

KUNSTSTOFFBERATER

PRAXIS UND TECHNIK DER VERARBEITUNG

Abwärme optimiert Hallenbelüftung

von Dipl.-Ing. Klaus Reisner

Sonderdruck
aus der Zeitschrift
Kunststoffberater 6/98



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

Strenger werdende Bestimmungen für die Umgebung von Arbeitsplätzen verlangen gute Belüftung und verminderten Gehalt an Schadstoffen. Die gesetzliche Begrenzung des Schadstoffgehaltes ist in dem MAK-Wert festgelegt (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration). Dies erfordert Lüftungsanlagen mit außerordentlich hohen Betriebskosten. Die Notwendigkeit, Außenluft ständig zu kühlen oder zu beheizen, führt zu einem doch erheblichen Energieaufwand.

Nachfolgend wird anhand eines Fallbeispiels ein System beschrieben, mit dem diese Aufgabe – unter Nutzung eventuell vorhandener Komponenten und Ressourcen – kostengünstig erledigt wird.

Es werden einige Richtwerte genannt, mit deren Hilfe Betreiber selber Beurteilungskriterien für die Entwicklung einer solchen Anlage sowie ein Maß für deren Umfänge entwickeln können.

Praxisbeispiel

In der Werkshalle einer Spritzerei werden Innentemperaturen von maximal 27° im Sommer und 22°C im Winter gefordert. Die Luft muß sauber sein, und die aus den Luftverteilersystemen austretende Luft darf keine höhere Geschwindigkeit als 0,4 m/s erreichen, weil sonst Zugluft und Ungenauigkeiten in der Fertigung zu erwarten sind. Weiterhin soll die Anlage die Halle auch in der produktionsfreien Zeit beheizen, in der weder Abstrahlungswärme von Maschinen noch sonstige Abwärme zur Verfügung stehen. Der Rauminhalt der Halle beträgt in unserem Beispiel 4.800 m³. Die Summe aller Antriebe der Hydraulikaggregate liegt bei 400 kW, die Dauerleistung der Kältemaschine auf der Werkzeugseite 60 kW. Messungen und andere Erfahrungswerte aus der Installation von Kühlanlagen haben ergeben, daß

Abwärme optimiert Hallenbelüftung

von Dipl.-Ing. Klaus Reisner*

Betriebs-
technik

Die Kühlung in Spritzereien folgt zusehendst einem einheitlichen Standard. Werkzeuge und Hydraulikantriebe besitzen getrennte Kühlkreisläufe mit unterschiedlichem Temperaturniveau. Die Wärme aus dem Werkzeugkreislauf wird durch Kältemaschinen abtransportiert, auf der Hydraulikseite stehen Kühltürme und Trockenkühlsysteme zur Verfügung. Die weitere Entwicklung ist im Sinne höherer Fertigungspräzision und eines verstärkten Arbeitstättenschutzes zu sehen. Um eine höhere Präzision in der Fertigung zu erreichen, muß die Lufttemperatur in engeren Grenzen gehalten und eventuell im Sommer reduziert werden.

aus der Summe aller Antriebe der Hydraulikaggregate von 400 kW eine Abwärme von 25% = 100 kW in den Ölkühlern zu erwarten ist. Die Wärmeströme in einer Kunststoffspritzerei sind in der Abb. 1 (Energiefluß) dargestellt.

Spritzereien die Luft pro Stunde dreifach auszutauschen, um einen angenehmeren Luftzustand zu erreichen. In besonders sauberen „reinen Räumen“ wird die Luft sogar 20- bis 40fach pro Stunde ausgetauscht. Das kann enorm große Anlagen erfordern, wie sie z.B. in der medizinischen Reinraumtechnik realisiert werden. Weiterhin ist zu beachten: Die Luft ist der Wärmeträger, der Abwärme aus der

* Reisner GmbH
Schäferkampstr. 18
59439 Holzwickede

Grundlagen zur Auslegung einer Lüftungsanlage

Luftwechsel

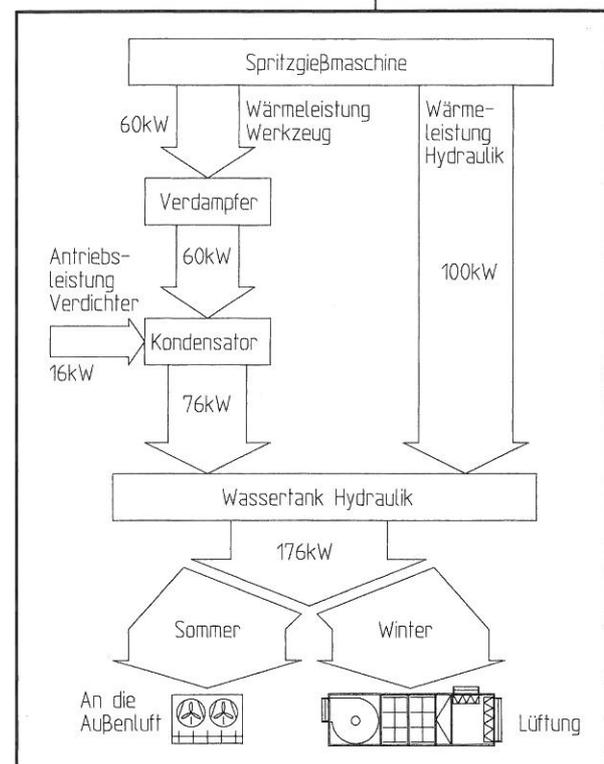
Definition

Der Luftwechsel gibt an, wie oft pro Stunde die Luft in einer Halle ausgewechselt werden kann. Dabei setzt jede vernünftige Lüftungsanlage sowohl ein Zuluftsystem als auch ein Abluftsystem voraus. Ist die Menge der abgeführten Luft geringer als die der zugeführten, so ergibt sich ein Überdruck im Raum, der für saubere Räume gut ist, weil keine Schadstoffe von außen eindringen können. Im umgekehrten Fall ergibt sich ein Unterdruck. Dies ist in Produktionsräumen meist unerwünscht.

Luftmengen/ Volumenstrom

Erfahrungswerte zeigen, daß es vorteilhaft ist, in

Abb. 1: Energieflußdiagramm



Halle hinaustransportiert. Die Luft tritt mit niedriger Temperatur in den Raum ein, durchströmt ihn und erwärmt sich dabei durch die Aufnahme der Abwärme der Maschinen; die entsprechend erwärmte Abluft tritt dann aus dem Raum aus.

Wärmeaufnahme der Luft

Der Luft muß also ein Speichervermögen für Wärme zugeschrieben werden. Es ist somit möglich, festzustellen, welche Wärmemenge beispielsweise Luft mit dem Volumen von 1 m³ binden kann, wenn sie sich um 1 K erwärmt. Es läßt sich dann hochrechnen, welche Wärmemenge 1 m³ Luft bei Erwärmung um 20 K aufnimmt. Anschließend läßt sich ermitteln, welche Luftmenge für den Transport der in der Spritzerei in unserem Beispiel frei werdenden Wärmemenge von 100 kW benötigt wird.

Das Wärmespeichervermögen der Luft ist abhängig von deren Eigenschaft als Gas und von der Luftfeuchtigkeit. Dieser Feuchtegehalt von Luft ist ein gewichtiger Faktor. Aus einem sogenannten h/x-Diagramm (Enthalpie-Dampf-Diagramm für feuchte Luft nach Mollier) lassen sich Werte entnehmen, in welchen der Wärmeinhalt von Luft abhängig von Feuchtegehalt und Temperatur dargestellt wird. Da eine genauere Schilderung den

Rahmen dieses Aufsatzes überschreiten würde, kann auf einen Durchschnittswert (Praxiswert) verwiesen werden, der angibt, daß im Mittel die Luft bei Erwärmung um 1 K eine Wärmemenge von 0,35 Wh/m³ bindet.

Dieser Wert wird als eine spezifische Wärmekapazität c_m , bezogen auf 1 m³, bezeichnet. Dementsprechend läßt sich die Formel bilden: $Q' = V_L' \cdot c_m \cdot (t_e - t_a)$

Mit:

c_m = spezifische Wärmekapazität c_m [Wh/m³K]

V_L = Volumenstrom der Luft [m³/h]

$(t_e - t_a)$ = Differenz zwischen Eintritts- und Austrittstemperatur der Luft [K]

Q = abzuführende Wärmemenge [Wh]

Bezogen auf das Beispiel, ergeben sich folgende Überlegungen: Es sind 100 Wh Wärme pro Stunde abzuführen. Die Luft tritt mit einer Temperatur von 15°C in die Halle ein und mit einer Temperatur von 35°C über die Abluftanlage aus. Nach Umstellung der Formel zu V_L' ergibt sich die Berechnung:

$$Q' = V_L' \cdot c_m \cdot (t_e - t_a)$$

$$V_L' = Q' / [c_m \cdot (t_e - t_a)] = 100.000 \text{ Wh} / [0,35 \cdot (35 - 15)] \text{ (Wh/m}^3\text{K)K} = 14.285 \text{ m}^3/\text{h}$$

Unter den gegebenen Voraussetzungen beträgt der notwendige Volumenstrom 14.285 m³/h; auf diesen Wert muß die Lüftungsanlage

ausgelegt werden. Der Wert für den Luftwechsel beträgt

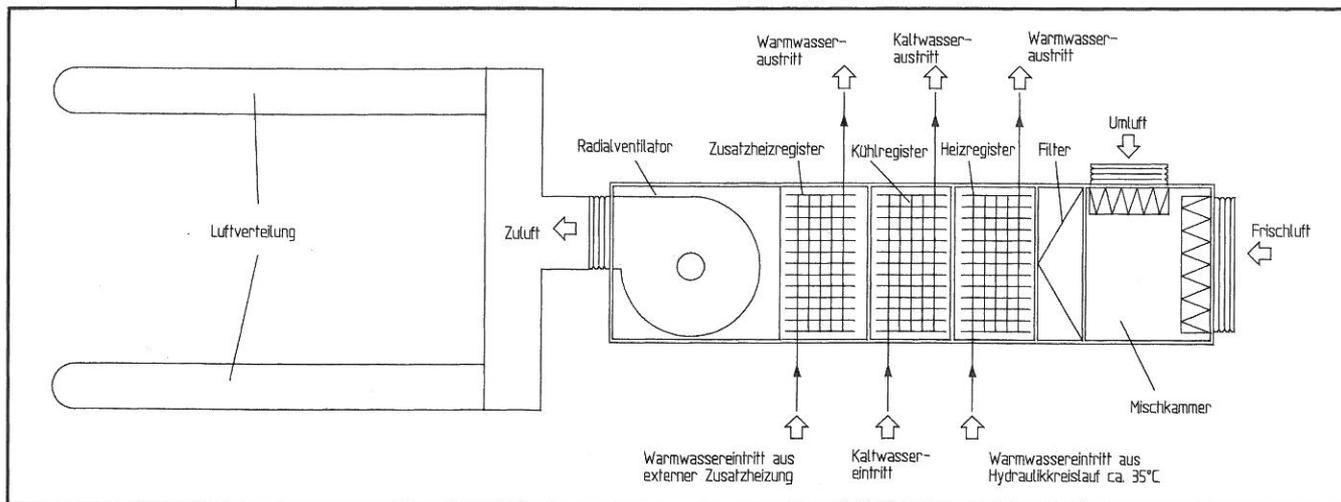
$$14.285 \text{ m}^3/\text{h} / 4.800 \text{ m}^3 = 2,97$$

Dies bedeutet annähernd dreifachen Luftaustausch und somit einen realistischen Wert, um sowohl die Wärmefracht zu tragen als auch angenehmere Luftqualität zu erzielen. Die Abwärme der Spritzgießmaschine resultiert auch daraus, daß sich die Antriebsleistung aller Hydraulikaggregate zu 50% in Wärmeenergie umwandelt. Davon bleiben 25% in den Ölkühlern, und weitere 25% gelangen über die Oberflächen in die Hallenluft. Dies sind sehr globale, aber sinnvolle Richtwerte, die brauchbare Anhaltspunkte für Größenordnungen liefern. Sie ersetzen nicht eine ordentliche Wärmebilanz des Raumes in der Planungsphase, in der auch andere Wärmequellen erfaßt und berücksichtigt werden müssen.

Kühlung der Luft

In unserem Beispiel sind wir davon ausgegangen, daß die Luft mit einer Temperatur von 15°C in den Raum eintritt. Bei einer Wetterlage, in der dieser Wert nicht überschritten wird, ergibt sich daraus kein Problem. Wenn die Luft aber im Sommer höhere Temperaturen, zum Beispiel 32°C annimmt, muß sie gekühlt werden. Auch für das Abkühlen von Luft ist die

Abb. 2: Die Belüftung in Kunststoffspritzereien läßt sich unter Ausnutzung der Abwärme der Kühlanlagen optimieren



soeben entwickelte empirische Gleichung anzuwenden. Muß also die Luft um 17 K abgekühlt werden, so gilt entsprechend dafür die notwendige Kühlleistung:

$$Q' = V_L' \cdot c_m \cdot (t_e - t_a) = 14.285 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,35 \text{ Wh}/\text{m}^3 \cdot (32 - 17) = 75.000 \text{ W},$$

entsprechend rund 75 kW, die durch eine externe Kühlanlage zu erbringen sind. Der Wert von 32°C ist nicht willkürlich gewählt, sondern entspricht einer Empfehlung, nach der Klimaanlage in Deutschland ausgelegt werden. Er ist realistisch, weil es bei uns nur ganz wenige Stunden im Jahr mit höheren Temperaturen gibt. Für den Heizbetrieb im Winter gibt es den Richtwert von -12°C: Bei dieser Temperatur muß die Luft auf 15°C aufgeheizt werden. Die dazu erforderliche Heizleistung beträgt

$$Q' = V_L' \cdot c_m \cdot (t_e - t_a) = 14.285 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,35 \text{ Wh}/\text{m}^3 \cdot [-12 - (+15)] = 134.998 \text{ W},$$

entsprechend rund 150 kW.

Dies ist eine enorme Heizleistung, und es muß im jeweiligen Fall überlegt werden, ob sie vollständig installiert werden sollte. Ist im Winter eine geringere Heizleistung installiert, so muß die Frischluft reduziert werden – was aber hinsichtlich der geforderten Gegebenheiten, wie z.B. der Sauberkeit der Luft, statthaft sein sollte. Zu berücksichtigen ist bei diesen Überlegungen aber auch, daß ein erheblicher Anteil der Wärme von der Wärmerückgewinnung zur Verfügung gestellt wird.

Aufbau einer Lüftungsanlage

Grundsätzliche Konstruktion

Alle Lüftungsanlagen besitzen einen ähnlichen Aufbau: In einem Gehäuse ist ein Ventilator für die Luftzufuhr eingebaut. Dahinter befindet sich ein

Luftkühler, durch den das Kaltwasser oder Kältemittel einer Kühlanlage strömt. Ein Tropfenabscheider verhindert, daß das entstehende Tauwasser in die Anlage eindringt (Abb. 2). Dann folgen ein Heizregister, das die Wärme überträgt, ein Luftfilter mit der jeweils gewünschten Filterwirkung und eine Mischkammer.

Luftauslässe

Für die Luftauslässe aus den Kanälen in den Raum gibt es unterschiedliche Bauarten, von denen im Einzelfall die jeweils richtige ausgewählt werden muß. Besonders zu nennen sind Luftgitter, die auch in der Luftmenge einstellbar sind, Quellluftauslässe, die auf dem Boden der Halle stehen und viel Luft mit geringer Geschwindigkeit verteilen, oder Luftschläuche mit definiert porösen Öffnungen, die einen hohen Luftaustritt bei ganz geringen Geschwindigkeiten erlauben.

Wärmerückgewinnung und Heizung

Ausnutzung der Abwärme

Zur Verfügung steht die Wärme aus der Hydraulik und auch aus der Kältemaschine. Die Rücklauftemperatur des Kühlwassers beträgt 35°C. Das Heizregister läßt sich auf eine bestimmte Wärmeübertragungsleistung auslegen, indem die Oberfläche den Temperaturen der einströmenden Luft und des Heizmediums angepaßt wird. Der Normalfall ist die Auslegung auf einen Wert, der den klassischen Heizungsanlagen entspricht, also auf eine Vorlauftemperatur von 90°C, eine Rücklauftemperatur von 70°C und die zugehörigen Werte der Luft. Wird das Register so groß, daß es die Wärmeübertragung bereits bei 35°C erlaubt, kann das Kühlwasser der Hydraulik hindurchgeleitet werden. Die Abwärme geht dann in die Luft

über, und das heißt, daß die Beheizung über die Abwärme erfolgt. Dabei wird keine Fremdenergie benötigt. Zudem werden die Aggregate stillgesetzt, die im Normalfall die Hydraulikwärme nach außen bringen – also beispielsweise der Kühlturm. So werden zusätzlich Kosten gespart.

In unserem Beispiel stehen aus der Hydraulik 100 kW an, was insgesamt nicht ausreicht. Ist die Abwärmemenge nicht ausreichend, so kann zusätzlich die Kältemaschine mit einem wassergekühlten Kondensator ausgerüstet werden, den das Hydraulik-Kühlwasser durchströmt. Auf diese Weise wird auch die Kältemaschinen-Abwärme für Heizzwecke nutzbar gemacht. So ergibt sich eine höchst sinnvolle Verknüpfung der Lüftungsanlage mit der Kältemaschine, weil die Aufheizung der Zuluft während eines großen Teils des Jahres nötig ist. Trotzdem sollten immer Vergleichsrechnungen durchgeführt werden, um festzustellen, ob eventuell ein System Trockenkühlung/Winterentlastung, bei dem der Restwärmebedarf aus der Heizung entnommen wird, für die Kälteanlage sinnvoller ist. Zu bedenken ist dabei, daß bei einer Außentemperatur von 3°C die halbe Heizleistung wie bei -12°C benötigt wird. Derart tiefe Temperaturen herrschen bei uns nur an wenigen Tagen im Jahr.

Zusatzheizung

Ohne Produktion muß die Halle durch eine Zusatzheizung versorgt werden. Für diesen Fall ist ein weiteres Heizregister in Lüftung hinter jenem für die Wärmerückgewinnung angeordnet. Dieses zweite Heizregister wird von einer Fremdheizung bedient. Es kann unter Umständen die zentrale Heizungsanlage daran angeschlossen sein. In der produktionsfreien Zeit, in der kein Frischluftanteil

**FACH-
BEITRAG**

**Betriebs-
technik**

benötigt wird, schalten die Luftklappen der Mischkammer vollständig auf Umluftbetrieb. Die Aufheizung der Frischluft entfällt, und es wird nicht viel Energie benötigt, um die Halle auf Temperatur zu halten.

Zuluft-/Umluft-Betrieb

Die Luft tritt in die Mischkammer ein, die mit zwei Klappen versehen und verschiedene Arten der Luftzufuhr ermöglicht. Um ausschließlich Außenluft anzusaugen, wird die untere Umluftklappe geschlossen. Ist die andere Klappe geschlossen, so wird nur Umluft aus dem Raum angesaugt. Die Mittelstellungen bewirken die Mischluft. Die Einstellmöglichkeiten sind wichtig, da sie die Anpassung an unterschiedliche Außentemperaturen erlauben: Im Sommer wird ausschließlich Frischluft von außen benötigt. Wenn im Winter die Zusatzheizung zu teuer wird, muß die Frischluft rate reduziert werden können.

Wärmetauscher/Heiz- und Kühlregister

Diese Komponenten der Lüftungsanlage bestehen aus Kupferrohren, auf die Aluminiumlamellen aufgedrückt sind, um die Ober-

fläche für den Wärmetausch zu vergrößern. Die Wärmeaustauschleistung ist abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft, der Heiz- bzw. Kühlmitteltemperatur und der Lufttemperatur.

Luftverteilung

Die Luftverteilung erfolgt über Luftkanäle, deren Querschnitt vom Volumenstrom und von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft abhängt. Bei der Luftströmung entstehen im Kanal Reibungsverluste, die sich als Druckabfall äußern und vom Ventilator des Lüftungsgerätes überwunden werden müssen. Die dafür notwendige Druckleistung des Ventilators wird als „extreme Pressung“ bezeichnet.

Es ist sinnvoll, in einer solchen Industrieanlage eine Luftgeschwindigkeit zwischen 6 und 10 m/s anzunehmen, wobei bei 10 m/s bereits ein deutliches Rauschen zu hören ist. Der Energieverbrauch steigt in einem quadratischen Verhältnis zur Geschwindigkeit. Doppelte Geschwindigkeit – und damit verbundene doppelte Luftleistung – bedeutet also vierfachen Energieverbrauch. Eine globale Berechnung des Querschnitts ohne Berücksichtigung des

Druckabfalls ergibt sich aus dem Quotienten von Volumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit durch die Gleichung

$$A = V' / w$$

Mit:

A = Querschnitt [m²]

V' = Volumenstrom [m³/s]

w = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

Unser Beispiel:

Geforderter Luftvolumenstrom = 14.285 m³/h

Ergibt einen Wert pro Sekunde von 14.285 m³/3.600 s = 3,97 m³/s

Angenommene Strömungsgeschwindigkeit w = 8 m/s

$$A = V' / w = 3,97 \text{ m}^3/\text{s} / 8 \text{ m/s} = 0,49 \text{ m}^2$$

Dies ergibt z.B. einen Kanal mit einem quadratischen Querschnitt von

$$0,49 \text{ m}^2 = 0,7 \text{ m} \cdot 0,7 \text{ m}$$

oder entsprechende Umrechnung für kreisrunde oder rechteckige Kanäle.

Zusammenfassung

Im Beitrag wurde ein System zur Belüftung von Hallen beschrieben, das einfach zu konstruieren ist und aufgrund der Abwärmenutzung in Kühlanlagen äußerst günstige Betriebskosten ermöglicht. Die Kosten für die Installation einer Fremdheizung werden minimalisiert. Angesichts zu erwartender strengerer Vorschriften und steigender Anforderungen an Qualität und Luftreinheit werden solche Systeme in Kunststoffspritzereien zukünftig noch erheblich an Bedeutung gewinnen. □

Literatur

- [1] Reiser Fachwissen Kältetechnik Verlag CF Müller ISBN 3-7880-7408-6
- [2] Vergleich zwischen Integral- und konventionellen Kälteanlagen
- [3] Die Carno'sche Leistungsziffer
- [4] Beurteilung der Betriebskosten von Anlagen zur Kühlung und Wärmerückgewinnung in der Kunststoffspritzerei

Abb. 3: Schema einer Lüftungsanlage
Abb.: Reiser

