



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.01.2023 Patentblatt 2023/01

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F24D 19/10 (2006.01) F24D 10/00 (2022.01)

(21) Anmeldenummer: **21182516.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F24D 19/1009; F24D 10/00

(22) Anmeldetag: **29.06.2021**

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

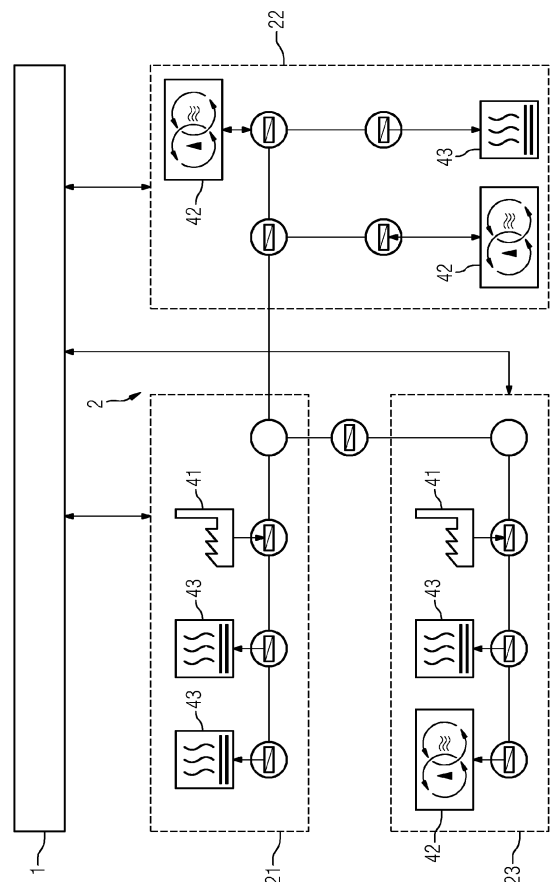
(72) Erfinder:
• **Huynh, Thanh Phong**
59423 Unna (DE)
• **Thiem, Sebastian**
91413 Neustadt an der Aisch (DE)

(54) **VERFAHREN UND STEUEREINHEIT ZUR STEUERUNG EINES WÄRMENETZES**

(57) Es wird ein Verfahren zur Steuerung eines Wärmenetzes (2) vorgeschlagen, wobei das Wärmenetz (2) mehrere Teilwärmenetze (21, 22, 23) aufweist, und für jedes Teilwärmenetz (21, 22, 23) eine oder mehrere für dessen Betrieb zulässige Vorlauftemperaturen bereitgestellt werden. Das Verfahren ist gekennzeichnet dadurch, dass die zur Steuerung verwendeten Vorlauftemperaturen durch die folgenden Schritte eingestellt werden:

- (S1) Ermitteln von ersten Wärmeleistungen durch ein Minimieren einer Zielfunktion, wobei die ersten Wärmeleistungen von den zulässigen Vorlauftemperaturen abhängig sind;
- (S2) Ermitteln von möglichen Vorlauftemperaturen für jedes Teilwärmenetz (21, 22, 23), wobei die möglichen Vorlauftemperaturen des jeweiligen Teilwärmenetzes (21, 22, 23) dadurch bestimmt werden, dass innerhalb des jeweiligen Teilwärmenetzes (21, 22, 23) eine erste Wärmeleistung ausgetauscht werden soll;
- (S3) Ermitteln von zweiten Wärmeleistungen für jede Kombination der möglichen Vorlauftemperaturen durch ein Minimieren einer auf die jeweilige Kombination eingeschränkten Zielfunktion, wobei für die Kombination genau eine mögliche Vorlauftemperatur für jedes Teilwärmenetz (21, 22, 23) verwendet wird;
- (S4) Ermitteln derjenigen Kombination von möglichen Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze (21, 22, 23), dessen zugehörige eingeschränkte Zielfunktion unter allen eingeschränkten Zielfunktionen den kleinsten Wert aufweist; und
- (S5) Einstellen der Vorlauftemperaturen gemäß der im vierten Schritt (S4) ermittelten Kombination.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Steuereinheit



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 sowie eine Steuereinheit gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 10.

[0002] Zukünftig werden immer mehr dezentrale Wärmeerzeugungsanlagen an ein gemeinsames Wärmenetz angeschlossen. Diese dezentralen Erzeugungsanlagen weisen im Vergleich zu konventionellen Großanlagen eine vielfach geringe Einspeiseleistung auf. Durch den Anschluss der dezentralen Erzeugungsanlagen sind die zugehörigen Energiesysteme, beispielsweise industrielle Anlagen, Bürogebäude oder Wohngebäude, nicht nur Wärmeverbraucher (Verbraucher) sondern ebenfalls Wärmeerzeuger (Erzeuger), das heißt Prosumer. Die genannten Energiesysteme können somit Wärme aus dem gemeinsamen Wärmenetz ausspeisen, das heißt verbrauchen und erzeugte Wärme in das Wärmenetz einspeisen.

[0003] Nach dem Stand der Technik ist die Steuerung oder Regelung eines solchen Verbraucher, Erzeuger und Prosumer umfassenden Wärmenetzes ungelöst.

[0004] Bekannte Wärmenetze sind durch konventionelle Großanlagen, wie beispielsweise Müllheizkraftwerke als Wärmeerzeuger beziehungsweise Wärmebereitstellungsanlagen gekennzeichnet. Auf der Verbraucherseite wird typischerweise jedes Energiesystem, das heißt in diesem Fall jeder Verbraucher, über eine Wärmeübergabestation an das Wärmenetz angebunden. Diese Wärmeübergabestation umfasst typischerweise einen Wärmeübertrager und ein oder mehrere Ventile, mittels welchen der Massenstrom eines Wärmeträgermediums des Wärmenetzes eingestellt beziehungsweise gesteuert oder geregelt werden kann. Dadurch kann die mittels des Wärmeübertragers auf das jeweilige Energiesystem übertragene Wärme beziehungsweise thermische Leistung gesteuert oder geregelt werden.

[0005] Die übertragene Wärmeleistung $\dot{Q}_{hx}$ an einem Wärmeübertrager kann gemäß $\dot{Q}_{hx} = \dot{m}_{hx} * c_p * (T_q - T_s)$ berechnet werden, wobei $\dot{m}_{hx}$ den Massenfluss des Wärmeträgermediums, beispielsweise Wasser, über den Wärmeübertrager, c_p seine spezifische Wärmekapazität und T_q die Temperatur der Wärmequelle und T_s die Temperatur der Wärmesenke bezeichnet.

[0006] Bekannte Steuerungen oder Regelungen von Wärmenetzen versuchen den Massenfluss des Wärmeträgermediums in den Leitungen des Wärmenetzes möglichst konstant zu halten. Dies wird über zentrale Pumpen und vertraglich festgelegte Druckdifferenzen zwischen Vorlauf und Rücklauf des Wärmenetzes an den Wärmeübergabestationen sichergestellt. Hierbei ist für die transportierte Wärmeenergie innerhalb des Wärmenetzes der Massenfluss und die Vorlauftemperatur des Wärmeträgermediums innerhalb der Leitungen des Wärmenetzes maßgeblich. Somit wird die Vorlauftemperatur durch den Netzbetreiber des Wärmenetzes zentral für das gesamte Wärmenetz gesteuert. Dadurch ist die Vorlauftemperatur durch denjenigen Verbraucher bestimmt, der die höchsten Anforderungen an die Temperatur aufweist. Somit werden die weiteren Verbraucher gegebenenfalls mit einer nicht erforderlich hohen Temperatur beliefert.

[0007] Weiterhin sind den Anschlussnehmern, das heißt den Energiesystemen, bestimmte Mindestvorlauftemperaturen statisch garantiert. Dadurch werden keine wesentlichen dynamischen Anpassungen der Vorlauftemperatur mit entsprechenden Optimierungspotentialen durchgeführt.

[0008] Bekannte Netzsteuerung oder Netzregelung sind somit nicht für die Steuerung beziehungsweise Regelung von Wärmenetzen mit einer Vielzahl an dezentralen Erzeugungsanlagen, die durch verschiedene Energiesysteme umfasst sind, geeignet. Das ist beispielsweise deshalb der Fall, da keine zentrale auf Informationen der Teilnehmer basierte Steuerung der Anlagen und des Wärmenetzes erfolgt.

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Steuerung für ein Wärmenetz, insbesondere im Hinblick auf eine Vielzahl von dezentralen Erzeugern, bereitzustellen.

[0010] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruches 1 sowie durch eine Steuereinheit mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruches 10 gelöst. In den abhängigen Patentansprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung angegeben.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Steuerung oder Regelung eines Wärmenetzes, wobei das Wärmenetz mehrere Teilwärmenetze aufweist, und für jedes Teilwärmenetz eine oder mehrere für dessen Betrieb zulässige Vorlauftemperaturen bereitgestellt werden, ist gekennzeichnet dadurch, dass die zur Steuerung verwendeten Vorlauftemperaturen durch die folgenden Schritte eingestellt werden:

- Ermitteln von ersten Wärmeleistungen durch ein Minimieren einer Zielfunktion, wobei die ersten Wärmeleistungen von den zulässigen Vorlauftemperaturen abhängig sind;
- Ermitteln von möglichen Vorlauftemperaturen für jedes Teilwärmenetz, wobei die möglichen Vorlauftemperaturen des jeweiligen Teilwärmenetzes dadurch bestimmt werden, dass innerhalb des jeweiligen Teilwärmenetzes eine erste Wärmeleistung ausgetauscht werden soll;
- Ermitteln von zweiten Wärmeleistungen für jede Kombination der möglichen Vorlauftemperaturen durch ein Minimieren einer auf die jeweilige Kombination eingeschränkten Zielfunktion, wobei für die Kombination genau eine mögliche Vorlauftemperatur für jedes Teilwärmenetz verwendet wird;
- Ermitteln derjenigen Kombination von möglichen Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze, dessen zugehörige

eingeschränkte Zielfunktion unter allen eingeschränkten Zielfunktionen den kleinsten Wert aufweist; und

- Einstellen der Vorlauftemperaturen gemäß der im vierten Schritt ermittelten Kombination.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren und/oder eine oder mehrere Funktionen, Merkmale und/oder Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder einer seiner Ausgestaltungen können computergestützt sein. Insbesondere wird das Minimieren der Zielfunktion beziehungsweise der Zielfunktionen mittels einer Recheneinheit einer Steuereinheit gemäß der vorliegenden Erfindung durchgeführt.

[0013] Gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst das Wärmenetz mehrere Teilwärmenetze. Jedes der Teilwärmenetze weist zulässige Vorlauftemperaturen beziehungsweise einen zulässigen Bereich der Vorlauftemperaturen auf, innerhalb welchem das Teilwärmenetz technisch betrieben werden kann. Die Steuerung ist grundsätzlich dazu ausgebildet, beispielsweise mittels einer entsprechend ausgestalteten Steuereinheit, die Vorlauftemperatur jedes Teilwärmenetzes innerhalb ihres genannten zulässigen Bereiches einzustellen. Ein wesentlicher Aspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, möglichst effiziente Vorlauftemperaturen für die jeweiligen Teilwärmenetze zu ermitteln. Nach der erfindungsgemäßen Ermittlung dieser effizienten Vorlauftemperaturen werden diese entsprechend eingestellt und die Teilwärmenetze entsprechend den ermittelten Vorlauftemperaturen betrieben.

[0014] Das Ermitteln der Vorlauftemperaturen erfolgt typischerweise gemäß regelmäßigen Zeitschritten t beispielsweise jede Stunde oder alle 15 Minuten, sodass das erfindungsgemäße Verfahren zu jedem Zeitschritt wiederholt werden kann. Mit anderen Worten sind die Wärmeleistungen und Vorlauftemperaturen zeitabhängig und werden für jeden Zeitschritt t erneut ermittelt und eingestellt.

[0015] Die Vorlauftemperaturen sowie die zugehörigen Wärmeleistungen, die die an das Wärmenetz angeschlossenen Teilnehmer untereinander austauschen beziehungsweise in das Wärmenetz einspeisen und/oder ausspeisen, werden mittels eines Optimierungsverfahrens ermittelt. Mit anderen Worten wird die Zielfunktion, die von den Wärmeleistungen abhängig ist und diese als Variablen umfasst, minimiert. Äquivalent hierzu kann - je nach Festlegung des Vorzeichens - die Zielfunktion maximiert werden. Da sich die Zielfunktion jedoch typischerweise auf technische Größen, wie beispielsweise der Gesamtwärmeumsatz oder Gesamtkohlenstoffdioxidemissionen bezieht beziehungsweise diese modelliert, wird diese vorliegend minimiert. Durch das Minimieren der Zielfunktion werden die Werte ihrer Variablen, vorliegend die ersten und zweiten Wärmeleistungen ermittelt. Beispielsweise werden dadurch die erzeugten und eingespeisten sowie verbrauchten und somit ausgespeisten Wärmeleistungen derart ermittelt, dass die Gesamtkohlenstoffdioxidemissionen, die mit allen Wärmeaustauschen über das Wärmenetz assoziiert sind, im Rahmen der numerischen Genauigkeit möglichst minimiert. Dies ist vergleichbar zu einer modellprädikativen Regelung.

[0016] In dem ersten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens werden somit die ersten Wärmeleistungen durch ein Minimieren der Zielfunktion ermittelt. Hierbei erfolgt zunächst keine weitere Einschränkung der zulässigen Vorlauftemperaturen. Mit anderen Worten sind die Wärmeleistungen von den zulässigen Vorlauftemperaturen abhängig, das heißt innerhalb eines Teilwärmenetzes werden für jede zulässige Vorlauftemperatur die zugehörigen Wärmeleistungen ermittelt. Lediglich durch die vorab festgelegten zulässigen Vorlauftemperaturen erfolgt eine grobe erste technische Auswahl der Vorlauftemperaturen. Hierbei sind die zulässigen Vorlauftemperaturen durch die technischen Parameter der an das Wärmenetz angebundenen Betriebsmittel festgelegt. Zusammenfassend werden im ersten Schritt des Verfahrens für jede zulässige Vorlauftemperatur $\vartheta = \vartheta_{1x}, \dots, \vartheta_{Nx}$ eines Teilwärmenetzes x ein zugehöriger Satz an Wärmeleistungen $P_{k,\vartheta,t}$ am Netzknoten k des Wärmenetzes beziehungsweise Teilwärmenetzes für den Zeitschritt t ermittelt. Allerdings kann technisch lediglich eine der zulässigen Vorlauftemperaturen für ein Teilwärmenetz eingestellt werden, da jedes Teilwärmenetz technisch nur mit genau einer Vorlauftemperatur betreibbar ist. Das Ermitteln der Vorlauftemperatur, die schließlich für die Steuerung verwendet und eingestellt wird, ist Gegenstand der weiteren Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0017] Im zweiten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die möglichen Vorlauftemperaturen ermittelt. Die möglichen Vorlauftemperaturen sind eine Teilmenge der (technisch) zulässigen Vorlauftemperaturen. Mit anderen Worten erfolgt gemäß dem zweiten Schritt des Verfahrens eine Vorauswahl der Vorlauftemperaturen. Nur wenn für eine Vorlauftemperatur eine von Null verschiedene Wärmeleistung innerhalb des zugehörigen Teilwärmenetzes ausgetauscht werden soll (gemäß den im ersten Schritt ermittelten Wärmeleistungen), wird diese Vorlauftemperatur als mögliche Vorlauftemperatur in Betracht gezogen. Mit anderen Worten werden nur die zulässigen Vorlauftemperaturen als mögliche Vorlauftemperaturen berücksichtigt, für die ein Wärmeaustausch, das heißt beispielsweise eine von Null verschiedene erste Wärmeleistung, innerhalb des zugehörigen Teilwärmenetzes erfolgen soll. Dadurch wird die Menge der zulässigen Vorlauftemperaturen auf die typischerweise kleinere Menge der möglichen oder potenziellen Vorlauftemperaturen eingeschränkt. Das ist deshalb von Vorteil, da dadurch Rechenzeit innerhalb der folgenden Schritte des Verfahrens eingespart werden kann. Die Menge der zulässigen Vorlauftemperaturen kann jedoch ebenfalls mit der Menge der möglichen Vorlauftemperaturen übereinstimmen, sodass keine Einschränkung vorab möglich ist.

[0018] Gemäß dem dritten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens werden erneut Wärmeleistungen (zweite Wärmeleistungen) durch ein Optimierungsverfahrens ermittelt. Dies erfolgt für jede Kombination von im zweiten Schritt ermittelten möglichen Vorlauftemperaturen, wobei für die Kombination genau eine mögliche Vorlauftemperatur für jedes

Teilwärmenetz verwendet wird. Für jede Kombination an möglichen Vorlauftemperaturen liegt danach wiederum ein zugehöriger Satz von Wärmeleistungen (zweite Wärmeleistungen) vor. Zum Ermitteln der zweiten Wärmeleistungen für eine Kombination an möglichen Vorlauftemperaturen wird die im ersten Schritt verwendete Zielfunktion auf die genannte Kombination eingeschränkt. Mit anderen Worten umfasst die verwendete Zielfunktion lediglich die zur Kombination zugehörigen Terme und Variablen. Für n Kombinationen an möglichen Vorlauftemperaturen bilden sich somit n Teiloptimierungsprobleme aus. Für jedes dieser Teilprobleme wird in jedem Teilwärmenetz genau eine Vorlauftemperatur aus der gegebenenfalls eingeschränkten Menge der möglichen Vorlauftemperaturen verwendet. Jedes Teilproblem stellt hierbei eine neue Kombination von möglichen Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze dar. Diese mehreren Teilprobleme werden dann unabhängig voneinander, insbesondere parallel, gelöst. Mit anderen Worten werden für jedes Teilproblem, das heißt für jede Kombination von möglichen Vorlauftemperaturen, zugehörige (zweite) Wärmeleistungen ermittelt.

[0019] Im vierten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus den mehreren Kombinationen von möglichen Vorlauftemperaturen eine Kombination ermittelt, die der Steuerung zugrunde gelegt wird. Dies ist technisch erforderlich, da jedes Teilwärmenetz lediglich mit genau einer Vorlauftemperatur betrieben werden kann. Hierbei wird die Kombination, die zur Steuerung letztendlich verwendet wird, dadurch bestimmt oder ermittelt, dass für diese Kombination und zugehörigen (zweiten) Wärmeleistungen die zugehörige eingeschränkte Zielfunktion unter allen eingeschränkten Zielfunktionen den kleinsten Wert aufweist. Bei einer Maximierung ist analog die eingeschränkte Zielfunktion mit dem größten Wert maßgeblich. Mit anderen Worten wird für jede Kombination ein Zielfunktionswert sowie zugehörige Wärmeleistungen ermittelt. Somit liegen n Zielfunktionswerte Z_n und zugehörige Wärmeleistung $(P_{k,g,t})_{k \in K, g \in \mathcal{G}_n, t \in \mathcal{T}}$ mit zugehörigen möglichen Vorlauftemperaturen $\mathcal{G}_n$ vor. Für die Steuerung wird dann die Wärmeleistungen $(P_{k,g,t})_{k \in K, g \in \mathcal{G}_m, t \in \mathcal{T}}$ und die Vorlauftemperaturen $\mathcal{G}_n$ mit $Z_m = \min Z_n$ festgelegt. Die Kombination, die den kleinsten Zielfunktionswert aufweist, wird somit zum Einstellen der Vorlauftemperaturen herangezogen. Entsprechend werden die tatsächlichen Wärmeleistungen gemäß den zur Kombination zugehörigen und bestimmten Wärmeleistungen eingestellt beziehungsweise gesteuert.

[0020] Im fünften Schritt des Verfahrens werden die derart ermittelten Vorlauftemperaturen für die Teilwärmenetze eingestellt.

[0021] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird trotz der Aufteilung in n Teilprobleme somit sichergestellt, dass für die eingestellten Vorlauftemperaturen das technische Ziel, beispielsweise eine Minimierung der Gesamtkohlenstoffdioxidemissionen und/oder ein optimaler Abgleich zwischen Verbrauch und Erzeugung, erreicht wird. Mit anderen Worten kann das Wärmenetz im Hinblick auf die Gesamtkohlenstoffdioxidemissionen und/oder den Gesamtenergiebedarf und/oder externen Wärmebedarf möglichst effizient betrieben werden.

[0022] Weiterhin kann das Lösen der n Teilprobleme parallelisiert werden, sodass dadurch die Rechenzeit verringert werden kann.

[0023] Ferner könnte als Zielfunktion der Gesamtwärmeverlust des Wärmenetzes, der von den Vorlauftemperaturen abhängig ist, verwendet werden. Dadurch wird das Wärmenetz mit möglichst geringen Wärmeverlusten betrieben.

[0024] Gemäß der vorliegenden Erfindung erfolgt somit eine Art sequenzielle Optimierung oder Steuerung, die es insbesondere für ein Wärmenetz mit einer Vielzahl von Anschlussnehmern ermöglicht, diese energetisch möglichst effizient zu betreiben. Das ist insbesondere deshalb der Fall, da möglichst optimale Vorlauftemperaturen für die Teilwärmenetze ermittelt und eingestellt werden. Dies führt zu geringeren Wärmeverlusten, da dynamisch auf die Anschlussnehmer und ihre technischen Anforderungen reagiert werden kann.

[0025] Weiterhin ist der Massenfluss annähernd konstant, sodass die primäre Steuergröße - wie bei der konventionellen Netzregelung - die Temperatur des Wärmeträgermediums ist.

[0026] Ferner ist für das vorliegende Verfahren lediglich ein geringer Informationsaustausch zwischen den Energiesystemen (Anschlussnehmer oder Teilnehmer) und der zentralen Steuereinheit, die das Wärmenetz entsprechend der vorliegenden Erfindung bezüglich der Energiesysteme zentral steuert, erforderlich.

[0027] Die Bestimmung der Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze erfolgt über die sequenzielle Lösung rein linearer Probleme, sodass die Rechenzeit lediglich linear mit der Anzahl der Teilnehmer, Energiesysteme beziehungsweise Anschlussnehmer skaliert. Dadurch kann die Rechenzeit weiter verkürzt werden.

[0028] Das erfindungsgemäße Verfahren kann für mehrere Zeitschritte t wiederholt werden. Dadurch werden für jeden Zeitschritt t die Vorlauftemperaturen und zugehörigen Wärmeleistungen erneut ermittelt.

[0029] Die erfindungsgemäße Steuereinheit zur Steuerung eines Wärmenetzes mit mehreren Teilwärmenetzen ist dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit dazu ausgebildet ist, die Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze gemäß einem Verfahren nach der vorliegenden Erfindung und/oder einer ihrer Ausgestaltungen zu bestimmen und die bestimmten Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze einzustellen.

[0030] Es ergeben sich zum erfindungsgemäßen Verfahren gleichartige und gleichwertige Vorteile und/oder Ausgestaltungen.

[0031] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden als Zielfunktion Gesamtkohlenstoffdioxidemissionen verwendet.

[0032] Mit einer Wärmeerzeugung und/oder einem Wärmeverbrauch sind typischerweise Kohlenstoffdioxidemissionen

verbunden. Technisches Ziel ist es diese möglichst zu minimieren. Somit ist eine Zielfunktion, die die mit den ausgetauschten Wärmeleistungen assoziierten Gesamtkohlenstoffdioxidemissionen modelliert, vorteilhaft. Dadurch werden die Vorlauftemperaturen sowie die zugehörigen Wärmeleistungen derart ermittelt, dass mit diesen gesamtheitlich möglichst geringe Kohlenstoffdioxidemissionen verbunden sind. Beispielsweise wird dies durch die folgende Zielfunktion

$$\sum_{t,k,\vartheta} P_{k,\vartheta,t}^S \cdot c_{\max,k,\vartheta,t}^S - P_{k,\vartheta,t}^B \cdot c_{\min,k,\vartheta,t}^B$$

ermöglicht, wobei $P_{k,\vartheta,t}^S$ die Wärmeleistung einer Erzeugung und $P_{k,\vartheta,t}^B$ die Wärmeleistung eines Verbrauchs am Netzknoten k mit der Vorlauftemperatur ϑ zum Zeitpunkt t ist. Die Konstanten der genannten Linearkombination

$c_{\max,k,\vartheta,t}^S$, $c_{\min,k,\vartheta,t}^B$ sind maximale oder minimale spezifische Kohlenstoffdioxidmengen oder analog maximale

oder minimale spezifische Kohlenstoffdioxidpreise. Alternativ können die Konstanten $c_{\max,k,\vartheta,t}^S$, $c_{\min,k,\vartheta,t}^B$ jede weitere mit den Wärmeleistungen assoziierte spezifische Größe sein, beispielsweise spezifische Wärmeverluste. Dadurch wird vorteilhafterweise eine in den Wärmeleistungen lineare Zielfunktion verwendet.

[0033] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist somit die Zielfunktion eine durch die zu ermittelten Wärmeleistungen gebildete Linearkombination.

[0034] Vorteilhafterweise kann durch die Verwendung einer Linearkombination die Rechenzeit reduziert werden.

[0035] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird das Wärmenetz derart gesteuert, dass die zu den eingestellten Vorlauftemperaturen zugehörigen ermittelten zweiten Wärmeleistungen innerhalb des Wärmenetzes ausgetauscht werden.

[0036] Mit anderen Worten übermittelt die Steuereinheit die ermittelten Wärmeleistungen an die teilnehmenden Energiesysteme beziehungsweise wärmetechnischen Anlagen, die dann entsprechend den ermittelten zweiten Wärmeleistungen zum Zeitpunkt t beziehungsweise innerhalb des mit t gekennzeichneten Zeitintervalls eine entsprechende Wärmeleistung in das Wärmenetz einspeisen oder aus diesem ausspeisen. Die bezüglich der Energiesysteme zentrale Steuereinheit steuert somit Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze und die zugehörigen zeitabhängigen Wärmeaustausche. Die Vorlauftemperaturen werden - wie die (zweiten) Wärmeleistungen - zeitabhängig ermittelt und können somit zu jedem Zeitschritt beziehungsweise für jeden Zeitbereich neu eingestellt werden.

[0037] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind mehrere Energiesysteme zum Wärmeaustausch an das Wärmenetz angeschlossen, wobei technische Randbedingungen der jeweiligen Energiesysteme als Nebenbedingung bei dem Minimieren der Zielfunktion berücksichtigt werden.

[0038] Grundsätzlich erfolgt das Minimieren der Zielfunktion und/oder der eingeschränkten Zielfunktionen unter Nebenbedingungen. Mit anderen Worten müssen die ermittelten Wärmeleistungen und/oder Vorlauftemperaturen technische Randbedingungen erfüllen, die beim Minimieren (oder Maximieren) zu berücksichtigen sind. Beispielsweise können Erzeugungsanlagen und Verbrauchsanlagen jeweils eine maximale Wärmeleistung oder Wärmemenge bereitstellen

beziehungsweise verbrauchen. Für einen Zeitraum $T = \Delta t_t$ muss demnach $P_{k,\vartheta,t}^S \cdot \Delta t_t \leq E_{\max}^S$ beziehungsweise

$P_{k,\vartheta,t}^B \cdot \Delta t_t \leq E_{\max}^B$ beachtet werden. Weiterhin sind für den Zeitschritt t beziehungsweise den mit t gekennzeichneten Zeitraum die maximal möglichen Wärmeleistungen zu beachten, das heißt es muss

$P_{k,\vartheta,t}^S \leq P_{\max,t}^S$ beziehungsweise

$P_{k,\vartheta,t}^B \leq P_{\max,t}^B$ sein. Diese technischen Randbedingungen werden bei Minimieren der Zielfunktion, das heißt beim Optimierungsverfahren berücksichtigt. Das numerische Minimieren der Zielfunktionen kann mit bekannten Lösern (englisch: Solvern) erfolgen.

[0039] Weiterhin ergibt sich physikalisch für einen Leistungstransfer zwischen zwei Knoten (i,j) des Wärmenetzes und für die zugehörige Wärmeleistung $P_{(i,j),\vartheta,t}$ dass die Temperatur der eingespeisten Wärmeleistung der Erzeugungsanlagen ϑ_{in} und der Leitungen $\vartheta_{(i,j)}$ höher ist als die Temperatur der entnommenen Leistungen ϑ_{out} . Mit anderen Worten

ist $\vartheta_{\max,t}^S \geq \vartheta_{\text{in}} \geq \vartheta_{(i,j)} \geq \vartheta_{\text{out}} \geq \vartheta_{\min,t}^B$ als Nebenbedingung bei den Optimierungsverfahren als physikalische Randbedingung zu berücksichtigen.

[0040] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden somit maximale und/oder minimale Temperaturen von wärmetechnischen Anlagen der Energiesysteme als Nebenbedingung berücksichtigt.

[0041] Weitere technische Randbedingungen können als Nebenbedingung bei den Optimierungsverfahren berücksichtigt werden. Grundsätzlich können anlagenspezifische und/oder energiesystemspezifische technische Randbedingungen an die Steuereinheit zur Durchführung der Optimierung übermittelt werden.

[0042] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung erfolgt die Steuerung mittels einer bezüglich der Energiesysteme zentralen Steuereinheit.

[0043] Dadurch wird vorteilhafterweise das Wärmenetz zentralisiert gesteuert. Zudem können die verschiedenen Wärmeeinspeisungen und Wärmeausspeisungen durch die zentrale Steuereinheit besser in Übereinstimmung gebracht werden. Das heißt, dass eine bestmögliche Übereinstimmung von Verbrauch und Erzeugung erreicht werden kann. Dies ist vergleichbar zu einem lokalen Energiemarkt für elektrische Energie. In diesem Sinne bildet die Steuereinheit eine lokale Energiemarktplattform bezüglich Wärme beziehungsweise thermischer Energie aus. Somit wird für die Bestimmung der optimalen Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze ein sequenzielles Optimierungsverfahren auf Basis eines lokalen Energiemarktes für thermische Energie verwendet.

[0044] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird für das Bereitstellen der zulässigen Vorlauftemperaturen für eines der Teilwärmenetze ein zulässiger Temperaturbereich, der durch wärmetechnische Anlagen innerhalb des zugehörigen Teilwärmenetzes bestimmt ist, diskretisiert.

[0045] Beispielsweise können die Anlagen eines der Energiesysteme lediglich im Temperaturbereich von 60 Grad Celsius bis 100 Grad Celsius betrieben werden. Da es jedoch nicht praktikabel ist für überabzählbare Vorlauftemperaturen Kombinationen zu bilden und die zugehörigen Teilprobleme zu lösen, ist eine Diskretisierung des zulässigen Temperaturbereiches, beispielsweise in Schritten von 10 Kelvin, vorteilhaft. Durch die Diskretisierung bleibt das Ermitteln der Vorlauftemperaturen somit praktikabel. Weiterhin ist es technisch sinnvoll, da typischerweise wärmetechnische Anlagen unempfindlich gegenüber geringen Schwankungen der Vorlauftemperatur sind. Somit werden durch die Diskretisierung lediglich die wesentlichen Vorlauftemperaturen berücksichtigt, wodurch weitere Rechenzeit eingespart werden kann.

[0046] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist das Wärmenetz als Nahwärmenetz oder Fernwärmenetz ausgebildet.

[0047] Dadurch kann vorteilhafterweise die erfindungsgemäße Steuerung oder eine Steuerung gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung für bestehende und bekannte Wärmenetze verwendet werden.

[0048] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnung. Dabei zeigt die einzige Figur schematisiert ein Wärmenetz mit mehreren Teilwärmenetzen, deren Vorlauftemperaturen gemäß einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ermittelt und eingestellt werden.

[0049] Gleichartige, gleichwertige oder gleichwirkende Elemente können in der Figur mit denselben Bezugszeichen versehen sein.

[0050] Die Figur zeigt ein schematisiertes Wärmenetz 2, wobei das Wärmenetz in mehrere Teilwärmenetze 21, 22, 23 eingeteilt ist.

[0051] An dem Wärmenetz 2 sind mehrere wärmetechnische Anlagen 41, 42, 43 zum Wärmeaustausch angeschlossen. Hierbei können die Anlagen 41, 42, 43 eine Wärmeleistung in das Wärmenetz 2 einspeisen und/oder aus dem Wärmenetz 2 ausspeisen. Exemplarisch weist das Teilwärmenetz 21 zwei Verbraucheranlagen 43 sowie eine Erzeugeranlage 41 auf, das Teilwärmenetz 22 eine Verbraucheranlage 43, eine Erzeugeranlage 41 sowie eine Prosumeranlage 42, und das Teilwärmenetz 23 eine Verbraucheranlage 43 sowie zwei Prosumeranlagen 42. Eine Prosumeranlage ist eine wärmetechnische Anlage, die sowohl Wärme erzeugen als auch verbrauchen kann.

[0052] Die Energiesysteme beziehungsweise die Anlagen 41, 42, 43 sind jeweils über einen Wärmeübertrager mit dem jeweiligen Teilwärmenetz 21, 22, 23 und somit mit dem Wärmenetz 2 zum Wärmeaustausch gekoppelt.

[0053] Jedes der Teilwärmenetze 21, 22, 23 kann grundsätzlich mit einer anderen Vorlauftemperatur betrieben werden. Hierbei steuert oder regelt eine zentrale Steuereinheit 1 die Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze 21, 22, 23. Weiterhin steuert oder regelt die Steuereinheit 1 die Wärmeleistungen, die durch die wärmetechnischen Anlagen 41, 42, 43 innerhalb eines Zeitschrittes eingespeist und/oder ausgespeist werden.

[0054] Zum zeitabhängigen Einstellen der Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze 21, 22, 23 muss für jedes Teilwärmenetz und für jeden Zeitschritt seine Vorlauftemperatur beziehungsweise ein Sollwert seiner Vorlauftemperatur ermittelt oder bestimmt werden. Vorliegend bestimmt die Steuereinheit 1 die Vorlauftemperaturen gemäß der vorliegenden Erfindung und/oder einer ihrer Ausgestaltungen. Die derart vorteilhaft ermittelten Vorlauftemperaturen werden durch die Steuereinheit 1 eingestellt und somit das Wärmenetz 2 entsprechend gesteuert beziehungsweise geregelt.

[0055] Hierbei hängen die Wärmeverluste des Wärmenetzes 2 entscheidend von den Vorlauftemperaturen ab. Die

thermischen Verluste (Wärmeverluste) eines Fernwärmenetzes in Deutschland betragen durchschnittlich 13 Prozent und führen dementsprechend zu vermeidbaren Mehrkosten beim Betrieb eines Fernwärmenetzes. Bei einer Verringerung von typischen Vorlauftemperaturen um 20 Grad Celsius können die Wärmeverluste um 9 Prozent reduziert werden. Weiterhin wirkt sich eine Verringerung der Betriebstemperaturen positiv auf die Alterung der eingesetzten Kunststoffmantelverbundrohre im Wärmenetz 2 aus, sodass es zu einer Vermeidung etwaiger Reparaturen oder gar Austausche kommt. Somit sind grundsätzlich möglichst geringe Vorlauftemperaturen anzustreben. Dies wird ebenfalls durch die vorliegende Erfindung und ihre Ausgestaltungen ermöglicht.

[0056] Das Wärmenetz 2 kann durch einen Graphen $G_{DHN} = (K, E)$ mit Knoten K und Leitungen E symbolisiert werden. Weiterhin ist das Wärmenetz 2 in die Subnetze x beziehungsweise Teilwärmenetze 21, 22, 23 unterteilbar, das heißt $G_{sub,x} \subseteq G_{DHN}$. Die Teilwärmenetze 21, 22, 23 sind hydraulisch und thermisch mittels Wärmeübertrager an Knotenpunkten im Wärmenetz voneinander entkoppelt. Der Massenfluss in den Leitungen wird vorliegend nicht näher betrachtet und als optimal eingestellt angesehen. Dies ist vergleichbar zu bekannten Netzregelung mit konstantem Massenfluss.

[0057] Für das Ermitteln der Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze 21, 22, 23 wird zunächst ein jeweiliger zulässiger Temperaturbereich, mit welchem die Teilwärmenetze 21, 22, 23 grundsätzlich betrieben werden dürfen, diskretisiert. Dabei schränken die technischen Randbedingungen der eingesetzten Leitungen und der angeschlossenen Erzeuger beziehungsweise Verbraucheranlagen die zulässigen Temperaturen in einem Teilwärmenetz 21, 22, 23 ein. Ist in einem Teilwärmenetz 21, 22, 23 der Temperaturbereich im Bereich von 60 °C bis 100 °C eingeschränkt, kann die Schrittweite der Diskretisierung grundsätzlich beliebig gewählt werden. Bei einer vorteilhaften Schrittweite von 10 Kelvin ergeben

sich die beispielhaften zulässigen Vorlauf temperaturen $\Theta_x^{SUB} \in \{60\text{ °C}, 70\text{ °C}, 80\text{ °C}, 90\text{ °C}, 100\text{ °C}\}$ für das Teilwärmenetz x .

[0058] Weiterhin muss die Leistungsbilanz für jeweils einen Knoten i und einen Zeitschritt t als Nebenbedingungen bei der Optimierung, das heißt beim Minimieren der Zielfunktion, berücksichtigt werden. Die Summe aller über Erzeu-

geranlagen 41 und/oder Prosumeranlagen 42 eingespeisten Leistungen $P_{i,\vartheta,t}^{in}$ sowie die Summe aller aus Verbrau-

cheranlagen 43 und/oder Prosumeranlagen 42 entnommenen (ausgespeisten) Leistungen $P_{i,\vartheta,t}^{out}$ sowie über die Lei-
tungen des Wärmenetzes 2 zugeführte Leistungen $P_{(i,j),\vartheta,t}$ ergibt den Wert Null. Mit anderen Worten muss

$$P_{i,\vartheta,t}^{out} = P_{i,\vartheta,t}^{in} + \sum_{\substack{(i,j) \in E \\ \vartheta \in \Theta_x^{SUB}}} P_{(i,j),\vartheta,t} \quad \forall i \in N, \forall t \in \tau$$

als physikalische Nebenbedingungen berücksichtigt werden. Die eingespeisten beziehungsweise entnommenen Leistungen an dem Knoten i werden im Beispiel eines lokalen Wärmemarktes über Angebote des angebundenen Teilnehmers

k bestimmt. Die eingespeisten Leistungen $P_{i,\vartheta,t}^{in}$ entsprechen der Summe der Variablen $P_{k,\vartheta,t}^S$. Die entnommenen

Leistungen $P_{i,\vartheta,t}^{out}$ entsprechen der Summe der Variablen $P_{k,\vartheta,t}^B$, das heißt es ist $P_{i,\vartheta,t}^{out} = \sum_{k \in K} P_{k,\vartheta,t}^S$ beziehungsweise

$$P_{i,\vartheta,t}^{in} = \sum_{k \in K} P_{k,\vartheta,t}^B.$$

[0059] Entscheidend bei der Ermittlung der Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze 21, 22, 23 ist die grundsätzliche Flexibilität, die innerhalb des Wärmenetzes 2 mit mehreren Erzeugungsanlagen und Verbrauchsanlagen vorliegt. Verbraucheranlagen können typischerweise ihren Leistungsbezug über die Variation des Massenflusses regeln. Ihre Be-

zugstemperatur hat jedoch eine Mindesttemperatur $\vartheta_{min,t}^B$. Auf Erzeugerseite können die eingespeisten Tempera-

turen direkt über die Erzeugeranlagen geregelt werden. Die technisch zu beachtende Maximaltemperatur $\vartheta_{max,t}^S$

können wie die Mindesttemperatur $\vartheta_{min,t}^B$ an die Steuereinheit 1 übermittelt werden und beim Ermitteln der Vorlauftemperaturen innerhalb der jeweiligen Optimierungen als Nebenbedingungen berücksichtigt werden. So ist es möglich,

dass eine Erzeugeranlage mit einer höheren Maximaltemperatur eine Verbraucheranlage mit einer niedrigeren Mindesttemperatur bezüglich der ermittelten Wärmeleistung zugeordnet wird.

[0060] Schließlich ist der Leistungstransfer zwischen den Knoten durch die Variable $P_{(i,j),\vartheta,t}$ bestimmt. Aufgrund des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik gilt, dass die Temperatur der eingespeisten Leistungen der Erzeugeranlagen ϑ_{in} und der Leitungen $\vartheta_{(i,j)}$ höher ist als die Temperatur der entnommenen Leistungen ϑ_{out} . Somit wird als Nebenbe-

dingung $\vartheta_{max,t}^S \geq \vartheta_{in} \geq \vartheta_{(i,j)} \geq \vartheta_{out} \geq \vartheta_{min,t}^B$ gefordert.

[0061] Zur zeitlichen Bestimmung der Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze 21, 22, 23 wird das erfindungsgemäße Verfahren zeitlich wiederholt verwendet.

[0062] Initial wird die Menge $\vartheta \in \Theta_x^{SUB}$ die zulässigen Vorlauftemperaturen des Teilwärmenetzes x lediglich durch die technischen Parameter der angebundenen Betriebsmittel beschränkt. Das Optimierungsverfahren beziehungsweise

der Solver ermittelt mögliche Lösungen für die Variablen der Wärmeleistungen $P_{i,\vartheta,t}^{in}$, $P_{i,\vartheta,t}^{out}$ und $P_{(i,j),\vartheta,t}$. Typischerweise werden die Wärmeleistungen beziehungsweise ihre beim Minimieren der Zielfunktion verwendeten Variablen für mehr als eine Vorlauftemperatur gesetzt. Dies korrespondiert zum ersten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens. Technisch ist diese Lösung nicht umzusetzen, da ein Teilwärmenetz 21, 22, 23 nur mit einer Vorlauftemperatur betrieben werden kann. Es gilt somit für jedes Teilwärmenetz 21, 22, 23 genau eine Vorlauftemperatur zu ermitteln. Dies erfolgt nach den folgenden Schritten.

[0063] Die zulässigen Vorlauftemperaturen $\vartheta \in \Theta_x^{SUB}$ für die Teilwärmenetze 21, 22, 23 werden zunächst weiter

auf mögliche Vorlauftemperaturen eingeschränkt. Sind in einem Teilwärmenetz 21, 22, 23 die Variablen $P_{i,\vartheta,t}^{in} > 0$,

$P_{i,\vartheta,t}^{out} > 0$, $P_{(i,j),\vartheta,t} > 0$ für lediglich eine einzige Vorlauftemperatur größer als Null, wird die Menge $\vartheta \in \Theta_x^{SUB}$ für das Teilwärmenetz x auf diese eine Vorlauftemperatur eingeschränkt. Sind in einem Teilwärmenetz 21, 22, 23 die Wärmeleistungen beziehungsweise ihre Variablen für mehrere Vorlauf temperaturen gesetzt, wird die Menge

$\vartheta \in \Theta_x^{SUB}$ entsprechend auf die in diesem Sinn verwendeten Vorlauftemperaturen eingeschränkt. Dieses weitere Einschränken entspricht dem zweiten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0064] Das Optimierungsproblem wird anschließend in n Teilprobleme aufgeteilt. Für ein Teilproblem wird in jedem

der Teilwärmenetze 21, 22, 23 genau eine Vorlauftemperatur aus der eingeschränkten Menge $\vartheta \in \Theta_x^{SUB}$ der möglichen Vorlauftemperaturen verwendet, wobei jedes Teilproblem eine neue Kombination an möglichen Vorlauftemperaturen in den Teilwärmenetzen 21, 22, 23 darstellt. Die Teilprobleme werden unabhängig voneinander gelöst. Anschließend legt die Kombination mit dem höchsten Zielfunktionswert die tatsächlichen Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze 21, 22, 23 fest. Dies korrespondiert zum dritten und vierten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0065] Im fünften Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze 21, 22, 23 entsprechend den ermittelten Vorlauftemperaturen eingestellt und somit das Wärmenetz 2 gemäß der ermittelten vorteilhaften Vorlauftemperaturen betrieben.

[0066] Weiterhin ist die vorliegende Erfindung bezüglich lokaler Wärmemärkte vorteilhaft, da diese typischerweise eine Vielzahl von dezentralen Erzeugungsanlagen aufweisen. Dies wird im folgenden, nicht einschränkenden Ausführungsbeispiel näher ausgeführt, das eine Verwendung der vorliegenden Erfindung für einen solchen Wärmemarkt beschreibt.

[0067] Ein lokaler Wärmemarkt kann als Day-Ahead-Auktion realisiert sein, welcher zu einem spezifizierten Zeitpunkt am Tag, beispielsweise 12:00 Uhr für 24 Stunden des Folgetages, Angebote bezüglich der Wärmeaustausche über einen Algorithmus in den Zeitschritten t in Übereinstimmung bringt. Hierzu übermitteln die teilnehmenden Energiesysteme wenigstens einen vorgesehenen Wärmeverbrauch und/oder eine vorgesehene Wärmeerzeugung an die Steuereinheit 1. Weiterhin können eine minimale Bezugstemperatur und/oder maximale Bezugsleistung sowie eine maximale Einspeisetemperatur und/oder eine maximale Einspeiseleistung an die Steuereinheit übermittelt werden. Diese technischen übermittelten Daten/Informationen können dann als Nebenbedingungen bei dem Verfahren zur Ermittlung der Vorlauftemperaturen berücksichtigt werden. Hierbei wird für das Market-Matching und für das Ermitteln der Vorlauftem-

peraturen bevorzugt dieselbe Zielfunktion verwendet. Die Steuereinheit 1 kann somit als lokale Wärmemarktplattform ausgebildet sein.

[0068] Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt oder andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0069]

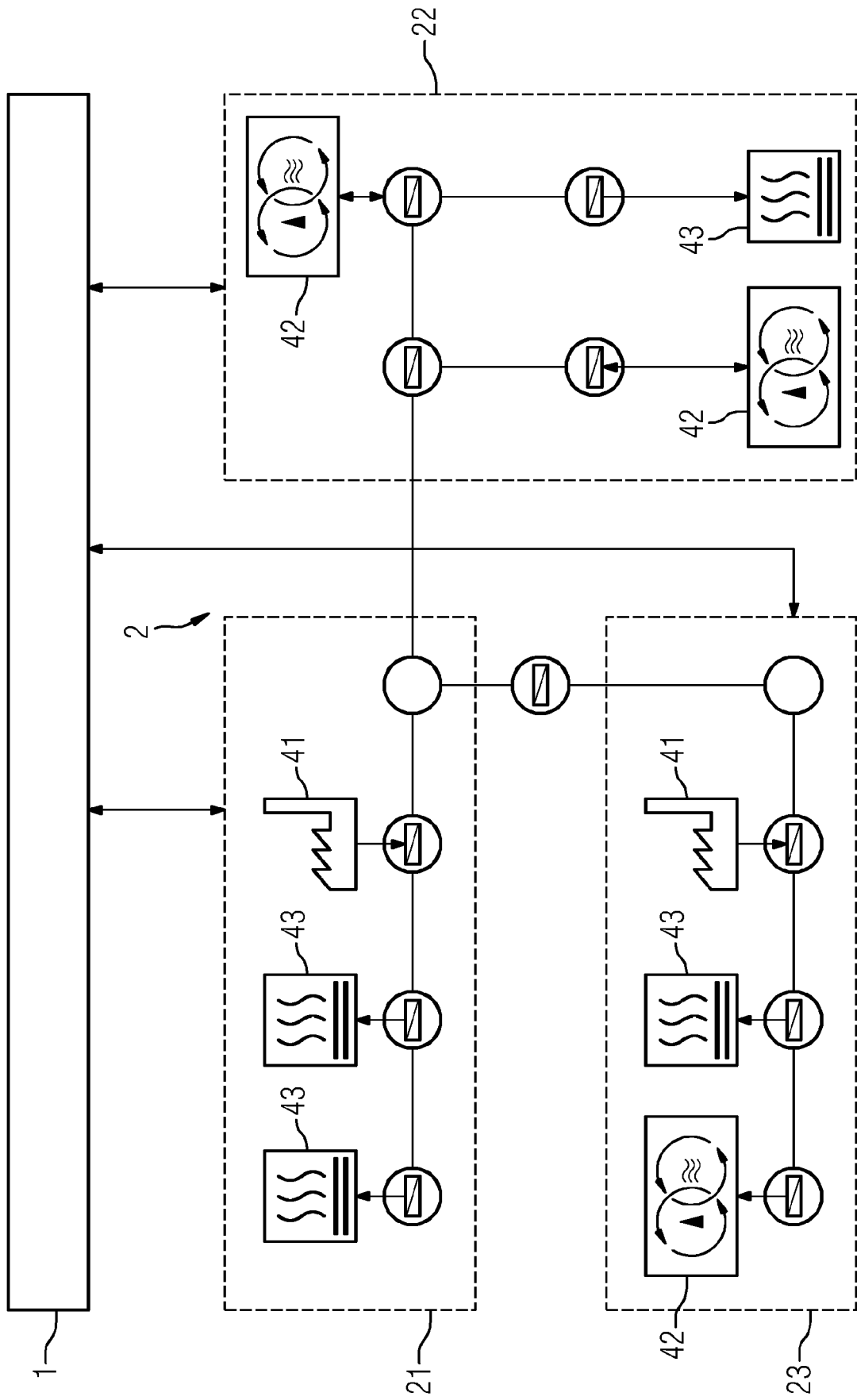
- 1 Steuereinheit
- 2 Wärmenetz
- 21 Teilwärmenetz
- 22 Teilwärmenetz
- 23 Teilwärmenetz
- 41 Erzeugeranlage
- 42 Prosumeranlage
- 43 Verbraucheranlage

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Wärmenetzes (2), wobei das Wärmenetz (2) mehrere Teilwärmenetze (21, 22, 23) aufweist, und für jedes Teilwärmenetz (21, 22, 23) eine oder mehrere für dessen Betrieb zulässige Vorlauftemperaturen bereitgestellt werden, **gekennzeichnet dadurch, dass** die zur Steuerung verwendeten Vorlauftemperaturen durch die folgenden Schritte eingestellt werden:
 - (S1) Ermitteln von ersten Wärmeleistungen durch ein Minimieren einer Zielfunktion, wobei die ersten Wärmeleistungen von den zulässigen Vorlauftemperaturen abhängig sind;
 - (S2) Ermitteln von möglichen Vorlauftemperaturen für jedes Teilwärmenetz (21, 22, 23), wobei die möglichen Vorlauftemperaturen des jeweiligen Teilwärmenetzes (21, 22, 23) dadurch bestimmt werden, dass innerhalb des jeweiligen Teilwärmenetzes (21, 22, 23) eine erste Wärmeleistung ausgetauscht werden soll;
 - (S3) Ermitteln von zweiten Wärmeleistungen für jede Kombination der möglichen Vorlauftemperaturen durch ein Minimieren einer auf die jeweilige Kombination eingeschränkten Zielfunktion, wobei für die Kombination genau eine mögliche Vorlauftemperatur für jedes Teilwärmenetz (21, 22, 23) verwendet wird;
 - (S4) Ermitteln derjenigen Kombination von möglichen Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze (21, 22, 23), dessen zugehörige eingeschränkte Zielfunktion unter allen eingeschränkten Zielfunktionen den kleinsten Wert aufweist; und
 - (S5) Einstellen der Vorlauftemperaturen gemäß der im vierten Schritt (S4) ermittelten Kombination.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch, dass** als Zielfunktion Gesamtkohlenstoffdioxidemissionen verwendet werden.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet dadurch, dass** als Zielfunktion eine durch die zu ermittelten Wärmeleistungen gebildete Linearkombination verwendet wird.
4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch, dass** das Wärmenetz (2) derart gesteuert wird, dass die zu den eingestellten Vorlauftemperaturen zugehörigen ermittelten zweiten Wärmeleistungen innerhalb des Wärmenetzes (2) ausgetauscht werden.
5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch, dass** mehrere Energiesysteme (41, 42, 43) zum Wärmeaustausch an das Wärmenetz (2) angeschlossen sind, wobei technische Randbedingungen der jeweiligen Energiesysteme (41, 42, 43) als Nebenbedingung bei dem Minimieren der Zielfunktion berücksichtigt werden.
6. Verfahren gemäß Anspruch 5, **gekennzeichnet dadurch, dass** maximale und/oder minimale Temperaturen von wärmetechnischen Anlagen der Energiesysteme (41, 42, 43) als Nebenbedingung berücksichtigt werden.

EP 4 113 016 A1

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 5 oder 6, **gekennzeichnet dadurch, dass** die Steuerung mittels einer bezüglich der Energiesysteme (41, 42, 43) zentralen Steuereinheit (1) erfolgt.
8. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch, dass** zum Bereitstellen der zulässigen Vorlauftemperaturen für eines der Teilwärmenetze (21, 22, 23) ein zulässiger Temperaturbereich, der durch wärmetechnische Anlagen innerhalb des zugehörigen Teilwärmenetzes (21, 22, 23) bestimmt ist, diskretisiert wird.
9. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet dadurch, dass** das Wärmenetz (2) als Nahwärmenetz oder Fernwärmenetz ausgebildet ist.
10. Steuereinheit (1) zur Steuerung eines Wärmenetzes (2) mit mehreren Teilwärmenetzen (21, 22, 23), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (1) dazu ausgebildet ist, die Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze (21, 22, 23) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 zu bestimmen und die bestimmten Vorlauftemperaturen der Teilwärmenetze (21, 22, 23) einzustellen.





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 21 18 2516

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	Maroufpiroutia ET AL: "Optimisation of supply temperature and mass flow rate for a district heating network", , 4. Dezember 2014 (2014-12-04), XP055333736, Gefunden im Internet: URL:https://www.researchgate.net/profile/Audrius_Bagdanavicius/publication/268202032_Optimisation_of_supply_temperature_and_mass_flow_rate_for_a_district_heating_networkk/links/54804050cf250f1edbf05e.pdf [gefunden am 2017-01-10] * Absätze [02.2] - [02.4]; Abbildung 1 * -----	1-10	INV. F24D19/10 F24D10/00
A	EP 3 767 770 A1 (SIEMENS AG [DE]) 20. Januar 2021 (2021-01-20) * Absätze [0005] - [0061]; Anspruch 15; Abbildung 1 * -----	1-10	
A	WO 2018/015508 A1 (VITO NV [BE]) 25. Januar 2018 (2018-01-25) * Seite 7, Zeile 10 - Seite 22, Zeile 15; Abbildungen 1,6 * -----	1-10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F24D
2 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 14. Dezember 2021	Prüfer Hoffmann, Stéphanie
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 21 18 2516

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

14-12-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 3767770	A1	20-01-2021	KEINE		

15	WO 2018015508	A1	25-01-2018	CN	109564438 A	02-04-2019
				EP	3488313 A1	29-05-2019
				WO	2018015508 A1	25-01-2018

20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

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