



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.09.2024 Patentblatt 2024/36

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F24F 11/00 ^(2018.01) **F24F 11/63** ^(2018.01)
F24F 11/65 ^(2018.01)

(21) Anmeldenummer: **24160851.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F24F 11/0001; F24F 11/0008; F24F 11/63;
F24F 11/65; F24F 2011/0002; F24F 2011/0006

(22) Anmeldetag: **01.03.2024**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
GE KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Schwab Technik GmbH**
3262 Suberg (CH)

(72) Erfinder: **Schwab, Robin**
3262 Suberg (CH)

(74) Vertreter: **AMMANN PATENTANWÄLTE AG**
Schwarztorstrasse 31
3001 Bern (CH)

(30) Priorität: **03.03.2023 EP 23160061**

(54) **LÜFTUNGSVERFAHREN UND VORRICHTUNG DAZU**

(57) Heizungen und Klimaanlage beeinflussen Temperatur und Luftfeuchte in Gebäudevolumen und Fahrzeugen. Sie sind bekannt dafür, recht viel Energie zu verbrauchen. Reine Lüftungsanlagen, wie sie etwa in Küchen oder Badezimmer oft anzutreffen sind, benötigen weniger Energie, haben aber einen unkontrollierten Einfluss auf das Klima.

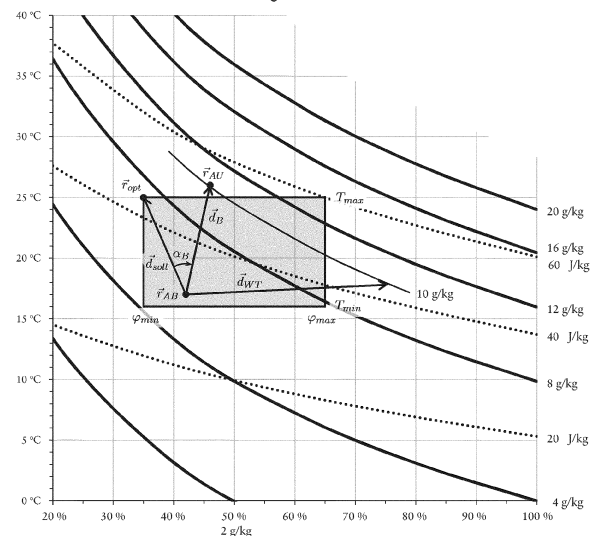
In der vorliegenden Erfindung geht es darum, im Hinblick auf den Energieeinsatz das physikalisch mögliche Maximum aus Systemen zur Raumklimatisierung herauszuholen. Insbesondere geht es dabei um die Kontrolle der relativen Luftfeuchtigkeit, um Korrosion, Schimmel- und Algenwachstum zu unterbinden oder minimieren.

Innerhalb einer einstellbaren Klimazone für erlaubte Temperatur und Feuchte wird mit Lüften versucht, das warme trockene Optimum zu erreichen. Bevorzugt wird die Steuerung mit Sensoren innen und aussen zur Erfassung von Temperatur und Feuchtigkeit eingesetzt.

Das bedeutet, dass unter Umständen die spezifische Feuchte erhöht wird, wenn dadurch die relative Feuchtigkeit langfristig sinkt oder unterhalb des Grenzwertes bleibt.

Die Erfindung arbeitet am besten mit einem Wärmetauscher, welcher bei günstiger Witterung überbrückt werden kann (Bypass), um das Gebäude- oder Fahrzeugvolumen zu heizen.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Lüftungsverfahren gemäss Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie auf eine Lüftungsvorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Übermässige Feuchtigkeit ist eine häufige Ursache für verschiedene Probleme vor allem in Innenräumen wie Keller- und Lagerräumen, Verkaufslökalen, aber auch in Fahrzeugen:

Schimmelpilze sind Mikroorganismen, welche ab einer bestimmten relativen Feuchte, die jedoch unterhalb der Sättigung liegt, wachsen. Sie sind ästhetisch unschön und können gesundheitsgefährdend sein. Ihre flüchtigen Stoffwechselprodukte werden als

Modergeruch wahrgenommen.

Rost bildet sich ebenfalls schneller, je höher die relative Feuchte ist, wobei ein überproportionaler Zusammenhang besteht. Unterhalb von ca. 65 % Feuchtigkeit bildet sich ohne Schadstoffe temperaturunabhängig kaum Rost.

Salzausblühungen entstehen, wenn Feuchtigkeit Salze im Mauerwerk löst, die Lösung zur Oberfläche wandert und das Wasser dort verdunstet. Die zurückbleibenden Salze expandieren beim Kristallisieren und zerstören so das Mauerwerk.

Verklumpung von Lagergütern wie Zucker, Salz oder Seife erfolgt bei zu hoher Feuchte.

beschlagene Fensterscheiben behindern die Sicht nach Draussen, was insbesondere in Fahrzeugen ein Problem darstellt.

[0003] Es gibt verschiedene Verfahren, die Luftfeuchtigkeit zu kontrollieren, die Norm DIN 1946-6 gibt einen guten Überblick:

Heizungen senken über eine Temperaturerhöhung nur die relative Feuchte. Luftschadstoffe werden keine abgeführt; es wird kein Wasser aus dem Gebäudevolumen entfernt. Heizen gilt als am wenigsten energieeffiziente Lösung zum Senken der relativen Luftfeuchtigkeit. Die Patentanmeldung EP3961117A beschreibt eine Heizung zum Zwecke der Feuchtigkeitskontrolle.

Entfeuchter senken sowohl spezifische Feuchte als auch relative Feuchte, doch sie verbrauchen viel Strom, sind laut und weil sie im Umluftbetrieb laufen, führen sie keine frische Luft zu; Luftschadstoffe werden nicht abgeführt.

Lüftungen ohne Wärmetauscher führen dem Raum frische Luft zu, Luftschadstoffe werden abgesaugt oder verdrängt. Bezüglich Feuchte sind sie indifferent, sie befeuchten und entfeuchten je nach aktuellem Zustand der Aussenluft. Der Luftaustausch kann natürlich sein wie bei der freien Lüftung (z. B. Fensterlüftung) oder mechanisch wie bei der ventilatorgestützten Lüftung (z. B. klassische Badlüfter).

Lüftungen mit reinem Wärmetauscher führen dem Raum frische Luft zu, gleichzeitig wird die Wärme übertragen. Im Winter wird so die Zuluft mit der warmen Abluft aufgeheizt, im Sommer wird sie mit der kühleren Abluft abgekühlt. Die spezifische Feuchte und der Feuchtegrad bleiben erhalten.

Die besseren Lüftungen mit reinem Wärmetauscher besitzen eine Bypassklappe, mit welcher der Wärmetauscher umgangen werden kann. Mit aktiviertem Bypass ist die Wirkung bezüglich Temperatur und Feuchte gleich wie bei freier Lüftung. Bei den Geräten nach Stand der Technik wird die Bypassklappe jedoch nur genutzt, um nachts im Sommer die Räume abzukühlen. Deshalb wird sie meist Sommerbypass genannt.

Lüftungen mit Enthalpie-Wärmetauscher führen dem Raum frische Luft zu, es wird gleichzeitig Wärme und Feuchte übertragen. Es wird hier also auch Masse (Wasser) durch geeignete Austauschwände von der Abluft auf die Zuluft oder umgekehrt übertragen. Es ändern sich spezifische Feuchte, Feuchtegrad, relative Feuchte und Temperatur. Im Hochsommer und einem Innenraum mit kleinen Feuchtequellen kann man so lüften und einen Teil der Feuchte in der Aussenluft gleich wieder der Fortluft übergeben. Im Winter kann man den Feuchteverlust begrenzen, damit gewinnt man Energie zurück und es wird nicht zu trocken. Es gibt Enthalpiewärmetauscher mit dampfdurchlässigen Platten, bei denen der Rückgewinnungsgrad unveränderlich ist. Rotationswärmetauscher und Pendellüfter können je nach Drehzahl oder Zykluszeit den Rückgewinnungsgrad variieren, sie sind je nachdem eher reine Wärmetauscher oder Enthalpiewärmetauscher.

Taupunktsteuerungen errechnen in Verbindung mit Lüftern, Fenster-, Tür- oder Torantrieben aus der relativen Feuchte und der Temperatur (innen wie aussen gemessen) den Taupunkt, beziehungsweise die spezifische oder absolute Feuchte. Sie lüften nur dann, wenn es aussen spezifisch oder absolut trockener ist als innen (s. z. B. EP2947396A, EP3098527A). Die grossen Nachteile der Taupunktsteuerungen sind, dass sie Räume auskühlen und einen grossen Teil der Zeit nicht zum Lüften nutzen können.

Monoblocks kombinieren einen Entfeuchter, ein Heizregister und einen Wärmetauscher mit Klappen und Ventilatoren. Sie können das Klima vollständig steuern, aber ohne eine korrekte Steuerung gemäss dieser Erfindung ist der Energiebedarf deutlich höher als bei reinen Lüftungen. Die Geräte sind gross und teuer.

Solare Warmluftkollektoren erwärmen Aussenluft und blasen sie tagsüber in ein Gebäude (s. z. B. EP1448937A). Doch gerade im Sommer, der feuchtemässig kritischsten Zeit, würden sie den Raum überhitzen und sehr feuchte Luft einblasen, weswegen die besseren Ausführungen in dieser Zeit den Betrieb einstellen. Doch so wird weder gelüftet noch entfeuchtet. Ohne entsprechende Steuerung besteht die Gefahr, dass die Zuluft an kühleren Wänden ein schimmelbegünstigendes Klima bildet.

Split-Klimageräte können ähnlich wie Monoblocks das Klima vollständig steuern, doch sie lüften nicht und sie stossen beim Entfeuchten unbeheizter oder nur teilbeheizter Räume an physikalische Grenzen.

[0004] Lüftungssysteme insbesondere für Monoblocks, welche mit einem Klimabereich statt einem Fixpunkt arbeiten gibt es bereits. Die Anmeldung WO2012/049897A1 beschreibt, wie in so einem System die einzelnen Register geschaltet werden und wie gefahren wird, wenn die Aussenluft vom Feuchtegrad her passend ist. In besagter Anmeldung wird der Klimabereich über Feuchtegrad und Temperatur definiert. In der Anmeldung US 2011/0306288A1 wird ein Zielklima über absolute und relative Feuchte, Enthalpie und Temperatur für einen Serverraum mit Monoblock definiert. Das Klima wird in Zonen unterteilt und es wird versucht, den Energiebedarf zu minimieren.

[0005] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, den Einsatz von Energie zum Erhalt eines vorgegebenen Innenraumklimas zu verringern.

[0006] Ein Verfahren, das diese Aufgabe löst, ist im Anspruch 1 angegeben. Die weiteren Ansprüche geben bevorzugte Ausführungen des Verfahrens sowie Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens an.

[0007] In der folgenden Beschreibung und den Ansprüchen ist «ungefähr» als eine in der Technik übliche Toleranz um den angegebenen Wert zu verstehen. Insbesondere kann als solche Toleranz bei Temperaturangaben eine Abweichung von 0.1 °C und bei Feuchteangaben in Prozent eine Abweichung von 1 % angesehen werden.

[0008] Eine energieeffiziente Lösung des Problems beruht auf der Erkenntnis, dass man in der Regel zuerst lüftet, bevor man eine Wärmepumpe oder Heizung einsetzt. Ferner sind für eine intelligente Regelung Grössen wie die absolute oder spezifische Feuchte oder der Taupunkt zwar zu messen oder sie können berechnet werden, letztlich ist aber die *relative* Feuchte relevant zur Kontrolle sowohl des Schimmel- und Algenwachstums als auch der Rostbildung.

[0009] Die Erfindung führt an warmen Tagen zu einem Eintrag von Wärme in Bauteile wie Wände, Böden und das Erdreich unter dem Gebäude. Diese Wärme hilft nachts und an kalten Tagen, die relative Feuchtigkeit tief zu halten. Dasselbe Verhalten sieht man über die kalte und warme Jahreshälfte. Das Erdreich kann Wärme über Monate speichern.

[0010] Gemäss einem bevorzugten Aspekt der Erfindung erfolgt auch eine (indirekte) Messung der Oberflächenfeuchte am kältesten Punkt des Gebäudevolumens.

[0011] Das Vorgehen Schritt für Schritt:

1. Man definiert eine Soll-Klimazone für das Gebäudevolumen, im einfachsten Fall mit vier Werten für Minimum und Maximum von Temperatur und Feuchte relativ (T_{min} , T_{max} , φ_{min} , φ_{max} in Fig. 1). Es muss einfach eine Fläche im T- φ -Diagramm (graue Fläche in Fig. 1) aufgespannt werden, das kann auch mit zusätzlichen Wertepaaren für Feuchtkugelttemperatur, spezifische Feuchte oder Enthalpie geschehen. Der Wert mit der maximalen Feuchte ist von besonderer Bedeutung, er richtet sich nach dem Ziel, z. B. ca. 65 % zur Vermeidung von Rost.

2. Man ermittelt oder misst relative Feuchte und Temperatur der Raum- und Zuluft.

- Solange die Lüftungsanlage läuft, liefert ein Feuchte- und Temperatursensor im Abluftkanal den Zustand der gemischten Raumluft. Das Sensorpaar 8 in Fig. 2 kann in Strömungsrichtung beliebig bis vor den Wärmetauscher verschoben werden. Soll die Anlage hingegen abgestellt werden können, braucht es mindestens einen Feuchte- und Temperatursensor im Raum.

- Solange die Lüftungsanlage läuft, liefert ein Feuchte- und Temperatursensor im Zuluftkanal (5 in Fig. 2) die benötigten Werte, in welche Richtung sich durch Lüften das Klima verändert. Soll die Anlage hingegen abgestellt

werden können, braucht es einen Aussensensor für Feuchte und Temperatur (1 in Fig. 2). Mit den Werten des Aussensensors und bekannten Rückgewinnungswerten der Wärmetauscher kann das Zuluftklima geschätzt werden, falls die Lüftungsanlage laufen würde.

[0012] Aus der relativen Feuchte und der Temperatur lassen sich weitere Werte wie Sättigungsdampfdruck, Feuchtegrad oder spezifische Feuchte berechnen.

[0013] Der Aussensensor befindet sich bevorzugt in einer kleinen Klimahütte zum Schutz vor Erwärmung bei Sonnenschein. Der Raumsensor befindet sich bevorzugt an einer Stelle, wo er vor mechanischer Beschädigung geschützt ist und die relative Feuchte im bevorzugten Betriebsbereich liegt. Bei kleineren Anlagen mit nur einer Abluftöffnung wird er bevorzugt in deren Nähe montiert.

[0014] 3. Man berechnet für die verfügbaren Lüftungsverfahren (Bypass, Wärmetauscher oder Enthalpiewärmetauscher) einzeln die Richtung, in welche sie das Klima verändern. Diese Änderungsvektoren haben eine erste Komponente für Temperatur und eine zweite für relative Feuchtigkeit. Als Änderung einer Grösse wie Temperatur oder Feuchte, die als Komponenten eines Richtungsvektors dienen, wird die Änderung pro Zeiteinheit verstanden, die durch ein Lüftungsverfahren erzielt wird. In der Praxis sind die Lüftungsverfahren in der Regel gleich oder näherungsweise gleich wirksam, so dass anstelle der Änderung pro Zeiteinheit die erzielbare Änderung genügt, also z. B. die Differenz zwischen dem Istzustand und dem Zustand, der mit dem Lüftungsverfahren allein nach beliebig langer Zeit erzielbar ist.

[0015] 4. Man erstellt ein Diagramm (Fig. 1) mit relativer Feuchte auf der Abszisse und Temperatur auf der Ordinate. Dabei ist es wichtig, dass die Abszisse zur Ordinate über den in Gl. 1.12 und 1.16 definierten Faktor c_s skaliert ist. In diesem Diagramm zeichnet man den Punkt mit dem Innenraum-Klima ein. Von diesem Punkt ausgehend trägt man die

drei Änderungsvektoren $\vec{d}_{wt}$, $\vec{d}_{ewt}$ und $\vec{d}_b$ der drei Lüftungsverfahren ein. Zusätzlich zeichnet man den Richtungs-

vektor $\vec{d}_{soll}$ ein vom Innenraum-Punkt zum Punkt mit der minimal erlaubten Feuchte bei maximal erlaubter Temperatur. Dieser Vektor ist der Soll-Klimaänderungsvektor.

[0016] 5. Es wird mit dem Lüftungsverfahren gelüftet, welches vorhanden ist und am besten mit dem Soll-Klimaänderungsvektor übereinstimmt. Zum Zwecke der Entfeuchtung wird nur gelüftet, wenn das Lüftungsverfahren nicht vom Ziel weg zeigt, also das Skalarprodukt aus Ist- und Zielrichtung positiv ist. Zusätzlich soll der Winkel zwischen Ist- und Zielrichtung nicht grösser sein als ein bestimmtes Mass. Das zulässige Mass der Abweichung ist für die trockene Seite grösser als für die feuchte Seite der Abweichung. Zum Zwecke der Entfeuchtung wird auch gelüftet, wenn das Raumklima innerhalb der zulässigen Grenzen liegt und keine Anforderung von Seite der Luftschadstoffe vorliegt.

[0017] 6. Als Mass, wie stark gelüftet wird, eignet sich das obige Skalarprodukt.

[0018] 7. Hat keines der vorhandenen Lüftungsverfahren einen eindeutig positiven Nutzen und muss zur Schadstoffkontrolle trotzdem gelüftet werden, wird mit demjenigen Lüftungsverfahren gelüftet, welches das grösste positive Skalarprodukt mit der Zielrichtung aufweist.

[0019] 8. Hat keine der vorhandenen Lüftungsmethoden ein positives Skalarprodukt und muss zur Schadstoffkontrolle trotzdem gelüftet werden, wird mit der Methode mit dem grössten Skalarprodukt gelüftet. Das ist in dem Fall die Methode mit dem am wenigsten negativen Skalarprodukt.

[0020] 9. Unterschreitet die Raumtemperatur oder je nach Prioritätensetzung auch eine Oberflächentemperatur das erlaubte Minimum, kann eine Heizung zugeschaltet werden. Überschreitet die Raumtemperatur oder je nach Prioritätensetzung auch eine Oberflächentemperatur das erlaubte Maximum, wird ein Klimagerät mit Wärmepumpe (z. B. ein Split-Klimagerät) zugeschaltet.

[0021] 10. Unterschreitet die relative Feuchte im Raum das erlaubte Minimum, kann befeuchtet werden. Überschreitet die relative Feuchtigkeit im Raum oder je nach Prioritätensetzung eine Oberflächenfeuchtigkeit das erlaubte Maximum, sollte ein Entfeuchter oder allenfalls ein Split-Klimagerät im Entfeuchtungsmodus zugeschaltet werden.

[0022] 11. Wenn die relative Feuchte der Zuluft φ_{ZU} , die Oberflächenfeuchte φ_{OF} oder die Oberflächenfeuchte bezogen auf die Zuluft $\varphi_{OF,ZU}$ grösser sind als die maximal zulässige Oberflächenfeuchte an mindestens einem Punkt im Innenraum und die Lüftungsanlage spezifisch *befeuchtend* wirkt, soll die feuchtegeführte Lüftung gesperrt werden. Die Anwendung aller drei Kriterien ist dabei die strengste Variante. Je nach Situation ist denkbar, eines oder zwei der Kriterien nicht anzuwenden. Die Lüftungsanlage wirkt befeuchtend, wenn die spezifische Feuchte der in den Innenraum eintretenden Zuluft am Eintritt in den Innenraum grösser ist als die spezifische Feuchte der aus dem Innenraum austretenden Luft am Austritt aus dem Innenraum.

Bevorzugte Ausführungsform

[0023] Die bevorzugte Ausführungsform besteht darin, ein handelsübliches Komfort-Lüftungsgerät mit Wärmerück-

gewinnung und Bypass zu verwenden. Das Rohrleitungs- und Instrumenten-Fliessschema Fig. 2 zeigt eine solche Anordnung. Hierbei bedeuten die Ziffern 1 Sensor für Aussenluftfeuchte und -temperatur, 2 Aussenluft, 3 Fortluft, 4 Bypass-Kanal, 5 optionaler Sensor für Zuluftfeuchte und -temperatur, 6 Gebäudevolumen, 7 Abluft, 8 Sensor Raumfeuchte und -temperatur, 9 Zuluft, Klimasymbole siehe Fig. 3.

[0024] Die Erfindung wird in der Praxis mit anderen Regelungen für Luftschadstoffe überlagert. Entsprechend funktioniert sie besser, je weniger Luftschadstoffe anfallen, je grösser der Bereich des erlaubten Klimas ist und je mehr Zeit zur Verfügung steht, das Klimaziel zu erreichen.

[0025] Obschon es theoretisch möglich ist, eine erfindungsgemässe Lüftungsanlage mit nur zwei Temperatur- und Feuchtesensoren zu betreiben, sollte man in der Praxis mindestens drei Sensoren verwenden, wovon der dritte die Zuluft erfasst. Das bietet verschiedene Vorteile:

- Auch wenn der Aussensor in einem Strahlungsschutzgehäuse untergebracht ist, besteht immer das Risiko von Abweichungen zwischen der gemessenen Aussenluft beim Sensor und der angesaugten Aussenluft.
- Die Luft aussen kann übersättigt sein mit Nebel. Viele Feuchtesensoren können dies nicht erfassen; die berechnete spezifische Feuchte ist dann zu tief.
- Wenn auf einer Seite die Feuchtigkeit genügend gross und der Temperaturunterschied innen-aussen genügend gross ist, kann es im Wärmetauscher zu Kondensation kommen. Ein Zuluftsensoren erfasst die dadurch entstandene Abweichung.

[0026] Wenn die Anforderungen an das Raumklima höher sind, wird man die Erfindung mit anderen Geräten wie Heizungen und Entfeuchtern kombinieren. Die Erfindung sorgt dafür, dass diese energieintensiven Geräte nur so oft und stark laufen, wie unbedingt erforderlich.

Mathematische Formulierung

[0027] Aus einer Umformulierung des idealen Gasgesetzes erhält man die Formel zur Berechnung des Feuchtegrades aus relativer Feuchte, Temperatur und Luftdruck:

$$x = \frac{M_{H_2O}}{M_{tL}} \cdot \frac{\varphi \cdot E_s(\vartheta)}{p - \varphi \cdot E_s(\vartheta)} \quad (1.1)$$

[0028] Der Feuchtegrad wird in Gramm Dampf pro Kilogramm trockener Luft angegeben. Ist der Feuchtegrad x in einem Raum bekannt, braucht es bloss die Temperatur ϑ_2 , um an einer beliebigen Stelle 2 eine relative Feuchte φ_2 zu berechnen. Man erhält durch Auflösen von Gl. 1.1 nach φ :

$$\varphi_2 = \frac{x \cdot p}{E_s(\vartheta_2) \cdot \left(\frac{M_{H_2O}}{M_{tL}} + x \right)} \quad (1.2)$$

[0029] Die Stelle 2 kann sich in der Luft befinden oder an einer Oberfläche. Durch erneutes Einsetzen von Gl. 1.1, aber mit dort verwendeter Temperatur und rel. Feuchte kann man diese Formel kürzen, dabei löst sich der Feuchtegrad auf, der Luftdruck fällt weg und es gilt für die Oberflächenfeuchte:

$$\varphi_{OF} = \varphi_{Raum} \frac{E_s(\vartheta_{Raum})}{E_s(\vartheta_{OF})} \quad (1.3)$$

[0030] Man definiert die grundlegenden Ortsvektoren für den Zustand der Aussenluft, der Raumluft und des optimalen Klimas:

$$\vec{r}_{AU} = \begin{pmatrix} T_{AU} \\ \varphi_{AU} \end{pmatrix} \quad \vec{r}_{AB} = \begin{pmatrix} T_{AB} \\ \varphi_{AB} \end{pmatrix} \quad \vec{r}_{ZU} = \begin{pmatrix} T_{ZU} \\ \varphi_{ZU} \end{pmatrix} \quad \vec{r}_{opt} = \begin{pmatrix} T_{max} \\ \varphi_{min} \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

[0031] Anschliessend definiert man, in welche Richtung die drei Lüftungsmodi wirken. Bypass und freie Lüftung besitzen folgenden Änderungsvektor:

$$\vec{d}_B = \vec{r}_{ZU} - \vec{r}_{AB} = \vec{r}_{AU} - \vec{r}_{AB} = \begin{pmatrix} T_{AU} - T_{AB} \\ \varphi_{AU} - \varphi_{AB} \end{pmatrix} \quad (1.5)$$

[0032] Die wichtigste Kennzahl eines Wärmetauschers ist seine Rückwärmezahl bezogen auf die Aussenluft.

$$\eta = \frac{T_{ZU} - T_{AU}}{T_{AB} - T_{AU}} \quad (1.6)$$

[0033] Mit ihr lässt sich die Zulufttemperatur berechnen: $T_{ZU,calc} = T_{AU} - \eta \cdot (T_{AU} - T_{AB})$.

[0034] Ein reiner Wärmetauscher mit η_{WT} wirkt daher wie folgt:

$$\vec{d}_{WT} = \vec{r}_{ZU,calc} - \vec{r}_{AB} = \begin{pmatrix} (1 - \eta_{WT})(T_{AU} - T_{AB}) \\ \varphi(x_{AU}; T_{AU} - \eta_{WT} \cdot (T_{AU} - T_{AB})) - \varphi_{AB} \end{pmatrix} \quad (1.7)$$

[0035] Ein Enthalpiewärmetauscher mit Rückwärmezahl η_{1E} besitzt zusätzlich eine Rückfeuchtezahl η_{2E} bezogen auf die Aussenluft:

$$\eta_2 = \frac{x_{ZU} - x_{AU}}{x_{AB} - x_{AU}} \quad (1.8)$$

[0036] Mit ihr lässt sich der Feuchtegrad der Zuluft berechnen: $x_{ZU,calc} = x_{AU} - \eta_2 \cdot (x_{AU} - x_{AB})$.

[0037] Ein Enthalpiewärmetauscher wirkt wie folgt:

$$\vec{d}_E = \vec{r}_{ZU,calc} - \vec{r}_{AB} = \begin{pmatrix} (1 - \eta_{1E})(T_{AU} - T_{AB}) \\ \varphi(x_{AU} - \eta_{2E} \cdot (x_{AU} - x_{AB}); T_{AU} - \eta_{1E} \cdot (T_{AU} - T_{AB})) - \varphi_{AB} \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

[0038] Die Werte für Rückwärme und Rückfeuchte stehen im Datenblatt jedes Lüftungsgerätes. Sie können aber auch anhand der effektiven Temperaturen berechnet werden.

[0039] Solange das Ist-Raumklima im Sollbereich liegt, wird der Punkt mit der maximalen Temperatur und der minimalen Feuchte angestrebt. Die anzustrebende Richtung lautet demnach:

$$\vec{d}_{soll} = \vec{r}_{opt} - \vec{r}_{AB} \quad (1.10)$$

[0040] Liegt das Ist-Klima jedoch ausserhalb des Sollbereichs, verschiebt sich die Priorität zugunsten des Faktors, der abweicht. Diese Priorisierung wird mit c_T für die Temperatur und c_φ für die Feuchte abgebildet. Die Faktoren c_T und c_φ liegen deutlich über 1. Die Priorisierung führt zu einer Verdrehung der Sollrichtung:

$$\vec{d}_{ziel} = \vec{d}_{soll} + \begin{pmatrix} c_T \cdot (H(T_{AB} - T_{max})(T_{max} - T_{AB}) + H(T_{min} - T_{AB})(T_{min} - T_{AB})) \\ c_\varphi \cdot (H(\varphi_{AB} - \varphi_{max})(\varphi_{max} - \varphi_{AB}) + H(\varphi_{min} - \varphi_{AB})(\varphi_{min} - \varphi_{AB})) \end{pmatrix} \quad (1.11)$$

[0041] $H()$ ist darin die Heaviside-Funktion, die für alle Argumente grösser null den Wert 1 hat und ansonsten den Wert 0. d_{ziel} wird in den Ansprüchen Soll-Klimaänderungsvektor genannt.

[0042] Schliesslich ergibt sich der grundsätzliche Nutzen aus dem Skalarprodukt aus Änderungsvektor des Lüftungsverfahrens mit dem Soll-Klimaänderungsvektor. Da im Skalarprodukt Temperaturen mit Prozenten multipliziert würden, benötigt man einen Korrekturfaktor, um die Temperatur dimensionslos zu machen und die Gewichtung zwischen Tem-

peratur und Feuchte vorzunehmen. Der Skalierfaktor sei hier c_s genannt. Daraus wird der Skaliervektor $\vec{c}_s$ erstellt:

$$\vec{c}_s = \begin{pmatrix} {}^\circ\text{C}^{-1} \\ c_s \end{pmatrix} \quad (1.12)$$

[0043] Somit erhalten wir für die drei Lüftungsverfahren die Skalare für den grundsätzlichen Nutzen

$$\begin{aligned} a_b &= (\vec{d}_b \circ \vec{c}_s) \cdot (\vec{d}_{ziel} \circ \vec{c}_s) \\ a_{wt} &= (\vec{d}_{wt} \circ \vec{c}_s) \cdot (\vec{d}_{ziel} \circ \vec{c}_s) \\ a_{ewt} &= (\vec{d}_{ewt} \circ \vec{c}_s) \cdot (\vec{d}_{ziel} \circ \vec{c}_s) \end{aligned} \quad (1.13)$$

[0044] Der Kreisoperator $\circ$ steht für das Hadamard-Produkt, die elementweise Multiplikation. Negative Werte bedeuten, dass der Winkel zwischen Lüftungsverfahren und Ziel grösser als 90° ist, das Lüftungsverfahren wirkt in die falsche Richtung.

[0045] Das Skalarprodukt erzeugt für grosse Beträge, aber Winkel nahezu senkrecht zum Ziel trotzdem ansehnlich positive Werte. Wegen der nichtlinearen Charakteristik der Luftfeuchtigkeit ist es kaum sinnvoll, zum Zwecke der Entfeuchtung bei diesen Werten zu lüften. Der Cosinus des Winkels zwischen Lüftungsverfahren und Ziel berechnet sich wie folgt:

$$\cos \alpha_x = \frac{a_x}{|\vec{d}_x \circ \vec{c}_s| \cdot |\vec{d}_{ziel} \circ \vec{c}_s|}, \quad (1.14)$$

[0046] wobei der Index x hier für die drei Lüftungsverfahren b , wt und ewt steht. Weicht die Lüftungsrichtung gegenüber dem Soll-Klimaänderungsvektor stärker ab, kann man gegen die trockene Seite toleranter sein als auf die feuchte Seite. $\cos \alpha$ ist jedoch für Winkel kleiner 0 gleich gross wie für Winkel grösser 0. Wir berücksichtigen deshalb für jede Lüftungsart zusätzlich, ob sie die relative Feuchtigkeit erhöht oder senkt. Mathematisch:

$$r_x = \text{sgn } d_{x,2} \quad (1.15)$$

[0047] Mit Hilfe der Signum-Funktion erhält man +1, wenn das Lüftungsverfahren die relative Feuchte erhöht, und -1, wenn sie diese reduziert.

Skalierfaktor

[0048] Der Skalierfaktor c_s beschreibt die Äquivalenz aus relativer Feuchte und Temperatur. Er kann aus dem Gra-

$\frac{\partial}{\partial T} \varphi(x, T)$
 dienten der relativen Feuchte abgeleitet nach der Temperatur gebildet werden und beträgt bei üblichen Raumtemperaturen und -feuchtigkeitswerten zwischen 20 und 60. Mit anderen Worten: *Sinkt* die relative Feuchte um 0.01 (1 %), ist dies bei gleichem Feuchtegrad gleichwertig mit einer 0.2°C bis 0.6°C *höheren* Temperatur und umgekehrt. Der genaue Wert ist nicht so kritisch. Aus Gl. 1.2 ergibt sich durch Ableiten und Einsetzen von Gl. 1.1

$$c_s := \frac{E_s(T)}{\frac{d}{dT} E_s(T) \cdot \varphi} \cdot \frac{1}{K}. \quad (1.16)$$

[0049] Mit dem Faktor 1/K wird die Ableitung dimensionslos gemacht, damit ein Skalarprodukt berechnet werden kann. Das Vorzeichen von c_s ist für die weitere Berechnung insbesondere von Gl. 1.13 nicht relevant, da der Faktor später mit sich selbst multipliziert wird.

Winkeltoleranz

[0050] Bei der Beurteilung, ob ein Lüftungsverfahren noch sinnvoll ist, erweisen sich für Abweichungen auf die trocknende Seite Werte für $\cos \alpha$ zwischen 0 und 1/2 als sinnvoll, also Abweichungen bis 60° oder gar 90° sind immer noch nützlich. Auf die befeuchtende Seite empfiehlt es sich, die Werte etwas enger zu setzen und verwirft das Lüftungsver-

fahren, wenn die Abweichung grösser als 45° oder der Cosinus kleiner als $\sqrt{2}/2$ ist.

Oberflächenfeuchte

[0051] Da es schwierig ist, Oberflächenfeuchten (auch Wasseraktivität genannt) direkt zu messen, wird mit einem oder mehreren reinen Temperaturfühlern an den Innenseiten die Wand- oder Bodentemperatur gemessen. Anschliessend wird mit dem ohnehin vorhandenen Sensor für die Raumluft (8 in Fig.2) daraus eine oder mehrere relative Oberflächen-Feuchtigkeiten oder Wasseraktivitäten φ_{OF} berechnet. Das geschieht mit Gleichung 1.3.

[0052] In der Praxis zeigt sich, dass bereits zwei Temperaturfühler gute Werte liefern: Einer wird an der Innenseite einer Aussenwand beim Übergang zum Boden angeordnet. Dort befindet sich im Sommer häufig der kälteste und damit bezüglich Oberflächenfeuchte meistgefährdete Punkt. Ein anderer Sensor befindet sich an der Innenseite der Aussenwand oben, wo es im Winter häufig am kältesten ist. Der kälteste Punkt hat die höchste relative Oberflächenfeuchte und ist damit massgeblich für die Regelung.

[0053] Verwendet man anstatt des Feuchtegrades für den Raum den Feuchtegrad der Zuluft, erhält man die Feuchtigkeit, welche die frisch eintretende Zuluft aufweisen kann, wenn sie auf die kälteste Stelle trifft. Die Vereinfachung gilt analog zu 1.3.

$$\begin{aligned}
 \varphi_{OF,ZU} &= \frac{x_{ZU} \cdot p}{E_s(\vartheta_{OF}) \cdot \left(\frac{M_{H_2O}}{M_{tL}} + x_{ZU} \right)} \\
 &= \varphi_{ZU} \cdot \frac{E_s(\vartheta_{ZU})}{E_s(\vartheta_{OF})}
 \end{aligned} \quad (1.17)$$

[0054] Je nach Anordnung der Zuluft und Position der kältesten Stelle ist es unwahrscheinlich, dass die frisch eintretende Zuluft genau auf die kälteste Stelle tritt. Im Sinne einer konservativen Annahme ist es dennoch empfehlenswert, die Lüftung zu unterbinden, wenn $\varphi_{OF,ZU} > \varphi_{max}$ und die Zuluft befeuchtend wirkt. Das ist der Fall, wenn es aussen so viel wärmer und feuchter ist, dass es zu sofortiger Überschreitung der maximal zulässigen relativen Feuchtigkeit käme.

[0055] Im Winter hingegen kann es sein, dass die Lüftung mit Wärmetauscher entfeuchtet, wegen schlecht isolierter Wände und infolgedessen tiefen Oberflächentemperaturen sich trotzdem eine Überschreitung der maximalen Oberflächenfeuchte einstellt. In diesem Fall macht es Sinn, die Lüftungsanlage parallel zur Heizung oder dem Entfeuchter laufen zu lassen.

[0056] Statt der maximalen Oberflächenfeuchte kann man auch die zweithöchste, ein Quantil, den Mittelwert oder Median verwenden zum Sperren der Lüftung. Das ergibt insbesondere Sinn, wenn mehr als zwei Sensoren vorhanden

sind und man punktuell Schimmel oder Rost begünstigendes Klima in Kauf nehmen kann.

Lüftungsgeräte ohne Bypass

- 5 **[0057]** Wird ein Lüftungsgerät ohne Bypass verwendet, bestehen mehrere Möglichkeiten, eine gleichwertige Wirkung zu erzielen:
- Man kann mit einem zusätzlichen Fenstermotor einen Bypass realisieren. Dazu wird der Abluft-Fortluft-Ventilator einfach abgeschaltet. Die Abluft wird so durch das Fenster fortgeblasen. Der Aussenluft-Zuluft-Ventilator läuft weiter und zwingt die Aussenluft, den Filter zu durchströmen, so dass die Zuluft sauber ist. Das wäre bei umgekehrter Betriebsweise nicht der Fall.
 - Statt einem Fenstermotor wie beim ersten Listenpunkt kann man auch einen Klappenantrieb in einem Mauerdurchbruch einsetzen. Das hat Vorteile bei der Personensicherheit.
 - Werden mehrere dezentrale Lüftungsgeräte ohne Bypass eingesetzt, lässt man bei einer Gruppe nur den Aussenluft-Zuluft-Ventilator laufen und bei der zweiten Gruppe nur den Abluft-Fortluft-Ventilator. Die Anzahl Geräte pro Gruppe kann unterschiedlich sein, die Summe der Abluft sollte mit der Summe der Zuluft ungefähr übereinstimmen.
 - Mit mindestens je einem Wärmetauscher- und einem Enthalpiewärmetauscher-Lüftungsgerät kann nicht nur ein Bypass realisiert werden, sondern der Einsatz von Lüftung kann erweitert werden und der Verrohrungsaufwand ist unter Umständen geringer.

Kombination mit Fenster, Türen und Toren

- 25 **[0058]** Der Luftaustausch kann wirkungsvoll und energieeffizient realisiert oder unterstützt werden, indem Fenster, Türen und Tore geöffnet werden. Das geht auf verschiedene Art und Weise:
- Auf einer Anzeige kann den Raumbenutzern mitgeteilt werden, dass jetzt günstige Bedingungen für Fensterlüftung herrschen. Diese öffnen und schliessen darauf selbständig Fenster, Türen und Tore. Der damit erzielbare Luftaustausch ist oft grösser als ein Lüftungsgerät bereitstellen kann, zudem wird keine Energie benötigt, sobald die Fenster, Türen und Tore offen sind.
 - Automatische Türen und Tore schliessen in der Regel nach einer gewissen Wartezeit, wenn der Komfortsensor (in der Regel ein Radar) keine Person oder kein Fahrzeug mehr erkennt. Sie öffnen im Sommer ganz, im Winter kann man eine reduzierte Öffnung einstellen, um Wärmeverluste zu minimieren.
- 40 **[0059]** Es ist möglich, die Türen und Tore in die Steuerung einzubeziehen, indem die Öffnungsweite und die Wartezeit dem Klima angepasst werden. Das schont auch die Antriebe, weil sie weniger Zyklen fahren und kürzere Strecken zurücklegen.
- [0060]** Der Luftaustausch durch Fenster, Türen und Tore wird forciert, wenn die Wirkrichtung der Aussenluft optimal ist für Bypasslüftung. Die Kriterien sind dieselben wie bei der mechanischen Lüftung (Skalarprodukt positiv, Winkel innerhalb bestimmter Grenzen). Der Luftaustausch wird forciert begrenzt, wenn das Skalarprodukt negativ ist.

Dynamisches Verhalten

- 45 **[0061]** Die absolute und die spezifische Feuchtigkeit, aber auch die Temperatur und der Taupunkt aussen sinken in den Nachtstunden in der Regel langsam, bevor sie am Morgen bei Sonnenaufgang schnell und stark ansteigen. Das erkennt man gut an den Gradienten dieser Werte.
- 50 **[0062]** Wechseln die Gradienten ins Positive (typischerweise am Morgen), sollte man nicht lüften, wenn man entfeuchten will. Weil durch Lüften die Innenfeuchte der Aussenfeuchte zeitlich versetzt folgt, würden beide Werte parallel ansteigen.
- [0063]** Um ein verlässliches Feuchtegradientensignal zu erhalten, ist ein Signalfilter auf dem Feuchtwert sinnvoll. Dafür eignet sich ein Tiefpassfilter, wobei die Eckfrequenz zwischen einer und zwölf Stunden betragen sollte, bevorzugterweise drei bis fünf Stunden. Diese Frequenz filtert das Signal genügend stark, ohne es unzulässig lang zu verzögern.
- 55 **[0064]** Man muss die Lüftung nicht zwingend die ganze Zeit mit positivem Gradienten sperren, es reicht eine bestimmte Zeit. Nach ungefähr einer Stunde ist die Differenz der spezifischen Feuchte so gross, dass ohnehin nicht mehr gelüftet

würde.

[0065] Ein sehr ähnliches Verhalten erreicht man mit einer digitalen Zeitschaltuhr, welche den Sonnenaufgang berechnet. Man blockiert kurz nach Sonnenaufgang (0-30 min) die Lüftung für ca. eine Stunde (10 min-2 h).

5 **Längere kalt-feuchte Perioden**

[0066] Leider gibt es Zeitperioden, in denen über mehrere Tage der Nutzen der Lüftungsanlagen negativ ist. So z. B. im Herbst, wenn es kühl und feucht ist. Wenn ein Mindest-Luftaustausch gewünscht ist und die Klima-Sollwerte so gelegt wurden, dass generell entfeuchtet werden soll, sollte man an solchen Tagen bevorzugt dann lüften, wenn die Feuchtigkeit am geringsten ist. Typischerweise ist das die Zeit vor Sonnenaufgang. Will man also n Stunden Lüften, tut man das in den n Stunden vor Sonnenaufgang.

Kombination mit Solar-Luftkollektoren

[0067] Die Erfindung kann gut mit solaren Luftkollektoren kombiniert werden, solange ein Lüftungsgerät mit Bypass zum Einsatz kommt. Der Ausgang des Luftkollektors wird an den Aussenluftzugang des Lüftungsgerätes angeschlossen. Durch die angehobene Temperatur kann häufiger in den vorteilhaften Bypassmodus geschaltet werden; der Idealfall aussen warm und trocken tritt statistisch häufiger ein.

20 **Integration in Monoblocks**

[0068] Monoblocks sind Lüftungsgeräte (ähnlich Fig. 2), welche mit Heiz- und Kühlregistern sowie einem Befeuchter ausgestattet sind. Sie können Aussenluft- und Umluftbetrieb kombinieren. Wird die Erfindung mit einem Monoblock als Hardware verwendet, führt sie zu einem reduzierten Einsatz der Heiz- und Kühlregister und spart so Energie.

Kanalsensoren Aussenluft und Abluft

[0069] Statt einem Aussen- und einem Raumsensor kann man auch Kanalsensoren in Aussenluft und Abluft verwenden. Wenn die Anlage steht, muss periodisch gespült werden, bis die Kanalsensoren vernünftige Werte anzeigen. Dabei gelangt unter Umständen ungeeignete Luft ins Gebäudevolumen und man verpasst den optimalen Zeitpunkt zum energieeffizienten Lüften. Daher ist es am besten, sowohl freistehende als auch Kanalsensoren zu verwenden. Der freistehende Abluftsensor wird in diesem Dokument Raumsensor genannt. Im Stillstand und während der Spülzeit sind die freistehenden Sensoren aktiv, danach die Kanalsensoren.

[0070] Ein Vorteil von Kanalsensoren (d. h. Sensoren in den Kanälen für nach aussen geleitete bzw. von aussen in den Innenraum geleitete Luft) ist, dass sie in das Lüftungsgerät integriert werden können und damit zusätzlicher Aufwand für das Installieren entfällt. Andererseits liefern sie nur gültige Wert in strömender Luft, also bei laufender Lüftungsanlage, in der Luft nach aussen strömt und Luft nach innen strömt. Bei einer Anlage, in der die Sensoren auch bei Stillstand gültige Werte liefern sollen, ist es vorteilhaft, Sensoren so anzubringen, dass sie die Parameter in der Aussenluft und in der Innenluft messen, d. h. die Sensoren sind separat an passenden Stellen im Innenraum und in der Aussenatmosphäre angeordnet.

Startwerte Zuluftfeuchte und -Temperatur

[0071] Verschiedentlich kommen im Verfahren Zuluftfeuchte und -Temperatur vor. Diese Werte sind jedoch nicht bekannt, wenn die Lüftungsanlage steht. Als Startwert werden daher kalkulierte Werte auf Basis angenommener Rückwärme- und Rückfeuchtezahlen verwendet. Nachdem die Anlage ein paar Minuten läuft, kann auf die eventuell vorhandenen Kanalsensoren umgeschaltet werden.

Zähler

[0072] Bei den heute eingesetzten Ventilatorsteuerungen ist die elektrische Leistung ziemlich genau bekannt. Weil die Anlagen bei der Inbetriebnahme eingemessen werden, ist auch der Luftstrom bei verschiedenen Drehzahlen recht genau bekannt; grössere Anlagen haben oft einen Volumenstromsensor.

[0073] Der Quotient aus elektrischer Leistung und Luftstrom ist die SFP, ausgedrückt in Energie pro Luftmenge.

[0074] Ebenso bekannt sind die absoluten Feuchten und Temperaturen von Zuluft und Abluft. Aus der Differenz von absoluter Ab- und Zuluftfeuchte multipliziert mit dem Volumenstrom kann die aktuelle Be- und Entfeuchtungsleistung berechnet werden. Das Integral über diese Grössen ist ein Zähler für ab- und zugeführtes Wasser, wenn man positive und negative Werte separat erfasst. Ein solcher Zähler kann Kunden beruhigen, denn es wird in der Praxis sehr viel

mehr Wasser abgeführt als zugeführt.

[0075] Mit den vorhandenen Daten lässt sich die spezifische Enthalpie von Zu- und Abluft berechnen. Die Enthalpie kann auch über Sensoren in Aussenluft und Fortluft bestimmt werden, aber das ist weniger sinnvoll. Die Differenz der spezifischen Enthalpie multipliziert mit der Dichte und dem Volumenstrom ergibt den Wärmestrom, das Integral darüber die Energie, welche pro Tag, Woche, Monat und Jahr gezählt werden kann.

[0076] Zur Überwachung der Energieeffizienz interessant sind die Quotienten aus Wärmemengen, Entfeuchtungsleistung und Energieverbrauch: Die Leistungszahlen COP, EER und MRE.

Berücksichtigung der Effizienz

[0077] Wenn eine sehr leistungsfähige Lüftungsanlage in einem verhältnismässig kleinen Gebäudevolumen steht, kann es sein, dass der Energieaufwand für die Lüftung in keinem Verhältnis steht mit dem Nutzen in Form von zugeführter Wärme oder abgeführter Feuchte.

[0078] Es ist also ohne weiteres möglich, den Luftstrom zu begrenzen, damit eine gewisse Effizienz gewährleistet ist, gemessen in abgeführtem Wasser-Volumenstrom pro elektrischer Leistung oder zugeführter Wärme pro elektrischer Leistung oder einer Kombination der beiden Werte.

[0079] Es ist auch möglich, den Volumenstrom so zu variieren, dass die Effizienz maximiert wird. Dieser Modus hat jedoch den Nachteil, dass die Effizienz oft bei kleinen Luft-Volumenströmen und damit auch kleinen Wärmegewinnen und Entfeuchtungsleistungen am grössten ist.

Wärmetauscher-Wechsel

[0080] Bei Innenräumen mit einer tiefen Temperaturobergrenze T_{max} kann man im Hochsommer ein Enthalpie-Wärmetauscherpaket einsetzen, um den Feuchteeintrag zu minimieren, wenn zur Schadstoffreduktion gelüftet werden muss. Der Steuerung muss bloss mitgeteilt werden, welches Paket eingesetzt ist.

[0081] Man kann auch ein Sommerpaket, einen Plattenwärmetauscher und einen Enthalpiewärmetauscher durch einen Antrieb oder Roboter auswechseln lassen.

[0082] Alternativ gibt es Wärmetauscher mit variabler Feuchterückgewinnung, beispielsweise Rotationswärmetauscher. Bei diesen kann durch Veränderung der Drehzahl mehr oder weniger Feuchte rückgewonnen oder ferngehalten werden, was man mit der erfindungsgemässen Steuerung kombinieren kann.

Spezielle Zielklima-Bereiche

[0083] Sofern das Zielklima nicht wie in Fig. 1 ein Rechteck ist, ermittelt man den Klima-Zielpunkt folgendermassen: Im Diagramm Fig. 1 eine Gerade $\varphi = T$ (Diagonale) von oben an die Fläche mit dem Zielklima heranführen. Der erste Schnittpunkt ist der Klima-Zielpunkt. Die Diagonale stellt die Äquivalenz von Temperatur und relativer Feuchte dar. Ist das Zielklima durch die Diagonale $\varphi = T$ begrenzt, nimmt man das Linienende mit der höheren Temperatur.

Abwandlungen der bevorzugten Ausführungsformen

[0084] Aus der vorangehenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen sind dem Fachmann Abwandlungen und Ergänzungen zugänglich, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen, der durch die Ansprüche definiert ist.

[0085] Denkbar sind beispielsweise:

- Wenn das Ist-Klima bezüglich eines Parameters wie Feuchte oder Temperatur ausserhalb des Sollbereichs liegt, wird die Sollrichtung auf andere Art für eine schnellere Rückführung dieses Parameters in den Sollbereich geändert, z. B. um einen Winkel gedreht.
- Es werden zusätzliche Klimaparameter der Sollklimazone definiert, wie Enthalpie, spezifische Feuchte.
- Die Grenzen der Sollklimazone sind durch Linien gegeben, die jeweils einen Klimaparameter in Abhängigkeit von einem oder mehreren der anderen Klimaparameter darstellen. Dabei können für oberen und unteren Wert eines Klimaparameters unterschiedliche Abhängigkeiten gewählt werden, insbesondere kann auch der eine Wert konstant sein.
- Statt des normalen Skalarproduktes $\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cos \alpha$ wird eine Definition verwendet, die die Richtung stärker gewichtet, z. B. $\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos^n \alpha$ mit $n > 1$.

Glossar

[0086]

- 5 **absolute Feuchte** Dimension Gramm Dampf pro Kubikmeter Luft, verändert sich beim Durchströmen eines Wärmetauschers leicht, Luftdruck muss nicht gemessen oder angenommen werden
- Feuchtegrad** Dimension Gramm Wasserdampf pro Kilogramm trockene Luft, sie verändert sich beim Durchströmen eines Wärmetauschers nicht. Die Berechnung setzt Kenntnis des Luftdruckes voraus.
- 10 **Feuchtkugeltemperatur** Die Feuchtkugeltemperatur ist die tiefste Temperatur, welche sich durch Verdunstungskühlung erzielen lässt. Sie ist ein Mass für Behaglichkeit bei höheren Temperaturen.
- Luftschadstoffe** In Bezug auf die Erfindung sind insbesondere CO₂, Staub, VOC (zu denen Modergeruch gehört) und Radon relevant.
- 15 **Lüftungsanlage** Summe der installierten Lüftungstechnischen Komponenten, also Lüftungsgerät mit Verrohrung, Klappen, Registern etc.
- Lüftungsgerät** Zentrales Bauteil der Lüftungsanlage, wird in der Regel in einer Fabrik gefertigt und beinhaltet Ventilatoren, Steuerung, Sensoren, oft auch einen Wärmetauscher
- 20 **relative Feuchte** dimensionslose Grösse in Prozent der Sättigungsdampfmenge bei gegebener Temperatur, verändert sich beim Durchströmen eines Wärmetauschers stark
- 25 **Rückfeuchtezahl** ist ein Mass für die spezifische Feuchte, welche ein Enthalpiewärmetauscher zurückgewinnt.
- Rückwärmezahl** auch Wärmebereitstellungsgrad oder Temperaturänderungsgrad genannt, ist ein Mass für die Temperatur, welche ein Wärmetauscher zurückgewinnt.
- 30 **Sommerpaket** Konstruktion zum Einsatz in Lüftungsgeräten mit Aussenabmessungen eines Plattenwärmetauschers. Da nur eine Platte vorhanden ist, verhindert es den Wärmetausch.
- spezifische Feuchte** Dimension Gramm Wasserdampf pro Kilogramm feuchte Luft, sie verändert sich beim Durchströmen eines Wärmetauschers nicht. Die Berechnung setzt Kenntnis des Luftdruckes voraus.
- 35

Akronyme

[0087]

- 40 **AB** Abluft
- AU** Aussenluft
- 45 **b** Bypass
- COP** Coefficient of Performance
- EER** Energy Efficiency Ratio
- 50 **ewt** Enthalpiewärmetauscher
- fL** freie Lüftung
- 55 **FO** Fortluft
- MRE** Moisture Removing Efficiency

SFP spezifische Lüftungsleistung

wt Wärmetauscher

5 **ZU** Zuluft

Formelzeichen

[0088]

10 E_s Sättigungsdampfdruck, nur temperaturabhängig; wenn Temperatur als Parameter vorhanden: bei der angegebenen Temperatur

15 M_{H_2O} molare Masse von Wasser, 18.02 g mol⁻¹

M_{tL} molare Masse von trockener Luft, 28.96 g mol⁻¹

T_{max} obere Grenze der Solltemperatur

20 T_{min} untere Grenze der Solltemperatur

η Wirkungsgrad

25 φ_{OF} relative Feuchtigkeit der Oberfläche, Wasseraktivität

φ_{Raum} relative Feuchtigkeit der Luft im Raum, gemessen an gut belüfteter, nicht zu kalter Stelle

φ_{ZU} relative Feuchtigkeit der Zuluft

30 φ_{max} obere Grenze der relativen Soll-Feuchtigkeit

φ_{min} untere Grenze der relativen Soll-Feuchtigkeit

35 φ relative Feuchtigkeit

ϑ Temperatur in Grad Celsius

$\vec{d}$ Änderungsvektor

40 a grundsätzlicher Nutzen, Skalarprodukt aus Änderungsvektor des Verfahrens und Soll-Klimaänderungsvektor

p Luftdruck

45 x Feuchtegrad, Masse Dampf pro Masse trockener Luft

Patentansprüche

50 1. Verfahren zum Einstellen eines Klimas in einem Innenraum, **dadurch gekennzeichnet**,

- **dass** eine Sollklimazone definiert wird, die durch Linien begrenzt ist, die durch untere und obere Grenzwerte von Sollklimaparametern gegeben sind, wobei Sollklimaparameter wenigstens eine obere und eine untere Temperatur jeweils in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte oder als konstanter Wert, und eine obere und eine untere relative Luftfeuchte, jeweils in Abhängigkeit von der Temperatur oder als konstanter Wert, sind und wobei das Klima des Innenraums in der Sollklimazone liegt, wenn wenigstens die Temperatur des Innenraums im Bereich untere Temperatur bis obere Temperatur bei der vorliegenden Luftfeuchte liegt und die relative Luftfeuchte im Bereich untere Luftfeuchte bis obere Luftfeuchte bei der jeweiligen Temperatur liegt,
- **dass** die relative Luftfeuchte und die Temperatur von Luft wenigstens an je einer Messstelle

- ausserhalb des Innenraums und/oder in in den Innenraum geleiteter, strömender Luft und
- im Innenraum und/oder in aus dem Innenraum nach aussen geleiteter, strömender Luft

bestimmt werden

• und **dass** gelüftet wird, wobei Luft zwischen Innenraum und einer Umgebung ausserhalb des Gebäudes oder Fahrzeuges ausgetauscht wird, wenn durch die Lüftung eine Veränderung des Klimas des Innenraums in Richtung auf einen vorgegebenen Klimazielpunkt in der Sollklimazone oder von einem Zustand ausserhalb der Sollklimazone in Richtung auf die Grenzen der Sollklimazone bewirkt wird, wobei der Klimazielpunkt wenigstens durch eine Zieltemperatur und eine Zielfeuchte definiert ist, auch wenn die relative Luftfeuchte und die Raumtemperatur im Innenraum innerhalb der Sollklimazone liegen, um den Energieverbrauch bei der Raumklimaeinstellung durch den erweiterten Einsatz von Lüftung zu verringern.

2. Verfahren gemäss Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die relative Luftfeuchte und die Temperatur von Luft wenigstens an je einer Messstelle ausserhalb des Innenraums und im Innenraum bestimmt werden.

3. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine, zwei oder drei der folgenden Bedingungen gelten:

a) die Differenz zwischen unterer und oberer Temperatur beträgt mindestens 2°C, bevorzugt mindestens 4 °C, weiter bevorzugt mindestens 6 °C;

b) die Zieltemperatur beträgt höchstens obere Temperatur und mindestens obere Temperatur weniger die Hälfte, bevorzugt weniger ein Drittel, weiter bevorzugt ein Viertel, weiter bevorzugt ein Achtel und noch weiter bevorzugt ein Zehntel der Differenz zwischen oberer und unterer Temperatur, und ist am meisten bevorzugt ungefähr gleich der oberen Temperatur;

c) die Zielfeuchte beträgt wenigstens die untere relative Luftfeuchte und höchstens die untere Luftfeuchte zuzüglich die Hälfte, bevorzugt zuzüglich ein Drittel, weiter bevorzugt zuzüglich ein Viertel, weiter bevorzugt zuzüglich ein Achtel und noch weiter bevorzugt zuzüglich ein Zehntel der Differenz zwischen oberer und unterer relative Luftfeuchte, und ist insbesondere bevorzugt ungefähr gleich der unteren relativen Luftfeuchte.

4. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Innenraumklima in der Sollklimazone liegt, wenn jeder Klimaparameter innerhalb der Sollklimazone liegt.

5. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** gelüftet wird, wenn die relative Feuchte der Zuluft, kleiner als die relative Feuchte im Innenraum ist, solange die Zulufttemperatur im vorgegebenen Temperaturbereich von unterer Temperatur bis obere Temperatur liegt.

6. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sollklimazone ausschliesslich durch die obere und die untere Temperatur und die obere und die untere Luftfeuchte gegeben ist.

7. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei der folgenden drei Verfahren für die Lüftung als Luftaustausch zwischen Innenraum und Umgebung zur Verfügung stehen:

- Luftaustausch im Wesentlichen durch Ablassen von Luft aus dem Innenraum und Zustrom von Luft aus der Umgebung, wobei ein Fortluftstrom bzw. ein Zuluftstrom entsteht, ohne Wärmeaustausch zwischen dem Fortluftstrom und dem Zuluftstrom oder mit Austausch durch direkten Kontakt der beiden Luftströme;
- Luftaustausch über einen Wärmetauscher, der nur einen Wärmeaustausch zulässt; und
- Luftaustausch über einen Enthalpiewärmetauscher, der zusätzlich zum Wärmeaustausch auch einen Austausch von Wasserdampf gestattet;

wobei für jedes der zur Verfügung stehenden Luftaustauschverfahren bestimmt wird, welche Änderung der relativen Feuchte und der Temperatur das Luftaustauschverfahren erbringt, und dasjenige Luftaustauschverfahren eingesetzt wird, das die grösste Änderung in Richtung auf ein Innenraumklima gegeben durch die obere Temperatur und die untere Feuchte bewirkt.

8. Verfahren gemäss Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Änderung bestimmt wird als Summe aus Änderung der relativen Feuchte und Änderung der Temperatur.

9. Verfahren gemäss Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein

Soll-Klimaänderungsvektor von aktuellem Raumklima zum Klimazielpunkt bestimmt wird, wobei Klimazustände wie Raumklima und Klimazielpunkt als Vektoren mit den Klimaparametern als Komponenten dargestellt sind, das die Sollklimazone wenigstens durch die obere Temperatur und die untere Feuchte gegeben ist und wobei als Resultat eines Skalarproduktes der Änderungsvektoren der Luftaustauschverfahren mit dem Soll-Klimaänderungsvektor ein Nutzen jedes Luftaustauschverfahrens bestimmt wird, und dass das Luftaustauschverfahren eingesetzt wird, das den höchsten Nutzen aufweist, und bevorzugt kein Lüftungsverfahren eingesetzt wird, das ein Skalarprodukt kleiner als oder gleich 0 (null) ergibt, entsprechend einem Winkel seines Änderungsvektors mit dem Soll-Klimaänderungsvektor grösser oder gleich 90° .

10. Verfahren gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass

- wenn der Winkel zwischen Änderungsvektor des jeweiligen Verfahrens und dem Soll-Klimaänderungsvektor zwischen 0° und einem Grenzwinkel liegt, das Verfahren mit dem grössten Skalarprodukt gewählt wird, um Verfahren in diesem Winkelbereich bevorzugt einzusetzen,
- wenn kein Verfahren obiges Kriterium erfüllt, aber der Winkel zwischen Änderungsvektor des jeweiligen Verfahrens und dem Soll-Klimaänderungsvektor zwischen dem Grenzwinkel und 90° liegt, das Verfahren mit dem grössten Skalarprodukt gewählt wird,
- ansonsten nur mit einem Lüftungsverfahren, bevorzugt mit einem Lüftungsverfahren mit grösstem Skalarprodukt, gelüftet wird, wenn eine Lüftung unvermeidlich ist.

11. Verfahren gemäss Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine der folgenden Massnahmen angewendet wird, um eine Bevorzugung von Lüftungsverfahren zu erzielen, die die Feuchte verringern:

- Bei Abweichungen des Änderungsvektors des jeweiligen Verfahrens vom Soll-Klimaänderungsvektor auf die trocknende Seite wird ein erster Grenzwinkel vorgegeben und bei Abweichungen auf die befeuchtende Seite ein zweiter Grenzwinkel, der kleiner ist als der erste Grenzwinkel, wobei sich erster und zweiter Grenzwinkel bevorzugt um mindestens 10° unterscheiden, und weiter bevorzugt der erste Grenzwinkel im Bereich 45° bis 90° und der zweite Grenzwinkel im Bereich 45° bis 60° jeweils einschliesslich der Bereichsgrenzen liegt; und
- auf den Cosinus des Winkels zwischen Soll-Klimaänderungsvektor und Änderungsvektor des Lüftungsverfahrens wird eine Funktion angewendet, welche ein schnelleres Abfallen des Werts des Betrags des Cosinus bewirkt, wenn das Lüftungsverfahren befeuchtend wirkt, bevorzugt eine Potenzierung mit Potenzen von mindestens 2, eine Exponentierung oder eine Mischform daraus.

12. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Zustand, bei dem einer der Klimaparameter ausserhalb der Sollklimazone liegt, bei der Auswahl des Lüftungsverfahrens dasjenige eingesetzt wird, welches die grösste Änderung dieses Klimaparameters zur Sollklimazone hin bewirkt.

13. Verfahren gemäss Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass diejenige Komponente des Änderungsvektors jedes Luftaustauschverfahrens, die dem Klimaparameter entspricht, der ausserhalb der Sollklimazone liegt, mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert wird, der grösser als eins ist, um die Änderung des ausserhalb der Sollklimazone liegenden Klimaparameters bei der Auswahl des Luftaustauschverfahrens höher zu gewichten.

14. Verfahren gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Zustand, bei dem einer der Klimaparameter ausserhalb der Sollklimazone liegt, bei der Auswahl des Lüftungsverfahrens dasjenige eingesetzt wird, das die grösste Änderung dieses Klimaparameters zur Sollklimazone hin bewirkt, und dass mindestens eines der Verhältnisse zwischen derjenigen Komponente des Änderungsvektors jedes Luftaustauschverfahrens, die dem Klimaparameter entspricht, der ausserhalb der Sollklimazone liegt, zu je einer anderen Komponente des Änderungsvektors mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert wird, der grösser als eins ist, um die Änderung des ausserhalb der Sollklimazone liegenden Klimaparameters bei der Auswahl des Luftaustauschverfahrens höher zu gewichten.

15. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 13 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Gewichtungsfaktor einen Wert im Bereich 1.5 bis 100, bevorzugt 2 bis 50, weiter bevorzugt 5 bis 10 hat.

16. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass Luftaustauschverfahren nicht eingesetzt werden, die wenigstens eine der folgenden Bedingungen erfüllen:

- Das Verfahren führt nicht zu einer Änderung des Klimas des Innenraums in Richtung auf eine bevorzugte Kombination von Klimaparametern, bevorzugt den Klimazielpunkt, wobei die bevorzugte Kombination von Kli-

maparametern wenigstens bevorzugte Werte für die Temperatur und die Feuchte für den Innenraum umfasst.

• Das Verfahren führt zu einer Erhöhung der spezifischen Feuchte im Innenraum und der Wert der Oberflächenfeuchte φ_{OF} im Innenraum an einem kältesten Punkt ist gleich oder grösser als ein vorgegebener Grenzwert der Oberflächenfeuchte, bevorzugt ist zusätzlich die Oberflächenfeuchte bezogen auf die Zuluft $\varphi_{OF,ZU}$ im Innenraum an einem kältesten Punkt gleich wie oder grösser als der vorgegebene Grenzwert, und weiter bevorzugt ist zusätzlich die relative Feuchte der Zuluft φ_{ZU} gleich wie oder grösser als der vorgegebene Grenzwert, wobei der Grenzwert der Oberflächenfeuchte einer der folgenden ist:

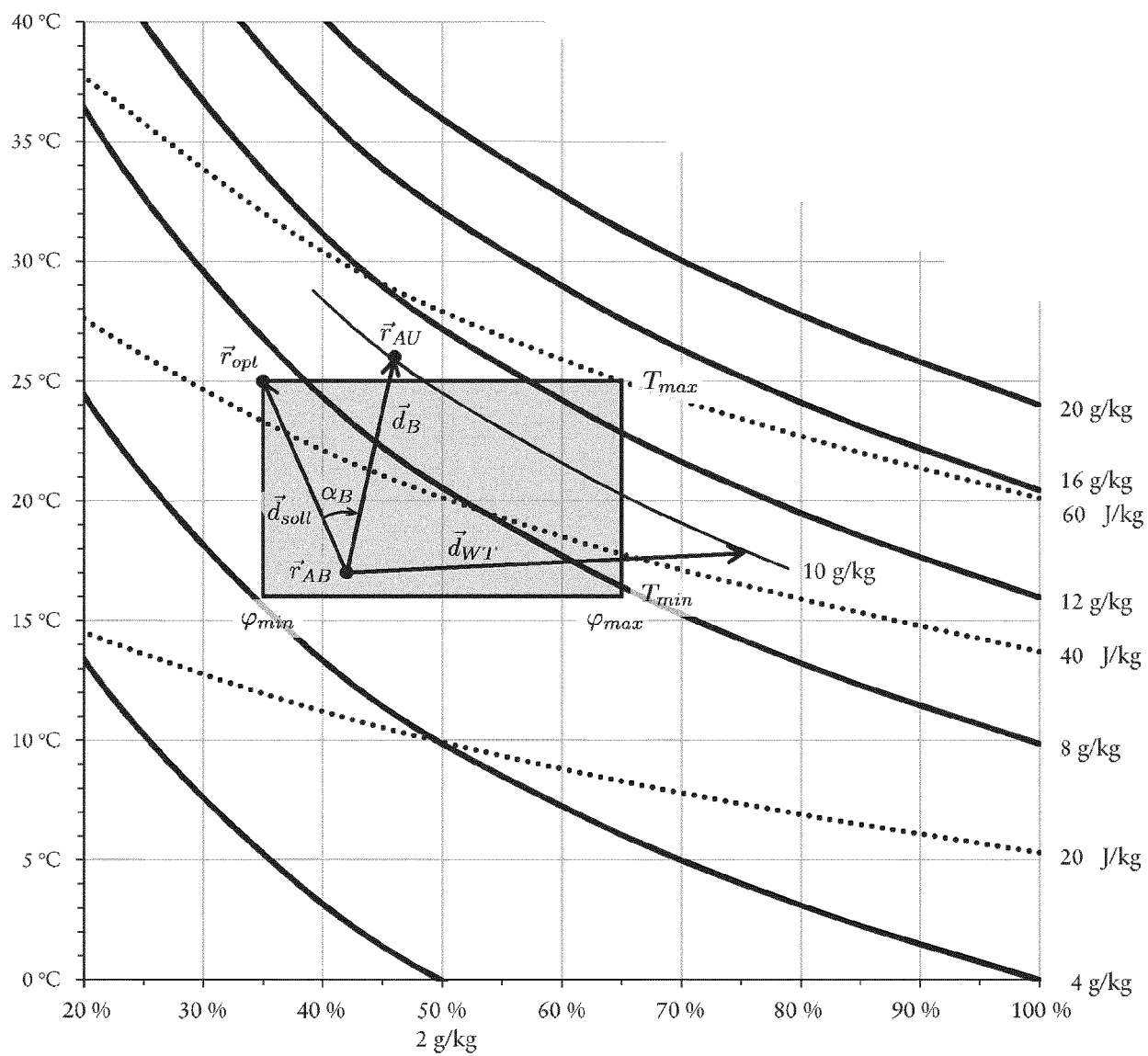
- die relative Feuchte des Klimazielpunkts; oder
- der Wert, bei dem Schimmelbildung einsetzt, bevorzugt 75 %; oder
- der Wert, bei dem Rostbildung einsetzt, bevorzugt 65 %, um Rostschäden insbesondere in Stahlbeton oder Stahlbauten zu vermeiden.

17. Anlage zur Durchführung des Verfahrens gemäss einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** Sensoren vorhanden sind, um wenigstens die Feuchte und die Temperatur im Innenraum, in der Umgebung und in der Zuluft zu bestimmen, um die Klimaparameter von zur Lüftung eingesetzter Luft sowohl allgemein, als auch spezifisch im Zuluftstrom erfassen zu können.

18. Anlage gemäss Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens einer der folgenden Sensoren vorhanden ist:

- ein Sensor der Zuluft im Bereich zwischen Lüftungsanlage und Austritt der Zuluft in den Innenraum;
- ein Sensor der Aussenluft in einer Wetterhütte zum Schutz vor Sonnenstrahlung; und
- ein Sensor der Aussenluft in der Nähe einer Ansaugöffnung der Aussenluft für die Lüftungsanlage.

Fig. 1



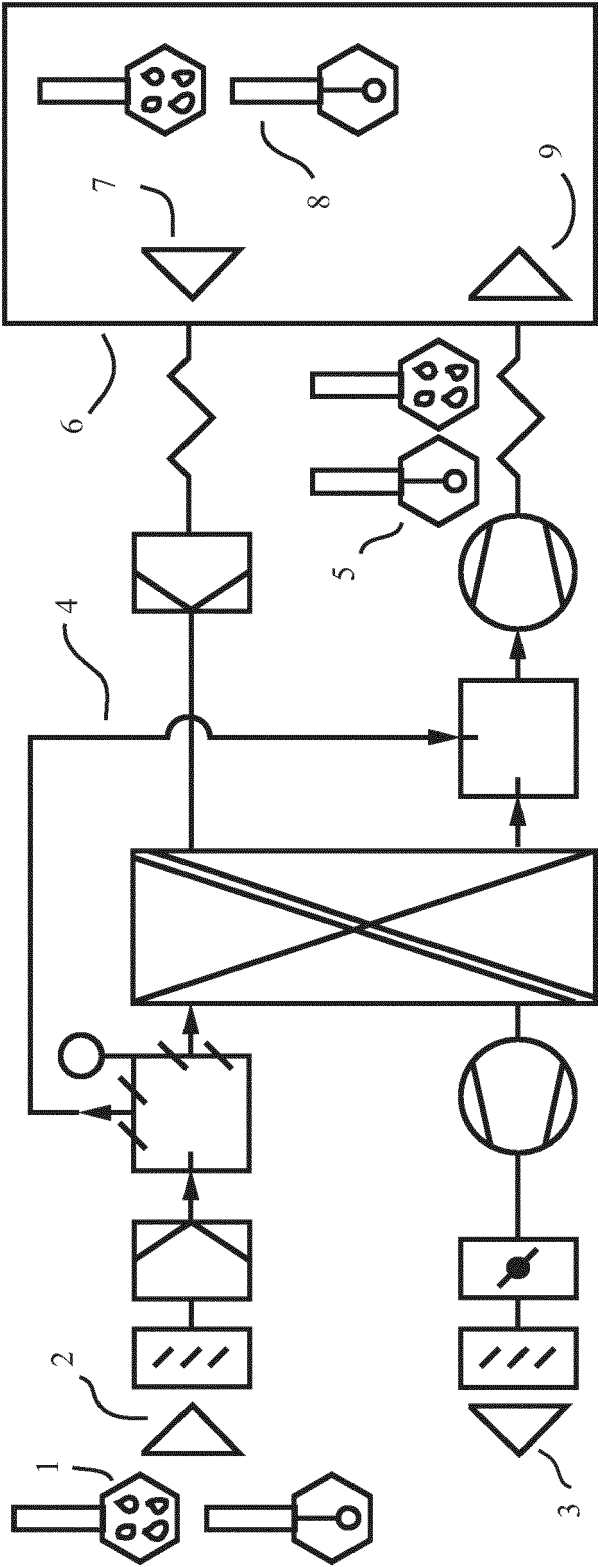
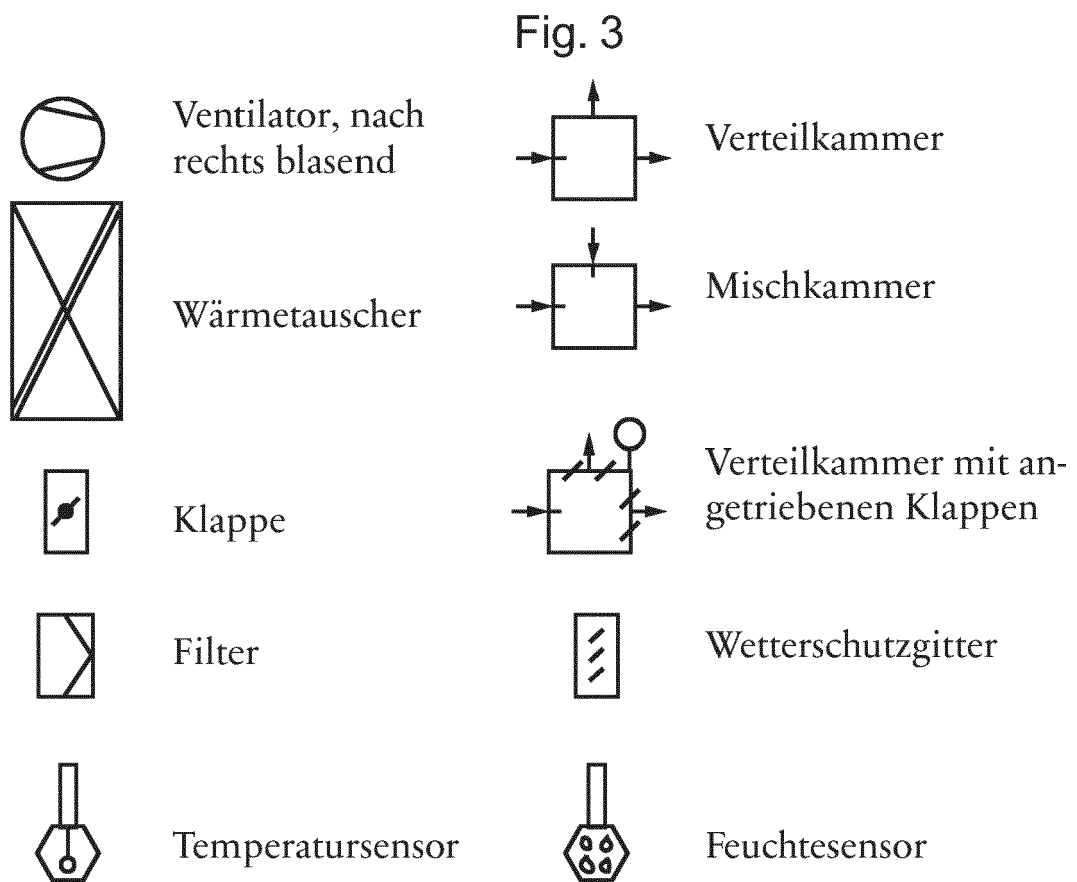


Fig. 2





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 16 0851

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	WO 2012/049897 A1 (DAIKIN IND LTD [JP]; KAWAMURA MAKI ET AL.) 19. April 2012 (2012-04-19) * das ganze Dokument * -----	1-18	INV. F24F11/00 F24F11/63 F24F11/65
A	US 2011/306288 A1 (MURAYAMA DAI [JP] ET AL) 15. Dezember 2011 (2011-12-15) * das ganze Dokument * -----	1-18	
A	CN 111 380 170 A (KYUNG DONG NAVIEN CO LTD) 7. Juli 2020 (2020-07-07) * das ganze Dokument * -----	1-18	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F24F B60H
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 27. Juni 2024	Prüfer Decking, Oliver
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 24 16 0851

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-06-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	WO 2012049897	A1	19-04-2012	JP 2012083086	A	26-04-2012
				WO 2012049897	A1	19-04-2012
15	US 2011306288	A1	15-12-2011	CN 102483256	A	30-05-2012
				JP 5185319	B2	17-04-2013
				JP 2011242010	A	01-12-2011
				SG 177234	A1	28-02-2012
20				US 2011306288	A1	15-12-2011
				WO 2011142354	A1	17-11-2011
	CN 111380170	A	07-07-2020	CN 111380170	A	07-07-2020
				KR 20200080733	A	07-07-2020
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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

- EP 3961117 A **[0003]**
- EP 2947396 A **[0003]**
- EP 3098527 A **[0003]**
- EP 1448937 A **[0003]**
- WO 2012049897 A1 **[0004]**
- US 20110306288 A1 **[0004]**