

4

50

Int. Cl. 2:

G 21 C 3/20

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



1
8
1

DT 19 21 203 B 2

11

Auslegeschrift 19 21 203

21

Aktenzeichen: P 19 21 203.4-33

22

Anmeldetag: 25. 4. 69

43

Offenlegungstag: 6. 5. 79

44

Bekanntmachungstag: 1. 9. 77

39

Unionspriorität:

32

33

31

26. 4. 68 Großbritannien 20041-68

16. 6. 68 Großbritannien 33902-68

21. 4. 69 Großbritannien 20041-69

54

Bezeichnung: Brennelement für einen Kernreaktor

61

Zusatz zu: P 15 89 010.5

71

Anmelder: United Kingdom Atomic Energy Authority, London

74

Vertreter: Berg, W.J., Dipl.-Chem. Dr.rer. nat.; Stapf, O., Dipl.-Ing.; Pat.-Anwälte,
8000 München

72

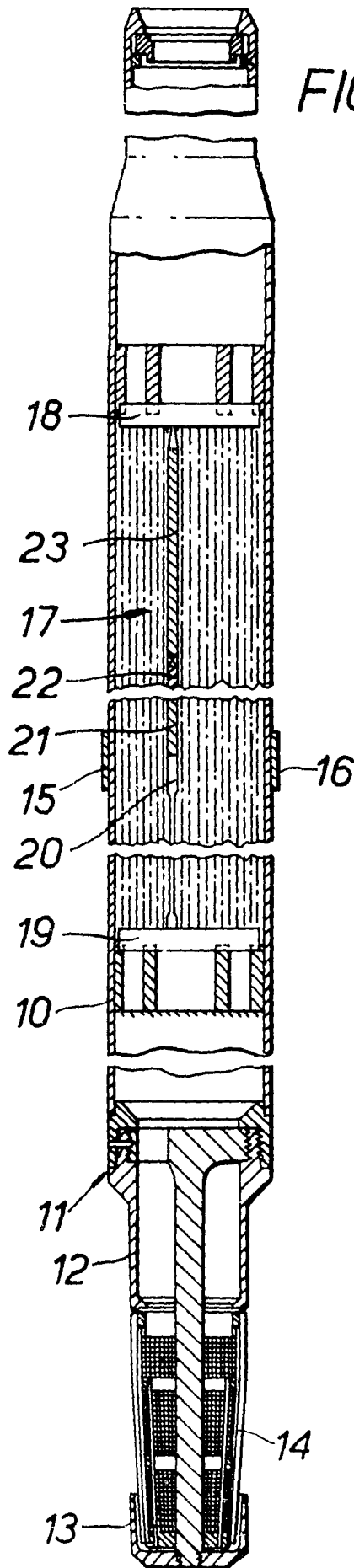
Erfinder: Linning, David Lees, London

56

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
Nichts ermittelt

4
2

Nummer: 19 21 203
Int. Cl. 2: G 21 C 3/20
Bekanntmachungstag: 1. September 1977



Patentansprüche:

1. Brennelement für einen Kernreaktor, insbesondere für einen schnellen Reaktor, das eine Hülle aus Metall aufweist, deren Außenumfangswände äußerlich einem strömenden Kühlmittel ausgesetzt sind, und das eine Zwischenschicht aus einem festen Stoff enthält, die sich zwischen den Hüllwänden und einer innerhalb der Hülle befindlichen Masse keramischen Brennstoffes befindet und mit beiden in direkter oder indirekter Berührung steht, wobei die Dichte des Brennstoffes unter der theoretischen Maximaldichte liegt, um eine Porosität oder verteilte Hohlräume zu enthalten, und wobei der feste Zwischenstoff eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit als der Brennstoff aufweist, nach Patent 1 589 010, dadurch gekennzeichnet, daß der Brennstab (17a) rohrförmig, mit äußerer (24) und innerer Hülle (25) und dazwischen angeordnetem Kernbrennstoff (28) ausgebildet ist und daß die Zwischenschicht (26), (27) zwischen dem Brennstoff und der äußeren und inneren Hülle angeordnet ist und mit den beiden Hüllen in direkter Berührung steht.

2. Brennstoffstab gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (26), (27) aus einer keramischen Uranverbindung mit natürlicher oder abgereicherter Konzentration an spaltbaren Isotopen besteht und daß der Brennstoff entweder eine keramische Plutoniumverbindung oder ein Gemisch aus keramischen Uran- und Plutoniumverbindungen, oder eine an spaltbaren Atomen angereicherte keramische Uranverbindung ist.

3. Brennstoffstab gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (26), (27) aus Pellets und der Brennstoff (28) aus verdichteten keramischen Teilchen bestehen.

4. Brennstoffstab gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (26), (27) aus verdichteten keramischen Teilchen und der Brennstoff (31) aus Pellets bestehen.

5. Brennstoffstab gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl die Zwischenschicht (26), (27) als auch der Brennstoff (38) aus Pellets bestehen.

6. Brennstoffstab gemäß einem der Ansprüche 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Brennstoff in Form von kreisringförmigen, konzentrisch und mit radialem Abstand voneinander angeordneten Pellets (39), (40) vorliegt, so daß ein ringförmiger Spalt (41) zwischen den beiden Ringpellets ausgebildet ist, der zur Aufnahme der gasförmigen Spaltprodukte und zum Durchströmen derselben zu einer an einem Ende des Brennstoffstabes vorgesehenen Überdruckkammer (20) für gasförmige Spaltprodukte, oder zu einer Entlüftungseinrichtung für gasförmige Spaltprodukte dient, sowie dazu, um Hohlraum für die Aufnahme des strahlungsinduzierten Anschwellens des Brennstoffes zu schaffen.

7. Brennstoffstab gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Dichte des Brennstoffes 85% der theoretischen Maximaldichte nicht übersteigt.

8. Kernbrennstoffelement nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, da-

durch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (26), (27) aus Urancarbid mit natürlicher oder abgereicherter Isotopkonzentration besteht, wobei der Brennstoff (28) aus angereichertem Urancarbid oder aus Plutoniumcarbid oder aus einem Gemisch aus Uran- und Plutoniumcarbid besteht, und daß zwischen der Zwischenschicht und der Hülle zusätzlich eine dünne Schicht (51), (52) aus einem Material vorgesehen ist, welches sich mit der Zwischenschicht und der Hülle bei Betriebstemperaturen des Reaktors verträgt, weder spaltbare noch brütbare Atome enthält und zumindest über den Axialbereich der Brennstoffzone des Brennstoffstabes vorhanden ist, der einem maximalen Abstand beim Betrieb unterliegt.

9. Brennstoffstab gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der dünnen Schicht (51), (52) zu der keramischen Oxidgruppe Magnesia, Titanoxid, Zirkondioxid gehört.

10. Brennstoffstab gemäß einem der Ansprüche 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Carbide Monocarbide sind.

25

Die Erfindung betrifft ein Brennelement für einen Kernreaktor, insbesondere für einen schnellen Reaktor nach Patent 1 589 010.

Es ist bekannt, daß das Anschwellen des Brennstoffs die Hauptursache für die Zerstörung von Brennelementen ist und daher eine ernsthafte Beschränkung des erzielbaren Abbrandes von schweren Atomen darstellt. Die Patentschrift 1 589 010 beschreibt und beansprucht ein Brennelement für einen Kernreaktor, das eine Hülle aus Metall aufweist, deren Außenumfangswände äußerlich einem strömenden Kühlmittel ausgesetzt sind, und das eine Zwischenschicht aus einem festen Stoff enthält, die sich zwischen den Hüllwänden und einer innerhalb der Hülle befindlichen Masse keramischen Brennstoffes befindet und mit beiden in direkter oder indirekter Berührung steht, wobei die Dichte des Brennstoffes unter der theoretischen Maximaldichte liegt, um eine Porosität oder verteilte Hohlräume zu enthalten, und wobei der feste Zwischenstoff eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit als der Brennstoff aufweist.

Hierdurch wird die Betriebstemperatur des Brennstoffs erhöht und somit dessen Druckkriechfestigkeit erniedrigt, um dadurch das Auffangen des strahlungsinduzierten Anschwellens des Brennstoffs in den erwähnten Hohlräumen zu ermöglichen.

Gemäß der vorliegenden Erfindung, die eine Verbesserung des Gegenstandes der Patentschrift 1 589 010 darstellt, ist das Brennelement so konstruiert, daß der Brennstab rohrförmig, mit äußerer und innerer Hülle und dazwischen angeordnetem Kernbrennstoff ausgebildet ist und daß die Zwischenschicht zwischen dem Brennstoff und der äußeren und inneren Hülle angeordnet ist und mit den beiden Hüllen in direkter Berührung steht.

Die Zwischenschichten bestehen vorzugsweise aus einer keramischen Uranverbindung mit natürlicher oder abgereicherter Konzentration an spaltbaren Isotopen, und der Brennstoff ist entweder eine keramische Plutoniumverbindung oder ein Gemisch aus keramischen Uran- und Plutoniumverbindungen

oder eine an spaltbaren Atomen angereicherte keramische Uranverbindung.

In einer weiteren Ausgestaltung besteht die Zwischenschicht aus Pellets und der Brennstoff aus verdichteten keramischen Teilchen.

In einer anderen Ausgestaltung besteht die Zwischenschicht aus verdichteten keramischen Teilchen und der Brennstoff aus Pellets.

In einer weiteren Ausgestaltung wird es bevorzugt, daß sowohl die Zwischenschicht als auch der Brennstoff aus Pellets bestehen.

Liegt der Brennstoff in Pelletform vor, so kann der Brennstoffstab so konstruiert sein, daß der Brennstoff in Form von ringförmigen, konzentrisch und mit radialem Abstand voneinander angeordneten Pellets vorliegt, so daß ein ringförmiger Spalt zwischen den beiden Ringpellets ausgebildet ist, der zur Aufnahme der gasförmigen Spaltprodukte und zum Durchströmen derselben zu einer an einem Ende des Brennstoffstabes vorgesehenen Überdruckkammer für gasförmige Spaltprodukte dient, sowie dazu, um Hohlraum für die Aufnahme des strahlungsinduzierten Anschwellens des Brennstoffes zu schaffen.

Die Dichte des Brennstoffs in dem erfindungsgemäßen Brennstoffstab übersteigt vorzugsweise 85% der theoretischen Maximaldichte nicht.

Carbide sind unter anderem im Hinblick auf die besseren Bruteigenschaften und die bessere Wärmeleitfähigkeit gegenüber den gegenwärtig eingesetzten Oxiden bevorzugt. Wenn auch diese bessere Wärmeleitfähigkeit von Vorteil sein kann, da sie die Abführung einer größeren Wärmemenge aus einer gegebenen Masse ermöglicht, so kann sie doch die Lebensdauer und Unversehrtheit der den Brennstoff enthaltenden Umhüllung ungünstig beeinflussen, und zwar infolge der Probleme der Unverträglichkeit zwischen den spaltbaren oder brütbaren Carbiden und der metallischen Umhüllung bei erhöhten Temperaturen.

Besteht der Brennstoff in dem erwähnten rohrförmigen Brennstoffstabtyp aus Carbidverbindungen, so wird eine nichtspaltbare, nichtbrütbare Verträglichkeitsschicht zwischen jeder Zwischenschicht und der entsprechenden Hülle zumindest über dem Axialbereich der Brennstoffzone des Brennstoffstabes vorgesehen, der beim Betrieb dem größten Abbrand unterliegt.

Es besteht daher derzeit ein Anreiz zur Verwendung von Kernbrennstoffelementen gemäß der Erfindung, bei denen die Zwischenschicht aus Urancarbide mit natürlicher oder abgereicherter Isotopkonzentration besteht, wobei der Brennstoff aus angereichertem Urancarbide oder aus Plutoniumcarbide oder aus einem Gemisch aus Uran- und Plutoniumcarbide besteht, und zwischen der Zwischenschicht und der Hülle zusätzlich eine dünne Schicht aus einem Material vorgesehen ist, welches sich mit der Zwischenschicht und der Hülle bei Betriebstemperaturen des Reaktors verträglich, weder spaltbare noch brütbare Atome enthält und zumindest über den Axialbereich der Brennstoffzone des Brennstoffstabes vorhanden ist, oder einem maximalen Abstand beim Betrieb unterliegt.

Dieses Material ist vorzugsweise ein keramisches Oxid mit einer solchen Mindestdicke, daß es eine Verträglichkeitsbarriere zwischen dem Brennstoff und der Hülle bildet und dabei die geringstmögliche Verringerung der Brennstoffmenge für einen gegebenen Stabdurchmesser gewährleistet.

Es werden Brennstoffstäbe bevorzugt, in welchen das Material der dünnen Schicht zu der keramischen Oxidgruppe Magnesia, Titanoxid, Zirkondioxid gehört.

Weiterhin ist es von Vorteil, wenn in den Brennstoffstäben gemäß der Erfindung die Carbide Monocarbide sind.

Die Erfindung schließt auch ein Bündelelement für einen flüssigmetallgekühlten schnellen Brutreaktor ein, das eine Vielzahl von länglichen Brennstoffstäben besitzt, wie sie vorausgehend erläutert wurden, die in einem parallelen Bündel zum Umfließen und auch zum Hindurchfließen des Flüssigmetall-Kühlmittels angeordnet sind.

Es werden nun an Hand der schematischen Zeichnungen Konstruktionsbeispiele beschrieben, welche die verschiedenen Merkmale der Erfindung darstellen, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche Teile bezeichnen. In diesen Zeichnungen bedeuten:

Fig. 1 einen Längsschnitt durch ein Bündelelement für einen flüssigmetallgekühlten schnellen Reaktor, wobei der Brennstoff in diesem Bündelelement in Brennstoffstäben enthalten ist, und

Fig. 2 bis Fig. 5 Querschnitte durch vier Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Brennstoffstabes im vergrößerten Maßstab, der für die Verwendung in einem Bündelelement, wie in Fig. 1 gezeigt, geeignet ist.

Eine hexagonale Hülle **10** des Bündelelementes in Fig. 1 ist mit dem unteren Fitting **11** ausgestattet, bestehend aus getrennten zylindrischen Lagerflächen **12** und **13** zum Einpassen in eine nicht gezeigte Fassung der Tragkonstruktion des Reaktorkerns, so daß das Bündelelement von dieser Konstruktion in freitragender Weise gestützt wird. Zwischen den Lagerflächen **12, 13** befindet sich ein Filter aus rostfreiem Stahlgeflecht **14**, so daß das Kühlmittel (in diesen Beispielen wird Natrium als Kühlmittel angenommen), das in die in der Tragkonstruktion des Kerns eingebaute Zuführungs-Überdruckkammer gespeist wird, durch den Boden der Hülle eintreten und darin hochgedrückt werden kann. Nach dem Einlegen in den Reaktorkern ist jedes Bündelelement nur durch schmale Spalte von den benachbarten getrennt, die durch die Teilung der Fassungen in der Kerntragkonstruktion sowie durch die von der Hülle vorspringenden Eckenauflagen oder Puffer **15, 16** vorgegeben sind.

Die Brennstäbe **17** sind innerhalb der Hülle **10** in paralleler Anordnung auf einem Dreiecksgitter gebündelt, wobei die Gitterteilung groß genug ist, um sicherzustellen, daß die Stäbe nicht miteinander in Kontakt kommen; sie sind zwischen der oberen und unteren Tragkonstruktion **18** bzw. **19** unverrückbar schwimmend angeordnet und werden in der Querrichtung durch in Abständen über die Länge des Bündels angeordnete, nicht gezeigte Gitterkonstruktionen fixiert. Das in der Hülle nach oben gedrückte Kühlmittel umfließt somit die Brennstäbe longitudinal und fließt auch durch diese hindurch, um die durch den in ihnen befindlichen Kernbrennstoff erzeugte Wärme abzuführen.

Der in Fig. 1 im Schnitt dargestellte Brennstab zeigt eine am unteren Ende vorgesehene Überdruckkammer **20**, deren Länge ungefähr der halben Länge eines jeden Stabes entspricht, wobei die Stäbe solche des abgedichteten Typs sind. Über der Überdruckkammer **20** befinden sich drei graphisch dargestellte

Abschnitte, nämlich der untere Brutabschnitt **21**, der Brennstoffabschnitt **22** und der obere Brutabschnitt **23**. Die Erfindung bezieht sich in erster Linie auf den Brennstoffabschnitt **22**, und deshalb kann der Inhalt der Brutabschnitte **21**, **23** in jeder beliebigen Weise ausgeführt werden, sofern sie einer Kombination mit den Anordnungen des Brennstoffabschnittes **22** angemessen ist. Diese Anordnungen des Brennstoffabschnittes **22** werden nun nachstehend unter Bezug auf Fig. 2 bis Fig. 5 beschrieben.

Die in Fig. 2 bis Fig. 5 gezeigten Brennstoffstäbe sind rohrförmig, d. h. sie haben eine äußere rohrförmige Hülle **24** und eine koaxiale innere rohrförmige Hülle **25**, beide aus dünnwandigem nichtrostendem Stahl. Das Natrium-Kühlmittel strömt longitudinal über die Außenhülle **24** und ebenfalls longitudinal innerhalb der Innenhülle **25**. In der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform befindet sich in Berührung mit der Innenwand der Außenhülle **24** eine Zwischenschicht **26** aus Urandioxid oder Urancarbid, in der die Konzentration des spaltbaren Isotops ^{235}U natürlich oder abgereichert ist, wobei die Zwischenschicht **26** in Form eines ringförmigen Pellets vorliegt. In Berührung mit der Außenwand der Innenhülle **25** ist eine Zwischenschicht **27** aus einem ähnlichen Material wie die Zwischenschicht **26** ebenfalls in ringförmiger Pelletform angeordnet. Zwischen den Zwischenschichten **26** und **27** befindet sich eine ringförmige Brennstoffzone **28**, die von unmittelbar in dem stab vibrationsverdichteten keramischen Brennstoffteilchen eingenommen wird, wobei die Brennstoffteilchen ein Gemisch aus Uran und Plutoniumdioxid (falls die Zwischenschichten aus Urandioxid bestehen) oder aus Uran- und Plutoniumcarbid (falls die Zwischenschichten aus Urancarbid bestehen) sind. Wahlweise kann der Brennstoff aus vibrationsverdichteten Plutoniumdioxid- oder Plutoniumcarbid-Teilchen bestehen, je nachdem, ob die Zwischenschichten aus Dioxid oder aus Carbid sind.

Ein typisches Beispiel des Verhältnisses von Urandioxid zum Plutoniumdioxid, falls der Brennstoff aus diesem Gemisch besteht, stellt der Fall dar, in dem das Urandioxid die natürliche Häufigkeit des Isotops ^{235}U aufweist und das Plutoniumdioxid in einer Menge vorhanden ist, die eine Anreicherung von ungefähr 25 bis 30% ergibt.

Die Vibrationsverdichtung wird so gesteuert, daß in dem Brennstoff verteilte Hohlräume von mindestens 15%, beispielsweise 20%, des Brennstoffvolumens geschaffen werden.

Die relative Dicke der Zwischenschichten **26** und **27** und der Brennstoffzone **28** ist so gewählt, daß bei der projektierten Nennwärmeleistung die folgenden Bedingungen bestehen: Erstens eine Temperatur zwischen 700° und 800° C auf den mit dem Kühlmittel in Berührung stehenden Flächen **29**, **30** der Außenhülle **24** bzw. der Innenhülle **25**, und zweitens eine Temperatur von über 1000° C auf der Oberfläche (sowohl auf der Innen- als auch auf der Außenoberfläche) der Brennstoffzone **28**. Infolgedessen wird in dem Brennstoff, der erheblich über 1000° C betrieben wird, eine herabgesetzte Druckstabilität geschaffen, so daß das strahlungsinduzierte Anschwellen von den in der Brennstoffzone **28** vorhandenen verteilten Hohlräumen aufgefangen werden kann. Ein bestimmter Betrag an verteilten Hohlräumen (entweder ähnlich oder kleiner als der, der in der Brennstoffzone **28** vorhanden ist) wird vorteil-

hafterweise in den Zwischenschichten **26** und **27** geschaffen; dies trägt ebenfalls zur Verringerung der auf die Hüllen **24** bzw. **25** einwirkenden Schwellkräfte bei. Die Gegenwart der Zwischenschichten **26** und **27** dient also sowohl zum Schutz der Hüllen **24** bzw. **25** vor den Schwellkräften, die die Tendenz haben würden, ihr Zerbersten herbeizuführen, als auch wegen ihrer Wärmeisolationseigenschaften zum Schutz der Hüllen **24** und **25** vor der hohen Oberflächentemperatur der Oberflächen der Brennstoffzone **28** (die Spaltgeschwindigkeit in den Zwischenschichten ist anfänglich klein und nimmt nur in dem Maße langsam zu, wie neue spaltbare Atome beim fortschreitenden Abbrand innerhalb dieser Schichten gebrütet werden).

In Versuchen, welche die Bestrahlung von rohrförmigem Brennstoff betrafen, in dem der ringförmige Raum zwischen den Hüllen zur Gänze, d. h. ohne Zwischenschichten, vom Brennstoff eingenommen wird, ist außerdem festgestellt worden, daß eine ausgeprägte Tendenz zur Neuverteilung des Brennstoffs besteht, und zwar bis zu einem solchen Maße, daß ein Spalt zwischen dem Brennstoff und der Außenoberfläche der Innenhülle (die der Hülle **25** in Fig. 2 entspricht) zurückbleibt. Dies führt zu einer zu starken Kühlung der Innenhülle wegen der verminderten Wärmeübertragung und folglich zur Temperaturerniedrigung des Kühlmittelstroms bei dessen Durchfluß durch die Innenrohre der Brennstoffstäbe und somit auch des Kühlmittelstroms in dem Hauptauslaß. Es wird angenommen, daß bei Gegenwart von Zwischenschichten es nur zur geringfügigen Neuverteilung des Zwischenschichtenmaterials kommt und daß sich folglich kein nennenswerter Spalt zwischen der Zwischenschicht und der Innenhülle **25** bilden, und daß der Wärmeübergang relativ unbeeinträchtigt sein wird.

In der in Fig. 3 gezeigten Konstruktion ist die Brennstoffzone durch ein Gemisch aus UO_2 und PuO_2 oder durch PuO_2 allein in der Form von ringförmigen Pellets gebildet. Jedes Pellet **31** hat mindestens drei (gezeigt sind vier) radiale Rippen **32**, die sich von seiner Außenoberfläche nach außen bis zum Kontakt mit der Außenhülle **24** erstrecken, und mindestens drei (gezeigt sind vier) radiale Rippen **33**, die sich von dessen Innenoberfläche bis zum Kontakt mit der Innenhülle **25** erstrecken. Die ringförmigen Teilräume **34** zwischen den Rippen **32** sind mit UO_2 mit natürlicher oder abgereicherter Konzentration an spaltbaren Isotopen gefüllt, das unmittelbar in dem stab vibrationsverdichtet wird und eine Zwischenschicht **35** bildet. Die ringförmigen Teilräume **36** zwischen den Rippen **33** sind mit ähnlich vibrationsverdichtetem UO_2 gefüllt, das eine Zwischenschicht **37** bildet. Wenn auch die Rippen **32** und **33** beim Betrieb kühler sein werden als der Rest der Brennstoffzone, so bilden sie keinen Teil eines kontinuierlichen Bogens. Indem sie die Teile des angereicherten Brennstoffs unterbrechen, die in direkter Wärmeübergangsbeziehung mit der Außenhülle **24** bzw. der Innenhülle **25** stehen, erzeugen sie keine ernsthaften Berstspannungen an diesen Hüllen. Die durch die Pellets **31** gebildete Brennstoffzone ist wie in dem vorher beschriebenen Konstruktionsbeispiel durch Anwendung von bekannten geeigneten Arbeitsvorgängen bei der Herstellung der Pellets mit verteilten Hohlräumen versehen.

Fig. 4 stellt einen Fall dar, in dem sowohl die

Brennstoff **38** als auch die Zwischenschichten **26, 27** in Pelletform ausgebildet sind.

Fig. 5 zeigt, wie die Brennstoffzone in ihrer Mitte diskontinuierlich gemacht werden kann, indem sie aus zwei in einem Abstand voneinander angeordneten ringförmigen Pellets **39, 40** ausgebildet wird, wobei ein zentraler ringförmiger Spalt **41** freigelassen wird, der als Ergänzung der in den Pellets selbst erzeugten verteilten Hohlräume dient, somit die Aufnahme des strahlungsinduzierten Anschwellens weiter verbessert, zumindest während des frühen Betriebszeitabschnitts einen Aufnahmebehälter für gasförmige Spaltprodukte bildet und longitudinale Verbindung mit einer Gasüberdruckkammer für gasförmige Spaltprodukte oder mit einer an einem Ende des Brennstoffstabes angeordneten Entlüftungseinrichtung gewährleistet. Eine typische Anfangsbreite des Spaltes für die unter Bezugnahme auf Fig. 2 bis Fig. 5 nachstehend angeführten Parameter beträgt ungefähr 0,75 mm.

Es wird angenommen, daß die Anordnung, in welcher der Brennstoff erfindungsgemäß radial von Zwischenschichten umgeben ist, zusammen mit dem erwarteten Ergebnis aus dem Betrieb des Brennstoffs bei einer höheren Temperatur eine schnellere und vollständigere Ausscheidung von gasförmigen Spaltprodukten bewirken wird. Dadurch verringert sich die Gefahr, daß eine Menge von gasförmigen Spaltprodukten örtlich eingeschlossen wird, was zu Schwierigkeiten im Falle von vorübergehenden Temperaturzuständen, die den ganzen Kern nachteilig beeinflussen, 30

führen könnte.

Dort, wo in den Beispielen von Oxiden gesprochen wurde, können wahlweise auch Carbide verwendet werden, vorausgesetzt, daß sowohl der Brennstoff als auch die Zwischenschichten aus der gleichen Verbindungsart gebildet sind. Im Falle von Carbiden ist es vorteilhaft, zwischen der Außenhülle **24** und der Zwischenschicht **26** eine kontinuierliche dünne Schicht vorzusehen, die in Fig. 2 bis Fig. 5 durch den strichpunktieren Kreis **51** angedeutet ist, und die sich axial zumindest über den Bereich des maximalen Abbrandes erstreckt (im allgemeinen der zentrale Bereich der Brennstoffzone), und auf eine ähnliche Weise auch zwischen der Zwischenschicht **27** und der Innenhülle **25** eine kontinuierliche dünne Schicht anzuordnen, die durch den strichpunktieren Kreis **52** angedeutet ist. Die Schichten **51, 52** haben vorzugsweise eine Dicke von 0,025 bis 0,050 mm und sind vorzugsweise aus Magnesiumoxid. Es können jedoch auch Titandioxid und Zirkondioxid verwendet werden. Der Zweck der Schichten **51, 52** ist es, Verträglichkeitsbarrieren zwischen den Carbiden und den Hüllen aus nichtrostendem Stahl zu bilden.

Ein Beispiel von typischen Parametern der in Fig. 2 bis Fig. 5 gezeigten Brennstoffstäbe **17a** ist folgendes:

Außendurchmesser der Außenhülle 24	15,25 mm
Wanddicke	0,50 mm
Außendurchmesser der Innenhülle 25	6,35 mm
Wanddicke	0,38 mm

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

