

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. April 2007 (19.04.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/042371 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G05D 23/19 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/066445

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. September 2006 (18.09.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
60/726,133 14. Oktober 2005 (14.10.2005) US

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS SCHWEIZ AG** [CH/CH]; Albisriederstrasse 245, CH-8047 Zürich (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GWERDER, Markus** [CH/CH]; Guntenbühl 3, CH-6312 Steinhausen (CH). **TOEDLI, Jürg** [CH/CH]; Hardeggstr. 21a, CH-8049 Zürich (CH).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS SCHWEIZ AG**;
Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

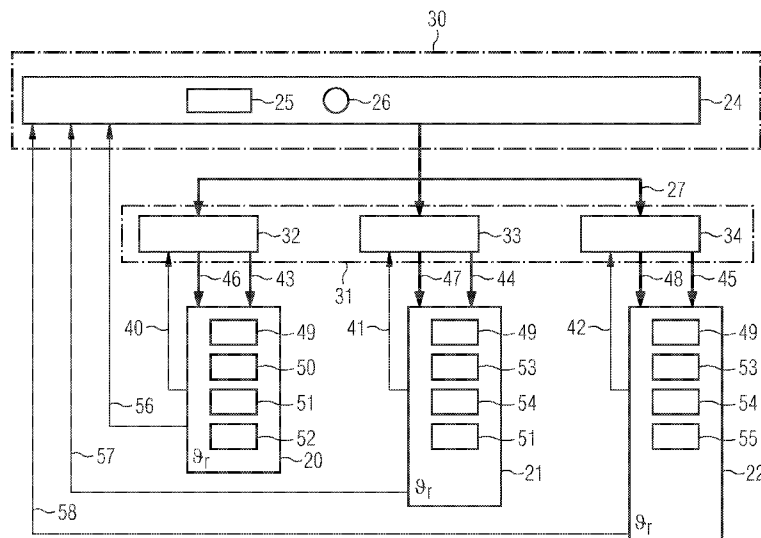
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR CONTROLLING THE ROOM TEMPERATURE IN A BUILDING USING A PREDICTIVE CONTROL DEVICE

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR STEUERUNG EINER RAUMTEMPERATUR IN EINEM GEBÄUDE UNTER VERWENDUNG EINER PRÄDIKTIVEN STEUEREINRICHTUNG



(57) Abstract: The inventive arrangement for controlling and regulating room temperature in a building which has a hierarchical structure comprising at least two floors (30; 31) is provided with a predictive device (24) which is arranged on the top floor (30) and is used for the optimal control of the use of at least one free energy source, and comprises at least one device (32, 33, 34) which is arranged on a lower floor (31) and which is used for the returned regulation of at least one additional energy source. The predictive device (24) comprises a building model (25) and means (26) for repeating the optimisation of the energy requirement or the energy costs. The regulation strategy of the predictive device (24) uses characteristics (25) of a passive heat accumulator of the building.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/042371 A1



NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Eine erfindungsgemäße Anordnung zur Steuerung und Regelung einer Raumtemperatur in einem Gebäude hat eine wenigstens zwei Ebenen (30; 31) umfassende hierarchischen Struktur mit einer in einer oberen Ebene (30) angeordneten prädiktiven Einrichtung (24) zur optimalen Steuerung der Verwendung wenigstens einer freien Energiequelle, und mit wenigstens einer in einer untergeordneten Ebene (31) angeordnete Einrichtung (32; 33; 34) zur rückgeführten Regelung wenigstens einer weiteren Energiequelle. Die prädiktive Einrichtung (24) weist ein Gebäudemodell (25) und Mittel (26) zur wiederholbaren Optimierung des Energieverbrauchs oder der Energiekosten auf. Die Regelstrategie der prädiktiven Einrichtung (24) nutzt dabei Eigenschaften (25) eines passiven Wärmespeichers des Gebäudes.

Beschreibung

VORRICHTUNG ZUR STEUERUNG EINER RAUMTEMPERATUR IN EINEM GEBÄUDE UNTER
VERWENDUNG EINER PRÄDIKTIVEN STEUEREINRICHTUNG

5

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur Steuerung und
Regelung einer Raumtemperatur in einem Gebäude. Solche Anordnungen
10 eignen sich beispielsweise zum Heizen und Kühlen von Räumen oder
Raumzonen in Gebäuden und sind beispielsweise Teil eines
Gebäudeautomationssystems.

Stand der Technik

15 Regelanordnungen, durch welche eine Raumtemperatur auf einen
vorgegebenen Sollwert regelbar ist, sind allgemein bekannt. Bekannte
Regelanordnungen umfassen beispielsweise einen sogenannten
PID-Regler sowie, auf Heizwasser- oder Kühlwasserkreise wirkende
Stellglieder.

20

In WO 94/27202 wird zur Minimierung der Energiekosten vorgeschlagen,
eine Elektroheizung aufgrund empfangener Tarif- und
Wettervorhersageinformation zu steuern.

25 Aus EP1 074 900A ist eine prädiktive Einrichtung zum Regeln oder
Steuern von Versorgungsgrößen bekannt.

Aufgabenstellung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung
30 vorzuschlagen, durch welche eine wählbare Behaglichkeit erreichbar
ist und durch welche kostengünstige Heiz- und Kühlenergie optimal
einsetzbar ist, so dass Energiekosten reduzierbar sind.

Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die Merkmale des
35 Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus
den abhängigen Ansprüchen.

Darstellung der Erfindung

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert.

5

Es zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Anordnung zur Steuerung und Regelung einer Raumtemperatur in einem Gebäude,

Fig. 2 ein in der Anordnung einsetzbares Raummodell, und

10

Fig. 3 Diagramme zum Vergleich von Regelstrategien.

Ein hier beispielhaft betrachtetes Gebäude wird thermisch primär durch kaltes und heißes Wasser konditioniert, d.h. über Kühldecken für die Kühlung und über Heizkörper für die Heizung. Das kalte Wasser für die Kühlung kann entweder über den Betrieb eines Kühlaggregats - und damit mit hohen Kosten - oder über freie Kühlung durch den Betrieb lediglich eines Nasskühlturms - und damit mit niedrigen Energiekosten - produziert werden. Das heiße Wasser für die Heizung wird durch den Betrieb eines Warmwasserbereiters - und damit mit hohen Energiekosten - produziert. Außerdem können zur Regelung der thermischen Behaglichkeit in dem Gebäude Sonnenschutzvorrichtungen eingesetzt werden, was niedrige Energiekosten verursacht. Die Raumtemperatur kann innerhalb des Behaglichkeitsbereichs für die Raumtemperatur schwanken, beispielsweise im Bereich von 21°C bis 25 26°C.

In einem System mit - wie im hier betrachteten Beispiel - passiven Wärmespeichern, ist ein definierter, nicht null betragender Behaglichkeitsbereich Grundvoraussetzung dafür, dass das System überhaupt von einer prädiktiven Regelung profitieren kann. Je größer der Behaglichkeitsbereich ausgelegt ist, desto energie- und kosteneffizienter kann die prädiktive Regelung sein, da es dann auch einen größeren Bereich gibt, in dem die Wärmekapazität des Gebäudes

genutzt werden kann. Wenn beispielsweise ein Behaglichkeitsbereich für die Temperatur mit einer Breite von 5 K gegeben ist, beträgt die maximale Wärmedifferenz, die in einer typischen Betondecke gespeichert ist, bereits mehr als 1 kWh/m². Außer der Wärmekapazität
5 der Decken sind in Gebäuden weitere Kapazitäten der Gebäudemasse, so beispielsweise Wärmekapazitäten der inneren und äußeren Wände und der Möbel wirksam.

Wenn kostenintensive Heiz- und Kühlsysteme schnell und gut
10 dimensioniert sind, wenn also die Raumtemperatur innerhalb des Behaglichkeitsbereichs ohne deutliche Zeitverzögerung geregelt werden kann, gibt es keinerlei Risiko, dass die Behaglichkeitsansprüche nicht erfüllt werden könnten. Falsche Vorhersagen auf der Grundlage von Modellfehlern oder falsch
15 abgeschätzte Störungen führen daher - temporär - zu erhöhten Anforderungen an Energie und/oder Kosten, nicht aber zu einem Behaglichkeitsverlust. Aus diesem Grund ist dieser Typ von prädiktiver Regelung besonders geeignet für die - auch prototypische - Anwendung in echten Gebäuden, da hier im Hinblick auf die
20 Behaglichkeit für die Benutzer des Gebäudes keine Abstriche gemacht werden müssen.

Bei konventionellen Regelstrategien für integrierte Raumautomation ist die Sonnenschutzregelung unabhängig von der Heizungs-, Lüftungs-
25 und Klima-Regelung. Die sogenannte integrierte Raumautomation behandelt Heizung, Lüftung, Kühlung, Beleuchtung und Sonnenschutz in Räumen oder Raumzonen. Ausgeklügeltere Sonnenschutzregeleinrichtungen berücksichtigen beispielsweise auch die Regelaufgabe für die künstliche Beleuchtung, gewisse
30 Regeleinrichtungen treffen beispielsweise zusätzliche Entscheidungen in Abhängigkeit von den aktuellen Heiz- oder Kühlbelastungen.

Das erfindungsgemäße Regelkonzept hat eine hierarchische Struktur mit typischerweise einem Regler auf der obersten Ebene und typischerweise mehreren Reglern auf niedrigeren Ebenen. Die Regelung auf der obersten Ebene erfolgt über eine modellprädiktive Regelung, wobei freie oder kostengünstige Energiequellen, wie beispielsweise solare Energiegewinne über Sonnenschutz oder freie Kühlung über Trocken- oder Nasskühltürme auf der obersten Ebene geregelt werden. Die Regelung auf den niedrigeren Ebenen erfolgt bei der Regelung einer einzelnen Zone über die verbleibenden - üblicherweise kostenintensiven - Energiequellen. Mit Zone wird hier allgemein ein Raum eines Gebäudes oder eines Gebäudekomplexes bezeichnet, unabhängig davon ob er als Einzelraum durch Decke, Boden und Wände vollständig abgeschlossen ist, oder ob es sich um mehrere, bezüglich Energieverhalten gleichartige Räume oder Raumzonen handelt. In diesem Sinn wird beispielsweise auch ein gedeckter Hof oder ein Atrium als Zone bezeichnet.

Ein in der Fig. 1 nicht vollständig dargestelltes Gebäude weist eine erste Zone 20, eine zweite Zone 21 und eine dritte Zone 22 auf. Die drei Zonen weisen Geräte zum Heizen und Kühlen auf, durch welche die Raumtemperatur ϑ_r in den Zonen veränderbar ist, wobei in einer Zone in der Regel einerseits Geräte zur Steuerung des Energieflusses von kostengünstigen, also sogenannten freien Energiequellen und andererseits Geräte zur Steuerung des Energieflusses von teuren Energiequellen vorhanden sind.

Freie Energiequellen sind beispielsweise die Sonneneinstrahlung, Abwärme, Aussenluft und allgemein passive Wärme- bzw. Kältespeicher. Teure Energiequellen sind beispielsweise mit Ölbrenner oder Elektrizität betriebene Warmwasserheizungen. Wie der Preis eines Energieträgers in der Regel zeitabhängig ist, kann eine

Unterscheidung zwischen freier und teurer Energie auch zeitabhängig sein, so kann beispielsweise Fluss oder Seewasser in vielen Fällen eine freie Energiequelle sein, in Trockenzeiten jedoch teuer werden.

5 Mit 24 ist eine prädiktive Steuereinrichtung zur optimalen Steuerung der Verwendung wenigstens einer kostengünstigen Energiequelle bezeichnet. Die prädiktive Steuereinrichtung 24 verfügt über ein Gebäudemodell 25 und wenigstens einen Mikrocomputer 26 zur wiederholbaren Optimierung des zur Heizung oder Kühlung der
10 Zonen 20, 21 und 22 erforderlichen Energieverbrauchs. Durch die prädiktive Steuereinrichtung 24 ist mindestens ein erstes Steuersignal 27 zur optimalen Steuerung der Verwendung einer freien Energiequelle generierbar.

15 Eine Anordnung zur Regelung der Raumtemperatur ϑ_r , hat vorteilhafterweise eine hierarchische Struktur mit einer oberen Ebene 30 und wenigstens einer, der oberen Ebene 30 untergeordneten, unteren Ebene 31. Die obere Ebene 30 wird durch die prädiktive Steuereinrichtung 24 gebildet. Grundsätzlich kann die obere
20 Ebene 30 mehrere gleichartige Exemplare der prädiktiven Steuereinrichtung 24 aufweisen.

Die untere Ebene 31 umfasst im Beispiel ein erstes, der ersten Zone 20 zugeordnetes Regelgerät 32, ein zweites, der zweiten
25 Zone 21 zugeordnetes Regelgerät 33 und ein drittes, der dritten Zone zugeordnetes Regelgerät 34. Grundsätzlich umfasst die untergeordnete Ebene 31 wenigstens ein Regelgerät, allgemein sind jedoch mehrere untergeordnete Regelgeräte vorhanden.

30 Vorteilhafterweise wird den Regelgeräten 32, 33 und 34 der untergeordneten Ebene 31 eine jeweils in der entsprechenden Zone 20,

21 oder 22 erfasste Messgrösse als Rückführungssignal 40, 41 bzw. 42 zugeführt.

In einer vorteilhaften Ausführung der Anordnung wird das von der
5 prädiktiven Steuereinrichtung 23 generierte erste Steuersignal 27
als Eingangsgrösse den Regelgeräten 32, 33 und 34 der unteren
Ebene 31 zugeführt.

Die Regelgeräte 32, 33, 34 generieren je wenigstens ein zweites
10 Steuersignal 43, 44 bzw. 45 zur Steuerung der Verwendung einer freien
Energiequelle. Bei Bedarf generieren die Regelgeräte 32, 33, 34
ausserdem ein drittes Steuersignal 46, 47 bzw. 48 zur Steuerung der
Verwendung einer teureren Energiequelle.

15 Die zweiten Steuersignale 43, 44 und 45 und die dritten
Steuersignale 46, 47 und 48 enthalten vorteilhafterweise
Stellinformation zur Steuerung der in zugeordneten Zone 20, 21 bzw.
22 angeordneten Geräten zur Steuerung des Energieflusses von freien
- beziehungsweise teureren Energiequellen. Zur Steuerung von freien
20 Energiequellen verfügt die beispielhafte Anordnung über in allen
Zonen 20, 21 und 22 angeordnete Sonnenschutzgeräte 49, ein der
ersten Zone 20 zugeordneter Kühlturm 50 und in der ersten Zone 20
und in der zweiten Zone 21 angeordnete Lüftungsklappen 51 oder 52.
Zur Steuerung von teuren Energiequellen sind in der zweiten Zone 21
25 und auch in der dritten Zone 22 Heizwasserventile 53 und
Kühlwasserventile 54 angeordnet. Ausserdem ist der dritten Zone 22
eine Energierückgewinnungseinrichtung 55 zugeordnet.

Vorteilhafterweise wird je eine, jeweils in der entsprechenden
30 Zone 20, 21 oder 22 erfasste Messgrösse 56, 57 bzw. 58 an die
prädiktiven Steuereinrichtung 24 zurückgeführt.

Die in der unteren Ebene 31 angeordneten Regelgeräte 32, 33 und 34
sind beispielsweise durch marktübliche, für Raumklimaanwendungen
35 ausgelegte PID-Regler implementiert.

Im aktuellen Beispiel wird nur die Regelung auf der obersten Ebene näher betrachtet, die Regelung auf den niedrigeren Ebenen wird als ideal vorausgesetzt.

5

Das grundlegende von einem Regler auf der obersten Ebene verwendete Gebäudemodell 25 ist typischerweise ein einfaches Modell, das die wesentlichen statischen und dynamischen Wärmeeigenschaften des Gebäudes widerspiegelt. Ein Beispiel für ein solches Gebäudemodell wird im Folgenden eingeführt. Dasselbe Gebäudemodell wird hier auch zugrunde gelegt, um damit das Potenzial der prädiktiven Regelung für integrierte Raumautomation aufzuzeigen.

Gebäudemodell

15 Eine schematische Darstellung des beispielhaften Gebäudemodells zeigt Fig. 2. Das Gebäudemodell umfasst im wesentlichen einen ersten Modellteil 60 zur Modellierung des Gebäudekerns, einen zweiten Modellteil 61 zur Modellierung der Gebäudehülle, einen dritten Modellteil 62 zur Modellierung von Fenstern und den zentralen Raumknoten 63 mit Raumtemperatur ϑ_r , der wichtigsten Ausgabegrösse des Gebäudemodells. Die Eingangsgrößen für das Gebäudemodell werden aufgeteilt in Stell- und Störgrößen. Die Stellgrößen sind hier die Heizleistung u_1 , die Kühlleistung u_2 , die Sonnenschutzposition u_3 und die normalisierte freie Kühlleistung u_4 . Freie Kühlleistung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass zur Kühlung ein im wesentlichen kostenloser Energieträger nutzbar ist, also beispielsweise kühle Aussenluft oder kühles Seewasser. Bei der Sonnenschutzposition u_3 beispielsweise bedeutet der Wert null geschlossen und eins offen. Für die freie Kühlleistung u_4 bedeutet der Wert null keine freie Kühlung und der Wert eins maximale Kühlung. Im Rahmen dieses Beispiels wird angenommen, dass die kostenintensiven Kühlungs- und Heizungsquellen keine Begrenzungen bei der Leistungsabgabe haben.

Beschränkungen für die Stellgrößen sind in Ungleichungen G1 und G2 angegeben.

$$0 \leq u_1(t) \quad 0 \leq u_3(t) \leq 1 \quad (G1)$$

$$5 \quad 0 \leq u_2(t) \quad 0 \leq u_4(t) \leq 1 \quad (G2)$$

Störgrößen sind die Außenlufttemperatur ϑ_{oa} , die Aussenluftfeuchtkugeltemperatur ϑ_{oawb} , die solaren Energiegewinne bei vollständig geschlossenem Sonnenschutz \dot{q}_{s0} , also die sekundäre
 10 Wärmeübertragung, die zusätzlichen solaren Energiegewinne für vollständig geöffneten Sonnenschutz \dot{q}_{s1} , also die Strahlung, sowie die internen Wärmegewinne \dot{q}_i .

Im beispielhaften Gebäudemodell werden der Wärmefluss durch die
 15 Außenwände und Fenster sowie der Wärmefluss in die innen gelegenen Teile des Gebäudes bzw. aus diesen heraus modelliert. Die Heizleistung u_1 und die internen Wärmegewinne \dot{q}_i wirken direkt auf den gemeinsamen Raum-Wärmeknoten, der mit der erfassbaren Raumtemperatur ϑ_r verknüpft ist. Die Kühlleistung u_2 und die freie
 20 Kühlung u_4 wirken auf den Wärmeknoten an der Decke oder Kühldecke, wohingegen die Sonneneinstrahlung \dot{q}_{s1} sowohl auf die Wärmeknoten auf dem Boden als auch auf die an der Decke wirkt. Die sekundären solaren Wärmegewinne \dot{q}_{s0} wirken auf die Innenseite der äußeren Hülle. Die Wärmeübertragungskoeffizienten für das Fenster und für
 25 das freie Kühlungssystem ändern sich im Zusammenhang mit der Sonnenschutzposition u_3 bzw. der freien Kühlungsaktivitäten u_4 . Zur Darstellung des dynamischen Verhaltens eines echten Gebäudes werden die Wärmekapazitäten einem konzentrierten Raum-Wärmeknoten C_r , einer äußeren Hülle C_{o1} , C_{o2} , C_{o3} sowie innen gelegenen Teilen C_{i1} , C_{i2} ,

C_{i3} des Gebäudes zugeordnet. Im Modell haben Die Fenster keine Wärmekapazität. Das Gebäudemodell kann geschrieben werden als Darstellung eines pseudo-linearen Zustandsraums gemäss Gleichungen G3, wobei der Zustandsvektor \underline{x} durch Gleichung G4, der

 5 Störgrößenvektor \underline{v} durch Gleichung G5 und die Zustandsraummatrizen durch Gleichungen G6 bis G9 gegeben sind. Im Gebäudemodell sind Wärmeübertragungskoeffizienten mit K und ein Luftwechselverhältnis mit \dot{n}_a bezeichnet.

10

$$\dot{\underline{x}}(t) = A\underline{x}(t) + B_u \underline{u}(t) + B_v \underline{v}(t) + \underbrace{\sum_{i=1}^4 [(B_{vu,i} \underline{v}(t) + B_{xu,i} \underline{x}(t)) u_i(t)]}_{B_u^*(\underline{x}(t), \underline{v}(t)) \underline{u}(t)} \quad (G3)$$

$$y(t) = C\underline{x}(t)$$

$$\underline{x}^T(t) = [\mathcal{G}_r(t) \quad \mathcal{G}_{i1}(t) \quad \mathcal{G}_{i2}(t) \quad \mathcal{G}_{i3}(t) \quad \mathcal{G}_{o1}(t) \quad \mathcal{G}_{o2}(t) \quad \mathcal{G}_{o3}(t)] \quad (G4)$$

$$\underline{v}^T(t) = [\mathcal{G}_{oa}(t) \quad \mathcal{G}_{oawb}(t) \quad \dot{q}_{s0}(t) \quad \dot{q}_{s1}(t) \quad \dot{q}_i(t)] \quad (G5)$$

$$\begin{aligned}
 B_b &= \begin{bmatrix} \frac{1}{C_r} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_H} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 B_v &= \begin{bmatrix} \frac{n_a C_a + K_{wy}}{C_r} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{C_{ol}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{K_{p2}}{C_{o3}} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 B_{vz,1} = B_{vz,2} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 B_{vz,3} &= \begin{bmatrix} \frac{\Delta K_w}{C_r} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\alpha}{C_H} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-\alpha}{C_B} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(G7)

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (G9)$$

Das Regelungsoptimierungsproblem

5 Mit Vorteil wird eine lineare Programmierung verwendet, um die Lösung des Regelungsoptimierungsproblems anhand der Minimierung einer in Gleichung G10 dargestellten Kostenfunktion J zu bestimmen.

$$J(u) = \sum_{i=0}^{n-1} ((t_{i+1} - t_i) \underline{w}^T(t_i) \underline{u}(t_i)) \quad (G10)$$

10

In jedem Schritt werden den Stellgrößen Gewichtungen \underline{w} zugeordnet, wobei eine Gewichtung eine Bewertung in Kosten pro Einheit darstellt; ein Wert n ist die Anzahl der Optimierungintervalle. Die entsprechenden Intervalle definieren die Aufteilung des Optimierungshorizonts, wobei größere Intervalle gegen Ende des Horizonts die Möglichkeit bieten, mit nur geringen Auswirkungen auf die Lösung die Größe des Optimierungsproblems und damit erforderliche Rechenzeit zu reduzieren. Außer der Beibehaltung der Beschränkungen der in den Gleichungen G1 und G2 gegebenen Stellgrößen \underline{u} kann es auch Optimierungsbeschränkungen für den Zustandsvektor \underline{x} oder für den Ausgangsvektor \underline{y} geben. Mit diesen Beschränkungen wird der mit den Gleichungen G3 modellierten Physik des Systems G3 bei der Optimierungsberechnung getragen. Hier wird das Optimierungsberechnung so formuliert, dass die Raumtemperatur \mathcal{G}_r in einem mit einer Gleichung G11 dargestellten Behaglichkeitsbereich bleibt.

15

20

25

$$\mathcal{G}_{r,\min} \leq \mathcal{G}_r \leq \mathcal{G}_{r,\max} \quad (G11)$$

30

Da zur Lösung des Optimierungsproblems lineare Programmierung verwendet wird, werden die zukünftigen Zustände zur Berechnung der Matrizen B_{ij}^* für die eingehenden Stellgrößen fixiert – beispielsweise auf den tatsächlichen Zustandsvektor – damit sich ein lineares Optimierungsproblem ergibt. Zum Auffinden einer optimalen Lösung für das nicht-lineare Problem kann eine iterative Prozedur angewendet werden, wobei die Lösung des Zustandsvektors für das lineare Problem verwendet wird, um die Matrizen B_{ij}^* für den nächsten Iterationsschritt zu berechnen.

10

Das Optimierungsproblem wird wiederholt und mit einer Abtastzeit t_s gelöst, die in der Regel sehr viel kürzer ist als die Länge des Optimierungshorizonts. Für einen gleitenden Horizont werden nach jeder Optimierung nur die optimierten Stellgrößen für die nächste Abtastzeit eingesetzt.

15

Im vorliegenden Beispiel werden in den Gleichungen G6 bis G9 Parameter auf Grundlage eines für die Schweiz typischen Bürogebäudes festgelegt. Die Messdaten zu Sonneneinstrahlung, Außenlufttemperatur und Aussenluftfeuchtkugeltemperatur werden für Zürich eingesetzt. Die internen Wärmegewinne werden für Werktage in der Zeit von 8.00 h bis 20.00 h auf 25 W/m² festgelegt, ansonsten gelten 5 W/m². Innerhalb des Optimierungshorizonts wird für jede Optimierung eine konstante Gewichtung \underline{w} gemäss einer Gleichung G12 angewendet.

25

$$\underline{w}^T = [1 \quad 3 \quad -0.1 \quad 10] \quad (G12)$$

Als Normalisierungsbasis für die Gewichtung dient eine Heizleistung von 1 kW. Für die Sonnenschutzposition wird eine negative Gewichtung gewählt, da ein geschlossener Sonnenschutz eine stärkere künstliche Beleuchtung erforderlich macht. Auf diese Weise wird künstliche Beleuchtung indirekt durch Kosten für einen geschlossenen Sonnenschutz behandelt. Maximale freie

30

Kühlung verursacht Kosten, die äquivalent zu 10 kW Heizleistung sind.

Entscheidend für die Ausschöpfung des Energieeinsparungspotenzials und damit des Kosteneinsparungspotenzials der prädiktiven Regelung ist ein Vergleich zwischen idealer nicht-prädiktiver Regelung und idealer prädiktiver Regelung. Ideal bedeutet hier, dass ein modellgestützter prädiktiver Regler mit einem Modell zum Einsatz kommt, das dem geregelten Prozessmodell entspricht; die Störungen sind für jeden Optimierungshorizont genau bekannt. So ist der Hauptunterschied zwischen nicht-prädiktiver und prädiktiver Regelung durch die Länge des Optimierungshorizonts gegeben. Es werden die folgenden drei Regelstrategien erörtert:

15

Eine erste Strategie I, mit idealer prädiktiver Regelung mit einer Abtastzeit $t_s = 0,5$ h und einer Länge des Optimierungshorizonts $t_{opt} = 72$ h.

20 Eine zweite Strategie II, mit kurzzeitiger optimalen Regelung, mit einer Abtastzeit $t_s = 0,5$ h und einer Länge des Optimierungshorizonts $t_{opt} = 0,5$ h.

Ausserdem eine dritte Strategie III, als repräsentatives Beispiel für einen konventionellen Regelalgorithmus. Einerseits wird hier ein Sonnenschutz als Kühlgerät verwendet, was durch geschlossenen Sonnenschutz bei vorhandener Sonneneinstrahlung und geöffnetem Sonnenschutz bei fehlender Sonneneinstrahlung erreichbar ist, wenn die letzte aktive Aktion ein Kühlvorgang war, also $u_2 > 0$ oder $u_4 > 0$. Andererseits wird der Sonnenschutz als Heizgerät verwendet; also geöffneter Sonnenschutz bei vorhandener Sonneneinstrahlung, geschlossener Sonnenschutz bei fehlender Sonneneinstrahlung, wenn die letzte aktive Aktion ein Heizungsvorgang war ($u_1 > 0$), freie Kühlung wird favorisiert, wenn $\vartheta_{oawb} > 15^\circ\text{C}$. Dies wurde hier approximiert, indem die Gewichtung

35

für die Sonnenschutzposition auf 0,1 gesetzt wurde, wenn die letzte aktive Aktion ein Kühlvorgang war, und zurück auf minus 0,1, wenn die letzte aktive Aktion ein Heizvorgang war. Außerdem wird die Gewichtung für die freie Kühlung auf minus 10
5 gesetzt, wenn die Aussenluftfeuchtkugeltemperatur $\vartheta_{oawb} > 15^\circ\text{C}$ und die Raumtemperatur $\vartheta_r > (\vartheta_{r,\min} + \vartheta_{r,\max})/2$, andernfalls zurück auf 10, $t_s = 0,5$ h und $t_{opt} = 0,5$ h.

Die Energiekosten, die in ganzjährigen Simulationen für die drei
10 Strategien aufgelaufen sind, wurden - entsprechend der Gewichtung in Gleichung G12, ohne dass allerdings die Sonnenschutzposition gewichtet worden wäre - bestimmt: Für erste Strategie I ergaben sich durchschnittliche Kosten von $6,44 \cdot 10^{-3}/\text{m}^2$, die zweite Strategie II verursachte
15 durchschnittliche Kosten von $13,6 \cdot 10^{-3}/\text{m}^2$, und für die dritte Strategie III ergaben sich durchschnittliche Kosten von $9,19 \cdot 10^{-3}/\text{m}^2$.

In Abbildung 3 wird ein Vergleich zwischen der prädiktiven
20 dritten Strategie I und der nicht-prädiktiven dritten Strategie III für 14 Tage im Frühjahr gezeigt. Der prädiktiven Strategie I gelingt es, die Raumtemperatur lediglich mit kostengünstigen Heizungs- und Kühlungsquellen im Behaglichkeitsbereich zu halten. Damit wird die Raumtemperatur ϑ_r hoch gehalten, wenn die
25 kommenden Tage kühler werden und, wie in den Tagen 131 bis 135, geringere solare Energiegewinne vorliegen, und die Raumtemperatur wird niedriger gehalten, wenn die nächsten Tage warm sind und, wie in den Tagen 136 und 137, hohe solare Energiegewinne wirksam werden. Auf diese Weise werden die
30 Wärmekapazitäten des Gebäudes mit kostengünstiger Energie geleert und wieder aufgeladen.

Die dargelegten Ergebnisse zeigen, dass prädiktive integrierte Raumautomation über ein substantielles verwertbares Potenzial

verfügt. Die prädiktive Regellösung ist der nicht-prädiktiven insbesondere dann überlegen, wenn zum Kühlen und Heizen eines Gebäudes zu einem frühen Zeitpunkt, also bevor kostenintensive Heizung und Kühlung notwendig werden, kostengünstige Heizung und 5 kostengünstige Kühlung verwendet werden können. Wenn schnelle, also kostenintensive Heiz- und Kühlgeräte vorhanden sind, wird die Behaglichkeit durch einen prädiktiven Regler vom vorgestellten Typ nicht beeinträchtigt - selbst wenn das Gebäudemodell des Reglers schlecht ist und die zukünftigen 10 Störungen falsch abgeschätzt werden.

Bezugszeichenliste

Bezugszeichen

20	Zone, erste
21	Zone, zweite
22	Zone, dritte
24	prädiktive Steuereinrichtung
25	Gebäudemodell
26	Mikrocomputer
27	Steuersignal, erstes
30	Ebene, obere
31	Ebene, untere
32	Regelgerät, erstes
33	Regelgerät, zweites
34	Regelgerät, drittes
40, 41, 42	Rückführungssignal
43, 44, 45	Steuersignal, zweites
46, 47, 48	Steuersignal, drittes
49	Sonnenschutzgerät
50	Kühlturm
51, 52	Lüftungsklappe
53	Heizwasserventil
54	Kühlwasserventil
55	Energierückgewinnungseinrichtung
56, 57, 58	Messgrösse
60	Modellteil, erster
61	Modellteil, zweiter
62	Modellteil, dritter
63	Raumknoten

Patentansprüche

1. Anordnung mit einer wenigstens zwei Ebenen aufweisenden hierarchischen Struktur zur Steuerung und Regelung einer Raumtemperatur in einem Gebäude,
5 mit wenigstens einer in einer oberen Ebene (30) angeordneten prädiktiven Einrichtung (24) zur optimalen Steuerung der Verwendung wenigstens einer freien Energiequelle, und
10 mit wenigstens einer in einer der oberen Ebene (30) untergeordneten unteren Ebene (31) angeordneter Einrichtung (32; 33; 34) zur rückgeführten Regelung wenigstens einer weiteren Energiequelle.
- 15 2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die auf der oberen Ebene (30) angeordnete prädiktive Einrichtung (24) ein Gebäudemodell (25) aufweist, und dass die Regelstrategie der prädiktiven Einrichtung (24) sich Eigenschaften (25) eines passiven Wärmespeichers des
20 Gebäudes nutzbar macht.
3. Anordnung nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass - anstelle eines Sollwerts - ein mit einem unteren Wert
25 und einem oberen Wert begrenztes Komforttemperaturband auswählbar ist, in welches die Raumtemperatur eingeregelt wird.
4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Komforttemperaturband wenigstens zwei Kelvin
30 umfasst.
5. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Komforttemperaturband wenigstens vier Kelvin
35 umfasst.

6. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass die prädiktive Einrichtung Mittel (25; 26) zur
wiederholbaren Optimierung des Energieverbrauchs oder der
Energiekosten aufweist.
- 5
7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,
dass die Optimierung durch lineare Programmierung
durchgeführt wird.
- 10 8. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass die durch die in der oberen Ebene angeordnete
prädiktive Einrichtung eingesetzte freie Energiequelle
Sonnenlicht, Abwärme, Aussenluft, Seewasser oder Erdreich ist.
- 15 9. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass durch die in der oberen Ebene angeordnete prädiktive
Einrichtung ein Steuersignal für die untergeordnete Einrichtung
zur rückgeführten Regelung generiert wird, wobei das
Steuersignal Information zur optimalen Nutzung der freien
20 Energiequelle aufweist.
10. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass durch die in der oberen Ebene angeordnete prädiktive
Einrichtung ein Steuersignal für wenigstens ein
25 Sonnenschutzgerät berechnet und an die in der untergeordneten
Ebene angeordnete Einrichtung zur rückgeführten Regelung
übertragen wird.
11. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
30 dass durch die in der oberen Ebene angeordnete prädiktive
Einrichtung ein Steuersignal für wenigstens eine
Energierückgewinnungseinrichtung berechnet und an die in der
untergeordneten Ebene angeordnete Einrichtung zur rückgeführten
Regelung übertragen wird.

12. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass durch die in der oberen Ebene angeordnete prädiktive
Einrichtung ein Steuersignal für wenigstens einen Kühlturm
berechnet und an die in der untergeordneten Ebene angeordnete
5 Einrichtung zur rückgeführten Regelung übertragen wird.

13. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass durch die in der oberen Ebene angeordnete prädiktive
Einrichtung ein Steuersignal für wenigstens eine Luftklappe
10 berechnet und an die in der untergeordneten Ebene angeordnete
Einrichtung zur rückgeführten Regelung übertragen wird.

14. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass durch die in der unteren Ebene angeordnete Einrichtung
15 freie Energiequellen steuernde Geräte und / oder kostenintensive
Energiequellen steuernde Geräte gesteuert werden.

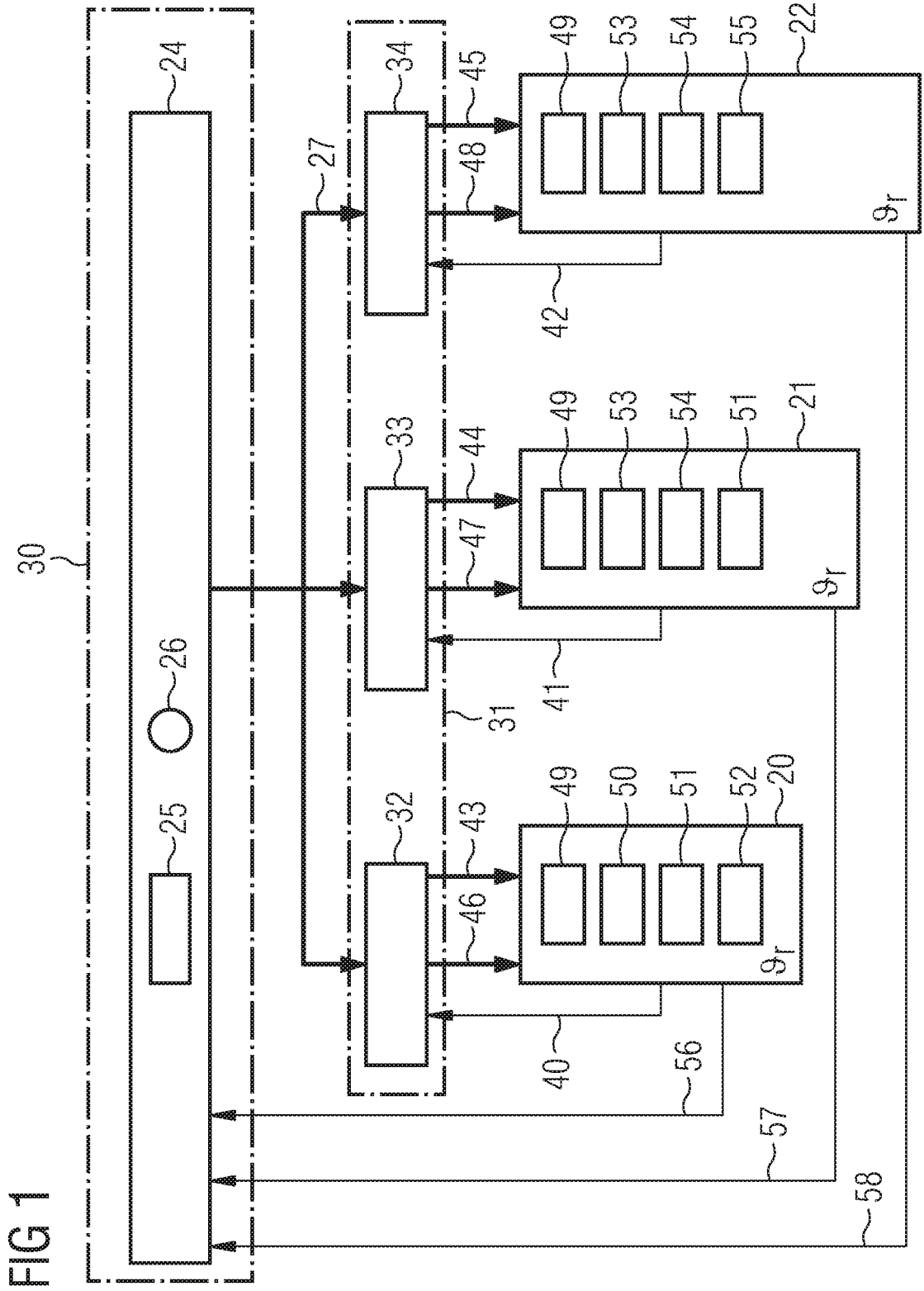


FIG 1

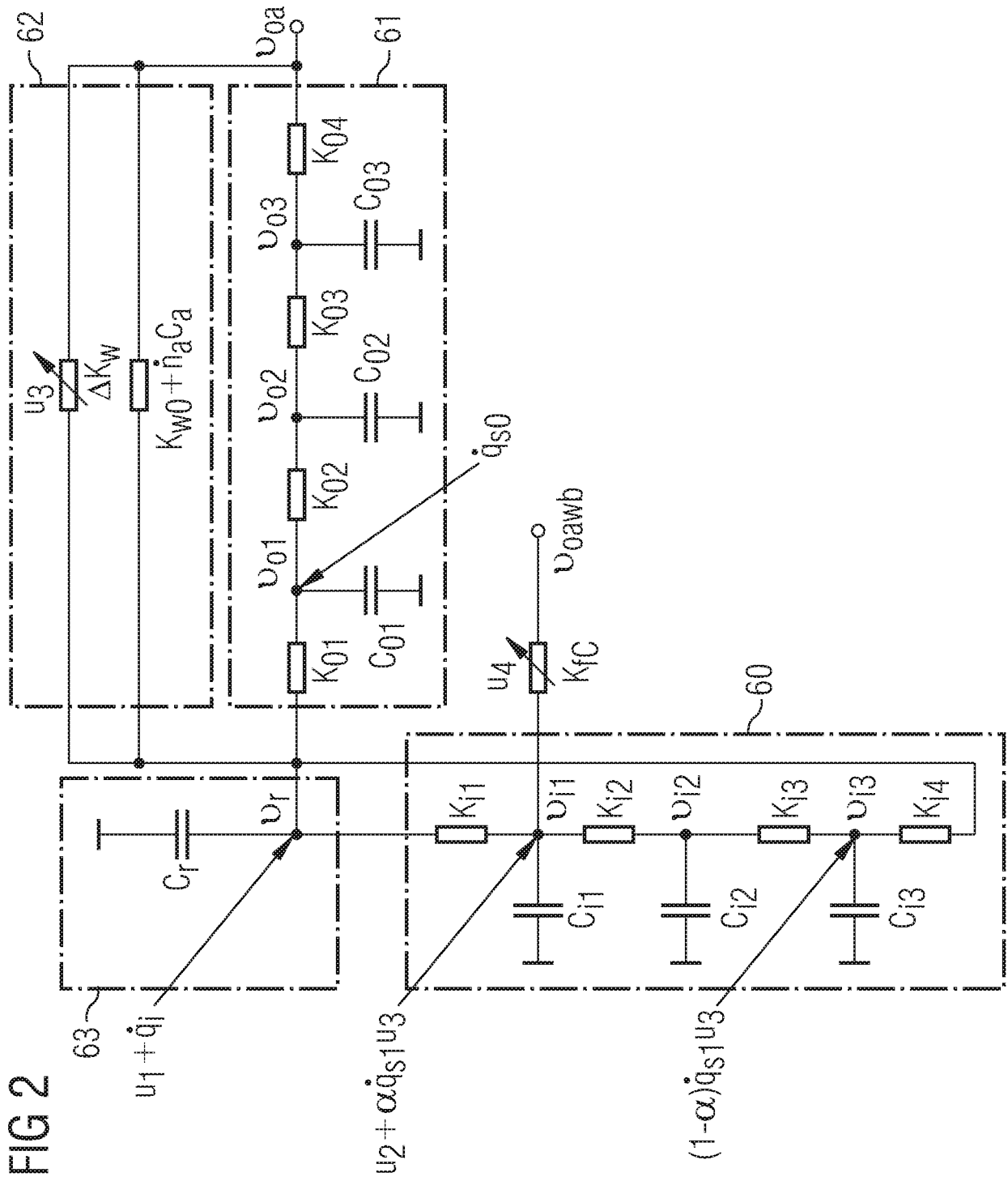
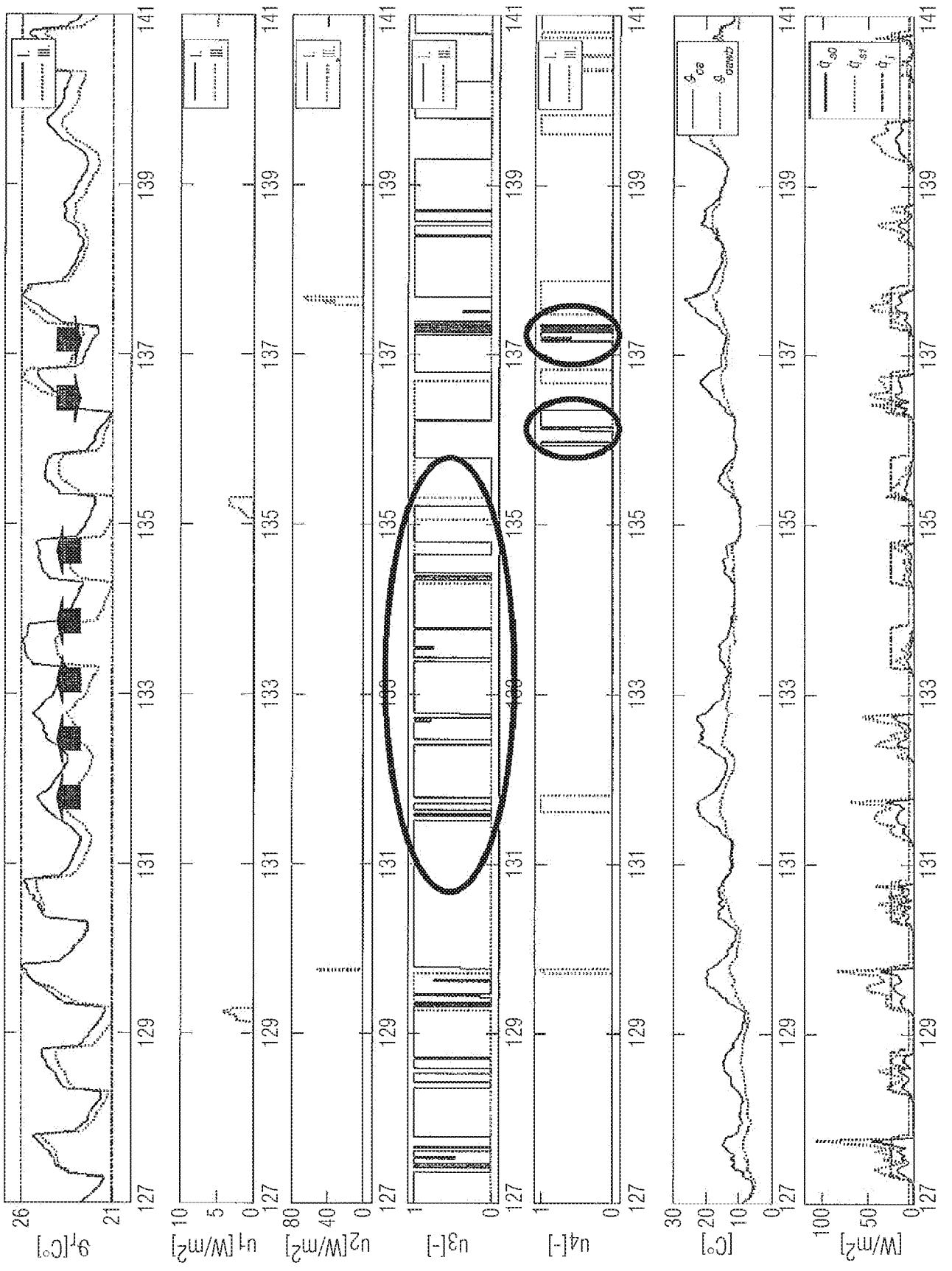


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/066445

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G05D23/19

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/182943 A1 (HULL GERRY GLANCY [US]) 23 September 2004 (2004-09-23) paragraphs [0021] - [0058] figures 1-3	1-14
X	US 2002/109011 A1 (FLECKENSTEIN JOSEPH EDWARD [US]) 15 August 2002 (2002-08-15) paragraphs [0021] - [0056]; figures 1-3	1-14
A	US 4 897 798 A (CLER LAWRENCE J [US]) 30 January 1990 (1990-01-30) the whole document	1-14
A	WO 2004/025189 A (BARIX AG [CH]; RIETSCHEL JOHANNES [CH]) 25 March 2004 (2004-03-25) the whole document	1-14
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 January 2007

Date of mailing of the international search report

19/01/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

POELLMANN, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/066445

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 231 352 A (BOWDEN DONALD R ET AL) 4 November 1980 (1980-11-04) the whole document -----	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2006/066445

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004182943 A1	23-09-2004	US 2004256473 A1	23-12-2004
US 2002109011 A1	15-08-2002	NONE	
US 4897798 A	30-01-1990	NONE	
WO 2004025189 A	25-03-2004	AU 2003257357 A1	30-04-2004
		CA 2497839 A1	25-03-2004
		EP 1537366 A1	08-06-2005
		US 2005234596 A1	20-10-2005
US 4231352 A	04-11-1980	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G05D23/19

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G05D

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/182943 A1 (HULL GERRY GLANCY [US]) 23. September 2004 (2004-09-23) Absätze [0021] - [0058] Abbildungen 1-3	1-14
X	US 2002/109011 A1 (FLECKENSTEIN JOSEPH EDWARD [US]) 15. August 2002 (2002-08-15) Absätze [0021] - [0056]; Abbildungen 1-3	1-14
A	US 4 897 798 A (CLER LAWRENCE J [US]) 30. Januar 1990 (1990-01-30) das ganze Dokument	1-14
A	WO 2004/025189 A (BARIX AG [CH]; RIETSCHEL JOHANNES [CH]) 25. März 2004 (2004-03-25) das ganze Dokument	1-14
	-/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :	"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist	"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)	"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht	
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist	

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
12. Januar 2007	19/01/2007
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter POELLMANN, H

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 231 352 A (BOWDEN DONALD R ET AL) 4. November 1980 (1980-11-04) das ganze Dokument -----	1-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/066445

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004182943 A1	23-09-2004	US 2004256473 A1	23-12-2004
US 2002109011 A1	15-08-2002	KEINE	
US 4897798 A	30-01-1990	KEINE	
WO 2004025189 A	25-03-2004	AU 2003257357 A1 CA 2497839 A1 EP 1537366 A1 US 2005234596 A1	30-04-2004 25-03-2004 08-06-2005 20-10-2005
US 4231352 A	04-11-1980	KEINE	