



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤1 Int. Cl.<sup>3</sup>: C 22 B 21/02

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



**⑫ PATENTSCHRIFT A5**

⑪

**637 164**

②1 Gesuchsnummer: 6599/77

②2 Anmeldungsdatum: 27.05.1977

③0 Priorität(en): 28.05.1976 GB 22474/76

②4 Patent erteilt: 15.07.1983

④5 Patentschrift  
veröffentlicht: 15.07.1983

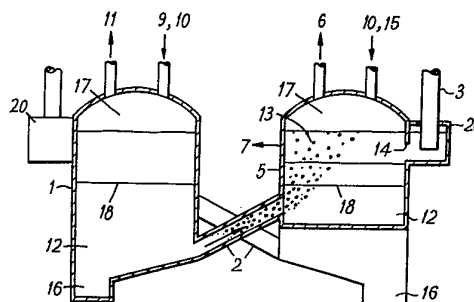
⑦3 Inhaber:  
Alcan Research and Development Limited,  
Montreal/Quebec (CA)

⑦2 Erfinder:  
Ernest William Dewing, Arvida/Quebec (CA)  
Jean-Paul Robert Huni, Kingston/Ontario (CA)  
Raman Radha Sood, Arvida/Quebec (CA)  
Frederick William Southam, Kingston/Ontario  
(CA)

⑦4 Vertreter:  
E. Blum & Co., Zürich

**⑤4 Verfahren zum Herstellen von Aluminium.**

⑤7 Bei der Herstellung von Aluminium durch eine karbothermische Umsetzung wird eine Schlacke aus schmelzflüssigem Aluminiumoxyd und Aluminiumkarbid durch mindestens einen Bereich (1) tiefer Temperaturen hindurchgeführt. In diesem Bereich (1) setzt sich C mit  $Al_2O_3$  um, wobei  $Al_4C_3$  entsteht. Die Schlacke wird auch durch mindestens einen Bereich (5) hoher Temperaturen hindurchgeführt, wobei sich  $Al_2O_3$  mit  $Al_4C_3$  umsetzt, wobei Al entsteht. Vorzugsweise wird im Bereich (1) tiefer Temperatur  $Al_2O_3$  zugeführt. Die für die Umsetzungen notwendige Wärme wird durch eine elektrische Widerstandsbeheizung der Schlacke in einer Leitung (2) durchgeführt. Diese Leitung (2) führt von jeweils einem Bereich (1) tiefer Temperatur zu jeweils einem Bereich (5) hoher Temperatur. Jede Leitung (2) verläuft nach oben geneigt. Die umlaufende Strömung der Schlacke wird durch die Gase bewirkt, die der Leitung (2) bei der Umsetzung von  $Al_2O_3$  mit  $Al_4C_3$  entstehen.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Herstellung metallischen Aluminiums, dadurch gekennzeichnet, dass ein umlaufender Strom einer geschmolzenen Aluminiumoxyd-Schlacke, die gebundenen Kohlenstoff in der Form mindestens von Aluminiumkarbid oder Aluminiumoxykarbid aufweist, erstellt wird, dass der Strom aus geschmolzener Aluminiumoxyd-Schlacke durch einen Bereich tiefer Temperatur und einen Bereich hoher Temperatur oder eine Folge abwechselungsweise angeordneter Bereiche tiefer Temperatur und hoher Temperatur geführt wird, wobei jeder Bereich tiefer Temperatur wenigstens bei einer Temperatur gehalten wird, die gleich oder höher als diejenige Temperatur ist, die für eine Umsetzung von Aluminiumoxyd mit Kohlenstoff notwendig ist, jedoch tiefer als jene Temperatur, die für eine Umsetzung von Aluminiumkarbid mit Aluminiumoxyd zur Freigabe von Al-Metall notwendig ist, dass der Strom geschmolzener Aluminiumoxyd-Schlacke vom Bereich tiefer Temperatur in einen Bereich hoher Temperatur übergeführt wird, welcher Bereich hoher Temperatur bei einer Temperatur gehalten ist, die gleich oder höher derjenigen Temperatur ist, die zur Umsetzung von Aluminiumkarbid mit Aluminiumoxyd zur Freigabe von Al-Metall notwendig ist, dass das Al-Metall, das bei dem Bereich hoher Temperatur frei wird, gesammelt und weggeführt wird, dass die geschmolzene Aluminiumoxyd-Schlacke vom Bereich hoher Temperatur zu einem nachfolgenden Bereich tiefer Temperatur weitergeführt wird, dass dem umlaufenden Strom Aluminiumoxyd-Schlacke im Bereich tiefer Temperatur Kohlenstoff zugeführt wird, dass dem umlaufenden Schlackenstrom bei wenigstens einer Stelle Aluminiumoxyd zugeführt wird und die entstehenden Gase weggeführt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom geschmolzener Aluminiumoxyd-Schlacke von einem Bereich tiefer Temperatur einem diesem nachfolgenden Bereich hoher Temperatur durch einen nach oben gerichteten Durchgang geleitet wird, wobei die Strömung der geschmolzenen Aluminiumoxyd-Schlacke durch den Durchgang mittels eines im Durchgang aufsteigenden Stromes Gasblasen erzeugt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Wärmeenergie dem umlaufenden Strom geschmolzener Aluminiumoxyd-Schlacke zugeführt wird, indem elektrischer Strom dem Strom Aluminiumoxyd-Schlacke zugeführt wird, der zwischen dem jeweiligen Bereich tiefer Temperatur und nachfolgendem Bereich hoher Temperatur strömt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die geschmolzene Aluminiumoxyd-Schlacke durch eine Folge von zwei Bereichen tiefer Temperatur und zwei Bereichen hoher Temperatur durchgeführt wird, dass zwischen einem Paar Elektroden elektrischer Strom durch die geschmolzene Aluminiumoxyd-Schlacke geleitet wird, welche Elektroden beide derart angeordnet sind, dass sie in den zwei Bereichen hoher Temperatur in elektrischem Kontakt mit der Schlacke sind, und dass der elektrische Widerstand der geschmolzenen Aluminiumoxyd-Schlacke zwischen einem Bereich tiefer Temperatur und dem nachfolgenden Bereich hoher Temperatur höher ist als der elektrische Widerstand der geschmolzenen Aluminiumoxyd-Schlacke zwischen einem Bereich hoher Temperatur und dem nachfolgenden Bereich tiefer Temperatur.

5. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die geschmolzene Aluminiumoxyd-Schlacke durch lediglich einen Bereich tiefer Temperatur und einen Bereich hoher Temperatur geführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass elektrischer Strom durch die geschmolzene Aluminiumoxyd-Schlacke zwischen einem Paar Elektroden geleitet wird, die in elektrischem Kontakt mit der Schlacke im Bereich tiefer Tempe-

ratur und im Bereich hoher Temperatur angeordnet sind, und dass der elektrische Widerstand der geschmolzenen Aluminiumoxyd-Schlacke im Durchgang, der vom Bereich tiefer Temperatur und zum Bereich hoher Temperatur führt, derart gewählt wird, dass er kleiner ist als der elektrische Widerstand der geschmolzenen Aluminiumoxyd-Schlacke im Rücklaufdurchgang vom Bereich hoher Temperatur zum Bereich tiefer Temperatur.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die geschmolzene Aluminiumoxyd-Schlacke in einem Bereich hoher Temperatur durch einen Bereich zur Gewinnung des Erzeugnisses geleitet wird, wobei zugelassen wird, dass das aus der Schlacke freigesetzte Aluminium im Bereich zur Gewinnung des Erzeugnisses eine überstehende Schicht erzeugt metallenen Aluminiums bildet, und dass in zeitlichen Abständen gewonnenes metallenes Aluminium aus der Schicht entnommen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass geschmolzene Aluminiumoxyd-Schlacke durch eine Folge aus zwei Bereichen tiefer Temperatur und zwei Bereichen hoher Temperatur geleitet wird, dass elektrischer Strom durch die geschmolzene Aluminiumoxyd-Schlacke zwischen einem Paar Elektroden geleitet wird, die beide in elektrischem Kontakt mit der Schlacke in den beiden Bereichen tiefer Temperatur sind, und dass der elektrische Widerstand der geschmolzenen Aluminiumoxyd-Schlacke zwischen einem Bereich tiefer Temperatur und dem nachfolgenden Bereich hoher Temperatur höher gewählt wird als der elektrische Widerstand der geschmolzenen Aluminiumoxyd-Schlacke zwischen einem Bereich hoher Temperatur und dem nachfolgenden Bereich tiefer Temperatur.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens die im Bereich hoher Temperatur freiwerdenden Gase, die einen grösseren Anteil Kohlenmonoxyd, gemischt mit einem kleineren Anteil von dampfförmigem Aluminium und Aluminium-Suboxyd aufweisen, durch ein Bett geleitet werden, das grösstenteils aus Kohlenstoff besteht und kein dazugemischtes Aluminiumoxyd aufweist, derart, dass der Dampf aus Aluminium und Aluminium-Suboxyd kondensiert und sich wenigstens zum Teil mit dem Kohlenstoff umsetzt.

9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine erste und eine zweite Kammer, welche erste Kammer zur Aufnahme einer Menge schmelzflüssiger Schlacke aus Aluminiumoxyd und gebundenem Kohlenstoff in Form von mindestens Aluminiumkarbid und/oder Aluminiumoxykarbid bestimmt ist, durch Mittel um Kohlenstoff-Beigabematerial in die erste Kammer einzuführen, welche zweite Kammer zur Aufnahme einer Menge der schmelzflüssigen Schlacke bestimmt ist, durch Mittel um Aluminiumoxyd-Beigabematerial wenigstens einer der Kammern zuzuführen, durch Mittel um Gas aus der ersten und der zweiten Kammer abzuführen, durch eine Strömungsleitung für die Schlacke, die von der ersten Kammer zur zweiten Kammer nach oben geneigt verlaufenden Abschnitt aufweist, wobei in jeder Kammer wenigstens eine Elektrode angeordnet ist, um elektrischen Strom durch die sich in der Strömungsleitung befindliche Schlacke zu führen, um dieser damit Wärmeenergie zuzuführen, durch eine von der zweiten zur ersten Kammer führende Rücklaufleitung für die Schlacke, die relativ zur Strömungsleitung derart bemessen ist, dass die die Rücklaufleitung ausfüllende Schlacke einen höheren elektrischen Widerstand als die die Strömungsleitung ausfüllende Schlacke aufweist, und durch Mittel, die dazu dienen, das metallische Aluminium zu sammeln und aus der zweiten Kammer abzuführen.

10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach

Anspruch 1, gekennzeichnet durch vier aufeinanderfolgende Kammern, die zur Aufnahme einer Menge schmelzflüssiger Schlacke aus Aluminiumoxyd und gebundenem Kohlenstoff in Form von mindestens Aluminiumkarbid und/oder Aluminiumoxykarbid bestimmt sind, durch Mittel um Kohlenstoff-Beigabematerial in die erste und dritte Kammer einzuführen, durch Strömungsleitungen für die Schlacke, die von der ersten bzw. dritten Kammer zur zweiten bzw. vierten Kammer verlaufen und jeweils einen nach oben geneigt verlaufenden Auslassendabschnitt aufweisen, durch Rücklaufleitungen für die Schlacke, die jeweils von einem unteren Bereich der zweiten bzw. vierten Kammer aus verlaufen, die relativ zu den Strömungsleitungen derart bemessen sind, dass die die Rücklaufleitungen ausfüllende Schlacke einen kleineren elektrischen Widerstand als die die Strömungsleitungen ausfüllende Schlacke aufweist, durch eine Vorrichtung, die dazu dient, wenigstens eine Kammer mit Aluminiumoxyd zu beschicken, durch voneinander entfernte Elektroden, die derart angeordnet sind, dass sie die Schlacke berühren, um durch die Schlacke elektrischen Strom hindurchzuleiten, durch Mittel, um aus jeder Kammer Gas abzuführen und durch Mittel, die dazu dienen, das metallische Aluminium in der zweiten und vierten Kammer zu sammeln und daraus abzuführen.

Die Erfindung betrifft die Herstellung von Aluminium mittels der direkten Reduktion von Aluminiumoxyd mittels Kohlenstoff.

Die direkte karbothermische Reduktion von Aluminiumoxyd ist in den US-Patentschriften Nr. 2 829 961 und 2 974 032 beschrieben worden und weiter sind die dazugehörigen wissenschaftlichen Unterlagen bezüglich der Chemie und der Thermodynamik des Verfahrens gut bekannt (P.T. Stroup, Trans. Met. Soc. AIME, 230, 356-72 (1964), W.L. Worrell, Can. Met. Quarterly, 4, 87-95 (1965), C.N. Cochran, Metal-Slag-Gas Reactions and Processes, 299-316 (1975), und anderer darin genannter Literaturstellen). Jedoch ist noch nie ein auf diesen Grundlagen beruhender kommerzieller Prozess durchgeführt worden, was zum grössten Teil daher stammt, dass das Einführen der notwendigen Wärme in die Umsetzung und die Handhabung der äusserst heissen Gase, die grosse Anteile von Aluminiumwerten aufweisen, die in der Umsetzung erzeugt werden, grosse Schwierigkeiten bereiten. Beispielsweise benötigt das Verfahren gemäss der US-Patentschrift 2 974 032, dass die umzusetzende Mischung von oben mittels einem freien Lichtbogen von Kohlenstoffelektroden erwärmt wird; dadurch ist ein übermässiges lokales Überhitzen unvermeidbar, womit das Problem der Verqualmung erhöht wird und gleichzeitig weisen offene Lichtbögen einen kleinen elektrischen Wirkungsgrad auf, und die Kohlenstoffelektroden sind einer äusserst aggressiven Umgebung ausgesetzt.

Es ist schon seit langem erkannt worden (US-Patentschrift Nr. 2 829 961), dass die Umsetzung



stattfindet oder durchgeführt werden kann, welches in zwei Schritten durchgeführt wird:



und



Aufgrund der tieferen Temperatur und kleineren thermodynamischen Aktivitäten des Aluminiums, bei welcher die Umsetzung (ii) stattfinden kann, ist die Konzentration von Abgasen (in der Form von gasförmigem Al und gasförmigem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), die durch das Gas, das von der Umsetzung (ii) herührt, weggetragen wird, wenn diese bei einer Temperatur durchgeführt wird, viel kleiner als diejenige, welche im Abgas weggeführt wird, bei einer Temperatur, die für die Umsetzung (iii) zweckdienlich ist; weiter ist das Volumen von  $\text{CO}$ , das durch die Umsetzung (iii) frei wird, nur halb so gross wie dasjenige der Umsetzung (ii).

Beide oben erwähnten Schritte der Umsetzung verlaufen endothermisch, und aus bestehenden Messwerten geht hervor, dass die Energie, die für jede der zwei Schritte verwendet wird, dieselbe Grössenordnung aufweist.

Ziel der Erfindung ist, ein kommerziell durchführbares Verfahren der eingangs genannten Herstellung von Aluminium zu schaffen.

Das erfindungsgemässe Verfahren ist durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1 gekennzeichnet.

Der Bereich tiefer Temperatur wird vorteilhaft wenigstens bei einer Temperatur gehalten, die gleich oder grösser ist als diejenige, die für die Umsetzung (ii) notwendig ist, jedoch unterhalb derjenigen, die für die Umsetzung (iii) notwendig ist. Der Bereich hoher Temperatur wird vorteilhaft wenigstens bei einer Temperatur gehalten, die gleich oder höher als diejenige Temperatur ist, die für die Umsetzung (iii) notwendig ist.

Die Zugabe von Aluminiumoxyd in den umlaufenden Strom kann bei derselben Stelle durchgeführt werden, bei welcher Kohlenstoff zugeführt wird oder kann auch bei einer anderen, davon entfernten Stelle, zugeführt werden. Es ist offensichtlich, dass die schmelzflüssige Schlacke durch einen Bereich tiefer Temperatur hindurchströmen kann und einen Bereich hoher Temperatur, oder dass sie durch eine Anordnung hindurchströmen kann, die eine Folge abwechselungsweise angeordneter Bereiche tiefer Temperatur und hoher Temperatur aufweist. Sogar wenn eine Folge von abwechselungsweise angeordneten Bereichen tiefer Temperatur und Bereichen hoher Temperatur vorhanden sind, ist es möglich, das Aluminiumoxyd an einer einzigen Stelle hinzuzugeben.

Währenddem es möglich ist, das Verfahren nach der Erfindung derart durchzuführen, dass die schmelzflüssige Aluminiumoxyd-Schlacke im gleichen Gefäss zwischen Bereichen tiefer und hoher Temperatur zum Umlaufen gebracht wird, ist es allgemein bevorzugt, dass diese Bereiche in unterschiedlichen Gefässen gebildet werden, so dass das Kohlenmonoxyd, das anlässlich der Umsetzung (iii) frei wird, von demjenigen, das während der Umsetzung (ii) frei wird, getrennt abgeführt werden kann, um damit den Verlust an gasförmigem Aluminium und Aluminium-Suboxyd zu vermindern.

Das erzeugte Aluminium und wenigstens ein grösserer Anteil der bei der Umsetzung (iii) freiwerdenden Gase werden mit Vorteil von der schmelzflüssigen Schlacke mittels Schwerkrafteinwirkung entfernt, indem zugelassen wird, dass diese im Bereich hoher Temperatur durch die geschmolzene Schlacke aussteigen können, so dass das erzeugte Aluminium sich als eine überstehende Schicht auf der Schlacke ansammelt und dass das freiwerdende Gas gegen einen Gasaustrittskanal strömt, der zu einer Vorrichtung führt, die die Abgase entfernt.

Es gibt drei Gründe, welche die Zufuhr von Wärmeenergie in die Anordnung bedingen; (a) um die Umsetzung (ii) zu unterstützen, (b) um die Umsetzung (iii) zu unterstützen und (c) um Wärmeverluste auszugleichen. Die für (a) notwendige Wärmemenge kann durch die Eigenwärme der Schlacke,

wenn diese in den Bereich tiefer Temperatur eintritt, entnommen werden. Wenn die Wärmeverluste im Abschnitt der Anordnung, der zwischen der Stelle von Aluminium- und Gaserzeugung zum Bereich tiefer Temperatur verläuft, genügend vermindert werden kann, ist es möglich, dass es nicht notwendig ist, dem Schlackenstrom, der durch diesen Abschnitt der Anlage strömt, zusätzliche Energie zuzuführen, weil er bereits eine genügend grosse Eigenwärme aufweist. In fast allen Fällen, bei welchen eine elektrische Widerstandsheizung verwendet wird, wird in diesem Teil der Anlage Wärme erzeugt und dieses kann dazu dienen, die Wärmeenergie, die zur Aufrechterhaltung der Umsetzung (ii) zur Verfügung steht zu vergrössern.

Im Bereich tiefer Temperatur wird bei derjenigen Stelle, bei welcher Kohlenstoff dem Schlackenstrom zugeführt wird, ein starker Temperaturabfall auftreten, der durch die endothermische Umsetzungswärme der Umsetzung (ii) begründet ist. Es ist notwendig, die Temperatur der Schlacke, währenddem sie von dieser Stelle zum Bereich hoher Temperatur strömt, zu erhöhen, und daher wird vorteilhaft der grösste Anteil oder die gesamte, notwendige Energie der Schlacke während dieses Fortbewegungsschrittes und auch während der Fortbewegung der Schlacke durch den Bereich hoher Temperatur bis zum Ende des Abschnittes der Erzeugung von Al und Gas zugeführt. Die Zufuhr der Energie kann grösstenteils einfach durchgeführt werden, indem ein elektrischer Strom durch die Schlacke hindurchgeführt wird. Am einfachsten besteht ein fortlaufender Stromdurchgang durch die Schlacke, wobei die physikalische Ausbildung des Schlackenstromes derart gewählt ist, dass die grösste Freigabe von Wärmeenergie im Bewegungspfad der Schlacke von der Stelle tiefster Temperatur im Bereich tiefer Temperatur bis zum Ende der Stelle, bei welcher Al und Gas erzeugt wird, stattfindet.

Gemäss einem bevorzugten Verfahren einer Ausführung der Erfindung wird eine Umlaufbewegung der geschmolzenen Schlacke zwischen den Bereichen, in welchen die Umsetzungen (ii) und (iii) stattfinden, erzeugt, wobei die Umsetzung (ii) die Schlacke an  $Al_4C_3$  bereichert und die Umsetzung (iii) diese bei gleichzeitiger Freigabe von Metall abreichert, wobei die Blasen, die während der Umsetzung (iii) frei werden, als Pumpe zum Hochbringen des Gases verwendet werden. Mit Vorteil sind die Bereiche zur Durchführung der Umsetzungen (ii) und (iii) physikalisch voneinander entfernt angeordnet, jedoch kann als mögliche, jedoch weniger wünschenswerte Alternative, die Umsetzungen (ii), (iii) in verschiedenen Bereichen eines einzelnen Gefässes durchgeführt werden, wobei die elektrisch erwärmte, geschmolzene Schlacke zwischen diesen verschiedenen Bereichen mittels Gashub und/oder thermischer Konvektion zum Umlaufen gebracht wird.

Nachfolgend wird der Erfindungsgegenstand anhand der Zeichnungen beispielsweise näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 einen Betriebsumlauf eines vorgezogenen Verfahrens zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens,

Fig. 2 und 3 je eine vereinfachte Draufsicht und Seiteneinsicht einer einfachen Ausbildungsform einer Anlage zur Durchführung des Betriebsumlaufes der Fig. 1,

Fig. 4 eine vereinfachte Ansicht einer geänderten Ausführungsform der Anlage,

Fig. 5 eine vereinfachte Seiteneinsicht der Anlage der Fig. 4 mit dazugehörigen Gasreinigungsgliedern,

Fig. 6 eine vereinfachte Ansicht von hinten auf die Anlage der Fig. 4,

Fig. 7 und 8 je eine vereinfachte Draufsicht und Seitenansicht eines abgeänderten Ausführungsbeispiels gemäss den Fig. 4 bis 6,

Fig. 9 und 10 je eine vereinfachte Draufsicht und Seitenansicht einer weiteren Anlage zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens,

Fig. 11 eine Seitenansicht einer weiteren Ausführungsform der Anlage der Fig. 4 bis 6,

Fig. 12 und 13 je eine Draufsicht und eine Seitenansicht auf ein noch weiteres Ausführungsbeispiel der Anlage der Fig. 4 bis 6,

Fig. 14 eine Seitenansicht einer noch weiteren Ausführung der Anlage der Fig. 4 bis 6,

Fig. 15 und 16 eine Draufsicht und eine Seitenansicht der Anlage der Fig. 4 bis 6 mit einer geänderten Anordnung der Elektroden,

Fig. 17 eine Draufsicht auf eine Anlage mit einer noch weiteren geänderten Anordnung der Elektroden,

Fig. 18 eine Draufsicht auf eine Anlage, die zum Betrieb mit einem Dreiphasenwechselstrom ausgebildet ist, und

Fig. 19A und 19B je ein Temperaturprofil und ein Profil der elektrischen Energiezufuhr der Anlage der Fig. 2 und 3.

Die Grundlagen des Verfahrens sind aus der Fig. 1 ersichtlich, in welcher Figur die Zustände eines typischen Betriebsumlaufes überlagert sind, mit einem Phasendiagramm des Systems  $Al_2O_3 - Al_4C_3$ . Die Linie ABCD gibt die Grenze zwischen den festen und flüssigen Phasen an. Die Linie EF gibt die Zustände der Temperatur und Zusammensetzung, die für die Umsetzung (ii) notwendig ist, um dabei unter einem Druck von 1 Atmosphäre zu arbeiten, und die Linie GH gibt die Zustände von Temperatur und Zusammensetzung an, die notwendig sind, dass die Umsetzung (iii) bei einem Druck von 1 Atmosphäre durchführbar ist. Es ist offensichtlich, dass die Lage der Linien EF und GH bei zunehmendem Druck nach oben verschoben sein wird.

Die geschmolzene Schmelze, nachdem sie vom erzeugten Al- und CO-Gas (unter einem insgesamt Druck von 1 atm) getrennt worden ist, weist eine Temperatur und Zusammensetzung auf, die beim Punkt U vorherrscht. Sobald ein Zusammentreffen mit dem zugeführten Kohlenstoff im Umsetzungsbereich (ii) tiefer Temperatur stattfindet, findet die Umsetzung (ii) statt, womit die Schlacke an  $Al_4C_3$  bereichert und ihre Temperatur erniedrigt wird, (weil die Umsetzung endothermisch ist) bis der Zustand gemäss des Punktes V erreicht ist. Dann wird die angereicherte Schlacke vom Bereich der Umsetzung (ii) tiefer Temperatur erwärmt. Die Umsetzung (iii) beginnt beim Bereich hoher Temperatur, wobei CO und Al frei werden, wenn der Umsetzungsdruck der Flüssigkeit dem örtlichen statischen Druck gemäss dem Punkt X entspricht; nachher wird die Zufuhr an Wärme und/oder die Verminderung des örtlichen statischen Druckes weitergeführt (aufgrund des aufsteigenden Gemisches aus Flüssigkeit und Gas), was bewirkt, dass die Umsetzung (iii) stattfindet, wobei der  $Al_4C_3$ -Anteil der Schlacke abnimmt. Unter gleichförmigem Betrieb kehren die Bedingungen wieder zu den Werten des Punktes U zurück. Es ist offensichtlich, dass, um dieses Ergebnis zu erreichen, der zugeführte Massenstrom der Rohstoffe, die Zufuhr an Energie und das Ausmass des Umlaufens ausgeglichen sein müssen. Der Betriebsumlauf, der durch das Dreieck UVX dargestellt ist, ist idealisiert und die Werte, die den Punkten U und V der Fig. 1 entsprechen, sind nur eine mögliche Kombination von Betriebswerten.

Es ist wünschenswert, derart zu arbeiten, dass der Wert des Punktes U so nahe als möglich dem Wert des Punktes H liegt, um die Temperatur des freiwerdenden Gases so niedrig als möglich zu halten und folglich den Anteil an Abgasen so tief als möglich zu halten. Sobald jedoch der Versuch gemacht wird, den Punkt V bei einer Stelle zu halten, wo die Zusam-

mensetzung zu viel  $Al_4C_3$  aufweist, d.h. über dem Punkt F, kann festes  $Al_4C_3$  aus der Schlacke ausfallen, und dies kann unerwünscht sein.

Obwohl das Aluminiumoxyd zusammen mit dem Kohlenstoff den Bereich der Umsetzung (ii) zugeführt werden kann, ist dies nicht notwendigerweise der Fall. Aluminiumoxyd kann dem Bereich zugeführt werden, der Al-Metall enthält, wobei es möglich ist, eine vorteilhafte Abnahme der in Metall gelösten Menge  $Al_4C_3$  zu erhalten. Weil das Aluminiumoxyd dichter ist, wird es durch jede überstehende Schicht geschmolzenen Metalls in die geschmolzene Schlacke strömen. Falls die Aluminiumoxyd-Charge nicht vollständig vorgewärmt ist, ist es vorzuziehen, Wärme in der Schlacke während ihrer Rückkehr vom Bereich der Umsetzung (ii) zu erzeugen, um den daraus ergebenden Temperaturabfall auszugleichen.

Um die praktische Anwendung des Verfahrens zu erklären, sind die wesentlichsten Eigenschaften des Umlaufbetriebes vereinfacht in den Fig. 2 und 3 gezeigt. Geschmolzene Schlacke, welche den Bereich (A) der Umsetzung (ii) mit einer Temperatur im Bereich von beispielsweise 1950 bis 2050°C verlässt, ist mit  $Al_4C_3$  angereichert worden und tritt in einen allgemein U-förmigen Heizkanal (HD) ein, in welchem sie mittels eines elektrischen Stromes, der zwischen den zwei Elektroden (E) strömt, einer Widerstandserwärmung ausgesetzt wird. Währenddem die Flüssigkeit entlang des Kanals (HD) strömt, wird ihre Temperatur erhöht bis zu einem Wert, bei welchem die Umsetzung (iii) (ungefähr 2050 bis 2150°C, abhängig von der Zusammensetzung der Schlacke und dem örtlichen Druck) beginnen kann. Bei dieser Stelle kann die Schlacke als in den Bereich hoher Temperatur, der bereits erwähnt wurde, eintretend bezeichnet werden. Von dieser Stelle an, während ihres Durchströmens zum Bereich (C) der Gewinnung des Erzeugnisses, bewirkt die Energie, dass die Umsetzung (iii) durchgeführt wird, wobei Gasblasen und metallische Tropfen (B) erzeugt werden. In diesem Bereich sollte der Kanal vertikal verlaufen oder die Strömungsrichtung nach aufwärts geneigt verlaufen, so dass es möglich ist, dass die aufsteigenden Blasen als Pumpe wirken. Im Bereich der Gewinnung des Erzeugnisses (C) wird Gas beim Gasaustritt (GE) entfernt und flüssiges Al sammelt sich oben in der geschmolzenen Schlacke an und kann bei der Entnahmestelle (TO) entfernt werden. Das flüssige Al hat einen grossen Anteil an gelöstem  $Al_4C_3$ . Jedoch sind die Verfahren, um flüssiges Al vom  $Al_4C_3$  zu befreien, bekannt und bilden keinen Teil der vorliegenden Erfindung. Der Bereich, in welchem die Umsetzung (iii) stattfindet, ist daher im wesentlichen durch den ansteigenden Teil des Heizkanals (HD) gebildet, obwohl eine weitere Umsetzung im Bereich (C) der Gewinnung des Erzeugnisses stattfinden kann, weil der statische Druck der ansteigenden Schlacke weiter fällt. Die Schlacke, die nun frei von  $Al_4C_3$  ist, jedoch im wesentlichen immer noch eine Temperatur, die dem Punkt U der Fig. 1 entspricht, aufweist, tritt in den Rückkehrkanal (RD) ein, der, weil er elektrisch parallel mit dem Heizkanal (HD) ist, derart bemessen ist, dass er einen grösseren elektrischen Widerstand aufweist als der Heizkanal (HD), so dass er weniger Strom aufnimmt. Sobald die Schlacke im Bereich (A) der Umsetzung bei niedriger Temperatur (ii) erreicht, bei welchem der Kohlenstoff (CR) und das Aluminiumoxyd (AR) zugegeben wird, setzt er sich mit diesem um, weil seine Temperatur höher ist als diejenige, die einem Gleichgewichtszustand entspricht; die Enthalpie der endothermischen Umsetzung wird durch ein Kühlen der Flüssigkeit zugeführt. Das aus der Umsetzung (ii) hervorgehende Gas wird im Bereich (A) erzeugt und tritt bei einem zweiten Gasauslass (GE 2) aus.

Aluminiumkarbid, das demzufolge vom Metall, das als Erzeugnis entfernt wird, getrennt ist, wird der Anlage mit

Vorteil beim Bereich (C) der Gewinnung des Erzeugnisses zurückgegeben, weil des unweigerlich Metall enthält, das zurückgewonnen werden sollte.

Obwohl es im allgemeinen vorteilhaft sein wird, die Anlage in, in welchen die Umsetzungen (ii) und (iii) durchgeführt werden, voneinander getrennt auszubilden, können Fälle auftreten, bei welchen der einfache Aufbau einer Anlage, in welcher beide Umsetzungen in einem einzigen Gefäss zusammen durchgeführt werden kann, die Nachteile überwiegt. In einem solchen Fall kann die Schlacke immer noch durch Wärmedruckwiderstand erwärmt werden, und sie kann immer noch zum Umlaufen gebracht werden, entweder mittels Gashub oder wenn der statische Druck zu hoch ist, um die Erzeugung von Blasen zuzulassen, durch thermische eingeführte Konvektion. Beispielsweise kann die Widerstandserwärmung durchgeführt werden, indem ein Strom zwischen übereinander angeordneten Elektroden, die in die Schlacke eintauchen, durchgeführt wird.

Vom elektrischen Standpunkt aus gesehen, weist die Zufuhr von Energie mittels Widerstandserwärmung sehr wichtige Vorteile auf. Weil der flüssige Widerstand der mittels eines Körpers von geschmolzener Schlacke gebildet ist, derart ausgebildet sein kann, dass er einen beträchtlich hohen elektrischen Widerstand aufweist, arbeitet er unter einer höheren Spannung und kleinerem Strom (entweder Wechselstrom oder Gleichstrom) als Lichtbogenöfen mit selber Energieaufnahme; kleine Leistungsfaktoren werfen keine Probleme auf; und die Wärme wird in der Schlacke erzeugt, wo sie auch notwendig ist, so dass keine Schwierigkeiten bezüglich einer Überführung von Wärme oder eines Wärmedurchganges auftreten, und die Wärmeverluste sind vermindert. Ein Überhitzen der Bereiche, bei welchen die Umsetzung stattfindet, ist verhindert, so dass zusätzlich eine vorteilhafte Wirkung auftritt, nämlich die Verminderung der Erzeugung von Abgasen, wenn mit dem bereits erwähnten Lichtbogenverfahren verglichen wird. Auch können die Elektroden unter viel günstigeren Zuständen arbeiten; sie tragen einen kleineren Strom und können in einer Umgebung angeordnet werden, die viel weniger aggressiv bzw. korrosiv ist. Wenn sie in denjenigen Bereichen angeordnet werden, bei welchen die Umsetzung (ii) stattfindet, ist die Temperatur verhältnismässig tief, und das Gas enthält nur kleine Mengen von aggressiven bzw. korrosiven Anteilen, ein örtlicher Überschuss an Kohlenstoff kann beibehalten werden, indem Kohlenstoff um die Elektroden herum zugeführt wird, und damit besteht eine kleine Möglichkeit, dass die Elektroden selbst überhaupt angegriffen werden. Wenn sie andererseits in denjenigen Bereichen angeordnet sind, wo sich das erzeugte Al-Metall ansammelt, können sie in einem verhältnismässig kühlen Bereich an der Seite angeordnet werden, wobei die elektrische Verbindung mit der Schlacke durch das flüssige Al-Metall hergestellt ist. In der Darstellung der Fig. 2 und 3 sind beide Stellungen der Elektroden als Stellungen für die Elektroden E verwendet.

Trotz der bereits erwähnten Verminderung des Abgasproblems durch das Verfahren gemäss der vorliegenden Erfindung verbleibt dennoch eine Schwierigkeit. Frühere Versuche (z.B. kanadische Patentschrift Nr. 798 927), um einen Abgasverlust zu vermindern, indem das freiwerdende CO mit dem zugeführten Kohlenstoff und die Aluminiumoxyd-Charge in einem karbothermischen Umsetzungsverfahren in Berührung zu bringen, sind in Schwierigkeiten geraten, weil das Aluminiumoxydkarbid, das dadurch entstand, durch die Umsetzung mit Kohlenstoff flüssig wurde, und  $Al_2O_3$  macht die Charge klebrig. Es ist vorgeschlagen worden, gemäss eines vorgezogenen Ausführungsbeispiels des Verfahrens, den Kohlenstoff und das Aluminiumoxyd getrennt mit dem Gas in Berührung zu bringen;  $Al_4C_3$ , das durch die Umsetzung zwi-

schen Kohlenstoff und verdampftem Al gebildet wird, ist bei der vorhandenen Temperatur fest und nicht klebrig. Daher wird das Gas zuerst mit dem Kohlenstoff in Berührung gebracht, welches das Aluminium-Suboxyd und den Al-Metallampf aus dem Gas entfernt. Das somit gereinigte Gas wird dann verwendet, um den zugeführten Aluminiumoxyd-Stoff zu berühren und vorzuwärmen. Indem der Kohlenstoff und die Aluminiumoxyd-Komponenten getrennt gehalten werden, ist es auch möglich, diese zwei Stoffe, wie es oben schon beschrieben wurde, an getrennten Stellen der Anlage zuzuführen. Um eine grösstmögliche Wärmeökonomie zu erreichen, kann der zugeführte Kohlenstoff aus ungeröstetem Koks oder Kohlenstoffteilchen zusammengesetzt sein, und das zugeführte Aluminiumoxyd kann hydratisiertes, d.h. gewässertes Aluminiumoxyd sein, so dass die Eigenwärme des Kohlenmonoxydes verwendet werden kann, um diese Stoffe zu rösten. Aus diesem Grund kann, falls es notwendig ist, ein Teil des CO verbrannt werden.

Der Umsatzbereich (ii) weist mit Vorteil einen Sumpf auf, so dass irgendwelche Anteile, die dichter sind als die flüssige Schlacke, gesammelt und von der Anlage entfernt werden können. Dieses ermöglicht, dass wenigstens ein Teil irgendwelcher metallischer Verunreinigungen (beispielsweise Fe oder Si), die in der Charge eingeführt werden, in der Form einer Fe-Si-Al-Legierung entfernt werden können. Es kann in der Tat notwendig sein, dass Eisen oder Eisenzusammensetzungen hinzugefügt werden müssen, so dass die Legierung, die gebildet wird, eine genügend grosse Dichte aufweist, dass sie absinkt.

In den Figuren 4 und 6 wird ein Strom der geschmolzenen Schlacke 12 durch eine Anlage geleitet, welche Kammern zur Zufuhr von Stoffen [Umsatzbereiche (ii)] 1, Kammern 5 zur Gewinnung des Erzeugnisses, U-förmige Leitungen 2 zur Widerstandserwärmung, wobei deren Auslassenden 4 als Teile der Umsatzbereiche (iii) hoher Temperatur dienen, und Rückführleitungen 8, welche den Endabschnitt der Bereiche hoher Temperatur bilden und welche, weil sie elektrisch in Serie mit den Heizleitungen 2 sind, eine grössere Querschnittsfläche oder eine kürzere Länge als diese Erwärmungsleitungen aufweisen. Daher weisen die Rückführleitungen 8 einen verhältnismässig tiefen elektrischen Widerstand auf, wenn sie mit dem umlaufenden Strom der geschmolzenen Schlacke 12 gefüllt sind und die Wärmezeugung ist vermindert. Die Einlassenden der Leitungen 8 sind unterhalb der untersten Grenze des Al-Metall 13 angeordnet, das auf der geschmolzenen Schlacke 12 schwimmt. Die Elektroden 3 sind in seitlich angeordneten Schächten 20 bei den Gewinnungskammern 5 angeordnet, wobei sie darart angeordnet sind, dass sie das geschmolzene Al-Erzeugnis 13 berühren. Trennwände 14 dienen dazu, dass die Temperatur des Metalls 13 kleiner ist als die Temperatur innerhalb der seitlichen Schächte 20, und auch um zu verhüten, dass Gas, das bei der Umsetzung (iii) frei wird, (welches durch die Kammer 5 zur Gewinnung des Erzeugnisses strömt), die Elektroden 3 erreicht, so dass der Angriff auf die Elektroden mittels des Anteiles an Al und  $Al_2O_3$  im Abgas kleiner wird. Die Kammern 1 und 5 weisen Gasauslassleitungen 6, 11 auf, um die beträchtlich grossen Volumen an frei werdendem Kohlenmonoxyd wegzuführen. Es ist offensichtlich, dass die Grenze zwischen den Bereichen kleiner Temperatur und den Bereichen grosser Temperatur an Stellen in der Leitung 2 liegen, bei welchen die Umsetzung (iii) beginnt und an den Stellen, bei welchen die Leitungen 8 in die Kammern 1 eintreten.

Das Gas, welches mittels der Gasleitungen 6 und 11 weggeführt wird, wird zuerst in einen ersten Gasreiniger 40 geleitet, in welchem es durch körnigen Kohlenstoff strömt. Neues Kohlenstoffmaterial, welches entweder Kohle oder «grüner»

Koks sein kann, wird dem Reiniger 40 durch den Einlass 41 zugeführt und bewegt sich durch den Reiniger im Gegenstrom zum Gasstrom. Kohlenstoff, der mit Aluminiumkarbid oder anderen Aluminium aufweisenden Verbindungen, die aus dem Gas kondensiert sind, angereichert ist, wird mittels Zuführleitungen 9 den Kammern 1 zur Zufuhr der Stoffe zugeleitet.

Nachdem das Gas durch den ersten Reiniger 40 hindurchgeströmt ist, wobei es immer noch eine sehr hohe Temperatur aufweist, tritt es in einen zweiten Reiniger 42 ein, der Aluminiumoxyd aufweist mit dem Zweck, das der Anordnung zugeführte Aluminiumoxyd vorzuwärmen. Aluminiumoxyd vom Bett Aluminiumoxyd im Reiniger 42 wird mittels Zuführleitungen 10 in die Kammern 1 und/oder 5 eingeführt. Frisches Aluminiumoxyd, welches in der Form von Aluminiumoxyd-Trihydrat sein kann, wird mittels des Einlasses 43 dem Reiniger 42 zugeführt und durchläuft den Reiniger im Gegenstrom zum Gasstrom, welches Gas durch die Auslassleitung 44 weggeführt wird. Dann strömt das Gas durch Wärmetauscher einem Gashalter oder einer Gas brennenden Vorrichtung zu, um die Wärmeenergie zurückzugewinnen und um das Kohlenmonoxyd und brennbare Stoffe (falls vorhanden) vom zugeführten Kohlenstoff zu verbrennen.

Aluminiumkarbid, das vom erzeugten Aluminium zurückgewonnen wird, wird von einer Speicherstelle mittels der Leitung 15 den Aufnahmekammern 5 wieder zugeführt.

In allen Figuren, ausgenommen der Fig. 5, sind die Leitungen 9 und 10, die in die Kammern 1 münden, und die Leitungen 10 und 15, die in die Kammern 5 münden, aus Einfachheit als einzelne Leitung gezeichnet.

Wie es bereits erklärt wurde, wird Energie der Anlage zugeführt, indem elektrischer Strom durch Strompfade, die zwischen den Elektroden 3 vorherrschen, durch die geschmolzene Schlacke 12 geführt.

Das Behältnis der flüssigen Schlacke wird dadurch gebildet, indem innerhalb einer Stahlschale eine Auskleidung von erstarrter Schlacke gebildet wird, wie es bei der Aluminiumindustrie, bei welcher mit geschmolzenem Aluminiumoxyd gearbeitet wird, bekannt ist, wobei es in dieser Industrie ebenfalls bekannt ist, zu diesem Zweck wassergekühlte Stahlschalen zu verwenden. Es ist jedoch trotzdem empfehlenswert, um die Sicherheit der Anlage sicherzustellen und um die Möglichkeit, dass geschmolzene Schlacke hindurchbricht, zu verhindern, folgende Ausbildungen zu verwenden:

1. Zwei doppelte und vollständig voneinander unabhängig arbeitende Wasserkühlanlagen, die aus Sprühstrahlen bestehen, die auf die Stahlschalen auftreffen, wobei jede dieser Anlage grösser bemessen sein muss als rechnerisch notwendig, um die notwendige Auskleidung erstarrter Schlacke beizubehalten, und wobei zu jeglichem Zeitpunkt nur eine in Betrieb ist.

2. Infrarotstrahlungsdetektoren oder irgendwelche andere Temperaturfühler, welche die Stahlschale überwachen. Wenn die Temperatur der Schale eine erste vorbestimmte Temperatur übersteigt, wird automatisch die zweite Kühlanlage in Betrieb genommen. Falls nach einer zweckdienlichen Zeitspanne die Temperatur immer noch oberhalb des ersten Grenzwertes ist oder wenn sie zu irgendwelchem Zeitpunkt über diese hinausgeht, wenn beide Kühlanlagen in Betrieb sind, wird die Zufuhr von Energie zur Anlage automatisch unterbrochen. Auch in demjenigen Fall, dass bei irgendeinem Zeitpunkt die Temperatur eine zweite, höhere vorbestimmte Grenze übersteigt, wird die Energiezufuhr automatisch unterbrochen.

3. Bei der Verbindung der elektrischen Erdung mit der Stahlschale ist ein Stromfühler angeordnet. Sollte zwischen irgendeiner Elektrode und der Schale irgendein elektrischer Stromdurchgang auftreten, wird die Energiezufuhr automa-

tisch abgeschaltet und die zweite Kühlwasseranlage in Betrieb gesetzt. Um zu bestimmen, ob es sicher ist, die Energiezufuhr wieder herzustellen, wäre eine weitere Anlage vorhanden, die den elektrischen Widerstand zwischen jeder der Elektroden und der Schale feststellt.

Diese Eigenschaften sind in den Fig. 4 bis 6 nicht gezeigt.

Die Basisanlage kann in verschiedenen Modifikationen ausgeführt werden, welche betrieblich vorteilhaft sein können und welche in den Fig. 7 bis 18 gezeigt sind.

In den Fig. 7 und 8 ist eine Anlage gezeigt, bei welcher die Widerstandserwärmungsleitungen 2 einfache, nach oben geneigt verlaufende Rohre aufweisen, die vom untersten Abschnitt der Kammer 1 aus zu den Kammern 5 hin laufen.

Die Kammern 1 weisen Sumpfe 16 auf, so dass ein Entfernen von metallischen Verunreinigungen möglich ist, welche Verunreinigungen beispielsweise Fe oder Si sein können, die zusammen mit den Chargen (Kohlenstoff oder Aluminiumoxyd) entweder in metallischem Zustand oder als umsetzbare Verbindungen eintreten können. In dieser Anlage ist eine Trennwand 17 vorhanden, deren unterer Rand 18 bis unterhalb des Spiegels des metallischen Aluminiums 13 reicht, welche Trennwand 17 zulässt, dass die Schlacke von der Trennkammer 5 zur Kammer 1, bei welcher die Stoffe zugeführt werden [welche den Bereich (ii) der Umsetzung bilden], zurückzukehren, währenddem gleichzeitig der Durchgang vom Metall 13 verhindert ist. In den Fig. 7 und 8 ist die Grenze zwischen dem Bereich tiefer Temperatur und dem Bereich hoher Temperatur an irgendeiner Stelle entlang der nach oben geneigt verlaufenden Leitungen 2, und abhängig von den gewählten Betriebszuständen.

Eine weitere Ausführung dieser Anordnung ist in den Fig. 9 und 10 gezeigt, bei welchen die zwei geradlinig geneigten Wärmeleitungen 8 ersetzt sind mittels eines einzigen U-förmigen Wärmeschachtes 22 und zwei kleineren Rückführschächten 28, welchen die Schlacke von der Kammer 1, bei welcher Stoffe zugeführt werden, dem Boden des Erwärmungsschachtes 22 wieder zurückführt, und Strompfade hohen elektrischen Widerstandes im Vergleich mit den entsprechenden Abschnitten des Schachtes 22 bilden. In den Fig. 9 und 10 liegt die Grenze zwischen dem Bereich tiefer Temperatur und dem Bereich hoher Temperatur im Schacht 22 zwischen den unteren Enden der Rückführschächte 28 und den oberen Enden des Schachtes 22.

In einer noch weiteren Ausbildungsform der Anlage, welche in der Fig. 11 gezeigt ist, kann die Leitung, bei welcher widerstandserwärmt wird, zwei Schenkel 34, 35 aufweisen, die geneigt angeordnet sind, so dass eine annähernd V-förmige Leitung gebildet ist, anstelle des senkrechten Schenkels, der den unteren Abschnitt des Bereiches (ii) der Umsetzung bildet, und ein nach oben geneigter Schenkel, der bis zum Trennbereich hinauf verläuft, wie es in den Fig. 7 und 8 gezeigt ist. Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel (Fig. 12 und 13) kann ein Rückführabschnitt 37 kleineren Durchmessers vorhanden sein, der parallel mit dem oberen Abschnitt der Widerstandserwärmungsleitung 2 verläuft, um einen Teil der Schlacke aus der Kammer 5 zum Boden der Anlage zurückzuführen und um einen gasblasenfreien Pfad zu bilden. Dieses kann hinsichtlich der elektrischen Stabilität der Anlage vorteilhaft sein.

In einer noch weiteren Ausführung (Fig. 14) kann der untere Abschnitt 38 der Widerstandserwärmungskanäle schief verlaufen und der nach oben weisende Abschnitt senkrecht. In solchen Fällen, abhängig von den relativen Werten der Erwärmung und des Druckanstieges, währenddem die Schlacke durch die Leitung strömt, kann ein Freiwerden von Gas durch die Umsetzung (iii) beginnen, bevor der Boden der Leitung erreicht ist. Mit anderen Worten: die Grenze zwischen dem Bereich tiefer Temperatur und dem Bereich hoher

Temperatur ist im Abschnitt 38 gegen sein unteres Ende angeordnet. Weil Gas, welches den nur leicht nach unten geneigten Abschnitt 38 nach oben durchströmt und zurückströmt, eine viel kleinere Pumpwirkung hat als das Gas im senkrecht verlaufenden Abschnitt, wird eine Pumpwirkung in der erwünschten Richtung gegen die Kammer 5 beibehalten, und Gas, welches bei der Umsetzung (iii) frei wird, bevor die Schlacke den Boden der Leitung erreicht, wird im Gegenstrom mittels der verhältnismässig kühlen, absinkenden Schlacke im Abschnitt 38 gereinigt. Es wird somit in einem abgasverminderten Zustand durch die Kammer 1 für den Umsetzungsbereich (ii) abgegeben.

Eine weitere Ausführung ist in den Fig. 15 und 16 dargestellt, gemäss welcher die Elektroden 3 beim Boden von Widerstandserwärmungsleitungen 2 in der Form von U-förmigen Rohren elektrisch mit der Schlacke verbunden sind, und dieses anstatt oder zusätzlich zu entweder der Stelle der Kammer 1 für die Umsetzung (ii) oder der Kammer 5 zur Gewinnung des Erzeugnisses. Dieses kann durchgeführt werden, indem jede Elektrode 3 in eine Säule geschmolzenen Aluminiums eingetaucht wird, welches Aluminium in einem Steigrohr 21 vorhanden ist, welches vom Boden der Widerstandserwärmungsleitung 2 nach oben offen verläuft. In diesem Fall beginnt der Bereich hoher Temperatur auf der rechten Seite des Steigrohres 21, um irgendwelche Schwierigkeiten mit freiwerdendem Gas, das in dieses eintritt, zu vermeiden.

Eine weitere mögliche Ausführung der Anordnung der Elektroden ist in der Fig. 17 gezeigt, welche eine Draufsicht auf ein weiteres Ausführungsbeispiel der Anlage der Fig. 7 und 8 ist, und bei welcher 4 Elektroden 3 verwendet sind, die derart elektrisch verbunden sind, dass die Wärmeströme auf die Durchgänge 2 begrenzt sind, so dass verhindert wird, dass die Schlacke erwärmt ist, währenddem sie von den Kammern für die Gewinnung des Erzeugnisses den Kammern zur Zufuhr von Rohstoffen zuströmt. Gleiche Ausführungen können bei den anderen in den Figuren gezeigten Anlagen gemacht werden.

Die Anlagen, die in bezug auf die oben erwähnten Figuren beschrieben wurden, können entweder mit Wechselstrom oder Gleichstrom betrieben werden. Obwohl eine Verwendung von Wechselstrom im allgemeinen billiger ist als eine Verwendung von Gleichstrom, würden grosse Einheiten, die einphasigen Wechselstrom verwenden würden, nicht wünschenswert sein, weil sie keine Schiefast bzw. kein Ungleichgewicht in den elektrischen Verteileranordnungen erzeugen würden. In der Fig. 18 ist gezeigt, wie die Erfindung ausgebildet sein kann, um Energie vom Dreiphasen-Wechselstrom zu verwenden, so dass ein Betrieb von grossen Einheiten mittels Wechselstrom mit verhältnismässig hoher Spannung und tiefem Strom mit den sich daraus ergebenden ökonomischen Vorteilen möglich ist.

Die Beispiele der Fig. 4 bis 18 zeigen nur einige der vielen möglichen Anordnungen, um diese Erfindung auszuführen; Kombinationen der Eigenschaften und auch andere Ausbildungsformen und Abmessungen, bei welchen die oben beschriebenen Grundlagen verwendet werden, sind mittels der vorliegenden Erfindung offensichtlich ebenfalls gedeckt. Es ist offensichtlich, dass die Anordnung zum Reinigen von Gas, die in der Fig. 5 gezeigt ist, auch mit den anderen Ausführungsbeispielen der Anlage der Fig. 2, 3 und 7 bis 18 verwendet werden kann.

Es können viele unterschiedliche Vorgehen zum erstweiligen Bilden eines Körpers geschmolzenen Aluminiumoxydes in der Anlage vorgesehen werden. Die einfachste und bequemste Lösung ist, dass zuerst die Anlage mit Thermit ( $\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) gefüllt wird und dieses entzündet wird. Das geschmolzene Aluminiumoxyd wird nachher in geschmol-

zenem Zustand gehalten, indem elektrischer Strom hindurchgeführt wird.

In den Fig. 19A ist vereinfacht der Temperaturverlauf in der Anlage der Fig. 2 und 3 gezeigt. Beginnend mit der flüssigen Schlacke bei der Temperatur  $T(iii)$  der Umsetzung (iii), welche Schlacke in die Kammer A eintritt, wird die Temperatur schnell abfallen, wenn die Flüssigkeit mit dem zugeführten Kohlenstoff in Berührung kommt, welches durch die endothermische Umsetzung (ii) begründet ist, bis die Temperatur einen Gleichgewichtstemperaturwert  $T(ii)$  erreicht. Falls von der Kammer A merkbare Wärmeverluste hervorgehen, wird die Temperatur der Flüssigkeit weiter fallen, bis die Flüssigkeit in den Wärmekanal (HD) eintritt. Im Heizkanal beginnt die Zugabe elektrischer Energie, wie es in der Fig. 19B gezeigt ist, und die Temperatur steigt an, bis wieder der Temperaturwert  $T(iii)$  erreicht ist. Eine weitere Energie-

zufuhr wird keinen weiteren Temperaturanstieg zur Folge haben, jedoch die Umsetzung (iii); das gebildete Gas erhöht den elektrischen Widerstand der Schlacke und das Ausmass der Energiezufuhr wird vergrößert. In der Kammer C vermindert sich die Temperatur wieder aufgrund der Wärmeverluste. Im Rückkehrkanal (RD) bewirkt die elektrische Energie wieder, dass die Temperatur ansteigt, welche den Temperaturwert  $T(iii)$  erreichen wird oder auch nicht; wenn die Umsetzung (iii) wieder beginnt, erhöht der sich vergrößernde Widerstand der Gasblasen wieder das Mass der Energiezufuhr. In den Fig. 19A und 19B zeigt die ausgezogene Linie im Abschnitt, der sich auf die Leitung RD bezieht, denjenigen Fall, bei welchem die Temperatur den Wert  $T(iii)$  erreicht. Die gestrichelte Linie zeigt denjenigen Fall, bei welchem die Temperatur den Wert  $T(iii)$  an irgendeiner Stelle im Kanal RD erreicht.

FIG. 1

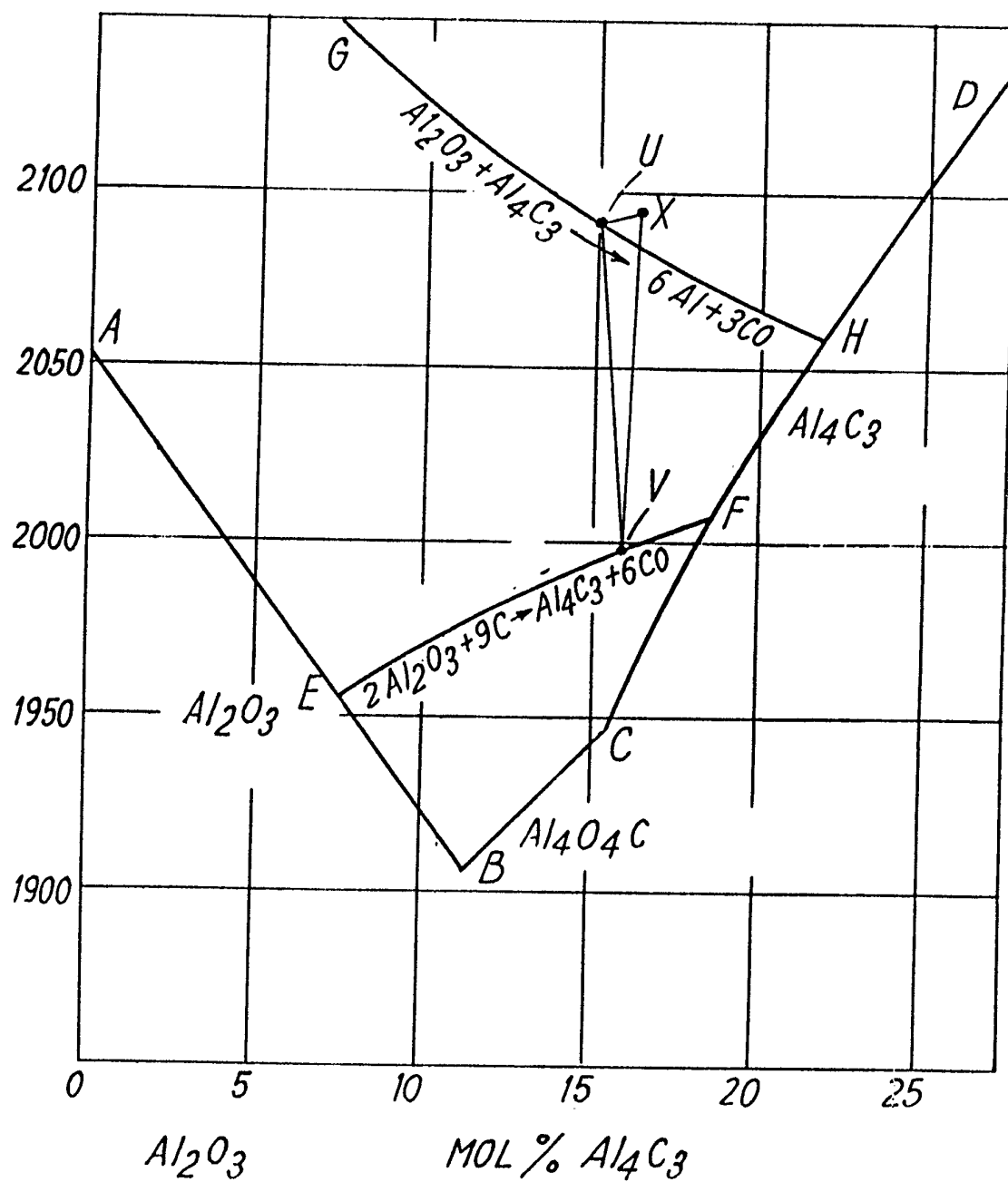


FIG. 2

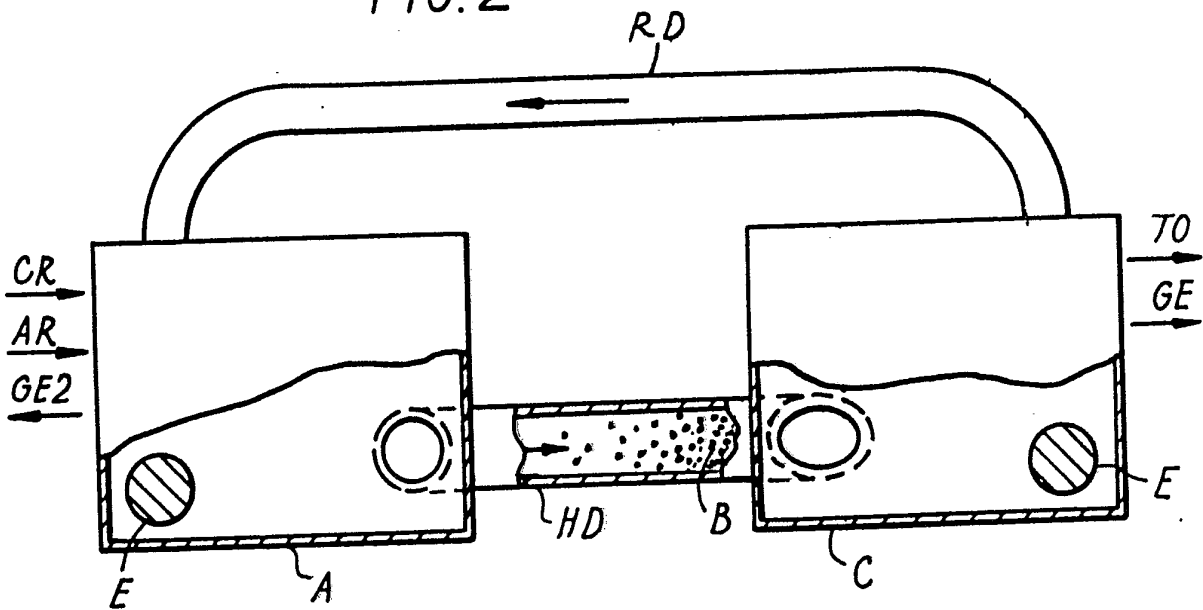
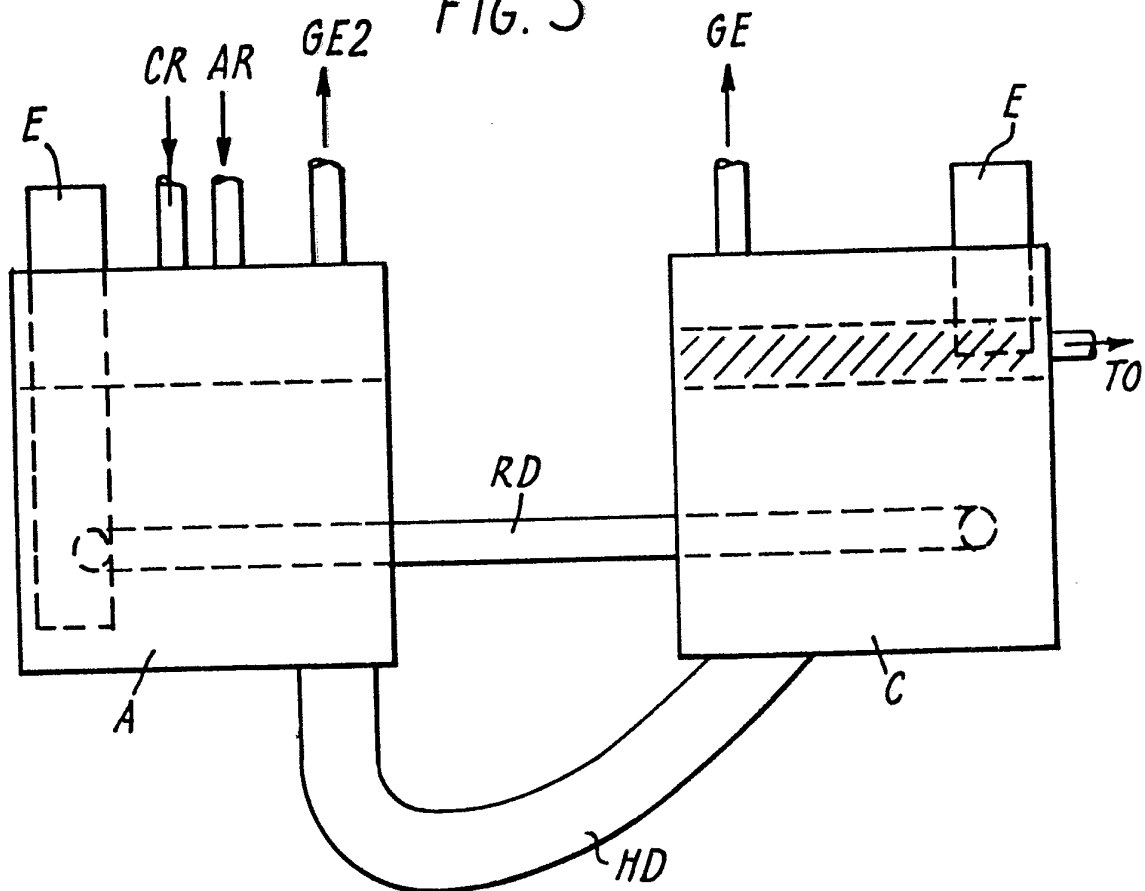


FIG. 3



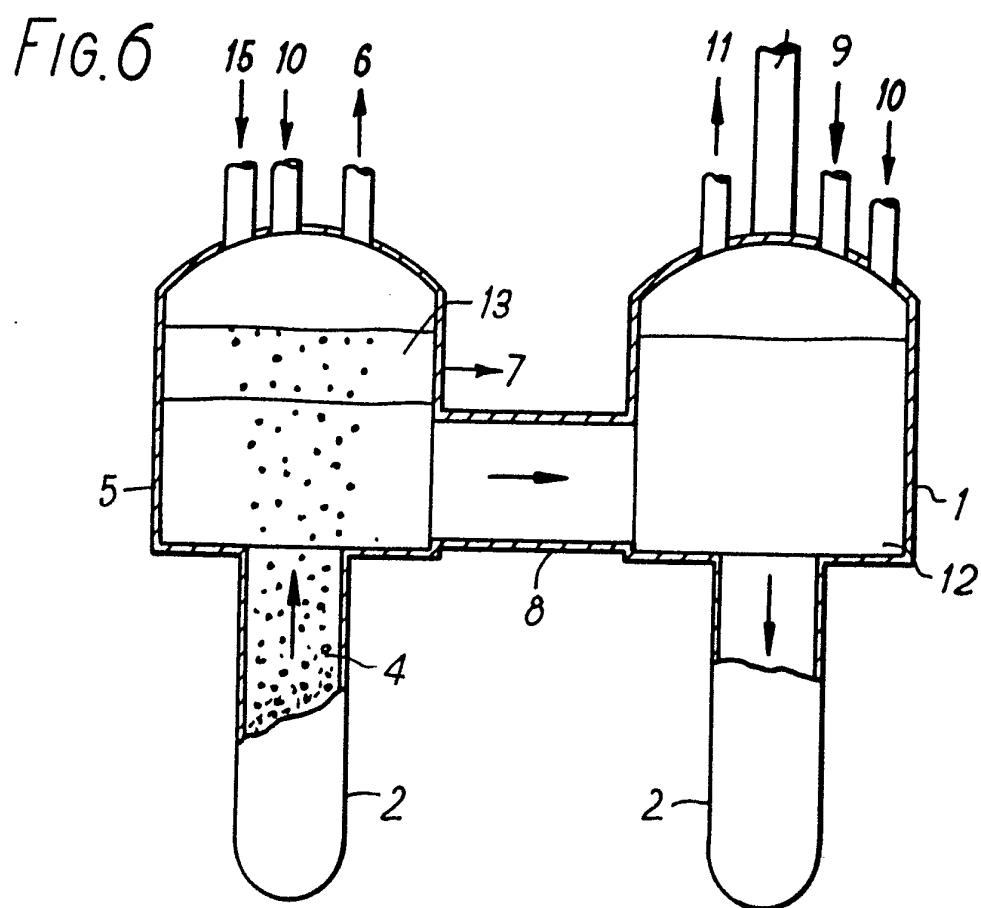
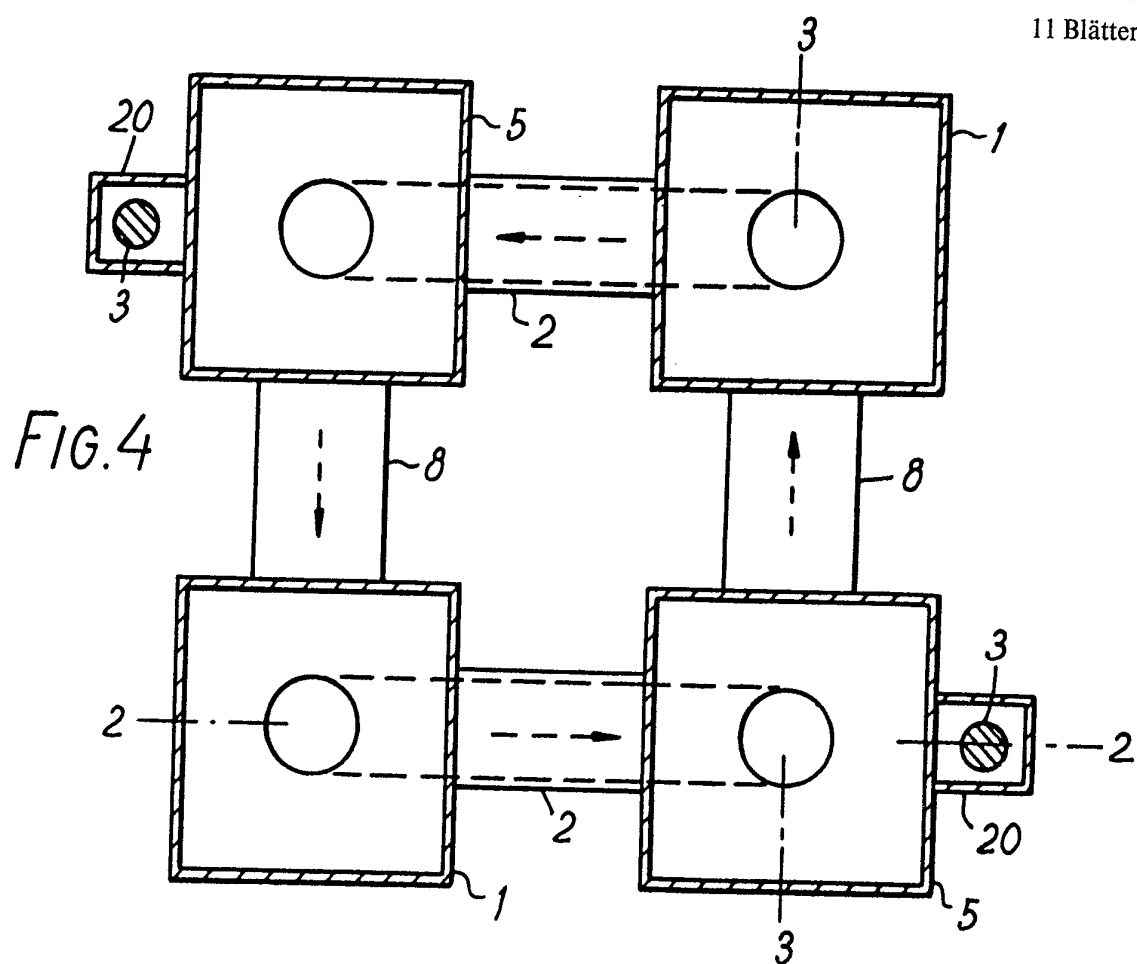


FIG. 5

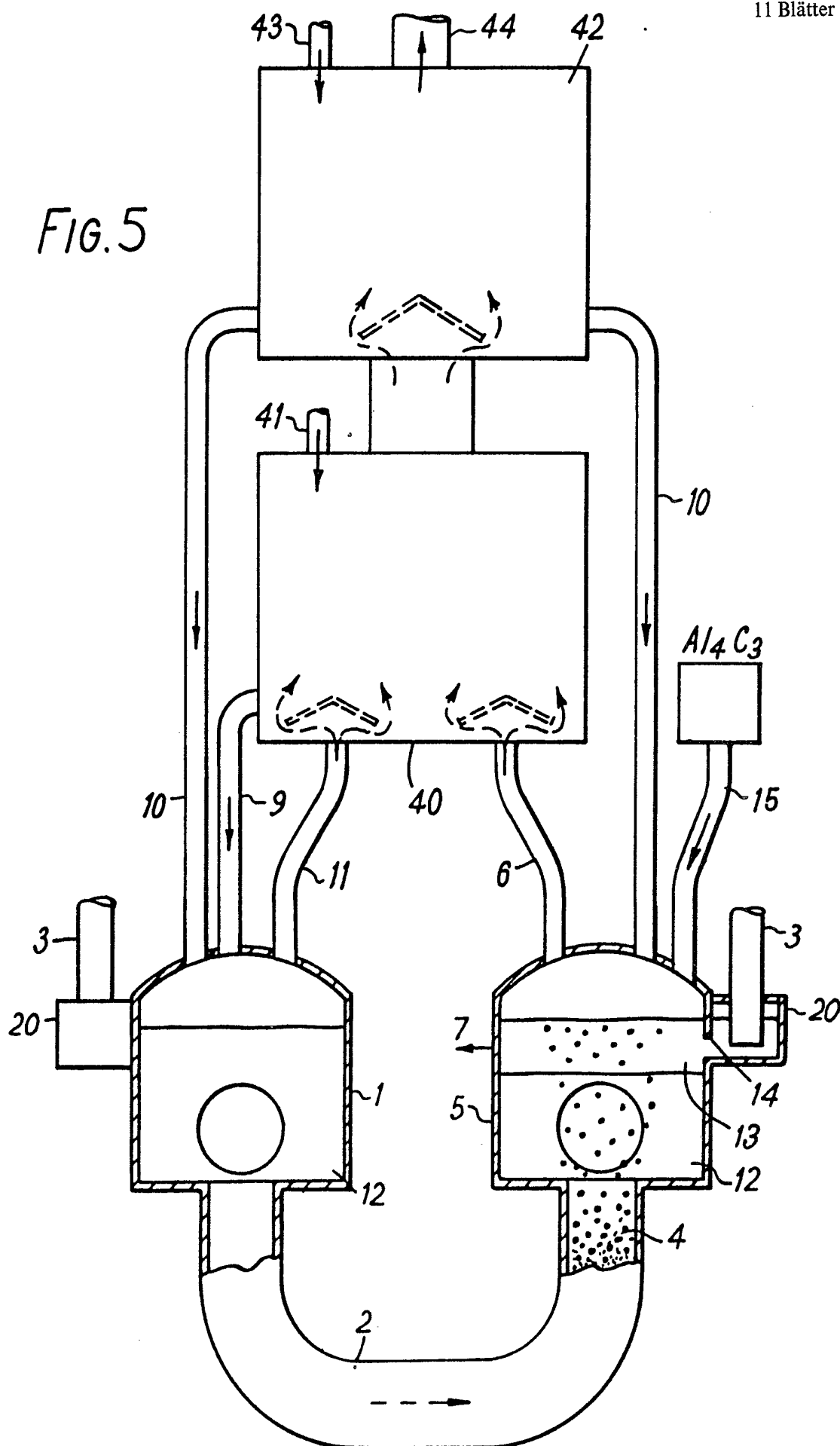


FIG. 7

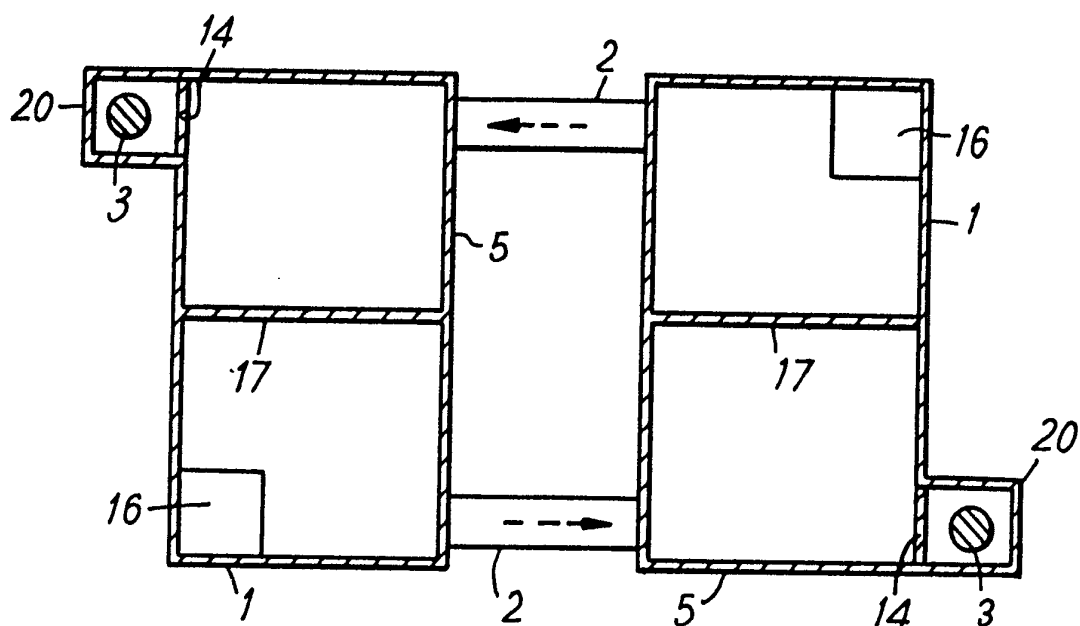


FIG. 8

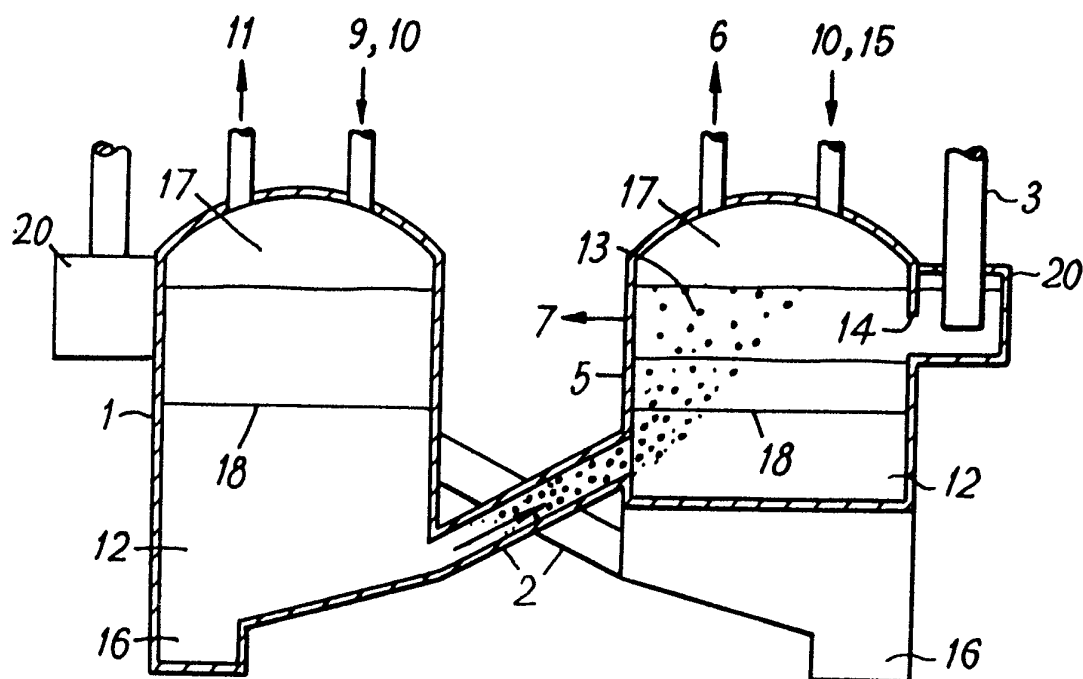


FIG. 9

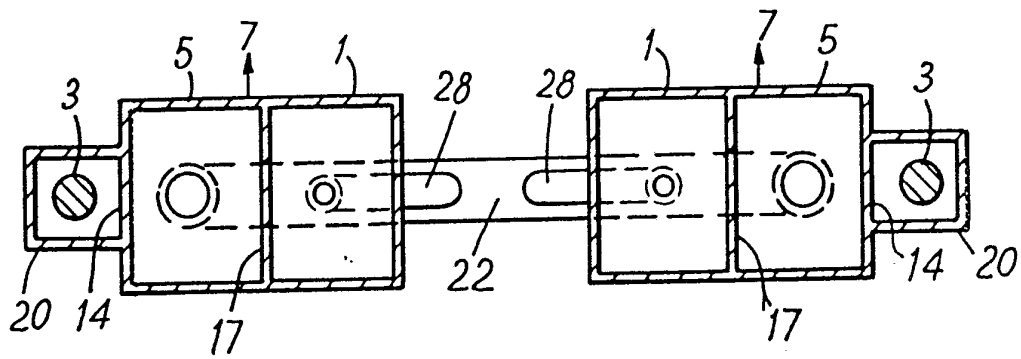


FIG. 10

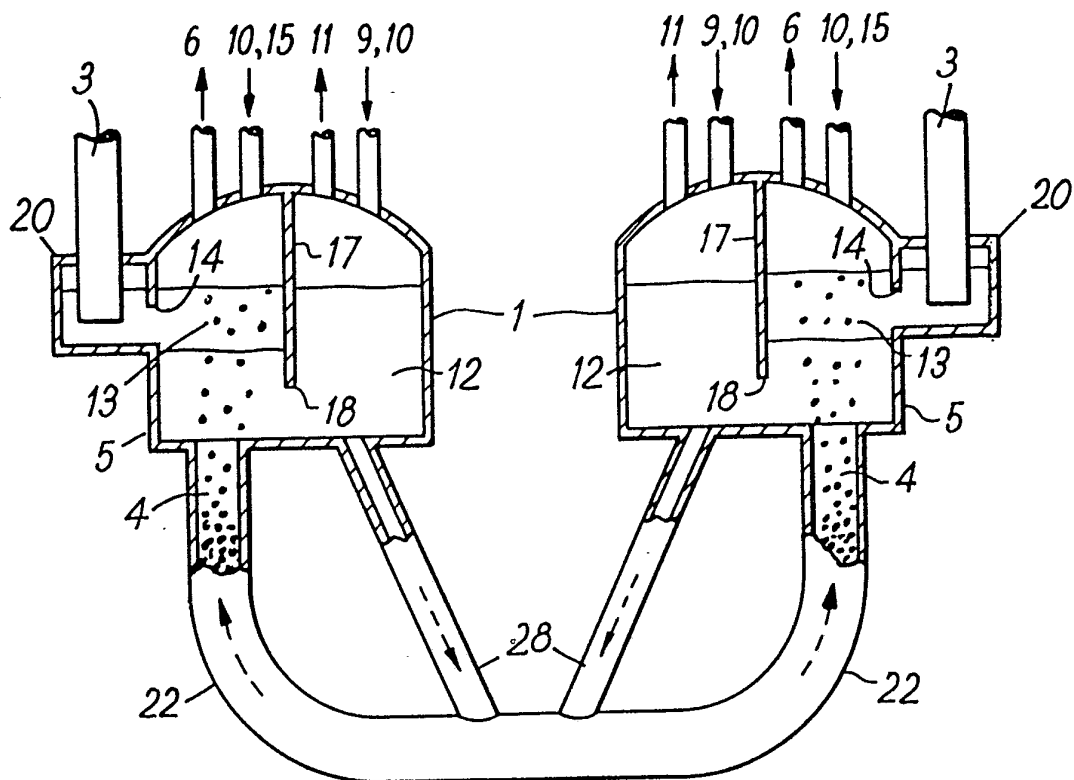


FIG. 11

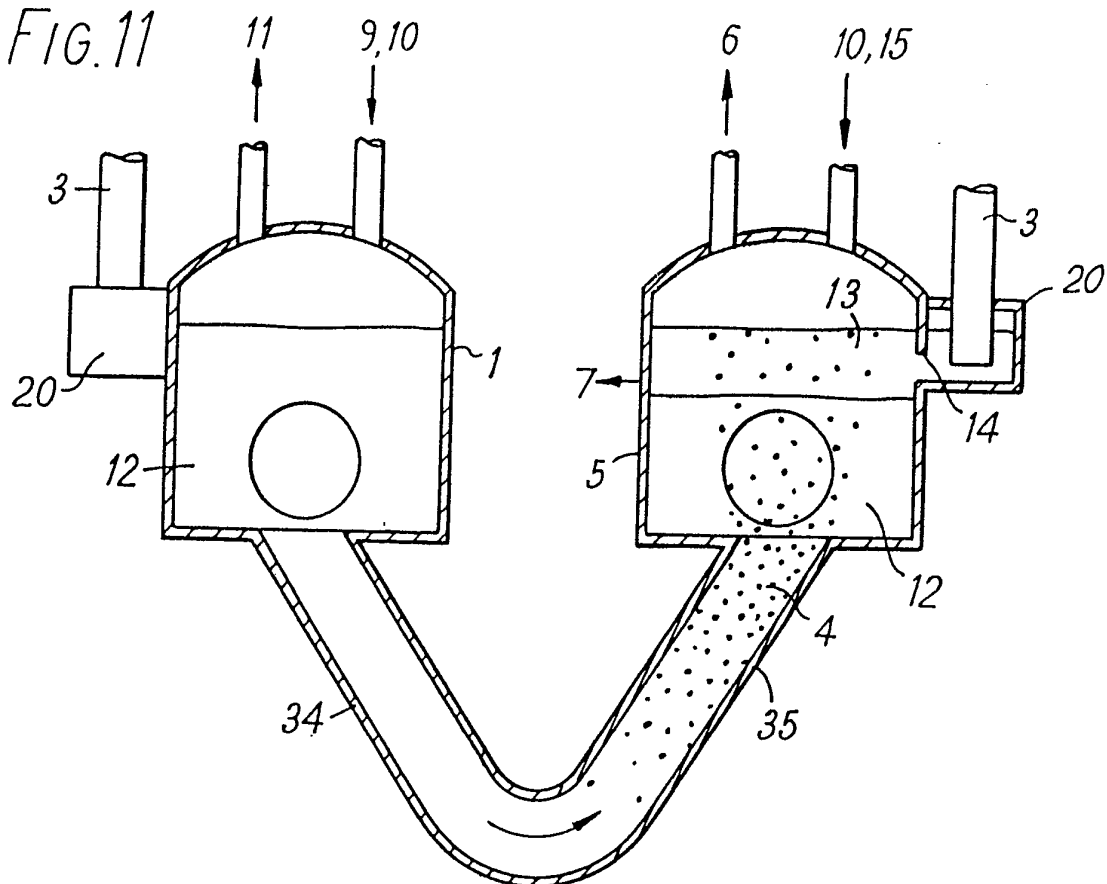
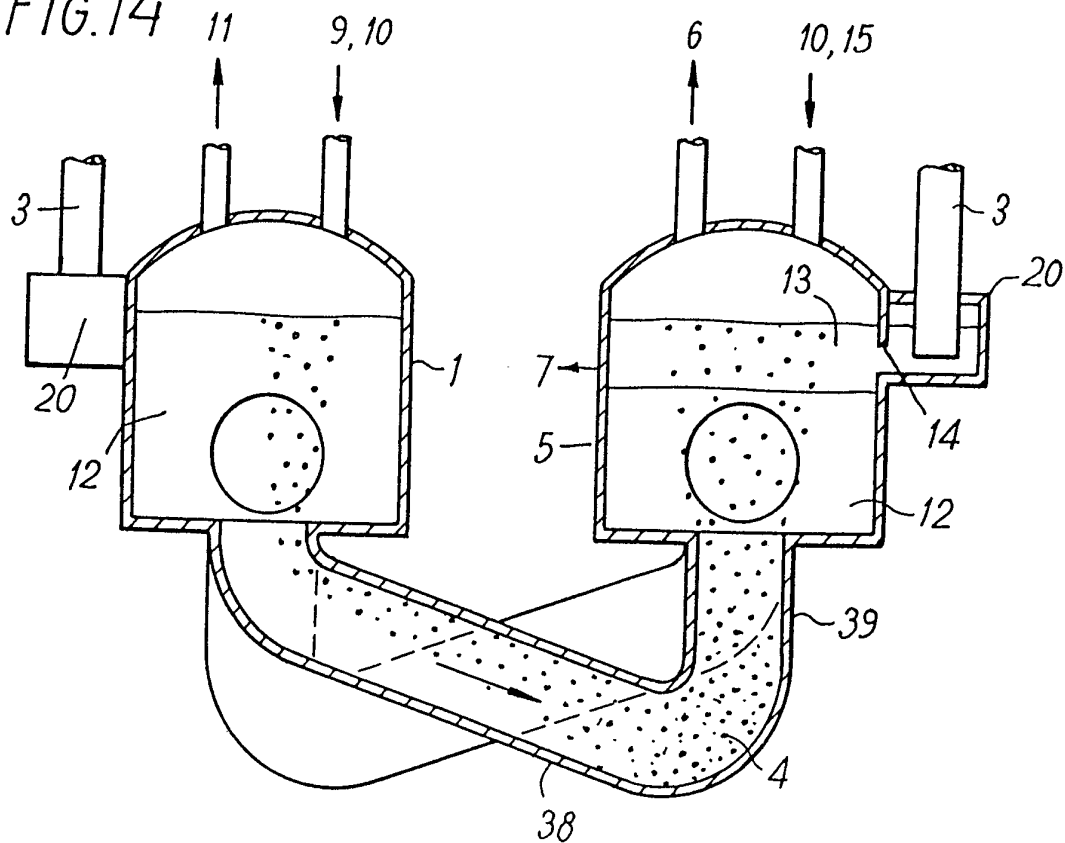


FIG. 14



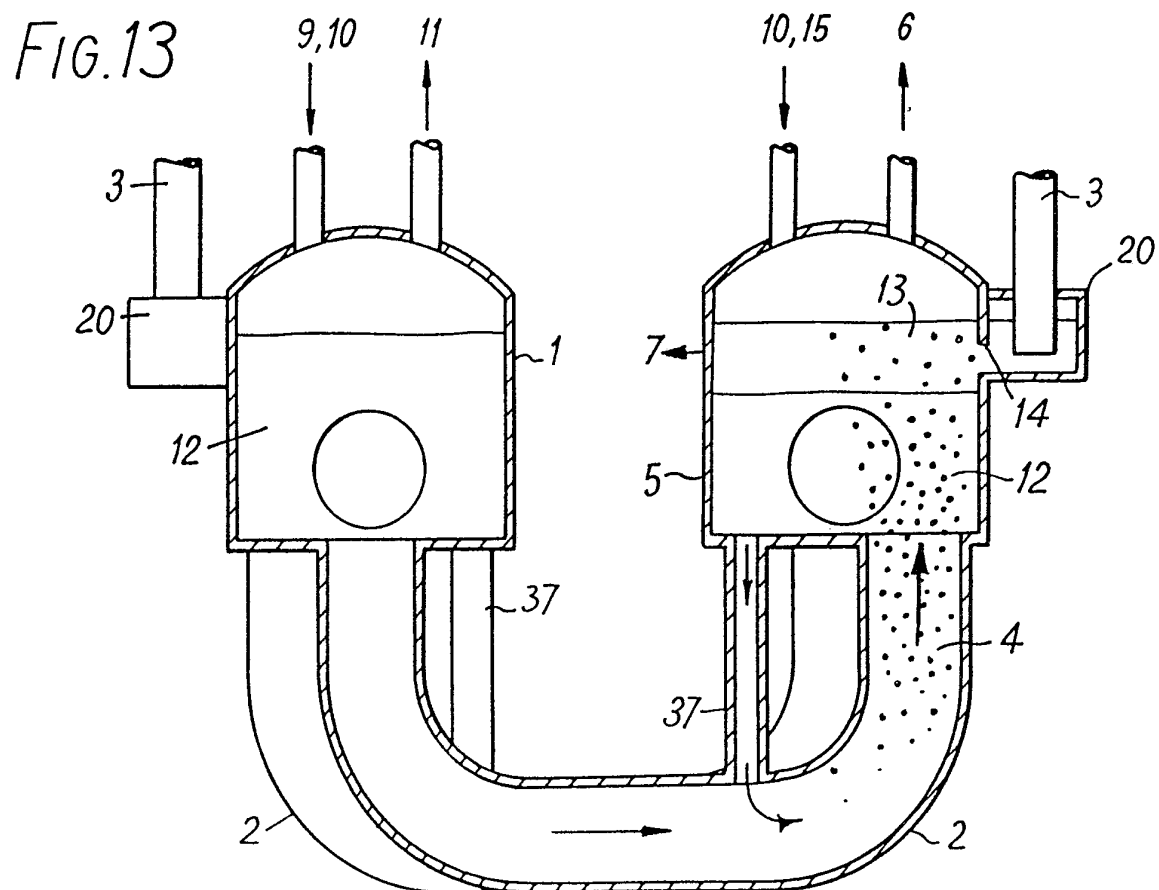
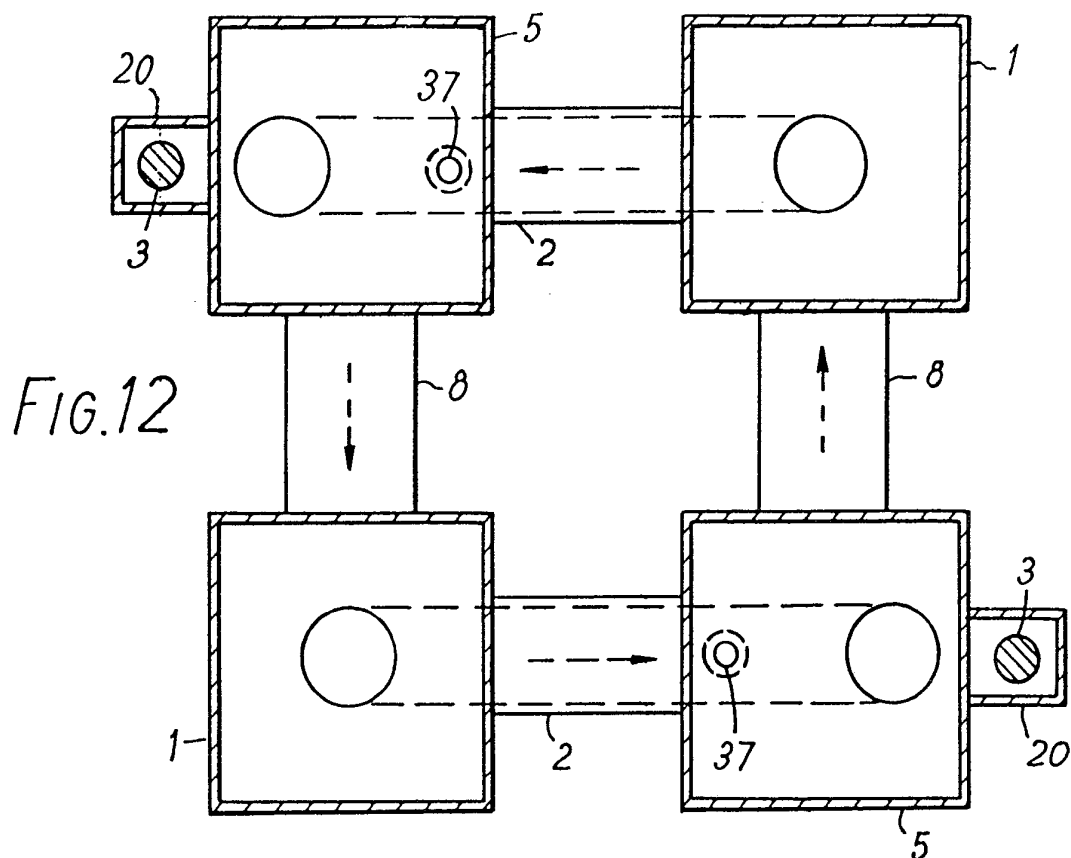


FIG. 15

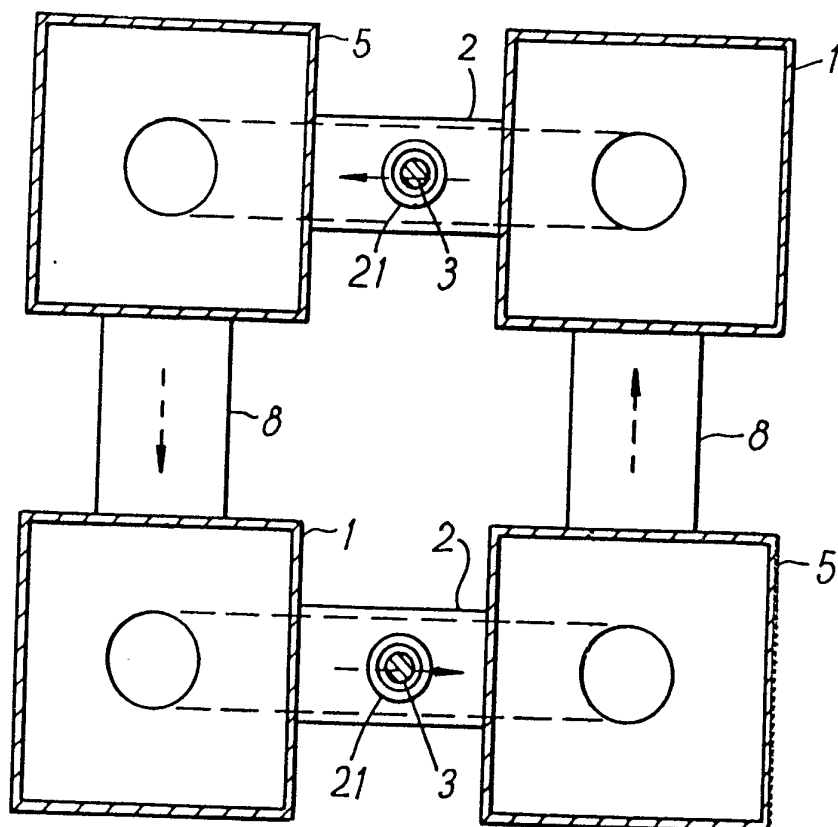
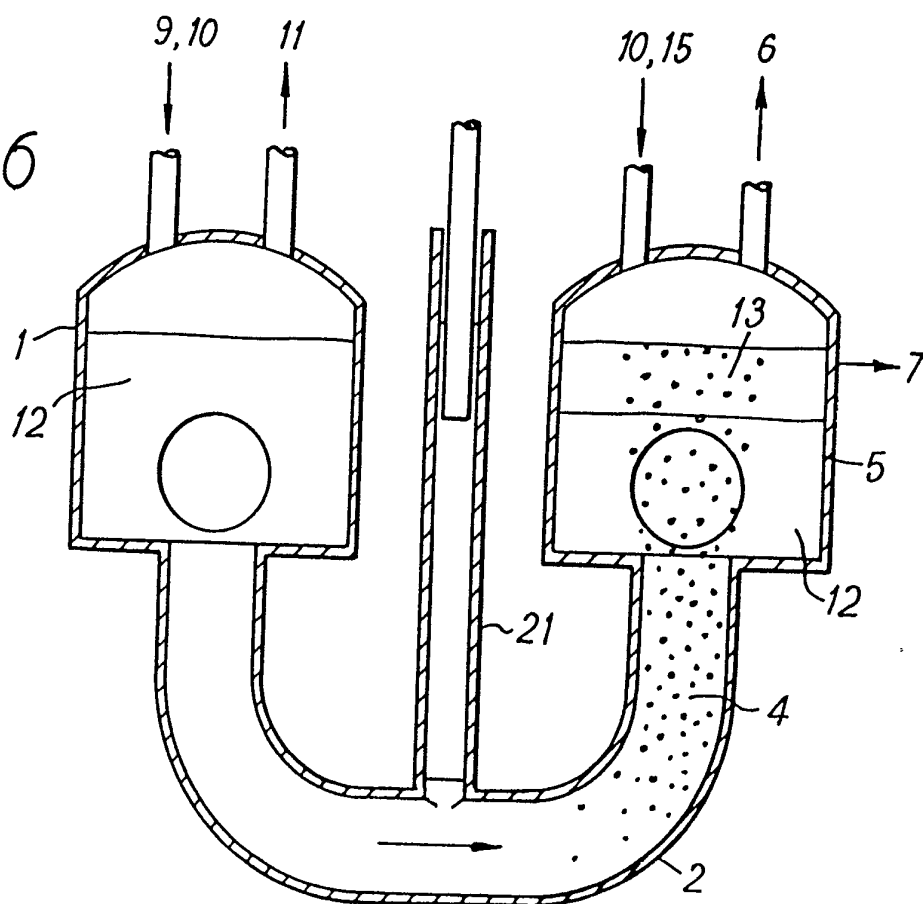
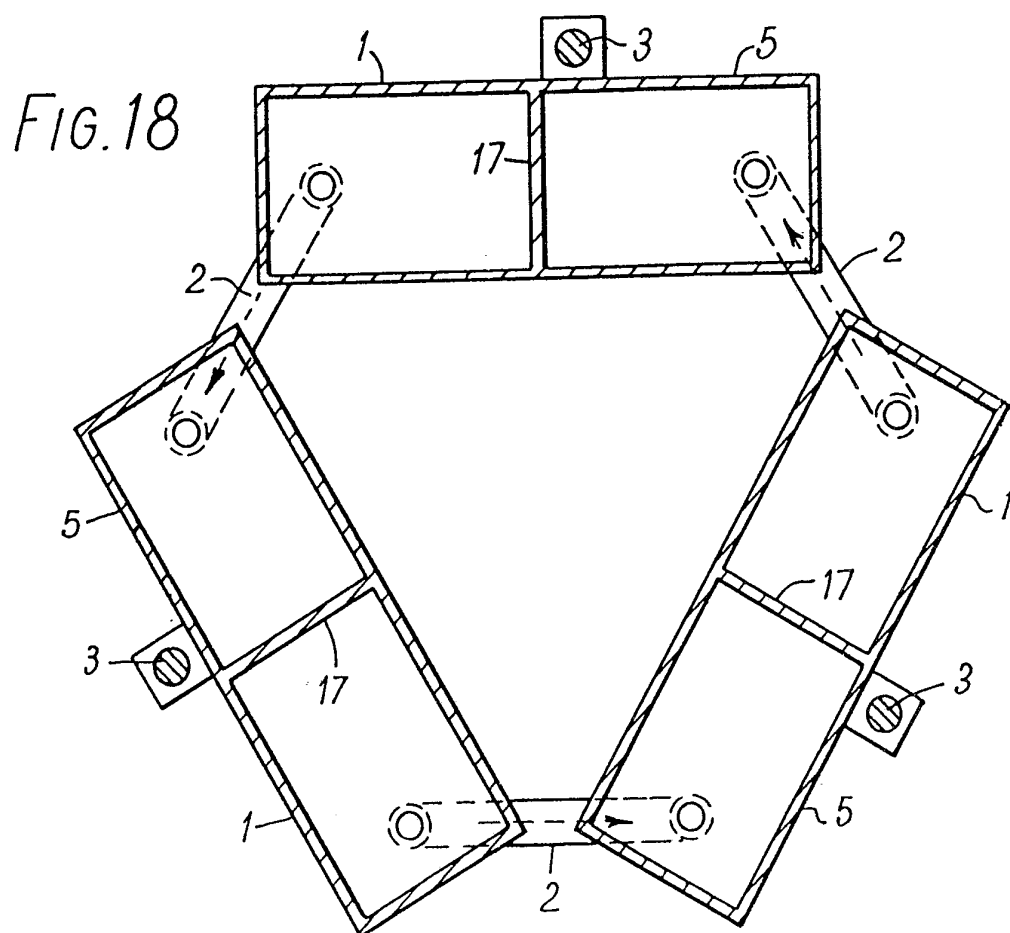
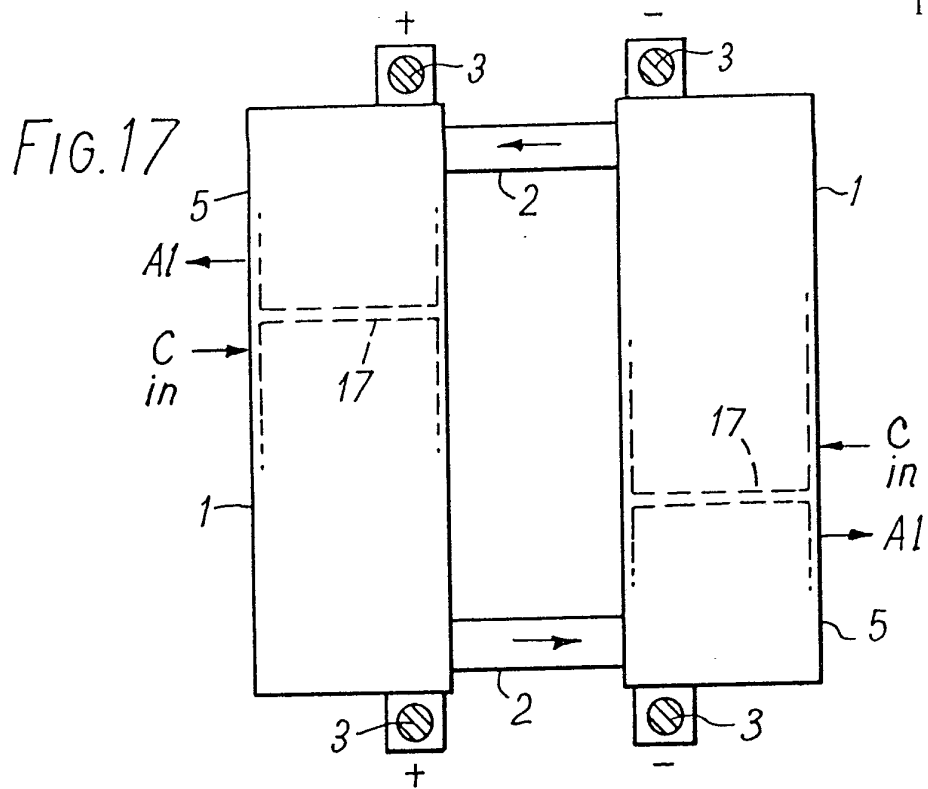


FIG. 16





KAMMER A  
WAERMEKANAL HD  
KAMMER G  
RUECKWAERKANAL RD

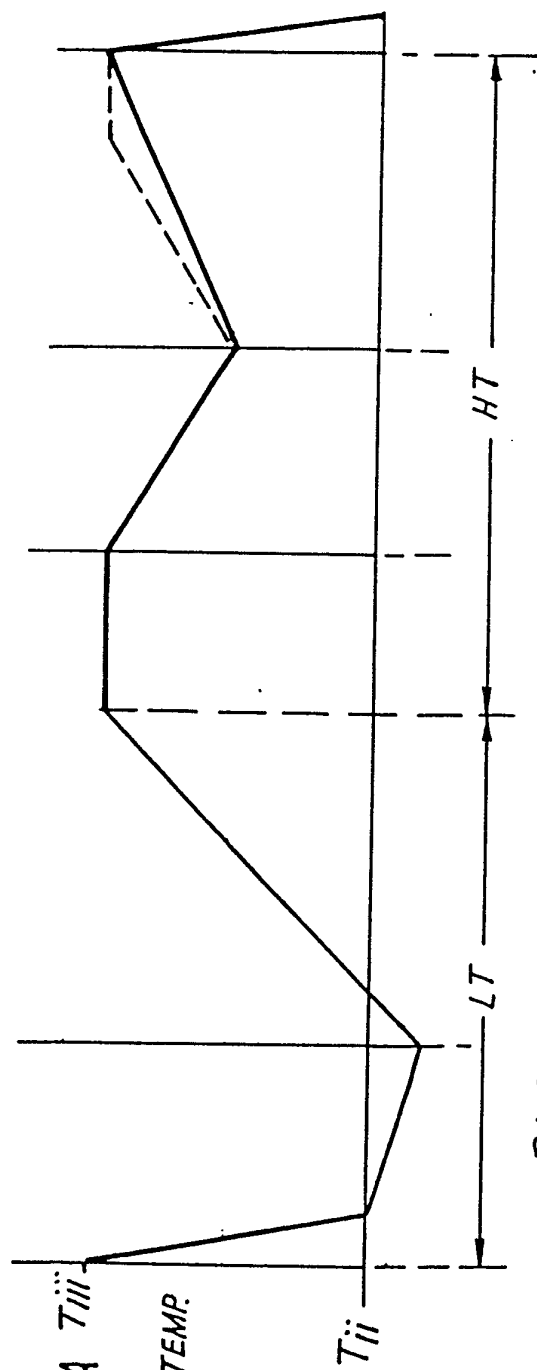


FIG.19A

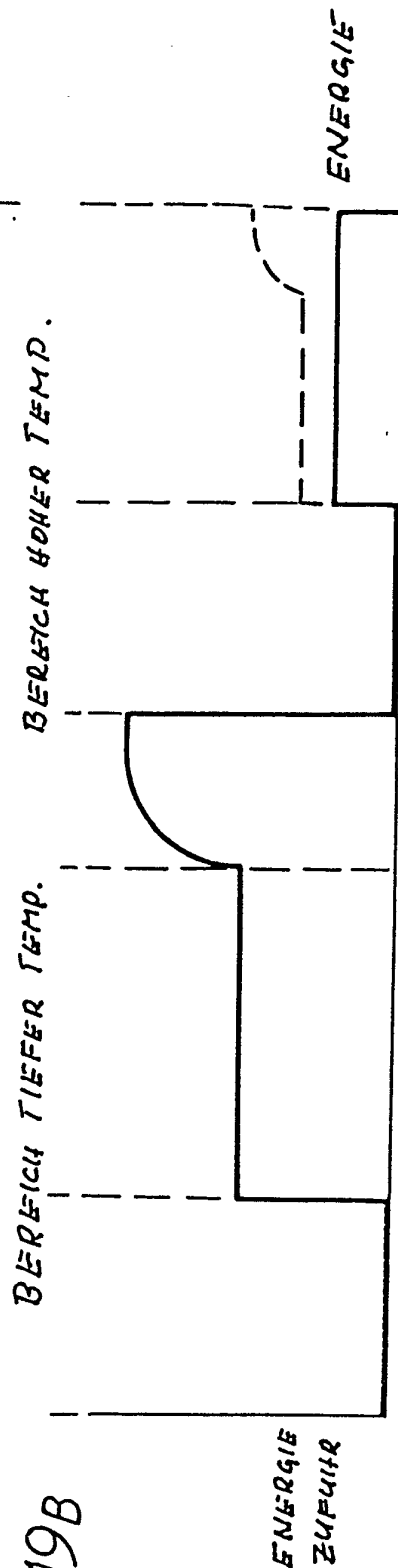


FIG.19B