

Energieeffizienz und Kosten im Vergleich zu konventionellen Systemen

Betriebskosten von VRV-Systemen

Gunther Gamst, Unterhaching

Vor dem Hintergrund steigender Energiepreise spielen die Verbrauchskosten bei heutigen Bauvorhaben eine immer wichtigere Rolle. Speziell im Shop- und Bürobereich bieten sich zahlreiche Möglichkeiten, Energie- und Verbrauchskosten zu senken. VRV-Anlagen zum monovalenten Heizen und Kühlen bieten hier eine effiziente Alternative zu konventionellen Lösungen. Im Folgenden werden die Energie- und Verbrauchsvorteile einer solchen Anlage im Vergleich zu konventionellen Lüftungsanlagen und statischen Heizflächen von Gas- bzw. Öl-Kesselanlagen dargestellt.

In den letzten 10 Jahren haben VRF*-Systeme sich mehr und mehr in den Köpfen von Investoren, Ingenieur-Büros und Anlagenbauern als eine Alternative zu bisher bekannten Systemen festgesetzt.

VRF-Systeme haben in der heutigen Zeit allerdings nichts mehr mit den vor ca. 20

Jahren zum ersten Mal eingeführten Geräten gemeinsam, außer den damaligen Gedanken, nämlich Energie zu sparen. Technisch sind sie ihren Vorgängern weit enteilt.

Um zu verdeutlichen, welchen Vorsprung diese Systeme zum herkömmlichen System (Lüftung, Kaltwasser, Öl, Gas) haben kön-

zum Autor

Dipl.-Ing.
Gunther Gamst,
 Sales Manager,
 DAIKIN
 Airconditioning
 Germany GmbH,
 Unterhaching



nen, wurden zwei Beispiele ausgeführter Anlagen ausgewählt, anhand derer man tatsächlich gemessene und ausgewertete Ist-Zahlen vergleichen kann mit:

1. Simulationsergebnissen der DAIKIN-VRV-Pro-Auslegungssoftware
2. Theoretisch ermittelten Verbrauchswerten bei Bestimmung des Jahres-Energiebedarfs nach VDI 2067
3. Theoretisch ermittelten Verbrauchswerten bei Bestimmung des Jahres-Energiebedarfs nach Erfahrungswerten aus der Literatur (Rechnagel)
4. Verbrauchskosten von Gas- und Öl-kesselanlagen

Beispielprojekt: Ladenkette

Bei diesem Ladenlokal, welches bisher auf konventionelle Techniken gesetzt hat, wurden die folgenden Systeme eingebaut.

- Zentrale Lüftungsanlagen ohne Kühlung + Türluftschleier
- Zentrale Lüftungsanlagen mit Kühlung + Türluftschleier
- Flachgeräte ohne Kühlung + Türluftschleier
- Flachgeräte mit Kühlung + Türluftschleier

Die erste Variante war eine zentrale Lüftungsanlage ohne Kühlung, mit Türluftschleier und Heizungsanlage.

Als Vortrag gehalten anlässlich der Deutschen Kälte-Klimatagung des DKV am 18. November 2005 in Würzburg.

* VRF ist die Abkürzung für Variable Refrigerant Flow. VRF ist markenunabhängig und hat sich als Sammelbegriff für alle Verdampfungssysteme durchgesetzt, deren Volumenstrom in seiner Durchflussmengen gesteuert werden kann. VRV steht für Variable Refrigerant Volume und ist eingetragenes Markenzeichen für die DAIKIN Technologie.

Bild 1 Früheres Konzept einer Ladenkette

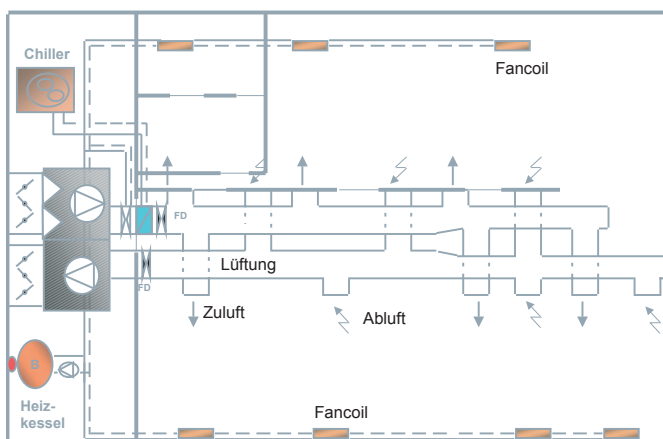
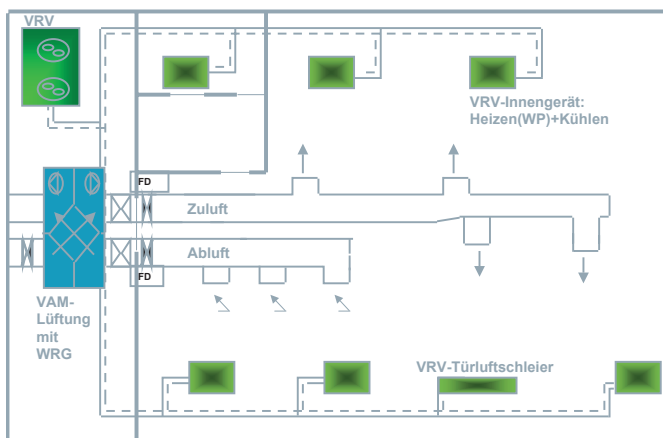


Bild 2 Aktuelles VRV-Konzept einer Ladenkette



Bei der zweiten Variante handelt es sich um die weit verbreitete zentrale Lüftungsanlage mit Kühlung durch einen Kaltwassersatz, der auf ein Register im Zentrallüftungsgerät arbeitet. Natürlich auch mit Türluftschleier und einer Heizungsanlage für die kalte Jahreszeit (siehe Bild 1). Die installierte Kühlleistung betrug 47kW und die installierte Heizleistung 44 kW, bezogen auf -12 °C. Die Investitionssumme belief sich bei einer solchen Anlage auf ca. 85000–90000 € für 600m² Verkaufsfläche.

Eine weitere Variante waren Flachgeräte ohne Kühlung+Türluftschleier und Flachgeräte mit Kühlung+Türluftschleier.

Für das dann vorgestellte und eingebaute DAIKIN-VRV-System wurden fol-

gende Kriterien festgelegt, um ein bestmögliches Klima zu schaffen und alle Möglichkeiten zum Energiesparen zu nutzen, die VRV mit wenig technischem Aufwand bieten kann. Umgesetzt wurden die ersten Anlagen als Pilotanlagen, um Vertrauen in die leider für die Ladenkette noch unbekannte Technik zu schaffen.

- Kühlen und Heizen über Unterdeckenkassetten
- Frischluftzufuhr mit Wärmerückgewinnung durch das DAIKIN VAM-HeRec-System
- Anschluss des Türluftschleiers zum Kühlen und Heizen
- Überwachung der Anlage mit LON-Touchcontroller

65000–70000 €. Bei der hier vorgestellten Anlage handelt es sich in beiden Varianten, um die Installation in einem Neubau, der auf der „grünen Wiese“ entstanden ist. Die Raumhöhe beträgt ca. 5 m und es sind keine Zwischendecken vorhanden. Die Temperatur im Verkaufsraum darf 24°C nicht überschreiten und ist von den Mitarbeitern nur in geringem Maße beeinflussbar, um Störgrößen wie Erhöhen der Temperatur im Winter oder Verringern der Temperatur im Sommer auszuschließen.

Tabelle 1 zeigt die Vorteile dieses neuen VRV-Konzepts im Vergleich zur bisherigen konventionellen Lösung.

Die Ergebnisse aus realen Messungen der Energieverbräuche der Ladenkette über die letzten Jahre zeigen, dass sich durch den Einsatz der VRV-Technik die Energiekosten um 34 % reduzieren lassen, ohne auf technische Highlights wie LON-Touchcontroller, Invertertechnik usw. verzichten zu müssen.

In Tabelle 2 sind die erhaltenen Erkenntnisse nochmals zusammengefasst.

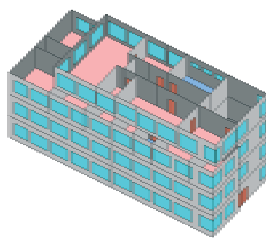


Bild 3 Schema für Simulation und Außenansicht

Bild 2 zeigt dieses Konzept auf Basis des DAIKIN-VRV-Systems.

Die Investitionskosten dieser Anlage beliefen sich auf rund

Alt	Neu
<u>Preis (Gesamt-Investition) inkl. Heizung:</u> •rd.€ 85.000,- .. € 90.000,-	<u>Preis (Gesamt-Investition) inkl. Heizen</u> •rd.€ 65.000,- .. € 70.000,-
<u>Jahres-Energiekosten:</u> • 100% (Abrechnung im Jahr 2002)	<u>Jahres-Energiekosten:</u> • 66% Kostenersparnis -34% (Abrechnung im Jahr 2002)
<u>Leistungszahl 100%:</u> • EER= 2,57	<u>Leistungszahl 100%:</u> • EER= 3,11
<u>Leistungszahl 50%:</u> • EER= 2,56	<u>Leistungszahl 50%:</u> • EER= 5,50

Tabelle 1 Vergleich VRV-Konzept – konventionelles Konzept

	Zentrale Lüftung o. Kühlung	Zentrale Lüftung m. Kühlung	Flachgeräte o. Kühlung	Flachgeräte m. Kühlung	VRV-VAM+F (KHL)
Spezifische Verbrauchskosten bezogen auf die Energiebezugsfläche	10,44 €	15,96 €	11,76 €	14,40 €	10,56 €
Spezifische Verbrauchskosten bezogen auf die Nutzungsfläche	8,96 €	13,70 €	10,09 €	12,36 €	9,06 €

-34% Kostenersparnis

Tabelle 2 Vergleich der spezifischen Verbrauchskosten pro m² und Jahr

Jahres-Energieverbrauch		Jahres-Verbrauchskosten	
Heizen	Kühlen	Heizen	Kühlen
42540 kWh	8774 kWh	5.828,00 €	1.202,00 €
51314 kWh		7.030,00 €	

Tabelle 3 Simulierter Energieverbrauch und Verbrauchskosten

Beispielprojekt: Bürogebäude

Als weiteres Projektbeispiel dient ein Bürogebäude in Obertshausen, bei dem im Jahre 2002 eine DAIKIN-VRV-Wärmepumpe eingesetzt wurde, um das Gebäude monovalent zu heizen und zu kühlen. Die Auslegung der Anlage geschah anhand von Simulationsrechnungen mit Hilfe der DAIKIN-Hi-VRV-Auslegungssoftware basierend auf dem ASHRAE-Standard, Näherungsrechnungen und der VDI 2067.

Die Simulation anhand der o.g. Software basiert auf folgenden Gebäudedaten:

- mit VRV klimatisierte/beheizte Fläche ca. 954m² (nachfolgend Energiebezugsfläche)
- Nutzungsfläche einschl. Nebenräume ohne Tiefgarage ca. 1226m²
- Nebenräumen mit Elektro-Heizer
- Raumtemp. während der Kühlperiode: 26 °C
- Raumtemp. während der Heizperiode: 22 °C (außerhalb der Bürozeiten: 26 °C bzw. 20 °C)

Bei der Simulation werden hierbei folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Wärmequellen (Strahlung, Konvektion), interne Lasten: Lampen, Personen, Geräte
- Gebäudeeigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, spez. Wärmekapazität): Dach- und Bodenplattenkonstruktion, Außen- und Innenwände, Türen, Fenstern oder Glasfronten

Anlagentyp	Nutzenergie	Bestimmung der Verbrauchswerte		Bedeutung
		Gebäude	Anlage	
VRV-Anlage	Kühlen, Heizen	Vollständige Gebäude- und VRV-Anlagen-simulation (Hi-VRV Selection Software)		Projekt-planung
Kälteanlagen (VRF-Systeme)	Kühlen	Überschlagswerte, Erfahrungswerte	Vereinf. Berechnung (Jahres-Arbeitszahl)	System-vergleich
Wärmepumpen (VRF-Systeme)	Heizen	Berechnung nach VDI 2067	Vereinf. Berechnung (Jahres-Arbeitszahl)	System-vergleich
Öl-/Gas-Kesselanlagen	Heizen	Berechnung nach VDI 2067 (ausführliche Berechnung, Kurzverfahren)		System-vergleich

Tabelle 4 Ansätze zur Bestimmung der Gebäudelasten

		1. Näherung	2. Näherung	Berechnung Ing.-büro		Berechnung Hi-VRV Sel.	Installierte Leistung
Wärmepumpe	Ansatz	95 kWh/(m ² a) ¹⁾	b _{VH} = 1900 h/a; f _p = 0,987 (Frankfurt) nach VDI 2067				
			34 kW/m ² ²⁾	DIN 4701	DIN EN 12831	ASHRAE	3 x 17,9 kW
	Heizlast [kW]	-	41,7	51,4	59,2	50,8	53,7
	Jahres-Heizenergiebedarf [kWh/a]	90.600	78.200	96.400	111.000	95.300	100.700
Kältemaschine	Ansatz	27 kWh/(m ² a) ³⁾	b _{VK} = 550 h/a ³⁾				
			-	VDI 2078	-	ASHRAE	3 x 28,0 kW
	Kühlleistung [kW]	-	-	66,1	-	53,3	84,0
	Jahres-Kühlenergiebedarf [kWh/a]	25.800	-	36.400	-	29.300	46.200

¹⁾ bezogen auf die Energiebezugsfläche, ²⁾ bezogen auf die Nutzfläche, ³⁾ Erfahrungswert Verhältnis Heizen zu Kühlen wie 3,5:1

Tabelle 5 Ergebnisse der Gebäudelasten

- Rohrleitungen: Entwurf des Leitungsschemas, Definition von Leitungen, Kanälen, Abläufen und Rohrverbindungen.
- Belegungen: Berücksichtigung nicht ständig aktiver Wärmequellen in einem Raum.
- Orte: Berücksichtigung der Position des Standorts auf der Erde.

Tabelle 3 zeigt die Simulationsergebnisse für den Jahres-Energieverbrauch der Innen- und Außengeräte sowie die Jahres-Verbrauchskosten auf Basis eines Stromtarifs von 0,137 €/kWh.

Energiekostenvergleich mit Öl und Gas

Um einen aussagekräftigen Vergleich von VRV-Systemen mit konventionellen Konzepten zu ermöglichen muss eine einheitliche Berechnungsbasis geschaffen werden. Die in Tabelle 4 dargestellten Ansätze für die Gebäudelasten wurden betrachtet, Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse.

Um die Vergleichbarkeit mit fossilen Konzepten zu ermöglichen, wurde als Basis die DIN 4701 gewählt. Im Weiteren werden die hierbei herangezogenen 96.400 kWh zur Ermittlung der spezifischen Heizkosten in €/kWh eingesetzt.

Die Bilder 4 bis 6 zeigen die einzelnen Berechnungen.

Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass sich auf dem Gebiet von VRV-Systemen im Vergleich zu den ersten Wärmepumpengenerationen ein riesiger Entwicklungsschritt vollzogen hat. Seit Beginn der Verbrauchserfassung des Bürogebäudes in 2003 haben sich VRV-Systeme in punkto Energieeffizienz sogar noch weiter verbessert.

Tabelle 6 zeigt alle Ergebnisse des Verbrauchskostenvergleichs auf einen Blick. Des Weiteren wurde anhand der Werte aus 2003 und 2004 eine Simulation auf Basis der aktuellen VRV-Entwicklungsstufe durchgeführt. Die hierbei erhaltenen Resultate sind ebenfalls in der Tabelle dargestellt.

Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass moderne VRV-Systeme durchaus in der Lage sind gegen konventionelle Systeme wie Gas- und Heizungsanlagen anzutreten. Die heutigen Systeme zeichnen sich durch ihre einfache Möglichkeit der Konzeption, ihren hohen technischen Standard, wie z.B. Invertertechnik, elektrische E-Ventile, moderne Regelungs- und Überwachungskomponenten usw. aus.

Bild 4 Berechnung des spezifischen Öl-Wärmepreises

Spezifischer Öl-Wärmepreis



Notierung für leichtes Heizöl
Raum Frankfurt:
Aktueller Preis: 0,68 €/l
(Stand 31.08.05)

Wirkungsgrad: 0,85
Ölpreis (Frankfurt): 0,68 €/l
Heizwert Öl: 42.000 kJ/l
= 11,7 kWh/l
Berücksichtigung
Wirkungsgrad = 11,7 kWh x 0,85
= 9,95 kWh/l

Spez. Öl-Wärmepreis: 0,068 €/kWh

Bild 5 Berechnung des spezifischen Gas-Wärmepreises

Spezifischer Gas-Wärmepreis



Sondervertrag für Nutzer mit
82 - 94kW Nennwärmeleistung
Arbeitspreis 0,0479 €/kWh
(Stand 01.10.05)

Wirkungsgrad: 0,85
Grundpreis: 761,4 €/a (63,45 €/Monat)
Arbeitspreis (Stand 01.04.05): 0,0479 €/kWh
Jahres-Heizenergiebedarf: 96.400 kWh/a
(Ansatz DIN 4701)

Spez. Gas-Wärmepreis: 0,064 €/kWh

Bild 6 Berechnung des spezifischen VRV-Wärmepreises



Spezifischer Wärmepreis für VRV Systeme

Jahres-Energiebedarf: 96.400 kWh
Jahres-Arbeitszahl: 2,78
Jahres-Verbrauchskosten Heizbetrieb: 4.751 €/a
Innen- und Außengeräte
(gemessenes Mittel aus 2003/2004)

Spezifischer VRV-Wärmepreis: 0,049 €/kWh

Tabelle 6 Betriebskostenvergleich an einem Bürogebäude

	Heizen	Kühlen	Gesamt	
Öl	6.591 €/a	-	6.591 €/a	100%
Gas	6.194 €/a	-	6.194 €/a	94%
VRV '03	4.139 €/a	984 €/a	5.123 €/a	78%
VRV aktuell	3.671 €/a	712 €/a	4.383 €/a	66%

Sie decken alle möglichen Anforderungen eines modernen Gebäudes ohne Probleme ab. Es zeigt sich, dass bei diesen Systemen schon bei der Entwicklung darauf geachtet wird die Energie- und Betriebskosten zu senken. Die letzten Jahre alleine zeigen, dass sich die Jahres-Arbeitszahl um 15% verbessert hat, ebenfalls hat die Systemtechnik enorme Schritte nach vorne gemacht. Es ist damit zu rechnen, dass die Entwicklung noch nicht zu Ende ist. Eine Kostenersparnis

von 34 %, wie hier in den Projektbeispielen gezeigt, ist für den Nutzer des Gebäudes eine große Einsparung. Des Weiteren ist es möglich, durch besondere Fördermaßnahmen und durch regionale oder überregionale Energieversorger diese Kosten noch weiter zu reduzieren. ■

Literatur:
Recknagel, Sprenger, Schramek: „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik“, 69.Auflage 1998 (Ausgabe 2000)