



(11) **EP 4 446 660 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

- (43) Veröffentlichungstag:
16.10.2024 Patentblatt 2024/42

(21) Anmeldenummer: **24169717.6**

(22) Anmeldetag: **11.04.2024**
- (51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F24D 3/08 ^(2006.01) **F24D 3/18** ^(2006.01)
F24D 19/10 ^(2006.01) **F24H 15/152** ^(2022.01)
F24H 15/156 ^(2022.01) **F24H 15/254** ^(2022.01)
F24H 15/258 ^(2022.01) **F24H 15/262** ^(2022.01)
F24H 15/269 ^(2022.01)

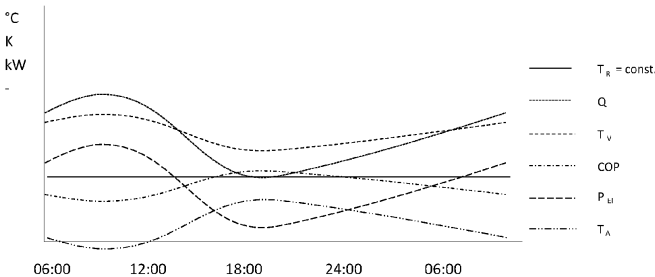
(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F24D 3/18; F24D 3/08; F24D 19/1039;
F24D 19/1072; F24H 15/152; F24H 15/156;
F24H 15/254; F24H 15/258; F24H 15/262;
F24H 15/269

(84) Benannte Vertragsstaaten: AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR Benannte Erstreckungsstaaten: BA Benannte Validierungsstaaten: GE KH MA MD TN (30) Priorität: 11.04.2023 DE 102023109037 (71) Anmelder: Vaillant GmbH 42859 Remscheid NRW (DE) (72) Erfinder: • Popp, Carsten 42897 Remscheid (DE)	• Polheim, Oliver 42499 Hückeswagen (DE) • Engelmann, Tim 42929 Wermelskirchen (DE) • Lühr, Tobias 58089 Hagen (DE) • Riegner, Ron 58456 Witten (DE) (74) Vertreter: Popp, Carsten Vaillant GmbH IR-IP Berghauser Straße 40 42859 Remscheid (DE)
--	--

(54) **COP-OPTIMIERTE VORLAUFTEMPERATURREGELUNG FÜR EINE WÄRMEPUMPE**

- (57) Verfahren zur Optimierung des Wirkungsgrades im Heizbetrieb einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe, die in einem Gebäude aufgestellt ist und dieses mittels eines Heizkreislaufs beheizt, wobei eine Schätzung der benötigten Wärmeenergie, eine Schätzung des er-
- warteten Temperaturverlaufs, eine Ermittlung der Kurve des Wirkungsgrad-optimalen Vorlauftemperaturverlaufs, und eine Einstellung der ermittelten Vorlauftemperaturkurve für ein Bezugszeitfenster erfolgen.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Regeln der Vorlauftemperatur bei von Wärmepumpen beheizten Gebäude-Heizkreisläufen.

[0002] Konventionell wird bei mittels Wärmepumpen beheizten Gebäuden die Vorlauftemperatur des Heizkreislaufes, beispielsweise einer Fußbodenheizung, über ein Gebäudemodell, dargestellt durch eine Heizkurve, aus der Außentemperatur ermittelt. Über die Steigung und gegebenenfalls einen Offset wird die Heizkurve an die Eigenschaften des Gebäudes und des Heizkreises angepasst, entsprechender Stand der Technik wird in der DE 33 00 082 A1 beschrieben.

[0003] Dadurch kann bei unterschiedlichen Außentemperaturen eine gleichbleibende Innentemperatur erreicht werden. Störgrößen durch Fremdwärmequellen wie Sonneneinstrahlung, elektrische Verbraucher und ähnliche können mittels Raumthermostaten kompensiert werden. Die Heizkurve ist dann optimal eingestellt, wenn die vorgegebene Raumtemperatur auch ohne Mitwirkung der Raumthermostate erreicht wird.

[0004] Ein solches Verfahren wird als "Komfort-Lenkung" bezeichnet und ist in der Lage, stets die gewünschte Raumtemperatur genau einzuhalten. Praktisch bedeutet eine solche Sollwertvorgabe für die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur nach einer fest vorgegebenen Heizkurve, dass im Tagesverlauf genau dann die höchsten Vorlauftemperaturen eingestellt werden, wenn die Außentemperaturen am niedrigsten sind.

[0005] Für Wärmepumpen existieren eine Vielzahl von Wirkungsgraddefinitionen, je nach Aufgabenstellung. Im einfachsten Fall soll Umgebungswärme von einem niedrigen Niveau auf Heizwärme eines höheren Niveaus gebracht werden. Hierfür ist die Leistungszahl, auch als COP (Coefficient of Performance) bekannt, von besonderer Bedeutung. Die Leistungszahl kann auf die Enthalpien des Arbeitsfluids bezogen werden oder auf das Verhältnis von Nutzwärme zu aufgewendeter elektrischer Energie, wobei in letzterem Fall die Frage im Raum steht, welche der Nebenaggregate mitzuzumieren sind, etwa die Umwälzpumpen der Warmwasserheizung, die bei niedrigeren Vorlauftemperaturen für dieselbe Heizleistung mehr Energie zur Umwälzung benötigen als für höhere Vorlauftemperaturen. Zu unterscheiden ist auch die Leistungszahl für Vollast, für Nennlast und für Teillast. In komplizierten Fällen sind mehrere Nutzfälle für verschiedene Wärmeabgaben und Kälteabgaben zu bewerten. Es ist dabei das Ziel jeder Regelung, die höchstmögliche Leistungszahl zu erreichen, bei der ein stabiler Betrieb noch möglich ist.

[0006] Die Leistungszahl bezieht sich auch auf die Betriebstemperaturen bei der Auslegung hinsichtlich der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen sowie der Medien. Allgemein wird angenommen, dass die Rücklauftemperatur im Heizkreislauf fünf Grad Kelvin niedriger liegt als die Vorlauftemperatur, ist die Wärmequelle ein Solekreislauf, wird mit einer Abkühlung der Sole um drei Grad Kelvin gerechnet. Aufgrund der Vielzahl möglicher Randbedingungen und ihrer Dynamik bei schnellen Änderungen ist es schwierig, die höchstmögliche Leistungszahl für den jeweiligen Betriebsfall genau zu bestimmen und damit zu überprüfen, wieviel Optimierungspotenzial jeweils überhaupt noch besteht.

[0007] Das theoretisch mögliche Optimierungspotenzial ergibt sich aus dem Kehrwert des Carnot-Prozesses für stationäre oder quasi-stationäre Betriebsfälle aus dem Quotienten der Vorlauftemperatur und der Differenz von Vorlauftemperatur und der Temperatur der Wärmequelle, jeweils in Absoluttemperaturen. Das Verhältnis der tatsächlich erreichten Leistungszahl zur theoretisch möglichen Leistungszahl wird als Gütegrad bezeichnet. In diesen Gütegrad gehen die oben genannten Verluste für die elektrischen Maschinen, die Temperaturdifferenzen in den Wärmetauschern, der Drosselverlust im elektronisch geregelten Expansionsventil sowie vor allem die Überhitzung im Verdampfer ein. Bezüglich des Drosselverlusts und dem elektrischen Energieverbrauch der Maschinen bestehen im Betrieb kaum Freiheitsgrade der Optimierung.

[0008] Wirkungsgrad, COP-Wert und Leistungszahl von Wärmepumpen sind in hohem Maße abhängig vom Temperaturhub, also im Fall einer die Wärme der Außenluft nutzenden Luft/Wasser-Wärmepumpe von der Differenz zwischen Vorlauftemperatur und Außentemperatur. Der COP ist dann ungünstig, wenn ein hoher Temperaturhub erzeugt wird.

[0009] Ein typisches Beispiel ist die Wärmepumpe "AroTHERM plus" von Vaillant. Für eine Vorlauftemperatur von 35 Grad ist der COP bei einer Außentemperatur von Minus 7 Grad Celsius 2,7, bei Plus 2 Grad Celsius Außentemperatur ist der COP 4,6, bei 7 Grad Celsius Außentemperatur ist der COP 5,4 und bei 10 Grad Celsius Außentemperatur ist der COP 5,7.

[0010] Dadurch entsteht ein Dilemma: Durch die Heizkurve wird bei Luft/Wasser-Wärmepumpen im Tagesverlauf die meiste Wärmemenge mit relativ ungünstigen COP-Werten erzeugt. Es wird immer dann besonders viel Wärme angefordert, wenn der Temperaturhub besonders groß ist. Die Heizkurve sorgt dafür, dass die dem Gebäude zugeführte Wärmeleistung der Verlustleistung des Gebäudes an die Umgebung aufgrund der niedrigeren Außentemperatur entspricht und die Temperatur im Gebäude somit stets konstant bleibt.

[0011] Der Wirkungsgrad, mit der die Wärmepumpe thermische Energie bereitstellt, hängt auch von der Kompressor-drehzahl, also von der Auslastung des Kompressors, ab. In der konventionellen Regelung reagiert das System jedoch nur auf einen unmittelbaren thermischen Bedarf, sodass das Potential, in kosten- oder energieeffizienten Zeitfenstern zu heizen, ungenutzt bleibt.

[0012] Daher soll das Zuführen der Wärmeleistung zeitlich von der Verlustleistung entkoppelt und die Wärmeleistung bevorzugt dann zugeführt werden, wenn vorteilhafte COP-Werte zu erwarten sind. Dabei wird bewusst in Kauf genom-

men, dass die Temperatur im Gebäude nicht mehr konstant bleibt. Die Erfindung macht sich dabei die Tatsache zunutze, dass innerhalb bestimmter Grenzen Temperaturschwankungen nicht als unkomfortabel empfunden werden. So sind Abweichungen von 0,5 K nach oben oder unten akzeptabel.

[0013] Darüber hinaus macht sich die Erfindung die Tatsache zunutze, dass moderne Gebäude sehr gut gedämmt sind und bei einer gegebenen Gebäudemasse angesichts Betondecken und massiven Wänden eine große thermische Trägheit haben. Es kann also eine gewisse thermische Energiemenge vom Gebäude gespeichert bzw. -entzogen werden, ohne dass dies zu unkomfortablen Temperaturschwankungen führt. Wichtig ist nur, dass über den Tag gesehen die zugeführte Wärmeenergie gleich der Verlustenergie ist.

[0014] Bei Wärmepumpen, die mit elektrischer Energie betrieben werden, tritt oft der Fall ein, dass diese elektrische Energie aus dem allgemeinen Stromnetz Preisschwankungen unterworfen ist, was mit der Verfügbarkeit von günstigem Strom aus regenerativen Quellen wie Photovoltaik und Windenergie verbunden ist, ferner mit der lokalen Netzauslastung, die oft von der Gleichzeitigkeit aller angeschlossenen Nutzer übermäßig hoch gefordert wird, wenn beispielsweise auch noch Strom für das Laden von Fahrzeugen angefordert wird. Dies umfasst auch kostenlosen Strom aus photovoltaischer Eigenproduktion sowie Strom aus möglicherweise installierten Brennstoffzellen, die mit Wasserstoff, Methanol oder Methylformiat betrieben werden können.

[0015] Eine weitere Einflussgröße ist die Verfügbarkeit von günstigen Wärmequellen. Während in herkömmlichen Wärmepumpensystemen in der Regel Umgebungsluft und Erdwärme als Wärmequellen genutzt werden, können auch Abwärme aus Maschinen und Rechenzentren sowie Anteile aus Niedertemperaturfernwärme als Wärmequellen genutzt werden. Bei letzterer vor allem dann, wenn die primären Nutzer ihre Nutzwärme bereits überwiegend entnommen haben und nur noch Restwärme auf relativ niedrigem, für direkte Heizzwecke nicht mehr nutzbarem Niveau verfügbar ist, während aber Wärme auf höherem Niveau gegenüber dem der Umwelt entnehmbaren Niveau zur Verfügung steht. Dies verringert den notwendigen Temperaturhub und kann den COP entsprechend erhöhen. Das setzt aber Flexibilität voraus, da diese Wärmequelle nur dann genutzt werden kann, wenn sie gerade günstig zur Verfügung steht.

[0016] Für solche mathematischen Optimierungsverfahren ist es nötig, zunächst ein Machine-Learning-Modell (ML-Modell) auf Basis von historischen Daten des elektrischer Energieverbrauchs, der thermischen Energiebereitstellung, der Wetterdaten, der Wunschtemperatur und der tatsächlichen Temperatur verschiedener Systeme über den Zeitraum mehrerer Heizperioden zu trainieren. Je nach Verfügbarkeit können auch Trainingsdaten für unregelmäßig zur Verfügung stehenden Wärmequellen in dieses ML-Modell einfließen und mittrainiert werden.

[0017] Dieses ML-Modell liefert dann auf Basis der tatsächlich gemessenen Daten eines spezifischen Systems aus den letzten 24h, also dem tatsächlichen Energieverbrauch, der tatsächlich bereitgestellten thermischen Energiemenge, den Wetterdaten, der Innentemperatur, der Wunschtemperatur, eventuell auch dem Warmwasserbedarf, und der Wetterprognose für den nächsten Tag am Standort des Systems wie dem Außentemperaturverlauf, dem Bewölkungsgrad und dem Wind eine Vorhersage über den Energieverbrauch bzw. der benötigten thermischen Energie der nächsten 24h dieses Systems.

[0018] Im nächsten Schritt wird basierend auf einer Außentemperaturprognose für den Standort des Systems ermittelt, zu welchen Zeiten die Wärmepumpe mit welchem Wirkungsgrad elektrische Energie in thermische Energie wandelt. So kann basierend auf einem konstanten oder auch variablen Strompreis bestimmt werden, zu welchen Zeiten welche Kosten mit der Erzeugung thermischer Energie verbunden wären unter der Annahme, dass die Energie zum jeweiligen Zeitpunkt erzeugt wird und die dann gültigen Kosten anfallen würden.

[0019] Zur Erreichung eines solchen Ziels lehrt die DE 10 2018 116 845 A1 ein Verfahren zum Betreiben einer Wärmepumpe, die dazu ausgelegt ist, thermische Energie für die Beheizung eines Gebäudes zu erzeugen. Das dort beschriebene Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Wärmepumpe unter Zuhilfenahme einer prädiktiven Regelung so betrieben wird, dass sie zumindest zeitweise eine dem aktuellen Heizenergiebedarf überschreitende Menge an thermischer Energie erzeugt, um gezielt eine zeitliche Verschiebung des Bezuges von der Wärmepumpe benötigter elektrischer Energie zu bewirken. Hierbei werden zwei Planungsstufen vorgenommen, nämlich einer Einsatzplanung ohne Berücksichtigung des Gebäudes als Speicher und Vernachlässigung von Verlusten, und Berücksichtigung geplanter Vorlauftemperaturen und Verlusten der technischen Speicher.

[0020] Hierbei werden in der DE 10 2018 116 845 A1 zuerst aktuelle Messdaten eingelesen, dann erfolgt das Berechnen der aktuellen Speicherstände und des Heizenergiebedarfs, dann werden die möglichen Betriebsmodi der Wärmepumpe und deren COP ermittelt. Aus dem Preisbezogenen COP, der aus dem Quotienten aus COP und Preissignal darstellt, wird nachfolgend die Bewertung der Einsatzmöglichkeiten der Wärmepumpe herangezogen. Der größte preisbezogene COP stellt dann den besten Betriebspunkt innerhalb des Planungshorizonts dar. Dann findet eine Einsatzplanung unter Berücksichtigung aller Einflussgrößen statt.

[0021] Hierin unterscheidet sich die Lehre der DE 10 2018 116 845 A1 von der Erfindung deutlich, denn der COP wird nicht als Führungsgröße der Wärmepumpenregelung verwendet. Das hat zur Folge, dass die Gebäudeparameter genau ermittelt und aktuell gehalten werden müssen und dass es außerdem nicht möglich ist, Abwärme oder Restwärme aus externen Quellen einzubinden.

[0022] Auch hier setzt danach der Optimierungsprozess ein, und es wird mit diesen Informationen ein Plan für den

elektrischen Verbrauch der Wärmepumpe erstellt und durch schrittweise Variation so optimiert, dass eine Minimierung der Gesamtkosten zur Deckung des thermischen Bedarfs erreicht wird. Hierbei wird auch geprüft, inwieweit auf der Seite der Wärmequelle Wärme auf einem höheren Niveau als es direkt aus der Umwelt gewinnbar ist, genutzt werden kann, um den Temperaturhub zu verringern und damit den COP zu verbessern, was einen geringeren Bedarf an elektrischer Energie zur Folge hat. Bei einer Einbindung von Restwärme findet hierbei eine automatische Minimierung der Gesamtkosten statt, ohne dass diese vorher ermittelt werden oder auch nur in ihrem Ausmaß bekannt sein muss, da bei einer COP-Führung der optimale Punkt selbsttätig gefunden wird.

[0023] Für diese Optimierung wird ebenfalls berücksichtigt, dass der Wirkungsgrad der Wärmepumpe bei konstanter Außentemperatur ein Maximum bei einer bestimmten Auslastung besitzt, die verschieden von der minimalen und von der maximalen Auslastung ist. Weiter wird die aus der kostenoptimierten Leistungsverteilung resultierende Vorlauftemperatur über das Modell ermittelt und der verwendete COP entsprechend korrigiert. Der optimierte elektrische Verbrauchsplan, der die geringsten Gesamtkosten bedingt, wird dann dazu verwendet, die Wärmepumpe zu betreiben, was mit bekannten mathematischen Modellen erfolgt.

[0024] Im Einzelnen werden die folgenden Ergänzungen vorgenommen. Im Fall einer Solaranlage wird die erwartete Sonneneinstrahlung für die nächste Periode prognostiziert und als Prognose von kostenloser selbst erzeugter Energie im Strompreis mitberücksichtigt. Es wird dabei berücksichtigt, dass der COP-Wert nicht nur von der Umgebungstemperatur, sondern auch von der Kompressorauslastung und der Vorlauftemperatur abhängt, wobei diese ein mehrdimensionales Kennfeld bilden. Im Falle der Verwendung von Restwärme oder Abfallwärme kann hierbei die Umgebungstemperatur rechnerisch erhöht werden, wobei die Umgebungstemperatur sowohl in die unvermeidlichen Wärmeverluste des zu beheizenden Gebäudes als auch in die Lufttemperatur der Wärmequelle eingeht, sofern Umgebungsluft als Wärmequelle zum Einsatz kommt.

[0025] Die Aufgabe der Erfindung ist daher, über den Tagesverlauf den mittleren COP-Wirkungsgrad zu optimieren und auf diese Weise elektrische Energie für den Betrieb der Wärmepumpe zu sparen. Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Regelung einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe bei gleichzeitiger Optimierung des Wirkungsgrades im Heizbetrieb einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe, die in einem Gebäude aufgestellt ist und dieses mittels eines Heizkreislaufs beheizt, indem

- eine Festlegung der zulässigen Raumtemperaturschwankungsgrenzen des Gebäudes,
- eine Schätzung der benötigten Wärmeenergie des Gebäudes und seinen Nutzern,
- eine Schätzung des erwarteten Außentemperaturverlaufs,
- eine Ermittlung der Kurve des Wirkungsgrad-optimalen Vorlauftemperaturverlaufs,
- eine Einstellung der ermittelten Vorlauftemperaturkurve

für ein Bezugszeitfenster so erfolgen, dass die benötigte Wärmeenergie dem Gebäude und seinen Nutzern zugeführt wird, und der COP ermittelt wird und dieser COP als Führungsgröße für die Regelung der Wärmepumpe verwendet wird.

[0026] Praktisch geschieht die eine Ermittlung der Kurve des Wirkungsgrad-optimalen Vorlauftemperaturverlaufs so, dass innerhalb des Bezugszeitfensters unter Einhaltung der Rahmenbedingungen wie benötigte Wärmeenergie, Außentemperaturverlauf und zulässige Raumtemperaturschwankung die aufgenommene elektrische Energie der Wärmepumpe, vor allem die des Kompressors der Wärmepumpe, minimal ist.

[0027] Anstelle der herkömmlichen "Komfort-Lenkung" tritt dann eine "COP-Lenkung". Hierbei sind verschiedene Moden möglich, die alternativ oder additiv eingestellt werden können. Varianten betreffen das zu wählende Bezugszeitfenster. In einer ersten Variante wird der Folgetag als Basis gewählt. Sowohl die Schätzungen der benötigten Wärmeenergie als auch der zu erwartende Temperaturverlauf werden aus den Wetter-Vorhersagedaten des folgenden Tages bezogen und die Ermittlung und Einstellung der Vorlauftemperatur folgt diesen Daten.

[0028] In einer zweiten Variante wird ein rollierendes Bezugszeitfenster gewählt, beispielsweise können dies die folgenden 24 Stunden sein. Wenn die Nutzer eine ausgeprägte Wochencharakteristik aufweisen, etwa in einem Wochenendhaus oder als Pendler einer Wohnung in der Nähe eines Arbeitsplatzes, die nur während der Arbeitswoche bewohnt wird, kann als dritte Variante auch eine Woche als rollierende Bezugszeitfenster gewählt werden. Im Idealfall wird eine gewichtete Überlagerung dieser Varianten gewählt.

[0029] Der Verlauf der Kurve des COP-optimalen Vorlauftemperaturverlaufs muss berechnet werden, wobei ein Optimierungsverfahren zum Einsatz kommt. Hierbei werden die Wärmemengen aus den zeitlichen Verläufen der Wärmeströme durch Integration über die Zeit bestimmt. Der Zusammenhang zwischen der elektrischen Leistung und dem Wärmestrom ergibt sich aus den Kenngrößen der Wärmepumpe. Der Zusammenhang zwischen dem Wärmestrom und dem Vorlauftemperaturverlauf ergibt sich aus den Heizkreis- und Gebäudekennwerten in Verbindung mit der Außentemperatur. Dem Fachmann sind mathematische Optimierungsverfahren bekannt, mit denen sich ein optimaler Tages-Vorlauftemperaturverlauf generieren lässt.

[0030] Beispielsweise kann eine lineare Abhängigkeit des COP vom Temperaturhub angenommen werden, wobei der Temperaturhub der zwischen Wärmequelle und Wärmesenke ist. Bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe hat die Wär-

mequelle Außentemperatur und die Wärmesenke ist die Vorlauftemperatur. Diese vereinfachte Annahme führt dazu, dass über den Tagesverlauf der Temperaturhub konstant ist. Mittels der für den Tagesverlauf prognostizierten, weil benötigten Energie wird der Betrag des Temperaturhubs ermittelt. Daraus ergibt sich der zeitliche Verlauf der Vorlauftemperatur. Der Betrag des Temperaturhubs kann entweder über ein Gebäudemodell direkt berechnet werden oder der Verlauf der Vorlauftemperatur wird so lange erhöht, bis die zugeführte Wärmeenergie der erwarteten Verlustenergie entspricht. In diesem Fall kann auch ein lernendes System, etwa auf der Basis künstlicher Intelligenz, eingesetzt werden.

[0031] Praktisch bedeutet das, dass bei einem Anstieg der Außentemperatur auch die Vorlauftemperatur erhöht wird. Bei einem Absinken der Außentemperatur wird die Vorlauftemperatur entsprechend gesenkt. Das kann dazu führen, dass es mal zu warm und mal zu kalt wird. Aus dieser Abweichung ergibt sich die Notwendigkeit eines Akzeptanzfensters um die Ziel-Raumtemperatur herum.

[0032] In einem anschließenden Verfahrensschritt wird daher geprüft, ob in bestimmten Zeiträumen die Ziel-Raumtemperatur über- oder unterschritten wird. Ist beides der Fall, wird zunächst die Vorlauftemperatur in Zeiträumen, in denen die Ziel-Raumtemperatur überschritten wird, gesenkt und in Zeiträumen, in denen sie unterschritten wird, energetisch betrachtet um das gleiche Maß angehoben. Der Temperaturhub wird also auf der einen Seite verringert und auf der anderen Seite erhöht.

[0033] Verbleibt danach eine einseitige Über- oder Unterschreitung, so wird diese dadurch ausgeglichen, dass der Wert für den Temperaturhub für die Unter- bzw. Überschreitung, also entgegengesetzt, sukzessive verringert wird und wie oben beschrieben verfahren wird, bis keine Über- oder Unterschreitung mehr vorliegt.

[0034] In einer Ausgestaltung der Erfindung werden die Raumtemperaturregler so beeinflusst, dass kein Regeleingriff erfolgt, wenn die Raumtemperatur innerhalb eines vordefinierten Raumtemperatur-Akzeptanzfensters liegt, welches eine zulässige Differenztemperatur zur Raumtemperatur nach oben und eine nach unten aufweist. Das Raumtemperatur-Akzeptanzfenster ist die Summe der beiden Differenztemperaturen.

[0035] In einer weiteren Ausgestaltung wird die Raumtemperatur des Gebäudes in mindestens einem als Referenzraum definierten Ort kontinuierlich gemessen und bei Abweichungen von der erwarteten Ziel-Raumtemperatur die zugeführte Heizenergie so verändert, dass die tatsächliche Raumtemperatur an die erwartete Ziel-Raumtemperatur innerhalb des Raumtemperatur-Akzeptanzfensters angeglichen wird.

[0036] In einer weiteren Ausgestaltung wird ein asymmetrisches Raumtemperatur-Akzeptanzfenster um die Raumtemperatur herum gelegt. Hierbei können die Nutzer bestimmen, inwiefern Abweichungen von der Wunschtemperatur nach oben oder unten akzeptabel sind, wobei die tolerierten Abweichungen verschieden sind.

[0037] In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgesehen, dass die elektrisch betriebene Wärmepumpe zusätzlich einen Brauchwasserspeicher mit einer Brauchwasser-Vorlauftemperatur erwärmt, wobei

- eine Schätzung der benötigten Brauchwasser-Wärmeenergie,
- eine Schätzung des erwarteten Außentemperaturverlaufs,
- eine Ermittlung der Kurve des Wirkungsgrad-optimalen Brauchwasser-Vorlauftemperaturverlaufs für die Brauchwasserspeichererwärmung

für das Bezugszeitfenster so erfolgen, dass die benötigte Brauchwasser-Wärmeenergie dem Brauchwasserspeicher zugeführt wird.

[0038] In

[0039] Die Schätzung der benötigten Brauchwasser-Wärmeenergie basiert dabei auf einer Analyse des Benutzerverhaltens oder kann von den Benutzern vorgegeben werden. Dabei ist es zweckmäßig, die Wärme für Brauchwasser immer dann abzunehmen, wenn rechnerisch eine Überschreitung des Akzeptanzfensters der Raumtemperatur bevorstehen würde, typischerweise also dann, wenn die Außentemperatur ihr Maximum erreicht.

[0040] Die Erfindung wird anhand von Beispielen in den Fig. 1 bis Fig. 7 näher erläutert, bei denen die Fig. 1 bis Fig. 5 jeweils ein 24-Stunden-Intervall beginnend morgens um 6 Uhr abbilden. Hierbei zeigen:

Fig. 1: eine Komfort-optimierte Lenkung (ohne Nachtabsenkung),

Fig. 2: eine COP-optimierte Lenkung

Fig. 3: ein Temperaturverlauf mit Über- und Unterschreitung des Akzeptanz-Temperaturfensters

Fig. 4: eine Anpassung des Temperaturvorlaufs

Fig. 5: eine Anhebung der Unterschreitungsgrenze mit vollständigem Ausgleich

Fig. 6: die Abhängigkeit des COP einer Wärmepumpe von der Kompressordrehzahl bei einer Vorlauftemperatur von 30°C

Fig. 7: die Abhängigkeit des COP einer Wärmepumpe von der Kompressordrehzahl bei einer Vorlauftemperatur von 40°C

[0041] Im Folgenden bedeuten:

T_A	Außentemperaturverlauf
T_V	Vorlauftemperaturverlauf
T_R	Raumtemperatur
P_{EI}	Elektrische Leistung
Q	Wärmemenge
Q_{Komfort}	Komfort-Tageswärmemenge
ΔT_R	Differenz zwischen Raumtemperatur und Außentemperatur
ΔT_V	Differenz zwischen Vorlauftemperatur und Außentemperatur (Temperaturhub)
COP	Coefficient of Performance
rps	Kompressordrehzahl

[0042] Fig. 1 zeigt eine Komfort-optimierte Lenkung nach bekanntem Stand der Technik, bei der zur Übersichtlichkeit auf eine Nachtabsenkung verzichtet wird. Auf der y-Achse sind Temperaturen und Energieströme qualitativ aufgetragen, auf der x-Achse ist die Zeit von 6 Uhr an für 24 Stunden gezeigt. In diesem Beispiel sinkt die Außentemperatur T_A zunächst etwas ab, mit Einsetzen des Tageslichts steigt sie bis zum Nachmittag an und fällt dann wieder ab. Wenn die Raumtemperatur T_R konstant gehalten werden soll, muss die Vorlauftemperatur T_V entsprechend erhöht werden. Bis auf die Skalierung verlaufen die Außentemperatur T_A und die Vorlauftemperatur T_V spiegelbildlich zueinander, wobei die Spiegelachse die Raumtemperatur T_R ist.

[0043] Die bereitzustellende Wärme Q ergibt sich aus dem Wärmeverlust, der der Differenz ΔT_R zwischen Raumtemperatur T_R und Außentemperatur T_A proportional ist. Um die Vorlauftemperatur entsprechend anzuheben, muss der Verdichter der Wärmepumpe mit entsprechend mehr elektrischer Energie P_{EI} versorgt werden, daher verlaufen die Kurven der Wärme Q und des Bedarfs an elektrischer Energie P_{EI} parallel zueinander, während sich die Kurven der Temperaturdifferenz ΔT_V zwischen Vorlauftemperatur T_V und Außentemperatur T_A , also dem Temperaturhub, aufspreizen. Dieser Anstieg des Temperaturhubs führt automatisch zu einem Absinken des COP.

[0044] Fig. 2 zeigt eine COP-optimierte Lenkung. Hierbei wird der Temperaturhub so klein wie möglich gehalten. Praktisch bedeutet dies, dass die Temperaturkurven der Außentemperatur T_A und die Vorlauftemperatur T_V möglichst parallel verlaufen, der Temperaturhub ΔT_V bleibt dann ungefähr konstant und bestimmt die gesamte bereitzustellende Wärmemenge Q . Dadurch wird der COP maximiert. Allerdings ist es dann nicht mehr möglich, auch die Raumtemperatur konstant zu halten.

[0045] Daher wird ein Akzeptanzintervall ΔT_R definiert und vorgegeben, der Einfachheit halber wird hier angenommen, dass das Akzeptanzintervall ΔT_R jeweils ein halbes Grad oberhalb und ein halbes Grad unterhalb der Ziel-Raumtemperatur T_R endet. Hierfür wird dann zunächst ermittelt, welche Wärmemenge Q insgesamt zum Ausgleich der Wärmeverluste erforderlich ist. Daraus ergibt sich in Verbindung mit den prognostizierten Temperaturverlaufsdaten der Außentemperatur T_A der erforderliche Verlauf der Vorlauftemperatur T_V und daraus die erforderliche Verdichterleistung P_{EI} und damit der COP. Dieser ist deutlich größer als der in Fig. 1 gezeigte.

[0046] Fig. 3 zeigt, wie bei besonders großen Tagesschwankungen der Außentemperatur T_A die COP-optimierte Regelung über die zum Außentemperaturverlauf T_A parallele Vorlauftemperatur das definierte Akzeptanzintervall ΔT_R der Raumtemperatur T_R früh morgens unterschreitet, als Bereich 1 dargestellt, und am späten Nachmittag überschreitet, als Bereich 2 dargestellt. Gegenüber dem Verlauf der Vorlauftemperatur T_V reagiert die Raumtemperatur T_R etwas verzögert, was auf die thermische Trägheit zurückzuführen ist. Je besser das zu beheizende Gebäude wärmegeklämt ist, desto höher ist die thermische Trägheit und der zeitliche Verzug der Wärmewelle, wobei aber die Amplitude der Wärmewelle in der Regel kleiner ausfällt.

[0047] Fig. 4 zeigt eine Maßnahme der Anpassung der Vorlauftemperatur, die vorzeitig in einem Zeitfenster hoher Außentemperatur erfolgt, hier dargestellt während eines Zeitfensters von 10 bis 15 Uhr, während die Temperaturspitze von 15 bis 22 Uhr ebenso wie der morgendliche Verlauf von 6 Uhr bis 10 Uhr abgeflacht werden.

[0048] Fig. 5 zeigt einen vollständigen Ausgleich nach Anhebung der Unterschreitungsgrenze. Die abgeflachten Verläufe der Vorlauftemperatur werden dabei ausgeweitet, hier dargestellt in den Zeiträumen 6 bis 11 Uhr und 14 bis 23 Uhr. Das Akzeptanzintervall ist dann asymmetrisch zur Ziel-Raumtemperatur und lässt nur geringe Unterschreitung aber dafür größere Überschreitung im Vergleich zu einem symmetrischen Akzeptanzintervall zu. Der COP-Verlust ist dann jeweils nur sehr gering.

[0049] Fig. 6 und Fig. 7 zeigen die Abhängigkeit des COP einer Wärmepumpe von der Kompressordrehzahl rps bei einer Vorlauftemperatur von 40°C bzw. 30°C. Hierbei handelt es sich um ein Kennfeld, welches für jede Wärmepumpe spezifisch ist und die beiden Fig. 6 und Fig. 7 sind entsprechend Schnitte durch das Kennfeld bei zwei ausgewählten Vorlauftemperaturen. Man erkennt, dass der COP-Wert, der die Führungsgröße der Wärmepumpenregelung bildet, im

Bereich geringer Drehzahlen in der Regel größer ist, als bei höheren Drehzahlen. Die Regelung wird also in Richtung des COP-Optimums hin optimieren. Dieser Vorgang ist dabei bei diesem Regelungsmodell unabhängig davon, ob Abfallwärme mitverwendet werden kann oder nicht und ob dies flexibel und kurzfristig erfolgt, denn die COP-Regelung ist hiergegen unempfindlich, im Gegensatz zu üblichen, herkömmlichen Regelungen nach dem Stand der Technik

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe bei gleichzeitiger Optimierung des Wirkungsgrades im Heizbetrieb einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe, die in oder an einem Gebäude aufgestellt ist und dieses mittels eines Heizkreislaufs mit einer Vorlauftemperatur beheizt, wobei

- eine Festlegung der zulässigen Raumtemperaturschwankungsgrenzen des Gebäudes,
- eine Schätzung der benötigten Wärmeenergie des Gebäudes und seinen Nutzern,
- eine Schätzung des erwarteten Außentemperaturverlaufs,
- eine Ermittlung der Kurve des Wirkungsgrad-optimalen Vorlauftemperaturverlaufs,
- eine Einstellung der ermittelten Vorlauftemperaturkurve für ein Bezugszeitfenster so erfolgen, dass die benötigte Wärmeenergie dem Gebäude und seinen Nutzern zugeführt wird

dadurch gekennzeichnet, dass

der COP ermittelt wird und dieser COP als Führungsgröße für die Regelung der Wärmepumpe verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Bezugszeitfenster der Folgetag gewählt, wobei sowohl die Schätzungen der benötigten Wärmeenergie als auch der zu erwartende Temperaturverlauf aus den Wetter-Vorhersagedaten des folgenden Tages bezogen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein rollierendes Bezugszeitfenster von 24 Stunden gewählt wird, wobei sowohl die Schätzungen der benötigten Wärmeenergie als auch der zu erwartende Temperaturverlauf aus den Wetter-Vorhersagedaten des Zeitraums bezogen werden, den das 24 Stunden umfassende Bezugszeitfenster umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein rollierendes Bezugszeitfenster von einer Woche gewählt wird, wobei sowohl die Schätzungen der benötigten Wärmeenergie als auch der zu erwartende Temperaturverlauf aus den Wetter-Vorhersagedaten des Zeitraums bezogen werden, den das Bezugszeitfenster umfasst.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere sich überlagernde, rollierende Bezugszeitfenster verschiedener Zeitspannen überlagert werden, wobei sowohl die Schätzungen der benötigten Wärmeenergie als auch der zu erwartende Temperaturverlauf aus den Wetter-Vorhersagedaten des Zeitraums bezogen werden, den die jeweils rollierenden Bezugszeitfenster umfassen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Temperatur-Akzeptanzfensters für die Raumtemperatur vorgegeben wird, die Raumtemperatur gemessen und geregelt wird, wobei kein Regeleingriff erfolgt, wenn die Raumtemperatur innerhalb des Temperatur-Akzeptanzfensters liegt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Raumtemperatur des Gebäudes in mindestens einem als Referenzraum definierten Ort kontinuierlich gemessen und bei Abweichungen von der erwarteten Ziel-Raumtemperatur die zugeführte Heizenergie so verändert, dass die tatsächliche Raumtemperatur an die erwartete Ziel-Raumtemperatur innerhalb des Raumtemperatur-Akzeptanzfensters angeglichen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Raumtemperaturregler so beeinflusst werden, dass kein Regeleingriff erfolgt, wenn die Raumtemperatur innerhalb eines vordefinierten Raumtemperatur-Akzeptanzfensters liegt, welches eine zulässige Differenztemperatur zur Raumtemperatur nach oben und eine nach unten aufweist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** dadurch ausgeglichen, dass der Wert für den Temperaturhub für die Unter- bzw. Überschreitung, also entgegengesetzt, sukzessive verringert wird und wie oben beschrieben verfahren wird, bis keine Über- oder Unterschreitung

mehr vorliegt.

5 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Raumtemperatur des Gebäudes in mindestens einem als Referenzraum definierten Ort kontinuierlich gemessen und bei Abweichungen von der erwarteten Ziel-Raumtemperatur die zugeführte Heizenergie so verändert wird, dass die tatsächliche Raumtemperatur an die erwartete Ziel-Raumtemperatur innerhalb des Raumtemperatur-Akzeptanzfensters angeglichen wird

10 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein asymmetrisches Raumtemperatur-Akzeptanzfenster um die Raumtemperatur herum gelegt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die elektrisch betriebene Wärmepumpe zusätzlich einen Brauchwasserspeicher mit einer Brauchwasser-Vorlauftemperatur erwärmt, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- 15
- eine Schätzung der benötigten Brauchwasser-Wärmeenergie,
 - eine Schätzung des erwarteten Außentemperaturverlaufs,
 - eine Ermittlung der Kurve des Wirkungsgrad-optimalen Brauchwasser-Vorlauftemperaturverlaufs für die Brauchwasserspeichererwärmung

20 für das Bezugszeitfenster so erfolgen, dass die benötigte Brauchwasser-Wärmeenergie dem Brauchwasserspeicher zugeführt wird.

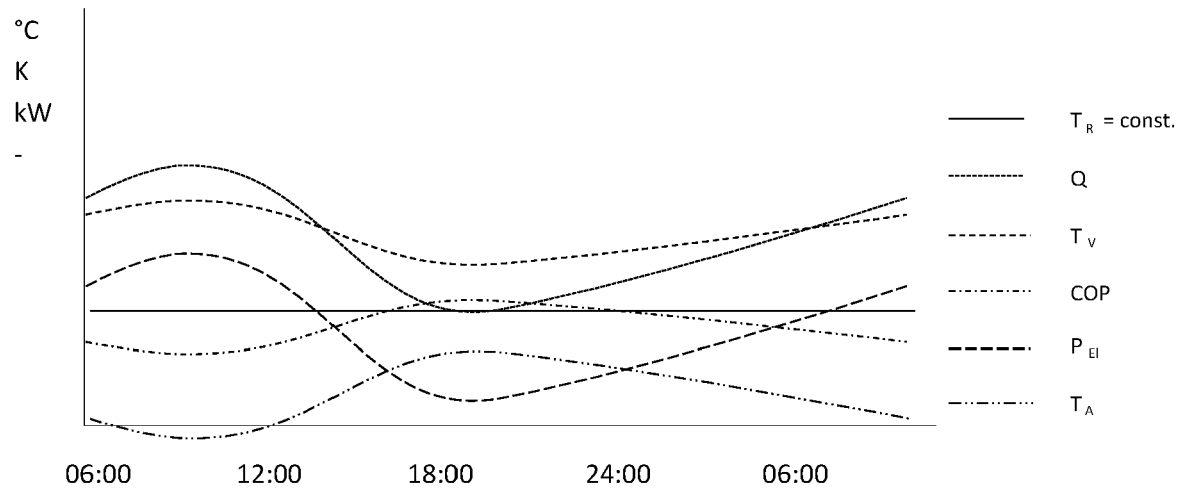
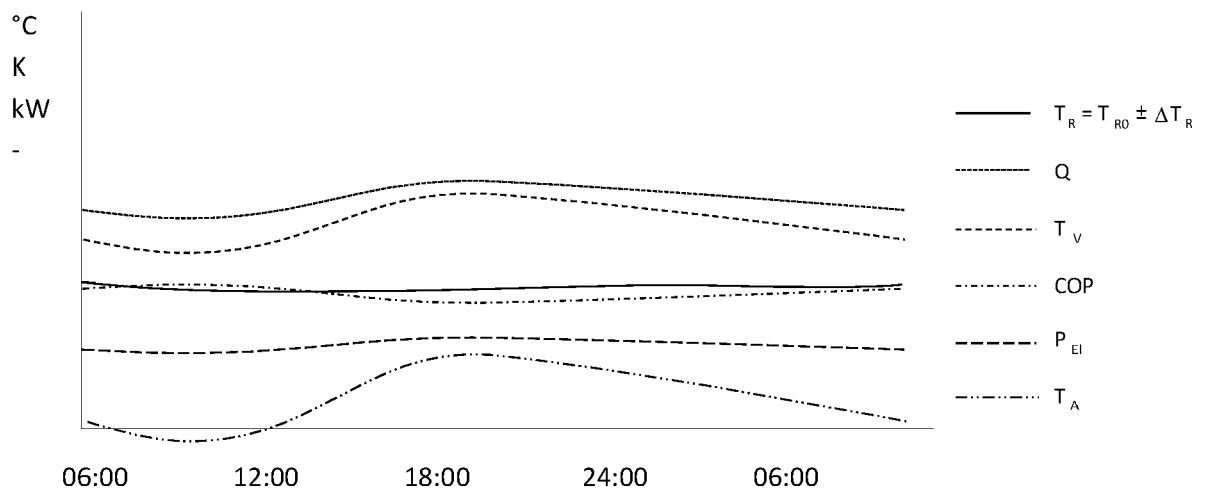
Fig. 1**Fig. 2**

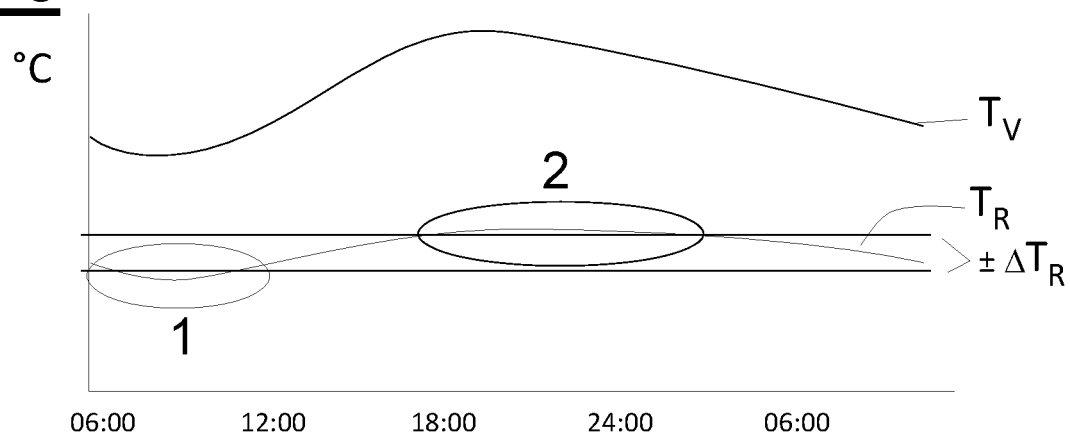
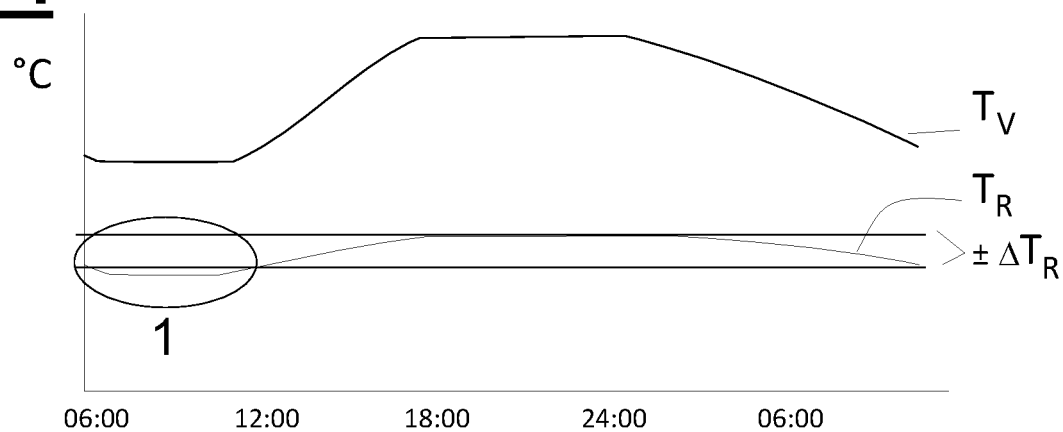
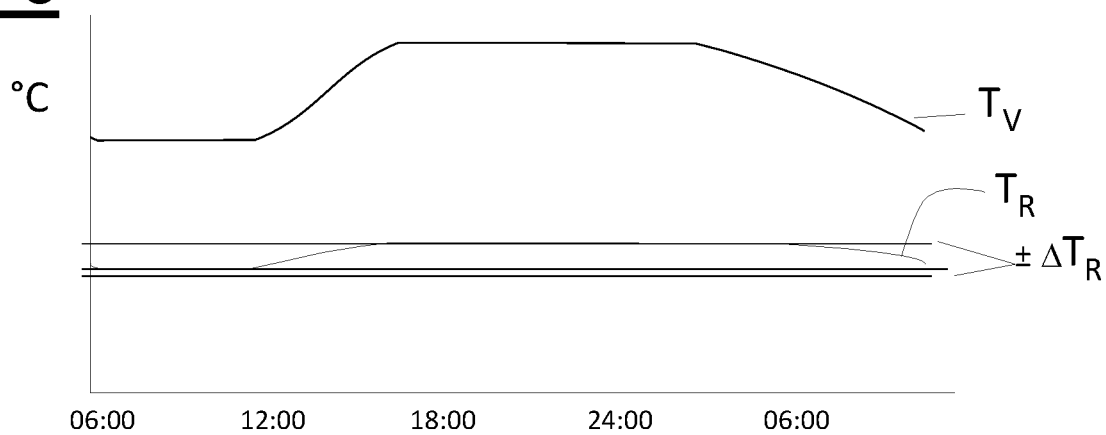
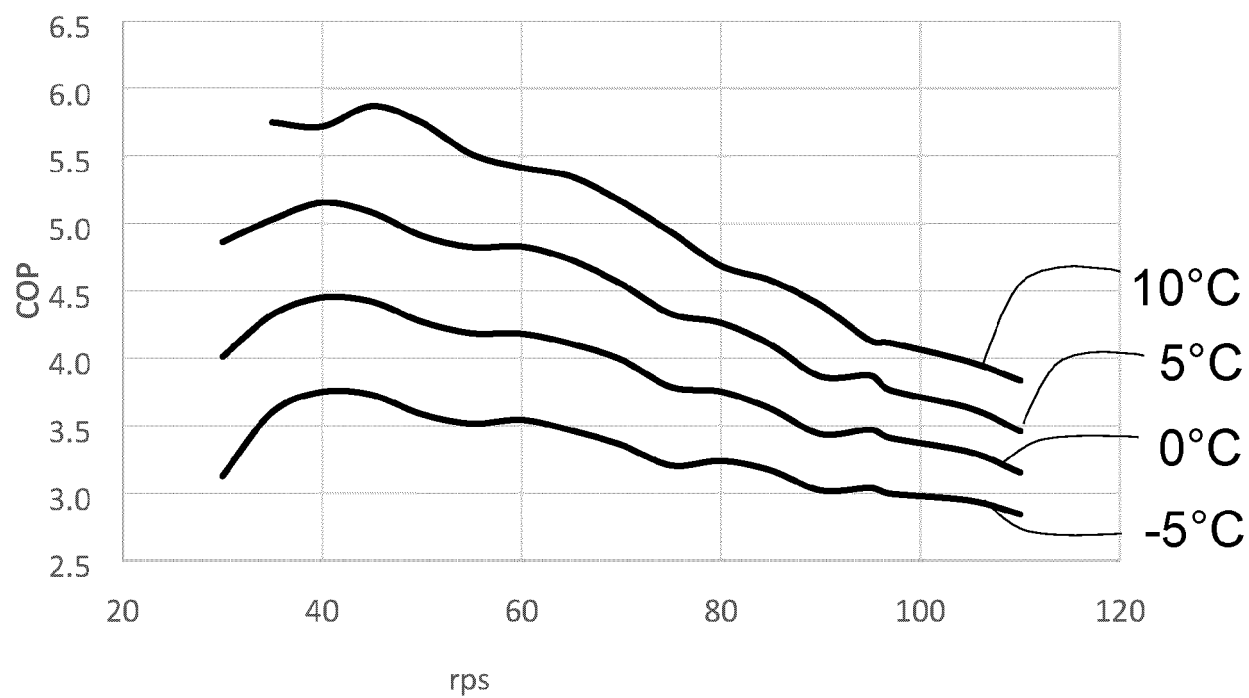
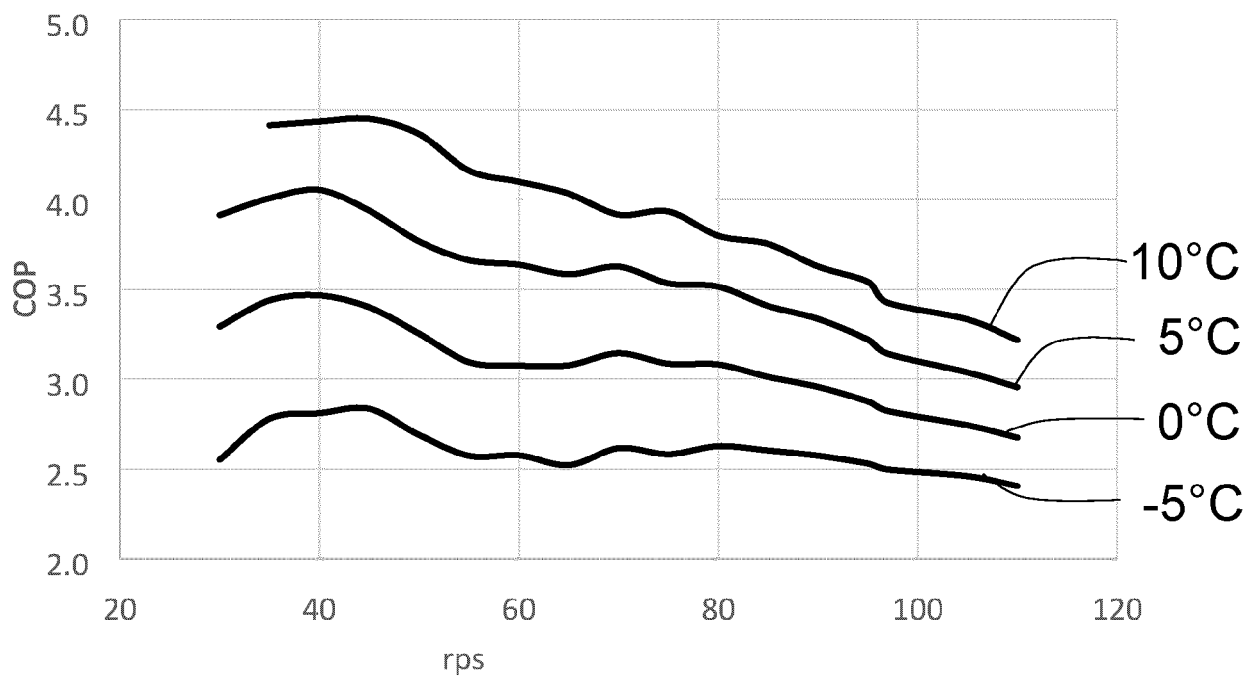
Fig. 3**Fig. 4****Fig. 5**

Fig. 6**Fig. 7**



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 16 9717

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X,D	DE 10 2018 116845 A1 (AIT DEUTSCHLAND GMBH [DE] ET AL.) 16. Januar 2020 (2020-01-16)	1-9,11,12	INV. F24D3/08
Y	* Absätze [0014] - [0031], [0036] - Absatz [0077]; Ansprüche 1-33; Abbildung 1 *	10	F24D3/18 F24D19/10 F24H15/152 F24H15/156
Y	EP 0 076 398 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 13. April 1983 (1983-04-13) * Seite 1 - Seite 2 *	10	F24H15/254 F24H15/258 F24H15/262 F24H15/269
A	DE 10 2021 124584 A1 (MISHCO GMBH [DE]) 24. März 2022 (2022-03-24) * das ganze Dokument *	1-12	
A	DE 10 2016 015503 A1 (CONSOLAR SOLARE ENERGIESYSTEME GMBH [DE] ET AL.) 28. Juni 2018 (2018-06-28) * das ganze Dokument *	1-12	
A	EP 3 564 601 A1 (VAILLANT GMBH [DE]) 6. November 2019 (2019-11-06) * das ganze Dokument *	1-12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	EP 3 450 875 A1 (DAIKIN IND LTD [JP]; RINNAI KK [JP]) 6. März 2019 (2019-03-06) * das ganze Dokument *	1-12	F24D F24H
A	US 2015/253051 A1 (JIN XIN [US] ET AL) 10. September 2015 (2015-09-10) * das ganze Dokument *	1-12	
A	DE 10 2017 220414 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 16. Mai 2019 (2019-05-16) * das ganze Dokument *	1-12	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 9. Juli 2024	Prüfer Riesen, Jörg
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 24 16 9717

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

09-07-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 102018116845 A1	16-01-2020	KEINE	
15	EP 0076398 A2	13-04-1983	AT E25157 T1 DE 3138844 A1 EP 0076398 A2	15-02-1987 14-04-1983 13-04-1983
	DE 102021124584 A1	24-03-2022	KEINE	
20	DE 102016015503 A1	28-06-2018	KEINE	
	EP 3564601 A1	06-11-2019	DE 102018109785 A1 EP 3564601 A1 ES 2932453 T3	24-10-2019 06-11-2019 19-01-2023
25	EP 3450875 A1	06-03-2019	CN 109073273 A EP 3450875 A1 JP 6716333 B2 JP 2017198425 A WO 2017188068 A1	21-12-2018 06-03-2019 01-07-2020 02-11-2017 02-11-2017
30	US 2015253051 A1	10-09-2015	KEINE	
	DE 102017220414 A1	16-05-2019	DE 102017220414 A1 EP 3711132 A1 WO 2019096587 A1	16-05-2019 23-09-2020 23-05-2019
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 3300082 A1 [0002]
- DE 102018116845 A1 [0019] [0020] [0021]