

Grosswärmepumpen (GWP) und natürliche Kältemittel

GWP mit Kältemittel R717 (Ammoniak NH₃)

Toni Sigrist*

In der Schweiz wurde der Bau von Grosswärmepumpen in den 70er-Jahren auf Grund des hohen Ölpreises stark gefördert. Mit der Erhöhung des Ölpreises in den 80er-Jahren ist das Interesse an Wärmepumpeninvestitionen wieder gesunken, obwohl die Wärmepumpentechnologie von den Herstellern und Fachfirmen stetig verbessert und optimiert wurde. Seit Ende der 90er-Jahre, insbesondere in den letzten Wochen und Monaten, ist jedoch das Interesse an Wärmepumpen auf Grund der rasant ansteigenden Ölkosten wieder stark angestiegen. Auch wegen der Entscheidung des Bundesrats, auf Öl- und Gasheizungen eine CO₂-Abgabe zu erheben, werden in den nächsten Jahren vermehrt Grosswärmepumpen geplant und gebaut werden.

Früher wurden die Grosswärmepumpen (GWP) vor allem mit dem Kältemittel R12 betrieben. Auf Grund des hohen Treibhauseffekts sowie des hohen Ozonabbaupotenzials (ODP) des Kältemittels R12 und weiterer FCKW-Kältemittel (siehe Übersichtstabelle), mussten diese Wärmepumpen verstärkt durch gesetzliche Vorgaben bis 2004 auf Übergangskältemittel wie zum Beispiel das Kältemittel R134a oder andere chlorfreie Kältemittel (HFKW) umgerüstet werden.

Diese Kältemittel haben beim Austreten in die Atmosphäre keinen Ozonabbau mehr zur Folge (ODP = 0), jedoch trägt jedes dieser HFKW-Kältemittel mit seinem Treibhauspotenzial gleichwohl zur globalen Temperaturerwärmung unseres Lebensraums bei: 1 kg R134a mit GWP = 1300 wirkt dabei wie 1300 kg CO₂.

Seit einigen Jahren werden vermehrt Grosswärmepumpen mit dem natürlichen Kältemittel R717 (Ammoniak NH₃) gebaut. Mit R717 wird ein natürliches Kältemittel eingesetzt, das weder ein Ozonabbaupotenzial (ODP = 0) noch einen Treibhauseffekt (GWP = 0) aufweist.

Ammoniak als Kältemittel wirtschaftlicher

Weshalb sind Grosswärmepumpen mit Ammoniak als Kältemittel wirtschaftlicher als Wärmepumpen mit HFKW-Kältemitteln? Vor dem Entscheid für eine

Wärmepumpenanlage muss man die folgenden fünf wirtschaftlichen Kriterien vergleichen.

- Investitionskosten der WP-Anlage
- Jahreslaufzeit der WP-Anlage
- Leistungszahl der WP-Anlage
- Wartungs- und Reparaturkosten der WP-Anlage
- Lebenserwartung der WP-Anlage

Investitionskosten der WP-Anlage

Bei den Investitionskosten dürfen nicht nur die reinen WP-Erstellungskosten betrachtet werden, auch die baulichen und lüftungstechnischen Aufwendungen für den Maschinenraum sind mit zu berücksichtigen.

Jahreslaufzeit der WP-Anlage

Je höher die Jahreslaufzeit einer Grosswärmepumpenanlage ist, umso wirtschaftlicher kann sie arbeiten. Als Richtwert für die Auslegung einer Wärmepumpenanlage ist eine Mindestjahresbetriebszeit von etwa 4000 h für mindestens einen der in der WP-Anlage installierten Kompressoren.

Leistungszahl der WP-Anlage

Mit der Leistungszahl COP der WP-Anlage wird die Effizienz der Wärmepumpe angegeben (COP = Coefficient of Performance).

Leistungszahl COP der WP=

$$\frac{\text{Elektr. Leistungsbedarf der WP (kW)}}{\text{Heizleistung der WP (kW)}}$$

Beispiel: Mit einer WP, die eine Leistungszahl COP = 5 erreicht, kann mit 1 kWh Stromverbrauch eine Heizleistung von 5 kWh erzeugt werden.

Bei den Leistungszahlen gilt es Folgendes zu beachten. Für eine WP-Anlage werden jeweils zwei Leistungszahlen angegeben:

- COP der WP: diese Leistungszahl bezieht sich nur auf die WP-Einheit
- COP der WP-Anlage: diese Leistungszahl bezieht sich auf die WP-Einheit und die Nebenantriebe

Beispiel Leistungszahlen COP einer WP bzw. WP-Anlage:

Heizleistung der Wärmepumpe	500 kW
Elektr. Leistungsaufnahme der Kompressoren	100 kW
Elektr. Leistungsaufnahme der Verdampferpumpe bzw. des Ventilators	4,5 kW
Elektr. Leistungsaufnahme der Kondensatorpumpe	2,5 kW
Elektr. Leistungsaufnahme der übrigen Nebenantriebe	1,5 kW

$$\text{Leistungszahl COP der WP} = \frac{500 \text{ kW}}{100 \text{ kW}} = 5$$

$$\text{Leistungszahl COP der WP-Anlage} = \frac{500 \text{ kW}}{100 + 4,5 + 2,5 + 1,5 \text{ kW}} = 4,61$$

Vergleichstabellen der Leistungszahlen von WP mit unterschiedlichen Kältemitteln

Die Leistungszahl einer NH₃-Wärmepumpe ist je nach Betriebstemperaturen bis über 20 % höher als die Leistungszahl einer Wärmepumpe mit HFKW-Kältemitteln.

Wartungs- und Reparaturkosten der WP-Anlage

Bei den Kosten für die Wartungsarbeiten dürfen nicht nur die reinen jährlichen Service- und Kontrollkosten der WP betrachtet werden. Die Revision der Kompressoren (je nach Kompressorfabrikat bei 20000 h, 30000 h oder 40000 h sollten auch berücksichtigt werden.

Als Richtwert für die Budgetierung der Service- und Wartungskosten einer WP-Anlage ist ein jährlicher Betrag von etwa 2,5–3 % der Anlagenkosten bereitzustellen bzw. rückzustellen. Somit ist für eine Verdichterrevisi- on, die je nach Jahresbetriebsstunden der Anlage nach 4–6 Jahren anfällt, genügend Geld budgetiert.

Lebenserwartung der WP-Anlage

Die Lebenserwartung einer Grosswärmepumpe mit Ammoniak liegt bei etwa 30–35 Jahren. Diese lange

Lebensdauer kann erreicht werden, weil ausschliesslich Industriekompressoren eingesetzt werden, die nach jeder Revision praktisch neuwertig sind.

Anwendungsbeispiele von Grosswärmepumpen

Anlagebeispiel 1: NH₃-WP-Anlage DSM Teranol Lalden VS

Diese NH₃-WP-Anlage ist eines der grössten erstellten Beispiele in der Industrie. Mit fünf Schraubenverdichtern wird im Endausbau bei einer Kondensationstemperatur von 56 °C eine Heizleistung von 9,7 MW erzeugt. Die WP-Anlage arbeitet bei einer Wärmequellentemperatur von +5 °C und einer Kondensati-

Neben den natürlichen Kältemitteln (NH₃ / CO₂ / Propan) werden die synthetisch hergestellten Kältemittel in folgende Gruppen aufgeteilt:

FCKW	Fluor chlor kohlen wasserstoffe R11 / R12 / R113 / R114 / R115 / R500 / R502
HFCKW	Hydrogen fluor chlor kohlen wasserstoffe R22 / R123 / R124 / R141b / R142b
HFKW	Hydrogen fluor kohlen wasserstoffe R134a / R404A / R407 / R23 etc.

Gruppeneinteilung Kältemittel

Ozonabbaupotential	ODP (Ozon Depletion Potential)	Bezogen auf R11
Treibhauswirksamkeit	GWP (Global Warming Potential) HGWP	Bezogen auf CO ₂ Bezogen auf R11

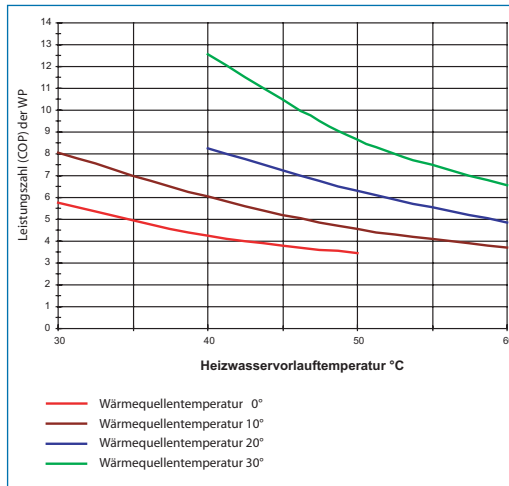
Übersicht ODP- und GWP-Potential der Kältemittel

Natürliche Kältemittel		Verweilzeit in der Atmosphäre	ODP	GWP (CO ₂ = 1)
Ammoniak R717	NH ₃		0	0
Propan R290	C ₃ H ₈		0	3
Isobutan R600a	C ₄ H ₁₀		0	
Sicherheitskältemittel				
Halone	R13B1		10	15000
FCKW	R12	120	1	7100
	R502	ca. 300	0,23	4300
H-FCKW	R22	20	0,05	1700
Servicekältemittel	R401A		0,03	1080
Servicekältemittel	R402a		0,02	2570
H-FKW	R134a	16	0	1300
	R404A		0	3750
	R507		0	3800
	R407C		0	1610

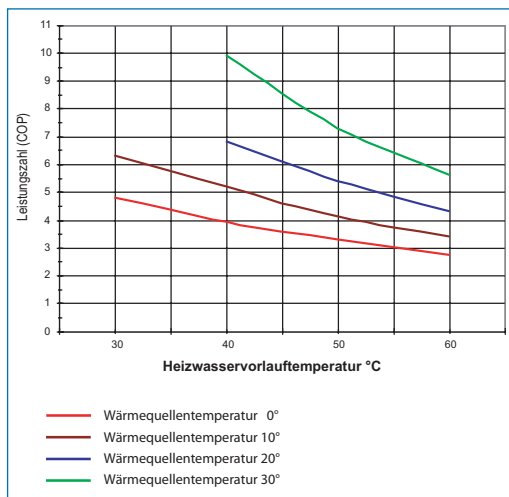
FCKW	➔ R-12 / R-502 / R-11 etc.
🚫	Verbot in Neuanlagen seit 1.1.1995
🚫	Verbot im Service ab 1.1.2004
HFCKW	➔ R-22 / MP-39 / HP-80 etc.
🚫	Verbot in Neuanlagen seit 01.01.2002
🚫	Verbot im Service in Vorbereitung 01.01.2015
HFKW	➔ R-134a / R-404A / R-407C / R23 etc.
🚫	Keine Einschränkung, Bewilligungspflicht ab 1.1.2004
Bewilligungspflichtig sind alle Kälteanlagen mit einer HFKW-Füllung von mehr als 3 kg. Dazu muss ein Wartungsheft geführt werden. (erweitertes "Kontrollblatt" über ausgeführte Arbeiten)	

«Fahrplan» der Verbote für problematische Kältemittel

Leistungszahl COP einer Wärmepumpe mit Kältemittel R717 (Ammoniak NH₃)



Leistungszahl COP einer Wärmepumpe mit Kältemittel R134a



onstemperatur von +56 °C mit einer nachgewiesenen Leistungszahl von 3,36.

Anlagebeispiel 2: Monovalente NH₃-WP-Anlage Kantonsspital Altdorf UR

In Rahmen der Heizungssanierung wurde die Heizzentrale durch zwei NH₃-Wärmepumpen ersetzt. Die neuen NH₃-Wärmepumpen wurden in einem eigenen neuen Maschinenraum im Untergeschoss des Kantonsspitals installiert. Um bei einem allfälligen NH₃-Leck die Sicherheit zu gewährleisten, wurde im selben



Bild links: Wärmepumpen-Anlage DSM Teranol, Lalden VS

Bild rechts: Maschinenraum NH₃-WP Kantonsspital Altdorf UR

Raum ein Ammoniak-Luftwäscher installiert. Die zwei Ammoniak-Wärmepumpen sind Serie-geschaltet. Als Wärmequelle dient das Grundwasser mit einer Temperatur von etwa +10 °C.

Pro Wärmepumpe ist ein Schraubenverdichter installiert. Die Leistungsregulierung erfolgt durch Drehzahlregelung des Verdichtermotors. Um die Ammoniakmenge der Anlage tief zu halten, wurden ausschliesslich vollverschweisste Plattenwärmetauscher eingesetzt. Für einen hohen Anlagenwirkungsgrad wurde eine überflutete Verdampfung gewählt.

Technische Daten pro WP-Einheit

Kältemittel	R717 (Ammoniak NH ₃)
Inhalt pro Anlage	120 kg
Wärmequelle	Grundwasser
Eintrittstemperatur	+10 °C
Austrittstemperatur	+ 6 °C
Heizungswassereintritt am Kondensator	+ 40 °C
Heizungswasseraustritt am Kondensator	+ 50 °C
Heizleistung am Kondensator	536 kW
Heizungswassereintritt am Ölkühler	+ 47 °C
Heizungswasseraustritt am Ölkühler	+ 70 °C
Heizleistung am Ölkühler	75 kW
Elektr. Leistungsaufnahme des Verdichters	151 kW
Leistungszahl COP der WP	4,05

Anlagebeispiel 3: Wärmepumpe als Abwärmestufe von Kälteanlagen

In Industriebereichen, wo der Heizenergiebedarf genau so wichtig ist wie der Kältebedarf, können mit Wärmepumpen, die direkt im Kältemittelkreislauf integriert sind, sehr wirtschaftliche Lösungen realisiert werden. Die zu kondensierende Abwärme der Kälteanlage wird als Wärmequelle für die Wärmepumpenstufe genutzt.

Anlagebeispiel 4: Suttero Fleischwaren, Gossau SG

In einem 2003 erstellten Erweiterungsbau wurden folgende Bedarfe ermittelt:

Benötigte Kälteleistung	15 MWh/Tag
Benötigter Wärmebedarf pro Tag:	
Brauchwarmwasser für die tägliche Reinigung der Räume (50 m ³)	2,9 MWh/Tag
Heizbedarf für Heizung, Lüftung und Entfeuchtung	1,6 MWh/Tag



Mit einer NH₃-Kälte-trägerkühlanlage werden bei einer Kälte-träger-temperatur von -8 °C die zu kühlenden Räume bewirtschaftet. Wärmerückgewinnung WRG mit WP: Das Heissgas der drei Kälte-erzeu-gungs-ver-dichter wird zuerst über einen Enthitzer geführt, wo es der WRG die Enthitzungswärme abgibt. Anschlies-send strömt es durch den Zwischenkühler, wo es für der WP-Stufe als Wärmequelle dient. Die durch die Wärmepumpe kondensierte NH₃-Flüssigkeit wird über einen Hochdruck-Schwimmer dem Abscheider zugeführt. Die nicht nutzbare Abwärme wird über die luftgekühlten Kondensatoren auf dem Dach abge-führt.

Der WP-Kondensator und der Kälteanlagen-Enthitzer sind heizungsseitig in Serie geschaltet. In der Grundauslegung werden 3/4 der Wärme von der WP und 1/4 vom Enthitzer abgegeben. Wenn jedoch der Enthitzer infolge der hohen Kälte-an-lagen-leistung mehr Leistung abgeben kann, wird die WP-Leistung automatisch zurückgeregelt.

Technische Daten

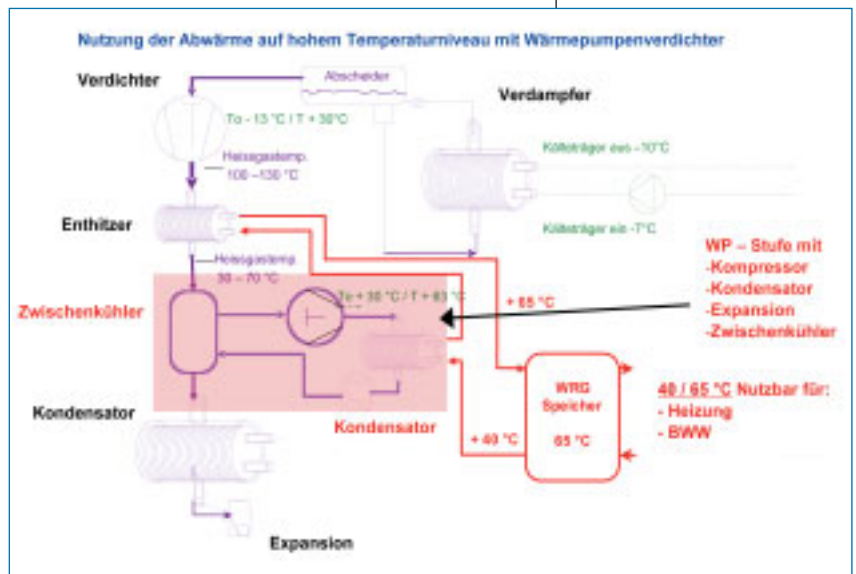
Kältemittel	R717 (Ammoniak NH ₃)
Inhalt pro Anlage	150 kg
Kälteleistung	1000 kW
Wärmequelle	Heissgas der NH ₃ -Kälte-erzeu-gung
Kondensationstemperatur Mittelstufe	ca. + 25 °C
Kondensationstemperatur WP-Stufe	ca. + 60 °C
Heizungswassereintritt am Kondensator	+ 45 °C
Heizungswasseraustritt am Kondensator	+ 60 °C
Heizleistung	300 kW
Leistungszahl COP der WP	6,8

Zusammenfassung

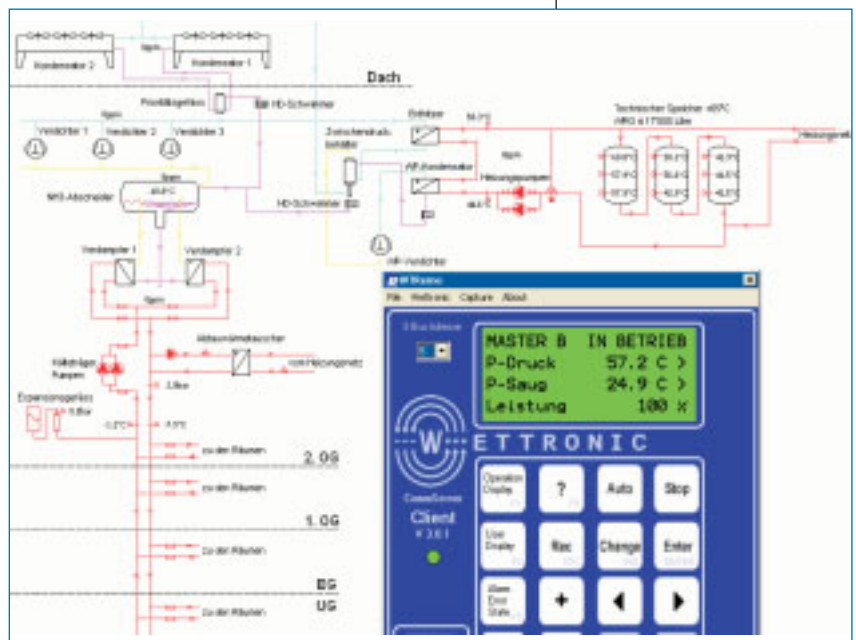
Auf Grund der Entscheidung des Bundesrats, auf Öl- und Gasheizungen eine CO₂-Abgabe zu erheben, so-wie wegen der hohen und weiter steigenden Ölpreise, werden in den nächsten Jahren vermehrt Grosswärmepumpen geplant und gebaut werden. Wenn in der Planungsphase einer Industrieanlage die Kälte- und Heizungsbedarfe genau analysiert werden, können für den Betreiber äusserst wirtschaftliche integrale Gesamtlösungen realisiert werden. ■

*Toni Sigrist, Walter Wettstein Kältetechnik AG, Gumligen

Projektinformationen über Ammoniak-Wärmepumpen und -Kälteanlagen erteilen gerne:
Felix Burger, Norbert Heinemann, Peter Eppisser und Toni Sigrist, Walter Wettstein AG, www.wwag.ch



Wärmepumpe als Abwärmestufe einer Kälteanlage



Prinzipschema Anlage Suttero, Gossau SG