



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(51) Int. Cl.³: F 01 K 19/04
F 22 B 33/18

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



(12) PATENTSCHRIFT A5

(11)

620 498

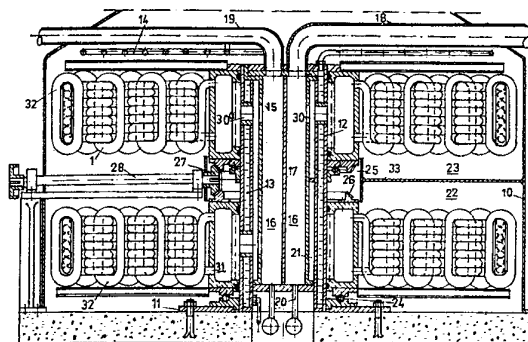
| | | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|---|
| (21) Gesuchsnummer: | 3853/77 | (73) Inhaber: | Paul Morcov, Offenbach a.M. (DE) |
| (22) Anmeldungsdatum: | 23.03.1977 | (72) Erfinder: | Paul Morcov, Offenbach a.M. (DE) |
| (30) Priorität(en): | 30.03.1976 DE 2613418 | (74) Vertreter: | PERUHAG Patent-Erwirkungs- und Handels-Gesellschaft mbH, Bern |
| (24) Patent erteilt: | 28.11.1980 | | |
| (45) Patentschrift veröffentlicht: | 28.11.1980 | | |

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Hochdruckdampf.

(57) Die Vorrichtung weist paarweise übereinander angeordnete Trommeln (22, 23) auf, die in jeweils entgegengesetzter Richtung angetrieben werden und deren Zellen (31, 32) einseitig offen sind und über einen Teil des Umfangs, auf dem sie angeordnet sind, mit Öffnungen (30) einer Abdampfleitung (18) und über einen anderen Teil des Umfangs mit einer Abführleitung (19) in Verbindung stehen.

Somit werden die Zellen (12) zyklisch durch heissere und kühlere Bereiche geführt, anschliessend in einen neutralen Bereich zu einem Dampfaustausch gebracht und endlich in einen gekühlten Bereich, wo der Dampfdruck in den Zellen (32) reduziert wird.

Eine arbeitsfähige Vorrichtung dieser Art sollte einen besseren Wirkungsgrad als die bekannten Vorrichtungen dieser Art besitzen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Erzeugung von Hochdruckdampf, bei dem den in einem Kessel vorgesehenen Zellen Abdampf als Niederdruckdampf zugeführt wird, in welchen Zellen der Druck und die Temperatur des Abdampfes erhöht und der so gewonnene Frischdampf als Hochdruckdampf einem Verbraucher zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Zellen in zwei Trommeln verteilt sind, die nacheinander zyklisch durch heissere und kühlere Bereiche des Kessels geführt werden, dass dabei in jeder Zelle der ersten Trommel, nach der Aufnahme von Abdampf, der Druck des Dampfes im heissen Bereich (Q_1 , Q_2) stufenweise erhöht wird, teils infolge des Temperaturanstieges bei konstanten Volumen – isochor – und teils infolge der Dampfaufnahme bei verschiedenen Stufen von den Zellen der zweiten Trommel, die sich im neutralen Bereich befinden, dass dann Hochdruckdampf an den Verbraucher abgegeben wird und anschliessend im neutralen Bereich (Q_3) die Zellen sich stufenweise in die Zellen der anderen Trommel entladen, die sich im heissen Bereich befinden, und dann in einem gekühlten Bereich (Q_4) der Dampfdruck der Zellen erniedrigt wird, um eine neue Ladung mit Abdampf zu ermöglichen.

2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zellen (31, 32) um ein mittleres, feststehendes Mantelrohr (12) herum umlaufend angeordnet sind, welches die Abdampfleitung (16, 18) und die Abfuhrleitung (16, 17) enthält und welches mit den Zellen nacheinander in Verbindung tretende Öffnungen (30, 30a) sowie die Zellen mechanisch verschliessende Wandungsbereiche aufweist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie paarweise vorgesehene Trommeln (22, 23) aufweist, die in jeweils entgegengesetzter Drehrichtung angetrieben sind und deren Zellen (31, 32) einseitig offen sind und über einen Teil des Umfangs, auf dem sie angeordnet sind, mit Öffnungen (30) der Abdampfleitung (18) in Verbindung stehen und über einen anderen Teil des Umfangs mit der Abfuhrleitung (19) in Verbindung stehen, dass einander entsprechende Zellen eines Paares von Trommeln mittels Kanälen (21) miteinander verbunden sind, die auf einem Teil des bei der Drehbewegung durchlaufenen Umfangs angeordnet sind und dass die Trommeln auf einen Bereich (Q_1 , Q_2) des Umfangs in einen Kesselraum und auf einem anderen Bereich (Q_4) des Umfangs in einen gekühlten Raum hineinragen, wobei die in den Kesselraum ragenden Bereiche eines Paares von Trommeln gegeneinander versetzt angeordnet sind, und wobei, in Drehrichtung jeder Trommel gesehen, zwischen dem heissen Bereich (Q_1 , Q_2) und dem gekühlten Bereich (Q_4) ein neutraler Bereich (Q_3) vorgesehen ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Innenrohr (15) von dem Mantelrohr (12) umgeben ist, welches über radiale Stege mit dem Innenrohr verbunden ist, zwischen denen die Kanäle (21) gebildet sind, und dass das Mantelrohr (12) auf seinen Umfang für jede der Zellen (31, 32) beider Trommeln (22, 23) eine Durchbrechung (30a) aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zellen (31, 32) Rohrbündel (32) aufweisen, die an Kammern (31) angeschlossen sind, die ihrerseits zu dem Mantelrohr (12) hin offen sind und deren Wandungen mittels Dichtungen gegen das Mantelrohr hin abgedichtet sind.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der gekühlte Bereich (Q_4) von durchgeleiteter Kaltluft gekühlt ist und dass die erwärmte Abluft über einen Verdichter dem Brenner des Kessels zugeführt wird.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Mantelrohr (12) einen von Kühlwasser

durchströmten Ringraum (13) aufweist, der austrittsseitig mit einem Verdampfer (14) in Verbindung steht.

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Hochdruckdampf, wobei in einem Kessel oder Erhitzer vorgesehenen Zellen Abdampf als Niederdruckdampf zugeführt wird, in welchem der Druck und die Temperatur des Abdampfes erhöht und der so gewonnene Frischdampf als Hochdruckdampf einem Verbraucher zugeführt wird.

Bei einer bekannten Vorrichtung der genannten Art (Dt-PS 309 921) ist innerhalb eines Kessels eine solche Zelle angeordnet, die aus einer Rohrschlange besteht, welche um eine Hohlwelle drehbar in dem Kessel gelagert ist. Die Hohlwelle ist in zwei in axialer Richtung hintereinander liegende Kammern unterteilt, wobei das eine Ende der Rohrschlange in die eine Kammer und das andere Ende in die andere Kammer einmündet.

Während der Drehbewegung wird abwechselnd die eine und danach die andere Einmündung der Rohrschlange in die Hohlwelle durch Wasser verschlossen, welches in beiden Kammern der Hohlwelle sich befindet.

Bei dieser bekannten Vorrichtung wird der umlaufenden Zelle Abdampf zugeführt, sobald die Eintrittsöffnungen der Rohrschlange oberhalb des Wasserspiegels in der Hohlwelle anlangt. Dabei ist das Austrittsende der Rohrschlange unterhalb des Wasserspiegels in der anderen Kammer angeordnet. Der in der Zelle befindliche Abdampf soll in dem Kessel erhitzt und in Frischdampf verwandelt werden. Es gelingt jedoch nur unvollkommen, da der Druck der Wassersäule auf der Austrittsseite der Rohrschlange den erzielbaren Dampfdruck begrenzt. Sobald der Druck innerhalb der Zelle den Dampfdruck auf der Eintrittsseite und den Druck der absperrenden Wassersäule auf der Austrittsseite überschreitet, wird die umlaufende Zelle nach beiden Seiten Dampf abblasen, d. h. neuer Abdampf kann gar nicht erst in die Anlage eintreten.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, dieses bekannte Grundprinzip zu einer arbeitsfähigen Vorrichtung auszugestalten, die einen besseren Wirkungsgrad besitzt.

Zur Lösung der genannten Aufgabenstellung sieht die Erfindung vor, dass mehrere in zwei Trommeln verteilte Zellen vorgesehen sind, die nacheinander zyklisch durch heissere und kühlere Bereiche des Kessels geführt werden. Dabei wird in jeder Zelle der ersten Trommel nach der Aufnahme von Abdampf der Druck des Dampfes im heissen Bereich stufenweise erhöht, teilweise infolge des Temperaturanstieges bei konstanten Volumen, teilweise infolge der Dampfaufnahme bei verschiedenen Stufen von den Zellen der zweiten Trommel, die sich im neutralen Bereich befinden. Nach der Abgabe von Hochdruckdampf an den Verbraucher werden die Zellen im neutralen Bereich stufenweise entladen in die Zellen der anderen Trommel, die sich im heissen Bereich befindet, und anschliessend wird in einem gekühlten Bereich der Dampfdruck der Zellen erniedrigt, um eine neue Ladung mit Abdampf zu ermöglichen.

Ein Vorteil der Erfindung wird darin gesehen, dass der Wirkungsgrad einer Wärmekraftanlage erhöht wird. Der Kühlwasserverbrauch und der Wärmeverbrauch bekannter Kondensatoren stellt nicht nur ein der Lösung harrendes technisches Problem, sondern auch ein Problem des Umweltschutzes dar.

Die bisher an das Kühlwasser einer Wärmekraftanlage abgegebene Wärmemenge wurde bisher als unvermeidlicher Verlust in Kauf genommen. Hier schafft die Erfindung ebenfalls Abhilfe.

Eine erfindungsgemässe Vorrichtung, die sich zur Durchführung dieser Arbeitsweise eignet, ist dadurch gekennzeichnet,

net, dass die Zellen in zwei Trommeln angeordnet sind um ein mittleres, feststehendes Mantelrohr herum umlaufend, welches die Abdampfleitung und die Abfuhrleitung enthält und welches mit den Zellen nacheinander in Verbindung tretende Öffnungen sowie die Zellen mechanisch verschliessende Wandungsbereiche aufweist.

Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die paarweise vorgesehenen Trommeln in jeweils entgegengesetzter Richtung angetrieben sind und deren Zellen einseitig offen sind und über einen Teil des Umfangs, auf dem sie angeordnet sind, mit Öffnungen der Abdampfleitung in Verbindung stehen und über einen Teil des Umfangs mit der Abfuhrleitung in Verbindung stehen, dass einander entsprechende Zellen eines Paares von Trommeln mittels Kanälen miteinander verbunden sind, die auf einem Teil des bei Drehbewegung durchlaufenden Umfangs angeordnet sind, und dass die Trommeln auf einen Bereich des Umfangs in einen Kesselraum und auf einem anderen Bereich des Umfangs in einen gekühlten Raum hineinragen, wobei die in den Kesselraum ragenden Bereiche eines Paares von Trommeln gegeneinander versetzt angeordnet sind, und wobei, in Drehrichtung jeder Trommel gesehen, zwischen dem heissen Bereich und dem gekühlten Bereich ein neutraler Bereich vorgesehen ist.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist es möglich, die Dampfverluste durch Verdampfen von Kühlwasser auszugleichen und den so erhaltenen Dampf dem Frischdampf beizumischen. Zu diesem Zweck kann das Mantelrohr einer erfindungsgemässen Vorrichtung einen von Kühlwasser durchströmten Ringraum aufweisen, der austrittsseitig mit einem Verdampfer in Verbindung steht.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und aus der Beschreibung.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung eignet sich zur Verwendung in Kraftwerken oder anderen wärmetechnischen Prozessen, obwohl im folgenden ein Ausführungsbeispiel zur Verwendung mit einer Gegendruckturbine beschrieben ist.

Die Erfindung ist im folgenden anhand der Zeichnungen beispielsweise näher erläutert, und zwar zeigt:

Fig. 1 einen lotrechten Schnitt durch eine erfindungsgemässe Vorrichtung.

Fig. 2 einen horizontalen Schnitt durch die Vorrichtung nach Fig. 1 in deren oberer Hälfte.

Fig. 3 eine Nebeneinanderstellung je eines Horizontalschnittes der oberen und der unteren Hälfte nach Fig. 1.

Bei dem Ausführungsbeispiel nach den Figuren 1 bis 3 ist in einem Gehäuse 10 auf einer Grundplatte 11 ein feststehendes Mantelrohr 12 befestigt, welches einen Ringraum 13 zur Aufnahme von Kühlwasser besitzt. Dieses Kühlwasser wird von unten zugeführt und mündet in Verdampferschlangen 14, die nahe der Decke des Gehäuses 10 in einer Ebene angeordnet sind.

Im Innern des Mantelrohrs 12 ist ein feststehendes Innenrohr 15 angeordnet, dessen Innenraum 16 durch eine Trennwand 17 in zwei lotrechte achsparallele Kammern aufgeteilt ist. Die eine dieser Kammern ist mit einer Abdampfleitung 18 verbunden, während die andere mit einer zur Turbine führenden Heissdampfleitung 19 verbunden ist.

In den Boden des Innenraums 16 münden Kondensatleitungen 20.

Zwischen den Wandungen der Rohre 12 und 15 sind durch lotrecht und radial verlaufende Trennwände Kanäle 21 gebildet. Um das Mantelrohr 12 sind zwei Trommeln 22, 23 drehbar übereinander angeordnet, wobei sich die untere Trommel 22 über ein Kugellager 24 auf der Grundplatte 11 abstützt,

während die obere Trommel 23 sich über ein Kugellager 25 an der Wandung des Mantelrohrs 12 abstützt.

In ihren aneinander angrenzenden Bereichen tragen die Trommeln Zahnkränze 26, in die ein Antriebsritzel 27 eingreift, welches über eine Welle 28 von einem nicht dargestellten äusseren Antriebsmotor angetrieben ist. Die Darstellung nach Fig. 1 lässt erkennen, dass bei angetriebener Welle 28 die beiden Trommeln in einander entgegengesetzten Drehrichtungen umlaufen. Die Kanäle 21 stehen über je eine Öffnung 30 bzw. 30a mit der Abdampfleitung 18 bzw. der Frischdampfleitung 19 in Verbindung.

Die Trommeln umfassen je einen inneren Ringraum, der durch lotrecht radial verlaufende Trennwände in Kammern 31 unterteilt ist. An diese Kammern 31 sind Rohrbündel 32 angeschlossen. Die Kammern sind gegenüber der Aussenwandung des Mantelrohrs 12 abgedichtet, z. B. mittels beaufschlagter Lamellen. Im dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst jede Trommel sechzehn Kammern und sechzehn Rohrbündel.

Der Innenraum des Gehäuses 10 ist zwischen den beiden Trommeln durch eine horizontale Trennwand 33 in eine obere und eine untere Kammer unterteilt. Wie die Figuren 2 und 3 erkennen lassen, ist die obere und die untere Kammer des Gehäuses jeweils wieder in drei getrennte Räume unterteilt, durch die die Rohrbündel der Trommel nacheinander hindurchgeführt sind. Diese Unterteilung ist so gestaltet, dass durch einen ersten Bereich Q_1 und Q_2 die heissen Kessel-Abgase strömen, so dass hier ein heisser Raum gebildet wird.

Die Anordnung in der oberen und unteren Kammer ist nun so getroffen, dass in Drehrichtung der jeweiligen Trommel an diesen heissen Raum ein neutraler Raum Q_3 anschliesst, auf den ein gekühlter Raum Q_4 folgt. Dieser gekühlte Raum wird mit Kaltluft über einen Luftkühler und einen Zuluftventilator gespeist.

Während die obere Hälfte der Fig. 3 diese Bereiche für die obere Trommel 23 zeigt, ist aus der unteren Hälfte die demgegenüber versetzte Anordnung der unteren Kammer des Gehäuses für die untere Trommel 22 dargestellt. Der als heisser Raum bezeichnete Bereich liegt innerhalb eines Kessels und umfasst bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel 180° , der neutrale Raum 135° und der Bereich des kalten Raumes 45° auf dem Umfang.

Aus den Figuren 2 und 3 ist ersichtlich, dass die beiden Trommeln über die Kanäle 21 verbunden sind, die ihrerseits Durchbrechungen aufweisen, die in die Kammern 31 der beiden Trommeln einmünden, an die ihrerseits die Zellen in Form der Rohrbündel 32 angeschlossen sind.

Die Anordnung ist so getroffen, dass die Zellen, die aus je einer Kammer und einem Rohrbündel bestehen, der beiden umlaufenden Trommeln (vergl. Fig. 3 und Tafel 2) beim Durchlaufen der Bereiche Q_1 , Q_2 von der jeweils anderen Trommel Dampf erhalten, während sie beim Durchlaufen des Bereiches Q_3 Dampf an die jeweils andere Trommel abgeben.

Auf diese Weise ist ein Wärmeübergang zwischen den beiden Trommeln ermöglicht. Dabei ist ersichtlich, dass nach dem Beladen einer Zelle mit Abdampf durch die entsprechende Kammer des Innenrohrs 15 während ihres Durchlaufs durch die Bereiche Q_1 , Q_2 der Dampfdruck in ihr erhöht wird.

Beim Weiterdrehen der Trommel wird am Ende dieser Bereiche eine Abgabestelle erreicht, an der sich die Zelle entlädt, bis sie am Ende des Bereiches Q_4 eine entsprechende neue Dampfmenge aufnehmen kann, die im vorliegenden Ausführungsbeispiel 0,24 Kg betragen mag; während des Durchlaufs durch den Bereich Q_3 sind die Zellen entladen und übertragen ihren Druck an die über die Abfuhrleitung 19 mit ihnen verbundenen Zellen der jeweils anderen Trommel.

Dieser Vorgang der Druckerhöhung und der Druckabsenkung ist in Fig. 3 durch die Verbindungspfeile zwischen den

entsprechenden Räumen der oberen und der unteren Trommel angedeutet und im Verlauf aus Tafel 2 ersichtlich.

Beim Durchlaufen des Bereiches Q_4 sinkt der Druck in den Zellen infolge der Kühlung ab, im vorliegenden Ausführungsbeispiel auf etwa 3 at, so dass die Zelle beim Eintritt in den Bereich Q_1 wieder mit Abdampf beladen werden kann. Hier sei erwähnt, dass das Diagramm nach Tafel 2 im Zusammenhang mit der Tabelle der Tafel 1 zu lesen ist.

Die nachfolgende Tabelle der Tafel 1 enthält Zahlenwerte, die rechnerisch ermittelt wurden und die der graphischen Darstellung nach Tafel 2 entsprechen.

Im Ausführungsbeispiel sind folgende Werte zugrundegelegt:

| | | | |
|------------------|------------------|---------------------|--|
| | | Turbine mit 4400 PS | |
| Überhitzer Dampf | -Dampfverbrauch | = 8,63 kg/sek | |
| | -Dampfdruck | = 33 at | -Spez. Vol. = 0,09 m ³ /kg -Spez. Gew. = 11,0 kg/m ³ |
| | -Dampftemp. | = 400°C | |
| | -Enthalpie | = 770 kcal/kg | |
| Abdampf | -Dampfmenge/sek | = 7,77 kg | |
| | -Dampfdruck | = 5 at | -Spez. Vol. = 0,38 m ³ /kg -Spez. Gew. = 0,262 kg/m ³ |
| | -Dampftemperatur | = 170°C | |
| | -Enthalpie | = 673 kcal/kg | |

Die Zellen 22, 23 werden mit Abdampf gespeist und der Druck steigt von 5 at bei 0° Drehwinkel auf 36,5 at bei 180° Drehwinkel. Der Gegendruck an der Abgabestelle beträgt 33 at. Es tritt eine Enthalpie-Erhöhung von 770–673 = 97 kcal/kg auf. Der Dampfverlust der Turbine betrage 10%. Die Vorrich-

tung umfasst 16 Zellen pro Trommel und läuft mit $n = 60$ U/min. um. Das Volumen einer Zelle ist so zu wählen, dass an der Abgabestelle nach Abgabe von 0,24 kg Dampf ein Rest von 2,19 kg bei diesem Beispiel in der Zelle verbleibt.

5 Nach Tafel 1 ergibt sich in Q_3 folgende Bilanz:

$$\begin{aligned} -0,390 \text{ kg Dampf} &= \text{Rest in Zelle} \\ -0,240 \text{ kg Abdampf} &= \text{von Turbine} \\ -1,800 \text{ kg Transfer-Dampf} & \\ \hline \end{aligned}$$

10 Gesamt = 2,430 kg/Zelle an der Abgabestelle.

Das Zellenvolumen errechnet sich zu:

$$15 \quad V = \frac{G}{\int} = \frac{2,43}{11} = 0,24 \text{ m}^3$$

Nach der Zustandsgleichung haben wir an der Abgabestelle:

$$20 \quad \begin{aligned} PV &= GRT & PV &= 10\,330 \times 36,5 \times 0,24 = 90,500 \text{ kgmgrd} \\ GRT &= 2,43 \times 477 \times 793 = 90,500 \text{ kgmgrd} \end{aligned}$$

Der Dampfverbrauch/sek = 0,240 kg – gewärmte Abdampf
+ 0,030 kg – frischer Dampf

$$25 \quad \text{Gesamt} = 0,270 \text{ kg} \times 32 \text{ (Zellen)} = 8,64 \text{ kg/sek}$$

Wählt man für die Rohrbündel Rohre aus austenitischem Stahl mit einem Querschnitt von 1.320 mm², so ergibt sich die 30 Rohrlänge für eine Zelle zu 180 m und die Oberfläche pro Zelle zu 28,3 m².

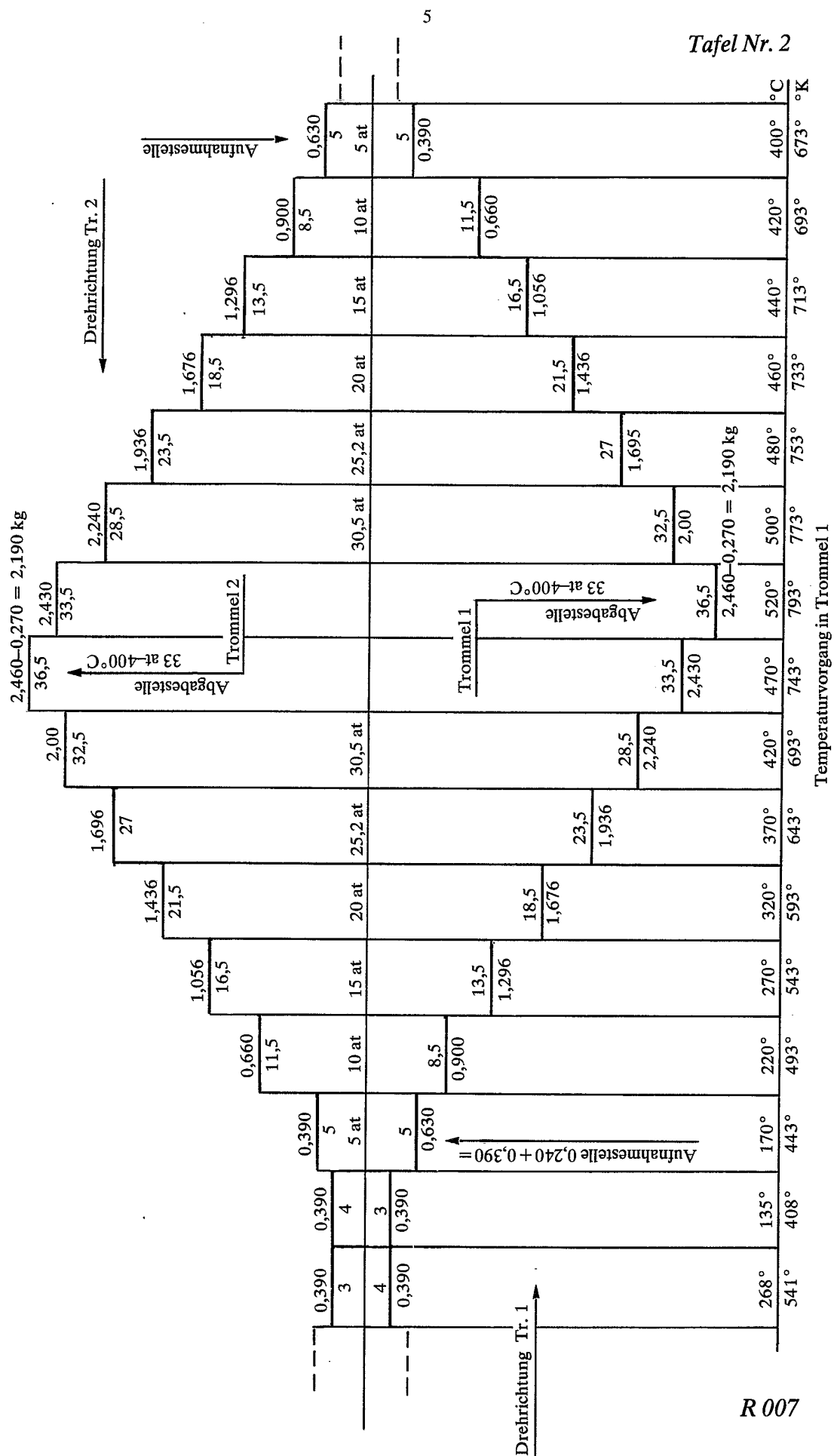
Wenn die Höhe eines Rohrbündels zu 1 m angenommen wird, so ergibt sich der Trommeldurchmesser: $D = 2,7 \text{ m}$

Tafel Nr. 1

Druck, Temperatur und Dampfmenge-Vorgang für Zellenvolumen $V = 0,24 \text{ mc}$

| Trommel 1 | | | | | | Trommel 2 | | | | | | Durchschnitt Tr. 1 u. 2 | | | | | | |
|-----------|------|------|------|-------|--------|-----------|------|------|------|-------|--------|-------------------------|------|------------------|------|-------|--------|--------|
| Zelle | p at | t °C | T °K | G | GRT | Zelle | p at | t °C | T °K | G | GRT | Zelle | p at | t °C | T °K | G | GRT | |
| 1 | 4 | 268 | 541 | 0,39 | 9 900 | 16 | 3 | 135 | 408 | 0,39 | 7 400 | 1–16 | – | keine Verbindung | | | | – |
| 2 | 3 | 135 | 408 | 0,39 | 7 400 | 15 | 4 | 268 | 541 | 0,39 | 9 900 | 2–15 | – | keine Verbindung | | | | – |
| 3 | 5 | 170 | 443 | 0,63 | 12 400 | 14 | 5 | 400 | 673 | 0,39 | 12 400 | 3–14 | 5 | keine Verbindung | | | | 12 400 |
| 4 | 8,5 | 220 | 493 | 0,90 | 21 000 | 13 | 11,5 | 420 | 693 | 0,66 | 21 600 | 4–13 | 10 | 320 | 593 | 0,78 | 21 300 | |
| 5 | 13,5 | 270 | 543 | 1,296 | 33 300 | 12 | 16,5 | 440 | 713 | 1,056 | 35 300 | 5–12 | 15 | 355 | 628 | 1,176 | 34 300 | |
| 6 | 18,5 | 320 | 593 | 1,675 | 46 000 | 11 | 21,5 | 460 | 733 | 1,436 | 49 400 | 6–11 | 20 | 390 | 663 | 1,556 | 47 700 | |
| 7 | 23,5 | 370 | 643 | 1,936 | 58 000 | 10 | 27 | 480 | 753 | 1,696 | 60 000 | 7–10 | 25,2 | 425 | 698 | 1,816 | 59 000 | |
| 8 | 28,5 | 420 | 693 | 2,240 | 71 000 | 9 | 32,5 | 500 | 773 | 2,000 | 80 500 | 8–9 | 30,5 | 460 | 733 | 2,120 | 80 500 | |
| 9 | 33,5 | 470 | 743 | 2,430 | 83 200 | 8 | 36,5 | 520 | 793 | 2,430 | 90 500 | 9–8 | 36,5 | 520 | 793 | 2,430 | 90 500 | |
| 10 | 36,5 | 520 | 793 | 2,460 | 90 500 | 7 | 33,5 | 470 | 743 | 2,430 | 83 200 | 10–7 | 36,5 | 520 | 793 | 2,430 | 90 500 | |
| 11 | 32,5 | 500 | 773 | 2,000 | 80 500 | 6 | 28,5 | 420 | 693 | 2,240 | 71 000 | 11–6 | 30,5 | 460 | 733 | 2,120 | 80 500 | |
| 12 | 27 | 480 | 753 | 1,695 | 60 000 | 5 | 23,5 | 370 | 643 | 1,936 | 58 000 | 12–5 | 25,2 | 425 | 698 | 1,815 | 59 000 | |
| 13 | 21,5 | 460 | 733 | 1,436 | 49 400 | 4 | 18,5 | 320 | 593 | 1,676 | 46 000 | 13–4 | 20 | 390 | 663 | 1,556 | 47 700 | |
| 14 | 16,5 | 440 | 713 | 1,056 | 35 300 | 3 | 13,5 | 270 | 543 | 1,296 | 33 300 | 14–3 | 15 | 355 | 628 | 1,178 | 34 300 | |
| 15 | 11,5 | 420 | 693 | 0,66 | 21 600 | 2 | 8,5 | 220 | 493 | 0,90 | 21 000 | 15–2 | 10 | 320 | 593 | 0,78 | 21 300 | |
| 16 | 5 | 400 | 673 | 0,39 | 12 400 | 1 | 5 | 170 | 443 | 0,63 | 12 400 | 16–1 | 5 | keine Verbindung | | | | 12 400 |

Tafel Nr. 2



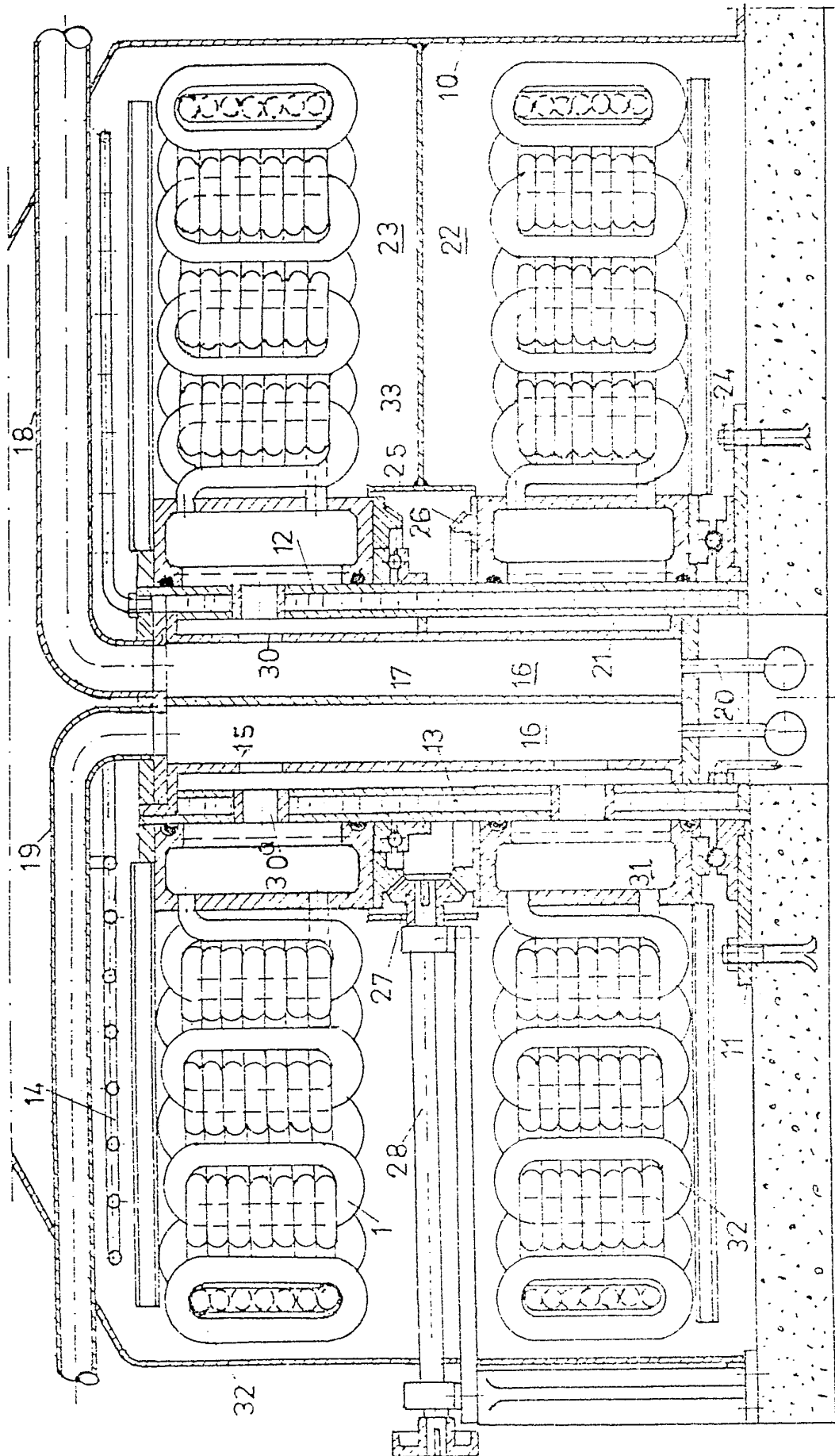


Fig. 1

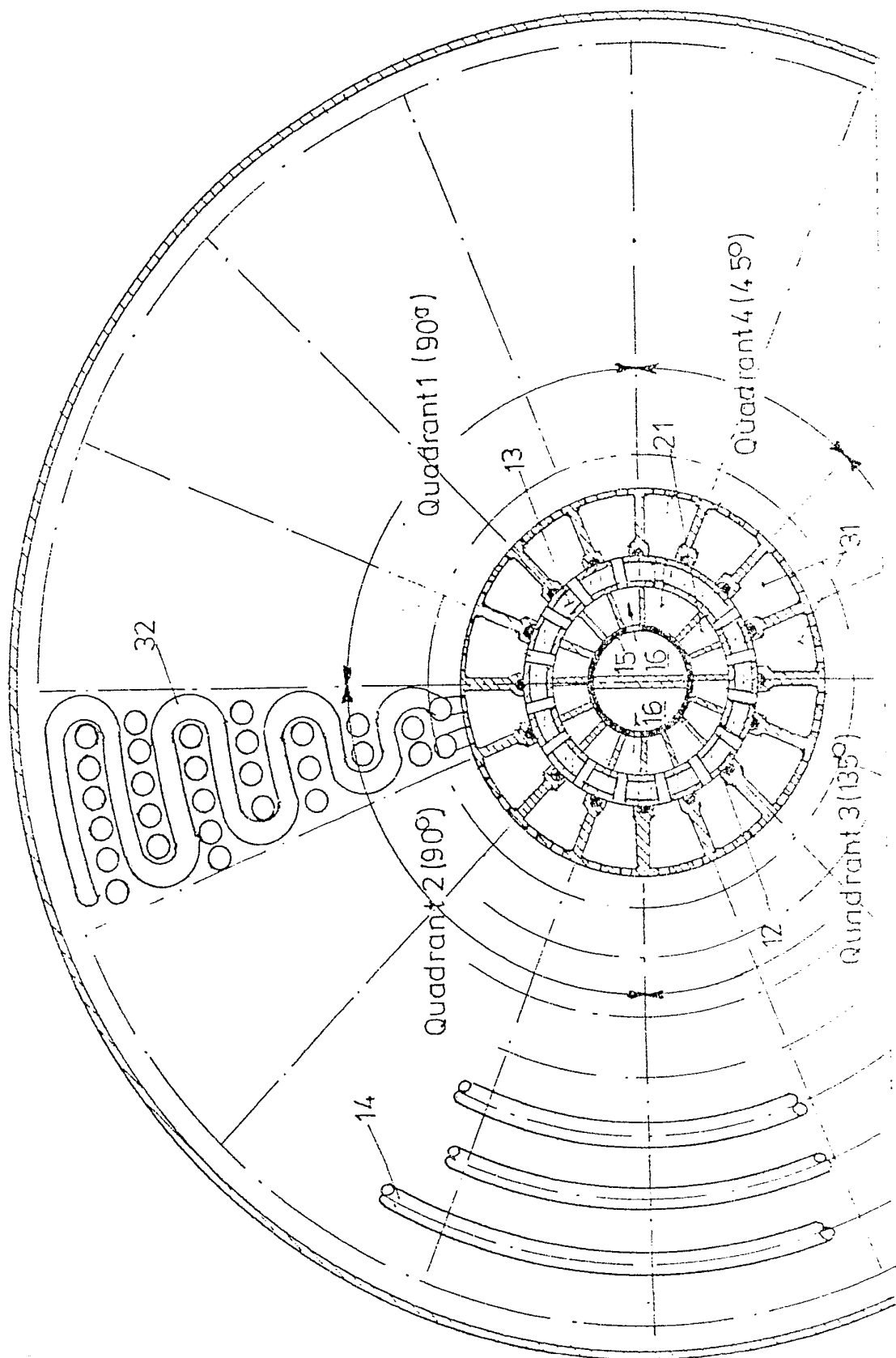


Fig. 2

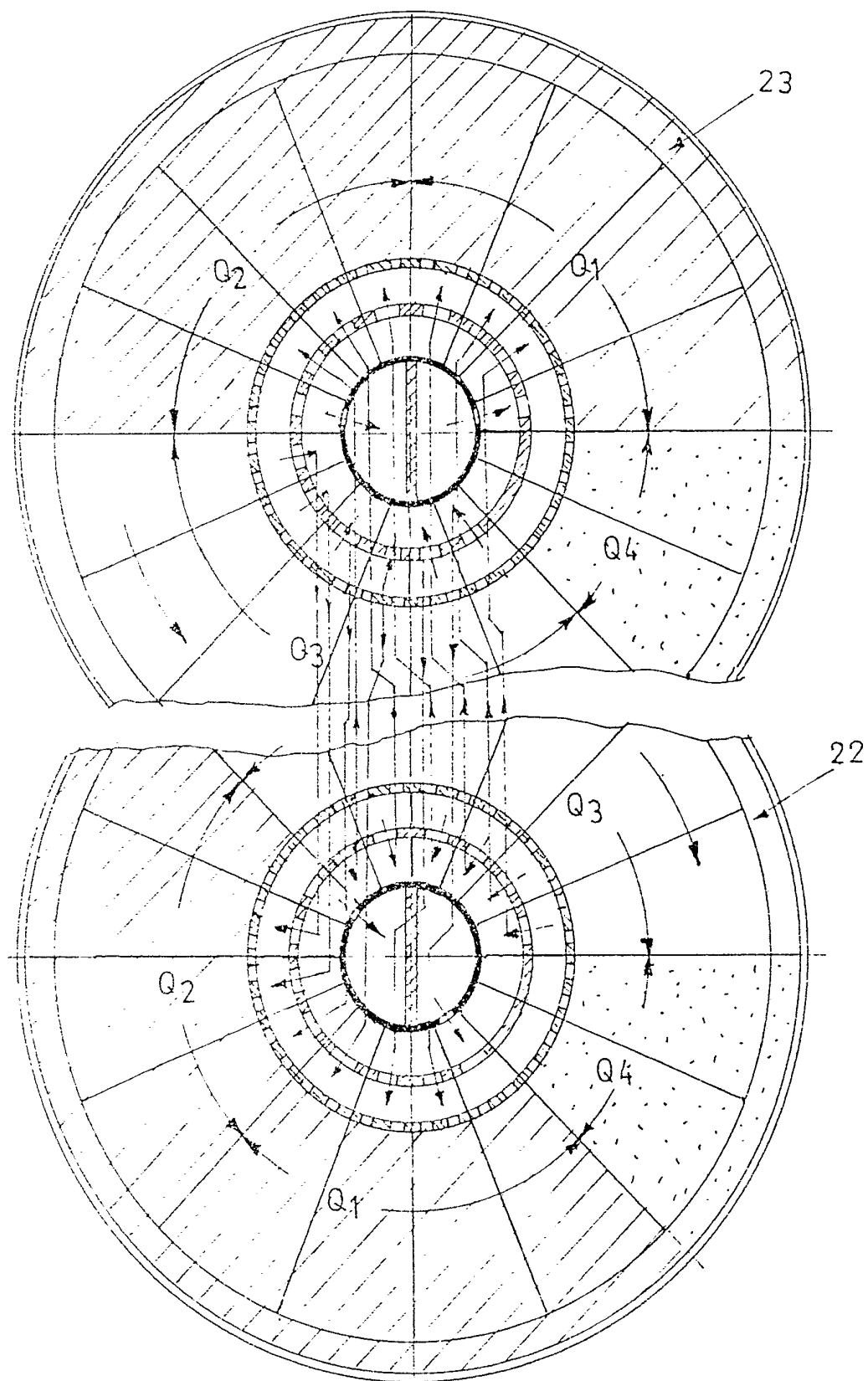


Fig. 3