

Zurück in die Zukunft der Kältetechnik

EFFIZIENTE KÄLTEANLAGEN | Ein Thema, das viele Verantwortliche in Brauereien bewegt, ist die Kälteanlage, ihre Versorgungssicherheit und die Effizienz, mit der die Anlage betrieben wird. Was kaum jemand weiß: Kälteanlagen benötigen 25 bis 45 Prozent des gesamten Stromverbrauchs einer Brauerei. Es lohnt sich also, genauer hinzusehen.

WIE STEHT ES um die Effizienz Ihrer Kälteanlage? Gehört Ihre Anlage zu den 30 Prozent in Deutschland, die gute Wirkungsgrade aufweisen und damit spürbar weniger in der Strombilanz bemerkbar sind? Deutschlands Brauereikühlanlagen lassen sich in drei grundlegende Kategorien einteilen.

■ Moderne Anlagen

Moderne Anlagen sind – völlig unabhängig vom Kältemittel – auf die Anwendung spezialisiert. Sie arbeiten hocheffizient und weisen eine vollständige Anlagenüberwachung mit moderner Messtechnik zur Effizienzüberwachung inklusive Monitoring auf sowie eine stufenlose Leistungsregelung.

Speziell bei Ammoniakanlagen sind hier auch zweistufige Ölabscheider, auto-

mathe Entölung/Ölrückführung sowie Fremdgasabscheider fester Bestandteil, um den Wirkungsgrad dauerhaft hochzuhalten.

■ Optimierbare Anlagen

Das mittlere Drittel der Anlagen in Deutschland ist zwar in einem technisch guten Zustand, das System birgt aber ein hohes Optimierungspotenzial und damit eine spürbare Betriebskostensparnis bei der Kälteerzeugung.

Im Grunde sind diese Anlagen solide, zuverlässig und für die Anwendung geeignet. Allerdings liegen wegen seltener Entlüftung, eines erhöhten Wassergehalts im Kältemittel bzw. Ammoniak, mangelnder Entölung der Verdampfer und oft wegen starker Überdimensionierung die Energie-

bedürfnisse deutlich über dem tatsächlich Möglichen. Es handelt sich oftmals um dezentrale Lösungen mit synthetischen Kältemitteln, die alle noch funktionieren, aber deutlich besser laufen könnten, würde man sich den Details widmen.

■ Überholungsbedürftige Anlagen

Als Schlusslicht zählt das letzte Drittel mit einem Anlagendurchschnittsalter von 30 Jahren und einer überholten Anlagentechnik. Typisch hierfür sind offene Verdichter mit Keilriemenantrieb und soliden, aber ineffizienten Elektromotoren. Die Leistungsregulierung der Kompressoren in solchen Anlagen ist grob oder gar nicht vorhanden, Verdunstungskühltürme marode, Kältemittelleitungen stark oxidiert.

■ Effiziente Brauereikühlung

Um es einfach vorwegzunehmen: Es kommt nicht im Speziellen auf die Kältemaschine an, sondern immer auf das Gesamtsystem.

Man sollte sich dieser Thematik in der Tat immer von der Verbraucherseite aus zuwenden. Alle Kühlstellen, Prozesse und Temperaturniveaus hinterfragen, frei nach dem Motto: „Braucht es das?“ Diesen Weg



Autor: Tobias Schlögl, Trane Klima- und Kältetechnisches Büro GmbH, Krailing

Die Kältetechnik ist der teuerste Stromverbraucher in einer Brauerei, der Blick hinter die Kulissen lohnt sich





Bei gewachsenen Systemen stellt sich häufig nur die Frage nach technischer Funktion, nicht nach Effizienz und Kosteneinsparungen im täglichen Betrieb

beschreitet man idealerweise mit einem Fachmann, der die technologische und die energetische Seite kennt, denn in den meisten Fällen ist man als Brauer durch die jahrelange Fahrweise des Systems betriebsblind. Herangehensweisen mit dem Blick von außen bergen ein enormes Einsparpotenzial an Energie und Wasser. Sehr hohe Potenziale birgt die Würzekühlung, aber auch die Lagerkellerkühlung oder die Bottichkühlung von Gärtanks über Eisspeicheranlagen. Hierauf wurde im ersten Teil der Artikelserie (BRAUWELT Nr. 50, 2019, Seite 1476-1478) näher eingegangen.

Schritt zwei ist der Blick auf den Hilfsenergiebedarf. Aber was ist überhaupt der Hilfsenergiebedarf? Hauptsächlich ist das die Energie, die von Komponenten verbraucht wird, die Wasser oder Luft bewegen. Bei diesen Komponenten handelt es sich beispielsweise um Pumpen und Lüfter. Diese Systeme werden in der energetischen Bilanz in der Regel vollkommen unterschätzt. Den meisten ist klar, dass doppelter Volumenstrom eine Druckverlustveränderung im Quadrat ($\rightarrow x^2$) nach sich zieht und der Energiebedarf dadurch im Verhältnis hoch drei ($\rightarrow x^3$) steigt. Wenn eine Pumpe bei dem Betriebspunkt 1 m³/h und 10 mWS ca. 1 kW Leistungsaufnahme aufweist, benötigt diese bei 2 m³/h eine Förderhöhe von 40 mWS und 8 kW Leistungsaufnahme. Der Energiebedarf ist aber nicht nur aus dem öffentlichen Netz zu beziehen. Es handelt sich dabei nämlich um mechanische Arbeit und damit schlicht um Wärme, die ins Kältenetz eingetragen wird und einen zusätzlichen Kältebedarf verursacht. Hier gilt es, überlegt und maßvoll mit der Förderung von Flüssigkeiten und Luft umzugehen, um den

Kältebedarf in Summe zu senken und die Effizienz zu steigern.

Tipp zur Orientierungsgröße: Wer die Rohrleitungen auf nicht mehr als 1 m/s auslegt, kann die Rohrleitungsverluste in der Praxis nahezu vernachlässigen und senkt den Hilfsenergiebedarf der Pumpen dauerhaft.

Hydraulischer Abgleich

In diesem Zusammenhang ist auch der hydraulische Abgleich zu nennen. Ein Grund, weshalb Temperaturen unnötig tief und Wassermengen unnötig hoch sind. Das Wasser geht den Weg des geringsten Widerstandes. Tendenziell fließt das Wasser so durch die ersten Verbraucher nach der Pumpe, während die letzten Verbraucher nur wenig kaltes Wasser erhalten. Wenn dann der oder die letzte(n) Verbraucher im Kaltwassernetz nicht mehr genug Kühlung bekommen, wird als Reaktion fast immer die Kaltwassertemperatur gesenkt und/oder die Wassermenge erhöht. Das Problem lässt sich jedoch mit einfachen Tacosettern oder Zonenventilen mit Durchflussbegrenzung hervorragend beheben. Tacosetter sind Bauteile im Kühlmedium, mit denen ein hydraulischer Abgleich mithilfe von Volumenstromanzeige und einem einstellbaren Widerstand erstellt werden kann. Mit Einstellung des Volumenstroms am jeweiligen Verbraucher (Tank, Kühler) erreicht man eine homogene Aufteilung der Wassermengen zur Kühlung aller Verbraucher – bei idealem Volumenstrom und der passenden Kaltwassertemperatur.

Es lohnt sich also zuerst zu prüfen, ob die Kühlung wirklich an allen Stellen funktionsfähig und sinnvoll ist. Eine hohe Effizienz

wird nicht an der Kältemaschine allein erreicht, sondern immer durch das Gesamtsystem bestimmt.

Nichtsdestotrotz ist natürlich die Kälteanlage ein sehr wichtiger Teil in Bezug auf die Energieeffizienz. Es wird heute immer mehr auf indirekte Kühlsysteme gesetzt, welche die Kühlstellen mit Eiswasser oder Glykol-Kaltwasser bedienen. Hohe Kältemittelmengen und Direktverdampfung von Kältemittel jeglicher Art an den Kühlstellen werden aus Sicherheitsgründen immer mehr gescheut. Die Kältemittel-

verdampfung ist zwar sehr effizient, aber in heutiger Zeit nur noch schwer vertretbar. Hohe Ammoniakmengen sollen aufgrund des hohen Gefährdungspotenzials gemieden werden und die synthetischen Sicherheitskältemittel aufgrund ihrer hohen und immer weiter steigenden Kosten pro Kilogramm sowie der Umweltbelastung bei Undichtigkeiten immer weiter reduziert werden.

Kältemittel und ihr „Global Warming Potential“

Die Kältemittel in Kälteanlagen können bei Leckagen hohe Auswirkungen auf den CO₂-Haushalt haben. Hierzu hat die EU-Kommission die F-Gase-Verordnung 517/2014 über bestimmte fluorierte Treibhausgase ins Leben gerufen, um den Markt durch eine Verknappung von synthetischen Stoffen mit hohem GWP (Global Warming Potential = Treibhauseffekt im Vergleich zu CO₂) durch automatisch steigende Preise selbstständig zu regulieren.

Der Versuch, einen für die Zukunft sicheren Alternativstoff für die weit verbreiteten fluorierten Kohlenwasserstoffe (FKW genannt) R404a und R410a (GWP >2000) zu finden, sorgt aktuell für eine unfassbar hohe Anzahl an Kältemittelgemischen. Keines davon ist momentan allerdings eine gelungene Alternative. FKWs mit GWP über 500 werden eine reine Übergangslösung für die nächsten fünf Jahre bleiben. Es gibt jedoch Aufstellungsbedingungen, die besondere Anforderungen an die Kältemittelsicherheit stellen, bei denen Kältemittel mit GWP >500 weiter eingesetzt werden. Denn fast alle Kältemittel mit



Die Vielfalt der Kältemittelsorten und -gemische lässt schnell den Überblick verlieren

GWP <500 sind brennbar oder/und giftig.

Es sind aber auch Kältemittel im Umlauf mit einem GWP >500, die trotzdem brennbar sind, wie z. B. R32 mit einem GWP von 675.

■ Sicher für die Zukunft

Propan (R290) als Kältemittel ist ein thermodynamisch hervorragender Stoff, welcher als natürliches Kältemittel nicht der F-Gase-Verordnung unterliegt. Als Kältemittel ist Propan langjährig bewährt und mit wenigen, einfachen Maßnahmen absolut sicher zu betreiben.

Gleichzeitig ist es vergleichsweise günstig und fast jeder Kälteanlagenbauer kann damit umgehen, da sich die Anlagentechnik sehr ähnlich zu konventionellen FKW-Kälteanlagen gestaltet. Anlagenerneuerungen werden von der Politik sehr stark subventioniert. Die Installation neuer Anlagen oder Anlagenaustausch können bis zu 50 Prozent gefördert werden (Obergrenze 150 000 EUR). Häufig ist die Anlage mit R290 Propan als Kältemittel mit dieser Fördermaßnahme dann günstiger als Kälteanlagen mit synthetischen Kältemitteln. Namhafte Kältefachfirmen unterstützen ihre Kunden bei der Beantragung der Förderung und erleichtern diesen den Weg zur neuen, effizienten Kältemaschine. Der Aufbau der Anlagen und damit die Effizienz haben sich bereits hervorragend weiterentwickelt. Gerade in der Teillast haben jedoch noch viele Hersteller ihre Schwächen. Hier gilt es genau hinzusehen, wenn man sich eine solche R290 Kältemaschine anschaffen möchte. Wichtig ist, dass die Verflüssigung

bei geringen Außentemperaturen bis mindestens 25 °C abgesenkt werden kann und die Maschine eine akzeptable Regelgüte aufweist.

Propan, das als Kältemittel verwendet wird, hat eine enorm hohe volumetrische Kälteleistung. Zum Vergleich: Eine 100-kW-Kälteanlage besitzt eine Kältemittelfüllmenge von unter zehn Kilogramm, was mit den meisten Gasgrills von zu Hause mithalten kann. Unter dem Strich handelt es sich um eine erprobte Technik, auf die man vertrauen kann.

■ Weitere Alternativen der Kältetechnik

Denkt man an Großindustrieanlagen, z. B. mit 1000 kW, muss man sagen, dass es in diesem Leistungsbereich mit R290 Propan kaum Erfahrungen gibt. Die hohe Entzündlichkeit kann in diesem Leistungsbereich ein Problem darstellen, da dann entsprechend höhere Kältemittel-Füllmengen not-

wendig wären. Will man dennoch zukunftsorientierte und nicht toxische Kältemittel verwenden, wären z. B. Hydrofluorolefine (HFO) gut geeignet. Das HFO R1234ze kann ab ca. 300 kW als Alternative empfohlen werden, da die Anlagen eine deutlich reduzierte Brennbarkeit aufweisen. Außerdem stellen einige namhafte Hersteller diese Anlagen hocheffizient in Serie her, was preislich durchaus attraktiv ist.

Ammoniak R717 als Reinstoff ist aus historischen Gründen noch immer weit verbreitet. Theoretisch ist Ammoniak R717 allerdings bei Kälteanlagen (Kaltwassersätzen) bis 1000 kW Kälteleistung technisch und wirtschaftlich von R723, einer Dimethylether/Ammoniak-Mischung, abgelöst worden. Ein Problem beim Kältemittel R723 ist jedoch die fehlende Lizenz der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), weshalb es wenig zugelassene Bauteile am Markt gibt. Was bei Ammoniak R717 funktioniert, funktioniert allerdings auch bei R723, dennoch ist für die gültige Zertifizierung der Anlage nach der aktuellen Gesetzgebung eine gültige Zulassung der Bauteile nötig. Aus diesem Grund ist die Stückzahl aktuell noch sehr gering und die Motivation der Hersteller noch nicht besonders hoch, die Anlagen bzw. Bauteile einzeln für R723 zertifizieren zu lassen.

Die Vorteile bei Anlagen mit Dimethylether/Ammoniak-Mischung R723 liegen zum einen bei der bis zu 15 K höheren möglichen Verflüssigung. Hierdurch sind keine Verdunstungskühltürme mehr nötig. Zum anderen bindet das Kältemittel das Kältemaschinenöl. Das sorgt für einen souveränen und günstigen Betrieb. Es ist keine aufwändige Ölrückführung oder Entölung der Anlage wie bei R717 Ammoniak mehr nötig.

**Kältemaschine:
Optimale Lösungen
vereinen geringe Kälte-
mittelmengen mit
hoher Effizienz –
unabhängig vom Kälte-
mittel**



Nachteile liegen beim R723 in der Toxizität und bei sehr hohen Anschaffungskosten wie bei R717.

■ Kältemaschine: Auf das System kommt es an

Die bekannten Kältemittel, egal ob natürlich oder synthetisch, sind bei gleicher Bauweise der Kältemaschine, gleichen Einsatzbedingungen und gleicher Verdichtereffizienz auf die Nachkommastelle gleich effizient. Eine Ausnahme stellt z. B. R744 CO₂ dar, welches in puncto Effizienz durchfällt. Die natürlichen Kältemittel, wie Propan und mit großem Abstand Ammoniak, haben eine sehr hohe Energiedichte. Das hat aber zunächst mit der Effizienz nichts zu tun. Hohe Energiedichte bedeutet lediglich wenig Kältemittel für hohe Leistung.

Mit effizienten Verdichtern, großen Verflüssigern und Verdampfern sowie einer elektronischen Einspritz- oder Füllstandsregelung wird ein System effizient und nahe-zu unabhängig vom eingesetzten Kältemittel.

Hier stolpern viele, wenn es um die Bewertung der Effizienz in der Projektierung geht. Dies ist auf folgende Probleme zurückzuführen: Bei Ammoniakverdichtern wird bauartbedingt meist die Wellenleistung als Leistungsaufnahme angegeben, da der Motor bei Ammoniakanlagen separat montiert wird (offene Verdichterbauart). Der Motorverlust, eventuelle Keilriemenverluste (bei älteren Anlagen) und Frequenzumrichterverluste werden oft nicht berücksichtigt, obwohl diese sieben bis zwölf Prozent betragen. Bei den HFO-Kältemitteln werden halbhermetische Verdichter verwendet, bei denen Motor und teilweise auch Frequenzumrichter bereits integriert sind. Der elektrische Leistungsbedarf wird hier immer an der Klemme angegeben, inklusive aller Verluste.

Für einen korrekten Vergleich unterschiedlicher Anlagen ist es absolut notwendig, diese Angaben differenziert zu bewerten.

■ Fazit

Wer eine der oben beschriebenen modernen Anlagen zur Kälteversorgung betreibt, der kann sich in Bezug auf seine Kälteanlage

Systemempfehlungen

- Aufstellungsort in Innenstadtlage und Glykolanlagen (indirekte Kühlung) – R1234ze HFO-System;
- Aufstellungsort in Industriegebiet und Glykolanlagen (indirekte Kühlung) – R290 Propananlagen oder R723 Dimethylether/Ammoniak;
- Aufstellungsort in Industriegebiet und Kältemitteldirektverdampfung in Lagerkellern oder ZKTs – R717 Ammoniak-System.

entspannt zurücklehnen. In diesem Zustand sollte er aber nicht ausruhen, sondern die Anlagen im Blick behalten. Die Technik benötigt permanente Pflege und Fürsorge, damit sie so lange wie möglich auf dem hohen, effizienten Niveau betrieben werden kann.

Für das Mittelfeld gibt es viele Möglichkeiten: Oft kann die installierte Technik auch mit einfachen Maßnahmen wieder auf den aktuellen Stand der Technik gebracht werden. Wer mit offenen Augen durch den Betrieb geht und die aktuelle Vorgehensweise hinterfragt, wird verwundert sein, wie viel Potenzial vorhanden ist, um die Kälteanlage zu entlasten. Es lohnt sich auch einmal Fachleute zu befragen, die nicht täglich im Unternehmen ein und ausgehen. Denn nicht selten stellt sich gewisse Betriebsblindheit ein, die die Suche nach ineffizienten Stellen erschwert.

Ähnliches gilt auch für Unternehmen, die eher überholungsbedürftige Kälteanlagen betreiben. Zuerst sollte mit Fachleuten geprüft werden, welche Maßnahmen unbedingt nötig sind und welcher technologische Prozess von sich aus effizienter gestaltet werden kann. Erst danach sollte die Suche nach der idealen Kälteanlage mit der optimalen Kälteleistung beginnen. Zur Suche gehört die Offenheit für Anlagen, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen: Entscheidend sind hohe Teillasteffizienz (Vollast und Hochsommer sind eher die Ausnahme als der Normalzustand), gute Regelbarkeit, geringe Kältemittelmengen.

Weitere Informationen dazu unter www.brauereikuehlung.de. ■