beispielsweise bewirkt eine Anhebung der Kaltwassertemperatur von 6 auf 10°C eine Leistungssteigerung um 14% bei Ammoniak und um 29% bei Wasser als Kältemittel.

Den Leistungsbereich eines R718-Turbo-KWS in Abhängigkeit der Rückkühlbedingungen und der Verdampfungstemperatur

zeigt Bild 4. Lässt man in einem bestimmten Bereich, der auf die entsprechenden Kühlaufgaben abgestimmt werden kann, eine variable Kaltwassertemperatur zu, verbessert sich das Teillastverhalten des KWS deutlich. Die besten Einsatzbedingungen sind bei der kontinuierlichen Erzeugung von Prozesskälte gegeben. Ein weiteres typisches Einsatzgebiet ist aber auch die Kaltwassererzeugung für Klimakälte zur Grundlastversorgung. Die Auswahl der Leistungsgröße muss stets so erfolgen, dass ein taktender Betrieb der Anlage weitestgehend vermieden wird. Häufiges An- und Abfahren führt beispielsweise zu erhöhtem Verschleiß der Turbinenschaufeln und wirkt sich damit unmittelbar auf die Standfestigkeit der Anlage aus.

Bild 5 zeigt beispielhaft die Kälteleistung eines R718-Turbo-KWS für Prozesskälte im Juli 2003. Der KWS erzeugte kontinuierlich eine Kälteleistung zwischen 600kW und 1MW mit nur zwei Abschaltungen. Absenkungen in der erforderlichen Kälteleistung traten nachts bzw. an den Wochenenden auf. Infolge des sehr heißen Sommers konnten die Rückkühlbedingungen für den R718-Turbo-KWS nicht durchgehend gewährleistet werden, so dass bei erhöhten Rückkühltemperaturen die Kaltwassertemperatur etwas angehoben wurde. Diese Temperaturverläufe sind im Bild 6 dargestellt. Neben der Überwachung der Verdichter mittels

Schwingungsmessung sind die Antriebsmaschinen mit Lagertemperaturfühlern ausgerüstet. Die Lagertemperaturen liegen im Durchschnitt bei 30°C mit Spitzenwerten von 45°C.

Vorteile des R 718-Turbo-KWS sind:

- hohe Leistungszahlen
- keine Umweltgefährdung
- Kältemittel ist unbrennbar
- geringe Schallemission
- keine Schwingungen, keine besonderen Fundamente
- keine Lagerhaltung gefährlicher Kältemittel
- keine Schmierstoffkreisläufe
- keine Entsorgungsprobleme
- keine aufwendige Maschinenraumgestaltung

Seit der Einführung der R 718-Turbo-KWS Technologie zur Kälteerzeugung konnten positive Betriebserfahrungen von über 25000h gesammelt werden. Konstruktionsbedingt können diese Kaltwassersätze ihre Vorteile besonders bei der Versorgung mit Grundlastkälte ausspielen. ←

Dr.-Ing. Bodo Burandt,
ILK-Projektgesellschaft mbH,
Luft- und Kältetechnik, 01309 Dresden