

Die Klimalösung von Kaut/Sanyo

ECO-Multisysteme

VRF* – Multisplitsysteme setzen sich weltweit durch

Ulrich Arndt, Dresden

zum Autor

Dr.-Ing. Ulrich Arndt,
Niederlassungsleiter Dresden
der Firma Alfred Kaut GmbH & Co.



Energieart	Induktions-Anlage		Zweikanal-Anlage $V_L = \text{konst.}$		Multisplit-Anlage monovalent	
	Q_a	K_E	Q_a	K_E	Q_a	K_E
Wärme (Transm.)	50	3	50	3	88 (38)	7,9
Wärme (Lüftung)	50	3	100	6		
Kältemittel R 22	48	4,3	88	7,9	42	3
Hilfsenergie (ELT)	38	9,5	82	20,5	25	6,3
Σ (Normaltarif)	186	≈ 20	320	≈ 37	155	≈ 17
Σ (WP-Sondertarif)						≈ 10

Tabelle 1 Energiekostenvergleich ECO-Multi/konventionelle RLTA, unter Verwendung von [1], [2], [3] und [4].

Neben traditionellen Klimaanlage (RLT-Anlagen) werden auch in Deutschland zunehmend VRF-Multisplit-Klimasysteme (Sommerkühlbetrieb einschließlich Entfeuchtung und Winterheizbetrieb mittels Luft-/Luft-Wärmepumpe) für die kommerzielle Klimatisierung z. B. von Bürobauten, Banken, Sparkassen, Arztpraxen, Autohäusern, Ladepassagen usw. eingesetzt (s. Abb. 1).

Die bereits vorliegenden praktischen Erfahrungen zeigen, daß diese Anlagen, deren Verfahrensbasis die einstufige, luftgekühlte Kompressionskältemaschine bzw. Luft-/Luft-Wärmepumpe ist, in vielen Anwendungsfällen sowohl in bezug auf Inve-

* VRF = Variable Refrigerant Flow = Variabler Kältemittelstrom.

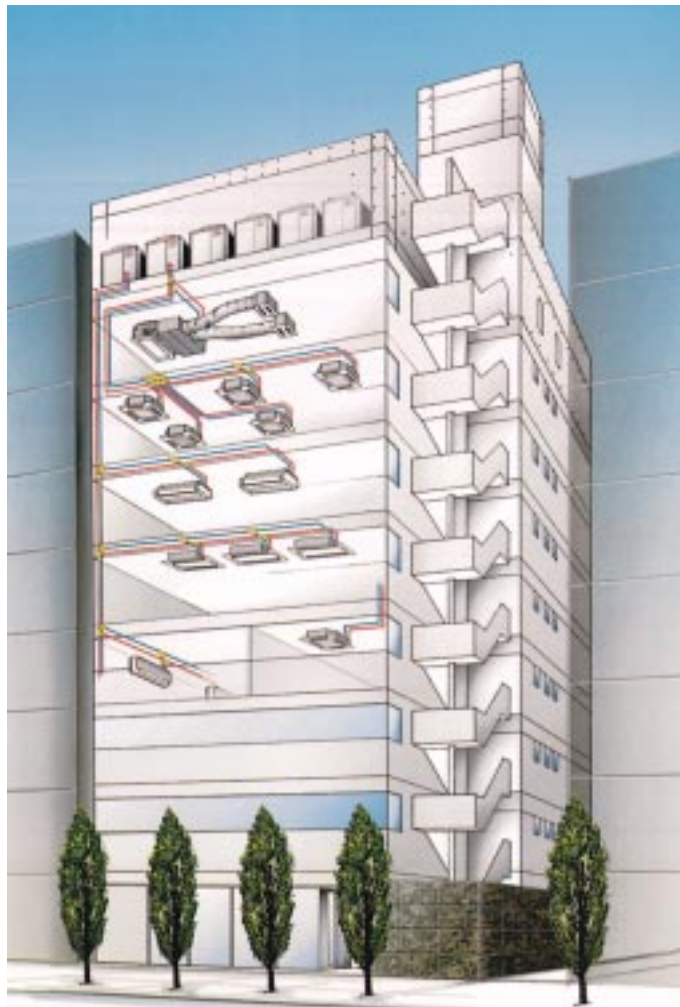


Abb. 1 Anlagenprinzip VRF-Multisplit-Klimaanlage (Werkbild Kaut/Sanyo)

Bewertungskriterien	Induktions-Anlage	Zweikanal-Anlage $V_L = \text{konst.}$	Multisplit-Anlage monovalent
Klimaqualität	++	+	++
Wirtschaftlichkeit			
Investitionskosten DM/m ²	380 ... 400	440 ... 460	300 ... 320
TDM/kW	2,9 ... 3,1	3,4 ... 3,5	2,3 ... 2,4
Energiekosten DM/m ² · a	20	37	17
Sonstige Kosten DM/m ² · a	10	10	3
Umweltaspekt	+	+	++

Tabelle 2 Gesamtkostenvergleich ECO-Multi/konventionelle RLTA, unter Verwendung von [1] und [4]
Anmerkungen: ● Energiekosten bezogen auf Normaltarif
● Investkosten/kW beziehen sich auf eine installierte Kühlleistung von max. 130 W/m²
● Weitere Bedingungen analog Tabelle 1

stitionskosten als auch in den Betriebskosten (Energieverbrauch, Wartung) Vorteile gegenüber konventionellen Lösungen aufweisen. Die Tabellen 1 und 2 zeigen diesbezügliche Kostenrichtwerte im Vergleich zu eingeführten RLTA-Lösungen.

Energieverbrauch: Q_a [kWh/m² · a]

Energiekosten: K_E [DM/m² · a]

Energiepreise (Verbrauch + Fixkosten)

Wärme (Erdgas/Erdöl) 0,06 DM/kWh
Kälte (indirekte Kühlung; KWS) 0,09 DM/kWh
ELT (Normaltarif) 0,25 DM/kWh
ELT (WP-Sondertarif) ≈ 0,12 DM/kWh

Energiekosten Multisplitanlage:

$$K_E = \frac{Q_a \cdot K_{ELT}}{\epsilon_{WK}}$$

mit $\epsilon_{WK} \approx 2,8 \dots 3,3$

$\epsilon_K \approx 2,8 \dots 3,5$

Jahresarbeitszahl

Weitere Bedingungen:

Aussagen beziehen sich auf ca. 3000 Betriebsstunden, 3 ... 5fachen Luftwechsel und eine lichte Raumhöhe von 2,75 m.

Hinzu kommt eine große Flexibilität bezüglich Installation und Montage sowie die Ausstattung mit Einzelraumregelung und Gebäudemanagementsystem (Einzelraumabrechnung, Einbindung in ZLT usw.), (s. Abb. 2).

In Japan und in Ländern des pazifischen Raumes werden VRF-Multi-Splitsysteme bereits mit Erfolg in Großgebäuden eingesetzt (s. Abb. 3) und erfüllen die Anforderungen an Voll- und Teilklimaanlagen äußerst präzise und wirtschaftlich.

Sanyo verfügt über doppeltes Know how

Weltweit führend auf diesem Feld der sogenannten „anderen Klimatechnik“, die übrigens mit einem Weltmarktanteil von ca. 75 % deutlich vor den traditionellen raumluftechnischen Anlagen rangiert, sind die japanischen Hersteller. Zu ihnen gehört die Firma Sanyo, die seit über 10 Jahren unterschiedliche Multisplitsysteme produziert: 2- und 3-Leiter-Inverteranlagen, von denen über 50 000 Anlagen weltweit installiert wurden. Sanyo hat gerade auf dem Gebiet der VRF-Inverter-Multisplittechnologie Pionierarbeit geleistet. Kennzeichnend für diese Gerätekon-

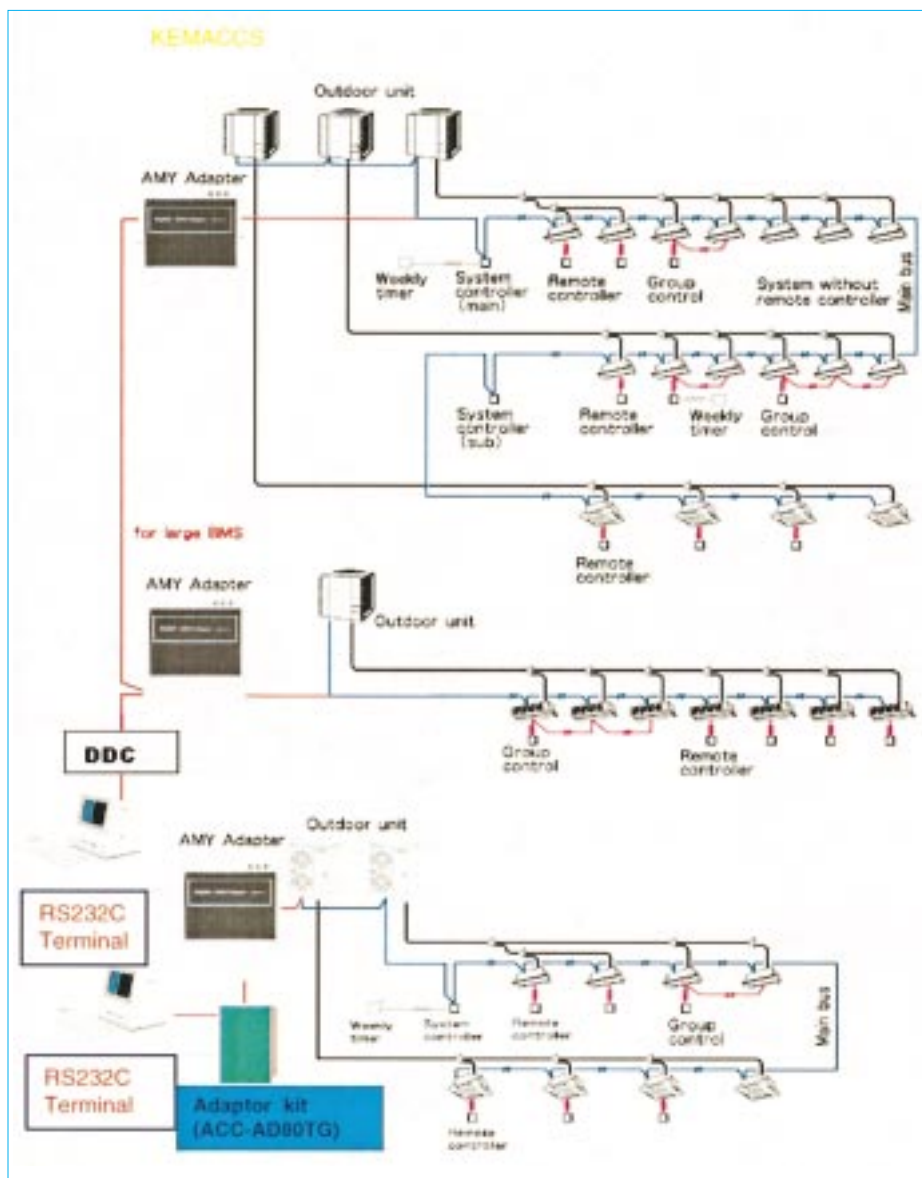


Abb. 2 Installationsschema einer Sanyo-ECO-Multisplitanlage mit integriertem Building Management-System KEMACCS (Werkbild Kauti/Sanyo)

Abb. 3 Großgebäude mit Multisplitanlage (Werkbild Sanyo)



Das Teillastverhalten der VRF-Multisplitsysteme

Es ist bekannt, daß Kälteanlagen in der Klimatechnik besonders großen Lastschwankungen ausgesetzt sind. Die max. Kühl- bzw. Heizlast nach der die Anlagen ausgelegt werden, tritt in Deutschland nur stundenweise an wenigen Tagen auf. Die Anlagen laufen also überwiegend im Teillastbetrieb (s. Abb. 5).

Die richtige Beurteilung des Teillastverhaltens der Multisplitanlage ist somit für die Findung seriöser Aussagen zur Jahresarbeitszahl und damit zur Wirtschaftlichkeit (Jahresenergieverbrauch) von entscheidender Bedeutung.

Welche Faktoren beeinflussen nun das Teillastverhalten der VRF-Multisplitsysteme?

zeption ist der Frequenzumrichter (Inverter), der eine Drehzahlstellung des Kältemittelverdichters realisiert und damit eine sehr wirtschaftliche Leistungsregelung ermöglicht.

Vor ca. 2 Jahren hat Kaut/Sanyo nun eine neue Multisplit-Geräte-Generation am deutschen Markt eingeführt, die das VRF-Prinzip, also die Veränderung des Kältemittelmassenstromes, ohne Frequenzumrichter (Inverter) verwirklicht. Ausgehend von den strengen EG-Richtlinien, dem deutschen EMV*-Gesetz und der Zielstellung, daß zukünftig eine weitere Steigerung der Produktqualität von umweltschonenden Multisplitsystemen u. a. nur über die uneingeschränkte Einhaltung der EMV erreicht werden kann, hat Sanyo für das ECO-Multi-Klimasystem einen neuen, weltweit patentierten Doppelscheiben-Rollkolbenverdichter entwickelt**). Dieser sogenannte Power-Control-Verdichter (PC-Verdichter, s. Abb. 4) ermöglicht die direkte Kältemittelstromänderung (DVRF) durch bedarfsabhängige Lastspielanpassung bei konstanter Antriebsdrehzahl.

Die ab Juni 1998 auf R 407 C optimierten und über Kaut/Sanyo in Deutschland verfügbaren Systeme arbeiten bereits mit einem weiterentwickelten PC-Verdichter der 2. Generation. Sanyo verfügt also damit als einziger Hersteller der Welt über zwei hochwertige, völlig eigenständige VRF-Technologien:

1. die ECO-Multi-Technologie,
2. die Inverter-Multi-Technologie.

* EMV - Elektromagnetische Verträglichkeit.

** Sanyo ist der weltweit führende Kältemittelverdichter-Hersteller in diesem Leistungsbereich.

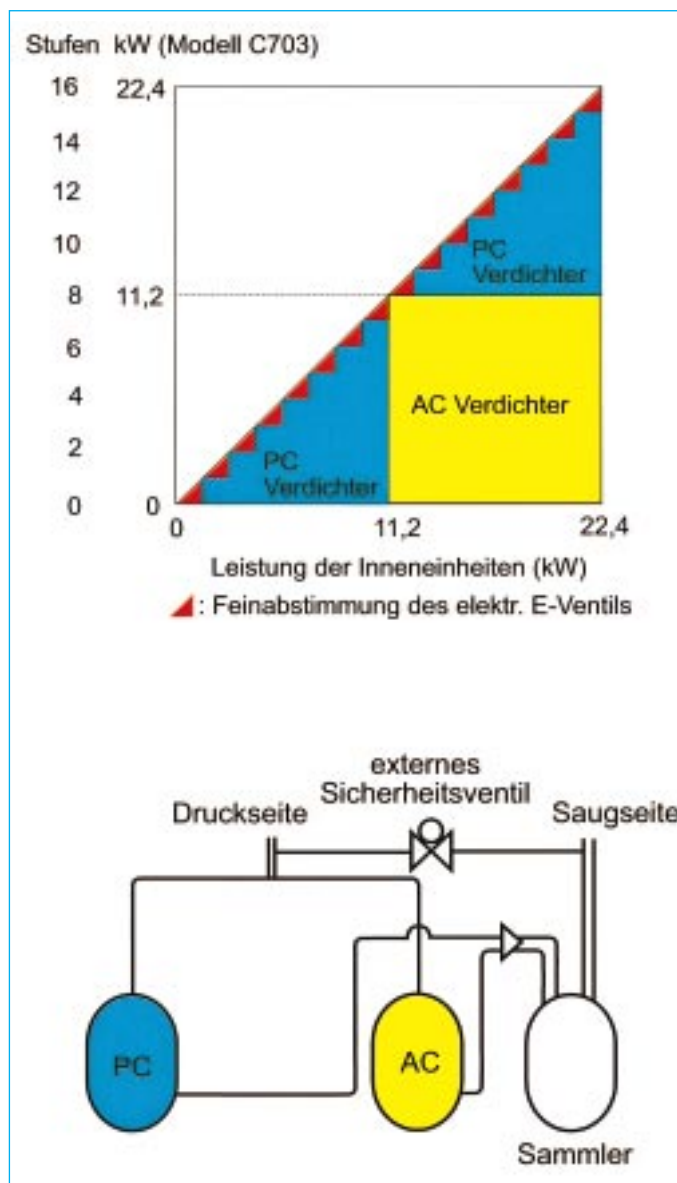
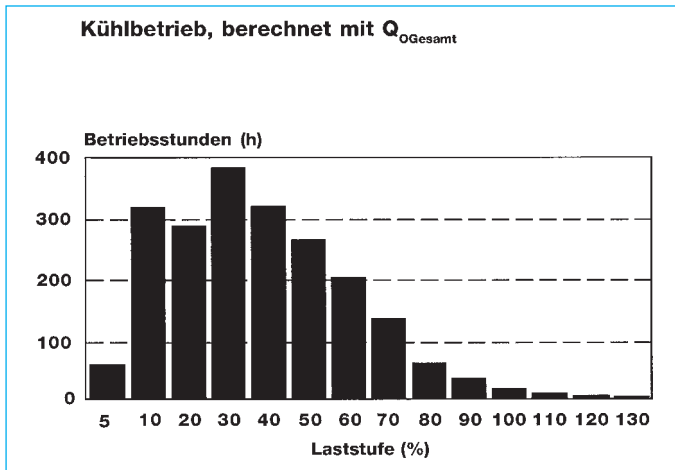


Abb. 4 Funktionsprinzip und Regelcharakteristik einer ECO-Außeneinheit mit Super-Power-Control-Verdichter (Werkbild Kaut/Sanyo)

Abb. 5 Lastbezogene Betriebsstundenanteile im Kühlbetrieb nach [3]



A – Anlagenbezogene Faktoren (F)

F 1) – Leistungsregelung der Außen-einheiten bis ca. 30 kW Nenn-Kälte-leistung

Hier dominieren z.Zt. die Systeme mit 2 Verdichtern und den bereits oben er-wähnten VRF-Verfahren den Markt.

ECO-Multi-Technologie

1. Verdichter mit konstanter Drehzahl und Leistung,
2. Verdichter mit konstanter Drehzahl.

Das VRF-Prinzip wird hierbei durch in-terne Kältemittelmassenstromanpassung mittels Regelventilen in der Hermetikkap-sel erreicht.

Vorteil: Kein Frequenzumrichter (FU) er-forderlich, daher geringere Antriebsver-luste und keine FU-typischen Störungen. Ge-ringere Kältemittelfüllmenge und besseres Masse-Leistungsverhältnis.

Nachteil: geringfügige Unstetigkeiten in der Regelcharakteristik, die aber keinen relevanten Einfluß auf Jahresenergiever-brauch und Jahresarbeitszahl haben.

Inverter-Multi-Technologie

1. Verdichter mit konstanter Drehzahl und Leistung,
2. Verdichter drehzahlregelt mittels Fre-quenzumrichter (Inverter).

Vorteil: sehr glatte Regelcharakteristik.

Nachteil: Verluste im Frequenzumrich-ter. FU-typische Netzstörungen müssen durch zusätzliche Maßnahmen einge-

ge Dosierung der erforderlichen Kältemit-telmasse.

F 3) – Variabler Luftvolumenstrom an den Inneneinheiten

Drehzahlregelte Ventilatoren an den In-neneinheiten passen den Luftvolumen-strom bedarfsgerecht an.

F 4) – Einfluß des tatsächlichen Jah-resgangs von Verflüssigungs- und Ver-dampfungstemperatur

Bekanntermaßen steigt die Nutzkältelei-stung einer Kälteanlage mit abnehmender Verflüssigungs- und zunehmender Ver-

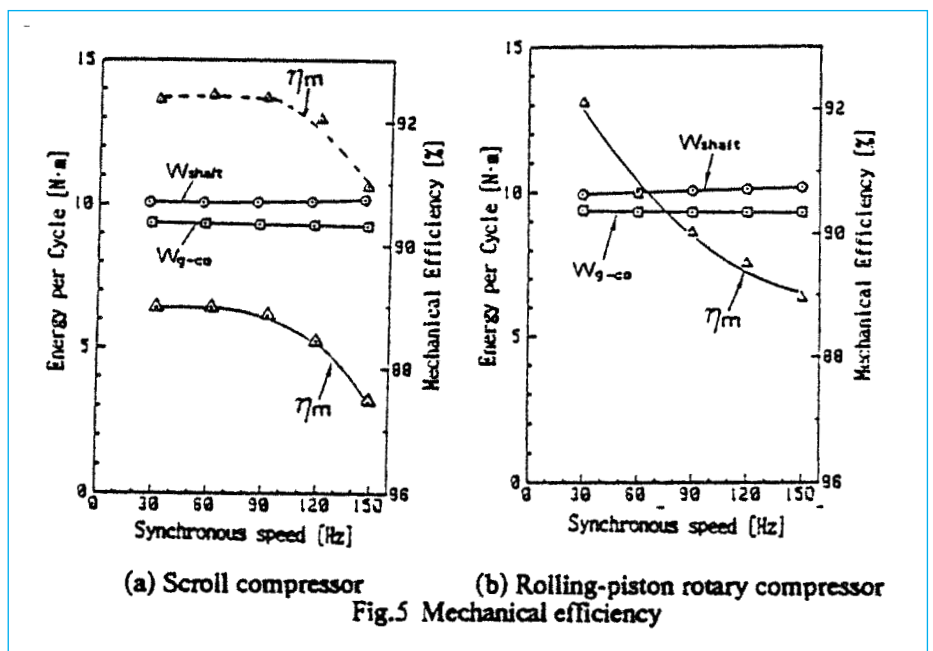


Abb. 6 Mechanischer Wirkungsgrad von Scroll- und Rollkolbenverdichtern [5]

grenzt werden. Größere Kältemittelfüll-menge, schlechteres Masse-Leistungsver-hältnis.

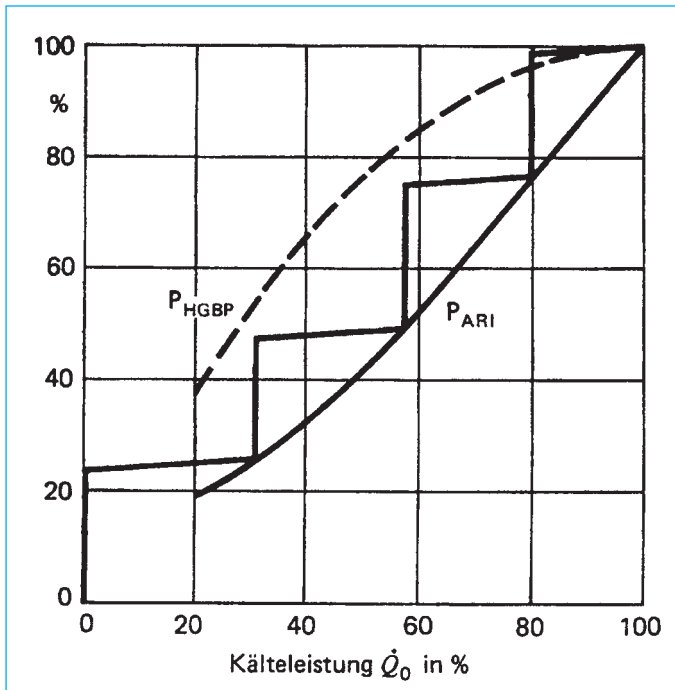
Für VRF-Multisplit-Systeme werden heute überwiegend Rollkolben- bzw. Scrollver-dichter eingesetzt. Wie aus Abb. 6 zu ent-nehmen ist, sind diese in ihrer Standard-ausführung als gleichwertig einzuordnen. Beim Einsatz von Doppelscheiben-Roll-kolbenverdichtern, wie in der ECO-Multi von Sanyo, ergeben sich allerdings nochmals deutliche Verbesserungen im Betriebsverhalten.

F 2) Elektronische Einspritzventile in den Inneneinheiten

Mikroprozessorgeregelte elektronische Einspritzventile (EEV) mit Schrittmotor sorgen für eine exakte, raumlastabhä-n-

dampfungstemperatur. Allein durch die-sen Einfluß ergibt sich selbst bei einfach-ster Leistungsregelung, z. B. durch Zylin-derabschaltung, eine Verbesserung der Leistungszahl im Teillastgebiet (s. Abb. 7). Dazu heißt es in [1] ... „Die Treppenkur-ve darf allerdings nicht zu falschen Aus-sagen verleiten, daß der Verdichter bei z. B. 81 % Kälteleistung einen relativen Energieverbrauch von 97 % hätte. ... korrigiert man ... den abzulesenden Lei-stungsbedarf von 97 % ... , so ergibt sich der reale Wert von 79 % der praktisch auf der durchgezogenen Kurve (P_{ARI}) liegt.“

Abb. 7 Prinzipieller Verlauf der relativen Leistung P_{ARI} nach ARI-Standard 550* bei Zylinderabschaltung bezogen auf Hubkolbenverdichter nach [1]



Insofern kann eine auch in der Fachpresse diesem Sachverhalt widersprechende Argumentation nicht nachvollzogen werden. Hierbei werden beispielsweise in grafischen Darstellungen für VRV**-Systeme (Invertertechnik) für den Kühlbetrieb Leistungszahlen bis > 6,5 (wie kommt dieser Wert zustande?) angegeben und gleichzeitig alle Nicht-Invertersysteme mit Leistungszahlen unter 3 in Gestalt einer undefinierten Wellenlinie abgewertet. Dies widerspricht z. B. den praktischen Erfahrungen bei allen ausgeführten ECO-Multisplit-Anlagen (und dies sind in Deutschland nicht gerade wenige), die ja bekanntlich ohne Inverterantrieb auskommen. Geradezu kurios ist die Feststellung, daß einer Jahresarbeitszahl von 4,7 im Kühlbetrieb (unter welchen Bedingungen?) eine Jahresarbeitszahl von 2,1 im Heizbetrieb gegenübersteht.

Ohne anlagen- und gebäudespezifische Angaben sind Aussagen dieser Art aber nicht nachvollziehbar und daher nicht hilfreich bzw. irreführend. Außerdem hat man

F 5) – Einfluß der Wärmeübertragungsflächen

Die für den Vollastfall ausgelegten Wärmeübertragungsflächen werden im Teillastbetrieb nur mit den anteiligen Massenströmen beaufschlagt. Dadurch verändern sich die Temperaturdifferenzen am Verflüssiger und am Verdampfer, was wiederum zu einer Erhöhung der Teillast-Leistungszahl führen kann.

F 6) – Thermodynamische Eigenschaften des Kältemittels

B – Gebäude- und nutzungsabhängige Faktoren

Hierbei spielen bauphysikalische Eigenschaften des Gebäudes (Speichervermögen etc.), Anlagenauslastung, wirkliche Betriebsstunden usw. eine entscheidende Rolle.

Werksangaben Sanyo-ECO-Multisystem (Auszug)			
Kühlleistung	100 %	→	Leistungszahl 2,6 (Vollast)
Kühlleistung	50 %	→	Leistungszahl 4,33 (Teillast)
Heizleistung	100 %	→	Leistungszahl 3,3 (Vollast)
Heizleistung	50 %	→	Leistungszahl 3,5 (Teillast)
(bezogen auf Vergleichsbedingungen)			

Tabelle 3 Aus der Marktanalyse „VRF-Multisplit-Klimasysteme“ nach [6]

Es wird deutlich, daß die Erfassung des tatsächlichen Teillastverhaltens einer Multisplitanlage ein sehr komplexes Problem darstellt und bezogen auf den konkreten Anwendungsfall selbst durch dynamische Simulationsrechnungen (Anlage + Gebäude) nur angenähert vorausberechnet werden kann.

Die Leistungsregelung des Verdichters ist zwar eine wichtige Komponente, aber durchaus nicht allein ausschlaggebend für den wirtschaftlichen Betrieb einer Kälteanlage, respektive einer Multisplit-Klimaanlage. Aus Abb. 7 erkennt man, daß selbst mit einfachen Regelungsverfahren ein energiesparender Teillastbetrieb erreicht werden kann.

sich hier offensichtlich auch noch geirrt, denn so schlecht (2,1) ist nicht einmal die Jahresarbeitszahl einer Luft-/Luft-Wärmepumpe im Ein/Aus-Betrieb!

Es sei in diesem Zusammenhang auf eine Marktanalyse der wichtigsten VRF-Gerätehersteller in [6] verwiesen.

Für die Kaut/Sanyo-ECO-Multisplit-technik (ohne Inverter) ergibt sich daraus folgendes Bild (s. Tab. 3):

Die deutliche Erhöhung der Leistungszahl (und damit natürlich auch der Jahresarbeitszahl) im Teillastbetrieb (hier bei 50 %) ohne Invertertechnik ist unübersehbar!

* Standard des Air-Conditioning & Refrigeration Institute der USA, der die Änderungen der Verflüssigungs- und Verdampfungstemperaturen im Teillastbetrieb berücksichtigt.
 ** VRV ist gleichbedeutend mit VRF.

Eigentlich ist bekannt – und als Ingenieure wissen wir dies natürlich –, daß aus punktuellen Leistungszahlen noch keine gesicherten Aussagen zur Jahresarbeitszahl, also zum Teillastverhalten, abgeleitet werden können (s. a. vorherige Erläuterungen).

Daher werden z. Zt. im Rahmen eines Forschungsvertrages [3] zwischen dem Institut für Luft- und Kältetechnik (ILK), Dresden, und der Firma Kaut, Wuppertal, Modellrechnungen für verschiedene Gebäudetypen, ausgerüstet mit Sanyo-ECO-Multisplitanlagen, durchgeführt und durch begleitende Experimente an einer ausgeführten Anlage verifiziert. Erste Zwischenergebnisse lassen Jahresarbeitszahlen $\geq 3,5$ im Kühlbetrieb und zwischen 2,8 . . . 3,3 im Heizbetrieb erwarten. Mit der Veröffentlichung der ersten, exakten Ergebnisse ist im 1. Quartal 1999 zu rechnen.

Sachlichkeit im Wettbewerb bringt die VRF-Multisplit-technik in Deutschland voran

Man kann mit ein wenig Logik und Marktübersicht heute davon ausgehen, daß sich die bedeutendsten Hersteller von VRF-Multisplitsystemen ausschließlich modernster Technologien bedienen und damit kaum wesentliche Qualitätsunterschiede im Energieverbrauch, Betriebsverhalten usw. auftreten werden. Ungeachtet dessen gibt es die nachfolgend kurz beschriebenen Erscheinungen, die dem gemeinsamen Anliegen, die Multisplittechnik voranzubringen, schaden können.

Beispiel 1:

In einem Ausschreibungstext für VRV-Anlagen heißt es z. B.:

„. . . Scrollverdichter, mit nur einem beweglichen Bauteil (Spirale). Robuster leistungsstarker, sehr laufruhig und störungsunanfälliger Betrieb. Kein „Hot spot“ (z. B. wie durch Trennschieber bei Rollkolbenverdichtern), dadurch keine Zersetzung des Kältemittels R 407C.“

Ergo: Rollkolbenverdichter zersetzen also R 407C? Das würde bedeuten, Sanyo als einer der profiliertesten Rollkolbenverdichter-Hersteller der Welt sollte übersehen haben, daß Rollkolbenverdichter mit R 407C nicht betrieben werden können!? Eine kaum noch als fair zu bezeichnende Wettbewerbslist!

Beispiel 2:

Ebenfalls unpräzise sind werbliche Darstellungen wie:

„Nur die Wahrheit schafft Klarheit! . . .“. Hierzu heißt es u. a.: „Setzen Sie ab sofort ausschließlich Gegenstrom-Wärmetauscher ein! – Weil sich der vermeintliche Nachteil „Gleit“ (bei R 407C) dank Gegenstrom-Wärmetauscher in einen Vorteil verwandelt: spürbare Leistungssteigerung!“

Was nicht gesagt wird: Dies trifft nicht auf luftbeaufschlagte Wärmetauscher der Split- und Multisplittechnik zu, denn diese arbeiten nach wie vor im Kreuzgegen- oder Kreuzgleichstromprinzip!

Kurze Zusammenfassung

Die sehr effiziente „andere Klimatechnik“ in Gestalt der VRF-Multisplitsysteme erobert sich zunehmend Marktanteile auch in Deutschland.

Im Vergleich zu traditionellen RLTA sind dabei Kostenvorteil und Einbauvorteile zu registrieren!

Zur Zeit dominieren zwei bezüglich der Verdichter-Leistungsregelung unterschiedliche Systeme den Multisplit-Markt in Deutschland:

1. Die Sanyo-ECO-Multi mit einer Leistungsregelung über interne Regelventile im Verdichter bei konstanter Verdichterdrehzahl.

Anzeige

2. Die Inverter-Multi mit Drehzahlregelung mittels Frequenzumrichter.

Beide Systeme sind bezüglich Teillastverhalten völlig gleichwertig einzuschätzen. Objektbezogene Abweichungen im Jahresenergieverbrauch liegen bei $\pm 5\%$.

Einige Vorteile des Sanyo-ECO-Multisystems ergeben sich darüber hinaus:

- in der Einhaltung der EMV ohne zusätzliche Maßnahmen,
- in einem besseren Masse-Leistungsverhältnis,
- in einer geringeren Kältemittelfüllmenge.

Sanyo beherrscht sowohl die Inverter- als auch die ECO-Multi-Verdichtertechnologie, wobei letztere weltweit geschützt ist. □

Literatur

- [1] Teillastverhalten von Kältemaschinen; Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizungs + Klimatechnik, Oldenburg 97/98 S. 1837–1843.
- [2] Sanierung von raumlufttechnischen Anlagen, BINE Informationsdienst Bonn, pro info II/97.
- [3] Gebäudesimulation mit VRF-ECO-Multisystemen, ILK Dresden 1998/99, Forschungsvorhaben 211/97 v. BMWi.
- [4] Wärmeschutzverordnung '95.
- [5] Ishii, N. et al.: Mechanical efficiency of a variable speed scroll compressor Proc. of the Internat. Compressor Eng. Conf. at Purdue, West Lafayette, Ind., USA, 1 (1990), S. 192–199.
- [6] VRF-Multisplit-Klimasysteme, CCI 6/1998 S. 34/35.