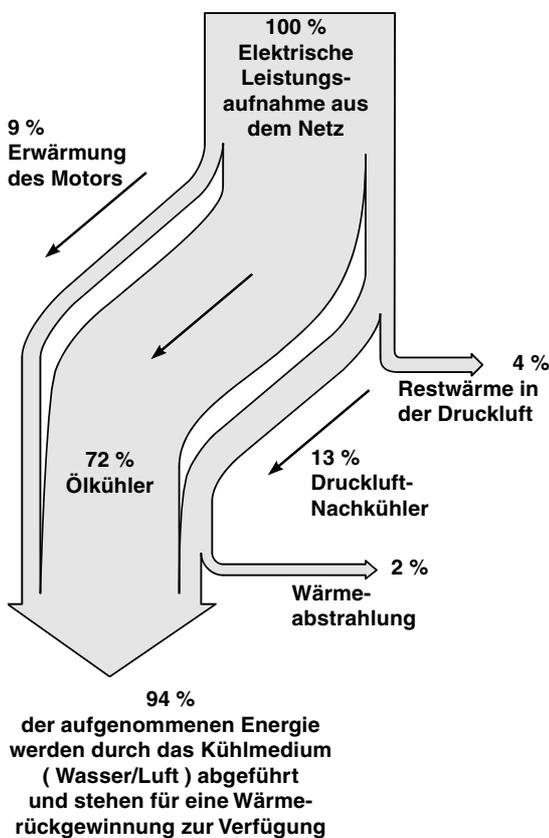


11. Wärmerückgewinnung

Die steigenden Energiekosten und das zunehmende Umweltbewußtsein führte bei vielen Betreibern von Kompressoranlagen zu der Einsicht, daß das enorme Potential der Kompressorabwärme nicht mehr ungenutzt verpuffen darf. Sie traten an die Kompressorenhersteller heran und die entwickelten leistungsfähige Wärmerückgewinnungsanlagen. Seitdem wird die Abwärme vom Kompressoren nutzbar gemacht. Sie dient zum Beheizen von Räumen und zum Erwärmen von Brauch- und Heizungswasser.

11.1 Wärmebilanz einer Kompressorstation



Um die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung bei Kompressoren einschätzen zu können, muß berücksichtigt werden, daß aufgrund des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik die gesamte aufgenommene elektrische Leistung eines Kompressors in Wärme umgewandelt wird. Um diese Abwärme wirtschaftlich nutzen zu können, muß man wissen, wo sie auftritt und welche Anteile der Abwärme für die Rückgewinnung wirtschaftlich nutzbar sind.

Die Abwärme wird immer mit Hilfe eines Kühlmediums abgeführt. Dieses Kühlmedium enthält ca. 94 % der dem Kompressor zugeführten elektrischen Energie in Form von Wärme. Ca. 4 % verbleiben als Restwärme in der Druckluft und ca. 2 % gehen durch Wärmestrahlung an die Umgebungsluft verloren.

Bei der Aufstellung einer Wärmebilanz darf man nicht nur die vom Motor abgegebene Leistung zugrunde legen, die der Kompressor zur Komprimierung der Luft benötigt. Auch der Elektromotor selbst wandelt Energie in Wärme um. Man muß auch den Wirkungsgrad des Motors, der je nach Antriebsleistung zwischen 80 % und 96 % liegt, berücksichtigen. Dadurch wird die entstandene Abwärmemenge noch einmal erhöht.

Bild 11.1 :
Wärmeverteilung in einem Schraubenkompressor mit Öleinspritzkühlung.

11.2 Raumheizung

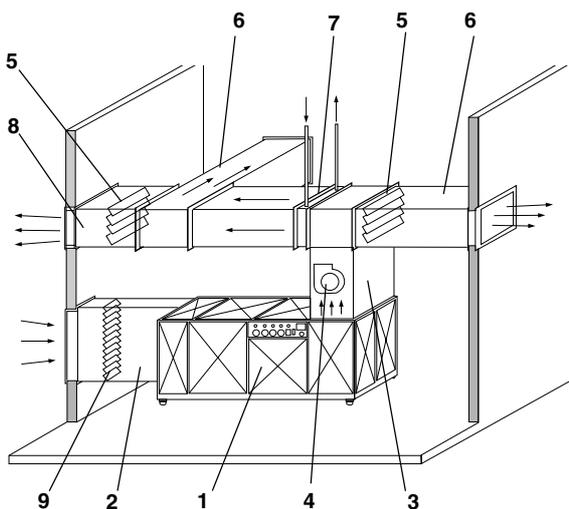
Die naheliegendste Nutzungsmöglichkeit der Kompressorabwärme ist die Raumheizung.

Bei der einfachsten Methode der Raumheizung wird der Kompressor in dem Raum aufgestellt, der beheizt werden soll. Das heißt, der Kompressor wird direkt in den Werkstatt- oder Lagerräumen, meist in der Nähe von Arbeitsplätzen, installiert.

In diesem Fall sind nur Kanäle für die Abführung der Wärme im Sommer bei hohen Temperaturen im Aufstellraum notwendig. Die warme Heizluft muß nicht über weite Strecken herangeführt werden.

Allerdings muß eine ausreichende Kühlung des Kompressors sichergestellt werden. Eine Schalldämmung ist normalerweise unerlässlich um die einschlägigen Schallschutzbestimmungen einhalten zu können.

11.2.1 Raumheizung durch Kanäle



- 1 = Schallgedämmter Kompressor
- 2 = Zuluftkanal
- 3 = Abluftkanal
- 4 = zusätzlicher Abluftventilator
- 5 = Regelklappen
(thermostatisch gesteuert)
- 6 = Abluftkanäle
(Raumheizung)
- 7 = Wärmeaustauscher
- 8 = Abluftkanal
(ins Freie für Sommerbetrieb)
- 9 = Zuluftklappe

Um die Abwärme einer zentralen Kompressorstation nutzen zu können, muß der erwärmte Kühlluftstrom durch Kanäle in die zu beheizenden Räume gebracht werden. Die Installation ist nur für größere Kompressoren empfehlenswert, da bei kleineren Kompressoren nicht genügend verwertbare Abwärme zur Verfügung steht.

Der Kühlluftstrom streicht über den Kompressor und den Antriebsmotor. Der Kühlluftstrom nimmt die Abwärme auf und wird mit Hilfe eines Ventilators in einen Abluftkanal gesaugt. Dabei erwärmt sich der Kühlluftstrom im allgemeinen auf +50° bis +60°C.

Eine Nutzung der Kompressorwärme zur Raumbeheizung setzt einen gekapselten (schallgedämmten) Kompressor mit kanalisierter Kühlluftführung voraus. BOGE-Schraubenkompressoren sind serienmäßig schallgedämmt und mit einem internen Ventilator ausgerüstet. Sie können aus diesem Grund problemlos an ein Kanalsystem angeschlossen werden. Nicht gekapselte Kompressoren (z.B. die meisten Kolbenkompressoren) können durch die Installation einer angepaßten Schalldämmhaube nachträglich für die Nutzung der Abwärme umgebaut werden.

Bild 11.2 :
Funktionsschema einer Kanalführung

11.2.2 Funktion einer Raumheizung

Isolierte Kanäle leiten die warme Kühlluft des oder der Kompressoren bei niedrigen Außentemperaturen ins Gebäude. Dadurch werden die entsprechenden Räume erwärmt. Bei hohen Außentemperaturen leitet ein Kanal die Kühlluft direkt ins Freie.

Der Kühlluftstrom wird durch Zuluft- und Regelklappen geführt. Die Ansteuerung dieser Klappen und der Ventilatoren sollte über einstellbare Raumthermostaten erfolgen, die die Temperatur in den beheizten Räumen überwachen.

Um die Ausbreitung von Bränden durch die Lüftungskanäle zu verhindern, sind entsprechende Brandschutzmaßnahmen vorgeschrieben. Die DIN 4102, Teil 6 verlangt den Einbau von selbstschließenden Feuerschutzklappen, wenn Lüftungskanäle eine Mauer durchstoßen.

Es ist möglich, Wärmeaustauscher in die Kanäle einzubauen. Mit Hilfe dieser Wärmeaustauscher kann Wasser auf eine Temperatur von ca. +40°C erwärmt werden. Dieses warme Wasser kann ein Zentralheizungssystem entlasten oder als Brauchwasser genutzt werden.

11.2.3 Wirtschaftlichkeit einer Raumheizung

Die Installationskosten der Raumheizung können im Verhältnis zu den gesparten Energiekosten sehr hoch sein. Bevor man eine aufwendige Raumheizung installiert, sollte geprüft werden, ob genügend Abwärme zur Verfügung steht um ein aufwendiges Kanalsystem zu rechtfertigen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß sich der Warmluftstrom auf langen Wegen durch ein Kanalsystem zwangsläufig abkühlt. Die Investitionskosten müssen im richtigen Verhältnis zu den eingesparten Heizkosten stehen.

Die Kostenersparnis nimmt mit der Einschaltdauer des Kompressors zu. Je kontinuierlicher der Kompressor läuft, desto effektiver ist die Raumheizung.

11.3 Die Duotherm Wärmeaustauscher

Für Schraubenkompressoren mit Öleinspritzkühlung bieten sich spezielle Wärmerückgewinnungssysteme zur Erwärmung von Brauch- oder Heizwasser an. Ein Wärmeaustauscher wird in den Hauptstrom des heißen Öles im Kompressor geschaltet. Brauch- oder Heizungswasser erwärmt sich an dem heißen Kompressoröl.

Die Duotherm-Wärmeaustauscher arbeiten unabhängig von der Art der Kompressorkühlung, da der Wärmeaustauscher als Vorkühler dem eigentlichen Luft- bzw. Wasserkühler vorgeschaltet wird.

11.3.1 Duotherm BPT

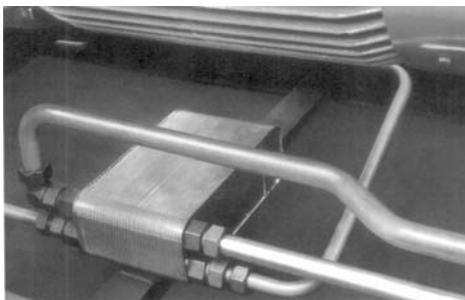
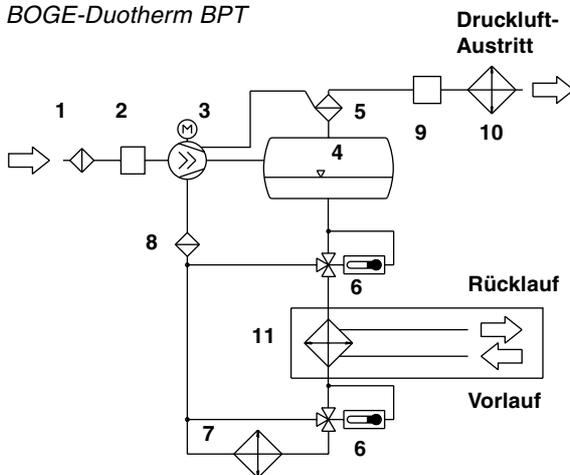


Bild 11.3 :
Das Wärmerückgewinnungssystem
BOGE-Duotherm BPT



- 1 = Ansaugfilter
- 2 = Ansaugregler
- 3 = Kompressorstufe
- 4 = kombinierter Druckluft-Öl-Behälter
- 5 = Ölabscheider
- 6 = Thermostatisches Ölregelventil
- 7 = Ölkühler
- 8 = Ölfilter
- 9 = Mindestdruck-Rückschlagventil
- 10 = Druckluft-Nachkühler
- 11 = Wärmeaustauscher

Bild 11.4 :
Fließschema BOGE-Duotherm BPT

Zur Erwärmung von Heizungs- oder heißem Produktionswasser dient das Duotherm BPT-System. Das Kernstück dieses Systems ist ein Platten-Wärmeaustauscher, der aus einer Anzahl dünner, profilierter Edelstahlplatten besteht. Die aufeinandergelegten Platten bilden ein gegeneinander abgeschlossenes Zweikanalsystem. Ein Spezialverfahren aus dem Bereich des Hartlötens verbindet die geschichteten Platten miteinander. Dichtungen, die die Gefahr der Leckage mit sich bringen, sind überflüssig. Der entstandene Wärmeaustauscher arbeitet sehr effektiv und zuverlässig.

Funktionsprinzip

Das auf ca. +90°C erwärmte Öl des Kompressorölkreislaufs strömt durch den Platten-Wärmeaustauscher. Das im Gegenstrom durch den Austauscher strömende Wasser wird auf bis zu +70°C erwärmt. Die erhitzte Wassermenge ist dabei von der Temperaturdifferenz abhängig.

Vor und hinter dem Wärmeaustauscher ist ein thermostatisches Ölregelventil installiert. Abhängig von der Öltemperatur wird der Ölstrom entweder über den Ölkühler bzw. den Wärmeaustauscher, oder durch einen Bypass am Ölkühler bzw. Wärmeaustauscher vorbeigeführt.

Eigenschaften

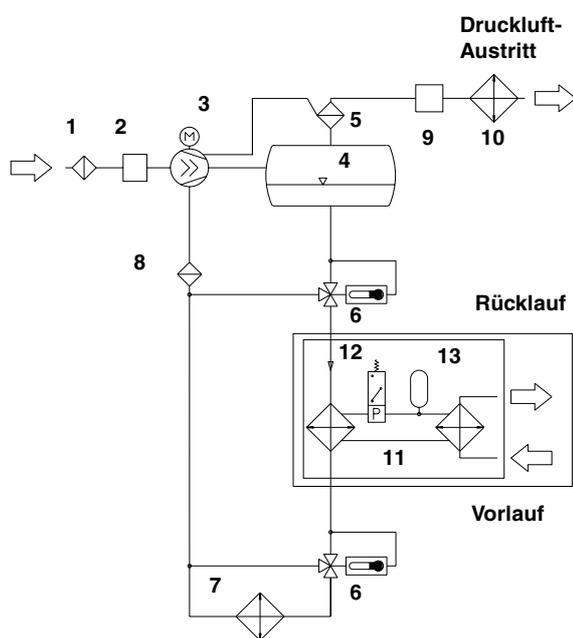
- Wenn die Absperrventile im Wasserzu- und -ablauf gleichzeitig geschlossen werden, entsteht ein abgeschlossener Raum. Erwärmt sich das Wasser in diesem Raum, dehnt es sich aus und der Druck steigt. Um Beschädigungen des Platten-Wärmeaustauschers zu vermeiden, muß ein Ausdehnungsgefäß und ein Sicherheitsventil installiert werden.
- Bei hohen Verschmutzungsgraden des Wassers sollte ein Schmutzfänger mit einer maximalen Porenweite von 0,6 mm im Wasservorlauf installiert werden.
- Es sind Spülanschlüsse zur Reinigung des Wärmeaustauschers vorzusehen.
- Der Platten-Wärmeaustauscher ist normalerweise im Kompressorgehäuse integriert. Er kann auch separat aufgestellt oder bauseitig nachgerüstet werden.

Wärmerückgewinnung

11.3.2 Duotherm BSW



Bild 11.5 :
Das Wärmerückgewinnungssystem
BOGE-Duotherm BSW



- 1 = Ansaugfilter
- 2 = Ansaugregler
- 3 = Kompressorstufe
- 4 = kombinierter Druckluft-Öl-Behälter
- 5 = Ölabscheider
- 6 = Thermostatisches Ölregelventil
- 7 = Ölkühler
- 8 = Ölfilter
- 9 = Mindestdruck-Rückschlagventil
- 10 = Druckluft-Nachkühler
- 11 = Sicherheitswärmeaustauscher
- 12 = Druckwächter für Durchbruch
- 13 = Ausgleichsgefäß

Bild 11.6 :
Fließschema BOGE-Duotherm BSW

Zur Erwärmung von Trink- und Brauchwasser dient das Duotherm BSW-System. Da im Sanitärbereich andere Sicherheitsvorschriften gelten, handelt es sich bei diesem System um einen Sicherheits-Wärmeaustauscher. Zwei unabhängige Kreisläufe werden durch eine Sperrflüssigkeit voneinander getrennt.

Das BSW-System ist ein Rohrbündel-Wärmeaustauscher, in dem zwei Rohre berührungsfrei ineinander stecken. Der in diesem Doppelrohrbündel befindliche Sicherheitsraum ist mit einer ungiftigen Sperrflüssigkeit gefüllt. Die Sperrflüssigkeit überträgt die Wärme und bei Beschädigungen des Wärmeaustauschers verhindert sie, daß sich das Öl mit dem Wasser mischt. Eine Verschmutzung des Trinkwassers ist somit ausgeschlossen.

Ein Druckwächter spricht bei einem Rohrbruch innerhalb des Systems sofort an. Der abgegebene Impuls kann individuell weiterverarbeitet werden (z.B. Alarm oder Abschalten der Anlage).

Funktionsprinzip

Das auf ca. +90°C erwärmte Öl des Kompressorölkreislaufs strömt durch ein Rohrbündel. Die Sperrflüssigkeit überträgt die Wärme auf das Brauchwasser im zweiten Rohrbündel. Das im Gegenstrom durch das zweite Rohrbündel strömende Wasser kann auf ca. 55°C erwärmt werden. Die erhitzte Wassermenge ist von der Temperaturdifferenz abhängig. Das heiße Wasser wird anschließend in einen entsprechenden Speicher (Boiler) geleitet, von wo es dem Warmwassernetz zugeführt werden kann.

Vor und hinter dem Wärmeaustauscher ist ein thermostatisches Ölregelventil installiert. Abhängig von der Öltemperatur wird der Ölstrom entweder über den Ölkühler bzw. den Wärmeaustauscher, oder durch einen Bypass am Ölkühler bzw. Wärmeaustauscher vorbeigeführt.

Eigenschaften

- Der Druckwächter muß auf einen Wert eingestellt werden, der mindestens 20 % unter dem geringsten Druck der eingesetzten Medien liegt.
- Einsatzbedingungen

Minimaler Wasserdruck	0,5 bar
Maximaler Wasserdruck	16 bar
Maximaler Öldruck	16 bar
Maximaler Druck der Sperrflüssigkeit	10 bar
Maximale Temperatur (Öl und Wasser)	+100°C
- Ein Überschreiten der maximalen Temperatur führt zu Funktionsstörungen und löst einen Fehlalarm aus.
- Der BSW-Sicherheits-Wärmeaustauscher ist abhängig von seiner Größe im Kompressorgehäuse integriert. Er kann auch separat aufgestellt oder bauseitig nachgerüstet werden.

11.3.3 Wieviel Energie kann eingespart werden ?

Beim Duotherm-System steht 75 % der elektrischen Leistungsaufnahme des Kompressors aus dem Netz zu Verfügung. Dabei handelt es sich um die Abwärme, die das Kompressoröl abführt.

Die in der Tabelle angegebenen Werte für die nutzbare Wärmemenge und die Warmwassermenge wurden auf der Grundlage des Energieerhaltungssatzes und den allgemeingültigen Gesetzen der Wärmeübertragung ermittelt. Sie sind im Prinzip für beide Duotherm-Systeme gültig. Bei der Nutzung eines Duotherm BWT System ist die Erwärmung von Brauchwasser über +55°C unwirtschaftlich, da die erwärmte Wassermenge zu gering ist.

Bei den aufgeführten Werten wird der Dauerbetrieb des Kompressors vorausgesetzt und die Wärmeverluste bleiben aufgrund der unterschiedlichen Betriebsverhältnisse unberücksichtigt. Der Berechnung der Heizkostensparnis wurde eine konventionelle Ölheizung zugrundegelegt :

- Spezifischer Heizwert H für Heizöl 38,0 MJ/l
- Heizölpreis 0,20 €/l
- Heizungswirkungsgrad 75 %
- Betriebsstunden Bh 1000 Std

Antriebs - leistung [kW]	Abgeführte Leistung [kW/h]	Nutzbare Wärme- menge [MJ/h]	Wassermenge bei			Kosten- ersparnis bei 1000 Bh [€]
			Δt 25 K 313 → 338 K [m³/h]	Δt 35 K 293 → 328 K [m³/h]	Δt 50 K 293 → 343 K [m³/h]	
11,0	8,9	32,0	0,305	0,217	0,152	225,-
15,0	12,3	44,2	0,420	0,300	0,210	310,-
18,5	14,8	53,2	0,509	0,363	0,255	373,-
22,0	17,7	63,7	0,609	0,435	0,305	447,-
30,0	24,4	87,8	0,835	0,596	0,417	616,-
37,0	30,3	109,0	1,040	0,743	0,520	765,-
45,0	37,7	135,7	1,295	0,925	0,647	952,-
55,0	45,5	163,8	1,565	1,118	0,782	1149,-
65,0	54,9	197,6	1,885	1,346	0,942	1387,-
75,0	63,1	227,1	2,170	1,550	1,085	1594,-
90,0	74,0	266,4	2,545	1,818	1,272	1869,-
110,0	90,0	324,0	3,095	2,210	1,547	2274,-
132,0	110,5	397,0	3,800	2,714	1,900	2786,-
160,0	133,5	480,6	4,590	3,278	2,295	3373,-
200,0	168,3	605,8	5,790	4,136	2,895	4251,-
250,0	208,9	752,0	7,180	5,128	3,590	5277,-

11.4 **Schlußbetrachtung zum Thema Wärmerückgewinnung**

Kompressoren bieten enorme Möglichkeiten, Energie und Kosten durch Abwärmenutzung zu sparen. Man sollte trotzdem nicht den Fehler machen, die Abwärme jedes kleinen Kompressors mit Gewalt nutzen zu wollen. Der Aufwand lohnt sich normalerweise nur bei größeren Schrauben- und Kolbenkompressoren und Kompressorverbundsystemen. Die nutzbare Energie steigt mit der installierten Kompressorleistung.

Die Investitionskosten für eine Wärmerückgewinnungsanlage hängen stark von den baulichen Gegebenheiten am Aufstellungsort ab. Sie müssen berücksichtigt werden, da sie die Amortisationszeit der Anlage erheblich beeinflussen.

Es muß eine grundsätzliche Entscheidung darüber getroffen werden, ob die Abwärme zum Beheizen von Räumen oder zum Erhitzen von Brauch- oder Heizungswasser genutzt werden soll. Dabei ist zu bedenken, daß die Raumheizung im Sommer meist ungenutzt bleibt.

Eine wesentliche Rolle bei der Betrachtung der Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung spielt die Ausnutzung des Kompressors. Je höher die Einschaltdauer des Kompressors ist, desto eher lohnt sich die Nutzung der Abwärme, da sie kontinuierlich und in ausreichender Menge zu Verfügung steht.

In jedem Fall sollte vor der Installation einer Wärmerückgewinnungsanlage eine Wärmebedarfsbetrachtung in dem Bereich gemacht werden, in dem die Anlage zum Einsatz kommen soll. Diese Betrachtung wird dann mit den durchschnittlichen Laufzeiten des Kompressors verglichen.

Aus diesem Vergleich läßt sich die Wirtschaftlichkeit der Wärmerückgewinnungsanlage ableiten. Darüber hinaus ist daraus ersichtlich, ob die Rückgewinnung den Wärmebedarf allein decken kann, oder ob ein zweites Heizsystem gebraucht wird.