



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 245 795 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.10.2002 Patentblatt 2002/40

(51) Int Cl.7: **F01K 21/06**

(21) Anmeldenummer: **02405180.7**

(22) Anmeldetag: **11.03.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **ALSTOM (Switzerland) Ltd**
5401 Baden (CH)

(72) Erfinder:
• **Liebig, Erhard, Dr.**
79725 Laufenburg (DE)
• **Svoboda, Robert, Dr.**
5430 Wettingen (CH)

(30) Priorität: **30.03.2001 DE 10116034**

(54) **Verfahren zur Verhinderung von Ablagerungen in Dampfsystem**

(57) Bei einem Verfahren zur Verhinderung der Ablagerung von Verunreinigungen in Dampfsystemen, in welchen der darin strömende Dampf gegebener Dampfqualität Temperatur und/oder Druckänderungen unterworfen ist, wird eine einfache Verhinderung von Ablagerungen dadurch erreicht, dass durch entsprechende konstruktive Gestaltung und Auslegung der Dampfsy-

steme verhindert wird, dass infolge von Änderungen der Temperatur- und/oder Druckverhältnisse innerhalb des Dampfsystems die Dampflosigkeit der in bestimmten Konzentrationen im Dampf vorhandenen Verunreinigungen überschritten wird.

EP 1 245 795 A2

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verhinderung der Ablagerung von Verunreinigungen in Dampfsystemen, in welchen der darin strömende Dampf gegebener Dampfqualität Temperatur- und/oder Druckänderungen unterworfen ist. Ausserdem betrifft die Erfindung ein Dampfsystem zur Durchführung des Verfahrens.

STAND DER TECHNIK

[0002] Zur Kühlung thermisch hoch belasteter Bauteile von Energiemaschinen beispielsweise einer Gasturbinenanlage, beabsichtigt man aus Effizienzgründen in zunehmendem Masse Dampf als Kühlmittel einzusetzen. Dieser Dampf kann als Dampf aber auch als Dampf-Luft-Gemisch, die zu kühlenden Bauteile in einem offenen, halboffenen oder geschlossenen System durchströmen.

[0003] In einem offenen Dampfsystem wird der Dampf von einer Vorrichtung zur Dampfbereitstellung (Abhitzeessel, Dampfturbinenanlage, Hilfsdampferzeuger, ...) zur Vorrichtung zur Dampfverwendung beispielsweise einer Gasturbinenanlage geführt, um deren Bauteile unter Erwärmung zu kühlen. Der Kühldampf gelangt nach dem Durchströmen des Kühlsystems der beispielsweise Gasturbinenanlage in das Arbeitsmittel der Gasturbinenanlage und mit diesem letztlich in die Atmosphäre.

[0004] In einem halboffenen Dampfsystem wird der Dampf von einer Vorrichtung zur Dampfbereitstellung (Abhitzeessel, Dampfturbinenanlage, Hilfsdampferzeuger, ...) zur Vorrichtung zur Dampfverwendung beispielsweise einer Gasturbinenanlage geführt, um deren Bauteile unter Erwärmung zu kühlen. Der Kühldampf wird nach dem Durchströmen des Kühlsystems der Gasturbinenanlage einer Vorrichtung zur Dampfabnahme (Abhitzeessel, Dampfturbinenanlage, technologischer Prozess,...) zugeführt.

[0005] In einem geschlossenen Dampfsystem ist die Vorrichtung zur Dampfbereitstellung (Dampfkühler, Dampfgebläse, Dampffilter, ...) mit der Vorrichtung zur Dampfabnahme identisch. Durch die Vorrichtung zur Dampfbereitstellung wird der Vorrichtung zur Dampfverwendung, in unserem Fall der Gasturbinenanlage, Dampf mit den entsprechenden Parametern zur Verfügung gestellt. Nach dem Durchströmen des Kühlsystems der Gasturbinenanlage wird der Dampf zur Vorrichtung zur Dampfbereitstellung zurückgeführt, um die zur Aufrechterhaltung des Kreislaufes notwendige Druckerhöhung, Kühlung, Reinigung u. dgl. vorzunehmen.

[0006] Bei der Dampfeinspritzung (steam injection) zur Leistungssteigerung wird Dampf als zusätzliches Arbeitsmittel zur Erhöhung des Massenstromes des Ar-

beitsmittels in die Gasturbinenanlage eingespritzt. Dies kann wiederum in Form der direkten Einspritzung von Dampf in das Arbeitsmittel oder indirekt nach der Durchströmung von zu kühlenden Gasturbinenbauteilen erfolgen. Der Dampf kann aber auch in Form eines Dampf-Luft-Gemisches, d. h. in Kombination mit Kühlluft über ein offenes Luftkühlsystem wiederum indirekt, d. h. nach der Durchströmung von zu kühlenden Gasturbinenbauteilen, in das Arbeitsmittel eingespritzt werden.

[0007] Man verwendet das Verfahren der Dampfeinspritzung, d. h. der Dampfeinführung, in das Arbeitsmittel der Gasturbinenanlage auch beim Cheng-Cycle. Beim Cheng-Cycle wird zur Vermeidung einer Dampfturbinenanlage erforderlichen Systeme der im Abhitzeessel erzeugte Dampf vollständig in die Gasturbinenanlage eingespritzt.

[0008] Verunreinigungen im Dampf zeichnen sich durch eine gewisse Dampflöslichkeit aus. In Bezug auf mögliche Ablagerungen ist dabei Siliziumdioxid (SiO_2) wegen der Probleme bei der Reinigung von Zusatzwasser und Kondensat sowie der Schwierigkeiten bei der messtechnischen Erfassung von besonderer Bedeutung. Stellvertretend für die Vielzahl möglicher Verunreinigungen wird daher im folgenden SiO_2 beispielhaft herangezogen.

[0009] Die hochpräzisen Bauteile einer Gasturbinenanlage, die kleinen Abmessungen der Kühlkanäle, die hohen Anforderungen an die Strömungsbedingungen und dergleichen resultieren in der Notwendigkeit, eine hohe Dampfqualität zu garantieren. Ohne diese Reinheit kommt es zu Ablagerungen innerhalb der Dampfsysteme, die Leistungsfähigkeit der Anlagen wird herabgesetzt und Revisionen mit entsprechenden Standzeiten der Anlagen werden erforderlich. Dies ist insbesondere für die offenen und halboffenen Dampfsysteme von Bedeutung, weil bei diesen Systemen der Kühldampf ständig aufs neue bereitgestellt werden muss, und somit immer neue Verunreinigungen ins System gelangen können.

[0010] Daraus ergeben sich nicht zuletzt für die zum Einsatz gelangende Dampferzeugertechnologie zahlreiche Zwänge, beispielsweise hinsichtlich der Komponentenauslegung (Dampftrocknung in Trommeln und Separatoren), der Dampftemperaturregelung durch Wassereinspritzung oder Dampfmischung, der chemischen Fahrweisen usw.

[0011] Man versucht derzeit, durch entsprechende Konzepte der Dampfbereitstellung und der Dampfreinigung eine mit grosser Zuverlässigkeit Ablagerungen vermeidende Dampfqualität sicherzustellen. So sind zahlreiche Verfahren der Dampfmischung bekannt, um die Dampftemperatur ohne Wassereinspritzung regeln zu können. Ferner werden spezielle Dampffilter, insbesondere für geschlossene Dampfsysteme, empfohlen.

[0012] Alle diese Ansätze beruhen darauf, für derartige Dampfanwendungen mit nachteilig hohem technischen und damit auch finanziellem Aufwand die Erzeu-

gung sehr reinen Wassers zu garantieren, durch Kondensatreinigungsanlagen dieses Wasser qualitativ weiter zu verbessern, eine Verunreinigung des Dampfes durch entsprechende Verfahren der Dampferzeugung und Dampfparameterregelung zu vermeiden, den Dampf durch geeignete Filter von Verunreinigungen zu befreien sowie in den betreffenden Systemen chemischen Wechselwirkungen z. B. Korrosion durch geeignete Materialwahl vorzubeugen.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0013] Der Erfindung liegt demnach die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Verhinderung der Ablagerung von Verunreinigungen in Dampfsystemen zur Verfügung zu stellen, bei welchem die Nachteile des Standes der Technik vermieden werden.

[0014] Die erfindungsgemässe Lösung der obigen Aufgabe besteht darin, bei derartigen Dampfsystemen, in welchen der darin strömende Dampf gegebener Dampfqualität Temperatur und/oder Druckänderungen unterworfen ist, durch eine entsprechende konstruktive Gestaltung und Auslegung der Dampfsysteme zu verhindern, dass infolge von Änderungen der Temperatur und/oder Druckverhältnisse innerhalb des Dampfsystems die Dampflichkeit der in bestimmten Konzentrationen im Dampf vorhandenen Verunreinigungen überschritten wird.

[0015] Der Kern der Erfindung besteht somit darin, nicht wie bisher nach dem Stand der Technik die Qualität d. h. die Reinheit des Dampfes auf einen bestimmten, sehr niedrigen und Ablagerungen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit verhindernden Wert zu bringen, sondern vielmehr unter den in der Praxis gegebenen Bedingungen für die Dampfqualität sowie entsprechend dem Löslichkeitsverhalten der Verunreinigungen zu verhindern, dass eine Abscheidung der Verunreinigungen im Dampfsystem überhaupt auftreten kann. Überraschenderweise zeigt es sich nämlich, dass die totale "Vorreinigung" des Wassers bzw. des Dampfes eigentlich gar nicht nötig ist, sondern dass es ausreichend ist, ein Erreichen von kritischen Parametern im Dampfsystem zu vermeiden, das heisst, eine Abscheidung von Verunreinigungen nach sich ziehende Parameter des Dampfes zu vermeiden.

[0016] Dies geschieht dadurch, dass die Parameter Temperatur und Druck durch eine geeignete Wahl der Auslegungsparameter und/oder durch eine entsprechende Führung des Dampfes im System, respektive durch gegebenenfalls eine entsprechende Sicherstellung der Temperatur, nie Werte annehmen, welche eine Abscheidung von Verunreinigungen ermöglichen. Mit anderen Worten geht es darum, ein übermässiges Absinken von Temperatur und/oder Druck auf einen kritisch tiefen Wert zu verhindern. Dies kann auf verschiedenste Weise geschehen, sei es dadurch, dass ein kritisches Absinken der Temperatur durch eine Erhöhung des Dampfmassenstromes, und/oder eine Verringerung

von kühlenden externen Einflüssen verhindert wird, und/oder aber auch, indem der Dampf, insbesondere in kritischen Bereichen des Dampfsystems, eine entsprechende Temperaturerhöhung erfährt. In Bezug auf den Druck kann eine Beeinflussung dadurch erfolgen, dass die Strömungsverhältnisse durch die Art und Gestaltung der Dampfführung im Dampfsystem derart ausgebildet werden, dass Druckverluste, insbesondere in kritischen Bereichen, vermieden werden.

[0017] Eine erste Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens zeichnet sich dadurch aus, dass es sich bei den Verunreinigungen um Siliziumdioxid (SiO_2) handelt.

[0018] Bei einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens wird das Verfahren bei einer Dampfkühlung oder einer Dampfeinspritzung einer Gasturbinenanlage angewendet. Dies sind zwei besonders bedeutende Anwendungen von Dampf bei Gasturbinenanlagen.

[0019] Als zusätzliche Massnahme zur Verhinderung von Ablagerungen kann ausserdem vorgesehen werden, dass Temperatur und/oder Druck des in dem Dampfsystem strömenden Dampfes derart eingestellt werden, dass im Dampfsystem die Dampflichkeit der in einer bestimmten Konzentration im Dampf vorhandenen Verunreinigungen nicht überschritten wird. Meist ist der Spielraum für die Parameter Temperatur und/oder Druck des in Dampfsystemen strömenden Dampfes ausreichend gross, um durch eine gezielte Wahl bzw. Optimierung von wenigstens einem dieser Parameter die Gefahr von Ablagerungen noch weiter zu vermindern.

[0020] Ganz besonders vorteilhaft kann das Verfahren dadurch gestaltet werden, indem beide Werte gleichzeitig überwacht werden, und das Wertepaar Druck und Temperatur des Dampfes im Dampfsystem nie einen kritischen Wert annimmt, und dass insbesondere kritische Bereiche des Dampfsystems mit signifikanten Druckabfällen vermieden werden. Insbesondere kann dies auch dadurch geschehen, dass ein Absinken des Druckes derart, dass die Dampflichkeit der in bestimmten Konzentrationen im Dampf vorhandenen Verunreinigungen überschritten würde, durch einen entsprechenden Anstieg der Temperatur kompensiert wird.

[0021] Bei Dampf-Luft-Gemischen ist zu beachten, dass für den Dampfdruck nunmehr der Partialdruck des Dampfes im Gemisch als Druckgrösse anzusetzen ist.

[0022] Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der einzige kritische Druckabfall im Dampfsystem an die Austrittsstelle des Dampfes aus der Vorrichtung zur Dampfverwendung gelegt wird. So werden höchstens in der leicht zu reinigenden Austrittsregion Ablagerungen erfolgen. Sind ausserdem an der Austrittsstelle die Strömungsgeschwindigkeiten des Dampfes hoch, so kann sich ein selbstreinigender Effekt einstellen.

[0023] Die Erfindung umfasst ausserdem ein Dampfsystem zur Durchführung eines der oben beschriebenen Verfahren.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

[0024] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

- Fig. 1 ein schematisches Löslichkeitsdiagramm für SiO_2 in Wasser und Dampf,
 Fig. 2 ein schematisches h-s-Diagramm mit Linien konstanter Dampf Löslichkeit von SiO_2 und
 Fig. 3 ein schematisches h-s-Diagramm nach Figur 2 mit dem Parameterverlauf in einem halboffenen Dampfsystem.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0025] Die Dampf Löslichkeit von Verunreinigungen ist im wesentlichen von den Parametern Druck und Temperatur abhängig. Mit steigender Temperatur und steigendem Druck steigt im allgemeinen deren Dampf Löslichkeit und umgekehrt, wobei der Druckeinfluss dominant ist. Figur 1 zeigt beispielhaft für alle Verunreinigungen ein Diagramm für die Löslichkeit von SiO_2 in Wasser bzw. Dampf in Abhängigkeit von der Temperatur bei Drücken von 1 bar, 6 bar, 19 bar und 50 bar. Es zeigt sich, dass für einen Druck von 6 bar und eine Temperatur von 400°C SiO_2 bis zu einer Konzentration von ca. 1 mg/kg (1000 ppb) in Dampf löslich ist.

[0026] Trotz dieses an sich bekannten Verhaltens wurde für die Verhinderung von Ablagerungen in Dampfsystemen bisher immer der Schluss gezogen, dass nur durch die Sicherstellung der dem ungünstigsten Fall entsprechenden Bedingungen und damit durch die niedrigste Konzentration an SiO_2 oder einer anderen Verunreinigung, eine Ablagerung derselben wirksam verhindert werden kann. So werden zur Vermeidung von SiO_2 -Ablagerungen in Dampfsystemen Konzentrationen von weniger als 0.02 mg/kg ($\text{SiO}_2 < 20$ ppb) als Richtwerte vorgegeben.

[0027] Da die Bereitstellung von derart reinem Dampf, insbesondere bei offenen und halb offenen Dampfsystemen, teuer ist, stützt sich der erfindungsgemäße Ansatz darauf, im System kritische Werte von Druck und Temperatur zu vermeiden, bei welchen es zu Ablagerungen von Verunreinigungen kommen könnte.

[0028] In Dampfsystemen von Gasturbinenanlagen (Dampfkühlung, Dampfeinspritzung etc.) herrschen typischerweise Temperaturen im Bereich von 250 bis 580°C und Drücke im Bereich von 20 bis 40 bar.

[0029] Unter einer Gasturbinenanlage wird nachfolgend eine Anlage bestehend aus mindestens einem Verdichter, mindestens einer Brennkammer und mindestens einer Gasturbine verstanden. Durch den Verdichter wird Luft angesaugt und verdichtet, dann als Verbrennungsluft einer Brennkammer zugeführt, und das dort entstehende Heißgas arbeitsleistend in einer Gasturbine entspannt. Die mindestens eine Gasturbine und der mindestens eine Verdichter befinden sich auf einer

Welle.

[0030] Durch die Vielzahl der sich aus der Kombination der Dampfsysteme, der Aufgabe des Dampfsystems, der mit Dampf durchströmten Bauteile u. dgl. bei einer Gasturbinenanlage ergebenden Möglichkeiten, kann es sich bei der Vorrichtung zur Dampfverwendung bei einer Gasturbinenanlage um die Gesamtanlage aber auch beispielsweise nur um ein Bauteil des Gehäuses oder eine Schaufelreihe handeln.

[0031] Das Problem der Verhinderung von Ablagerungen ist aber nicht nur für Dampfsysteme interessant, bei welchen sich der Dampf erwärmt, wie beispielhaft am Dampfkühlsystem von Gasturbinenanlagen erläutert, sondern auch beim Einsatz von Dampf zu Heizzwecken, bei welchen der Dampf eine Temperaturabsenkung erfährt. Unter dem Begriff des Dampfsystems werden daher allgemein Dampfkühlsysteme aber auch Dampfheizsysteme verstanden.

[0032] In der Figur 1 sind nun weiterhin verschiedene Parameteränderungen mit den resultierenden Wirkungen auf die Dampf Löslichkeit wiederum am Beispiel von Siliziumdioxid (SiO_2) dargestellt.

[0033] Zunächst ist mit dem Pfeil I ein isobarer Übergang aus einem Zustand A mit $p = 6$ bar und $T = 400^\circ\text{C}$ in einen Zustand B mit $p = 6$ bar und $T = 300^\circ\text{C}$ dargestellt. Man erkennt leicht, dass eine derartige Druckreduzierung bereits dazu führen kann, dass SiO_2 abgeschieden wird. Betrug die maximal im Dampf lösliche SiO_2 -Konzentration im Punkt A 1.0 mg/kg (1000 ppb), so ging diese auf einen Wert von 0.14 mg/kg (140 ppb) im Punkt B zurück.

[0034] Mit dem Pfeil II ist ein isothermer Übergang vom Zustand B in den Zustand C mit $p = 1$ bar und $T = 300^\circ\text{C}$ dargestellt. Man erkennt wiederum, dass eine derartige Temperaturabsenkung ebenfalls dazu führen kann, dass SiO_2 abgeschieden wird. Beträgt die maximal im Dampf lösliche SiO_2 -Konzentration im Punkt B 0.14 mg/kg (140 ppb), so geht diese auf einen Wert von 0.11 mg/kg (110 ppb) im Punkt C zurück.

[0035] Mit dem Pfeil III ist ein isobarer Übergang vom Zustand C in den Zustand D mit $p = 1$ bar und $T = 500^\circ\text{C}$ dargestellt. Man erkennt wiederum, dass eine derartige Temperaturerhöhung nun im Gegensatz zu den vorherigen Zustandsänderungen zu einer Erhöhung der Dampf Löslichkeit von SiO_2 führt. Beträgt die maximal im Dampf lösliche SiO_2 -Konzentration im Punkt C 0.11 mg/kg (110 ppb), so erhöht sich diese auf einen Wert von 0.18 mg/kg (180 ppb) im Punkt D. Eine Temperaturerhöhung ist daher geeignet, um einer Verminderung der Dampf Löslichkeit von Verunreinigungen durch Druckabfall gegenzusteuern bzw. diese zu kompensieren.

[0036] Das Löslichkeitsverhalten von Verunreinigungen ausnutzend, kann man nun Ablagerungen in Dampfsystemen dadurch vermeiden, indem

- man die Auslegungsparameter für Druck und/oder Temperatur ausreichend hoch wählt,

- dafür gesorgt wird, dass durch Druck- und/oder Temperaturabfall die Dampflosigkeit von Verunreinigungen nie erreicht bzw. überschritten wird oder
- indem die sinkende Dampflosigkeit infolge Druckabfall durch einen Temperaturanstieg teilweise oder vollständig kompensiert wird.

[0037] Bezüglich möglicher Abscheidungen von Verunreinigungen kritische Parameterkonstellationen in Dampfsystemen werden nun erfindungsgemäss dadurch vermieden, indem prozesstechnisch und strömungstechnisch dafür gesorgt wird, dass die Grenze für mögliche Abscheidungen nie erreicht bzw. überschritten wird. Dies wird dadurch erreicht, dass durch die Systemauslegung

- im Falle der Notwendigkeit der Beherrschung grösserer Druck- und/oder Temperaturabfälle die Auslegungparameter für Druck und/oder Temperatur ausreichend hoch gewählt werden,
- eine kritische Kombination von Druck- und Temperaturabfall vermieden wird,
- ein kritisches Absinken der Dampflosigkeit infolge grösserer Druckabfälle durch eine entsprechende Erwärmung des Dampfes und damit einen Temperaturanstieg kompensiert wird.

[0038] Gasturbinenanlagen kommen vielfach, in der Stromerzeugung nahezu ausnahmslos, im Zusammenhang mit Abhitzekeesseln zum Einsatz. Abhitzekeessel verfügen über bis zu drei Druckstufen und möglicherweise über eine Zwischenüberhitzung. Somit gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Parameter eines entsprechenden Dampfsystems zu beeinflussen.

[0039] Grössere Druck- und/oder Temperaturabfälle in Dampfsystemen lassen sich durch eine entsprechende Auslegung der Strömungsquerschnitte, Wahl der Dampfmassenströme u. dgl. vermeiden.

[0040] Dient der Dampf, wie am Beispiel der Gasturbinenanlage dargestellt, der Kühlung von Bauteilen, so erfährt der Dampf durch Wärmeaufnahme eine Erwärmung. Konstruktiv ist nun Sorge dafür zu tragen, dass vor und/oder in Bereichen mit signifikantem Druckabfall eine entsprechende Erwärmung des Kühldampfes erfolgt.

[0041] Figur 2 zeigt ein h-s-Diagramm mit Linien konstanter SiO₂-Löslichkeit in Dampf. Man sieht wiederum die mit sinkendem Druck und sinkender Temperatur abnehmende Dampflosigkeit. Die Linien konstanter SiO₂-Dampflosigkeit entsprechen interessanterweise in etwa der Winkelhalbierenden zwischen den Linien konstanter Druckes und den Linien konstanter Temperatur. Ausserdem ist der Grenzwert (GW) für Dampfturbinen dargestellt.

[0042] In der Figur 3 sind ergänzend zur Figur 2 die Zustandsänderungen des Dampfes innerhalb eines Dampfsystems, im vorliegenden Fall eines halboffenen Dampfkühlsystems einer Gasturbinenanlage, in Form eines h-s-Diagrammes (x-Achse: Entropie, y-Achse: Enthalpie) dargestellt. Der Kühldampf besitzt im Punkt E (Austritt aus der Vorrichtung zur Dampfbereitstellung) einen Druck von 30 bar und eine Temperatur von 360 °C. Bis zur Gasturbinenanlage oder dem zu kühlenden Bauteil (Vorrichtung zur Dampfverwendung), beispielsweise einer Schaufel, treten Druckverluste von ca. 8 bar und Temperaturverluste von ca. 5 K auf. Der Dampf hat daher im Punkt F (Eintritt in die Vorrichtung zur Dampfverwendung) einen Druck von ca. 22 bar und eine Temperatur von 355 °C. Mit diesem Druckverlust geht eine starke Abnahme der Dampflosigkeit einher. Bei der Durchströmung des zu kühlenden Bauteils (Vorrichtung zur Dampfverwendung) treten weitere Druckverluste in der Grössenordnung von 4 bar auf. Allerdings erwärmt sich der Dampf um ca. 200 K. Der Dampf hat damit am Austritt des zu kühlenden Bauteils im Punkt G (Austritt aus der Vorrichtung zur Dampfverwendung) einen Druck von 18 bar und eine Temperatur von 560 °C. Mit diesen Parametern wird der Dampf nun einer Vorrichtung zur Dampfentnahme zugeführt. Infolge des Temperaturanstieges kommt es zu einer deutlichen Zunahme der Dampflosigkeit von SiO₂ innerhalb der Vorrichtung zur Dampfverwendung. Für den dargestellten Prozess wäre zur Verhinderung von SiO₂-Ablagerungen die Einhaltung eines Grenzwertes für die SiO₂-Konzentration von 3000 ppb (3 mg/kg) ausreichend. Man erkennt ferner, dass der für Ablagerungen kritische Bereich der Eintrittsbereich des Dampfes in das zu kühlende Bauteil (Vorrichtung zur Dampfverwendung) ist. Der üblicherweise für Dampfsysteme verwendete und für Dampfturbinenanlagen spezifizierte Grenzwert GW beträgt jedoch lediglich 20 ppb.

[0043] Etwas andere Verhältnisse ergeben sich bei Dampf-Luft-Gemischen. Für den Dampfdruck ist jetzt der von der Dampfkonzentration abhängige Partialdruck des Dampfes in Ansatz zu bringen. Damit liegen insbesondere bei geringen Dampfkonzentrationen geringe Partialdrücke des Dampfes vor, was wiederum zu sehr geringen Dampflosigkeiten der jeweiligen Verunreinigung führen kann. Abhilfe kann hier die Einhaltung einer Mindestdampfkonzentration bringen.

[0044] Unter den genannten Bedingungen ist es vorteilhaft, einen signifikanten Druckabfall im Dampfsystem an der Stelle des Austrittes des Dampfes aus dem zu kühlenden Bauteil bzw. der Vorrichtung zur Dampfverwendung vorzusehen und dabei eine möglichst hohe Austrittsgeschwindigkeit des Dampfes zu realisieren. Dadurch würde sich die Ablagerung von Verunreinigungen, beispielsweise infolge aussergewöhnlicher Betriebsbedingungen, zunächst auf leicht zugängliche Stellen und damit leicht zu reinigende Stellen konzentrieren. Durch den sich mit wachsender Dampfgeschwindigkeit ausbildenden Selbstreinigungseffekt

kann die Ablagerung von Verunreinigungen begrenzt im besten Fall verhindert werden.

mischen der Partialdruck des Dampfes im Gemisch als Druckgrösse zu berücksichtigen ist.

Patentansprüche

- 5

1. Verfahren zur Verhinderung der Ablagerung von Verunreinigungen in Dampfsystemen, in welchen der darin strömende Dampf gegebener Dampfqualität Temperatur- und/oder Druckänderungen unterworfen ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
 durch entsprechende konstruktive Gestaltung und Auslegung der Dampfsysteme verhindert wird, dass infolge von Änderungen der Temperatur- und/oder Druckverhältnisse innerhalb des Dampfsystems die Dampflöslichkeit der in bestimmten Konzentrationen im Dampf vorhandenen Verunreinigungen überschritten wird.
- 10

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei den Verunreinigungen um Siliziumdioxid (SiO₂) handelt.
- 15

3. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich beim Dampfsystem um eine Dampfkühlung oder eine Dampfeinspritzung einer Gasturbinenanlage handelt.
- 20

4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich über die Einstellung von Temperatur und/oder Druck des in dem Dampfsystem strömenden Dampfes verhindert wird, dass im Dampfsystem die Dampf Löslichkeit der in bestimmten Konzentrationen im Dampf vorhandenen Verunreinigungen überschritten wird.
- 25

5. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die konstruktive Gestaltung und Auslegung der Dampfsysteme derart wirkt, dass das Wertepaar Druck und Temperatur des Dampfes im Dampfsystem nie einen Wert annimmt, bei welchem die Dampf Löslichkeit der in bestimmten Konzentrationen im Dampf vorhandenen Verunreinigungen überschritten wird, und dass insbesondere kritische Bereiche mit signifikanten Druckabfällen ohne gleichzeitige äquivalente Temperaturerhöhung des Dampf vermieden werden.
- 30

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Absinken des Druckes derart, dass die Dampf Löslichkeit der in bestimmten Konzentrationen im Dampf vorhandenen Verunreinigungen überschritten würde, durch einen entsprechenden Anstieg der Temperatur kompensiert wird.
- 35

7. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Dampf-Luft-Gemischen der Partialdruck des Dampfes im Gemisch als Druckgrösse zu berücksichtigen ist.
- 40

8. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der einzige kritische Druckabfall im Dampfsystem an die Stelle des Austrittes des Dampfes aus der Vorrichtung zur Dampfverwendung gelegt wird.
- 45

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der Austrittsstelle des Dampfes aus der Vorrichtung zur Dampfverwendung die Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes so hoch ist, dass sich ein selbstreinigender Effekt an der Austrittsstelle einstellt.
- 50

10. Dampfsystem zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9.
- 55

7. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Dampf-Luft-Gemischen der Partialdruck des Dampfes im Gemisch als Druckgrösse zu berücksichtigen ist.

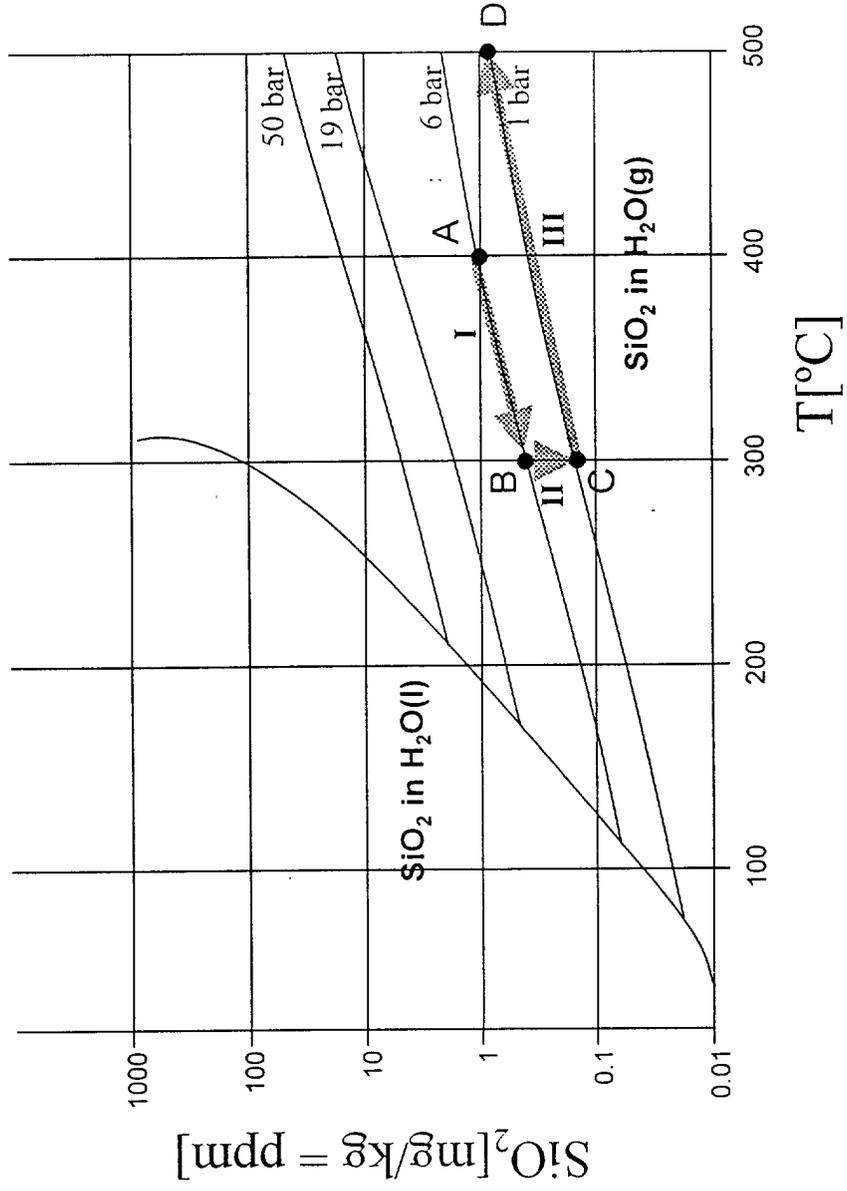


Fig. 1

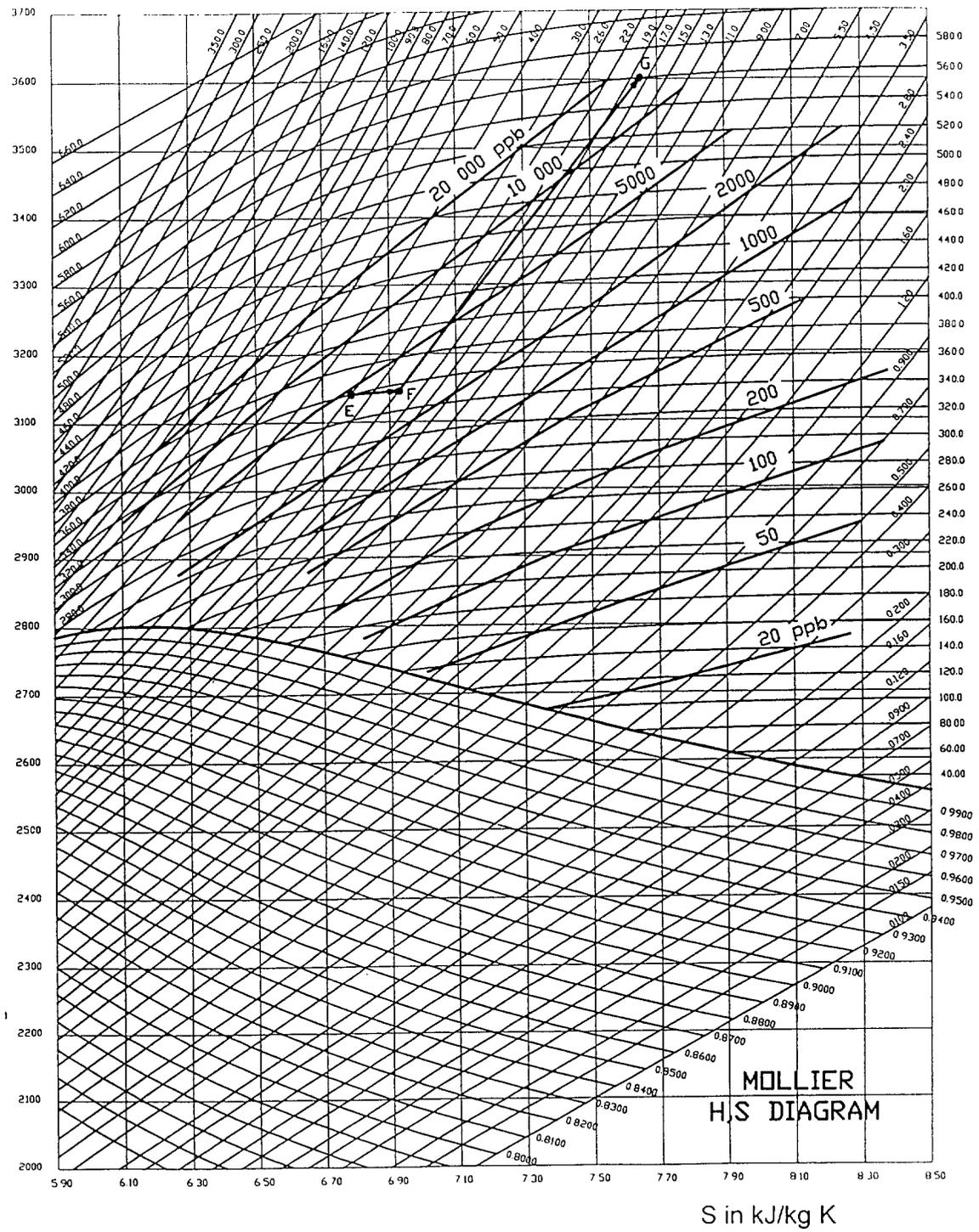


Fig. 3