

(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
30. August 2007 (30.08.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/096377 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G05B 13/04 (2006.01) F02C 6/18 (2006.01)
F02G 5/00 (2006.01)

Zürich (CH). LAUBACHER, Nina [DE/CH]; Schreibermattweg, CH-6074 Giswil (CH). TÖDTLI, Jürg [CH/CH]; Hardegstr. 21a, CH-8049 Zürich (CH).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/051654

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

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. Februar 2007 (21.02.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(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, GT, 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.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 008 722.4
24. Februar 2006 (24.02.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

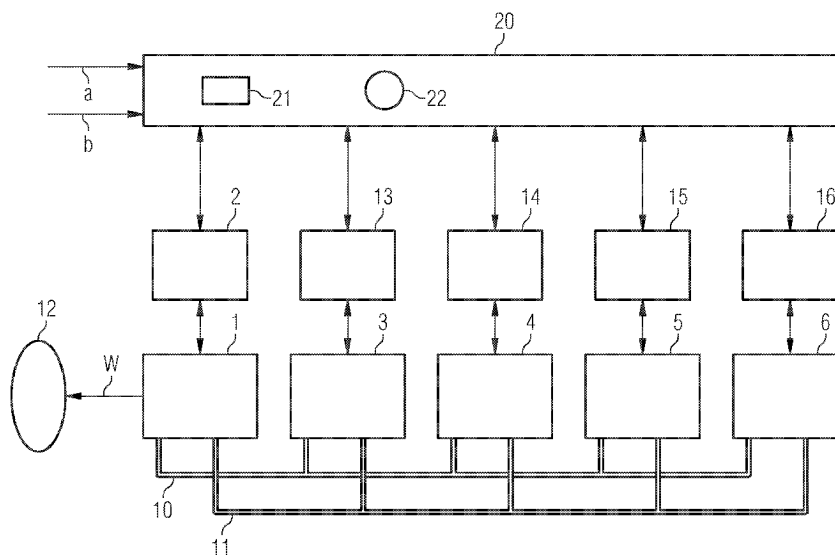
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GWERDER, Markus [CH/CH]; Guntenbühl 3, CH-6312 Steinhausen (CH). GÄHLER, Conrad [CH/CH]; Rautistr. 375, CH-8048

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MODEL-BASED PREDICTIVE REGULATION OF A BUILDING ENERGY SYSTEM

(54) Bezeichnung: MODELLBASIERTE PRÄDIKTIVE REGELUNG EINER GEBÄUDE-ENERGIEANLAGE



(57) Abstract: In a method for the predictive control and/or regulation of a building energy system having at least one combined heat and power unit (1), control signals for a control and regulation unit (2) which is associated with the combined heat and power unit (1) are generated by a control and regulation device (20) which is superordinate to the control and regulation unit, wherein a model (21) of the thermal and energy behaviour of the building and the energy system as well as the users of the latter is used to generate the control signals and optimization is carried out using a sliding time horizon. One optimization criterion can be selected according to the current needs of the operator of the energy system. The optimization criterion is, for example, an indicator of the primary energy consumption of the energy system or else a measure of the carbon dioxide emission produced by the energy system.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/096377 A1



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, 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).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)

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: In einem Verfahren zur Prädiktiven Steuerung und/oder Regelung einer wenigstens, ein Kraft-Wärme-kopplungs-Gerät (1) aufweisenden Energieanlage eines Gebäudes werden Leitsignale für ein dem Kraft-Wärme-kopplungs-Gerät (1) zugeordnetes Steuer- und Regelgerät (2) durch eine dem Steuer- und Regelgerät übergeordnete Steuer- und Regeleinrichtung (20) generiert, wobei zur Generierung der Leitsignale ein Modell (21) des thermischen und energetischen Verhaltens des Gebäudes und der Energieanlage sowie deren Benutzer verwendet wird, und eine Optimierung über einen gleitenden Zeithorizont durchgeführt wird. Ein Kriterium für die Optimierung ist nach aktuellen Bedürfnissen des Betreibers der Energieanlage wählbar. Das Kriterium der Optimierung ist beispielsweise ein Indikator für den Primärenergieverbrauch der Energieanlage oder aber ein Mass für den von der Energieanlage produzierten Kohlendioxid-Ausstoß.

Modellbasierte prädiktive Regelung einer Gebäude-Energieanlage

Technisches Gebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Steuerung und Regelung einer
5 wenigstens ein Kraft-Wärmekopplungs-Gerät aufweisenden Energieanlage für ein
Gebäude, sowie auf Anordnungen zur Durchführung des Verfahrens, gemäss den
Oberbegriffen der Ansprüche 1, 14, 15 und 19.

Stand der Technik

10 Eine prädiktive Einrichtung zum Regeln oder Steuern von Versorgungsgrössen
eines Gebäudes ist beispielsweise aus EP-A-1074900 bekannt.

Technische Aufgabe

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, mit dem eine
15 wenigstens ein Kraft-Wärmekopplungs-Gerät aufweisende Energieanlage eines
Gebäudes nach wählbaren Optimierungskriterien steuer- und/oder regelbar ist. Zu
dem soll eine Anordnung angegeben werden, mit der das Verfahren ausführbar ist.
Ferner ist eine Anordnung anzugeben, die allgemein als Werkzeug zur
Dimensionierung von Energieanlagen einsetzbar ist.

20

Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die Merkmale der Ansprüche
1, 14, 15 oder 19 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den
abhängigen Ansprüchen.

25

Das beanspruchte Verfahren ist auch vorteilhaft in einer Anordnung zur Ermittlung
des so genannten Performance Bound einer Energieanlage einsetzbar, was einen
Vergleich mit nach anderen Verfahren arbeitenden Regel- und/oder Steuergeräten
ermöglicht.

30

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung mit Hilfe von
Zeichnungen näher erläutert.

Angaben zu den Zeichnungen

Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels der Energieanlage,

- 5 Fig. 2 ein Energieflussdiagramm eines zweiten Ausführungsbeispiels der Energieanlage,

Fig. 3 ein Wirkungsplan mit Eingabe- und Steuergrößen des zweiten Ausführungsbeispiels,

10

Fig. 4 ein Prinzipschema mit einem Wirkungsplan zu einem dritten Ausführungsbeispiel,

- 15 Fig. 5 ein Wirkungsplan einer Gebäude-Energieanlage gemäss dem dritten Ausführungsbeispiel,

Fig. 6 ein Wirkungsplan eines Warmwasserspeichers im Zusammenhang mit dem dritten Ausführungsbeispiel, und

- 20 Fig. 7 ein Wirkungsplan einer Bodenheizung im Zusammenhang mit dem dritten Ausführungsbeispiel.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

Erstes Ausführungsbeispiel

- 25 In der Fig. 1 bedeutet 1 ein Kraft-Wärmekopplungs-Gerät, welches über ein Steuer- und Regelgerät 2 steuerbar und/oder regelbar ist.

- Das Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 1 ist Teil einer Energieanlage für ein Gebäude. Die Energieanlage weist eine Zusatz-Kesselanlage 3 eine Brauchwasseranlage 4, 30 einen Pufferspeicher 5 und eine Raumheizungsanlage 6 auf. Ein Vorlaufstrang 10 und ein Rücklaufstrang 11 bilden eine Verbindung für einen Wärmeträger zwischen dem Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 1, der Zusatz-Kesselanlage 3, der

Brauchwasseranlage 4, dem Pufferspeicher 5 und der Raumheizungsanlage 6. Der Wärmeträger ist typischerweise Heizwasser.

Das Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 1 weist hier einen Stirling-Motor auf. Das
5 Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 1 ist grundsätzlich ein Gerät oder eine Anordnung
von Geräten, durch das - beziehungsweise durch die - eine Rückspeisung von
elektrischer Energie W aus der Energieanlage in ein elektrisches Energienetz 12
ermöglicht wird und dessen - beziehungsweise deren - Abwärme in der
Energieanlage nutzbar ist. Das elektrische Energienetz 12 ist beispielsweise ein
10 Hausnetz oder ein öffentliches Netz.

Das Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 1 kann grundsätzlich auch auf einer andern
Basis als auf der des Stirling-Motors aufgebaut sein; beispielsweise auf der Basis
einer Brennstoffzelle oder eines Explosionsmotors.

15 Die Anlagenteile 3, 4 und 6 sind über weitere Regel- und Steuergeräte bedienbar:
der Zusatz-Kesselanlage 3 ist ein Regel- und Steuergerät 13, der
Brauchwasseranlage 4 ein Regel- und Steuergerät 14 und der
Raumheizungsanlage 6 ein Regel- und Steuergerät 16 zugeordnet.

20 Durch eine Steuer- und Regeleinrichtung 20 sind Leitsignale für die Steuer- und
Regelgeräte 2, 13, 14 und 16 der Energieanlage generierbar.

Durch die von der Steuer- und Regeleinrichtung 20 generierten Leitsignale sind das
25 Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 1 und auch die Zusatz-Kesselanlage 3, die
Brauchwasseranlage 4 und die Raumheizungsanlage mittels zugeordneten Steuer-
und Regelgeräten 2, 13, 14 und 16 optimal steuer- und/oder regelbar. Die den
Steuer- und Regelgeräten 2, 13, 14 und 16 der Energieanlage übergeordnete
Steuer- und Regeleinrichtung 20 weist ein Modell 21 auf, durch welches mit Vorteil
30 das thermische und energetische Verhalten des Gebäudes und der Energieanlage
sowie deren Benutzer beschrieben ist. Mit Vorteil verfügt die Steuer- und
Regeleinrichtung 20 über wenigstens einen entsprechend programmierten

Prozessor 22, durch den eine Optimierung des Betriebs der Energieanlage nach gewissen Kriterien und unter Berücksichtigung des Modells 21 durchführbar ist.

Durch die übergeordnete Steuer- und Regeleinrichtung 20 sind mit Vorteil externe Signale a und b erfassbar, welche die Optimierung beeinflussen. Ein erstes externes Signal a ist hier beispielhaft eine Information zum aktuellen Tarif der elektrischen Energie und ein zweites externes Signal b beinhaltet eine aktuelle Wetterprognose.

Die in der beispielhaften Energieanlage angeordnete Zusatz-Kesselanlage 3, wie auch die Brauchwasseranlage 4 und die Raumheizungsanlage 6 könnten grundsätzlich zum Betrieb mit einem beliebigen Energieträger ausgelegt sein, beispielsweise zum Betreiben mit Öl, Gas, Holz, Kohle, Elektrizität oder einem Bio-Energieträger.

Zweites Ausführungsbeispiel

In dem in der Fig. 2 dargestellten Energieflussdiagramm einer Energieanlage eines Gebäudes bedeutet 25 ein Kraft-Wärmekopplungs-Gerät, 26 ein Zusatzwärmeerzeuger, 27 ein Speicher von elektrischer Energie $Q_{el}(t)$ und 28 ein Wärmespeicher mit der Energie $Q_{th}(t)$.

Im Energieflussdiagramm sind Zusammenhänge zwischen der von einem Energieversorgungsnetz bezogenen elektrischen Energie $u_{el}^+(t)$, der an das elektrische Energieversorgungsnetz zurückgespeisten Energie $u_{el}^-(t)$, der beispielsweise in Form von Gas oder Öl dem Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 25 zugeführten Energie $u_{wKK}(t)$, der beispielsweise in Form von Gas oder Öl dem Zusatzwärmeerzeuger 26 zugeführten Energie $u_{th}(t)$ und den Verbräuchen von elektrischer Energie $q_{el}(t)$ und thermischer Energie $q_{th}(t)$ dargestellt.

In dem in der Fig. 3 dargestellten Wirkungsplan bedeutet 30 ein erstes Integrierglied und 31 ein zweites Integrierglied. Das erste Integrierglied 30 modelliert den

Wärmespeicher 28; das zweite Integrierglied 31 modelliert den Speicher 27 elektrischer Energie.

Im Zusammenhang mit dem zweiten Ausführungsbeispiel benutzte Symbole bedeuten:

- 5 $\gamma_{WKK}(t)$ Kosten einer Einheit des dem Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 25 zugeführten Brennstoffs;
- $\gamma_{th}(t)$ Kosten einer Einheit der dem Zusatzwärmeerzeuger 26 zugeführten Brennstoffs;
- 10 $\gamma_{el}^+(t)$ Kosten einer Einheit der vom Netz bezogenen elektrischen Energie;
- γ_{el}^- Ertrag einer Einheit der an das Netz zurückgespiessenen elektrischen Energie;
- $\alpha(t)$ Wirkungsgrad des Zusatzwärmeerzeugers 26;
- $\beta_{el}(t)$ elektrischer Wirkungsgrad des Kraft-Wärmekopplungs-Geräts;
- 15 $\beta_{th}(t)$ thermischer Wirkungsgrad des Kraft-Wärmekopplungs-Geräts;
- T Dauer des gleitenden Zeithorizonts, über den optimiert wird;
- $u_{el\max}^+(t), u_{el\max}^-(t), u_{WKK\max}(t), u_{th\max}(t)$: durch die Leistungsgrenzen der entsprechenden Anlageteile gegebene Maximalwerte der entsprechenden Steuergrößen;
- 20 $Q_{el\max}$ maximale in Speicher 27 speicherbare elektrische Energie; und
- $Q_{th\max}$ maximale in Wärmespeicher 28 speicherbare thermische Energie.

Es gelten folgende Beziehungen:

$$p_{th}(t) = \alpha(t) \cdot u_{th}(t) \quad \{\text{G1}\}$$

$$25 \quad p_{elWKK}(t) = \beta_{el}(t) \cdot u_{WKK}(t) \quad \{\text{G2}\}$$

$$p_{thWKK}(t) = \beta_{th}(t) \cdot u_{WKK}(t) \quad \{\text{G3}\}$$

Leistungskosten $c(t)$:

$$c(t) = \gamma_{WKK}(t) \cdot u_{WKK}(t) + \gamma_{th}(t) \cdot u_{th}(t) + \gamma_{el}^+(t) \cdot u_{el}^+(t) - \gamma_{el}^-(t) \cdot u_{el}^-(t) \quad \{\text{G4}\}$$

Energiekosten $C(T)$ im Zeitintervall $[0, T]$:

$$C(T) = \int_0^T c(t) \cdot dt \quad \{\text{G5}\}$$

Steuergrößen und ihre zulässigen Werte:

$$5 \quad u_{el}^+ \quad : \quad 0 \leq u_{el}^+(t) \leq u_{el \max}^+(t) \quad \{\text{G6}\}$$

$$u_{el}^- \quad : \quad 0 \leq u_{el}^-(t) \leq u_{el \max}^-(t) \quad \{\text{G7}\}$$

$$u_{WKK} \quad : \quad 0 \leq u_{WKK}(t) \leq u_{WKK \max}(t) \quad \{\text{G8}\}$$

$$u_{th} \quad : \quad 0 \leq u_{th}(t) \leq u_{th \max}(t) \quad \{\text{G9}\}$$

10 Begrenzung der Speicherinhalte:

$$0 \leq Q_{el}(t) \leq Q_{el \max} \quad \{\text{G10}\}$$

$$0 \leq Q_{th}(t) \leq Q_{th \max} \quad \{\text{G11}\}$$

Modellgleichungen und Optimierungsproblem, zeitkontinuierlich

$$15 \quad \frac{d}{dt} Q_{el}(t) = h_1(t) \quad \{\text{G12}\}$$

$$\frac{d}{dt} Q_{th}(t) = h_2(t) \quad \{\text{G13}\}$$

$$h_1(t) = -q_{el}(t) + u_{el}^+(t) - u_{el}^-(t) + \beta_{el}(t) \cdot u_{WKK}(t) \quad \{\text{G14}\}$$

20

$$h_2(t) = -q_{th}(t) + \alpha(t) \cdot u_{th}(t) + \beta_{th}(t) \cdot u_{WKK}(t) \quad \{\text{G15}\}$$

$$c(t) = \gamma_{WKK}(t) \cdot u_{WKK}(t) + \gamma_{th}(t) \cdot u_{th}(t) + \gamma_{el}^+(t) \cdot u_{el}^+(t) - \gamma_{el}^-(t) \cdot u_{el}^-(t) \quad \{\text{G16}\}$$

25 Bekannt:

$$T, Q_{el \max}, Q_{th \max} \quad \{\text{G17}\}$$

$$Q_{el}(0) \quad \text{wobei} \quad 0 \leq Q_{el}(0) \leq Q_{el \max} \quad \{\text{G18}\}$$

$$Q_{th}(0) \quad \text{wobei} \quad 0 \leq Q_{th}(0) \leq Q_{th \max} \quad \{\text{G19}\}$$

$$q_{el}(t), q_{th}(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G20}\}$$

$$\alpha(t), \beta_{el}(t), \beta_{th}(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G21}\}$$

$$\gamma_{WKK}(t), \gamma_{th}(t), \gamma_{el}^+(t), \gamma_{el}^-(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G22}\}$$

$$5 \quad u_{el \max}^+(t), u_{el \max}^-(t), u_{th \max}(t), u_{WKK \max}(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G23}\}$$

Gesucht:

$$u_{el}^+(t), u_{el}^-(t), u_{th}(t), u_{WKK}(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G24}\}$$

so dass

$$10 \quad C(T) = \int_0^T c(t) \cdot dt \rightarrow \text{minimal} \quad \{\text{G25}\}$$

und

$$0 \leq Q_{el}(t) \leq Q_{el \max} \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G26}\}$$

$$0 \leq Q_{th}(t) \leq Q_{th \max} \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G27}\}$$

$$0 \leq u_{el}^+(t) \leq u_{el \max}^+(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G28}\}$$

$$15 \quad 0 \leq u_{el}^-(t) \leq u_{el \max}^-(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G29}\}$$

$$0 \leq u_{th}(t) \leq u_{th \max}(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G30}\}$$

$$0 \leq u_{WKK}(t) \leq u_{WKK \max}(t) \quad \text{für } 0 \leq t \leq T \quad \{\text{G31}\}$$

Modellgleichungen und Optimierungsproblem, zeitdiskret

20 Herleitung:

Lösung der Differential Gleichungen nach dem Euler Verfahren

$$Q_{el}(t + \Delta t) = Q_{el}(t) + h_1(t) \cdot \Delta t \quad \{\text{G32}\}$$

$$Q_{th}(t + \Delta t) = Q_{th}(t) + h_2(t) \cdot \Delta t \quad \{\text{G33}\}$$

25

Kosten:

$$C(N) = \sum_{i=0}^{N-1} c(i \cdot \Delta t) \quad \{\text{G34}\}$$

Optimierungsproblem (Lineares Programm(LP))

Bekannt:

$$N, \Delta t \quad \text{\{G35\}}$$

$$5 \quad Q_{el \max}, \quad Q_{th \max} \quad \text{\{G36\}}$$

$$Q_{el}(0) \quad \text{wobei} \quad 0 \leq Q_{el}(0) \leq Q_{el \max} \quad \text{\{G38\}}$$

$$Q_{th}(0) \quad \text{wobei} \quad 0 \leq Q_{th}(0) \leq Q_{th \max} \quad \text{\{G39\}}$$

$$q_{el}(i \cdot \Delta t), q_{th}(i \cdot \Delta t) \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G40\}}$$

$$\alpha(i \cdot \Delta t), \beta_{el}(i \cdot \Delta t), \beta_{th}(i \cdot \Delta t) \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G41\}}$$

$$10 \quad \gamma_{WKK}(i \cdot \Delta t), \gamma_{th}(i \cdot \Delta t), \gamma_{el}^+(i \cdot \Delta t), \gamma_{el}^-(i \cdot \Delta t) \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G42\}}$$

$$u_{el \max}^+(i \cdot \Delta t), u_{el \max}^-(i \cdot \Delta t), u_{th \max}(i \cdot \Delta t), u_{WKK \max}(i \cdot \Delta t) \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G43\}}$$

Man bestimme

$$u_{el}^+(i \cdot \Delta t), u_{el}^-(i \cdot \Delta t), u_{th}(i \cdot \Delta t), u_{WKK}(i \cdot \Delta t) \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G44\}}$$

15

so dass

$$C(N) = \sum_{i=0}^{N-1} \left(\gamma_{WKK}(i \cdot \Delta t) \cdot u_{WKK}(i \cdot \Delta t) + \gamma_{th}(i \cdot \Delta t) \cdot u_{th}(i \cdot \Delta t) \right. \\ \left. + \gamma_{el}^+(i \cdot \Delta t) \cdot u_{el}^+(i \cdot \Delta t) - \gamma_{el}^-(i \cdot \Delta t) \cdot u_{el}^-(i \cdot \Delta t) \right) \rightarrow \text{minimal} \quad \text{\{G45\}}$$

unter folgenden Ungleichungen

$$20 \quad 0 \leq Q_{el}(i \cdot \Delta t + \Delta t) \leq Q_{el \max} \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G46\}}$$

$$0 \leq Q_{th}(i \cdot \Delta t + \Delta t) \leq Q_{th \max} \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G47\}}$$

$$0 \leq u_{el}^+(i \cdot \Delta t) \leq u_{el \max}^+(i \cdot \Delta t) \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G48\}}$$

$$0 \leq u_{el}^-(i \cdot \Delta t) \leq u_{el \max}^-(i \cdot \Delta t) \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G49\}}$$

$$0 \leq u_{th}(i \cdot \Delta t) \leq u_{th \max}(i \cdot \Delta t) \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G50\}}$$

$$25 \quad 0 \leq u_{WKK}(i \cdot \Delta t) \leq u_{WKK \max}(i \cdot \Delta t) \quad \text{für } i = 0, \dots, N-1 \quad \text{\{G51\}}$$

und folgenden Gleichungen

$$Q_{el}((i+1) \cdot \Delta t) = Q_{el}(i \cdot \Delta t) - q_{el}(i \cdot \Delta t) \cdot \Delta t + u_{el}^+(i \cdot \Delta t) \cdot \Delta t - u_{el}^-(i \cdot \Delta t) \cdot \Delta t + \beta_{el}(i \cdot \Delta t) \cdot u_{WKK}(i \cdot \Delta t) \cdot \Delta t \quad \{\text{G52}\}$$

für $i = 0, \dots, N-1$

$$Q_{th}((i+1) \cdot \Delta t) = Q_{th}(i \cdot \Delta t) - q_{th}(i \cdot \Delta t) \cdot \Delta t + \alpha(i \cdot \Delta t) \cdot u_{th}(i \cdot \Delta t) \cdot \Delta t + \beta_{th}(i \cdot \Delta t) \cdot u_{WKK}(i \cdot \Delta t) \cdot \Delta t \quad \{\text{G53}\}$$

5 für $i = 0, \dots, N-1$ **Spezialfälle**

Erster Spezialfall: Gleiche Tarife für Bezug und Rückspeisung elektrischer Leistung, das heißt:

$$10 \quad \gamma_{el}^+(i) = \gamma_{el}^-(i) \quad \{\text{G54}\}$$

Es folgt

$u_{el}^+(t)$ und $u_{el}^-(t)$ kommen nicht mehr einzeln, sondern nur noch als Differenz

$u_{el}^+(t) - u_{el}^-(t)$ vor.

15 Wir können deshalb die zwei Steuergrößen $u_{el}^+(t)$ und $u_{el}^-(t)$ durch die Steuergröße

$$u_{el}(t) = u_{el}^+(t) - u_{el}^-(t) \quad \{\text{G55}\}$$

ersetzen, die aber positiv und negative Werte annehmen kann.

Es gibt also nur noch drei Steuergrößen.

20

Zweiter Spezialfall: Kein elektrischer Speicher, das heißt:

$$h_1(t) = 0 \quad \{\text{G56}\}$$

Es folgt:

$$25 \quad u_{el}^+(t) - u_{el}^-(t) = q_{el}(t) - \beta_{el}(t) \cdot u_{WKK}(t) \quad \{\text{G57}\}$$

Daraus folgt:

$u_{el}^+(t)$ und $u_{el}^-(t)$ sind keine Steuergrößen mehr. Diese Größen ergeben sich aus dem Verbrauch $q_{el}(t)$ und der WKK Produktion:

$$u_{el}^+(t) = \begin{cases} q_{el}(t) - \beta_{el}(t) \cdot u_{WKK}(t) & \text{falls } q_{el}(t) - \beta_{el}(t) \cdot u_{WKK}(t) \geq 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad \{\text{G58}\}$$

5

$$u_{el}^-(t) = \begin{cases} -(q_{el}(t) - \beta_{el}(t) \cdot u_{WKK}(t)) & \text{falls } q_{el}(t) - \beta_{el}(t) \cdot u_{WKK}(t) < 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad \{\text{G59}\}$$

Es gibt also nur noch zwei Steuergrößen u_{th} und u_{WKK}

10

Dritter Spezialfall: Kein thermischer Speicher, das heißt:

$$h_2(t) = 0 \quad \{\text{G60}\}$$

Es folgt:

$$15 \quad \alpha(t) \cdot u_{th}(t) = q_{th}(t) - \beta_{th}(t) \cdot u_{WKK}(t) \quad \{\text{G61}\}$$

Daraus folgt

$u_{th}(t)$ ist keine Steuergrößen mehr. Diese Grösse ergibt sich aus dem Verbrauch $q_{th}(t)$ und der WKK Produktion:

$$20 \quad u_{th}(t) = \frac{1}{\alpha(t)} (q_{th}(t) - \beta_{th}(t) \cdot u_{WKK}(t)) \quad \{\text{G62}\}$$

Vierter Spezialfall: Kein elektrischer und kein thermischer Speicher.

Es bleibt $u_{WKK}(t)$ als Steuergrösse.

25 **Drittes Ausführungsbeispiel**

Eine beispielhafte Gebäude-Energieanlage gemäss Figur 4 umfasst Wärmeerzeuger, Wärmeverbraucher, elektrische Verbraucher 43 und eine übergeordnete Steuerung 40 der Gebäude-Energieanlage. Die Wärmeerzeuger

sind eine Stirling-Maschine 41 und ein Zusatzbrenner 42. Die Wärmeverbraucher sind hier ein Warmwasseraufbereiter 44 und ein Gebäude mit Wärmeabgabeeinrichtungen 45.

5 Die Wärmeleistung der Wärmeerzeuger wird einem ersten Heizwasseraufbereiter 46 und einem zweiten Heizwasseraufbereiter 47 zugeführt. Die Heizwasseraufbereiter 46 und 47 sind über einen Vorlaufstrang 48 und einen Rücklaufstrang 49 mit dem Warmwasseraufbereiter 44 und den Wärmeabgabeeinrichtungen 45 gekoppelt.

10

Neben der Deckung des thermischen Leistungsbedarfs der Wärmeverbraucher sorgt die übergeordnete Steuerung 40 der Gebäude-Energieanlage auch dafür, dass der elektrische Leistungsbedarf der elektrischen Verbraucher im Gebäude gedeckt werden kann, nämlich mittels der von der Stirling-Maschine 41

15

produzierten und/oder der vom öffentlichen Netz bezogenen elektrischen Leistung. Erzeugt die Stirling Maschine 41 mehr elektrische Leistung als der Bedarf im Gebäude, so wird die elektrische Leistung ins öffentliche elektrische Netz exportiert.

20

Die Stirling-Maschine 41, der Zusatzbrenner 42 und ein im Vorlaufstrang 49 angeordnetes Dreiweg- oder Verteilventil wird durch die übergeordnete Steuerung 40 anforderungsgemäss optimiert gesteuert, wobei der übergeordneten Steuerung 40 vorteilhafterweise die Vorlauftemperatur T_V , die Aussentemperatur T_A , die Raumtemperatur T_R , die Speichertemperatur T_{SP} des Brauchwassers und Tarifinformation zugeführt werden.

25

Fig. 5 zeigt einen Wirkungsplan der modellierten Gebäude-Energieanlage mit den Teilsystemen Wärmeerzeuger WE und Wärmeverbraucher WV sowie zugehörigen Input und Output-Signalen.

30

Die modellierte Gebäude-Energieanlage umfasst die Wärme-Erzeuger WE und die Wärmeverbraucher WV. Die modellierten Wärmeerzeuger sind die Stirling-Maschine SM und der Zusatzbrenner ZB. Die modellierten

Wärmeverbraucher WV umfassen einen Warmwasser-Speicher WWSp und einen Heizkreis mit einer Boden-Heizung BH und dem Gebäude Geb.

- Störgrößen sind der Warmwasser-Bedarf $\dot{Q}_{WW, Bed}$, die Umgebungstemperatur T_{UMG} ,
5 welche um den Warmwasser-Speicher herrscht, die Aussentemperatur T_A , der
Strombedarf $P_{el, Bed}$ und die interne und externe Fremdwärme $\dot{Q}_{F, L}$ mit der auch
Lüften erfassbar ist.

Wärmeerzeuger:

- 10
- Stirling-Maschine mit dem Stellsignal u_{SM}
 - Zusatz-Brenner mit dem Stellsignal u_{ZB}

Wärmeverbraucher:

- 15
- Warmwasser-Speicher mit der Speichertemperatur T_{Sp} , welche in einem zulässigen Temperatur-Toleranzband liegen muss.
 - Boden-Heizung und Gebäude: Die Raumtemperatur T_R muss in einem Temperatur-Toleranzband liegen und die Vorlauftemperatur T_V darf einen gewissen Temperaturwert nicht überschreiten.

- 20
- Das Stellsignal u_{HK} ist ein Hilfssignal, welches die erzeugte thermische Leistung \dot{Q}_{th} auf die beiden Wärmeverbraucher aufteilt, nämlich auf den Warmwasser-Speicher WWSp und den Heizkreis mit der Boden-Heizung BH und dem Gebäude Geb. Damit dem Warmwasser-Speicher WWSp keine negative Leistung zugeführt werden kann, muss der Wärmestrom $\dot{Q}_{th, WWSp}$ immer positiv
25 sein. Dies verhindert auch, dass Energie aus dem Warmwasser-Speicher bezogen wird und dem Heizkreis zugeführt wird.

Die Störgröße $\dot{Q}_{WW, Bed}$ bezeichnet die thermische Leistung, die aus dem Warmwasser-Speicher bezogen wird für den alltäglichen Gebrauch von

Warmwasser im Haushalt. Diese Leistung muss immer zur Verfügung stehen und der Speicher muss also genügend Energie gespeichert haben.

- 5 Neben den thermischen Anforderungen muss auch der Bedarf an elektrischer Leistung $P_{el, Bed}$ gedeckt sein: Entweder durch die elektrische Leistung $P_{el, SM}$, produziert durch die Stirling-Maschine, oder durch Bezug von Elektrizität aus dem öffentlichen Netz.

Modellierung

- 10 Stirling Maschine:

$$P_{el, SM}(t) = u_{SM}(t) \cdot \dot{Q}_{SM, nom} \cdot \eta_{el, SM}(t) \quad \{\text{G63}\}$$

$$\dot{Q}_{th, SM}(t) = u_{SM}(t) \cdot \dot{Q}_{SM, nom} \cdot \eta_{th, SM}(t)$$

Zusatzbrenner:

$$\dot{Q}_{th, ZB}(t) = u_{ZB}(t) \cdot \dot{Q}_{ZB, nom} \cdot \eta_{th, ZB}(t) \quad \{\text{G64}\}$$

Gesamtwärmeerzeugung:

15
$$\dot{Q}_{th}(t) = \dot{Q}_{th, SM}(t) + \dot{Q}_{th, ZB}(t) \quad \{\text{G65}\}$$

Der Warmwasserspeicher ist modelliert als lineares Differentialgleichungssystem. Die Eingangs-, Ausgangs- und Störgrößen sind Fig. 6 dargestellt.

- 20 Die Bodenheizung wie auch das Gebäude sind modelliert als lineare Differentialgleichungssysteme. Die Eingangs-, Ausgangs- und Störgrößen sind in der Fig. 7 dargestellt. Die thermische Leistung \dot{Q}_{HK} , welche für die Raumheizung erzeugt wird, muss zuerst in die Vorlauftemperatur T_V umgerechnet werden. Im die Bodenheizung darstellenden Block BH wird modelliert, wie diese Wärme durch die
- 25 Wasserrohre und durch die Bodenschichten in den Raum gelangt und diesem die notwendige Wärmeleistung $\dot{Q}_{BH, Geb}$ zuführt. Das modellierte Gebäude besteht aus Aussenwänden sowie einer Anzahl an Zwischenwänden. Der Wärmeverlust des Gebäudes setzt sich zusammen aus dem Verlust über die Aussenwände und der Fenster sowie dem natürlichen Luftwechsel und Lüftungsverlusten.

Optimierungsproblem

Beschränkungen

Folgende Komfortbedingungen sind einzuhalten:

$$\begin{aligned}
 & T_R(t) \in [T_{R,min}(t), T_{R,max}(t)] \\
 5 \quad & T_{Sp}(t) \in [T_{Sp,max}(t), T_{Sp,min}(t)] \quad \{\text{G66}\} \\
 & T_V(t) \leq T_{V,max}(t)
 \end{aligned}$$

Folgende Leistungsbedingungen sind einzuhalten:

$$\begin{aligned}
 & \dot{Q}_{th,WWSp}(t) \geq 0 \\
 & u_{SM}(t), u_{ZB}(t), u_{HK}(t) \in [0,1] \quad \{\text{G67}\}
 \end{aligned}$$

Um die Kosten für den Elektrizitätsbezug aus dem öffentlichen Netz minimieren zu können bzw. eventuelle Gewinne durch den Verkauf von elektrischer Energie ins öffentliche Netz maximieren zu können, wird eine Hilfsvariable z eingeführt.

Folgende Bedingungen für die Hilfsvariable z sind einzuhalten:

$$\begin{aligned}
 & z(t) \geq (P_{el, Bed}(t) - u_{SM}(t) \cdot \dot{Q}_{SM,nom} \cdot \eta_{el,SM}(t)) \cdot k_{imp}(t) \cdot \Delta t \\
 & z(t) \geq (P_{el, Bed}(t) - u_{SM}(t) \cdot \dot{Q}_{SM,nom} \cdot \eta_{el,SM}(t)) \cdot g_{exp}(t) \cdot \Delta t \quad \{\text{G68}\}
 \end{aligned}$$

15

Wird die erste der beiden Ungleichungen für die Hilfsvariable z aktiv - d.h. zur Gleichheitsbedingung -, so ist z gleich den Kosten für die im Zeitschritt Δt vom öffentlichen Netz bezogene elektrische Energie.

20

Wird die zweite der beiden Ungleichungen für die Hilfsvariable z aktiv - d.h. zur Gleichheitsbedingung -, so ist z gleich dem Gewinn für die im Zeitschritt Δt ins öffentliche Netz abgegebene elektrische Energie.

Gütekriterium

25

Die hier angegebene optimale Betriebsweise der Gebäude-Energieanlage ist der kostenoptimale Betrieb. Für kostenoptimalen Betrieb ist das Gütekriterium J über den Optimierungshorizont (N Schritte mit zeitlicher Schrittweite Δt) zu minimieren:

$$J(u, t) = \min \sum_{i=0}^{N-1} \left\{ \begin{array}{l} u_{SM}(i \Delta t) \cdot \dot{Q}_{SM, nom} \cdot k_{SM}(i \Delta t) \cdot \Delta t \\ + u_{ZB}(i \Delta t) \cdot \dot{Q}_{ZB, nom} \cdot k_{ZB}(i \Delta t) \cdot \Delta t \\ + z(i \Delta t) \end{array} \right\} \quad \{\text{G69}\}$$

Das Gütekriterium summiert die Energiekosten der Stirling-Maschine, des Zusatzbrenners sowie die Kosten für den Bezug elektrischer Energie auf über den Optimierungshorizont. Diese Kosten für den Bezug elektrischer Energie können auch negativ sein, nämlich dann, wenn elektrische Energie exportiert wird. In diesem Fall wird elektrische Energie verkauft. Die Bedingungen für die Hilfsvariable z erlauben es, unterschiedliche Kosten k_{imp} für Einkauf bzw. Gewinne g_{exp} für Verkauf von elektrischer Energie in der Optimierung zu integrieren.

Sowohl das Gütekriterium wie auch die durch ein lineares Differentialgleichungssystem gegebenen Systemgleichungen und Beschränkungen sind linear. Deshalb kann die Optimierung mittels Linearer Programmierung LP erfolgen.

Zur Bestimmung des Performance Bounds oder im Einsatz als Steuer- oder Regelfunktion - also bei sogenannter Model Predictive Control - werden von der Optimierung jeweils nur die Stellgrößen u des ersten Schrittes im Optimierungshorizont verwendet, um nach Ablauf der Samplingzeit erneut eine Optimierung durchzuführen, was einem sogenannten Moving Horizon entspricht.

Die im dritten Ausführungsbeispiel benutzten Symbole bedeuten:

g Gewinn

J Gütekriterium

k Kosten

N Anzahl Schritte im Optimierungshorizont

P Leistung

\dot{Q} Wärmefluss, W

T Temperatur

t Zeit, s oder h

| | |
|----------|---------------|
| u | Stellsignal |
| z | Hilfsvariable |
| Δ | Differenz |
| η | Wirkungsgrad, |

5

Die im Zusammenhang mit den Symbolen eingesetzten Indices bedeuten:

| | | |
|----|--------|-------------------------------|
| | A | aussen |
| | bed | Bedarf |
| | BH | Bodenheizung |
| 10 | el | elektrisch |
| | exp | Export (elektrische Leistung) |
| | i | Laufvariable |
| | P | Leistung |
| | F, L | Fremd(wärme), Lüften |
| 15 | Geb | Gebäude |
| | HK | Heizkreis |
| | imp | Import (elektrische Leistung) |
| | L | Luft |
| | max | maximal |
| 20 | min | minimal |
| | nom | nominal |
| | R | Raum |
| | SM | Stirling Maschine |
| | Sp | Speicher |
| 25 | th | thermisch |
| | UMG | Umgebung |
| | V | Vorlauf |
| | WW | Warmwasser |
| | $WWSp$ | Warmwasser-Speicher |
| 30 | ZB | Zusatzbrenner |

Im vorgeschlagenen Verfahren zur Prädiktiven Steuerung und/oder Regelung einer wenigstens ein Kraft-Wärmekopplungs-Gerät aufweisenden Energieanlage ist ein Kriterium für die Optimierung nach aktuellen Bedürfnissen des Betreibers der Energieanlage wählbar. Das Kriterium der Optimierung kann beispielhaft ein Mass für die Betriebskosten der Energieanlage oder dann ein Mass für die Energiekosten der Energieanlage sein. Das Kriterium der Optimierung kann aber auch ein Indikator für den Primärenergieverbrauch der Energieanlage oder aber ein Mass für den von der Energieanlage produzierten Kohlendioxid-Ausstoss sein. In einem andern Fall kann das Kriterium der Optimierung ein Mass für den von der Energieanlage produzierten Feinstaub-Ausstoss sein. Bei Bedarf kann aber auch nach Kombinationen von verschiedenen Massen optimiert werden: so ist das Kriterium der Optimierung in einem weiteren beispielhaften Fall eine Kombination von wenigstens zwei Massen bzw. Indikatoren für Betriebskosten, Energiekosten, Primärenergieverbrauch, Kohlendioxid- oder Feinstaub-Ausstoss.

Grundsätzlich kann das Kriterium der Optimierung auch zeitabhängig sein.

Eine Steuer- und Regeleinrichtung 20, welche nach einem Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 13 arbeitet ermöglicht den Bau einer Anordnung zur Dimensionierung einer ein Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 1 aufweisende Energieanlage für ein Gebäude. Mit der genannten Anordnung zur Dimensionierung der Energieanlage beispielsweise die maximale in Speicher 27 speicherbare elektrische Energie $Q_{el,max}$, und/oder die maximale im Wärmespeicher 28 speicherbare thermische Energie $Q_{th,max}$, und/oder das Leistungsvermögen des Kraft-Wärmekopplungs-Geräts 1 dimensioniert werden. Ausserdem ermöglicht die genannte Anordnung zur Dimensionierung der Energieanlage auch eine optimale Dimensionierung einer Gebäudehülle oder der Wärmeabgabeeinrichtung 45.

Eine Variante der Anordnung zur Dimensionierung einer ein Kraft-Wärmekopplungs-Gerät 1 aufweisende Energieanlage für ein Gebäude weist ein zur Optimierung verwendetes Modell der Energieanlage eine Steuer- und Regeleinrichtung auf, welche nach einem Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 13 arbeitet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Prädiktiven Steuerung und/oder Regelung einer wenigstens ein Kraft-Wärmekopplungs-Gerät (1) aufweisenden Energieanlage eines Gebäudes mit dem Verfahrensschritt:
5
- Generieren von Leitsignalen für ein dem Kraft-Wärmekopplungs-Gerät (1) zugeordnetes Steuer- und Regelgerät (2) durch eine dem Steuer- und Regelgerät übergeordnete Steuer- und Regeleinrichtung (20), wobei zur Generierung der Leitsignale ein Modell (21) des thermischen und energetischen Verhaltens des
10 Gebäudes und der Energieanlage sowie deren Benutzer verwendet wird, und eine Optimierung über einen gleitenden Zeithorizont durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein die Optimierung beeinflussendes Signal erfasst und die
15 Optimierung durch Lineare - oder quadratische Programmierung durchgeführt wird.
3. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Leitsignale mehrmals pro Stunde neu berechnet und an das Steuer- und Regelgerät ausgegeben werden.
20
4. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass für Raumtemperatur-Sollwerte ein Toleranzband von mehreren Kelvin vorgegeben wird.
- 25 5. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass für Sollwerte der Temperatur eines in der Energieanlage vorhandenen Warmwasserspeichers ein Toleranzband von mehreren Kelvin vorgegeben wird.
6. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass für Sollwerte von Prozessgrößen ein zeitabhängiges Toleranzband
30 vorgegeben wird.
7. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet,

dass das Kriterium der Optimierung ein Mass für die Betriebskosten der Energieanlage ist.

5 8. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Kriterium der Optimierung ein Mass für die Energiekosten der Energieanlage ist.

10 9. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Kriterium der Optimierung ein Indikator für den Primärenergieverbrauch der Energieanlage ist.

15 10. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Kriterium der Optimierung ein Mass für den von der Energieanlage produzierten Kohlendioxid-Ausstoss ist.

11. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Kriterium der Optimierung ein Mass für den von der Energieanlage produzierten Feinstaub-Ausstoss ist.

20 12. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Kriterium der Optimierung eine Kombination von wenigstens zwei Massen bzw. Indikatoren für Betriebskosten, Energiekosten, Primärenergieverbrauch, Kohlendioxid- oder Feinstaub-Ausstoss ist.

25 13. Verfahren nach einem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Kriterium der Optimierung zeitabhängig ist.

30 14. Anordnung mit einem Kraft-Wärmekopplungs-Gerät (1), einem mit dem Kraft-Wärmekopplungs-Gerät (1) verbundenen Steuer- und Regelgerät (2) und mit einer dem Steuer- und Regelgerät (2) übergeordneten Steuer- und Regeleinrichtung (20) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13.

15. Anordnung zur Dimensionierung einer ein Kraft-Wärmekopplungs-Gerät (1) aufweisenden Energieanlage für ein Gebäude, gekennzeichnet durch eine Steuer- und Regeleinrichtung (20), welche nach einem Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 13 arbeitet.

5

16. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale in Speicher 27 speicherbare elektrische Energie $Q_{el,max}$ optimierbar ist.

10

17. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die maximale im Wärmespeicher 28 speicherbare thermische Energie $Q_{th,max}$ optimierbar ist.

15

18. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Leistungsvermögen des Kraft-Wärmekopplungs-Geräts 1 optimierbar ist.

19. Anordnung zur Ermittlung des so genannten Performance Bound einer Energieanlage mit einer Einrichtung (20) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13.

20

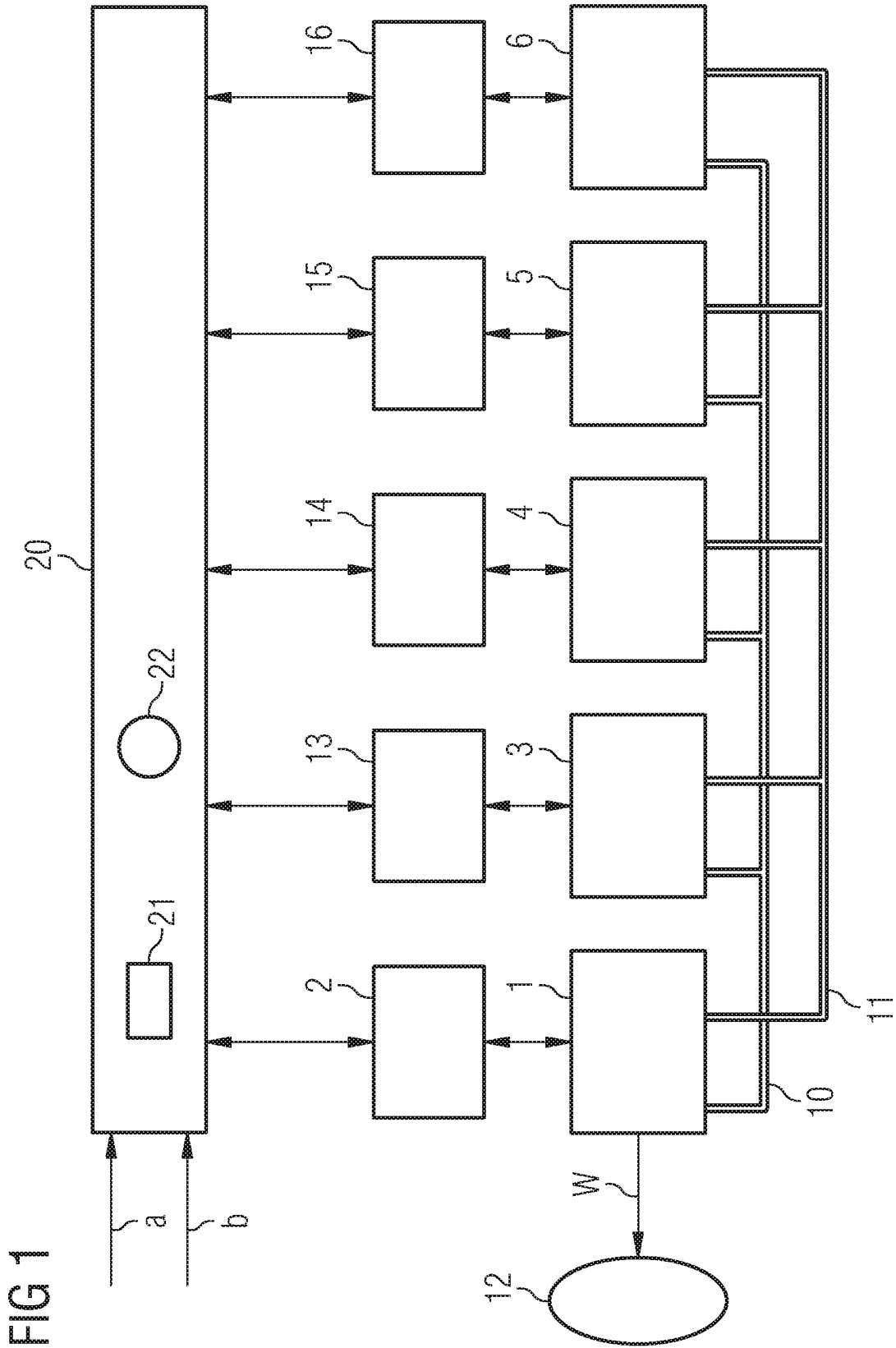


FIG 2

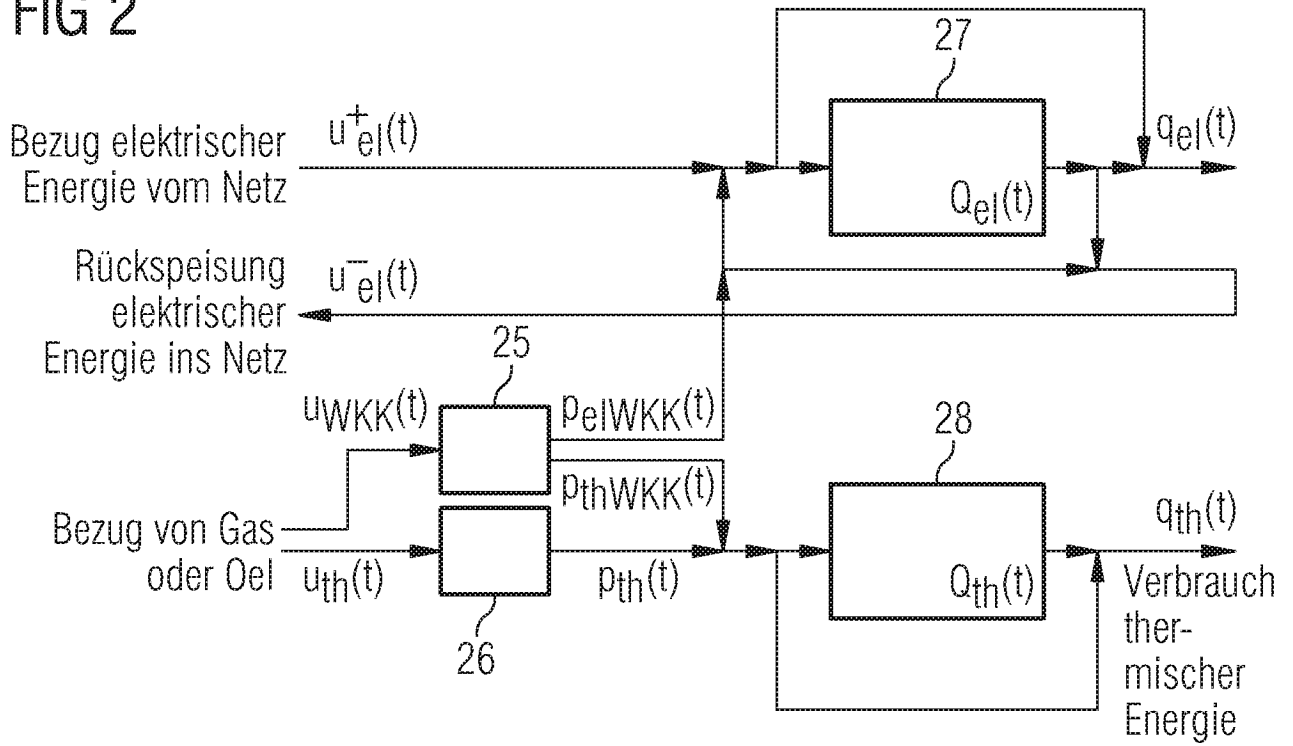


FIG 3

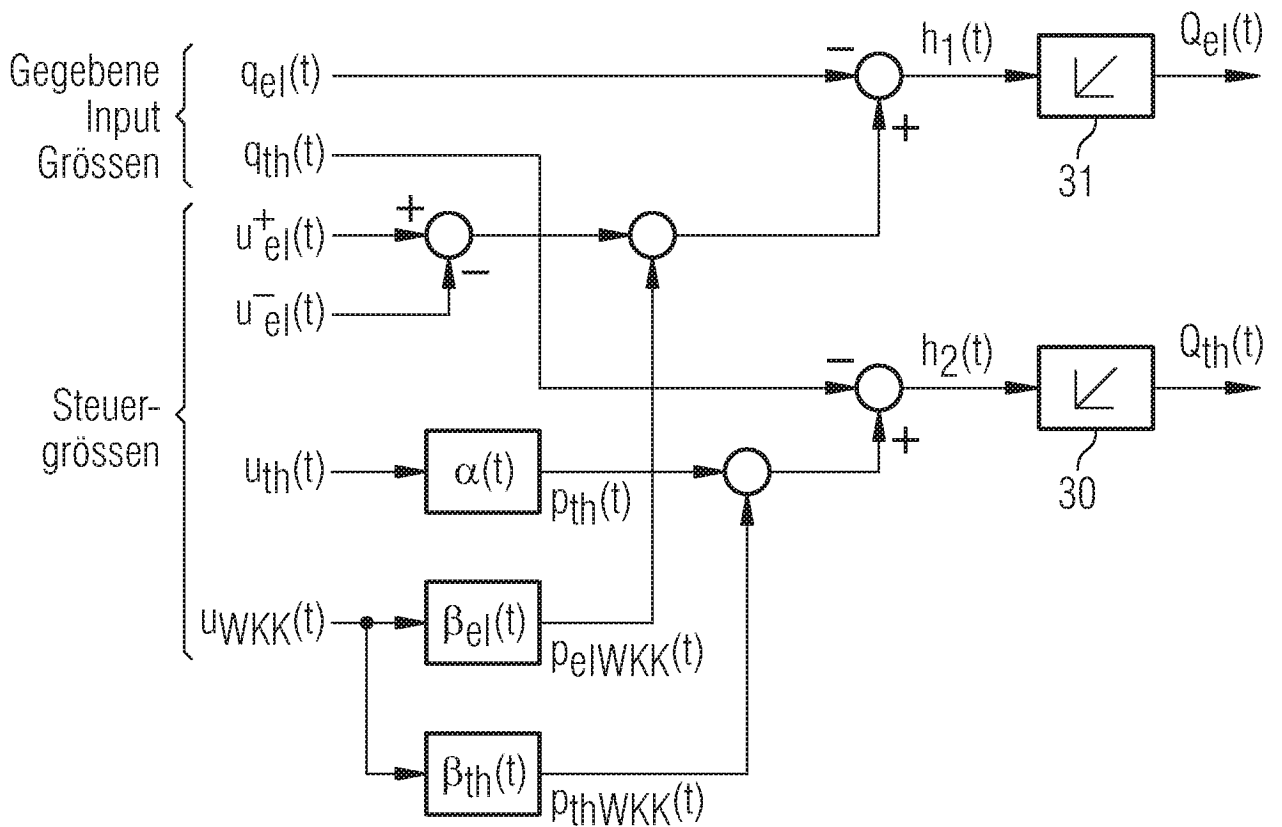


FIG 4

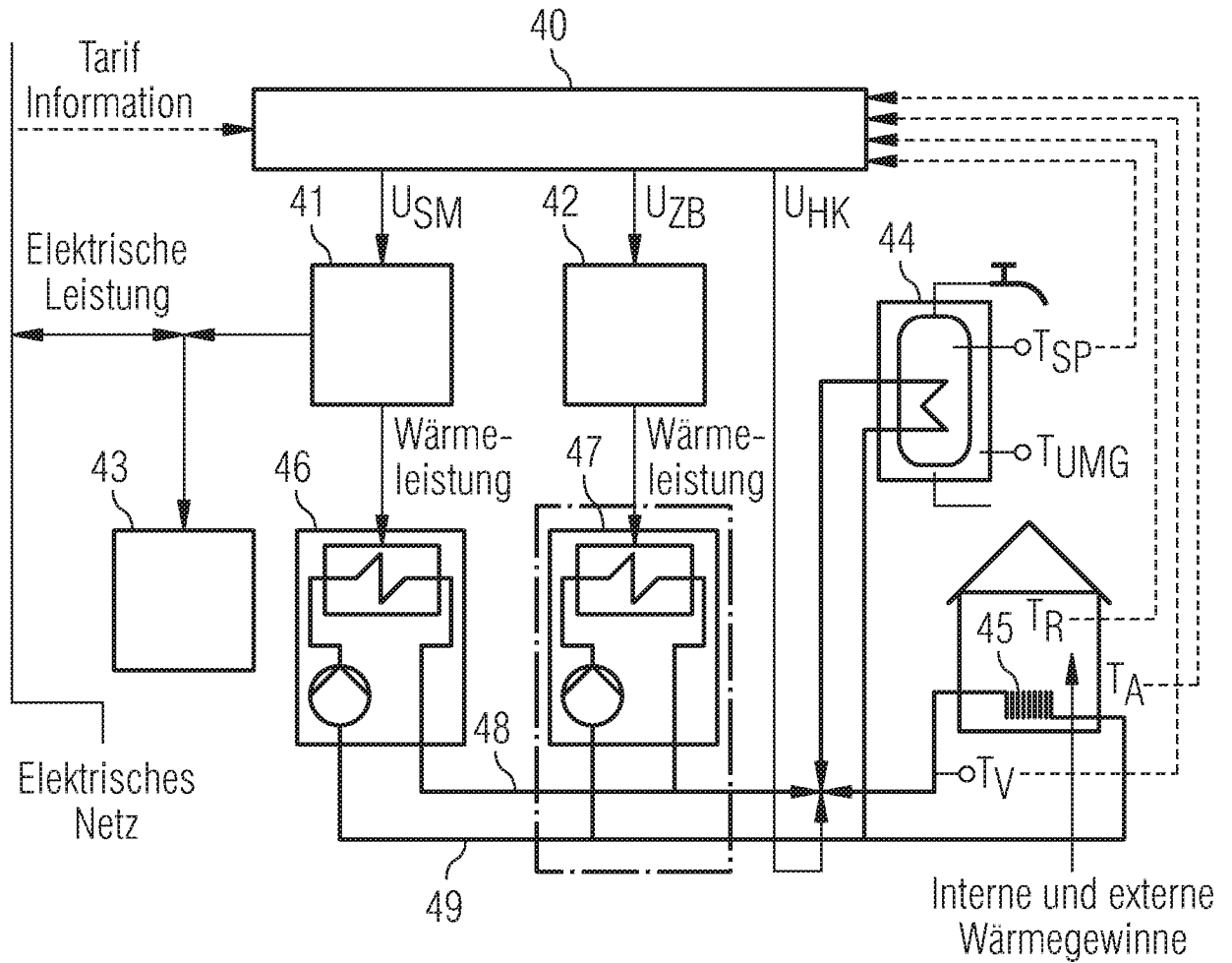
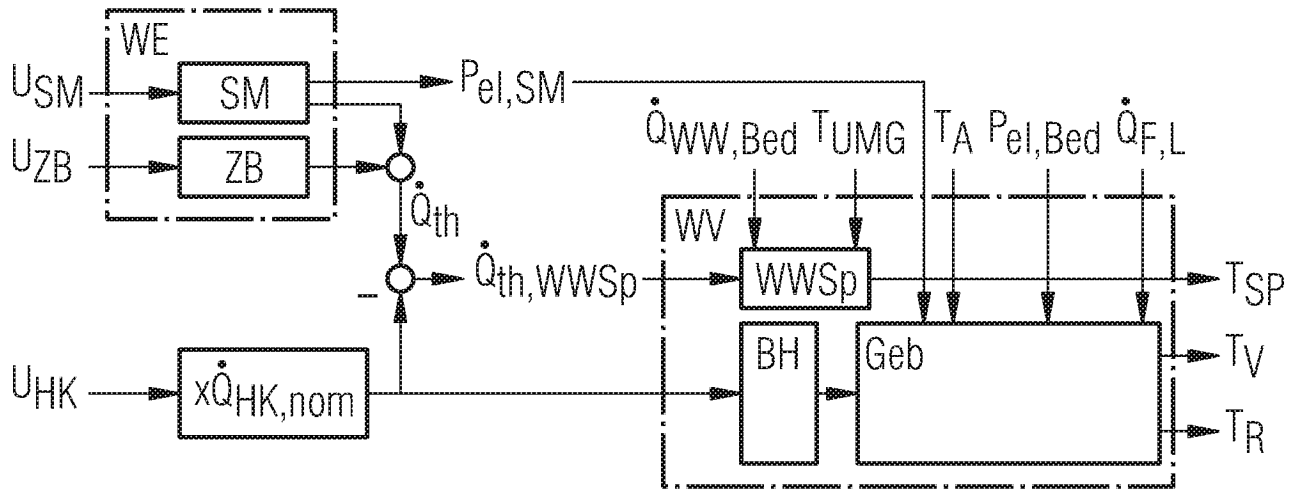


FIG 5



$$\dot{Q}_{HK,nom} = \dot{Q}_{SM,nom} \times \eta_{th,SM} + \dot{Q}_{ZB,nom} \times \eta_{th,ZB}$$

FIG 6

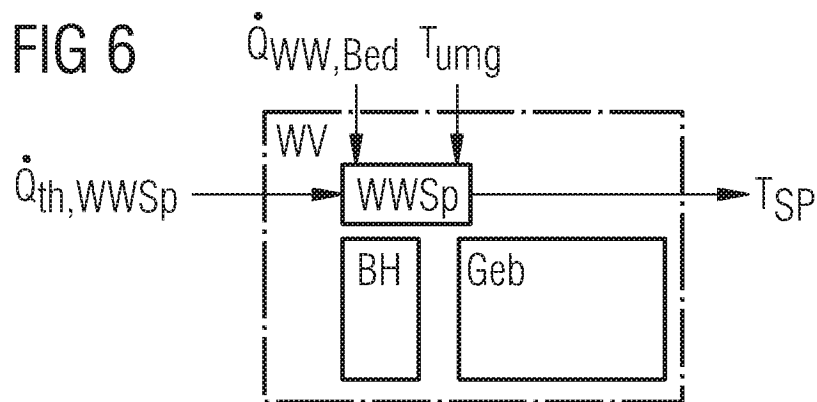
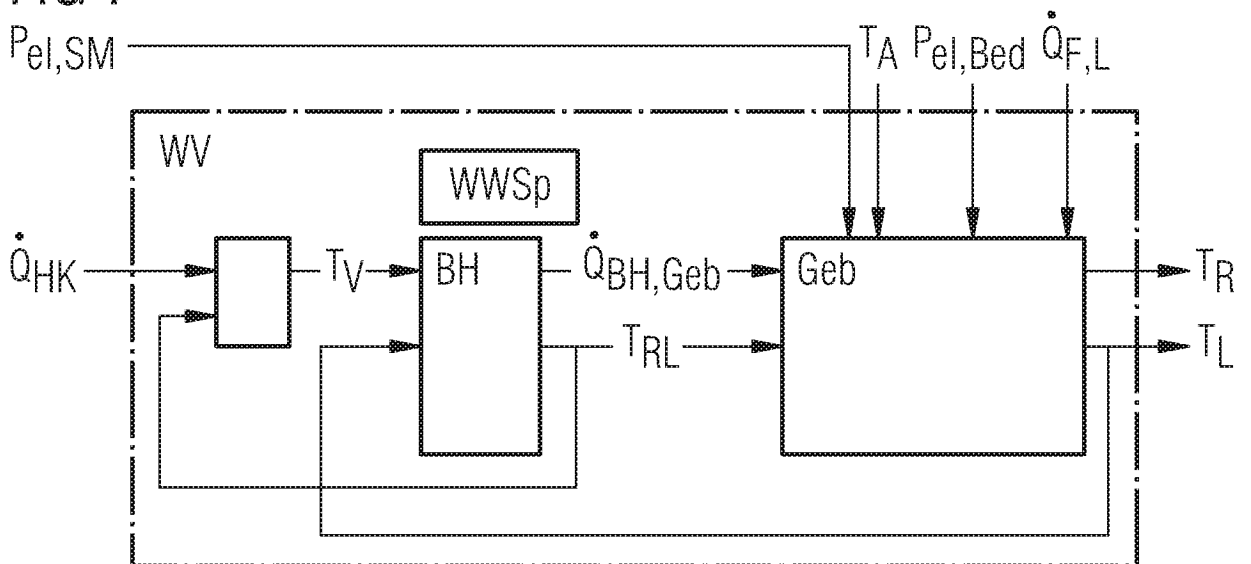


FIG 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/051654

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G05B13/04
ADD. F02G5/00 F02C6/18

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)
G05B F02C F02G

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, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X | HAWKES A ET AL: "Impacts of temporal precision in optimisation modelling of micro-Combined Heat and Power" ENERGY, PERGAMON PRESS, OXFORD, GB, vol. 30, no. 10, July 2005 (2005-07), pages 1759-1779, XP004732884 ISSN: 0360-5442 page 1760 - page 1769 | 1-19 |
| X | LAHDELMA R ET AL: "An efficient linear programming algorithm for combined heat and power production" EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH ELSEVIER NETHERLANDS, vol. 148, no. 1, 1 July 2003 (2003-07-01), pages 141-151, XP002433519 ISSN: 0377-2217 pages 142-144 | 1-19 |

 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.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 May 2007

Date of mailing of the international search report

25/05/2007

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

Nicolaucig, Aldo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/051654

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| X | <p>RONG ET AL: "An efficient linear model and optimisation algorithm for multi-site combined heat and power production" EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, AMSTERDAM, NL, vol. 168, no. 2, 16 January 2006 (2006-01-16), pages 612-632, XP005060855 ISSN: 0377-2217 pages 613-617</p> | 1-19 |
| A | <p>-----</p> <p>RONG A ET AL: "An efficient linear programming model and optimization algorithm for trigeneration" APPLIED ENERGY, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, GB, vol. 82, no. 1, September 2005 (2005-09), pages 40-63, XP004924535 ISSN: 0306-2619 pages 42-46</p> | 1-19 |
| A | <p>-----</p> <p>EP 1 074 900 A1 (SIEMENS BUILDING TECH AG [CH] SIEMENS SCHWEIZ AG [CH]) 7 February 2001 (2001-02-07) cited in the application abstract</p> <p>-----</p> | 1-19 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/051654

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|----------------------------------------|------------------|------------------------------|--------------------------|
| EP 1074900 | A1 07-02-2001 | AT 342528 T US 6439469 B1 | 15-11-2006 27-08-2002 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/051654

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G05B13/04
ADD. F02G5/00 F02C6/18

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G05B F02C F02G

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, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| X | HAWKES A ET AL: "Impacts of temporal precision in optimisation modelling of micro-Combined Heat and Power" ENERGY, PERGAMON PRESS, OXFORD, GB, Bd. 30, Nr. 10, Juli 2005 (2005-07), Seiten 1759-1779, XP004732884 ISSN: 0360-5442 Seite 1760 - Seite 1769 | 1-19 |
| X | LAHDELMA R ET AL: "An efficient linear programming algorithm for combined heat and power production" EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH ELSEVIER NETHERLANDS, Bd. 148, Nr. 1, 1. Juli 2003 (2003-07-01), Seiten 141-151, XP002433519 ISSN: 0377-2217 Seiten 142-144 | 1-19 |
| | ----- -/-- | |

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden 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) *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 | <ul style="list-style-type: none"> *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 *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *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 *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| | |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche | Absenddatum des internationalen Recherchenberichts |
| 14. Mai 2007 | 25/05/2007 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 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 Nicolaucig, Aldo |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|

| C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| X | <p>RONG ET AL: "An efficient linear model and optimisation algorithm for multi-site combined heat and power production" EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, AMSTERDAM, NL, Bd. 168, Nr. 2, 16. Januar 2006 (2006-01-16), Seiten 612-632, XP005060855 ISSN: 0377-2217 Seiten 613-617</p> | 1-19 |
| A | <p>RONG A ET AL: "An efficient linear programming model and optimization algorithm for trigeneration" APPLIED ENERGY, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, GB, Bd. 82, Nr. 1, September 2005 (2005-09), Seiten 40-63, XP004924535 ISSN: 0306-2619 Seiten 42-46</p> | 1-19 |
| A | <p>EP 1 074 900 A1 (SIEMENS BUILDING TECH AG [CH] SIEMENS SCHWEIZ AG [CH]) 7. Februar 2001 (2001-02-07) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung</p> | 1-19 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/051654

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| EP 1074900 | A1 07-02-2001 | AT 342528 T US 6439469 B1 | 15-11-2006 27-08-2002 |
| ----- | | | |