



Bild: Harter

Hier im Bild ein Haftwassertrockner mit Luftentfeuchter von Harter. Solche Anlagen amortisieren sich relativ schnell durch die niedrigeren Betriebskosten.

Als Rechengröße soll ein Volumenstrom mit 1.000 m³ pro Stunde dienen, weil sich die Ergebnisse dann leicht auf realistische Bedingungen mit 10.000 oder 15.000 m³/h hochrechnen lassen.

Offener Prozess – viel Energie

Dieselbe annähernd gesättigte Prozessluft ohne Wasserentzug erneut zum Trocknen zu verwenden scheidet aus, da unmittelbar einleuchtet, dass sich diese schon sehr feuchte Luftmenge nach kurzer Zeit so sättigt, dass keine weitere Feuchtigkeitsaufnahme mehr möglich ist. In der Folge gibt es keine Alternative, als zumindest einen Teil der sehr feuchten Prozessluftmenge in die Umgebung zu entlassen. Dieser Volumenstrom muss dann durch ungesättigte Umgebungsluft (T = 20°C, relative Luftfeuchte 85 Prozent) ersetzt werden.

Wenn ein Volumen von V = 1.000 m³ Hallenluft mit T(1) = 20°C und einer relativen Luftfeuchte von 85 Prozent auf T(2) = 70°C hochgeheizt wird, benötigt man dazu rund 17 kW Brennerleistung – heraus kommt dann Luft mit mindestens 6 Prozent relativer Feuchte. Genaugenommen muss der Brenner aber mehr leisten, da ja neben dem zwangsläufigen Aufheizen der Werkstücke eine gewisse Wassermasse mit verdampft werden soll. Hierzu ist die notwendige Verdampfungswärme aufzubringen, die in dem Rechenbeispiel Heizenergie im Bereich von 50 kW erfordert. Bei einem normalen Haftwassertrockner mit einem Volumenstrom von 15.000 m³/h werden damit 855 kW Heizleistung notwendig. Angesichts dieser Menge lohnt es sich, darüber nachzudenken, ob der Energiebedarf gesenkt werden kann. ►

Sparen beim Trocknen

Energie und CO₂ sparen bei der Luftkonditionierung für den Haftwasser-Trockner

Haftwassertrockner und generell das Trocknen von nassen Substraten bietet erhebliches, rechnerisch nachweisbares Energieeinspar-Potential.

Trocknen geht am schnellsten und am besten mit viel Temperatur – das ist ein weit verbreiteter Irrglaube. Denn letztendlich spielt nicht die Temperatur an sich, sondern vor allem die Aufnahmekapazität der Luft für Feuchtigkeit eine Schlüsselrolle bei effektiven Trocknungsprozessen.

Als Beispiel mag eine Trocknungsanwendung dienen, bei der die relative Luftfeuchtigkeit 85 Prozent erreicht, wenn die Luft die Trockenkammer verlässt, die Prozess-

temperatur soll bei 70°C liegen. Betrachtet man prozessual einen Haftwassertrockner, verlässt ziemlich feuchte und warme Luft den Trocknungsraum, nachdem sie Feuchtigkeit von den Bauteilen aufgenommen hat. Das Ziel besteht nun darin, dem Trockner eingangsseitig wieder Luft zur Verfügung zu stellen, welche sich gut zum Trocknen eignet, also Luft mit T = 70 °C und einer möglichst geringen relativen Luftfeuchte – ideal wären natürlich 0 Prozent.



SENSACTION

Titration war gestern!

Reiniger-Konzentrationsmessung
Badüberwachung

Überzeugen Sie sich selbst:
www.sensation.de/testit

Besuchen
Sie uns auf der
parts2clean
Halle 3
Stand A29

Geschlossener Kreislauf mit Wärmepumpe

Wird in einem neuen Trocknungsbeispiel die Luft von $T(1) = 50^\circ\text{C}$ auf $T(2) = 2^\circ\text{C}$ abgekühlt und die frei gewordene thermische Energie dem Luftvolumen wieder zugeführt, beträgt die sich einstellende Luftfeuchte etwa 2 Prozent bei 50°C statt der üblichen 6 Prozent beim Aufheizen von Umgebungstemperatur auf 70°C . Das kann eine Wärmepumpe leisten. Die Vorzüge eines Kreislaufes über eine Wärmepumpe sind erheblich. Nicht nur, dass auf dem Weg vom Punkt bei $T(1)$ nach dem Punkt bei $T(3)$ sämtliches in der Luft enthaltenes Wasser fast vollständig durch Kondensation ausfällt und der reale Wassergehalt der Luftmenge also um den Wasseraustrag in realen kg $\text{H}_2\text{O}/\text{h}$ abnimmt. Der Verlust des Wassers hat zusätzlich auch eine energetische Folge: Während man viel Energie aufwenden muss, um flüssiges Wasser zu verdampfen, erhält man diese Energie wieder zurück, wenn man das Wasser kondensiert. Die Auskondensation des Wassers liefert in dem Beispielsatte 62 kW an frei werdender Energie ganz nebenbei.

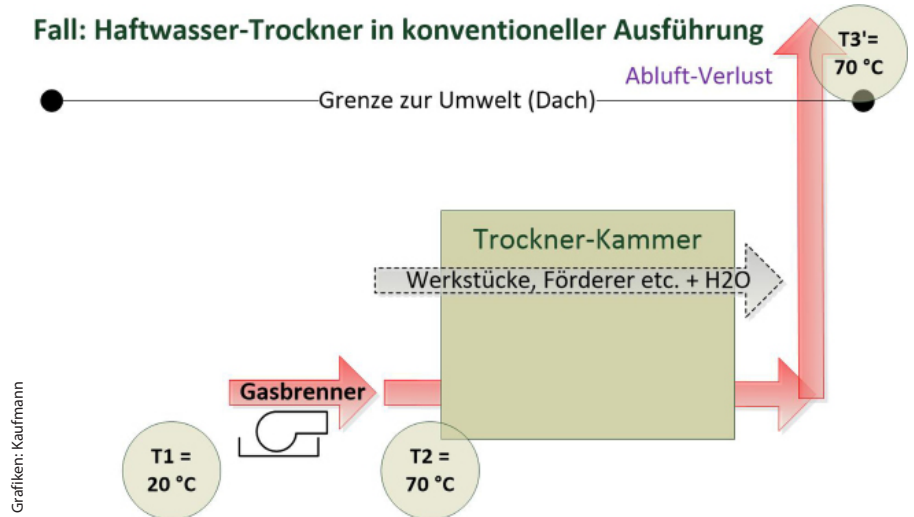
Bereits an dieser Stelle wird deutlich, dass im Vergleich zu Methode 1, bei der alleine 17 kW Energie zum Heizen aufzuwenden ist und weitere 46 kW für die Verdampfung des Wassers notwendig sind, hier energetisch ein echter Gewinn entsteht. Denn es wird nicht nur keine Heizenergie zum Aufheizen der Luft benötigt, sondern zusätzlich noch 62 kW Energie an Kondensationswärme anfallen. So steht bereits an dieser Stelle der Sieger im Methodenvergleich eindeutig fest: es ist die Wärmepumpe.

Zunächst sei gesagt, dass es sich vorstehend natürlich um eine idealisierte Beispielerrechnung handelt, welche Energieverluste und Wirkungsgrade einzelner Bauelemente vernachlässigt, aber die angezeigte Richtung stimmt dennoch. Die größte Korrektur, die vorgenommen werden muss, liegt in der Tatsache begründet, dass dieses Entnehmen und Zuführen von Energie natürlich durch einen Apparat -der Wärmepumpe- zu geschehen hat, welche aus Komponenten besteht.

Maximal ein Viertel Energieaufwand

Eine Komponente davon ist ein Kompressor, der Antriebsenergie benötigt. Der Betrag dieser Antriebsenergie ist wiederum abhängig vom Betrag der zu befördernden Gesamtenergie aus der Quelle (Quell-Energie = thermische Energie + Energie aus Kondensation).

Fall: Haftwasser-Trockner in konventioneller Ausführung



Bei einem nicht geschlossenen Trocknungskreislauf muss der Brenner ständig die Energie für Luft-Erwärmung und Verdampfung liefern, da die Warmluft in die Umgebung entlassen wird.

Die notwendige Antriebsenergie beträgt 1/9 bis 1/4 der Quell-Energie und muss real aufgewendet werden; steht aber auf der Nutzseite unmittelbar wieder zur Verfügung und stellt somit energetisch keinen Verlust dar. Es gilt also: Nutzenergie = Quell-Energie + Antriebsenergie; nur die Antriebsenergie muss aufgewandt beziehungsweise bezahlt werden. In Zahlen für unser Beispiel ausgedrückt bedeutet dies: Nutzenergie = 78 kW und benötigte Antriebsenergie = 16 kW; der Energieüberschuss von 62 kW steht bei 50°C zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

Das Verhältnis von Nutzenergie zur benötigten Antriebsenergie heißt Leistungszahl LZ und in unserem Fall ergibt sich $LZ = 5$; ein guter bis sehr guter Wert. LZ ist im Übrigen das allgemein gültige und vergleichbare aussagekräftige Qualitätsmerkmal einer von einem Hersteller angebotenen Wärmepumpe; diese Zahl sollte -als Jahres-Leistungszahl- mindestens 3,5 betragen.

Benötigt man dennoch noch ein bisschen mehr Energie, spricht nichts gegen eine kleine Tuning-Maßnahme: man legt einen Bypass auf der Quellseite und kühlt nebenher noch etwas Umgebungsluft von 20°C auf 2°C ab. Daraus erzeugt die Wärmepumpe natürlich wiederum Kondensationsenergie und erhöht den Wasseraustrag.

Energieaufwand und Luftfeuchte im Methodenvergleich

Bei Methode 1 (Heizen) müssen 17 kW Brennerleistung aufgewandt werden während Methode 2 (Wärmepumpe) sogar einen Energieüberschuß von 62 kW und zudem das bessere Entfeuchtungsergebnis (2 Prozent relative Luftfeuchte statt 6 Prozent) liefert.

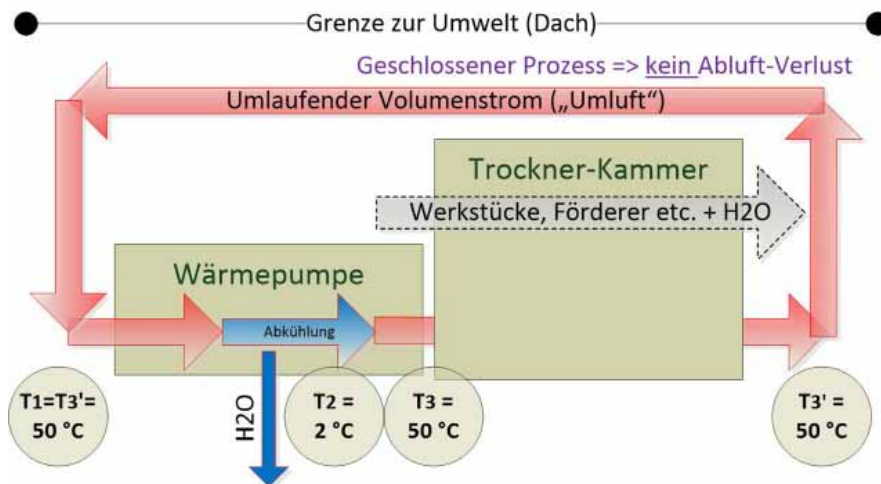
Zudem liefert Methode 2 quasi als Abfallprodukt 68 kg/h entmineralisiertes und entsalztes Wasser mit 50 Micro-Siemens Leitfähigkeit, welches also für chemische Vorbehandlungsstufen, zum Beispiel einer PowerWash-Anlage, geeignet ist. Dadurch können Kosten im Bereich der VE-Wasser-Erzeugung eingespart werden.

Nicht in die Rechnung einbezogen wurde die Energie, welche beim Beladen des Trockners mit nassen Werkstücken aufzuwenden sind – aber diese sind für beide Methoden, in Abhängigkeit der zu erreichenden Temperatur identisch und spielen daher für den Vergleich keine Rolle.

Selbstregulation bei der Wärmepumpe: Wenn wir von einem rund laufenden, quasi geschlossenen Prozess ausgehen, können wir aus dem Wasseraustrag der Wärmepumpe von im Beispiel stündlich 68 kg $\text{H}_2\text{O}/\text{h}$ schließen, dass stündlich ebenso viel Wasser im Trockner verdampft wird. Die dazu notwendige Verdampfungswärme beträgt 46 kW, so dass von den 62 kW Nutzenergie noch 16 kW für das Aufheizen der Werkstück-Masse verbleibt. Energetisch sind wir bei Einsatz der Wärmepumpe auch unter Annahme einer realen Last ungefähr ausgeglichen. Unser Gesamtaufwand liegt nach wie vor alleine bei der Antriebsenergie für den Kompressor und beträgt 16 kW.

Methode 1 müsste bei gleichen Bedingungen, also Verdampfen von 68 kg H_2O pro Stunde die hierfür benötigten 46 kW noch zusätzlich aufbringen, was zu einem Gesamtaufwand von 16 kW + 46 kW = 62 kW beim Brenner führt – zuzüglich der 17 kW für das Aufheizen der Zuluft. Der Gesamtenergiebedarf liegt also bei 79 kW/h.

Fall: Haftwasser-Trockner als Kondensat-Trockner ausgeführt



Bei einer Kreislaufführung werden Wirkungsgrade von 90 Prozent erreicht und die Wärmepumpe verbraucht nur etwa ein Viertel der Energie eines offenen Systems.

Hohes Energie-Einsparpotential

Der Vergleich der Methoden ergibt eine Energieersparnis von 80 Prozent beim Einsatz der Wärmepumpe. Optimal eingestellte Anwendungen aus der Industrie belegen erreichbare Einsparungen von 90 Prozent. Selbstredend

kommt es zu entsprechenden CO₂-Einsparungen. Ein konventioneller Haftwassertrockner erfordert einen offenen Prozess, der wegen der benötigten Zuluft umgebungsabhängig ist. Bei der Methode eines geschlossenen Luftkreislaufes mit Wärmepumpe ist der Prozess geschlossen und kann sich

weitgehend selbst regeln. Auch Bestandsanlagen können durch Nachrüstung mit überschaubarem Aufwand auf den Betrieb mit einer Wärmepumpe umgestellt werden.

Auch wenn dieses Beispiel idealisiert rein physikalisch gerechnet wurde und an den neuralgischen Punkten stets mittlere Werte verwendet wurden, sind in der Realität aus der Erfahrung heraus durchaus noch bessere Ergebnisse zu erwarten. Die so erhaltenen Zahlen zeigen deutlich, dass das sehr große Sparpotential die benötigten Anschaffungskosten sehr schnell amortisieren wird, wenn die Anlage hinreichend ausgelastet ist. Selbstverständlich muss jeder Anlagenumbau konkret gerechnet werden. Zusätzliche Anreize zur Umstellung schafft übrigens der Bund durch Förderung des Einsatzes von Wärmepumpen und anderen Maßnahmen durch nicht rückzahlbare Zuschüsse bis zu 150.000 EUR. Auch der Einsatz des Energieberaters selbst wird mit bis zu 8.000 EUR nicht rückzahlbarem Zuschuss gefördert.

i Dr. Christof Kaufmann
Bafa-akkreditierter Energieberater
Mittelstand (EBM)
kaufmann@ibkaufmann.com

Metallteile beschichten?

