

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

②¹ Anmeldenummer: 84107737.3

⑤ Int. Cl.⁴: H 05 H 1/34

②② Anmeldetag: 04.07.84

③ Priorität: 10.08.83 DE 3328777

④ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.03.85 Patentblatt 85/13

84 Benannte Vertragsstaaten:
BE FR GB IT LU NL SE

**71) Anmelder: Fried. Krupp Gesellschaft mit beschränkter Haftung
Altendorfer Strasse 103
D-4300 Essen 1(DE)**

**(72) Erfinder: Bebbler, Hans Josef, Dr.
Konrad-Steiler-Strasse 9
D-4330 Mülheim 12(DE)**

(72) Erfinder: Tomalla, Gebhard
Wortbergrode 13
D-4300 Essen 1(DE)

(72) Erfinder: Rossner, Heinrich-Otto
Sedanstrasse 57
D-4300 Essen(DE)

54) Plasmabrenner und Verfahren zu dessen Betreiben.

(57) Bei Plasmabrennern (15) mit einer zentralen Hilfselektrode (1) und einer einen Zentralkanal (4) aufweisenden und die Hilfselektrode (1) konzentrisch umgebenden Düsen­elektrode (2) sowie einer beide Elektroden (1, 2) umgebenden Düse (3) wird zwecks Erzeugung einer Plasmazündflamme (6) hinreichend großer Länge eine besondere Plasmabrennergeometrie gewählt. So ist der Durchmesser (B) des ersten, die Hilfselektrode (1) umgebenden zylindrischen Teils (5) des Zentralkanals (4) 1,2 bis 2,5mal so groß wie der Durchmesser (b) der Hilfselektrode (1). Der Zentralkanal und die Hilfselektrode (1) besitzen eine Verjüngung (12 bzw. 16) mit einem Kegelwinkel (β bzw. α) zwischen 20 und 80°.

Der Düsenringkanal (9) zwischen der Düsenelektrode (2) und der sie umgebenden Düse (3) ist zumindest am Düsenende an der Innenseite der Düse (3) mit einer elektrisch isolierenden Auskleidung (10) versehen.

Bevorzugt wird die Plasmagaszufuhr durch den Zentralkanal (4) so eingestellt, daß die Reynoldszahl zwischen 10 und 2300, vorzugsweise zwischen 10 und 100 liegt.

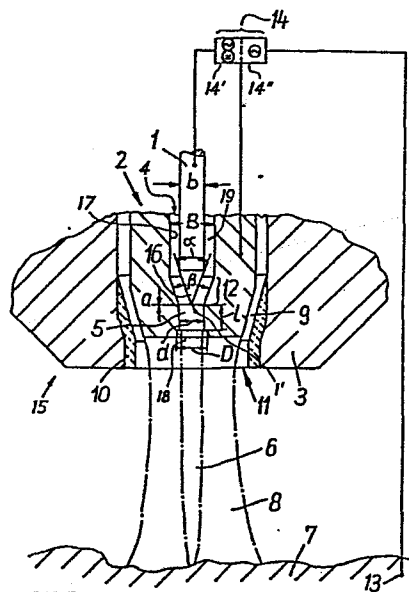


FIG. 1

FRIED. KRUPP GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG
in Essen

Plasmabrenner und Verfahren zu dessen Betreiben

Die Erfindung betrifft einen Plasmabrenner, der mit zwei konzentrisch angeordneten Elektroden und einer diese umgebenden Düse ausgestattet ist. Die erste der Elektroden, die sogenannte Hilfselektrode, weist am vorderen Ende eine Verjüngung auf. Die zweite Elektrode besitzt einen Zentralkanal, in dessen Mitte die Hilfselektrode ragt und der aus einem ersten zylindrischen Teil, einer konischen Verjüngung und einem zweiten, engeren zylindrischen Teil besteht und an den sich ggf. noch eine Erweiterung anschließt. Die zweite Elektrode und die Hilfselektrode bilden einen ringförmigen Kanal. Die Anmeldung betrifft ebenfalls ein Verfahren zum Betreiben des genannten Plasmabrenners.

Bei den nach dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen wird zwischen der ersten Elektrode und der düsenförmigen zweiten Elektrode mit Hilfe einer Gleichstromquelle ein Lichtbogen, der sogenannte Hilfslichtbogen, erzeugt und aufrecht erhalten. Ferner wird ein Gasstrom mit dem Hilfslichtbogen in Berührung gebracht und durch die Düsenelektrode geleitet, um das durch den Hilfslichtbogen gebildete Plasma zu der dritten Elektrode zu treiben. Die Gleichstromquelle dient dabei nicht nur zur Aufrechterhaltung des Hilfslichtbogens zwischen der ersten und der zweiten Elektrode, sondern vor allem auch zur Aufheizung des durch den Lichtbogen gebildeten und zu einer dritten Elektrode getriebenen Plasmas. Die zwischen der zweiten Elektrode und der dritten Elektrode angelegte Stromquelle kann entweder eine

Gleichstromquelle oder, wie z. B. in der DE-PS 14 40 594 vorgeschlagen, eine Wechselstromquelle sein. Wird eine Wechselstromquelle verwendet, hat der zwischen der Hilfs-
elektrode und der zweiten Elektrode brennende Gleich-
stromhilfslichtbogen die Aufgabe, einen kontinuierlichen
Strom ionisierten Plasmas zu erzeugen und in den Be-
reich des mit Wechselstrom gespeisten Hauptlichtbogens
zu bringen. Damit soll in erster Linie das Wiederezünden
des Hauptlichtbogens nach jedem Nulldurchgang des Wech-
selstroms ermöglicht und daneben auch eine thermische
Überlastung der Düsenelektrode durch den an dieser
Elektrode befindlichen Wechselstrombrennfleck verhindert
werden.

Neben der Aufrechterhaltung des Wechselstrombogens und
der Verhinderung thermischer Überlastung der Wechsel-
stromelektrode eines Plasmabrenners hat ein Hilfslicht-
bogen oft auch die Aufgabe, den Plasmabrenner zu starten.
Dies geschieht, indem die vom Hilfslichtbogen erzeugte,
aus der Brennermündung austretende Plasmaflamme einen
Kanal aus ionisiertem Gas zwischen der Brenner-
elektrode und einer Gegenelektrode bzw. dem aufzuheizenden oder
zu schmelzenden Gut bildet, in dem der Hauptlichtbogen-
strom, sei es nun Gleich- oder Wechselstrom, zu fließen
beginnen kann, sobald die Hauptlichtbogenspannung zwi-
schen Brenner- und Gegenelektrode angelegt wird. Dazu
kann der Hilfslichtbogen z. B. zwischen der Brenner-
elektrode und der diese umgebenden, die Mündung des Brenner-
materials bildenden Brennerdüse oder zwischen zwei Hilfs-
elektroden oder auch zwischen Hilfs- und Düsenelektrode
der vorstehend beschriebenen Anordnung erzeugt werden.
Voraussetzung für die Initialzündung des Hauptlichtbogens
ist, daß die Plasmazündflamme bis zur Gegenelektrode bzw.
dem Schmelzgut reicht und so eine ununterbrochene elek-
trisch leitende Strecke zwischen Brenner- und Gegenelek-
trode darstellt. Infolgedessen muß der Plasmabrenner um

so näher an die Gegenelektrode herangefahren werden,
je kürzer seine Zündflamme ist.

5 In vielen Anwendungsfällen ist es aber wünschenswert
oder sogar technisch erforderlich, den oder die Plasma-
brenner aus möglichst großer Entfernung von der Gegen-
elektrode bzw. dem zu erwärmenden oder einzuschmelzen-
den Gut zu zünden, insbesondere wenn es sich um sperri-
ge Stoffe, wie z. B. Schrott, handelt, deren Schüttung
keine im wesentlichen ebene, sondern eine zerklüftete
10 Oberfläche bildet. Da Plasmabrenner nicht mit elektrisch
leitendem Material in Berührung kommen dürfen, da sie
ansonsten zerstört werden, ist es im praktischen Betrieb
äußerst wichtig, die Plasmabrenner in einem sicheren
Abstand von der Oberfläche des zu schmelzenden Gutes,
15 d. h. mit entsprechend großer Zündflamme, starten zu
können.

Verwendet man die in der DE-PS 14 40 594 beschriebene
Lichtbogenanordnung, so werden auch nach Optimierung
der Hauptlichtbogenstromstärke und des Plasmagasdurch-
satzes nur Zündflammenlängen von 6 bis 8 cm erreicht.
20 Auch die nach der DE-OS 29 00 330 bekannte Vorrichtung
führt nicht zu hinreichend langen Zündflammen.

25 Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Plasma-
brenner der eingangs genannten Art anzugeben, der eine
Plasmazündflamme von hinreichend großer Länge bildet,
die das Zünden des Plasmabrenners auf leichtem sperri-
gem Schrott mechanisch kontaktlos und sicher ermöglicht.

30 Die Aufgabe wird durch einen Plasmabrenner der eingangs
genannten Art gelöst, der folgende Merkmale aufweist.
Der Durchmesser des ersten zylindrischen Teils ist

1,2 bis 2,5mal so groß, bevorzugt 1,5 bis 2mal so groß wie der Durchmesser der Hilfselektrode. Die konische Verjüngung des Zentralkanals besitzt einen Kegelwinkel zwischen 20° und 80° , vorteilhafterweise zwischen 30° und 60° . Die Verjüngung der Hilfselektrode weist einen Kegelwinkel zwischen 20° und 80° auf, wobei sich an die Verjüngung der Hilfselektrode zur Elektrodenspitze hin ggf. ein weiterer Konus mit einem größeren Kegelwinkel zwischen 40° und 180° anschließen kann. Alternativ kann der Spitzenbereich der Hilfselektrode auch als Kalotte ausgebildet werden. Der Durchmesser der Erweiterung (D) des Zentralkanals ist bis zu 3mal größer als der zweite zylindrische Teil mit einem Durchmesser (d), vorzugsweise liegt das Verhältnis D/d zwischen 1 und 1,5. Die Hilfselektrode wird so angeordnet, daß deren Elektrodenspitze etwa in der Höhe des Übergangs des konischen Teils des Zentralkanals zum zweiten, engeren zylindrischen Teil angeordnet ist. Benennt man den Abstand der Elektrodenspitze von dieser Übergangsfläche mit (a), wobei (a) ein negatives Vorzeichen besitzt, sofern die Hilfselektrodenspitze in den zweiten, engeren zylindrischen Teil des Zentralkanals hineinragt, so wird das Verhältnis (a) zum Durchmesser des zweiten, engeren zylindrischen Teils (d) zwischen -1 und +2, bevorzugt zwischen 0 und 1 gewählt.

Damit ist eine erfindungsgemäße Lösung gefunden, bei der die Geometrie der Hilfselektrode sowie die Innenkontur der Düsenelektrode so aufeinander abgestimmt sind, daß der zentral aus der Düsenelektrode austretende, magnetohydrodynamisch als Freistrahle anzusehende Strom ionisierten Gases einen zwar schmalen, dafür aber möglichst langen Kanal mit sehr hoher elektrischer Leitfähigkeit ausbildet und so in der Lage ist, einen

für das Zünden des Hauptlichtbogens ausreichenden Stromfluß über eine möglichst lange Strecke sicherzustellen.

Die erfindungsgemäße Lehre berücksichtigt die Erkenntnis,
; die Düsenöffnung zylindrisch und die stirnseitige Begrenzung der Düse möglichst scharfkantig zu gestalten. Die dadurch gebildete Abreißkante führt zu einer sehr geringen Strahldivergenz. Daher ist die Erweiterung bzw. Bohrung mit dem Durchmesser so dimensioniert, daß
; der stirnseitig ansetzende Hauptlichtbogen die für die Zündlichtbogenausbildung maßgebliche Düsenmündung nicht verändert.

Mit der Ausbildung der möglichst langen Zündflamme steht
auch die Dimensionierung des Ringspaltes zwischen der
5 Düsenelektrode und der Hilfselektrode in Zusammenhang. Durch die jeweils konische Ausgestaltung der Hilfselektrode und des Zentralkanals wird das kalte, zur Plasma- bildung benutzte Gas durch den dabei gebildeten zylindrischen Spalt optimal in den als Brennkammer für den
0 Zündlichtbogen dienenden konischen Bereich eingeleitet.

Nach einer Weiterbildung der Erfindung werden die Länge des zweiten, engeren zylindrischen Teils des Zentralkanals und der Durchmesser dieses Teils so gewählt, daß sie ein Verhältnis zwischen 0,2 und 3, bevorzugt zwischen
25 1 und 1,5 bilden. Ein kleineres Verhältnis führt zu ungenügend stabilisierter, nicht exakt axial brennender Zündflamme, ein größeres Verhältnis verursacht eine unnötig große Kühlung des ionisierten Gases, was zu einer Verkürzung der Zündflamme führen würde.

30 Vorteilhafterweise wird der freie Querschnitt des Ringspaltes im Zentralkanal der Düsenelektrode für das Zünd-

lichtbogenplasmagas ausgehend vom Ringspalt über den konischen Bereich auf Höhe der Hilfselektroden spitze bis zum zweiten, engeren zylindrischen Teil des Zentralkanals so dimensioniert, daß er sich in Fließrichtung des Gases monoton verkleinert.

Schließlich wird der Ringkanal zwischen der Düsen-
elektrode und der diese umschließenden Düse an der Düsen-
innenseite mit einer elektrisch isolierenden Ausklei-
dung versehen, um die Ausbildung parasitärer Bögen wirk-
samer zu verhindern, als dies die bisher nach dem Stand
der Technik üblichen reinen Kaltgasisolationen ermög-
lichten.

Die vorbeschriebene Vorrichtung mit der dargelegten er-
findungsgemäßen Geometrie bewirkt, daß das ionisierte
Gas laminar in den konischen Bereich eingeleitet werden
kann und die Gasströmung bis zum Austritt aus der Düsen-
elektrode laminar erhalten bleibt.

Neben der erfindungsgemäßen Vorrichtung bringt im Hin-
blick auf die Erzeugung einer Zündlichtbogenflamme
optimaler Länge auch ein Verfahren Vorteile, bei dem
die Plasmagaszufuhr durch den Zentralkanal in den Brenn-
bereich des Hilfslichtbogens (Zündlichtbogens) so ein-
gestellt wird, daß die Reynoldszahl zwischen 10 und
2300, vorzugsweise zwischen 10 und 100, liegt.

Praktische Erfahrungen mit der erfindungsgemäßen Vor-
richtung und dem Verfahren zeigen, daß die im wesent-
lichen durch die erfindungsgemäße Geometrie bestimmte
Spannungsaufnahme des Zündlichtbogens so hoch ist, daß
bereits Stromstärken von 200 bis 300 A ausreichen, um
die gewünscht lange Zündlichtbogenflamme zu erzeugen.

Wegen dieser niedrigen Stromstärken treten weder an der Düsen- noch an der Hilfselektrode nennenswerte Verschleißerscheinungen auf. Im übrigen garantieren die Ausgestaltungen der Hilfselektrode, die mit
5 ihrem Konus die innere Begrenzung, und der Düsen-
elektrode, die die äußere Begrenzung des Zentral-
kanals bildet, daß der Zündlichtbogen immer an geome-
trisch wohldefinierten Stellen reproduzierbar sicher
ansetzt. Dies führt zu einer ständig genau axial
10 gerichteten Zündlichtbogenflamme.

Ferner zeigt sich im praktischen Betrieb, daß der Zünd- bzw. Hilfslichtbogen und der Hauptlichtbogen weitgehend elektrisch entkoppelt sind und so die Hauptlichtbogenzündung optimiert durchgeführt werden
15 kann.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird zur Aufrechterhaltung des Hilfslichtbogens eine Wechselstromquelle verwendet, welche den Vorteil hat, daß Hilfs- und Hauptlichtbogen aus einer Stromquelle ge-
20 speist werden können.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Plasmabrenner in einem auszugsweisen
25 schematischen Längsschnitt und

Fig. 2 eine Hilfselektrode mit zwei konischen
Verjüngungen an der Spitze.

Der in Fig. 1 dargestellte Plasmabrenner 15 besteht im wesentlichen aus einer Hilfselektrode 1, einer Elektrode
30 2 und einer sie umschließenden Düse 3. Die Hilfselek-
trode 1 ist eine massive, im Querschnitt kreisförmige

Stabelektrode mit einem Durchmesser b . Die Hilfs-
elektrode 1 weist eine die Elektrodenspitze 1'
bildende konische Verjüngung 16 auf. Der Kegelwinkel α
dieser Verjüngung 16 beträgt 40° .

5 Die Düsenelektrode 2 besitzt eine zentrale Bohrung
bzw. einen Zentralkanal 4, in den die genannte Hilfs-
elektrode 1 hineinragt. Der Zentralkanal 4 weist - von
innen nach außen - einen ersten zylindrischen Teil 17,
einen sich konisch verjüngenden Teil 12 und einen zweiten,
10 engeren zylindrischen Teil 5 auf, an den sich noch
eine zylindrische Erweiterung 18 mit einem Durchmesser
 D anschließt.

Der erste zylindrische Teil 17 besitzt einen Durch-
messer B , so daß zwischen der Düsenelektrode 2 und
15 der Hilfselektrode 1 ein Ringspalt 19 mit der Ring-
breite $(B - b) / 2$ besteht. Der sich konisch verjüngende
Teil 12 verbindet den zylindrischen Teil 17 mit dem
Durchmesser B mit dem zylindrischen Teil 5 mit dem
kleineren Durchmesser d und weist einen Kegelwinkel β
20 auf, der - wie der Winkel α - 40° beträgt, so daß
die Mantellinien der konischen Verjüngung 16 und des
sich konisch verjüngenden Teils 12 parallel verlaufen.
Aufgrund der kleiner werdenden Querschnittsflächen des
Zentralkanals 4 und der Hilfselektrode 1 wird mit dieser
25 Gestaltung auf einfache Art erreicht, daß der Ringspalt 19
im Bereich des sich konisch verjüngenden Teils 12 in
Richtung auf die Stirnfläche 11 des Plasmabrenners 15
gleichförmig abnimmt.

An die Düsenelektrode 2 schließt sich nach außen hin ein
30 Ringkanal bzw. ein Ringspalt 9 an, der seinerseits wieder
durch die Brennerdüse 3 begrenzt wird. Die Düse 3 weist
im Bereich der äußeren Plasmakanalbegrenzung, d.h. in
Richtung der Stirnfläche 11 des Plasmabrenners 15 an
ihrer Innenseite eine elektrisch isolierende Schicht 10
35 auf, die die Ausbildung parasitärer Lichtbögen wirksam

verhindert.

Der in Fig. 1 dargestellte Plasmabrenner 15 ist so dimensioniert, daß der Abstand a von der Elektroden-
spitze 1' bis zu dem Übergangsbereich des sich konisch
5 verjüngenden Teils 12 zu dem zweiten zylindrischen
Teil 5 zu Null gewählt ist. Die Länge l des zweiten,
engeren zylindrischen Teils 5 ist so gewählt, daß das
Verhältnis $l/d = 1$ ist. Das Verhältnis B/b beträgt
1,7 und das Verhältnis D/d 1,25. Die erfindungsgemäße
10 Vorrichtung führt zu einem langen Zündlichtbogen 6,
der ausreicht, den Hauptlichtbogen 8 über eine Strecke
von mindestens 15 cm zu zünden. In Fig. 1 ist das zu
erschmelzende Gut mit 7 bezeichnet.

In Abwandlung des beschriebenen Ausführungsbeispiels
15 weist die Hilfselektrode gemäß Fig. 2 eine konische
Verjüngung 16 in Form eines Kegelstumpfes mit einem
Kegelwinkel $\alpha = 40^\circ$ und eine sich daran in Richtung
auf die Elektroden spitze 1' anschließende Verjüngung 21
mit einem Kegelwinkel $\gamma = 90^\circ$ auf.

20 Fig. 1 zeigt ferner schematisch die Stromversorgung der
Elektroden 1 und 2. So kann die Stromversorgung 14' für
den Zünd- bzw. Hilfslichtbogen 6, die mit der Hilfs-
elektrode 1 und der Düsenelektrode 2 bzw. mit deren
Anschlüssen verbunden ist, eine Gleich- oder Wechsel-
25 stromquelle aufweisen. Die Stromversorgung 14" für den
Hauptlichtbogen 8 ist ihrerseits an der Düsenelektrode 2
und an einer Gegenelektrode 13 angeschlossen. Betreibt
man sowohl die Stromversorgung 14' als auch die Strom-
versorgung 14" mit Wechselstrom, so kann bei Verwendung
30 entsprechender, dem Fachmann bekannter elektrischer Bau-
elemente eine gemeinsame Stromversorgung 14 mit nur einer
Stromart verwendet werden. Zum Betreiben der beiden Licht-

bögen 6 und 8 ist es prinzipiell jedoch auch möglich, die genannten Elektroden 1 und 2 an einer einzigen, gemeinsamen Gleichstromversorgung anzuschließen.

Beim Betreiben des beschriebenen Plasmabrenners 15
5 wird die Plasmagaszufuhr durch den Zentralkanal 4 in den Bereich des Hilfs- bzw. Zündlichtbogens 8 so eingestellt, daß die Reynoldszahl Re zwischen 10 und 2300, vorzugsweise jedoch zwischen 10 und 100 liegt. Dabei ergibt sich die Reynoldszahl Re z.B. in dem
10 zweiten, engeren zylindrischen Teil 5 zu $Re = (v \cdot d) / \nu$,
wobei v die Strömungsgeschwindigkeit und ν die kinematische Zähigkeit des Plasmagases bedeutet.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Plasmabrenner zur Erzielung möglichst langer Initialzündbögen mit zwei konzentrisch angeordneten Elektroden (1, 2) und einer diese umgebenden Düse (3),
- 5 wobei eine erste Elektrode (1) als Hilfselektrode zentral angeordnet ist und an ihrem vorderen Ende (1') eine Verjüngung aufweist, und eine sie umhüllende zweite Elektrode (2) als Düsenelektrode einen Zentralkanal (4) be-
- 10 sitzt, der aus einem ersten zylindrischen Teil (17), einer konischen Verjüngung (12) und einem zweiten, engeren zylindrischen Teil (5), an den sich ggf. noch eine Erweiterung (17) anschließt, besteht und der (4) zusammen mit der Hilfselek-
- 15 trode (1) einen ringförmigen Kanal (19) bildet, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- daß der Durchmesser (B) des ersten zylindrischen Teils (17) des Zentralkanals (4) 1,2 bis 2,5mal so groß ist wie der Durchmesser (b) der Hilfs-
 - 20 elektrode (1),
 - daß die konische Verjüngung (12) des Zentralkanals (4) einen Kegelwinkel (β) zwischen 20 und 80° besitzt und die Verjüngung der Hilfselektrode (1) konisch unter einem Kegelwinkel
 - 25 (α) zwischen 20 und 80° ausgebildet ist,
 - daß der Durchmesser (D) der Erweiterung (18) des Zentralkanals (4) bis zu 3mal größer ist als der Durchmesser (d) des zweiten zylindrischen Teils (5)
 - 30 - und daß die Hilfselektrode (1) so angeordnet ist, das der Abstand (a) von der Elektrodenspitze (1') bis zum Übergang von der konischen Verjüngung (12) zum zweiten, engeren zylindrischen Teil (5) und der Durchmesser (d) des zweiten, engeren zylindri-

schen Teils (5) ein Verhältnis (a/d) von
-1 bis +2 bilden.

2. Plasmabrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge (1) und der Durchmesser (d) des zweiten, engeren zylindrischen Teils (5) ein Verhältnis $(1/d)$ zwischen 0,2 und 3 bilden.
3. Plasmabrenner nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis $(1/d)$ zwischen 1 und 1,5 liegt.
4. Plasmabrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser (B) des ersten zylindrischen Teils (17) und der Durchmesser (b) der Hilfselektrode (1) ein Verhältnis (B/b) zwischen 1,5 und 2 bilden.
5. Plasmabrenner nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis (B/b) bei 1,7 liegt.
6. Plasmabrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die unter dem Kegelwinkel gebildete Verjüngung (16) der Hilfselektrode (1) in Richtung auf die Elektrodenspitze (1') in eine weitere Verjüngung (21) mit einem größeren Kegelwinkel (γ) zwischen 40 und 180° übergeht.
7. Plasmabrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kegelwinkel (β) des sich konisch verjüngenden Teils (12) des Zentralkanals (4) zwischen 30 und 60° liegt.

8. Plasmabrenner nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Kegelwinkel (β) bei 40° liegt.
- 5 9. Plasmabrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser (D) der Erweiterung (18) und der Durchmesser (d) des zweiten, engeren zylindrischen Teils (5) ein Verhältnis (D/d) zwischen 1 und 1,5 bilden.
10. Plasmabrenner nach Anspruch 9, gekennzeichnet, daß das Verhältnis (D/d) 1,25 beträgt.
- 10 11. Plasmabrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet durch ein Verhältnis a/d von 0 bis 1.
- 15 12. Plasmabrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich der freie Querschnitt des Ringsspalt (19) zwischen der Düsenelektrode (2) und der Hilfselektrode (1) in Richtung auf die Stirnfläche (11) des Plasmabrenners (15) gleichmäßig verringert.
- 20 13. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Düsenringkanal (9) zwischen der Düsenelektrode (2) und der sie umgebenden Düse (3) an der Innenseite der Düse (3) zumindest am Düsenende mit einer elektrisch isolierenden Auskleidung (10) versehen ist.
- 25 14. Verfahren zum Betreiben eines Plasmabrenners nach den Ansprüchen 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmagaszufuhr durch den Zentralkanal (4) in den Brennbereich des Hilfslichtbogens (6) so eingestellt wird, daß die Reynoldszahl zwischen 10 und 2300 liegt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmagaszufuhr so eingestellt wird, daß die Reynoldszahl zwischen 10 und 100 liegt.
- 5 16. Verfahren zum Betreiben eines Plasmabrenners nach den Ansprüchen 1 bis 13, gekennzeichnet durch eine Wechselstromquelle zur Aufrechterhaltung des Hilfslichtbogens, wobei der Haupt- und Hilfslichtbogen (8 bzw. 6) aus einer einzigen Stromquelle (14) gespeist werden.

