



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 274 295 A1

4(51) G 21 G 4/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP G 21 G / 318 297 0	(22)	26.07.88	(44)	13.12.89
(71)	Institut für Energetik, Torgauer Straße 114, Leipzig, 7024, DD				
(72)	Schneider, Lutz, Dipl.-Phys.; Friske, Andreas, Dipl.-Phys.; Nitsche, Frank, Dipl.-Phys.; Quaas, Herbert, Dipl.-Ing., DD				
(54)	Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Strahlenquellen				

(55) Kerntechnik, Strahlenquellen, Gammabestrahlungsanlagen, Kernreaktor, aktivierte Stahlteile, Heiße Zelle, Zerkleinerung, Sonderschmelzen, Gußstücke

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von Strahlenquellen für Gammabestrahlungsanlagen ohne aufwendige, gezielte Neutronenbestrahlung von Kobaltmaterial. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die sonst als radioaktiver Abfall zu beseitigenden aktivierten Stahlteile aus einem Kernreaktor in einer Heißen Einrichtung zerkleinert und nach der Gammadosisleistung sortiert werden, dabei der Anteil mit Gammadosisleistungen unter einem festgelegten Grenzwert in üblicher Weise der Abfallbehandlung zugeführt wird, der Anteil der Stahlteile mit Gammadosisleistungen über diesem Grenzwert gesammelt und dann einem Schmelzprozeß unterzogen wird, die Schmelze zu Gußstücken oder zu Metallgranulat verarbeitet und in Kapselungen eingebracht wird und die gefüllten Kapseln entsprechend ihrer Gammadosisleistung als Strahlenquellen eingestuft werden.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung von Strahlenquellen für Gammabestrahlungsanlagen, **gekennzeichnet dadurch**, daß aktivierte Stahlteile aus einem Kernreaktor in einer Heißen Einrichtung zerkleinert werden, die zerkleinerten Stahlteile nach ihrer Gammadosisleistung sortiert werden und dabei der Anteil der Stahlteile mit Gammadosisleistungen über einem festgelegten Grenzwert gesammelt und der Anteil mit Gammadosisleistungen unter diesem Grenzwert in üblicher Weise der Abfallbeseitigung zugeführt wird, der gesammelte Anteil der Stahlteile einem Schmelzprozeß unterzogen wird, wobei eventuell vorhandene nichtmetallische Bestandteile aus der Schmelze entfernt werden, die verbleibende Schmelze wahlweise zu Gußstücken unterschiedlicher, zweckmäßiger Form und Größe oder zu Metallgranulat verarbeitet wird, die Gußstücke bzw. das Metallgranulat in Kapselungen eingebracht und entsprechend ihrer Gammadosisleistung als Strahlenquellen eingestuft werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß das Gießen der Schmelze direkt in die Quellenkapsel erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Schmelze zur Granulierung tropfenweise in ein Wasser gegeben wird und das so hergestellte Metallgranulat aktivitätsbezogen in Kapselungen beliebiger geometrischer Form eingebracht wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß verbrauchte Absorberstäbe mit Stahlmantel und Incoremeßlanzen als Stahlteile zur Zerkleinerung verwendet werden.
5. Vorrichtung zur Herstellung von Strahlenquellen für Gammabestrahlungsanlagen, **gekennzeichnet dadurch**, daß innerhalb einer Heißen Einrichtung (5) eine Eingangsschleue (6) vorgesehen ist, an die sich eine Zerkleinerungseinrichtung (7) sowie ein Eingangsbehälter (8) anschließen, wobei der Eingangsbehälter (8) nach unten von einem Bodensieb (8a) abgeschlossen ist, von dem aus eine Schwerkraftfördereinrichtung (10a) in einen Abfallbehälter (23a) geführt ist, seitlich an den Eingangsbehälter (8) über dem Bodensieb (8a) eine Vibrationsfördereinrichtung (9a) angesetzt ist, die zu einer Sortiereinrichtung (11) geführt ist, welche eine Gammadosisleistungsmeßstrecke (11a) und eine Materialflußweiche (11b) enthält, an die Materialflußweiche (11b) eine weitere Vibrationsfördereinrichtung (9b) sowie eine Schwerkraftfördereinrichtung (10b) angeschlossen sind, die Schwerkraftfördereinrichtung (10b) in einen weiteren Abfallbehälter (23b) und die Vibrationsfördereinrichtung (9b) in einen Dosierbehälter (12) geführt ist, an den Dosierbehälter (12) ein Induktionsschmelzofen (13) angeschlossen ist, unter welchem wahlweise eine verfahrbare Gußform (15) oder ein Wasserbad (16), neben der Gußform (15) bzw. dem Wasserbad (16) eine Kapselungseinrichtung (19) und über der Ausgangsschleue (21) der Heißen Einrichtung (5) eine Gammadosisleistungsprüfeinrichtung (20) angeordnet sind, wobei die Gußform (15) bis zu der Kapselungseinrichtung (19) verfahrbar ist und die Gußstücke (25a) in die Kapselungseinrichtung (19) mit einem Manipulator (18) umsetzbar sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Gußform (15a) mehrere Aussparungen (15a) für Quellenkapseln (25c) sowie eine Stahlkokille (15b) aufweist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5, **gekennzeichnet dadurch**, daß das Wasserbad (16) über ein Sieb (16b) an eine spezielle Kanalisation (26) sowie über eine Vibrationsfördereinrichtung (9d) und eine Dosiervorrichtung (17) an die Kapselungseinrichtung (19) angeschlossen ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 5 bis 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Abfallbehälter (23a bis 23c) wahlweise innerhalb oder außerhalb der Heißen Einrichtung (5) angeordnet sind.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Herstellung von Strahlenquellen für Gammabestrahlungsanlagen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Der Einsatz von Verfahren unter Anwendung und Nutzung ionisierender Strahlung in Wissenschaft, Technik, Industrie, Medizin sowie Land- und Nahrungsgüterwirtschaft erfolgt seit etwa zwei Jahrzehnten in stark anwachsendem Maße. Neben der Anwendung von Röntgeneinrichtungen, Teilchenbeschleunigern sowie der Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung besitzt vor allem der Einsatz von radioaktiven Nukliden in Form von Gammastrahlungsquellen eine große Bedeutung.

Haupteinsatzgebiete von Gammabestrahlungseinrichtungen sind die Medizin (Krebstherapie), die Wasserwirtschaft (Verhinderung der biologischen Verockerung von Trinkwasserbrunnen), die Strahlenbehandlung von Lebensmitteln und Futtermitteln (Desinsektion, Keimzahlreduzierung, Dekontamination von Gewürzen, Strahlensterilisation von Futter, Reifungshemmung oder Keimungs- und Wachstumshemmung bei Obst und Gemüse), die Bereiche der chemischen Veredelung von Kunststoffen (Strahlenvernetzung, Strahlenzersetzung bzw. Stoffumwandlung) und die wissenschaftliche Forschung. Als Radionuklide für Gammastrahlenquellen haben sich international Co-60 und Cs-137 durchgesetzt. Diese Nuklide weisen gegenüber anderen gewisse Vorteile hinsichtlich Verfügbarkeit der Materialien, Aktivierung und Handhabung, der Strahlungsqualität (Energie, Durchdringungsfähigkeit, geringe Selbstabsorption), der erreichbaren Aktivitäten und des Abklingverhaltens auf, wobei dem Aspekt der Verfügbarkeit für den industriellen Einsatz im großen Maßstab eine große Bedeutung zukommt.

Die dominierende Rolle spielt dabei das Co-60, da sich Co-60-Quellen mit vergleichsweise kleineren Abmessungen und damit höheren spezifischen Aktivitäten als Cs-137-Quellen in Kernreaktoren aus natürlichem Kobalt (Co-59) über die n,γ -Reaktion auf einfachem Wege herstellen lassen. Auf Grund der einfacheren industriellen Verarbeitbarkeit fällt der Nachteil der kürzeren Halbwertszeit gegenüber Cs-137 nicht ins Gewicht. Co-60-Quellen erfüllen besser die Forderung der Quasi-Punktförmigkeit, erwärmen sich weniger durch Selbstabsorption und haben bei Zerstörungen der Ummantelung eine geringere Kontaminationsgefahr als Cs-137-Strahlenquellen zur Folge. Der Bedarf an Co-60-Strahlenquellen ist international stark steigend und in einigen Staaten nur durch aufwendige Importe abzudecken.

Die Fertigung von Gammastrahlenquellen erfolgt nach unterschiedlichen Verfahren. Strahlenquellen vom sogenannten „Sandwich“-Typ werden z. B. durch Aufbringen von radioaktiven Schichten auf eine feste Unterlage sowie einer darüberliegenden nichtradioaktiven Deckschicht zur Verhinderung von Kontaminationen gefertigt (Beispiel: Elektroplattierungsverfahren: DE-OS 2844 123, DE-OS 1 764 763). Die mit derartigen Quellen erzielbaren Gammadosisleistungen sind aber auf Grund der flächenhaften Verteilung des Strahlers in einer Matrix relativ gering und damit für viele Anwendungen ungeeignet. Eine weitere Verfahrensweise zur Quellenherstellung besteht darin, bestimmte Ausgangsmaterialien (Targets) durch die Neutronenstrahlung eines Kernreaktors zu aktivieren. Dies erfolgt mit sogenannten In-Core-Bestrahlungsvorrichtungen, wie z. B. in der DE-OS 3214 628 beschrieben. In speziellen Bestrahlungskanälen wird das gekapselte Ausgangsmaterial, speziell natürliches Kobalt über definierte Zeiträume aktiviert. Hierzu werden z. B. Kobaltdrahtschnitzel in spezielle Bestrahlungskassetten konfektioniert, welche in Bestrahlungsbehältern in die Bestrahlungskanäle direkt in der aktiven Zone des Reaktors oder am Rande dieser Zone eingebracht werden. Die eigentliche Quellenfertigung erfolgt in einer heißen Einrichtung. Nach dem Transport der Bestrahlungsbehälter mit dem aktivierten Kobaltmaterial vom Reaktor zur Strahlenquellenfertigung in einem speziellen Transportcontainer werden die Bestrahlungsbehälter in einen komplex heißen Zellen eingeschleust. Die Behälter werden mittels Manipulatoren geöffnet, die Bestrahlungskassetten entnommen und mechanisch aufgetrennt (geschnitten), um die aktivierten Kobaltschnitzel zu gewinnen. Die Herstellung der Kobaltquellen erfolgt danach durch Kapselung definierter Kobaltmengen in unterschiedlichen geometrischen Konfigurationen, z. B. in zylindrischer Form zu sogenannten Stabquellen, die in unterschiedlicher Anordnung in den Bestrahlungsanlagen eingesetzt werden. Die Kombination mehrerer Stabquellen in bestimmter geometrischer Anordnung zwecks Erhöhung bzw. Variationen der Strahlungsaktivität ist bekannt (z. B. DE-OS 2353 612). Auch Strahlungsquellen, die schon von der Fertigung her als Flächenquelle ausgelegt sind, werden beschrieben (DE-OS 2844 041).

Die technologischen Nachteile der beschriebenen Strahlenquellenfertigung liegen bei der Bestrahlung im Kernreaktor (erhöhte Reaktorstillstandszeiten durch Be- und Entladeoperationen der Bestrahlungskanäle), im hohen Preis des Kobaltmaterials sowie in den Aufwendungen für Bestrahlungskassetten, Bestrahlungsbehälter usw., die zudem nach nur einmaliger Verwendung als hochradioaktiver Abfall anfallen. Auch sind die verfügbaren Kapazitäten für Bestrahlungen in Kernreaktoren begrenzt. Somit ist es nicht möglich, den vorhandenen Bedarf an Gammastrahlungsquellen durch Neutronenbestrahlung von Kobaltmaterial auf effektive Weise abzudecken.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, den Aufwand für die Herstellung von Strahlenquellen für Gammabestrahlungsanlagen zu senken bei gleichzeitiger Reduzierung des Aufkommens hochradioaktiver Abfälle aus Kernkraftwerken und bedarfsgerechter Bereitstellung von Strahlenquellenformen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung zu entwickeln, womit Strahlenquellen für Gammabestrahlungsanlagen ohne gezielte Neutronenbestrahlung von Kobaltmaterial hergestellt werden können. Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß aktivierte Stahlteile aus einem Kernreaktor in einer heißen Einrichtung zerkleinert werden, die zerkleinerten Stahlteile nach ihrer Gammadosisleistung sortiert werden und dabei der Anteil der Stahlteile mit Gammadosisleistungen über einem festgelegten Grenzwert gesammelt und der Anteil mit Gammadosisleistungen unter diesem Grenzwert in üblicher Weise der Abfallbeseitigung zugeführt wird, der gesammelte Anteil der Stahlteile einem Schmelzprozeß unterzogen wird, wobei eventuell vorhandene nichtmetallische Bestandteile aus der Schmelze entfernt werden, die verbleibende Schmelze wahlweise zu Gußstücken unterschiedlicher, zweckmäßiger Form und Größe oder zu Metallgranulat in Kapselungen eingebracht und entsprechend ihrer Gammadosisleistung als Strahlenquellen eingestuft werden.

Erfindungsgemäß erfolgt das Gießen der Schmelze direkt in die Quellenkapsel.

Erfindungsgemäß wird die Schmelze zur Granulierung tropfenweise in ein Wasserbad gegeben und das so hergestellte Metallgranulat aktivitätsbezogen in Kapselungen beliebiger geometrischer Form eingebracht.

Erfindungsgemäß werden vorzugsweise verbundene Absorberstäbe mit Stahlmantel und Incoremeßblenden als Stahlteile zur Zerkleinerung verwendet.

Die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur Herstellung von Strahlenquellen ist dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb einer Heißen Einrichtung eine Eingangsschleuse vorgesehen ist, an die sich eine Zerkleinerungseinrichtung sowie ein Eingangsbehälter anschließen, wobei der Eingangsbehälter nach unten von einem Bodensieb abgeschlossen ist, von dem aus eine Schwerkraftfördereinrichtung in einen Abfallbehälter geführt ist, daß seitlich an den Eingangsbehälter über dem Bodensieb eine Vibrationsfördereinrichtung angesetzt ist, die zu einer Sortiereinrichtung geführt ist, welche eine Gammadosisleistungsmeßstrecke und eine Materialflußweiche enthält, an die Materialflußweiche eine weitere Vibrationsfördereinrichtung sowie eine Schwerkraftfördereinrichtung in einen weiteren Abfallbehälter und die Vibrationsfördereinrichtung in einen Dosierbehälter geführt ist, an den Dosierbehälter ein Induktionsschmelzofen angeschlossen ist, unter welchem wahlweise eine verfahrbar Gußform oder ein Wasserbad, neben der Gußform bzw. dem Wasserbad eine Kapselungseinrichtung und über der Ausgangsschleuse der Heißen Einrichtung eine Gammadosisleistungsprüfeinrichtung angeordnet sind, wobei die Gußform bis zu der Kapselungseinrichtung verfahrbar ist und die Gußstücke in die Kapselungseinrichtung mit einem Manipulator umsetzbar sind. Die Gußform weist mehrere Aussparungen für Querkapseln sowie eine Stahlkockille auf. Das Wasserbad ist über ein Sieb an eine spezielle Kanalisation sowie über eine Vibrationsfördereinrichtung und eine Dosiereinrichtung an die Kapselungseinrichtung angeschlossen. Die Abfallbehälter sind wahlweise innerhalb oder außerhalb der Heißen Einrichtung angeordnet.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Die zugehörigen Zeichnungen (Fig. 1 und Fig. 2) zeigen die schematische Darstellung der Anordnung zur Herstellung von Strahlenquellen in zwei Ausführungsvarianten.

Erfindungsgemäß werden als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Strahlenquellen verbrauchte Kernreaktoreinbauteile aus Stahl genutzt, speziell Incoremeßlanzen für die Neutronenflußmessung und Absorberstäbe vom Clustertyp (sogenannte „Finger“, die von einer „Spinne“ zusammengehalten werden) aus Leichtwasserreaktoren. Diese Teile sind nach mehrjähriger Betriebszeit des Kernreaktors auszuwechseln (nach ca. 10 Jahren je nach Reaktorbauart, Betriebsregime und Materialzusammensetzung der Einbauteile) und fallen auf Grund der hohen Aktivierung als technisch und ökonomisch aufwendig zu beseitigender radioaktiver Abfall an. Die Aktivierungen der Reaktoreinbauteile erreichen speziell in dem Längenbereich, der während des Spaltprozesses unmittelbar dem Neutronenfluß der aktiven Zone des Reaktors ausgesetzt ist, hohe Werte (bis zur Sättigungsaktivierung), wobei die Aktivierung abhängt vom Neutronenfluß, der Aktivierungszeit (Einsatzzeit der Teile) und Materialzusammensetzung der Teile (Verunreinigungsgrad mit Spurenelementen). In Reaktoreinbauteilen aus austenitischen Stählen tritt neben kurzlebigeren Nukliden (wie z. B. Cr-51, Fe-59, Mn-54 und Co-58) das Co-60 (5,27 a Halbwertszeit), welches durch Neutroneneinfang aus dem natürlichen, als Verunreinigung im Stahl vorhandenen Kobalt (Co-59) entsteht, als Hauptkomponente der längerlebigen Aktivität auf. Es werden z. B. spezifische Co-60-Aktivitäten von $6,4 \times 10^{10} \text{ Bq} \times \text{cm}^{-3}$ für austenitische Incoremeßlanzen nach zweijähriger Einsatzzeit in einem Druckwasserreaktor angegeben. Für austenitisches Absorberhüllrohrmaterial (das Absorbermaterial im Inneren, z. B. Borcarbid weist nur geringe spezifische Aktivitäten auf) werden für eine fünfjährige Betriebszeit ähnliche Werte genannt ($4,2 \times 10^{10} \text{ Bq} \times \text{cm}^{-3}$).

Aus diesen Angaben ist erkennbar, daß das Material der Reaktoreinbauteile zwar nicht die spezifischen Aktivitäten gezielter Kobaltaktivierungen ($10^{11} \dots 10^{14} \text{ Bq} \times \text{cm}^{-3}$) erreicht, sich aber trotzdem in bestimmter Verarbeitung, die durch das erfindungsgemäße Verfahren erfolgt, für die Nutzung als Strahlenquellenmaterial eignet, z. B. für die Brunnenbestrahlung, für Lebensmittelbestrahlungen usw., was wesentliche Einsparungseffekte zur Folge hätte. Ausgangspunkt des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren übliche Technologien zur Entnahme und Vorbehandlung von Einbauteilen aus Kernreaktoren. Dabei steht für einen Cluster 1 ein glockenförmiger Umladebehälter 2 für den innerbetrieblichen Transport zur Verfügung, für Incoremeßlanzen entweder ein analoger Behälter 2, in vielen Fällen aber auch eine Vorzerkleinerungseinrichtung (in der Zeichnung nicht dargestellt) und ein Sammelcontainer 4 für vorzerkleinerte Meßlanzen 3, wovon im Ausführungsbeispiel ausgegangen wird. Jeweils ein kompletter Cluster 1 bzw. eine Charge vorzerkleinerter Meßlanzenabschnitte 3 werden mit dem Umladebehälter 2 bzw. dem Sammelcontainer 4 zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens einer Heißen Einrichtung 5 zugeführt.

Die Heiße Einrichtung 5 umfaßt eine Eingangsschleuse 6, eine Zerkleinerungseinrichtung 7 für Absorberstäbe 1a, einen Eingangsbehälter 8 mit Bodensieb 8a, mehrere Vibrationsfördereinrichtungen 9 und Schwerkraftfördereinrichtungen 10, eine Sortiereinrichtung 11 mit Gammadosisleistungsmeßstrecke 11a und Materialflußweiche 11b, einen Dosierbehälter 12, einen Induktionsschmelzofen 13 mit spezieller Abgasreinigung 14, eine Gußform 15, ein Wasserbad 16, eine Dosiervorrichtung 17, einen Manipulator 18, eine Kapselungseinrichtung 19, eine Gammadosisleistungsprüfeinrichtung 20, eine Ausgangsschleuse 21, mindestens drei Anflanschsysteme 22 für Abfallbehälter 23, ferner alle für Heiße Einrichtungen üblichen Vorrichtungen wie Meßtechnik, Dosimetrie, Beleuchtungs- und Fernbeobachtungseinrichtungen, Spezielle Lüftung, Spezielle Kanalisation, Dekontaminationseinrichtung, Messore, Schleusensysteme usw. (in Fig. 1 und 2 nicht dargestellt). Als Heiße Einrichtung 5 kann eine schon für andere Zwecke verfügbare Heiße-Zellen-Anlage in modifizierter Form genutzt werden, usw. auch als Anbau an eine schon vorhandene Anlage unter Mitnutzung von Teilsystemen.

Bei Verwendung von Clustern 1 als Ausgangsmaterial ergibt sich folgender Verfahrensablauf:

Der Umladebehälter 2 wird auf die Eingangsschleuse 6 der Heißen Einrichtung 5 aufgesetzt. Nach dem Öffnen eines Drehschiebers 2a des Umladebehälters 2 und eines Schiebers 6a der Eingangsschleuse 6 wird der Cluster 1 mit einem Hebezeug 2b des Umladebehälters schrittweise in die Heiße Einrichtung 5 eingefahren. Dabei werden die einzelnen Absorberstäbe 1a durch die Zerkleinerungseinrichtung 7, vorzugsweise eine Schervorrichtung, abgetrennt und in Abschnitten 1c definierter Länge, vorzugsweise unter 150 mm, im Eingangsbehälter 8 gesammelt. Während des Zerkleinerungsvorganges anfallendes Absorbermaterial 1d (z. B. pulverförmiges Borcarbid) aus dem Inneren der Absorberabschnitte 1c wird über das Bodensieb 8a bzw. im weiteren Verfahrensablauf über zusätzliche, in den Verfahrensfluß eingeschaltete Siebe (in Fig. 1 und 2 nicht dargestellt) und eine Schwerkraftfördereinrichtung 10a einem Abfallbehälter 23a zugeführt, der vorzugsweise mittels eines Anflanschsystems 22a unter der Heißen Einrichtung 5 positioniert ist, aber auch direkt in der Heißen Einrichtung 5 positioniert sein kann und im letzteren Falle über die Ausgangsschleuse 21 aus der Heißen

Einrichtung 5 entfernt wird. Die Spinne 1b des Clusters 1 mit den Reststummeln der Absorberstäbe 1a wird nach Abtrennung aller Absorberstäbe 1a mit dem Umladebehälter 2 wieder abtransportiert und auf übliche Art dem schwachradioaktiven Abfall zugeführt.

Aus dem Eingangsbehälter 8 werden die Absorberabschnitte 1c mit Hilfe einer Vibrationsfördereinrichtung 9a entnommen, mit der die Abschnitte 1c zu einer Sortiereinrichtung 11 transportiert und dabei gleichzeitig in Reihe angeordnet werden. In der Sortiereinrichtung 11 durchlaufen die Absorberabschnitte 1c eine Gammadosisleistungsmessstrecke 11a mit einer gekoppelten Materialflußweiche 11b derart, daß nur Abschnitte 1c mit Gammadosisleistungen oberhalb eines fest einzustellenden Grenzwertes, vorzugsweise im Bereich $0,5-1,0 \text{ Ci} \times \text{h}^{-1}$, für den weiteren Verfahrensablauf genutzt werden und dazu mittels einer Vibrationsfördereinrichtung 9b einem Dosierbehälter 12 zugeführt werden. Der Anteil an Absorberabschnitten 1c unterhalb dieses Grenzwertes wird über eine Schwerkraftfördereinrichtung 10b einem Abfallbehälter 23b zugeführt, der in gleicher Art wie der Abfallbehälter 23a unter bzw. in der Heißen Einrichtung 5 positioniert ist und nach dem Verschluß zusammen mit dem Abfallbehälter 23a auf übliche Art einem Zwischen- oder Endlager 24 für radioaktive Abfälle zugeführt wird. Nach Ansammeln einer definierten Menge von Absorberabschnitten 1c im Dosierbehälter 12 werden die Abschnitte 1c nach Öffnen eines Schiebers 12a mit einer Vibrationsfördereinrichtung 9c dem Induktionsschmelzofen 13 zugeführt. Der Induktionsschmelzofen 13 bekannter Bauart ist auf Grund der relativ kleinen Chargenmengen (Absorberstäbe 1a: etwa 14 kg pro Cluster 1; Incoremeßlanzen: etwa 4 kg für 10 Stück, entspricht etwa einer Füllung des Sammelcontainers 4) und der hohen Aktivität des Materials für Einsatzmengen bis maximal 15 kg pro Ofenfüllung bei periodischem Betrieb auszuliegen. Für eine Durchsatzserhöhung des Verfahrens bei hohen Abfallmengen des Ausgangsmaterials ist es sinnvoll, anstatt einer Vergrößerung des Ofens 13 einen zweiten Induktionsschmelzofen für Parallel- bzw. Wechselbetrieb vorzusehen. Im Induktionsschmelzofen 13 werden die Absorberabschnitte 1c bis über den Schmelzpunkt des Hüllrohrmaterials 1e (Schmelzpunkt des Eisens: 1537°C) erhitzt, wobei das Absorbermaterial 1d auf Grund seiner wesentlich geringeren Dichte (Borcarbid: etwa $2,5 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$) aufschwimmt und wegen des hohen Schmelzpunktes des Absorbermaterials 1d (Borcarbid: 2350°C) auch eine scharfe Trennung vom austenitischen Hüllrohrmaterial 1e im Schmelzofen 13 angesammelte aufgeschmolzene Hüllrohrmaterial 1e wird in die Aussparungen 15a einer verfahrbaren Gußform 15, die in ihrem Durchmesser an die zu fertigen Strahlenquellen 25 angepaßt sind, abgestochen, ggf. auch direkt in die Quellenkapsel 25c, welche hierzu in die Aussparungen 15a der Gußform 15 eingebracht werden (Fig. 1). Nach Abstich des Hüllrohrmaterials 1e wird das verbliebene feste pellet- bzw. pulverförmige Absorbermaterial 1d in eine, ebenfalls in der Gußform 15 stehende Stahlkokille 15b abgelassen, die nach Abkühlung des Absorbermaterials 1d über ein Anflanshsystem 22c fernbedient in einen Abfallbehälter 23c entleert bzw. komplett eingebracht wird, der nach dem Verschluß auf übliche Art einem Zwischen- bzw. Endlager 24 für radioaktive Abfälle zugeführt wird. Zum Abkühlen der Gußstücke 25a wird die Gußform 15 vom Induktionsschmelzofen 13 seitlich verfahren. Nach Abkühlung wird die Gußform 15 fernbedient geöffnet und die Gußstücke 25a bzw. die gefüllten Kapseln 25c werden mittels eines Manipulators 18 entnommen und einer Kapselungseinrichtung 19 zugeführt. In der Kapselungseinrichtung 19 erfolgt eine einfache bzw. mehrfache Kapselung je nach Anwendungszweck der Strahlenquelle 25. Dabei werden vorzugsweise jeweils mehrere Gußstücke 25a in eine Quellenkapsel eingebracht, um z. B. größere Stabquellenlängen oder flächenartige Strahlenquellenanordnungen zu erzielen.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das aufgeschmolzene Hüllrohrmaterial 1e zwecks Granulierung tropfenweise in ein Wasserbad 16 gegeben (Fig. 1). Nach dem Abstich des Flüssigmetalls 1e wird das Wasser 16a über ein Sieb 16b in eine spezielle Kanalisation 26 abgelassen. Die Restfeuchte des Metallgranulates 25b dampft infolge der Zerfallswärme des aktivierten Metallgranulates 25b aus und wird über die Kondensations- und Filtersysteme der speziellen Lüftung (in Fig. 2 nicht dargestellt) der Heißen Einrichtung 5 abgeschieden. Das Metallgranulat 25b wird anschließend durch eine Vibrationsfördereinrichtung 9d über eine Dosiervorrichtung 17 aktivitätsbezogen der Kapselungseinrichtung 19 zugeführt, wo eine Kapselung in beliebiger geometrischer Form, je nach Anwendungszweck der Strahlenquelle 25, erfolgt. Diese Verfahrensweise weist Vorteile hinsichtlich Variation der Quellenform und der Quellenaktivität auf.

Die gekapselten Gußstücke 25a bzw. Metallgranulate 25b werden in üblichen Prüfeinrichtungen, speziell in einer Gammadosisleistungsprüfeinrichtung 20 einer Ausgangskontrolle unterzogen, wonach eine Einstufung als Strahlenquellen 25 nach der Gammadosisleistung in bestimmte Gruppen erfolgt. Die Strahlenquellen 25 werden über eine Ausgangsschleuse 21 der Heißen Einrichtung 5 entnommen und mit abgeschirmten Containern 27 bekannter Art zum Anwender transportiert. Bei Verwendung von Incoremeßlanzen als Ausgangsmaterial ergibt sich ein analoger, aber vereinfachter Verfahrensablauf, da es sich um reines Stahlmaterial ohne nichtmetallische Anteile handelt.

Dadurch ergeben sich folgende Vereinfachungen:

Die Systeme: Bodensieb 8a – Schwerkraftfördereinrichtung 10a – Anflanshsystem 22a – Abfallbehälter 23a sowie Stahlkokille 15b – Anflanshsystem 22c – Abfallbehälter 23c werden nicht benötigt. Gleiches trifft auch für die Zerkleinerungseinrichtung 7 zu, wenn die Incoremeßlanzen 3 im Sammelcontainer 4 bereits vorzerkleinert vorliegen. Auch der Abstich des aufgeschmolzenen Meßlanzenmaterials 3a aus dem Induktionsschmelzofen 13 in die Gußform 15 ist vereinfacht, da keine Phasentrennschicht 1f zwischen zwei Komponenten wie beim Schmelzen von Absorberabschnitten 1c zu berücksichtigen ist.

Mit Hilfe des Verfahrens (entsprechend Fig. 1) werden bei den o. g. spezifischen Aktivitätswerten für eine übliche Stabquelle ($\varnothing 16 \times 470 \text{ mm}$ / Maß des Gußstückes ohne Kapselung: $\varnothing 13,5 \times 445 \text{ mm}$) Co-60-Aktivitäten von $4,1 \times 10^{12} \text{ Bq}$ (bei Verwendung von Incoremeßlanzen) bzw. von $2,7 \times 10^{12} \text{ Bq}$ (Absorberhüllrohre) erreicht, die für verschiedene Anwendungen, z. B. für Brunnenbestrahlungen ausreichen. Dabei liegen die verfügbaren Aktivitäten der Strahlenquellen auf Grund kurzlebigerer Komponenten im Stahlmaterial (Cr-51, Mn-54, Fe-59, Co-58) in den ersten 2 bis 3 Jahren des Quelleneinsatzes noch erheblich höher (für den o. g. Fall bei $9,1 \times 10^{12} \text{ Bq}$ bzw. $4,8 \times 10^{12} \text{ Bq}$).

Fig. 1



