



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**30.04.2014 Patentblatt 2014/18**

(51) Int Cl.:  
**F25B 49/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **13189217.6**

(22) Anmeldetag: **18.10.2013**

(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**

(30) Priorität: **25.10.2012 DE 102012110183**  
**16.01.2013 DE 102013100410**

(71) Anmelder: **Institut Für Luft- Und Kältetechnik Gemeinnützige GmbH**  
**01309 Dresden (DE)**

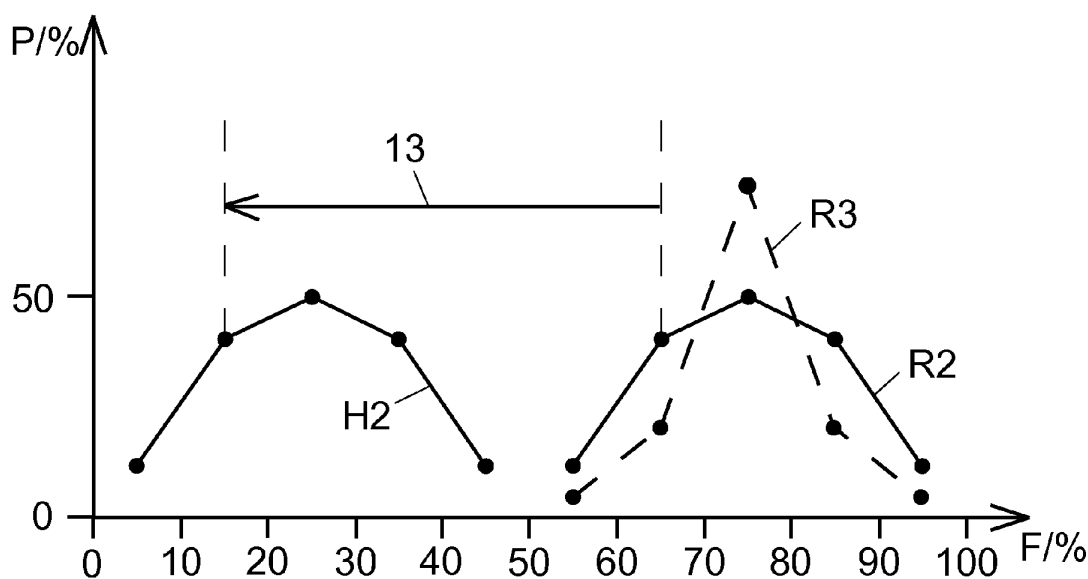
(72) Erfinder:  
• **Illgen, André**  
**01277 Dresden (DE)**  
• **Kleeberg, Andreas**  
**01279 Dresden (DE)**  
• **Dr. Vollmer, Dietrich**  
**01326 Dresden (DE)**

(74) Vertreter: **Kaufmann, Sigfrid Kaufmann**  
**Patent- und Rechtsanwälte**  
**Loschwitzer Straße 42**  
**01309 Dresden (DE)**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Überwachen einer Kältemittelfüllmenge**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Überwachen einer Kältemittelfüllmenge einer Kälteanlage, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist: Erfassen einer füllmengensensitiven Messgröße über einen vorgegebenen Zeitraum hinweg; Erstellen einer Ist-Häufigkeitsverteilung der Messwerte der Messgröße, wobei die Ist-Häufigkeitsverteilung be-

schreibt, wie häufig ein bestimmter Messwert der Messgröße innerhalb des vorgegebenen Zeitraums vorlag; Ermitteln eines Versatzes der Ist-Häufigkeitsverteilung bezüglich einer Referenz-Häufigkeitsverteilung; und Bewerten des Kältemittelfüllzustandes basierend auf dem ermittelten Versatz.



**Fig. 4**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen der Kältemittelfüllmenge einer Kälteanlage, z. B. einer Kompressionskälteanlage für einen Supermarkt mit mehreren verzweigt angeordneten Kühlstellen, sowie eine Kälteanlage mit einer Überwachungsvorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

**[0002]** Kompressionskältemaschinen mit geschlossenen Kältemittelkreisläufen benötigen für ihre bestimmungsgemäße Funktion eine bestimmte Kältemittelfüllmenge, wobei diese z. B. zur Gewährleistung einer hinreichenden Kühlwirkung und zur Vermeidung von Schäden an der Kälteanlage eine vorgegebene Mindest-Füllmenge nicht unterschreiten darf. Der Kältekreislauf einer Kompressionskältemaschine weist z. B. einen Kompressor, einen Kondensator und einen Verdampfer als Komponenten auf; wobei die minimal erforderliche Kältemittelfüllmenge z. B. vom inneren Volumen des Kältemittelkreislaufes, der Bauart der Komponenten des Kältemittelkreislaufes, der angeforderten Kälteleistung, Lastschwankungen und den jeweiligen Betriebsbedingungen abhängt. Des Weiteren sind z. B. im Interesse des Umweltschutzes Emissionen von Treibhausgasen, die durch Leckagen von Kältemittel hervorgerufen werden, zu vermeiden. Daher ist - z. B. um das Vorhandensein einer Mindest-Füllmenge sicherzustellen und um Leckagen von Kältemittel zeitnah für eine zustandsorientierte Wartung der Kälteanlage zu erkennen - das Überwachen der Kältemittelfüllmenge einer solchen Kompressionskälteanlage angezeigt. Diesbezüglich können z. B. in die Kälteanlage eingebundene Überwachungssysteme zum Überwachen der Kältemittelfüllmenge vorgesehen sein, die z. B. zur Leckageerkennung einsetzbar sind.

**[0003]** So beschreibt z. B. DE 39 13 521 C2 ein Verfahren zum Erkennen von Leckstellen in einem Kältemittelkreislauf mit einem Verdampfer, einem Verdichter und einem Kondensator, wobei der Druck und die Temperatur des saugseitig am Verdichter anstehenden verdampften Kältemittels gemessen und die Messwerte von Sauggasdruck und -temperatur in jeweils auf einen bestimmten Messbereich bezogene Relativgrößen umgerechnet werden, die Differenz dieser Ist-Relativgrößen mit einem Sollwert verglichen wird, und bei einer Abweichung der Istwert-Differenz von der Sollwert-Differenz um einen vorgegebenen Betrag ein Kältemittel-Leck angezeigt wird.

**[0004]** Die DE 41 39 064 A1 beschreibt ein Verfahren zum Erfassen einer Überfüllung eines Verdampfers einer Kälteanlage, mittels dessen das Kältemittel zu einem Sauggas verdampft wird, wobei im Falle einer solchen Überfüllung im Sauggas verbleibende Flüssigkeitströpfchen mittels Verdampfung an einem Messkörper erfasst werden.

**[0005]** Die DE 10 2006 039 925 B4 beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung des Kältemittelverlustes einer Kälteanlage, wobei während eines Stillstandes der Kälteanlage das Kältemittel von der Saugseite des Verdich-

ters abgesaugt, auf die Druckseite des Verdichters gefördert und in einem Kältemittelspeicher gespeichert wird, wobei das Absaugen bis zu einem vorgegebenen Druck auf der Saugseite des Verdichters erfolgt, der sich auf der Druckseite des Verdichters einstellende Hochdruck gemessen und der gemessene Hochdruck mit dem sich bei der Sollfüllmenge des Kältemittels ergebenden Referenzhochdruck verglichen wird.

**[0006]** Die DE 10 2011 101 922 A1 beschreibt einen Kühlkreis mit einem Verdichter, einem Verflüssiger und einem Verdampfer, wobei in Strömungsrichtung nach dem Verflüssiger und vor dem Verdampfer ein Sperrventil vorgesehen ist, um den Kühlkreis für einen Messbetrieb wahlweise zu sperren, und wobei an dem Verflüssiger eine Wägeeinrichtung vorgesehen ist, um während des Messbetriebs den Verflüssiger zusammen mit dem dann enthaltenen Kältemittel zu wiegen.

**[0007]** Bei solchen in die Kälteanlage eingebundenen Überwachungssystemen ist ein genaues Ermitteln der Kältemittelfüllmenge und somit eine zuverlässige Überwachung ermöglicht, indem der reguläre Betrieb der Kälteanlage unterbrochen wird und die Kälteanlage zum Erfassen der Kältemittelfüllmenge in einen definierten Messmodus versetzt wird. Zwar kann auch eine Messung während des laufenden regulären Betriebs durchgeführt werden, jedoch ist eine solche Messung mittels herkömmlicher Verfahren mit einer hohen Ungenauigkeit verbunden und somit unzuverlässig, da die zum Erfassen der Füllmittelmenge herangezogenen Messgrößen (wie z. B. Druck und Temperatur an vorgegebenen Positionen des Kältemittelkreislaufs) während des regulären Betriebs der Kälteanlage auch bei konstanter Kältemittelfüllmenge zeitlichen Schwankungen unterworfen sind, z. B. aufgrund von Lastschwankungen, Kältemittelverschleppung und allgemeinen stochastischen Einflüssen.

**[0008]** Durch die Erfindung wird ein Verfahren zum Überwachen von stochastisch schwankenden Füllständen, wie sie zum Beispiel in technischen Anlagen der Kältetechnik, verfahrenstechnischen und chemischen Industrie anzutreffen sind, insbesondere jedoch zum Überwachen der Kältemittelfüllmenge einer Kälteanlage, bereitgestellt, mittels dessen eine zuverlässige Überwachung auch während des laufenden regulären Betriebs der Kälteanlage ermöglicht ist. Zudem wird mittels der Erfindung eine Kälteanlage mit einer zum Durchführen eines solchen Verfahrens ausgebildeten Überwachungsvorrichtung bereitgestellt.

**[0009]** Gemäß der Erfindung wird ein Verfahren zum Überwachen der Kältemittelfüllmenge in dem Kältemittelkreislauf einer Kälteanlage in Form einer Kompressionskältemaschine bereitgestellt, wobei der Kältemittelkreislauf einen Verdampfer, einen Kompressor und einen Kondensator aufweist. Gemäß dem Verfahren wird über einen vorgegebenen Zeitraum hinweg, z. B. mittels eines entsprechenden Sensors, eine von der Kältemittelfüllmenge abhängige Messgröße (im Folgenden auch als "füllmengensensitive Messgröße" bezeichnet) erfasst. Als füllmengensensitive Messgröße kann z.B. der

Kältemittelfüllstand eines Kältemittelreservoirs der Kälteanlage oder die Unterkühlung des flüssigen Kältemittels am Austritt eines Verflüssigers der Kälteanlage erfasst werden. Im ersten Fall weist die Kälteanlage ein Kältemittelreservoir auf, wobei der Kältemittelfüllstand des Kältemittelreservoirs mittels eines FüllstandSensors erfasst wird. Im zweiten Fall weist die Kälteanlage einen Verflüssiger auf, wobei die am Austritt des Verflüssigers vorliegende Unterkühlung des flüssigen Kältemittels mittels eines Temperatur-Sensors erfasst wird.

**[0010]** Basierend auf den erfassten Messwerten wird eine Häufigkeitsverteilung (im Folgenden auch als "Ist-Häufigkeitsverteilung" bezeichnet) erstellt, die beschreibt, wie häufig ein bestimmter Messwert der Messgröße innerhalb des vorgegebenen Zeitraums vorlag. In einem nächsten Schritt wird die so ermittelte Ist-Häufigkeitsverteilung mit einer oder mehreren Referenz-Häufigkeitsverteilungen verglichen, wobei eine solche Referenz-Häufigkeitsverteilung z. B. einen definierten Soll-Betriebszustand bzw. Normzustand der Kälteanlage mit einer bekannten und ausreichenden Kältemittelfüllmenge repräsentiert. Ein solcher Normzustand kann z. B. anlagenspezifisch sein und kann in einer Initialisierungsphase ermittelt sowie nachfolgend - z. B. als Reaktion auf Kältemittelnachfüllungen - stetig aktualisiert werden. Es wird ein Versatz zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und einer oder mehreren der Referenz-Häufigkeitsverteilungen (z. B. eine Verschiebung der Ist-Häufigkeitsverteilung gegenüber einer der Referenz-Häufigkeitsverteilungen) ermittelt und basierend auf dem ermittelten Versatz die Kältemittelfüllmenge bzw. der Kältemittelfüllzustand der Kälteanlage bewertet.

**[0011]** Die überwachte Kompressionskältemaschine weist z. B. einen Kältemittelkreislauf mit einem Verdampfer, einem Kompressor und einem Kondensator auf. Bei einer Veränderung der gesamten im Kältemittelkreislauf befindlichen Kältemittelfüllmenge ändern sich auch die Werte unterschiedlicher Parameter an unterschiedlichen Positionen des Kältemittelkreislaufs, wobei solche Parameter somit als füllmengensensitive Messgröße herangezogen werden können.

**[0012]** So kann die Kälteanlage z. B. ein Kältemittelreservoir aufweisen, wobei eine Veränderung der Kältemittelfüllmenge mit einer Änderung des Kältemittelfüllstandes in dem Kältemittelreservoir einhergeht und somit der Kältemittelfüllstand als füllmengensensitive Messgröße vorgesehen sein kann. Die Kälteanlage kann dementsprechend einen Füllstand-Sensor zum Erfassen des Kältemittelfüllstandes aufweisen.

**[0013]** Des Weiteren geht eine Änderung der Kältemittelfüllmenge mit einer Änderung der Temperatur an vorgegebenen Positionen des Kältemittelkreislaufes einher - z. B. mit einer Änderung der Unterkühlung des flüssigen Kältemittels am Austritt von Verflüssigern der Kälteanlage, die aufgrund ihrer Gestaltung eine Flüssigkeitsunterkühlung hervorrufen können (z. B. Verflüssiger in Rohrbündel- oder Röhrenkesselbauart mit Kondensation am Rohr im Mantelraum oder in Plattenbauart) - sodass eine

solche Temperatur ebenfalls als füllmengensensitive Messgröße vorgesehen sein kann. Zum Erfassen der Temperatur kann die Kälteanlage einen entsprechend positionierten Temperatursensor aufweisen.

**[0014]** Als ein weiteres Beispiel geht eine Änderung der Kältemittelfüllmenge mit einer Änderung des Druckes an vorgegebenen Positionen des Kältemittelkreislaufes einher, sodass ein solcher Druck ebenfalls als füllmengensensitive Messgröße vorgesehen sein kann. Zum Erfassen des Druckes kann die Kälteanlage einen entsprechend positionierten Drucksensor aufweisen.

**[0015]** Zudem geht eine Änderung der Kältemittelfüllmenge mit einer Änderung der Frequenz und des Größenspektrums von Gasblasen in flüssigkeitsführenden Kältemittelleitungen des Kältemittelkreislaufes einher, sodass diese Größen ebenfalls als füllmengensensitive Messgröße vorgesehen sein können. Zum Erfassen der Gasblasen-Frequenz (Anzahl von Gasblasen pro Zeit) und des Größenspektrums kann die Kälteanlage entsprechend positionierte (z. B. optische) Sensoren aufweisen.

**[0016]** Die Werte solcher (von der Kältemittelfüllmenge selbst verschiedenen) füllmengensensitiven Parameter bzw. Messgrößen sind ein Maß für die in dem Kältemittelkreislauf der Kälteanlage vorhandene Kältemittelfüllmenge, wobei eine Veränderung des Wertes einer solchen füllmengensensitiven Messgröße auf eine Veränderung der Kältemittelfüllmenge schließen lässt. So kann eine Verringerung des Flüssigkeitsfüllstandes bzw. Kältemittelfüllstandes in einem Kältemittelreservoir z. B. auf einen Kältemittelverlust hindeuten, wohingegen eine Erhöhung des Kältemittelfüllstandes in dem Kältemittelreservoir z. B. auf eine Kältemittelnachfüllung hindeuten kann.

**[0017]** Wie oben beschrieben, sind jedoch die Momentanwerte solcher füllmengensensitiver Messgrößen während des regulären Betriebs der Kälteanlage - auch wenn die gesamte im Kältemittelkreislauf vorhandene Kältemittelfüllmenge konstant bleibt - starken zeitlichen Schwankungen unterworfen, wobei solche Schwankungen z. B. durch Lastschwankungen, Kältemittelverschleppung, zeitliche Veränderungen der Betriebsbedingungen bei dynamischer Betriebsweise, und allgemeine stochastische Einflüsse hervorgerufen werden können. So bewirken z. B. Lastschwankungen und Veränderungen der Betriebsbedingungen Verschiebungen der auf der Hochdruckseite und der Niederdruckseite des Kältemittelkreislaufs akkumulierten Kältemittelmengen, so dass z. B. auch der Kältemittelfüllstand in einem Kältemittelreservoir entsprechenden Schwankungen unterworfen ist. Bei Kälteanlagen mit trockener Verdampfung ist der zum Ausgleich von Lastschwankungen und Veränderungen der Betriebsbedingungen erforderliche Kältemittelüberschuss meist auf der Hochdruckseite gepuffert. Abhängig von der Anlagenbauart dient als Puffer bzw. Kältemittelreservoir z. B. entweder ein nach dem Verflüssiger angeordneter Flüssigkeitssammler bzw. Kondensatsammler oder der Flüssigkeitssumpf eines

Rohrbündel- bzw. Röhrenkesselverflüssigers. Veränderungen der im Kältemittelkreislauf befindlichen gesamten Kältemittelfüllmenge führen daher u.a. zu Veränderungen solcher hochdruckseitig akkumulierter Kältemittelmengen und entsprechenden Veränderungen des Kältemittelfüllstandes in einem solchen hochdruckseitigen Kältemittelreservoir.

**[0018]** Aufgrund der - auch bei unveränderlicher Kältemittelfüllmenge auftretenden, nicht eindeutig reproduzierbaren - zeitlichen Schwankungen der Messwerte der füllmengensensitiven Messgrößen weisen registrierte Zeitreihen, die den zeitlichen Verlauf der Messwerte einer füllmengensensitiven Messgröße beschreiben, ebenfalls entsprechende Schwankungen auf und sind stark stochastisch geprägt. Solche Zeitreihen sind daher nicht sicher reproduzierbar und bilden somit keine aussagekräftige, zuverlässige Vergleichsgrundlage bzw. Bewertungsgrundlage zur Bewertung der im Kältemittelkreislauf vorhandenen Kältemittelfüllmenge.

**[0019]** Gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren wird nicht eine Zeitreihe, die den zeitlichen Verlauf der Messwerte einer füllmengensensitiven Messgröße über einen vorgegebenen Zeitraum beschreibt, als Vergleichsgrundlage zur Überwachung der Kältemittelfüllmenge herangezogen. Stattdessen wird eine Häufigkeitsverteilung, die die Häufigkeit des Vorkommens eines bestimmten Messwerts einer füllmengensensitiven Messgröße innerhalb des vorgegebenen Zeitraums beschreibt, als Vergleichsgrundlage herangezogen. Es hat sich herausgestellt, dass bei gleichem oder ähnlichem Betriebsablauf der Kälteanlage und bei gleicher oder ähnlicher Kältemittelfüllmenge auch bei stark voneinander abweichenden Zeitreihen aufgrund der stochastischen Natur der Messwertschwankungen die zugehörigen Häufigkeitsverteilungen einander sehr ähnlich sind und somit eine gute Vergleichsgrundlage zur Überwachung der Kältemittelfüllmenge darstellen. Indem gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren somit nicht Zeitreihen, sondern entsprechende Häufigkeitsverteilungen miteinander verglichen werden, kann die Vergleichsgrundlage weitgehend unabhängig von den während des regulären Betriebs der Kälteanlage auftretenden, stochastisch bedingten Schwankungen der Messwerte der füllmengensensitiven Messgrößen sein und somit eine zuverlässige Überwachung der Kältemittelfüllmenge auch während des regulären Betriebs der Kälteanlage realisiert werden. Insbesondere ist es nicht erforderlich, die Kälteanlage zur Überwachung der Kältemittelfüllmenge in einen definierten Betriebszustand zu versetzen bzw. den normalen Anlagenbetrieb für einen Messlauf zu unterbrechen.

**[0020]** Das vorgeschlagene Verfahren kann z. B. mittels eines Diagnosesystems mit einer entsprechenden Software realisiert werden und sowohl zur online- als auch zur offline-Diagnose der Betriebssituation verwendet werden. Das Diagnosesystem, mit dem das Verfahren betrieben wird, besteht z. B. aus einer Messeinrichtung zur kontinuierlichen Erfassung mindestens eines füllmengensensitiven Parameters sowie weiterer zur Beur-

teilung und Filterung von Betriebszuständen heranziehbarer Parameter (z. B. Saugdruck, Gegendruck, Saugtemperatur, Verdichter-Leistungsstufen/ -antriebsdrehzahl/ -frequenz), sowie ggf. einer Einrichtung zur Überwachung von Indikatoren zur Feststellung spezieller Anlagenbetriebsweisen (z. B. Wärmerückgewinnung, Klima-/Wärmepumpenregime). Die Software zur online oder offline-Diagnose der Betriebssituation der überwachten Kälteanlage weist z. B. eine Datenschnittstelle zur kontinuierlichen oder gepufferten Übernahme von Datenpaketen, ein Filter zwecks Eingrenzung für die Systembeschreibung und Auswertung zulässiger Betriebsbedingungen, ein Modul zur Erzeugung von Referenz-Häufigkeitsverteilungen bzw. Referenz-Mustern von Normzuständen und zur Erzeugung von Ist-Häufigkeitsverteilungen eines Ist-Zustands der Kälteanlage sowie zum Vergleich von Norm- und Ist-Zustand, und ein Modul zur Interpretation des Zustandsvergleichs, ggf. unter Berücksichtigung weiterer Systemzustandsdaten auf. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass nicht nur eine einzige, sondern mehrere füllmengensensitive Messgrößen jeweils über einen vorgegebenen Zeitraum hinweg erfasst werden (wobei z. B. für unterschiedliche Messgrößen unterschiedliche Zeiträume vorgegeben sein können), für jede dieser Messgrößen eine Ist-Häufigkeitsverteilung der Messwerte der Messgröße erstellt wird und ein Versatz dieser Ist-Häufigkeitsverteilung bezüglich einer oder mehrerer für die jeweilige Messgröße vorgesehener Referenz-Häufigkeitsverteilungen ermittelt wird, und basierend auf den für alle Messgrößen ermittelten Versatzwerten der Kältemittelfüllzustand bewertet wird.

**[0021]** Die als Vergleichsgrundlage herangezogenen Referenz-Häufigkeitsverteilungen können z. B. vorgegebene Häufigkeitsverteilungen sein, die unter kontrollierten Laborbedingungen bei Vorliegen bekannter, definierter Betriebsparameter (z. B. mit bekannten, unterschiedlichen Kältemittelfüllmengen und zeitlichen Betriebsabläufen) erstellt werden, so dass jede dieser Referenz-Häufigkeitsverteilungen einen definierten Betriebszustand der Kälteanlage kennzeichnet. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass die Referenz-Häufigkeitsverteilungen in einer Lernphase bzw. Initialisierungsphase automatisiert erlernt werden, z. B. indem über mehrere vorgegebene Zeiträume hinweg Häufigkeitsverteilungen eines füllmengensensitiven Messwerts aufgenommen werden, miteinander verglichen werden, und bei hinreichender Übereinstimmung dieser Häufigkeitsverteilungen dieselben als Referenz-Häufigkeitsverteilungen verwendet werden oder aus denselben (z. B. durch Mittelung) eine Referenz-Häufigkeitsverteilung gebildet wird. Alternativ können die Referenz-Häufigkeitsverteilungen jedoch auch auf beliebige andere Weise erstellt sein, z. B. durch externe Vorgabe (z. B. basierend auf Erfahrungswerten) einer beliebigen Kurvenform oder Funktionalabhängigkeit. Der Versatz der Ist-Häufigkeitsverteilung von einer der Referenz-Häufigkeitsverteilungen kann z. B. durch eine Verschiebung der Ist-

Häufigkeitsverteilung gegenüber der Referenz-Häufigkeitsverteilung gegeben sein.

**[0022]** Während des vorgegebenen Zeitraums können die Messwerte der füllmengensensitiven Messgrößen z. B. kontinuierlich oder auch diskret (in vorgegebenen, z. B. äquidistanten, Zeitintervallen) erfasst werden. Das Überwachungsverfahren eignet sich insbesondere für Kälteanlagen mit mehreren verzweigt angeordneten Kühlstellen, z. B. für eine Kälteanlage in einem Supermarkt, da eine zentrale Erfassung der füllmengensensitiven Messgröße an einer einzigen Position der Kälteanlage genügt.

**[0023]** Das Verfahren kann z. B. zum Ermitteln der Kältemittelfüllmenge an sich oder zum Erfassen einer Veränderung der Kältemittelfüllmenge (z. B. aufgrund einer Kältemittel-Leckage) vorgesehen sein. Es kann vorgesehen sein, ein Signal auszugeben, falls der Betrag des ermittelten Versatzes zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und einer der Referenz-Häufigkeitsverteilungen einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet; wobei das Signal z. B. ein akustisches oder optisches Signal oder eine Textmitteilung sein kann.

**[0024]** Die Ist-Häufigkeitsverteilung und die Referenz-Häufigkeitsverteilungen können absolute oder relative (d. h. bezüglich der Gesamtanzahl der innerhalb des vorgegebenen Zeitraums erfassten Messwerte normierte) Häufigkeitsverteilungen sein. Bei der Verwendung relativer Häufigkeitsverteilungen ist z. B. auch bei unterschiedlicher Anzahl von zugrunde liegenden Messwerten ein aussagekräftiger Vergleich zweier Häufigkeitsverteilungen ermöglicht.

**[0025]** Gemäß einer Ausführungsform wird die Kälteanlage periodisch betrieben, wobei der vorgegebene Zeitraum (zur Ermittlung der Ist-Häufigkeitsverteilung) einer Betriebsperiode der Kälteanlage entspricht.

**[0026]** Gemäß der vorliegenden Ausführung wird die Kälteanlage periodisch betrieben, d. h. der zeitliche Betriebsablauf der Kälteanlage weist eine Periodizität auf (wobei die oben beschriebenen stochastischen Schwankungen jedoch nicht dieser Periodizität folgen). Viele Kälteanlagen folgen z. B. an aufeinanderfolgenden Tagen stets ein und demselben Betriebsablauf, wobei die Periodendauer somit als Beispiel 24 Stunden beträgt. Zum Beispiel folgen in Supermärkten eingesetzte Kälteanlagen einerseits an aufeinanderfolgenden verkaufsoffenen Tagen bei Zugrundelegung dieses Zeitraumes einem Betriebsablauf mit einer Periodendauer von 24 Stunden, andererseits bei Berücksichtigung von z. B. nicht verkaufsoffenen Sonntagen bei Zugrundelegung dieses Zeitraumes auch einem Betriebsablauf mit einer Periodendauer von 1 Woche.

**[0027]** Die Betriebsperiodendauer ist der kleinste Zeitraum, während dessen alle für die Häufigkeitsverteilung der Messwerte der füllmengensensitiven Größen relevanten Einflussgrößen vollständig erfasst und berücksichtigt werden können. Indem der der Ermittlung der Häufigkeitsverteilung zugrunde liegende Zeitraum genau einer Betriebsperiodendauer entspricht, ist somit ei-

ne zuverlässige Überwachung des Kältemittelfüllstandes bei zugleich kleiner Ansprechzeit ermöglicht. Zudem lassen sich periodische Vorgänge gut durch charakteristische, eine Betriebsperiode repräsentierende Muster (hier: charakteristische Häufigkeitsverteilungen) charakterisieren.

**[0028]** Es kann auch vorgesehen sein, dass der für die Erstellung der Häufigkeitsverteilung vorgegebene Zeitraum nicht einer vollständigen Betriebsperiode der Kälteanlage entspricht, sondern lediglich einem charakteristischen Teilbereich bzw. Zeitbereich einer solchen Periodendauer. Zum Beispiel kann vorgesehen sein, zur Auswertung der Kältemittelfüllmenge lediglich den Nachtbetrieb einer Kälteanlage bzw. den Nachtzeitraum einer entsprechenden Betriebsperiode der Kälteanlage als vorgegebenen Zeitraum heranzuziehen.

**[0029]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird zumindest eine der Referenz-Häufigkeitsverteilungen erstellt, indem die füllmengensensitive Messgröße über einen Referenz-Zeitraum hinweg erfasst wird (z. B. während des regulären Betriebs der Kälteanlage) und die Referenz-Häufigkeitsverteilung beschreibt, wie häufig ein bestimmter Messwert der Messgröße innerhalb des Referenz-Zeitraums vorlag, wobei der Referenz-Zeitraum die gleiche Dauer hat wie der vorgegebene Zeitraum.

**[0030]** Gemäß dieser Ausführung können z. B. - insbesondere wenn der der Erstellung der Häufigkeitsverteilungen zugrunde liegende Zeitraum einer Betriebsperiode der Kälteanlage entspricht - in einer Lernphase Referenz-Häufigkeitsverteilungen automatisiert erlernt werden, z. B. indem über mehrere Betriebsperiodendauern hinweg Häufigkeitsverteilungen ermittelt werden, miteinander verglichen werden, und bei hinreichender Übereinstimmung dieser Häufigkeitsverteilungen dieselben als in Form von Referenz-Häufigkeitsverteilungen vorliegende Referenz-Muster verwendet werden oder aus denselben (z. B. durch Mittelung) ein in Form einer Referenz-Häufigkeitsverteilung vorliegendes Referenz-Muster gebildet wird.

**[0031]** Insbesondere wurde festgestellt, dass bei Erfassung von Häufigkeitsverteilungen über periodische Zeiträume hinweg für eine jeweilige Kälteanlage die Häufigkeitsverteilungen in typische Muster bzw. Mustertypen eingeteilt und klassifiziert werden können, wobei diese Muster sich bei Veränderungen der Kältemittelfüllmenge verschieben, und wobei die Struktur der Muster (z. B. mehrere Maxima und Minima der Häufigkeitsverteilung) bei einer solchen Verschiebung in sich erhalten bleibt. So verschieben sich diese Muster bzw. Häufigkeitsverteilungen z. B. bei Auftreten einer Leckage und damit einhergehendem Kältemittelverlust in Richtung der Klassen niedrigerer Kältemittelfüllmengen, bei Kältemittelauffüllungen in Richtung der Klassen höherer Kältemittelfüllmengen.

**[0032]** Gemäß einer Ausführungsform wird der Messwerte-Bereich der füllmengensensitiven Messgröße in mehrere (z. B. gleich breite) Klassen aufgeteilt, wobei

die Ist-Häufigkeitsverteilung und zumindest eine der Referenz-Häufigkeitsverteilungen dementsprechend klassifizierte Häufigkeitsverteilungen sind.

**[0033]** Am Beispiel des Kältemittelfüllstandes in einem Kältemittelreservoir als füllmengensensitiver Messgröße kann z. B. vorgesehen sein, den Messwertebereich des Füllstandes in 10 Klassen einzuteilen, wobei die Breite jeder der Klassen 10% des maximal möglichen Füllstandes beträgt.

**[0034]** Indem die Häufigkeitsverteilungen als klassifizierte Häufigkeitsverteilungen gebildet werden, kann der Einfluss stochastischer Schwankungen der füllmengensensitiven Messwerte auf die entstehende Häufigkeitsverteilung noch weiter abgeschwächt werden und somit eine gegenüber solchen Schwankungen unanfälligere Überwachung der Kältemittelfüllmenge ermöglicht werden.

**[0035]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird die Differenz zwischen einem charakteristischen Parameter (z. B. einem Extremum, dem Schwerpunkt, dem Median usw.) der Ist-Häufigkeitsverteilung und dem entsprechenden Parameter einer der Referenz-Häufigkeitsverteilungen als der Versatz zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und der Referenz-Häufigkeitsverteilung ermittelt.

**[0036]** Zum Beispiel kann vorgesehen sein, dass der Versatz bzw. der (vorzeichenbehaftete) Abstand zwischen einem Maximum der Ist-Häufigkeitsverteilung und einem Maximum einer der Referenz-Häufigkeitsverteilungen als der Versatz zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und der Referenz-Häufigkeitsverteilung ermittelt wird.

**[0037]** Am Beispiel des Kältemittelfüllstandes in einem Kältemittelreservoir als füllmengensensitiver Messgröße kann es z. B. als eine Reduzierung der Kältemittelfüllmenge durch eine Leckage gewertet werden, wenn das (globale) Maximum der Ist-Häufigkeitsverteilung gegenüber dem (globalen) Maximum einer Referenz-Häufigkeitsverteilung hin zu geringeren Kältemittelfüllständen versetzt bzw. verschoben ist. Andererseits kann es z. B. als eine Erhöhung der Kältemittelfüllmenge durch Kältemittelnachfüllung gewertet werden, wenn das (globale) Maximum der Ist-Häufigkeitsverteilung gegenüber dem (globalen) Maximum einer Referenz-Häufigkeitsverteilung hin zu höheren Kältemittelfüllständen versetzt bzw. verschoben ist.

**[0038]** Es kann jedoch auch vorgesehen sein - z. B. falls die Ist-Häufigkeitsverteilung und/oder die Referenz-Häufigkeitsverteilung kein eindeutig definiertes (globales) Maximum aufweist - andere charakteristische Größen bzw. Parameter dieser Häufigkeitsverteilungen (z. B. den Schwerpunkt, den Median, aufsteigende oder abfallende Flanken im Kurvenverlauf) für die Ermittlung des Versatzes heranzuziehen und z. B. den Versatz bzw. den Abstand zwischen dem Schwerpunkt der Ist-Häufigkeitsverteilung und dem Schwerpunkt der Referenz-Häufigkeitsverteilung als den Versatz der Ist-Häufigkeitsverteilung bezüglich der Referenz-Häufigkeitsverteilung zu er-

mitteln.

**[0039]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfolgt das Ermitteln des Versatzes zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und zumindest einer der Referenz-Häufigkeitsverteilungen mittels einer Mustererkennung. Gemäß dieser Ausführungsform fungiert jede der Referenz-Häufigkeitsverteilungen als ein Referenz-Muster bzw. Referenz-Mustertyp, wobei die Ist-Häufigkeitsverteilung einem Klassifikator zugeführt wird (d. h. einem Klassifikationsverfahren unterzogen wird) und mittels des Klassifikators einem der Referenz-Mustertypen zugeordnet wird. Indem der Versatz zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und der Referenz-Häufigkeitsverteilung mittels Mustererkennung ermittelt wird und somit nicht auf lediglich einem einzigen Merkmal (wie z. B. dem Schwerpunkt) der Häufigkeitsverteilungen basiert, kann das Überwachungsverfahren noch stabiler und zuverlässiger arbeiten. Der Einsatz einer solchen Mustererkennung ist insbesondere bei der Überwachung periodisch betriebener Kälteanlagen vorgesehen, da hier eben aufgrund der Periodizität typische, gut charakterisierbare und klassifizierbare Muster registriert werden können.

**[0040]** Es kann vorgesehen sein, den Versatz bzw. Abstand (parallel zu der Messwert-Koordinate der Häufigkeitsverteilung) zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und dem Referenz-Muster, dem die Ist-Häufigkeitsverteilung zugeordnet wurde, als Versatz zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und der Referenz-Häufigkeitsverteilung zu erfassen.

**[0041]** Es kann auch vorgesehen sein, den Versatz zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und dem Referenz-Muster, dem die Ist-Häufigkeitsverteilung (mittels des Klassifikators) zugeordnet wurde, zu ermitteln, indem die Ist-Häufigkeitsverteilung derart (parallel zu der Messwert-Koordinate der Häufigkeitsverteilung) verschoben wird, dass die Abweichung zwischen der verschobenen Ist-Häufigkeitsverteilung und dem Referenz-Muster minimiert ist, und die zur Minimierung erforderliche Verschiebung als der Versatz erfasst wird. Die Minimierung der Abweichung zwischen der verschobenen Ist-Häufigkeitskurve und dem Referenz-Muster kann mittels üblicher, dem Fachmann bekannter Minimierungsverfahren durchgeführt werden.

**[0042]** Gemäß einer Ausführungsform mit Mustererkennung liegen mehrere Referenz-Häufigkeitsverteilungen vor, wobei jede der Referenz-Häufigkeitsverteilungen als ein Referenz-Muster bzw. Referenz-Mustertyp fungiert, wobei jeder dieser Referenz-Mustertypen mittels parametrierbarer Zugehörigkeitsfunktionen unscharf definiert ist und die Ist-Verteilung mittels eines Fuzzy-Klassifikators einem der Referenz-Mustertypen zugeordnet wird.

**[0043]** Die unscharfe Beschreibung der Referenz-Muster im Rahmen der Fuzzylogik ermöglicht z. B. eine Erkennung nicht identischer, jedoch einander ähnlicher Häufigkeitsverteilungen als zu demselben Muster bzw. Mustertyp zugehörig.

**[0044]** Es kann z. B. vorgesehen sein, die Ist-Häufig-

keitsverteilung und die Referenz-Häufigkeitsverteilungen als klassifizierte Häufigkeitsverteilungen zu bilden und jedes der in Form der Referenz-Häufigkeitsverteilungen vorliegenden Referenz-Muster mittels Zugehörigkeitsfunktionen unscharf zu definieren, indem jede Referenz-Häufigkeitsverteilung in jeder der Klassen über strukturell gleiche (bevorzugt asymmetrische) Zugehörigkeitsfunktionen unscharf beschrieben wird. Das Erstellen solcher typischen Referenz-Muster bzw. Referenz-Häufigkeitsverteilungen kann durch ein automatisiertes Lernverfahren oder durch die Vorgabe von Expertenwissen erfolgen (Lernphase), wobei einem Normzustand der Kälteanlage entsprechende Vergleichsmuster erzeugt werden. In der Arbeitsphase liefert dann z. B. eine periodische Auswertung von Zeitabschnitten (on-/offline) jeweils eine aktuelle Ist-Häufigkeitsverteilung mengensensitiver Parameterwerte in jeder Klasse. Die aktuelle Ist-Häufigkeitsverteilung wird anschließend einem Fuzzy-Pattern-Klassifikator zugeführt, der mit den speziellen Parametern eines zu vergleichenden Referenz-Musters arbeitet und eine unscharfe Zugehörigkeit (Sympathiewert) zu diesem Referenz-Muster ermittelt. Die aktuelle Ist-Häufigkeitsverteilung wird dabei so verschoben, dass der Sympathiewert ein Maximum für dieses Referenz-Muster erreicht. Ist dieser Sympathiewert niedriger als ein vorgegebener Grenzwert, gilt das Referenz-Muster als nicht identifiziert. Das nächste Referenz-Muster wird mit der gleichen Prozedur gescannt. Wird ein der Ist-Häufigkeitsverteilung entsprechendes Referenz-Muster erkannt (z. B. indem der ermittelte Sympathiewert größer ist als ein vorgegebener Grenzwert) kann durch Feststellen des Versatzes zwischen der aktuellen Ist-Häufigkeitsverteilung und diesem Referenz-Muster festgestellt werden, ob eine Musterverschiebung vorliegt. Eine Musterverschiebung wird als Indiz für eine mögliche Veränderung der Kältemittel-füllmenge interpretiert. Für eine sichere Bewertung der Musterverschiebung können ggf. weitere Indikatoren einbezogen werden.

**[0045]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform, wobei der Kältemittelfüllstand in einem Kältemittelreservoir der Kälteanlage als füllmengensensitive Messgröße vorgesehen ist, wird ein Versatz der Ist-Häufigkeitsverteilung gegenüber der Referenz-Häufigkeitsverteilung hin zu höheren Füllständen als Kältemittelauffüllung gewertet.

**[0046]** Des Weiteren wird gemäß der Erfindung eine Kälteanlage mit einer Überwachungsvorrichtung bereitgestellt, wobei die Überwachungsvorrichtung zum Durchführen des Überwachungsverfahrens nach einer der vorstehend beschriebenen Ausführungen ausgebildet ist.

**[0047]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen erläutert, wobei gleiche oder ähnliche Merkmale mit gleichen Bezugszeichen versehen sind. In den Zeichnungen zeigen:

**Figur 1** eine schematische Illustration eines Kältemit-

telreservoirs einer Kälteanlage mit einem Kältemittelfüllstand-Sensor;

**Figur 2** eine schematische Illustration eines Zeitverlaufs des Kältemittelfüllstandes in dem Kältemittelreservoir gemäß Figur 1;

**Figur 3** eine schematische Illustration zur Erläuterung eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der Erfindung; und

**Figur 4** eine schematische Illustration zur Erläuterung eines Verfahrens gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung; und

**Figur 5** eine schematische Illustration zur Erläuterung einer Mustererkennung mittels unscharfer Beschreibung von Häufigkeitsverteilungen.

**[0048]** Figur 1 veranschaulicht ein Kältemittelreservoir 1 einer nicht näher dargestellten Kälteanlage 2 in Form einer Kompressionskältemaschine 2, wobei das Kältemittelreservoir 1 in den Kältemittelkreislauf 3 der Kälteanlage eingebunden ist und zum Aufnehmen bzw. Zwischenpuffern von flüssigem Kältemittel 5 vorgesehen ist. Das Kältemittelreservoir 3 ist mit einem Kältemittelfüllstandsensor 7 in Form einer Stab-Füllstandssonde zum Erfassen des Kältemittelfüllstandes in dem Kältemittelreservoir 1 versehen. Eine Veränderung der gesamten in der Kälteanlage 2 bzw. dem Kältemittelkreislauf 3 befindlichen Kältemittelfüllmenge führt zu einer Änderung des Kältemittelfüllstandes in dem Kältemittelsammler bzw. Kältemittelreservoir 1; d. h., der Kältemittelfüllstand stellt eine füllmengensensitive Messgröße dar.

**[0049]** Die Kälteanlage 2 ist eine periodisch betriebene Kompressionskältemaschine 2. Figur 2 veranschaulicht den zeitlichen Verlauf der Messwerte des Kältemittelfüllstandes F in dem Kältemittelreservoir 1 während des regulären Betriebs der Kälteanlage 2, wobei der Kältemittelfüllstand F als Angabe in Prozent "%" des maximal möglichen Füllstandes (d. h. bezogen auf den maximal möglichen Füllstand) über der Zeit t aufgetragen ist. Als Beispiel ist der zeitliche Verlauf des Kältemittelfüllstandes F für zwei Periodendauern T des zeitlichen Betriebsablaufs der Kälteanlage 2 veranschaulicht, wobei die gesamte im Kältemittelkreislauf 3 vorhandene Kältemittelfüllmenge während dieser Zeit konstant ist. Die Zeitentwicklung des Kältemittelfüllstandes F gemäß Figur 2 repräsentiert als Beispiel einen definierten fehlerfreien Referenz-Betriebszustand bzw. Normzustand der Kälteanlage 2 mit einer bekannten und ausreichenden Kältemittelfüllmenge F. Wie aus Figur 2 ersichtlich, schwankt die füllmengensensitive Messgröße in Form des Kältemittelfüllstandes F trotz konstanter Kältemittelfüllmenge beträchtlich (z. B. aufgrund von stochastischen Einflüssen), wobei der zeitliche Verlauf des Kältemittelfüllstandes F entsprechend stark stochastisch geprägt ist und somit der Vergleich des Zeitverlaufs des Kältemittelfüllstandes F innerhalb der ersten Periodendauer T1 mit dem Zeitverlauf des Kältemittelfüllstandes F innerhalb der zweiten Periodendauer T2 nicht als Vergleichsgrundlage zur genauen und zuverlässigen Überwachung der Kältemit-

telfüllmenge geeignet ist.

**[0050]** Jedoch sind die Häufigkeitsverteilungen, die beschreiben, wie oft ein bestimmter Messwert des Füllstandes  $F$  während einer Betriebsperiode  $T$  der Kälteanlage vorkommt, im Wesentlichen unabhängig von den stochastisch bedingten Schwankungen der entsprechenden Zeitverläufe; wobei sich vor allem bei Zugrundelegung periodischer Zeitabläufe charakteristische Muster der Häufigkeitsverteilungen für die jeweilige Kälteanlage registrieren lassen, die sich bei einer Änderung der Kältemittelfüllmenge zwar verschieben, dabei aber ihre Struktur im Wesentlichen beibehalten. So sind als Beispiel die Häufigkeitsverteilungen der Messwerte des Kältemittelfüllstandes  $F$  innerhalb der ersten Periodendauer  $T_1$  und der zweiten Periodendauer  $T_2$  gemäß Figur 2 nahezu identisch, und sind in Figur 3 als (eine einzige) Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  veranschaulicht. Die Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  repräsentiert somit einen definierten, fehlerfreien Normzustand der Kälteanlage 2.

**[0051]** Zur Überwachung des Kältemittelfüllstandes  $F$  während des laufenden Betriebs der Kälteanlage 2 wird nunmehr jeweils über den Zeitraum einer Periodendauer  $T$  hinweg der Kältemittelfüllstand  $F$  als füllmengensensitive Messgröße erfasst und eine Ist-Häufigkeitsverteilung erstellt, die beschreibt, wie häufig ein bestimmter Messwert des Kältemittelfüllstandes  $F$  innerhalb dieses Zeitraums  $T$  vorlag. In Figur 3 ist als Beispiel eine solche Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  eingezeichnet.

**[0052]** Figur 3 veranschaulicht die Häufigkeit  $P$  des Vorkommens eines Messwerts des Kältemittelfüllstandes  $F$  innerhalb des Zeitraums von einer Periodendauer  $T$  (d. h. jeder der Häufigkeitsverteilungen  $H_1$ ,  $R_1$  liegt ein Erfassungszeitraum von  $T$  zugrunde). Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird die füllmengensensitive Messgröße  $F$  kontinuierlich erfasst und sowohl die Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  als auch die Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  sind kontinuierliche Häufigkeitsverteilungen. Sowohl die Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  als auch die Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  sind relative Häufigkeitsverteilungen, wobei die Häufigkeit  $P$  ebenfalls in Prozent "%" angegeben ist, d. h. die relative Häufigkeit des Vorkommens eines Messwertes bezüglich der Gesamtanzahl der während des Zeitraums von einer Periodendauer  $T$  erfassten Messwerte widerspiegelt. Die Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  ist erstellt, indem der Füllstand  $F$  über einen Referenz-Zeitraum hinweg erfasst wird und die Häufigkeit des Vorkommens der jeweiligen Messwerte erfasst wird, wobei der Referenz-Zeitraum einer Periodendauer  $T$  entspricht und somit mit dem Erfassungszeitraum für die Erfassung der Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  identisch oder annähernd identisch ist.

**[0053]** Nunmehr wird der Versatz der Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  bezüglich der Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  ermittelt. Gemäß der Ausführung nach Figur 3 wird der Versatz ermittelt, indem der (vorzeichenbehaftete) Abstand bzw. Versatz 9 zwischen dem Maximum

$M_R$  der Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  und dem Maximum  $M_H$  der Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  als Versatz ermittelt wird. Gemäß Figur 3 liegt als Beispiel das Maximum  $M_R$  der Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  bei einem Füllstand  $F$  von ca. 70 % und das Maximum  $M_H$  der Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  bei einem Füllstand von ca. 60 %, was als ein Versatz der Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  gegenüber der Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  hin zu geringeren Kältemittelfüllständen gewertet wird und als Leckage signalisiert wird. Als ein anderes Beispiel würde ein Versatz der Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  gegenüber der Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  hin zu höheren Kältemittelfüllständen (nicht dargestellt) als Kältemittelauffüllung gewertet.

**[0054]** Es kann auch vorgesehen sein, bei der Ausführung gemäß Figur 3 den (vorzeichenbehafteten) Abstand bzw. Versatz 11 zwischen dem (arithmetischen) Mittelwert bzw. Schwerpunkt  $S_R$  der Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  und dem (arithmetischen) Mittelwert bzw. Schwerpunkt  $S_H$  der Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  als Versatz zu ermitteln.

**[0055]** Es kann ebenso vorgesehen sein, bei der Ausführung gemäß Figur 3 den (vorzeichenbehafteten) Abstand bzw. Versatz zwischen einer oder mehreren aufsteigenden und/oder abfallenden Flanken der Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_1$  und den äquivalenten Punkten bzw. Flanken der Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_1$  als Versatz zu ermitteln (nicht dargestellt).

**[0056]** Im Folgenden wird mit Bezug auf Figur 4 ein Überwachungsverfahren gemäß einer weiteren Ausführungsform beschrieben. Figur 4 veranschaulicht die relative Häufigkeit  $P$  des Vorkommens eines jeweiligen Messwerts des Kältemittelfüllstandes  $F$  innerhalb des Zeitraums von einer Periodendauer  $T$  des Betriebsablaufs der Kälteanlage 2. In Figur 4 sind als Beispiel eine dem momentanen Betriebszustand der Kälteanlage 2 entsprechende Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_2$  und zwei Referenz-Häufigkeitsverteilungen  $R_2$ ,  $R_3$  veranschaulicht. Die Verteilungen  $H_2$ ,  $R_2$  und  $R_3$  sind jeweils über den Zeitraum einer Periodendauer  $T$  hinweg registrierte Häufigkeitsverteilungen.

**[0057]** Im Unterschied zu Figur 3 ist bei der durch Figur 4 veranschaulichten Ausführungsform der Messwertebereich der Messgröße  $F$  in mehrere Klassen aufgeteilt, wobei die Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_2$  und die Referenz-Häufigkeitsverteilungen  $R_2$ ,  $R_3$  dementsprechend klassifizierte Häufigkeitsverteilungen sind. Der Messwertebereich des Kältemittelfüllstandes  $F$  ist in 10 aneinandergrenzende Klassen mit einer Klassenbreite von je 10 % des Maximal-Füllstandes von 100% unterteilt, wobei die der jeweiligen Klasse entsprechende Häufigkeit  $P$  jeweils in der Mitte des Wertebereichs dieser Klasse aufgetragen ist (in Figur 4 jeweils als größerer Punkt kenntlich gemacht). In Figur 4 sind die zu einer jeweiligen Häufigkeitsverteilung gehörenden Punkte zur besseren Verdeutlichung durch Linien miteinander verbunden; wobei die zu der Ist-Häufigkeitsverteilung  $H_2$  gehörenden Punkte und die zu der Referenz-Häufigkeitsverteilung  $R_2$



gehörenden Punkte jeweils durch durchgezogene Linien miteinander verbunden sind und die zu der Referenz-Häufigkeitsverteilung R3 gehörenden Punkte durch eine gestrichelte Linie miteinander verbunden sind.

**[0058]** Gemäß der vorliegenden Ausführung wird die erfasste Ist-Häufigkeitsverteilung H2 mit mehreren (hier: zwei) Referenz-Häufigkeitsverteilungen R2 und R3 verglichen, wobei die Referenz-Häufigkeitsverteilungen R2 und R3 jeweils als ein Referenz-Muster fungieren bzw. jeweils ein Referenz-Muster darstellen. Die Ist-Häufigkeitsverteilung H2 wird einem Klassifikator zugeführt und mittels des Klassifikators einem der beiden Referenz-Muster R2, R3 zugeordnet. Vorliegend ist zur besseren Veranschaulichung die Form der Ist-Häufigkeitsverteilung H2 identisch mit der Form der Referenz-Häufigkeitsverteilung R2; wohingegen die Form der Ist-Häufigkeitsverteilung H2 beträchtlich von der Form der Referenz-Häufigkeitsverteilung R3 abweicht. Die Ist-Häufigkeitsverteilung H2 wird daher dem Referenz-Mustertyp R2 zugeordnet.

**[0059]** Nunmehr wird der Versatz zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung H2 und dem Referenz-Muster R2 ermittelt, wobei dieser Versatz vorliegend der Verschiebung 13 der Ist-Häufigkeitsverteilung H2 bezüglich des Referenz-Musters R2 entspricht. Gemäß Figur 4 ist die Ist-Häufigkeitsverteilung H2 gegenüber dem Referenz-Muster R2 hin zu geringeren Kältemittelfüllständen F verschoben bzw. versetzt, was als Kältemittelverlust aufgrund einer Leckage gewertet wird.

**[0060]** Allgemein kann eine Ist-Häufigkeitsverteilung H2 z. B. wie folgt einem Referenz-Muster R2, R3 zugeordnet werden. Zunächst wird ein Maß für die Abweichung zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung H2 und einem jeweiligen Referenz-Muster R2, R3 definiert. Ein Maß für die Abweichung zwischen einer Ist-Häufigkeitsverteilung und einem Referenz-Muster kann z. B. erhalten werden, indem zunächst für jede Klasse der Betrag des Abstandes zwischen dem Häufigkeitswert der Ist-Häufigkeitsverteilung und dem Häufigkeitswert des Referenz-Musters (in dieser Klasse) ermittelt wird und so dann diese Beträge für alle Klassen aufsummiert werden. Nunmehr wird die Ist-Häufigkeitsverteilung derart (rechnerisch) entlang der Füllstandsklassen verschoben, dass die obige Summe für jedes Referenz-Muster minimiert ist, wobei dieser minimale Summenwert als Abweichung zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und dem jeweiligen Referenz-Muster angesehen wird. Der Minimalwert dieser Summe ist ein Gütekriterium für die Zuordnung der Ist-Häufigkeitsverteilung zu einem der Referenz-Muster, wobei die Ist-Häufigkeitsverteilung z. B. demjenigen Referenz-Muster zugeordnet wird, das unter allen Referenz-Mustern die geringste Abweichung zu der Ist-Häufigkeitsverteilung aufweist (d. h. die Ist-Häufigkeitsverteilung wird demjenigen Referenz-Muster zugeordnet, bezüglich dessen die zuvor definierte Abweichung minimiert ist). Nunmehr wird die Verschiebung der Ist-Häufigkeitsverteilung, die zum Minimieren der oben definierten Summe bezüglich dieses Referenz-Musters

erforderlich war, als der Versatz zwischen der Ist-Häufigkeitsverteilung und dem Referenz-Muster bzw. der Referenz-Häufigkeitsverteilung ermittelt.

**[0061]** Es kann auch vorgesehen sein, jede der klassifizierten Referenz-Häufigkeitsverteilungen R2, R3 gemäß Figur 4 in jeder Füllstandsklasse mittels parametrierbarer, asymmetrischer Zustandsfunktionen unscharf zu beschreiben und das Erkennen der Zugehörigkeit einer Ist-Häufigkeitsverteilung H2 zu einer solchen typischen Referenz-Häufigkeitsverteilung R2, R3 mittels eines Fuzzy-Klassifikators bzw. Fuzzy-Muster-Klassifikators durchzuführen.

**[0062]** Figur 5 veranschaulicht die Vorgehensweise bei der unscharfen Beschreibung einer klassifizierten Referenz-Häufigkeitsverteilung mittels asymmetrischer Zugehörigkeitsfunktionen in einer vorgegebenen Klasse. Als Beispiel zeigt der linke Graph in Figur 5 einen Ausschnitt mehrerer (hier: dreier) Referenz-Häufigkeitsverteilungen R4, R5 und R6, die ein und denselben Betriebszustand bzw. Normzustand der Kälteanlage repräsentieren (jedoch aufgrund stochastischer Schwankungen leicht unterschiedlich sind). Die Verteilungen R4, R5 und R6 weisen für die Füllstandsklasse mit dem Wertebereich von 70 % bis 80 % unterschiedliche Häufigkeitswerte P auf (in Figur 5 gekennzeichnet durch die größeren Punkte), d. h. auch bei gleichbleibendem Normzustand der Kälteanlage schwankt dieser Klassenwert in einem gewissen Bereich. Jedoch repräsentieren die Referenz-Häufigkeitsverteilungen R4, R5 und R6 alle ein und denselben Normzustand und sind einander sehr ähnlich, sie werden daher als zu ein und demselben Referenz-Muster zugehörig angesehen, wobei dieses Referenz-Muster wiederum durch die Funktionen R4, R5 und R6 wie folgt beschreibbar ist.

**[0063]** Die Schwankung des Klassenwertes für jede Füllstandsklasse (gemäß Figur 5 für die Füllstandsklasse mit dem Wertebereich von 70 % bis 80 %) ist für jede Klasse durch eine Zugehörigkeitsfunktion p beschreibbar; wobei die Zugehörigkeitsfunktion p beschreibt, mit welchem Gewicht ein gemessener Häufigkeitswert noch als zu dem durch die Referenz-Häufigkeitsverteilungen R4, R5 und R6 definierten Referenz-Muster zugehörig angesehen wird (veranschaulicht im rechten Graphen in Figur 5). Je mehr Referenz-Häufigkeitsverteilungen für ein und denselben Normzustand aufgenommen werden, desto genauer kann die Form der entsprechenden Zugehörigkeitsfunktion p ermittelt werden. Für jede Klasse wird eine solche Zugehörigkeitsfunktion p ermittelt; wobei durch die Gesamtheit aller dieser Zugehörigkeitsfunktionen wiederum eine unscharf beschriebene Referenz-Häufigkeitsverteilung definiert ist. Wird nun eine Ist-Häufigkeitsverteilung erfasst, wird für jede Füllstandsklasse dem Ist-Häufigkeitswert P mittels der Zugehörigkeitsfunktion p der jeweiligen Klasse ein Gewicht p(P) zugeordnet, welches beschreibt, wie groß die Übereinstimmung der Ist-Häufigkeitsverteilung mit der unscharf beschriebenen Referenz-Häufigkeitsverteilung in der betrachteten Klasse ist. Durch Auswertung dieser Ge-

wichte für alle Klassen mittels eines Fuzzy-Klassifikators kann eine aktuelle Ist-Häufigkeitsverteilung einer vorgegebenen, unscharf beschriebenen Referenz-Häufigkeitsverteilung zugeordnet werden und der Versatz zwischen diesen beiden Verteilungen ermittelt werden.

#### Liste der verwendeten Bezugszeichen

##### [0064]

1	Kältemittelreservoir	
2	Kälteanlage / Kompressionskältemaschine	
3	Kältemittelkreislauf	
5	Kältemittel	
7	Kältemittelfüllstandsensor	15
9	Abstand bzw. Versatz zwischen zwei Häufigkeitsverteilungs-Maxima	
11	Abstand bzw. Versatz zwischen zwei Häufigkeitsverteilungs-Schwerpunkten	
13	Abstand bzw. Versatz zwischen zwei klassifizierten Häufigkeitsverteilungen	20
F	(relativer) Kältemittelfüllstand	
t	Zeit	
T	Periodendauer / Betriebsperiode der Kälteanlage	
T1	erste Periodendauer	25
T2	zweite Periodendauer	
P	(relative) Häufigkeit	
R1	kontinuierliche Referenz-Häufigkeitsverteilung	
H1	kontinuierliche Ist-Häufigkeitsverteilung	
M <sub>R</sub>	Maximum von R1	30
M <sub>H</sub>	Maximum von H1	
S <sub>R</sub>	Schwerpunkt von R1	
S <sub>H</sub>	Schwerpunkt von H1	
R2	klassifizierte Referenz-Häufigkeitsverteilung	
R3	klassifizierte Referenz-Häufigkeitsverteilung	35
H2	klassifizierte Ist-Häufigkeitsverteilung	
R4	klassifizierte Referenz-Häufigkeitsverteilung	
R5	klassifizierte Referenz-Häufigkeitsverteilung	
R6	klassifizierte Referenz-Häufigkeitsverteilung	40

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen der Kältemittelfüllmenge einer Kälteanlage (2) mit einem Kältemittelkreislauf (3) mit einem Verdampfer, einem Kompressor und einem Kondensator, **dadurch gekennzeichnet, dass** es folgende Schritte aufweist:
  - Erfassen mindestens einer von der Kältemittelfüllmenge abhängigen Messgröße (F) über einen vorgegebenen Zeitraum (T) hinweg,
  - Erstellen einer Ist-Häufigkeitsverteilung (H1, H2) der Messwerte der Messgröße (F), wobei die Ist-Häufigkeitsverteilung beschreibt, wie häufig ein bestimmter Messwert der Messgröße innerhalb des vorgegebenen Zeitraums vorlag,
  - Ermitteln eines Versatzes (9, 11, 13) der Ist-

Häufigkeitsverteilung (H1, H2) bezüglich einer oder mehreren Referenz-Häufigkeitsverteilungen (R1, R2, R3), und

- Bewerten der Kältemittelfüllmenge der Kälteanlage (2) basierend auf dem ermittelten Versatz, wobei

- die Messgröße der mittels eines Füllstand-Sensors (7) erfasste Kältemittelfüllstand (F) eines Kältemittelreservoirs (1) der Kälteanlage (2) oder die mittels eines Temperatur-Sensors erfasste Unterkühlung des flüssigen Kältemittels am Austritt eines Verflüssigers der Kälteanlage ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Kälteanlage (2) periodisch betrieben wird und der vorgegebene Zeitraum (T) einer Betriebsperiode (T) oder einem Teilbereich einer Betriebsperiode der Kälteanlage entspricht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei zumindest eine der Referenz-Häufigkeitsverteilungen (R1, R2, R3) erstellt wird, indem die Messgröße (F) über einen Referenz-Zeitraum (T) hinweg erfasst wird und die Referenz-Häufigkeitsverteilung beschreibt, wie häufig ein bestimmter Messwert der Messgröße (F) innerhalb des Referenz-Zeitraums vorlag, wobei der Referenz-Zeitraum (T) die gleiche Dauer hat wie der vorgegebene Zeitraum (T).

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Messwerte-Bereich der Messgröße (F) in mehrere Klassen aufgeteilt wird und die Ist-Häufigkeitsverteilung (H2) und zumindest eine der Referenz-Häufigkeitsverteilungen (R2, R3) dementsprechend klassifizierte Häufigkeitsverteilungen sind.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Differenz (9) zwischen einem charakteristischen Parameter (M<sub>H</sub>, S<sub>H</sub>) der Ist-Häufigkeitsverteilung (H1) und dem entsprechenden Parameter (M<sub>R</sub>, S<sub>R</sub>) einer der Referenz-Häufigkeitsverteilungen (R1) als der Versatz (9) der Ist-Häufigkeitsverteilung bezüglich der Referenz-Häufigkeitsverteilung ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Ermitteln des Versatzes (13) der Ist-Häufigkeitsverteilung (H2) bezüglich zumindest einer der Referenz-Häufigkeitsverteilungen (R2) mittels Mustererkennung erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei mehrere Referenz-Häufigkeitsverteilungen vorliegen, wobei jede der Referenz-Häufigkeitsverteilungen als ein Referenz-Mustertyp fungiert, jeder dieser Referenz-Mustertypen mittels parametrierbarer Zugehörigkeitsfunktionen (p) unscharf definiert ist, und die Ist-Ver-

teilung mittels eines Fuzzy-Klassifikators einem der Referenz-Mustertypen zugeordnet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei ein Versatz der Ist-Häufigkeitsverteilung gegenüber zumindest einer der Referenz-Häufigkeitsverteilungen hin zu höheren Füllständen als Kältemittelauffüllung gewertet wird. 5
9. Kälteanlage mit einer Überwachungsvorrichtung, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Überwachungsvorrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausgebildet ist. 10

15

20

25

30

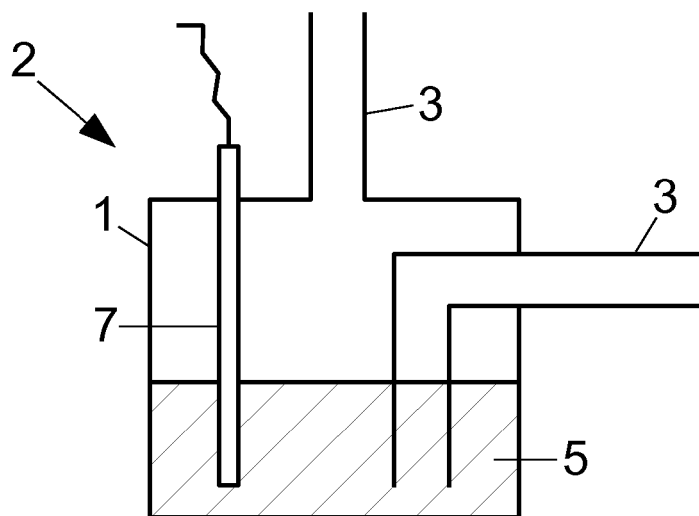
35

40

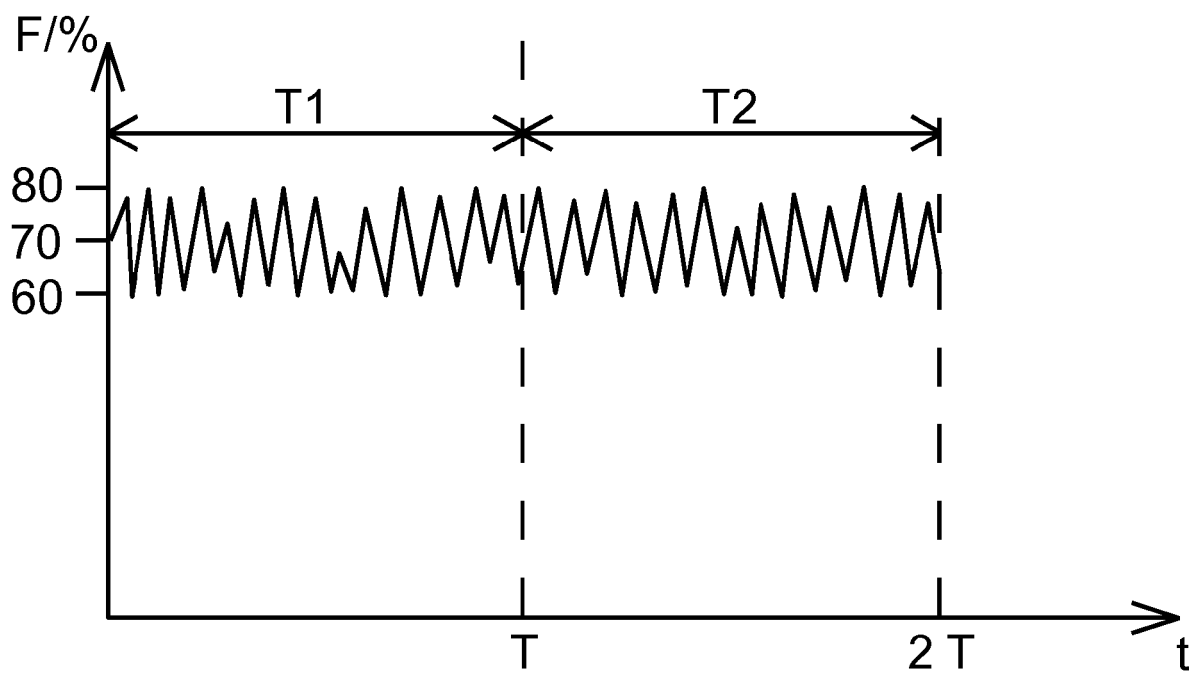
45

50

55



**Fig. 1**



**Fig. 2**

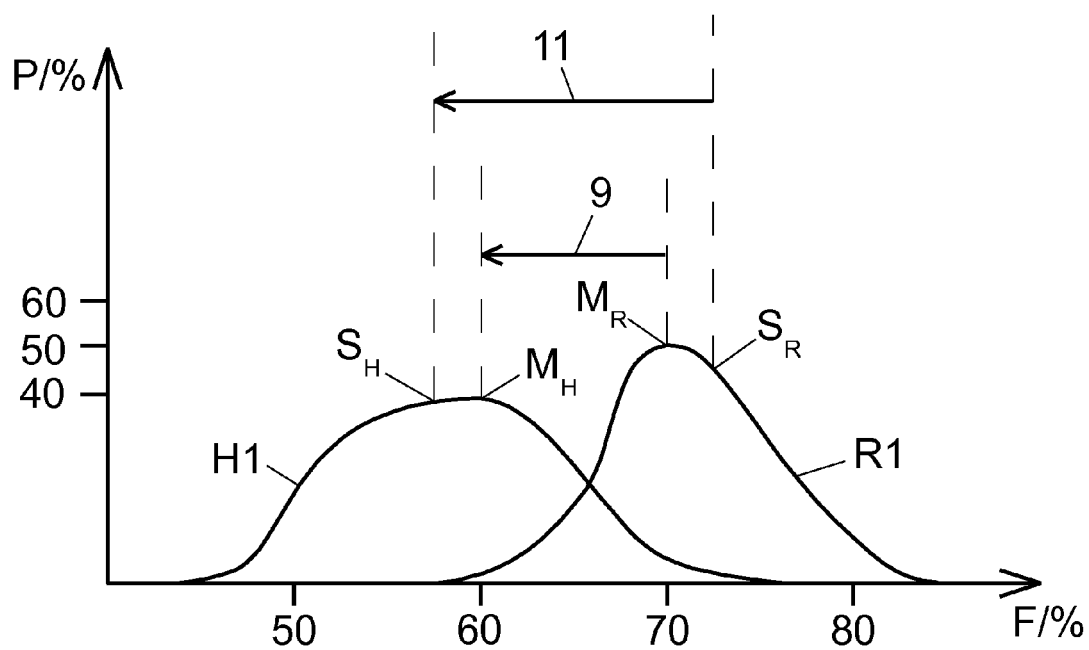


Fig. 3

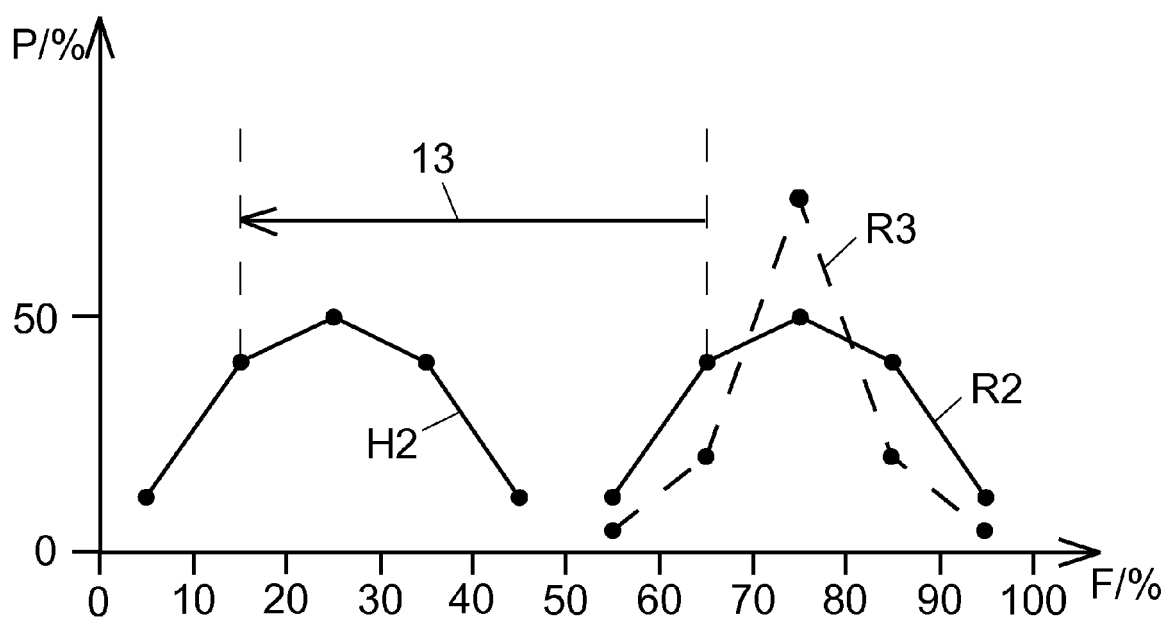
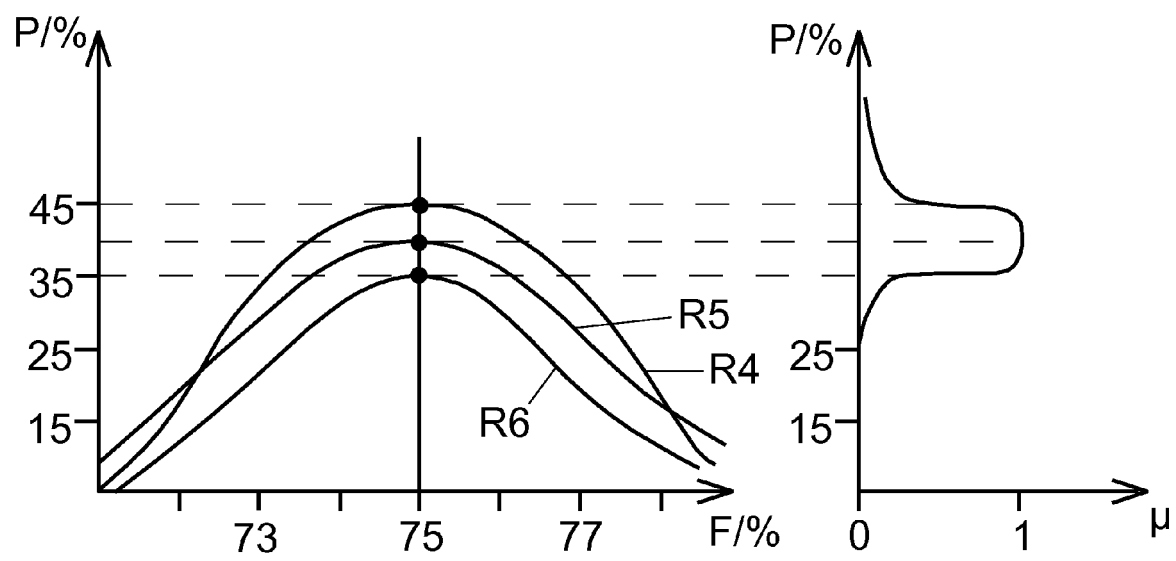


Fig. 4



**Fig. 5**

**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 3913521 C2 [0003]
- DE 4139064 A1 [0004]
- DE 102006039925 B4 [0005]
- DE 102011101922 A1 [0006]