



(10) **DE 10 2009 021 600 B4** 2015.10.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 021 600.6**

(22) Anmeldetag: **15.05.2009**

(43) Offenlegungstag: **25.11.2010**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.10.2015**

(51) Int Cl.: **G01N 25/18 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
CheMin GmbH, 86167 Augsburg, DE

(74) Vertreter:
Flaccus Müller-Wolff, 50389 Wesseling, DE

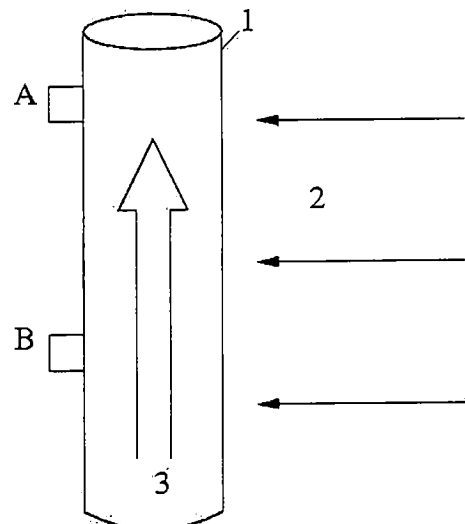
(72) Erfinder:
**Krüger, Jörg, Dr., 92421 Schwandorf, DE; Spiegel,
Wolfgang, Dr., 86415 Mering, DE; Magel, Gabriele,
Dr., 86150 Augsburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	4 332 164	A
US	4 729 667	A
WO	02/ 073 168	A1

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Erfassung des spezifischen Wärmeflusses**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Erfassung des spezifischen Wärmeflusses einer Wärmequelle auf einen langgestreckten kühlmitteldurchflossenen Hohlkörper, dadurch gekennzeichnet, dass an diesem Hohlkörper die Temperatur an mindestens drei Messpunkten A, B und C gemessen wird, wobei relativ zur Kühlmittelflussrichtung betrachtet A auf B auf C folgt, und die Temperaturdifferenzen zwischen A und B und B und C ermittelt werden.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung befasst sich mit einer Vorrichtung und einem Verfahren zur Erfassung des spezifischen Wärmeflusses einer Wärmequelle auf einen kühlmitteldurchflossenen Hohlkörper.

[0002] In Dampferzeugern wird die Energie aus den Verbrennungsgasen im hohen Temperaturbereich im Wesentlichen durch Flamm- sowie Gasstrahlung und im abgesenkten Temperaturbereich im Wesentlichen durch Konvektion auf das Wasser bzw. den Dampf übertragen. Die Gestaltung der Wärmeübertragungsflächen trägt den physikalischen Gesetzen Rechnung. In dem hohen Temperaturbereich sind Rauchgaszüge ohne Einbauten, die so genannten Leer- oder Strahlungszüge, üblich. In den unteren Rauchgastemperaturbereichen werden die Kesselzüge mit Rohren ausgestattet, die einen guten konvektiven Wärmeübergang aus dem Rauchgas auf das zu beheizende Medium sicherstellen. Die rauchgasbegrenzenden Wände der Kesselzüge werden in den meisten Fällen aus Membranwänden gebildet. Diese Membranwände bestehen aus mittels Stegen untereinander verschweißten Rohren. Sie bilden eine dichte Abdichtung für die Rauchgase und werden im Allgemeinen durch Kühlmittel, vorzugsweise Siedewasser, welches die Rohre durchfließt, gekühlt.

[0003] Für eine optimale Einstellung oder Regelung der Verbrennung und zur Ermittlung des Zustandes des Kessels, z. B. ob sich rauchgasseitige Ablagerungen gebildet haben oder eine vorhandene Feuerfestzustellung beschädigt ist, ist es nötig, während des Betriebes Informationen über das Innere des Kessels zu erlangen. Dies kann insbesondere dadurch erreicht werden, dass der spezifische Wärmefluss auf die Kesselwand effektiv ermittelt wird.

[0004] EP 1 760 441 B1 beschreibt eine Möglichkeit, den spezifischen Wärmefluss an Dampferzeugern zu ermitteln. Das Patent beruht auf folgendem Prinzip: Die Aufpunktion von Thermoelementen an der Kesselaußenseite, je eines Thermoelementes auf dem Rohrscheitel und dem benachbarten Steg, liefert ein Messsignal, wobei sich mittels der beiden Konstantandrähte der Thermoelemente der Unterschied der Temperaturen zwischen Rohr und Steg ermitteln lässt und damit ein Äquivalent zur gegebenen Wärmestromdichte an der Messposition bestimmt werden kann.

[0005] Die Nutzung der beiden Konstantandrähte und des Kessels als „Eisendraht“ anstelle der beiden Thermoelemente erlaubt die Messung des Temperaturunterschiedes zwischen Rohr und Steg mit hoher Genauigkeit (1/100 Kelvin) bei gleichzeitig hoher Temperatur (meist ca. 250–300°C).

[0006] US 4,729,667 offenbart ein Verfahren zur Messung des thermischen Widerstandes von durch Kühlflüssigkeiten hervorgerufene Korrosionsschichten in Wärmeaustauschrohren, wobei die Rohre von einem flüssigen, gas- oder dampfförmigen Medium umströmt werden, und die Kühlflüssigkeit einen Teil der Wärme des genannten Mediums aufnimmt und abführt. Es wird der thermische Widerstand aus der Differenz des thermischen Widerstandes des verschmutzten Rohres und des thermischen Widerstandes eines unverschmutzten Rohres ermittelt.

[0007] US 4,332,164 beschreibt eine BTU-Einheit, bei der zwei Temperaturen, eine Einlasstemperatur und eine Auslasstemperatur, gemessen werden und deren Differenz gebildet wird.

[0008] WO 02/073168 beschreibt ein Rohr zur Messung eines Wärmeflusses, welches Thermokoppler aufweist, die so aufgebaut sind, dass sie Spannungsdifferenzen messen, die Temperaturdifferenzen entsprechen.

[0009] Damit wird eine Differenz der Wassertemperatur eines bestimmten Rohrabschnitts gemessen

[0010] Nachteil des bekannten Verfahrens ist, dass der Wärmeflussverlauf nur punktuell gemessen wird, anstatt den gesamten Wärmeflussverlauf über zumindest Teile des Kessels zu ermitteln. Damit ist es nicht möglich, den integralen Wärmefluss in einem (Siede)Rohr zu messen.

[0011] Der Temperaturverlauf in einem kühlmitteldurchflossenen Rohr ist selbst bei zeitlich konstanter Energieaufnahme und konstantem Kühlmitteldurchfluss in unterschiedlichen Höhen nicht zwangsläufig konstant oder proportional. So nimmt zwar die Temperatur im unteren Teil des Rohres mit steigender Höhe nahezu proportional zu, ist jedoch der Siedepunkt der Flüssigkeit bei dem an dieser Position vorherrschenden Druck erreicht, kommt es zu einer Verdampfung der Flüssigkeit und damit zu einem Temperaturabfall. Dieser Temperaturabfall ist über die abnehmende Dichte der überstehenden Wassersäule aus Wasser/Dampf bedingt.

[0012] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erfassung des spezifischen Wärmeflusses zur Verfügung zu stellen, das die oben genannten Nachteile überwindet und eine optimierte Messung des Wärmeflusses über zumindest Teile des Kessels trotz Temperaturschwankungen oder -verläufen zu ermöglichen.

[0013] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Erfassung des spezifischen Wärmeflusses nach Anspruch 1 gelöst.

[0014] Im Allgemeinen ist es mit diesem Verfahren möglich, den spezifischen Wärmefluss einer beliebigen Wärmequelle auf einen langgezogenen, kühlmitteldurchflossenen Hohlkörper zu bestimmen. Bevorzugt dient dieses Verfahren zur Ermittlung des spezifischen Wärmeflusses auf Membranwände, welche insbesondere Teil eines Heizkessels sind.

[0015] Die Hohlkörper sind bevorzugt als Rohre mit rundem oder mehreckigen Querschnitt ausgestaltet. Jedoch ist das Verfahren für in einer Richtung ausgedehnte Hohlkörper mit allen denkbaren Querschnittsformen geeignet. Im Folgenden wird der Einfachheit halber von Rohren gesprochen, was die oben genannten Ausführungsformen mit einschließt. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Rohr zur Horizontalen in einem Winkel $> 1^\circ$, vorzugsweise $> 45^\circ$, besonders bevorzugt $> 80^\circ$ geneigt. Im Allgemeinen sind die Rohre über zumindest Teilstrecken nahezu vertikal oder genau vertikal angeordnet. Bei den oben genannten Winkelangaben ist selbstverständlich, dass die höchstmögliche Neigung 90° , die Vertikale, beträgt.

[0016] Als Kühlmittel können alle bekannten Flüssigkeiten und Gase verwendet werden, bevorzugte Kühlmittel sind Siedewasser und Öle. Der Umlauf des Kühlmittels kann sowohl ein natürlicher Umlauf sein (Naturumlauf) oder durch eine Pumpe erzwungen werden (Zwangsumlauf). Die bevorzugte Strömungsrichtung des Kühlmittels in den Rohren ist aufsteigend nach oben.

[0017] Die Rohrtemperatur schwankt unter anderem mit dem Trommeldruck und damit mit der erzeugten Dampfmenge und der Stabilität der Druckregelung der nachgeschalteten Turbine.

[0018] Der Grund dafür ist, dass an der Turbine der Druck (z. B. 40 bar) konstant gehalten wird. Zuvor durchströmt der Dampf den Überhitzer im Kessel. Für den Dampf ist dies eine Schikane, die umso mehr Widerstand bietet, je größer die Menge an durchströmendem Dampf ist. Entsprechend höher muss der Druck in der Trommel sein. In der Trommel haben Dampf und Wasser den gleichen Druck. Damit ändert sich auch der Trommeldruck im Kessel in Abhängigkeit der Dampfmenge und der Stabilität des Dampfdrucks vor der Turbine. Mit dem Trommeldruck ändert sich auch die Siedetemperatur des Wassers. Die Konsequenz daraus ist, dass je höher die Dampfmenge ist, welche zur Turbine strömt, desto höher der Druckverlust in den Überhitzerrohren und desto höher muss der Druck und damit die Temperatur des Siedewassers und damit die Rohrtemperatur der kühlmitteldurchströmten Siederohre sein. In der Praxis schwankt die Dampfmenge immer und damit auch die Rohrtemperaturen um mehrere Grad Kelvin.

[0019] An jedem Rohr, an dem der Wärmefluss ermittelt wird, sind an mindestens drei Messpunkten A, B und C Temperaturmessgeräte angeordnet, wobei A relativ zur Kühlmittelflussrichtung betrachtet hinter B hinter C liegt. Zum Beispiel würde dies für vertikale Steigrohre bedeuten, dass diese Anordnung einer Positionierung von A über B entspricht.

[0020] Der Wärmefluss wird nun mittels der Differenz der Messwerte ermittelt, was zusätzlich die oben genannten durch Druckunterschiede hervorgerufenen Temperaturschwankungen kompensiert.

[0021] Bevorzugt befindet sich an mindestens der Hälfte der Rohre, und besonders bevorzugt an allen Rohren ein solcher Messaufbau.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform misst mindestens ein zusätzliches Temperaturmessgerät eine Basistemperatur an einem Punkt Z, der relativ zum Kühlmittelfluss vor den Punkten A und B liegt. Vorzugsweise befindet sich dieser Punkt unterhalb von B am selben Rohr oder an einem unteren Sammelbehälter für das Kühlmittel.

[0023] Im Falle von mehreren Messungen ist es möglich, dass sich jede Messung auf eine eigene, an jedem betreffenden Rohr gemessene Basistemperatur bezieht, oder sich bevorzugt alle Messungen auf eine einzige Basistemperatur beziehen, wobei in diesem Fall der Messpunkt Z bevorzugt am unteren Sammelbehälter liegt.

[0024] Als Temperaturmessgeräte können alle bekannten Temperaturmessgeräte verwendet werden, welche in der Lage sind Temperaturen in dem entsprechenden Bereich (zwischen 0°C und 1000°C) zu messen. Bevorzugte Messgeräte sind die oben im Zusammenhang mit EP 1 760 441 genannten Thermoelemente, welche aus Konstantandrähten bestehen, die direkt auf das Rohr aufgeschweißt sind. Das Rohr besteht dabei vorzugsweise zum großen Teil aus Eisen. Mittels solcher Messgeräte ist eine Temperaturdifferenz zwischen zwei Messpunkten durch eine gemessene Spannungsdifferenz sehr genau bestimmbar. Weitere bevorzugte Messgeräte sind Peltier-Elemente.

[0025] Die Berechnung des Temperaturverlaufs in dem Rohr kann noch optimiert werden, wenn die folgenden Einflüsse in dieser Berechnung berücksichtigt werden. Dies sind zum einen die Höhenposition eines Messpunktes in Bezug auf die Trommel und zum anderen die Siedewassergeschwindigkeit im Siederohr.

[0026] Die Kompensation der Höhenposition der Messpunkte geschieht dadurch, dass die Höhe der einzelnen Messpunkte ermittelt wird. Über diese Höhe der Messpunkte bis zum Trommeleintritt des Siedewassers, den hydraulischen Druckverlust und der zugehörigen Siedetemperatur kann die integrale Dichteverteilung des Siedewassers bis zur jeweiligen Messstelle bestimmt werden. Sie wird im Falle des Siedens des Kühlwassers über die Zunahme (Aufheizphase vor Siedebeginn) und Abnahme (nach Siedebeginn) der Temperatur die Zunahme der spezifischen Energie des Wassers ermittelt.

[0027] Der höhenmäßige Verlauf der Temperaturen auf dem Siederohr gestattet die Bestimmung der Thermik des Siedewasserrohres und damit letztendlich die Geschwindigkeit des Wassers im Eintritt zum Rohr. Die Siedewassergeschwindigkeit kann an Hand üblicher hydraulischer Druckverlustmessungen, der treibenden Dichte- und Höhendifferenz bestimmt und damit kompensiert werden und in die Berechnung des Wärmeflusses einfließen.

[0028] Erfindungsgemäß wird die Temperatur an mindestens drei unterschiedlichen Positionen A, B und C gemessen, wobei relativ zur Kühlmittelflussrichtung betrachtet A auf B und B auf C folgt. Aus den gemessenen Temperaturen wird dabei jeweils die Temperaturdifferenz zwischen A und B [$dT(AB)$] und zwischen B und C [$dT(BC)$] ermittelt. Bei weiteren Messpunkten wird analog verfahren. Auf diese Weise ist es möglich, lokale Temperaturunterschiede zu erkennen und diese in die Berechnung des Wärmeflusses einfließen zu lassen. Dadurch wird eine Verbesserung der Berechnung des Wärmeflusses erreicht.

[0029] Bei einem besonders vorteilhaften Verfahren werden auf die vorstehend beschriebene Weise jeweils Temperaturdifferenzen zwischen fünf Messpositionen ermittelt und aus den so berechneten Werten wiederum nach dem Vorstehend beschriebenen Verfahren ein zweites Mal Differenzen benachbarter Werte berechnet, also die zweite Ableitung aus dem ursprünglich gemessenen Temperaturverlauf gebildet. Auf diese Weise ist eine noch genauere Detektion lokal begrenzter Wärmeeinflüsse möglich. Diese zweite Ableitung wird im Folgenden auch, da es sich um diskrete Messwerte handelt, als „doppelte Differenz“ bezeichnet.

[0030] Der Wärmefluss wird in guter Näherung durch den Anteil an Dampf im Kühlmedium wiedergegeben. Für den Fall, dass das Siedewasser in den Rohren zu sieden beginnt, sinkt die Temperatur in Kühlmittelflussrichtung ab einer bestimmten Position, der Siedeposition, ab. Um in diesem Fall die Ermittlung des Wärmeflusses zu optimieren, bedient man sich bevorzugt eines Verfahrens und einer Vorrichtung, bei der an mindestens vier Messpunkten A, B, C und D die Temperatur des Rohres gemessen wird, wobei einer der Messpunkte bevorzugt mit Z gleichgesetzt wird, also die Basistemperatur misst.

[0031] Dabei ist die Position der Messpunkte relativ zur Kühlmittelflussrichtung betrachtet A hinter B hinter C hinter D. Im Falle eines vertikalen Steigrohres lägen die Messpunkte also von unten nach oben betrachtet in der Reihenfolge D, C, B und A.

[0032] Liegt die Siedeposition der Kühlflüssigkeit zwischen den Positionen B und C, kann diese Position berechnet werden, wie im Folgenden ausgeführt wird.

[0033] Graphisch kann diese Position ermittelt werden, indem die Temperaturen der Messgeräte in einem Koordinatensystem auf der Ordinate und die Positionen der Messgeräte auf der Abszisse aufgetragen werden. Sollte der Messpunkt D am Sammelbehälter liegen, wird diesem Messpunkt die Höhe = 0 zugeordnet. Die Siedeposition ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Geraden durch die Messpunkte C-D mit der Geraden durch die Messpunkte A-B.

[0034] Rechnerisch lässt sich die Siedeposition aus den Formeln zum Schnittpunkt zweier Geraden aus den Temperatur- und Höhendifferenzen und den absoluten Temperaturen und Höhen der Messgeräte berechnen.

[0035] Mit der Ermittlung der Siedeposition und der Temperaturverläufe davor und danach kann der Temperaturverlauf über das gesamte Rohr extrapoliert werden. Annähernd entspricht der Temperaturverlauf der beiden oben ermittelten Geraden, nämlich der Geraden durch C-D im unteren Bereich des Rohres bis zur Siedeposition und der Gerade durch A-B im oberen Bereich des Rohres ab der Siedeposition.

[0036] In einer bevorzugten Ausführungsform werden Temperaturen des Rohres an weiteren Messstellen gemessen, so dass nicht nur zwischen den Punkten B und C der Siedepunkt ermittelt werden kann, sondern zwischen weiteren Punkten. Da zur Ermittlung der Siedeposition zwei Geraden konstruiert werden müssen, und da sich jede Gerade durch zwei Punkte genau definieren lässt, genügt es, wenn zu jeder Seite der Siedeposition mindestens zwei Temperaturen an unterschiedlichen Positionen ermittelt werden können. Die Messungen werden jedoch genauer, wenn weitere Messpunkte, vorzugsweise mindestens einer, besonders bevorzugt mindestens drei auf mindestens einer Seite der Siedeposition hinzukommen.

[0037] Bei einer Verschlechterung des Kühlmittelflusses oder bei einer Verschlechterung der Wärmekopplung zwischen Rohr und Kühlmittel, z. B. hervorgerufen durch die übermäßige Bildung von Gas- bzw. Dampfblasen im Kühlmittel, besteht die Gefahr der lokalen Überhitzung des Rohres. Dies wird auch als Siedekrise bezeichnet. Eine lokale Überhitzung der Rohre kann in der Zerstörung der Rohrwand in diesem Bereich resultieren, was den weiteren Betrieb ohne aufwendige Reparatur unmöglich macht. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, derartige Störquellen schnell zu lokalisieren, um entsprechende Gegenmaßnahmen ergreifen zu können.

[0038] Durch Vergleich der gemessenen Temperaturen mit Vergleichstemperaturen aus einer Datenbank kann bestimmt werden, ob es an einem Punkt eines Rohres zu einer Siedekrise kommen könnte oder bereits gekommen ist. Daher enthält eine bevorzugte weitere Ausführungsform eine Datenbank, in der Vergleichstemperaturen oder Vergleichstemperaturdifferenzen gespeichert sind, und mit deren Einträgen die jeweils gemessenen aktuellen Temperaturen verglichen werden. Weicht eine der gemessenen Temperaturen um einem vorher festgelegten Toleranzwert von den Vergleichswerten ab, ist eine Siedekrise wahrscheinlich und es kann ein Alarm ausgegeben werden oder automatische Gegenaktionen in die Wege geleitet werden. Zum Vergleichen dieser Vergleichswerte mit den aktuellen Temperaturen werden bevorzugt die Vergleichswerte auf eine Vergleichsbasistemperatur geeicht und die aktuellen Temperaturen auf eine aktuelle Basistemperatur geeicht.

[0039] Beispiele für erfindungsgemäße Vorrichtungen sind in den Abbildungen dargestellt.

[0040] Fig. 1 zeigt schematisch ein Rohr einer Membranwand eines Brennkessels mit 2 Messstellen A und B.

[0041] Fig. 2 zeigt eine Auftragung der mit einer Vorrichtung nach Fig. 1 gemessenen Temperaturen gegen die Messposition.

[0042] Fig. 3 zeigt schematisch ein Rohr einer Membranwand eines Brennkessels mit 4 Messstellen A bis D.

[0043] Fig. 4 zeigt eine Auftragung der mit einer Vorrichtung nach Fig. 3 gemessenen Temperaturen gegen die Messposition.

[0044] Fig. 5 zeigt einen realen Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Messhöhe.

[0045] Fig. 6 zeigt den Temperaturverlauf von Fig. 5 korrigiert um die Einflüsse der Temperaturschwankungen, der Höhenposition der Messpunkte und der Siedewassergeschwindigkeit.

[0046] Das folgende Beispiel verdeutlicht die Bestimmung des spezifischen Wärmeflusses der Wärme eines Brennkessels auf eine den Brennkessel umschließende Membranwand, deren Rohre mit dem Kühlmittel Siedewasser durchflossen sind.

[0047] Aus dem Sammler des Kühlmittelkreislaufs strömt Wasser in die Rohre. Die Temperatur entspricht der Siedetemperatur des Wassers in der Trommel. Der Druck entspricht dem Siededruck in der Trommel plus der Wassersäule des Fallrohres. Beispielsweise beträgt bei einer Siedewassertemperatur von 248°C und einer Fallrohrhöhe von 40 Meter der zusätzliche Druck ca. 3 bar. Somit muss sich das im Rohr aufsteigende Wasser zunächst weiter erwärmen, um zum Sieden zu kommen, d. h. die ersten Meter Verdampferwand wird die auf-

genommene Energie zur Erwärmung eines „Ein-Phasen-Systems“ (Wasser) benutzt. Mit zunehmender Höhe sinkt auch etwas der Druck, da die Wassersäule zur Trommel kürzer wird, d. h. Erwärmung und Druckabsenkung laufen aufeinander zu, bis zum Erreichen der Siedebedingung. Ab dieser Höhe wird die weitere Energieaufnahme in eine Verschiebung der Proportionen in einem „Zwei-Phasen-System“ (Wasser-Dampf) zugunsten des Dampfanteils umgesetzt. Es gibt also eine Höhe des Siedebeginns in der Verdampferwand bezogen auf das betrachtete Rohr, welche die vorgenannte Siedeposition ist. Zwischen Wassereintritt aus dem Sammler (Startposition) und dem Ort des Siedebeginns wird das Rohr wärmer, da sich das Wasser erwärmt.

[0048] Ab der Position „Siedebeginn“ bis zur Trommel wird das Rohr kälter, da sich mit zunehmendem Dampfanteil die Dichte des Mediums verringert und damit der Auflastdruck der Wassersäule im Rohr zwischen Messort und Trommel kleiner wird und somit die Siedetemperatur sinkt. Je kälter das Rohr wird, bezogen auf die Wegstrecke zwischen Siedebeginn und Messort, umso größer ist der Wärmefluss auf der betrachteten Strecke.

[0049] In Fig. 1 ist ein Rohr (1) dieser Membranwandwand dargestellt, das mit Kühlwasser (2) durchflossen ist, welches erwärmt wird (3). In absteigender Reihenfolge sind am den Rohr die Messpunkte A und B angebracht, an denen die Temperatur des Rohres gemessen wird. Die Differenz der gemessenen Temperaturen bezogen auf eine an einem Punkt Z gemessenen Basistemperatur ist als Graph in Fig. 2 dargestellt. Aus diesem Graphen, bzw. der Geradensteigung, welche die Differenz der Messwerte ist, lässt sich der Wärmefluss ermitteln.

[0050] Betrachtet man ein Rohr (1) dieser Membranwandwand, das mit Kühlwasser (2) durchflossen ist, welches erwärmt wird (3), an dem wie in Fig. 3 gezeigt in absteigender Reihenfolge an den Messpunkten A, B, C und D mit Thermoelementen die Temperatur gemessen wird, so erhält man in dem Falle, in dem die Siedeposition zwischen den Punkten B und C liegt, an den Messstellen einen bestimmten Temperaturverlauf. Dieser Temperaturverlauf zeichnet sich dadurch aus, dass zumindest an den Positionen C und D mit zunehmender Höhe ansteigende Temperaturen gemessen werden und an Messtelle A eine Temperatur, die niedriger liegt als die bei B gemessene. Die Temperatur bei B kann je nach Siedeposition höher, niedriger oder gleich der Temperatur bei C sein.

[0051] Die folgende Tabelle gibt beispielhafte Messwerte der Messung wieder, wobei zur besseren Übersicht die Messwerte Differenzen zu der bei D gemessenen Temperatur darstellen:

	Rohrposition (Höhe) in m	Temperatur in °C
A	9	1
B	6	1,5
C	3	1,5
D	0	0

[0052] Die „Strecke“ des erfassten Wärmeflusses wird nun dadurch festgelegt, dass zwei Geraden durch die Punkte gelegt werden.

[0053] In Fig. 4 sind die Messwerte der Tabelle in ein Schaubild aufgetragen, dass die Temperatur (Abszisse) in Abhängigkeit zur Messposition (Ordinate) zeigt.

[0054] Werden nun zwei Geraden durch die Punkte A-B und C-D gelegt, liegt die Siedeposition genau in dem Schnittpunkt der Geraden, also in einer Höhe von ca 3,8 m.

[0055] In dem Falle, dass die Siedeposition unterhalb von C oder oberhalb von B liegt, findet kein Temperaturabfall zwischen B und C statt und dieser Fall wäre klar dadurch erkennbar, dass B und C auf der selben Geraden liegen würden, also der Schnittpunkt der Geraden C bzw. B wäre.

[0056] Da in diesem Fall eine Siedeposition nicht mehr zu ermitteln wäre, ist es entweder möglich, die Positionen B und C in einem solch großen Abstand anzuordnen, dass bei einem normalen Betrieb die Siedeposition immer zwischen B und C liegt, oder weitere Messpositionen an dem Rohr anzuordnen. Da es nur eine Siedeposition gibt, wird in diesem Falle ein Teil der Messpunkte auf der einen Geraden liegen und der andere auf der anderen. In dem bevorzugten Falle, dass 5 oder mehr Temperaturen an dem Rohr gemessen werden, können die Geraden auch dann klar bestimmt werden, wenn die Siedeposition genau an der mittleren Messposition liegt.

[0057] Fig. 5 zeigt einen realen Temperaturverlauf an einer Membranwand, gemessen an 14 Messpositionen. Insbesondere im abfallenden Teil der Temperaturen können, wie aus dieser Figur ersichtlich wird, Fehler reduziert werden, wenn die Einflüsse der Temperaturschwankungen, der Höhenposition der Messpunkte und der Siedewassergeschwindigkeit aus den gemessenen Temperaturen herausgerechnet werden.

[0058] Fig. 6 zeigt einen Temperaturverlauf ohne die Einflüsse der Temperaturschwankungen, der Höhenposition der Messpunkte und der Siedewassergeschwindigkeit. Hier ist der nahezu lineare Verlauf vor und nach der Siededeposition deutlich zu erkennen.

[0059] Die aus dem oben beschriebenen Verfahren ableitbaren Befunde zum Wärmefluss lassen sich insbesondere für die Regelung der Feuerung eines Dampfkessels einsetzen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung des spezifischen Wärmeflusses einer Wärmequelle auf einen langgezogenen kühlmitteldurchflossenen Hohlkörper, **dadurch gekennzeichnet**, dass an diesem Hohlkörper die Temperatur an mindestens drei Messpunkten A, B und C gemessen wird, wobei relativ zur Kühlmittelflussrichtung betrachtet A auf B auf C folgt, und die Temperaturdifferenzen zwischen A und B und B und C ermittelt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hohlkörper zur Horizontalen in einem Winkel $> 1^\circ$ ausgerichtet ist.

3. Verfahren einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich eine Basistemperatur an einem Punkt Z gemessen wird und jede der gemessenen Temperaturen auf diese Basistemperatur bezogen wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die integrale Dichteverteilung des Siedewassers bis zur jeweiligen Messstelle bestimmt wird und die Messwerte damit korrigiert werden.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Siedewassergeschwindigkeit an Hand hydraulischer Druckverlustmessungen, der treibenden Dichte- und Höhendifferenz bestimmt wird und in die Korrektur der Messwerte einfließt.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Siederohr eine Geschwindigkeitserfassung installiert wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei weiteren Messpunkten analog nach dem System verfahren wird, dass die Temperaturdifferenzen zwischen A und B und B und C ermittelt werden.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an diesem Hohlkörper die Temperatur an mindestens vier Messpunkten A, B, C und D gemessen wird, wobei relativ zur Kühlmittelflussrichtung betrachtet A auf B auf C auf D folgt und die Temperaturdifferenzen zwischen A und B und C und D ermittelt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Siededeposition aus dem Schnittpunkt zweier Geraden ermittelt wird, welche durch die Messpunkte A-B und C-D verlaufen.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperatur an mindestens 5 unterschiedlichen Messpunkten gemessen wird, die Temperaturdifferenzen zwischen den jeweiligen Messpositionen ermittelt wird, und aus den so berechneten Werten ein zweites Mal Differenzen benachbarter Werte berechnet werden und so die doppelte Differenz der Messwerte berechnet wird.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gemessene Temperatur mit Vergleichswerten einer Datenbank verglichen werden und bei Überschreitung eines Toleranzschwelle ein Alarm ausgegeben wird oder automatisch Aktionen gestartet werden.

12. Vorrichtung zur Erfassung des spezifischen Wärmeflusses einer Wärmequelle auf einen langgezogenen kühlmitteldurchflossenen Hohlkörper, **dadurch gekennzeichnet**, dass an diesem Hohlkörper an mindestens

drei Messpunkten A, B und C Temperaturmessgeräte angeordnet sind, wobei relativ zur Kühlmittelflussrichtung betrachtet A auf B auf C folgt, und die Vorrichtung Mittel aufweist, die Temperaturdifferenzen gemäß einem Verfahren nach den vorangehenden Ansprüchen zu ermitteln.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hohlkörper zur Horizontalen in einem Winkel $> 1^\circ$ ausgerichtet ist

14. Vorrichtung einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich an einer Position Z ein Temperaturmessgerät angeordnet ist, welches eine Basistemperatur misst und jede der gemessenen Temperaturen auf diese Basistemperatur bezogen wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

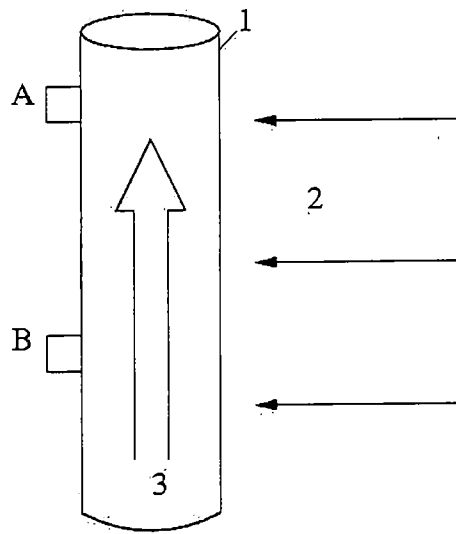


FIG. 1

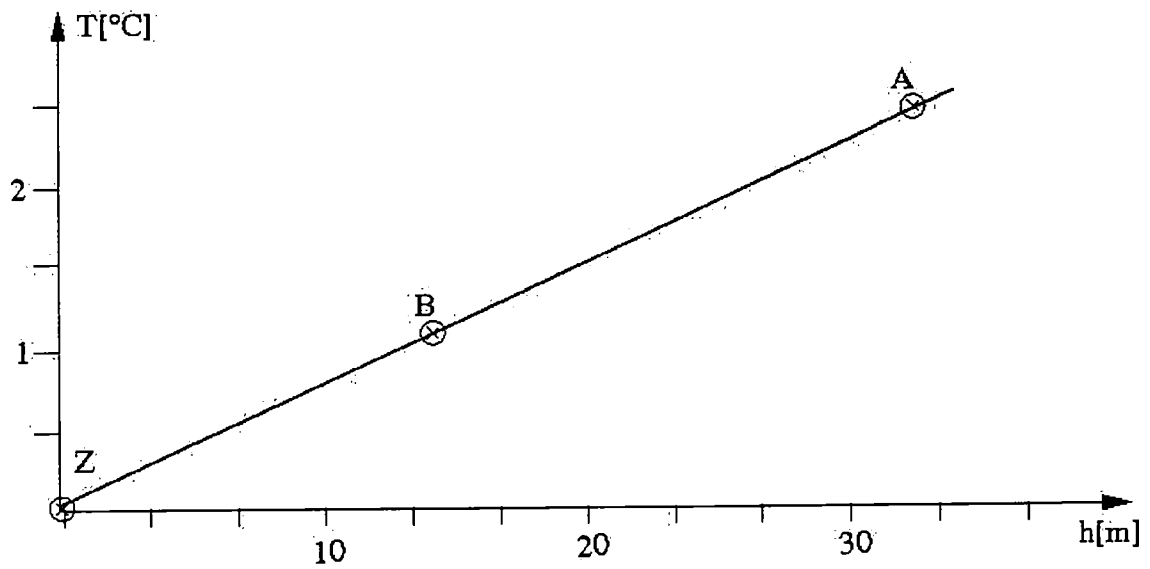


FIG. 2

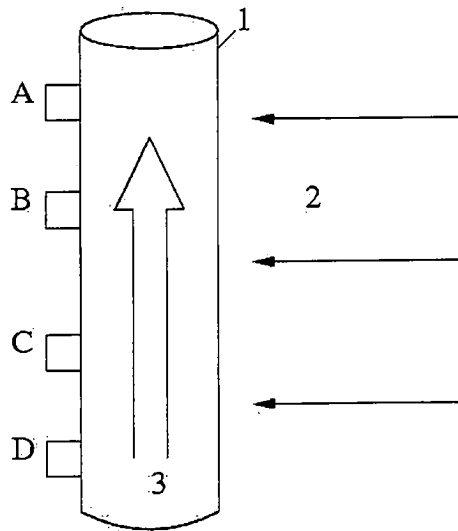


FIG. 3

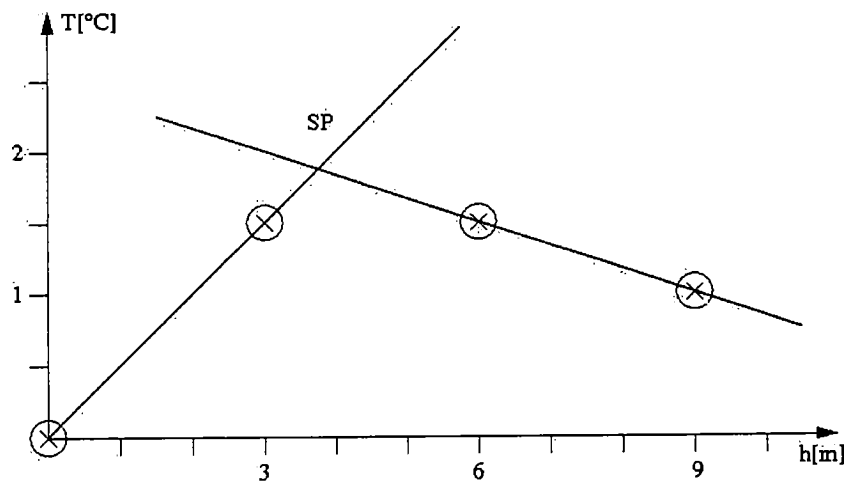


FIG. 4

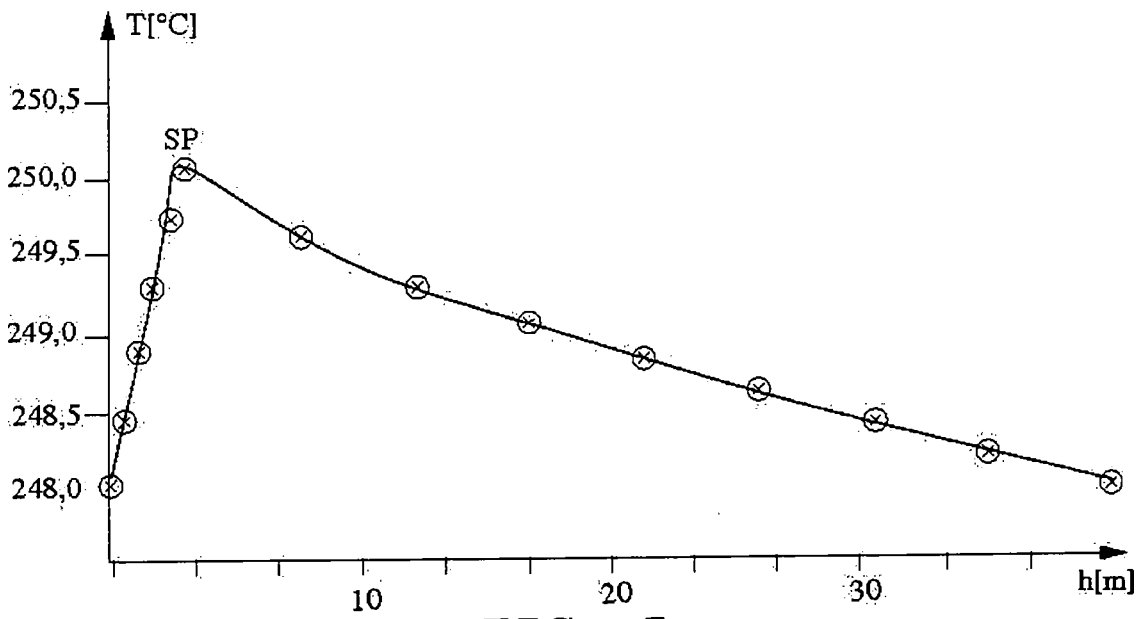


FIG. 5

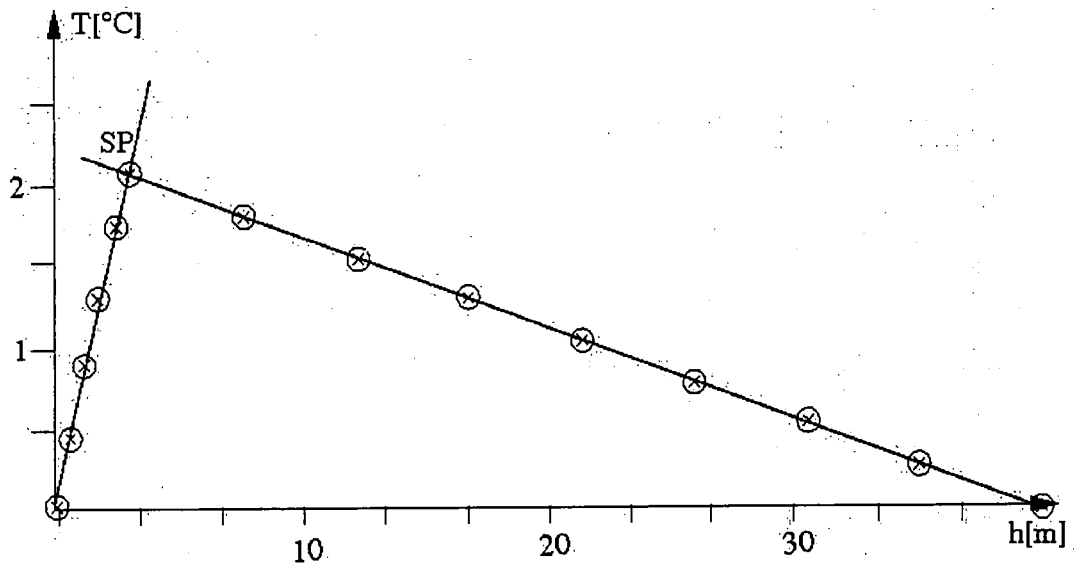


FIG. 6