



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 890 959 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.01.1999 Patentblatt 1999/02

(51) Int. Cl.⁶: **G21F 9/34**

(21) Anmeldenummer: 98112576.8

(22) Anmeldetag: 07.07.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 08.07.1997 DE 19729151

(71) Anmelder: KÜGLER, Jost-Ulrich
D-45219 Essen (DE)

(72) Erfinder: KÜGLER, Jost-Ulrich
D-45219 Essen (DE)

(74) Vertreter:
Dost, Wolfgang, Dr.rer.nat., Dipl.-Chem. et al
Patent- und Rechtsanwälte
Bardehle . Pagenberg . Dost . Altenburg .
Geissler . Isenbruck
Postfach 86 06 20
81633 München (DE)

(54) Verfahren zur Ablagerung und Sicherung radioaktiver Stoffe

(57) In einem Verfahren zur Ablagerung und Sicherung von radioaktiven Stoffen, insbesondere von uran-, radium- und/oder radonhaltigen Erzrückständen, bringt man auf die radioaktiven Stoffe eine Schicht auf, die ein die Strahlung abschirmendes Material in grobkörnigerer Form vermischt mit einer feinkörnigeren Komponente enthält. Bei Einwirkung von Wasser bringt man darüber eine Abdichtungsschicht auf oder man integriert die Abdichtungs- und Strahlenschutzschicht in einer Schicht.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ablagerung und Sicherung von radioaktiven Stoffen, insbesondere von uran-, radium- und radonhaltigen Erzrückständen, unter Verwendung von radioaktiver Strahlung abschirmenden Materialien, die erdbautechnisch verarbeitbar sind.

Im Uranbergbau, d.h. bei der Gewinnung der Isotope 238 U (99 %) und 235 U (0,7 %) aus Uranoxid (Pechblende) entstehen große Rückstandsmengen in Form von Gestein, Boden und Schlamm (pro Tonne Uran bis zu 1000 m³ Schlamm, im Fall der WISMUT GmbH, wo zwischen 1947 und 1990 220.000 t Uran produziert wurden), die aufgrund ihrer natürlichen Radioaktivität eine Umweltgefährdung darstellen. Hierbei handelt es sich vorwiegend um bindige, feinkörnige Boden oder aufgemahlenes, zerkleinertes Erzgestein, welches schwer entwässert werden kann und für die Ablagerung geomechanisch stabilisiert werden muß. Darüber hinaus unterliegen in Trockenzeiten die Rückstände einer erhöhten Winderosion. Derartige Ablagerungen oder Böden enthalten das gesamte, im ursprünglichen Erz vorhandene, stark radioaktive Radium und damit das gesamte vorhandene kurzlebige Radionukleotid des Erzes (die Halbwertszeit des Radiums 226 beträgt 1580 Jahre und die des Radons 222 3,8 Tage).

Von diesen Rückständen geht eine radioaktive Strahlung aus, die gleichzeitig immissions- und emissionsgefährdend ist. Auf Grund der großen Mengen müssen die Umweltbeeinträchtigungen so niedrig wie technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar gehalten werden.

Bisher wurden als gängige Abschirmungs- und Sicherungsmittel Schwerbeton oder Blei verwendet. Jedoch lassen sich solche Maßnahmen bei derartig großflächig geschütteten Materialien technisch nur schwer realisieren. Außerdem sind sie wirtschaftlich gesehen unter Berücksichtigung einer Kosten-Nutzen-Analyse nahezu unvertretbar.

Aus DE-OS 36 07 190 sind Strahlenschutzplatten aus Gips und einem Strahlen resorbierenden Anteil von Barium oder Baryt bekannt. In RömpfChemielexikon, 9. Auflage, Thieme Verlag, 1989, Seite 347, ist die Verwendung von Bariumsulfat oder Schwerspat (Baryt) in Verbindung mit Beton als Abschirmmaterial für Atomennergieanlagen beschrieben. Jedoch eignen sich weder die Gipsstrahlenschutzplatten noch Barytbeton für eine großflächige Sicherung und Abschirmung von radioaktiven Rückständen, beispielsweise von Halden oder kontaminierten Flächen.

Da Ablagerungen von radioaktiv strahlenden Erzrückständen nicht nur durch die direkt von ihnen ausgehenden radioaktiven Strahlungen, sondern auch durch Bodenabtrag infolge von Erosion und Deflation sowie durch Sickerwasser zu einer Gefährdung der Umwelt führen, müssen solche Böden einerseits gegen diese

Strahlung abgeschirmt werden. Andererseits müssen sie auch gegen Auswaschung und den Eintrag von Niederschlagswasser, um eine Grundwasserverunreinigung zu vermeiden, sowie gegen Staubaustrag gesichert werden. Sollen derartige Böden auf gesonderten Lagerflächen deponiert werden, müssen sie vorbehandelt werden, so daß weder Staub noch Sickerwasser während der Behandlung, dem Transport und der Ablagerung der Erzrückstände entstehen, noch eine größere Migration des radioaktiven Edelgases Radon (Rn 222) erfolgen kann. Die Strahlenbelastung durch Radon und seine Folgeprodukte macht mit ca. 50% den größten Anteil der natürlichen Strahlenexposition des Menschen aus. Radon steht im Verdacht, bei höheren Konzentrationen Karzinome im Bronchial- und Lungenbereich hervorzurufen.

In DE-PS 41 19 989 wird bereits der Vorschlag unterbreitet, auf Halde geschüttete radioaktive Strahlung abgebende Erzabfälle, z.B. von der Uranerzgewinnung, mit einer Materialschicht abzudecken, die in der Lage ist, die radioaktive Strahlung ganz oder zumindest teilweise zu absorbieren. Hierbei müßte gemäß der Beschreibung von DE-PS 41 19 989 gewährleistet sein, daß die Materialschicht in der aufgebrachten Schichtdicke erhalten bleibt, wozu eine lose aufgebrachte Schüttung nicht geeignet erscheint, da die lose Schüttung abwandern würde. Um dieses Problem zu lösen und eine dauerhafte und zusammenhängende Abschirmung/Adeckung zu erhalten, wird in DE-PS 41 19 989 eine Strahlenschutzmatte vorgeschlagen, die aus drei Schichten, einer Träger-, einer Deck- und einer Abschirmschicht besteht, wobei die Abschirmschicht aus einem radioaktiven Strahlung abschirmenden Material, z.B. Bariumsulfat, besteht, und alle drei Schichten miteinander vernadeln sind. Nachteilig ist bei dieser Matte, daß die Vernadelung, bei der das abschirmende Material in Spezialgewebe eingebettet wird, aufwendig ist. Als Trägerschicht können Folien verwendet werden. Hierbei besteht jedoch die Gefahr, daß diese, da sie einer erheblichen mechanischen Verletzungsgefahr ausgesetzt sind, durch äußere Beanspruchung reißen, oder daß sie aufgrund von Alterungsprozessen ihre Abdichtungsqualität verlieren, so daß dann das abschirmende Material über Leckagen austreten kann und somit der notwendige Schutz auf Dauer nicht gegeben ist.

Würde man das die radioaktive Strahlung abschirmende Material in einer guten Kornabstufung (Korncharakteristik) entsprechend der Figur oder einer Fuller-Kurve, z.B. mit einer Kornabstufung von 0 bis 45 mm oder von 0 bis 100 mm, auf die radioaktiven Stoffe auftragen, so besteht die Gefahr, daß vor allem bei Trockenheit und Verformungen durch die wirksame Scherfestigkeit Risse und Spalten entstehen, die sich bei Überlagerung von Abdichtungsschichten nicht selbstwirksam zusetzen. Ist mit einer Verformungsbeanspruchung, die Risse verursacht, nicht zu rechnen, sind auch kornabgestufte Schüttungen mit stetig verlau-

fenden Körnungslinien, weitgestuft nach DIN 18196, für derartige Abschirmungen geeignet.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung bestand nun darin, ein Verfahren zu schaffen, das die Nachteile des oben genannten Standes der Technik vermeidet und durch das radioaktive Stoffe unter Verwendung wirtschaftlich vertretbarer, erdbautechnischer Maßnahmen großflächig und auch bei Auftreten von Verformungen umweltverträglich abgelagert, gesichert und abgeschirmt werden können.

Überraschenderweise wurde gefunden, daß sich dieses Problem dadurch lösen läßt und entstehende Risse bei Verformungen sofort zugesetzt werden, wenn ein strahlungsabschirmendes Material in grobkörnigerer Form verwendet wird und in dieses ein feinkörnigeres Material eingemischt wird. Deshalb wird vorgeschlagen, die obengenannte Aufgabe dadurch zu lösen, daß man die radioaktiven Stoffe mit einer Schutzschicht abdeckt, die aus grobkörnigem, die Strahlung abschirmendem Material besteht, das mit einem feinkörnigeren, ggf. die Strahlung abschirmendem, Material vermischt ist. Darüber ist gegebenenfalls eine Oberflächenabdichtung oder Zwischenabdichtung aufzubringen.

Somit betrifft die Erfindung ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen definiert.

Die erfindungsgemäß zur Ablagerung geeigneten radioaktiven Stoffe unterliegen an sich keiner besonderen Beschränkung. Insbesondere geeignet sind alle uran-, radium- und/oder radonhaltigen Rückstandsmengen und Böden, wie sie bei der Uranaufbereitung anfallen. Vorzugsweise handelt es sich hierbei um bindige, feinkörnige Böden oder aufgemahlenes, zerkleinertes Erzgestein.

Grundsätzlich eignet sich als das grobkörnigere, die Strahlung abschirmende Material jedes Material, das einen ausreichenden Wirkungsquerschnitt für die Abschirmung besitzt. Vorzugsweise werden Schwerspat (Bariumsulfat) und/oder Bleierz verwendet, wobei Schwerspat am meisten bevorzugt ist. Erfindungsgemäß kann jedes beliebige Bariumsulfat verwendet werden. Aus Kostengründen wird jedoch Bariumsulfat-haltiges, gebrochenes Roherz in der Form, wie es direkt im Bergbau gewonnen wird, bevorzugt verwendet. Auch die erfindungsgemäß geeigneten Bleierze unterliegen an sich keiner Beschränkung. Besonders geeignete Bleierze sind Bleiglanz PbS, Anglesit PbSO₄, Weißbleierz PbCO₃, Grün-, Braun- oder Buntbleierz Pb₅(PO₄)Cl, Gelbbleierz Pb(MoO₄) und Bleihornerz Pb₂Cl₂(CO₃), wobei von diesen Materialien Bleiglanz (PbS) am meisten bevorzugt ist, da er das weitaus wichtigste und am häufigsten vorkommende Bleierz ist.

Erfindungsgemäß, als feinkörnigere Komponente eignen sich sowohl Materialien mit als auch solche ohne Strahlenschutzwirkung oder ein Gemisch davon, wobei das verwendete Material in Abhängigkeit von der gewünschten Strahlenschutzwirkung ausgewählt wird.

Insbesondere geeignet sind als Materialien mit Schutzwirkung trockene Sande und Stäube aus der Schwerpunktlaufbereitung und als Materialien ohne Schutzwirkung (natürliche) trockene Sande und/oder (natürliche) aufbereitetes Felsbruchmaterial, bevorzugt in Korn- oder Splitbruchgröße.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein grobkörnigeres, die Strahlung abschirmendes Material mit einem Korndurchmesser von 11 bis 200 mm, bevorzugt 63 bis 100 mm, besonders bevorzugt von 22 bis 63 mm, und eine feinkörnigere Komponente mit einem Korndurchmesser von 0 bis 11 mm, bevorzugt von 0,0063 bis 2 mm, besonders bevorzugt von 0,2 bis 0,63 mm, jeweils in guter Kornabstufung oder gemäß der Figur, verwendet.

Der am besten geeignete Anteil von grob- zu feinkörnigerer Komponente läßt sich durch routinemäßige Versuche bestimmen. Gute Ergebnisse erzielt man mit 80 bis 40 Gewichts-%, bevorzugt 70 bis 50 Gewichts-%, grobkörnigerer Komponente und 20 bis 60 Gewichts-%, bevorzugt 30 bis 50 Gewichts-% feinkörnigerer Komponente, jeweils bezogen auf 100 Gewichts-% der Schutzschicht.

Erfindungsgemäß stellt man die Schutzschichten vorzugsweise her, indem man die grob- und feinkörnigeren Komponenten vorher miteinander vermischt und dann aufträgt. Grundsätzlich ist eine Verdichtung nicht unbedingt notwendig, da diese bei guter Vermischung und durch das Ausbringen mit Erdbaugeräten schon eine mitteldichte Lagerung einnehmen. Vorzugsweise, und insbesondere bei Aufbringen mehrerer Schichten übereinander, wird nach dem Auftragen der (jeweiligen) Schicht mittels gängiger Verdichtungsgeräte, z.B. Vibrationsglattmantelwalzen, auf $\geq 100\%$ der Procordichte verdichtet.

Je nach Strahlungsintensität trägt man Schichten mit einer Dicke von 5 bis 50 cm, bevorzugt 15 bis 30 cm, auf. In Abhängigkeit von der gewünschten Abschirmung werden eine oder mehrere Schichten aufgetragen. Die Schutzschicht(en) können trocken, erdfeucht oder naß aufgetragen werden, bevorzugt werden sie erdfeucht aufgebracht.

In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung wird die Schutzschicht auf einem reißfesten, dünnen Gewebe mit einer Zugkraft von 50 bis 200 kN/m², bevorzugt etwa 125 kN/m², und einer Bruchdehnung von 3 - 5%, sowie mit einer Maschenweite von < 6 mm, bevorzugt < 3 mm, aufgelagert. Auf diese Weise wird bei Setzungs- und Schrumpfbewegungen der abgelagerten radioaktiven Stoffe der Anteil der feinkörnigeren Komponente in der Schutzschicht gehalten. Hierbei wurde festgestellt, daß selbst eine feinkörnige Komponente mit einem Korndurchmesser < 0,0063 mm mit einem solchen Gewebe zurückgehalten wird, da sich die größeren Sandkörner in den Maschen verkeilen und dadurch die Maschen zusetzen und durch die Sedimentation wieder Filterfestigkeit entsteht. Wegen der hohen Beständigkeit, der geringen Dehnfähigkeit und der

hohen Bruchkraft ist ein Gewebe aus Polyaramid oder Karbon- oder Kohlenstoffsiliciumfaser aus PP, PE und HDPE und PVC besonders geeignet.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird über die Strahlungsschutzschicht eine Abdichtungsschicht aufgebracht. Erfindungsgemäß eignen sich hierzu alle an sich bekannten Abdichtungssysteme, wie sie bevorzugt im Deponiebau üblich sind. Vorzugsweise wird eine raumbeständige mineralische Abdichtungsschicht gewählt.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung integriert man die Abdichtungs- und Strahlenschutzschicht in einer Schicht. Hierzu werden als strahlungsabschirmendes Material die bereits oben genannten Materialien, insbesondere Schwerspat und/oder Bleierz, mit einem Korndurchmesser von 0 bis 100 mm, bevorzugt 0 bis 63 mm, besonders bevorzugt 0 bis 32 mm, mit einer guten Kornabstufung, und als feinkörnigere Komponente feinstkörnige, bindige (feinkörnige) Zuschlagstoffe mit einem Korndurchmesser von 0 bis 2,0 mm, bevorzugt 0 bis 0,2 mm, besonders bevorzugt 0 bis 0,02 mm, jeweils mit guter Kornabstufung, verwendet. Vorzugsweise handelt es sich bei den feinstkörnigen Zuschlagstoffen um Tone, insbesondere gering quellfähige Tone, d.h. Tone mit geringem Schrumpfverhalten an der Schrumpfgrenze $\leq 12\%$, z.B. kaolinische Tone oder übliche Mischtone, Schluff und/oder Klärschlamm, oder Asphalt. Bei Verwendung von Schluff oder Klärschlamm, weniger bei Ton, ist es bevorzugt, Wasserglas einzumischen, so daß sich im Bodenwasser eine 3-10%ige, bevorzugt eine 5-6%ige Wasserglaslösung bildet. Die erfindungsgemäß geeigneten Mengen an den feinstkörnigen, bindigen Zuschlagstoffen kann der Fachmann leicht durch die Ermittlung des Porengehaltes der gewählten Komponenten für die Strahlungsabschirmung ermitteln. Hierbei sollte die Zugabe des bindigen Zuschlagstoffes nur zur Porenraumaufüllung der Schutzschicht dienen und eine Übersättigung des Porenraumes wegen der gestellten Aufgabe, eine Abschirmung zu erreichen, vermieden werden. Gute Ergebnisse erzielt man bei Verwendung der Tone in einer Menge von 5 bis 15 Gewichts-%, und bei Verwendung von Schluff und/oder Klärschlamm, ggf. mit Wasserglas, in einer Menge von 7 bis 20 Gewichts-%, jeweils bezogen auf 100 Gewichts-% der Schutzschicht. Die Zuschlagstoffe werden mit dem abschirmenden Material, vorzugsweise vor dem Auftragen, homogen vermischt, wobei Tone und Schluff trocken oder feucht eingesetzt werden können und Klärschlamm vorzugsweise feucht mit 30 - 60 % Trockensubstanz (TS) eingesetzt wird. Das Vermischen kann durch geeignete Baufräsen oder durch Zwangsmischverfahren erfolgen. Bevorzugt wird das Material lagenweise in Schichtstärken von 5 bis 40 cm, insbesondere von 10 bis 25 cm aufgetragen und mittels gängiger Verdichtungsgeräte auf $> 95\%$ der Proctor-dichte verdichtet. Mit einer derartigen Schüttung werden Durchlässigkeitsbeiwerte von $5 \cdot 10^{-10}$ bis $5 \cdot 10^{-11}$ m/s erreicht. Die Anzahl der Schichten und die Schichtstärken werden entsprechend der gewünschten Abschirmwirkung gewählt. Der Vorteil dieser Schutzschicht liegt darin, daß sie neben einer hohen Abschirmwirkung aufgrund der Verwendung von bindigen Zuschlagstoffen gleichzeitig eine Abdichtungsschicht darstellt, so daß nurmehr in besonders gelagerten Fällen eine zusätzliche mineralische Abdichtungsschicht erforderlich ist. Aus dem Wasserbau, Brückenbau und dem Deponiebau sind auch Dichtungsschichten aus Asphalt bekannt. Es besteht deshalb auch die Möglichkeit, je nach Aufgabenstellung, auch mit Asphaltbeton als feinstkörnigem, bindigem Zuschlagstoff integrierte Strahlungsschutz- und Abdichtungsschichten gemäß der Erfindung zu erstellen.

Bei der erfindungsgemäß hergestellten Schutzschicht entstehen keine Risse bzw. werden entstehende Risse selbstwirksam auch unter Abdichtungsschichten zugesetzt. Daneben besitzt eine solche Schicht eine sehr gute Verdichtbarkeit, eine hohe Scherfestigkeit mit einem Reibungswinkel von 35 bis 45°, vorzugsweise von 40°, und sie ist bei Böschungsneigungen von 1:1,5 standsicher. Somit genügt die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Schutzschicht folgenden Anforderungen:

1. hohe Dichte mit ausreichendem Anteil an die Strahlung abschirmendem Material,
2. ausreichende Standsicherheit,
3. erdbautechnische Verarbeitbarkeit und
4. Verformbarkeit ohne Rißbildung.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird eine solche integrierte Abdichtungs- und Schutzschicht gegenüber Beanspruchungen, wie Verformung, Zugbeanspruchungen im Böschungsbereich bzw. Schrumpfverhalten bei wechselnden Wassergehalten durch unterschiedliche Witterungsverhältnisse, weiter gegen Risse gesichert. Hierzu wird die integrierte Schicht mit einem dünnen, reißfesten Gewebe mit Maschenweiten von etwa 3 mm bewehrt und vollflächig mit einem Infiltrationsboden überschüttet, der in der Lage ist, bei Einwirkung von Wasser bei entstehenden Rissen sofort in diese Risse zu fließen und diese selbstwirksam wieder zuzusetzen. Als Infiltrationsboden eignet sich insbesondere der in EP-B-0 404 999 beschriebene Fließboden der Klasse 2 (2) oder 2 (3) nach DIN 18300-2.2. Hierbei transportiert bei Rissen durch die Fließbodenschicht ablaufendes Wasser, insbesondere Sickerwasser, Fließbodenmaterial in den Riß und setzt diesen zu, so daß sozusagen eine Selbstreparatur der integrierten Schicht eintritt. Da in diesem Fall die Abdichtung auch als Strahlenschutz wirksam sein soll, wird in einer bevorzugten Ausgestaltung der Infiltrationsboden aus Schwerspatsand und -mehl hergestellt. Der Korndurchmesser des Schwerspatsands

unterliegt an sich keiner besonderen Beschränkung. Als besonders geeignet hat sich jedoch ein Korndurchmesser von 0 bis 4 mm mit einer guten Kornabstufung erwiesen. Die Menge an zuzusetzendem Schwerspat-sand hängt von der gewünschten Abschirmwirkung ab und läßt sich durch Versuche ermitteln. Bevorzugt beträgt die Menge an Schwerspatsand 30 bis 100 Gewichts-% bezogen auf 100 Gewichts-% Infiltrationsboden.

Das Verfahren der vorliegenden Erfindung ermöglicht es, allein mit erdbautechnischen Maßnahmen wirk-same Schutzschichten gegen Strahlungen herzustellen, die selbst bei mechanischen Beanspru-chungen eine hohe Sicherheit bieten und zudem unter dem Gesichtspunkt einer Kosten-Nutzen-Analyse wirts-chaflich vertretbar sind. Die erfindungsgemäße Schutzschicht bietet wirksamen Schutz gegen das Ein-dringen von Sickerwasser und verhindert darüberhin-aus das Entweichen von radioaktivem Gas (insbesondere Radon) in die Umgebung.

Damit eröffnet die Erfindung folgende Möglichkei-ten:

- Abschirmung und Abdichtung von strahlenden Hal-den;
- Abdichtung und Überschüttung von strahlenden Schlammtiechen, d.h. schlammig aussehenden Strahlungsrückständen;
- Abdichtung und gleichzeitig Schutz von großflächig verstrahlten Geländeberichen mit natürlichem Boden und der Möglichkeit einer nachfolgenden Rekultivierung durch Überschichtung;
- Neubau von Deponien für gering verstrahlte Mate-rialien;
- Herstellung von sogenannten Abdichtungskörpern mit strahlendem Material zur Einlagerung in einer Deponie.

Aufgrund steigender Sicherheitsanforderungen und zunehmender Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung könnte auch eine doppelte Sicherung, d.h. eine Strah-lenschutzschicht und eine integrierte mineralische Abdichtung mit Strahlung abschirmendem Material (Bariumsulfat bzw. Bleierz) vorgesehen werden. Die Anzahl der Schichten hängt hierbei von der mechani-schen Beanspruchung und der geforderten Strahlen-schutzabschirmung ab. Bei den sogenannten Abdichtungskörpern wird strahlende Erde mit Schwer-spat und/oder Bleierz vermischt und anschließend mit Wasserglas vermischt. Das entstehende Gemisch ist dicht und bremst die Strahlung in sich, so daß es in einer Deponie abgelagert werden kann.

Die Erfindung wird anhand der folgenden Beispiele, die bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung dar-stellen, näher erläutert.

Beispiel 1

Auf aus dem Uranbergbau stammenden Erzrück-ständen mit einem Urangehalt von 1 bis 2 % mit einer Strahlung von 270 bis 600 Bq wurde eine 20 cm hohe Schwerspatschicht aufgebracht. Die Schwerspatschicht bestand aus Schwerspat mit einem Korndurchmesser von 63 bis 100 mm, in die eine feinkörnigere Kompo-nente aus Schwerspatsand mit einem Korndurchmes-ser von 0,02 bis 0,63 mm eingebettet wurde. Bei dem Material handelte es sich in beiden Fällen um einen gebrochenen Rohschwerspat mit einem Schwerspatge-halt von ca. 60%. Die Strahlungsschutzschicht wurde mittels gängiger Verfahren mechanisch verdichtet. Die Schüttung besaß die Eigenschaft der rissefreien Ver-formbarkeit.

Messungen über der Schutzschicht ergaben eine Strahlung von ca. 20 - 30 Bq, was in etwa der Umge-bungsstrahlung entspricht. Somit konnte keine meßbar gesundheitsschädigende Strahlung festgestellt werden.

Beispiel 2

Auf die gleichen Erzrückstände wie in Beispiel 1 wurden zwei integrierte Schutz- und Abdichtungs-schichten von insgesamt 40 cm Dicke (je Schicht 20 cm Dicke) aufgebracht. Jede integrierte Schicht bestand aus kornabgestufterm Rohschwerspat mit einem Korn-durchmesser von 0 bis 32 mm, in den Klärschlamm mit 35% Trockensubstanz eingemischt wurde. Der Anteil an Rohschwerspat in der Mischung betrug 80 Gewichts-% bezogen auf 100 Gewichts- % Schutz-/Abdichtungs-schicht.

Messungen oberhalb der zweilagigen Schicht erga-ben Strahlungen von ≤ 30 Bq. Somit konnten keine Strahlungen gemessen werden, die oberhalb der Umgebungsstrahlung lagen. Der Durchlässigkeitstei-wert dieser Schicht lag nach dem Bauzustand bei $k = 5,6 \times 10^{-10}$ m/sec, nach drei Monaten bei $2,3 \times 10^{-10}$ m/sec. Derartig kombinierte Schutz-und Abdichtungs-schichten können als gasdicht betrachtet werden.

Damit stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Verfügung, das eine wirtschaftlich vertretbare und erdbautechnisch gut handhabbare Sicherungstechnik zum Schutze von radioaktiv kontaminierten Schüttun-gen oder Flächen darstellt.

Patentansprüche

- 50 1. Verfahren zur Ablagerung und Sicherung von radio-aktiven Stoffen, insbesondere von uran-, radium- und/bder radonhaltigen Erzrückständen, unter Ver-wendung von Strahlung abschirmendem Material, dadurch gekennzeichnet, daß man auf die radioak-tiven Stoffe mindestens eine Schutzschicht auf-bringt, die das die Strahlung abschirmende Material in grobkörnigerer Form vermischt mit einer feinkörnigeren Komponente enthält, und ggf. dar-

- über mindestens eine Abdichtung aufbringt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man ein die Strahlung abschirmendes Material mit einem Korndurchmesser von 11 bis 200 mm und eine feinkörnigere Komponente mit einem Korndurchmesser von 0 bis 11 mm verwendet. 5
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß man als grob- und/oder feinkörnigeres Material, Schwerspat und/oder Bleierze verwendet. 10
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man die Schutzschicht in einer Dicke von 5 bis 50 cm aufbringt. 15
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß man die Schutzschicht auf $\geq 100\%$ der Proctordichte verdichtet. 20
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß man die Schutzschicht auf ein reißfestes Gewebe mit einer Maschenweite < 3 mm auflagert. 25
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß man eine an sich bekannte Abdichtungsschicht auf die Schutzschicht aufbringt. 30
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man Schwerspat und/oder Bleierze mit einem Korndurchmesser von 0 bis 100 mm und ein feinstkörniges abdichtendes Material mit einem Korndurchmesser von 0 bis 2 mm oder Asphalt verwendet. 35
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß man als abdichtendes Material Tone und/oder, ggf. mit Wasserglas vermischt, Schluff und/oder Klärschlamm verwendet. 40
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das feinstkörnige abdichtende Material in einer derartigen Menge zugegeben wird, daß eine Porenraumausfüllung der Schutzschicht bewirkt und eine Übermischung der abdichtenden Komponente zur Porenraumversiegelung vermieden wird. 45
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß man die Schutzschicht mit einer Dicke von 5 bis 30 cm aufbringt. 50
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß man die Schutzschicht auf 95 % der Proctordichte verdichtet. 55
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß man die Schutzschicht mit einem Gewebe bewehrt und mit einem Infiltrationsboden, der vorzugsweise Schwerspat-sand enthält, überdeckt.

Korngrößenverteilung

