(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2022 118 111 A1** 2023.01.26

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2022 118 111.1**
(22) Anmeldetag: **20.07.2022**
(43) Offenlegungstag: **26.01.2023**

(51) Int Cl.: ***F24F 11/00*** (2018.01)
***F24F 11/46*** (2018.01)
***F24F 110/10*** (2018.01)
***F24F 110/20*** (2018.01)
***F24F 140/50*** (2018.01)

(66) Innere Priorität
**10 2021 003 891.6 22.07.2021**

(71) Anmelder:
**Fischer, Volker, 01189 Dresden, DE**

(74) Vertreter:
**Rauschenbach Patentanwälte Partnerschaftsgesellschaft mbB, 01187 Dresden, DE**

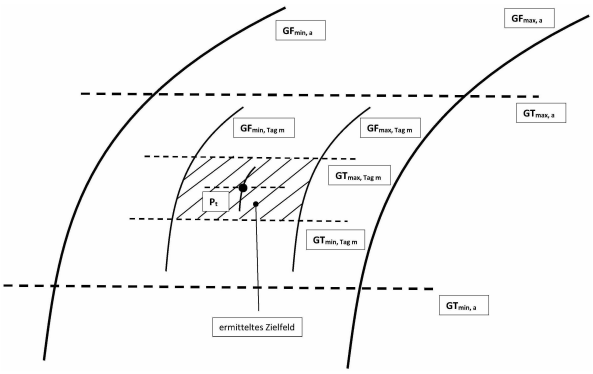
(72) Erfinder:
**Erfinder gleich Anmelder**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Regelung von thermischen Raumpunkten**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiete der Regelungstechnik und betrifft ein Verfahren, wie es in Räumen jeder Art, deren thermische Raumpunkte geregelt werden, zur Anwendung kommen kann.
Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Angabe eines Verfahrens, bei dem eine kontinuierliche Lastermittlung zur Optimierung der Erreichung einer Zielfunktion realisiert wird.
Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden für Räume, die durch haustechnische Anlagen konditioniert werden, wobei
a) mindestens Sollwerte für thermische Raumpunkte festgesetzt werden,
b) dann zum Zeitpunkt t die den fiktiven thermischen Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt bestimmenden thermischen Raumklimaparameter mittels mathematischer Extrapolation prognostiziert werden,
c) danach der so ermittelte fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt korrigiert wird,
d) anschließend der so ermittelte korrigierte fiktive thermische Raumpunkt kt bewertet wird,
e) und dann aus dieser Bewertung direkt die Sollwertvorgaben für die nachgeordnete PID-Regelung abgeleitet werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiete der Regelungstechnik und betrifft ein Verfahren zur Regelung von thermischen Raumpunkten, wie es in Räumen von jeder Art von Gebäuden, wie Wohnhäuser, Werkhalle, Laborräume, Museen, Sporthallen, deren thermische Raumpunkte geregelt werden, zur Anwendung kommen kann.

**[0002]** Unter einem thermischen Raumpunkt wird primär ein eindeutiger thermischer Zustand eines Raumes (thermischer Raumzustand) verstanden, der durch die Angabe thermischer Zustandsgrößen = thermischer Raumklimaparameter (beispielsweise die mittlere Strahlungstemperatur der inneren Raumumschließungsflächen, die Raumlufttemperatur, die Raumluftgeschwindigkeit oder die relative Raumluftfeuchte) und/oder kalorischer Zustandsgrößen (beispielsweise der Enthalpie) gekennzeichnet ist. Diese Zustandsgrößen sind zum Teil direkt messbar und durch teilweise komplizierte Berechnungsgleichungen miteinander verknüpft.

**[0003]** Die bildhafte Darstellung eines thermischen Raumpunktes durch Angabe von thermischen Zustandsgrößen oder einer thermischen und einer kalorischen Zustandsgröße, der Enthalpie, gelingt beispielhaft sehr gut im Mollier-h,x-Diagramm (Glück: Zustands- und Stoffwerte Wasser - Dampf - Luft Verbrennungsrechnung, 2.

**[0004]** Auflage, Verlag für Bauwesen GmbH, Berlin 1991, Seite 52 ff). Werden Messwerte zur Bestimmung der Raumklimaparameter verwendet, die den thermischen Raumpunkt bestimmen, dann ist damit durch den Messort auch ein örtlicher Bezug in der Definition thermischer Raumpunkt enthalten. In der Praxis ist es üblich, dass einzelne Raumklimaparameter beispielsweise in hohen und/oder ausgedehnten Räumen oder beispielsweise in Räumen, in denen sensible Prozesse vollzogen werden oder empfindliche Materialien oder Güter gelagert werden, an verschiedenen Stellen im Raum gemessen werden und daraus ein Mittelwert gebildet wird, der dann zur Charakterisierung eines thermischen Raumpunktes für den Raum herangezogen wird.

**[0005]** Beispielsweise sind Regelungen für haustechnische Anlagen zur Konditionierung von thermischen Raumzuständen in Museen notwendig und weit verbreitet. Dabei stellt die Aufbewahrung und Ausstellung von wertvollen Kunstgegenständen an diese Konditionierung der thermischen Raumzustände größere Anforderungen als beispielsweise bei einfachen Wohngebäuden. In Museen werden in den meisten Fällen Schwankungsbereiche für die thermischen Raumklimaparameter Raumtemperatur und Raumluftfeuchte in engen Grenzen vorgegeben, die entweder allgemeingültig oder in einer vorgegebenen Zeitperiode nicht verlassen werden dürfen (beispielsweise Vorgaben der staatlichen Kunstsammlungen Dresden). Beispielsweise können Vorgaben für zulässige thermische Raumpunkte durch Angabe zulässiger Schwankungsbereiche von thermischen Raumklimaparametern wie folgt aussehen.

- Schwankungsbereich für 24 h = primärer Schwankungsbereich Raumtemperatur ± 1 K relative Raumluftfeuchte ± 3 %

- Schwankungsbereich im Jahr = sekundärer Schwankungsbereich Raumtemperatur 19 ... 23 °C (oder maximal 6 - 8 K unter Außentemperatur) relative Raumluftfeuchte 48 ... 52 %.

**[0006]** Mit diesen typischen Sollwertvorgaben für thermische Raumklimaparameter werden Grenzen für Zielfelder thermischer Raumpunkte vorgegeben.

**[0007]** Um Sollwertvorgaben für thermische Raumklimaparameter oder Zielfelder für thermische Raumpunkte einhalten zu können, sind haustechnische Anlagen notwendig, die dem Raum geregelt Energie zu- und/oder abführen können und ihn damit entsprechend konditionieren. Systembestandteile dieser haustechnischen Anlagen können beispielsweise Heizkörper, Heiz- und Kühlflächen jedweder Art, Umluftkühl- oder -heizgeräte, Einzelraumbefeuchter, Lüftungs-, Teil- und Vollklimaanlagen sein.

**[0008]** Die Verwendung des Begriffs Raumtemperatur bedarf einer näheren Erörterung, da außerhalb der Ingenieurwissenschaften in der Umgangssprache verschiedene Begrifflichkeiten bezüglich der thermischen Zustandsgröße Temperatur existieren, die sich nicht immer in Übereinstimmung mit ingenieurtechnischen Definitionen befinden. Zur Charakterisierung von Wärmeübertragungsvorgängen bezüglich unterschiedlichster Themen (Auslegung von Anlagenkomponenten, Beurteilung der thermischen Behaglichkeit usw.) werden von den Ingenieurwissenschaften im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung verschiedene Temperaturbegriffe wie Norm-Innentemperatur, Bezugsraumtemperatur, Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung usw. definiert. Eine wie auch immer näher spezifizierte Raumtemperatur beinhaltet Aussagen über die Raumlufttemperatur und die Oberflächentemperatur aller inneren Raumumschließungsflächen und ist somit besser geeignet, Energiepotentiale als Ursache für Wärmeübertragungsvorgänge zu charakterisieren.

**[0009]** Des Weiteren sind alle thermischen Raumklimaparameter örtlich und zeitlich veränderliche Größen. Und Temperaturmessergebnisse von handelsüblichen Sensoren an einem bestimmten Ort im Raum sind nur bei wenigen realen Ausführungen von Regelungen korrekt den Begriffen Raumtemperatur oder Raumlufttemperatur zuzuordnen. Es ist in

den meisten Fällen ein Wert „dazwischen“, der wirklich repräsentativ nur für den unmittelbaren Anbringungsort des Sensors ist.

**[0010]** Somit enthalten Vorgaben für Schwankungsbereiche mit Verwendung des Begriffs Raumtemperatur in der oben angeführten Art immer eine gewisse Unschärfe. Diese implizierte Unschärfe wird bewusst aufgegriffen und für die vorliegende Erfindung die Festlegung getroffen: Raumtemperatur = Raumlufttemperatur = mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung.

**[0011]** Diese Definition gilt im gesamten Rahmen der vorliegenden Erfindung.

**[0012]** Die Definition eines Schwankungsbereiches von Raumklimaparametern für thermische Raumpunkte für beispielsweise 24 h bei Sollwertvorgaben, wie oben genannt, soll dabei beispielsweise Schäden durch Klimaschwankungen, wie beispielsweise an Kunstgegenständen, verhindern.

**[0013]** Der zulässige Schwankungsbereich von Raumklimaparametern im Jahr wird originär beispielsweise deshalb definiert, um die energetischen Aufwendungen für die notwendige Konditionierung durch haustechnische Anlagen zu begrenzen. Speziell die Grenzen für die zulässigen Schwankungen der Raumtemperatur im Jahr spiegeln dabei die zulässigen und behaglichen Werte für Besucher und Angestellte in Museen wider.

**[0014]** Aufgrund der Notwendigkeit entsprechend den oben angeführten typischen Sollwertvorgaben für Museen, die relative Raumluftfeuchte in Grenzen zu halten, sind meistens Vollklimaanlagen, das heißt raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen) mit den thermodynamischen Luftbehandlungsmöglichkeiten Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten, ein zentraler Bestandteil der haustechnischen Anlagen in Museen. Diese Anlagen bestehen aus einer Anzahl von Einzelkomponenten, beispielsweise Filter, Klappen, Heizer, Kühler, Befeuchter, Sorptionsräder, Schalldämpfer usw., die nacheinander von der aufzubereitenden Luft durchströmt werden und die in Summe die gewünschten Luftzustandsänderungen bewirken sollen.

**[0015]** Die Mehrzahl der in der Praxis anzutreffenden Lösungen für die Regelung von Teil- und Vollklimaanlagen bei Sollwertvorgaben ähnlich dem sekundären Schwankungsbereich in der oben angeführten Art für die Raumtemperatur und die relative Raumluftfeuchte sehen im Allgemeinen wie folgt aus.

- Es werden periodisch aktualisierte Sollwerte für die Raumtemperatur und die relative Raumluftfeuchte vorgegeben.
- Der Sollwert für die Raumtemperatur wird dabei einem Zusammenhang Raumtemperatur = Funktion einer Bezugsaußentemperatur entnommen.

**[0016]** Die verwendete Bezugsaußentemperatur wird diesbezüglich unterschiedlich definiert. Gewöhnlich ist es ein gemittelter Wert von einzelnen diskreten Außentemperaturwerten über einen festgelegten Zeitraum.

- Der Sollwert für die relative Raumluftfeuchte wird dazu aus einem Zusammenhang relative Raumluftfeuchte = Funktion der Jahreszeit

gebildet.

**[0017]** Üblicherweise wird ein linearer Verlauf vom unteren zulässigen Schwankungswert am 1. Januar eines Jahres bis zum oberen zulässigen Schwankungswert zur Mitte des Jahres gebildet und in der gleichen, aber umgekehrten Systematik von der Mitte des Jahres bis zum 31. Dezember eines Jahres.

**[0018]** Die somit ermittelten Werte für die Raumtemperatur und die relative Raumluftfeuchte sind dann die Sollwertvorgaben für eine PID-Basisregelung (P = Proportional[anteil], I = Integral[anteil], D = Differential[anteil]) (Rainer Dittmar, Bernd-Markus Pfeiffer: Modellbasierte prädikative Regelung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag München Wien, 2004, Kapitel 1), die durch verschiedenste Zusatzfunktionen erweitert sein kann und die die vorhandenen haustechnischen Anlagen danach regelt.

**[0019]** Diese Vorgehensweise ermöglicht es nicht, die Aufwendungen (Zielfunktionen) für die Konditionierung des Raumes unter voller Einbeziehung von vorgegebenen Schwankungsbereichen gezielt zu optimieren.

**[0020]** Es wird beispielsweise nur grob der Einfluss einzelner Störgrößen, nämlich die Außentemperatur und die relative Außenfeuchte, auf die Aufwendungen berücksichtigt. Andere Störquellen, wie wechselnde solare Einstrahlungen, Öffnungszeiten, tatsächliche Besucherzahlen, die Schaltung der künstlichen Beleuchtung usw. und deren Wechselwirkung mit dem Raum, finden keine unmittelbare Berücksichtigung. Weiterhin werden oftmals nur rudimentär die Luftaufbereitungsvorgänge in der Klimaanlage einem Optimierungsprozess bezüglich eines Aufwandes unterzogen.

**[0021]** In Summe führt diese Vorgehensweise insbesondere dazu, dass der zulässige Schwankungsbereich im Sinne einer Optimierung von Zielfunktionen, wie Minimierung von Medienverbräuche jeglicher Art, von primärenergetischen Aufwendun-

gen, von Kosten, von $CO_2$-Emissionen usw., nicht wirkungsvoll ausgenutzt werden kann.

**[0022]** Unzählige Untersuchungen und wissenschaftliche Ausarbeitungen beschäftigen sich mit der Optimierung von Regelungen von haustechnischen Anlagen zur Konditionierung von Räumen.

**[0023]** Aus der DE 43 30 646 C2 ist ein Verfahren zum Regeln von Temperatur und Feuchte von Luft in Räumen mittels einer raumlufttechnischen Anlage bekannt, bei dem der Prozesslauf so bestimmt wird, dass in bestimmten wählbaren Zeitabständen die jeweils die Zielfunktion erfüllenden Betriebsparameter rechnerisch ermittelt werden, indem das Zustandsfeld der Luft diskretisiert wird, so dass sich eine endliche Anzahl an theoretisch möglichen Wegen von der Außenluft und/oder Abluft bis zum Raumluft- oder Zuluftzustand ergibt, und jeder dieser Wege schrittweise verfolgt wird, und für jeden dieser Wege die Bewertung der Luftbehandlung hinsichtlich der Zielfunktion aufsummiert werden, und schließlich die Parameter des Weges ausgewählt werden, dessen Gesamtbewertung die Zielfunktion erfüllt.

**[0024]** Es handelt sich dabei um eine universelle Optimierungstechnik auf der Grundlage der dynamischen Optimierung, mit dessen Hilfe verschiedenste Zielfunktionen (Minimierung von Medienverbräuche jeglicher Art, von primärenergetischen Aufwendungen, von Kosten, von $CO_2$-Emissionen usw.) bei Vorgabe eines Zielfeldes für thermische Raumpunkte erfüllt werden können.

**[0025]** Einen weiteren Lösungsansatz zur Verbesserung von Regelungen von haustechnischen Anlagen zur Konditionierung von Räumen bietet die modellbasierte prädikative Regelung (MPC = Model Predictive Control), die als Bestandteil einer APC-Ebene (APC = Advanced Process Control) einer nachfolgenden PID-Regelung übergeordnet ist, die die notwendigen Optimierungsrechnungen vornimmt (Rainer Dittmar, Bernd-Markus Pfeiffer: Modellbasierte prädikative Regelung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag München Wien, 2004, Kapitel 1).

**[0026]** Ein MPC-Regler verfolgt im Allgemeinen den historischen Verlauf der Prozessvariablen. Er besitzt weiterhin ein vollständiges Modell des zu regelnden Prozesses mit allen Verkopplungen zwischen Steuer-, Stör- und Regelgrößen. Dadurch kann er prognostisch vorausberechnen, wohin sich die Regelgrößen bei verschiedenen Konstellationen bewegen werden. Weiterhin kann er dabei verschiedene Szenarien durchspielen und somit Optimierungsaufgaben lösen.

**[0027]** Nach R. Dittmar, B.-M. Pfeiffer: Modellbasierte prädikative Regelung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag München Wien, 2004, Kapitel 2 und 3 weisen MPC-Regelalgorithmen die folgenden Hauptbestandteile auf.

- Prädikation
Vorhersage des zukünftigen Verlaufs der Regelgröße auf Basis folgender Daten, Annahmen und Voraussetzungen

• gemessene, historische Werte der Regelgröße (n), Steuergröße(n) und ggf. diverser Störgrößen liegen vor,

• Vorgaben für zukünftige Sollwerte der Regelgröße,

• Annahme: Steuergröße ändert sich in der Zukunft nicht,

• es liegt ein umfassendes Modell für das dynamische Verhalten des zu regelnden Prozesses vor.

- dynamische Optimierung
Lösung eines Optimierungsproblems
Für einen vorgegebenen Zeithorizont, der im Allgemeinen größer als die Zeitschrittweite des Regelalgorithmus des MPC-Reglers ist, wird eine Optimierungsaufgabe unter Berücksichtigung aller Störeinflüsse in der Art gelöst, dass eine vorgegebene Zielfunktion, wie z.B. Einhaltung eines Sollwertbereiches (eines Zielfeldes) für die Regelgröße bei minimalen energetischen Aufwendungen, durch die konkrete Vorgabe von Steuergrößen erreicht wird.

- Prinzip des gleitenden Horizontes, Korrektur der Vorhersage und Schließen des Regelkreises
Es wird die Stellgröße für den nächsten Zeitschritt an den realen Prozess übergeben und nach verstreichen des nächsten Zeitschrittes werden die Schritte Prädikation und dynamische Optimierung wieder ausgeführt. Die modellgestützte Vorhersage der Regelgröße wird dadurch fortlaufend durch die reale (Mess-)Größe ersetzt. Dadurch entsteht u.a. eine gewisse Robustheit des Algorithmus, da beispielsweise Fehler in der Modellbildung für den zu regelnden dynamischen Prozess oder Fehler durch nicht oder falsch erfasste Störgrößen ständig korrigiert werden.

**[0028]** Diese Schritte werden in einem MPC-Regler fortlaufend aufeinanderfolgend in diskreten Zeitschritten ausgeführt. Die Ausgangsgrößen des eigentlichen MPC-Reglers wirken dabei im Normalfall nicht direkt auf Stelleinrichtungen, sondern geben Sollwerte für nachfolgende PID-Regelungen vor.

**[0029]** Nachteilig bei den bekannten Lösungen ist, dass bezüglich einer Zielfunktion ein optimaler Prozess zur Erreichung eines thermischen Raumpunktes mittels einer haustechnischen Anlage ermittelt

werden soll, jedoch dafür die Kenntnis der tatsächlich abzuführenden Last vorausgesetzt wird. Diese Kenntnis ist bei den bekannten Verfahren des Standes der Technik tatsächlich nicht vorhanden oder wird nur mit sehr aufwendigen Modellen bereitgestellt.

**[0030]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Angabe eines Verfahrens zur Regelung von thermischen Raumpunkten, bei dem eine kontinuierliche Lastermittlung zur Optimierung der Erreichung einer Zielfunktion realisiert wird.

**[0031]** Die Aufgabe wird durch die in den Patentansprüchen angegebene Erfindung gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche, wobei die Erfindung auch Kombinationen der einzelnen abhängigen Patentansprüche im Sinne einer Und-Verknüpfung miteinschließt, solange sie sich nicht gegenseitig ausschließen.

**[0032]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Regelung von thermischen Raumpunkten werden für Räume, die durch haustechnische Anlagen konditioniert werden, mittels der Regelung in Zeitschritten mit einer Zeitschrittweite Δt Sollwertvorgaben für nachgeordnete PID-Regelungen für haustechnische Anlagen geliefert, wobei

a) mindestens Sollwerte für thermische Raumpunkte festgesetzt werden,

b) dann zum Zeitpunkt t die den fiktiven thermischen Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt bestimmenden thermischen Raumklimaparameter aus gemessenen thermischen Raumklimaparametern des thermischen Raumpunktes zum Zeitpunkt t und zu den Zeitpunkten t - n · Δt der Vergangenheit mit n als natürliche Zahl größer gleich 1 mittels mathematischer Extrapolation prognostiziert werden,

c) danach der so ermittelte fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt um den Energieeintrag der haustechnischen Anlage innerhalb der Zeitschrittweite Δt korrigiert wird,

d) anschließend der so ermittelte korrigierte fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt bezüglich der Abweichung vom Sollwert für diesen thermischen Raumpunkt bewertet wird,

e) und dann aus dieser Bewertung direkt die Sollwertvorgaben für die nachgeordnete PID-Regelung, die die haustechnischen Anlagen regelt, abgeleitet werden, wobei diese Bewertung auch für weitere Optimierungsverfahren eingesetzt werden kann.

**[0033]** Vorteilhafterweise wird die mathematische Extrapolation mittels linearer oder quadratischer Extrapolation oder mittels der 1. Ableitung der quadratischen Extrapolation zum Zeitpunkt t vorgenommen.

**[0034]** Weiterhin vorteilhafterweise werden die Regelungsschritte vollständig für einzelne thermische Raumklimaparameter vorgenommen.

**[0035]** Ebenfalls vorteilhafterweise werden als Sollwerte für die thermischen Raumpunkte ein Zielfeld für thermische Raumpunkte oder für einzelne Raumklimaparameter , festgesetzt, wobei noch vorteilhafterweise das Zielfeld aus einem oder mehreren Schwankungsbereichen für eine Zeitperiode festgesetzt wird.

**[0036]** Und auch vorteilhafterweise werden der Sollwert oder das Zielfeld für thermische Raumpunkte vor jeder Zeitschrittweite Δt überprüft und neu festgesetzt.

**[0037]** Vorteilhaft ist es auch, wenn die Bewertung des korrigierten fiktiven thermischen Raumpunktes zum Zeitpunkt t + Δt dahingehend erfolgt, ob er dem festgesetzten Sollwert für thermische Raumpunkte entspricht oder nicht, oder ob er im festgesetzten Zielfeld für thermische Raumpunkte liegt oder nicht.

**[0038]** Weiterhin vorteilhaft ist es, wenn aus dem korrigierten fiktiven thermischen Raumpunkt mittels Optimierungsverfahren der optimierte thermische Raumpunkt für den Zeitpunkt t + Δt ermittelt wird.

**[0039]** Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn als haustechnische Anlage eine Vollklimaanlage eingesetzt wird.

**[0040]** Und auch vorteilhaft ist es, wenn das Verfahren als Teil einer MPC-Regelung realisiert wird.

**[0041]** Von Vorteil ist es auch, wenn der Verfahrensschritt a) erst nach dem Verfahrensschritt b) und/oder c) realisiert wird.

**[0042]** Mit der vorliegenden Erfindung ist es erstmals möglich, ein einfaches Verfahren zur Regelung von thermischen Raumpunkten anzugeben, bei dem eine kontinuierliche Lastermittlung zur Optimierung der Erreichung einer Zielfunktion realisiert wird.

**[0043]** Mit der vorliegenden Erfindung wird ein vergleichsweise einfaches Verfahren zur Regelung von thermischen Raumpunkten angegeben, durch welches vorteilhafterweise die Algorithmen zur dynamischen Optimierung, wie dies auch aus der DE 43 30 646 C2 bekannt ist, um die fehlenden Komponenten einer kontinuierlichen Lastermittlung ergänzt werden. Dadurch ist es auch erstmals möglich, einen vorgegebenen Schwankungsbereich für thermische Raumpunkte in der Art auszunutzen, dass Zielfunktionen, wie die Minimierung von Medienverbräuchen jeglicher Art und/oder von primärenergetischen Aufwendungen und/oder von Kos-

ten und/oder von $CO_2$-Emissionen usw., optimal ausnutzen zu können, ohne auf den vollständigen Satz an Funktionalitäten eines MPC-Algorithmus, der PID-Regelungen einzelner Bestandteile haustechnischer Anlagen übergeordnet ist, zurückgreifen zu müssen.

**[0044]** Insgesamt arbeitet das erfindungsgemäße Verfahren, wie eine klassische MPC-Regelung, mit Zeitschritten. Dabei werden zum Zeitpunkt t vorliegende Messwerte von thermischen Raumklimaparametern und Messwerte von thermischen Raumklimaparametern aus einer endlichen Anzahl n (n = natürliche Zahl mit $n \geq 1$) von Zeitschritten mit der Zeitschrittweite $\Delta t$ in der Vergangenheit ($t - \Delta t$, $t - 2 \cdot \Delta t$, ..., $t - n \cdot \Delta t$) zur Prognostizierung der thermischen Raumklimaparameter zum Zeitpunkt $t + \Delta t$, die den fiktiven thermischen Raumpunkte zu diesem Zeitpunkt $t + \Delta t$ bestimmen, verarbeitet. Von entscheidender erfindungsgemäßer Bedeutung ist, dass im erfindungsgemäßen Verfahren nur der nächste thermische Raumpunkt des nächsten Zeitschritts $t + \Delta t$ prognostiziert wird, so dass die prognostizierten Werte immer nur einen Zeitschritt den gemessenen Werten voraus sind.

**[0045]** Das erfindungsgemäße Verfahren verzichtet im Gegensatz zu klassischen MPC-Regelungen im Prädikationsteil zur Prognostizierung von thermischen Raumzuständen auf ein vollständiges dynamisches Raummodell. In einem solchen vollständigen Raummodell werden alle Regel-, Steuer- und Störgrößen aus der Vergangenheit und für den Prognosezeitraum ver- und bearbeitet.

**[0046]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der zukünftige fiktive thermische Raumpunkt aus gemessenen Momentanwerten für den thermischen Raumpunkt und einer endlichen Anzahl von gemessenen thermischen Raumpunkten der Vergangenheit extrapoliert. Da der Prognosezeitraum immer nur den nächsten Zeitschritt betrifft, ist die Annahme gerechtfertigt, dass im prognostizierten fiktiven thermischen Raumpunkt alle Informationen über die Wirkung zukünftiger positiver und negativer Energieeinträge (beispielsweise Störgrößen) einschließlich dem positiven oder negativen Energieeintrag der haustechnischen Anlage innerhalb des Zeitschrittes auf den thermischen Raumzustand hinreichend genau berücksichtigt sind.

**[0047]** Des Weiteren werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die gemessenen thermischen Raumklimaparameter eines thermischen Raumpunktes und die Sollwerte für thermische Raumpunkte und/oder die Schwankungsbereichsgrenzen der thermischen Raumklimaparameter, die das Zielfeld für thermische Raumpunkte bilden, mit den festgesetzten Sollwerten und Schwankungsbereichsgrenzen für thermische Raumpunkte pro Zeitschritt oder in Intervallen ständig überprüft und neu bestimmt, so dass eine Optimierung einer Zielfunktion, wie beispielsweise die Minimierung von Medienverbräuche jeglicher Art, von primärenergetischen Aufwendungen, von Kosten, von $CO_2$-Emissionen, erfolgen kann.

**[0048]** Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass auch feste Vorgaben von Sollwerten oder Zielfeldern für thermische Raumpunkte verwendet werden können.

**[0049]** In den nachfolgenden Erläuterungen und Fig. werden folgende Formelzeichen verwendet.

| | |
|---|---|
| F | relative Feuchte |
| G | Grenze |
| H | Enthalpie der Raumluft |
| h | Enthalpie der Raumluft bezogen auf die Masse der trockenen Raumluft |
| m,n | allgemeine Zählvariablen |
| P | thermischer Raumpunkt |
| T | Temperatur |
| t | Zeit |
| $\Delta t$ | Zeitschrittweite |
| X | absolute Feuchte der Raumluft |
| x | absolute Feuchte der Raumluft bezogen auf die Masse der trockenen Raumluft |
| $\Delta H$ | Enthalpieeintrag in den Raum durch die RLT-Anlage |
| $\Delta X$ | Feuchteintrag in den Raum durch die RLT-Anlage |

**[0050]** Für die Indizes gilt Folgendes.

hochgestellter Index

- pro Zeiteinheit

tiefgestellter Index

| | |
|---|---|
| Abl | Abluft |
| a | Jahr |
| f | fiktiv |
| kor. | korrigiert |
| max | maximal |
| min | minimal |
| t | Zeit |
| Tag | Tag |

| | |
|---|---|
| Ziel | Zielpunkt |
| zl | zulässig |
| Zul | Zuluft |
| Δt | Zeitschrittweite |

**[0051]** Die **Fig. 1** bis **Fig. 3** zeigen skizzenhafte Ausschnitte eines Mollier-h,x-Diagramms. In **Fig. 1** ist ein skizzenhafter Ausschnitt eines h,x-Diagramm mit zwei Schwankungsbereichsgrenzen pro Jahr und pro Tag dargestellt, die sich vollständig überschneiden, und das einen thermischen Raumpunkt zum Zeitpunkt t innerhalb des überreinstimmenden Bereiches der Schwankungsbereichsgrenzen zeigt. In **Fig. 2** ist ein skizzenhafter Ausschnitt eines h,x-Diagramms mit zwei Schwankungsbereichsgrenzen dargestellt, die sich nur teilweise überschneiden und das einen thermischen Raumpunkt innerhalb des übereinstimmenden Bereichs der Schwankungsbereichsgrenzen zeigt. In **Fig. 3** ist ein skizzenhafter Ausschnitt eines h,x-Diagramms mit einem Zielfeld für thermische Raumpunkte, dass aus zulässigen Schwankungsbereichsgrenzen der thermischen Raumklimaparameter Raumluftfeuchte und Raumlufttemperatur gebildet wird, und ein thermischer Raumpunkt zum Zeitpunkt t innerhalb der Schwankungsbereichsgrenzen und der korrigierte fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt, der außerhalb der Schwankungsbereichsgrenzen liegt, dargestellt.

**[0052]** Gemäß dem Verfahrensschritt a) werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren mindestens Sollwerte für thermische Raumpunkte festgesetzt. Ein solcher festgesetzter Sollwert kann auch ein festgesetztes Zielfeld für thermische Raumpunkte sein oder durch Schwankungsbereichsgrenzen einzelne Raumklimaparameter bestimmt sein. Die Zielfelder können dann durch Schwankungsbereichsgrenzen der thermischen Raumklimaparameter begrenzt werden.

**[0053]** Mit dieser Festsetzung der Sollwerte oder Zielfelder für thermische Raumpunkte werden nachfolgend die korrigierten fiktiven thermischen Raumpunkte überprüft, und sie könne die Grundlage für weitere Optimierungsrechnungen sein.

**[0054]** Dementsprechend kann der Verfahrensschritt a) auch erst nach den Verfahrensschritten b) und/oder c) realisiert werden. In jedem Fall ist die Festsetzung der Sollwerte oder der Zielfelder für thermische Raumpunkte vor der Bewertung der korrigierten fiktiven thermischen Raumpunkte zum Zeitpunkt t + Δt erforderlich.

**[0055]** Sollwerte oder Zielfelder für thermische Raumpunkte oder Schwankungsbereichsgrenzen für einzelne thermische Raumklimaparameter ergeben sich dabei üblicherweise aus dem Zweck, für die der thermische Raumzustand bereitgestellt wird. Bei Museen beispielsweise primär aus den Anforderungen des Kunstgutes an den thermischen Raumzustand. In der Industrie können beispielsweise Herstellungs- und Lagerprozesse die Sollwerte oder Zielfelder oder Schwankungsbereichsgrenzen für einzelne thermische Raumklimaparameter bestimmen.

**[0056]** Sollwerte oder Zielfelder für thermische Raumpunkte oder Schwankungsbereichsgrenzen für einzelne thermische Raumklimaparameter können auch durch die Aufgabe der Minimierung von Medienverbräuchen jeglicher Art und/oder von primärenergetischen Aufwendungen und/oder von Kosten und/oder von $CO_2$-Emissionen usw. festgelegt werden.

**[0057]** Ebenso können die Sollwerte oder Zielfelder für thermische Raumpunkte oder Schwankungsbereichsgrenzen für einzelne thermische Raumklimaparameter vorteilhafterweise pro Tag und pro Jahr oder für eine andere Zeitperiode festgelegt sein.

**[0058]** Sollwerte oder Zielfelder für thermische Raumpunkte oder Schwankungsbereichsgrenzen für einzelne thermische Raumklimaparameter können auch durch die Leistungsfähigkeit und Präzision von haustechnischen Anlagen und Mess- und Übertragungsinstallationen bestimmt sein.

**[0059]** Auch können die Sollwerte oder Zielfelder für thermische Raumpunkte, vorteilhaft bezüglich Raumtemperatur und relativer Raumluftfeuchte, festgelegt werden, wobei noch vorteilhafterweise dabei als Sollwerte oder Schwankungsbereichsgrenzen thermischer Raumklimaparameter bezüglich der Raumtemperatur Werte von ± 1 K über einen Tag und ein Bereich von 19 bis 23 °C oder 6 bis 8 K unter Außentemperatur über ein Jahr und/oder bezüglich der relativen Raumluftfeuchte Werte von ± 3 % über einen Tag und ein Bereich von 48 bis 52 % über ein Jahr festgelegt werden können.

**[0060]** In jedem Fall können mehrere Sollwerte oder Schwankungsbereichsgrenzen für thermische Raumklimaparameter, die Zielfelder für thermische Raumpunkte bestimmen, für andere Zeiträume und thermische Raumklimaparameter festgelegt werden. Sollen mehrere Sollwerte oder Schwankungsbereichsgrenzen für thermische Raumklimaparameter in einem Verfahrensablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens angewandt werden, so müssen sich die Bereiche der jeweiligen Parameter wenigstens bereichsweise überschneiden, damit der oder die thermischen Raumpunkte auch in diesen überschneidenden Bereich geführt und dort gehalten werden können.

**[0061]** Zur Verdeutlichung der Festlegung eines Zielfeldes für thermische Raumpunkte kann beispielsweise wieder das Mollier-h,x-Diagramm verwendet werden.

**[0062]** Der skizzenhafte Ausschnitt aus einem h,x-Diagramm in **Fig. 1** zeigt beispielsweise Schwankungsbereichsgrenzen für die thermischen Raumklimaparameter Raumlufttemperatur und relative Raumluftfeuchte für ein Jahr - großer Schwankungsbereich -, sowie die Schwankungsbereichsgrenzen für eine 24 h-Periode - kleiner Schwankungsbereich . Die Schnittmenge aus den Schwankungsbereichsgrenzen beider Zeiträume beschreibt das Zielfeld für thermische Raumpunkte.

**[0063]** Der oben vorgegebene Schwankungsbereich für eine 24 h - Periode wird beispielhaft als eine Vorgabe für genau einen Tag und nicht als eine fortlaufende 24 h-Periode interpretiert.

**[0064]** Beginnt ein neuer Tag, so sind die Schwankungsbereichsgrenzen neu zu bestimmen.

**[0065]** Bei der Neubestimmung der Schwankungsbereichsgrenzen ist zu berücksichtigen, dass sich auch hier die Bereiche mindestens teilweise überschneiden müssen, was im beispielhaften Fall von **Fig. 1** vollständig oder im beispielhaften Fall von **Fig. 2** teilweise der Fall ist.

**[0066]** Der jeweils überschneidende Bereich der Schwankungsbereichsgrenzen (schraffiert dargestellt) ist das Zielfeld für thermische Raumpunkte.

**[0067]** Es ist also auch von erfindungsgemäßer Bedeutung, dass eine Überprüfung der Sollwerte oder der Schwankungsbereichsgrenzen für thermische Raumklimaparameter für den Zeitpunkt t + Δt, die den Bereich der zulässigen thermischen Raumpunkte begrenzen und damit das Zielfeld für thermische Raumpunkte für den Zeitpunkt t + Δt definieren, oder der Schwankungsbereichsgrenzen für einzelne thermische Raumklimaparameter zum Zeitpunkt t erfolgt, und wenn auf Basis der Vorgaben notwendig, eine Anpassung der Sollwerte oder der Schwankungsbereichsgrenzen für thermische Raumklimaparameter und damit eine Anpassung des Zielfeldes für thermische Raumpunkte oder für Schwankungsbereichsgrenzen für einzelne thermische Raumklimaparameter für den Zeitpunkt t + Δt vorgenommen wird.

**[0068]** Erfindungsgemäß werden mittels eines oder mehrerer Sensoren im Raum, dessen thermischer Zustand geregelt werden soll, die Raumklimaparameter zum Zeitpunkt t gemessen, die den thermischen Raumpunkt zum Zeitpunkt t bestimmen.

**[0069]** Dann werden erfindungsgemäß gemäß Verfahrensschritt b) zum Zeitpunkt t die den fiktiven thermischen Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt bestimmenden thermischen Raumklimaparameter und/oder kalorischen Zustandsgrößen mittels mathematischer Extrapolation prognostiziert. Diese Prognostizierung wird aus den gemessenen thermischen Raumklimaparametern des thermischen Raumpunktes zum Zeitpunkt t und zu den Zeitpunkten t - n · Δt der Vergangenheit mit n als natürliche Zahl größer gleich 1 realisiert.

**[0070]** Vorteilhafterweise werden als mathematische Extrapolationsverfahren die lineare oder quadratische Extrapolation oder die Verwendung der ersten Ableitung der quadratischen Extrapolation an der Stelle t realisiert, wobei bei Anwendung der quadratischen Extrapolation oder der ersten Ableitung der quadratischen Extrapolation an der Stelle t die thermischen Raumklimaparameter des thermischen Raumpunktes als gemessene Wert für die Zeitpunkte t, t - Δt und t - 2 · Δt bekannt sein müssen, um einen Raumklimapunkt t + Δt zu prognostizieren. Die lineare Extrapolation verlangt dafür nur die Kenntnis der den thermischen Raumpunkt bestimmenden Raumklimaparameter als Messwerte für die Zeitpunkt t und t - Δt.

**[0071]** Aus thermischen Raumpunkten zum Zeitpunkt t und zu vorangegangen Zeitschritten t - n · Δt mit n als natürliche Zahl größer gleich 1 wird somit der thermische Raumpunkt t + Δt durch die mathematischen Extrapolationsverfahren prognostiziert.

**[0072]** In einem der Implementierung eines Algorithmus gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren in die Regelung haustechnischer Anlagen vorgeschaltetem Schritt kann anhand gemessener und aufgezeichneter realer Werte über einen ausreichend langen und repräsentativen Zeitraum, beispielsweise über ein Jahr, bei dem mutmaßlich alle typischen Betriebszustände berücksichtigt wurden, oder mit Hilfe eines Gebäudesimulationsprogramms, das belastbare thermische Raumklimaparameter unter Berücksichtigung aller Störgrößen und wirkenden haustechnischen Installationen liefert, die treffsicherste Extrapolationsmethode für das reale Objekt ermittelt werden.

**[0073]** Ein solcher vorgeschalteter Schritt kann beispielsweise darin bestehen, dass drei Verfahren zur Extrapolation von Verläufen (zur Vorhersage zukünftiger Verläufe) für die thermischen Raumklimaparameter Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte für den konkreten Raum geprüft und deren Ergebnisse miteinander verglichen werden, wie die:

- lineare Extrapolation der thermischen Raumklimaparameter für den Zeitpunkt t + Δt aus bekannten Werten für den Zeitpunkt t und t - Δt

- quadratische Extrapolation der thermischen Raumklimaparameter für den Zeitpunkt t + Δt aus bekannten Werten für den Zeitpunkt t, t - Δt und t - 2 Δt

- Verwendung des Anstieges (1. Ableitung) zur Prognose der thermischen Raumklimaparameter für den Zeitpunkt t + Δt einer quadratische Extrapolationsgleichung aus bekannten Werten für den Zeitpunkt t, t - Δt und t - 2 Δt an der Stelle t in einer linearen Gleichung.

**[0074]** Dazu können für den zu konditionierenden Raum durch eine realistische thermische Simulation des Raumes einschließlich der wirkenden haustechnischen Anlage unter Verwendung einer herkömmlichen PID-Regelung zur Einhaltung der Sollwertvorgaben für die Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte mit einem Gebäudesimulationsprogramm zeitdiskrete Werte für die Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte für jeden Zeitschritt ermittelt werden. Verwendung finden können aber auch reale Messwerte, die in einem realen Objekt von einer vorhandenen Gebäudeautomatisation über einen repräsentativen Zeitraum aufgezeichnet wurden.

**[0075]** Mit Hilfe dieser Daten kann dann die Bewertung der Prognoseergebnisse der drei Extrapolationsverfahren durchgeführt und für eine gewählte Zeitschrittweite, die signifikant größer als die Einschwingzeit der haustechnischen Anlage auf neue Sollwertvorgaben sein sollte, ein Extrapolationsverfahren für die Prognostizierung des fiktiven thermischen Raumpunktes ausgewählt werden. Dabei wird das Extrapolationsverfahren ausgewählt werden, dessen Ergebnisse mit den zeitdiskreten Werten der Simulation am besten übereinstimmen.

**[0076]** Die Prognostizierung des fiktiven thermischen Raumpunktes zum Zeitpunkt t + Δt im erfindungsgemäßen Verfahren beinhaltet die Annahme, dass sich der ermittelte fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt in der Realität annähernd einstellen würde, wenn alle positiven und negativen Energieeinträge einschließlich der Energieeinträge der haustechnischen Anlagen oder deren Änderungsgeschwindigkeit über den nächsten Zeitschritt mit der Zeitschrittweite Δt konstant bleiben würden.

**[0077]** Danach werden gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahrensschritt c) der mittels der Prognose ermittelte fiktive thermische Raumpunkte zum Zeitpunkt t + Δt um den Energieeintrag der haustechnischen Anlage innerhalb des Zeitschrittes vom Zeitpunkt t zum Zeitpunkt t + Δt korrigiert.

**[0078]** Beispielsweise ist die Änderung des thermischen Raumzustandes innerhalb des Zeitschrittes mit der Zeitschrittweite Δt bei Verwendung einer Vollklimaanlage als haustechnische Anlage, wie sie in Museen oftmals zur Anwendung kommt, durch den Enthalpieeintrag ΔH und Feuchteeintrag ΔX in den Raum innerhalb der Zeitschrittes Δt quantitativ beschreibbar. Die Werte ΔH und ΔX sind durch die bekannten Zuluftparameter Zuluftmassestrom, Zulufttemperatur und Zuluftfeuchte und die entsprechenden Abluftparameter quantifizierbar.

**[0079]** Um diese Energieeinträge wird dann der mittels Prognose ermittelte fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt korrigiert und es wird der korrigierte fiktive thermische Raumpunkt für den Zeitpunkt t + Δt erhalten.

**[0080]** Nachfolgend wird gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahrensschritt d) der ermittelte korrigierte fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt bezüglich der Abweichung vom Sollwert oder vom Zielfeld für den thermischen Raumpunkt bewertet.

**[0081]** Die Bewertung der korrigierten fiktiven thermischen Raumklimaparameter des korrigierten fiktiven thermischen Raumpunktes zum Zeitpunkt t + Δt erfolgt dann erfindungsgemäß dahingehend, ob sie innerhalb oder außerhalb des festgelegten Sollwertes oder der Schwankungsbereichsgrenzen für thermische Raumklimaparameter, die das Zielfeld für zulässige thermische Raumpunkte bilden, liegen oder nicht.

**[0082]** Liegt der korrigierten fiktive thermische Raumpunkt innerhalb des gemäß erfindungsgemäßem Verfahrensschritt a) festgesetzten Sollwertes oder Zielfeldes, dann ist innerhalb des nächsten Zeitschrittes mit der Zeitschrittweite Δt kein energetischer Eingriff durch die haustechnischen Anlagen für den Raum notwendig. Sie können ausgeschaltet werden. Es wird somit davon ausgegangen, dass der thermische Raumpunkt unter Einwirkung aller positiven und negativen Energieeinträge und ohne Energieeintrag der haustechnischen Anlagen für den Raum innerhalb des nächsten Zeitschrittes mit der Zeitschrittweite Δt vom gemessenen Zustand zum Zeitpunkt t in der Realität zu dem korrigierten fiktiven thermischen Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt wandert und dabei den Sollwert oder das Zielfeld nicht verlässt.

**[0083]** Ausgehend von der Bewertung im erfindungsgemäßen Verfahrensschritt d) werden erfindungsgemäß nach Verfahrensschritt e) direkt die Sollwertvorgaben für die nachgeordnete PID-Regelung, die die haustechnischen Anlagen regelt, abgeleitet Dieser erfindungsgemäße Verfahrensschritt e) kann auch enthalten, dass die aus der Bewertung hervorgegangenen Angaben bezüglich der Abweichung vom Sollwert oder vom Zielfeld für thermische Raumpunkte für weitere Optimierungsverfahren eingesetzt werden kann.

**[0084]** Liegen die korrigierten fiktiven thermischen Raumklimaparameter des korrigierten fiktiven thermischen Raumpunktes außerhalb der festgelegten Sollwerte oder des Zielfeldes, wie beispielhaft in **Fig. 3** dargestellt, dann ist die energetische Einwirkung der haustechnischen Anlagen auf den Raum vom Zeitpunkt t zum Zeitpunkt t + Δt notwendig.

**[0085]** Befindet sich beispielsweise bei der Verwendung einer Vollklimaanlage als haustechnische Anlage der korrigierten fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt außerhalb des Zielfeldes für thermische Raumpunkte, so kann dieser durch einen Enthalphieeintrag ΔH und/oder Feuchteeintrag ΔX der Vollklimaanlage in den Raum, die durch die Zuluftparameter Zuluftmassestrom, Zulufttemperatur und Zuluftfeuchte festgelegt werden, innerhalb des nächsten Zeitschrittes mit der Zeitschrittweite Δt in das Zielfeld bewegt werden. Beispielsweise sind nun durch sich anschließende Optimierungsrechnungen die Zuluftparameter der haustechnischen Anlage zu ermitteln, die dabei eine gewünschte Zielfunktion, wie Minimierung von Medienverbräuche jeglicher Art, von primärenergetischen Aufwendungen, von Kosten, von $CO_2$-Emissionen usw., erfüllen.

**[0086]** Diese Optimierung kann beispielsweise durch das Verfahren gemäß der DE 43 30 646 C2 sehr gut realisiert werden und stellt den Teil der dynamischen Optimierung entsprechend der Systematik von MPC-Algorithmen dar. Mit den dadurch ermittelten Werten stehen dann Vorgaben für jedes Einzelaggregat der Vollklimaanlage und/oder Vorgaben für die Zuluftparameter der Vollklimaanlage zur Verfügung, die die Lage des thermischen Raumpunktes zum Zeitpunkt t + Δt dahingehend sichern, dass dieser innerhalb des zulässigen Sollwertes oder Zielfeldes liegt und eine Zielfunktion erfüllt wird. Durch diese Vorgaben kann eine nachgeordnete PID-Regelung die haustechnischen Anlagen regeln.

**[0087]** Diese Vorgehensweise garantiert die bestmögliche Berücksichtigung der Sollwerte oder Schwankungsbereichsgrenzen für thermische Raumklimaparameter für thermische Raumpunkte.

**[0088]** Dies hat den besonderen Vorteil, dass es beispielsweise keine starren Sollwertvorgabe für den thermischen Raumpunkt in Abhängigkeit der Jahreszeit geben muss, was insbesondere auch für Speichervorgänge in der Raumumschließungskonstruktion im Sinne einer Zielfunktion besser genutzt werden kann.

**[0089]** Nachfolgend wird die Erfindung an mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Ausführungsbeispiel 1

**[0090]** Zur Realisierung des Verfahrens zur Regelung von thermischen Raumpunkten soll ein Raum mit einer Vollklimaanlage konditioniert werden. Die Vollklimaanlage leistet die thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten.

**[0091]** Der Raum weist folgende Abmessungen auf:

- Grundfläche des Raumes = 70 $m^2$
- Höhe des Raumes = 3,5 m
- Luftvolumenstrom der Vollklimaanlage = 500 $m^3/h$

**[0092]** Es werden allgemeine Sollwerte für zulässige thermische Raumpunkte wie folgt festgelegt.
Schwankungsbereich für 24 h = primärer Schwankungsbereich
Raumtemperatur ± 1 K
relative Raumluftfeuchte ± 3 %

**[0093]** Schwankungsbereich im Jahr = sekundärer Schwankungsbereich
Raumtemperatur 19 ... 23 °C (oder maximal 6 - 8 K unter Außentemperatur)
relative Raumluftfeuchte 48 ... 55 %.

**[0094]** Die Regelung des thermischen Raumpunktes erfolgt getrennt für die thermischen Raumklimaparameter Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte.

**[0095]** In einem dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgeschaltetem Schritt werden drei nachfolgend genannte Verfahren zur Extrapolation von Verläufen (zur Vorhersage zukünftiger Verläufe) für die thermischen Raumklimaparameter Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte für den konkreten Raum geprüft und deren Ergebnisse miteinander verglichen.

- lineare Extrapolation der thermischen Raumklimaparameter für den Zeitpunkt t + Δt aus bekannten Werten für den Zeitpunkt t und t - Δt
- quadratische Extrapolation der thermischen Raumklimaparameter für den Zeitpunkt t + Δt aus bekannten Werten für den Zeitpunkt t, t - Δt und t - 2 Δt
- Verwendung des Anstieges (1. Ableitung) zur Prognose der thermischen Raumklimaparameter für den Zeitpunkt t + Δt aus einer quadratische Extrapolationsgleichung aus bekannten Werten für den Zeitpunkt t, t - Δt und t - 2 Δt an der Stelle t in einer linearen Gleichung.

**[0096]** Für den zu konditionierenden Raum stehen durch eine realistische thermische Simulation des

Raumes einschließlich der wirkenden Vollklimaanlage unter Verwendung einer herkömmlichen PID-Regelung zur Einhaltung der Sollwertvorgaben für die Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte mit einem Gebäudesimulationsprogramm zeitdiskrete Werte für die Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte für jeden Zeitschritt zur Verfügung.

**[0097]** Mit Hilfe dieser Daten wird die Bewertung der Prognoseergebnisse der drei Extrapolationsverfahren durchgeführt und für eine gewählte Zeitschrittweite Δt = 10 min, die signifikant größer als die Einschwingzeit der Vollklimaanlage auf neue Sollwertvorgaben für die Zuluftparameter ist, die lineare Extrapolation als Extrapolationsverfahren für das weitere Verfahren ausgewählt, da die Ergebnisse dieser Extrapolation mit den zeitdiskreten Werten der Simulation am besten übereinstimmen.

**[0098]** Nunmehr werden für jeden Zeitschritt mit der Zeitschrittweite Δt = 10 min folgende Verfahrensschritte vollzogen.

**[0099]** Gemäß Verfahrensschritt a) wird ein Zielfeld für thermische Raumpunkte für den Zeitpunkt t + Δt festgesetzt.
Der Wert für die thermischen Raumklimaparameter Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte, um die entsprechend dem primären Schwankungsbereich die Parameter an einem Tag schwanken dürfen, wird als Mittelwert aus den Werten der Raumtemperatur und der relativen Raumluftfeuchte aus dem vorangegangenen Tag ermittelt. Es wird also die Vorgabe „für 24 h“ immer als eine Vorgabe für einen vollständigen Tag interpretiert.

**[0100]** Ein neues Zielfeld muss gemäß diesem Beispiel also immer nur dann bestimmt werden, wenn im aktuellen Zeitschritt zum Zeitpunkt t mit einem nächsten Zeitschritt ein neuer Tag beginnt.

**[0101]** Ist dies der Fall, dann werden zur Festlegung eines neuen Zielfeldes

- die Tagesmittelwerte für die Raumtemperatur und die relative Raumluftfeuchte aus den Werten des vorangegangenen Tages gebildet und dann

- werden aus diesen gemittelten Werten gemäß der Sollwertvorgaben für zulässige Schwankungsbereiche für die thermischen Raumklimaparameter innerhalb von 24 h die obere und untere Grenze des Zielfeldes für die Raumtemperatur ($GT_{max,\ Tag}$ und $GT_{min,\ Tag}$) und die relative Raumluftfeuchte ($GF_{max,\ Tag}$ und $GF_{min,\ Tag}$) bestimmt.

- Die so ermittelten oberen und unteren Grenzen werden auf die Zulässigkeit bezüglich des sekundären Schwankungsbereiches überprüft. Wenn notwendig, dann werden die Grenzen des Zielfeldes auf Basis des zulässigen sekundären Schwankungsbereiches korrigiert. **Fig. 1** und **Fig. 2** zeigen die primären und sekundären Schwankungsbereichsgrenzen.

**[0102]** Ein neues, für einen vollen Tag gültiges Zielfeld für zulässige thermische Raumpunkte steht damit zur Verfügung.

**[0103]** Beginnt im aktuellen Zeitschritt zum Zeitpunkt t mit dem nächsten Zeitschritt kein neuer Tag, dann wird mit dem bisherigen Zielfeld gearbeitet.

**[0104]** Damit werden gemäß Verfahrensschritt a) folgende Parameter für das Zielfeld ermittelt.

- zum Zeitpunkt t beginnt mit dem nächsten Zeitschritt ein neuer Tag, es wird ein neues Zielfeld für thermische Raumpunkte bestimmt

- mittlere Raumtemperatur innerhalb der letzten 24 h = 19,8 °C

- mittlere Raumluftfeuchte innerhalb der letzten 24 h = 51,6 %

- Grenzen des Zielfeldes, ermittelt aus dem primären Schwankungsbereich

$GT_{max,Tag} = 20{,}8°C$

$GT_{min,Tag} = 18{,}8°C$

$GF_{max,Tag} = 54{,}6\%$

$GF_{min,Tag} = 48{,}6\%$

- Überprüfung der ermittelten Grenzen des Zielfeldes bezüglich des sekundären Schwankungsbereiches, Ergebnis: keine Änderungen notwendig

**[0105]** Gemäß Verfahrensschritt b) und unter Benutzung des ermittelten Extrapolationsverfahrens werden dann die den fiktiven thermischen Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt bestimmenden fiktiven thermischen Raumklimaparameter prognostiziert.

**[0106]** Mit Hilfe der linearen Extrapolation werden die Werte für den nächsten Zeitpunkt t + Δt für die thermischen Raumklimaparameter Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte aus den Werten zum Zeitpunkt t und zum Zeitpunkt t - Δt (mit n = 1) aus der Vergangenheit prognostiziert. Es stehen damit die Werte fiktive Raumtemperatur $T_{t+\Delta t,\ f}$ und fiktive relative Raumluftfeuchte $F_{t+\Delta t,\ f}$ jeweils zum Zeitpunkt t + Δt zur Verfügung.

**[0107]** Diese prognostizierten Werte mit dem Index fiktiv für den Zeitpunkt t + Δt würden sich prognostisch in der Realität einstellen, wenn alle positiven und negativen Energieeinträge (beispielsweise Stör-

größen) einschließlich dem positiven oder negativen Energieeintrag der haustechnischen Anlage oder deren Änderungsgeschwindigkeit innerhalb des nächsten Zeitschrittes konstant bleiben würden.

**[0108]** Die prognostizierten Werte gemäß Verfahrensschritt b) aus

- $T_{t-\Delta t} = 20°C; F_{t-\Delta t} = 52\%$ und
- $T_t = 19{,}8°C$; $F_t = 52{,}3\%$ sind
- $T_{t+\Delta t,f} = 19{,}6°C; F_{t+\Delta t,f} = 52{,}6\%$

**[0109]** Nach Verfahrensschritt c) erfolgt dann die Korrektur des fiktiven thermischen Raumpunktes für den Zeitpunkt t + Δt um den Energieeintrag der Vollklimaanlage innerhalb der Zeitschrittweite Δt.

**[0110]** Aus den prognostizierten fiktiven Werten $T_{t+\Delta t,\ f}$ und $F_{t+\Delta t,\ f}$ wird die fiktive absolute Feuchte $X_{t,\Delta t,\ f}$ bestimmt. Die fiktive Enthalpie der Raumluft $H_{t+\Delta t,\ f}$. zum Zeitpunkt t + Δt ist damit bestimmbar $H_{t+\Delta t,\ f}$. = f ($T_{t+\Delta t,\ f}$, $X_{t,\Delta t,\ f}$).

**[0111]** Die Wirkung der Vollklimaanlage = deren Enthalpieeintrag ΔH und Feuchteeintrag ΔX in den Raum innerhalb des Zeitschritts mit der Zeitschrittweite Δt wird aus den bekannten Zuluftparametern der Vollklimaanlage Zuluftmassestrom, Zulufttemperatur und Zuluftfeuchte zum Zeitpunkt t bestimmt, da die ausgeführte Extrapolation impliziert, dass diese Einträge im nächsten Zeitschritt konstant bleiben.

**[0112]** Um diese Energieeinträge der Vollklimaanlage werden die prognostizierte fiktive Enthalpie $H_{t+\Delta t,\ f}$ und die prognostizierte fiktive absolute Feuchte $X_{t,\Delta t,\ f}$ korrigiert.

**[0113]** So werden Werte für die korrigierte fiktive Enthalpie $H_{t+\Delta t,\ f,\ kor.}$ und die korrigierte fiktive absolute Feuchte $X_{t+\Delta t,\ f,\ kor.}$ zum Zeitpunkt t + Δt, die sich theoretisch einstellen würden, wenn alle positiven und negativen Energieeinträge (beispielsweise Störgrößen) oder deren Änderungsgeschwindigkeit bei ausgeschalteter Vollklimaanlage über den nächsten Zeitschritt mit der Zeitschrittweite Δt konstant bleiben würden, erhalten.

**[0114]** Es gilt

$$H_{t+\Delta t,f,\ kor.} = H_{t+\Delta t,f} - \Delta H$$

$$\Delta H = \int_{\Delta t}\left(\dot{H}_{Zul} - \dot{H}_{Abl}\right)dt$$

$$\Delta H = H_{Zul,\Delta t} \int_{\Delta t} \dot{H}_{Abl} dt$$

$$X_{t+\Delta t,f,kor.} = X_{t+\Delta t,f} - \Delta X$$

$$\Delta X = \int_{\Delta t}\left(\dot{X}_{Zul} - \dot{X}_{Abl}\right)dt$$

$$\Delta X = X_{Zul,\Delta t} - \int_{\Delta t} \dot{X}_{Abl} dt$$

**[0115]** Zur Ermittlung des Integralwertes in den Gleichungen für ΔH und ΔX wird ein linearer Verlauf der zu integrierenden Größen über den Zeitschritt Δt angenommen. Die Werte für die zu integrierenden Größen zum Zeitpunkt t (aktuelle Werte) und t + Δt (fiktive Werte) sind bekannt. Somit sind die Größen $H_{t+\Delta t,\ f,\ kor.}$ und $X_{t+\Delta t,\ f,\ kor.}$ bestimmbar. Aus diesen beiden Werten sind dann weiterhin schlussendlich die Werte $T_{t+\Delta t,\ f,\ kor.}$ und $F_{t+\Delta t,\ f,\ kor.}$ berechenbar.

**[0116]** Die so ermittelten Werte für die Raumtemperatur und die relative Raumluftfeuchte mit der Indexierung fiktiv, korrigiert werden als eine brauchbare Prognose für den nächsten thermischen Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt angenommen, der sich einstellen würde, wenn die Vollklimaanlage ausgeschaltet wäre.

**[0117]** Die korrigierten fiktiven Werte gemäß Verfahrensschritt c) sind:

- Zulufttemperatur der Vollklimaanlage zum Zeitpunkt t = 20 °C
- relative Zuluftfeuche der Vollklimaanlage zum Zeitpunkt t = 50 %
- $H_{t+\Delta t,f} = 11.219{,}6$ kJ; $X_{t+\Delta t,f} = 2{,}175$ kg
- $\Delta H = -27{,}4$ kJ; $\Delta X = -0{,}022$ Kg
- $H_{t+\Delta t,f,kor.} = 11.247{,}0$ kJ; $X_{t+\Delta t,f,kor.} = 2{,}197$ kg
- $T_{t+\Delta t,f,kor} = 19{,}5°C.; F_{t+\Delta t,f,kor.} = 53{,}5\ \%$

**[0118]** Ausgehend von den korrigierten fiktiven thermischen Raumklimaparametern des korrigierten fiktiven thermischen Raumpunktes zum Zeitpunkt t + Δt wird gemäß Verfahrensschritt d) dieser korrigierte fiktive thermische Raumpunkt gemäß seiner Abweichung vom im Verfahrensschritt a) festgelegtem Zielfeld, begrenzt durch obere und untere Schwankungsbereichsgrenzen für die thermischen Raumklimaparameter Raumtemperatur und relative Raumluftfeuchte, bewertet.

**[0119]** Es wird geprüft, ob die korrigierte fiktive Raumtemperatur $T_{t+\Delta t,\ f,\ kor.}$ und die korrigierte fiktive relative Raumluftfeuchte $F_{t+\Delta t,\ f,\ kor}$ innerhalb oder auf den im Verfahrensschritt a) festgesetzten oberen und unteren Schwankungsbereichsgrenzen liegen. Das bedeutet zugleich, dass überprüft wird, ob der ermittelte korrigierte fiktive thermische Raumpunkt für den Zeitpunkt t + Δt innerhalb des Zielfeldes für thermische Raumpunkte liegt.

**[0120]** Die Bewertung gemäß Verfahrensschritt d) ergibt:

- $T_{t+\Delta t,\ f,\ kor}$ = 19,5 °C und; $F_{t+\Delta t,\ f,\ kor.}$ = 53,5 % liegen innerhalb des im Verfahrensschritt a) ermittelten Zielfeldes für zulässige thermische Raumpunkte.

**[0121]** Die Bewertung des korrigierten fiktiven thermischen Raumpunktes hat ergeben, dass der korrigierte fiktive thermische Raumpunkt, bestimmt durch die korrigierte fiktive Raumluftfeuchte und die korrigierte fiktive Raumtemperatur, innerhalb des Zielfeldes liegt. Die dann gemäß Verfahrensschritt e) abgeleitete Sollwertvorgabe für die Vollklimaanlage für den nächsten Zeitschritt lautet AUS.

Ausführungsbeispiel 2

**[0122]** Alle Verfahrensschritte a) bis d) werden gemäß Beispiel 1 realisiert.
Jedoch hat die Bewertung gemäß Verfahrensschritt d) ergeben, dass der korrigierte fiktive thermische Raumpunkt (ermittelte Werte wie im Beispiel 1) außerhalb des Zielfeldes für zulässige thermische Raumpunkte liegt (anderes Zielfeld als im Beispiel 1).

**[0123]** Wenn die Bewertung des thermischen Raumpunktes also ergibt, dass der korrigierte fiktive thermische Raumpunkt außerhalb des Zielfeldes nach Verfahrensschritt a) liegt, dann ist ein Zielpunkt für den thermischen Raumpunkt für den Zeitpunkt t + Δt aus dem Zielfeld unter Beachtung einer Zielfunktion, wie Minimierung von Medienverbräuche jeglicher Art, von primärenergetischen Aufwendungen, von Kosten, von $CO_2$-Emissionen usw. zu ermitteln. Dies kann mittels des Optimierungsverfahrens nach DE 43 30 646 C2 geschehen.

**[0124]** Es stehen dabei die bewerteten ermittelten korrigierten fiktiven thermischen Raumpunkte zum Zeitpunkt t + Δt mit den zugehörigen ermittelten thermischen Raumklimaparametern für die Lastermittlung bei der Optimierung der Erreichung der Zielfunktion zur Verfügung.

**[0125]** Aber es kann sehr vereinfachend der Zielpunkt auch auf den Grenzen des Zielfeldes nach Verfahrensschritt a) festgelegt werden, was hier beispielsweise mit den Werten $T_{t+\Delta t,\ Ziel}$ = 19,4 °C; $F_{t+\Delta t,\ Ziel}$ = 52,5 % erfolgt.

**[0126]** Diese Festlegung ist sehr vereinfachend und sie genügt nicht der Forderung nach einer tatsächlichen Optimierung von Zielfunktionen, wie der Minimierung von Medienverbräuche jeglicher Art, von primärenergetischen Aufwendungen, von Kosten, von $CO_2$-Emissionen usw. Aber sie kann auch pragmatisch angewandt werden. Dann sieht im Verfahrensschritt e) die Ermittlung von Sollwertvorgaben für nachgeordnete PID-Regelungen der Vollklimaanlage auf Basis eines festgelegten Zielpunktes (indiziert mit Ziel) aus dem Zielfeld für zulässige thermische Raumpunkte nach Verfahrensschritt a) wie folgt aus. Es gilt:

$$H_{t+\Delta t,f,kor.} = H_{t+\Delta t,Ziel} - \Delta H$$

$$\Delta H = \int_{\Delta t}\left(\dot{H}_{Zul} - \dot{H}_{Abl}\right)dt$$

$$\Delta H = H_{Zul,\Delta t} - \int_{\Delta t}\dot{H}_{Abl}dt$$

$$H_{Zul,\Delta t} = \Delta H + \int_{\Delta t}\dot{H}_{Abl}dt$$

$$X_{t+\Delta t,f,kor.} = X_{t+\Delta t,Ziel} - \Delta X$$

$$\Delta X = \int_{\Delta t}\left(\dot{X}_{Zul} - \dot{X}_{Abl}\right)dt$$

$$\Delta X = X_{Zul,\Delta t} - \int_{\Delta t}\dot{X}_{Abl}dt$$

$$X_{Zul,\Delta t} = \Delta X + \int_{\Delta t}\dot{X}_{Abl}dt$$

**[0127]** Die Abluftzustände zum Zeitpunkt t + Δt entsprechend jeweils den Werten für die Raumtemperatur und die absolute Raumluftfeuchte mit dem Index Ziel. Aus den Werten $H_{Zul,\ \Delta t}$ und $X_{Zul,\ \Delta t}$ lassen sich die notwendigen Zuluftparameter für den nächsten Zeitschritt vom Zeitpunkt t zum Zeitpunkt t+Δt für die Vollklimaanlage bestimmen, die den thermischen Raumpunkt mit dem Index Ziel herbeiführen.

**[0128]** Danach ergeben sich gemäß Verfahrensschritt e) die folgenden Werte und abgeleiteten Sollwertvorgabe für die Vollklimaanlage für den nächsten Zeitschritt:

$$H_{t+\Delta t,Ziel} = 11.090{,}6\ \text{kJ}; X_{t+\Delta t,Ziel} = 2{,}145\ \text{kg}$$

$$\Delta H = -156{,}4\ \text{kJ}; \Delta X = -0{,}052\ \text{kg}$$

$$H_{Zul,\Delta t} = 3.653{,}1\ \text{kJ};\ X_{Zul,\Delta t} = 0{,}685\ \text{kg}$$

$$T_{Zul,\Delta t} = 19{,}3\ °\text{C}; F_{Zul,\Delta t} = 49{,}6\%$$

**[0129]** Da der korrigierte fiktive thermische Raumpunkt außerhalb des Zielfeldes für zulässige thermische Raumpunkte liegt, bekommt die PID-Regelung der Vollklimaanlage also für den nächsten Zeitschritt vom Zeitpunkt t bis zum Zeitpunkt t + Δt die Sollwertvorgaben:

Zulufttemperatur = 19,3 °C

Relative Zuluftfeuchte = 49,6 %

Zuluftvolumenstrom = 500 m³/h.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 4330646 C2 [0023, 0043, 0086, 0123]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung von thermischen Raumpunkten, bei dem für Räume, die durch haustechnische Anlagen konditioniert werden, mittels der Regelung in Zeitschritten mit einer Zeitschrittweite Δt Sollwertvorgaben für nachgeordnete PID-Regelungen für haustechnische Anlagen geliefert werden, wobei
a) mindestens Sollwerte für thermische Raumpunkte festgesetzt werden,
b) dann zum Zeitpunkt t die den fiktiven thermischen Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt bestimmenden thermischen Raumklimaparameter aus gemessenen thermischen Raumklimaparametern des thermischen Raumpunktes zum Zeitpunkt t und zu den Zeitpunkten t - n · Δt der Vergangenheit mit n als natürliche Zahl größer gleich 1 mittels mathematischer Extrapolation prognostiziert werden,
c) danach der so ermittelte fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt um den Energieeintrag der haustechnischen Anlage innerhalb der Zeitschrittweite Δt korrigiert wird,
d) anschließend der so ermittelte korrigierte fiktive thermische Raumpunkt zum Zeitpunkt t + Δt bezüglich der Abweichung vom Sollwert für diesen thermischen Raumpunkt bewertet wird,
e) und dann aus dieser Bewertung direkt die Sollwertvorgaben für die nachgeordnete PID-Regelung, die die haustechnischen Anlagen regelt, abgeleitet werden, wobei diese Bewertung auch für weitere Optimierungsverfahren eingesetzt werden kann.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die mathematische Extrapolation mittels linearer oder quadratischer Extrapolation oder mittels der 1. Ableitung der quadratischen Extrapolation zum Zeitpunkt t vorgenommen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Regelungsschritte vollständig für einzelne thermische Raumklimaparameter vorgenommen werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Sollwerte für die thermische Raumpunkte ein Zielfeld für thermische Raumpunkte oder für einzelne Raumklimaparameter festgesetzt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem das Zielfeld aus einem oder mehreren Schwankungsbereichen für eine Zeitperiode festgesetzt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Sollwert oder das Zielfeld für thermische Raumpunkte vor jeder Zeitschrittweite Δt überprüft und neu festgesetzt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, bei dem die Bewertung des korrigierten fiktiven thermischen Raumpunktes zum Zeitpunkt t + Δt dahingehend erfolgt, ob er dem festgesetzten Sollwert für thermische Raumpunkte entspricht oder nicht, oder ob er im festgesetzten Zielfeld für thermische Raumpunkte liegt oder nicht.

8. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem aus dem korrigierten fiktiven thermischen Raumpunkt mittels Optimierungsverfahren der optimierte thermische Raumpunkt für den Zeitpunkt t + Δt ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als haustechnische Anlage eine Vollklimaanlage eingesetzt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Verfahren als Teil einer MPC-Regelung realisiert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Verfahrensschritt a) erst nach dem Verfahrensschritt b) und/oder c) realisiert wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

**Anhängende Zeichnungen**

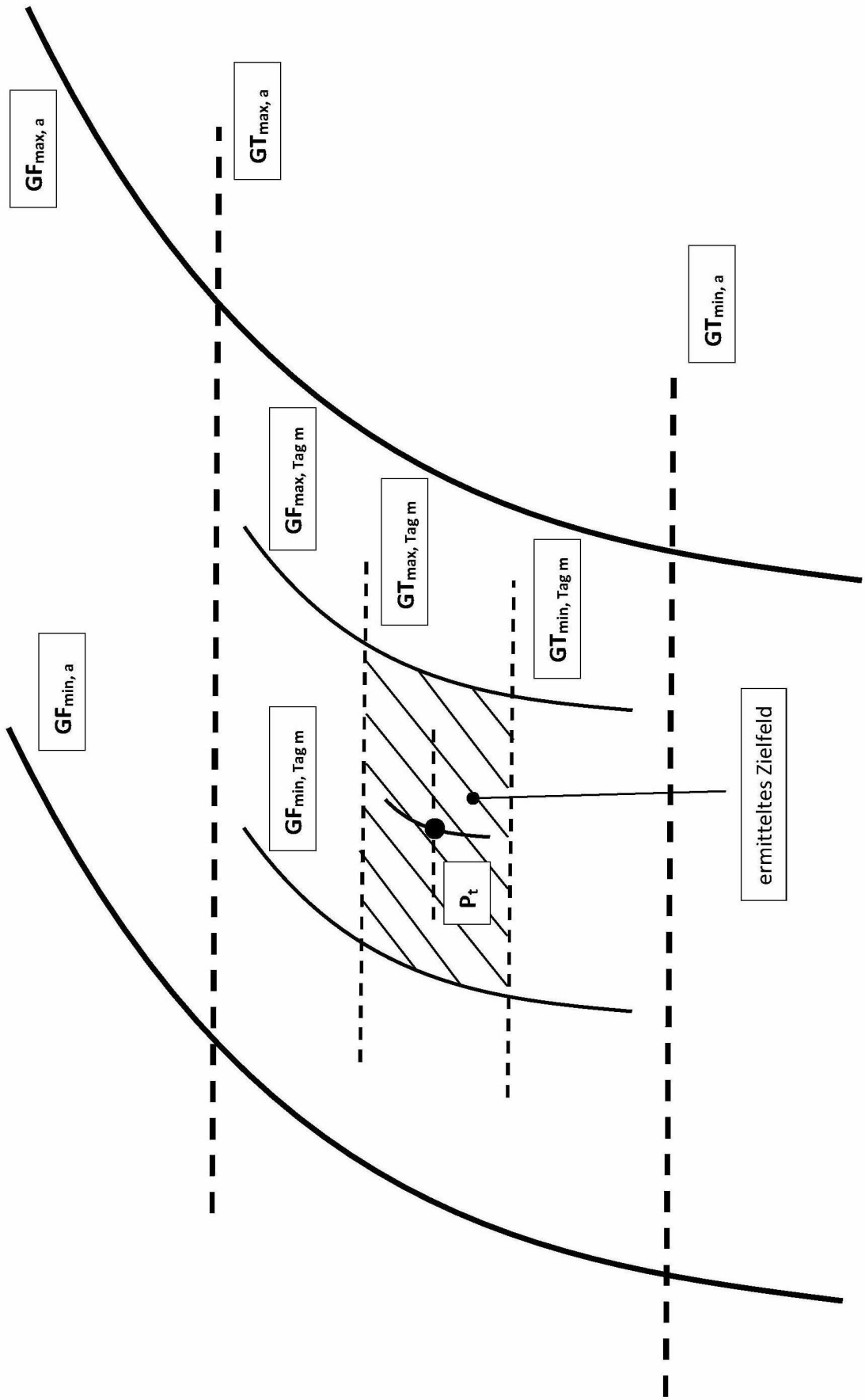



Fig. 1

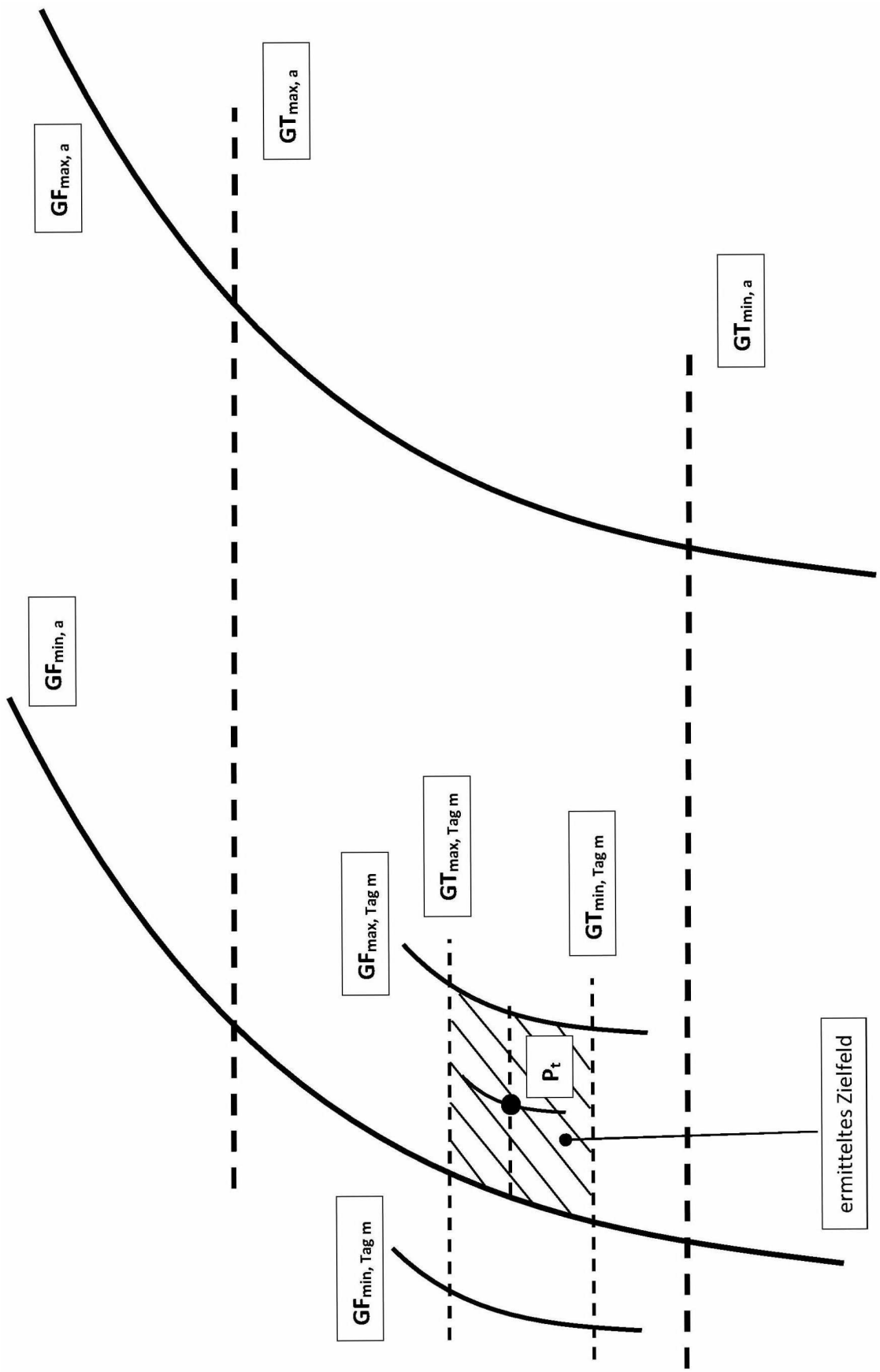

GFmax, a
GTmax, a
GTmin, a
GFmin, a
GTmax, Tag m
GFmax, Tag m
GTmin, Tag m
Pt
ermitteltes Zielfeld
GFmin, Tag m

Fig. 2

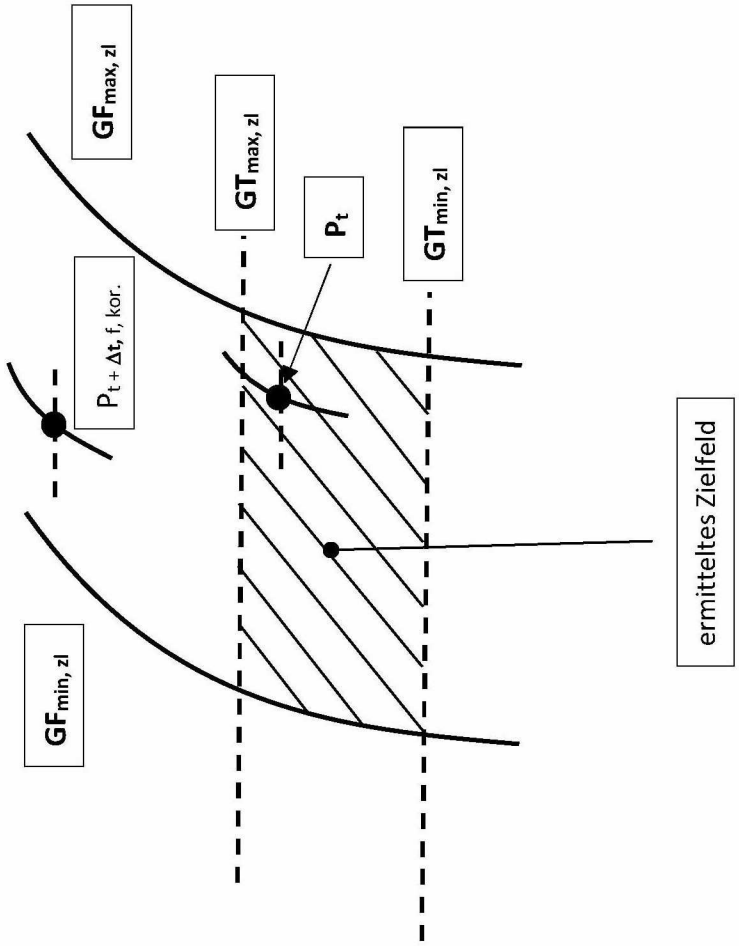

GF max, zl
GT max, zl
P t
GT min, zl
P t + Δt, f, kor.
ermitteltes Zielfeld
GF min, zl

Fig. 3