

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 87200488.2

22 Anmeldetag: 17.03.87

51 Int. Cl.³: **F 01 K 23/06**
F 02 C 3/20, F 02 C 3/28
F 23 C 6/04

30 Priorität: 17.04.86 DE 3612888

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.12.87 Patentblatt 87/51

84 Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

71 Anmelder: **METALLGESELLSCHAFT AG**
Reuterweg 14 Postfach 3724
D-6000 Frankfurt/M.1(DE)

72 Erfinder: **Reh, Lothar, Dr.**
Stettiner Strasse 3
D-6000 Frankfurt am Main 60(DE)

72 Erfinder: **Graf, Rolf, Dr.**
Am Felsenkeller 43
D-6382 Friedrichsdorf(DE)

72 Erfinder: **Hirsch, Martin**
Römerstrasse 7
D-6382 Friedrichsdorf(DE)

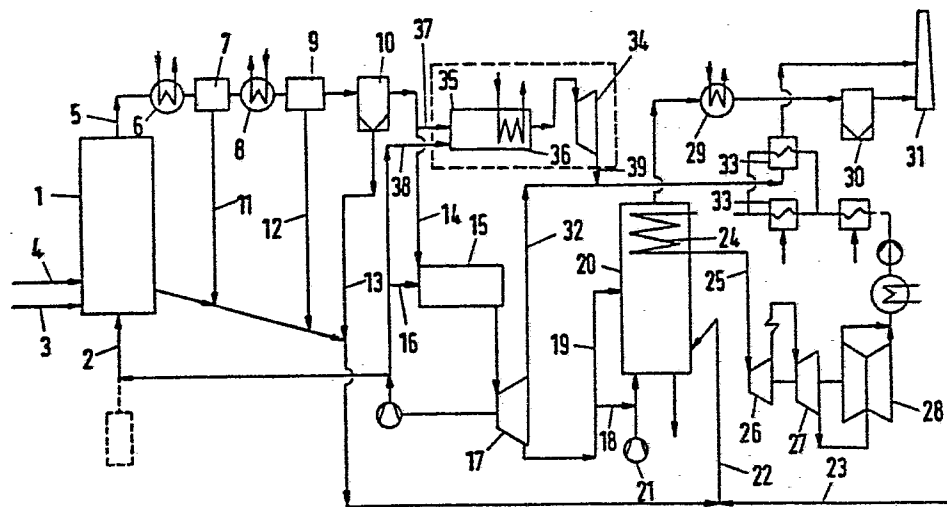
72 Erfinder: **Plass, Ludolf, Dr.**
Partstrasse 11
D-6242 Kronberg 3(DE)

74 Vertreter: **Rieger, Harald, Dr.**
Reuterweg 14
D-6000 Frankfurt a.M.(DE)

54 **Kombinierter Gas-/Dampfturbinen-Prozess.**

57 Bei einem Verfahren zum Betreiben eines kombinierten Gasturbinen-/Dampfturbinen-Prozesses wird zwecks Erhöhung des Wirkungsgrades das Brenngas in einer zirkulierenden Wirbelschicht (1) durch Vergasung von 70 bis 95 Gew.-% des Kohlenstoffgehalts von festem kohlenstoffhaltigem Material (4) bei einer Temperatur von 900 bis 1100°C erzeugt, im Suspensionszustand bei 850 bis 950°C mit Kalziumhydroxid, Kalziumoxid und/oder kalziumkarbonathaltigem Feststoff von Schadstoffen befreit und zum überwiegenden Teil für den Betrieb der Gasturbine (17) zu einem mindestens 5 Vol.-% Sauerstoff enthaltenden Gas (16) von mindestens 1000°C verbrannt (15). Die Verbrennung des kohlenstoffhaltigen Vergasungsrückstandes erfolgt unter Erzeugung von Prozeßdampf in einer weiteren zirkulierenden Wirbelschicht (20) bei einer Temperatur von 800 bis 950°C nahstöchiometrisch mit mindestens 2 Teilströmen (18, 19) in unterschiedlicher Höhe zugeführten sauerstoffhaltigen Gasen, die zum überwiegenden Teil aus dem Gasturbinenabgas gebildet werden.

Vorzugsweise wird das entschwefelte Brenngas auf eine Temperatur im Bereich von 350 bis 600°C gekühlt und von Halogeniden befreit.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines kombinierten Gas-/Dampfturbinen-Prozesses, bei dem der Gasturbinen-Prozeß mittels eines aus festem kohlenstoffhaltigem Material gewonnenen und danach entschwefelten Brenngases und der Dampfturbinen-Prozeß mittels des bei der Verbrennung des kohlenstoffhaltigen Vergasungsrückstandes gewonnenen Dampfes betrieben wird und bei dem die Verbrennung des kohlenstoffhaltigen Vergasungsrückstandes mit sauerstoffhaltigen Abgasen des Gasturbinen-Prozesses erfolgt.

Bedingt durch die sogenannte Energiekrise zeichnet sich in den letzten Jahren zunehmend der Trend ab, bei der Erzeugung elektrischer Energie Öl und Gas durch feste Brennstoffe, insbesondere Kohle, zu ersetzen. Parallel hierzu wird verstärkt nach Möglichkeiten zur Erhöhung von Wirkungs- und Nutzungsgrad bei der Erzeugung von elektrischem Strom aus festen Brennstoffen gesucht, wobei nicht nur die bessere Ausnutzung des Primärenergieträgers, sondern auch die verschärften Umweltschutzforderungen im Blickfeld stehen. Bekanntlich wird bei einer Erhöhung des Wirkungsgrades bei einer vorgegebenen Abgasreinigung pro erzeugter Energieeinheit weniger Schadstoff als bei einem geringeren Wirkungsgrad emittiert.

Bei der Erzeugung von Strom ist die vorstehend genannte Verbesserung des Wirkungsgrades aufgrund thermodynamischer Erwägungen, insbesondere bei kombinierten Gas-/Dampfturbinen-Prozessen erzielbar. Hierbei können die

Gasturbinen zwar grundsätzlich gas- oder ölgefeuert sein, der entscheidende Vorteil wird aber erst dann erzielt, wenn die Gasturbine mit durch Teilvergasung von festem Brennstoff gewonnenem Gas betrieben wird.

So ist beispielsweise bei dem VEW-Kohleumwandlungs-Verfahren vorgesehen, Kohle zur Teilvergasung einer Vergasungsanlage zuzuführen, das Gas mit Hilfe einer Wäsche von Schadstoffen zu befreien und anschließend in der Gasturbine zu verfeuern. Der bei der Teilvergasung zurückbleibende Koks wird in der Feuerung eines Dampferzeugers mit den sauerstoffhaltigen Abgasen der Gasturbine verbrannt und der Dampf einer Dampfturbine zugeleitet (K. Weinzierl, "Kohlevergasung zur Wirkungsgradverbesserung im Kraftwerk" VGB-Kraftwerkstechnik 62 (1982), Heft 5, Seite 365 ff. und Heft 10, Seite 852 ff.).

Ogleich das vorstehend behandelte Konzept des kombinierten Gas-/Dampfturbinen-Prozesses mit Kohleteilvergasung zunächst nur attraktiv erscheint, liegt das Problem in der technischen Realisierung der einzelnen Verfahrensschritte und in deren Verknüpfung. Denn es ist zu beachten, daß bereits in Details der Verfahrensführung auftretende Mängel oder Unzulänglichkeiten die mit dem Prozeß an sich erreichbare Verbesserung des Wirkungsgrades zunichte machen können. Beispielsweise ist die Durchführung der Vergasung bei einer vergleichsweise hohen Temperatur mit dem Nachteil behaftet, daß zunächst wertvolles, im Prozeß erzeugtes Gas zur Luftvorwärmung verbraucht wird. Denn nur so ist die hohe Vergasungstemperatur zu erreichen. Infolge der hohen Vergasungs- und damit Gastemperatur muß darüber hinaus

dann dem erzeugten Gas eine merkliche Menge fühlbarer Wärme entzogen werden. Dies geschieht üblicherweise durch Erzeugung von überhitztem Dampf, der der Dampfturbine zugeführt wird. Im Ergebnis ist die vorgenannte Ausgestaltung der Vergasungsstufe mit einer Verlagerung von Energie vom Gasturbinen-Zweig in den Dampfturbinen-Zweig verbunden, wodurch - wie sich thermodynamisch ermitteln läßt - mindestens ein wesentlicher Teil der Verbesserung des Wirkungsgrades aufgezehrt wird.

In ähnlicher Weise problematisch ist die Durchführung der Verbrennung, z.B. wenn es nicht gelingt, den im Vergasungsrückstand enthaltenen Kohlenstoff möglichst vollständig zu verbrennen. Schließlich wirft auch die Entschwefelung der bei der Vergasung erzeugten Brenngase bzw. der daraus gewonnenen Rauchgase sowie der Rauchgase der Rückstandsverfeuerung große, den Wirkungsgrad gegebenenfalls wieder beeinträchtigende Probleme auf.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen kombinierten Gas-/Dampfturbinen-Prozeß bereitzustellen, der die Nachteile der bekannten, insbesondere des vorgenannten, Verfahren(s) nicht aufweist und die Verbrennung fester kohlenstoffhaltiger Brennstoffe umweltfreundlich mit einem hohen Brennstoffnutzungsgrad und eine Stromerzeugung mit einem hohen Wirkungsgrad ermöglicht.

Die Aufgabe wird gelöst, indem das Verfahren der eingangs genannten Art entsprechend der Erfindung derart ausgestaltet wird, daß man daß man das Brenngas in einer zirkulierenden Wirbelschicht durch Vergasung von 70 bis 95 Gew.-% des Kohlenstoffgehalts im kohlenstoffhaltigen Material bei einer Temperatur von 900 bis 1100°C erzeugt,

im Suspensionszustand bei 850 bis 950°C mit Kalziumhydroxid, Kalziumoxid und/oder kalziumkarbonathaltigem Feststoff von Schadstoffen befreit und zum Überwiegenden Teil für den Betrieb der Gasturbine zu einem mindestens 5 Vol.-% Sauerstoff enthaltenden Gas von mindestens 1000°C verbrennt, die Verbrennung des kohlenstoffhaltigen Vergasungsrückstandes unter Erzeugung von Prozeßdampf in einer weiteren zirkulierenden Wirbelschicht bei einer Temperatur von 800 bis 950°C nahstöchiometrisch mit mindestens 2 Teilströmen in unterschiedlicher Höhe zugeführten sauerstoffhaltigen Gasen, die zum Überwiegenden Teil aus dem Gasturbinenabgas gebildet werden, durchführt.

Zwar ist es aus der EP - A1 - 62 363 bekannt, aus kohlenstoffhaltigem Material als erste Stufe eine Vergasung bei einem Druck von maximal 5 bar und einer Temperatur von 800 bis 1100°C mittels sauerstoffhaltiger Gase in Gegenwart von Wasserdampf in einer zirkulierenden Wirbelschicht durchzuführen und hierbei 40 bis 80 Gew.-% des im Ausgangsmaterial enthaltenen Kohlenstoffes umzusetzen, das hierbei gebildete Gas bei einer Temperatur im Bereich von 800 bis 1000°C im Suspensionszustand von Schwefelverbindungen zu befreien, danach zu kühlen und zu entstauben und als zweite Stufe den Rückstand aus der Vergasung zusammen mit den bei der Gasreinigung anfallenden Nebenprodukten, wie beladenes Entschwefelungsmittel, Staub und Gaswasser, einer weiteren zirkulierenden Wirbelschicht zuzuführen und dort die verbliebenen brennbaren Bestandteile bei einer Luftverhältniszahl von $\lambda = 1,05$ bis 1,40 zu verbrennen.

Dieses Konzept verfolgt jedoch das Ziel, die Industrie bei

der Erzeugung bestimmter Produkte mit Energie in unterschiedlicher Form, z.B. als Dampf für Beheizungszwecke, in Form anderer Hochtemperaturwärme und in Form sauberer Brenngase, bei deren Verbrennung die Produktqualität nicht negativ beeinflusst wird, auszustatten. Dabei soll der Grad der Umwandlung der Primärenergie (z.B. der Kohle) in die Sekundärenergien Brenngas und Prozeßwärme in Anpassung an den jeweils bestehenden Bedarf für die eine oder andere Sekundärenergie in weiten Grenzen variabel sein. Das heißt, mit dem vorstehend zitierten Verfahren wird ein Problem gelöst, das in dieser Form bei kombinierten Gas-/Dampfturbinen-Prozessen nicht auftritt, wie beispielsweise auch schon der unterschiedliche Vergasungsgrad zeigt.

Innerhalb des erfindungsgemäßen Verfahrens bedeutet „festes kohlenstoffhaltiges Material“ bei Umgebungstemperatur fester Brennstoff. Derartige Materialien sind beispielsweise Kohlen aller Art inklusive Waschberge, Koks, Petrolkoks, Holzabfälle, Torf, Ölschiefer, Asphaltene und Raffinerierückstände.

Das in der Vergasungs- und in der Verbrennungsstufe angewendete Prinzip der zirkulierenden Wirbelschicht zeichnet sich dadurch aus, daß - im Unterschied zur „klassischen“ Wirbelschicht, bei der eine dichte Phase durch einen deutlichen Dichtesprung von dem darüber befindlichen Gasraum getrennt ist - Verteilungszustände ohne definierte Grenzschicht vorliegen. Ein Dichtesprung zwischen dichter Phase und darüber befindlichem Staubraum ist nicht existent; jedoch nimmt innerhalb des Reaktors die Feststoffkonzentration von unten nach oben ständig ab.

6

Bei der Definition der Betriebsbedingungen über die Kennzahlen von Froude und Archimedes ergeben sich die Bereiche:

$$0,1 \leq \frac{3}{4} \cdot Fr^2 \cdot \frac{\rho_g}{\rho_k - \rho_g} \leq 10,$$

bzw.

$$0,01 \leq Ar \leq 100,$$

wobei

$$Ar = \frac{d_k^3 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_g)}{\rho_g \cdot \nu^2} \quad \text{und}$$

$$Fr^2 = \frac{u^2}{g \cdot d_k}$$

sind.

Es bedeuten:

- u die relative Gasgeschwindigkeit in m/s
- Ar die Archimedes-Zahl
- Fr die Froude-Zahl
- ρ_g die Dichte des Gases in kg/m³
- ρ_k die Dichte des Feststoffteilchens in kg/m³
- d_k den Durchmesser des kugelförmigen Teilchens in m
- ν die kinematische Zähigkeit in m²/s
- g die Gravitationskonstante in m/s²

Über die Arbeitsweise von zirkulierenden Wirbelschichten informiert ergänzend L. Reh et al "Wirbelschichtprozesse für die Chemie- und Hüttenindustrie, die Energieumwandlung und den Umweltschutz", Chem.-Ing.Techn. 55 (1983) Nr. 2, Seiten 87 bis 93.

Demgegenüber kann die Entschwefelung des erzeugten Gases bei einem beliebigen Suspensionszustand, z.B. in einer pneumatischen Förderung oder in einer Venturi-Wirbelschicht mit Feststoffaustrag in einen nachgeschalteten Abscheider, erfolgen. Mit Vorteil kann jedoch auch für die Entschwefelung eine zirkulierende Wirbelschicht eingesetzt werden.

Wenn der Vergasungsprozeß unter 1000°C durchgeführt werden kann, z.B. weil für den Betrieb der Gasturbine Brenngase mit vergleichsweise niedrigem Heizwert zulässig sind, kann die Entschwefelung auch im Vergasungsreaktor selbst, also in situ, erfolgen.

Die Stufe der Vergasung kann unter jedem jeweils für zweckmäßig erachteten Druck durchgeführt werden. Er wird sich in der Regel aus den Betriebsdaten der Gasturbine ergeben und etwa im Bereich von 15 - 30 bar liegen. Dabei sind aus thermodynamischen Gegebenheiten möglichst hohe Drücke vorzuziehen.

Das für die Vergasung erforderliche sauerstoffhaltige Gas und der in der Regel erforderliche Wasserdampf sollten dem Wirbelschichtreaktor der Vergasungsstufe in unterschiedlicher Höhe zugeführt werden. Zweckmäßig ist es, Wasserdampf überwiegend in Form von Fluidisierungsgas und sauerstoffhaltiges Gas überwiegend in Form von Sekundärgas zuzuführen. Selbstverständlich kann der Eintrag untergeordneter Wasserdampfmengen auch zusammen mit dem sauerstoffhaltigen Sekundärgas und der Eintrag von untergeordneten Mengen sauerstoffhaltiger Gase zusammen mit Wasserdampf als Fluidisierungsgas erfolgen.

Die Verweilzeit der Gase in der Vergasungsstufe - oberhalb der

Eintrittsstelle des kohlenstoffhaltigen Materials gerechnet - sollte auf 3 bis 20 sec, vorzugsweise 10 bis 15 sec eingestellt werden. Diese Bedingung wird üblicherweise realisiert, indem man das kohlenstoffhaltige Material auf höherem Niveau in die Vergasungsstufe einträgt. Hierdurch entsteht einerseits ein an Kohlenwasserstoff reicheres Gas mit entsprechend höherem Heizwert, andererseits ist gewährleistet, daß das Gas praktisch keine im Abgassystem kondensierenden Kohlenwasserstoffe aufweist.

Die Entschwefelung des Brenngases erfolgt zweckmäßigerweise mit Entschwefelungsmitteln, deren Teilchengröße d_p 50 5 bis 200 μ m beträgt. Dabei sollte im Wirbelschichtreaktor eine mittlere Suspensionsdichte von 0,1 bis 10 kg/m^3 , vorzugsweise 1 bis 5 kg/m^3 , und eine stündliche Feststoffumlauftrate, die mindestens das 5-fache des im Reaktorschacht befindlichen Feststoffgewichtes ausmacht, eingestellt werden.

Die Dosierung des Entschwefelungsmittels sollte mindestens das 1,2- bis 2,0-fache des stöchiometrischen Bedarfs gemäß



betragen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei Verwendung von Dolomit oder gebranntem Dolomit praktisch nur die Kalziumkomponente mit den Schwefelverbindungen reagiert. Bei der in-situ-Entschwefelung^{felung} im Vergasungsreaktor sind zudem die mit den anorganischen Bestandteilen des kohlenstoffhaltigen Materials eingebrachten wirksamen Entschwefelungsmittel zu berücksichtigen.

Die Gasgeschwindigkeit bei der Entschwefelung wird in

Abhängigkeit vom Gasdruck auf ca. 1 bis 5 m/sec (gerechnet als Leerrohrgeschwindigkeit) eingestellt.

Bei separater Brenngasentschwefelung und insbesondere wenn die Abgase der Vergasungsstufe mit hohen Temperaturen austreten, kann das gesamte auch für die Verbrennungsstufe erforderliche Entschwefelungsmittel der Stufe der Gasentschwefelung zugegeben werden. Auf diese Weise wird die zur Aufheizung und gegebenenfalls zur Entsäuerung erforderliche Wärmeenergie dem Gas entzogen und damit der Vergasungs- und der Verbrennungsstufe erhalten.

Die in der Vergasungsstufe nicht umgesetzten brennbaren Bestandteile gelten - besonders unter dem Aspekt umweltfreundlicher Verbrennung - als schwieriger Brennstoff. Auch die bei der Gasreinigung anfallenden Nebenprodukte werden als sehr schwierig aufarbeitbar betrachtet. Ihre Aufarbeitung erfolgt mit Vorteil in einer weiteren zirkulierenden Wirbelschicht. Dabei werden gleichzeitig die bei der Gasreinigung angefallenen Nebenprodukte umweltfreundlich beseitigt. Die aus der Gasreinigungsstufe kommenden beladenen Entschwefelungsmittel, insbesondere soweit sie in sulfidischer Form vorliegen, wie Kalziumsulfid, werden sulfatisiert und dabei in deponiefähige Verbindungen, wie Kalziumsulfat, überführt. Außerdem wird die beim Sulfatisierungsprozeß freiwerdende Oxidationswärme zusätzlich als Dampf gewonnen. Auch die weiteren Nebenprodukte, wie Staub aus der Gasentstaubung, werden in umweltverträgliche Produkte überführt.

Die Verbrennung erfolgt zweistufig mit in unterschiedlicher Höhe zugeführten sauerstoffhaltigen Gasen. Ihr Vorzug liegt in einer "weichen" Verbrennung, bei der lokale

Überhitzungserscheinungen vermieden werden. Durch die gestufte Verbrennung wird zudem die NO_x -Bildung weitgehend zurückgedrängt. Die Brennstoffzufuhr erfolgt in die Zone zwischen den Zufuhrstellen für sauerstoffhaltiges Fluidisierungs- und Sekundärgas. Dabei wird zweckmäßigerweise oberhalb der oberen Gaszuführung eine mittlere Suspensionsdichte von 15 bis 100 kg/m^3 durch Einstellung der Fluidisierungs- und Sekundärgasmengen geschaffen und mindestens ein wesentlicher Teil der Verbrennungswärme mittels oberhalb der oberen Gaszuführung im Reaktorraum befindlicher Kühlflächen abgeführt.

Eine derartige Arbeitsweise ist in der DE-AS 25 39 546 bzw. in der entsprechenden US-PS 4 165 717 näher beschrieben.

Die im Wirbelschichtreaktor oberhalb der Sekundärgaszuführung herrschenden Gasgeschwindigkeiten liegen bei Normaldruck im Regelfall über 5 m/s und können bis zu 15 m/s betragen, und das Verhältnis von Durchmesser zu Höhe des Wirbelschichtreaktors sollte derart gewählt werden, daß Gasverweilzeiten von $0,5$ bis $8,0 \text{ s}$, vorzugsweise 1 bis 4 s , erhalten werden.

Als Fluidisierungsgas kann praktisch jedes beliebige, die Beschaffenheit des Abgases nicht beeinträchtigende Gas eingesetzt werden. Es sind zwar auch Inertgase, wie rückgeführtes Rauchgas (Abgas), Stickstoff und Wasserdampf, geeignet. Besonders vorteilhaft ist im Hinblick auf die Intensivierung des Verbrennungsprozesses ist es jedoch, bereits als Fluidisierungsgas sauerstoffhaltiges Gas zu verwenden.

Es ergeben sich mithin folgende Möglichkeiten:

1. Als Fluidisierungsgas bereits sauerstoffhaltiges Gas zu verwenden. Dann genügt der Eintrag von Sekundärgas in einer Ebene. Selbstverständlich kann auch bei dieser Ausführungsform noch eine Aufteilung des Sekundärgaseintrags in mehrere Ebenen erfolgen. Diese Arbeitsweise ist in der Regel vorzuziehen.
2. Als Fluidisierungsgas Inertgas zu verwenden. Dann ist es unerlässlich, das sauerstoffhaltige Verbrennungsgas als Sekundärgas in mindestens zwei übereinanderliegenden Ebenen einzutragen.

Innerhalb jeder Eintragsebene sind mehrere Zuführungsöffnungen für Sekundärgas vorteilhaft.

Eine weitere zweckmäßige Ausgestaltung des Verbrennungsprozesses besteht darin, oberhalb der oberen Gaszuführung eine mittlere Suspensionsdichte von 10 bis 40 kg/m³ durch Einstellung der Fluidisierungs- und Sekundärgasmengen zu schaffen, heißen Feststoff der zirkulierenden Wirbelschicht zu entnehmen und im Wirbelzustand durch direkten und indirekten Wärmeaustausch zu kühlen und mindestens einen Teilstrom gekühlten Feststoffes in die zirkulierende Wirbelschicht zurückzuführen.

Diese Ausführungsform ist in der DE-OS 26 24 302 bzw. in der entsprechenden US-PS 4 111 158 näher erläutert.

Hierbei läßt sich die Temperaturkonstanz praktisch ohne Änderung der im Wirbelschichtreaktor herrschenden

Betriebszustände, also etwa ohne Veränderung der Suspensionsdichte u.a., allein durch geregelte Rückführung des gekühlten Feststoffes erreichen. Je nach Verbrennungsleistung und eingestellter Verbrennungstemperatur ist die Rezirkulationsrate mehr oder minder hoch. Die Verbrennungstemperaturen lassen sich von sehr niedrigen Temperaturen, die nahe oberhalb der Zündgrenze liegen, bis zu sehr hohen Temperaturen, die etwa durch Erweichung der Verbrennungsrückstände begrenzt sind, beliebig einstellen. Sie können etwa zwischen 650 und 950°C liegen.

Auch bei dieser Ausgestaltung der Erfindung sind die Gasverweilzeiten, Gasgeschwindigkeiten oberhalb der Sekundärgasleitung bei Normaldruck und Art der Fluidisierungs- bzw. Sekundärgaszuführung in Übereinstimmung mit den gleichen Parametern der zuvor behandelten Ausführungsform.

Die Leistung bei der Dampferzeugung kann - ohne daß in die Stufe der Vergasung eingegriffen wird - erhöht werden, wenn der Verbrennungsstufe zusätzlich kohlenstoffhaltiges Material aufgegeben wird. Die Möglichkeit der separaten Zugabe von festem kohlenstoffhaltigem Material in die Verbrennungsstufe gestattet, insbesondere in der Anfahrphase, die Aufnahme des Dampfturbinenbetriebes, unabhängig vom Vergasungsrückstand der Vergasungsstufe.

Neben der Verwendung von Luft als sauerstoffhaltiges Gas können auch mit Sauerstoff angereicherte Luft oder technisch reiner Sauerstoff eingesetzt werden. Innerhalb der Verbrennungsstufe kann bei Normaldruck, aber auch unter Druck, etwa bis 10 bar, gearbeitet werden.

Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung bestehen darin, das Brenngas durch Vergasung von mindestens 80 Gew.-% des Kohlenstoffgehaltes des festen kohlenstoffhaltigen Materials zu erzeugen bzw. die entschwefelten Brenngase auf eine Temperatur im Bereich von 350 bis 600°C zu kühlen und von Halogeniden zu befreien.

Die Erhöhung des Vergasungsgrades auf mindestens 80 Gew.-% ist in der Regel mit dem Vorteil verbunden, daß ein zusätzlich erhöhter Wirkungsgrad erzielt wird.

Die Entfernung der Halogenide erfolgt trocken mit Kalziumoxid bzw. -hydroxid unter prinzipiell den gleichen Verfahrensbedingungen, die mit Bezug auf die separate Entschwefelung der Brenngase genannt sind.

Der überwiegende Teil des auf die vorstehend beschriebene Weise erzeugten und gereinigten Brenngases wird in einer Brennkammer überstöchiometrisch unter Erzeugung NO_x -armer Rauchgase verbrannt, so daß ein Rauchgas mit mindestens 5 Vol.-% Sauerstoff entsteht. Da sich die Temperatur des Rauchgases nach den Betriebsbedingungen der Gasturbine zu richten hat und bei Vollastbetrieb üblicherweise auf den maximal zulässigen Wert eingestellt wird, wird man die zur Verbrennung erforderliche Menge sauerstoffhaltiger Gase derart wählen, daß sich diese zulässige Höchsttemperatur einstellt. Dabei darf der Mindestsauerstoffgehalt von 5 Vol.-% jedoch nicht unterschritten werden. Gegebenenfalls ist für einen entsprechend hohen Heizwert des Brenngases Sorge zu tragen. Gegenwärtig betragen die Betriebstemperaturen der Gasturbine maximal 1200°C.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, den gegebenenfalls verbleibenden Teil des Brenngases nahstöchiometrisch unter Bildung NO_x -armer Rauchgase zu verbrennen, zu kühlen und einer zweiten Gasturbine zuzuführen. Bei der Kühlung ist aus den bereits vorstehend genannten Gründen möglichst nicht unter die zulässige Gasturbinen-Eintrittstemperatur zu gehen.

Diese Ausgestaltung der Erfindung wirkt sich insbesondere vorteilhaft dahingehend aus, daß auch bei Teillastbetrieb ein hoher Wirkungsgrad erzielbar ist.

Sofern für die Vergasung und/oder Verbrennung mit Sauerstoff angereicherte Luft bzw. technisch reiner Sauerstoff eingesetzt wird und zur Erzeugung des Sauerstoffes eine Luftzerlegungsanlage zur Verfügung steht, empfiehlt es sich, mindestens einen Teil des gleichzeitig anfallenden Stickstoffes der oder den Brennkammer(n) zur Erzeugung der Rauchgase für die Gasturbine(n) zuzusetzen. Dadurch ist es möglich, dem Gasturbinenprozeß zusätzliches, durch Aufnahme von Verbrennungswärme der Brenngase gewonnenes Gasvolumen zur Verfügung zu stellen (und damit den Wirkungsgrad zu verbessern). Bei der Kühlung der Brenngase mit Stickstoff ist jedoch darauf zu achten, daß die zulässige Eintrittstemperatur der Gasturbine möglichst nicht unterschritten wird.

Der Grad der Umwandlung der Primärenergie, wie Kohle, in Brenngas und Dampf und damit letztlich der Gesamtwirkungsgrad des kombinierten Gas-/Dampfturbinen-Prozesses ist im wesentlichen von der zulässigen Eintrittstemperatur des Rauchgases für die

Gasturbine bestimmt. Beispielsweise steigt das Verhältnis der Leistungen von Gasturbine zu Dampfturbine mit steigender zulässiger Eintrittstemperatur der Rauchgase zugunsten der Gasturbine. Das bedeutet, daß mit steigender zulässiger Eintrittstemperatur des Rauchgases das Ausmaß der Vergasung erhöht und damit das der Rückstandsverbrennung verringert werden sollte. Bei Gaseintrittstemperaturen von 1200°C sind Wirkungsgrade um 45 % erreichbar.

Die Erfindung wird anhand der Figur und der Beispiele beispielsweise und näher erläutert.

Die Figur stellt ein Fließschema des erfindungsgemäßen Verfahrens in vereinfachter Form dar.

Das Brenngas wird in der mit (1) veranschaulichten zirkulierenden Wirbelschicht, die über die Leitungen (2 bzw. 3 bzw. 4) mit sauerstoffhaltigem Fluidisierungsgas bzw. mit Dampf bzw. mit Kohle versorgt wird, erzeugt. Es wird über Leitung (5) einem ersten Wärmetauscher (6) und von dort der Vorrichtung (7) zur Entschwefelung zugeleitet. Nach Durchgang durch einen weiteren Wärmetauscher (8) erfolgt in der Vorrichtung (9) die Entfernung von Halogenwasserstoff, insbesondere Chlorwasserstoff, und in Vorrichtung (10) die Entstaubung. Die in den Vorrichtungen (7 und 9) erhaltenen, mit Schadstoffen des Brenngases beladenen Sorptionsmittel sowie die in der Vorrichtung (10) erhaltenen Stäube werden über die Leitungen (11, 12, 13) abgeführt.

Das Brenngas gelangt dann über Leitung (14) in die Brennkammer (15), die zusätzlich mit über Leitung (16)

herangeführtem sauerstoffhaltigen Gas versorgt wird. In der Brennkammer (15) wird das zum Antrieb der Gasturbine (17) bestimmte Rauchgas durch überstöchiometrische Verbrennung erzeugt. Dabei wird die Dosierung des sauerstoffhaltigen Gases derart gewählt, daß die für den Betrieb der Gasturbine (17) optimale Temperatur entsteht.

Ein Teil des Abgases der Gasturbine (17) wird der zirkulierenden Wirbelschicht (20) zur Verbrennung des Vergasungsrückstandes über Leitung (18 und 19) als Fluidierungsgas bzw. als Sekundärgas zugeleitet. Mittels des Gebläses (21) kann nötigenfalls frisches sauerstoffhaltiges Fluidisierungsgas eingebracht werden. Der Vergasungsrückstand wird zusammen mit den beladenen Sorptionsmitteln und den aus den Brenngasen abgeschiedenen Stäuben über Leitung (22) eingetragen. Gleichzeitig kann der zirkulierenden Wirbelschicht (20) weiteres Entschwefelungsmittel und gegebenenfalls zusätzliche Kohle zugeführt werden (Leitung 23). Der in den Dampfregistern (24) der zirkulierenden Wirbelschicht (20) erzeugte Dampf wird über Leitung (25) den unter Hochdruck, Mitteldruck und Niederdruck betriebenen Dampfturbinen (26, 27 und 28) zugeführt. Das Abgas der zirkulierenden Wirbelschicht (20) gelangt über einen weiteren Wärmetauscher (29) in eine Entstaubungsanlage (30) und dann in den Kamin (31).

Aus der Gasturbine (17) austretendes, in der zirkulierenden Wirbelschicht (20) nicht benötigtes sauerstoffhaltiges Rauchgas kann über Leitung (32) einem Wärmeaustauschersystem (33) zugeführt und dort in üblicher Weise gekühlt werden. Es gelangt dann ebenfalls in den Kamin (31).

In dem mit unterbrochenen Linien umgrenzten Feld befindet sich eine zweite Gasturbine (34), deren Inbetriebnahme insbesondere bei Teillastbetrieb vorteilhaft ist. Ihr ist eine Brennkammer (35) mit Abhitzekessel (36) vorgeschaltet, die auch als wandgekühlte Brennkammer ausgebildet sein kann. Im Unterschied zur Betriebsweise der Gasturbine (17) wird diese mit einem durch nahstöchiometrische Verbrennung gewonnenen Rauchgas betrieben. Das Rauchgas wird aus über Leitung (37) herangeführtem Brenngas und über Leitung (38) herangeführtem sauerstoffhaltigem Gas erzeugt. Das Abgas der Gasturbine (34) gelangt über Leitung (39) in Leitung (32) und wird, wie vorstehend beschrieben, verwertet.

Der besseren Übersicht halber sind in der Figur die den Turbinen zugeordneten Generatoren nicht dargestellt.

Beispiel 1

In der zirkulierenden Wirbelschicht (1) werden stündlich 223 000 Nm³ Gas erzeugt. Hierzu werden über Leitung (2) 155 000 Nm³ Luft von 350°C und 20 bar, über Leitung (3) 3,9 t Dampf von 400°C und über Leitung (4) 70 t Gasflammkohle einer mittleren Korngröße kleiner 6 mm zugeführt. Die Gasflammkohle (35 Gew.-% flüchtige Bestandteile, wasser-/aschefrei angegeben) enthält

21,5	Gew.-%	Asche
1,5	"	Wasser
70,5	"	C + H
2,0	"	N + S
4,5	"	O

und besitzt einen Heizwert H_u von 26 MJ/kg. Die Temperatur in der Vergasungsstufe beträgt 1050 °C, der Kohlenstoffumsatz ca. 85 Gew.-%.

Das erzeugte Gas wird über Leitung (5) abgezogen, im Wärmeaustauscher (6) auf 900°C gekühlt und in der Vorrichtung (7) durch Zugabe von 5 t/h CaCO_3 entschwefelt. Die Daten des Gases sind

24,4	Vol.-%	CO
4,0	"	CO_2
11,3	"	H_2
3,0	"	H_2O
2,4	"	$\text{CH}_4 + \text{C}_m\text{H}_n$
54,9	"	N_2

Sein Heizwert beträgt 5,3 kJ/Nm³.

Nach weiterer Gaskühlung auf 400°C im Wärmetauscher (8) und Beseitigung von restlichen Schadgasen, insbesondere HCl, mittels $\text{Ca}(\text{OH})_2$ auf Werte kleiner 10 mg/Nm³ in der Vorrichtung (9) wird das Gas in der Vorrichtung (10) auf Werte kleiner 10 mg/Nm³ entstaubt.

Das Gas wird dann der Brennkammer (15) über Leitung (14) zugeführt und dort mit dem 3,6-fachen des stöchiometrischen Bedarfes an Luft, die über Leitung (16) eingetragen wird, verbrannt. Das dabei entstehende Rauchgas von 1100°C wird anschließend in der Gasturbine (17) entspannt. Das Abgas der Gasturbine besitzt eine Temperatur von 550°C, einen Druck von 1,35 bar, einen Sauerstoffgehalt von 13 Vol.-% und einen NO_x -Gehalt von 200 mg/Nm³. Die Klemmenleistung des der Gasturbine (17)

zugeordneten Generators beträgt 97 MW.

Der Vergasungsrückstand von 26,7 t/h sowie die Austräge aus den Vorrichtungen (7,9 und 10) in eine Gesamtmenge von 5,0 t/h werden mit einer Mischtemperatur von 955°C über Leitung (22) der zirkulierenden Wirbelschicht (20) zugeleitet. Dort erfolgt die Verbrennung mit 25%igem Sauerstoffüberschuß bei 850°C. Die Aufteilung der Volumina Fluidisierungsgas zu Sekundärgas erfolgt im Verhältnis 30 : 70, wobei sich das Fluidisierungsgas zu 1/3 aus Luft (Gebläse 21) und zu 2/3 aus über Leitung (18) zugeführtem Gasturbinenabgas zusammensetzt und eine Temperatur von 300°C aufweist. Das Sekundärgas für den Wirbelschichtreaktor (20) besteht ausschließlich aus Gasturbinenabgas von 550°C (Leitung 19). Insgesamt gelangen damit 10 Vol.-% des Gasturbinenabgases in die zirkulierende Wirbelschicht (20). In der zirkulierenden Wirbelschicht (20) wird Dampf von 100 bar und 535°C erzeugt, der dem Dampfturbinensatz (26, 27 und 28) über Leitung (25) aufgegeben wird. Der diesen Dampfturbinen zugeordnete Generator liefert eine Netto-Leistung von 116 MW.

Das Abgas der zirkulierenden Wirbelschicht (20) wird im Wärmeaustauscher (29) gekühlt, in der Anlage (30) entstaubt und dem Kamin (31) zugeleitet. Aufgrund der günstigen Verbrennungsbedingungen liegen die NO_x -Werte unter 175 mg/Nm^3 und die SO_x -Werte unter 200 mg/Nm^3 .

Das nicht in den Verbrennungsprozeß eingesetzte Gasturbinenabgas (90 Vol.-%) wird über Leitung (32) dem Wärmetauschersystem (33) zugeführt, dort unter Kondensatvorwärmung und Dampferzeugung auf 100°C gekühlt

und schließlich dem Kamin (31) zugeleitet.

Der im vorliegenden Beispiel erreichte Gesamtwirkungsgrad beträgt 42 %, wobei sich die Leistungsanteile von Dampf- und Gasturbine wie etwa 1 : 0,83 verhalten.

Beispiel 2

Die Vergasung, Gaskühlung und Gasreinigung erfolgte unter den gleichen Bedingungen und mit den Mengenströmen wie im Beispiel 1.

40 % des in der Vergasungsstufe (1) erzeugten Brenngases werden mit einem Luftüberschuß von 5 % in der unter Druck stehenden Brennkammer (35) zu einem Rauchgas von 1100°C verbrannt und in der Gasturbine (34) entspannt. Das Abgas der Gasturbine (34) besitzt eine Temperatur von 550°C, einen Druck von ca. 1 bar und einen Sauerstoffgehalt von ca. 1 Vol.-%. Es wird im Wärmetauschersystem (33) gekühlt und mit ca. 100°C in den Kamin (31) gegeben.

Die Klemmenleistung des der Gasturbine (34) zugeordneten Generators beträgt 26 MW.

Der überwiegende Teil des Brenngases, nämlich die verbleibenden 60 %, werden über Leitung (14) der Brennkammer (15) zugeleitet und unter Zugabe von Luft des 3,6-fachen stöchiometrischen Bedarfs verbrannt. Das dabei gebildete Rauchgas von 1100°C wird anschließend in der Gasturbine (17) entspannt und dabei auf 550°C abgekühlt. Das Gasturbinenabgas hat einen Sauerstoffgehalt von 13 Vol.-% und einen Druck von 1,35 bar.

21

Der Generator der Gasturbine (17) liefert eine Klemmenleistung von 58 MW.

Der Vergasungsrückstand von 26,7 t/h sowie die Austräge aus den Vorrichtungen (7, 9 und 10) in einer Gesamtmenge von 5 t/h werden durch Leitung (22) der zirkulierenden Wirbelschicht (20) aufgegeben und dort bei 850°C mit einem Sauerstoffüberschuß von 25 % verbrannt. Wie im Falle des Beispiels 1 beträgt die Aufteilung der Volumina Fluidisierungsgas zu Sekundärgas 30 : 70, wobei sich das Fluidisierungsgas zu 1/3 aus Luft (Gebläse 21) und zu 2/3 aus über Leitung (18) zugeführtem Gasturbinenabgas zusammensetzt. Dessen Temperatur liegt bei 300°C. Das Sekundärgas für den Wirbelschichtreaktor (20) besteht ausschließlich aus Gasturbinenabgas von 550°C (Leitung 19). Damit gelangen insgesamt 17 Vol.-% des Gasturbinenabgases in die zirkulierende Wirbelschicht.

In der zirkulierenden Wirbelschicht (20) wird Dampf von 100 bar und 535°C erzeugt, der dem Dampfturbinensatz (26, 27 und 28) über Leitung (25) aufgegeben wird. Der Generator dieses Dampfturbinensatzes liefert eine Netto-Leistung von 129 MW.

Die Führung des Abgases der zirkulierenden Wirbelschicht (20) sowie des nicht in den Verbrennungsprozeß eingesetzten Gasturbinenabgases geschieht wie in Beispiel 1.

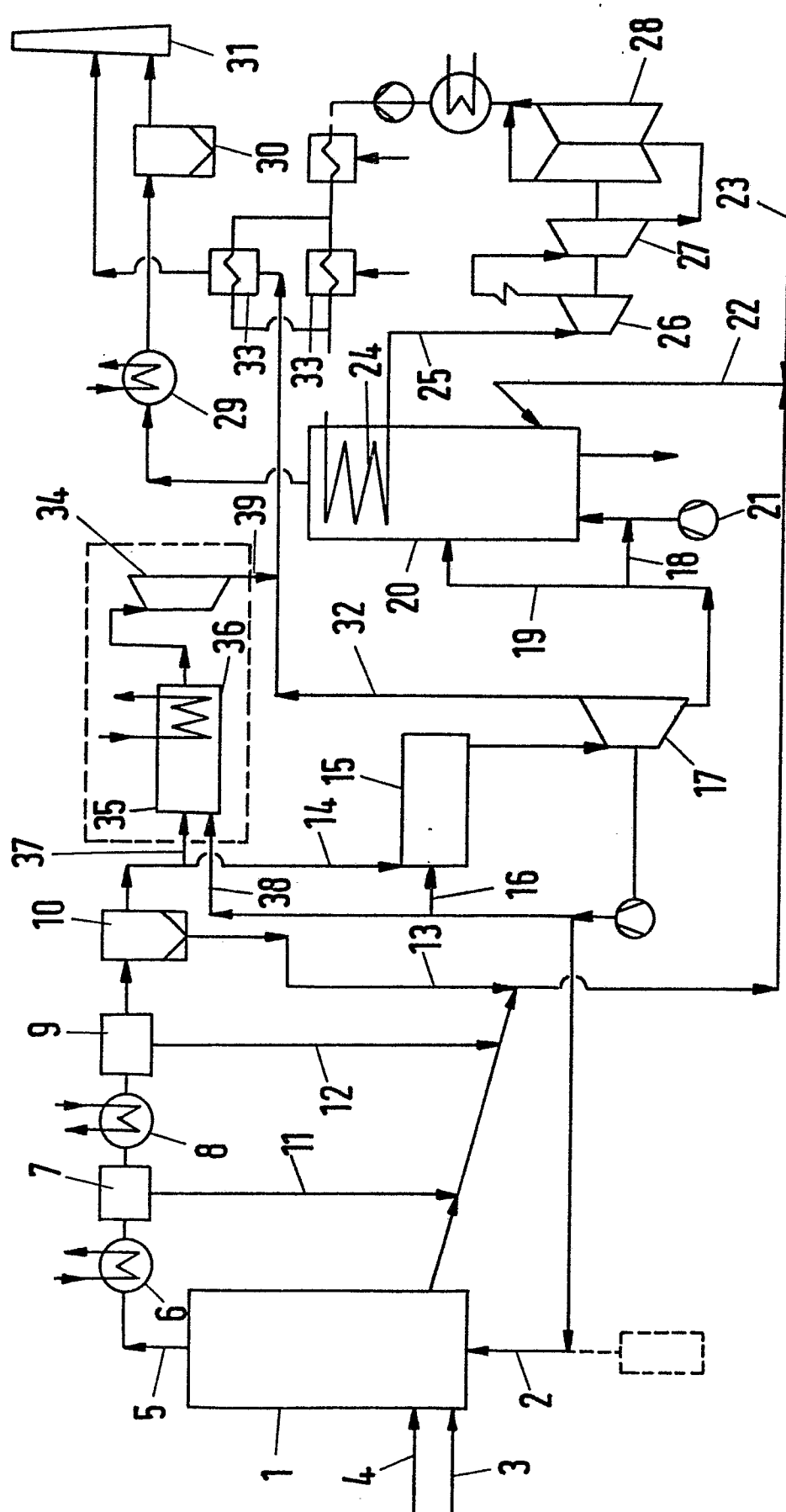
Auch in dem vorliegenden Beispiel beträgt der Gesamtwirkungsgrad 42 %.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines kombinierten Gasturbinen-/Dampfturbinen-Prozesses, bei dem der Gasturbinen-Prozeß mittels eines aus festem kohlenstoffhaltigem Material gewonnenen und danach entschwefelten Brenngases und der Dampfturbinen-Prozeß mittels des bei der Verbrennung des kohlenstoffhaltigen Vergasungsrückstandes gewonnenen Dampfes betrieben wird und bei dem die Verbrennung des kohlenstoffhaltigen Vergasungsrückstandes mit sauerstoffhaltigen Abgasen des Gasturbinen-Prozesses erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß man das Brenngas in einer zirkulierenden Wirbelschicht durch Vergasung von 70 bis 95 Gew.-% des Kohlenstoffgehalts im kohlenstoffhaltigen Material bei einer Temperatur von 900 bis 1100°C erzeugt, im Suspensionszustand bei 850 bis 950°C mit Kalziumhydroxid, Kalziumoxid und/oder kalziumkarbonathaltigem Feststoff von Schadstoffen befreit und zum überwiegenden Teil für den Betrieb der Gasturbine zu einem mindestens 5 Vol.-% Sauerstoff enthaltenden Gas von mindestens 1000°C verbrennt, die Verbrennung des kohlenstoffhaltigen Vergasungsrückstandes unter Erzeugung von Prozeßdampf in einer weiteren zirkulierenden Wirbelschicht bei einer Temperatur von 800 bis 950°C nahstöchiometrisch mit mindestens 2 Teilströmen in unterschiedlicher Höhe zugeführten sauerstoffhaltigen Gasen, die zum überwiegenden Teil aus dem Gasturbinenabgas gebildet werden, durchführt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man das Brenngas durch Vergasung von mindestens 80

Gew.-% des Kohlenstoffgehaltes des kohlenstoffhaltigen Materials erzeugt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß man die entschwefelten Brenngase auf eine Temperatur im Bereich von 350 bis 600°C kühlt und von Halogeniden befreit.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß man den gegebenenfalls verbleibenden Teil des Brenngases nahstöchiometrisch verbrennt, kühlt und einer zweiten Gasturbine zuführt.





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0249255

EP 87 20 0488

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 9, Nr. 87 (M-372) 1810, 17. April 1985; & JP-A-59 215 906 (ISHIKAWAJIMA HARIMA JUKOGYO K.K.) 05-12-1984 * Zusammenfassung *	1	F 01 K 23/06 F 02 C 3/20 F 02 C 3/28 F 23 C 6/04
A	DE-A-3 338 107 (BBC) * Zusammenfassung; Seite 2, Zeilen 4-17; Seite 6, Zeilen 1-27; Figuren *	1	
A	US-A-4 478 039 (HORGAN) * Zusammenfassung; Spalte 3, Zeilen 14-62; Spalte 4, Zeilen 28-41; Figuren 1, 4b *	1	
A	GB-A-2 148 734 (THE ENGLISH ELECTRIC CO.) * Zusammenfassung; Figuren 1, 2 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. 4) F 01 K F 02 C F 23 C C 10 J
A	LU-A- 83 085 (COCKERILL)		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 6, Nr. 126 (M-142) 1004, 10. Juli 1982; & JP-A-57 52 707 (BABCOCK HITACHI K.K.) 29-03-1982		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 27-07-1987	
		Prüfer ERNST J.L.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			