



(11) **EP 2 416 097 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**08.02.2012 Patentblatt 2012/06**

(51) Int Cl.:  
**F25B 49/02** <sup>(2006.01)</sup> **F04B 49/00** <sup>(2006.01)</sup>  
**F04B 49/06** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **11005253.7**

(22) Anmeldetag: **28.06.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(71) Anmelder: **Wurm GmbH & Co. KG Elektronische Systeme**  
**42857 Remscheid (DE)**

(72) Erfinder: **Dreisbach, Heiko**  
**42781 Haan (DE)**

(30) Priorität: **04.08.2010 DE 102010033321**

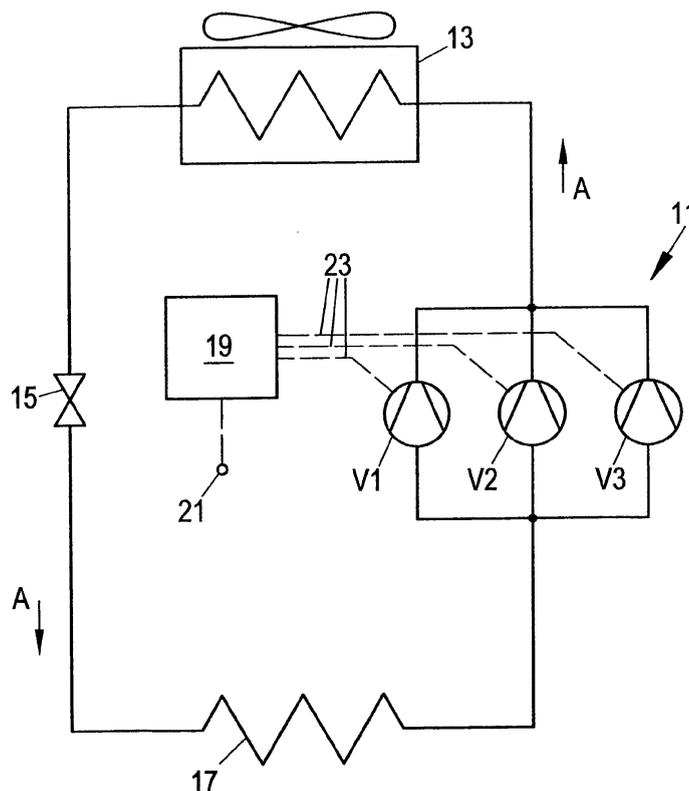
(74) Vertreter: **Manitz, Finsterwald & Partner GbR**  
**Postfach 31 02 20**  
**80102 München (DE)**

(54) **Steuerungsverfahren für eine Verbundanlage**

(57) Bei einem Verfahren zur Steuerung einer Verbundanlage mit mehreren Verdichtern ist die Anzahl der aktiven Verdichter veränderbar, und für zumindest einige der Verdichter sind verschiedene Leistungswerte ein-

stellbar, um eine variable Gesamtleistung der Verbundanlage einzustellen. Das Einstellen der Gesamtleistung der Verbundanlage erfolgt unter Berücksichtigung des jeweiligen Wirkungsgrads der einzelnen Verdichter für die verschiedenen Leistungswerte.

Fig.1



**EP 2 416 097 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Verbundanlage mit mehreren Verdichtern, wobei die Anzahl der aktiven Verdichter veränderbar ist und für zumindest einige der Verdichter verschiedene Leistungswerte einstellbar sind, um eine variable Gesamtleistung der Verbundanlage einzustellen.

**[0002]** Eine Verbundanlage mit mehreren parallel zueinander geschalteten Verdichtern dient in einem Kühlkreis zur bedarfsabhängigen Regulierung der Kälteleistung. Hierfür wird in Abhängigkeit von einer benötigten Kälteleistung ein gewünschter Wert (Sollwert) der Gesamtleistung der Verbundanlage ermittelt. Eine Steuereinrichtung erzeugt entsprechende Steuersignale und übermittelt diese an die einzelnen Verdichter der Verbundanlage. Bei einer derartigen Verbundanlage können somit einzelne Verdichter wahlweise abgeschaltet oder zugeschaltet werden. Für zumindest einige (vorzugsweise für sämtliche) der Verdichter können entsprechend den empfangenen Steuersignalen verschiedene Leistungswerte eingestellt werden, beispielsweise durch Abschalten einzelner Zylinderbänke, um unterschiedliche Werte der Gesamtleistung der Verbundanlage einzustellen und somit die bereitgestellte Kälteleistung an die Kälteanforderung anzupassen.

**[0003]** Aus der DE 28 16 142 A1 ist beispielsweise eine Leistungsregulierung in Stufen von 25 %, 50 %, 75 % und 100 % bekannt. Aus der DE 101 41 807 A1 ist es bekannt, durch Verwendung eines Frequenzumrichters eine stufenlose Leistungsregulierung vorzunehmen.

**[0004]** Ein Nachteil an bekannten Verfahren zur bedarfsgerechten Leistungsregulierung einer Verbundanlage besteht darin, dass dem unterschiedlichen Wirkungsgrad der verschiedenen Leistungsbereiche der einzelnen Verdichter nicht hinreichend Rechnung getragen wird. Für manche Werte der erzielten Gesamtleistung der Verbundanlage ergibt sich somit eine unerwünscht schlechte Effizienz (COP, coefficient of performance).

**[0005]** Eine Aufgabe der Erfindung besteht deshalb darin, ein Verfahren zur Steuerung einer Verbundanlage zu schaffen, das über den gesamten Bereich der variablen Gesamtleistung betrachtet eine verbesserte Effizienz bewirkt.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst und insbesondere dadurch, dass das Einstellen der Gesamtleistung der Verbundanlage unter Berücksichtigung des jeweiligen Wirkungsgrads der einzelnen Verdichter für die verschiedenen Leistungswerte erfolgt.

**[0007]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass jeder Verdichter für verschiedene eingestellte Leistungswerte einen unterschiedlichen Wirkungsgrad besitzt, wobei für ungünstige Kombinationen von Leistungswerten mehrerer zusammenschalteter Verdichter ein vergleichsweise schlechter Gesamtwirkungsgrad der Verbundanlage resultiert. Indem jedoch für das

Auswählen der Anzahl der aktiven Verdichter und für das Einstellen des jeweiligen Leistungswerts der aktiven Verdichter der jeweilige Einzelwirkungsgrad der Verdichter berücksichtigt wird, kann vermieden werden, dass während einer Änderung der Gesamtleistung der Verbundanlage der Gesamtwirkungsgrad der Verbundanlage unerwünscht stark abfällt. Insbesondere können das Einstellen der Anzahl der aktiven Verdichter und das Einstellen der jeweiligen Leistungswerte der aktiven Verdichter entsprechend angepasst werden, oder aufgrund der Effizienzbetrachtung zu den einzelnen Verdichtern wird auf das Einstellen bestimmter Werte der Gesamtleistung der Verbundanlage verzichtet. Entgegen der üblichen Vorgehensweise, bei der das Leistungsspektrum eines einzelnen Verdichters vollständig ausgenutzt wird, bevor ein anderer Verdichter zugeschaltet oder abgeschaltet wird, führt diese Strategie generell zu einem häufigeren Zuschalten mehrerer Verdichter gleichzeitig zueinander, jedoch mit vergleichsweise verringerten Leistungswerten, wie nachfolgend noch erläutert ist.

**[0008]** Ausnahmen von dieser Steuerstrategie sind allerdings möglich und können auch energetisch sinnvoll sein, insbesondere in Schwachlastphasen oder in Volllastphasen der Verbundanlage, wie ebenfalls nachfolgend noch erläutert ist.

**[0009]** Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen genannt und werden nachfolgend erläutert.

**[0010]** Um den jeweiligen Wirkungsgrad der einzelnen Verdichter auf einfache Weise erfassen und quantitativ berücksichtigen zu können, können den verschiedenen Leistungswerten der einzelnen Verdichter unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet sein, wobei diese Effizienzwerte der einzelnen Verdichter gemeinsam einen Gesamteffizienzwert der Verbundanlage ergeben. Bei Verwendung eines derartigen Modells wird für das Einstellen von Zwischenwerten der Gesamtleistung der Verbundanlage (d.h. von Werten, die oberhalb der minimalen Gesamtleistung und unterhalb der maximal möglichen Gesamtleistung der Verbundanlage liegen) insbesondere stets diejenige Kombination von Anzahl der aktiven Verdichter und Leistungswerten der aktiven Verdichter eingestellt, die dem besten Gesamteffizienzwert der Verbundanlage entspricht. Durch Berücksichtigung eines derartigen Gesamteffizienzwerts zumindest für sämtliche Zwischenwerte der möglichen Gesamtleistung der Verbundanlage kann also auf einfache Weise sichergestellt werden, dass die Verbundanlage bzw. der entsprechende Kältekreis stets mit dem bestmöglichen Gesamtwirkungsgrad betrieben wird.

**[0011]** Gemäß einem sehr ähnlichen, noch einfacheren Modell, das optional auch mit dem vorgenannten Modell kombiniert werden kann, sind den verschiedenen Leistungswerten der einzelnen Verdichter wiederum unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet, wobei für das Einstellen von Zwischenwerten der möglichen Gesamtleistung der Verbundanlage lediglich solche Kombinationen von Anzahl der aktiven Verdichter und Leistungs-

werten der aktiven Verdichter eingestellt werden, bei denen für keinen der aktiven Verdichter der zugeordnete Effizienzwert einen vorbestimmten Schwellwert unterschreitet. Bei dieser Ausführungsform müssen den verschiedenen Leistungswerten der Verdichter also lediglich unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet werden, wobei für jeden Verdichter ein Schwellwertvergleich durchgeführt wird, ohne dass zusätzlich ein Gesamteffizienzwert ermittelt werden muss. Als Ergebnis dieser Schwellwertbetrachtungen können bestimmten Einstellungen der Verbundanlage, die sich durch einen besonders ungünstigen Gesamtwirkungsgrad auszeichnen würden, ausgeschlossen werden, d.h. der entsprechende Wert der Gesamtleistung der Verbundanlage wird grundsätzlich vermieden.

**[0012]** Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist insbesondere vorgesehen, dass nicht sämtliche der rechnerisch möglichen Werte der Gesamtleistung der Verbundanlage eingestellt werden. Mit anderen Worten werden bestimmte Werte der Gesamtleistung, insbesondere Zwischenwerte der maximal möglichen Gesamtleistung, bewusst nicht eingestellt, selbst wenn es aufgrund der verfügbaren verschiedenen Leistungswerte der einzelnen Verdichter möglich wäre, einen Sollwert der Gesamtleistung relativ genau zu erfüllen. Bei dieser Ausführungsform wird stattdessen ein benachbarter anderer Wert der Gesamtleistung eingestellt. Dieser Strategie liegt die Erkenntnis zugrunde, dass insbesondere für Zwischenwerte der Gesamtleistung der Gesamtwirkungsgrad der Verbundanlage bzw. des Kältekreises letztlich höher ist, wenn die einzelnen Verdichter mit einem optimalen Wirkungsgrad betrieben werden, selbst wenn die resultierende Gesamtleistung nicht genau dem gewünschten Wert entspricht. Letztlich führt eine derartige Strategie nämlich dazu, dass sich der Sollwert der Gesamtleistung (d.h. die Kälteanforderung) schneller ändert und mit einer entsprechend verkürzten Zeitkonstante eine andere Kombination von Anzahl der aktiven Verdichter und Leistungswerten der aktiven Verdichter eingestellt wird (wiederum mit einem vergleichsweise hohen Wirkungsgrad). Aufgrund der Trägheit des Temperaturverhaltens von üblichen Kühlkreisen ist ein derartiges Verhalten in der Praxis ohne weiteres akzeptabel.

**[0013]** Um das vorstehend erläuterte Steuerungsverfahren auf besonders einfache Weise umsetzen zu können, kann wiederum auf ein Modell zurückgegriffen werden, bei dem verschiedenen Leistungswerten der einzelnen Verdichter unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet sind, wobei die Effizienzwerte der einzelnen Verdichter gemeinsam einen Gesamteffizienzwert der Verbundanlage ergeben. Während einer Änderung der Gesamtleistung der Verbundanlage wird bei diesem Modell wenigstens ein Zwischenwert der Gesamtleistung übersprungen, für den der genannte Gesamteffizienzwert einen vorbestimmten Schwellwert unterschreiten würde.

**[0014]** Besonders vorteilhafte Anwendung findet die vorgenannte Ausführungsform bei einer Verbundanlage,

bei der für zumindest einige der Verdichter lediglich diskrete Leistungswerte (d.h. Leistungsstufen) einstellbar sind, wie dies z.B. bei Kolbenverdichtern typischerweise vorgesehen ist. In diesem Fall kann während einer Änderung der Gesamtleistung der Verbundanlage ein solcher Zwischenwert der möglichen Gesamtleistung gezielt übersprungen werden, der zwar durch eine Kombination der diskreten Leistungswerte der einzelnen Verdichter rechnerisch möglich wäre, aufgrund der Betrachtungen des jeweiligen Wirkungsgrads der einzelnen Verdichter für diese Einstellung bzw. Kombination jedoch besonders ungünstig erscheint.

**[0015]** Im Rahmen der vorstehend erläuterten Steuerungsstrategie ist es besonders vorteilhaft, wenn mehrere (oder sogar alle) Zwischenwerte der Gesamtleistung übersprungen werden, für die sich ein besonders ungünstiger Gesamteffizienzwert der Verbundanlage ergeben würde. Um bestimmte Zwischenwerte der Gesamtleistung der Verbundanlage jedoch gezielt zuzulassen (insbesondere in Schwachlastphasen und/oder für das Hochlaufen der Verbundanlage ausgehend von einem vollständig abgeschalteten Zustand der Verdichter), kann vorgesehen sein, dass wenigstens ein solcher Zwischenwert der Gesamtleistung nicht übersprungen wird, der geringer als ein vorbestimmter Schwellwert ist und/oder für den lediglich ein einziger der Verdichter aktiv ist.

**[0016]** Speziell für eine Verbundanlage, die mehrere Verdichter mit lediglich diskreten Leistungswerten umfasst, aber auch für eine Verbundanlage mit stufenlos einstellbaren Verdichtern kann ferner eine solche Ausführungsform eines Steuerungsverfahrens von Vorteil sein, bei der für das Einstellen wenigstens eines gewünschten Werts der Gesamtleistung der Verbundanlage ausgehend von einem rechnerisch benachbarten, zuvor eingestellten Wert der Gesamtleistung der jeweilige Leistungswert nicht nur eines einzigen, sondern von wenigstens zwei Verdichtern gleichzeitig geändert wird. Dieser Steuerstrategie liegt die Erkenntnis zugrunde, dass es speziell bei der Verwendung von Verdichtern mit lediglich diskret einstellbaren Leistungswerten von Vorteil ist, bei einer gewünschten Erhöhung der Gesamtleistung der Verbundanlage frühzeitig einen zusätzlichen Verdichter zuzuschalten, damit die aktiven Verdichter mit einem jeweiligen Leistungswert betrieben werden können, der zwar gegenüber dem maximal möglichen Leistungswert verringert ist, jedoch noch einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad besitzt (vgl. beispielsweise den Übergang von Zustand 4 auf Zustand 5 in der nachfolgend noch im Detail erläuterten Fig. 6 im Unterschied zu Fig. 2). Hierdurch wird weitestgehend vermieden, dass mehrere Verdichter mit völlig unterschiedlicher Einstellung der jeweiligen Leistungswerte betrieben werden, was gewöhnlich nämlich bedeuten würde, dass wenigstens ein Verdichter mit einem extrem schlechten Wirkungsgrad läuft. Entsprechendes gilt für eine gewünschte Verringerung des Werts der Gesamtleistung der Verbundanlage, d.h. auch hierbei ist es bevorzugt, wenn für das Einstellen zumindest eines gewünschten Werts der

Gesamtleistung der Verbundanlage (insbesondere für das Einstellen eines Zwischenwerts) ausgehend von einem momentan eingestellten Wert der jeweilige Leistungswert von wenigstens zwei Verdichtern geändert wird (vgl. beispielsweise den Übergang von Zustand 5 auf Zustand 4 in Fig. 6).

**[0017]** Alternativ oder zusätzlich kann in dem Fall, dass für zumindest einige der Verdichter der Verbundanlage lediglich diskrete Leistungswerte einstellbar sind, eine Steuerstrategie dahingehend vorgesehen sein, dass für wenigstens einen Zwischenwert der möglichen Gesamtleistung der Verbundanlage bei wenigstens zwei Verdichtern derselbe Leistungswert eingestellt wird, wobei dieser identisch eingestellte Leistungswert geringer ist als der maximal mögliche Leistungswert des jeweiligen Verdichters. Auch bei dieser Ausführungsform macht man sich also zunutze, dass insgesamt ein höherer Wirkungsgrad der Verbundanlage erzielt werden kann, wenn mehrere Verdichter mit einer verringerten Leistung aktiv sind, wobei jedoch bei keinem dieser Verdichter ein besonders stark verringerter Leistungswert eingestellt ist, der eine überproportional starke Verringerung des Wirkungsgrads zur Folge hätte.

**[0018]** Den beiden vorgenannten Ausführungsformen liegt die Erkenntnis zugrunde, dass bei Verdichtern mit lediglich diskret einstellbaren Leistungswerten typischerweise bei den niedrigeren Leistungswerten (z.B. 25 % oder 33 % der maximalen Leistung) ein überproportional starker Abfall des Wirkungsgrads auftritt. Dieser ist zu vermeiden, um den Gesamtwirkungsgrad nicht übermäßig zu verschlechtern.

**[0019]** Im Zusammenhang mit der Erfindung sind auch solche Verdichter als Verdichter mit lediglich diskret einstellbaren Leistungswerten anzusehen, die zwar durch entsprechende Ansteuerung quasi-stufenlos regulierbar sind, bei denen jedoch bauartbedingt zu einem gegebenen Zeitpunkt letztlich nur eine von mehreren verschiedenen Leistungsstufen eingestellt werden kann. Dies ist beispielsweise bei Hubkolbenverdichtern mit abschaltbaren Zylinderbänken der Fall, bei denen die Ansteuerung nach dem Prinzip der Pulsweitenmodulation erfolgt. Bei derartigen Verdichtern ist typischerweise ebenfalls ein überproportional starker Abfall des Wirkungsgrads bei niedrigen Leistungswerten zu beobachten. Bei solchen quasi-stufenlos regulierbaren Verdichtern können beispielsweise analog zu der vorstehend beschriebenen Vorgehensweise den verschiedenen Leistungswerten unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet und berücksichtigt werden (z.B. zur Bildung eines Gesamteffizienzwerts der Verbundanlage oder für einen Schwellwertvergleich).

**[0020]** Das erfindungsgemäße Steuerungsverfahren ist allerdings auch auf Verbundanlagen anwendbar, bei denen zumindest für einige der Verdichter der Leistungswert innerhalb gewisser Grenzen stufenlos einstellbar ist, d.h. rein kontinuierlich. In einem solchen Fall ist es bevorzugt, wenn ein oberhalb eines vorbestimmten Schwellwerts liegender Leistungswert der Verdichter

und/oder der maximal mögliche jeweilige Leistungswert der Verdichter lediglich dann eingestellt wird, wenn sämtliche Verdichter der Verbundanlage aktiv sind. Mit anderen Worten wird für die einzelnen Verdichter ein erhöhter jeweiliger Leistungswert oder der maximal mögliche jeweilige Leistungswert generell nur dann eingestellt, falls die Verbundanlage eine erhöhte Gesamtleistung bereitstellen soll, d.h. eine Gesamtleistung, die größer ist als die Summe derjenigen Leistungswerte der einzelnen Verdichter, bei den die Verdichter noch mit einem günstigen Einzelwirkungsgrad arbeiten (z.B. besser als ein vorbestimmter jeweiliger Schwellwert). Für Zwischenzustände der möglichen Gesamtleistung der Verbundanlage hingegen, in denen eine geringere als die maximal mögliche Anzahl von Verdichtern aktiv ist, wird der maximal mögliche jeweilige Leistungswert an den einzelnen Verdichtern grundsätzlich nicht eingestellt.

**[0021]** Dieser Steuerstrategie liegt die Erkenntnis zugrunde, dass bei einem Verdichter mit kontinuierlich einstellbarem Leistungswert, beispielsweise einem Hubkolbenverdichter mit Frequenzumrichter, für hohe Frequenzen bzw. Drehzahlen eine starke Verringerung des Wirkungsgrads zu beobachten ist. Derartige hohe Leistungswerte werden deshalb grundsätzlich vermieden, es sei denn, sie werden für die erforderliche Gesamtleistung der Verbundanlage (d.h. für eine konkrete Leistungsanforderung) zwingend benötigt.

**[0022]** Alternativ oder zusätzlich kann bei einer Verbundanlage mit Verdichtern, deren Leistungswert innerhalb eines jeweiligen Leistungsbereichs stufenlos einstellbar ist, als Steuerstrategie vorgesehen sein, dass für wenigstens einen Übergang zwischen verschiedenen Zuständen der Verbundanlage, in denen eine unterschiedliche Anzahl von Verdichtern aktiv ist, an dem oder den aktiven Verdichtern als jeweiliger Leistungswert lediglich ein Zwischenwert eingestellt wird, der geringer ist als der maximal mögliche Leistungswert des jeweiligen Verdichters. Mit anderen Worten ist in diesem Fall vorgesehen, dass unmittelbar vor und nach wenigstens einer (vorzugsweise jeder) Änderung der Anzahl der aktiven Verdichter keiner der Verdichter mit der maximal möglichen Leistung läuft, sondern jeweils ein geringerer Leistungswert (mit einem entsprechend besseren Wirkungsgrad) eingestellt wird. Hierdurch wird also vermieden, dass während der Übergänge beim Zuschalten oder Abschalten eines jeweiligen Verdichters der Gesamtwirkungsgrad der Verbundanlage unerwünscht stark abfällt.

**[0023]** Um bei einer Verbundanlage mit Verdichtern mit kontinuierlich einstellbaren Leistungswerten das erfindungsgemäße Steuerungsverfahren auf besonders einfache Weise umsetzen zu können, kann wiederum auf ein Modell zurückgegriffen werden, das mit unterschiedlichen Effizienzwerten für die verschiedenen Leistungswerte der Verdichter arbeitet, wobei die Effizienzwerte der einzelnen Verdichter gemeinsam einen Gesamteffizienzwert der Verbundanlage ergeben. Hierbei kann insbesondere vorgesehen sein, dass die Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen der Verbundan-

lage, in denen eine unterschiedliche Anzahl von Verdichtern aktiv ist, derart gewählt werden, dass für zumindest einen Zustand der Verbundanlage der Gesamteffizienzwert einen vorbestimmten Schwellwert nicht unterschreitet. Insbesondere soll dieses Kriterium für sämtliche Zwischenzustände der Verbundanlage erfüllt sein, solange nicht sämtliche Verdichter der Verbundanlage aktiv sind.

**[0024]** Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass den verschiedenen Leistungswerten der stufenlos einstellbaren Verdichter unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet sind, wobei die Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen der Verbundanlage, in denen eine unterschiedliche Anzahl von Verdichtern aktiv ist, derart gewählt werden, dass für zumindest einen Zustand der Verbundanlage die Effizienzwerte der aktiven Verdichter einen jeweiligen vorbestimmten Schwellwert nicht unterschreiten. Bei Beachtung dieses Kriteriums muss nicht zusätzlich ein Gesamteffizienzwert ermittelt und berücksichtigt werden. Auch hier erfolgt die Steuerung vorzugsweise derart, dass für sämtliche Zwischenzustände der Verbundanlage, d.h. solange nicht sämtliche Verdichter aktiv sind, die Effizienzwerte der aktiven Verdichter einen jeweiligen vorbestimmten Schwellwert nicht unterschreiten.

**[0025]** Für sämtliche der vorgenannten Ausführungsformen ist zu beachten, dass die genannten Effizienzwerte für die betreffende Verbundanlage einmalig festgelegt und den verschiedenen Leistungswerten der Verdichter zugeordnet werden können. Das Ergebnis dieser wechselseitigen Zuordnung kann dann in einer Nachschlagetabelle derart hinterlegt werden, dass für jeden gewünschten Wert der Gesamtleistung der Verbundanlage (d.h. für jeden Sollwert der Kälteleistung) die entsprechende Einstellung der Anzahl der aktiven Verdichter und der Leistungswerte der aktiven Verdichter abrufbar ist. Mit anderen Worten kann die derartig (beispielsweise im Herstellerwerk) vorbereitete Nachschlagetabelle während des Betriebs der Verbundanlage dazu genutzt werden, in Abhängigkeit von dem jeweils gewünschten Wert der Gesamtleistung der Verbundanlage die entsprechenden Einstellungswerte unmittelbar auszulesen, ohne dass bei jeder Änderung der Kälteanforderung aufwendige Wirkungsgradanalysen oder Schwellwertvergleiche durchgeführt werden müssen, um das erfindungsgemäße Steuerungsverfahren durchführen zu können.

**[0026]** Es ist auch noch anzumerken, dass das Steuerungsverfahren auch auf eine Verbundanordnung von Verdichtern anwendbar ist, die unterschiedliche maximale Leistungswerte besitzen. Ebenso kann das Steuerungsverfahren auch bei einer Verbundanordnung von Verdichtern zum Einsatz gelangen, von denen wenigstens einer diskret einstellbare Leistungswerte aufweist und wenigstens ein anderer stufenlos einstellbare Leistungswerte aufweist.

**[0027]** Die Erfindung bezieht sich auch auf eine Steuereinrichtung für eine Verbundanlage mit mehreren Verdichtern, die wenigstens einen Signalausgang zum Aus-

geben von Steuersignalen für die einzelnen Verdichter der Verbundanlage aufweist, wobei diese Steuereinrichtung zum Steuern der Verbundanlage gemäß einer der vorgenannten Ausführungsformen ausgebildet ist. Insbesondere kann die Steuereinrichtung Teil einer Steuerungs- und Regelungseinheit sein, die mit geeigneten Sensoren verbunden ist (z.B. Temperaturfühler, Drucksensoren) und die aufgrund der Eingabe beispielsweise einer Solltemperatur die Gesamtleistung der Verbundanlage regelt.

**[0028]** Die Erfindung wird nachfolgend lediglich beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert.

5 Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung den Aufbau eines Kältekreis mit einer Verbundanlage.

Fig. 2 zeigt tabellarisch die möglichen Einstellungen einer Verbundanlage mit diskret einstellbaren Verdichtern bei herkömmlicher Steuerung.

Fig. 3 zeigt tabellarisch die möglichen Einstellungen einer Verbundanlage mit stufenlos einstellbaren Verdichtern bei herkömmlicher Steuerung.

Fig. 4 zeigt tabellarisch die möglichen Einstellungen einer Verbundanlage mit diskret einstellbaren Verdichtern bei erfindungsgemäßer Steuerung nach einer ersten Ausführungsform.

Fig. 5 zeigt tabellarisch die Zuordnung von unterschiedlichen Effizienzwerten zu verschiedenen Leistungswerten eines stufig regulierbaren Verdichters.

Fig. 6 zeigt tabellarisch die möglichen Einstellungen einer Verbundanlage mit diskret einstellbaren Verdichtern bei erfindungsgemäßer Steuerung nach einer weiteren Ausführungsform.

Fig. 7 zeigt tabellarisch die möglichen Einstellungen einer Verbundanlage mit stufenlos einstellbaren Verdichtern bei erfindungsgemäßer Steuerung.

Fig. 8 zeigt tabellarisch die Zuordnung von unterschiedlichen Effizienzwerten zu verschiedenen Leistungswerten eines stetig regulierbaren Verdichters.

**[0029]** Der in Fig. 1 gezeigte Kältekreis dient beispielsweise in einem Lebensmittel-Supermarkt zum Kühlen eines Kühlraums, des Inhalts eines Kühlmöbels der Normalkühlung und/oder des Inhalts eines Kühlmöbels der Tiefkühlung. Der gezeigte Kühlkreis umfasst eine Verbundanlage 11 mit beispielsweise drei Verdichtern V1, V2 und V3. Die Verdichter V1, V2 und V3 sind zueinander

parallel geschaltet und fördern ein Kältemittel entlang einer Strömungsrichtung A. Entlang der Strömungsrichtung A umfasst der Kältekreis ferner einen Verflüssiger 13, ein Expansionsventil 15 und wenigstens einen Verdampfer 17. Natürlich handelt es sich bei dem gezeigten Kühlkreis um eine stark vereinfachte Darstellung. Zusätzliche Komponenten und Verbindungsleitungen können vorgesehen sein. Beispielsweise kann der Kühlkreis mehrere Verdampfer 17 umfassen, um mehrere Kühlstellen zu bilden, insbesondere auf unterschiedlichen Temperaturniveaus und/oder in einer Kaskadenschaltung (mit zwei getrennten Kreisläufen) oder einer Booster-Schaltung (mit einem einzigen Kreislauf).

**[0030]** Der Verbundanlage 11 ist eine Steuereinrichtung 19 zugeordnet. Diese besitzt einen Signaleingang 21, über den die Steuereinrichtung 19 einen gewünschten Wert (Sollwert) der Gesamtleistung der Verbundanlage 11 empfangen kann. Ausgangsseitig ist die Steuereinrichtung 19 über mehrere Signalleitungen 23 mit den Verdichtern V1, V2 und V3 verbunden. Hierdurch kann die Steuereinrichtung 19 die Verdichter V1, V2 und V3 wahlweise aktivieren und deaktivieren sowie an den aktiven Verdichtern V1, V2 und V3 individuelle Leistungswerte einstellen. Durch das Aktivieren einer variablen Anzahl von Verdichtern V1, V2, V3 und durch das Einstellen variabler Leistungswerte an den Verdichtern V1, V2, V3 kann die Steuereinrichtung 19 somit eine variable Gesamtleistung der Verbundanlage 11 einstellen. Die Steuereinrichtung 19 kann auch Teil einer Steuerungs- und Regelungseinheit sein, die weitergehende Funktionen übernimmt und hierfür mit geeigneten Sensoren verbunden ist (z.B. Temperaturfühler). Beispielsweise kann im Fall einer Temperaturregelung über den Signaleingang 21 ein Sollwert der Temperatur eingegeben werden, auf den die Steuerungs- und Regelungseinheit durch entsprechende Änderung der Kälteleistung (Gesamtleistung der Verbundanlage 11) regelt.

**[0031]** Fig. 2 zeigt die bei einem herkömmlichen Steuerungsverfahren typischerweise vorgesehenen möglichen Einstellungen für die Verdichter V1, V2, V3, wenn diese stufig regulierbar sind, d.h. mit diskret einstellbaren Leistungswerten. In der ersten Spalte sind zehn verschiedene mögliche Zustände der Verbundanlage 11 gemäß Fig. 1 bezeichnet. In der zweiten bis vierten Spalte sind die jeweiligen Leistungswerte des Verdichters V1, des Verdichters V2 bzw. des Verdichters V3 angegeben, und zwar als Bruchteil der jeweils maximal möglichen Leistung. In der fünften Spalte ist die resultierende Gesamtleistung der Verbundanlage 11 angegeben (in willkürlichen Einheiten). Das Beispiel gemäß Fig. 2 betrifft die Verwendung von dreistufigen Hubkolbenverdichtern mit abschaltbaren Zylinderbänken, wobei natürlich auch andere Abstufungen möglich sind (z.B. 0 %; 25 %; 50 %; 75 %; 100 %).

**[0032]** Wie der Fig. 2 zu entnehmen ist, wird während des Hochlaufens der Verbundanlage 11 von einer Gesamtleistung Null (Zustand 1: sämtliche Verdichter V1, V2, V3 abgeschaltet) auf die maximal mögliche Gesamt-

leistung (Zustand 10: sämtliche Verdichter V1, V2, V3 mit maximaler Leistung aktiv) zunächst der Verdichter V1 in den zur Verfügung stehenden diskreten Stufen auf den maximal möglichen Leistungswert gebracht (Zustand 2: 33 % entsprechend der minimal möglichen Gesamtleistung der Verbundanlage 11; Zustand 3: 67 %; Zustand 4: 100 %). Für eine weitere Erhöhung der Gesamtleistung wird der Verdichter V2 stufenweise zugeschaltet (Zustand 5: 33 %; Zustand 6: 67 %; Zustand 7: 100 %). Anschließend wird entsprechend für den Verdichter V3 verfahren (Zustand 8: 33 %; Zustand 9: 67 %; Zustand 10: 100 % entsprechend der maximal möglichen Gesamtleistung der Verbundanlage 11).

**[0033]** Fig. 3 zeigt in entsprechender Darstellung die typischen Einstellungen bei einer bekannten Verbundanlage 11 mit stufenlos einstellbaren Leistungswerten der Verdichter V1, V2, V3. Vereinfachend ist in der zweiten bis vierten Spalte die jeweilige Leistung der Verdichter V1, V2, V3 als Frequenz angegeben (zu der jeweilige Leistungswert proportional ist). Bei dem hier gezeigten Beispiel wird davon ausgegangen, dass durch Verwendung entsprechender Frequenzumrichter die Drehzahl jeweils zwischen 25 Hz und 87 Hz variiert werden kann.

**[0034]** Um die entsprechende Verbundanlage 11 ausgehend von einem Zustand 1, in dem sämtliche Verdichter V1, V2, V3 abgeschaltet sind, auf den maximal möglichen Wert der Gesamtleistung hochzufahren (hier: Wert 261 in willkürlichen Einheiten), wird zunächst der Verdichter V1 aktiviert und von seinem minimalen Leistungswert (25 Hz) kontinuierlich ansteigend auf den höchsten Leistungswert (87 Hz) eingestellt (Zustand 2). Zur Vermeidung eines Leistungssprungs beim nachfolgenden Zuschalten auch des zweiten Verdichters V2 werden mit Beginn des Zustands 3 der Verdichter V1 und der Verdichter V2 jeweils auf den Wert 43,5 Hz eingestellt. Zur weiteren Erhöhung der Gesamtleistung (von 87 auf 174) werden nun die Leistungswerte beider Verdichter V1 und V2 kontinuierlich erhöht, bis zu dem Wert 87 Hz. Daraufhin erfolgt der Übergang zu dem Zustand 4, wobei nun auch der dritte Verdichter V3 zugeschaltet wird und alle drei Verdichter V1, V2, V3 auf den Leistungswert 58 Hz gesetzt werden. Durch stufenloses Erhöhen dieses Leistungswerts für alle drei Verdichter V1, V2, V3 parallel wird schließlich die maximal mögliche Gesamtleistung der Verbundanlage 11 erreicht.

**[0035]** Die herkömmlichen Steuerungsverfahren gemäß Fig. 2 und 3 haben sich als einfach und robust erwiesen, da ausgehend von jedem der gezeigten Zustände eine Änderung der Gesamtleistung der Verbundanlage 11 durch eine entsprechende Änderung des eingestellten Leistungswerts eines der drei Verdichter V1, V2, V3 erreicht werden kann. Allerdings sind die den Fig. 2 und 3 zugrunde liegenden Steuerstrategien in energetischer Hinsicht nicht optimal. So lässt sich nämlich beispielsweise bei Hubkolbenverdichtern beobachten, dass in einem Leistungsbereich unterhalb von 50 % der Wirkungsgrad des Verdichters stark abnimmt. Hierdurch

kann sich auch der Gesamtwirkungsgrad der Verbundanlage 11 überproportional stark verschlechtern. Um dies zu vermeiden, ist vorgesehen, dass das Einstellen der Gesamtleistung der Verbundanlage 11 unter Berücksichtigung des jeweiligen Wirkungsgrads der einzelnen Verdichter V1, V2, V3 für die verschiedenen Leistungswerte erfolgt.

**[0036]** Fig. 4 zeigt in einer der Fig. 2 entsprechenden Darstellung eine erste Ausführungsform eines entsprechenden Steuerungsverfahrens zur Anwendung in einer Verbundanlage 11 mit stufig regulierbaren Verdichtern V1, V2, V3 (einschließlich quasi-stufenlos regulierbaren Verdichtern). Bei dieser Ausführungsform werden nicht alle der rechnerisch möglichen Werte der Gesamtleistung der Verbundanlage 11 (fünfte Spalte in Fig. 2) eingestellt. Stattdessen werden während einer Änderung der Gesamtleistung der Verbundanlage 11 zwei unter energetischen Betrachtungen besonders ungünstige Zwischenwerte der Gesamtleistung übersprungen. Dies betrifft hier die Zustände 5 und 8 gemäß Fig. 2, die bei dem Steuerungsverfahren nach Fig. 4 unterdrückt, d.h. grundsätzlich nicht eingestellt werden. In den Zuständen 5 und 8 gemäß Fig. 2 ist jeweils für einen Verdichter (V2 bzw. V3) ein Leistungswert von 33 % eingestellt, der eine besonders gravierende Verschlechterung des Gesamtwirkungsgrads bewirkt. Der jeweils entsprechende Wert der Gesamtleistung (133 bzw. 233) ist bei dem Steuerungsverfahren gemäß Fig. 4 nicht verfügbar, was in der Praxis jedoch keine gravierenden Auswirkungen hat, da in dem Zustand 4 bereits eine vergleichsweise hohe Gesamtleistung der Verbundanlage 11 erreicht ist (Wert 100), so dass der Sprung zu dem nächsten verfügbaren Wert der einstellbaren Gesamtleistung (Wert 167 gemäß Zustand 5) sich nicht mehr signifikant auswirkt.

**[0037]** Die vorgenannten Überlegungen gelten grundsätzlich auch für den Zustand 2 gemäß Fig. 4 (Verdichter V1 arbeitet mit 33 %). Allerdings würde sich bei einem Überspringen dieses Zustands der Leistungssprung deutlicher bemerkbar machen und der Zustand 2 kann für Schwachlastphasen der Verbundanlage 11 energetisch sinnvoll sein, insbesondere wenn durch zeitweiliges Einstellen des Zustands 2 ein vollständiges Abschalten der Anlage verhindert wird. Daher wird in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 der Zustand 2 absichtlich nicht unterdrückt.

**[0038]** Um die der Fig. 4 zugrunde liegende Steuerstrategie quantitativ erfassen und allgemeingültig umsetzen zu können, kann mit einem Modell von Effizienzwerten gearbeitet werden, die den verschiedenen möglichen Leistungswerten der Verdichter V1, V2, V3 zugeordnet werden. Fig. 5 zeigt eine entsprechende Zuordnungstabelle. Demnach ist dem Leistungswert 33 %, der sich durch eine besonders schlechte Effizienz auszeichnet, der Effizienzwert 0 zugeordnet. Den Leistungswerten 67 % und 100 % hingegen, bei denen der jeweilige Verdichter mit einer deutlich höheren Effizienz arbeitet, ist der Effizienzwert 1 zugeordnet. Aus diesen Effizienzwerten kann für jeden Zustand des Steuerungsverfahrens ge-

mäß Fig. 4 ein Gesamteffizienzwert ermittelt werden, beispielsweise indem für sämtliche der jeweils aktiven Verdichter V1, V2, V3 der jeweilige Effizienzwert aufaddiert und bezüglich der Anzahl der aktiven Verdichter normiert wird (Mittelwertbildung). Das Ergebnis ist für das erläuterte Beispiel in der sechsten Spalte von Fig. 4 gezeigt. Für den Zustand 2 gemäß Fig. 4 besitzt der Gesamteffizienzwert noch den Wert 0. Für alle höheren Zustände (3 bis 8) hingegen wird stets ein Gesamteffizienzwert 1 erreicht.

**[0039]** Zum Vergleich mit Fig. 4 ist in Fig. 2 eine entsprechende Darstellung des Gesamteffizienzwerts angegeben. Dieser besitzt für den vorstehend genannten Zustand 5 den Wert 0,5 und für den Zustand 8 den Wert 0,67. Somit ergibt sich das Steuerungsverfahren gemäß Fig. 4 ausgehend von der bekannten Steuerstrategie gemäß Fig. 2 beispielsweise dadurch, dass während einer Änderung der Gesamtleistung der Verbundanlage 11 grundsätzlich diejenigen Zwischenwerte der Gesamtleistung übersprungen werden, für die der Gesamteffizienzwert einen vorbestimmten Schwellwert von beispielsweise 1 unterschreiten würde. Hierbei können für besondere Betriebszustände Ausnahmen zugelassen werden, beispielsweise für eine Schwachlastphase und/oder den Beginn des Hochlaufens der Verbundanlage 11 gemäß dem Zustand 2 der Fig. 2 und 4, wie vorstehend erläutert.

**[0040]** Fig. 6 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Steuerungsverfahrens, wiederum für Verdichter V1, V2, V3 mit diskret einstellbaren Leistungswerten. Bei dieser Ausführungsform sind im Wesentlichen dieselben Werte der Gesamtleistung der Verbundanlage 11 einstellbar wie in Fig. 2. Allerdings wird für die Zustände 5 und 8 (Gesamtleistung 134 bzw. 234) eine andere Einstellung der Leistungswerte der aktiven Verdichter V1, V2, V3 gewählt. In dem Zustand 5 wird bei dem Steuerungsverfahren gemäß Fig. 6 für die beiden Verdichter V1, V2 jeweils der Leistungswert 67 % eingestellt, anstelle der Werte 100 % und 33 % gemäß Fig. 2. Zwar hat der Verdichter V1 bei dem Leistungswert 67 % einen geringfügig schlechteren Wirkungsgrad als bei dem Leistungswert 100 %. Allerdings ist in dem Zustand 5 der Wirkungsgrad des Verdichters V2 bei dem Leistungswert 67 % deutlich besser als bei einem Leistungswert 33 % gemäß Fig. 2, so dass im Ergebnis der Gesamtwirkungsgrad bei dem Zustand 5 gemäß Fig. 6 deutlich besser ist als gemäß Fig. 2. Entsprechende Überlegungen gelten für die Verdichter V2 und V3 in dem Zustand 8.

**[0041]** Zwar muss bei dem Steuerungsverfahren gemäß Fig. 6 für das Einstellen des Zustands 5 (Gesamtleistung 134) oder des Zustands 8 (Gesamtleistung 234) ausgehend von dem nächst niedrigeren, zuvor eingestellten Wert der Gesamtleistung (Wert 100 bzw. Wert 200) der jeweilige Leistungswert von zwei Verdichtern geändert werden (Verdichter V1 und V2 im Falle des Zustands 5 bzw. Verdichter V2 und V3 im Falle des Zustands 8). Hierdurch ist das Steuerungsverfahren etwas aufwendiger als jenes gemäß Fig. 2. Jedoch ist es hier-

durch auch möglich, für mehrere Verdichter gleichzeitig geeignete Zwischenwerte der jeweils möglichen Leistung einzustellen, um im Ergebnis einen verbesserten Gesamtwirkungsgrad zu erzielen, wie vorstehend erläutert.

**[0042]** Um auch das Steuerungsverfahren gemäß Fig. 6 quantitativ darstellen zu können, kann wiederum auf die Zuordnung von unterschiedlichen Effizienzwerten zu verschiedenen Leistungswerten entsprechend der Tabelle gemäß Fig. 5 zurückgegriffen werden. Der jeweils resultierende Gesamteffizienzwert ist in der sechsten Spalte der Fig. 6 und 2 gezeigt. Sofern also den verschiedenen Leistungswerten der einzelnen Verdichter V1, V2, V3 unterschiedliche Effizienzwerte gemäß Fig. 5 zugeordnet werden und die Effizienzwerte der einzelnen Verdichter V1, V2, V3 in einen jeweiligen Gesamteffizienzwert der Verbundanlage 11 gemäß der sechsten Spalte in den Fig. 2 und 6 umgerechnet wird (wie bereits für Fig. 4 erläutert), kann das Steuerungsverfahren gemäß Fig. 6 dadurch befolgt werden, dass für das Einstellen von Zwischenwerten der Gesamtleistung der Verbundanlage 11 grundsätzlich diejenige Einstellung gewählt wird (Anzahl der aktiven Verdichter und Leistungswerte der aktiven Verdichter), die dem besten Gesamteffizienzwert entspricht. Bei Befolgen einer derartigen Steuerstrategie gelangt man auf einfache Weise zu den Einstellungen der Zustände 5 und 8 gemäß Fig. 6, anstelle der Einstellungen gemäß Fig. 2 (Gesamteffizienzwert 1 gemäß Fig. 6 anstelle von 0,5 bzw. 0,67 gemäß Fig. 2).

**[0043]** Fig. 7 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Steuerungsverfahrens in einer Darstellung entsprechend der Fig. 3. Dieses Ausführungsbeispiel bezieht sich auf eine Verbundanlage 11 mit stetig regulierbaren Verdichtern V1, V2, V3, d.h. mit stufenlos einstellbaren Leistungswerten der Verdichter V1, V2, V3 (innerhalb eines vorgegebenen jeweiligen Leistungsbereichs). Auch bei einer derartigen Verbundanlage kann durch ungünstige Einstellung der Leistungswerte der aktiven Verdichter und insbesondere durch ungünstige Wahl der Übergänge zwischen unterschiedlichen Anzahlen von aktiven Verdichtern eine unerwünschte Verschlechterung des Gesamtwirkungsgrads herbeigeführt werden. Insbesondere wird bei dem herkömmlichen Steuerungsverfahren gemäß Fig. 3 außer Acht gelassen, dass der Wirkungsgrad des jeweiligen Verdichters V1, V2, V3 oberhalb eines bestimmten Werts von beispielsweise 60 Hz stark abnimmt. Hierdurch verschlechtert sich der Gesamtwirkungsgrad der Verbundanlage 11 in dem Zustand 2 kurz vor Erreichen des Zustands 3 gemäß Fig. 3 oder in dem Zustand 3 kurz vor Erreichen des Zustands 4 gemäß Fig. 3 erheblich.

**[0044]** Um eine derartige Verschlechterung des Gesamtwirkungsgrads weitestgehend zu vermeiden, ist bei dem Steuerungsverfahren gemäß Fig. 7 vorgesehen, dass ein oberhalb eines vorbestimmten Schwellwerts (hier: 60 Hz) liegender jeweiliger Leistungswert der Verdichter V1, V2, V3 lediglich dann eingestellt wird, wenn sämtliche Verdichter V1, V2, V3 der Verbundanlage 11

aktiv sind (Vollastphase der Verbundanlage), nicht jedoch, wenn für das Einstellen von Zwischenzuständen der Verbundanlage 11 weniger als die maximal mögliche Anzahl von Verdichtern V1, V2, V3 zugeschaltet ist. Dies bedeutet, dass während des Hochlaufens der Verbundanlage 11 ausgehend von dem Zustand 1, in dem sämtliche Verdichter V1, V2, V3 abgeschaltet sind, der jeweilige Leistungswert des Verdichters V1 (und später auch des Verdichters V2) kontinuierlich lediglich bis zu dem genannten Schwellwert (60 Hz) erhöht wird, woraufhin ein weiterer Verdichter (V2 bzw. V3) zugeschaltet wird und der jeweilige Leistungswert der aktiven Verdichter wieder herabgesetzt wird. Somit werden Betriebszustände der Verdichter V1, V2 mit einem überproportional schlechten Wirkungsgrad vermieden, bis für das Einstellen der erforderlichen Gesamtleistung der Verbundanlage 11 (d.h. für eine entsprechende Leistungsanforderung) sämtliche Verdichter V1, V2, V3 zwangsläufig mit einem vergleichsweise schlechten Wirkungsgrad betrieben werden müssen (Ende von Zustand 4 gemäß Fig. 7).

**[0045]** Wie aus Fig. 7 ersichtlich ist, bedeutet dies, dass beispielsweise unmittelbar vor und nach dem Übergang von dem Zustand 2 auf den Zustand 3, in denen eine unterschiedliche Anzahl von Verdichtern aktiv ist, an den betreffenden Verdichtern V1 und V2 stets lediglich ein Zwischenwert der maximal möglichen Leistung des jeweiligen Verdichters V1, V2 eingestellt wird (60 Hz anstelle von 87 Hz).

**[0046]** Ähnlich wie im Zusammenhang mit Fig. 4 und 5 erläutert, kann auch das Steuerungsverfahren gemäß Fig. 7 quantitativ dadurch erfasst werden, dass den verschiedenen Leistungswerten (oder Leistungsbereichen) der Verdichter V1, V2, V3 unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet werden. Fig. 8 zeigt eine mögliche Zuordnungstabelle hierfür, wobei für die Leistungswerte entsprechend einer Frequenz von maximal 60 Hz der Effizienzwert 1 vorgesehen ist und für höhere Frequenzen (> 60 Hz) der Effizienzwert 0 vorgesehen ist. Die Effizienzwerte der einzelnen Verdichter V1, V2, V3 können gemeinsam einen Gesamteffizienzwert der Verbundanlage 11 bilden, beispielsweise durch Mittelwertbildung über die aktiven Verdichter V1, V2, V3. In diesem Fall ergeben sich die in der sechsten Spalte der Fig. 7 wiedergegebenen Gesamteffizienzwerte. Zum Vergleich sind die entsprechenden Gesamteffizienzwerte auch in der sechsten Spalte der Fig. 3 gezeigt.

**[0047]** Bei dem herkömmlichen Steuerungsverfahren gemäß Fig. 3 verringert sich der Gesamteffizienzwert demnach in dem Zustand 2 (ein Verdichter aktiv) und in dem Zustand 3 (zwei Verdichter aktiv) jeweils von 1 auf 0. Dies wird bei dem Steuerungsverfahren gemäß Fig. 7 vermieden, da hier die Übergänge von dem Zustand 2 (ein Verstärker aktiv) auf den Zustand 3 (zwei Verstärker aktiv) und von dem Zustand 3 auf den Zustand 4 (drei Verstärker aktiv) derart gewählt sind, dass in den Zuständen 2 und 3 der Gesamteffizienzwert einen Schwellwert 1 nicht unterschreitet. Mit anderen Worten wird die Verbundanlage 11 beim Hochlaufen rechtzeitig in den

nächst höheren Zustand (mit einer höheren Anzahl von aktiven Verdichtern) umgeschaltet.

**[0048]** Ein Gesamteffizienzwert von  $< 1$  wird bei dem Steuerungsverfahren gemäß Fig. 7 erst während des weiteren Hochlaufens der Verbundanlage 11 in dem Zustand 4 erreicht, nämlich wenn die drei aktiven Verdichter V1, V2, V3 jeweils den Schwellwert von 60 Hz gemäß der Zuordnungstabelle nach Fig. 8 überschreiten (Vollastphase der Verbundanlage).

**[0049]** Zu den anhand der Zeichnungen erläuterten Ausführungsbeispielen ist noch anzumerken, dass die Effizienzwerte gemäß den Fig. 5 und 8 auch in einer feineren Abstufung oder auch in einer kontinuierlichen Verteilung vorgesehen sein können. Beispielsweise können in der Zuordnungstabelle gemäß Fig. 5 anstelle der Werte 0-1-1 die Werte 0-2-3 verwendet werden, um eine genauere Differenzierung nach dem entsprechenden Wirkungsgrad zu erzielen.

**[0050]** Schließlich ist auch noch anzumerken, dass während des Betriebs der Verbundanlage 11 die Verdichter V1, V2 und V3 ihre jeweilige Funktion auch vertauschen können, d.h. beispielsweise in dem Zustand 3 gemäß Fig. 4 kann anstelle des Verdichters V1 bei einem späteren neuerlichen Einstellen dieses Zustands auch der Verdichter V2 oder der Verdichter V3 aktiv sein, um hierdurch einen Grundlastwechsel durchzuführen.

#### Bezugszeichenliste

##### **[0051]**

11	Verbundanlage
13	Verflüssiger
15	Expansionsventil
17	Verdampfer
19	Steuereinrichtung
21	Signaleingang
23	Signalleitung
A	Strömungsrichtung
V 1	Verdichter
V2	Verdichter
V3	Verdichter

#### **Patentansprüche**

1. Verfahren zur Steuerung einer Verbundanlage (11) mit mehreren Verdichtern (V1, V2, V3), wobei die

Anzahl der aktiven Verdichter veränderbar ist und für zumindest einige der Verdichter verschiedene Leistungswerte einstellbar sind, um eine variable Gesamtleistung der Verbundanlage einzustellen,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** das Einstellen der Gesamtleistung der Verbundanlage unter Berücksichtigung des jeweiligen Wirkungsgrads der einzelnen Verdichter für die verschiedenen Leistungswerte erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** verschiedenen Leistungswerten der Verdichter (V1, V2, V3) unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet sind, wobei die Effizienzwerte der einzelnen Verdichter gemeinsam einen Gesamteffizienzwert der Verbundanlage (11) ergeben, wobei für das Einstellen von Zwischenwerten der Gesamtleistung der Verbundanlage diejenige Kombination von Anzahl der aktiven Verdichter und Leistungswerten der aktiven Verdichter eingestellt wird, die dem besten Gesamteffizienzwert entspricht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** verschiedenen Leistungswerten der Verdichter (V1, V2, V3) unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet sind, wobei für das Einstellen von Zwischenwerten der Gesamtleistung der Verbundanlage (11) lediglich solche Kombinationen von Anzahl der aktiven Verdichter und Leistungswerten der aktiven Verdichter eingestellt werden, bei denen für keinen Verdichter der zugeordnete Effizienzwert einen vorbestimmten Schwellwert unterschreitet.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** nicht alle der rechnerisch möglichen Werte der Gesamtleistung der Verbundanlage (11) eingestellt werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** verschiedenen Leistungswerten der Verdichter (V1, V2, V3) unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet sind, wobei die Effizienzwerte der einzelnen Verdichter gemeinsam einen Gesamteffizienzwert der Verbundanlage (11) ergeben, wobei während einer Änderung der Gesamtleistung der Verbundanlage wenigstens ein Zwischenwert der Gesamtleistung übersprungen wird, für den der Gesamteffizienzwert einen vorbestimmten Schwellwert unterschreiten würde.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

- dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** für einzelne Verdichter (V1, V2, V3) der Verbundanlage (11) lediglich diskrete Leistungswerte einstellbar sind, wobei wenigstens ein Zwischenwert der Gesamtleistung der Verbundanlage, der durch eine Kombination der diskreten Leistungswerte der einzelnen Verdichter rechnerisch möglich wäre, während einer Änderung der Gesamtleistung der Verbundanlage übersprungen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** ein solcher Zwischenwert der Gesamtleistung der Verbundanlage, der geringer als ein vorbestimmter Schwellwert ist und/oder für den lediglich ein einziger der Verdichter aktiv ist, nicht übersprungen wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** für einzelne Verdichter (V1, V2, V3) der Verbundanlage (11) lediglich diskrete Leistungswerte einstellbar sind, wobei für das Einstellen wenigstens eines Werts der Gesamtleistung der Verbundanlage ausgehend von einem benachbarten, zuvor eingestellten Wert der Gesamtleistung der jeweilige Leistungswert von wenigstens zwei Verdichtern geändert wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** für einzelne Verdichter (V1, V2, V3) der Verbundanlage (11) lediglich diskrete Leistungswerte einstellbar sind, wobei für wenigstens einen Zwischenwert der Gesamtleistung der Verbundanlage bei wenigstens zwei Verdichtern derselbe Leistungswert eingestellt wird, der geringer ist als der maximal mögliche Leistungswert des jeweiligen Verdichters.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** für einzelne Verdichter (V1, V2, V3) der Verbundanlage (11) der Leistungswert stufenlos einstellbar ist, wobei ein oberhalb eines vorbestimmten Schwellwerts liegender jeweiliger Leistungswert der Verdichter und/oder der maximal mögliche jeweilige Leistungswert der Verdichter lediglich dann eingestellt wird, wenn sämtliche Verdichter der Verbundanlage aktiv sind.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** für einzelne Verdichter (V1, V2, V3) der Verbundanlage (11) der Leistungswert stufenlos einstellbar ist, wobei für wenigstens einen Übergang zwischen verschiedenen Zuständen der Verbundanlage, in denen eine unterschiedliche Anzahl von Verdichtern aktiv ist, an dem oder den aktiven Verdichtern als jeweiliger Leistungswert lediglich ein Zwischenwert eingestellt wird, der geringer ist als der maximal mögliche Leistungswert des jeweiligen Verdichters.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** für einzelne Verdichter (V1, V2, V3) der Verbundanlage (11) der Leistungswert stufenlos einstellbar ist, wobei verschiedenen Leistungswerten unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet sind, wobei die Effizienzwerte der einzelnen Verdichter gemeinsam einen Gesamteffizienzwert der Verbundanlage ergeben, wobei die Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen der Verbundanlage, in denen eine unterschiedliche Anzahl von Verdichtern aktiv ist, derart gewählt werden, dass für zumindest einen Zustand der Verbundanlage der Gesamteffizienzwert einen vorbestimmten Schwellwert nicht unterschreitet.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** für einzelne Verdichter (V1, V2, V3) der Verbundanlage (11) der Leistungswert stufenlos einstellbar ist, wobei verschiedenen Leistungswerten unterschiedliche Effizienzwerte zugeordnet sind, wobei die Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen der Verbundanlage, in denen eine unterschiedliche Anzahl von Verdichtern aktiv ist, derart gewählt werden, dass für zumindest einen Zustand der Verbundanlage die Effizienzwerte der aktiven Verdichter einen jeweiligen vorbestimmten Schwellwert nicht unterschreiten.
14. Verfahren nach Anspruch 2, 3, 5, 12 oder 13,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
**dass** die Effizienzwerte einmalig festgelegt und den Leistungswerten der Verdichter zugeordnet werden, wobei die entsprechende Einstellung der Anzahl der aktiven Verdichter und der Leistungswerte der aktiven Verdichter in einer Nachschlagetabelle hinterlegt werden, so dass für verschiedene gewünschte Werte der Gesamtleistung der Verbundanlage aus der Nachschlagetabelle die jeweilige Einstellung abrufbar ist.
15. Steuereinrichtung (19) für eine Verbundanlage (11) mit mehreren Verdichtern (V1, V2, V3), die wenigstens einen Signalausgang zum Ausgeben eines Steuersignals an die einzelnen Verdichter der Ver-

bundanlage aufweist,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** die Steuereinrichtung zum Steuern der Verbundanlage gemäß einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche ausgebildet ist.

5

10

15

20

25

30

35

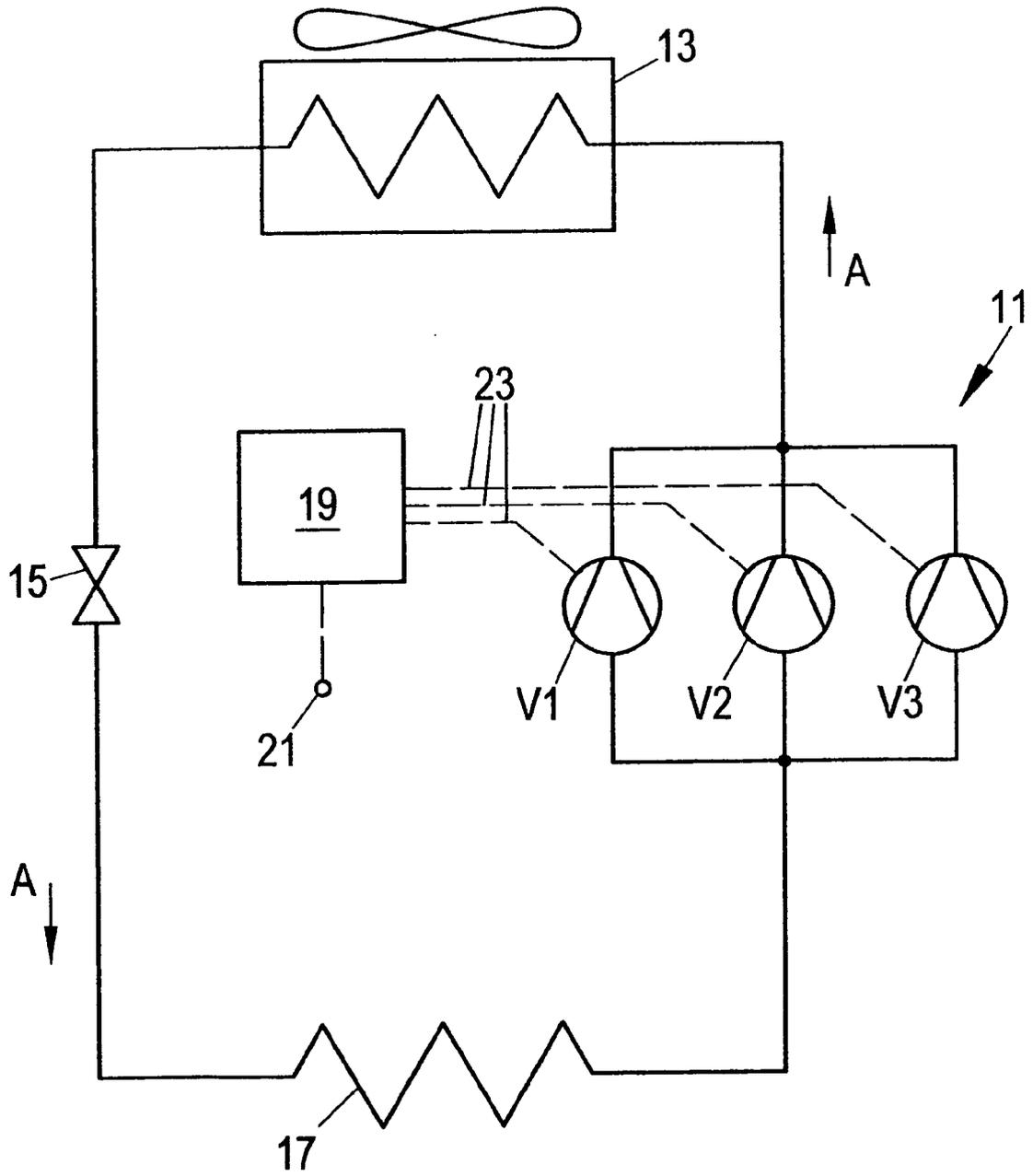
40

45

50

55

Fig.1



Zustand	Leistung V1	Leistung V2	Leistung V3	Gesamtleistung	Gesamteffizienzwert
1	0%	0%	0%	0	-
2	33%	0%	0%	33	0
3	67%	0%	0%	67	1
4	100%	0%	0%	100	1
5	100%	33%	0%	133	0,5
6	100%	67%	0%	167	1
7	100%	100%	0%	200	1
8	100%	100%	33%	233	0,67
9	100%	100%	67%	267	1
10	100%	100%	100%	300	1

(Stand der Technik)

Fig. 2

Zustand	Leistung V1	Leistung V2	Leistung V3	Gesamtleistung	Gesamteffizienzwert
1	0Hz	0Hz	0Hz	0	-
2	25→87Hz	0Hz	0Hz	25→87	1→0
3	43,5→87Hz	43,5→87Hz	0Hz	87→174	1→0
4	58→87Hz	58→87Hz	58→87Hz	174→261	1→0

(Stand der Technik)

Fig. 3

Zustand	Leistung V1	Leistung V2	Leistung V3	Gesamt- leistung	Gesamt- effizienz- wert
1	0%	0%	0%	0	-
2	33%	0%	0%	33	0
3	67%	0%	0%	67	1
4	100%	0%	0%	100	1
5	100%	67%	0%	167	1
6	100%	100%	0%	200	1
7	100%	100%	67%	267	1
8	100%	100%	100%	300	1

Fig. 4

Leistung	Effizienz- wert
0%	-
33%	0
67%	1
100%	1

Fig. 5

Zustand	Leistung V1	Leistung V2	Leistung V3	Gesamt- leistung	Gesamt- effizienz- wert
1	0%	0%	0%	0	-
2	33%	0%	0%	33	0
3	67%	0%	0%	67	1
4	100%	0%	0%	100	1
5	67%	67%	0%	134	1
6	100%	67%	0%	167	1
7	100%	100%	0%	200	1
8	100%	67%	67%	234	1
9	100%	100%	67%	267	1
10	100%	100%	100%	300	1

Fig. 6

Zustand	Leistung V1	Leistung V2	Leistung V3	Gesamtleistung	Gesamteffizienzwert
1	0Hz	0Hz	0Hz	0	-
2	25→60Hz	0Hz	0Hz	25→60	1
3	30→60Hz	30→60Hz	0Hz	60→120	1
4	40→87Hz	40→87Hz	40→87Hz	120→261	1→0

Fig. 7

Leistung	Effizienzwert
0Hz	-
≤60Hz	1
>60Hz	0

Fig. 8

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 2816142 A1 [0003]
- DE 10141807 A1 [0003]