



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤① Int. Cl.<sup>3</sup>: G 01 K 17/06  
G 05 D 11/16  
F 24 F 11/02

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

**636 442**

②① Gesuchsnummer: 5507/78

②② Anmeldungsdatum: 22.05.1978

③⑩ Priorität(en): 26.05.1977 US 800762

②④ Patent erteilt: 31.05.1983

④⑤ Patentschrift  
veröffentlicht: 31.05.1983

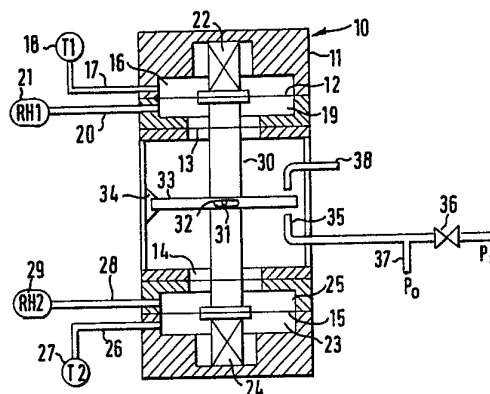
⑦③ Inhaber:  
Honeywell Inc., Minneapolis/MN (US)

⑦② Erfinder:  
Richard C. Mott, Harwood Heights/IL (US)

⑦④ Vertreter:  
Dr. A.R. Egli & Co., Patentanwälte, Zürich

⑤④ **Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung.**

⑤⑦ Zum Vergleich des Wärmeinhalts zweier Luftmengen, beispielsweise in einem Klimaregelsystem, wird ein Membranmodul (10) mit mehreren Membrankammern (16, 19, 23, 25) verwendet. Temperatur- und Feuchtigkeitsfühler (T1, T2, RH1, RH2) hinsichtlich der beiden Luftmengen sind an die Membrankammern angeschlossen, um in diesen entsprechende Drücke zu erzeugen. Alle Membranen wirken über einen gemeinsamen Steg (30) auf ein Düse/Prallplattensystem (31-38), dessen Ausgangsdruck ( $P_o$ ) ein Mass für die Wärmeinhaltsdifferenz bildet. Über eine geeignete Dimensionierung der Membranen lässt sich unter Verwendung einfacher Fühler die Wärmeinhaltsdifferenz sehr genau ermitteln.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Einrichtung zum Vergleich des Wärmeinhalts einer ersten mit demjenigen einer zweiten Luftmenge, gekennzeichnet, durch erste und zweite Temperaturfühler (18, 27; 54; 69; 110, 113; 210, 212) zur Bildung erster und zweiter Drücke aufgrund der Temperaturen der ersten und zweiten Luftmenge; erste und zweite Feuchtefühler (21, 29; 58, 74; 11, 112; 211, 213) zur Bildung dritter und vierter Drücke aufgrund der Feuchte der ersten und zweiten Luftmenge; ein Membranmodul (10; 50; 100; 200) mit einer mindestens eine Membran aufweisenden ersten Kammer (16; 52; 102; 206), die an den ersten Temperaturfühler (18; 54; 110; 210) angeschlossen ist, mit einer mindestens eine Membran aufweisenden zweiten Kammer (23; 66; 108; 202), die an den zweiten Temperaturfühler (27; 69; 113; 212) angeschlossen ist, mit einer mindestens eine Membran aufweisenden dritten Kammer (19; 56; 104; 208), die an den ersten Feuchtefühler (21; 58; 111; 211) angeschlossen ist und mit einer mindestens eine Membran aufweisenden vierten Kammer (25; 70; 106; 204), die an den zweiten Feuchtefühler (29; 74; 112; 213) angeschlossen ist, sowie mit einer an die Drücke in den Kammern angeschlossene Ausgangseinrichtung (31–36; 80–84; 115–125; 216–231) zur Bildung eines Ausgangssignales in Abhängigkeit von den Wärmegehalten der ersten und zweiten Luftmenge.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Membranmodul (10; 50; 100; 200) ein Gehäuse (11; 51; 101; 201) und die Kammern abgrenzende Membranen (12–15; 55, 59, 67, 72; 103, 105, 107, 109; 203, 205, 207, 209) aufweist.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Membranen vorbestimmte Flächen aufweisen, um die Differenz zwischen den Wärmegehalten zu berücksichtigen.

4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die vorbestimmten Flächen der Membranen so dimensioniert sind, dass folgende Gleichung

$$h_1 - h_2 = 0,172 (RH_1 - RH_2) + 0,992 (T_1 - T_2)$$

erfüllt ist, wobei

- $h_1$  dem Wärmeinhalt der ersten Luftmenge,
- $h_2$  dem Wärmeinhalt der zweiten Luftmenge,
- $RH_1$  der Feuchtigkeit der ersten Luftmenge,
- $RH_2$  der Feuchtigkeit der zweiten Luftmenge,
- $T_1$  der Temperatur der ersten Luftmenge in °K, und
- $T_2$  der Temperatur der zweiten Luftmenge in °K

entspricht.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Membranmodul weitere Mittel aufweist, um der Vergleichseinrichtung im Bereich  $T_1$  grösser  $T_2$  und  $RH_1$  kleiner  $RH_2$  der Kennlinie  $\Delta T / \Delta RH$  einen Betrieb nach folgender Beziehung

$$RH_1 - RH_2 = -4,0 (T_1 - T_2)$$

zu ermöglichen.

6. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangseinrichtung eine mit den Membranen (12–15) verbundene Kraftübertragungseinrichtung (30–33) sowie eine mit der Kraftübertragungseinrichtung zusammenwirkende Düse (35) aufweist, wobei die Düse (35) über eine Drossel (36) an eine Druckluftquelle und eine den Ausgangsdruck liefernde Ausgangsleitung (37) zwischen Düse (35) und Drossel (36) angeschlossen ist.

7. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Membranen umfassen: Eine erste Membran (55) zur Trennung der ersten Kammer (52) von einer fünften in die Atmosphäre entlüfteten Kammer (61), eine zweite die fünfte Kammer (61) und die vierte Kammer (56) trennende Membran (60), eine dritte Membran (59) zur Abdichtung der vierten Kammer, eine vierte Membran (71) zur Abdichtung der dritten Kammer (70), eine fünfte Membran (72) zur Trennung der dritten Kammer von einer sechsten in die Atmosphäre entlüfteten

Kammer und eine sechste Membran (67) zur Trennung der sechsten Kammer von der zweiten Kammer.

8. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse aus einem länglichen Gehäuse (101) besteht, in welchem die ersten, zweiten, dritten und vierten Kammern durch Ausnehmungen in einer ersten Oberfläche gebildet sind und durch Membranen (103, 104, 107, 108) jeweils abgeschlossen sind, und dass eine Kraftübertragungseinrichtung (115) schwenkbar an dem Gehäuse gelagert und mit den Membranen 10 mechanisch verbunden ist.

9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kammern axial ausgerichtet sind, wobei die dritte Kammer zwischen der ersten und vierten Kammer liegt und die vierte Kammer zwischen der dritten Kammer und zweiten Kammer angeordnet ist, und wobei die Kraftübertragungseinrichtung schwenkbar zwischen der dritten und vierten Kammer mit dem Gehäuse verbunden ist.

10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangseinrichtung eine mit der Kraftübertragungseinrichtung (115) zusammenwirkende Düse (123) aufweist, wobei die Düse (123) über eine Drossel (124) an eine Druckluftquelle und eine den Ausgangsdruck liefernde Ausgangsleitung (125) zwischen Düse (123) und Drossel (124) angeschlossen ist.

11. Einrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch 25 einen zusätzlichen Membranmodul mit einer ersten an einen dritten Temperaturfühler angeschlossenen mindestens eine Membran aufweisenden Kammer, um die Temperatur der ersten Luftmenge zu fühlen, mit einer zweiten an einen vierten Temperaturfühler angeschlossenen mindestens eine Membran 30 aufweisenden Kammer, um die Temperatur der zweiten Luftmenge zu fühlen, und mit einer an die beiden Kammern angeschlossenen Ausgangseinrichtung, die an die Ausgangsleitung angeschlossen ist, um eine Übersteuerungsfunktion zu liefern.

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Einrichtung nach dem Gattungsbegriff des Anspruches 1.

Bei Klimaregelsystemen wird die aus den klimaregelten 40 Räumen zurückgeführte Luft mit frischer Aussenluft gemischt und sodann gefiltert, entfeuchtet und auf eine Temperatur gebracht, um den Anforderungen des klimaregelten Raumes zu genügen. Die Luftzirkulation in dem Klimaregelsystem wird durch ein Gebläse gesteuert. In modernen Klimaregelsystemen 45 wird ein sogenannter Wirtschaftlichkeitszyklus benutzt, der die Aussenluft als Kühlquelle für jene Räume verwendet, der die Frischluft anfordern. In grossen Bürogebäuden, die sowohl aussegelegene als auch innengelegene Räume aufweisen, erfordern die innengelegene Räume während des ganzen Jahres 50 eine Kühlung durch das Klimaregelsystem während die aussengelegenen Räume während des Sommers eine Kühlung und während des Winters eine Erwärmung erfordern. Es ist daher wirtschaftlicher, die Aussenluft anstelle einer Kühleinheit als Kühlquelle für jene Räume zu benutzen, die eine Kühlung erfordern.

Die Funktion des Wirtschaftlichkeitszyklus ist es, die Einführung von Aussenluft in das Klimaregelsystem so lange zu gestatten, wie die Aussenluft nicht zu kalt oder zu heiss und/oder zu feucht ist. Der Wirtschaftlichkeitszyklus erfordert daher 60 die Messung der Temperatur und der Feuchtigkeit sowohl der Aussenluft als auch der zurückgeführten Luft, um die Entscheidung zu treffen, wann und wieviel Aussenluft in das System einzuführen ist. Wenn beispielsweise die Aussenluft wärmer als die zurückgeführte Luft ist, so würde mehr Energie erforderlich 65 sein, um die Aussenluft anstelle der zurückgeführten Luft zu kühlen. In diesem Fall soll daher weniger Aussenluft verwendet werden. Wenn andererseits die Aussenluft feuchter als die zurückgeführte Luft ist, so ist mehr Energie für die Entfeuchtung

der Aussenluft erforderlich. Auch in diesem Fall sollte daher weniger Aussenluft verwendet werden.

Bei der Entscheidungsbildung, wann und wieviel Aussenluft verwendet werden soll, ist es von Vorteil, den Wärmeinhalt (Enthalpie) der Aussenluft und der zurückgeführten Luft zu messen, da der Wärmeinhalt eine Funktion der spezifischen und gebundenen Wärme einer Luftmenge ist, wobei die spezifische Wärme der Trockentemperatur und die gebundene Wärme der Feuchtigkeit zugeordnet ist. Die Messung des Wärmeinhaltes einer Luftmenge ergibt das genaueste Mass der Entfeuchtung und der Kühlung bzw. Erwärmung, die erforderlich ist, um die Luft so zu regeln, dass sie den Erfordernissen der durch das System geregelten Räume genügt.

Um den Wärmeinhalt der Luft zu messen, messen bekannte Anordnungen sowohl die Temperatur und Feuchtigkeit der Aussenluft als auch der zurückgeführten Luft. Derartige Anordnungen benutzen vier Fühler für die Messung der Gesamtwärme, d.h. des Wärmeinhaltes, und sie erfordern die Verwendung umfangreicher Schaltkreisanordnungen, um eine vernünftige Annäherung des Wärmeinhaltes zu erzeugen. Diese Fühler sind ebenfalls im Zusammenhang mit Computerprogrammen zur Berechnung des Wärmeinhaltes gemäss einer vorgegebenen Formel benutzt worden. Um die Anzahl der für die Messung der Gesamtwärme bzw. des Wärmeinhaltes erforderlichen Fühler zu reduzieren, haben bekannte Systeme Nasskugel-Temperaturfühler verwendet, die, wenn man das psychometrische Diagramm betrachtet, eine ziemlich genaue Anzeige der Gesamtwärme bzw. des Wärmeinhaltes geben. Nasskugel-Temperaturfühler sind jedoch sehr aufwendig und erfordern den dauernden Anschluss an eine Wasserquelle.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine sehr einfache Einrichtung anzugeben, die den Vergleich des Wärmeinhaltes zweier Luftmengen gestattet. Die Lösung dieser Aufgabe gelingt gemäss der im Anspruch 1 gekennzeichneten Erfindung. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den abhängigen Ansprüchen entnehmbar.

In der vorliegenden Erfindung gelangt ein Membranmodul zur Anwendung. Dieser Membranmodul weist beispielsweise auf: eine durch eine erste Membran begrenzte Kammer, die an einen ersten Temperaturfühler zwecks Erfassung der Temperatur einer ersten Luftmenge angeschlossen ist, eine durch eine zweite Membran begrenzte Kammer, die an einen ersten Feuchtigkeitfühler zwecks Abkühlung der Feuchtigkeit der ersten Luftmenge angeschlossen ist, eine durch eine dritte Membran begrenzte Kammer, die an einen zweiten Temperaturfühler zwecks Erfassung der Temperatur einer zweiten Luftmenge angeschlossen ist, eine durch eine vierte Membran begrenzte Kammer, die an einen zweiten Feuchtigkeitfühler zum Erfassen der Feuchtigkeit der zweiten Luftmenge angeschlossen ist, und einen auf die Drücke in den ersten, zweiten, dritten und vierten Kammern ansprechenden Ausgangsmechanismus zur Bildung eines Ausgangssignales in Abhängigkeit von dem Wärmeinhalt der ersten und zweiten Luftmenge. Die wirksamen Flächen der Membranen, die die ersten, zweiten, dritten und vierten Kammern definieren, sind so bemessen, dass der Membranmodul die Differenz des Wärmeinhaltes der ersten und zweiten Luftmenge berücksichtigt.

Anhand von in den Figuren beiliegenden Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele sei die Erfindung im folgenden näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei welchem ein erster Membranmodul als Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung angeordnet ist;

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei welchem ein zweiter Membranmodul als Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung angeordnet ist;

Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei

welchem ein dritter Membranmodul als Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung angeordnet ist;

Fig. 4 eine Einheit gemäss Fig. 3 und eine zweite solche Einheit zur Berücksichtigung einer Trockentemperatur-Übersteuerung;

Fig. 5 ein Diagramm, das in der ausgezogenen Linie den durch die erfindungsgemässe Einheit ermittelten Wärmeinhalt zeigt und in der gestrichelten Linie einen konstanten Wärmeinhalt gemäss der psychometrischen Karte veranschaulicht; und

Fig. 6 einen Membranmodul für eine genauere Annäherung der gestrichelten Linie gemäss Fig. 5.

Gemäss Fig. 1 umfasst ein Membranmodul 10 ein Gehäuse 11 und Membranen 12, 13, 14 und 15. Die Membran 12 begrenzt eine Kammer 16, die über eine pneumatische Leitung 17 an einen ersten Temperaturfühler 18 zwecks Erfassung der Temperatur einer ersten Luftmenge, wie beispielsweise der zurückgeführten Luft in einem Klimaregelsystem, angeschlossen ist. Die Membran 13 begrenzt eine zweite Kammer 19, die über eine pneumatische Leitung 20 an einen ersten Feuchtigkeitfühler 21 zwecks Erfassung der Feuchtigkeit der ersten Luftmenge angeschlossen ist. Innerhalb der Kammer 16 ist eine Vorspannfeder 22 angeordnet. Der durch den Thermostaten 18 in die Kammer 16 abgegebene Druck übt eine nach unten gerichtete Kraft auf die Membran 12 aus. Der durch den Feuchtigkeitfühler 21 in der Kammer 19 gebildete Druck übt eine nach oben gerichtete Kraft auf die Membran 12 und eine kleinere nach unten gerichtete Kraft auf die Membran 13 aus.

In gleicher Weise begrenzt die Membran 15 eine Kammer 23, in der eine Vorspannfeder 24 angeordnet ist. Die Membran 14 begrenzt eine Kammer 25. Die Kammer 23 ist über eine pneumatische Leitung 26 an einen zweiten Temperaturfühler 27 zwecks Erfassung der Temperatur einer zweiten Luftmenge, beispielsweise der Aussenluft, angeschlossen und die Kammer 25 ist über eine pneumatische Leitung 28 an einen Feuchtigkeitfühler 29 zwecks Erfassung der Feuchtigkeit der zweiten Luftmenge angeschlossen. Der durch den Thermostaten 27 an die Kammer 23 abgegebene Druck übt eine nach oben gerichtete Kraft auf die Membran 15 aus. Der Druck innerhalb der Kammer 25, der durch den Feuchtigkeitfühler 29 geliefert wird, übt eine nach unten gerichtete Kraft auf die Membran 15 und eine kleinere nach oben gerichtete Kraft auf die Membran 14 aus. Die Drücke auf die Membranen 12, 13, 14 und 15 werden von einer Kraftübertragungseinrichtung 30 aufgenommen, auf die ebenfalls die Kräfte der Vorspannfeder 22 und 24 einwirken. Die Kraftübertragungseinrichtung 30 bewegt sich in einer Richtung und mit einer Grösse, die durch die resultierenden Kräfte auf den Membranen 12 und 13 bzw. 14 und 15 vorgegeben ist.

Die Kraftübertragungseinrichtung 30 ist über einen Stift 31 mit einem Schlitz 32 in einem Hebel 33 verbunden zwecks Bewegung des Hebels um einen Schwenkpunkt 34 in bezug auf eine Düse 35. Die Düse 35 ist über eine Drossel 36 an eine Druckluftquelle angeschlossen und eine pneumatische Leitung 37 ist an den Verbindungspunkt zwischen der Düse 35 und der Drossel 36 angeschlossen, um einen Ausgangsdruck abzugeben. Eine zweite Düse 38 kann zusätzlich vorgesehen sein, um die Wirkungsweise der Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung gemäss Fig. 1 umzukehren.

Wie eingangs erwähnt, kann ein Nasskolben-Temperaturfühler ein Ausgangssignal liefern, das dem Wärmeinhalt verhältnismässig gut und linear zugeordnet ist. Wenn jedoch Feuchtigkeit und Temperatur erfasst werden, um eine Anzeige des Wärmeinhaltes zu liefern, so ist die Beziehung nicht linear.

Der Wärmeinhalt der ersten Luftmenge kann insbesondere in dem Bereich, der für die Klimaregelung gebräuchlich ist, durch folgende Gleichung näherungsweise ermittelt werden:

$$h_1 = 0,172RH_1 + 0,551 \left( \frac{9}{5} T_1 - 459,67 \right) - 21,55 \quad (1)$$

wobei  $h_1$  dem Wärmehalt der ersten Luftmenge,  $RH_1$  der relativen Feuchtigkeit der ersten Luftmenge und  $T_1$  der Trockentemperatur in °K der ersten Luftmenge entspricht. Der Wärmehalt der zweiten Luftmenge kann in gleicher Weise durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$h_2 = 0,172RH_2 + 0,551 \left( \frac{9}{5} T_2 - 459,67 \right) - 21,55 \quad (2)$$

wobei  $h_2$  dem Wärmehalt der zweiten Luftmenge entspricht,  $RH_2$  die relative Feuchtigkeit der zweiten Luftmenge und  $T_2$  die Trockentemperatur in °K der zweiten Luftmenge darstellt.

Die Vergleichseinrichtung gemäss Fig. 1 subtrahiert sodann im wesentlichen die Wärmehalte der ersten und zweiten Luftmenge voneinander. Diese Differenz kann somit durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$h_1 - h_2 = 0,172(RH_1 - RH_2) + 0,992(T_1 - T_2). \quad (3)$$

Um das Flächenverhältnis der Membranen hinsichtlich der Membranen in Fig. 1 feststellen zu können, die diesen Gleichungen genügen, kann angenommen werden, dass die Differenz zwischen den Wärmehalten der ersten und zweiten Luftmenge Null ist, da die tatsächliche Differenz das Flächenverhältnis nicht beeinflusst und da bei einer Annahme der Differenz mit dem Wert Null die Berechnungen sich vereinfachen.

$$(0,744T_1 + 1,37RH_2 - 1,37RH_1 = 0,744T_2)A_1 = (1,37RH_2 - 1,37RH_1)A_2 \quad (6)$$

oder anders geschrieben:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{0,744(T_1 - T_2)}{1,37(RH_1 - RH_2)} + 1 \quad (7)$$

Setzt man Gleichung (4) in die Gleichung (7) ein, so ergibt sich:  $A_2 = 1,10A_1$ . Wenn die Membranen 12 und 15 der Wärmehalt-Vergleichseinrichtung 10 somit 1,10 mal grösser als die Membranen 13 und 14 sind, so berücksichtigt die Wärmehalt-Vergleichseinrichtung 10 die Wärmehaltsdifferenz der ersten und zweiten Luftmenge. Es sei darauf verwiesen, dass die Differenz hinsichtlich der wirksamen Membranflächen der Membranen 12 und 13 in Fig. 1 der Klarheit wegen übertrieben dargestellt worden ist. Darüberhinaus wurde für die vorliegende Berechnung die durch die Feder 22 und 24 ausgeübte Kraft als gleich und entgegengesetzt angenommen.

Ein alternatives Ausführungsbeispiel eines Membranmoduls 50 ist in Fig. 2 dargestellt und besitzt ein Gehäuse 51 zur Bildung der an die verschiedenen Fühler angeschlossenen Kammern. Die Kammer 52 des Gehäuses 51 ist durch eine pneumatische Leitung 53 an den Temperaturfühler 54 angeschlossen, der die Temperatur der ersten Luftmenge erfasst. Die Kammer 52 wird durch die Membran 55 abgegrenzt. Die Kammer 56 ist über eine pneumatische Leitung 57 an den Feuchtigkeitsfühler 58 angeschlossen, der die Feuchtigkeit der zweiten Luftmenge erfasst. Die Kammer 56 wird durch die Membranen 59 und 60 begrenzt. Die Kammer 61 zwischen den Membranen 55 und 60 ist in die Atmosphäre entlüftet. Innerhalb der Kammer 52 befindet sich eine Vorspannfeder 62, deren Vorspannkraft durch eine Mutter 63 einstellbar ist, welche ihrerseits in einem Gewindeansatz 64 des Gehäuses 51 verstellbar ist. Ein Stopfen 65 schliesst den Gewindeansatz 64 ab.

Die durch die Membran 67 begrenzte Kammer 66 ist über eine pneumatische Leitung 68 an den Temperaturfühler 69 angeschlossen, der die Temperatur der zweiten Luftmenge erfasst. Die Kammer 70 ist durch die Membranen 71 und 72 begrenzt und über eine pneumatische Leitung 73 an den Feuchtigkeitsfühler 74 angeschlossen, der die Feuchtigkeit der ersten Luftmenge erfasst. Innerhalb der Kammer 66 befindet sich eine

Wenn diese Differenz den Wert Null aufweist, so reduziert sich die Gleichung (3) auf folgende Gleichung:

$$RH_1 - RH_2 = -5,77(T_1 - T_2). \quad (4)$$

Die auf die Kraftübertragungseinrichtung 30 einwirkenden Kräfte können durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$P_{T1}A_1 + P_{RH1}A_2 + P_{RH2}A_1 = P_{RH1}A_1 + P_{RH2}A_2 + P_{T2}A_1 \quad (5)$$

wobei  $P$  dem Druck entspricht, der durch den durch den Index bezeichneten Fühler erzeugt wird,  $A_1$  der wirksamen Fläche der Membranen 12 und 15 entspricht und  $A_2$  der wirksamen Fläche der Membranen 13 und 14 entspricht. Die Feuchtigkeitsfühler 21 und 29 können Fühler des Typs Honeywell HP902 sein, die eine Eingangsdruckänderung von 1,37 kPa pro Prozent relativer Feuchtigkeit erfahren. Der Ausgangsdruck kann somit durch  $P_{RH} = 1,37 RH$  beschrieben werden. Die Temperaturfühler 18 und 27 können Fühler vom Typ Honeywell LP914 sein, die ein Ausgangsdrucksignal von 20,95 kPa – 104,77 kPa für einen Temperaturbereich von 111 °K liefern. Bei einer Angabe der Temperatur in °Kelvin ergibt sich der temperaturabhängige Ausgangsdruck wie folgt:  $P_T = 0,744 T$ . Führt man die vorstehenden Beziehungen in Gleichung 5 ein, so ergibt sich folgendes:

Vorspannfeder 75, die durch eine Mutter 76 einstellbar ist, welche ihrerseits in einem Gewindeansatz 77 des Gehäuses 51 verstellbar ist. Ein Stopfen 78 schliesst den Gewindeansatz 77 ab.

Eine Kraftübertragungseinrichtung 79 wird von den Membranen 55, 59, 60, 67, 71 und 72 zwecks Übertragung der resultierenden Kräfte der sich in den Kammern 52, 56, 66 und 70 befindlichen Drücke auf einen bei 81 gelagerten Hebel 80 aufschlägt. Der Hebel 80 wirkt mit einer Düse 82 zusammen, die an eine Druckluftquelle über eine Drossel 83 angeschlossen ist. Eine pneumatische Leitung 84, die zwischen Drossel 83 und Düse 82 angeschlossen ist, liefert das Ausgangsdrucksignal.

Durch geeignete Auswahl der Membranflächen und der Federkonstanten kann die Wärmehalt-Vergleichseinrichtung 50 die Gleichung (3) erfüllen und eine enge Annäherung hinsichtlich der Differenz der Wärmehalte zwischen beiden Luftmengen liefern.

Die Wärmehalt-Vergleichseinrichtung 100 gemäss Fig. 3 kann durch geeignete Auswahl der Membranflächen und Hebelverhältnisse ein Ausgangssignal erzeugen, das die Differenz hinsichtlich des Wärmehalts zwischen der ersten und zweiten Luftmenge berücksichtigt. Die Wärmehalt-Vergleichseinrichtung 100 umfasst ein Gehäuse 101 mit einer Kammer 102, die durch die Membran 103 begrenzt ist, mit einer Kammer 104, die durch die Membran 105 begrenzt ist, mit einer Kammer 106, die durch die Membran 107 begrenzt ist, und mit einer Kammer 108, die durch die Membran 109 begrenzt ist. Die Kammer 102 ist pneumatisch mit dem Temperaturfühler 110 verbunden, um die Temperatur der zweiten Luftmenge zu erfassen. Die Kammer 104 ist pneumatisch mit dem Fühler 111 verbunden, um die Feuchtigkeit der zweiten Luftmenge zu erfassen. Die Kammer 106 ist pneumatisch mit dem Feuchtigkeitsfühler 112 verbunden, um die Feuchtigkeit der ersten Luftmenge zu erfassen, und schliesslich ist die Kammer 108 pneumatisch mit dem Fühler 113 verbunden, um die Temperatur der ersten Luftmenge zu erfassen. Ein Membranstössel 114 überträgt die Bewegung der Membran 103 auf einen Hebel 115. In gleicher Weise übertragen Membranstössel 116, 117 und 118 die Bewegungen der Membranen 105, 107 und 109 auf den Hebel 115.

Der Hebel 115 ist schwenkbar an dem Gehäuse 101 in einem Schwenkpunkt 119 gelagert. Vorspannfedern 120 und 121 spannen den Hebel 115 vor. Mit dem Hebel 115 ist ein Ventili-glied 122 in Form einer Prallplatte verbunden, die mit einer Düse 123 am Gehäuse 101 zusammenarbeitet. Die Düse 123 ist über eine Drossel 124 mit einer Druckluftquelle verbunden. Eine Ausgangsleitung 125 ist zwischen Düse 123 und Drossel 124 angeschlossen und liefert den Ausgangsdruck.

Die Gleichung für das Kräftegleichgewicht hinsichtlich der Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung 100 kann wie folgt angege-ben werden:

$$P_{T1}A_1b + P_{RH1}A_2a = P_{RH2}A_2a + P_{T2}A_1b \quad (8)$$

wobei P dem Druck entspricht, der durch den mit dem Index bezeichneten Fühler geliefert wird,  $A_1$  die wirksame Fläche der Membranen 103 und 109 darstellt,  $A_2$  die wirksame Fläche der Membranen 105 und 107 repräsentiert, a dem Abstand des Schwenkpunktes 119 von dem Mittelpunkt der Membranen 105 und 107 entspricht und b den Abstand des Schwenkpunktes 119 von dem Mittelpunkt der Membranen 103 und 109 bezeichnet. Da  $P_T = 0,744_T$  und  $P_{RH} = 1,37 RH$  ist, lässt sich die Gleichung (8) wie folgt schreiben:

$$0,744(T_1 - T_2)A_1b = -1,37(RH_1 - RH_2)A_2a. \quad (9)$$

Unter Benutzung der Gleichung (4) reduziert sich die Gleichung (9) wie folgt:

$$A_1 = 10,67 \frac{a}{b} A_2. \quad (10)$$

Durch geeignete Auswahl der Hebelarme a und b und der wirksamen Membranflächen  $A_1$  und  $A_2$  entsprechend der Gleichung (10) kann somit eine Vergleichseinrichtung 100 geschaffen werden, die die Gleichung (3) erfüllt.

Obgleich die Wärmeinhaltsdifferenz zwischen der ersten und zweiten Luftmenge die Benutzung der ersten Luftmenge in dem Klimaregelsystem nahelegt, kann unter bestimmten Umständen die Trockentemperatur dieser Luft diese für eine solche Verwendung ungeeignet machen. Die Anordnung gemäss Fig. 4 bietet eine Möglichkeit hinsichtlich der Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung zur Berücksichtigung einer Übersteuerung der Trockentemperatur. Die Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung 100' gemäss Fig. 4 entspricht genau der Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung 100 gemäss Fig. 3. Eine Trockentemperatur-Übersteuerungseinrichtung 150 ist zusätzlich angeordnet und ist mit ihrer Ausgangsleitung 151 an die Ausgangsleitung 125 angeschlossen, zwecks Überlagerung zu dem Ausgangsdruck der Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung 100'. Die Ausgangsleitung 151 ist an eine Düse 123' der Überlagerungseinheit 150 angeschlossen. Die Überlagerungseinheit 150 entspricht der Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung 100 mit der Ausnahme, dass die Kammern, die normalerweise an die Feuchtigkeitsfühler angeschlossen sind, in die Atmosphäre entlüftet sind. Die Kammer 108' ist somit an den Trockentemperaturfühler 152 hinsichtlich der ersten Luftmenge und die Kammer 102' ist an den Trock-

kentemperaturfühler 153 hinsichtlich der zweiten Luftmenge angeschlossen.

Eine Einrichtung für eine bessere Annäherung der Wärmeinhaltsdifferenz der beiden Luftmengen ist in der Fig. 6 dargestellt, wobei das Verhalten dieser Einrichtung aus Fig. 5 ersichtlich ist. Wenn die Differenz zwischen den Temperaturen der ersten und zweiten Luftmenge  $\Delta T$  über der Differenz zwischen den relativen Feuchtigkeiten der beiden Luftmengen  $\Delta RH$  aufgetragen wird, wobei dies entlang einer konstanten Wärmeinhaltslinie der psychometrischen Tabelle erfolgt, so ergibt sich die gestrichelte Linie A gemäss Fig. 5. Die ausgezogene Linie B gemäss Fig. 5 stellt die Annäherungskurve gemäss der Gleichung (4) dar. Im vierten Quadranten des Diagrammes gemäss Fig. 5 ist die Annäherungskurve B sehr dicht an die tatsächliche Kurve A angenähert. Im zweiten Quadranten entfernt sich jedoch die Annäherungskurve B mehr oder weniger weit von der tatsächlichen Kurve A. In vielen Anwendungsfällen mag die Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung selten in dem zweiten Quadranten betrieben werden. In jenen Fällen jedoch, in denen ein Betrieb der Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung in dem zweiten Quadranten gewünscht wird, veranschaulicht Fig. 5, dass eine Einrichtung wünschenswert ist, die in den beiden Quadranten eine Kurve unterschiedlicher Neigung liefert. Diese Einrichtung sollte eine Kurve mit einer Neigung gemäss der Gleichung (4) im vierten Quadranten erzeugen und eine Kurve mit unterschiedlicher Neigung gemäss der Annäherungskurve C in dem zweiten Quadranten. Die folgende Gleichung führt zu einer ziemlich genauen Annäherung der Kurve A im zweiten Quadranten:

$$RH_1 - RH_2 = -4,0 (T_1 - T_2).$$

Die Wärmeinhalt-Vergleichseinrichtung 200 gemäss Fig. 6 liefert eine diesen Anforderungen entsprechende Steuerung. Die Vergleichseinrichtung 200 weist ein Gehäuse 202 auf, in dem Kammern 202, 204, 206 und 208 durch Membranen 203, 205, 207 und 209 begrenzt sind. Die Kammer 206 ist an den Temperaturfühler 210 und die Kammer 208 ist an den Feuchtigkeitsfühler 211 angeschlossen. Die Kammer 202 ist mit dem Temperaturfühler 212 und die Kammer 204 ist mit dem Feuchtigkeitsfühler 213 verbunden. Der Stössel 214 wird durch die Membranen 205 und 209 und der Stössel 215 wird durch die Membranen 203 und 207 beaufschlagt. Die Stössel 214 und 215 greifen an einem Kraftübertragungshebel 216 an Punkten 217 und 218 entsprechend an. Der Kraftübertragungshebel 216 arbeitet mit einer Düse 220 zusammen, die über eine Drossel 221 an eine Druckluftquelle angeschlossen ist. Die Ausgangsleitung 222 ist zwischen Düse 220 und Drossel 221 angeschlossen. In bekannter Weise gibt der Abstand des Hebels 216 von der Düse 220 den Ausgangsdruck in der Ausgangsleitung 222 vor.

Der Kraftübertragungshebel ist um einen ersten Schwenkpunkt 230 und um einen zweiten Schwenkpunkt 231 schwenkbar. Durch geeignete Auswahl der wirksamen Membranflächen hinsichtlich der Membranen 203, 205, 207 und 209 und der Schwenkpunkte 230 und 231 kann der durch zwei getrennte Neigungen vorgegebene Funktionsverlauf gemäss Fig. 5 erzielt werden.

