

Umweltschonende Kälteerzeugung - Absorptionskälte in der Praxis



Eröffnungsvortrag:

Grundlagen der Absorptionskälteerzeugung

Seit Jahren wird über das ansteigende Temperaturniveau auf der Erde diskutiert, das im wesentlichen durch den anthropogenen Treibhauseffekt verursacht werden soll. Allen Anstrengungen zur Energieeinsparung zum Trotz steigt insbesondere beim Neubau von z. B. Bürogebäuden, Kaufhäusern und Hotels der Kältebedarf an. Daneben gibt es industrielle Prozesse für die Kälte, u. a. auch in Form von Tieftemperaturkälte, unverzichtbar ist.

Bei der Kälteerzeugung mit Erdgas in Absorptionskälteanlagen werden höchste Ansprüche an den Umweltschutz und an die Luftreinhaltung erfüllt. Zudem werden in Absorptionskältemaschinen keine FCKW eingesetzt. Sie nutzen die eingesetzte Energie wesentlich rationeller als elektrisch betriebene Anlagen. Neben ihren Umweltvorteilen sind sie nahezu verschleißfrei, wartungsarm, geräuscharm und weisen ein hervorragendes Teillastverhalten auf (Bild 1).

Technik

Die beiden wichtigsten Verfahren der Kälteerzeugung sind der Kompressionskälteprozeß und der Absorptionskälteprozeß. In beiden Fällen wird die Kälte dadurch erzeugt, daß eine Flüssigkeit, das sog. Kältemittel, bei einem niedrigen Druck verdampft. Die für die Verdampfung des Kältemittels erforderliche Wärme wird dem zu kühlenden Medium entzogen, wodurch der Kühleffekt entsteht.

Um das dampfförmige Kältemittel wieder zu verflüssigen, wird es beim Kompressionskälteprozeß mechanisch verdichtet und im Kondensator auf einem höheren Druck- und Temperaturniveau verflüssigt, wobei die Kondensationswärme abzuführen ist. Vergleicht man beide Prozesse (Bild 2), so ist zu erkennen, daß der Lösungsmittelkreislauf im Absorptionsprozeß der Funktion des Verdichters im Kompressionsprozeß entspricht. Der Vorteil des Absorptionsprozesses ist, dass der Bedarf an elektrischer Antriebsleistung nur Bruchteile im Vergleich zum Kompressionsprozeß beträgt. Die Hauptantriebsenergie des Absorptionsprozesses ist Wärme, die in einem Temperaturbereich von 90 bis 180 °C benötigt wird. So ist, außer einer direkten Beheizung, auch die Nutzung verschiedener Wärmequellen wie Prozeßabwärme und Kombination mit Kraft-Wärme-Kopplung möglich.

Von vielen theoretisch möglichen Stoffkombinationen für Absorptionskälteprozesse haben sich in der Praxis zwei Paarungen durchgesetzt:

- Wasser/Lithiumbromid für den Temperaturbereich 6/12 °C
- Ammoniak/Wasser für den Tieftemperaturbereich bis - 60 °C.

Beim System Wasser/Lithiumbromid ist Wasser das Kältemittel und eine konzentrierte Lösung von Lithiumbromid in Wasser das Lösungsmittel.

Kennzeichnend für die Güte des Kälteprozesses ist die Leistungszahl, d.h. das Verhältnis von Nutzkälte zu Wärmezufuhr. Mit dem einstufigen Lithiumbromid-Absorber wird eine Leistungszahl von ca. 0,65 erreicht; die erforderliche Beheizungstemperatur liegt im Bereich von 90 bis 115 °C. Damit sind diese Geräte zur Kombination mit Blockheizkraftwerken geeignet und können so die Auslastung zu Zeiten geringen Heizbedarfs verbessern.

Bemerkenswert ist, daß die Wirkungsgradkette einer solchen Kraft-Wärme-Kopplung günstiger ausfällt als die Kompressionskälteerzeugung mit Strom aus einem Kondensationskraftwerk (Bild 3).

Lithiumbromid-Absorptionskältemaschinen gibt es auch mit einem zweistufigen Austreiber, wodurch eine deutliche Verbesserung der Leistungszahl auf etwa 1,1 erreicht wird. Damit eignen sich diese Geräte für direkte Befuerung mit Erdgas und können sowohl wirtschaftlich als auch energetisch mit elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschinen konkurrieren.

(Übersicht über das Geräteangebot in Bild 4)

Typische Anwendungsgebiete sind der Klimabereich mit Nutzttemperaturen von + 4 °C bis + 12 °C. Am Markt verfügbar sind Geräte mit Kälteleistungen von 10 kW bis ca. 5 MW.

Eine Besonderheit der erdgasbeheizten Ausführungen ist die gleichzeitige Kühl- und Heizfunktion dieser Geräte, so dass häufig die Investition für einen Spitzenlastkessel eingespart wird.

Im Ammoniak/Wasser-Absorptionskälteprozeß ist Ammoniak das Kältemittel und Wasser das Lösungsmittel. Die Leistungszahl des Prozesses ist von der Verdampfungstemperatur abhängig, z. B. 0,3 bei - 20 °C und 0,5 bei - 5 °C. Eine Verbesserung der Leistungszahl durch mehrstufige Austreiber ist im Ammoniak/Wasser-Prozeß nicht möglich.

Haupteinsatzgebiet der Ammoniak-Absorber war bisher die großtechnische Anwendung im MW-Bereich mit maßgeschneiderten Anlagen in der Verfahrenstechnik, vornehmlich in Verbindung mit der Nutzung von billiger Abwärme. Derzeit sind verschiedentlich Entwicklungen zu beobachten, die Ammoniak-Absorber auch im kleineren Leistungsbereich zu vermarkten.

Absorptionskältemaschinen haben praktisch keine beweglichen, verschleißbaren Maschinenkomponenten. Darum verfügen diese Anlagen über eine lange Lebensdauer bei geringem Wartungsaufwand. Diese FCKW-freien Kälteerzeuger arbeiten vibrations- und nahezu geräuschfrei und lassen sich ohne energetischen Nachteil stufenlos bis auf 20 % Nennleistung regeln.

Einsatzbereiche

Ende 1998 waren in der Bundesrepublik Deutschland insgesamt rd. 750 Absorptionskälteanlagen mit einer Gesamtkälteleistung von ca. 1.000 MW in Betrieb (Bild 5).

Dominierend ist der Einsatz in der Industrie, der ca. 48 % der installierten Kälteleistung ausmacht (Bild 6). Die weitere Verteilung, wie öffentliche Einrichtungen, Einkaufszentren, Krankenhäuser, Verwaltungen, Kreditinstitute und Hotels zeigt, dass diese innovative Gerätetechnik eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten bietet.

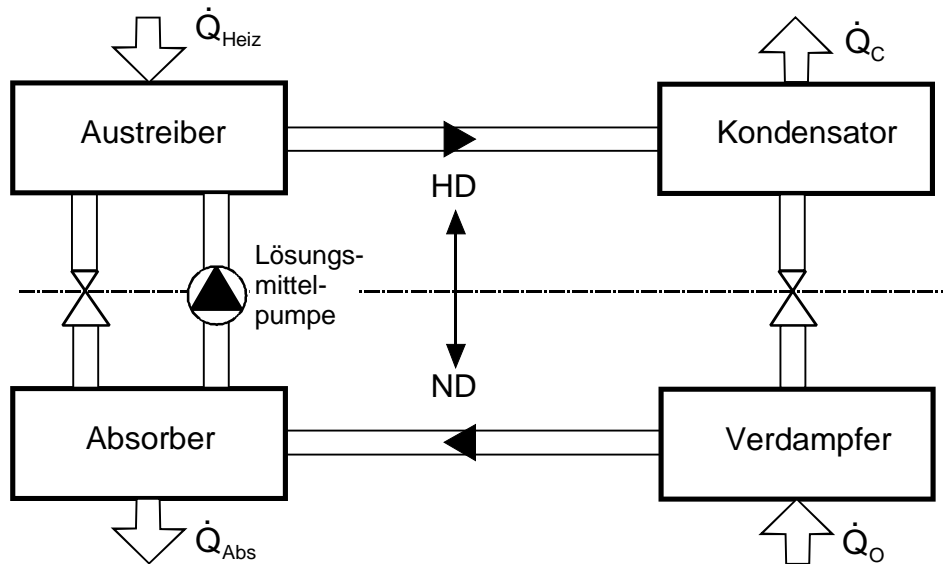
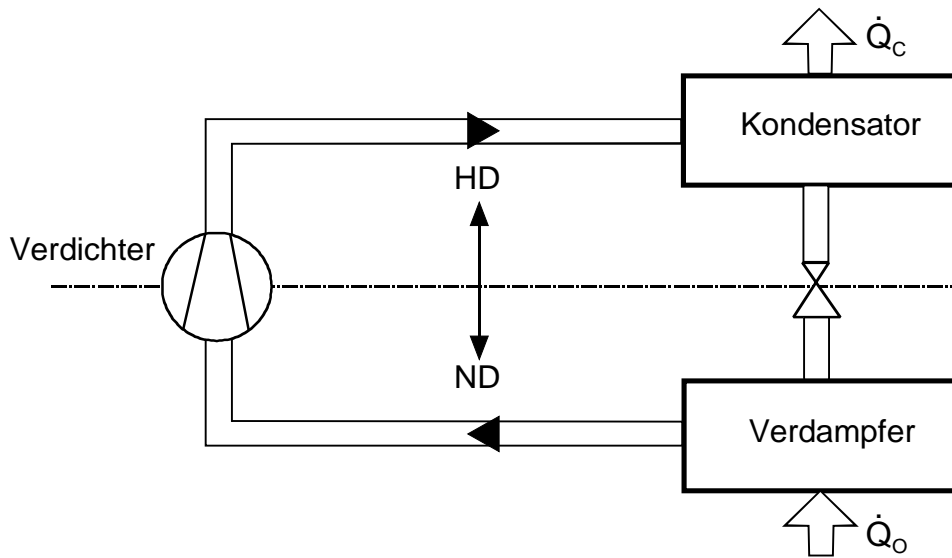
Anlagen:

- Bilder 1 - 6
- Beispiel für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit Bildern A1 - A4

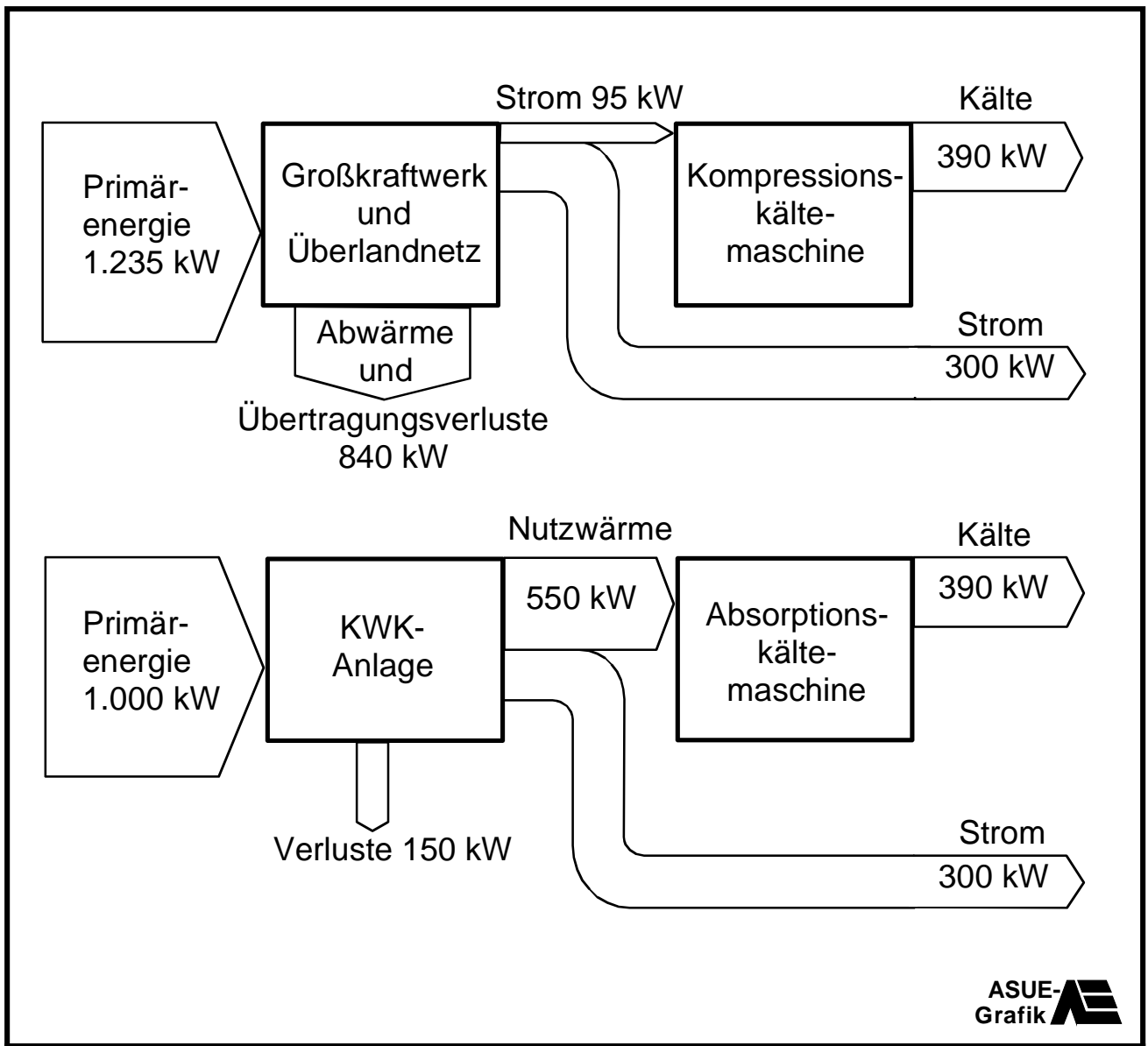
**Erdgasbetriebene Absorptionskälteanlagen:
...Kälte, die durch Wärme erzeugt wird...**

- **Keine Verwendung von FCKW,
sondern umweltverträgliche Stoffpaare**
- **Bewährte Technologie**
- **Nahezu verschleißfrei**
- **Wartungsarm**
- **Geräuscharm**
- **Hervorragendes Teillastverhalten**

**Vorteile durch
umweltschonende Absorptionskälteerzeugung**



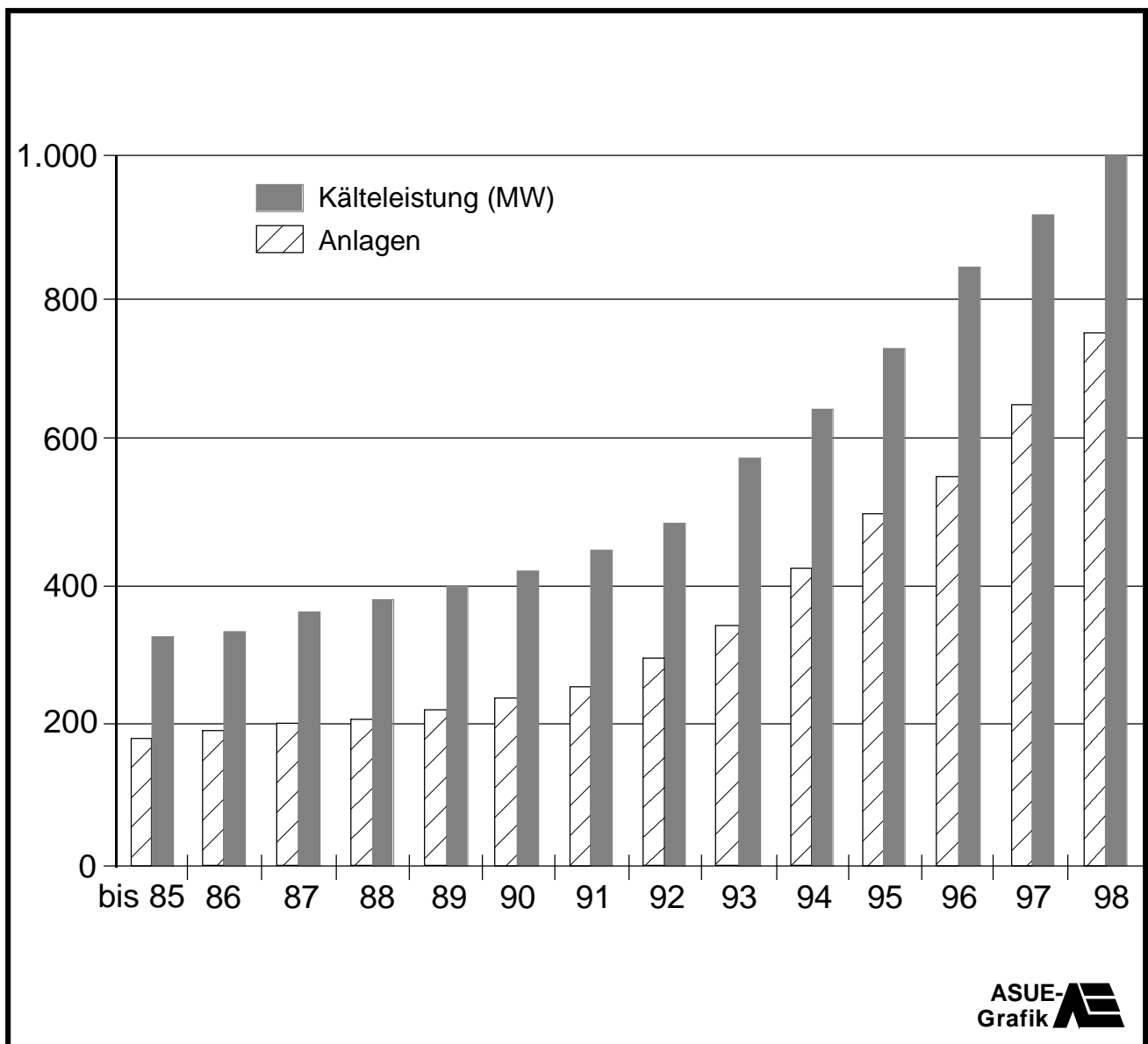
Vergleich von Kompressions- und einstufigen Absorptionskälteanlagen



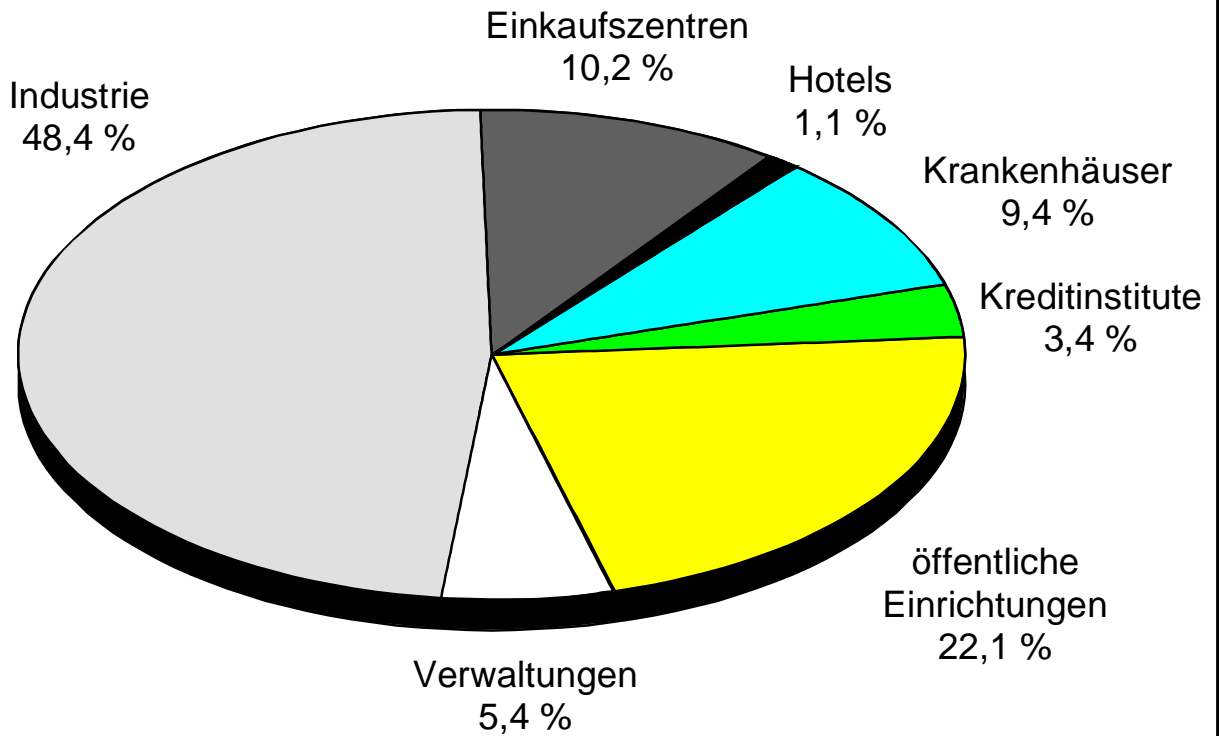
Konventionelle Kälteerzeugung im energetischen Vergleich mit Absorptionskälteerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung

Modulkälteleistung (kW)	10-88	40-5.000	350-6.000	105-5.200
Kälte-/Absorptionsmittel	NH ₃ /H ₂ O	H ₂ O/LiBr	H ₂ O/LiBr	H ₂ O/LiBr
Heizmittel	Erdgas	Heizwasser 80-120 °C	Dampf 150-180 °C	Erdgas
einstufig	●	●	-	-
zweistufig	-	-	●	●
ausgekoppelte Nutzwärme (kW)	-	-	-	87-4.900 (bis 80 °C)
Wärmeverhältnis (erzeugte Kälte/einge- setzte Wärmeleistung)	0,6	0,7	1,2	1,0-1,2

Geräteangebot für die Klimatisierung (6/12 °C)



Absorptionskälteanlagen in Deutschland



bezogen auf installierte Kälteleistung

ASUE-
Grafik

Einsatzbereiche von Absorptionskälteanlagen

Anlage zum Vortrag „Grundlagen der Absorptionskälteerzeugung“

Wirtschaftlichkeit von Absorptionskälteanlagen - Beispielrechnung

Prinzipiell sind bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Kälteanlagen die gleichen Vorarbeiten zu leisten, wie für jede andere Energieanlage: Dies sind Auslegung, Dimensionierung und technische Planung der Anlagenkomponenten, die Ermittlung der Investitions- und Kostendaten sowie Zusammenführung dieser Daten in einer Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Dabei darf natürlich die aktuelle Entwicklung auf dem liberalisierten Strommarkt nicht außer acht gelassen werden. Hier haben sich gerade in den letzten Monaten wesentliche Veränderungen ergeben, die einen erheblichen Einfluß auf die Betriebskosten von elektrisch angetriebenen Aggregaten, aber auch auf den Einsatz der BHKW-Technik haben.

Im nachfolgenden Beispiel werden die Jahresgesamtkosten eines elektrisch angetriebenen Schraubenverdichter-Flüssigkeitskühlers, eines direkt gasbeheizten, zweistufigen Absorptionsflüssigkeitskühlers und eines indirekt mit BHKW-Abwärme beheizten, einstufigen Absorptionsflüssigkeitskühlers ermittelt und miteinander verglichen.

Neben den Kälteerzeugern sind auch die Investitionen für die Bauteile Rückkühlwerk, Pumpen, verbindende Rohrleitungen sowie weiteres Zubehör zu berücksichtigen. Das nachgeschaltete Kaltwassernetz hat keine Relevanz für den Vergleich und geht nicht in die Berechnung ein. Zu den sich daraus ergebenden kapitalgebundenen Kosten werden auch die verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten ermittelt und in die Berechnung eingebracht. Die spezielle Strompreiskonfiguration ist allerdings in jedem Einzelfall zu beachten. Alle Daten sind in den Bildern **A1 - A4** zusammengestellt.

Aus der vorstehenden Kostenbetrachtung ist ersichtlich, daß die zweistufige Absorptionskälteanlage im Vergleich mit der Kompressionskälteanlage einen wirtschaftlichen Betrieb garantiert. Durch die Kombination einer einstufigen Absorptionskälteanlage mit einer BHKW-Anlage läßt sich eine nochmals gesteigerte Wirtschaftlichkeit erreichen

Diese Musterrechnung soll Ihnen den Rechenweg erläutern und eigene Wirtschaftlichkeitsberechnungen ermöglichen.

Auslegungsdaten

Kälteleistung	800 kW
Kaltwassereintritt	12 °C
Kaltwasseraustritt	6 °C
Vollbenutzungsstunden	500 pro Jahr
Strom-Leistungspreis	90 DM/kW Jahr
Strom-Arbeitspreis	90 DM/MWh
Gasmischpreis	30 DM/MWh (Ho)
Frischwasserpreis	4 DM/m ³ (Anteil Frischwasser 75 %)
Abwasserpreis	3 DM/m ³ (Anteil Abwasser 25 %)

Instandhaltungskosten für Absorptionskälteanlage 1 %, Rückkühlwerk und sonstige Anlagenteile 2 % der Investitionskosten.

Instandhaltungskosten für Verdichteranlage 3 % der Investitionskosten, für Rückkühlwerk und sonstige Anlagenteile 2 % der Investitionskosten.

Für die kapitalgebundenen Kosten wird ein Festkostensatz von 10 % angesetzt.

Berechnungsbeispiel

Leistungs- und Verbrauchswerte		Schraubenverdichter	Absorber direkt beheizt zweistufig	Absorber indirekt beheizt einstufig
Elektrische Leistungsaufnahme				
-Kältemaschinenanlage	kW	180	4	4
-Rückkühlwerk	kW	16	26	32
-Kaltwasserumwälzung	kW	6	6	6
-Kühlwasserumwälzung	kW	6	9	12
	kW	208	45	54
Heizleistung	kW	--	735	1.330
Frischwasserverbrauch	m ³ /Jahr	968	1.277	1.738
Abwasserverbrauch	m ³ /Jahr	242	319	463
Investitionskosten				
Gesamtinvestition einschl. Rückkühlwerk, Pumpen, Rohrleitungen, Armaturen, Isolierung und elektrischer Anlage	DM	407.000,-	651.000,-	505.000,-
Einsparung Heizkessel	DM		-150.000,-	

Berechnungsbeispiel

Kapitalgebundene Kosten	DM/Jahr	40.700,-	50.100,-	50.500,-
Verbrauchsgebundene Kosten				
Elektrische Energiekosten	DM/Jahr	28.080,-	6.075,-	7.290,-
Brennstoffkosten	DM/Jahr	---	12.205,-	41.515,- ¹⁾
Frischwasserkosten	DM/Jahr	3.870,-	5.110,-	6.950,-
Abwasserkosten	DM/Jahr	730,-	960,-	1.390,-
Stromerlös aus zusätzl. BHKW-Betrieb	DM/Jahr	---	---	-48.000,- ²⁾
	DM/Jahr	32.680,-	24.350,-	9.145,-
Betriebsgebundene Kosten				
Wartungskosten Kälteanlagen	DM/Jahr	10.430,-	7.700	6.060,-
Wartungskosten BHKW	DM/Jahr	---	---	10.000,-
	DM/Jahr	10.430,-	7.700,-	16.060,-

1) Brennstoffkosten aus zusätzl. BHKW-Betrieb, BHKW 800 kW_{el}, 1.330 kW_{th},
 η_{el} 0,32, 500 Vollbenutzungsstunden, BHKW-Wartungskosten 2,5 Pf/kWh_{el}

2) Stromerlös-Mischpreis Industrie, Gewerbe, Haushalt, 120,- DM/MWh, zuzüglich
Durchleitungsgebühren, Konzessionsabgabe, Stromsteuer

Berechnungsbeispiel

Gesamtkosten

Kapitalgebundene Kosten	DM/Jahr	40.700,-	50.100,-	50.500,-
Verbrauchsgebundene Kosten	DM/Jahr	32.680,-	24.350,-	9.145,-
Betriebsgebundene Kosten	DM/Jahr	10.430,-	7.700,-	16.060,-
	DM/Jahr	83.810,-	82.150,-	75.705,-

Berechnungsbeispiel