

Untersuchungen zur Energieeinsparung mittels drehzahl geregelter Hubkolben-Verdichtern

# Supermarktkette „dreht“ an der Kostenschraube

Michael Trauer, Magstadt

Große Supermarktbetreiber sehen sich durch den wachsenden Kostendruck immer mehr der Notwendigkeit unterworfen, nach neuen Produkten, Märkten und Verkaufsstrategien, aber auch nach neuen Möglichkeiten zur Kostenreduzierung zu suchen. Neben einer erheblichen Erweiterung im Non-Food-Bereich auf der einen Seite, findet man auf der anderen einen Trend zu immer effizienteren Techniken bei der Lebensmittelkonservierung. Im Zuge dieser Suche entschied sich eine große italienische Supermarktkette, ihre vorhandenen DORIN-Verdichter der NK- und TK-Verbundanlage mit einem Frequenzumrichter aus dem DORIN-Zubehörprogramm nachzurüsten und damit entsprechende Leistungsmessungen durchzuführen [1].

## zum Autor

Dipl.-Ing.  
Michael Trauer,  
Prokurist und  
Technischer  
Leiter in  
der Firma  
Erba Kälte,  
Magstadt



## Einleitung

Einen bedeutenden Anteil der Betriebskosten eines Supermarktes verschlingt der Energieverbrauch der Kältemaschinen. Der unterschiedliche Kühllastbedarf des Marktes wird in den meisten Fällen mit Hilfe von Verbundanlagen ausgeregelt. Allerdings ergeben sich auch damit, abhängig von der Stufenzahl des Verbundes und der Leistungsstaffelung der Kühlmöbel, zum Teil starke Verschiebungen im Saugdruck der Anlagen und somit ungünstige und vor allem „teure“ Betriebszustände.

Regelt man jedoch die Kälteleistung nicht nur über das Zu- und Abschalten von Kompressoren, sondern in Verbindung mit einer Regelung der Drehzahl (Frequenz) eines Verdichters, erhält man eine stufenlose Leistungsanpassung, deren Minimalleistung weit unter der von Verbundanlagen liegt [2].

## Anlagenbeschreibung und Meßdurchführung

Da die Firma DORIN als Verdichterhersteller bereits seit Ende der 80er Jahre einen eigenen Frequenzumformer zur Verdichterdrehzahlregelung im Zubehörprogramm führt, entschied sich eine italienische Supermarktkette zu einer entspre-

chenden Versuchsserie mit den vorhandenen DORIN-Verbundanlagen eines großen Marktes.

Die technischen Leistungsdaten der installierten Verbundsätze sind in Abb. 1 zu finden. Die Normalkühlung besteht aus einem Verbundsatz mit 5 Verdichtern, wobei ein 40-PS-Verdichter die Grundlast übernimmt und mit vier 25-PS-Verdichtern erweitert werden kann.

Der Tiefkühlverbund läuft mit drei Verdichtern, wobei die Grundlast von einem 30-PS-Verdichter getragen wird.

Voraussetzung für die Messungen war, daß die Temperaturen in den Kühlmöbeln konstant blieben. Zur Meßwerterfassung dienten entsprechende elektronische Leistungsmesser und Druckaufnehmer, die während der gesamten Meßperiode von je-

### Technische Daten der Kältetechnik:

<b>Normalkühlung:</b>	$Q_0 = 230 \text{ kW}$ (-10/+45°C R22) 1x K4000CC + 4x K2500CC Frequenzumrichter VF5140P-40
<b>Tiefkühlung:</b>	$Q_0 = 28 \text{ kW}$ (-35/+45°C R22) 1x K3000CC + 2x K1000CS Frequenzumrichter VF5140P-30

Abb. 1 Technische Leistungsdaten des Supermarktes

weils 96 Stunden alle 10 s einen Meßpunkt erfaßten und abspeicherten. Im Einzelnen wurden dabei folgende Werte gemessen:  
 Verdampfungsdruck [bar]  
 Verflüssigungsdruck [bar]  
 Elektrische Arbeit [kWh]  
 Schaltheufigkeit der Stufen.

Abb. 2 a  
Mögliche Schaltungsvarianten beim Normalkühlverbund

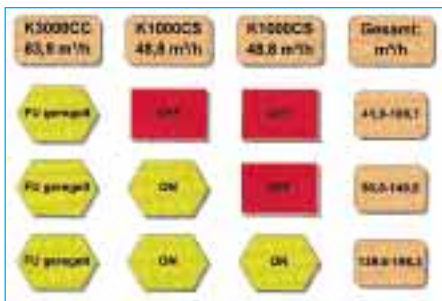


Abb. 2 b Mögliche Schaltungsvarianten beim Tiefkühlverbund

Nachdem die Messungen an den Verbundanlagen mit einer „herkömmlichen“ Verbundsteuerung und einer stufenweisen Zu- und Abschaltung der Verdichter abgeschlossen waren, wurde der jeweilige Grundlastverdichter des NK- und TK-Verbundes mit einem Frequenzumrichter Typ VF-514xx entsprechender Leistung versehen. Die Zu- und Abschaltung der weiteren Verdichter mit Netzfrequenz übernimmt eine separate Elektronik, die auch den Frequenzumrichter mit einem analogen 0–10-V-Signal versorgt. Dabei wird immer erst der Grundlastverdichter bis zur Maximalfrequenz gefahren, bis eine weitere Stufe zuschaltet.

Bedingt durch die mögliche Drehzahlregelung im Bereich von 25 bis 60 Hz (725 bis 1750 l/min) kann so der Grundlastverdichter die Bereiche zwischen den einzelnen Schaltstufen „stoßfrei“ ausregeln. Die sich im Zusammenspiel aller Verdichter ergebende Bandbreite der Regelung sowie die Schaltlogistik sind in Abb. 2 anhand der sich ergebenden Hubvolumenströme dargestellt.

Daraus ergibt sich für die Normalkühlung eine Regelbreite von 14 bis 100 % der installierten Kälteleistung, für die Tiefkühlung von 21 bis 100 %.

### Ergebnisse

Die Druckverläufe in Abb. 3 zeigen deutliche Unterschiede in ihrer Konstanz. So ergeben sich beim Normalkühlverbund ohne FU trotz der hohen Stufenzahl (5)

starke Druckschwankungen, während beim Betrieb mit FU der Druck im Bereich von 0,2 bar konstant bleibt.

Ein gleiches Bild zeigt sich auch für die Tiefkühlung, wo der Saugdruck im Bereich von 0,1 bar konstant gehalten werden kann.

Die Auswertung der Schalthäufigkeit der Verdichter ergibt für die Normalkühlung eine Senkung auf unter 15 %. Damit wird ganz entschieden der Stabilisierung des Systemdruckes und der Erhöhung der Lebensdauer der Verdichter Rechnung getragen (vgl. Abb. 4).

Bei der Tiefkühlung trat das „Phänomen“ auf, das sich durch den Einsatz des FU's die Schalthäufigkeit sogar leicht erhöht hat. Dies findet seine Begründung aber in der zu großen Leistung des Grundlastverdichters und dem starken Absinken des Kühllastbedarfes während der Nacht, so daß der Grundlastverdichter bei der Regelung mit FU mehrmals abschaltet.

Dieses Problem sollte jedoch mit einer besseren Verdichterabstufung zu lösen sein.

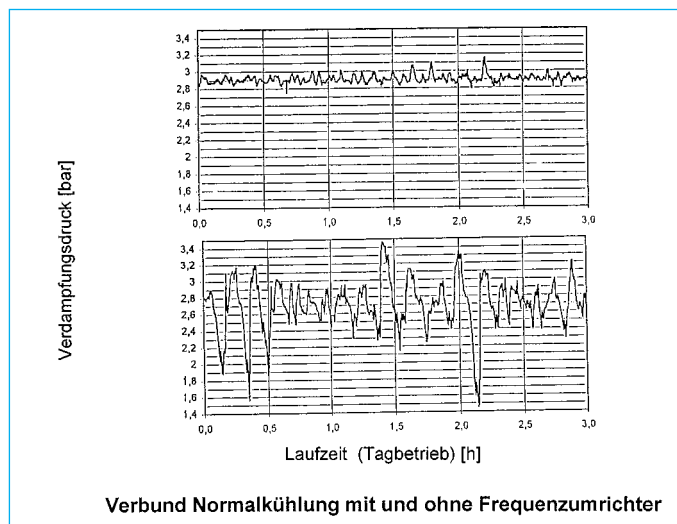


Abb. 3  
Vergleich der Saugdruckkurven mit und ohne FU-Regelung für die Normalkühlung

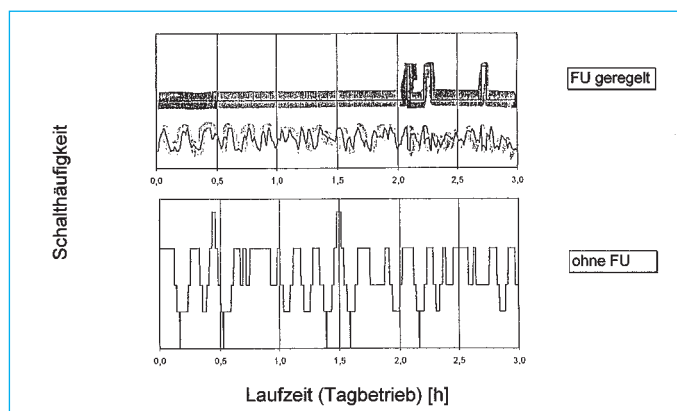


Abb. 4  
Verringerung der Schalthäufigkeit beim FU-geführten Betrieb

### Auswertung der Messungen und Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Meßreihen mit und ohne Frequenzumrichter sind in Abb. 5 zu sehen. Durch den Betrieb der Anlagen mit Frequenzumrichter konnten in der Normalkühlung 243 kWh, in der Tiefkühlung 102 kWh elektrische Arbeit eingespart werden. Rechnet man diese Werte auf ein Jahr hoch, ergibt sich eine Einsparmöglichkeit von ca. 31 000 kWh (17 %). Dies entspricht einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emission von 18 600 kg/Jahr.

Weiterhin konnte durch den äußerst stabilen Saugdruck die Verdampfungstemperatur sowohl in der Normal-, als auch der Tiefkühlung um 1,5 K angehoben werden. Dies hat nicht nur einen erheblichen Anteil an der Energieeinsparung, sondern verbessert auch die Produktqualität, ohne eine Änderung der Komponenten (Verdampfer etc.) durchgeführt zu haben.

Die Kosteneinsparung durch den geringeren Energieverbrauch bewegt in etwa



Abb. 7  
Hauseigener  
Frequenzumrichter  
Typ VF.514xx aus  
dem Zubehör-  
programm von  
Dorin

im gleichen Rahmen wie die zusätzliche Hardware (Frequenzumrichter), so daß von sehr kurzen Amortisationszeiten ausgegangen werden kann.

Ein solcher Feldversuch bedingt es, daß nicht alle Randparameter der Messungen absolut identisch sein können (Wetter, Personenlast etc.).

Die Meßdauer von 96 Stunden sowie die gleichen klimatischen Zeiträume gestatten jedoch eine positive Betrachtung der Ergebnisse, wie sie in o. g. Weise erfolgte und zeigen die deutlich vorhandenen Potentiale zur Energiekostenreduzierung sowie zur Qualitätsverbesserung auf. Dies war unter anderem auch Anlaß für den Supermarktbetreiber, seine weiteren Märkte Schritt für Schritt mit gleicher Technik nachzurüsten. □

#### Literatur

- [1] OFF. Mario DORIN: L'Inverter applicato alle centrali frigorifere per supermercati, Interner Versuchsbericht, 1994
- [2] M. Trauer: DORIN-Verdichter – Der Dreh mit der Drehzahl, KK Die Kälte und Klimatechnik, Heft 4/1997, Gentner Verlag Stuttgart

Verbund	Meßperiode	FU	Arbeitspunkt	Elektr. Arbeit	Schaltzyklen
Normalkühl	21.01.-25.01.94	Nein	2,7 bar	1647 kWh	876
Normalkühl	28.01.-01.02.94	Ja	2,9 bar	1404 kWh	108
Tiefkühl	16.09.-20.09.94	Nein	0,4 bar	720 kWh	156
Tiefkühl	23.09.-27.09.94	Ja	0,5 bar	618 kWh	180

Abb. 5 Ergebnisse der Messungen im Vergleich

<b>Normalkühlung:</b>	☺ Energieverbrauch um 243 kWh gesenkt (ca. 22000 kWh/a)
	☺ sehr stabile Verdampfungstemperatur
	☺ Saugdruckanhebung um ca. 0,2 bar (1,5 K)
	☺ Verringerung der Schaltzyklen der Verdichter
<b>Tiefkühlung:</b>	☺ Energieverbrauch um 102 kWh gesenkt (ca. 9300 kWh/a)
	☺ sehr stabile Verdampfungstemperatur
	☺ Saugdruckanhebung um ca. 0,1 bar (1,5 K)
	☹ (Erhöhung der Schaltzyklen der Verdichter ???)
<b>Kostenersparnis Energie: ca. 7.800,- DM/a (0,25 DM/kWh)</b>	

Abb. 6 Ergebnisbilanz des Feldversuches