



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 853 214 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
15.07.1998 Patentblatt 1998/29

(51) Int. Cl.⁶: **F22G 1/00**

(21) Anmeldenummer: 97122697.2

(22) Anmeldetag: 22.12.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE**

Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **10.01.1997 DE 19700652**

(71) Anmelder:
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **Meseth, Johann, Dr.**
64807 Dieburg (DE)

(30) Priorität: 10.01.1997 DE 19700652

(54) Verfahren und Einrichtung zum Überhitzen von Dampf

(57) Die Erfindung betrifft eine Einrichtung sowie ein Verfahren zum Überhitzen von Dampf (v) und insbesondere zum Überführen von Sattdampf in Heißdampf auf dem Gebiet der nuklearen Energieerzeugung. Durch eine zumindest teilweise Umwandlung der Druckenergie des Dampfes (v) in kinetische Energie, insbesondere in kinetische Energie einer Rotationsströmung, kühlte sich der Dampf (v) ab und es wird Kondensat (c) und Restdampf erzeugt. Nach der Trennung des Kondensates (c) von dem Restdampf wird dieser durch eine Verringerung seiner kinetischen Energie überhitzt und in Heißdampf umgewandelt.

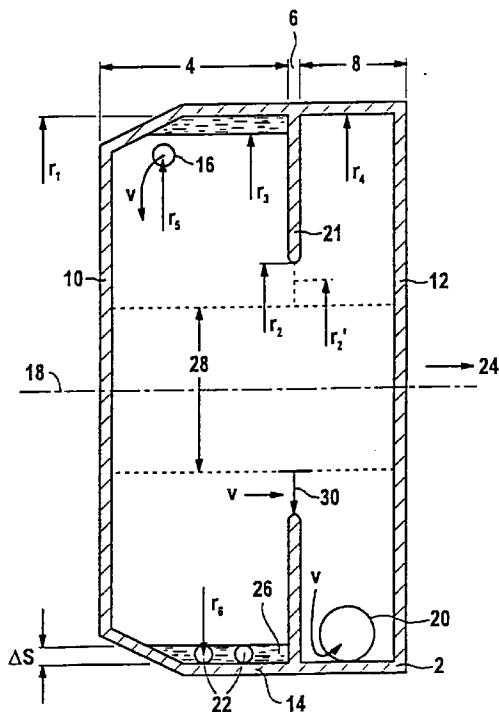


FIG 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zum Überhitzen von Dampf, wie sie beispielsweise im Bereich der Energieerzeugung eingesetzt werden kann, um den in einem Kraftwerk erzeugten Satt dampf in Heißdampf zu überführen.

Zur Energieerzeugung werden als Kraftwerke unter anderem Leichtwasser-Kernreaktoren eingesetzt, zu denen die Siedewasser- und Druckwasserreaktoren zählen. Durch die Wärmeentwicklung im Reaktorkern wird bei den Siedewasserreaktoren im Reaktordruckbehälter und bei den Druckwasserreaktoren in den Dampferzeugern Naßdampf erzeugt. Um den Nässegehalt des zunächst vorhandenen Naßdampfes zu reduzieren, sind daher im Reaktordruckbehälter bzw. im Dampferzeuger Dampftrockner angeordnet. Der im Reaktordruckbehälter erzeugte Satt dampf weist etwa einen Druck von 70 bar und eine Temperatur von 286 °C auf und wird einer Turbine zugeführt, die einen Generator zur Erzeugung von elektrischer Energie antreibt. Da in der Turbine bei der Entspannung des Druckes nennenswerte Mengen des Dampfes kondensieren, wird in der Regel nach der Hochdruckturbine ein Zwischenüberhitzer angeordnet, in dem das entstandene Kondensat abgeschieden und der restliche Dampf geringfügig erwärmt wird. Dieser Prozeßschritt kann vermieden werden, wenn von vornherein überhitzter Dampf zur Verfügung steht.

Aus der DE 38 36 461 A1 ist ein Niedertemperatur-Dampferzeuger bekannt, der ein stehendes zylindrisches Gehäuse aufweist, das durch eine horizontale Trennwand in eine obere und in eine untere Kammer unterteilt ist. In die obere Kammer strömt unter Ausbildung einer Rotationsströmung eine heiße, gegebenenfalls dampfhaltige Flüssigkeit, ein. Diese strömt durch eine Öffnung in der Trennwand in die untere Kammer und wird dabei beschleunigt. Infolge der Beschleunigung sinkt der Druck in der Flüssigkeit ab und es wird Dampf erzeugt, der senkrecht nach oben aus der oberen Kammer abgeführt wird. Die Flüssigkeit verläßt die Kammer aus der unteren Kammer. Der erzeugte Dampf liegt jedoch nicht als Heißdampf vor.

Aus der DE-PS 151 464 ist eine Vorrichtung zum Umwandeln gesättigten Dampfes in überhitzten Dampf bekannt. Bei dieser Vorrichtung wird Dampf mit Hilfe einer in einem Gehäuse angeordneten Schraube in eine Rotationsströmung versetzt. Dabei wird Kondensat erzeugt, das auf den Schraubengewinden infolge der Schwerkraft nach unten abfließt. Die Schraube weist im Inneren einen Hohlzylinder auf, in den der Dampf durch Schlitze eintreten kann. Der Dampf strömt in dem Hohlzylinder senkrecht nach oben und verläßt über einen Schieber die Vorrichtung als überhitzter Dampf.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren sowie eine Einrichtung zum Überhitzen von Dampf anzugeben.

Die erstgenannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Überhitzen von Dampf, bei dem

- a) die Druckenergie des Dampfes zumindest teilweise in eine Rotationsströmung um eine Rotationsachse und in eine der Rotationsströmung überlagerte axiale Strömung in Richtung der Rotationsachse umgewandelt wird,
- b) die Rotationsgeschwindigkeit des Dampfes in Richtung der Rotationsachse durch eine Verkleinerung des Strömungsquerschnitts erhöht wird, wobei Kondensat und Restdampf erzeugt wird,
- c) das Kondensat vor der Verkleinerung des Strömungsquerschnitts von dem Restdampf getrennt und anschließend im wesentlichen radial nach außen abgeführt wird,
- d) der Restdampf in Richtung der Rotationsachse weitergeleitet, seine Rotationsgeschwindigkeit erniedrigt und der Restdampf dabei überhitzt und in Heißdampf umgewandelt wird.

Der Vorteil dieses Verfahrens ist darin zu sehen, daß der Effekt, nämlich das Überhitzen von Dampf, aufgrund physikalischer Zustandsänderungen des Dampfes ohne externe Energiequellen erreicht wird. Bei der Umwandlung der Druckenergie des Dampfes in kinetische Energie der Rotationsströmung expandiert der Dampf, wodurch sowohl der Druck als auch die Temperatur des Dampfes absinkt. Aufgrund der dann vorliegenden niedrigeren Temperatur kondensiert unter Abgabe der Kondensationswärme Flüssigkeit aus dem Dampf aus und bildet das Kondensat.

Das Kondensat wird von dem Restdampf, also dem Anteil des Dampfes der nicht auskondensiert ist, in Folge der Rotationsströmung abzentrifugiert, also abgetrennt, und anschließend radial nach außen abgeführt. Die Restfeuchte des Restdampfes, d.h. der Anteil der Flüssigkeit in diesem Rest- oder Naßdampf, ist dabei um so geringer, je höher die Rotationsgeschwindigkeit der Rotationsströmung ist. Eine Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit wird auf einfache Weise durch eine Verringerung des Strömungsquerschnitts erreicht. Als Strömungsquerschnitt wird die senkrecht zur Rotationsachse ausgerichtete Fläche bezeichnet. Nach Abtrennung des Kondensats wird die kinetische Energie des Restdampfes durch eine Verringerung seiner Geschwindigkeit wieder in Druckenergie umgewandelt. Dies wird bevorzugt durch eine Vergrößerung des Strömungsquerschnitts erreicht. Dabei steigen Temperatur und Druck des Restdampfes wieder an. Da der Restdampf die zuvor aufgenommene Kondensationswärme nun nicht mehr an das mittlerweile abgetrennte Kondensat abtreten kann, ist der Restdampf überhitzt, d.h. er liegt als Heißdampf vor. Im wesentlichen ist die Temperatur des erzeugten Heißdampfes um so höher, je vollständiger die Umwandlung von Druckenergie in kinetische Energie und je kleiner die Restfeuchte des Restdampfes ist, bevor seine Geschwindigkeit zur

Umwandlung in Druckenergie wieder reduziert wird.

Die Druckenergie des Dampfes läßt sich in einfacher Weise in kinetische Energie der Rotationsströmung umwandeln. Der Rotationsströmung ist eine axiale Strömung in Richtung der Rotationsachse überlagert. Die resultierende Strömung kann also als eine schraubenförmige Strömung des Dampfes aufgefaßt werden, die sich aus einer axialen Strömung und einer Rotationsströmung zusammensetzt. Eine Rotationsströmung bietet den Vorteil, daß bei ihr die Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes leicht variiert werden kann, und somit die Umwandlung von Druck- in kinetische Energie leicht und ohne nennenswerte Wirkungsgradverluste durchzuführen ist. Dies erfolgt unter Ausnutzung des physikalischen Grundprinzips der Drehimpulserhaltung: Je mehr sich der Dampf der Rotationsachse nähert, um so höher wird dessen Umfangsgeschwindigkeit, um so mehr Druck wird in kinetische Energie umgewandelt. Umgekehrt kann kinetische Energie wieder in Druck zurückverwandelt werden, indem der Dampf weiter von der Rotationsachse weggeführt wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens tritt der Dampf zur Ausbildung der Rotationsströmung in eine Kammer ein, und zwar tangential zu deren Mantel und annähernd senkrecht zur Rotationsachse der Rotationsströmung. Der Dampf durchströmt die Kammer dabei in Richtung dieser Rotationsachse, d.h. in axialer Strömungsrichtung.

Durch den tangentialen Eintritt des Dampfes in eine Kammer, die vorzugsweise rotationssymmetrisch ist, wird der Aufbau einer Rotationsströmung und die Umwandlung der Druck- in kinetische Energie unterstützt.

Bevorzugt wird das Kondensat vom Mantel der Kammer abgeführt und gegebenenfalls zuvor am Mantel gesammelt. Infolge der Rotationsströmung bildet sich am Mantel der Kammer eine zylinderförmige Wasserschicht aus. Es ist daher vorteilhaft, das Kondensat direkt vom Mantel der Kammer abzuführen. Das Kondensat kann gegebenenfalls vor dem Abführen gesammelt werden, so daß die Dicke der Wasserschicht zunimmt. Mit zunehmender Dicke erhöht sich der Druck im abgeschiedenen Kondensat. Es besteht daher die Möglichkeit, das Kondensat gegen einen äußeren Druck zu fördern.

Bevorzugt wird in einer Kernkraftanlage mit einem Verfahren gemäß der Erfindung Sattdampf in Heißdampf überführt, wobei der Sattdampf in einem Reaktordruckbehälter einer Siedewasser-Reaktoranlage erzeugt wird.

Die zweitgenannte Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Einrichtung zum Überhitzen von Dampf, mit einer Kammer,

- a) die sich in Richtung einer Rotationsachse erstreckt,
- b) die einen Eintrittsbereich zur zumindest teilweisen Umwandlung der Druckenergie des Dampfes in kinetische Energie des Dampfes sowie zur Trennung eines dabei auskondensierten Kondensat vom verbliebenen Restdampf aufweist,
- c) die einen Übergangsbereich zum Erhöhen der kinetischen Energie aufweist, der sich an den Eintrittsbereich anschließt und dessen Querschnittsfläche kleiner ist als die des Eintrittsbereichs
- d) die einen dem Übergangsbereich nachfolgenden Austrittsbereich zum Verringern der kinetischen Energie des Restdampfes und zur Umwandlung des Restdampfes in Heißdampf aufweist,
- e) bei der Austrittsbereich einen ersten Auslaß für den Heißdampf und der Eintrittsbereich einen zweiten Auslaß für das Kondensat aufweist, welcher radial von der Rotationsachse beabstandet ist.

Die Kammer ist bevorzugt einfach aufgebaut und weitgehend frei von Innenbauten. Der einfache Aufbau gewährleistet eine sichere und verlässlich Betriebsführung.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die Kammer um eine Rotationsachse im wesentlichen rotationssymmetrisch. Im Eintrittsbereich ist ein Einlaß derart angeordnet, daß sich im Eintrittsbereich eine Rotationsströmung ausbildet. Infolge der Rotationsströmung wird das Kondensat abzentrifugiert und damit die Restfeuchte im Restdampf verringert. Im Betrieb durchströmt der Dampf die Kammer in Richtung der Rotationsachse, die bevorzugt im wesentlichen waagrecht ausgerichtet ist.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist zum Aufbau der Rotationsströmung der Einlaß tangential zum Mantel der Kammer und im wesentlichen senkrecht zur Rotationsachse angeordnet.

Insbesondere ist es für die Umwandlung der Druck- in kinetische Energie von Vorteil, den Einlaß als Düse auszubilden.

Um die kinetische Energie des Restdampfes weitestgehend wieder in Druckenergie umzuwandeln und somit die Temperatur möglichst stark zu erhöhen, ist vorteilhafterweise der erste Auslaß tangential und im wesentlichen senkrecht zur Rotationsachse und in Richtung der tangentialen Strömungskomponente der Rotationsströmung am Mantel der Kammer in Richtung der Rotationsströmung angeordnet. Dadurch strömt die tangentiale, d.h. die rotierende Strömungskomponente des Restdampfes direkt in den ersten Auslaß hinein. Dabei verliert die Rotationsströmung ihre kinetische Energie, wodurch Druck und Temperatur des Restdampfes wieder erhöht und Heißdampf gebildet wird.

Vorteilhafterweise ist der zweite Auslaß ebenfalls tangential zum Mantel der Kammer und im wesentlichen senkrecht zur Rotationsachse angeordnet.

Besonders vorteilhaft ist es, den zweiten Auslaß im wesentlichen in Richtung der Rotationsströmung, d.h. in Rich-

tung der tangentialen Strömungskomponente, anzuordnen. Dadurch wird erreicht, daß das abzentrifugierte und rotierende Kondensat direkt in den zweiten Auslaß hineinströmen kann, so daß die kinetische Energie dieses Kondensatstromes weitestgehend in Staudruck umgewandelt wird. Dadurch kann das Kondensat auch gegen einen äußeren Druck aus dem Einlaßbereich ausströmen.

5 Vorteilhafterweise ist der zweite Auslaß dabei weiter von der Rotationsachse beabstandet als der Einlaß.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist im zweiten Auslaß eine Rückschlagarmatur, beispielsweise ein Rückschlagventil oder eine Rückschlagklappe angeordnet. Durch diese Rückschlagarmatur wird gewährleistet, daß das abzentrifugierte Kondensat aus der Einrichtung automatisch beispielsweise einem Reaktordruckbehälter wieder zugeführt werden kann. Durch die Rückschlagklappe ist sichergestellt, daß die in einem Reaktordruckbehälter einer 10 Siedewasser-Reaktoranlage unter einem Druck von 70 bar stehende Kühlflüssigkeit nicht in die Einrichtung zurückströmen kann. Bei geschlossener Rückschlagklappe baut sich dann im Eintrittsbereich mit zunehmender Kondensatmenge ein Druck auf, der im wesentlichen von der Dicke der sich am Rand des Eintrittsbereiches ausbildenden Kondensatschicht abhängt. Übersteigt dieser Innendruck den Druck im Reaktordruckbehälter, so öffnet die Rückschlagklappe und das Kondensat kann in den Reaktordruckbehälter abströmen. Die Rückschlagklappe schließt automatisch, sobald der 15 Innendruck infolge der Abnahme der Dicke der Kondensatschicht wieder geringer als der im Reaktordruckbehälter bestehende Druck ist.

Eine solche Einrichtung ist vor allem zur Verwendung in einem Kernkraftwerk geeignet, insbesondere in einem Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor, um den im Reaktordruckbehälter erzeugten Satt dampf in Heißdampf und in Kondensat umzuwandeln.

20 Die Erfindung wird im folgenden anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

FIG 1 eine Einrichtung zum Überhitzen von Dampf gemäß der Erfindung in einem schematischen Schnitt entlang der Rotationsachse.

25 FIG 2 eine alternative Ausführungsform der Einrichtung ebenfalls in einem schematischen Schnitt entlang der Rotationsachse.

30 FIG 3 einen Ausschnitt aus dem Dampf-Wasser-Kreislauf eines Siedewasserreaktors in einem schematischen Schaubild.

FIG 4 ein Mollier-Diagramm, in dem die physikalischen Vorgänge des Verfahrens gemäß der Erfindung skizziert sind.

35 Gemäß der Figur 1 weist die Einrichtung zum Überhitzen von Dampf v eine Kammer 2 auf. Die Kammer 2 umfaßt einen Eintrittsbereich 4, einen Übergangsbereich 6 und einen Austrittsbereich 8. Um den Aufbau einer Rotationsströmung in der Kammer 2 zu unterstützen, ist diese vorteilhafterweise gerundet, d.h. sie weist weitestgehend keine Ecken und scharfe Kanten auf, um unnötige Strömungswiderstände für die Rotationsströmung beispielsweise durch Wirbelbildung zu vermeiden. Insbesondere ist die Kammer 2 rotationssymmetrisch um eine Rotationsachse, beispielsweise ist 40 sie zylinderförmig. Statt eines kreisrunden Querschnittes einer zylinderförmigen Kammer 2 ist auch ein ellipsenförmiger Querschnitt der Kammer 2 möglich.

45 Die Kammer 2 wird auf der Seite des Eintrittsbereiches 4 von einer ersten Stirnseite 10 und auf der Seite des Austrittsbereiches 8 von einer zweiten Stirnseite 12, sowie von einem Mantel 14, der den Eintrittsbereich 4, Übergangsbereich 6 und den Austrittsbereich 8 umfaßt, begrenzt. Im Eintrittsbereich 4 ist ein Einlaß 16 angeordnet, durch den ein Fluid, insbesondere Dampf v mit überwiegend tangentialer Strömungsrichtung in die Kammer 2 eintritt. Die Kammer 2 ist entlang ihrer Rotationsachse 9 von dem Dampf v in Richtung zum Austrittsbereich 8 durchströmbar. Im Austrittsbereich 8 ist ein erster Auslaß 20 angeordnet, durch den der Dampf v, der im Austrittsbereich 8 als Heißdampf vorliegt, wieder aus der Kammer 2 austreten kann.

50 Die Kammer 2 weist im Übergangsbereich 6, der zwischen dem Eintrittsbereich 4 und dem Austrittsbereich 8 angeordnet ist, eine Querschnittsverengung auf. Gemäß Figur 1 wird die Querschnittsverengung durch eine ringförmige Lochblende 21 gebildet, die senkrecht zum und am Mantel 14 angeordnet ist und in der Umgebung zur Rotationsachse 9 eine Öffnung zum Durchströmen des Dampfes v freigibt. Aufgrund dieser Barriere verringert sich entlang der Rotationsachse 9 die von dem Dampf v durchströmmbare Querschnittsfläche im Übergangsbereich 6. In anderen Worten: Der Radius r1 des Eintrittsbereiches 4 reduziert sich auf den Radius r2 des Übergangsbereiches 6. Anschließend weitet 55 sich die Kammer 2 im Austrittsbereich 8 auf einen Radius r4. Im Eintrittsbereich 4 ist zusätzlich zu dem Einlaß 16 ein zweiter Auslaß 22 angeordnet. Der Einlaß 16 ist dabei näher zur Rotationsachse 9 hin angeordnet als der zweite Auslaß 22. Der Abstand r5 zwischen der Rotationsachse 9 und dem Einlaß 16 ist somit kleiner als der Abstand r6 zwischen der Rotationsachse 9 und dem zweiten Auslaß 22.

Der Einlaß 16 ist im Eintrittsbereich 4 in der Nähe der ersten Stirnseite 10 angeordnet. Um den Aufbau einer Rotationsströmung des Dampfes v in der Kammer 2 zu unterstützen, ist der Einlaß 16 vorteilhaftweise tangential zum Mantel 14 der Kammer 2 angeordnet. In anderen Worten: Der Einlaß 16 ist so angeordnet, daß der eintretende Dampf v entlang des Mantels 14, und zwar im wesentlichen senkrecht zur Rotationsachse 9 unter Ausbildung einer Rotations- oder Drallströmung in die Kammer 2 beispielsweise kreisförmig einströmt. Der Rotations- oder Umlaufströmung des Dampfes v ist eine axiale Strömungskomponente entlang der Rotationsachse 9 hin zu dem Austrittsbereich 8 überlagert. Die Strömung weist daher neben dem rotierenden Anteil, der Rotationsströmung, auch einen Anteil mit einer axialen Strömungsrichtung 24 auf, die im wesentlichen entlang der Rotationsachse 9 vom Eintrittsbereich 4 in den Austrittsbereich 8 verläuft. Die Rotationsachse 9 der Kammer 2 ist dabei weitgehend identisch mit der Rotationsachse 9 der Rotationsströmung des Dampfes v. Um den Aufbau der Rotationsströmung zu erleichtern, ist die erste Stirnseite 10 zum Mantel 14 hin abgeschrägt oder abgerundet.

Der zweite Auslaß 22 dient der Abführung von abzentrifugiertem Kondensat c. Er ist bevorzugt direkt am Mantel 14 im Eintrittsbereich 4 angeordnet. Es ist besonders vorteilhaft, diesen zweiten Auslaß 22 ebenfalls tangential zum Mantel 14 anzuhören und zwar derart, daß der zweite Auslaß 22 in Richtung der tangentialen Strömungskomponente, d.h. in Richtung der Rotationsströmung, angeordnet ist. In anderen Worten: Das abzentrifugierte Kondensat c, welches die selbe Drehrichtung wie der rotierende Dampf v aufweist, strömt auf eine Öffnung des zweiten Auslasses 22 zu, so daß die kinetische Energie der Strömung weitgehend in Druck und zwar in Form eines Staudruckes umgewandelt wird. Hierzu kann der zweite Auslaß 22 beispielsweise als Rohr in die Kammer 2 hineinreichen. Der erste Auslaß 20 dient der Abführung des erzeugten Heißdampfes. Er ist bevorzugt ebenfalls tangential am Mantel 14 der Kammer 2 und ebenso wie der zweite Auslaß 22 in Richtung der Rotationsströmung angeordnet. Die Form des ersten sowie des zweiten Auslasses 22 ist weitgehend frei wählbar. Die beiden Auslässe können beispielsweise kreisförmige, ovale, rechteckige oder auch spaltförmige Auslaßöffnungen aufweisen. Um die tangentiale Anordnung zu erreichen, können die beiden Auslässe beispielsweise von einem oder mehreren in die Kammer 2 hineinreichenden Rohren gebildet werden. Anzahl und Ausgestaltung der beiden Auslässe 20, 22 können sich unterscheiden.

Die Funktionsweise dieser Einrichtung zum Überhitzen von Dampf ist folgende: Der beispielsweise in einem Druckbehälter unter Druck stehende Dampf v tritt durch den Einlaß 16 in den Eintrittsbereich 4 unter Ausbildung einer Rotationsströmung ein. Bei dieser Expansion wird die Druckenergie des Dampfes v zumindest teilweise in kinetische Energie umgewandelt. Um einen möglichst hohen Anteil der Druckenergie in kinetische Energie umzuwandeln, ist der Einlaß 16 vorteilhaftweise als einfache Düse ausgebildet, so daß sich bei Vorliegen geeigneter Druckverhältnisse bereits am Einlaß 16 eine Rotationsströmung mit nahezu Schallgeschwindigkeit ausbildet. Möglich wäre auch eine Ausbildung als Lavaldüse, bei der der eintretende Dampf v (bei Vorliegen dafür geeigneter Druckverhältnisse) bereits Überschallgeschwindigkeit besitzt. Infolge der Expansion des Dampfes v nimmt sowohl sein Druck als auch seine Temperatur ab. Dadurch kondensiert Flüssigkeit aus dem Dampf v aus. Die dabei entstehende Kondensationswärme wird vom Dampf v aufgenommen. Die auskondensierte Flüssigkeit wird infolge der Rotationsgeschwindigkeit abzentrifugiert und sammelt sich am Mantel 14 als Kondensat c an.

Durch den einströmenden Dampf v entsteht zwischen dem Eintrittsbereich 4 und dem Austrittsbereich 8 ein Druckgefälle, infolge dessen sich die axiale Strömungsrichtung 24 ausbildet, so daß der Dampf v vom Eintrittsbereich 4 in den Austrittsbereich 8 strömt. Der Übergangsbereich 6 stellt hierbei für den Dampf v eine zu überwindende Barriere dar. Durch die Verengung des Strömungsquerschnittes erhöht sich aufgrund des Drehimpulserhaltungssatzes die Rotationsgeschwindigkeit der Rotationsströmung, und zwar näherungsweise linear zur Verringerung des Radius der rotierenden Strömung im Eintrittsbereich (entspricht r_5) auf einen Radius r_2' , den die Rotationsströmung im Mittel im Übergangsbereich 6 aufweist (die Rotationsströmung weist in radialer Richtung eine Ausdehnung auf). Bei einer Halbierung des Radius der rotierenden Strömung im Übergangsbereich 6 verdoppelt sich daher die Geschwindigkeit der Strömung. Hierbei wird der Druck und die Temperatur des Dampfes v weiter verringert und es sammelt sich noch mehr Kondensat c am Mantel 14 an. Das Kondensat c bleibt aufgrund der durch den Übergangsbereich 6 gebildeten Barriere im Eintrittsbereich 4 und der nicht auskondensierte Dampf v, der Restdampf, strömt mit einer geringen Feuchte, d.h. mit einem geringen Anteil von Flüssigkeit behaftet in den Austrittsbereich 8.

Infolge der Vergrößerung der Querschnittsfläche der Kammer 2 auf den Radius r_4 im Austrittsbereich 8 wird die kinetische Energie der Rotationsströmung wieder überwiegend in Druckenergie umgewandelt. Durch die spezielle oben beschriebene Anordnung des ersten Auslasses 20 kann die Geschwindigkeit w des Dampfes v nahezu vollständig wieder in Druckenergie umgewandelt werden. Im Austrittsbereich 8 läuft demnach der entgegengesetzte Prozeß zum Eintrittsbereich 4 ab: Nachdem im Eintrittsbereich 4 die Druckenergie in kinetische Energie des Dampfes umgewandelt wurde, wird nun die kinetische Energie wieder in Druckenergie umgewandelt. Dabei steigen im Austrittsbereich 8 die Temperatur und der Druck des Dampfes v wieder an. Da der Dampf v im Eintrittsbereich 4 infolge der Kondensation Kondensationswärme aufnehmen konnte, liegt nun im Austrittsbereich 8 eine wesentlich höhere Temperatur vor, so daß der ursprünglich als Sattdampf einströmende Dampf v die Einrichtung zum Überhitzen von Dampf v als überhitzter Dampf v oder Heißdampf verläßt.

Das Kondensat c wird über den zweiten Auslaß 22 aus der Kammer 2 herausgeführt. Um das Kondensat c bei-

spielsweise wieder gegen den im Druckbehälter herrschenden Druck in diesen hineinzufördern kann der zweite Auslaß 22 zunächst verschlossen sein, um im Kondensat c einen Druck aufzubauen. Bei verschlossenem zweiten Auslaß 22 bildet sich in der Kammer 2 eine rotierende Kondensatschicht 26 mit der Dicke Δs aus. Die rotierende Kondensatschicht weist einen Radius r_3 auf. Aufgrund der Zentrifugalkräfte infolge der Rotationsströmung bildet sich allgemein bei einem 5 Radius r ein statischer Druck aus. Ein zu diesem statischen Druck zusätzlicher Druckaufbau Δp in der Kondensatschicht 26 wird im wesentlichen bestimmt von dem Produkt aus der Dichte ρ des Kondensats c, der Zentrifugalbeschleunigung b und der Dicke Δs der Kondensatschicht 26 gemäß folgender Gleichung:

$$10 \quad \Delta p = \rho * b * \Delta s = \rho * \frac{w^2}{r} * \Delta s$$

w ist hierbei die Rotationsgeschwindigkeit und r ist der Radius des rotierenden Kondensats c. Bei ausreichendem Druck, d.h. bei ausreichender Dicke Δs der Kondensatschicht 26, kann das Kondensat c dann aus der Kammer 2 in den 15 Druckbehälter gefördert werden.

Aufgrund der Rotationsströmung bildet sich in der Kammer in radialer Richtung, d.h. von der Rotationsachse 9 zum Mantel 14 hin, ein Druckanstieg aus. Insbesondere liegt in einem Zentralbereich 28 um die Rotationsachse 9 ein Unterdruck vor, so daß im Übergangsbereich 6 der Dampf v fast vollständig durch einen äußeren Bereich 30 in den Austrittsbereich 8 übertritt.

20 Gemäß Figur 2 weist die Kammer 2 als Übergangsbereich 6 eine Art Einschnürung auf. Die Querschnittsverengung der Kammer 2 im Übergangsbereich 6 wird also dadurch erreicht, daß die Kammer 2 nach innen gewölbt ist. Vom Übergangsbereich 6 aus weitet sich die Kammer 2 sowohl zum Eintrittsbereich 4 als auch zum Austrittsbereich 8 stetig auf, d.h. zwischen den einzelnen Bereichen treten keine abrupten Übergänge auf, um eine möglichst reibungs- und wibrifreie Strömung zu ermöglichen. Um einen hohen Anteil der kinetischen Energie wieder in Druckenergie umzuwandeln, ist der Radius r_4 des Austrittsbereiches 8 größer als der Radius r_1 des Eintrittsbereiches 4. Der zweite Auslaß 22 ist gemäß Figur 2 ovalförmig ausgebildet.

25 Die Einschnürung der Kammer 2 zur Querschnittsverengung und damit zur Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit ist besonders vorteilhaft. Abweichend hiervon ist es aber auch möglich, die Einschnürung nur als eine Barriere für das Kondensat c aufzufassen, damit das abzentrifugierte Kondensat c nicht in den Austrittsbereich 8 übertritt. Diesem Zweck dient auch eine Art Kondensatrinne oder Kondensatmulde im Eintrittsbereich 4.

30 Die Querschnittsänderung der Kammer 2 in Richtung der axialen Strömung zur Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit zur Umwandlung der kinetischen Energie in Druckenergie und umgekehrt ist ebenfalls besonders vorteilhaft. Die Umwandlung der kinetischen Energie in Druckenergie im Austrittsbereich 8 kann anstatt durch eine Vergrößerung der Querschnittsfläche aber auch durch die geeignete tangentiale Anordnung des ersten Auslasses 20 35 in Richtung der Rotationsströmung erreicht werden.

35 Entsprechend Figur 3 ist die Kammer 2 der Einrichtung zum Überhitzen von Dampf an den Dampfaustrittsstutzen 32 eines Reaktordruckbehälters 34 eines Siedewasserreaktors angeschlossen. Der Reaktordruckbehälter 34 ist teilweise mit einer Kühlflüssigkeit I, beispielsweise Wasser, gefüllt. In diesem von der Kühlflüssigkeit I gebildeten Flüssigkeitsbereich 36 ist der Reaktorkern 38 mit den nicht näher dargestellten Brennelementen angeordnet. Infolge der 40 Spaltprozesse im Reaktorkern erhitzt sich die Kühlflüssigkeit I und es entsteht Dampf v, der sich im Dampfbereich 40 oberhalb des Flüssigkeitsbereiches 36 ansammelt. Der Dampf v tritt durch den Dampfaustrittsstutzen 32 in die Kammer 2 durch den Einlaß 16 ein. In der Kammer 2 scheidet sich ein Teil des Dampfes v als Kondensat c aus und verläßt die Kammer 2 über den zweiten Auslaß 22. Der nicht auskondensierte Restdampf verläßt die Kammer 2 als Heißdampf 45 über den ersten Auslaß 20 und treibt eine Turbine 42 an. Die Turbine 42 ist über eine Welle 44 mit einem Generator 46 zur Erzeugung von elektrischer Energie verbunden.

45 Der Dampf v verläßt die Turbine 42 und wird infolge von Wärmetauschprozessen durch den Kühlwasserkreislauf 48 abgekühlt, so daß der Dampf v vollständig kondensiert und dem Reaktordruckbehälter 34 als Kühlflüssigkeit I über den Eintrittsstutzen 48 wieder zugeführt werden kann. Das in der Kammer 2 auskondensierte Kondensat c wird dem Reaktordruckbehälter 34 ebenfalls als Kühlflüssigkeit I zugeführt. Um allerdings ein Rückströmen der Kühlflüssigkeit I 50 aus dem Reaktordruckbehälter 34 in die Kammer 2 zu verhindern, ist im zweiten Auslaß 22 eine Rückschlagarmatur, insbesondere eine Rückschlagklappe 50, angeordnet.

55 Solange der Druck der Kühlflüssigkeit I im Reaktordruckbehälter 34 den Druck des Kondensats c in der Kondensatschicht 26 in der Kammer 2 übersteigt, ist die Rückschlagklappe 50 geschlossen. Bei geschlossener Rückschlagklappe 50 wächst die Dicke Δs der Kondensatschicht 26, wodurch der Druck in dieser Kondensatschicht 26 gemäß obiger Gleichung erhöht wird. Übersteigt dieser Druck den im Reaktordruckbehälter 34 herrschenden Druck, so öffnet die Rückschlagklappe 50 automatisch, und das Kondensat c kann als Kühlflüssigkeit I in den Reaktordruckbehälter 34 strömen. Dabei verringert sich die Dicke Δs der Kondensatschicht 26 und der dort herrschende Druck, der Innendruck, nimmt wieder ab, bis er unter den im Reaktordruckbehälter 34 herrschenden Druck, den Außendruck, fällt. Sobald dies

eintritt schließt die Rückschlagklappe 50 wieder automatisch und der Prozeß des Druckaufbaus in der Kondensatschicht 26 beginnt von neuem. Druckaufbau und Abströmen des Kondensats c aus der Kammer 2 gegen einen äußeren Druck werden daher automatisch, d.h. ohne jegliche äußere Einflüsse, geregelt. Durch geeignete Wahl der Randbedingungen kann erreicht werden, daß sich dieser Vorgang nicht ständig zyklisch wiederholt, sondern daß sich ein stationärer Zustand ausbildet, bei dem der aus der Kammer 2 abgeführte Kondensatmassenstrom immer ebenso groß ist wie der in der Kammer 2 abgeschiedene Massenstrom.

Abweichend von Figur 3 kann die Kammer 2 auch vollständig innerhalb des Reaktordruckbehälters 34 angeordnet und der erste Auslaß 20 über eine Dampfleitung mit der Turbine 42 verbunden werden. Damit entfällt eine spezielle Rückführleitung für das abgeschiedene Kondensat sowie die Auslegung der Kammer 2 für den vollen Betriebs- bzw. Störfalldruck.

Durch den Einsatz einer Einrichtung zum Überhitzen von Dampf v in einem Wasser-Dampf-Kreislauf einer Kernkraftanlage wird der Dampf v von dem Wasser-Dampf-Gemisch getrennt und die Turbine wird mit Heißdampf angetrieben. Diese Einrichtung zum Überhitzen von Dampf v bietet zum einen die Möglichkeit, die aufwendigen Einrichtungen zur Dampf-Wasser-Separation, beispielsweise die Dampftrockner bei den Siedewasserreaktoren zu ersetzen. Zum anderen bietet eine solche Einrichtung die Möglichkeit, die Turbine 42 anstatt mit Sattdampf mit Heißdampf zu betreiben und somit die Schwierigkeiten zu vermeiden, die durch den Aufprall von Wassertropfen auf die Turbinenschaufeln hervorgerufen werden.

Anhand von Figur 4 sollen nun die physikalischen Prozesse eines solchen Verfahrens zum Überhitzen von Dampf erklärt werden. In Figur 4 ist ein Ausschnitt aus einem Mollier-Enthalpie (h) -Entropie (s) -Diagramm skizziert. Auf der Ordinate ist die Enthalpie h in kJ/kg und auf der Abszisse die spezifische Entropie s in kJ/(kg*K) angegeben. Die durchgezogenen Linien in diesem Diagramm sind Isobaren, die gestrichelten Linien sind Isothermen und die strichpunktierten Linien sind Kurven entlang denen der Dampfgehalt x konstant ist. Dampfgehalt x = 1 bedeutet, daß sich im Dampf keine auskondensierten Flüssigkeitstropfen befinden. Ein Dampfgehalt x von 0,6 bedeutet hingegen, daß ein Flüssigkeits-Dampf-Gemisch vorliegt, wobei der Massenanteil des Dampfes 60% und der der Flüssigkeit 40% beträgt. Entlang der Kurve mit x = 1 liegt Sattdampf vor. Unterhalb dieser Kurve, d.h. mit einem Dampfgehalt x < 1, liegt Naßdampf und oberhalb der Sattdampfelinie mit x = 1 liegt überhitzter Dampf vor. Die Pfeile zwischen den Punkten 1-4 geben die einzelnen physikalischen Zustandsänderungen an, die im folgenden näher erläutert werden:

In einem Reaktordruckbehälter 34 eines Siedewasserreaktors beträgt der Druck des Dampfes v typischerweise 70 bar und die Temperatur etwa 286 °C. Dieser Punkt ist im Mollier-h-s-Diagramm mit der Ziffer 1 gekennzeichnet. Beim Einströmen in die Kammer 2 verringert sich der Druck und die Temperatur des Dampfes v und gleichzeitig erhöht sich seine Geschwindigkeit. Vernachlässigt man zunächst die dabei auftretende Phasenseparation und Reibungseffekte, so läßt sich dieser Vorgang als eine adiabatische Expansion auffassen. Im Mollier-Diagramm entspricht dies einer senkrechten Linie nach unten. Für solch eine adiabatische Expansion läßt sich eine Beziehung zwischen der spezifischen Enthalpie h und der Geschwindigkeit w der Strömung herstellen. Diese Beziehung ist als Skala im Mollier-Diagramm mit eingeblendet. Auf der linken Seite dieser Skala ist die Enthalpieänderung Δh in kJ/kg linear und auf der rechten Seite die Geschwindigkeit w in m/s aufgetragen. Unterstellt man beim Einströmen in die Kammer 2 ein kritisches Druckverhältnis, d.h. der Druck des Dampfes v reduziert sich von ursprünglich 70 bar auf etwa 40 bar, dann erhält man zunächst eine Rotationsgeschwindigkeit von etwa 450 m/s. Bei einer Reduzierung des Radius der Rotationsströmung von $r_5 = 1,5$ Meter, auf $r_2' = 0,7$ Meter im Übergangsbereich, erhält man dann eine Rotationsgeschwindigkeit von etwa 965 m/s. Legt man zudem eine axiale Strömungsgeschwindigkeit von etwa 300 m/s zugrunde, dann resultiert daraus eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit w des Dampfes v von etwa 1000 m/s. Da der Dampf v im Reaktordruckbehälter 34 zuvor nahezu keine Geschwindigkeit w aufwies, entspricht die Enthalpieänderung Δh entlang der Adiabate von Punkt 1 zu Punkt 2 den 1000 m/s. Aus dem Mollier-Diagramm ist dann abzulesen, daß sich der Dampf auf einen Druck von ca. 3,5 bar entspannen und einen Dampfgehalt von x = 0,78 erreichen würde.

Die bisher vernachlässigte Phasenseparation wird nun in dem Schritt von Punkt 2 nach Punkt 3 berücksichtigt. Während der Phasenseparation bleibt der Druck des Dampf-Wasser-Gemisches konstant, d.h. die Phasenseparation verläuft im Mollier-Diagramm entlang einer Isobaren. Während der Phasenseparation erhöht sich der Dampfgehalt x kontinuierlich, d.h. das Dampf-Wasser-Gemisch wird zunehmend flüssigkeitsärmer, bzw. dampfreicher. Durch die sehr hohe Rotationsgeschwindigkeit der Strömung werden die auskondensierten Flüssigkeitstropfen äußerst wirkungsvoll abzentrifugiert, so daß im verbleibenden Restdampf eine Restfeuchte von beispielsweise 2% zu erreichen ist. Dies entspricht einem Dampfgehalt von x = 0,98. Der Schnittpunkt der Isobare mit 3,5 bar und der Kurve mit konstantem Dampfgehalt x = 0,98 definiert somit den Punkt 3. Der Dampf v, der in den Austrittsbereich 8 übertritt, wird daher bei obigen Voraussetzungen durch den Punkt 3 im Mollier-Diagramm definiert.

Im Austrittsbereich 8 vollzieht sich nun der umgekehrte physikalische Prozeß wie im Eintrittsbereich 4. Die bestehende kinetische Energie der Strömung wird wieder in Enthalpie h umgewandelt. Da eine Rotationsströmung in erster Linie als reibungsfrei betrachtet werden kann, und da durch die spezielle oben beschriebene Ausgestaltung des ersten Auslasses 20 die Geschwindigkeit nahezu wieder auf 0 reduziert werden kann, entspricht die im Mollier-Diagramm anzutragende Enthalpieänderung Δh in erster Linie wieder den 1000 m/s der Geschwindigkeit w. Der Prozeß von Punkt

3 nach Punkt 4 kann wiederum wie schon der Prozeß von Punkt 1 nach Punkt 2 als eine adiabatische Zustandsänderung aufgefaßt werden, da kein Wärmeaustausch erfolgt. Im Mollier-Diagramm bedeutet dies also wiederum eine senkrechte Linie von Punkt 3 nach Punkt 4. Wie aus dem Mollier-Diagramm ersichtlich ist, tritt der Dampf v dabei von dem Naßdampfgebiet ($x < 1$) in das Heißdampfgebiet über. Bei den obigen Annahmen erreicht der Dampf eine Temperatur von 380 °C bei einem Druck von etwa 31 bar. Der Dampf ist also um etwa 95 °K wärmer als der im Reaktordruckbehälter erzeugte Sattdampf. Der Druck hat sich dagegen von 70 bar auf weniger als die Hälfte, nämlich 31 bar verringert. Bezogen auf diese 31 bar beträgt die Überhitzung des Dampfes v etwa 144 K. Wie hoch der Anteil des Heißdampfes, der die Kammer 2 verläßt, gemessen an dem Gesamtdampfeintritt in die Kammer 2 ist, läßt sich nach Kontinuitäts- sowie Energiegleichung aus folgender Gleichung erhalten:

10

$$m_0 h_0 = m_3 (h_3 + \frac{w_3^2}{2}) + (m_0 - m_3) * (h_c + \frac{w_c^2}{2})$$

15 Der Index 0 bezieht sich dabei auf den Zustand des Dampfes v im Reaktordruckbehälter, der Index 3 bezieht sich auf den Zustand des Dampfes v vor dem Übertritt in den Austrittsbereich 6 und entspricht dem Zustand des Dampfes im Punkt 3 des Mollier-Diagramms. Der Index c bezeichnet die entsprechenden Größen für das Kondensat c im Eintrittsbereich 4 und bezeichnet die jeweilige Masse.

20 Aufgrund der Zentrifugalkräfte infolge der Rotationsströmung steht das Kondensat c bei einem Radius $r_3 = 1,6$ m etwa unter einem Druck von 43 bar. Da sich das Kondensat c bis zu diesem Sättigungsdruck aufheizt, beträgt seine spezifische Enthalpie $h_c = 1110$ kJ/kg. Infolge von Reibungseffekten zwischen Mantel 14 und Kondensat c beträgt die Rotationsgeschwindigkeit des Kondensats c beispielsweise etwa $w = 200$ m/s. Die Werte der spezifischen Enthalpie h_0 und h_3 können aus dem Mollier-Diagramm entnommen werden. Die Geschwindigkeit w_3 beträgt wie oben ausgeführt etwa 1000 m/s. Mit diesen Werten ergibt sich für den Dampf v ein Massenanteil von etwa 79,2% und etwa 20,8% werden als Kondensat abgetrennt, d.h. ein sehr großer Massenanteil des Sattdampfes verläßt die Einrichtung zum Überhitzen von Dampf als Dampf v, der dann eine Turbine mit hohem thermischen Wirkungsgrad antreiben kann.

25 Die oben aufgeführten Zahlenbeispiele dienen ausschließlich zur Erklärung der prinzipiellen Wirkungsweise des Verfahrens sowie der Einrichtung zum Überhitzen von Dampf. In ihnen ist keine Begrenzung, weder der geometrischen Größen der Kammer noch der thermodynamischen Größen wie Druck, Temperatur oder Geschwindigkeit zu sehen.

30

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überhitzen von Dampf (v), bei dem
 - a) die Druckenergie des Dampfes (v) zumindest teilweise in eine Rotationsströmung um eine Rotationsachse (9) und in eine der Rotationsströmung überlagerte axiale Strömung in Richtung der Rotationsachse (9) umgewandelt wird,
 - b) die Rotationsgeschwindigkeit des Dampfes (v) in Richtung der Rotationsachse (9) durch eine Verkleinerung des Strömungsquerschnitts erhöht wird, wobei Kondensat (c) und Restdampf erzeugt wird,
 - c) das Kondensat (c) vor der Verkleinerung des Strömungsquerschnitts von dem Restdampf getrennt und anschließend im wesentlichen radial nach außen abgeführt wird,
 - d) der Restdampf in Richtung der Rotationsachse (9) weitergeleitet, seine Rotationsgeschwindigkeit erniedrigt und der Restdampf dabei überhitzt und in Heißdampf umgewandelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Dampf (v) zur Ausbildung der Rotationsströmung in eine Kammer (2) tangential zu deren Mantel (14) und annähernd senkrecht zur Rotationsachse (9) eintritt und der Dampf (v) die Kammer (2) in Richtung der Rotationsachse (9) durchströmt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Kondensat (c) vom Mantel (14) abgeführt und gegebenenfalls zuvor am Mantel (14) der Kammer (2) gesammelt wird.
4. Verfahren zum Erzeugen von Heißdampf aus Sattdampf in einer Kernkraftanlage, bei dem
 - a) der Sattdampf in einem Reaktordruckbehälter (34) einer Siedewasser-Reaktoranlage erzeugt wird,
 - b) die Druckenergie des Sattdampfes zumindest teilweise in kinetische Energie einer Rotationsströmung des Sattdampfes umgewandelt wird, wobei Restdampf und Kondensat (c) erzeugt wird,
 - c) das Kondensat (c) zumindest teilweise vom Restdampf getrennt wird,
 - d) die kinetische Energie der Rotationsströmung des Restdampfes anschließend verringert, und der Rest-

dampf dabei überhitzt und in Heißdampf umgewandelt wird.

5. Einrichtung zum Überhitzen von Dampf (v) mit einer Kammer (2),

- 5 a) die sich in Richtung einer Rotationsachse (9) erstreckt,
b) die einen Eintrittsbereich (4) zur zumindest teilweisen Umwandlung der Druckenergie des Dampfes (v) in kinetische Energie des Dampfes (v) sowie zur Trennung eines dabei auskondensierten Kondensats (c) vom verbliebenen Restdampf aufweist,
10 c) die einen Übergangsbereich (6) zum Erhöhen der kinetischen Energie aufweist, der sich an den Eintrittsbereich (4) anschließt und dessen Querschnittsfläche kleiner ist als die des Eintrittsbereichs (4),
d) die einen dem Übergangsbereich (6) nachfolgenden Austrittsbereich (8) zum Verringern der kinetischen Energie des Restdampfes und zur Umwandlung des Restdampfes in Heißdampf aufweist, dessen Querschnittsfläche größer ist als die des Übergangsbereichs (6),
15 e) bei der der Austrittsbereich (8) einen ersten Auslaß (20) für den Heißdampf und der Eintrittsbereich (4) einen zweiten Auslaß (22) für das Kondensat (c) aufweist, welcher radial von der Rotationsachse (9) beabstandet ist.

6. Einrichtung nach Anspruch 5, bei der die Kammer (2) weitgehend frei von Innenbauten ist.

20 7. Einrichtung nach Anspruch 5 oder 6, bei der die Kammer (2) im wesentlichen rotationssymmetrisch ist, und bei der im Eintrittsbereich (4) ein Einlaß (16) derart angeordnet ist, daß sich im Eintrittsbereich (4) eine Rotationsströmung ausbildet.

25 8. Einrichtung nach Anspruch 7, bei der der Einlaß (16) tangential zum Mantel (14) der Kammer (2) und im wesentlichen senkrecht zur Rotationsachse (9) angeordnet ist.

9. Einrichtung nach Anspruch 7 oder 8, bei der der Einlaß (16) als Düse ausgebildet ist.

30 10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 9, bei der der erste Auslaß (20) tangential und im wesentlichen senkrecht zur Rotationsachse (9) und in Richtung der Rotationsströmung am Mantel (14) der Kammer (2) angeordnet ist.

35 11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 10, bei der der zweite Auslaß (22) tangential zum Mantel (14) der Kammer (2) und im wesentlichen senkrecht zur Rotationsachse (9) angeordnet ist.

12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 11, bei der der zweite Auslaß (22) in Strömungsrichtung der Rotationsströmung angeordnet ist.

40 13. Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 12, bei der der zweite Auslaß (22) von der Rotationsachse (9) weiter beabstandet ist als der Einlaß (16).

14. Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 13, bei der im zweiten Auslaß (22) eine Rückschlagarmatur (50) angeordnet ist.

45 15. Verwendung einer Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 13 in einem Kernkraftwerk, insbesondere in einem Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor zur Umformung eines Sattdampfes in Heißdampf und in Kondensat (c).

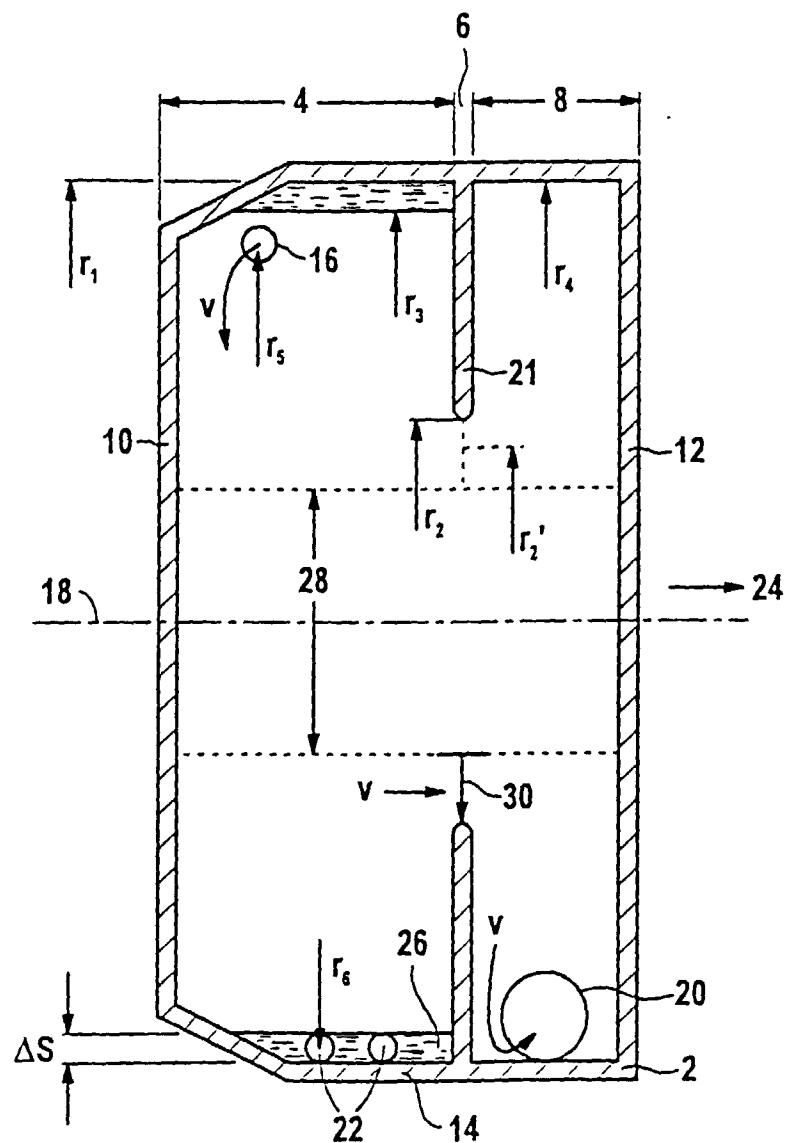


FIG 1

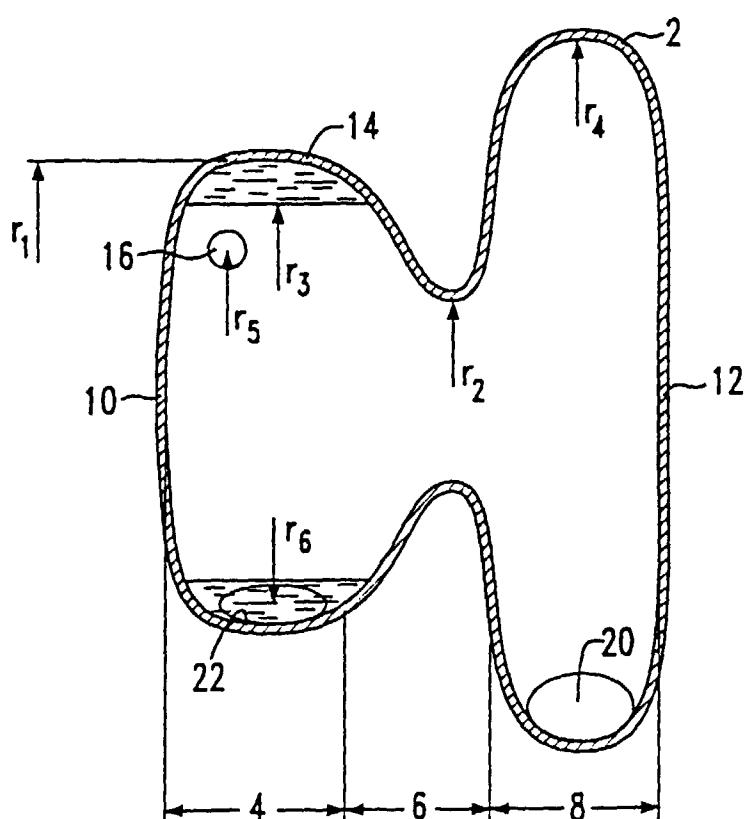


FIG 2

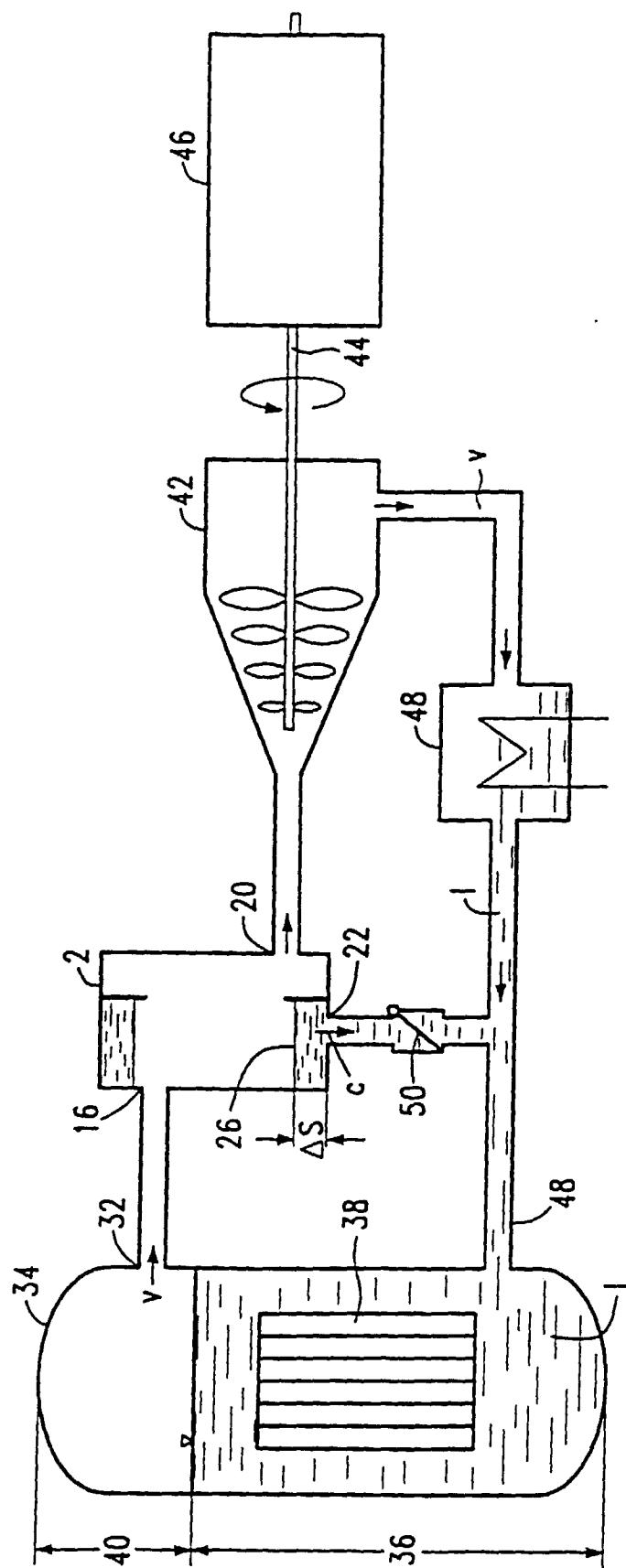


FIG 3

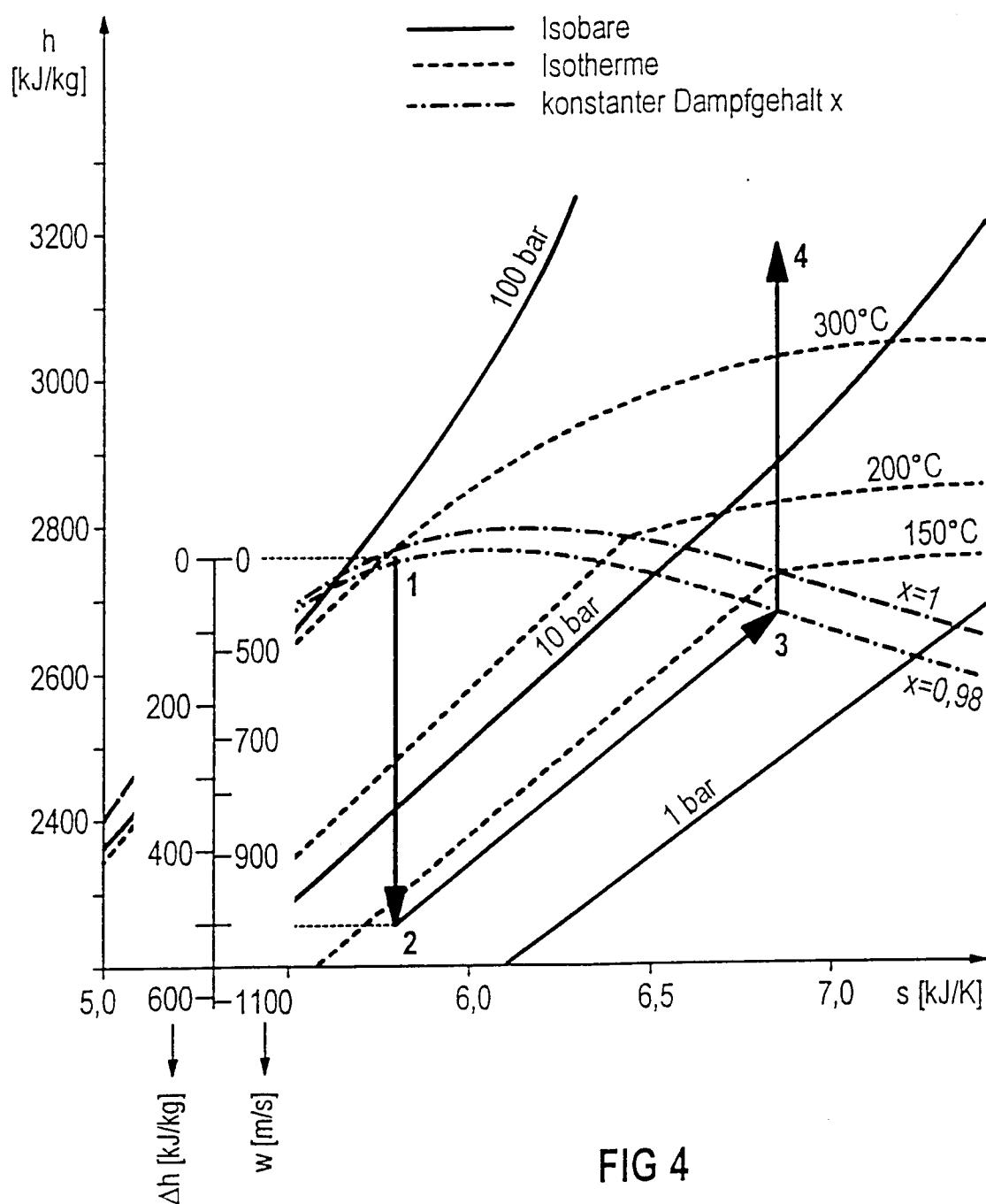


FIG 4