

(19)



(11)

EP 2 420 748 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

22.02.2012 Patentblatt 2012/08

(51) Int Cl.:

F24D 19/10^(2006.01)(21) Anmeldenummer: **11006715.4**(22) Anmeldetag: **17.08.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

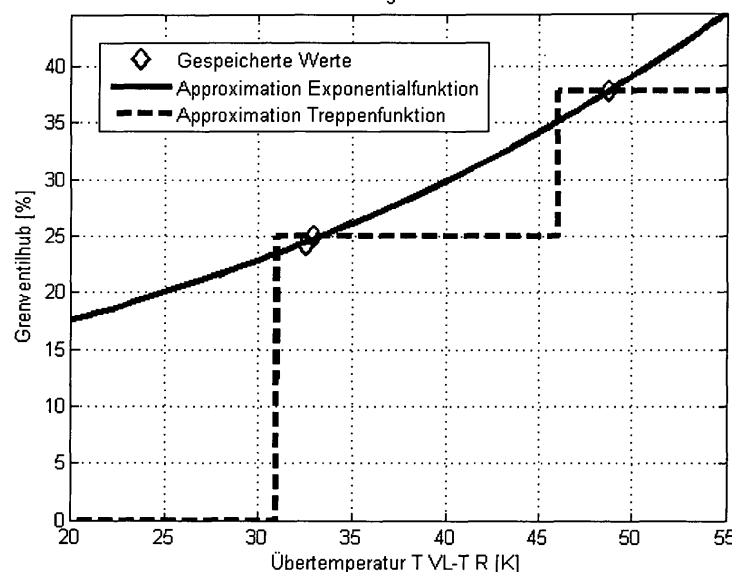
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **18.08.2010 DE 102010034769**(71) Anmelder: **ista International GmbH
45131 Essen (DE)**(72) Erfinder: **Linden, Jens
45131 Essen (DE)**(74) Vertreter: **Cohausz Hannig Borkowski Wißgott
Patent- und Rechtsanwaltskanzlei
Schumannstrasse 97-99
40237 Düsseldorf (DE)**(54) **Verfahren und System zur Durchführung eines hydraulischen Abgleichs in einem Heizungssystem**

(57) Die Erfindung betrifft ein System und ein Verfahren zur Durchführung eines hydraulischen Abgleichs in einem Heizungssystem mit wenigstens zwei Heizflächen, wobei der Massenstrom eines Heizfluids durch jede der Heizflächen an jeder der Heizflächen mittels eines elektronischen Thermostatventils individuell durch Einstellung der aktuellen Öffnungsposition des Thermostatventils geregelt wird, wobei für jede der Heizflächen aus Temperaturmesswerten ein den Arbeitspunkt der Heizfläche repräsentierender Wert bestimmt und mit einem gespeicherten Vergleichswert der Heizfläche verglichen wird und in Abhängigkeit des Vergleichs die maximal zu-

lässige Öffnungsposition des Thermostatventils elektronisch begrenzt wird, bei dem in einem Fall, wenn der Vergleich eine hydraulische Überversorgung der Heizfläche anzeigt die aktuelle Öffnungsposition des Thermostatventils um einen Reduktionswert, insbesondere einen festen Reduktionswert, insbesondere mehrfach reduziert wird bis dass der Vergleich ein Ergebnis liefert, gemäß dem eine weitere Reduktion unnötig ist und der Wert der letzten Öffnungsposition als maximal zulässige Öffnungsposition zusammen mit der gemessenen Übertemperatur der Heizfläche zur Bildung und/oder Adaption einer Kennlinie / eines Kennfeldes gespeichert wird.

Figur 8

**EP 2 420 748 A2**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zur Durchführung eines hydraulischen Abgleichs in einem Heizungssystem mit wenigstens zwei Heizflächen, insbesondere wenigstens zwei Heizkörpern, wobei der Massenstrom eines Heizfluids durch jede der Heizflächen an jeder der Heizflächen mittels eines elektronischen Thermostatventils individuell durch Einstellung der aktuellen Öffnungsposition des Thermostatventils geregelt wird, wobei für jede der Heizflächen aus Temperaturmesswerten ein den Arbeitspunkt der Heizfläche repräsentierender Wert bestimmt und mit einem gespeicherten Vergleichswert der Heizfläche verglichen wird und in Abhängigkeit des Vergleichs die maximal zulässige Öffnungsposition des Thermostatventils elektronisch begrenzt wird.

[0002] Ein System zur Durchführung eines solchen Verfahrens umfasst wenigstens eine von einem Heizfluid durchströmte Heizfläche, insbesondere wenigstens einen Heizkörper, wobei jede Heizfläche ein elektronisches Thermostatventil zur Regelung des Massenstroms durch die Heizfläche in Abhängigkeit der Raumtemperatur aufweist.

[0003] Hier kann es üblicherweise vorgesehen sein, dass jedes elektronische Thermostatventil eine eigene Regelung, z.B. intern im Ventil oder durch eine externe Regelung aufweist, um anhand der Raumluft-Sollwert-Temperaturvorgabe durch einen Benutzer und die gemessene Raumlufttemperatur die Öffnungsposition des Ventils einzustellen und so die Raumlufttemperatur zu regeln. Es können zu diesem Zweck auch mehrere Thermostatventile mit einer übergeordneten Regeleinheit kommunizieren.

[0004] Im Stand der Technik ist es allgemein bekannt, dass eine Vielzahl von Heizflächen in einem Kreislauf angeordnet sind mit einem Wärmeerzeuger, z.B. einer Zentralheizung, um die einzelnen Heizflächen jeweils mit aufgeheiztem Heizfluid zu versorgen. Dabei kann es sich um Einrohr- oder Zweirohrsysteme handeln.

[0005] Dafür stellt der Wärmeerzeuger, z.B. eine Gas- oder Ölheizung oder Fernwärmeeinrichtung, ein Heizfluid einer vorgegebenen Vorlauftemperatur zur Verfügung, wobei sodann durch eine oder mehrere Umwälzpumpen sicher gestellt wird, dass jede der Heizflächen im Heizungssystem von dem Heizfluid mit der gewählten Vorlauftemperatur durchströmt wird. Die Vorlauftemperatur kann z.B. Außentemperaturgeführt sein, eine Nachttemperaturabsenkung aufweisen oder sonstigen grundsätzlich beliebigen Kriterien folgen, die z.B. durch Kennlinien in einem Heizungssystem gespeichert sind.

[0006] Es ist dabei im Stand der Technik weiterhin bekannt, dass die einzelnen Heizflächen innerhalb eines solchen Heizungssystems in Verbindung mit den Rohrleitungen, die zu den einzelnen Heizflächen führen, verschiedene Strömungswiderstände aufweisen können. Hieraus ergibt sich, insbesondere bei gleichzeitig geöffneten Thermostatventilen mehrerer Heizkörper, dass eine Heizfläche mit einem höheren Strömungswiderstand einen geringeren Massenstrom des Heizfluids aufweist als eine Heizfläche mit einem geringeren Strömungswiderstand.

[0007] Gerade in Aufheizphasen eines Heizungssystems, wie sie z.B. nach einer Absenkung der Vorlauftemperatur während der Nacht nach der Beendigung der Nachtabsenkung vorkommen, aber auch während der Zeit der Nachtabsenkung kann dies dazu führen, dass durch Heizflächen mit einem geringeren Strömungswiderstand ein hoher Massenstrom an Heizfluid entsteht, hingegen an solchen Heizflächen mit einem höheren Strömungswiderstand lediglich ein geringer Massenstrom an Heizfluid, so dass bei den letztgenannten Heizflächen, insbesondere Raumheizkörpern, eine hydraulische Unterversorgung festgestellt wird, hingegen bei den erstgenannten Heizflächen bzw. Heizkörpern eine hydraulische Überversorgung. Dies gilt insbesondere dann, wenn hierbei in der Regel mehrere oder sogar alle Thermostatventile der Heizflächen des Heizsystems geöffnet sind.

[0008] Um solche Missstände auszuräumen, ist es bekannt, einen sogenannten hydraulischen Abgleich durchzuführen, bei welchem die Strömungswiderstände aller Heizflächen bzw. aller Heizkörper oder der gesamten Stränge, in denen Heizflächen / Heizkörper angeordnet sind, für den Fall maximal geöffneten Thermostatventile (zumindest näherungsweise) gleich eingestellt werden. So ist in einer Aufheizphase der z.B. oben genannten Art der Strömungswiderstand an allen Heizflächen gleich, so dass unterschiedliche Versorgungszustände an den einzelnen Heizflächen vermieden werden. Ein solches System wird als hydraulisch abgeglichen bezeichnet.

[0009] Ein solcher hydraulischer Abgleich wird üblicherweise dadurch vorgenommen, dass durch einen Heizungstechniker bei der Installation der Anlage an jeder Heizfläche oder in bestimmten Strangabschnitten des Heizungssystems der Strömungswiderstand individuell eingestellt wird, insbesondere wenn dabei alle Thermostatventile der Heizflächen geöffnet sind. Beispielsweise kann der Strömungswiderstand in der Rücklaufverschraubung von Heizkörpern variabel eingestellt werden oder es kann durch eine sogenannte Voreinstellung der Strömungsquerschnitt in Heizkörperventilen, insbesondere stufenweise, geändert werden.

[0010] Als nachteilig wird hierbei empfunden, dass die Durchführung eines solchen hydraulischen Abgleichs personal- und zeitintensiv ist und demnach üblicherweise auch entsprechende Kosten hervorruft. Weiterhin ist oftmals eine Rohrnetzberechnung zur Ermittlung der Voreinstellwerte der Ventile erforderlich. Besonders in Bestandsanlagen ist dies kompliziert und in diesem Fall müssen viele Annahmen getroffen werden. Dadurch entsteht eine Ungenauigkeit in den umgesetzten Voreinstellwerten.

[0011] Ein weiterer Nachteil ist, dass ein einmalig durchgeführter hydraulischer Abgleich für einen Arbeitspunkt durchgeführt wird. Als Arbeitspunkt wird üblicherweise der Auslegungszustand genommen, bei dem minimale Außentemperaturbedingungen zugrunde gelegt werden. Da diese Auslegungsbedingungen in der Praxis jedoch nur in den seltensten

Fällen eintreten, ist es durchaus möglich, dass der einmalig erfolgte hydraulische Abgleich nur suboptimale Ergebnisse für einen Großteil der Betriebszeit der Anlage erzielt.

[0012] Ein Verfahren und System zur Durchführung eines automatischen hydraulischen Abgleichs in einem Heizungssystem ist z.B. aus der Veröffentlichung DE 199 11 866 A1 bekannt. Hieraus ist es bekannt, den Arbeitspunkt jeder Heizfläche durch die Differenz der Temperaturen von Vor- und Rücklauf zu bestimmen und auf einen gewünschten Wert als Vergleichswert einzuregulieren durch Änderung der Öffnung eines Ventils jedes Heizkreises. Durch einen zusätzlichen Raumthermostaten wird das Ventil geschlossen, wenn die Raumtemperatur einen Sollwert erreicht hat oder geöffnet wenn der Sollwert nicht erreicht ist.

[0013] Als nachteilig wird hier empfunden, dass für alle Heizkreise dieselbe Differenz zwischen Vor- und Rücklauf-temperatur als Vergleichswert angenommen wird und dieser Wert für alle Betriebszustände konstant ist. Durch die Raumtemperaturregelung, die nur zwischen einem geöffneten und einem geschlossenen Zustand der Ventile unterscheidet, kann der tatsächliche aktuelle Wärmebedarf und ggfs. Fremdwärmequellen, z.B. Sonnenlicht nicht berücksichtigt werden, Solange die Ventile durch die Raumtemperaturregelung aufgesteuert sind erfolgt eine Regelung auf konstante Differenz zwischen Vor- und Rücklauf-temperatur ohne eine Anpassung an den tatsächlichen Wärmebedarf vorzunehmen.

[0014] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und ein System bereitzustellen, mittels denen ein hydraulischer Abgleich durch Einstellung der Heizflächen- und/oder Strangströmungswiderstände eines Heizungssystems vollautomatisch ermöglicht wird und bevorzugt dem aktuellen Arbeitspunkt der Anlage entspricht. Dabei soll bevorzugt eine wärmebedarfsgerechte Einstellung der Öffnungspositionen der Thermostatventile erzielt werden, z.B. zur Minimierung der Soll-Ist-Abweichung bei der Raumlufttemperatur.

[0015] Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass in einem Fall, wenn der Vergleich eine hydraulische Überversorgung der Heizfläche anzeigt die aktuelle Öffnungsposition des Thermostatventils um einen Reduktionswert, insbesondere einen festen Reduktionswert, insbesondere mehrfach reduziert wird bis dass der Vergleich ein Ergebnis liefert, gemäß dem eine weitere Reduktion unnötig ist und der Wert der letzten Öffnungsposition als maximal zulässige Öffnungsposition zusammen mit der gemessenen Übertemperatur der Heizfläche zur Bildung und/oder Adaption einer Kennlinie / eines Kennfeldes gespeichert wird.

[0016] Ein System zur Durchführung eines solchen Verfahrens ist demnach eingerichtet, in einem Fall, wenn der Vergleich eine hydraulische Überversorgung der jeweiligen Heizfläche anzeigt die aktuelle Öffnungsposition des Thermostatventils um einen Reduktionswert, insbesondere einen festen Reduktionswert, insbesondere mehrfach zu reduzieren bis dass der Vergleich ein Ergebnis liefert, gemäß dem eine weitere Reduktion unnötig ist und den Wert der letzten Öffnungsposition als maximal zulässige Öffnungsposition zusammen mit der gemessenen Übertemperatur der Heizfläche zur Bildung und/oder Adaption einer Kennlinie / eines Kennfeldes zu speichern.

[0017] Wesentlich für das erfindungsgemäße Verfahren ist es, dass zur Durchführung des Verfahrens bzw. in einem System rein aus Temperaturmesswerten, die während des Betriebs des Systems jederzeit erfasst werden können, mittels Temperatursensoren, ein Wert ermittelt wird, der einen Arbeitspunkt der betrachteten Heizfläche repräsentiert. Es reicht sodann ein einfacher Vergleich aus, um einen hydraulischen Abgleich zu erhalten. Je nach Art des ermittelten Wertes und des zugrunde gelegten Vergleichswertes wird dann eine Begrenzung durchgeführt, wenn z.B. der Wert den Vergleichswert überschreitet oder alternativ unterschreitet.

[0018] Ein solcher Wert kann aus den erfassten Temperaturmesswerten z.B. anhand eines gespeicherten Modells, insbesondere einer gespeicherten Berechnungsvorschrift, in einer Berechnungsvorrichtung ermittelt werden oder sich auch unmittelbar aus den Temperaturmesswerten ergeben, z.B. durch Summen- oder Differenzwertbildung.

[0019] Weiterhin liegt in dem System bzw. zur Durchführung des Verfahrens, insbesondere in der Berechnungsvorrichtung, ein gespeicherter Vergleichswert vor, der bezogen auf den eingangs genannten berechneten Wert z.B. durch einen Auslegungsnormwert der Heizfläche oder einen davon abhängigen Wert gebildet wird.

[0020] Erfindungsgemäß kann es vorgesehen sein, aus mehreren verschiedenen möglichen Werten auszuwählen um einen Arbeitspunkt der Heizfläche zu repräsentieren.

[0021] Beispielsweise kann der durch die Heizfläche fließende aktuelle oder über eine Zeit gefilterte Massenstrom (z.B. Mittelwert) herangezogen werden, der anhand eines gespeicherten Modells berechnet wird. Als Vergleichswert kann dann z.B. ein Grenzmassenstrom herangezogen werden, der an der betrachteten Heizfläche nicht überschritten werden soll und für die Heizfläche gespeichert ist, z.B. in der Berechnungsvorrichtung. Dieser Vergleichswert kann sich z.B. durch den Normmassenstrom am Auslegungspunkt des Heizkörpers ergeben oder einen davon abhängigen Wert.

[0022] Ist der festgestellte Wert des Massenstroms größer als der Vergleichswert, so erfolgt erfindungsgemäß eine Begrenzung der maximal zulässigen Öffnungsposition.

[0023] Der Vergleichswert, insbesondere der genannte Grenzmassenstrom kann selbst von zumindest einer der gemessenen Temperaturen abhängig sein, z.B. von der Übertemperatur der Heizfläche, insbesondere welche hier die Differenz aus Vorlauf- und Raumtemperatur bezeichnet. Es kann daher vorgesehen sein, den Vergleichswert aus einer Tabelle, Kennlinie oder Berechnungsvorschrift für den Vergleich in Abhängigkeit von der Temperatur zu ermitteln, z.B. ebenso in der Berechnungsvorrichtung.

[0024] In einer anderen Ausführung kann die von der Heizfläche aktuelle oder gefilterte Wärmeabgabe als Wert ermittelt werden, z.B. wiederum anhand eines gespeicherten Modells. Als gespeicherter Vergleichswert kann z.B. die Normwärmeabgabe am Auslegungspunkt des Heizkörpers oder ein davon abhängiger Wert oder die theoretisch maximal erreichbare Heizleistung des Heizkörpers herangezogen werden.

[0025] Z.B. ist es möglich für eine gegebene Übertemperatur (Vorlauftemperatur-Raumlufttemperatur) die maximale Heizleistung zu bestimmen, z.B. mittels einer Grenzwertbildung wenn der Massenstrom gegen unendlich geht. In einem solchen Fall ist die Rücklauftemperatur gleich der Vorlauftemperatur. Als Vergleichswert kann man dann einen von der maximal möglichen Heizleistung abhängigen Wert heranziehen. Z.B. könnte man fordern, dass die aktuelle Heizleistung nicht einen Wert von 90% der maximal möglichen Heizleistung im Arbeitspunkt überschreitet.

[0026] In einer wiederum anderen Ausführung kann die aktuelle oder gefilterte Steigung der Kennlinie der Heizkörperleistung gegen den Massenstrom oder der Heizkörperleistung gegen den Ventilhub herangezogen werden, insbesondere wobei die Steigung anhand eines gespeicherten Modells berechnet wird.

[0027] Im Fall wenn die Steigung der Kennlinie Ventilhub gegen Heizkörperleistung genutzt wird, würde kein Modell benötigt. Aus den Messwertpaaren von Ventilhub und Heizkörperleistung kann eine Kennlinie rekonstruiert werden, deren Steigung numerisch ermittelt werden kann.

[0028] Dieser auf der Steigung basierender Ausführung liegt die Überlegung zugrunde, dass die Heizkörperleistung nichtlinear ist und sich für hohe Massenströme oder auch große Ventilhübe eine Abflachung der Leistungskurve ergibt, somit deren Steigung stark abnimmt.

[0029] Auf der Leistungskurve, insbesondere auf derjenigen für die Auslegungsvorlauftemperatur, wird für das Verfahren die Steigung eines gewünschten Arbeitspunktes festgelegt, die während des Betriebs nicht unterschritten werden soll. Als Vergleichswert kann eine solche Grenzsteigung festgelegt werden in Abhängigkeit der Steigung der Heizkörperleistungskurve am Auslegungspunkt. Z.B. kann als Grenzsteigung diejenige Steigung ermittelt werden, die bei doppeltem Auslegungsmassenstrom vorliegt. Zumindest sollte die Grenzsteigung kleiner gleich der Steigung am Auslegungspunkt sein. Wir bei dem Vergleich festgestellt, dass die aktuelle oder gefilterte Steigung kleiner ist als der Vergleichswert, so erfolgt wiederum die erfindungsgemäße Begrenzung der maximal zulässigen Öffnungsposition.

[0030] In wieder einer anderen Ausführung kann es vorgesehen sein, die Temperaturspreizung der Heizfläche, d.h. die Differenz zwischen Vor- und Rücklauf der Heizfläche durch Messung der Vor- und Rücklauftemperatur bestimmt wird. Die aktuelle oder gefilterte Spreizung kann mit einem Vergleichswert verglichen werden. Ist die Spreizung kleiner als der Vergleichswert, so erfolgt die Begrenzung. Der Vergleichswert kann hier z.B. ermittelt werden basierend auf einem Grenzmassenstrom, wie er zur ersten Ausführung erwähnt wurde. Anstelle der Rücklauftemperatur kann ebenfalls eine beliebige andere Zustandsgröße des Heizkörpers wie beispielsweise die Heizkörpertemperatur auf 75% der Höhe des Heizkörpers zur Bestimmung einer Spreizung herangezogen werden.

[0031] Der Kerngedanke der Erfindung beruht darauf, zu vermeiden, dass die betrachtete Heizfläche hinsichtlich des berechneten Werts, der den Arbeitspunkt repräsentiert, den gespeicherten oder berechenbaren Vergleichswert nicht über- oder unterschreitet, je nachdem welcher Wert herangezogen wird, da bekannt ist, dass hierdurch aufgrund bekannter Nichtlinearitäten einer Heizfläche kein weiterer Vorteil bei der Beheizung von Räumen erzielt wird, vielmehr ein Nachteil darin zu erkennen ist, dass anderenfalls die verbleibenden Heizflächen des Heizungssystems hydraulisch und somit energetisch unterversorgt sind.

[0032] Wird demnach bei der Berechnung und dem nachfolgenden Vergleich festgestellt, dass beispielsweise der durch die Heizfläche fließende Massenstrom größer ist als der Grenzmassenstrom, für den die Heizfläche ausgerichtet ist oder der Wert der Wärmeabgabe größer ist als die Grenzwärmeabgabe der Heizfläche bzw. Grenzwärmeleistung, oder die Steigung kleiner ist als die Grenzsteigung oder die Spreizung kleiner ist als die Grenzspreizung so erfolgt eine automatische Begrenzung der maximal zulässigen Öffnungsposition des Thermostatventils, so dass hierdurch der Strömungswiderstand der betrachteten Heizfläche vergrößert und somit die maximal mögliche Wärmeabgabe, bezogen auf eine Auslegungsvorlauftemperatur bzw. der maximal durch diese Heizfläche fließende Massenstrom des Heizfluids in gleicher Weise begrenzt ist.

[0033] Insbesondere wird so erreicht, dass bei einer Begrenzung der maximalen Öffnungsposition eines Thermostatventils auf einen Wert, der bedingt, dass der überwachte Wert einem Vergleich mit dem Vergleichswert standhält, eine gleichmäßige hydraulische Versorgung aller im Heizsystem vorliegenden Heizflächen erzielt wird und somit ein automatischer hydraulischer Abgleich erreicht ist, der sich an Änderungen des Arbeitspunktes der Anlage anpasst. Überversorgungszustände an einzelnen Heizflächen und damit Unterversorgungszustände an anderen Heizflächen werden verhindert, da an den überversorgten Heizflächen, bei denen dieser Überversorgungszustand anhand des zuvor beschriebenen Vergleichs festgestellt wird, eine künstliche Versorgungsbeschränkung initiiert wird.

[0034] Die Begrenzung der Öffnungsposition des jeweils betrachteten Thermostatventils erfolgt dabei elektronisch, so dass diese Begrenzung autark, z.B. durch das Heizungssystem oder das Thermostatventil selbst vorgenommen werden kann, ohne dass es hierfür eines personellen Einsatzes bedarf.

[0035] Die Begrenzung erfolgt erfindungsgemäß so, dass eine aktuelle Öffnungsposition eines im Verfahren aktuell zu prüfenden Thermostatventils beim Feststellen einer hydraulischen Überversorgung mit jeder Begrenzung stufenweise

verringert wird, z.B. um einen absoluten Betrag oder auch um einen relativen Betrag, z.B. um einen bestimmten Prozentsatz. Bei der ggfs. nötigen Iteration (z.B. wenn nach einer Durchführung, insbesondere nach einer vorgeschriebenen Ruhezeit noch immer eine hydraulische Überversorgung vorliegt) des Verfahrens erfolgt somit in jedem Iterationsschritt eine Begrenzung, bis dass der überwachte Wert dem Vergleich standhält, somit also keine weitere Begrenzung nötig wird. Auf die so gefundene aktuelle Öffnungsposition wird die maximal zulässige Öffnungsposition bei der vorliegenden Übertemperatur begrenzt.

[0036] So ist es demnach erfindungsgemäß vorgesehen, dass ein Thermostatventil wenigstens einiger, bevorzugt aller Heizflächen eines solchen Heizungssystems, seinen Öffnungsquerschnitt nur insoweit verändern kann, dass dieser aufgrund der elektronischen Begrenzung höchstens bis zu der elektronisch festgelegten, maximal zulässigen Öffnungsposition aufgesteuert wird, nicht jedoch darüber hinaus, selbst wenn das betrachtete Thermostatventil rein aufgrund seiner physikalisch gegebenen Möglichkeiten eine noch weitere Öffnung ermöglichen könnte. Diese weitere Öffnung wird durch die elektronische Begrenzung verhindert.

[0037] So wird in einer Einzelraumregelung zur Regelung der Raumtemperatur mittels eines Thermostatventils an einer betreffenden Heizfläche dieses Raumes nur jeweils eine solche Öffnungsposition des Thermostatventils innerhalb von dessen Regelung zugelassen, die zwischen der maximal geschlossenen Position oder einer minimalen Frostschutzposition und der im Zuge der Berechnung und den Vergleich festgelegten maximalen Öffnungsposition liegt. Die aktuelle Öffnungsposition eines Thermostatventil kann dabei z.B. messtechnisch erfasst werden, z.B. durch Messen des Hubs des Ventilstellglieds, z.B. mittels Dehnungsmessstreifen oder auf ähnliche Weise, durch ein elektronisches Feedback des Ventilstellglieds oder durch Auswerten der Stellgröße des elektronischen Raumtemperaturreglers. Die aktuelle Öffnungsposition kann so jederzeit ermittelt werden.

[0038] Das weitere Aufsteuern eines solchen Thermostatventil kann dann nur erfolgen, wenn z.B. die aktuelle Öffnungsposition kleiner ist als die gespeicherte maximal zulässige Öffnungsposition. Hierfür kann ein Thermostatventil oder das System einen elektronisch abfragbaren Speicher aufweisen, in dem die maximal zulässige Öffnungsposition gespeichert ist und nach einer Berechnung geändert werden kann, z.B. durch Überschreiben des alten Werts mit einem neuen.

[0039] Da die Erfindung vorsieht, nach einer durchgeführten Begrenzung zu der bei dieser Begrenzung vorliegenden Übertemperatur die maximal zulässige Öffnungsposition zu speichern, kann durch die Vielzahl der im Laufe der Zeit gespeicherten Wertepaare von Übertemperatur und zulässiger Öffnungsposition eine Kennlinie oder zumindest ein Kennfeld mit diskreten Wertepaaren gebildet werden.

[0040] Es kann sodann vorgesehen sein, bei einer gegebenen messtechnisch festgestellten Übertemperatur zunächst über die Kennlinie oder das Kennfeld einen zu der Übertemperatur gehörigen Wert der maximal zulässigen Öffnungsposition zu bestimmen und diesen Wert dem betrachteten Thermostatventil zuzuweisen z.B. durch Speicherung in dessen Speicher. Erst danach, insbesondere nach Ablauf einer vorgesehenen Ruhezeit kann es weiterhin vorgesehen sein, den eingangs genannten Vergleich durchzuführen, um festzustellen, ob der aus der Kennlinie / dem Kennfeld ermittelte Wert bei der derzeitigen Systemkonfiguration noch die Anforderungen an den hydraulischen Abgleich erfüllt.

[0041] Ist dies nicht der Fall, so kann durch den zuvor beschriebenen Vergleich die Öffnungsposition weiter begrenzt werden, wenn eine hydraulische Überversorgung vorliegt oder die Öffnungsposition wird vergrößert, wenn eine Unterversorgung gegeben ist. Sodann kann die so ermittelte neue Öffnungsposition als neue maximal zulässige Öffnungsposition im Kennfeld / der Kennlinie bei der zugehörigen Übertemperatur gespeichert werden, wodurch die Kennlinie / das Kennfeld adaptiert und aktualisiert wird. Die Erfüllung oder Nicht-Erfüllung des Vergleichs kann dadurch geprüft werden, ob der den Arbeitspunkt repräsentierende Wert innerhalb einer gegebenen Toleranz um den Vergleichswert herum liegt oder nicht. Ist die Toleranz überschritten, so wird dieser Zustand als nicht hydraulisch abgeglichen gewertet, insbesondere je nach Richtung der Überschreitung als über- oder unterversorgt.

[0042] Z.B. wenn noch gar keine Öffnungsposition zu einer Übertemperatur in der Kennlinie / dem Kennfeld gegeben ist kann es vorgesehen sein, die Vergleich sofortig durchzuführen, also insbesondere beim erstmaligen Systemstart.

[0043] Es kann weiterhin vorgesehen sein, die Kennlinie durch eine Funktion an die gespeicherten Wertepaare zu fitten, insbesondere wenn wenigstens zwei oder mehr als zwei Wertepaare vorliegen, z.B. durch eine Treppenfunktion oder Exponentialfunktion oder Polynom oder sonstige geeignete Funktion, z.B. auch durch eine Gerade. So können aus einer solchen Kennlinie auch dann zu einer gemessenen Übertemperatur zugehörige Werte der maximal zulässigen Öffnungsposition ausgelesen werden bzw. bestimmt werden, wenn zu der konkreten Übertemperatur zuvor noch keine Begrenzung und Speicherung eines Wertes der Öffnungsposition stattgefunden hat.

[0044] Es kann vorgesehen sein, nach jeder Speicherung einer Öffnungsposition zu einer Übertemperatur das Anfiten der Kennlinie mit einer gewählten Funktion zu erneuern und so die neue Kennlinie als aktualisierte Funktion zu beschreiben.

[0045] In einer bevorzugten Ausführungsvariante kann es vorgesehen sein, dass der eingangs genannte Wert berechnet wird durch Lösung der statischen oder dynamischen Heizkörpergleichung in Abhängigkeit von mehreren gemessenen Temperaturen. Hierbei können in die Heizkörpergleichung, die dem Fachmann bekannt sind, weitere Parameter, wie z.B. der Wärmeübertragungskoeffizient der Heizfläche und/oder der Heizkörperexponent eingehen. Solche

Parameter können variabel, d.h. vorgebbar sein oder auch fest in der Gleichung für eine Berechnung berücksichtigt sein.

[0046] Zur Berechnung des genannten Wertes, in bevorzugter Ausführung des durch die Heizfläche fließenden Massenstroms, der Wärmeabgabe der Heizfläche, der Steigung oder der Spreizung können mit Bezug auf die betrachtete Heizfläche die Vorlauftemperatur und/oder die Raumlufftemperatur des durch die Heizfläche geheizten Raumes und die Heizflächen- und/oder Rücklauftemperatur und/oder die Außentemperatur gemessen werden, wofür in dem genannten System zur Durchführung des Verfahrens entsprechende Temperatursensoren am Vorlauf der Heizfläche und/oder am Vorlauf des Heizungsstrangs und/oder am Rücklauf der Heizfläche und/oder im Raum und/oder direkt an der Heizfläche und/oder an der Außenhülle des Gebäudes angeordnet sein können.

[0047] Die Vorlauftemperatur kann durch die Heizkurve eindeutig einer Außentemperatur zugeordnet werden. Dadurch ist es ebenfalls denkbar, eine Kombination von Außentemperatur und Raumtemperatur (anstelle der Differenz von Vorlauf- und Raumtemperatur) zu betrachten um eine Kennlinie für eine Begrenzung zu rekonstruieren.

[0048] Solche Temperatursensoren können bei einem erfindungsgemäßen System bzw. bei der Durchführung des Verfahrens separat vorgesehen sein, bevorzugt werden jedoch Sensoren eingesetzt, die ohnehin an Komponenten des Heizungssystems, wie z.B. am Heizkörper (z.B. in einem Heizkostenverteiler) oder am Thermostatventil vorhanden sind.

[0049] Mit Hilfe der erfassten Temperaturen, insbesondere mindestens mit der Vorlauftemperatur, der Raumlufftemperatur und alternativ entweder der Heizflächen- oder Rücklauftemperatur kann über die vorgenannte Heizkörpergleichung der verfahrensmäßig zu berücksichtigende Wert berechnet und sodann mit dem Vergleichswert verglichen werden.

[0050] Hierbei kann es z.B. vorgesehen sein, dass eine jeweilige Heizfläche einen Heizkostenverteiler aufweist, der üblicherweise dafür eingesetzt ist, die Wärmeabgabe an der betreffenden Heizfläche zu erfassen und einen internen Zähler in Abhängigkeit der Wärmeabgabe hochzuzählen, um so, insbesondere über einen Abrechnungszeitraum, die insgesamt angefallenen Heizkosten unter den einzelnen Parteien einer Liegenschaft verteilen zu können.

[0051] Ein solcher Heizkostenverteiler kann ohnehin vorhanden sein und für die Belange der Erfindung eingesetzt werden, indem ein solcher zumindest einen Teil der insgesamt benötigten Temperaturmesswerte für die Berechnung zu Verfügung stellt.

[0052] Ebenso besteht die Möglichkeit die Raumlufftemperatur mittels eines im Raum angeordneten Rauchwarnmelders zu erfassen und für die Berechnung zur Verfügung zu stellen.

[0053] Für das erfindungsgemäße Verfahren und System kann ein solcher Heizkostenverteiler oder Rauchwarnmelder bevorzugt eingesetzt werden, um insbesondere mit einem von dessen Temperatursensoren beispielsweise die Raumlufftemperatur in dem Raum der betrachteten Heizfläche zu messen oder aber auch um (im Fall des Heizkostenverteilers) die Raumlufftemperatur aus der gemessenen Heizflächentemperatur zu extrapolieren.

[0054] Ebenso kann für die Durchführung des Verfahrens unmittelbar die Heizflächentemperatur, die mit einem solchen Heizkostenverteiler bzw. dessen Temperatursensor erfasst wird, herangezogen werden. Die Raumlufftemperatur kann durch einen separaten Raumlufftemperatursensor erfasst werden, z.B. auch den eines Rauchwarnmelders.

[0055] Um die für die Berechnung benötigten Temperaturmesswerte weiterhin bereitzustellen, kann es vorgesehen sein, dass die Vorlauf- und/oder Rücklauftemperatur und/oder Raumlufftemperatur durch Temperatursensoren des jeweiligen Thermostatventils gemessen werden und die Heizflächen- und/oder Rücklauftemperatur und/oder Raumlufftemperatur durch einen Temperatursensor eines der Heizfläche zugeordneten Heizkostenverteilers gemessen wird und/oder die Raumlufftemperatur durch einen Rauchwarnmelder gemessen wird.

[0056] So ergänzen sich Thermostatventil und Heizkostenverteiler und/oder Rauchwarnmelder bei einem solchen erfindungsgemäßen System insoweit, als dass zur Berechnung des jeweils interessierenden Wertes, wie beispielsweise des Massenstroms oder der Wärmeabgabe der Heizfläche, der Steigung oder der Spreizung die nötigen Temperaturmesswerte jeweils zu einem Teil von beiden Systemeinheiten, d.h. Thermostatventil und Heizkostenverteiler und/oder Rauchwarnmelder beigetragen werden.

[0057] Hierbei kann es in einer Ausführung vorgesehen sein, dass die Heizflächen- und/oder Rücklauftemperatur von dem jeweiligen Heizkostenverteiler z.B. per Funk an das jeweilige Thermostatventil kommuniziert wird und die Berechnung des interessierenden Wertes anhand wenigstens eines weiteren, vom Thermostatventil beigesteuerten Temperaturmesswertes, hier insbesondere der Vorlauftemperatur, mittels des gespeicherten Modells, z.B. durch das Thermostatventil vorgenommen wird. Ergänzend oder alternativ kann die Raumlufftemperatur z.B. per Funk von einem Rauchwarnmelder an das Thermostatventil kommuniziert werden.

[0058] Dies bedeutet, dass das Thermostatventil eine interne Intelligenz, z.B. einen Mikroprozessor mit einem darin ablaufenden Programm aufweist, mittels dem die Berechnung z.B. anhand eines gespeicherten Modells und der insgesamt zur Verfügung gestellten Temperaturmesswerte vorgenommen wird, wobei in dieser Ausführung durch eine Empfangseinheit des Thermostatventils von außen wenigstens ein Temperaturmesswert durch den in der Umgebung des Thermostatventils angeordneten Heizkostenverteiler erfasst wird. Hier umfasst demnach das Thermostatventil eine Berechnungsvorrichtung.

[0059] Dabei kann zur Übertragung des Messwertes per Funk grundsätzlich die in dem Heizkostenverteiler und/oder Rauchwarnmelder ohnehin vorhandene Sendevorrichtung verwendet werden, die ansonsten üblicherweise zum Einsatz

kommt, um die internen Zählerstände des Heizkostenverteilers zum Zweck der "Ablesung" zu versenden, z.B. an stationäre oder mobile Empfangseinheiten.

[0060] Hierbei kann es aufgrund der großen Nähe zwischen Thermostatventil und Heizkostenverteiler, insbesondere im Bereich von wenigen Metern, vorgesehen sein, dass zur Schonung der internen Energiequelle des Heizkostenverteilers das Versenden des oder der betreffenden Temperaturmesswerte vom Heizkostenverteiler an das Thermostatventil mit einer gegenüber dem Normalbetrieb (reiner Kostenerfassungsbetrieb) des Heizkostenverteilers reduzierten Sendeleistung erfolgt.

[0061] Eine solche reduzierte Sendeleistung schont demnach die Energiereserven des Heizkostenverteilers, ist dennoch ausreichend, um die kurze Distanz zwischen Thermostatventil und Heizkostenverteiler zu überbrücken.

[0062] Ebenso kann eine separate Sendevorrichtung im Heizkostenverteiler vorgesehen sein, um Temperaturmesswerte an das Thermostatventil zu kommunizieren.

[0063] In einer anderen Ausführung kann es auch vorgesehen sein, dass die Vorlauf-und/oder Raumlufttemperatur z.B. vom Thermostatventil und/oder einem Rauchwarnmelder an den Heizkostenverteiler, insbesondere per Funk kommuniziert werden und die Berechnung z.B. anhand eines gespeicherten Modells durch den Heizkostenverteiler vorgenommen wird, wofür sodann dieser eine Berechnungsvorrichtung umfasst und der dann nach der Berechnung und einem Vergleich einen Wert zur Begrenzung der maximal zulässigen Öffnungsposition an das Thermostatventil zurückkommuniziert, insbesondere wiederum per Funk.

[0064] Hier kann es demnach vorgesehen sein, dass die elektronische Intelligenz, insbesondere in Form eines Mikroprozessors, durch den Heizkostenverteiler zur Verfügung gestellt wird, somit dieser die Berechnung anhand der zur Verfügung gestellten Temperaturmesswerte vornimmt, dann jedoch im Gegensatz zur vorherigen Ausführung einen die maximal zulässige Öffnungsposition repräsentierenden Wert an das Thermostatventil kommuniziert.

[0065] In der vorher genannten Ausführung bedarf es einer solchen Kommunikation nicht, da das Thermostatventil die Berechnungsintelligenz aufweist und insoweit ein gegebenenfalls neu berechneter maximal zulässiger Öffnungswert des Thermostatventils nach der Berechnung unmittelbar in dem Thermostatventil vorliegt und für die elektronische Begrenzung herangezogen werden kann z.B. durch Abspeichern in einem dafür vorgesehenen Speicherbereich.

[0066] In einer anderen Ausführungsform kann es auch vorgesehen sein, dass die Temperaturmesswerte von einem elektronischen Thermostatventil und/oder dem Heizkostenverteiler an eine separate, z.B. zentrale Berechnungsvorrichtung kommuniziert werden, z.B. per Funk oder auch kabelgebunden. Es kann sich z.B. um eine Berechnungsvorrichtung handeln, die in ein Netzwerk mit Thermostatventilen und/oder Heizkostenverteilern der jeweiligen Heizflächen eingebunden ist oder ein externes Rechenzentrum.

[0067] Diese Berechnungsvorrichtung umfasst das gespeicherte Modell und berechnet den genannten Wert, z.B. den Massenstrom durch die betrachtete Heizfläche oder deren Wärmeabgabe oder die Steigung oder die Spreizung zum Zweck des Vergleichs. Der jeweilige Vergleichswert kann dabei z.B. in der Berechnungsvorrichtung für alle angeschlossenen Heizflächen vorliegen oder zum Zweck des Vergleichs von dem Thermostatventil oder dem Heizkostenverteiler einer jeweiligen Heizfläche ebenfalls durch Kommunikation an die Berechnungsvorrichtung bereit gestellt werden. Sofern die Berechnungsvorrichtung im Rahmen des Vergleichs feststellt, dass die maximal zulässige Öffnungsposition zu begrenzen ist, kommuniziert diese einen entsprechenden neuen Wert zur Begrenzung an das jeweilige Thermostatventil zurück.

[0068] In allen vorher genannten Ausführungen kann es vorgesehen sein, dass eine Berechnung des genannten Werts und der Vergleich oder eine Begrenzung der maximal zulässigen Öffnungsposition des Thermostatventils jeweils nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitdauer oder zuvor bestimmten Zeiten, somit bevorzugt jeweils periodisch und insbesondere einmal täglich erfolgt oder erfolgt, wenn Änderungen an der Vorlauftemperatur und/oder der Raumlufttemperatur ergeben, z.B. durch benutzerseitige Einstellungen oder durch Vorgaben der Heizungsanlage.

[0069] Eine Berechnung kann z.B. erfolgen aus mehreren, während der vorgenannten vorbestimmten Zeitdauer und/oder vor der genannten Zeit gesammelten Temperaturmesswerten. So können zwar beispielsweise die für die Berechnung notwendigen Temperaturmesswerte mit kleinerer Periodizität als die vorbestimmte Zeitdauer, z.B. über einen Tag mehrfach erfasst werden, die Begrenzung der maximalen Öffnungsposition und somit z.B. das Einschreiben eines diese Position repräsentierenden Wertes in das Thermostatventil in einen dafür vorgesehenen Speicherbereich erfolgt hingegen nur mit der eingangs genannten Periodizität, wie beispielsweise einmal täglich. Dies reduziert ein gegebenenfalls nachteiliges, zu häufiges Ändern der Strömungswiderstände innerhalb eines Heizungssystems.

[0070] Dabei kann es auch weiterhin vorgesehen sein, dass die maximal zulässige Öffnungsposition erst dann begrenzt wird, wenn ein Überschreiten (oder Unterschreiten, je nach Wert / Vergleichswert), insbesondere ein mehrfaches Überschreiten / Unterschreiten um einen gespeicherten Grenzwert und/oder über ein voreingestelltes Zeitintervall hinaus festgestellt wird.

[0071] So wird hierdurch sicher gestellt, dass nicht sofort bei einem einmaligen oder bereits bei einem sehr kleinen Überschreiten / Unterschreiten des Vergleichswertes durch den berechneten Wert eine Begrenzung erfolgt, sondern in einer Ausführung erst dann, wenn dieses Überschreiten / Unterschreiten eine bestimmte Größenordnung aufweist, das Überschreiten / Unterschreiten somit um einen bestimmten, als Grenzwert gespeicherten Betrag erfolgt und/oder mehr-

fach erfolgt und/oder über eine bestimmte Dauer erfolgt.

[0072] Bei der Begrenzung der maximal zulässigen Öffnungsposition des Thermostatventils kann es vorgesehen sein, dass zur Einhaltung eines minimalen Massenflusses nach unten hin eine minimale Öffnungsposition nicht unterschritten wird. So können Funktionen, wie beispielsweise die Sicherung gegen Einfrieren, durch einen solchen hierdurch erzeugten minimalen Massenstrom sicher gestellt werden.

[0073] Es kann weiterhin in dem Verfahren vorgesehen sein, dass die maximal zulässige Öffnungsposition nach einer vorherigen Begrenzung, d.h. Reduktion wiederum erhöht wird, insbesondere dann, wenn der Wert, der aus der Berechnung anhand des gespeicherten Modells hervorgeht, den Vergleichswert unterschreitet (oder überschreitet, je nach gewähltem Wert / Vergleichswert), insbesondere in analoger Art, wie zuvor genannt, um einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet / überschreitet und/oder für die Dauer eines voreingestellten Zeitintervalls unterschreitet / überschreitet.

[0074] So wird sicher gestellt, dass das erfindungsgemäße Verfahren nicht zwangsläufig immer nur eine Reduktion der maximal zulässigen Öffnungsposition vornimmt, die das Thermostatventil einnehmen darf, so dass sich ändernde Strömungsbedingungen, die sich durch geänderte Bedingungen im gesamten Heizungssystem ergeben, ebenso Berücksichtigung finden können. Beispielsweise wird festzustellen sein, dass in einer Situation, wenn viele Heizflächen durch Reduktion des Öffnungsquerschnittes am Thermostatventil einen hohen Strömungswiderstand aufweisen, eine im Heizungssystem eingesetzte Pumpe ihren gesamten Massenstrom durch eine Heizfläche fördert mit weit geöffneten Thermostatventil, so dass hier das erfindungsgemäße Verfahren mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Überversorgungszustand durch Berechnung des heranzuziehenden Wertes und Vergleich feststellt und die maximale Öffnungsposition des Thermostatventils dieser Überversorgten Heizfläche elektronisch begrenzt.

[0075] In einer späteren anderen Situation, wenn eine Vielzahl von Heizflächen z.B. durch eine Änderung von deren Thermostatventilstellungen einen höheren Massenstrom zulassen und sich somit der Massenstrom der zuvor betrachteten Pumpe gleichmäßiger auf mehrere Heizflächen aufteilt, wird sich hingegen ergeben, dass bei derjenigen Heizfläche, bei der zuvor die maximal zulässige Öffnungsposition des Thermostatventils stark reduziert wurde, sich eine Überschreitung des Normmassenstroms oder der Normwärmeabgabe selbst dann nicht mehr ergeben würde, wenn das Thermostatventil eine höhere als die aktuell maximal zulässige Öffnungsposition des Thermostatventils aufweist.

[0076] Aus dieser Situation ergibt sich, dass die maximal zulässige Öffnungsposition des Thermostatventils an einer bestimmten Heizfläche kein konstanter Wert ist, sondern von Rahmenbedingungen im Heizsystem abhängt und z.B. für den beschriebenen Zustand wiederum vergrößert werden kann, ohne dass die Gefahr einer Überversorgung dieser Heizfläche und einer Unterversorgung anderer Heizflächen gegeben ist.

[0077] Durch das Reduzieren der maximal zulässigen Öffnungsposition und auch das Wiedererhöhen der maximal zulässigen Öffnungsposition im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens auf die vorbeschriebene Art und Weise wird somit sicher gestellt, dass im Zeitrahmen einer eingestellten Regelzeit, wie beispielsweise einmal täglich oder auch mehrfach täglich ein Heizungssystem an den einzelnen Heizflächen automatisch hinsichtlich der jeweiligen Strömungsquerschnitte optimiert wird. Bei jedem Regelzyklus kann es sodann vorgesehen sein, nacheinander die Öffnungspositionen aller Thermostatventile zu prüfen, insbesondere wobei nach jeder Prüfung und dabei vorgenommenen Änderungen eine Ruhezeit zur Systemstabilisierung eingehalten wird.

[0078] Bei der Ausführung der Erfindung kann es weiterhin auch vorgesehen sein, nach Feststellung des Arbeitspunktes zu einer bestimmten Zeit anhand des den Arbeitspunkt repräsentierenden Werts diesen Wert zeitlich in die Zukunft hochzurechnen, insbesondere anhand eines gespeicherten das dynamische Verhalten des Systems berücksichtigenden Modells und sodann den hochgerechneten Wert für den Vergleich zu verwenden statt den aktuellen Wert. Hierdurch kann dem Umstand Rechnung getragen werden, dass bei einem sich dynamisch ändernden Heizungssystem zum Messzeitpunkt der Temperaturen für die Bestimmung des Arbeitspunktes kein statisch stabiler Zustand vorliegt. Durch die Hochrechnung wird der sich gerade ändernde Arbeitspunkt in einen zukünftigen statischen Arbeitspunkt extrapoliert. Hierfür kann eine Berechnungsvorschrift im System hinterlegt sein, mit dem diese Hochrechnung erfolgt. Die Vorschrift kann z.B. bei der Systemauslegung erstellt worden sein.

[0079] Für das eingesetzte System ist es vorteilhaft, dass Heizkostenverteiler, die ansonsten lediglich hinsichtlich ihrer Funktion zur Heizkostenverteilung eingesetzt wurden, einen weiteren Beitrag zur Energieeinsparung leisten können, nämlich dadurch, dass sie zur Durchführung des Verfahrens innerhalb des erfindungsgemäßen Systems insoweit beitragen, als dass sie wenigstens einen zur Berechnung benötigten Temperaturmesswert zur Verfügung stellen, beispielsweise die Raumlufttemperatur und/oder die Heizflächentemperatur und/oder die Rücklauftemperatur der Heizfläche.

[0080] Ein System kann demnach erfindungsgemäß so eingerichtet sein, dass es einen Heizkostenverteiler an der Heizfläche aufweist zur Erfassung der Wärmeabgabe der Heizfläche, wobei zumindest eines der Geräte vom Thermostatventil oder Heizkostenverteiler eingerichtet ist, den vorgenannten Vergleich durch die Berechnung anhand eines gespeicherten Modells vorzunehmen unter Zuhilfenahme wenigstens eines durch das genannte Gerät selbst erfassten Temperaturmesswertes und wenigstens eines von dem anderen Gerät durch bevorzugte Funkkommunikation übermittelten Temperaturmesswertes. Hier kann in alternativer Ausgestaltung die Kommunikation des zugeführten Temperaturmesswertes beispielsweise auch kabelgebunden erfolgen.

[0081] Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens sind anhand der nachfolgend beschriebenen Figu-

ren verdeutlicht.

[0082] Figur 1 zeigt eine grafische Darstellung mehrerer Kennlinien einer für dieses Ausführungsbeispiel angenommenen Kombination einer Heizfläche mit einem elektronischen Thermostatventil. Die Annahmen zu diesem Ausführungsbeispiel dienen nur zur konkreten Beschreibung, ohne die möglichen Ausführungen auf dieses Beispiel zu beschränken.

[0083] Als Heizfläche wird in diesem Ausführungsbeispiel ein üblicher Raumheizkörper betrachtet. Zunächst ist in der Figur 1A eine beispielhafte Ventilkennlinie mit einer Ventilautorität von $a = 0,3$ dargestellt, welche den nichtlinearen Zusammenhang zwischen der Ventilstellung des Thermostatventils eines Heizkörpers und dem Massenstrom durch diesen Heizkörper wiedergibt.

[0084] Die Ventilkennlinie dient in diesem Ausführungsbeispiel zur Verdeutlichung der technischen Zusammenhänge und zur simulativen Beschreibung eines möglichst realen Szenarios, um die Funktion der Erfindung zu belegen. Für das erfindungsgemäße Verfahren werden die Kennlinien der Figur 1, insbesondere eine solche Ventilkennlinie der Figur 1A weder benötigt, noch ist eine Ermittlung der Kennlinien erforderlich.

[0085] In der Figur 1B wird je eine beispielhafte Kennlinie des Heizkörpers einerseits bei 75°C und andererseits bei 50°C Vorlauftemperatur sowie 20°C Raumtemperatur dargestellt, welche den Zusammenhang zwischen der Wärmeleistung dieses Heizkörpers in Abhängigkeit vom Massenstrom durch diesen Heizkörper darstellt. Das Quadrat markiert den Norm-Auslegungszustand bei $75^{\circ}\text{C}/65^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$, das heißt denjenigen Punkt, bei dem sich bei 75°C Vorlauftemperatur eine Rücklauftemperatur von 65°C ergibt. Im Auslegungspunkt hat demnach der betrachtete Heizkörper einen bestimmten Auslegungsnormwert des Massenstroms, bei diesem Beispiel von 0.0364kg/s .

[0086] Die Figur 1C zeigt je beispielhafte Kennlinien, die sich aus einer Hintereinanderschaltung von einem Ventil mit der Kennlinie gemäß Figur 1A und einem Heizkörper gemäß Figur 1B ergeben. Diese zeigen die Wärmeleistung des Heizkörpers in Abhängigkeit vom Ventilhub. Anhand der Kennlinie zur Vorlauftemperatur von 75°C ist zu erkennen, dass der Normauslegungspunkt des Heizkörpers schon bei ca. 19% der Ventilstellung erreicht ist. Aus diesem geringen Wert der Ventilstellung erkennt man, dass es sich hier um einen hydraulisch übertensorgten Heizkörper handelt.

[0087] Des Weiteren erkennt man aus Figur 1C, dass die Kennlinien bei höheren Ventilöffnungen sehr flach werden, d.h. eine sehr geringe Steigung aufweisen, so dass man trotz weiterer Öffnung des Ventils kaum eine Erhöhung der Heizleistung des Heizkörpers erreichen kann. Dieser Umstand wird bei der Erfindung ausgenutzt.

[0088] Dazu betrachtet man die Heizkörperkennlinie, z.B. gemäß der Figur 1B und fordert, dass während des Betriebs ein z.B. einmalig definierter Referenzwert einer minimalen Steigung der Heizkörperkennlinie, insbesondere derjenigen bei der Vorlauftemperatur im Auslegungspunkt (hier 75°C) nicht unterschritten wird.

[0089] Alternativ wäre es auch denkbar die Steigung der zusammengesetzten Kennlinie, wie im Beispiel der Figur 1C zu betrachten und zu fordern, dass ein z.B. einmalig definierter Referenzwert von deren Steigung einen Minimalwert nicht unterschreitet.

[0090] Der Vorteil der Festlegung des genannten Steigungs-Referenzwertes anhand der Heizkörperkennlinie, wie z.B. aus Figur 1B anstelle der zusammengesetzten Kennlinie, wie z.B. aus Figur 1C ist, dass erstere nur von der Differenz zwischen Vorlauf- und Raumtemperatur abhängt, zwei Größen, die beide direkt gemessen werden können, während letztere auch von der hydraulischen Gesamtsituation im Rohrleitungssystem abhängt, welche messtechnisch schwierig zu bestimmen ist.

[0091] Die Steigung der Heizkörperkennlinie, wie sie z.B. in Figur 1B gezeigt ist, wird durch die Gleichung

$$\frac{d\dot{Q}}{d\dot{M}} = C_F \Delta \bar{g} - C_F \left[\frac{\alpha(n-1)}{\dot{M} C_F} + \Delta \bar{g}^{(1-n)} \right]^{\frac{1}{n-1}} - \frac{\alpha}{\dot{M}} \left[\frac{\alpha(n-1)}{\dot{M} C_F} + \Delta \bar{g}^{(1-n)} \right]^{\frac{n}{1-n}}$$

beschrieben. Die verwendeten mathematischen Symbole sind in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Mathematische Symbole und Verfügbarkeit.

Symbol	Bedeutung	Verfügbarkeit
$\dot{Q}$	Heizkörperleistung	berechenbar aus Temperaturmessungen
$\dot{M}$	Massenstrom	unbekannt, aber Schätzung bzw. Berechnung möglich
C_F	Spezifische Wärmekapazität Wasser	bekannt, gemessen
ϑ_{VL}	Vorlauftemperatur	gemessen
ϑ_{RL}	Rücklauftemperatur	gemessen oder aus Temperaturmessungen berechenbar

(fortgesetzt)

Symbol	Bedeutung	Verfügbarkeit
ϑ_R	Raumtemperatur	bekannt, gemessen
n	Heizkörperexponent	bekannt
α	Wärmeübergangskoeffizient des Heizkörpers	bekannt
$\Delta\bar{\vartheta} = \vartheta_L - \vartheta_R$	Übertemperatur zwischen Vorlauf- und Raumtemperatur	bekannt, gemessen

[0092] Erkennbar hängt die Steigung von den Heizkörperparametern, der Übertemperatur und vom Massenstrom ab. Es kann somit über diese Gleichung zu jedem Massenstrom bei den gegebenen (gemessenen) Temperaturen die Steigung der Heizkörperkennlinie bestimmt werden und umgekehrt zu dem gewählten Referenzwert der Steigung ein Grenzmassenstrom bei den gegebenen (gemessenen) Temperaturen bestimmt werden, der unterschritten werden sollte, um den Referenzwert der Steigung nicht zu unterschreiten.

[0093] Der aktuelle Massenstrom kann erfindungsgemäß aus den bekannten bzw. gemessenen Temperaturen, den Heizkörperparametern sowie ggf. der aktuellen Ventilstellung mit Standardwerkzeugen der Regelungstechnik und Systemidentifikation rekonstruiert werden anhand eines gespeicherten Modells. Somit ist zu jedem Zeitpunkt aufgrund der Messung lediglich von Temperaturen eine erfindungsgemäße Berechnung des Massenstroms $\dot{M}$ möglich. Aus Mehrfachmessungen können auch Mittelwerte oder gefilterte Massenstromwerte bestimmt werden.

[0094] In einer möglichen Ausführung der Erfindung kann die Steigung des aktuellen Arbeitspunktes ermittelt (geschätzt) werden. Für den erfindungsgemäßen automatisierten hydraulischen Abgleich bedeutet dies, dass in dieser Ausführung zu jedem Zeitpunkt die Schätzung der aktuellen Steigung mit dem gewählten Steigungs-Referenzwert verglichen werden kann. Als Referenzwert wird hier bevorzugt ein Wert kleiner als die Steigung am Auslegungspunkt oder zumindest ein von der Steigung am Auslegungspunkt abhängiger Referenzwert gewählt.

[0095] In dieser Ausführung wird beispielhaft als Referenzwert diejenige Steigung gewählt, welche man in der Heizkörperkennlinie z.B. gemäß der Figur 1B bei doppeltem Massenstrom im Auslegungspunkt, also bei

$2 \cdot 0.0364 \text{ kg/s} = 0.0728 \text{ kg/s}$ und 75°C Vorlauftemperatur vorfindet. Dieser Referenzwert der Steigung beträgt $d\dot{Q}_{\min} / d\dot{M} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$. Unterschreitet die Steigung beim aktuellen Arbeitspunkt des Heizkörpers diesen Referenzwert, so muss erfindungsgemäß der aktuell durch den Heizkörper fließende Massenstrom begrenzt werden.

[0096] Bei dieser möglichen Ausführung der Erfindung kann somit der den Arbeitspunkt der Heizfläche (hier Heizkörper) repräsentierende Wert die Steigung im Arbeitspunkt der Heizfläche sein und der Vergleichswert durch den hier genannten Referenzwert der Steigung gegeben sein.

[0097] Setzt man die linke Seite $d\dot{Q}_{\min} / d\dot{M}$ von Gleichung (1) gleich dem vorgenannten Referenzwert der Steigung

und löst bei gegebener Übertemperatur $\Delta\bar{\vartheta}$ nach $\dot{M}$ auf, so erhält man für eine andere Ausführung der Erfindung den Grenzmassenstrom als erfindungsgemäßen Vergleichswert. Dies ist der Massenstrom, der bei den aktuellen Temperaturen maximal durch den Heizkörper fließen darf, so dass der gewählte Referenzwert der Steigung bzw. die Grenzsteigung $d\dot{Q}_{\min} / d\dot{M}$ nicht unterschritten wird.

[0098] Zur Bestimmung des Grenzmassenstromes mittels der vorgenannten Gleichung kann z.B. ein iteratives Lösungsverfahren durchgeführt werden, da diese Gleichung nicht explizit nach $\dot{M}$ gelöst werden kann. Für eine effizientere Feststellung des Grenzmassenstroms in einem Mikrocontroller kann vorteilhaft auch auf eine Kennlinie zurückgegriffen werden, die zur Durchführung des Verfahrens gespeichert ist, z.B. in der im allgemeinen Teil genannten Berechnungsvorrichtung.

[0099] Der Verlauf des Grenzmassenstroms für verschiedene Übertemperaturen $\Delta\bar{\vartheta}$ sowie für konstante Werte von $d\dot{Q}_{\min}$ ist in Figur 2 beispielhaft gegeben.

[0100] Man erkennt, dass der Zusammenhang zwischen Grenzmassenstrom und Übertemperatur fast linear ist. Somit bietet es sich an, dass für die Ermittlung des Grenzmassenstroms durch eine Berechnung in einem Mikrocontroller diese Kennlinie in Form einer parametrisierten Gerade hinterlegt wird, die durch zwei Parameter charakterisiert werden kann. Alternativ ist es auch möglich die iterative Lösung des Grenzmassenstroms durch ein Polynom oder eine andere geeignete Funktion zu approximieren/fitten.

[0101] Dabei ist es besonders vorteilhaft, dass die Kennlinie für den Grenzmassenstrom nur von den bekannten Heizkörperparametern α, n sowie der z.B. einmalig definierten Grenzsteigung $d\dot{Q}_{\min} / d\dot{M}$ abhängt. Dies erlaubt eine a-priori Berechnung der Kennlinie für den Grenzmassenstrom, insbesondere die bei der Installation des Systems einmal im Mikrocontroller, z.B. der eingangs genannten Berechnungsvorrichtung hinterlegt wird. Alternativ ist es möglich, die

Kennlinie von einer zentralen IT, vorzugsweise per Funk, in das erfindungsgemäße System zu übertragen und ggf. zu aktualisieren.

[0102] Es kann nun in der anderen Ausführung der Erfindung auch ein Massenstromwert, z.B. der aktuelle Massenstrom mit dem ermittelten Grenzmassenstrom verglichen werden, ohne hierfür zwingend zuvor Steigungswerte zu bestimmen.

[0103] Der Massenstrom der aktuell durch den Heizkörper fließt kann z.B. anhand eines statischen oder dynamischen Heizkörpermodells ermittelt werden. Ein mögliches dynamisches Heizkörpermodell in diskreter Form ist durch die Differenzgleichung

$$\vartheta_{RL}(t+1) = \vartheta_{RL}(t) + \frac{T_s \dot{M}(t) C_F}{m_{HK} C_{HK}} [\vartheta_{VL}(t) - \vartheta_{RL}(t)] - \frac{T_s \alpha}{m_{HK} C_{HK}} \Delta \vartheta_{\log}^n(t)$$

gegeben. Die verwendeten mathematischen Symbole sind in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Mathematische Symbole und Verfügbarkeit.

Symbol	Bedeutung	Verfügbarkeit
$\Delta \vartheta_{\log}(t)$	Logarithmische Übertemperatur	bekannt, gemessen
m_{HK}	Masse des Heizkörpers	bekannt
C_{HK}	Spezifische Wärmekapazität des Heizkörpers	bekannt
T_s	Abtastzeit	bekannt, vorgegeben
t	Diskreter Zeitindex	bekannt

[0104] Durch Lösen der dynamischen Heizkörpergleichung nach $\dot{M}(t)$ ist es möglich, den Massenstrom zu jedem Zeitpunkt t zu schätzen. Insbesondere ist es vorteilhaft den Massenstrom als einen stochastischen Prozess zu modellieren und einen erweiterten Kalman Filter als insbesondere rekursiven Schätzer für $\dot{M}(t)$ einzusetzen.

[0105] Der so ermittelte Massenstrom kann nun zu jedem Zeitpunkt bei gegebener Übertemperatur $\Delta \bar{\vartheta}$ mit dem Grenzmassenstrom verglichen werden, der beispielweise anhand einer Kennlinie, wie aus Figur 2, für diese Übertemperatur ermittelt werden kann.

[0106] Ist der durch das Modell ermittelte Massenstrom größer als der zulässige Grenzmassenstrom, so wird erfindungsgemäß die maximal zulässige Öffnungsposition des Ventils reduziert.

[0107] Bei den vorgenannten Ausführungen anhand des Vergleichs der Steigungen oder der Massenströme sowie allgemein gültig auch bei allen anderen und insbesondere später noch genannten Ausführungen kann es vorgesehen sein, dass eine solche Reduzierung der maximal zulässigen Öffnungsposition des Thermostatventils z.B. iterativ/adaptiv erfolgt, z.B. durch Reduktion um einen festgelegten Reduktionswert, z.B. um einen bestimmten Prozentsatz, hier z.B. gemäß dem Zusammenhang $h(t) = 0.95h(t-1)$. Hierbei ist $h(t)$ die zu einer Zeit t maximale zulässige Öffnungsposition, bzw. der zulässige Maximalhub des Ventils.

[0108] Eine solche Reduktion kann z.B. mehrfach wiederholt werden, bis der ermittelte Wert unter / über den Vergleichswert fällt, z.B. also der ermittelte Massenstrom unter den Grenzmassenstrom fällt oder die ermittelte Steigung über dem Referenzwert der Steigung liegt. Fortan regelt das selbsttätig regelnde Thermostatventil insbesondere in Abhängigkeit der Abweichung zwischen der Raum - IST- und Raum-SOLL - Temperatur nur zwischen seiner minimalen

[0109] Öffnungsposition und der erfindungsgemäß festgelegten maximal zulässigen Öffnungsposition.

[0110] In einer verallgemeinerten Form kann die Reduktion des Massenstroms durch einen Regler genereller Art erfolgen, der z.B. den Massenstrom auf den vorgegebenen Grenzmassenstrom regelt, basierend auf dem Regelfehler, der aus der gebildeten Differenz zwischen Grenzmassenstrom und ermittelten Massenstrom besteht.

[0111] Für eine weiter unten erwähnte alternative Ausführungsform, welche die Spreizung als Vergleichsgröße nutzt, kann zur Reduktion des Massenstroms in gleicher Weise ein Regler, der die Spreizung auf einen gewünschten Wert regelt, eingesetzt werden, welcher als Regelfehler die Differenz zwischen erforderlicher Mindestspreizung und ermittelter Spreizung benutzt.

[0112] In gleicher Weise kann entsprechend einer anderen Ausführungsform die Steigung als Regelgröße benutzt werden. In den Phasen der Massenstromreduktion wird somit der Raumtemperaturregler durch einen Massenstrom-, Spreizungs- oder Steigungsregler ersetzt bzw. ergänzt, der den Massenstrom solange reduziert, bis der Vergleich ein Ergebnis liefert, gemäß dem eine weitere Reduktion der maximal zulässigen Öffnungsposition des Ventil unnötig ist.

[0113] Hier ist es sodann gemäß der Erfindung vorgesehen, dass, sobald der Vergleich ein Ergebnis liefert, gemäß

dem eine weitere Reduktion der maximal zulässigen Öffnungsposition des Ventil unnötig ist, z.B. wenn der Massenstrom während einer solchen Adaptionsphase den Grenzmassenstrom unterschreitet, der Wert des letzten Ventilhubs $h(t-1)$

zusammen mit der zugehörigen Übertemperatur $\Delta \bar{g}$ gespeichert wird.

[0114] Dies hat den Vorteil, dass ein einmal gelernter Wert für die maximal zulässige Öffnungsposition (Ventilhub) in Zukunft nicht neu erlernt werden muss, sondern erfindungsgemäß auch auf den zuvor iterativ gelernten Wert zurückgegriffen werden kann, insbesondere wenn zukünftig dieselbe Übertemperaturbedingung eintritt. Durch wiederholtes

Speichern von Wertepaaren $(\Delta \bar{g}; h(t-1))$ kann über die Zeit hinweg eine Kennlinie bzw. ein Kennfeld für die maximal zulässige Öffnungsposition in Abhängigkeit von der Übertemperatur aufgebaut, gespeichert und ggf. korrigiert werden.

[0115] Dabei ist es z.B. möglich, dass man die so ermittelte Kennlinie der maximal zulässigen Öffnungsposition durch eine Funktion fittet. In einer möglichen Ausführung kann dies durch eine unstetige monoton steigende Treppenfunktion erfolgen.

[0116] Die Wirkungsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nachfolgend erläutert, wobei für die weitere Beschreibung folgende beispielhafte Rahmenbedingungen gelten:

Simulationszeit: 24h

- Vorlauftemperatur konstant 70°C, jedoch zwischen 24:00 und 06:00 Uhr auf 50°C abgesenkt
- Konstante Raumluftsollwerttemperatur von 21°C
- Konstante Wandtemperatur des Raums von 10°C
- Keine Absenkung der Raumluftsollwerttemperatur durch Profilvorgabe am Thermostatventil
- Der Ventilhub wird durch einen PI-Regler geregelt, der die Raumlufttemperatur mit der Raumluft-Solltemperatur vergleicht

[0117] Zunächst wird eine Situation ohne erfindungsgemäße Begrenzung der maximal zulässigen Öffnungsposition des Thermostatventils bzw. des Ventilhubs betrachtet. Die Simulationsergebnisse sind in Figur 3 dargestellt. Es wird ein 24h Zyklus mit Nachtabsenkung, d.h. mit einer Absenkung der Vorlauftemperatur (VLT) von 24:00-06:00, betrachtet.

[0118] Figur 3A zeigt den zeitlichen Verlauf von Vorlauf- und Rücklauftemperaturen des Heizkörpers sowie der Raumlufttemperatur. Tagsüber wird die Vorlauftemperatur konstant auf 70°C gehalten. Zwischen 24:00 und 06:00 Uhr wird diese auf 50°C abgesenkt. Man erkennt, dass die Spreizung in der Nachtabsenkungsphase kleiner wird. Die Raumtemperatur startet um 12:00 Uhr bei 17°C. Der Raum befindet sich somit zunächst in der Aufheizphase. Anschließend erkennt man, dass der PI Regler des elektronischen Thermostatventils nach wenigen Minuten konstante 21 °C erreicht. Diese wird bis zu Beginn der Absenkphase beibehalten.

[0119] Während der Absenkphase werden jedoch nur noch 17.14°C erreicht. Nach der Absenkphase erkennt man ein leichtes Überspringen der Raumtemperatur bevor wieder 21 °C erreicht werden.

[0120] Figur 3B zeigt die Leistung des Heizkörpers. Man erkennt die reduzierte Heizleistung in der Absenkphase.

[0121] Den Grund für das Nichterreichen der Sollwerttemperatur während der Absenkphase wird in Figur 3C ersichtlich. Nach Absenkung der Vorlauftemperatur sinkt die Raumlufttemperatur, der Regler des Thermostatventils versucht gegenzusteuern und öffnet das Ventil voll auf 100%. Die maximale Heizleistung im Absenkbetrieb reicht jedoch nicht aus um die geforderten 21°C Raumlufttemperatur zu erreichen. Nach der Absenkphase geht die Ventilöffnung (der Ventilhub) auf den ursprünglichen Wert von 18,9% zurück.

[0122] Figur 3D zeigt den zeitlichen Verlauf des Massenstroms sowie den Normmassenstrom im Auslegungspunkt (75/65/20) als beispielhaften Bezugspunkt. Vor der Absenkphase liegt der aktuelle Massenstrom fast genau auf dem Normmassenstrom, während der Absenkphase wird jedoch ein maximaler Massenstrom erreicht, der ungefähr dreimal so hoch ist, wie der Normmassenstrom ist. Diese hydraulische Überversorgung reicht jedoch nicht aus um auf die verlangten 21°C Raumtemperatur zu kommen. Während dieser Überversorgung sind andere Heizkörper des gesamten Systems potenziell unterversorgt und somit das gesamte System nicht hydraulisch abgeglichen.

[0123] Figur 4 zeigt die vordefinierte Grenzsteigung $d\dot{Q}_{\min} / \dot{M}$ im Vergleich zu der aktuellen Steigung auf einer logarithmischen Skala. Man erkennt, dass nach der Aufheizphase und vor der Absenkphase die aktuelle Steigung größer als die Grenzsteigung ist. Somit besteht in diesem Zeitfenster kein Bedarf zu einer Ventilhubbegrenzung. Während der Aufheiz- und Absenkphase erkennt man jedoch, dass die Grenzsteigung unterschritten wird, und dass eine Ventilhubbegrenzung erforderlich wäre.

[0124] Zu der aktuellen Übertemperatur kann über die Grenzmassenstrom-Kennlinie bzw. deren Parametrisierung, z.B. gemäß Figur 2 der Grenzmassenstrom ermittelt bzw. berechnet werden, welcher ebenfalls in Figur 3D dargestellt ist. Man erkennt, dass nach der Aufheizphase und vor der Absenkphase der aktuelle Massenstrom deutlich unter dem Grenzmassenstrom liegt und in dieser Zeit das System hydraulisch abgeglichen ist.

[0125] Während der Aufheiz- und Absenkphase sollte der Massenstrom jedoch reduziert werden, um einen Abgleich zu erzielen. Während der Absenkphase ist der aktuelle Massenstrom fast doppelt so groß wie der Grenzmassenstrom. In Figur 3D erkennt man auch den Einfluss der Vorlauftemperatur auf den Grenzmassenstrom. Während der Absenkphase ist dieser geringer als vor und nach der Absenkphase. Dies liegt daran, dass sich die Kennlinie des Heizkörpers bei niedriger Vorlauftemperatur ändert, wie es aus Figur 1B ersichtlich ist. Somit ändern sich auch die Steigungen dieser Kennlinie bei fixen Massenströmen. Bei einer stärkeren Absenkung der Vorlauftemperatur während der Nacht, könnte der Grenzmassenstrom sogar unter dem Normmassenstrom im Auslegungszustand $75^{\circ}\text{C}/65^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$ fallen.

[0126] Im Folgenden wird dieselbe Situation unter Berücksichtigung des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben.

[0127] Die Simulation wird wiederholt und die maximal zulässige Öffnungsposition des Ventils bzw. der Ventilhub wird nun auf den maximal erlaubten Wert begrenzt, welcher zunächst erlernt werden muss. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

[0128] In Figur 5A erkennt man, dass die Spreizung während der Absenkphase geringer wird als vor der Absenkphase, jedoch ab ca. 01:00 Uhr durch die erfindungsgemäße Begrenzung der maximal zulässigen Öffnungsposition größer ist als im vorangegangenen Beispiel, wie es in Figur 3A dargestellt ist. Die Raumlufttemperatur in Figur 5A erscheint zunächst unverändert im Vergleich zur vorherigen Simulation. In der Tat wurde durch die Durchführung des automatischen hydraulischen Abgleichs die Raumtemperatur während der Absenkphase lediglich von $17,14^{\circ}\text{C}$ auf $16,9^{\circ}\text{C}$ reduziert. Dies ist zu erwarten, da die Überversorgung im ersten Teil der Simulation nur einem marginalen Zuwachs an Heizleistung entspricht.

[0129] In Figur 5C erkennt man, dass während der Aufheizphase um 12:00 Uhr der Ventilhub zunächst auf 100% schnell. Zu Beginn der Simulation ist der Grenzventilhub noch unbekannt und muss sukzessive erlernt werden. Dazu wird der Ventilhub schrittweise um einen vorgegebenen Wert, z.B. um 5% reduziert, bis der Massenstrom unter dem Grenzmassenstrom liegt. Der Wert der letzten Ventilstellung $h(t-1)$ kann nun zusammen mit der dazugehörigen Über-

temperatur $\Delta\overline{\vartheta}$ gespeichert werden, um die Kennlinie des Grenzventilhubes zu rekonstruieren. Dazu wird hier eine monoton steigende Treppenfunktion angenommen.

[0130] Zu Beginn der Nachtabsenkung sind zwei weitere Lernphasen an den Spitzen im Ventilhub in Figur 5C zu erkennen. Zu diesem Zeitpunkt ist die Übertemperatur geringer als in der ersten Lernphase während der Aufheizphase und die Kennlinie des Grenzventilhubes ist an diesem Arbeitspunkt noch unbekannt, daher müssen die Werte hier erst erlernt werden.

[0131] In Figur 5D erkennt man, dass nachdem die Werte der Kennlinie des Grenzventilhubes erlernt worden sind (gegen 01:00 Uhr), der Massenstrom auf die Hälfte des vorherigen Wertes begrenzt worden ist. Somit wird während der Absenkphase eine hydraulische Überversorgung des Heizkörpers verhindert. Dies verhindert wiederum, dass weitere Heizkörper im gleichen Strang während der Absenkphase hydraulisch unterversorgt sind. Eine Unterversorgung hätte in diesen Räumen zur Folge, dass die Raumtemperatur deutlich unter 17°C fallen könnte.

[0132] Von besonderem Interesse ist die Wiederaufheizperiode direkt nach der Absenkphase. Ein Ausschnitt für den Verlauf des Massenstromes für beide Simulationen ist in Figur 6 und Figur 7 gegeben.

[0133] In Figur 6 erkennt man eine hydraulische Überversorgung zwischen 6:00 und 6:20 Uhr. Während dieser Zeit sind andere Heizkörper im Strang unterversorgt und erreichen ihre Sollwerttemperatur erst nachdem die Regler der Thermostatventile hydraulisch besser versorgten Heizkörper den Volumenstrom abdrosseln. Je nach Anzahl der Heizkörper im Strang werden die hydraulisch am schlechtesten versorgten Heizkörper erst nach Stunden mit Heizungswasser versorgt.

[0134] Figur 7 zeigt den Massenstrom wenn die maximal zulässige Öffnungsposition des Thermostatventils begrenzt wird. Man erkennt, dass trotz Massenstrombegrenzung die Aufheizphase ebenfalls nach ca. 35 Minuten abgeschlossen ist und es somit kaum zu Komforteinbuße kommt. Der Grenzventilhub für diesen Fall musste nicht erst erlernt werden, sondern ist durch Speichern der Werte der ersten Aufheizphase schon bekannt. Der aktuelle Massenstrom liegt leicht unter dem theoretischen Grenzmassenstrom, da die Kennlinie des Grenzventilhubes in diesem Beispiel treppenförmig approximiert wurde. Somit ergeben sich geringe Diskrepanzen zwischen dem theoretisch berechneten Grenzmassenstrom sowie dem sich einstellenden Massenstrom nach erfolgter Begrenzung des Ventilhubes.

[0135] Die ermittelte Kennlinie des Grenzventilhubes ist in Figur 8 dargestellt. Die erlernten gespeicherten Messwerte befinden sich bei ca. 32K sowie bei ca. 47K Übertemperatur. Die Messwerte bei ca. 32K korrespondieren zu den Lernphasen während der Nachtabsenkung, die Messwerte bei ca. 47K korrespondieren zu der Lernphase während der Aufheizphase zu Beginn der Simulation. Während in der hier betrachteten Simulation die treppenförmige Kennlinie benutzt worden ist, sind andere Funktionsarten, die zu den erlernten Messwerten gefittet werden, denkbar. Beispielfhaft ist in Figur 8 eine gefittete Kennlinie in Form einer Exponentialfunktion dargestellt.

Alternative Ausführungsform

[0136] Bei dem vorherigen Ausführungsbeispiel kann es als nachteilig empfunden werden, dass der Massenstrom

zu jedem Zeitpunkt mit aufwendigen Algorithmen ermittelt werden muss. Durch das Schätzen des Massenstroms können Fehler entstehen, die sich letztlich bis zum Grenzventilhub fortpflanzen und somit zu einer Verschlechterung der Ergebnisse führen können.

[0137] Daher wird hier als eine alternative Ausführungsform vorgeschlagen, zum Vergleich nicht den Grenzmassenstrom und den ermittelten z.B. aktuellen Massenstrom zu nutzen, sondern eine Grenzspreizung mit der gemessenen oder ermittelten Spreizung am Heizkörper zu vergleichen. Z.B. kann der Grenzmassenstrom gemäß der zuvor beschriebenen Ausführung bestimmt werden und in eine Grenzspreizung umgerechnet werden. Die Spreizung ist dabei die Differenz zwischen der Vorlauftemperatur und der Rücklauftemperatur der betrachteten Heizfläche, hier eines Heizkörpers.

[0138] Figur 9 zeigt die resultierende Spreizung korrespondierend zu Figur 1B und Figur 1C. Man erkennt, dass die Spreizung eine monoton fallende Funktion des Massenstroms ist. Daher bietet es sich an, den Grenzmassenstrom aus Figur 2 in eine Kennlinie der Grenzspreizung umzurechnen. Diese Kennlinie ist in Figur 10B dargestellt, während Figur 10A noch einmal die zugehörige Kennlinie des Grenzmassenstroms zeigt.

[0139] Man erkennt, dass die Kennlinie der Grenzspreizung ebenfalls fast linear verläuft. Somit ist es nun möglich, die Grenzspreizung für einen Heizkörper a-priori zu berechnen und bei der Installation eines der Erfindung entsprechenden Systems diese Kennlinie oder ihre mathematische Repräsentation abzuspeichern. Nun kann zu jedem Zeitpunkt die aktuelle Spreizung am Heizkörper durch Temperaturmessung ermittelt, und mit der Grenzspreizung verglichen werden.

[0140] Für den weiteren Verlauf wird verfahren wie im zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiels. In der zuvor beschriebenen Simulation erzielt man nahezu die gleichen Resultate wenn die Grenzspreizung verglichen wird, anstelle des Grenzmassenstroms. Für eine praktische Implementierung scheint die hier beschriebene alternative Ausführungsform jedoch vorteilhaft.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung eines hydraulischen Abgleichs in einem Heizungssystem mit wenigstens zwei Heizflächen, wobei der Massenstrom eines Heizfluids durch jede der Heizflächen an jeder der Heizflächen mittels eines elektronischen Thermostatventils individuell durch Einstellung der aktuellen Öffnungsposition des Thermostatventils geregelt wird, wobei für jede der Heizflächen aus Temperaturmesswerten ein den Arbeitspunkt der Heizfläche repräsentierender Wert bestimmt und mit einem gespeicherten Vergleichswert der Heizfläche verglichen wird und in Abhängigkeit des Vergleichs die maximal zulässige Öffnungsposition des Thermostatventils elektronisch begrenzt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem Fall, wenn der Vergleich eine hydraulische Überversorgung der Heizfläche anzeigt die aktuelle Öffnungsposition des Thermostatventils um einen Reduktionswert, insbesondere einen festen Reduktionswert, insbesondere mehrfach reduziert wird bis dass der Vergleich ein Ergebnis liefert, gemäß dem eine weitere Reduktion unnötig ist und der Wert der letzten Öffnungsposition als maximal zulässige Öffnungsposition zusammen mit der gemessenen Übertemperatur der Heizfläche zur Bildung und/oder Adaption einer Kennlinie / eines Kennfeldes gespeichert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu einer gemessenen Übertemperatur, insbesondere vor der Durchführung des Vergleichs, die maximal zulässige Öffnungsposition auf einen zu dieser Übertemperatur gehörigen Wert, insbesondere zuvor gelernten Wert aus der Kennlinie / dem Kennfeld eingestellt wird.
3. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kennlinie durch eine Funktion an die gespeicherten Wertepaare angefügt wird, insbesondere durch eine Treppenfunktion, Gerade, oder Exponentialfunktion.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** für einen den Arbeitspunkt repräsentierenden Wert einer der folgenden Werte gewählt wird:
 - a. der durch die Heizfläche fließende aktuelle oder gefilterte Massenstrom, der anhand eines gespeicherten Modells berechnet wird
 - b. die von der Heizfläche aktuelle oder gefilterte Wärmeabgabe, die anhand eines gespeicherten Modells berechnet wird
 - c. die aktuelle oder gefilterte Steigung der Kennlinie der Heizkörperleistung gegen den Massenstrom oder der Heizkörperleistung gegen den Ventilhub, insbesondere wobei die Steigung anhand eines gespeicherten Modells berechnet wird.
 - d. Die Temperaturspreizung der Heizfläche zwischen Vor- und Rücklauf, die durch Messung der Vor- und

Rücklauftemperatur bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Vergleichswert gebildet wird durch den Auslegungsnormwert des Massenstroms oder der Wärmeabgabe der Heizfläche oder durch die maximal mögliche Wärmeabgabe der Heizfläche oder die Steigung der Kennlinie der Heizkörperleistung beim Auslegungsmassenstrom oder durch einen von einem der vorgenannten Werte abhängigen Wert.
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorlauftemperatur und/oder die Raumlufthtemperatur und die Heizflächen- und/oder Rücklauftemperatur und/oder Außentemperatur zur Berechnung des Wertes gemessen werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Raumlufthtemperatur durch einen Heizkostenverteiler der Heizfläche oder einen Rauchwarnmelder des Raumes gemessen oder aus der von diesem gemessenen raumseitigen Temperatur extrapoliert wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** Vorlauf- und/oder Raumlufthtemperatur durch Temperatursensoren des jeweiligen Thermostatventils und die Heizflächen- oder Rücklauftemperatur und/oder die Raumlufthtemperatur durch einen Temperatursensor eines der Heizfläche zugeordneten Heizkostenverteilers gemessen werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Heizflächen- oder Rücklauftemperatur und/oder die Raumlufthtemperatur von dem jeweiligen Heizkostenverteiler, insbesondere per Funk, an das jeweilige Thermostatventil kommuniziert wird und die Berechnung der maximal zulässigen Öffnungsposition anhand des gespeicherten Modells durch das Thermostatventil vorgenommen wird.
10. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorlauf und Raumlufthtemperatur an den Heizkostenverteiler, insbesondere per Funk kommuniziert werden und die Berechnung anhand des gespeicherten Modells durch den Heizkostenverteiler vorgenommen wird, der nach der Berechnung einen Wert zur Begrenzung der maximal zulässigen Öffnungsposition an das Thermostatventil zurückkommuniziert, insbesondere per Funk.
11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Begrenzung nach Ablauf einer vorbestimmten Zeitdauer oder zu vorbestimmten Zeiten, insbesondere einmal täglich erfolgt.
12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die maximale zulässige Öffnungsposition erst begrenzt wird, wenn ein, insbesondere mehrfaches Überschreiten/Unterschreiten des Vergleichswertes durch den Wert um einen gespeicherten Grenzwert und/oder über ein voreingestelltes Zeitintervall hinaus festgestellt wird.
13. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die maximal zulässige Öffnungsposition nach einer vorherigen Begrenzung wieder erhöht wird, wenn der Wert den Vergleichswert unterschreitet/überschreitet, insbesondere um einen vorgegebenen Grenzwert und/oder für die Dauer eines voreingestellten Zeitintervalls..
14. System umfassend wenigstens eine durch ein Heizfluid durchströmte Heizfläche wobei jede Heizfläche ein elektronisches Thermostatventil aufweist zur Regelung des Massenstroms durch die Heizfläche durch Einstellung der aktuellen Öffnungsposition des Thermostatventils, insbesondere in Abhängigkeit der Raumtemperatur und es eingerichtet ist, die maximal zulässige Öffnungsposition des Thermostatventils zur Herstellung eines hydraulischen Abgleichs zu begrenzen in Abhängigkeit eines Vergleiches zwischen einem den Arbeitspunkt der Heizfläche repräsentierenden Wert und einem gespeicherten Vergleichswert der Heizfläche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es weiterhin eingerichtet ist in einem Fall, wenn der Vergleich eine hydraulische Überversorgung der Heizfläche anzeigt die aktuelle Öffnungsposition des Thermostatventils um einen Reduktionswert, insbesondere einen festen Reduktionswert, insbesondere mehrfach zu reduzieren bis dass der Vergleich ein Ergebnis liefert, gemäß dem eine weitere Reduktion unnötig ist und den Wert der letzten Öffnungsposition als maximal zulässige Öffnungsposition zusammen mit der gemessenen Übertemperatur der Heizfläche zur Bildung und/oder Adaption einer Kennlinie / eines Kennfeldes zu speichern.
15. System nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Heizkostenverteiler an der Heizfläche aufweist zur Erfassung der Wärmeabgabe der Heizfläche, wobei eines der Geräte von Thermostatventil oder Heizkosten-

EP 2 420 748 A2

verteiler eingerichtet ist, den Vergleich vorzunehmen anhand wenigstens eines selbst erfassten Temperaturmesswertes und wenigstens eines von dem anderen Gerät durch Funkkommunikation übermittelten Temperaturmesswertes.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1A

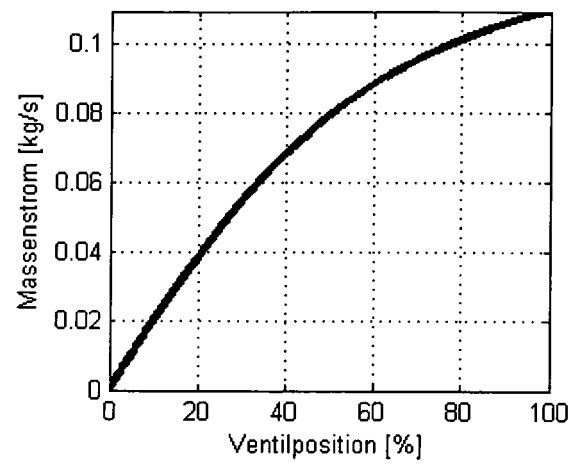


Fig. 1B

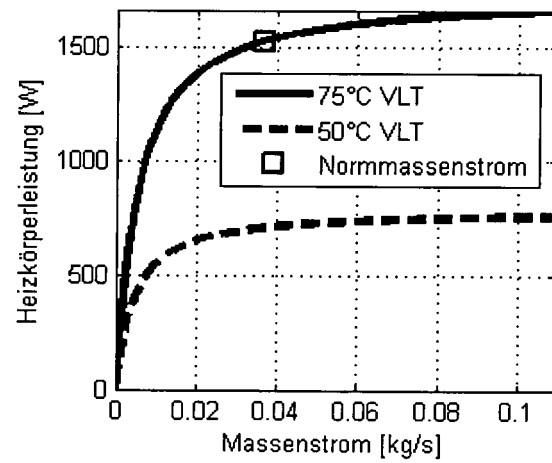
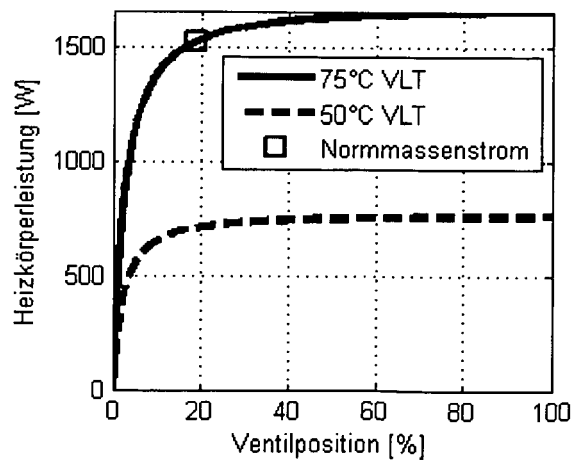
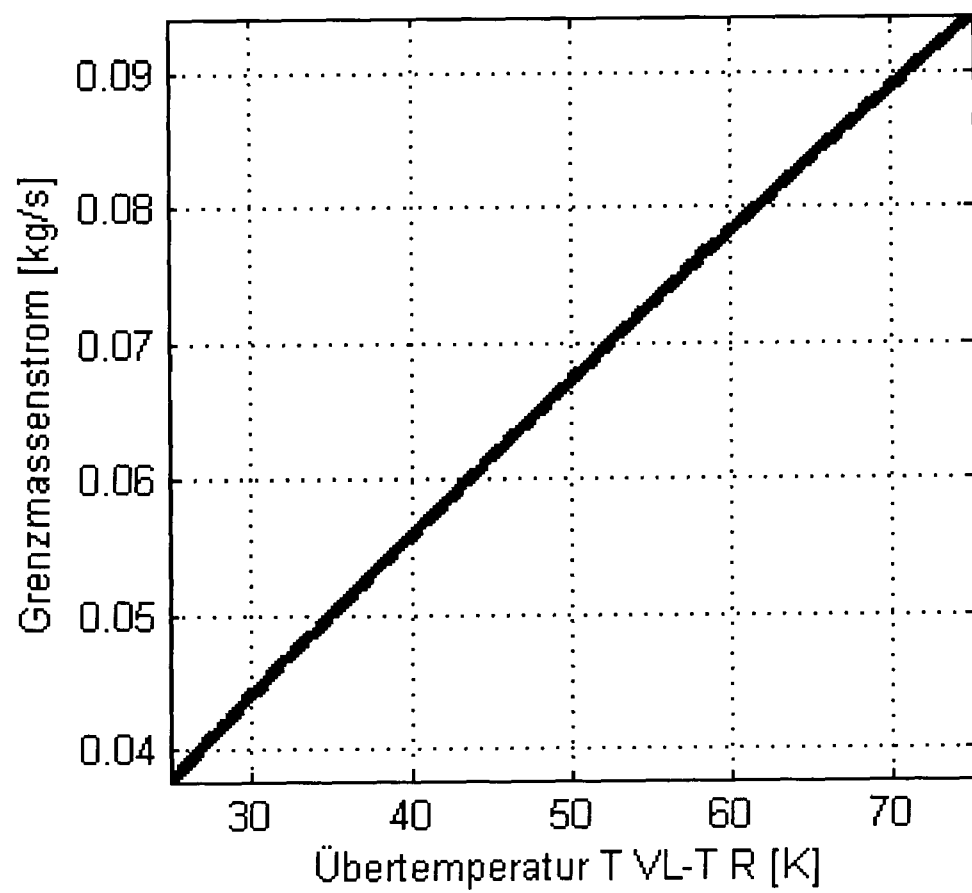
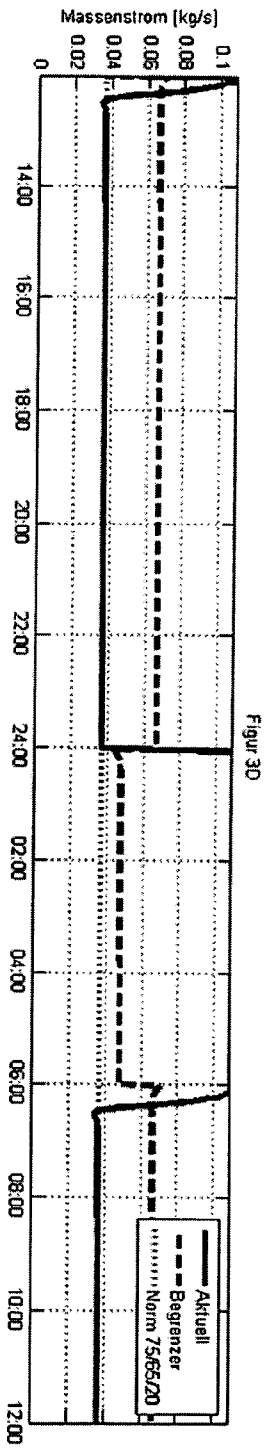
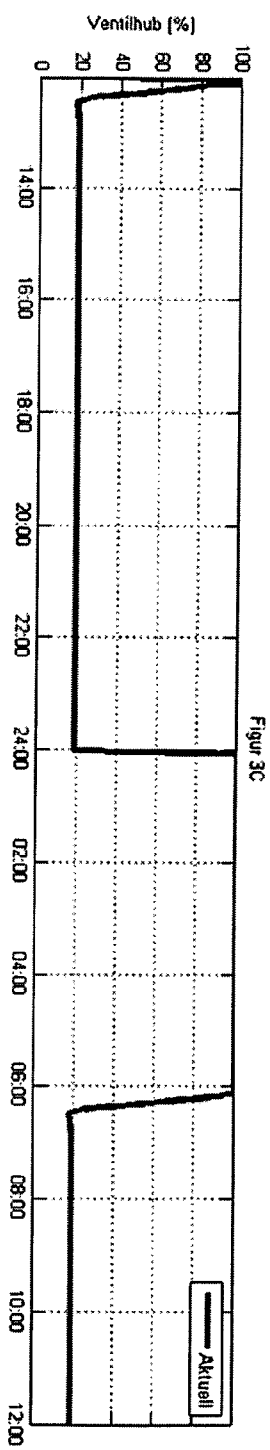
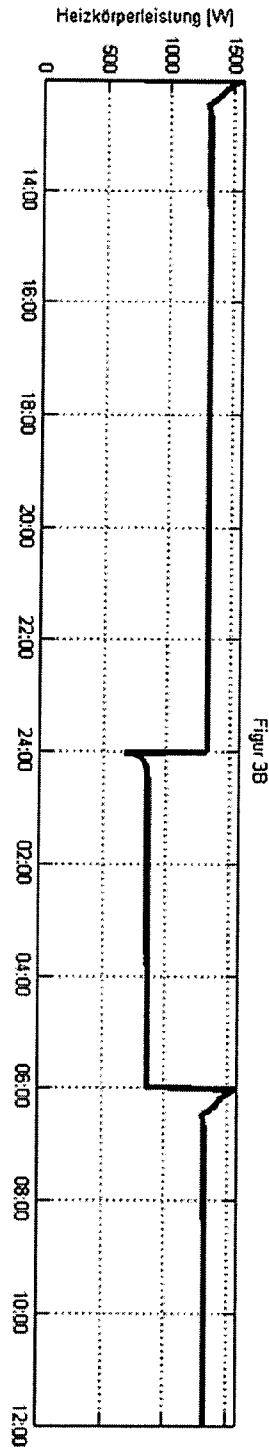
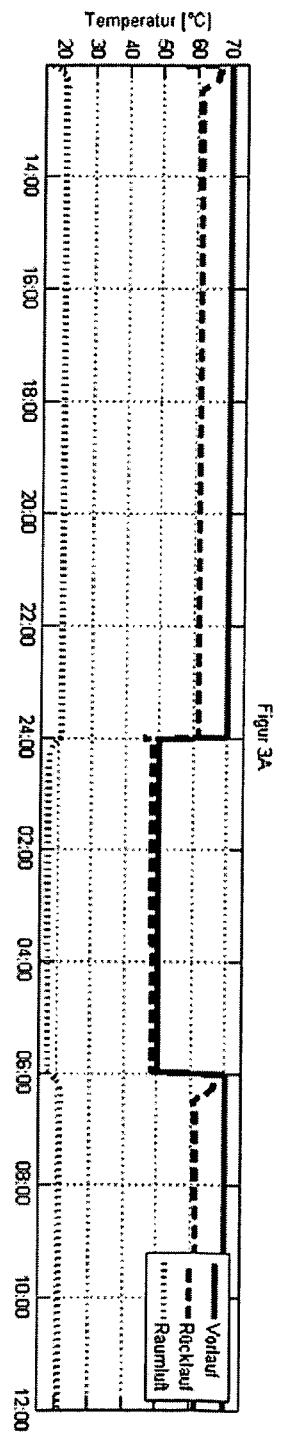


Fig. 1C

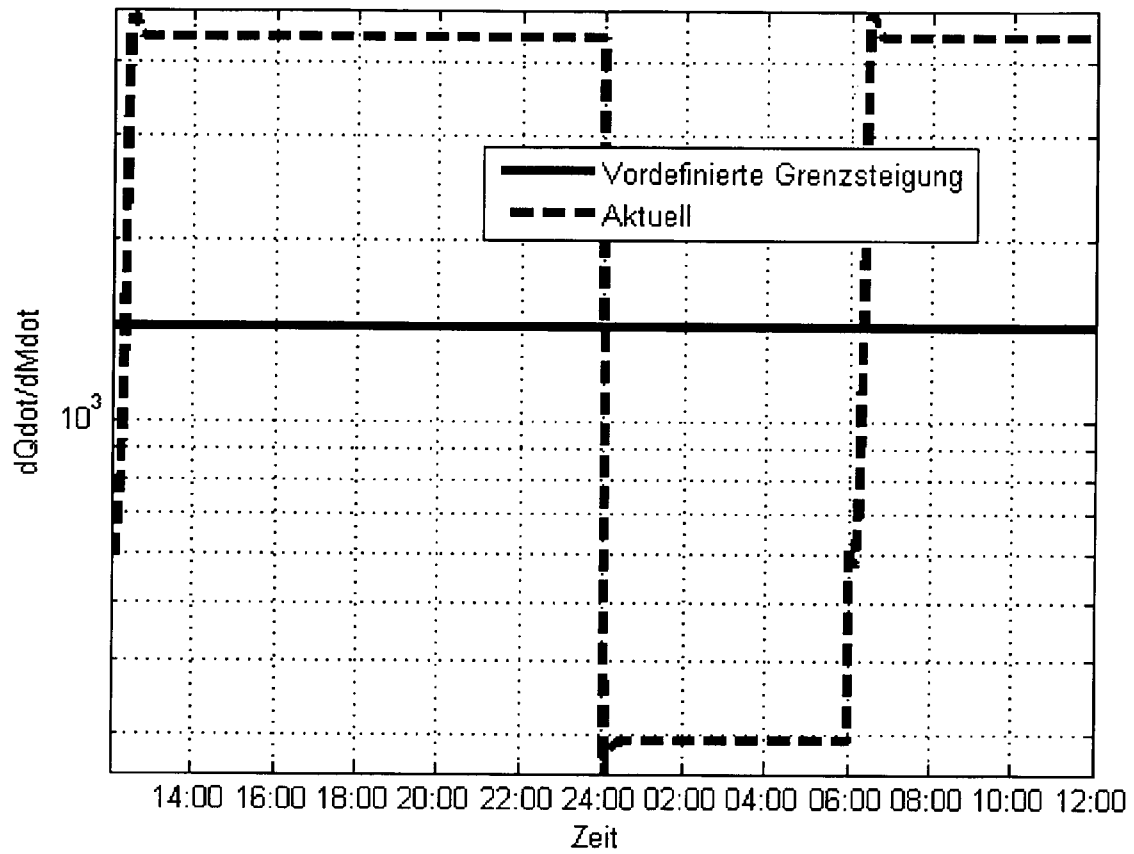


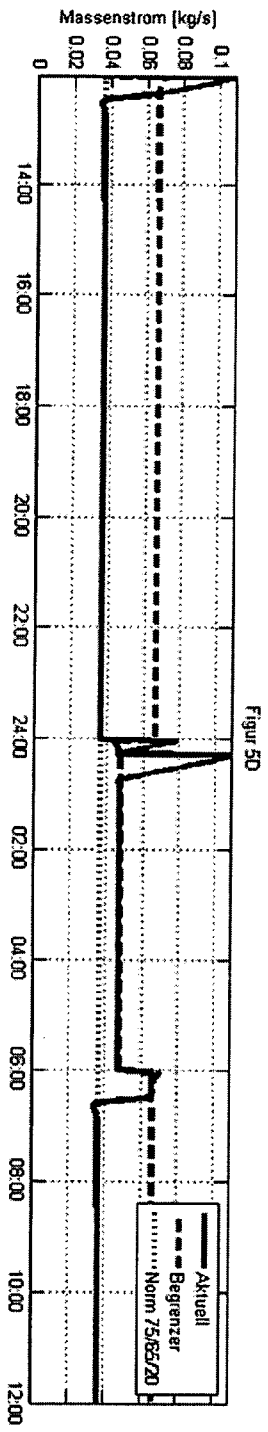
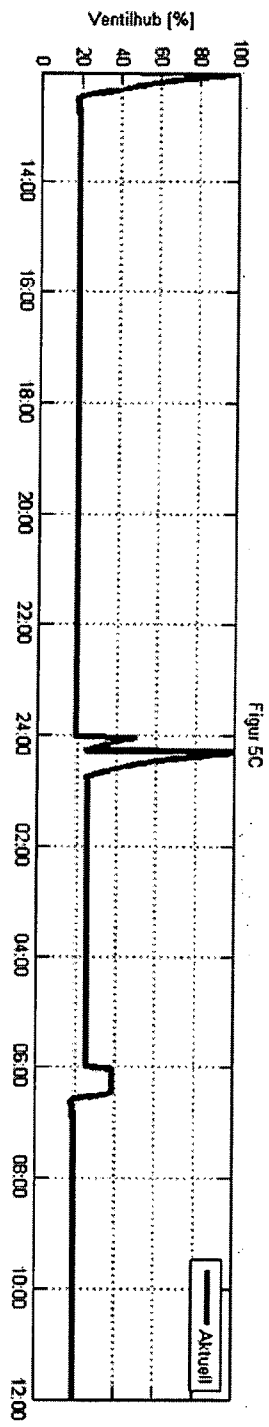
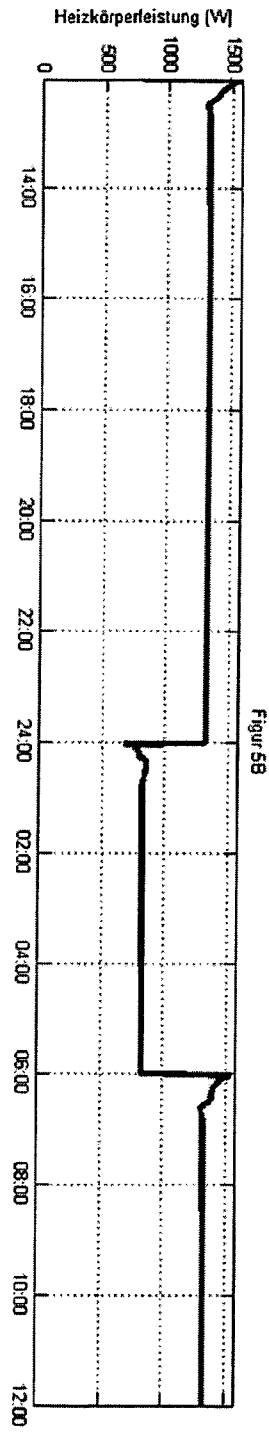
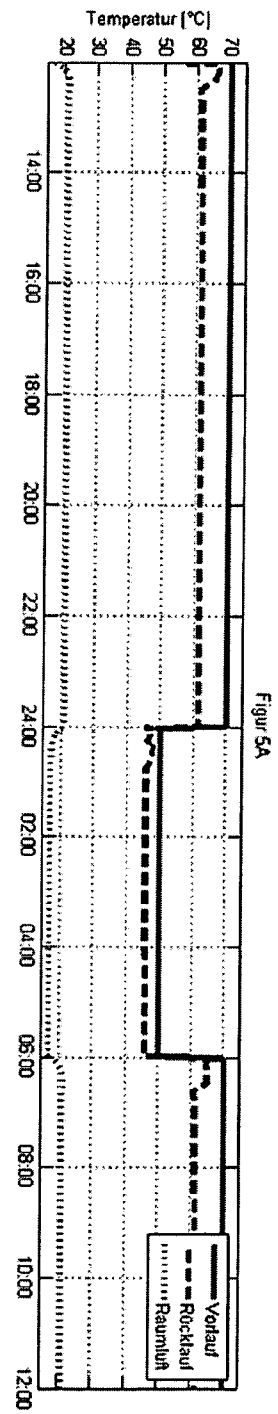
Figur 2



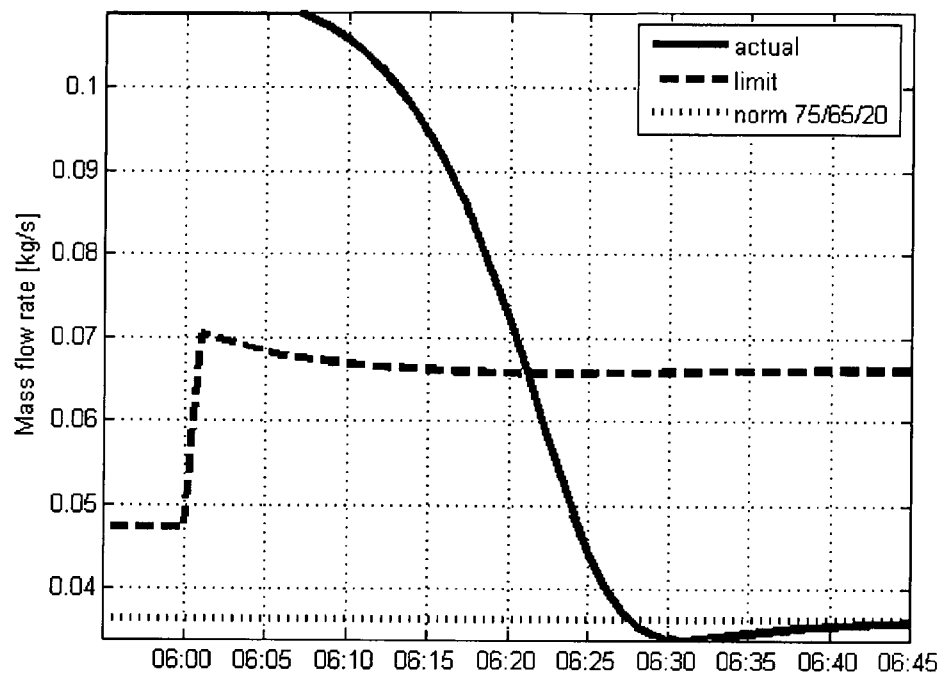


Figur 4

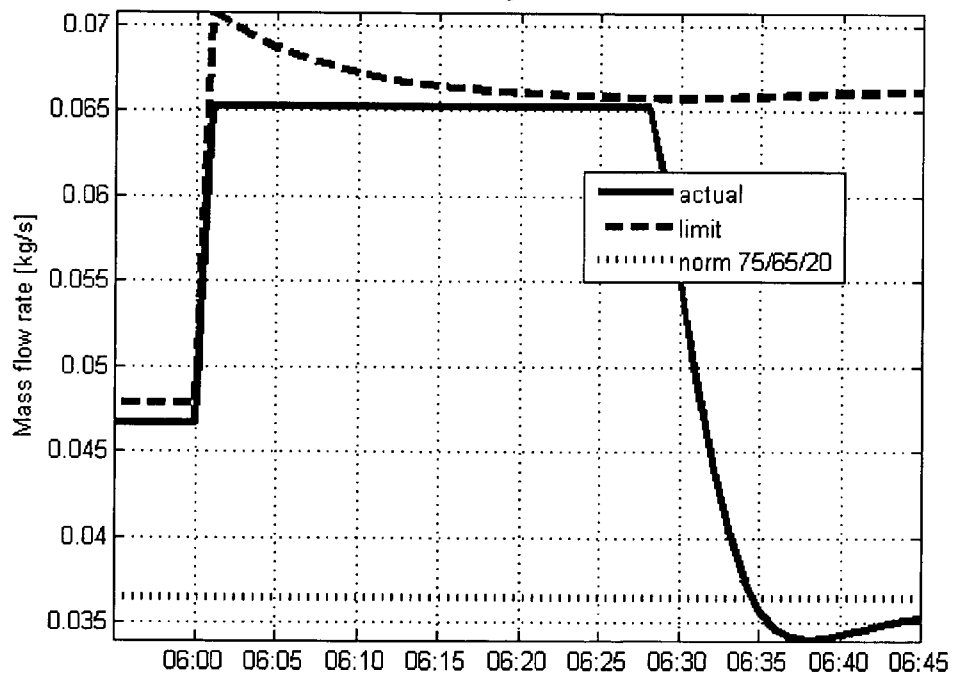




Figur 6



Figur 7



Figur 8

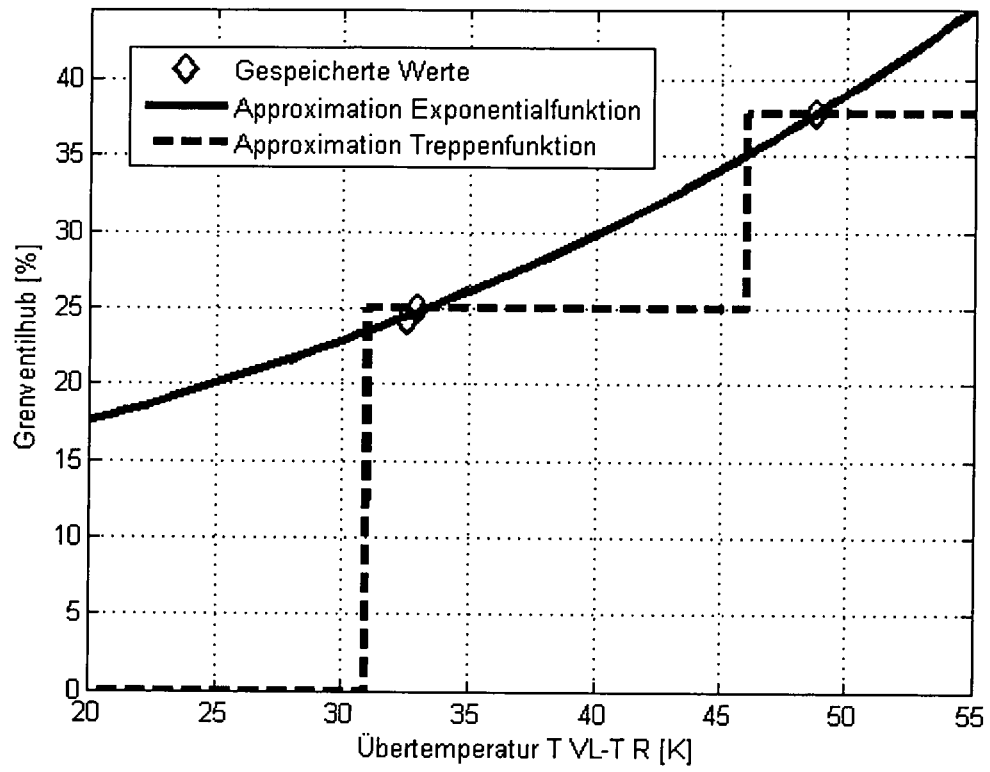


Fig 9A

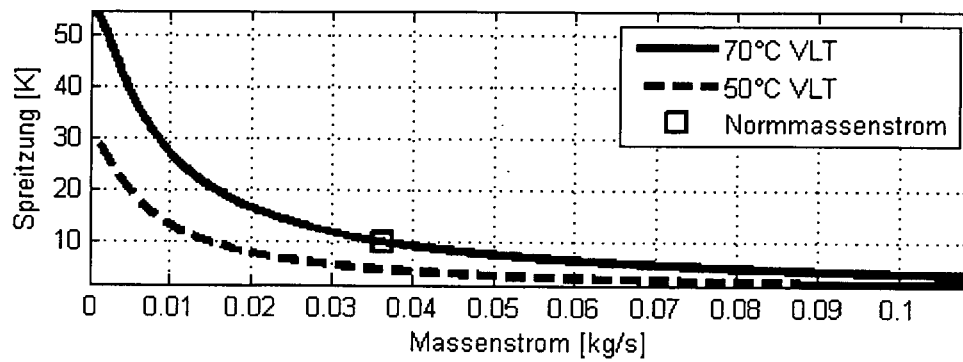
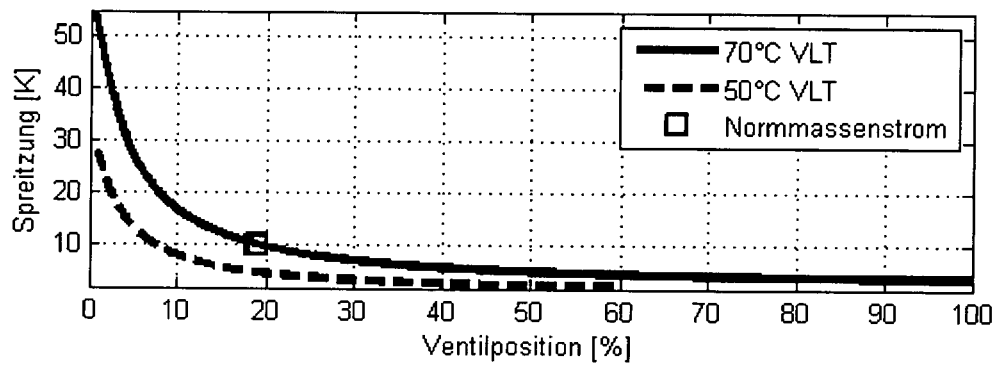
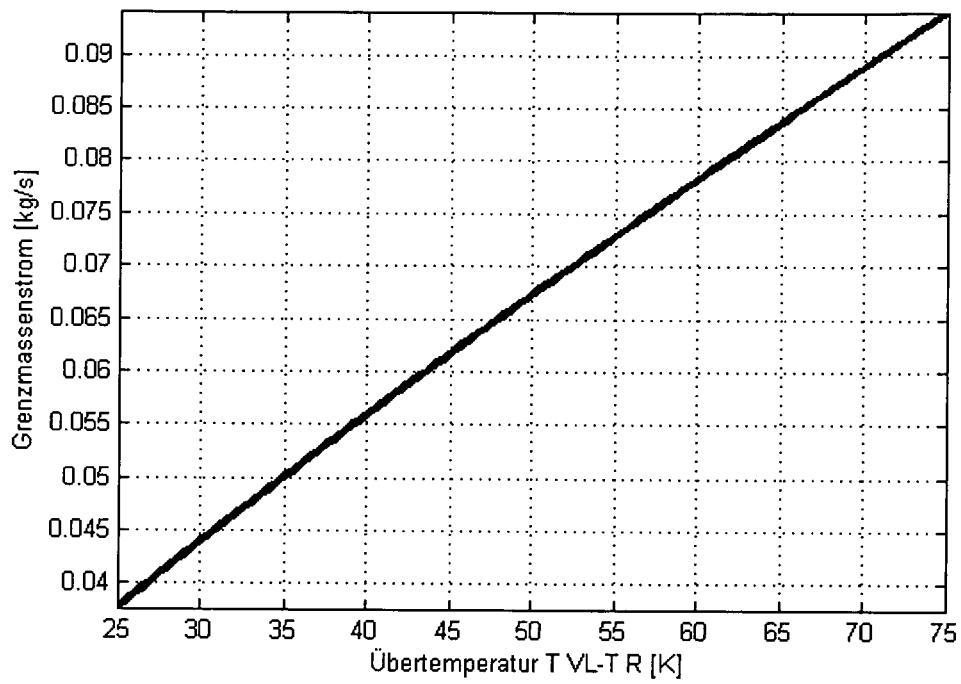


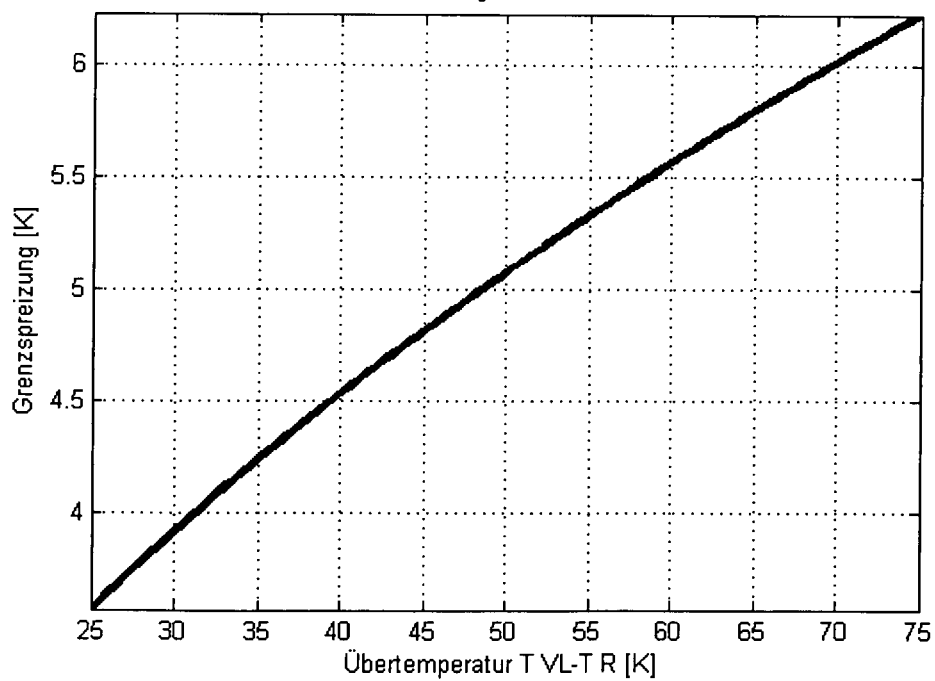
Fig 9B



Figur 10A



Figur 10B



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 19911866 A1 [0012]