

Bemerkenswerte Ergebnisse mit neuen Verdichtern

Energieverbrauch im Kühlhaus

Michael Weilhart, München, und Ulrich Adolph, Leipzig

Die Kälteanlage in Kühlhäusern ist naturgemäß deren größter Energieverbraucher. Die Energieverbrauchsstruktur richtig zu analysieren und daraus effektive Lösungen dafür abzuleiten, lohnt sich in jedem Fall für die Kostenminimierung. Die Markt- und Kühlhallen AG (München) hat nicht zuletzt wegen der mittlerweile wieder ansteigenden Energiekosten umfangreiche Maßnahmen ergriffen, um im Rahmen von Anlagenmodernisierungen weitere Kosteneinspareffekte zu erzielen. Erfolge z. B. durch Änderungen im Verdichterbereich der Kälteanlage zeigen sich an den Niederlassungen in Hamburg und Berlin. Die Modifikation besteht aus dem Austausch von älteren Borsig-Verdichtern gegen moderne GEA Grasso-Verdichter, worüber im Folgenden am Beispiel des Kühlhauses Berlin-Neukölln berichtet wird.



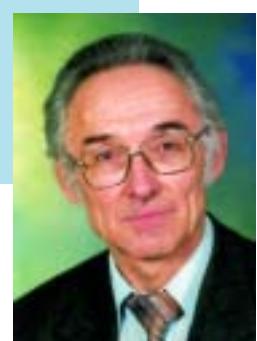
Bild 1 Kühlhaus der MUK AG in Berlin-Neukölln

zu den Autoren

*Dipl.-Ing.
Michael
Weilhart,
Markt- und
Kühlhallen AG,
Fachbereich
Kältetechnik,
München*



*Dr.-Ing. Ulrich
Adolph,
Entwicklungs-
berater Kälte-
und Klima-
technik, Leipzig*



Bedingungen der Kühlhaus-nutzung

Das Berliner Kühlhaus der Markt- und Kühlhallen AG ist durch intensive gewerbliche Nutzung gekennzeichnet. Es besteht aus acht Hallen mit insgesamt 56 000 m³ gekühltem Lagerraum für den Temperaturbereich von -22 bis -27 °C, besitzt einen Gleisanschluß, ein Zollager mit EG-Zulassung und eine Abfertigungssektion. Eingelagert wird alles, was in diese Temperaturbedingungen hineinpaßt, vom Fleisch über Backwaren bis zu Eiskremprodukten aller Art. Es erfüllt sowohl die Aufgabe eines Blocklagers als auch eines Umschlagslagers. Unter

Berücksichtigung der Sommer- bzw. Winterbedingungen folgt daraus ein sehr stark schwankender Kälteleistungsbedarf, der möglichst wirtschaftlich durch exakte Anpassung der von der Kälteanlage angebotenen Kälteleistung befriedigt werden muß.

Zur Wärmelaststruktur solcher Kühlhäuser wurden folgende relativen Werte ermittelt:

- Wenn man die Wärmelast bei Blocklagernutzung mit 100 % bewertet, steigt sie bei Nutzung des gleichen Hauses als Umschlagslager auf 190 %.
- Die Transmissionswärmelast hat in beiden Fällen im Jahresmittel einen Anteil von 40 % an der Gesamtlast. Infolge der Schwankungen der Außentemperaturen im Bereich von -15°C im Winter bis $+35^{\circ}\text{C}$ im Sommer beträgt die reale Schwankungsbreite jedoch 15 bis 65 %.
- Dieser Transmissionswärmendifferenz sind beim Umschlagslager mit der gleichen Tendenz, aber noch größeren Werten die Wärmelasten aus dem Warenumschlag und aus den Türöffnungsvorgängen überlagert, wobei in der warmen Jahreszeit die Feuchtelast der bei den Türöffnungsvorgängen eintretenden Außenluft einen wesentlichen Anteil hat.

Im Bild 2 ist die Wärmelaststruktur eines solchen Kühlhauses dargestellt.

Bei der Betrachtung der Eckwerte der Wärmelast stellt sich der geringste Wert bei der Nutzung als Blocklager im Winter mit ca. 65 % des Jahresmittels ein, während er im Sommer bei der Nutzung als Umschlagslager an Tagen mit hoher Luftfeuchte bei Dreischichtbetrieb mit vielen Abtauvorgängen und mit Beleuchtung bis auf 250 % steigen kann. Diese Spanne von 1 zu 3,8 gilt es mit der installierten Kälteanlage abzudecken. Im Bild 3 ist der Energieverbrauch in den

12 Monaten des Jahres für ein solches Kühlhaus dargestellt, aus dem die Tendenz des Lastverlaufes in diesem Sinne zu erkennen ist. Die Schwankungsbreite liegt dabei mit 1 zu 3,5 in der gleichen Größenordnung.

Dabei hat die Kälteanlage am Gesamtverbrauch des Kühlhauses von 100 % einen Anteil von 69 % mit den Anteilen 51 % für Verdichter und 18 % für Verdampfer- und Verflüssigerlüfter sowie die Kältemittelpumpen.



Bild 3 Energieverbrauch der Verdichter eines Kühlhauses mit den Wärmebelastungsbedingungen entsprechend dem Anwendungsbeispiel Berlin-Neukölln

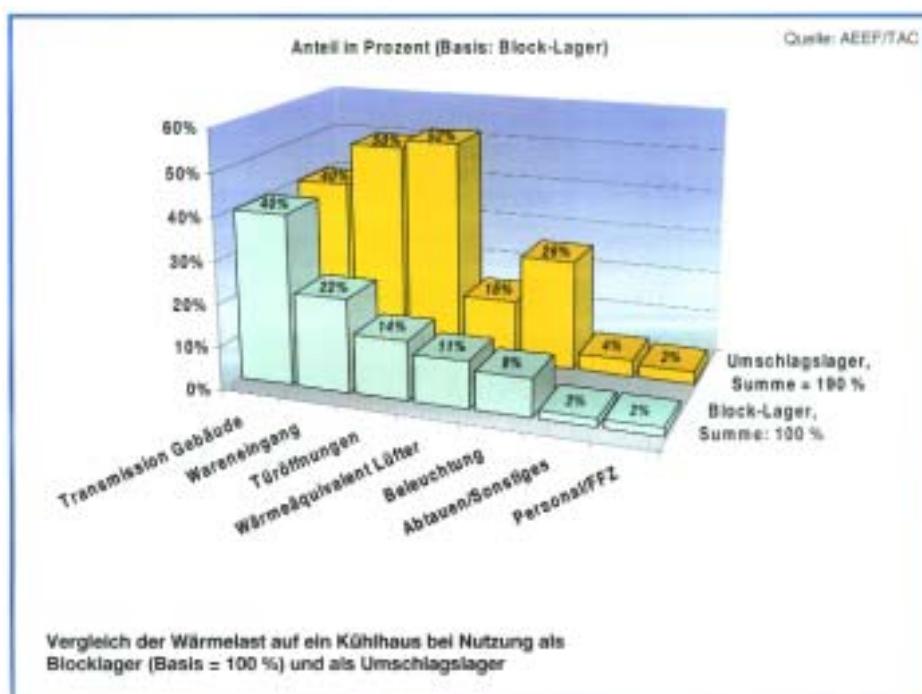


Bild 2 Wärmelastanteile eines Kühlhauses bei Nutzung als Blocklager oder Umschlagslager

Analyse des Verbesserungspotentials

Unter Beachtung dieser allgemein gegebenen Bedingungen kommt also der Verdichterauswahl unter den Gesichtspunkten der Lastschwankungen bei Gewährleistung eines hohen COP-Wertes große Bedeutung zu. Für die Rekonstruktion der MUK-Kühlhäuser wurde dafür eine entsprechende Analyse erarbeitet, die im Bild 4 beispielhaft den Vergleich zwischen der Verdichterbestückung mit Schraubenverdichtern mit Schiebersteuerung und Kolbenverdichtern mit Frequenzumformerantrieb zeigt. Als Bedingungen sind dabei die Verdampfungs-temperatur von -35°C , die Verflüssigungstemperatur von $+32^{\circ}\text{C}$ und das Kältemittel Ammoniak zu Grunde gelegt.

Dabei ist der Verlauf beim Schraubenverdichter mit Schiebersteuerung durch den steigenden Einfluß der inneren Verluste bei sinkendem Förderstrom bedingt, wobei sich auch bei Frequenzumformerantrieb ähnliche Ergebnisse einstellen würden. Der Kolbenverdichter dagegen bleibt auch im Betrieb mit niedriger Drehzahl an den Kolbenringen dicht und die Verringerung der Temperaturdifferenzen

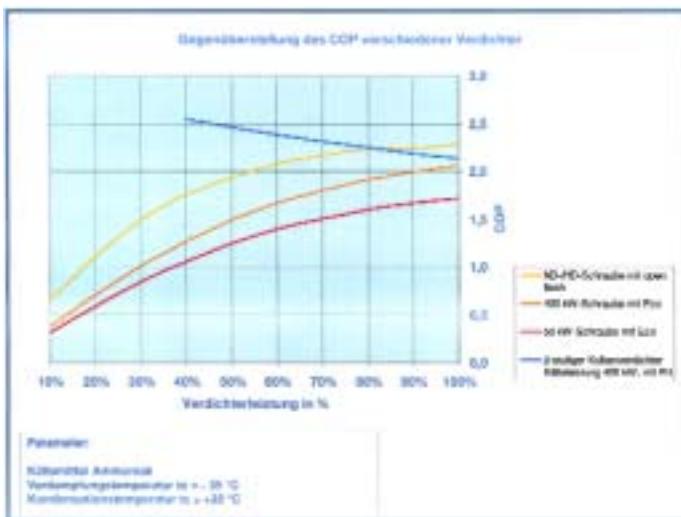


Bild 4 Verlauf des COP über der Kälteleistung für Kolben- und Schraubenverdichter bei $-35^{\circ}\text{C}/+32^{\circ}\text{C}$ und NH_3

an Verdampfern und Verflüssigern bei reduziertem Förderstrom wird nicht von den Leckverlusten aufgebraucht bzw. überboten. Dadurch ergibt sich bei Teillast eine COP-Verbesserung für Kolbenverdichter im zulässigen Drehzahlbereich bis herab zu ca. 40 % der Nenndrehzahl.

Während für Kühlhäuser für den mittleren jährlichen Energieverbrauch vom VDKL 50 kWh/m^2 angegeben werden, konnten bei den neueren bzw. modernisierten MUK-Häusern hervorragende Werte von bis zu ca. 20 kWh/m^2 erreicht werden. Dabei ist die Verbesserung sowohl bauseitig am Kühlaus als auch ausrustungsseitig erarbeitet worden. Die energetische Optimierung führt zur Minimierung der Wärmelast. Das wird erreicht durch

- Verbesserte Wärmedämmung,
- thermische Hermetisierung der Abdichtung an den Lkw-Andockstellen durch Thermoschleusen und Schnellaufporte,
- Optimierung der Beleuchtung, des Wärmeäquivalentes der Verdampferlüfter und der Unterfrierschutzheizung.

Weitere Kostensenkung erreicht man personalseitig durch Optimierung des Wartungs- und Bedienungsaufwandes und betriebsseitig durch richtige Fahrweise der Anlage unter dem Gesichtspunkt der optimierten Energiekostenstruktur.

Den wesentlichen Anteil erreicht man jedoch durch Verbesserungen an der Kälteanlage selbst. Die Installation von Verdampfern und Verflüssigern mit großen Wärmeübertragungsflächen gewährleisten geringe Temperaturdifferenzen und die richtige Verdichterauswahl führt zu guten COP-Werten für das ganze Jahr mit den oben genannten unterschiedlichen Bedingungen.

Zielrichtung bei der Verdichterauswahl

Der Verdichter als Herzstück der Kälteanlage wird auf Grundlage der erforderlichen Kälteleistung aus der Vielzahl von möglichen Lösungen ausgewählt. Unter Berücksichtigung der Verdichtereigenschaften wurden im vorliegenden Fall große Kolbenverdichter bevorzugt.

Es sind verschiedene miteinander konkurrierende Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Nun soll man die Verdichter nicht größer als unbedingt notwendig dimensionieren, um das Verhältnis von maximaler zu minimaler Last nicht schon dadurch zu belasten, daß der Verdichter durch vermeintliche Reserven eigentlich schon mehr Leistung bieten kann, als man ver-



Eindrücke aus einem der Tiefkühlhäuser, an der Decke sichtbar eine Kanalluftführung, sowie aus dem Maschinenraum. Im linken Bildausschnitt zwei der noch vorhandenen Borsig-Verdichter TNS 3215 aus dem Baujahr 1965, rechts die neuen zweistufigen Grasso-Verdichter der Type RC 9312E

nünftigerweise von ihm abfordert. Ganz extreme Betriebspunkte sollen deshalb durch die Nutzung der Speichereigenschaften des Kühlhauses unberücksichtigt bleiben. Sicherheitszuschläge für extrem niedrige Verdampfungstemperaturen, die dann doch nicht vorkommen, oder für extrem hohe Umschlagsvorgänge sind deshalb nicht angebracht.

Wenn man dann einen realitätsnahen Leistungsbedarf ermittelt hat, entscheidet man über die Anzahl der Verdichter, die diesen Bedarf abdecken sollen.

- Möglichst wenige, im Grenzfall nur ein Verdichter, erweisen sich energetisch als günstig, da der COP-Wert mit der Verdichtergröße steigt. Nachteilig muß dabei die Redundanzfrage beantwortet werden, da die Ersatzmaschine bei Ausfall der Betriebsmaschine gleich groß und damit gleich teuer wird. Der Teillastbetrieb bis an die untere Grenze der Leistungen würde dann nur durch Zylinderabschaltung möglich sein, da wegen der Funktionsbedingungen die untere Drehzahlgrenze meist bei 40 bis 50 % der Nenndrehzahl liegt. An den Grenzen der zulässigen Teillastbedingungen werden die Verdichter zudem sowohl bei Zylinderabschaltung als auch bei Drehzahlstellung thermisch höher belastet und die häufigere Anzahl Schaltvorgänge unterhalb der geringsten zulässigen Betriebsleistung würde sich erhöhen.

- Mit mehreren kleineren Verdichtern kann man die Leistungsanpassung und die Redundanzkriterien günstig gestalten, während der Wartungsaufwand steigt und der COP-Wert sinkt.
- Die Kombination von Verdichtern unterschiedlicher Größen erweist sich unter den genannten betriebstechnischen Gesichtspunkten durchaus als vorteilhaft, wird aber sofort zum Problem der Anschaffungs- und Wartungskosten. Man muß viele unterschiedliche Ersatzteile vorhalten und wie im ersten Fall für die Redundanzbedingungen immer alles doppelt haben.
- Die Widersprüche lassen sich einigermaßen auflösen, wenn man zwei gleiche Verdichter vorsieht, von denen einer den größeren Teil des Jahresenergiebedarfes abdecken kann, natürlich im Laufzeitwechsel zum anderen, und wenn man für diesen Verdichter einen Frequenzumformerantrieb wählt. Die im Laufe der Jahre gesunkenen Frequenzumformerkosten sind durch das energetische Einsparpotential auch dadurch zu kompensieren, daß eine Programmierung der Fahrweise der Verdichter unter der Zielstellung eines niedrigstmöglichen Leistungspreises und der Vermeidung von Leistungsspitzen möglich ist. Die Bedingungen sind bei den einzelnen EVU unterschiedlich und man muß deshalb bei der Festlegung der richtigen Lösung in bezug auf EVU-gerechtes Lastprofil die örtlichen Bedingungen bzw. die Bedingungen des gewählten Versorgers berücksichtigen.
- Ein letzter aber nicht unwichtiger Gesichtspunkt der Verdichterbestimmung für ein konkretes Kühlhaus ergibt sich aus den örtlichen personellen Bedingungen bezüglich der fachlichen Kompetenz und der Kapazität für Wartung und Instandhaltung. Sind diese Bedingungen nicht gegeben, erweisen sich die energetischen Auswahlkriterien evtl. als illusorisch und man wählt einen oder zwei große Schraubenverdichter aus.

Maßnahmen im MUK-Kühlhaus Berlin-Neukölln

Im hier zu beschreibenden konkreten Fall des Kühlhauses der Markt- und Kühlhallen AG in Berlin-Neukölln konnte eine optimierte Kolbenverdichterbestückung gewählt werden.

Es waren dort vier Borsig-Verdichter TNS 3215 aus dem Baujahr 1965 und zwei Grasso-Verdichter K40.20×110 aus dem Baujahr 1968 vorhanden.

Bei der Umbaumaßnahme wurden zwei Borsig-Verdichter durch den neuen zweistufigen Typ Grasso RC9312E mit Mitteldruckflasche und Antrieb über ABB-Frequenzumformer ersetzt. Diese beiden Verdichter decken den Leistungsbedarf voll ab, die noch vorhandenen alten Verdichter stehen z. Zt. noch als Redundanz in Bereitschaft und werden gelegentlich kurzzeitig in Betrieb genommen.



Bild 5 Grasso-Verdichter RC9312E im MUK-Kühlhaus Berlin-Neukölln

Diese Verdichter gehören zu einer neu entwickelten Baureihe aus dem Hause Grasso Products B. V., 's Hertogenbosch. Sie zeichnen sich durch viele Vorteile aus. Es sind die ersten Grasso-Verdichter, die mit Verbundventilplatten aus einem hochwertigen Kunststoff, mit besonders leichten Kolben und Pleuel, beide aus Leichtmetall, und mit verschleißfesteren Kolbenringen ausgestattet sind. Die Ventilplatten führen infolge ihrer geringen Masse zu günstigen Aufprallbedingungen auf den Ventilsitz und damit zu verbesserter Langzeitstabilität sowie zu günstigem Geräuschverhalten. Verbesserte Lösungen gibt es auch beim Schmiersystem, bei den Lagern und bei der Gleitringdichtung. Die Verdichter besitzen wie alle Grasso-Verdichter der Vergangenheit ein geschweißtes Stahlkurbelgehäuse mit außen liegenden Saug- und Druckstutzen, wodurch der Wärmeeintrag in das zu verdichtende Kältemittel gering bleibt und dadurch ohne zusätzliche Gehäuse- oder Zylinderkopfkühlung gearbeitet werden kann. Das ist besonders beim Kältemittel Ammoniak mit seinen hohen Verdichtungstemperaturen wichtig. Diese Eigenschaft in Verbindung mit der Ventilkonstruktion mit geringen Druckverlusten sind die Hauptkriterien für den guten energetischen Gütegrad, der mit anderen Verdichtern direkt vergleichbar über den COP-Wert ist.

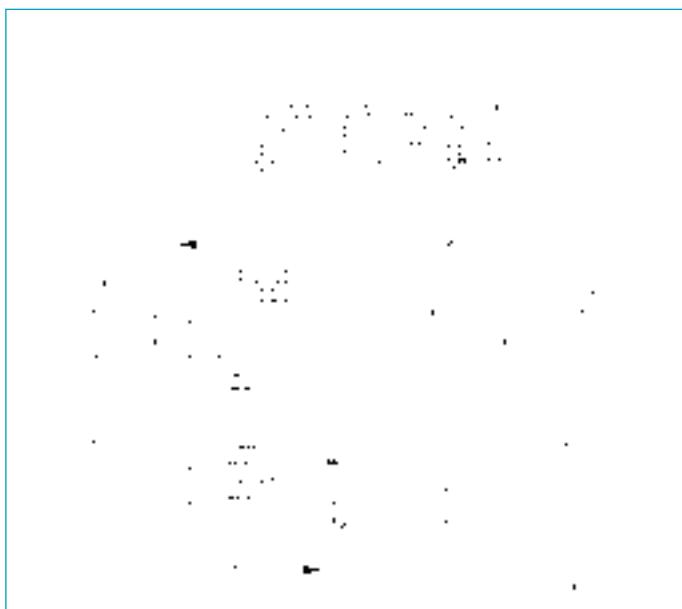
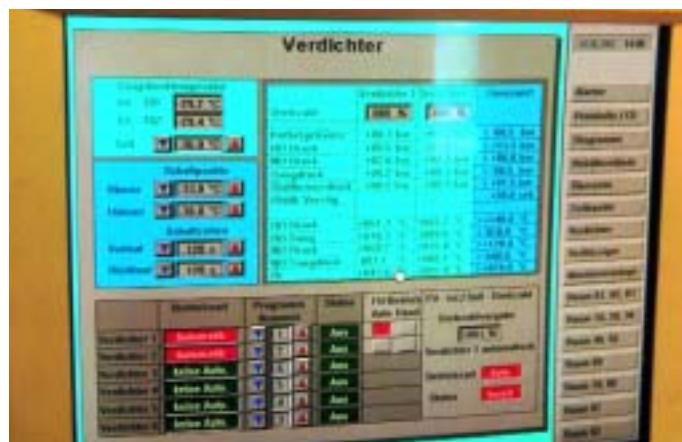


Bild 6 Schalt- und Überwachungsschema eines Grasso-RC 9312E-Verdichters im MUK-Kühlhaus Berlin-Neukölln

Der nutzbare Drehzahlbereich liegt zwischen 600 und 1450 U/min, woraus sich beim Einverdichterbetrieb die geringste Kälteleistung zu 160 kW ergibt, während der Maximalwert bei zwei Verdichtern mit Vollast 760 kW beträgt, wodurch die vor erwähnte Spreizung des Leistungsbedarfs von 1 : 3,5 noch überboten wird. Der COP-Wert variiert bei $-35^{\circ}\text{C} / +32^{\circ}\text{C}$ zwischen dem Vollastwert von 2,15 bis zum Wert bei geringster Leistung von 2,55. Als Besonderheit wird die maximale Betriebsdrehzahl des Regelzyklus nur so hoch festgelegt, wie für die Abdeckung der saisonalen Größtleistung erforderlich ist, z. B. beim Betriebszustand nach Bild 8 nur 1000 U/min. Dadurch wird eine weitere Effektivitätsquelle erschlossen.

Die Überwachung der Anlage erfolgt mittels Fernmonitoring vor Ort, zentral von der Unternehmenszentrale München aus, als auch beim Technikleiter und seinen Mitarbeitern jeweils von zu Hause aus. Viele praktisch bedeutungsvolle Betriebs- und Diagnoseparameter werden angeboten und gespeichert.



Die Anlage enthält 4,2 t Ammoniak. Im Maschinenhaus ist vom Ammoniak allerdings nichts zu spüren, woraus man wirklich auf die vom Hersteller betonte gute Dichtheit der Gleitringdichtung schließen kann.

Da es sich bei der Kälteanlage um eine nach § 15 Abs. 1 BImSchG genehmigungsbedürftige Anlage handelt, wurden schon während der Planungen die gewünschten Änderungen der zuständigen Behörde in Berlin, der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, vorgestellt. Wegen der letztendlich positiven oder zumindest neutralen Auswirkungen der Umbaumaßnahmen auf die Schutzgüter des § 1 BImSchG wurde der Umbau als nur anzeigepflichtiges Vorhaben eingestuft, was den Genehmigungszeitraum wie auch den Dokumentationsaufwand in einem erträglichen Umfang hielt.

Der Austausch der Verdichter wurde von Fachfirmen unter begleitender Überwachung durch den TÜV Berlin-Brandenburg ausgeführt. Die Wartung der Ver-



Dr. Adolph zeigt es: Kleine Visualisierung, großes Gehäuse. Dahinter verbirgt sich die FU-Technik von ABB. Rechts im Bild Rüdiger Lösing, Technischer Leiter MUK-Logistik, links Detlef Schünemann, Kälteanlagenwart

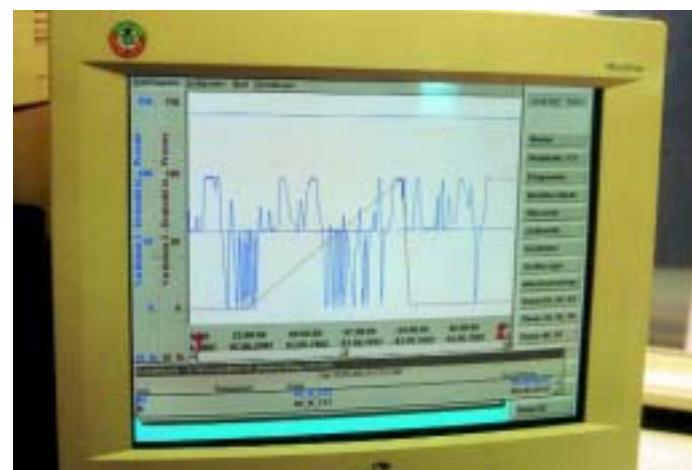


Bild 8 Bildschirmdarstellung des Drehzahlverlaufes des frequenzgeregelten Verdichters

Die in den Verdichtern eingebaute Zylinderabschaltung wird bewußt nicht genutzt, weil die Frequenzregelung alle möglichen Betriebszustände realisieren kann. Die Wechselmöglichkeit des Pilotverdichters schließt den Wechsel des Frequenzumformers auf diesen Verdichter ein. Beim Hochfahren auf höheren Leistungsbedarf wird der geregelte Verdichter bis an seine Leistungsgrenze gefahren, dann verharrt er eine vorgegebene Zeit auf diesem Niveau, bevor der ungeregelte Verdichter zugeschaltet wird. In der Folge stellt sich der geregelte Verdichter auf den dann für ihn erforderlichen Wert ein. Als Schaltpunkte sind die Drücke vorgegeben, die den Temperaturen -33 bzw. -36°C entsprechen.

dichter erfolgt in Zukunft wie bisher durch eigenes, fachkundiges Personal unter Verwendung von originalen Grasso-Ersatzteilen. Bei Schraubenverdichtern wäre das nicht möglich. Die Antriebs-, Steuerungs- und Überwachungstechnik stammt aus dem Hause ABB. Von der erfolgreichen Lösung zeugt nicht nur die nun bessere energetische Bilanz, sondern vor allem auch die Einschätzung der vollen Zufriedenheit durch das Betriebspersonal und den Technikleiter von Rüdiger Lösing (MUK Logistik GmbH) in Berlin, einem sehr erfahrenen Kältetechniker.

Das Ergebnis zeigt die auch heute noch gegebene Innovationsfähigkeit innerhalb der Kältetechnik auf der Basis neu entwickelter Komponenten und gründlicher Analyse der Randbedingungen. Es lohnt sich immer wieder, alles schon Vorhandene und Bewährte zu hinterfragen und bisher nicht üblich gewesene Schlussfolgerungen zu ziehen. □