



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum

(11) CH 706 660 B1

(51) Int. Cl.: F24D 15/04 (2006.01)  
F24D 19/10 (2006.01)

### Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00828/12

(22) Anmeldedatum: 14.06.2012

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.12.2013

(24) Patent erteilt: 15.09.2016

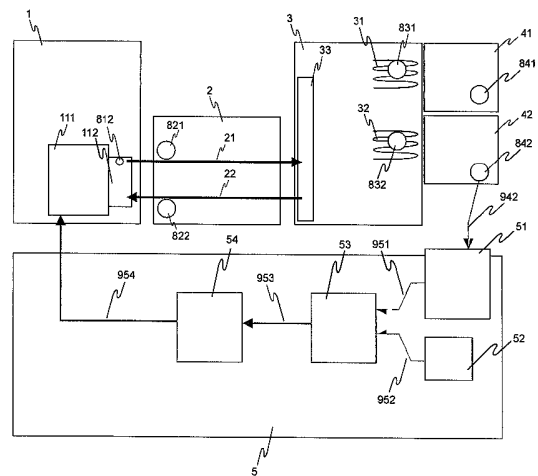
(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.09.2016

(73) Inhaber:  
Horst Grüning, Obergrundstrasse 13  
5430 Wettingen (CH)

(72) Erfinder:  
Horst Grüning, Kobe City, Hyogo 658-0003 (JP)

### (54) Heizsystem mit Wärmepumpe.

(57) Ein Heizsystem für Gebäude mit einer Wärmepumpe (111), einem auf Wasser-basierten Wärmetransportsystem (2), Wärmeabgabe vorwiegend über Flächenmodule (31, 32) wie Fussboden- oder Wandheizung und einem Steuersystem (5) mit Innentemperaturerfassung (51) wird gemäss der Erfindung über einen PID-Regelblock (53) gesteuert. Ein Taktgenerator (54) ermöglicht die stufenlose Einstellung der erzeugten Wärmeleistung im gesamten Bereich von 0% bis 100% der Nennleistung. Das Heizsystem zeichnet sich durch leichte Einstellbarkeit, hohe Regelstabilität und hohe Effizienz aus.



## Beschreibung

### Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Heizsystem für Gebäude mit einem Wärmeerzeugungssystem mit mindestens einer Wärmepumpe, einem vorwiegend Wasser-basierten Wärmetransportsystem, einem Wärmeabgabesystem mit mindestens einem Flächen-Wärmeabgabemodul und einem Steuersystem.

**[0002]** Heizsysteme dieser Art sind allgemein bekannt. Sie sind z.B. in der Publikationsschrift «Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung» – Herausgeber: Bundesamt für Energie, Bern, Januar 2008. [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch) beschrieben. Ihr Systemdesign (Abbildung 1.1 daselbst) folgt weitgehend dem Systemdesign von herkömmlichen Öl- oder gasbefeuerten Heizsystemen.

**[0003]** Die jahreszeitlichen Schwankungen der Umgebungstemperatur des Gebäudes erfordern vom Wärmeabgabesystem die Wärmeabgabe in einem weiten Leistungsbereich. Wie in Öl- und Gasheizsystemen übernimmt auch in allgemein bekannten Heizsystemen mit einer Wärmepumpe eine Zweipunktregelung die Steuerung des Wärmeerzeugers, da eine konventionelle Wärmepumpe nur zwei Betriebszustände hat: «in Betrieb» und «Stillstand». Stabile Regeleigenschaften werden in solchen Heizsystemen erreicht, indem sowohl der obere als auch der untere Zweipunktwert der Temperatur im Wärmetransportsystem deutlich höher als die vom Wärmeabgabesystem benötigte Temperatur gewählt werden. Die Temperatur des den Wärmeabgabesystemen zugeführten Wassers wird sodann mittels herkömmlicher Mischer eingestellt.

**[0004]** Im Gegensatz zu diesen Öl- oder Gasheizsystemen hängt der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe stark von der zu liefernden Vorlauftemperatur ab. Begründet liegt das in ihrer Funktionsweise nach dem Carnot'schen Wirkprinzip, wonach der Anteil der zugeführten Energie an der an den Wärmetauscher abgegebenen Energie mit steigendem Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Wärmesenke zunimmt.

**[0005]** Wird die Wärmepumpe entsprechend den bekannten Ausführungen direkt an die Stelle eines Öl- oder Gasheizers gesetzt, so muss die Wärmepumpe aufgrund der nachfolgenden Mischerfunktionen eine höhere Temperatur erzeugen, als das Wärmeabgabesystem benötigt, und der Wirkungsgrad des Systems wird im Vergleich zu dem bestmöglich erreichbaren Wirkungsgrad niedriger ausfallen.

**[0006]** In der Literatur sind verschiedene Lösungsansätze und Vorgehensweisen zur Verbesserung beschrieben. Man trifft dabei jedoch auf eine komplexe Situation mit vielfältigen nachteiligen Wirkungsmechanismen. Im Folgenden werden die wichtigsten kurz erläutert:

**[0007]** Die Vorlauftemperatur kann absichtlich kleiner eingestellt werden, um die Effizienz der Wärmepumpe zu erhöhen. Damit aber reduziert sich auch der Abstand zwischen dem Ein- und Abschaltpunkt des Zweipunktreglers, und die Schalthäufigkeit nimmt zu. Dies führt einerseits zu einer höheren Belastung der Wärmepumpe durch häufige Starts und Stopps und andererseits zu einer durch die unstete Betriebsweise verursachten Reduktion der Effizienz der Wärmepumpe. Die Effizienzreduktion liegt in der komplexen Arbeitsweise der Wärmepumpe begründet, die die Wärmepumpe noch anfälliger für unsteten Betrieb werden lässt, als es ein Ölbrenner oder ein Ottomotor ist. Wissenswertes über diese komplexe Arbeitsweise wurde z.B. in den Kapiteln 1–5 des bereits zitierten «Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung» für den Fachmann zusammengetragen.

**[0008]** Man kann die Vorlauftemperatur wie in bekannten Öl- oder Gasheizsystemen mit Hilfe einer Heizkurve an die Erfordernisse der Aussentemperatur anpassen. Dabei aber laufen die Zweipunkt-Schaltwerte in Zeiten niedrigen Heizbedarfs z.B. im Herbst und Frühling derart dicht zusammen, dass die Vorlauftemperatur nach dem Anfahren der Wärmepumpe bereits auf Grund des Wärmewiderstandes im Wärmeverteilsystem über den Ausschaltwert hinaus steigt. Die Folge ist unkontrollierbar häufiges Schalten, wie es in der einschlägigen Literatur unter dem Begriff «Takten» beschrieben wird – zur besseren Unterscheidung wird es im Folgenden «wildes Takten» genannt. Solch «wildes Takten» ist zu vermeiden, weil das häufige Schalten des Kompressors nicht nur zu erhöhtem Verschleiss, sondern auch zu deutlich reduziertem Wirkungsgrad der Wärmepumpe führt. In bekannten Anlagen wurde auch bereits ganz auf den Einbau von Mischern verzichtet, so dass die Flächenheizelemente, z.B. Fussbodenheizungen, direkt an die Wärmeverteilung angeschlossen sind. Die Kondensatortemperatur der Wärmepumpe nimmt dann die kleinstmöglichen Werte an – so gesehen ist ein solcher Direktanschluss optimal.

**[0009]** Dann aber ergeben sich erhebliche Schwierigkeiten für den Zweipunktregler aus der Tatsache, dass zwischen der Wärmepumpe und der Gebäudeumgebung in solch einer Anordnung drei Wärmewiderstände mit erheblichen Wärmekapazitäten an jedem Knotenpunkt in Serie geschaltet sind: Der Wärmewiderstand des Wärmeverteilsystems und seine Wärmekapazität, Wärmewiderstand und -kapazität von Flächenheizung und Raumluft und Wärmewiderstand und -kapazität der Gebäudehülle. Da zudem der Raumtemperatursensor in der Regel seinerseits die Temperatur der Raumluft nur mit erheblicher Verzögerung annehmen kann, wird es nahezu unmöglich, mittels Zweipunkt-Vorlauftemperaturregelung die Raumtemperatur auf konstante Werte zu regeln.

**[0010]** Eine Linderung der Problematik versprechen Inverterwärmepumpen. Inverterwärmepumpen nehmen grundsätzlich zwei Steuersignale entgegen: Ein Signal, mit dem die Inverterwärmepumpe ähnlich wie die oben beschriebene konventionelle Wärmepumpe ein und ausgeschaltet werden kann, und ein zweites Signal, mit dem der Inverter gesteuert wird. Da der Inverter den Kompressor speist, kann über dieses zweite Signal die Leistung des Kompressors verändert werden.

**[0011]** Gerade aber in Zeiten gemässiger Aussentemperaturen, die einen geringen Wärmebedarf des Gebäudes zur Folge haben und in denen die oben beschriebenen konventionellen Wärmepumpen zu «wildem Takten» neigen, liefern auch Inverterwärmepumpen, die ihre Wärme aus der Aussenluft beziehen (Luft-Wasser-Systeme), aufgrund des bei gemässigten Aussentemperaturen hohen Wirkungsgrades eine derart hohe Wärmeleistung, dass sie praktisch keine Regelvorteile im Vergleich zu konventionellen Wärmepumpen bieten können.

**[0012]** Aktuell hilft man sich, indem man in Heizsystemen mit direkter Kopplung zwischen Wärmepumpe und Flächenheizern ganz auf die Erfassung der Innentemperaturen verzichtet. Stattdessen misst man die Aussentemperatur und steuert die Heizung alleine nach einer Heizkurve. Das oben beschriebene Problem der nahe beieinanderliegenden Vorlauftemperaturschwellen entschärft man dabei, indem man anstelle der Vorlauftemperatur die Rücklauftemperatur regelt.

**[0013]** Die Nachteile eines solchen Lösungsansatzes sind offensichtlich: Beiträge durch innere Quellen wie Kochen, Elektrogeräte und Bewohner werden nicht berücksichtigt. Da in der Regel ein temporäres Verstellen der Heizkurve nicht ermöglicht wird, hilft zumeist Lüften. Ein solches Vorgehen aber verhilft zwar zu einem hohen Wärmepumpenwirkungsgrad, nötigt aber geradezu zur Heizenergieverschwendung.

**[0014]** Darüber hinaus bemerkt das bereits oben genannte «Handbuch Wärmepumpen» in Kapitel 10.4: «Bei der Inbetriebsetzung wird oft ein Betriebszustand einreguliert und einige Einstellungen (z.B. Heizkurve) nur nach Erfahrungswerten vorgenommen. Erst während des Betriebes können die Einstellungen der Anlage optimiert werden. Mit der Betriebsoptimierung können Kosten gespart und die Umwelt geschont werden.» Es muss nicht weiter betont werden, dass eine solche Betriebsoptimierung nachträgliche Kosten verursacht. Sie kann zudem erst nach längerer Betriebszeit von mindestens 1 Jahr sowie nur von Spezialisten erfolgreich durchgeführt werden.

### Zusammenfassung der Erfindung

**[0015]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, das Heizsystem der vorgenannten Art derart auszubilden, dass die aufgeführten Nachteile vermieden werden. Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 genannten Merkmale sowie den Verfahrensanspruch 7 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen 2–6 und 8–10. Ein Heizsystem gemäss der vorliegenden Erfindung gestattet den direkten Anschluss einer Wärmepumpe an die Flächenheizungen, schaltet den Wärmeerzeuger in vordefinierten Pulsfolgen, liefert stabil und ohne aufwändige Betriebsoptimierungen jede erforderliche Abgabeleistung und regelt die Raumtemperatur unter Berücksichtigung aller Fremdeinflüsse. Es vermag zudem schnellen Änderungen der Stellgrössen zu folgen, weil es die dazu notwendigen grossen Schwankungen der Vorlauftemperatur zulassen kann.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0016]** Die Erfindung wird anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele, welche in den Zeichnungen dargestellt sind, näher beschrieben. Es zeigt:

- Fig. 1: das Blockdiagramm eines Heizsystems für ein Gebäude,
- Fig. 2: den zeitlichen Verlauf von ausgewählten Signalen im Heizsystem,
- Fig. 3: die Steuerkennlinie eines Taktgenerators, zwei Beispiele des Ausgangssignals sowie die resultierende Leistungsabgabe der Wärmepumpe,
- Fig. 4: den Heizregelkreis in dem Heizsystem für ein Gebäude nach Fig. 1,
- Fig. 5: den zeitlichen Verlauf ausgewählter Signale im Gleichgewichtszustand des Heizregelkreises,
- Fig. 6: die zeitliche Veränderung der Signale im Heizregelkreis als Folge einer plötzlichen Erhöhung des Temperatursollwertes,
- Fig. 7: das Blockdiagramm eines zweiten Heizsystems für ein Gebäude,
- Fig. 8: Ausgangsgrössen eines Taktgenerators und eines Regelverstärkers als Funktion des PID-Resultatsignals,
- Fig. 9: das Blockdiagramm eines dritten Heizsystems für ein Gebäude,
- Fig. 10: den Heizleistungsbedarf eines Gebäudes als Funktion der Aussentemperatur,
- Fig. 11: den zeitlichen Verlauf von ausgewählten Signalen eines dritten Heizsystems während eines typischen morgendlichen Temperaturanstieges,
- Fig. 12: den zeitlichen Verlauf von ausgewählten Signalen in einem fünften Heizsystem für ein Gebäude,
- Fig. 13: das Blockdiagramm eines sechsten Heizsystems für ein Gebäude,

Fig. 14: den zeitlichen Verlauf von ausgewählten Signalen in einem sechsten Heizsystem für ein Gebäude.

**Verwendete Bezeichner und Grössen**

**[0017]**

1	Wärmeerzeuger
111	Wärmepumpe
112	Wärmetauscher
113	invertergesteuerte Wärmepumpe
2	vorwiegend Wasser-basiertes Wärmetransportsystem
21	Vorlaufleitung
22	Rücklaufleitung
3	Wärmeabgabesystem
31	Flächen-Wärmeabgabemodul
32	Flächen-Wärmeabgabemodul
33	Verteiler
4	Räume
4V	Heizleistungsbedarf des Gebäudes
41	Raum 1
41V	Wärmeverlust von Raum 1
42	Raum 2
42V	Wärmeverlust von Raum 2
5	Steuersystem
51	Innentemperaturerfassungssystem
52	Solltemperatursystem
53	PID-Regelblock
54	Taktgenerator
541	Taktgenerator
542	Taktgenerator
543	Taktgenerator
551	Regelverstärker
552	Regelverstärker
57	Aussentemperaturerfassungssystem
58	Heizleistungskurvengenerator
59	Rechenblock
6	Heizregelkreis
7541	monotone Funktion
812	Sensor der Abgabeleistung des Wärmetauschers 112

## CH 706 660 B1

821	Temperatursensor im Vorlauf des Wärmetransportsystems (Vorlauftemperatursensor)
822	Temperatursensor im Rücklauf des Wärmetransportsystems (Rücklauftemperatursensor)
831	Oberflächentemperatursensor
832	Oberflächentemperatursensor
841	Temperatursensor im Raum 41
842	Temperatursensor im Raum 42
856	Aussentemperatursensor
912	Wert der von der Wärmepumpe 111 abgegebenen Leistung
912E	Leistung im eingeschalteten Betriebszustand
912M	mittlere abgegebene Leistung
921	Messwert des Temperatursensors 821 im Vorlauf des Wärmetransportsystems
922	Messwert des Temperatursensors 822 im Rücklauf des Wärmetransportsystems
931	Messwert des Oberflächentemperatursensors 831
932	Messwert des Oberflächentemperatursensors 832
932max	Maximaler Messwert des Oberflächentemperatursensors 832
932min	Minimaler Messwert des Oberflächentemperatursensors 832
941	Messwert des Temperatursensors im Raum 1
942	Messwert des Temperatursensors im Raum 2
951	Temperaturglättungswert
951(t1)	Temperaturglättungswert zum Zeitpunkt t1
952	Temperatursollwert
952(t1)	Temperatursollwert zum Zeitpunkt t1
953	PID-Resultatsignal
9531	erster Bereich des PID-Resultatsignales 953
9532	zweiter Bereich des PID-Resultatsignales 953
953(t1)	PID-Resultatsignal zum Zeitpunkt t1
954	Einschaltsignal
954T	Istwert des Einzelpuls-Tastverhältnisses des Einschaltsignals
954T1, 954T2	Istwerte des Einzelpuls-Tastverhältnisses
9541	Einschaltsignal
9541T	Istwert des Einzelpuls-Tastverhältnisses des Einschaltsignals 9541
9542	Einschaltsignal
9543	Einschaltsignal
9543T	Istwert des Einzelpuls-Tastverhältnisses des Einschaltsignals 9543
9551	Leistungssteuersignal
9551m	Minimalwert des Leistungssteuersignals 9551

9552	Leistungssteuersignal
956	Messwert des Aussentemperatursensors
957	Ausgabewert des Aussentemperaturerfassungssystems 57
958	Aussentemperatur-Leistungsanforderungswert
959	Leistungsanforderungssignal
te	Einschaltdauer
te2	Einschaltdauer nach Sollwertänderung
ta	Ausschaltdauer
ta + te	Einzelpuls-Pulsdauer
t1	Zeitpunkt einer Erhöhung des Temperatursollwertes 952

**[0018]** Das Einzelpuls-Tastverhältnis ergibt sich aus:  
Einzelpuls-Tastverhältnis =  $te / (te + ta)$ .

**[0019]** In Abweichung der gebräuchlichen Definition des Tastverhältnisses wird dabei keine konstante Taktfrequenz vorausgesetzt.

### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

#### Erste bevorzugte Ausführung

**[0020]** Fig. 1 zeigt ein Heizsystem für ein Gebäude entsprechend einer ersten bevorzugten Ausführung. Es umfasst einen Wärmeerzeuger 1 mit mindestens einer Wärmepumpe 111, ein vorwiegend Wasser-basiertes Wärmetransportsystem 2, ein Wärmeabgabesystem 3 mit den Flächen-Wärmeabgabemodulen 31, 32 und Verteiler 33 sowie ein Steuersystem 5. Die Flächen-Wärmeabgabemodule 31, 32 versorgen die Räume 41 und 42 in bekannter Weise mit Wärme. Ebenso können sie in bekannter Weise zum Kühlen der Räume eingesetzt werden. In diesem Beispiel wird angenommen, dass das zu beheizende Gebäude 2 Räume umfasst. Diese zwei Räume stehen vereinfachend für die Räume einer typischen Wohnung oder eines ein- oder mehrgeschossigen Gebäudes. Sie werden nicht als Teile des Heizsystems verstanden.

**[0021]** Ein Temperatursensor 842 erfasst die Temperatur der Luft in Raum 42 und meldet sie an das Innentemperaturerfassungssystem 51. Sind die Räume 41 und 42 Teil eines hochgradig isolierten Hauses mit einem Heizbedarf von z.B. 40 kWh/(m<sup>2</sup> x Jahr), so gibt der Messwert des Temperatursensors 842 in guter Näherung auch die Temperatur in Raum 41 wieder. Ein Einbezug der Messwerte des Sensors 841 in das Innentemperaturerfassungssystem 51 ist in solch einem Falle nicht erforderlich.

**[0022]** Aufgrund der thermischen Trägheit des Flächen-Wärmeabgabemoduls 32 erhöht sich der Messwert des Oberflächentemperatursensors 832 nur langsam, wenn die Wärmepumpe 111 Wärme zuführt. Das Innentemperaturerfassungssystem 51 wird deshalb bereits ein weitgehend geglättetes Temperatursignal empfangen, so dass es in diesem Falle nur eine geringfügige Nachglättung zur Ausglättung plötzlich auftretender Fremdeinflüsse, wie z.B. beim Betreten des Raumes 42, durchführen muss.

**[0023]** In Fig. 2a ist entsprechend beispielhaft der zeitliche Verlauf des Messwertes 921 des Temperatursensors 821 im Vorlauf des Wärmetransportsystems 21 gezeigt, Fig. 2b zeigt das Signal 942 des Temperatursensors 842 und Fig. 2c den vom Innentemperaturerfassungssystem 51 erzeugten Temperaturglättungswert 951.

**[0024]** Gemäss Fig. 1 werden der Temperaturglättungswert 951 und der vom Solltemperatursystem 52 bereitgestellte Temperatursollwert 952 dem Proportional-Integral-Differential-Regelblock (PID-Regelblock) 53 zugeführt. Der PID-Regelblock 53 erzeugt daraus in bekannter Weise das PID-Resultatsignal 953. Der zeitliche Verlauf des PID-Resultatsignales 953 ist in Fig. 2d dargestellt.

**[0025]** Das PID-Resultatsignal 953 wird sodann dem Taktgenerator 54 zugeführt.

**[0026]** Basierend darauf erzeugt der Taktgenerator 54 ein Einschaltsignal 954 (Fig. 2e) zur Steuerung des Betriebszustandes der Wärmepumpe 111.

**[0027]** Die zeitlichen Zusammenhänge zwischen den Graphen in Fig. 2a bis 2e sind durch senkrechte punktierte Linien gekennzeichnet. Das Signal 942 des Raumtemperatursensors 842 ist die Führungsgrösse, aus der der vom Innentemperaturerfassungssystem 51 erzeugte Temperaturglättungswert 951 gebildet wird. Die Werte bewegen sich um einen konstanten Mittelwert; die Regelung hat also ein stationäres Gleichgewicht zwischen zugeführter Heizleistung und Wärmeverlusten durch die Gebäudehülle erreicht. Auch das PID-Resultatsignal 953 bewegt sich deshalb um einen konstanten

Mittelwert von etwa 20%. Entsprechend dieser Vorgabe wird die Wärmepumpe mit einem Einzelpuls-Tastverhältnis von 20% geschaltet, wobei in diesem Beispiel eine konstante Taktzeit und folglich auch eine konstante Taktfrequenz eingesetzt wurde.

**[0028]** Während des Betriebes der Wärmepumpe steigt die Vorlauftemperatur, was sich im Anstieg des Wertes 921 des Vorlauftemperatursensors 821 zeigt, und während des Stillstandes sinkt sie wieder. Diese zeitliche Veränderung setzt sich durch den gesamten Regelkreis fort, nimmt aber weiter keinen Einfluss auf das Schalten der Wärmepumpe, denn das wird einzig durch den Taktgenerator 54 und den Wert des PID-Resultatsignales 953 bestimmt.

**[0029]** Fig. 3 beschreibt die Wirkungsweise des Taktgenerators 54. Fig. 3a zeigt beispielhaft die Abhängigkeit des Istwertes des Einzelpuls-Tastverhältnisses 954T des Einschaltsignals vom PID-Resultatsignal 953, Fig. 3b und Fig. 3d resultierende Einschaltsignale und Fig. 3c den zeitlichen Verlauf des Wertes der von der Wärmepumpe 111 abgegebenen Leistung 912 beim Einzelpuls-Tastverhältnis 954T1.

**[0030]** Bei kleinem PID-Resultatsignal wird ein kleines Einzelpuls-Tastverhältnis 954T1 eingestellt. Daraufhin erzeugt der Taktgenerator 54 ein Einschaltsignal nach Fig. 3b. Bei grossem PID-Resultatsignal wird ein grosses Einzelpuls-Tastverhältnis 954T2 eingestellt. Daraufhin erzeugt der Taktgenerator 54 ein Einschaltsignal nach Fig. 3d. In diesem Beispiel ist der Istwert des Einzelpuls-Tastverhältnisses 954T durch die monoton steigende Funktion 7541 mit dem PID-Resultatsignal 953 verknüpft.

**[0031]** Für den Fall des kleinen Einzelpuls-Tastverhältnisses nach Fig. 3b zeigt Fig. 3c die von der Wärmepumpe 111 abgegebene Leistung 912: Ist die Wärmepumpe 111 eingeschaltet, so erzeugt sie die Leistung im eingeschalteten Betriebszustand 912E; ist sie abgeschaltet, so erzeugt sie die Leistung 0. Die mittlere abgegebene Leistung 912M bestimmt sich zu: mittlere abgegebene Leistung 912M = Einzelpuls-Tastverhältnis 954T x Leistung 912E.

**[0032]** In Fig. 3d wurde die Pulsdauer ( $t_e + t_a$ ) gegenüber dem Wert in Fig. 3b reduziert. Das bleibt ohne Einfluss auf die mittlere abgegebene Leistung, weil die oben aufgezeigte Gesetzmässigkeit keinen Term mit der Pulsdauer ( $t_e + t_a$ ) enthält. Die Pulsdauer ist somit ein Parameter, der frei gewählt werden kann. Kriterien für die Wahl werden anhand von Fig. 2 erläutert:

**[0033]** Fig. 2e zeigt Pulse des Einschaltsignals 954, entsprechend denen die Wärmepumpe Heizleistung erzeugt. In Fig. 2a erkennt man die daraus resultierende Welligkeit der Vorlauftemperatur 921. Durch die hinter dem Temperatursensor 821 im Vorlauf 21 des Wärmetransportsystems 2 liegenden Bauteile wie Rohrsystem, Verteiler, Bodenschlangen, Estrich und durch die Raumluft werden Wärmewiderstände und Wärmekapazitäten gebildet. Deshalb folgt die Temperatur der Raumluft 942 in Fig. 2b verzögert und abgeschwächt der Vorlauftemperatur 921. Entsprechend rufen kürzere Pulsdauern eine geringere Welligkeit und längere Pulsdauern eine grössere Welligkeit hervor. Die Pulsdauer  $t_a + t_e$  kann folglich so klein gewählt werden, dass die Schwankungen der Raumtemperatur 942 den Komfort für die Bewohner nicht beeinträchtigen, und so gross, dass der Einfluss der Start-Stopp-Verluste der Wärmepumpe gering ausfällt. Es ergeben sich daraus in der Regel Pulsdauern zwischen 30 Minuten und 5 Stunden.

**[0034]** Die monoton steigende Funktion 7541 ist in diesem Beispiel eine deutlich nichtlineare Funktion. Jede monotone Funktion kann an dieser Stelle eingesetzt werden; insbesondere auch eine durch eine Gerade repräsentierte lineare Funktion. Ebenso kann eine monoton fallende Funktion eingesetzt werden, wenn dem durch Vorzeichenänderung z.B. im PID-Regelblock 53 Rechnung getragen wird.

**[0035]** Fig. 4 zeigt den Heizregelkreis 6. Er entsteht durch Zusammenwirken von Wärmepumpe 111 mit Wärmetauscher 112, Vorlaufleitung 21 im Wärmetransportsystem 2, Verteiler im Wärmeabgabesystem 33 sowie Flächen-Wärmeabgabemodul 32, Raum 42, Temperatursensor 842, Innentemperaturerfassungssystem 51, PID-Regelblock 53 und Taktgenerator 54. Weiter eingezeichnet sind die Wärmeverluste 41V und 42V der Räume 41 und 42.

**[0036]** Ziel des Heizregelkreises 6 ist das Einstellen und Halten der Raumtemperatur auf dem durch das Solltemperatursystem 52 vorgegebenen Wert. Der Heizregelkreis 6 erreicht das dadurch, dass er die Wärmepumpe 111 so ansteuert, dass sie im Mittel genau so viel Wärme liefert, wie zur Erhaltung der Temperatur im Raum 42 benötigt wird. Die mittlere abgegebene Leistung 912M muss also gleich der Summe aus den Wärmeverlusten 41V und 42V werden.

**[0037]** Das System ist dann im Gleichgewicht. Die Steuergrössen im Heizregelkreis 6 sind infolgedessen dann über der Zeit konstant. Fig. 5 zeigt den zeitlichen Verlauf ausgewählter Signale im Gleichgewichtszustand: die von der Wärmepumpe 111 abgegebene Leistung 912 (Fig. 5a), den Messwert 921 des Temperatursensors 821 im Vorlauf des Wärmetransportsystems 2 (Fig. 5b), den Messwert 942 des Temperatursensors 842 in Raum 42 (Fig. 5c), den Temperaturglättungswert 951 des Innentemperaturerfassungssystems 51 und den Temperatursollwert 952 (Fig. 5d), das PID-Resultatsignal 953 (Fig. 5e) sowie das Einzelpuls-Tastverhältnis 954T (Fig. 5f).

**[0038]** Der Kreis schliesst sich: Aufgrund des Istwertes  $954T = 25\%$  (Fig. 5f) schaltet der Taktgenerator 54 die Wärmepumpe während 1 Zeiteinheit ein und während 3 Zeiteinheiten aus. Entsprechend gibt die Wärmepumpe pulswise Leistung ab (Fig. 2a), die eine mittlere Leistung von  $912M = 1/4 \times 912E$  ergibt. Die Vorlauftemperatur 921 folgt mit ausgeprägten Schwankungen (Fig. 2b), die Raumtemperatur 942 dagegen steht nahezu konstant (Fig. 2c). Der Temperaturglättungswert 951 pendelt entsprechend leicht um den Temperatursollwert 952 (Fig. 2d). Der PID-Regelblock 53 erzeugt daraufhin ein stabiles PID-Resultat 953 (Fig. 2e).

**[0039]** Aufgabe einer Regelung ist es, auf Veränderungen der äusseren Einflüsse zu reagieren. Reaktionsgeschwindigkeit und Regelabweichung sind dabei Qualitätsmerkmale. Viele Einflüsse wirken in der Regel vergleichsweise langsam: Eine Änderung der Temperatur der Umgebungsluft des Hauses oder ein zusätzlicher Wärmeeintrag in den Raum 42 durch Einschalten üblicher Geräte wie z.B. eines Personal Computers oder Lampen. Solche Änderungen sind deshalb weniger geeignet zur Beurteilung der Regelqualität.

**[0040]** Für die Beurteilung des Heizregelkreises 6 wird deshalb eine weit stärkere Änderung herangezogen: Das Verstellen des Temperatursollwertes 952. Dadurch wird der Heizregelkreis 6 plötzlich aus seinem Gleichgewichtszustand gebracht. Die Reaktion des Regelkreises auf solch eine Änderung ist in Fig. 6 gezeigt.

**[0041]** Fig. 6a zeigt den Temperatursollwert 952 als Funktion der Zeit. Im Zeitpunkt  $t_1$  wird der Sollwert um  $1,5\text{ °C}$  erhöht. Der PID-Regelblock 53 erkennt den Unterschied zwischen dem neuen Temperatursollwert  $952(t_1)$  und dem bestehenden Temperaturglättungswert. Entsprechend springt das PID-Resultatsignal  $953(t_1)$  auf  $953(t_1) = 100\%$  (Fig. 6b).

**[0042]** Der Taktgenerator 54 erhöht daraufhin das Einzelpuls-Tastverhältnis  $954T$  auf den Wert  $100\%$ . Das Einschaltsignal  $954$  geht somit dauerhaft auf den Wert «Ein» (Fig. 6c); die Wärmepumpe geht in Dauerbetrieb, und die Temperatur  $921$  im Vorlauf des Wärmetransportsystems 2 steigt markant an (Fig. 6d).

**[0043]** Damit erhält das Flächen-Wärmeabgabemodul 32 die grösstmögliche Wärmeleistung. Seine Oberflächentemperatur  $832$  steigt. Ebenso steigt die Temperatur im Raum 42, und mit ihr der Messwert des Temperatursensors  $942$  (Fig. 6e).

**[0044]** Die darauf folgende Erhöhung des Temperaturglättungswertes  $951$  bewirkt eine Verringerung des Unterschiedes zum Temperatursollwert  $952(t_1)$ . Der Differenzialzweig des PID-Regelblockes 53 erkennt zudem die Änderung des Temperaturglättungswertes  $951$  mit der Zeit. Deshalb addiert er intern zur Bildung des PID-Resultatsignales  $953$  in bekannter Weise einen der Änderung mit der Zeit entsprechenden Wert zum Temperaturglättungswert  $951$ . In der Folge wird das PID-Resultatsignal  $953$  bereits zum Zeitpunkt  $t_2$ , also deutlich bevor der Temperaturglättungswert  $951$  den Temperatursollwert  $952(t_1)$  erreicht, reduziert. Auf diese Weise kann ein sanftes Einlaufen des Temperaturglättungswertes  $951$  in den Temperatursollwert  $952(t_1)$  erzielt werden. Zum Zeitpunkt  $t_3$  wird der neue Gleichgewichtszustand praktisch erreicht.

**[0045]** Die Vorteile des PID-Reglers im Heizkreis zeigen sich in vielen Situationen des täglichen Gebrauchs. Fallen z.B. an einem Wintertag die ersten Sonnenstrahlen ins Haus, so beginnt die Temperatur zu steigen. Weit bevor irgendein Grenzwert überschritten wird, der einen Zweipunktregler triggern könnte, reagiert der Differentialzweig des PID-Reglers und steuert die Heizleistung zurück.

**[0046]** Ebenso wird der PID-Regler sofort und vorausschauend reagieren, wenn zur Mittagszeit der Herd zum Kochen eingeschaltet wird. Hier leistet er, was sonst nur mit komplizierten Kopplungen zwischen Herd und Heizsystem geleistet werden könnte.

**[0047]** Und natürlich vermag er auch auf gegenteilige Einflüsse zu reagieren: Werden z.B. die Fenster für eine Stosslüftung geöffnet, so erfasst der PID-Regler sowohl das Zuströmen kalter Luft als auch den Temperaturanstieg nach dem erneuten Schliessen der Fenster und reagiert korrekt darauf. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass gerade durch den PID-Regler im Heizsystem effizient Heizenergie eingespart wird.

**[0048]** Je nach der Raumsituation des zu heizenden Gebäudes kann der vom Innentemperaturerfassungssystem 51 gebildete Wert  $951$  auf unterschiedliche Weise gewonnen werden. So kann der Temperatursensor  $842$  in einem der wärmsten Räume wie z.B. einem Bad angeordnet sein. Er erfasst dann den höchsten vom Heizsystem zu erbringenden Wert, und der Heizwasserzufluss zu anderen Räumen kann dagegen in bekannter Weise geringfügig gedrosselt werden.

**[0049]** Andererseits kann der Wert aber auch aus den Temperaturwerten mehrerer Räume gebildet werden – dies vornehmlich dann, wenn in einem grösseren Gebäude die Räume unterschiedlichen Einflüssen ausgesetzt sind.

**[0050]** Es ist nicht erforderlich, dass der vom Innentemperaturerfassungssystem 51 gebildete Wert genau mit irgendeinem Temperaturwert im Innern des Gebäudes übereinstimmt. Denn der vom Innentemperaturerfassungssystem 51 gebildete Wert wird dem Regelkreis 6 zugeführt, so dass Abweichungen z.B. durch geeignete Einstellung des Temperatursollwertes  $952$  ausgeglichen werden können.

**[0051]** Ein Heizsystem gemäss einer ersten bevorzugten Ausführung ermöglicht den Betrieb mit einer direkten Verbindung zwischen dem Wärmeerzeuger und den oder einigen Wärmeabgabemodulen. Dadurch wird der in der jeweiligen Gebäudesituation geringstmögliche Temperaturunterschied in der Übergabe erreicht.

**[0052]** Es erfasst und regelt die Gebäudeinnentemperatur mit PID-Regelcharakteristik schnell und präzise. Dabei berücksichtigt es auch den Wärmeeintrag fremder Quellen wie Sonneneinstrahlung, Gerätebetrieb und Bewohnerverhalten.

**[0053]** Es schaltet den Wärmeerzeuger in wohldefinierten Pulsen, so dass «wildes Takten» ausgeschlossen ist. Die Pulse werden durch einen Taktgenerator erzeugt, der so eingestellt werden kann, dass der Einfluss der Start-Stopp-Verluste auf ein Mindestmass reduziert wird.

**[0054]** Ferner realisiert es stabil und ohne aufwändige Einstellungen jede erforderliche Abgabeleistung von den kleinsten Werten bis zur vollen Leistung des Wärmeerzeugersystems. Obwohl es in langen Pulsen taktet, vermag es schnellen Änderungen der Stellgrössen zu folgen, weil der Taktgenerator instantan auf solche Änderungen reagieren kann und die für die Regelantwort gegebenenfalls notwendigen grossen Temperaturschwankungen im Heizkreis möglich sind.

### Zweite bevorzugte Ausführung

**[0055]** Fig. 7 zeigt das Blockdiagramm eines Heizsystems nach einer zweiten bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung. Im Wärmeerzeugungssystem 1 wird eine invertergesteuerte Wärmepumpe 113 und im Steuersystem 5 werden ein Taktgenerator 541 sowie ein Regelverstärker 551 eingesetzt. Alle Komponenten mit unveränderten Bezeichnungen arbeiten wie oben beschrieben.

**[0056]** Der Taktgenerator 541 empfängt das PID-Resultatsignal 953 und gibt das Einschaltsignal 9541 an die invertergesteuerte Wärmepumpe 113 ab. Der Regelverstärker 551 empfängt das PID-Resultatsignal 953 und gibt das Leistungssteuersignal 9551 an die invertergesteuerte Wärmepumpe 113 ab. Das Leistungssteuersignal 9551 wird in bekannter Weise dem Inverter der Wärmepumpe zugeführt und beeinflusst beispielhaft die Drehzahl des Kompressors.

**[0057]** Fig. 8a zeigt die Abhängigkeit des Einzelpuls-Tastverhältnisses 9541T des Einschaltsignals 9541 vom PID-Resultatsignal 953. In dem ersten Teilbereich 9531 des PID-Resultatsignals 953 steigt das Einzelpuls-Tastverhältnis 9541T monoton, insbesondere linear, mit zunehmendem PID-Resultatsignal 953 an und erreicht den Maximalwert von 100% an der oberen Grenze dieses Teilbereiches. In dem zweiten Teilbereich 9532 des PID-Resultatsignals 953 verharrt das Einzelpuls-Tastverhältnis 9541T auf dem Wert von 100%.

**[0058]** Fig. 8b zeigt die Abhängigkeit des Leistungssteuersignals 9551 vom PID-Resultatsignal 953. In dem ersten Teilbereich 9531 des PID-Resultatsignals 953 verharrt das Leistungssteuersignal 9551 auf einem Minimalwert 9551m. In dem zweiten Teilbereich 9532 steigt es monoton mit zunehmendem PID-Resultatsignal 953 an und erreicht den Maximalwert von 100% an der oberen Grenze des Teilbereiches 9532.

**[0059]** In dem ersten Teilbereich 9531 wird somit die Leistung der invertergesteuerten Wärmepumpe 113 im eingeschalteten Betriebszustand 912E durch das Leistungssteuersignal 9551 auf dem zum Minimalwert 9551m gehörenden kleinen Wert gehalten, während die mittlere abgegebene Leistung 912M daraus durch das Einzelpuls-Tastverhältnis 9541T festgelegt wird. In dem zweiten Teilbereich 9532 wird die invertergesteuerte Wärmepumpe 113 dauerhaft in den eingeschalteten Betriebszustand 912E gebracht, während die Leistung 912 und damit auch die mittlere abgegebene Leistung 912M durch das Leistungssteuersignal 9551 festgelegt wird.

**[0060]** Die Wärmepumpe wird somit nur bei einer mittleren Abgabeleistung, die kleiner als die durch den Minimalwert 9551m des Leistungssteuersignals vorgegebene ist, getaktet; bei einer grösseren mittleren Abgabeleistung läuft sie im Dauerbetrieb. In der Folge wird der Verlustanteil der Start-Stopp-Verluste im Vergleich zu einer konventionellen Wärmepumpe auf doppelte Weise reduziert: Die Anfahrstösse werden kleiner, weil die Wärmepumpe beim Takten nur auf die kleine Leistung 9551m hochfahren muss, und im zweiten Teilbereich 9532 entfallen diese Verluste ganz. Beides führt zudem zu geringerem Verschleiss der Wärmepumpe. Darüber hinaus kann der Minimalwert des Leistungssteuersignales 9551m so gewählt werden, dass die Wärmepumpe darunter den bestmöglichen Wirkungsgrad erzielt. Auch kann das Leistungssteuersignal 9551 bereits im ersten Teilbereich 9531 vergleichsweise geringfügig ansteigen, wenn das für das Heizsystem von Vorteil ist.

**[0061]** Ein Heizsystem gemäss dieser zweiten bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung nutzt die Regeleigenschaften der invertergesteuerten Wärmepumpe. Es bietet einen stetigen Leistungsabgaberegulierungsbereich von 0% bis 100% der Nennleistung der Wärmepumpe, erreicht einen hohem Wirkungsgrad und geringen Verschleiss durch kleine Belastung der Komponenten der Wärmepumpe.

### Dritte bevorzugte Ausführung

**[0062]** Fig. 9 zeigt das Blockdiagramm eines Heizsystems nach einer dritten bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung. Zusätzlich zum Innentemperaturerfassungssystem 51 wird im Steuersystem 5 ein Aussentemperaturerfassungssystem 57, das den Wert eines Aussentemperatursensors 856 aufnimmt, ein Heizleistungskurvengenerator 58 sowie ein Rechenblock 59 eingesetzt. Gestrichelt eingetragen ist zudem ein Regelverstärker 552 für den Fall, dass eine Inverters-Wärmepumpe an die Stelle der Wärmepumpe 111 tritt. Die Blöcke 57, 58 und 59 fügen dem Heizsystem eine Wirkungsweise hinzu, die der einer Heizkurve in herkömmlichen Heizsystemen entspricht: Die Heizkurve in herkömmlichen Heizsystemen stellt die Vorlauftemperatur so ein, dass die Heizkörper die vom Gebäude benötigte Heizleistung abstrahlen können; die Feinregelung ist nachgeschaltet; sie wird in der Regel durch Heizkörper-Drosselventile vollzogen. Der Heizleistungsgenerator in dieser dritten bevorzugten Ausführung stellt das Leistungsanforderungssignal 959 so ein, dass die Wärmepumpe die vom Gebäude benötigte Heizleistung erbringt; die Feinregelung wird durch das PID-Resultatsignal 953 erbracht und mittels Rechenblock 59 eingefügt. Weitere Einzelheiten zur Funktionsweise werden anhand von Fig. 10 und Fig. 11 erläutert.

**[0063]** Fig. 10 zeigt beispielhaft den Heizleistungsbedarf  $4V = 41V + 42V$  des Gebäudes als Funktion der Aussentemperatur 956: mit sinkender Aussentemperatur nimmt der Heizleistungsbedarf nahezu linear zu. Eine entsprechende Funktion kann für jedes Gebäude nach bekannten Gesetzmässigkeiten bestimmt werden.

**[0064]** Fig. 11 zeigt beispielhaft Signale im Heizsystem. Fig. 11a zeigt den Verlauf des Messwertes des Aussentemperatursensors 956 als Funktion der Zeit während eines typischen morgendlichen Temperaturanstieges. Entsprechend dem beobachteten Temperaturanstieg nimmt der Heizleistungsbedarf  $4V$  des Gebäudes, wie aus Fig. 10 ersichtlich, ab. Ein

Aussentemperatur-Anforderungswert 958, der angenähert proportional zum momentanen Heizleistungsbedarf ist, wird aus dem Signal des Aussentemperatursensors 956 durch den Heizleistungskurvengenerator 58 ermittelt (Fig. 11b).

[0065] Ändert die Temperatur im Innern des Gebäudes nicht, wie das idealerweise der Fall wäre, so bleibt das PID-Resultatsignal 953 konstant (Fig. 11c).

[0066] Der Rechenblock 59 nimmt sowohl den Aussentemperatur-Anforderungswert 958 des Heizleistungskurvengenerators als auch das PID-Resultatsignal 953 auf und bestimmt daraus das Leistungsanforderungssignal 959, das dem Taktgenerator 542 und gegebenenfalls dem Regelverstärker 552 zugeführt wird.

[0067] Entsprechend dem Verlauf des Heizleistungsbedarfs wird somit das Leistungsanforderungssignal 959 mit der Zeit reduziert (Fig. 11d). Die mittlere Leistungsabgabe der Wärmepumpe 111 folgt dieser Reduktion in bereits beschriebener Weise. Der PID-Regelblock 53 muss somit nicht weiter auf die Veränderung der Aussentemperatur reagieren.

[0068] Das obige Beispiel zeigt den Idealfall einer 100%igen Kompensation: Der Wert 958 des Heizleistungskurvengenerators bewirkt die gesamte Anpassung der mittleren Leistungsabgabe; das PID-Resultatsignal 953 muss nichts beitragen. Eine solche ideale Kompensation erfordert in der Praxis jedoch eine recht genaue Einstufung des Heizleistungskurvengenerators 58, so dass ähnlich wie im «Handbuch Wärmepumpen» beschrieben dazu in vielen Fällen eine Optimierung während des Betriebes notwendig würde. Der Regelkreis 6 kann jedoch ohne Nachteile durchaus einen Teil der Korrektur mit übernehmen. Es wird erwartet, dass mit einer Einstellung des Heizleistungskurvengenerators 58 nach Erfahrungswerten, wie sie das «Handbuch Wärmepumpen» bei der Inbetriebsetzung eines Heizsystems für die Heizkurve vorsieht, mindestens 70% Kompensation erreicht werden kann.

[0069] Ein Heizsystem gemäss dieser dritten bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung führt die mittlere Leistungsabgabe der Wärmepumpe 111 entsprechend der momentanen Aussentemperatur nach. Es vermag somit die Temperatur im Innern des Gebäudes ungestört von äusseren Temperaturschwankungen auf dem Sollwert zu halten.

### Vierte bevorzugte Ausführung

[0070] Gemäss einer vierten bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung umfasst der Taktgenerator 54 respektive 541 oder 542 des Steuersystems 5 einen Puls-Weiten-Modulator zur Erzeugung des Einschaltsignals.

[0071] Ein Puls-Weiten-Modulator ist aus verschiedenen Publikationsschriften bekannt. Es handelt sich dabei um ein besonders leicht zu realisierendes Verfahren zur Erzeugung von Einschaltchaltsignalen mit veränderbarem Einzelpuls-Tastverhältnis, wobei die Periodendauer ( $t_e + t_a$ ) konstant gehalten wird.

[0072] Ein Heizsystem gemäss dieser vierten bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung kann mit besonders geringem Aufwand realisiert werden.

### Fünfte bevorzugte Ausführung

[0073] Fig. 12 zeigt Signale gemäss einer fünften bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung. Fig. 12a zeigt den zeitlichen Verlauf der Leistung 912 der Wärmepumpe 111 bei einem Einzelpuls-Tastverhältnis von 50%, also bei  $t_e = t_a$ . Fig. 12b zeigt den zeitlichen Verlauf des Messwertes 921 des Temperatursensors im Vorlauf des Wärmetransportsystems 2, und Fig. 12c den Messwert 932 des Oberflächentemperatursensors 832. Der Messwert 932 des Oberflächentemperatursensors bewegt sich zwischen dem Maximalwert 932max und dem Minimalwert 932min.

[0074] Die Temperaturschwankung ( $932_{\max} - 932_{\min}$ ) beeinflusst die Effizienz des Betriebs der Wärmepumpe: Eine kleine Temperaturschwankung erfordert häufige Schalthandlungen und reduziert damit die Betriebseffizienz des Systems, eine grosse Temperaturschwankung erhöht entsprechend die Betriebseffizienz.

[0075] Zugleich aber beeinflusst die Temperaturschwankung ( $932_{\max} - 932_{\min}$ ) auch den Komfort im Raum 42: Eine kleine Temperaturschwankung übt wenig Einfluss auf die Personen aus. Sie bietet somit hohen Komfort. Eine grosse Temperaturschwankung führt zu spürbaren Schwankungen der Strahlungswärme des betreffenden Wärmeabgabemoduls und zu spürbaren Schwankungen der Lufttemperatur des Raumes. Sie bedingt somit eine spürbare Komforteinbusse.

[0076] Der vorgegebene Wert der Temperaturschwankung ( $932_{\max} - 932_{\min}$ ) wird so gewählt, dass er beide Anforderungen bestmöglich erfüllt. Typischerweise liegt er zwischen 0,5K und 2K. Unter Berücksichtigung der Trägheiten im Wärmetransportsystem 2 und im Wärmeabgabesystem 3 folgt daraus die Pulsdauer ( $t_e + t_a$ ). Sie wird entsprechend voreingestellt.

[0077] Ein Heizsystem gemäss dieser fünften bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung kann bei gutem Heizkomfort eine hohe Betriebseffizienz erzielen.

### Sechste bevorzugte Ausführung

[0078] Fig. 13 zeigt das Blockdiagramm eines Heizsystems nach einer sechsten bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung. Der Taktgenerator 543 erhält zur Bestimmung des Endes der Einschaltzeit  $t_e$  beispielhaft den Messwert 932 des Oberflächentemperatursensors 832. Die Wirkungsweise wird anhand der Zeitdiagramme in Fig. 14 dargelegt.

[0079] Fig. 14a zeigt den zeitlichen Verlauf des Wertes 912 der von der Wärmepumpe 111 abgegebenen Leistung, Fig. 14b den des Messwertes 932 des Oberflächentemperatursensors 832. Solange die Wärmepumpe eingeschaltet ist, wird

dem Wärmetransportsystem 2 über den Vorlauf 21 Wärme zugeführt. Dies führt zu einer Aufladung der Wärmekapazität des Flächen-Wärmeabgabemoduls 32. Entsprechend erhöht sich die Temperatur 932.

**[0080]** Fig. 14c zeigt den zeitlichen Verlauf des Einschaltsignals 9543. Der Einschaltzustand mit Zeitdauer  $te_5$  wird dann beendet, wenn sich die Temperatur 932 um den vordefinierten Wert DTCS, der typischerweise zwischen 0,5K und 2K gewählt wird, erhöht hat. Die zu der Einschaltzeit  $te_5$  gehörende Ausschaltzeit  $ta_5$  wird danach vom Taktgenerator 543 gemäss der Gleichung  $ta_5 = te_5 \times (1-9543T) / 9543T$  ermittelt und eingestellt. Danach wird der Vorgang Puls für Puls fortgesetzt.

**[0081]** Die Ermittlung des Messwertes 932 des Oberflächentempersensors 832 erfordert in der Regel einen eigenen Sensor mit den zugehörigen Anschlüssen. Dies lässt sich vermeiden, wenn man einen entsprechenden Wert z.B. durch Berechnung aus dem Wert 922 des Temperatursensors 822 im Rücklauf 22 des Wärmetransportsystems 2 ermittelt.

**[0082]** Ein Heizsystem gemäss dieser sechsten bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung erzielt unabhängig vom Einzelpuls-Tastverhältnis eine vorgegebene Temperaturwelligkeit. Auf diese Weise erreicht es unter allen Betriebsbedingungen ein Optimum zwischen Start-Stopp-Verlusten und Heizkomfort.

### Siebte bevorzugte Ausführung

**[0083]** Eine siebte bevorzugte Ausführung der vorliegenden Erfindung umfasst eine Wärmepumpe mit Aussenluftquelle und Mehrstufen-Pumpsystem.

**[0084]** Eine Wärmepumpe mit Aussenluftquelle und Mehrstufen-Pumpsystem ist aus der Patentschrift EP 2 088 390 (A2) bekannt. Wärmepumpen, die ihre Wärme aus der Aussenluft beziehen, zeichnen sich durch besonders einfachen und kostengünstigen Anschluss aus. Das Mehrstufen-Pumpsystem ermöglicht einen besonders grossen Aussentemperatur-Arbeitsbereich, hohe Anpassungsfähigkeit und hohe Effizienz. Aufgrund der komplexen internen Regelvorgänge erfordert eine solche Wärmepumpe jedoch stabile Ansteuerzustände von ausreichender Dauer zwischen 15 Minuten und 1 Stunde. Dies wird in einem Heizsystem gemäss der vorliegenden Erfindung erfüllt.

**[0085]** Ein Heizsystem gemäss dieser siebten bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung erzielt gute Systemeigenschaften und eine herausragende Systemeffizienz bei geringen Gestehungskosten.

**[0086]** Die vorliegende Erfindung wurde anhand von bevorzugten Ausführungsformen beschrieben. So ist dem Fachmann bekannt, dass die genannten Blöcke in unterschiedlicher Form ausgeführt werden können. Insbesondere die dem Steuersystem 5 zugeordneten Blöcke können als Hardwareschaltung realisiert sein. Ebenso aber kann jede dieser Funktionen auch durch eine Software, die z.B. als Teil einer grösseren Steuerung aufgerufen wird, realisiert werden. Die Zuordnung dieser Funktionsblöcke zur Steuerung 5 wurde aus rein praktischen Gründen gewählt.

### Patentansprüche

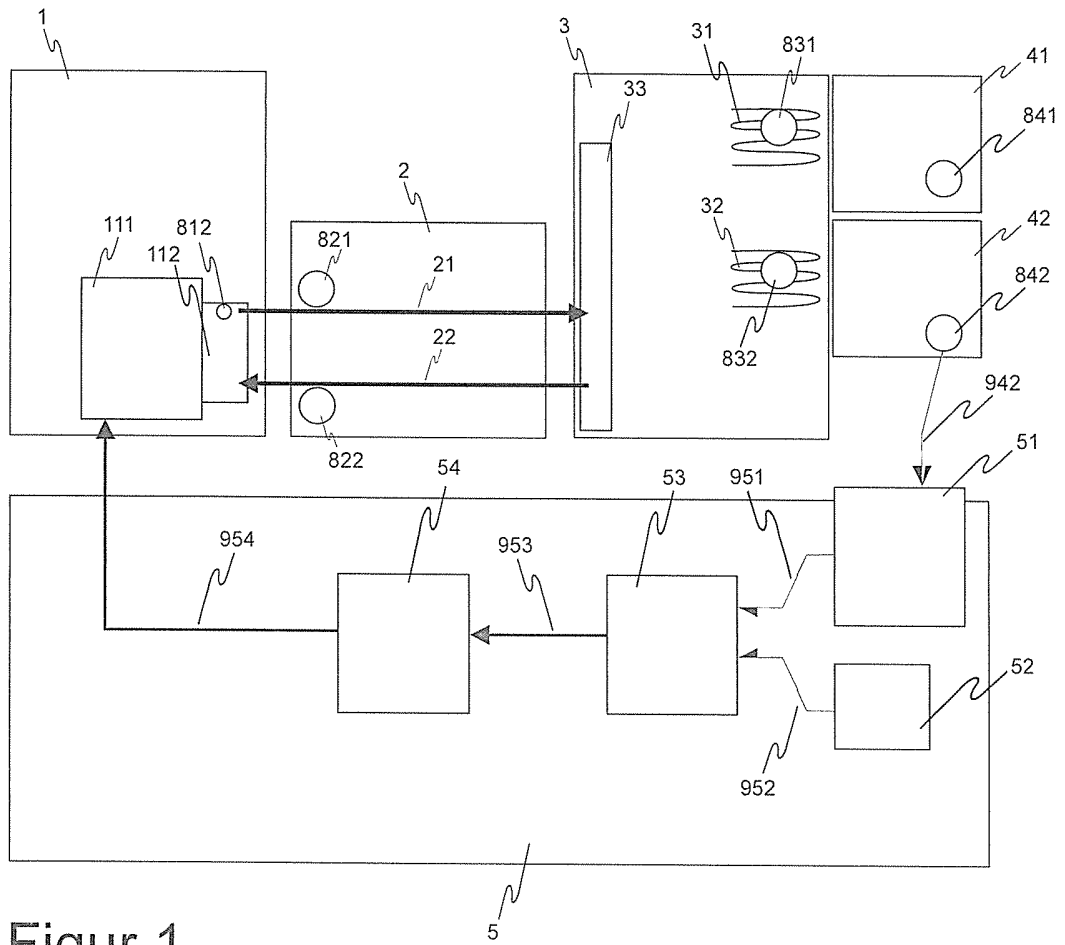
1. Heizsystem für Gebäude mit einem Wärmeerzeugungssystem (1) mit mindestens einer Wärmepumpe (111), einem vorwiegend Wasser-basierten Wärmetransportsystem (2), einem Wärmeabgabesystem (3) mit mindestens einem Flächen-Wärmeabgabemodul (31, 32) und einem Steuersystem (5), dadurch gekennzeichnet, dass
  - das Steuersystem (5) mindestens ein Innentemperaturerfassungssystem (51), ein Solltemperatursystem (52), einen PID-Regelblock (53) und einen Taktgenerator (54) umfasst, worin
    - das Innentemperaturerfassungssystem (51) so ausgebildet ist, dass es einen Temperaturglättungswert (951) mittels zeitlicher Mittelung aus mindestens einem Innenraumtemperaturwert (941, 942) erzeugt,
    - der PID-Regelblock (53) so ausgebildet ist, dass er aus dem Temperaturglättungswert (951) und einem von dem Solltemperatursystem (52) gelieferten Wert ein PID-Resultatsignal (953) erzeugt und
    - der Taktgenerator (54) so ausgebildet ist, dass er aus dem PID-Resultatsignal (953) ein Einschaltsignal (954, 9541, 9542, 9543) für die mindestens eine Wärmepumpe (111) erzeugt, dessen Einzelpuls-Tastverhältnis (954T, 9543T) mit zunehmendem PID-Resultatsignal (953) monoton steigt.
2. Heizsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
  - das Steuersystem (5) zusätzlich einen Regelverstärker (551) umfasst, um die Leistung der Wärmepumpe zu regeln und
  - der Wertebereich des PID-Resultatsignals (953) in einen ersten (9531) und einen zweiten Teilbereich (9532) unterteilt ist, wobei

## CH 706 660 B1

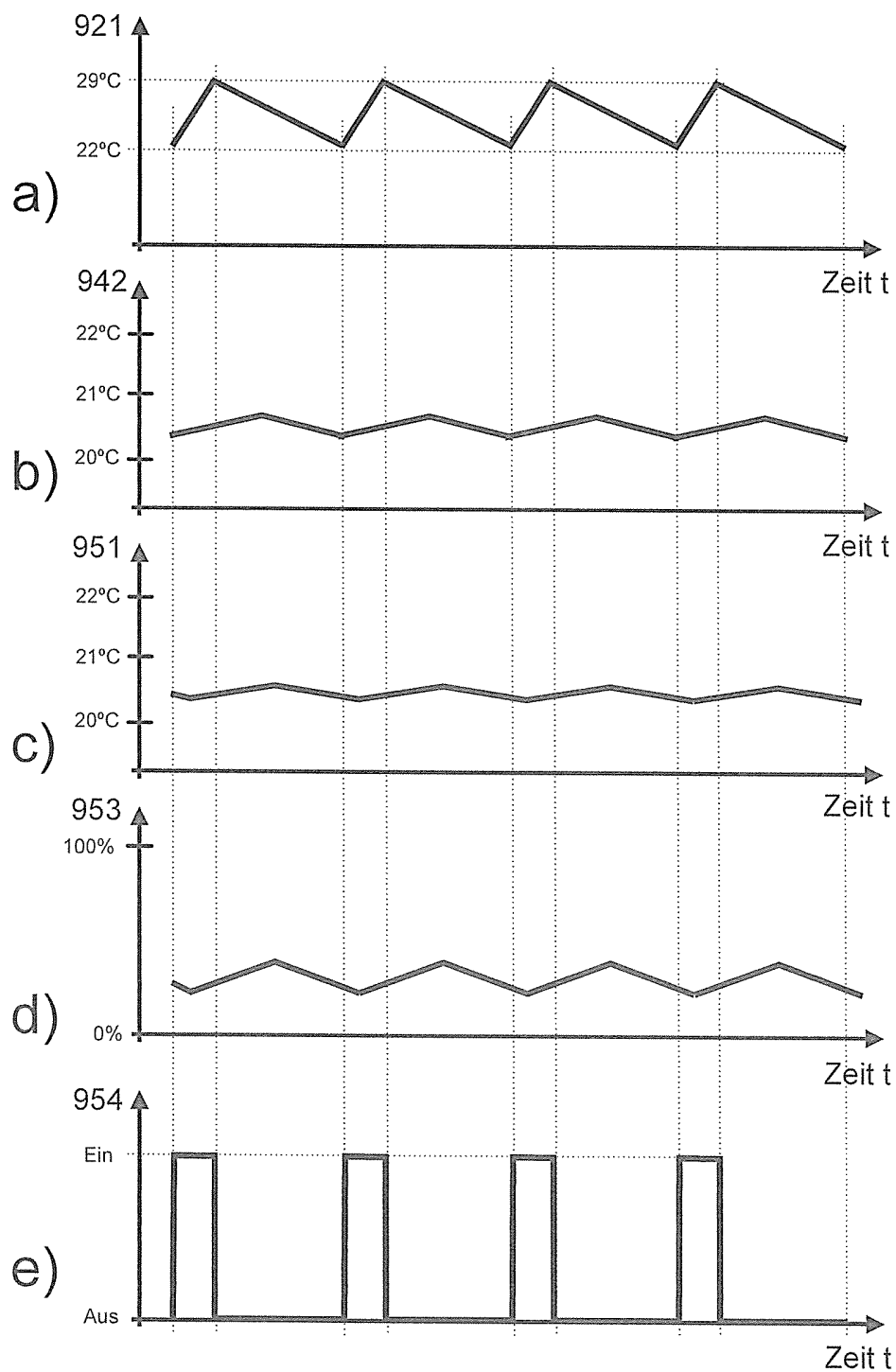
- der Taktgenerator (541, 542, 543) so ausgebildet ist, dass er in dem ersten Teilbereich (9531) des PID-Resultatsignals (953) ein Einschaltsignal mit monoton steigendem Tastverhältnis (9541T) und in dem zweiten Teilbereich (9532) ein dauerhaftes Einschaltsignal erzeugt und
  - der Regelverstärker (551) so ausgebildet ist, dass er in dem ersten Teilbereich (9531) ein konstantes Leistungssteuersignal (9551m) abgibt und dass er in dem zweiten Teilbereich (9532) ein mit dem PID-Resultatsignalwert (953) monoton steigendes Leistungssteuersignal (9551) abgibt.
3. Heizsystem nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
- das Steuersystem (5) ferner
    - ein Aussentemperaturerfassungssystem (57) mit mindestens einem Sensor zur Erfassung der Aussentemperatur (856) umfasst,
    - einen Heizleistungskurvengenerator (58) umfasst, der so ausgebildet ist, dass er zu jeder Aussentemperatur (956) einen Aussentemperatur-Leistungsanforderungswert (958) erzeugt und
    - einen Rechenblock (59) umfasst, der so ausgebildet ist, dass er den Aussentemperatur-Leistungsanforderungswert (958) so mit dem PID-Resultatsignal (953) verknüpft, dass Veränderungen des Heizleistungsbedarfs (4V) des Gebäudes aufgrund der Aussentemperatur (956) durch den Aussentemperatur-Leistungsanforderungswert (958) zu mehr als 70% kompensiert werden.
4. Heizsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Taktgenerator (54, 541, 542) einen Puls-Weiten-Modulator zur Erzeugung des Einschaltsignals (954, 9541, 9542) umfasst.
5. Heizsystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Periodendauer ( $t_e + t_a$ ) des Puls-Weiten-Modulators zur Erzeugung des Einschaltsignals (954, 9541, 9542) einstellbar ist.
6. Heizsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass
- die mindestens eine Wärmepumpe (111, 113) Wärme aus der Aussenluft bezieht und ein Mehrstufen-Pumpsystem umfasst.
7. Verfahren zur Steuerung mindestens einer Wärmepumpe (111, 113) in einem Heizsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Temperaturglättungswert (951) mittels zeitlicher Mittelung aus mindestens einem Innenraumtemperaturwert (841, 842) gewonnen wird,
  - ein PID-Resultatsignal (953) mittels PID-Regelverfahren aus dem Temperaturglättungswert (951) und einem Temperatursollwert (952) gewonnen wird und
  - auf der Basis des PID-Resultatsignals (953) ein Einschaltsignal (954, 9541, 9542, 9543) für die Wärmepumpe (111, 113) erzeugt wird, dessen Einzelpuls-Tastverhältnis (954T, 9543T) mit zunehmendem PID-Resultatsignal (953) monoton steigt.
8. Verfahren zur Steuerung mindestens einer Wärmepumpe (113) nach Anspruch 7, wobei die mindestens eine Wärmepumpe (113) invertergesteuert ist, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Wertebereich des PID-Resultatsignals (953) so um einen zweiten Teilbereich (9532) erweitert wird, dass die Wärmepumpe in dem ersten Teilbereich (9531) mit einem Einzelpuls-Tastverhältnis zwischen 0% und 100% getaktet wird und in dem zweiten Teilbereich (9532) im Dauerbetrieb läuft, wobei
    - die invertergesteuerte Wärmepumpe in dem ersten Teilbereich (9531) des PID-Resultates (953) mit voreingestellter Teillast-Ansteuerung (9551m) betrieben wird und
    - in dem zweiten Bereich des PID-Resultatsignales (953) eine mit steigendem PID-Resultatsignal (953) monoton steigende Ansteuerung erhält.
9. Verfahren zur Steuerung mindestens einer Wärmepumpe (111, 113) nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Heizleistungsbedarf (4V) des zu heizenden Gebäudes als Funktion der Aussentemperatur (956) bestimmt wird,
  - unter Einbezug der Abhängigkeit der mittleren abgegebenen Leistung (912M) der Wärmepumpe vom PID-Resultatsignal (953) für jede Aussentemperatur (956) daraus ein Aussentemperatur-Leistungsanforderungswert (958) bestimmt wird und dieser Aussentemperatur-Leistungsanforderungswert (958) mit dem PID-Resultatsignal (953) verknüpft wird.

## CH 706 660 B1

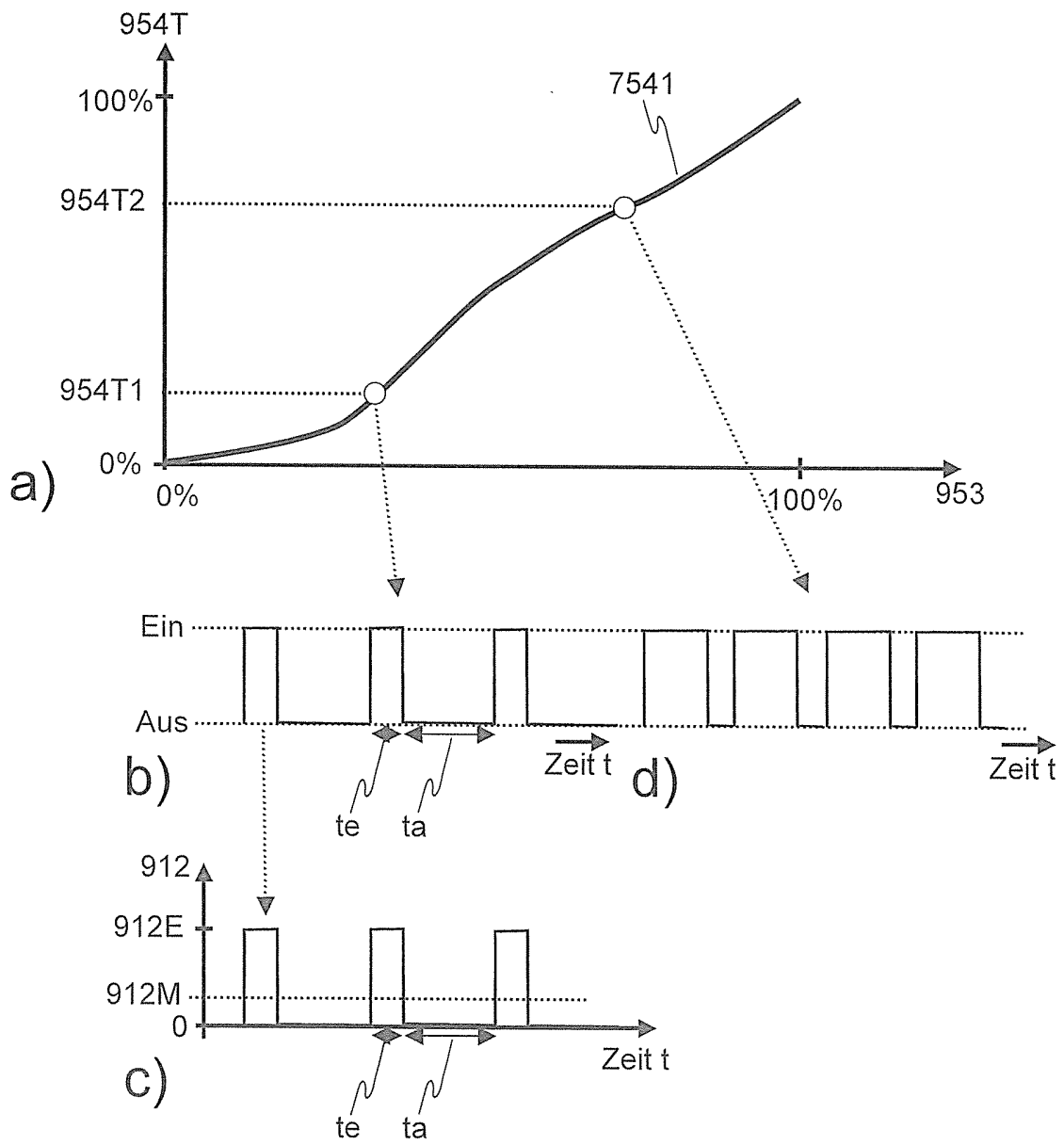
10. Verfahren zur Steuerung einer Wärmepumpe (111, 113) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass
  - nach einem anfänglichem und jedem nachfolgenden Einschalten der Wärmepumpe der Einschaltzustand beendet wird, sobald sich der Messwert (931, 932) eines an mindestens einem Flächen-Wärmeabgabemodul (31, 32) angelegten Oberflächentempersors (831, 832) um einen vorgegebenen Wert (DTCS) geändert hat und
  - die jeweils nachfolgende Ausschaltzeit (ta5, ta6, ta7) so berechnet wird, dass das Einzelpuls-Tastverhältnis (9543T) den vom PID-Resultatsignal (953) oder Leistungsanforderungssignal (959) angeforderten Wert annimmt.



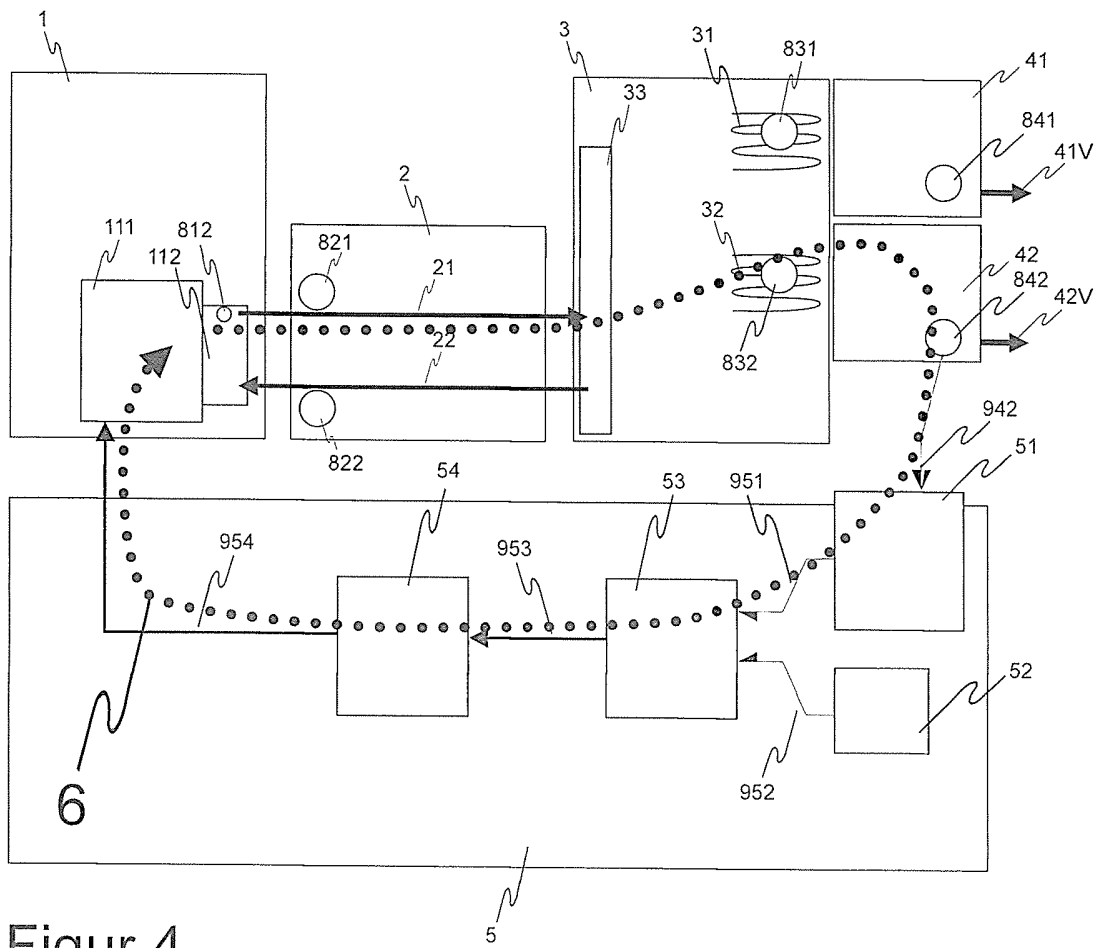
Figur 1



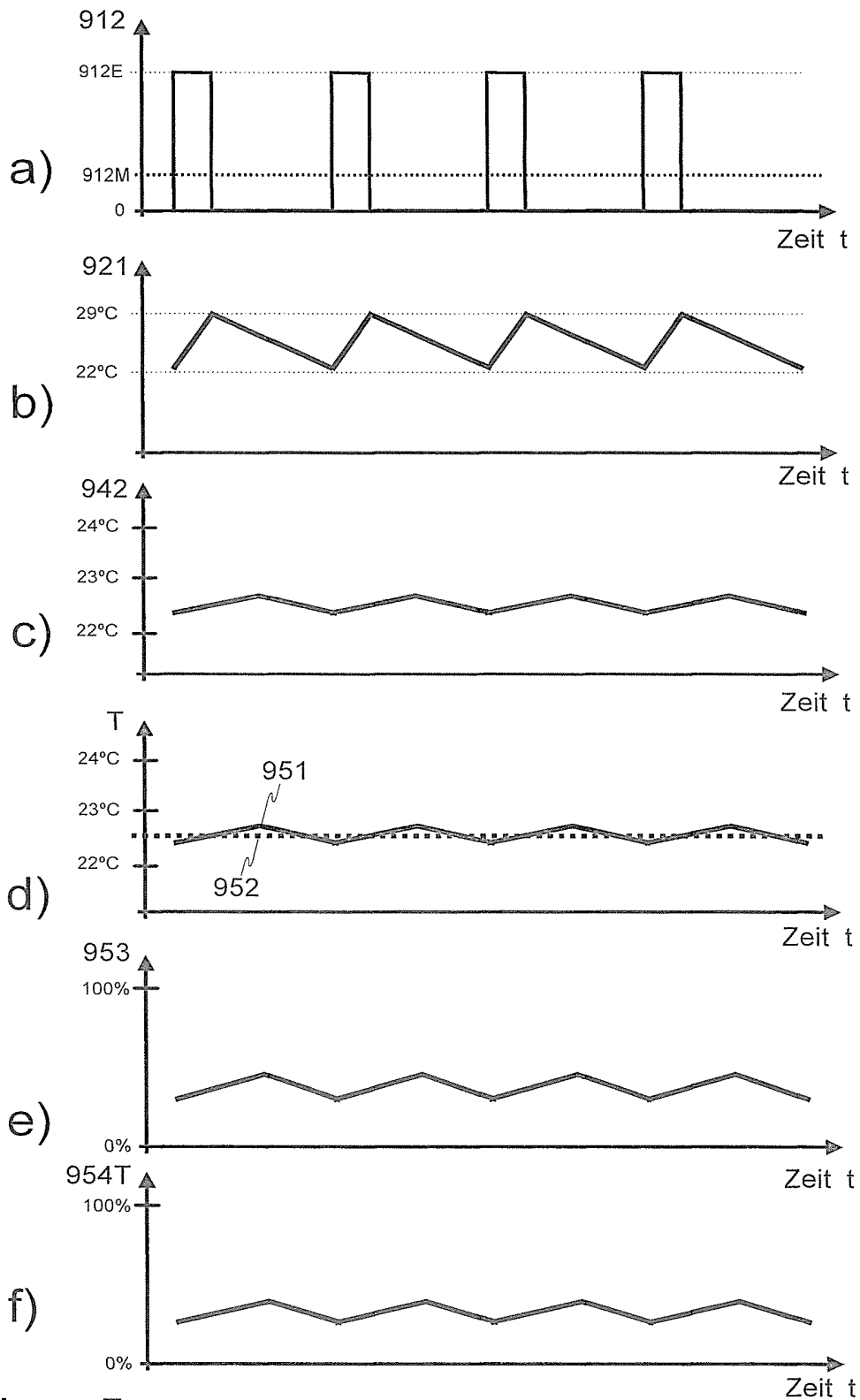
Figur 2



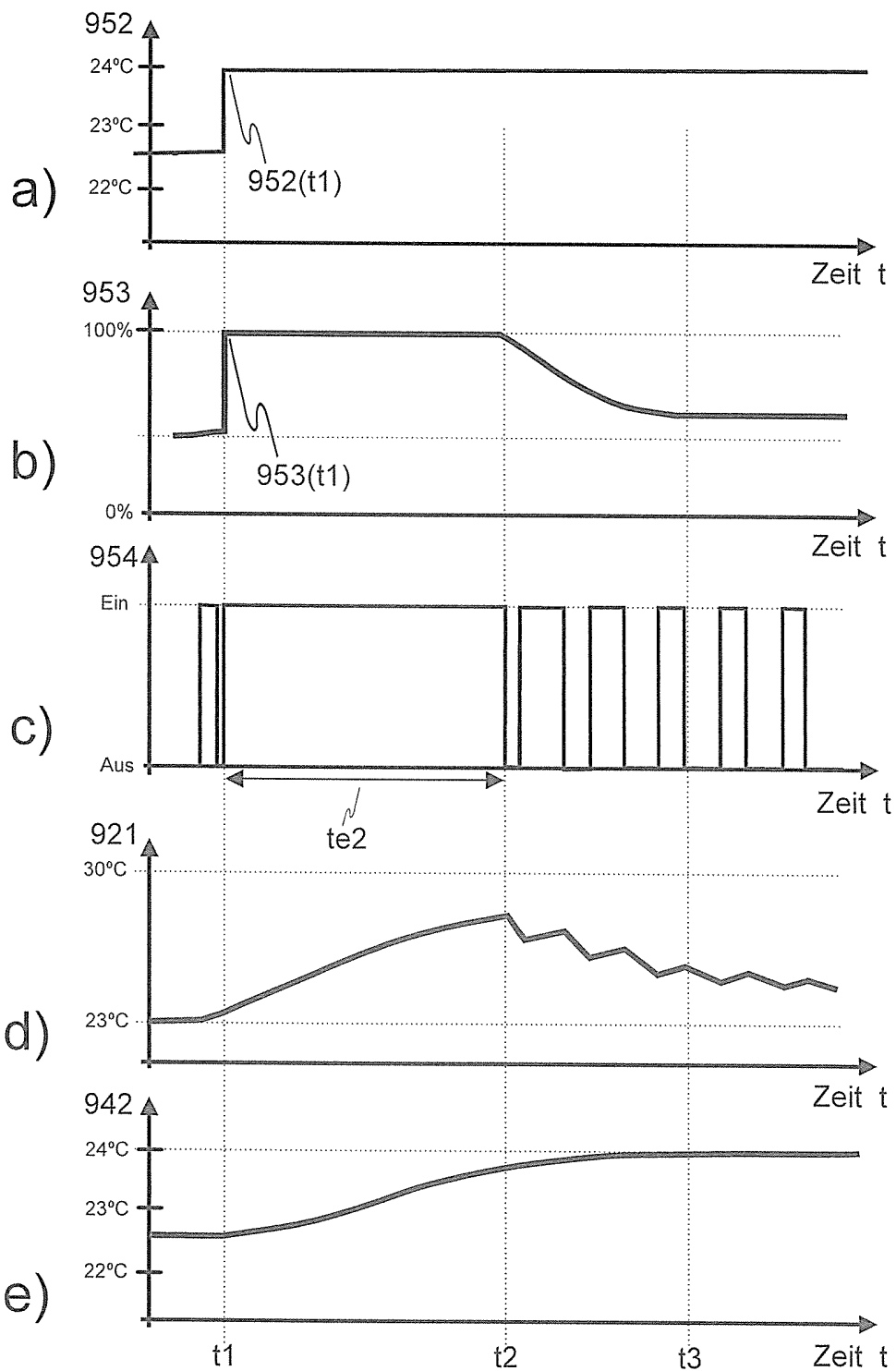
Figur 3



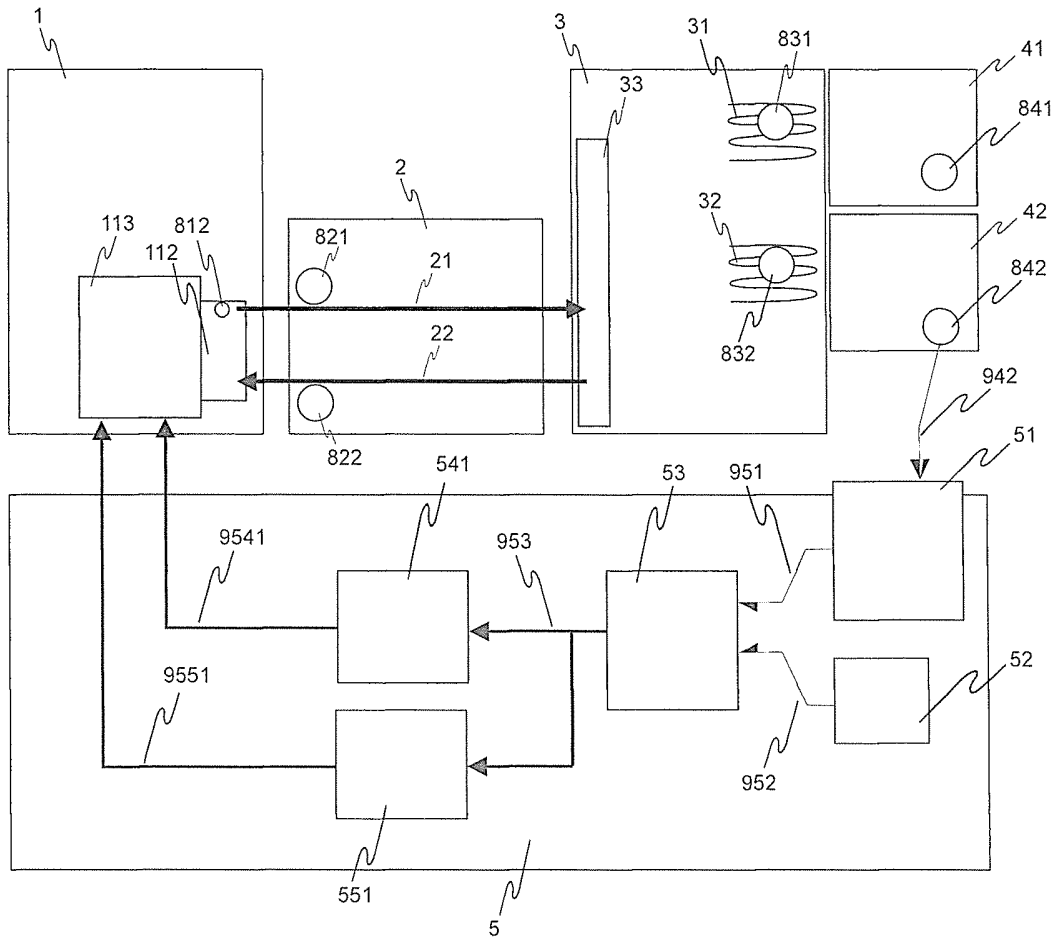
Figur 4



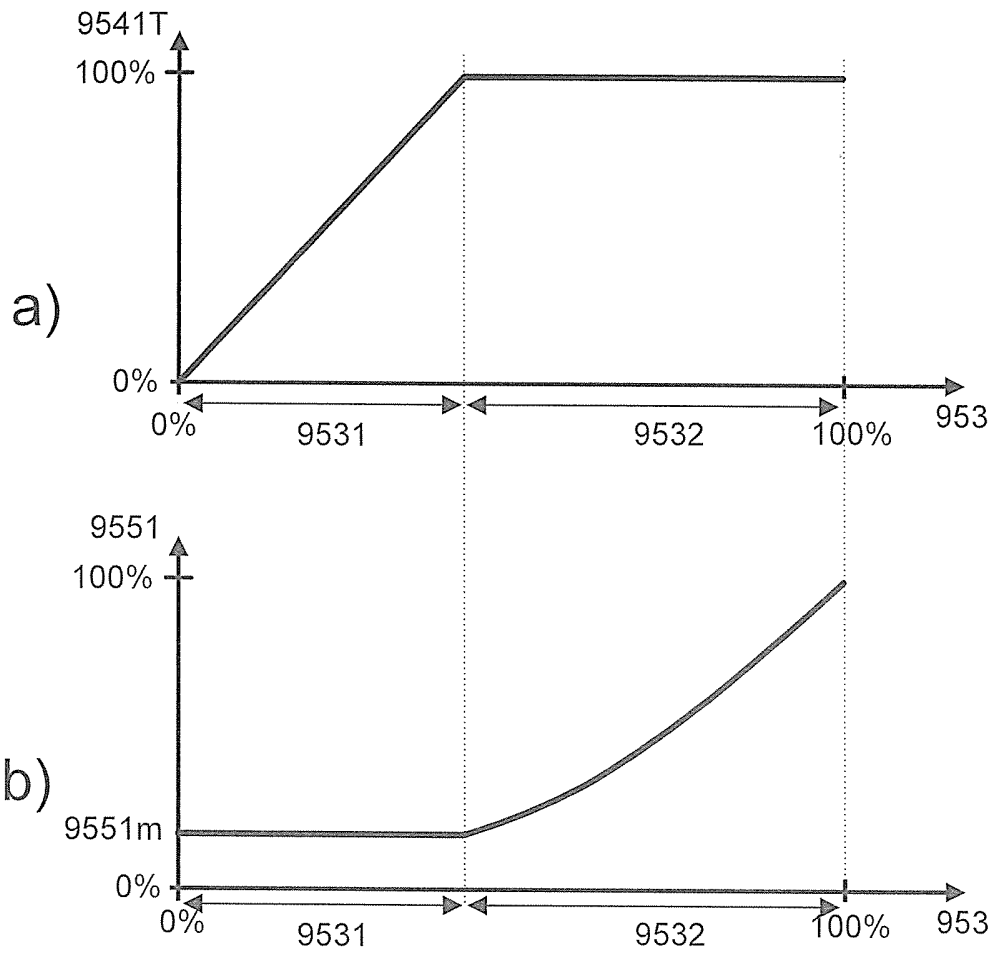
Figur 5



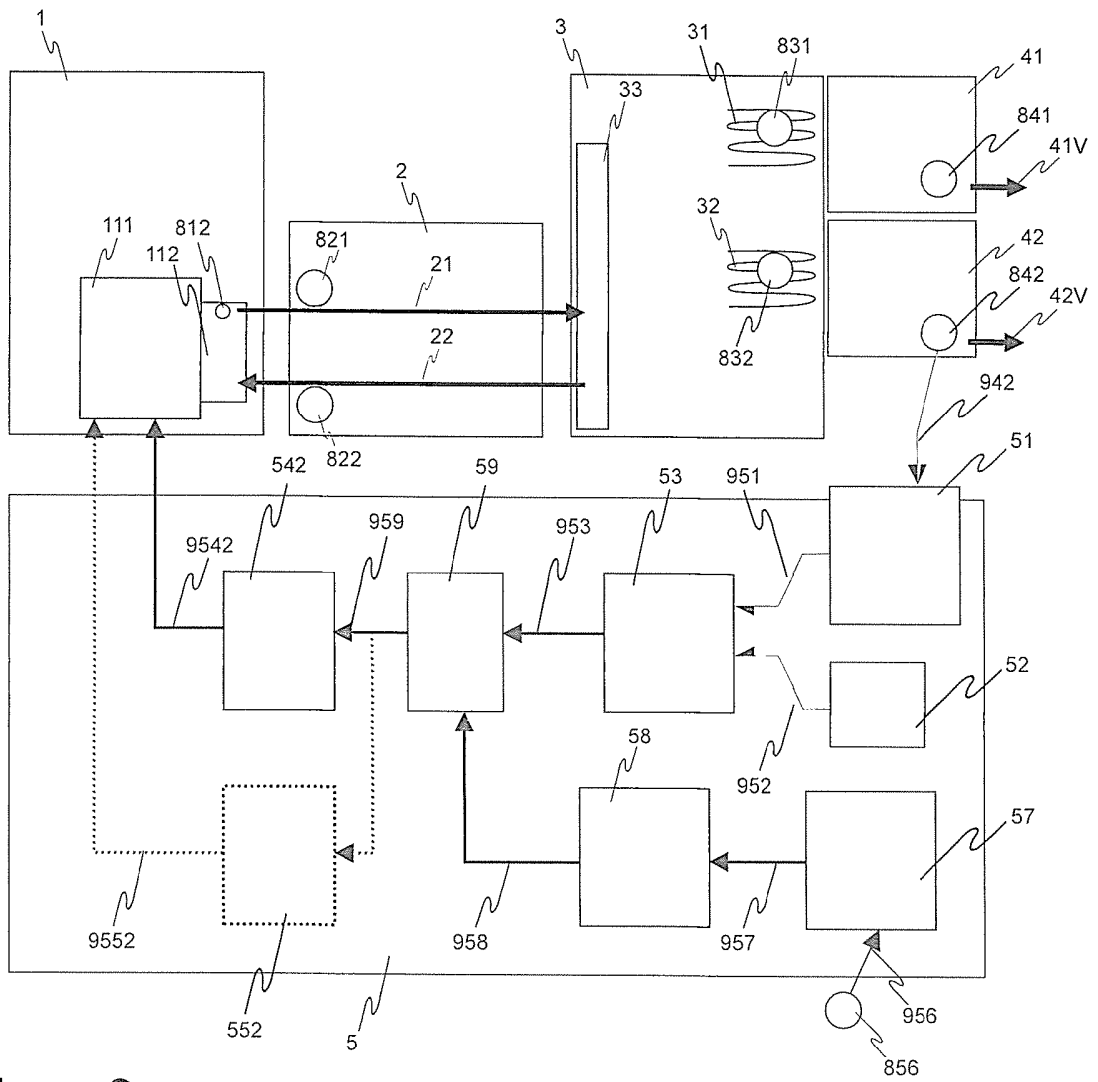
Figur 6



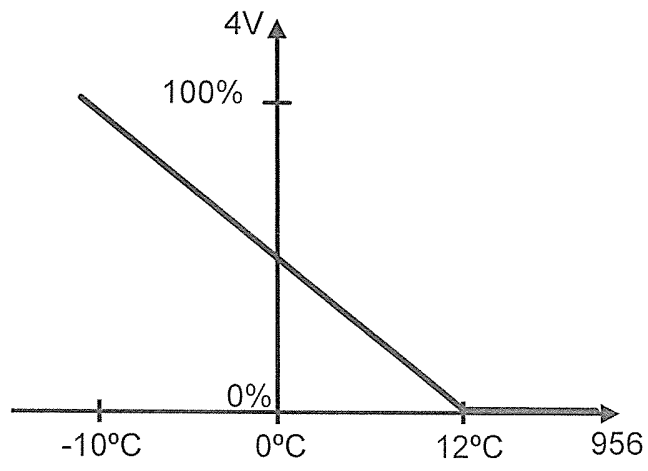
Figur 7



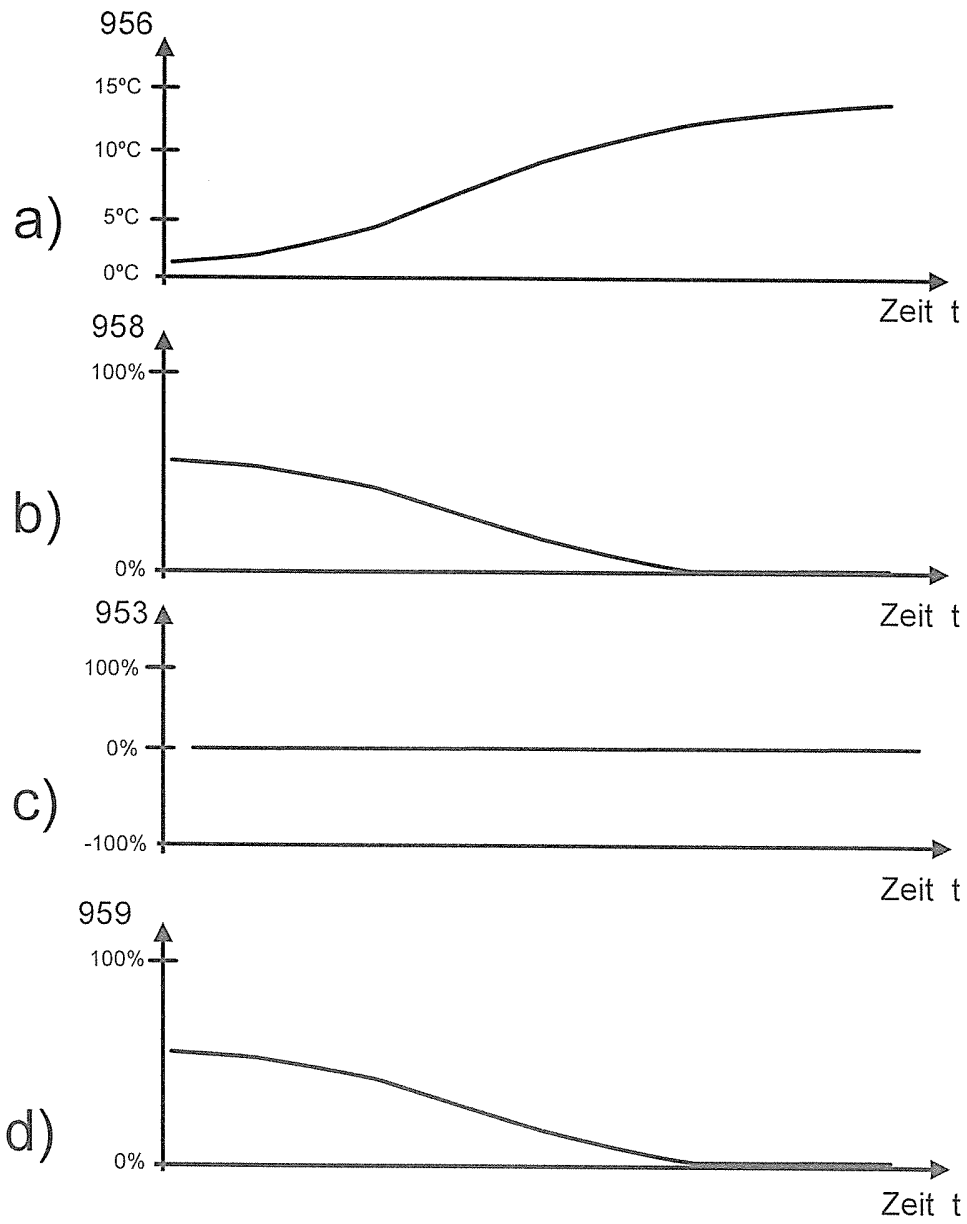
Figur 8



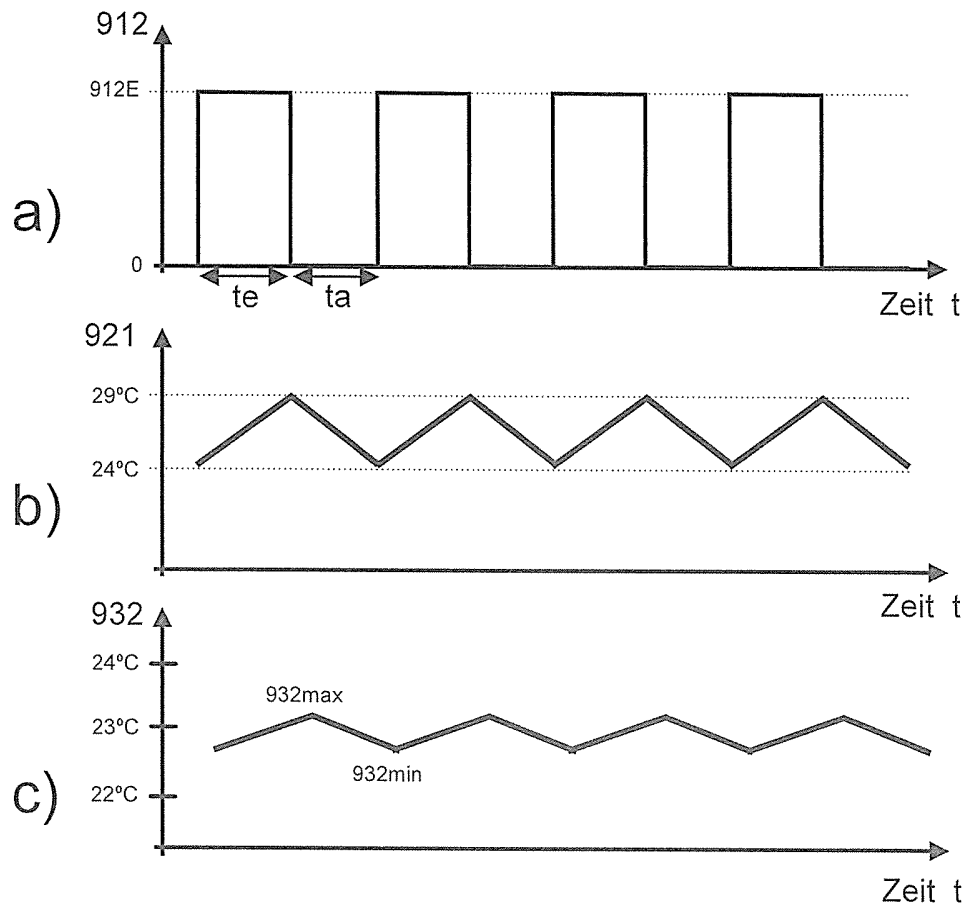
Figur 9



Figur 10

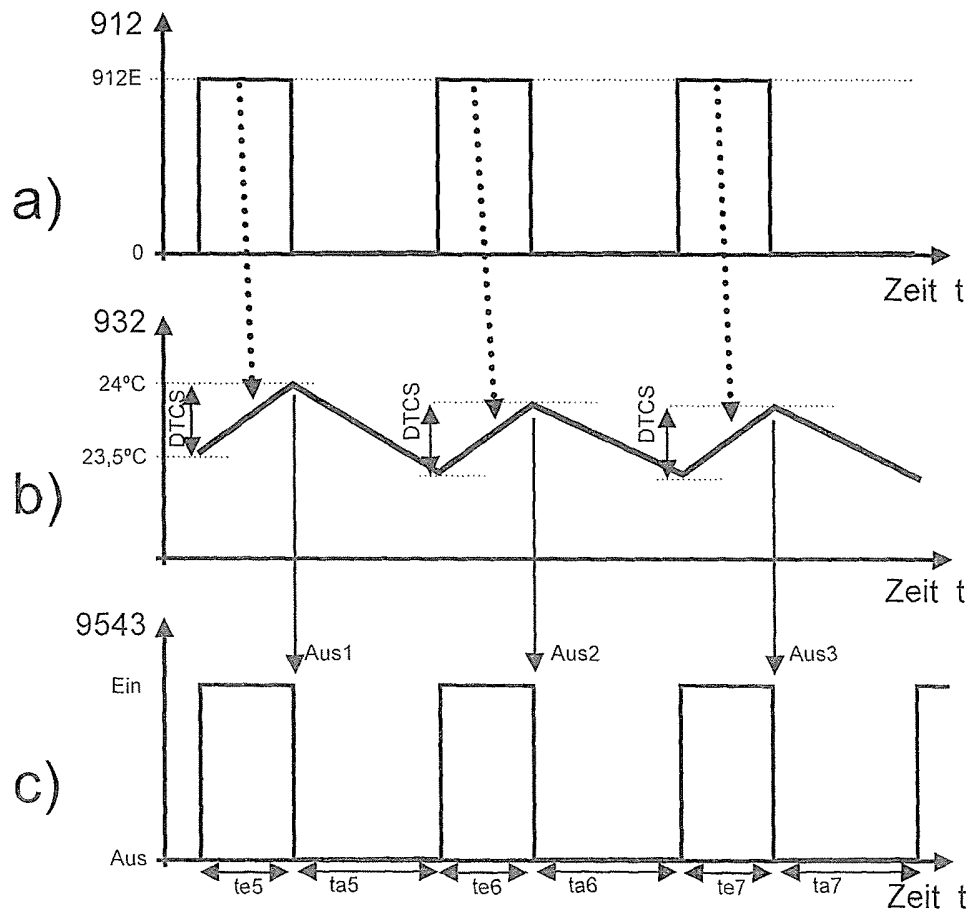


Figur 11



Figur 12





Figur 14