

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 588 052 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **93112751.8**

(51) Int. Cl.⁵: **F24F 11/00**

(22) Anmeldetag: **09.08.93**

(30) Priorität: **16.09.92 CH 2914/92**

(71) Anmelder: **Landis & Gyr Business Support AG**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.03.94 Patentblatt 94/12

CH-6301 Zug(CH)

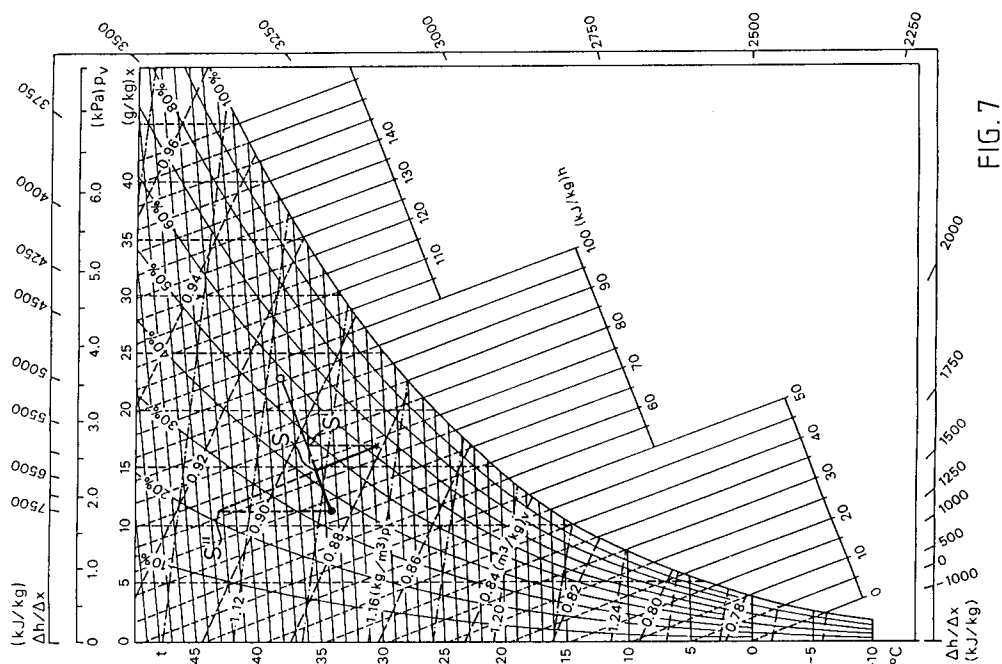
(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR LI SE

(72) Erfinder: **Michalek, Jan**
Lenggerweg 5
CH-8907 Wettswil(CH)

(54) **Verfahren zur Steuerung einer Klimaanlage.**

(57) Eine Klimaanlage mit eingangs einer Mischkammer zur Mischung von Aussenluft mit Umluft, einem Vorwärmer, einem Kühler, einem Befeuchter, z. B. einem Luftwäscher und einem Nachwärmer soll so gesteuert werden, dass eine den Betriebsaufwand widerspiegelnde Aufwandsgrösse, z. B. die Summe der Absolutwerte der durch die aktivierten Aggregate bewirkten Enthalpieänderungen, minimal ist. Zwecks Auswahl der zu aktivierenden Aggregate werden im hx-Diagramm von einem Ausgangszustand (voller Kreis) ausgehende erste Zustandstrajektorien und zum Sollzustand (x) führende zweite Zustandstrajektorien bestimmt, durch Berechnung des Schnitzzustandes (S; S'; S'') mögliche Uebergänge ermittelt und die entsprechenden Aufwandsgrössen berechnet.

Der mögliche Uebergang mit der kleinsten Aufwandsgrösse wird ausgewählt, d. h. die entsprechenden Aggregate werden aktiviert und im Sinne der Bewerksstellung des Uebergangs gesteuert, etwa indem die Mischkammer nach Temperatur und der Befeuchter nach Feuchte geregelt wird.



EP 0 588 052 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung einer Klimaanlage gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der DE-C-3 439 288 und aus Automatisierungstechnische Praxis atp 28/4 (1986), S. 184 - 190 ist ein derartiges Verfahren bekannt, bei welchem für eine Klimaanlage mit einer Mischkammer, einem Vorwärmer, einem Kühler, einem Befeuchter und einem Nachwärmer bei gegebenem Sollzustand der zur Versorgung von Räumen abgegebenen Luft und ermitteltem Zustand aus besagten Räumen abgezogener Umluft der Zustand der Aussenluft daraufhin überprüft wird, in welchem einer Reihe von Teilfeldern des zweidimensionalen Zustandsraums - dargestellt als Molliersches hx-Diagramm - er liegt und nach dem entsprechenden Teilfeld eine bestimmte Kombination von Aggregaten der Klimaanlage ausgewählt und so gesteuert wird, dass die abgegebene Luft den Sollzustand erreicht, während die übrigen Aggregate im Leerlauf betrieben werden. Die Auswahl der Aggregate erfolgt dabei so, dass der Weg zum Sollzustand - falls es Alternativen gibt - so zurückgelegt wird, dass die Summe der Absolutwerte der von den ausgewählten Aggregaten bewirkten Enthalpieänderungen minimal ist. Die Grenzen zwischen den Teilfeldern sind jeweils durch i. a. lineare Gleichungen, welche die Enthalpie oder Temperatur mit der Feuchte in Bezug setzen, definiert.

Diese Lösung hat verschiedene Nachteile. Schon bei geringen Verschiebungen des Zustands der Aussenluft oder der Umluft ergeben sich Verschiebungen der Grenzen zwischen den Teilfeldern, welche ihre Neuberechnung erforderlich machen.

Darüberhinaus geht das in den genannten Veröffentlichungen beispielsweise beschriebene Verfahren jeweils davon aus, dass die relative Lage der Zustände von Umluft und Aussenluft bestimmte qualitative Voraussetzungen erfüllt: erstere ist sowohl feuchter als auch wärmer als letztere, was wohl der Regelfall ist, aber nicht so sein muss.

Es ist nicht ohne weiteres ersichtlich, in welcher Weise die Unterteilung in Teilfelder geändert werden muss, wenn die besagte relative Lage sich qualitativ ändert, es ist jedoch davon auszugehen, dass sich dann die Grenzen der Teilfelder nicht nur verschieben, sondern ein wesentlich neues Bild entsteht, sodass die gesamte Aufteilung z. T. aufgrund neuer Gleichungen für die Grenzen neu bestimmt oder eine Reihe verschiedener Regeln und Gleichungssätze für verschiedene Fälle gespeichert und je nach Ausgangslage daraus eine Auswahl getroffen werden muss.

Dadurch wird, jedenfalls bei Klimaanlagen mit Mischkammer, das für die Auswahl der einzusetzenden Aggregate erforderliche Regelwerk sehr komplex und unübersichtlich. Ausserdem entsteht ein beträchtlicher Rechenaufwand.

Die Berechnung der Aufwandsgrösse, die der Auswahl des Uebergangs zu Grunde gelegt wird, ist wie oben beschrieben festgelegt, sodass etwa unterschiedliche Wirkungsgrade oder Kostenfaktoren verschiedener Aggregate nicht berücksichtigt werden können. Es ist auch nicht ohne weiteres zu sehen, ob und gegebenenfalls wie das Verfahren an eine verfeinerte Berechnung der Aufwandsgrösse, die derartige Effekte mit ins Kalkül zieht, angepasst werden kann.

Das Verfahren scheint auf Aggregate beschränkt zu sein, deren Trajektorie im hx-Diagramm eine Gerade ist oder sich jedenfalls durch eine Gerade hinreichend genau approximieren lässt. Auch die Möglichkeit von Anpassungen an unterschiedlich aufgebaute Klimaanlagen ist nicht ohne weiteres ersichtlich. In jedem Fall sind derartige Anpassungen nicht ohne grundsätzliche Ueberlegungen durchführbar.

Demgegenüber schafft die Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, ein Verfahren zur Steuerung einer Klimaanlage, welches in jeder Hinsicht äusserst flexibel ist.

Gemäss der Erfindung findet eine Vorauswahl der einzusetzenden Aggregate nach relativer Lage des Sollzustands und der Zustände der Aussen- und der Umluft höchstens in sehr beschränktem, leicht überblickbarem Rahmen statt, im weiteren wird immer nach der gleichen Methode vorgegangen. Das Steuerungsverfahren ist dadurch übersichtlich und leichter fehlerfrei zu implementieren. Der Rechenaufwand ist, da der Umfang der bei Verschiebung von Luftzuständen vorzunehmenden Neuberechnungen sehr bescheiden bleibt, gering.

Die Aufwandsgrösse, die der Auswahl der Aggregate zugrundeliegt und deren Korrektheit und Genauigkeit daher für den sparsamen Betrieb der Klimaanlage ausschlaggebend ist, kann sehr frei definiert werden und unterschiedliche Wirkungsgrade und Kostenfaktoren der verschiedenen Aggregate berücksichtigen, eventuell auch unterschiedliche Wirkungsgrade oder Kostenfaktoren eines Aggregats in verschiedenen Bereichen der Zustandsebene.

Neben der üblichen und gewöhnlich auch ausreichenden Darstellung der Funktion der diversen Aggregate durch Gerade im hx-Diagramm können auch solche eingesetzt werden, die Nichtlinearitäten berücksichtigen - entsprechend nichtlinearen Trajektorien.

Das erfindungsgemässe Verfahren kann in einem modular aufgebauten, von einem Rechner ausgeführten Programm implementiert werden, in welchem jedes Aggregat durch ein Modul simuliert wird. Die

Moduln sind ohne weiteres austauschbar, sodass das Programm - und damit das Verfahren - rasch und leicht an unterschiedliche Aggregatekonfigurationen anpassbar ist. Auch bei Ausfall eines Aggregats kann das Steuerungsverfahren ohne weiteres angepasst und die Klimaanlage im Rahmen des Möglichen optimal weiter betrieben werden.

5 Ganz allgemein bietet das erfindungsgemässe Verfahren die Möglichkeit, die Steuerung nach vielen Richtungen hin nach Bedarf anzupassen, auszubauen und zu verfeinern.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Zeichnungen, die ein Ausführungsbeispiel und seine Funktionsweise darstellen, näher erläutert. Es zeigen

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Klimaanlage, die nach dem erfindungsgemässen
10 Verfahren gesteuert werden kann,
- Fig. 2 die Zustandstrajektorie einer Mischkammer im hx-Diagramm, d. h. die Menge der Zustände, die bei gegebenem Luftzuständen an den Eingängen der Mischkammer am Ausgang derselben erzeugt werden können,
- Fig. 3 die Zustandstrajektorie eines Vor- oder Nachwärmers,
- 15 Fig. 4 die Zustandstrajektorie eines Kühlers,
- Fig. 5 die Zustandstrajektorie eines Luftwäschers,
- Fig. 6 die Zustandstrajektorie eines Dampfbefeuchters,
- Fig. 7 - 9 verschiedene Uebergänge bei diversen Konstellationen von Sollzustand, Umluftzustand und Aussenluftzustand in einer Klimaanlage gemäss Fig. 1, in der als Befeuchter ein Luftwäscher eingesetzt ist und
20 Fig. 10 einen Uebergang in einer Klimaanlage gemäss Fig. 1, in der als Befeuchter ein Dampfbefeuchter eingesetzt ist.

Eine Klimaanlage 1 enthält (Fig. 1) fünf Aggregate, die nacheinander von aufzubereitender Luft durchströmt werden. Ueber eine Aussenluftzuführung 2 wird ihr Aussenluft und über eine Umluftzuführung
25 3 Umluft zugeführt, die aus den durch die Klimaanlage mit Luft versorgten Räumen abgezogen wird, während sie an einem Zuluftabzug 4 Zuluft für die Versorgung besagter Räume abgibt.

Die Aussenluftzuführung 2 und die Umluftzuführung 3 münden in eine eingangs angeordnete Mischkammer 5, in welcher der Aussenluft ein regelbarer Anteil von Umluft zugemischt wird. An die Mischkammer 5 schliesst ein Vorwärmer 6 an, in welchem Luft, die ihm von der Mischkammer 5 her zugeführt wird,
30 auf eine höhere Temperatur gebracht werden kann. Ein daran anschliessender Kühler 7 dagegen dient dazu, die Temperatur der zugeführten Luft zu erniedrigen und kann auch zur Verminderung ihrer Feuchte eingesetzt werden. Mittels eines anschliessenden Befeuchters 8 kann der Luft Feuchte zugesetzt werden. Ein Nachwärmer 9, von welchem der Zuluftabzug 4 ausgeht, hat die gleiche Funktion wie der Vorwärmer 7.

Die Zustände der Aussenluft, der Umluft und der Zuluft werden jeweils durch Temperaturfühler 10a, 10b bzw. 10c und Feuchtefühler 11a, 11b bzw. 11c überwacht, deren Signale einer Steuereinheit 12, die
35 einen Rechner, normalerweise einen Mikroprozessor, enthält, zugeleitet werden. Die Steuereinheit 12 ist auch mit den Aggregaten der Klimaanlage 1 verbunden und steuert dieselben.

Die Funktionen der einzelnen Aggregate werden nun anhand des hx-Diagramms erläutert. Das hx-Diagramm ist auf dem Gebiet der Klimatechnik seit langem bekannt. Es stellt die zweidimensionale Zustandsmenge feuchter Luft dar, und zwar ist auf der horizontalen Achse die Feuchte x, d. h. der Wasserdampfgehalt in g/kg aufgetragen. Die Linien konstanter Feuchte verlaufen vertikal, während die Linien gleicher Enthalpie (d. h. gleichen Wärmehalts) ein System paralleler von links oben nach rechts unten verlaufender äquidistanter Geraden bilden, was ein direktes Ablesen der zwischen zwei Zuständen bestehenden Enthalpiedifferenz ermöglicht. Von den Linien konstanter Temperatur verläuft nur die Nullgradi-
45 sotherme horizontal, während die darüberliegenden Isothermen ebenfalls Gerade sind, die jedoch mit zunehmender Temperatur zunehmend ansteigen.

Ausserdem sind Linien relativer Feuchtigkeit eingezeichnet, von denen vor allem die Sättigungslinie (100% relativer Feuchtigkeit) von Interesse ist, da sie das Gebiet, in welchem die gesamte Feuchte in Form von Wasserdampf vorliegt, vom darunter liegenden sogenannten Nebelgebiet, in welchem ein Teil der
50 Feuchte Wassertröpfchen bildet, trennt.

Oberhalb des hx-Diagramms ist der Wasserdampfpartialdruck angegeben und an der Peripherie eine Kennzahl, deren Bedeutung weiter unten im Zusammenhang mit dem Dampfbefeuchter erklärt werden wird.

In Fig. 2 ist die Zustandstrajektorie der Mischkammer 5 dargestellt. Die Mischung von Aussenluft (voller Kreis) und Umluft (leerer Kreis) führt zu einer linearen Interpolation zwischen den entsprechenden Feuchten und Enthalpien, d. h. bei einem Umluftanteil λ und einem Aussenluftanteil $1-\lambda$ ergibt sich am Ausgang der Mischkammer ein Luftzustand, der durch

$$h_{\text{aus}} = \lambda h_{\text{um}} + (1-\lambda) h_{\text{aussen}}$$

und

$$x_{\text{aus}} = \lambda x_{\text{um}} + (1-\lambda)x_{\text{ausen}}$$

5

mit $0 \leq \lambda \leq 1$ charakterisiert ist, wobei h für die Enthalpie und x für die Feuchte steht. Daraus ergeben sich

$$h_{\text{aus}} = h_{\text{ausen}} + \lambda(h_{\text{um}} - h_{\text{ausen}})$$

10 und

$$x_{\text{aus}} = x_{\text{ausen}} + \lambda(x_{\text{um}} - x_{\text{ausen}})$$

mit $0 \leq \lambda \leq 1$. Mit den Bezeichnungen

15

$$r_h^M = h_{\text{um}} - h_{\text{ausen}}$$

und

20

$$r_x^M = x_{\text{um}} - x_{\text{ausen}}$$

erhält man die Darstellung

$$h_{\text{aus}} = h_{\text{ausen}} + \lambda r_h^M, \quad (1a)$$

25

$$x_{\text{aus}} = x_{\text{ausen}} + \lambda r_x^M. \quad (1b)$$

$(h_{\text{aus}}, x_{\text{aus}})$, $(h_{\text{ausen}}, x_{\text{ausen}})$ kann man jeweils zu Vektoren $\underline{\xi}_{\text{aus}}$, $\underline{\xi}_{\text{ausen}}$ zusammenfassen ebenso wie (r_h^M, r_x^M) als Komponenten eines Richtungsvektors \underline{r}^M aufgefasst werden können. Dies führt auf die Darstellung

30

$$\underline{\xi}_{\text{aus}} = \underline{\xi}_{\text{ausen}} + \lambda \underline{r}^M, \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (1)$$

für die Zustandstrajektorie. Das hochgestellte M bezeichnet das Aggregat, im vorliegenden Fall die Mischkammer. Die Trajektorie entspricht somit, vorausgesetzt, dass der Umluftanteil λ unbeschränkt ist, der den Aussenluftzustand und den Umluftzustand verbindenden geraden Strecke. Falls, wie oft aus hygienischen Gründen erforderlich, der Umluftanteil dagegen einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten darf, so ist nur ein an den Aussenluftzustand anschliessender Teil dieser Strecke zugänglich. Im dargestellten Beispiel wurde davon ausgegangen, dass $\lambda \leq 2/3$ gelten muss, d. h. der Anteil der Umluft ca. 67% nicht überschreiten darf. Der Luftzustand am Ausgang der Mischkammer bei maximaler Umluftbeimischung ist durch einen Querstrich angedeutet. Die von der Luft in der Mischkammer durchlaufenen Zustände sollten ausserdem ausserhalb des Nebelgebiets bleiben, da sich sonst Kondenswasser bildet.

40

Fig. 3 zeigt die Zustandstrajektorie des Vorwärmers 6 und des Nachwärmers 9, die die Enthalpie der Luft erhöhen, ohne an der Feuchte etwas zu ändern, sodass die Trajektorie eine senkrechte Halbgerade bildet, die vom Ausgangszustand nach oben weist, d. h. es gilt

45

$$h_{\text{aus}} = h_{\text{ein}} + \lambda$$

mit $\lambda \geq 0$,

50

$$x_{\text{aus}} = x_{\text{ein}}.$$

Wie im Fall der Mischkammer lässt sich dies auf die Form

$$h_{\text{aus}} = h_{\text{ein}} + \lambda r_h^W \quad (2a)$$

55

$$x_{\text{aus}} = x_{\text{ein}} + \lambda r_x^W \quad (2b)$$

mit $\lambda \geq 0$ bringen, wobei $r_h^W = 1$, $r_x^W = 0$ gilt, und zu

$$\xi_{\text{aus}} = \xi_{\text{ein}} + \lambda r_{\text{w}}, \lambda \geq 0 \quad (2)$$

mit $r^{\text{w}} = (r_h^{\text{w}}, r_x^{\text{w}})$ zusammenfassen.

- 5 Ebenfalls eine senkrechte Linie bildet (Fig. 4) der oberhalb der Sättigungslinie liegende Teil der Zustandstrajektorie des Kühlers 7, welcher die Enthalpie der Luft erniedrigt, ohne deren Feuchte zu ändern, bis die Sättigungslinie erreicht wird. An der Sättigungslinie bilden sich Wassertröpfchen, welche ausfallen und sich bei weiterer Kühlung im Kühler 7 absetzen, sodass eine Verminderung der Feuchte eintritt. Die Zustandstrajektorie folgt im weiteren der Sättigungslinie (diese Darstellung ist etwas idealisiert, die Trajekto-
- 10 rie trifft nicht direkt auf die Sättigungslinie, sondern schmiegt sich derselben an, für Berechnungszwecke genügt jedoch die beschriebene Näherung). Oberhalb der Sättigungslinie ergibt sich also

$$h_{\text{aus}} = h_{\text{ein}} - \lambda$$

- 15 mit $\lambda \geq 0$,

$$x_{\text{aus}} = x_{\text{ein}}$$

oder

$$20 \quad h_{\text{aus}} = h_{\text{ein}} + \lambda r_h^{\text{K}} \quad (3a)$$

$$x_{\text{aus}} = x_{\text{ein}} + \lambda r_x^{\text{K}} \quad (3b)$$

- 25 mit $\lambda \geq 0$, wobei $r_h^{\text{K}} = -1$, $r_x^{\text{K}} = 0$, und zusammengefasst

$$\xi_{\text{aus}} = \xi_{\text{ein}} + \lambda r^{\text{K}}, \lambda \geq 0 \quad (3)$$

- mit $r^{\text{K}} = (r_h^{\text{K}}, r_x^{\text{K}})$. Die Sättigungslinie und damit auch der entsprechende Teil der Zustandstrajektorie des Kühlers 7 wird durch eine nichtlineare Funktion $h_{\text{sat}}(x)$ angenähert.
- 30

- Falls der Befeuchter 8 ein Luftwäscher mit umlaufendem Wasser ist (Fig. 5), so bildet seine Zustandstrajektorie eine Linie zunehmender Feuchte und konstanter Enthalpie, da sich ein Gleichgewichtszustand einstellt, bei dem durch den Luftwäscher keine Wärme zu- oder abgeführt wird. Die Trajektorie endet an der Sättigungslinie, da die Luft, wenn sie die Sättigung erreicht hat, keinen Wasserdampf mehr aufnimmt. Sie
- 35 wird charakterisiert durch

$$h_{\text{aus}} = h_{\text{ein}},$$

$$x_{\text{aus}} = x_{\text{ein}} + \lambda$$

- 40 mit $\lambda \geq 0$
oder

$$h_{\text{aus}} = h_{\text{ein}} + \lambda r_h^{\text{L}} \quad (4a)$$

$$45 \quad x_{\text{aus}} = x_{\text{ein}} + \lambda r_x^{\text{L}} \quad (4b)$$

mit $\lambda \geq 0$, wobei $r_h^{\text{L}} = 0$, $r_x^{\text{L}} = 1$, zusammengefasst

$$\xi_{\text{aus}} = \xi_{\text{ein}} + \lambda r^{\text{L}}, \lambda \geq 0 \quad (4)$$

- 50 mit $r^{\text{L}} = (r_h^{\text{L}}, r_x^{\text{L}})$.

- Ist der Befeuchter 8 ein Dampfbefeuchter (Fig. 6), so kann die Enthalpie des zugeführten Wasserdampfs beträchtlich höher sein als die Luftenthalpie, sodass er nicht nur Feuchte, sondern auch Enthalpie, und zwar in einem der zugeführten Dampfmasse bezogen auf die Luftmasse etwa proportionalen Ausmass -
- 55 der Proportionalitätsfaktor, die spezifische Wärme $h_D = \Delta h / \Delta x$, ergibt sich aus dem von der Dampftemperatur abhängigen Wärmeinhalt des Dampfs - zuführt. Die Skala an der Peripherie des h_x -Diagramms erlaubt die Bestimmung der Richtung der Zustandstrajektorie aus diesem Verhältnis zwischen Enthalpie- und Feuchtezufuhr. Für die Trajektorie ergibt sich

$$h_{\text{aus}} = h_{\text{ein}} + \lambda h_D$$

$$X_{\text{aus}} = x_{\text{ein}} + \lambda$$

5 mit $\lambda \geq 0$ bzw.

$$h_{\text{aus}} = h_{\text{ein}} + \lambda r_h^D \quad (5a)$$

$$x_{\text{aus}} = x_{\text{ein}} + \lambda r_x^D \quad (5b)$$

10

mit $\lambda \geq 0$, wobei $r_h^D = h_D$, $r_x^D = 1$, zusammengefasst

$$\underline{x}_{\text{aus}} = \underline{x}_{\text{ein}} + \lambda \underline{r}^D, \lambda \geq 0 \quad (5)$$

15 mit $\underline{r}^D = (r_h^D, r_x^D)$.

Für sämtliche Aggregate ergeben sich durch die Gleichungen (1) - (5), in Komponenten (1a),(1b) - (5a),-(5b), formal weitgehend analoge Beschreibungen der Zustandstrajektorien, die Gleichungen weisen unabhängig vom Aggregat die gleiche Struktur auf. Das für ein Aggregat Spezifische ist jeweils im Vektor $\underline{r} = (r_h, r_x)$ zusammengefasst, sodass sich die erforderlichen Berechnungen einfach und übersichtlich gestalten und problemlos an die Konfiguration der jeweiligen Anlage angepasst werden können.

20

Die beschriebenen Aggregate selber sind in der Klimatechnik seit langem bekannt und jedem Fachmann vertraut. Sie werden daher hier nicht näher dargestellt.

Die Zustandstrajektorien werden, wie sich aus den obigen Ausführungen ergibt, mit Ausnahme eines Teils der Trajektorie des Kühlers 7, durchwegs durch Gerade dargestellt. Das erfindungsgemässe Verfahren bietet jedoch ohne weiteres die Möglichkeit, auch mit nichtlinearen Zustandstrajektorien zu arbeiten. Allenfalls wird dadurch der Rechenaufwand etwas erhöht.

25

Im folgenden werden anhand weiterer Figuren mehrere Konstellationen von Aussenluftzustand (voller Kreis), Umluftzustand (leerer Kreis) und Sollzustand der Zuluft (x) gezeigt und dargestellt, auf welchen Wegen der Sollzustand jeweils erreicht werden kann und welcher der möglichen Uebergänge auszuwählen ist. Es wird dabei davon ausgegangen, dass eine Klimaanlage der in Fig. 1 schematisch dargestellten Konfiguration zum Einsatz gelangt, wobei als Befeuchter ein Luftwäscher (Fig. 7 - 9) oder ein Dampfbe-

30

feuchter (Fig. 10) eingesetzt wird.

Zu jedem möglichen Uebergang zum Sollzustand, bestehend aus mehreren nacheinander durchlaufenen, durch in Strömungsrichtung hintereinander angeordnete Aggregate bewerkstelligten Teilübergängen, wird eine Aufwandsgrösse bestimmt, welche den entsprechenden Energie- und/oder Kostenaufwand wieder-

35

spiegelt. Die Aufwandsgrösse wird aus Teilaufwandsgrössen berechnet, und zwar normalerweise durch Addition derselben, welche den einzelnen Teilübergängen zugeordnet werden. Einem Teilübergang kann im einfachsten Fall als Aufwandsgrösse der Absolutwert der überwundenen Enthalpiedifferenz zugeschrieben werden, soweit sie nicht annähernd energieneutral, wie etwa in der Mischkammer - der Einsatz solcher Aggregate wird automatisch bevorzugt -, erreicht wird. In den im folgenden beschriebenen Beispielen wird der Einfachheit halber meist diese Berechnungsart zugrundegelegt. Es ist jedoch auch möglich, besagten Absolutwert mit einem dem jeweiligen Aggregat zugeordneten Kostenfaktor zu multiplizieren oder auch kompliziertere Berechnungsmethoden einzusetzen, welche etwa unterschiedliche Wirkungsgrade eines

45

Aggregats in verschiedenen Temperatur- und Feuchtebereichen berücksichtigen. Die prinzipielle Vorgehensweise zur Bestimmung der möglichen Uebergänge zum Sollzustand ist stets die gleiche, wobei jedoch eine gewisse Vorauswahl nach der gegenseitigen Lage der obenerwähnten Luftzustände getroffen werden kann. Es wird jeweils eine von einem Ausgangszustand, der dem Aussenluftzustand entspricht, oder auch von einem durch maximal zulässige Umluftbeimischung in der Mischkammer

50

hergestellten modifizierten Ausgangszustand ausgehende erste Zustandstrajektorie, die einem ersten Aggregat entspricht, bestimmt, sowie eine zweite Zustandstrajektorie, die einem dem ersten Aggregat nachgeordneten zweiten Aggregat entspricht und die zum Sollzustand führt.

Falls sich die Trajektorien in einem Schnitzzustand schneiden, wie das etwa in Fig. 7 dargestellt ist, so bietet der Einsatz des ersten und des zweiten Aggregats eine Möglichkeit, den Uebergang vom Ausgangszustand zum Sollzustand zu bewerkstelligen. Der Schnitzzustand kann dann durch den Rechner bestimmt werden - in den meisten Fällen ist das sehr einfach, da die Zustandstrajektorien gerade sind und somit nur ein lineares Gleichungssystem gelöst werden muss. Wird der Uebergang ausgewählt, so wird eines der Aggregate nach der Feuchte geregelt, d. h. seine Stellgrösse wird so eingestellt, dass die Feuchte der von

55

der Klimaanlage 1 abgegebenen Zuluft, die durch den Feuchtemesser 11c am Zuluftabzug 4 überwacht wird, der Sollfeuchte entspricht, das andere nach der Temperatur, d. h., das Aggregat wird nach der durch den Temperaturfühler 11c am Zuluftabzug 4 überwachten Zulufttemperatur geregelt.

Falls die zweite Zustandstrajektorie nicht die erste Zustandstrajektorie schneidet, sondern, wie in Fig. 9 gezeigt, in einem in der Folge als zweiter Schnitzzustand bezeichneten Punkt die Sättigungskurve, so kann ein zwischen dem ersten Aggregat und dem zweiten Aggregat angeordnetes Zwischenaggregat ausgewählt und eine entsprechende Zwischenzustandstrajektorie bestimmt werden, die zum zweiten Schnitzzustand führt. Falls sich die Zwischenzustandstrajektorie und die erste Zustandstrajektorie in einem ersten Schnitzzustand schneiden, so können gleichfalls die beiden Schnitzzustände durch den Rechner bestimmt werden. Falls ein solcher Uebergang ausgewählt wird, so werden das erste und das zweite Aggregat nach Feuchte und Temperatur geregelt, während das Zwischenaggregat so gesteuert wird, dass die Sättigungslinie erreicht wird.

Diese Bestimmung möglicher Uebergänge ist einfach, überschaubar und flexibel. Der Rechenaufwand ist gering und kaum situationsabhängig.

Bei der Klimaanlage 1 mit einem Luftwäscher als Befeuchter ergeben sich im wesentlichen folgende mögliche Steuerungskombinationen, von denen immer eine oder mehrere je nach relativer Lage der Luftzustände mögliche Uebergänge darstellen:

	M	V	K	B	N
A	f	t	a	a	a
B	f	a	t	a	a
C	f	a	a	a	t
D	t	a	a	f	a
E	ma	t	a	f	a
F	mi	t	a	f	a
G	ma	a	t	f	a
H	mi	a	t	f	a
I	ma	a	f	a	t
J	mi	a	f	a	t
K	ma	f	a	ma	t
L	mi	f	a	ma	t
M	ma	a	a	f	t
N	mi	a	a	f	t

Dabei bedeuten M Mischkammer, V Vorwärmer, K Kühler, B Befeuchter und N Nachwarmer. a steht für ausser Betrieb, d. h. der Luftzustand wird nicht verändert. Im Fall der Mischkammer bedeutet ma maximalen Aussenluftanteil, d. h. es wird keine Umluft zugemischt, mi minimalen Aussenluftanteil, d. h. es wird der maximal zulässige Anteil an Umluft zugemischt. Formal, d. h. im Hinblick auf die Gleichungen (1a)-(1b),(1) - (5a),(5b),(5), welche das Verhalten der Aggregate beschreiben, entspricht der durch ma bezeichnete Zustand maximalen Aussenluftanteils dem durch a bezeichneten ausser-Betrieb-Zustand der übrigen Aggregate, entsprechend $\lambda = 0$. Beim Befeuchter bedeutet ma, dass der Wasserdampfgehalt maximal, d. h. bis zum Erreichen der Sättigungslinie erhöht wird. f bedeutet jeweils, dass das Aggregat nach der Feuchte geregelt wird, t, dass es nach der Temperatur geregelt wird.

Fig. 7 zeigt eine Konstellation der Luftzustände, in welcher der Sollzustand auf zwei Arten erreicht werden kann, bei denen die Mischkammer 5 als erstes Aggregat dient und ihre vom Aussenluftzustand ausgehende Zustandstrajektorie somit als erste Zustandstrajektorie. Als zweites Aggregat kann der Befeuchter 8, ein Luftwäscher, eingesetzt werden, sodass die zweite Zustandstrajektorie eine Linie konstanter Enthalpie ist. Sie schneidet die erste Zustandstrajektorie in einem Schnitzzustand S, entsprechend einem Punkt (h_S, x_S) im h_x -Diagramm, der als Vektor ξ_S aufgefasst werden kann, welcher sich (s. Gleichungen (1), (5)) aus der Lösung des Gleichungssystems

$$\xi_S = \xi_{\text{aussen}} + \lambda_{\text{r}}^{\text{M}}$$

$$\xi_{\text{soll}} = \xi_S + \lambda_{\text{r}}^{\text{L}}$$

ergibt. In Komponenten (s. Gleichungen (1a),(1b), (5a),(5b)):

$$h_S = h_{\text{aussen}} + \lambda_{\text{r}}^{\text{M}}$$

$$\begin{aligned}x_S &= x_{\text{aussein}} + \lambda^M r_x^M \\h_{\text{sol}} &= h_S + \lambda^L r_h^L \\x_{\text{sol}} &= x_S + \lambda^L r_x^L.\end{aligned}$$

- 5 Aus diesen vier Gleichungen mit den vier Unbekannten $h_S, x_S, \lambda^M, \lambda^L$, erhält man etwa durch einfache Umformung

$$\begin{aligned}h_{\text{sol}} - h_{\text{aussein}} &= \lambda^M r_h^M + \lambda^L r_h^L \\x_{\text{sol}} - x_{\text{aussein}} &= \lambda^M r_x^M + \lambda^L r_x^L,\end{aligned}$$

10

ein System von zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten, das sich ohne weiteres nach λ^M und λ^L auflösen lässt, da die Vektoren $r^M = (r_h^M, r_x^M)$ und $r^L = (r_h^L, r_x^L)$ nicht parallel sind und folglich die von ihnen gebildete Matrix regulär ist. Der Uebergang entspricht Fall D in der obigen Tabelle.

- 15 Statt des Befeuchters 8 kann als zweites Aggregat auch der Kühler 7 eingesetzt werden. In diesem Fall schneidet die zweite Zustandstrajektorie - eine Linie konstanter Feuchtigkeit - die erste Zustandstrajektorie in einem Schnitzzustand S' (Fall B). Die Lösung wird auf analoge Weise ermittelt.

Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz des Vorwärmers 6 als ersten und des Befeuchters 8 als zweiten Aggregats (Fall E, Schnitzzustand S'').

- 20 Auch die Herstellung eines modifizierten Ausgangspunkts durch maximal zulässige Umluftbeimischung entsprechend minimalem Aussenluftanteil in der Mischkammer 5, Einsatz des Kühlers 7 als ersten und des Nachwärmers 9 als zweiten Aggregats (Fall J) ist möglich.

Prinzipiell werden alle möglichen Steuerungskombinationen durchgerechnet. Es ist jedoch auch denkbar, gewisse, etwa energetisch sehr ungünstige Möglichkeiten wie beispielsweise den gleichzeitigen Betrieb von Vorwärmer und Kühler von vornherein auszuschliessen.

- 25 Da der Luftwäscher keine Wärme an die Luft abgibt oder derselben entzieht, sondern nur Wasser umwälzt, ist sein Energieverbrauch sehr gering, während der Kühler 7 der Luft unter entsprechendem Energieaufwand Enthalpie entziehen müsste, sodass der Uebergang mittels der Kombination der nach Temperatur geregelten Mischkammer 5 mit dem nach Feuchte geregelten Befeuchter 8 die bezüglich des Energieverbrauchs günstigste Variante darstellt und ausgewählt wird.

- 30 Fig. 8 zeigt eine Konstellation, bei welcher die Sollfeuchte tiefer liegt als Aussenluft- und Umluftfeuchte. Es ist also unumgänglich, den Kühler 7 als Entfeuchter einzusetzen. Die Mischkammer 5 kann ausser Betrieb gesetzt werden, sodass der Ausgangszustand dem Aussenluftzustand entspricht (Fall I) oder sie kann zur Herstellung eines modifizierten Ausgangszustandes (durch einen Querstrich gekennzeichnet) mit minimalem Aussenluftanteil benutzt werden (Fall J). Bei der dargestellten Konfiguration ist die durch den
35 Kühler 7 zu überwindende Enthalpiedifferenz im zweiten Fall geringer als im ersten, sodass, da die durch den Nachwärmer 9 als zweites Aggregat zu überwindende Enthalpiedifferenz in beiden Fällen die gleiche ist, diese Variante ausgewählt wird.

- In der Konstellation nach Fig. 9 liegt die Sollfeuchte höher als die Aussenluft- und diese höher als die Umluftfeuchte. Ein Einsatz der Mischkammer 5 brächte unter diesen Umständen keinen Gewinn. Möglich
40 ist der Einsatz des Vorwärmers 6 als ersten Aggregats und des Befeuchters 8 als zweiten Aggregats. Die entsprechenden Trajektorien schneiden sich in einem Schnitzzustand S (Fall E).

Bei Einsatz des Nachwärmers 9 als zweiten Aggregats schneidet die zweite Zustandstrajektorie die Sättigungslinie in einem zweiten Schnitzzustand S2', welcher sich im vorliegenden Fall rechnerisch sehr einfach als

45

$$\xi_{S2'} = (h_{\text{sat}}(x_{\text{sol}}), x_{\text{sol}})$$

- ergibt. Der Befeuchter 8 als Zwischenaggregat und der Vorwärmer 6 als erstes Aggregat führen zu einem ersten Schnittpunkt S1', dessen Berechnung zu der im Zusammenhang mit Fig. 7 erläuterten völlig analog
50 ist, wobei nur $\xi_{S2'}$ an die Stelle von ξ_{sol} tritt. Somit ergibt sich ein weiterer möglicher Uebergang (Fall K).

- Die Summe der Absolutwerte der Enthalpiedifferenzen ist in beiden Fällen gleich, sodass dieses Kriterium keine Entscheidung zwischen den beiden möglichen Uebergängen ermöglicht. Das erfindungsge-
mässe Verfahren macht es jedoch möglich, eine verfeinerte Berechnung der Teilaufwandsgrössen vorzu-
nehmen, bei der etwa berücksichtigt wird, dass bei höheren Temperaturen höhere Wärmeverluste entste-
55 hen, sodass eine Verminderung des Wirkungsgrads von Vor- und Nachwärmern eintritt. Eine solche Verfeinerung in der Berechnung der Aufwandsgrösse führt zu einer Entscheidung für den zweiten der möglichen Uebergänge.

Fig. 10 zeigt mögliche Uebergänge bei Einsatz eines Dampfbefeuchters als Befeuchters 8. Einsatz der Mischkammer 5 als ersten und des Vorwärmers 6 oder Nachwärmers 9 als zweiten Aggregats (Fall A bzw. C, Schnitzzustand S) ist hier energetisch ungünstiger als Einsatz des Vorwärmers 6 als ersten und des Befeuchters 8 als zweiten Aggregats (Fall D, Schnitzzustand S') oder der energetisch äquivalenten Möglichkeit, den Befeuchter 8 als erstes und den Nachwärmer 9 als zweites Aggregat zu verwenden (Fall M, Schnitzzustand S''). Eine Entscheidung zwischen den letzteren Varianten ist nur aufgrund zusätzlicher oder verfeinerter Kriterien möglich.

Die beschriebene Klimaanlage 1 (Fig. 1) stellt natürlich nur ein Beispiel dar. Sie könnte andere oder weitere Aggregate enthalten, ohne dass Steuerungsverfahren und grundsätzliche Berechnungsmethode geändert werden müssten. Beispiele sind: Luftwäscher mit variabler Wassertemperatur, Lufttrockner nach der Absorptionsmethode, Rotationswärmetauscher oder anderes Aggregat für die Wärmerückgewinnung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung einer Klimaanlage (1), welche Luft mindestens eines durch eine Ausgangstemperatur und eine Ausgangsfeuchte bestimmten Ausgangszustands aufnimmt und Luft eines durch eine Solltemperatur und eine Sollfeuchte bestimmten Sollzustands zur Versorgung von Räumen abgibt und welche mehrere der Reihe nach von der Luft durchströmte regelbare Aggregate aufweist, wobei bei gegebenem Sollzustand in Abhängigkeit vom jeweiligen Ausgangszustand bestimmte Aggregate derart ausgewählt und geregelt werden, dass eine den Betriebsaufwand widerspiegelnde Aufwandsgrösse einen Minimalwert erreicht, während die nicht ausgewählten Aggregate ausser Betrieb sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** mögliche Uebergänge vom Ausgangszustand zum Sollzustand, welche in der Hintereinanderschaltung von Teilübergängen, die jeweils durch einzelne einander nachgeordnete Aggregate bewerkstelligt werden, bestehen, festgestellt und die ihnen jeweils entsprechende Aufwandsgrösse berechnet wird, indem jedem Teilübergang eine Teilaufwandsgrösse zugeordnet und aus den Teilaufwandsgrössen die Aufwandsgrösse für den Uebergang ermittelt wird und die Aggregate zur Bewerkstelligung der Teilübergänge, aus denen sich der Uebergang mit der kleinsten Aufwandsgrösse zusammensetzt, ausgewählt und derart gesteuert werden, dass sie den besagten Uebergang bewirken.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ermittlung der Aufwandsgrösse für einen möglichen Uebergang aus den Teilaufwandsgrössen jeweils durch Addition der letzteren erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einem Teilübergang zugeordnete Aufwandsgrösse jeweils dem Absolutwert der Enthalpiedifferenz zwischen dem Zustand vor und dem Zustand nach dem Teilübergang proportional ist, wobei der Proportionalitätsfaktor eine Funktion des Aggregats ist, mittels dessen der Teilübergang bewerkstelligt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einem Teilübergang zugeordnete Aufwandsgrösse jeweils der zur Bewerkstelligung des Teilübergangs eingesetzten Energie entspricht.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einem Teilübergang zugeordnete Aufwandsgrösse jeweils den zur Bewerkstelligung des Teilübergangs aufzuwendenden Kosten entspricht.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** mögliche Uebergänge festgestellt werden, indem im zweidimensionalen Zustandsraum
 - mindestens eine erste Zustandstrajektorie, bestehend aus den ausserhalb des Nebelgebiets liegenden Zuständen, welche durch Einsatz eines ersten Aggregats ausgehend vom Ausgangszustand oder gegebenenfalls von einem mittels einer den übrigen Aggregaten vorgeordneten Mischkammer durch maximale Beimischung von aus den Räumen abgezogener Umluft hergestellten modifizierten Ausgangszustand erreichbar sind, bestimmt wird,
 - mindestens eine zweite Zustandstrajektorie, bestehend aus allen ausserhalb des Nebelgebiets liegenden Zuständen, von denen ausgehend durch Einsatz eines zweiten Aggregats der Sollzustand erreichbar ist, bestimmt wird,
 - falls das zweite Aggregat dem ersten Aggregat nachgeordnet ist, jeweils festgestellt wird, ob ein Schnitzzustand (S; S'; S''), an welchem die erste Zustandstrajektorie die zweite Zustandstrajektorie schneidet, existiert,

- gegebenenfalls der Schnitzzustand (S; S'; S'') ermittelt wird und der Uebergang bestimmt wird als Hintereinanderschaltung eines ersten Teilübergangs vom Ausgangszustand zum Schnitzzustand (S; S'; S'') und eines zweiten Teilübergangs vom Schnitzzustand (S; S'; S'') zum Sollzustand, bewerkstelligt durch das erste Aggregat bzw. das zweite Aggregat,
- andernfalls, wenn die zweite Zustandstrajektorie die das Nebelgebiet begrenzende Sättigungskurve in einem zweiten Schnitzzustand (S2') schneidet, mindestens eine Zwischenzustandstrajektorie bestimmt wird, bestehend aus allen ausserhalb des Nebelgebiets liegenden Punkten, von denen ausgehend der zweite Schnitzzustand (S2') mittels eines dem zweiten Aggregat vorgeordneten Zwischenaggregats erreichbar ist, jeweils, falls das entsprechende erste Aggregat dem Zwischenaggregat vorgeordnet ist, gegebenenfalls ein erster Schnitzzustand (S1'), in welchem die Zwischenzustandstrajektorie die erste Zustandstrajektorie schneidet, ermittelt wird und der Uebergang bestimmt wird als Hintereinanderschaltung eines ersten Teilübergangs vom Ausgangszustand zum ersten Schnitzzustand (S1'), eines zweiten Teilübergangs vom ersten Schnitzzustand (S1') zum zweiten Schnitzzustand (S2') und eines dritten Teilübergangs vom zweiten Schnitzzustand (S2') zum Sollzustand, bewerkstelligt durch das erste Aggregat bzw. das Zwischenaggregat bzw. das zweite Aggregat.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Feststellung möglicher Uebergänge sowie die Ermittlung der entsprechenden Aufwandsgrössen durch einen Rechner aufgrund des Sollzustands, des durch Messungen ermittelten Ausgangszustands und gegebenenfalls des gleichfalls durch Messungen ermittelten Zustands zumischbarer Umluft, allfälliger Randbedingungen sowie der Eigenschaften der Aggregate erfolgt.

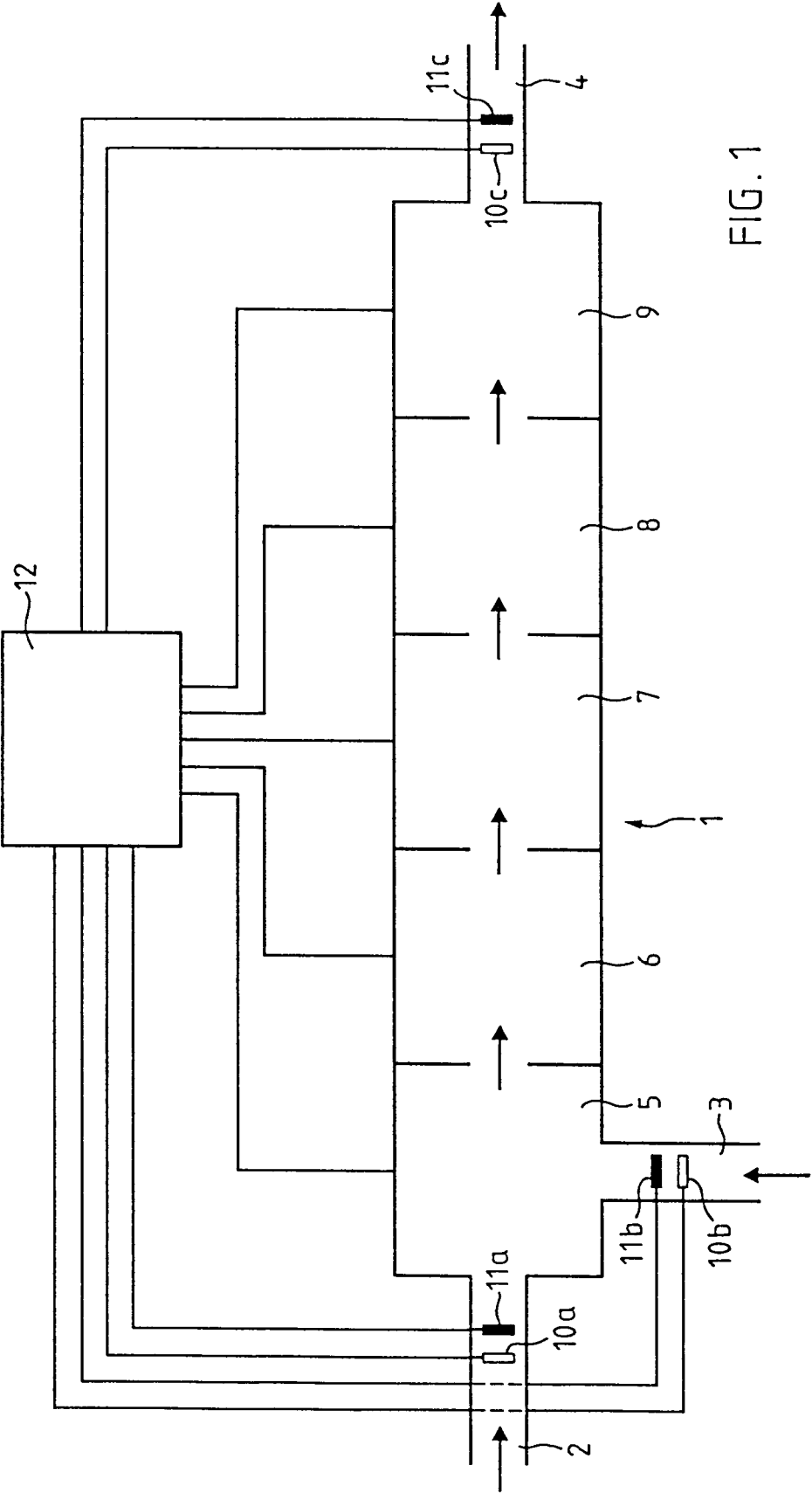


FIG. 1

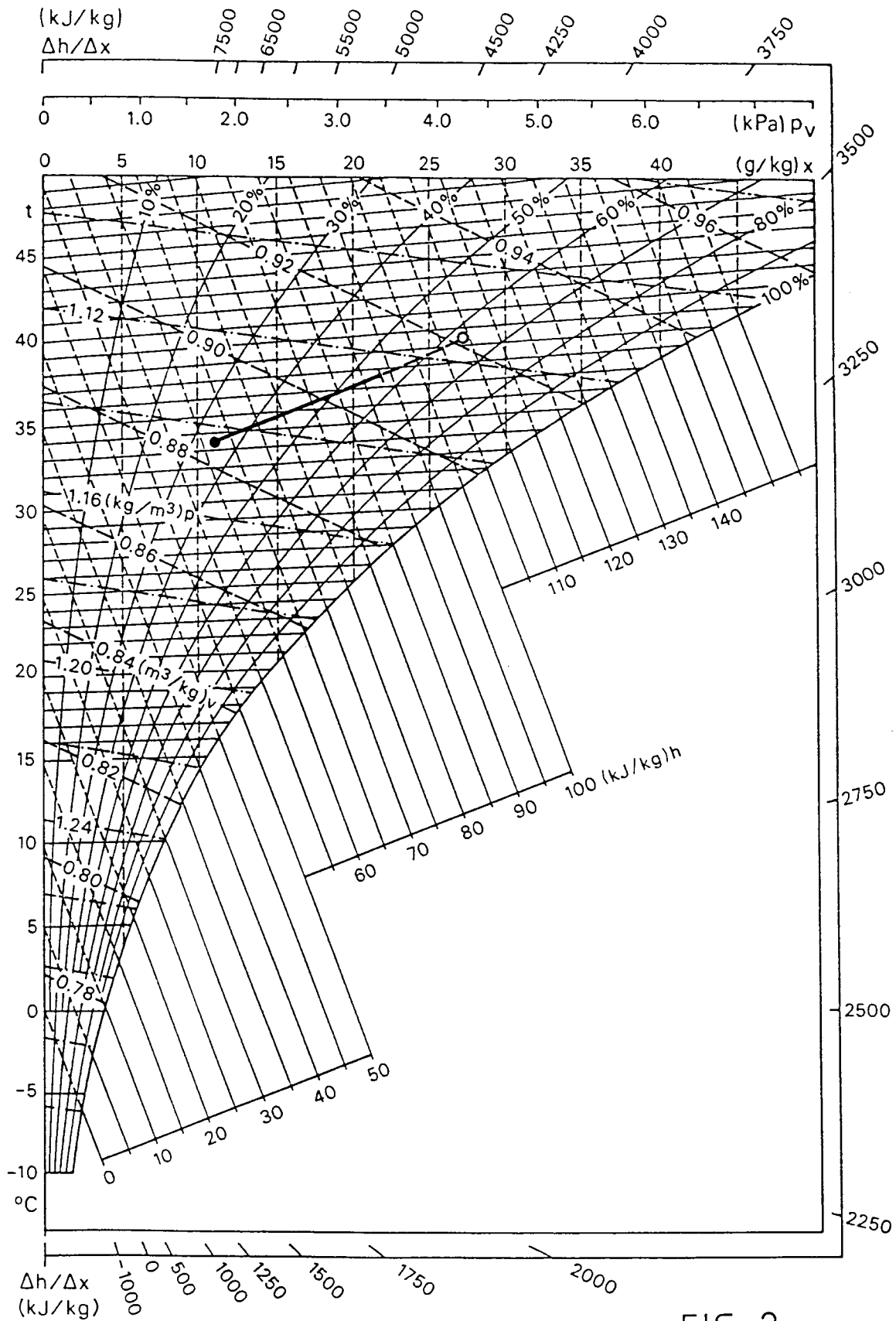


FIG. 2

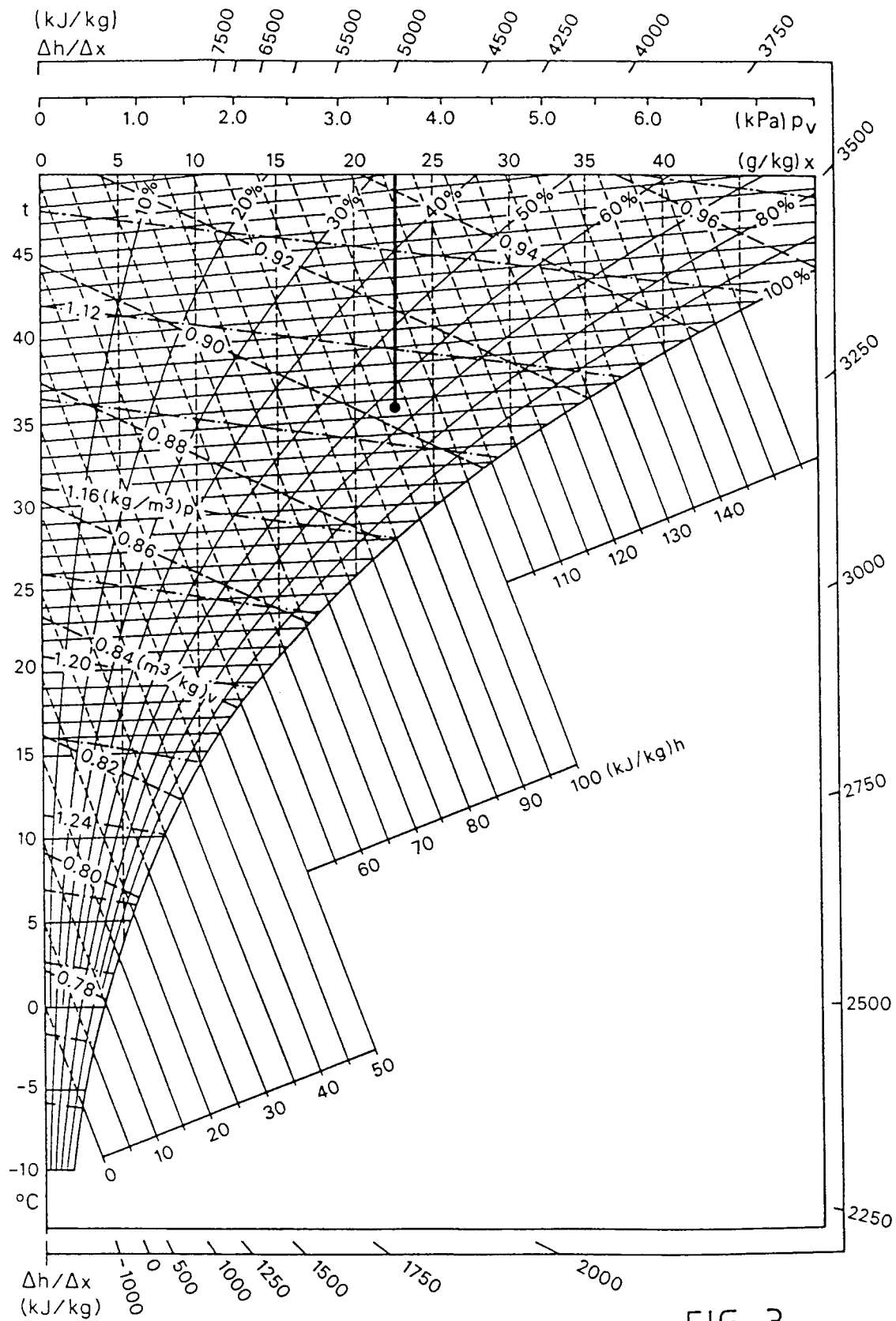


FIG. 3

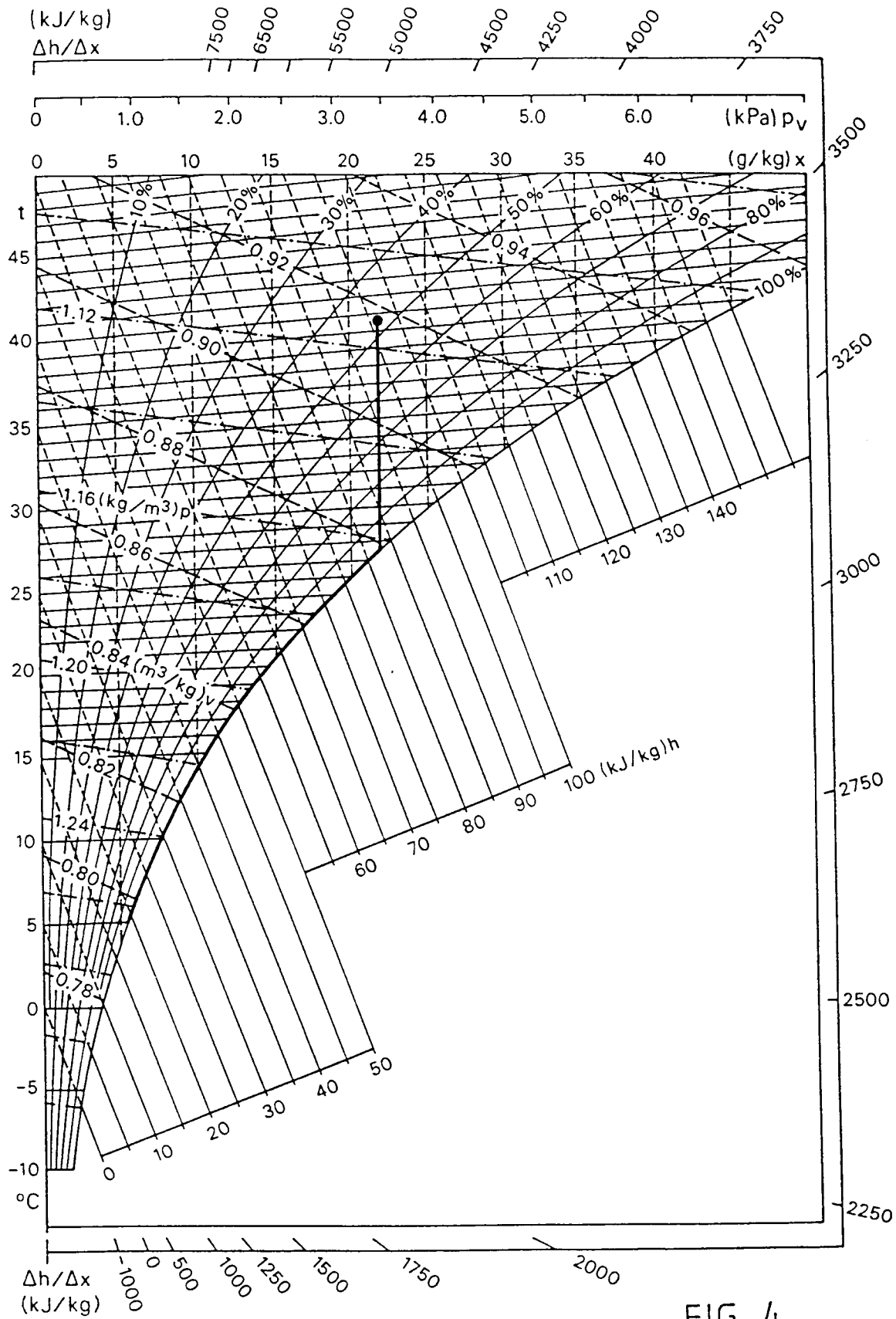


FIG. 4

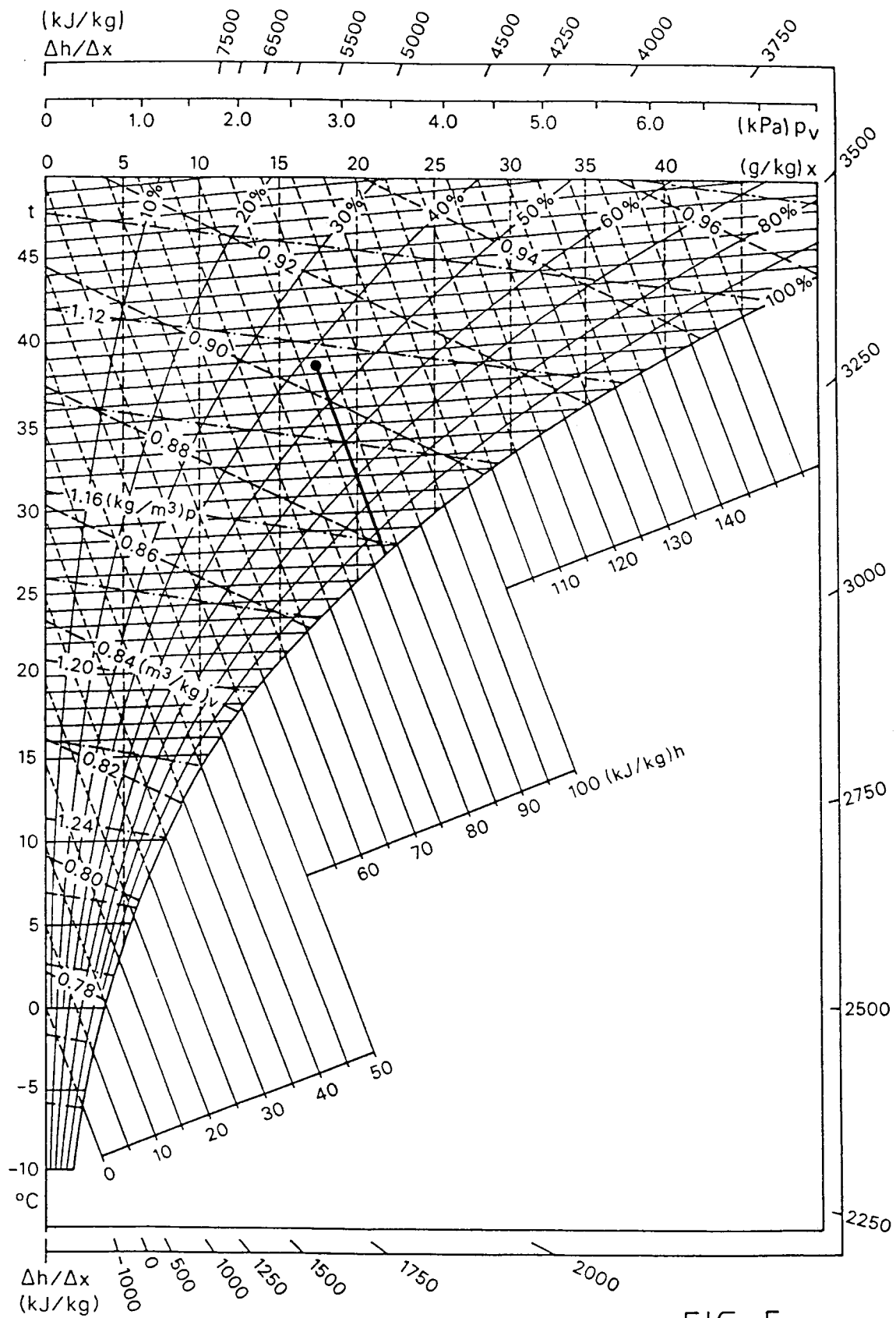


FIG. 5

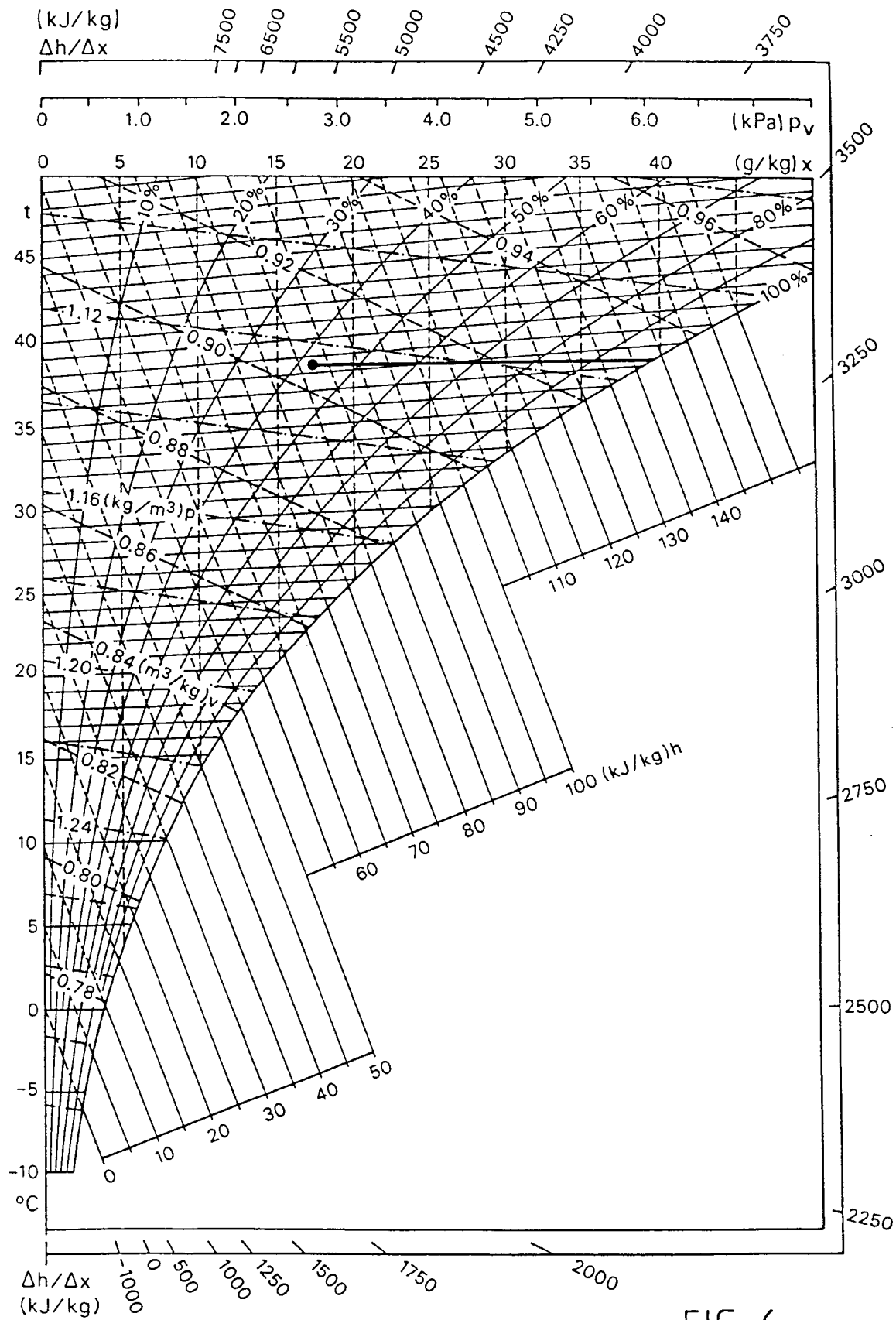


FIG. 6

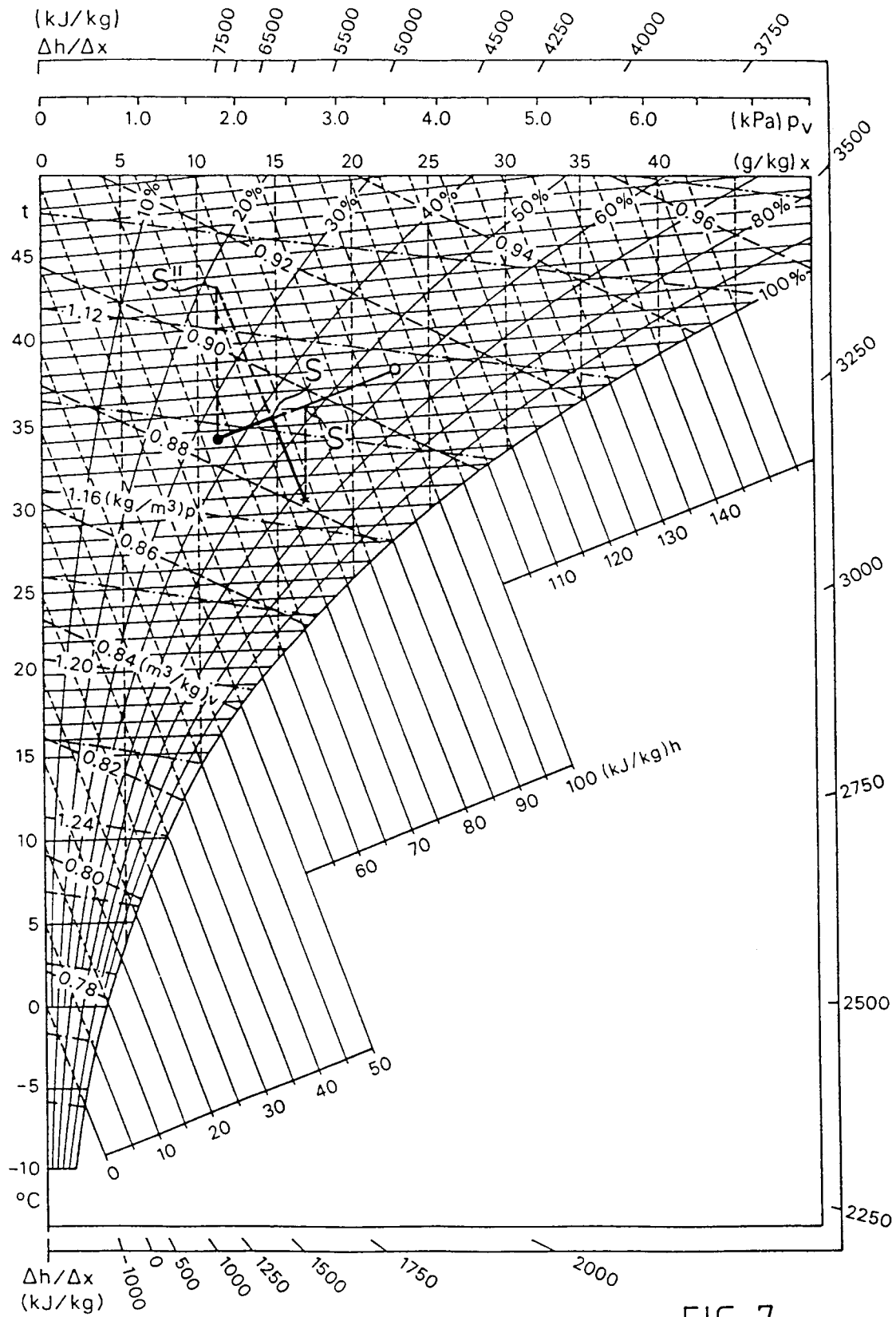
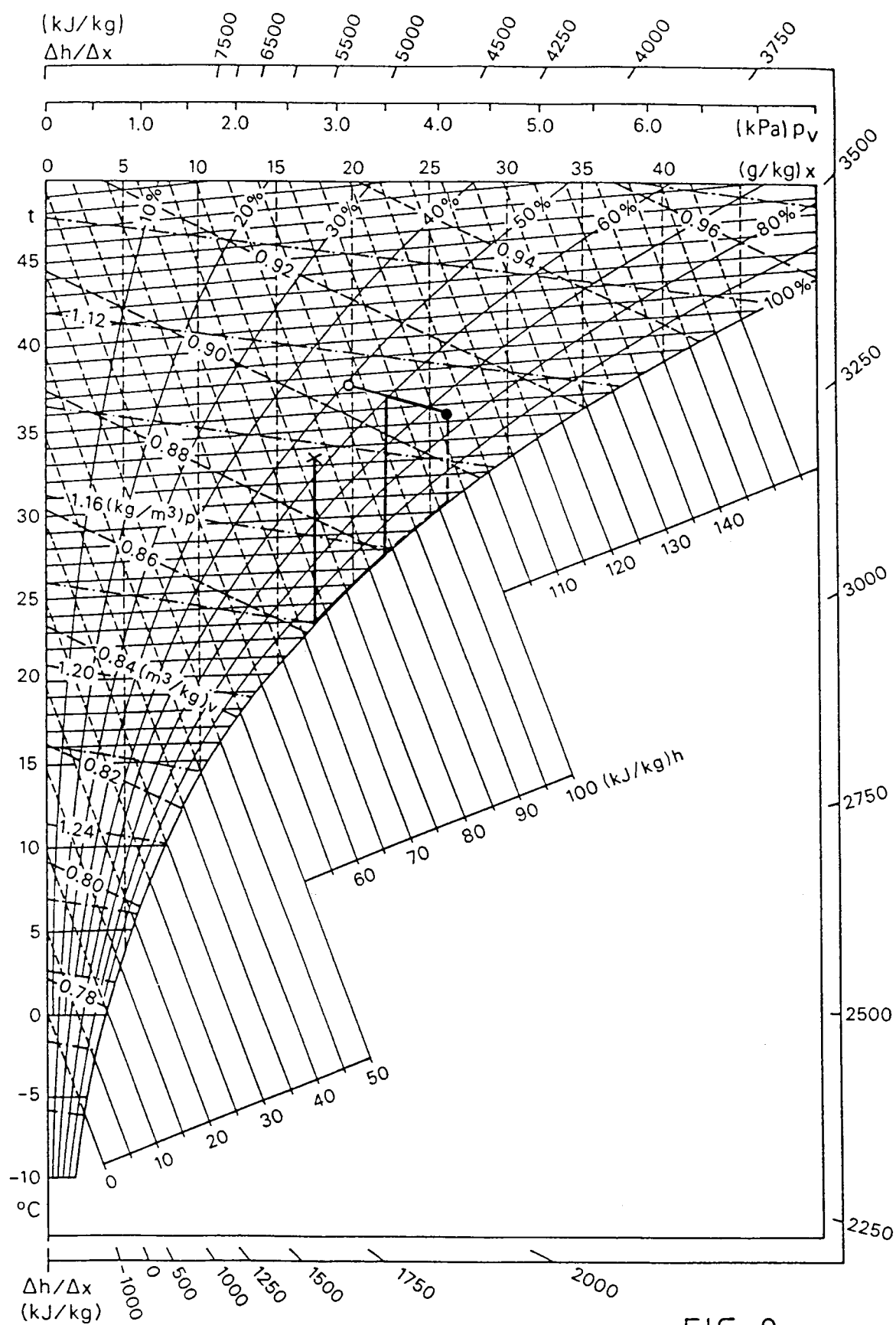


FIG. 7



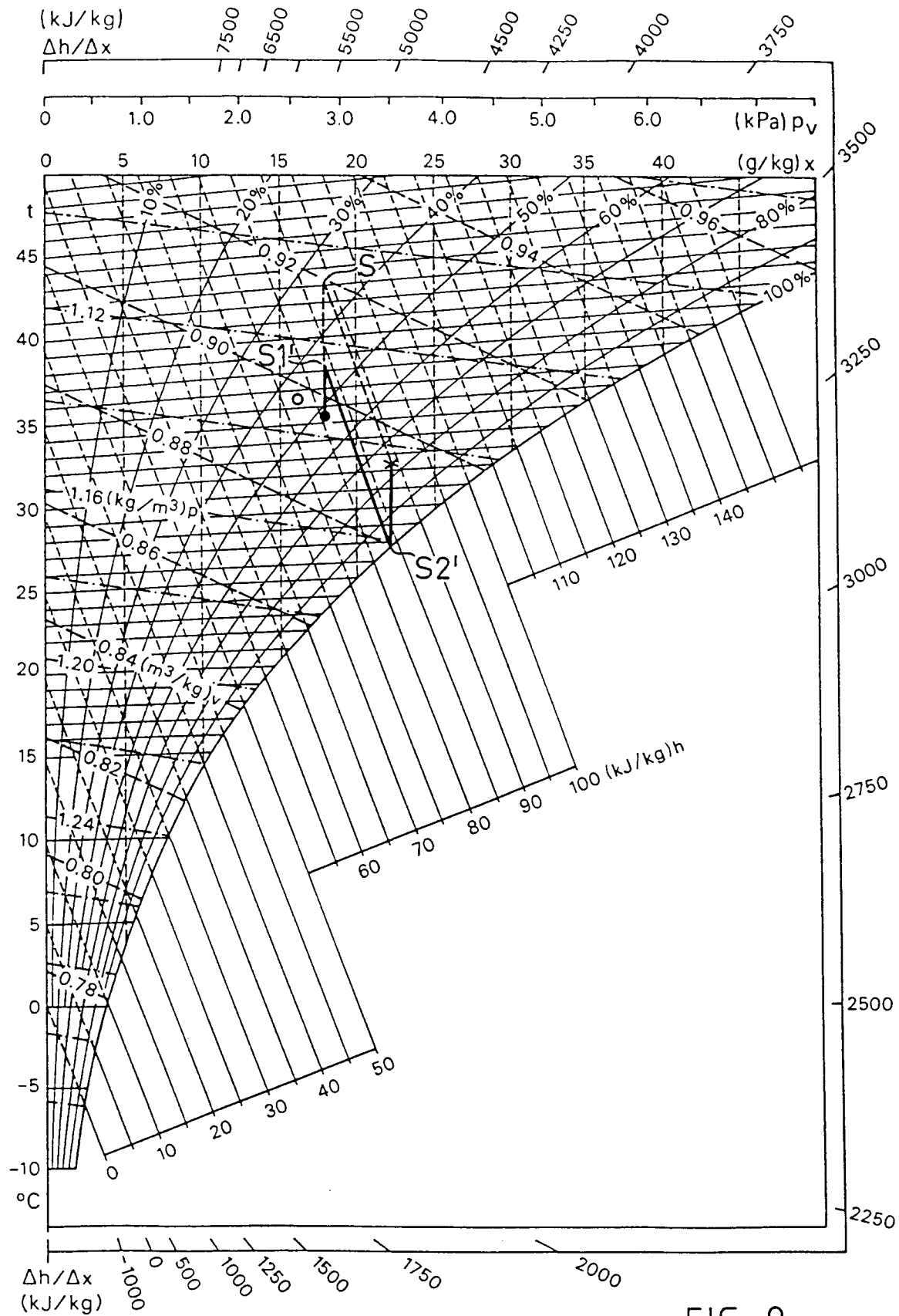


FIG. 9

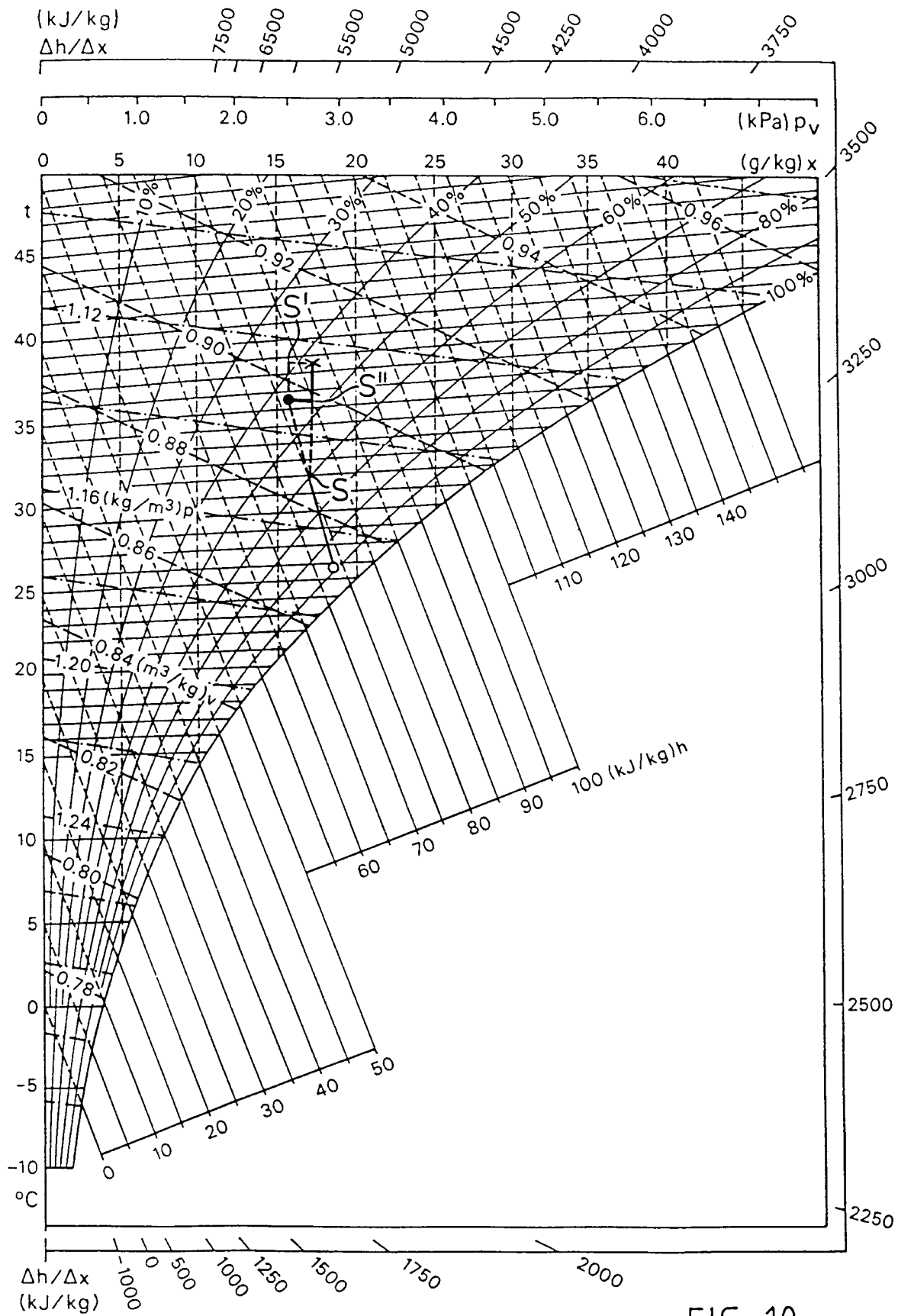


FIG. 10



European Patent
Office

EUROPEAN SEARCH REPORT

Application Number
EP 93 11 2751

DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT			
Category	Citation of document with indication, where appropriate, of relevant passages	Relevant to claim	CLASSIFICATION OF THE APPLICATION (Int.Cl.5)
D,Y D,A	DE-A-34 39 288 (SIEMENS) * page 8, line 4 - page 17, line 25; figures 1-6 *	1,2,7 3-5	F24F11/00
Y	--- AUTOMATISIERUNGSTECHNISCHE PRAXIS - ATP vol. 28, no. 4 , 1986 , MUNCHEN DE pages 184 - 190 BORK 'energieeinsparung bei lüftungs- und klimaanlagen mit hilfe verbesserter automatisierungskonzepte' * the whole document *	1,2,7	
A	--- EP-A-0 238 979 (SIEMENS) * column 2, line 29 - column 4, line 42; figures 1-4 *	1,6,7	
A	--- DE-A-28 39 042 (LTG) * page 9, line 10 - page 25, line 18; figures 1,3 *	1,7	
A	--- FR-A-2 644 228 (IB2 TECHNOLOGIES ET ST.NORBERT) * page 5, line 27 - page 12, line 22; figures 1-6 *	1,6	TECHNICAL FIELDS SEARCHED (Int.Cl.5) F24F
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 7, no. 104 (M-212)6 May 1983 & JP-A-58 024 739 (HITACHI) * abstract *	1	

The present search report has been drawn up for all claims			
Place of search THE HAGUE		Date of completion of the search 16 December 1993	Examiner Calarasanu, P
CATEGORY OF CITED DOCUMENTS X : particularly relevant if taken alone Y : particularly relevant if combined with another document of the same category A : technological background O : non-written disclosure P : intermediate document T : theory or principle underlying the invention E : earlier patent document, but published on, or after the filing date D : document cited in the application L : document cited for other reasons & : member of the same patent family, corresponding document			