

KUNSTSTOFFBERATER

PRAXIS UND TECHNIK DER VERARBEITUNG

Sonderdruck Heft 11/1996

Beurteilung der Betriebskosten von Anlagen zur Kühlung und Wärmerückgewinnung in der Kunststoffspritzerei

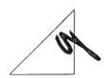
von Klaus Reisner



Kältetechnischer Anlagenbau

Reisner GmbH • Schäferkampstr. 18 • 59439 Holzwickede
Telefon: (0 23 01) 9 10 13-0 • Fax: (0 23 01) 9 10 13-24
e-mail: info@reisner-gmbh.de • Internet: www.reisner-gmbh.de

giesel Verlag für Publizität GmbH • Postfach • 30907 Isernhagen



Überschlägliche Beurteilung der Betriebskosten von Anlagen zur Kühlung und Wärmerück- gewinnung in der Kunststoffspritzerei

von Klaus Reisner*

* Reisner GmbH
Schäferkampstr. 18
59439 Holzwickede

Für viele Betreiber und Investoren von Kühlanlagen und Wärmerückgewinnungsanlagen sind die eigentlichen Betriebskosten dieser Maschinen nicht transparent. Häufig arbeitet der Anbietermarkt ausschließlich mit Argumenten zum Energiesparen anstelle konkreter Berechnungen, was zu einem völlig falschen Denksatz führt. Vielmehr hat sich ein korrekter technischer Standard entwickelt, der nicht veränderbar ist, weil er sich an feststehenden physikalischen Gesichtspunkten orientiert.

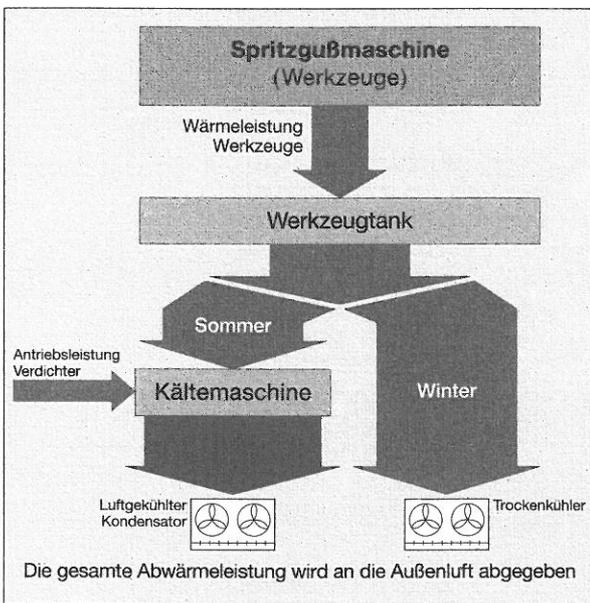
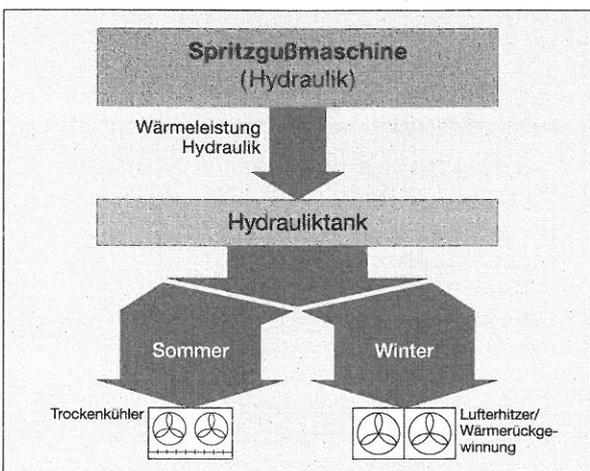


Abb. 1a ▲

Abb. 1b ▼



Die Energieflußskizzen (Abb. 1a/Abb. 1b) zeigen die Energieströme bei einem optimalen Verfahren. Hieraus ergibt sich das Bestreben, bei hohem Temperaturniveau die Ausrüstung mit energieaufwendiger Kältemaschinenteknik zu vermeiden und auf andere Kühlsysteme umzusteigen. Dieser Standard umfaßt:

1. Kühlung der Werkzeuge durch Kältemaschinen
2. Entlastung der Kältemaschinen durch freie Kühlung im Winter
3. Kühlung der Hydraulik mittels Trockenkühltechnik oder durch eine geschlossene Kühlturmanlage
4. Abwärmenutzung aus der Hydraulikkühlung zur Hallenbeheizung oder für andere Zwecke (siehe Prinzipskizzen Abb. 2/Abb. 3).

Mittels konkreter Kennzahlen werden Betriebskosten so dargestellt, daß das Beispiel als überschlägliche Kontrolle auf andere Spritzereien übertragen werden kann.

I. Basiswerte

Zunächst ist es notwendig, die spezifischen Werte zu erfassen, auf welchen die

Berechnung aufbauen kann. Diese Analyse ist in jedem Betrieb durchzuführen.

I/a Betriebsmittel- und Verbrauchskosten

Frischwasser
z. B. DM 5,00/m³
el. Strom z. B. DM 0,20/kWh
Heizkosten pro kWh-Wärme
z. B. DM 0,05/kWh
Heizölkosten pro Liter
z. B. DM 0,50/ltr

I/b Spezifischer Energieverbrauch von Kältemaschinen und anderen kältetechnischen Einrichtungen

a) Kältemaschinen

Um kaltes Wasser zu erzeugen, transportiert die Kältemaschine die Wärme aus dem Kühlwasser, so daß die Temperatur sinkt. Dazu benötigt sie elektrische Energie für den Antrieb des Kältekompressors. Je nach Konstruktion ist der Energiebedarf bei manchen Maschinen höher, andere erzielen ein besseres Verhältnis zwischen Energieaufwand und Kälteleistung.

Maßgebliche Kenngröße ist die Carnot'sche Leistungsziffer (ϵ), die angibt, wieviel Kälteleistung man pro eingesetztem elektrischen kW erhält. Dies liegt bei Werten zwischen 3,0 und 3,8.

Im Durchschnitt gilt: Zur Erzeugung von 3,3 kW Kälteleistung benötigt man 1 kW el. Strom: $\epsilon = 3,3$

b) Trockenkühler

Trockenkühler brauchen elektrischen Strom lediglich für den Antrieb der Ventilatoren. Der Stromverbrauch wird häufig noch dadurch gesenkt, daß eine Regelung der Ventilatoren abhängig von der Außentemperatur zu einer verminderten Betriebszeit im Jahresmittel führt, weil die Leistung des Kühlers mit sinkender Außentemperatur steigt.

Demgegenüber muß aber auch berücksichtigt werden, daß bei extrem warmen Außentemperaturen Spitzenla-

sten auftreten, die mit Hilfe der Kältemaschinen abgeföhren werden müssen. Zur *Notkühlung* ist die Wärmeabfuhr über Frischwasser bzw. Brunnen mit Wärmetauschern denkbar (siehe Abb. 4).

c) Pumpen

Die Leistungsaufnahme der Pumpen entspricht durchaus nicht der Angabe auf dem Typenschild des Antriebsmotors. Sie folgt vielmehr jeweils einer *Kennlinie*, die zu jeder Pumpe dazugehört. Hier ist die Fördermenge über den Kühlwasserdruck aufgetragen, darunter die zum Betriebspunkt notwendige elektrische Leistungsaufnahme und Stromaufnahme.

So paßt sich jede Pumpe der Betriebssituation an. Es entstehen lediglich einige Verluste, die bei *Drehstrommotoren* auch als *Schlupfverluste* bezeichnet werden.

Die Leistungsaufnahme ist im voraus sehr schwer zu bestimmen, weil die Druckwiderstände in den Werkzeugen nicht bekannt sind (siehe Abb. 5: Kennlinienbild).

d) Wärmerückgewinnung

Es gilt, daß nicht die gesamte Abwärme als Gewinn zu Buche schlägt, sondern nur die Wärmemenge, die man auch tatsächlich nutzen kann. Ein Gebäude verhält sich derart, daß im Winter bei einer Außentemperatur von $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ etwa die doppelte Heizleistung benötigt wird wie bei $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Halbierung der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen). Wie oft gibt es aber bei uns Temperaturen von $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Außerdem sind Halleninnerräume gerade in Spritzereien sehr stark mit Wärme belastet, so daß häufig gar keine zusätzliche Heizung notwendig ist. Es muß also wirklich jeder einzelne Fall untersucht werden.

Dankbare Abnehmer von Abwärme sind aber Zuluft-Anlagen, bei denen die Luft im Winter permanent vorge-

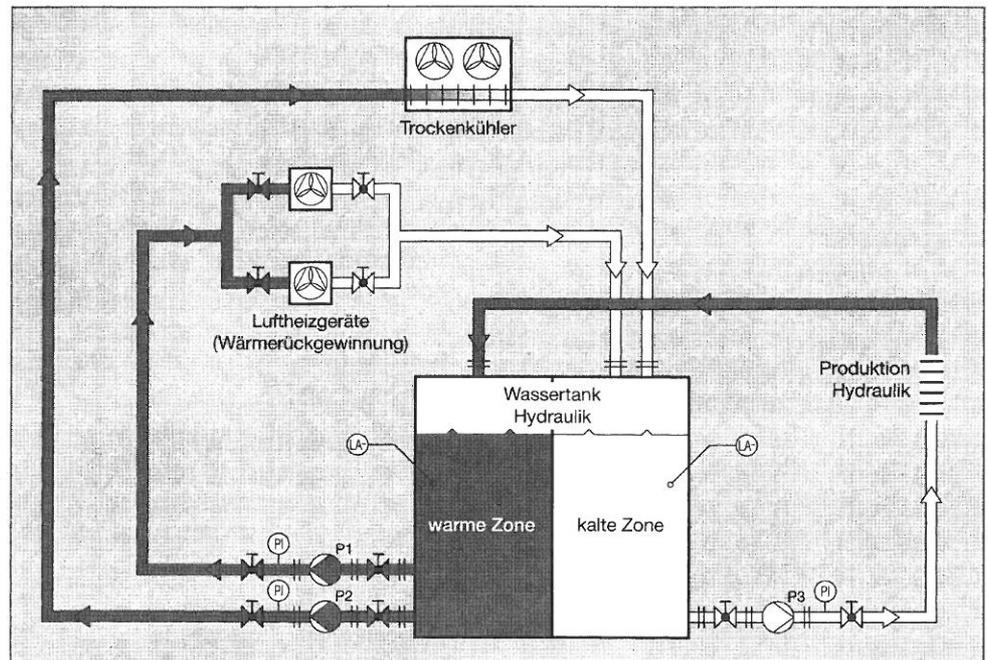


Abb. 2

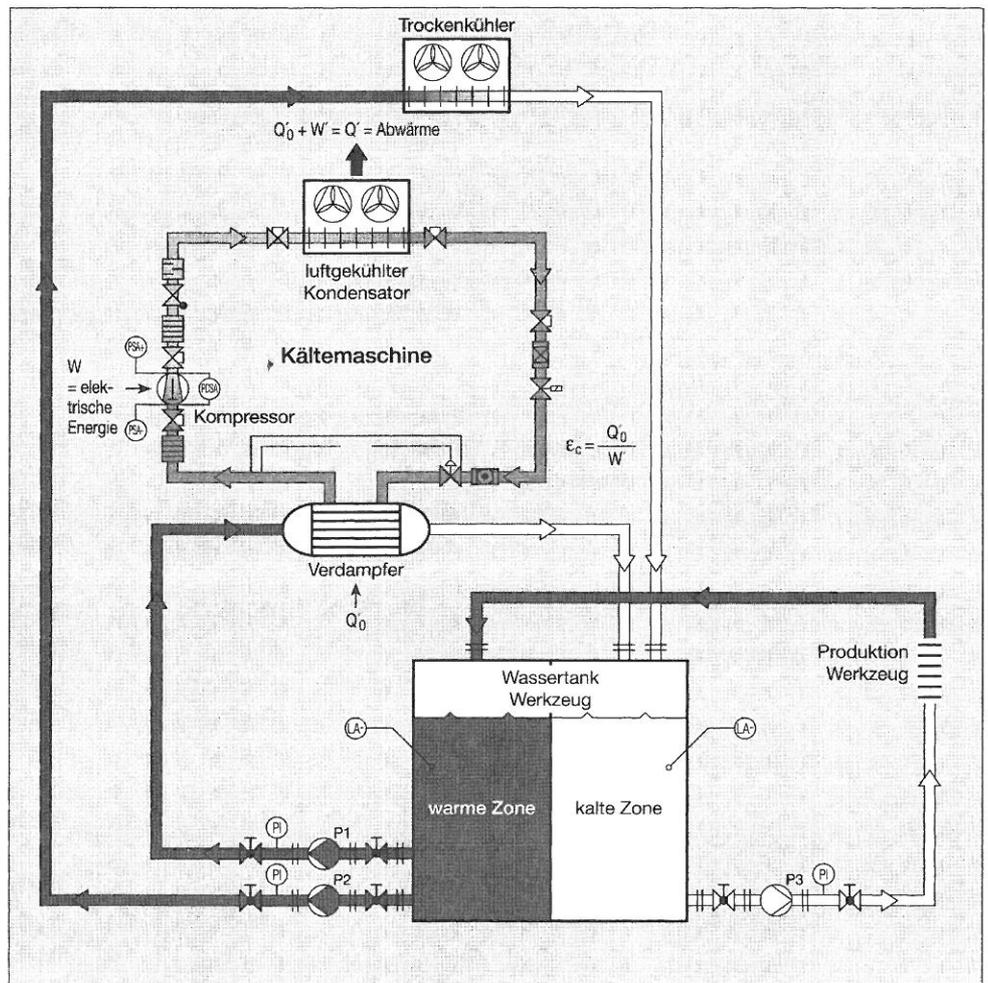


Abb. 3

heizt werden muß, Belüftungseinrichtungen von Lackieranlagen etc..

e) Winterentlastung/ freie Kühlung

Ist die Temperatur der Außenluft niedriger als die

des Kühlwassers, so kann dieses Temperaturgefälle in Großflächen-Wärmetauschern, die wir *Trockenkühler* nennen, zur direkten Wärmeabfuhr und damit zur Kühlung des Kühlwassers genutzt werden.

Abb. 4

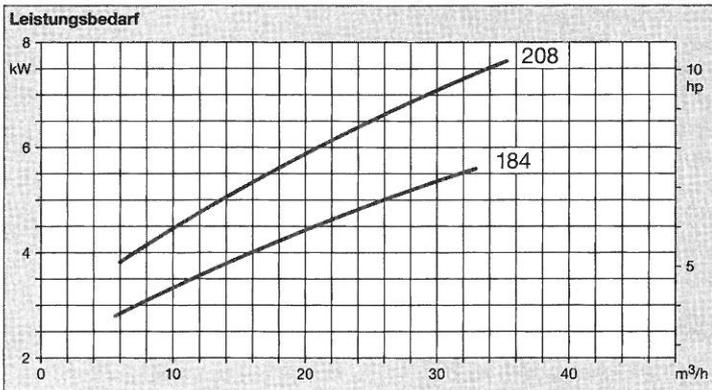
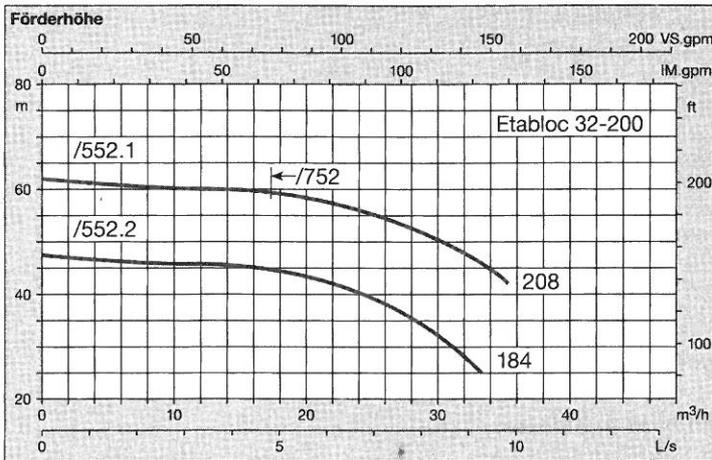
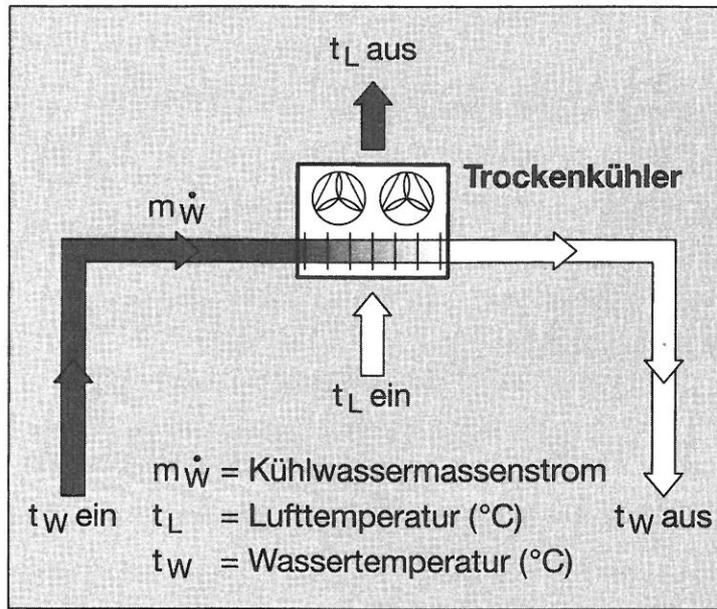


Abb. 5

Mit der Winterentlastung werden somit die Leistungsanforderungen an die Kältemaschine und damit die Antriebsstromkosten reduziert. Das Ausmaß der Kosteneinsparung ist abhängig vom Wetter.

Es gibt gute Statistiken, die die Jahrestundenzahlen für einige Lufttemperaturwerte angeben. Hieraus kann man – durch schrittweise Berechnung der Austauschleistung des Trockenkühlers im jeweiligen Temperaturfall – die Entlastung der Kältema-

schine ableiten. Mit Hilfe der o. g. Leistungsziffer ϵ läßt sich dann die eingesparte el. Arbeit ausrechnen (siehe Abb. 6: Temperaturtabelle).

II. Auslegungsgrößen

a) Werkzeugkühlung

Für die Werkzeugkühlung gilt, daß der Wärmeinhalt (auch Enthalpie genannt) des Kunststoffes abzuführen ist. Unterschiedliche Kunststoffe haben verschiedenen Wärmeinhalt. Außerdem müssen Wärmeeinstrahlungsverluste,

Heißkanäle etc. berücksichtigt werden. Jeder Fall ist deshalb einzeln zu analysieren.

Ein guter Erfahrungswert aus der Praxis ist folgende Annahme: pro kg verarbeiteten Kunststoff eine Wärmemenge von 200 Wh.

Um eine gute Wärmeabfuhr zu gewährleisten, sollen die Pumpen sehr stark sein. Ein hoher Wasserdurchsatz ermöglicht an den Oberflächen der Kühlkanäle einen guten Wärmeübergang (turbulente Strömung). Wenn man davon ausgeht, daß das Kühlwasser mit $t_e = 10^{\circ}\text{C}$ in das Werkzeug eintritt und mit $t_a = 13^{\circ}\text{C}$ wieder austritt, so ergibt sich für eine Kälteleistung von 100 kW ein Kühlwassermassenstrom V' von

$$V' = \frac{Q_{o'}}{c \times (t_a - t_e)}$$

$$V' = \frac{100 \text{ kW}}{\left(\frac{1,16 \times 10^{-3} \text{ kWh}}{\text{kg} \times \text{K}} \right) \times 3 \text{ K}}$$

$$V' = 28,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Der Pumpendruck wird mit 4,5 bar ausgelegt.

b) Hydraulikkühlung

Die Abwärme aus den hydraulischen Antrieben ist bei allen Anlagen sehr unterschiedlich zu werten.

Eine Spritzgießmaschine für Einlegeteile gibt natürlich viel weniger Wärme ab als eine solche für schnellste Zyklen bei Verpackungsartikeln.

Sie bewegt sich also in der Bandbreite zwischen 5% und 60% des hydraulischen Antriebs. Auch die Umgebungsbedingungen der Maschine spielen – aufgrund der Wärmeabstrahlung aus den Oberflächen – hierbei eine Rolle.

Die Hydraulikantriebe passen sich ja auch – wie jeder Drehstrommotor bzw. alle Pumpen – dem jeweiligen Belastungsfall an.

Die Annahme, daß sich 25% der Nennleistung des Hydraulikantriebs innerhalb des Ölkühlers als Abwärme äußern, hat sich in der durchschnittlichen Spritzerei als gute Bemessungsgröße erwiesen.

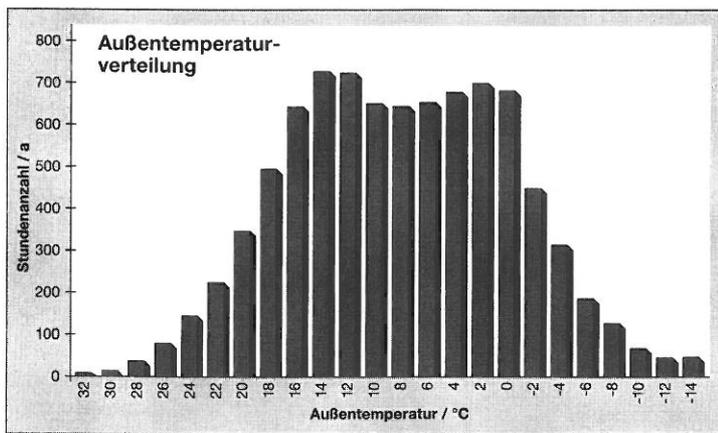


Abb. 6

Hat also ein Kunststoffverarbeiter z.B. hydraulische Antriebe mit insgesamt 480 kW in Betrieb, so wird die Abwärme bei

$$Q_{o'} = 480 \text{ kW} \times 0,25\% = 120 \text{ kW}$$

liegen.

Die Pumpenleistung V' ergibt sich – wie bei der Werkzeugkühlung auch – aus obiger Gleichung zu

$$V' = \frac{Q_{o'}}{c \times (t_a - t_e)}$$

$$V' = \frac{120 \text{ kW}}{\left(\frac{1,16 \times 10^{-3} \text{ kWh}}{\text{kg} \times \text{K}} \right) \times 3 \text{ K}}$$

$$V' = 34,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Der Pumpendruck wird mit 3,5 bar angesetzt.

c) Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung soll nicht größer ausgelegt werden, als es der Nutzung der Abwärme entspricht. Wenn ein Gebäude beheizt werden soll, dann liegt meistens eine Wärmebedarfsrechnung gemäß DIN 4701 vor, in der u. a. auch der Lüftungswärmebedarf berücksichtigt wird. Ein Pauschalwert für die notwendige Heizleistung für normale Hallen kann mit 60 W/m² Grundfläche angenommen werden. Eine Halle mit einer Grundfläche von z.B. 1 000 m² würde dann also mit 60 kW zu beheizen sein.

Für die Amortisation gilt dann der halbe Wert über die Heizperiode, weil es, wie oben beschrieben, oft nicht so kalt ist.

Heizöl hat eine Wärmeabgabe (*Heizwert*) von 12 kWh je Liter. Unter Berücksichtigung des Kesselwirkungsgrades werden ca. 8 kWh genutzt. Daraus folgt für den Ölersatz

$$\frac{30 \text{ kW}}{8 \text{ kWh/ltr}} = 3,75 \text{ Liter pro Stunde}$$

Legt man eine Heizperiode von fünf Monaten mit je 500 Betriebsstunden zugrunde, so ergibt sich ein Heizölersatz von

$$5 \times 500 \times 3,75 = 9\,375 \text{ Liter}$$

d) Winterentlastung

Die Anlage sollte so gestaltet sein, daß bei einer Lufttemperatur von 4 °C und einer Rücklauf-Wassertemperatur von 13 °C der Kältekompressor abschalten kann. Aus oben angegebener Analyse läßt sich auf dieser Basis die eingesparte Strommenge errechnen.

III. Beispiel

In einer Spritzerei werden folgende Betriebsdaten erfaßt:

Kunststoff-Massendurchsatz	500 kg/h
Summe Hydraulikantriebe	480 kW
Mögliche Hallenbeheizung einer nicht thermisch innenbelasteten Halle	1 600 m ²
Strompreis	DM 0,20/kWh
Betriebsstunden pro Jahr	5 500 h
Dauer der Heizperiode	150 Tage

Daraus folgt:

Kälteleistung
Werkzeugseite:
500 kg /h x 200 Wh/kg
= 100 kW

Kälteleistung
Hydraulikseite:
480 kWh x 25% = 120 kW

Ventilatorenzahl
des Kondensators
der Kältemaschine = 2

Antrieb je = 3,6 kW

Pumpenauslegung bei einem Temperaturunterschied von 3 K zwischen Vorlauf und Rücklauf

$$V' = \frac{Q_{o'}}{c \times (t_a - t_e)}$$

$$V' = \frac{100 \text{ kW}}{\left(\frac{1,16 \times 10^{-3} \text{ kWh}}{\text{kg} \times \text{K}} \right) \times 3 \text{ K}}$$

$$V' = 28,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Leistungsaufnahme
laut Kennlinie = 5,2 kW

Stromverbrauch bei
5 500 Std./p. a.:

$$5\,500 \text{ h} \times 5,2 \text{ kW} = 28\,600 \text{ kWh}$$

Kosten:

$$28\,600 \text{ kWh} \times 0,20 \text{ DM/kWh} = 5\,720,- \text{ DM}$$

Hydraulikseite:

$$V' = \frac{Q_{o'}}{c \times (t_a - t_e)}$$

$$V' = \frac{120 \text{ kW}}{\left(\frac{1,16 \times 10^{-3} \text{ kWh}}{\text{kg} \times \text{K}} \right) \times 3 \text{ K}}$$

$$V' = 34,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Leistungsaufnahme
laut Kennlinie = 2,6 kW

Stromverbrauch bei
5 500 Std./p. a.:

$$5\,500 \text{ h} \times 2,6 \text{ kWh} = 14\,300 \text{ kWh}$$

Kosten:

$$14\,300 \text{ kWh} \times 0,20 \text{ DM/kWh} = 2\,860,- \text{ DM}$$

Zirkulationspumpen

Die Zirkulationspumpen arbeiten immer – wenn nicht für Werkzeugkühlung, dann für Winterentlastung; wenn nicht für Hydraulikkühlung, dann für Wärmerückgewinnung.

FACH-
BEITRAG

Betriebskosten

Leistung je 2,2 kW,
also 4,4 kW gesamt
4,4 kW x 5 500 h = 24 200 kWh
14 300 kWh x 0,20 DM/kWh
= 4 840,- DM

Kälteverdichter

Hier ist die Kältemaschine mit Kältekompressor das ganze Jahr betriebsbereit. Sie wird jedoch durch die Technik zur Winterentlastung entlastet.

Die oben erläuterte Leistungsziffer ϵ wird mit 3,3 angegeben.

Geforderte Kälteleistung:
= 100 kW
Dadurch bedingter Stromverbrauch: $\frac{100 \text{ kW}}{3,3} = 30,30 \text{ kW}$

in 5 500 Stunden pro Jahr:
30,30 kW x 5500 h = 166 667 kWh
(elektrisch)

Kosten pro Jahr:
166 667 kWh x 0,20 DM/kWh
= 33 333,- DM

Winterentlastung

Dabei wird die Anlage durch die Winterentlastung entsprechend der vorhergehenden Erläuterung entlastet.

Von der Winterentlastung abgeführte Wärmemenge:
263758 kWh

Strombedarf hierzu, wenn Kühlung durch Kältekompressor erfolgt

$\frac{263\,758 \text{ kWh}}{3,3} = 79\,927 \text{ kWh}$

Eingesparte Kosten:
79 927 kWh x 0,20 DM/kWh
= 15 985,- DM

Ventilatoren

Ventilatoren des Kondensators der Kältemaschine

Die Ventilatoren am Kondensator der Kältemaschine sind geregelt, so daß sich für deren Stromverbrauch ein Mittelwert einstellt. Wenn die Winterentlastung läuft, arbeiten diese Ventilatoren nicht. Also wird für den Ventilatorantrieb auf das ganze Jahr mit einem Mittelwert von 75% gerechnet:

Stromverbrauch der beiden Ventilatoren pro Jahr:
2 x 3,6 kWh x 75% = 5,4 kWh
Kosten bei 5 500 Std. pro Jahr:
5,4 kW x 5 500 h x 0,20 DM/kWh
= 5 940,- DM

Die Betriebskosten für die Ventilatoren der Werkzeugseite betragen DM 5 940,-

Ventilatoren des Trockenkühlers

Hier arbeiten die Ventilatoren fast das ganze Jahr über. Nur im Sommer unterstützt die Reservekältemaschine die Kühlung stundenweise bei Spitzentemperaturen.

Also setzen sich die Betriebskosten für Kühlen hier zusammen aus:
5 500 Stunden Betrieb
Trockenkühler á 7,2 kW
= 39 600 kWh
ca. 130 Stunden Kältekompressor mit 30,30 kW
= 3 940 kWh
Gesamt: = 43 540 kWh

zu 0,20 DM/kWh:
43 540 kWh x 0,20 DM/kWh
= 8 708,- DM

Die Stromkosten für den Betrieb der Lüfter der Hydraulikkühlung betragen DM 8 708,-

Wärmerückgewinnung bei 150 Tagen Heizperiode:

Mittlere notwendige Heizleistung:
1600 m² x 30 = 48 kW

wobei berücksichtigt ist, daß die volle Heizleistung wegen der häufig nicht kalten Witterung nur zu 50% ausgenutzt werden kann.

48 kW x 150 Tage x 24 h
= 172 800 kWh

die eingespart werden.

Bei einem Nettoheizwert des Heizöls von 8 kWh/ltr ergibt sich eine Einsparung von

$\frac{172\,800 \text{ kWh}}{8 \text{ kWh/ltr}} = 21\,600 \text{ Liter}$

zu 0,40 DM pro Liter, ergibt:
21 600 ltr x 0,40 DM/ltr
= 8 640,- DM

Zusammenstellung der Betriebskosten

- 1. Versorgungspumpe
Werkzeugseite
DM 5 720,-
- 2. Versorgungspumpe
Hydraulikseite
DM 2 860,-
- 3. Zirkulationspumpen
DM 4 840,-
- 4. Kältemaschine
DM 33 333,-
- 5. Winterentlastung
- DM 15 985,-
- 6. Ventilatoren Kältemaschinen-Kondensator
DM 5 940,-
- 7. Ventilatoren
Trockenkühler-Hydraulik
DM 8 708,-
- 8. Wärmerückgewinnung
- DM 8 640,-

Gesamtkosten DM 36 776,-

Umlage der Betriebskosten auf die Verarbeitung von 1kg Kunststoff:
 $\frac{36\,776,- \text{ DM}}{500 \text{ kg/h} \times 5\,500 \text{ h}} = 0,0133 \text{ DM/kg}$

Zusammenfassung

Es ist durchaus möglich, die Komponenten für die Wärmeabfuhr im Bereich der SGM – auch als Nicht-Fachmann – zu beurteilen.

Wichtig ist es nur, die einzelnen Vorgänge richtig zu erfassen und dann auch in einer **Energiebilanz** zu bewerten. Diese Betrachtung ist auch für die Kalkulation sehr aufschlußreich. Es werden sich dabei sicherlich auch interessante Anregungen zum Energiesparen ergeben. *Klaus Reisner*

Literatur

Fachwissen Kältetechnik, Verlag C. F. Müller, ISBN 3-7880-7408-6

Wirtschaftlichkeit von Verdichter-Kälteanlagen, Fachaufsatz für die Zeitschrift „*dei – die ernährungsindustrie*“ 7-8/95 (Sonderdruck)*

Vergleich zwischen einer Integralanlage und einer Kälteanlage mit Winterentlastung (Broschüre)*

(* erhältlich bei Reisner GmbH, Nordstraße 26, 59439 Holzwickede; Telefon 02301/910130; Fax 02301/9101324)