



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 55 064 A1 2004.06.17**

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 55 064.6**
 (22) Anmeldetag: **25.11.2002**
 (43) Offenlegungstag: **17.06.2004**

(51) Int Cl.7: **G21F 9/06**
C02F 9/04

(71) Anmelder:
RWE Nukem GmbH, 63755 Alzenau, DE

(72) Erfinder:
Rosenberger, Stefan, Dipl.-Ing., 63776 Mömbris, DE; Hesse, Klaus, Dipl.-Ing., 57462 Olpe, DE

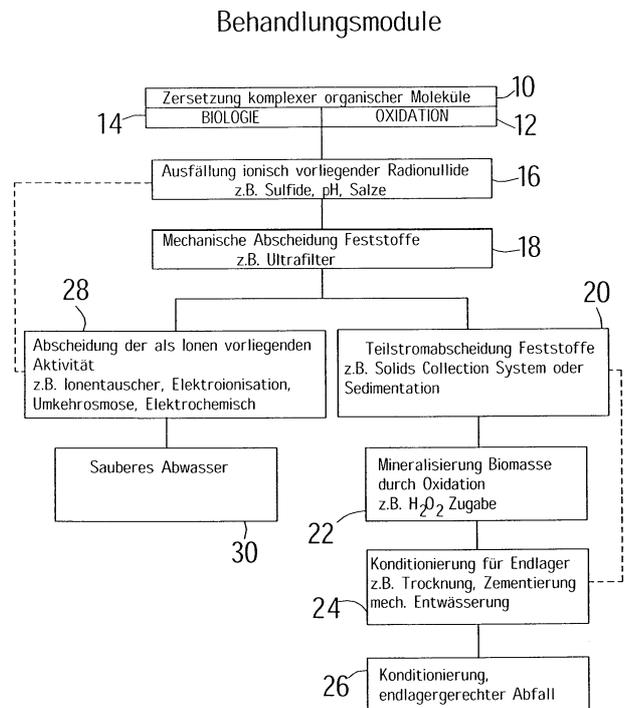
(74) Vertreter:
Stoffregen, H., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 63450 Hanau

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Behandeln von radioaktivem Abwasser**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Behandeln von radioaktivem Abwasser, wobei das Abwasser, von einem oder mehreren Sammelbehältern kommend, in einer Behandlungsstufe einer Querstromfiltration sowie einer parallel zu dieser geschalteten Teilstromfiltration zugeführt wird sowie gegebenenfalls einen Ionenaustauscher durchströmt, wobei der Teilstromfiltration ein durch die Querstromfiltration aufkonzentrierter Teil des Abwassers zugeführt wird. Um eine nahezu vollständige Trennung zwischen unschädlichen Inhaltsstoffen und Radionukliden zu ermöglichen, wird vorgeschlagen, dass als Sammelbehälter für das Abwasser ein erster Reaktor verwendet wird, in dem in einer ersten Behandlungsstufe das Abwasser durch entweder aerobe Behandlung oder Oxidation organischer Bestandteile volumenreduziert wird und dass in einer nachfolgenden zweiten Behandlungsstufe das Abwasser in der Querstromfiltration und in der Teilstromfiltration derart behandelt wird, dass der Querstromfiltration entnommenes Filtrat/Permeat entweder unmittelbar genutzt oder dem oder einem weiteren Reaktor zugeführt wird.



Beschreibung

[0001] Verfahren zum Behandeln von radioaktivem Abwasser, wobei das Abwasser von einem Sammelbehälter kommend in einer Behandlungsstufe einer Querstromfiltration sowie einer parallel zu dieser geschalteten Teilstromfiltration zugeführt wird sowie gegebenenfalls einen Ionenaustauscher durchströmt, wobei der Teilstromfiltration ein durch die Querstromfiltration aufkonzentrierter Teil des Abwassers zugeführt wird.

[0002] Flüssigabfälle insbesondere aus kerntechnischen Anlagen enthalten suspendierte und gelöste Stoffe mit Radionukliden, die nicht in die Umwelt gelangen dürfen. Entsprechende Flüssigabfälle fallen zum Beispiel durch Wässer, wie beispielsweise Komponentenspülwasser, Laborwasser, Dekontamination, Sumpfwasser, Harzreinigungswasser, Reinigungswasser, Wäschereiabwasser oder ähnliches an. Dabei existieren nach dem Stand der Technik verschiedene etablierte Verfahren, mittels der die Flüssigabfälle möglichst volumenreduzierend behandelt und so entstehender Rückstand für ein Endlager konditioniert werden.

[0003] Relativ große Abwasservolumina werden im Regelfalle mittels großer Verdampferanlagen – häufig auch parallel zueinander geschaltete Verdampferanlagen – auf Feststoffkonzentrationen zwischen 20% und 30% aufkonzentriert. Dieses Konzentrat enthält sowohl gelöste als auch suspendierte Stoffe. Zur Konditionierung werden diese Konzentrate im Regelfall in speziellen Konzentratrocknern ergänzend getrocknet (Salzblock oder trockenes Pulver) oder mit Zuschlagstoffen (z.B. Zement oder anderen Verfestigern) in stabile Formen überführt. Eine Trennung der Nuklide von dem Feststoffgemisch, das häufig große Anteile an inaktiven Stoffen (z.B. Salze) enthält, erfolgt nicht. Die Verdampfer werden häufig durch Mischbettfilter (Anionen und Kationenaustauscher für gelöste Stoffe) sowie Zentrifugen (suspendierte Stoffe) unterstützt bzw. ergänzt.

[0004] Wässer aus nuklearen Wäschereien können mittels Bakterien biologisch vorbehandelt und die suspendierten Feststoffe teilweise mittels Zentrifugen abgeschieden werden.

[0005] Bei denen bekannten Verfahren werden suspendierte Stoffe ohne Vorkonzentration mit verschiedenen Filtern mit unterschiedlichen Porengrößen abgetrennt. Zum Einsatz gelangende Filter sind Anschwemmfilter (Kieselgur), Einwegfilterpatronen, rückspülbare Filterpatronen und Querstromfiltrationsanlagen, z.B. Nanofiltration oder Ultrafiltration.

[0006] Gelöste Stoffe (Ionen) werden im Regelfall mittels Umkehrosiose, Ionenaustauschern oder anderen Medien abgetrennt.

[0007] Organische Stoffe wie Öle können z.B. mit Aktivkohle abgeschieden werden.

[0008] Einige Verfahren kombinieren die Abscheidung von suspendierten Stoffen (mittels Filtern) und gelösten Stoffen (mittels Ionenaustauschern) und

setzen zur Unterstützung der Abscheidung Flockungshilfsmittel ein.

[0009] Um die Abfallvolumina zu reduzieren, sind weitere Verfahren entwickelt worden, die die inaktiven Salze (z.B. Borate) chemisch-thermisch von den Radionukliden in den Konzentraten abtrennen (z.B. Borsäurerückgewinnung) und rezyklieren, bzw. es gelangen Verfahren zum Einsatz, die erschöpfte Ionenaustauscher zersetzen (z.B. Pyrolyse). All diese bekannten Verfahren haben erhebliche Nachteile.

[0010] Die Konzentrierung von radioaktiven und nicht radioaktiven Stoffen (Verdampfer) ergibt ein relativ hohes Abfallvolumen im Vergleich zum tatsächlichen radioaktiven Volumen und erfordert somit größere Abfallbehälter, größere Lager, aufwendigeren Transport und höhere Endlagerkosten. Allerdings bilden die inaktiven Salze oft eine feste (lösliche) Matrix, die die Radionuklide einschließen und damit immobilisieren.

[0011] Abwässer nuklearer Wäschereien werden größtenteils mittels Filterkerzen und Ionenaustauschern gereinigt. In einigen Anwendungen wird der Inhalt von Waschwasserbehältern auch durch Zugabe von z.B. Powex-Ionenaustauschern ausgeflockt. Hierdurch fallen ebenfalls relativ große Abfallvolumina an. Dies kann zwar aufgrund der bekannten biologischen Behandlung mit Zentrifugen minimiert werden, zeigt jedoch – bedingt durch die schlechten Trenneigenschaften der Zentrifuge für kolloidale Feststoffe – eindeutige Grenzen in ihrer Abscheiderate.

[0012] Einweg- und rückspülbare Filter haben – bedingt durch die Porengröße – nur unzureichende Abscheideraten für kleine kolloidale Partikel. Zusätzlich setzen sich die Filter durch Aufbau eines Filterkuchens gegebenenfalls sehr schnell zu. So ist z.B. bei Filtrierung von biologisch behandeltem Abwaschwasser ein Filter mit 10 µm Porengröße innerhalb weniger Minuten verstopft. Gleichzeitig passieren mehr als 50% der Feststoffe den Filter, da diese eine Größe von weniger als 10 µm aufweisen. Im Falle von Einwegfiltereinsätzen werden hohe Mengen an Sekundärabfall erzeugt. Mehrere hundert verbrauchte Filtereinsätze pro Jahr und Kernkraftwerk sind erforderlich.

[0013] Querstromfilteranlagen (Nanofiltration, Ultrafiltration, Umkehrosiose) sind in der Lage Feststoff abzuscheiden, zeigen jedoch den Nachteil, dass ein relativ hohes Volumen an noch zu konditionierendem Konzentrat erzeugt wird. Bei Konzentratvolumen entsprechender Querstromfiltrationsanlagen von bis zu mehreren hundert Kubikmetern pro Jahr und Kernkraftwerk bereitet dies erhebliche Probleme.

[0014] Bei einer Abwasserbehandlung der eingangs genannten Art nach der WO 01/44115 besteht die Möglichkeit, Ultrafiltrationsanlagen in Kombination mit einer Mikrofilter aufweisenden Teilstromfiltration so zu betreiben, dass weitere Flüssigabfälle, die mit einem zusätzlichen Verfahren konditioniert werden müssten, grundsätzlich nicht mehr anfallen.

[0015] Es sind auch Verfahren bekannt, die die zuvor beschriebenen Maßnahmen kombinieren. Zum Beispiel werden üblicherweise Abwasserströme mittels Verdampfer behandelt, die auf andere Weise nicht gereinigt werden können, während andere mittels verschiedener Filtrationsverfahren gereinigt werden. So werden z.B. Einweg- oder rückspülbare Filter mit Ionenaustauschern kombiniert. Zur Erhöhung der Effektivität der Filtration kleiner Partikel werden Flockungshilfsmittel wie z.B. Polyacrylamide zugegeben. Hierdurch besteht das Problem, dass neben teilweise üblichem Sekundärabfall die genaue Dosierung der Flockungshilfsmittel nahezu nicht möglich ist. Die Passage kleiner Partikel und/oder Flockungshilfsmittel durch die Filter ist die Folge. Diese Feststoffe lagern sich auf die Oberfläche der nachfolgenden Ionenaustauscher an und stellen eine Barriere für einen effizienten Ionenaustausch dar. Die Ionenaustauscher erschöpfen sich früher. Somit ist zusätzlicher Sekundärabfall entstanden.

[0016] Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass eine möglichst vollständige Separierung von Flüssigkeit und anderen unschädlichen Inhaltsstoffen, wie z.B. inaktiven Salzen, von Radionukliden ermöglicht wird, so dass der Anfall von zu entsorgenden Substanzen minimiert wird.

[0017] Erfindungsgemäß wird das Problem im Wesentlichen dadurch gelöst, dass als Sammelbehälter für das Abwasser ein erster Reaktor verwendet wird, in dem in einer ersten Behandlungsstufe das Abwasser durch entweder aerob biologische Behandlung oder Oxidation organischer Bestandteile volumenreduziert wird und dass in einer nachfolgenden zweiten Behandlungsstufe das Abwasser mittels der Querstromfiltration und der Teilstromfiltration derart behandelt wird, dass der Querstromfiltration entnommenes Konzentrat entweder unmittelbar konditioniert oder dem oder einem weiteren Reaktor zugeführt wird. Dabei kann der Querstromfiltration gegebenenfalls ein Ionenaustauscher oder eine Elektrodeionisationsstufe nachgeschaltet werden, um von diesem gesammelte ionische Radionuklide erneut dem ersten Reaktor oder einem anderen Reaktor zuzuführen.

[0018] Insbesondere ist vorgesehen, dass mit Radionukliden angereicherte Feststoffe in der Teilstromfiltration gravimetrisch abgeschieden werden.

[0019] Die Teilstromfiltration wird in einem zweiten Behälter durchgeführt, in dem in einer bodenseitigen ersten Zone Feststoffe abgeschieden werden, in einer nachfolgenden über der ersten Zone verlaufenden zweiten Zone das von der Querstromfiltration stammende aufkonzentrierte Abwasser über einen Zulauf zuströmt und oberhalb der zweiten Zone in oder nach einer dritten Zone über einen Ablauf abströmt. Dabei wird die Steiggeschwindigkeit und die Gestaltung des Behälters zwischen dem Zulauf und dem Ablauf derart eingestellt, dass eine Sedimentati-

on und teilweise Agglomeration von Partikeln ermöglicht wird. Insbesondere beläuft sich die Steiggeschwindigkeit V zwischen in etwa 0,1 cm/min bis in etwa 5,5 cm/min, insbesondere in etwa 2 cm/min.

[0020] Die der ersten Zone des zweiten Behälters entnommenen Feststoffe in Form von Flüssigkeitsschlamm werden sodann mit H_2O_2 oxidiert und – wenn notwendig – entwässert und sodann getrocknet. Dabei kann der Flüssigkeitsschlamm zuvor mineralisiert werden, und zwar dann, wenn in dem Reaktor ein aerober Abbau von organischen Stoffen erfolgt und mit Radionukliden angereicherte Biomasse entsteht.

[0021] Zwischen der ersten Zone und dem Zulauf wird eine Sedimentationsstufe ausgebildet, die die zweite Zone sein kann. Der Bereich zwischen Zulauf und Ablauf ist als Umkehrzone ausgebildet und kann die dritte Zone oder ein Abschnitt dieser sein.

[0022] Des Weiteren sieht die Erfindung vor, dass das aufkonzentrierte Abwasser der Teilstromfiltration über einen parallel zu der Querstromfiltration verlaufenden gegebenenfalls ein Förderaggregat aufweisenden Bypass zugeführt wird, in dem ein Teil des aufkonzentrierten Abwassers unmittelbar in die Querstromfiltration zurückströmt.

[0023] Erfindungsgemäß wird ein Modularverfahren vorgeschlagen, das auf die jeweiligen Reinigungsaufgaben in ihrer Gesamtheit durch Einsatz aller Module oder ausgewählter sinnvoll kombinierter Einzelmodule ausgelegt werden kann. Dabei ist eines der Module der Reaktor, in dem eine Volumenreduzierung des zu behandelnden Abwassers erfolgt, und zwar entweder durch eine sogenannte kalte Oxidation z.B. mit Ozon oder einem anderen geeigneten Oxidationsmittel sowie Fällung oder durch biologischen Abbau. Ein weiteres Modul kann die Ionisierung von einem die Querstromfiltration verlassendes Filtrat/Permeat bei noch vorhandenen Radionukliden sein, gleichwenn die erfindungsgemäße Lehre grundsätzlich darauf abzielt, durch das erste und zweite Modul und gegebenenfalls eine Kaskadierung dieser oder zumindest eines der Module vollständig gereinigtes und unmittelbar verwertbares Filtrat bzw. Permeat zu erlangen.

[0024] Erfindungsgemäß ist eine sequentielle Kombination biologischer, chemischer und physikalischer Effekte gegeben, wodurch eine klare zielgerichtete verfahrenstechnische Lösung für nahezu alle radioaktiven Flüssigabfälle ermöglicht wird.

[0025] Ein wesentlicher Vorteil des modularen Verfahrens ist die verfahrenstechnische Adaptierbarkeit der einzelnen Module ohne Beeinflussung der anderen. Dies wird durch die Konzentrierung von verfahrenstechnischen Einzelaufgaben (z.B. Trennen suspendierter Partikel) auf singuläre Module erreicht. Die Kombination von mehreren verfahrenstechnischen Aufgaben (z.B. Trennen von suspendierten Stoffen und gelösten Stoffen) in einem Modul wird bewusst vermieden.

[0026] Insbesondere durch die Weiterentwicklung

der aus der WO 01/44115 bekannten Teilstromfiltration aus dem Kreislauf der Querstromfilteranlage erlaubt eine technisch wirtschaftliche Verknüpfung der einzelnen biologischen, chemischen und physikalischen Module und ermöglicht eine Vielzahl noch zu erläuternder Vorteile.

[0027] Die sequentiell zu kombinierenden Einzelmodule und deren Funktionen sollen rein prinzipiell anhand der **Fig. 1** erläutert werden.

[0028] In einem ersten Modul **10** erfolgt eine Zerstörung bzw. Zersetzung organischer Bestandteile radioaktiver Flüssigkeit, wobei alternativ eine Oxidation **12** oder eine biologische Behandlung **14** erfolgen kann. So können z.B. eine Ozonierung bei Verdampferkonzentraten oder andere kalte Oxidationsmethoden bzw. eine biologische Behandlung bei sonstigen Abwässern, wie z.B. Dekontaminationsflüssigkeiten oder Waschwässern aus der nuklearen Wäscherei, erfolgen. Die entsprechende Abwasserbehandlung erfolgt dabei in einem Sammelbehälter, der auch als Reaktor zu bezeichnen ist. Durch die Verfahrensweise in dem ersten Modul **10** bzw. **12** oder **14** wird eine Volumenreduktion des Abwassers erzielt und organische Masse, da diese faulen und gären, wird entfernt. Mit der Zerstörung der organischen Bestandteile bzw. komplexer Molekülketten wird eine bessere Abscheidung der Radionuklide in den nächsten Modulen vorbereitet, insbesondere in einer mechanischen und gegebenenfalls einer ionischen Abscheidestufe.

[0029] Bei den biologischen Behandlungen werden gelöst vorliegende Radionuklide durch Biosorption an die Biomasse gebunden und in abscheidbare Formen überführt.

[0030] Im Falle, dass die organischen Bestandteile durch Oxidation zerstört werden, ist eine Ausfällung ionisch vorliegender Radionuklide durch Zugabe von entsprechenden Chemikalien wie Sulfiden und/oder inaktiven Metallsalzen zur Konzentrationserhöhung von spezifischen Nukliden (z.B. Kobalt) und/oder pH-Verschiebung (z.B. pH 8 bis pH 9) möglich. Falls eine biologische aerobe Behandlungsstufe als Modul **14** vorgesehen ist, kann dieser Schritt, der in **Fig. 1** mit dem Bezugszeichen **16** versehen ist, gegebenenfalls entfallen, da in der biologischen Vorbehandlung der überwiegende Anteil der gelösten Aktivität durch Biosorption in die Bakterienmatrix aufgenommen wird und somit mechanisch in nachfolgenden Modulen abgeschieden werden kann.

[0031] Im Falle einer Oxidation können die sequentiell aufeinanderfolgenden Verfahrensschritte **12** und **16** auch insoweit zusammengefasst werden, dass diese in ein- und demselben Reaktor durchgeführt werden. Insoweit sind Oxidation und Ausfällung als ein Modul zu bewerten. Alternativ besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass die Ausfällung außerhalb des Reaktors, und zwar während des Förderns des Abwassers zu den nachfolgend zu erläuternden Modulen erfolgt.

[0032] Um die Umsetz-/Sorptionsgeschwindigkeit der radioaktiven Ionen bei einer aeroben Biosorption

zu beschleunigen, kann Ultraschall eingesetzt werden. Im Falle von mit Ozonierung vorbehandelten Konzentraten liegen die Radionuklide bereits aufkonzentriert in ionischer und fester Form vor. Im Vergleich zur Ausfällreaktion von nicht konzentrierten Abfällen werden dadurch bessere Fällergebnisse erzielt.

[0033] In einem nachfolgenden Modul **18** erfolgt eine mechanische Abscheidung der Feststoffe aus der Suspension, und zwar bevorzugterweise mit einer Querstromfiltrationsanlage. Dabei bestimmt die Porengröße des Filters die Abscheidequalität, wobei bevorzugt Ultrafilter zum Einsatz gelangen. Die Porengröße sollte dabei insbesondere in etwa $0,03 \mu\text{m}$ betragen, so dass gelöste Stoffe hindurchtreten, jedoch feste, insbesondere Bakterien, die die radioaktiven Stoffe gebunden haben, zurückgehalten werden.

[0034] Die abgeschiedenen bzw. zurückgehaltenen Feststoffe in der Querstromfiltrationsstufe bzw. dem Modul **18** werden sodann mittels einer Teilstromabscheidung **20** behandelt, wobei grundsätzlich eine Abscheidung mittels Mikrofilter für bestimmte Abwässer erfolgen kann, wie diese in der WO 01/44115 beschrieben worden ist, auf deren Offenbarung ausdrücklich Bezug genommen wird, oder aber bevorzugterweise durch fraktionale Sedimentation.

[0035] Sofern eine Vorbereitung des Abwassers auf die mechanische Abscheidung durch eine Biologie erfolgt, wird eine endlagergerechte Konditionierung der teilstromabgeschiedenen Feststoffe mittels kalter Oxidation z.B. durch H_2O_2 zur Zerstörung der Bakterienmasse und endlagergerechten Mineralisierung des Konzentrats vorgenommen. Entsprechende Verfahrensschritte werden auch dann durchgeführt, wenn eine Zerstörung sonstiger abgeschiedener organischer Bestandteile (z.B. Öle, Fette, Haare u.a.) erforderlich ist.

[0036] Ist eine Vorbehandlung mittels Oxidation durchgeführt worden, so können die teilstromabgeschiedenen Feststoffe unmittelbar der nachgeschalteten Trocknung zugeführt werden, um endlagergerechte Restwassergehalte einzustellen.

[0037] Alternativ zur Trocknung ist eine mechanische Entwässerung auf zulässige Restwassergehalte oder auf Verfestigung (z.B. Zementierung) möglich. Die entsprechenden Verfahrensschritte und deren Abfolge sind in der **Fig. 1** mit den Bezugszeichen **22** und **24** versehen. Als Ergebnis erlangt man konditionierten endlagergerechten Abfall, der im Wesentlichen aus den Radionukliden und mineralischen Stoffen besteht (Bezugszeichen **26**).

[0038] Sofern das der Querstromfiltration. bevorzugt Ultrafiltration, entnommene Filtrat/Permeat noch Radioaktivität aufweisen sollte, ist eine Trennung der sodann nahezu 100% als Ionen vorliegenden Radioaktivität mittels geeigneter Verfahren wie Ionentauscher, Elektrodeionisation, elektrolytische Abscheidung, Umkehrosmose oder Nanofiltration möglich (Verfahrensschritt **28**). Die in diesem Verfahren anfal-

lenden ionenreichen Konzentrate können dem Modul **10** bzw. dem Verfahrensschritt Fällung **16** entsprechend der zuvor erfolgten Erläuterungen wieder zugeführt werden. Erfolgt eine biologische Abwasserbehandlung, so wird das Permeat mit den Radionukliden dem Reaktor unmittelbar zugeführt. Alternativ kann das Permeat auch einem weiteren Reaktor wie Bioreaktor zugeführt werden. Unabhängig hiervon können bei Einschleusung in den gleichen oder einen weiteren Bioreaktor weitere z.B. waschaktive Substanzen zugesetzt werden, die radioaktive Ionen anlagern und anschließend den Bakterien als Nahrung dienen. Bei der Zersetzung dieser Substanzen werden die Radionuklide in die Bakterien aufgenommen bzw. angelagert werden und können mechanisch mittels Querstromfiltration abgeschieden werden. Mit dieser Abscheide/Recyclingkaskade lassen sich hohe Abscheideraten ohne zusätzliche Komponenten erzielen.

[0039] Die aus dem Ionentauscher, der Elektrodeionisationsanlage etc. austretende Flüssigkeit ist im Normalfall von allen Radionukliden bis zur technischen Nachweisgrenze z.B. 2,5 Bq/l für CO_{60} befreit und kann somit als industrielles Abwasser abgegeben werden.

[0040] Das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die erfindungsgemäße Vorgehensweise haben folgende wesentlichen Vorteile. Es erfolgt ein Eliminieren aller organischen Bestandteile, die die mechanische Filtration erschweren bzw. verhindern und zum Endlagervolumen bzw. mikrobiologischen Zersetzung im Endlagergebäude beitragen könnten (Inertisierung). Das Verfahren, d.h. die erfolgte Kombination der einzelnen Verfahrensschritte gestattet die Separierung der Radionuklide oder andere anorganische Stoffe und eine volumenminimierende endlagergerechte Konditionierung von Verdampferkonzentraten, für die zur Zeit keine Behandlungsmethode bekannt ist. Es erfolgt keine Zurückhaltung inaktiver Salze in dem System, die das Endlagervolumen erhöhen. Es entsteht ein minimales endzulagerndes Abfallvolumen, da das erfindungsgemäße Verfahren im Wesentlichen auf Metallabscheidung (Radionuklide) ausgelegt ist. Die Erfindung zeichnet sich durch ein modulares System aus, das in der Gesamtheit bzw. als Einzelmodule je nach Aufgabenstellung zusammengestellt bzw. ergänzt werden kann. Durch die klare Aufgabenzuweisung der einzelnen Funktionseinheiten können diese verfahrenstechnisch optimal an die jeweilige Aufgabe angepasst werden, ohne dass andere Aufgaben negativ beeinflusst werden. Das Verfahren bzw. die Kombination der Verfahrensschritte kann sowohl für Betriebsabwässer als auch für Schlämme und Wässer aus dem Rückbau von kerntechnischen Anlagen eingesetzt werden, um nur einige Beispiele zu nennen.

[0041] Das erfindungsgemäße Verfahren, soweit das ergänzende Modul zur mechanischen Querstromabscheidung und die Teilstromfiltration nach den Verfahrensschritten **18** und **20** der **Fig. 1** betref-

fen ist, soll anhand der **Fig. 2** bis **4** näher erläutert werden.

[0042] Eine Suspension mit z.B. 0,1 bis 1 Vol.-% Feststoff aus einer aeroben biologischen Waschwasserreinigungsstufe sedimentiert teilweise in mehreren Stunden. Es verbleibt jedoch weiterhin ein hoher Feinanteil, der auch nach vielen Tagen nicht sedimentiert. Dieser hohe Anteil an Kolloidalen verhindert die ausreichende Abscheidung der Feststoffe/Radionuklide und damit Reinigung der Flüssigkeit in einem noch akzeptabel großen Sedimentationsbehälter. Nach dem Stand der Technik wird die Feststoffabscheidung üblicherweise mittels einer Zentrifuge unter Anwendung hoher Zentrifugalkräfte vorgenommen, wobei z.B. Normalbeschleunigungen zwischen 30.000 m/s^2 und 60.000 m/s^2 auftreten. Obwohl hohe Abscheideraten dabei erzielt werden können, ist festzustellen, dass besonders kleine Feststoffpartikel (Abscheiderate ist abhängig von Größe und Dichte des Feststoffes) die Zentrifuge durchdringen. Die hohen Scherspannungen und Kräfte bewirken ein Auseinanderbrechen in kleinere schlecht abscheidbare Teilchen bzw. Zerstörung der Bakterienhüllen und damit erneutes Freisetzen der durch Biosorption in den Bakterien aufgenommenen bzw. angelagerten ionischen Radionuklide. Damit wird bei radioaktiven Abwässern eine gegebenenfalls unzulässig hohe Radioaktivität ausgetragen bzw. es wird verhindert, das höher aktive Wässer auf diese Weise behandelt werden können.

[0043] Durch die erfindungsgemäß zum Einsatz gelangende Querstromfiltration **20** können entsprechende Suspensionen aus der aeroben Behandlung mit z.B. 0,5 bis 1 Vol.-% Feststoffe auf höhere Konzentrationen von z.B. 4 Vol.-% Feststoffe aufkonzentriert werden. Durch Koagulationsmechanismen wie z.B. Van der Waal'sche Kräfte, Brownsche Molekularbewegung, elektrostatische Anziehung und/oder chemische Bindung koagulieren kleine kolloidale Teilchen zu größeren Agglomeraten. Sodann wird ein Teilstrom – beispielhaft **20** des Anlagendurchsatzes der Querstromfiltrationsanlage – aus dem Hauptumlaufstrom der Querstromfiltrationsanlage zur Teilstromfiltration entnommen, unter geringer Scherbeanspruchung der Flüssigkeit und des Feststoffes gereinigt und nach teilweiser Feststoffabtrennung durch die Sedimentation ersterer wieder zugeführt. Dies ergibt sich auch rein prinzipiell aus **Fig. 2**.

[0044] So führt eine Leitung **32**, die von einem nicht dargestellten Reaktor ausgeht, in dem entweder eine Vorbehandlung des Abwassers durch Biologie oder durch kalte Oxidation erfolgen kann, zu einem Querstromfilter **34** wie Ultrafilter, dessen Filtrat/Permeat über eine Leitung **36** entnommen wird. Aus der Schmutzseite des Querstromfilters **34** wird somit aufkonzentriertes Abwasser über eine Leitung **36** abgeführt und über eine Pumpe **42** oder sonstiges Förderaggregat über die einen Hauptkreislauf bildenden Rohrleitungen **36**, **40**, **52**, **32** zur Spülung des Querstromfilters wie insbesondere Ultrafilters umgewälzt.

Die Geschwindigkeit in dem Hauptkreislauf kann 3m/sec oder mehr betragen. Am Verzweigungspunkt **48** wird durch eine Zweigleitung **50** ein Teilstrom zur Teilfiltration entnommen und dem Teilstromfilter **46** zugeführt und über die Leitung **44** im Verzweigungspunkt **38** dem Hauptkreislauf wieder zu geführt. In der Leitung **50** oder der Leitung **44** kann zusätzlich ein Förderaggregat eingebaut sein. Ferner kann im Verzweigungspunkt **48** zusätzlich ein Zentrifugalabscheider vorgesehen sein, um größere Feststoffe in den Sammelbehälter der Teilstromabscheidung umzuleiten.

[0045] Durch die Entnahme von Teilmengen entstehen ausreichend geringe Strömungsgeschwindigkeiten in einem Sammelbehälter, der in **Fig. 3** mit dem Bezugszeichen **54** versehen ist und prinzipiell dargestellt ist, wohingegen in **Fig. 4** eine bevorzugte Ausführungsform wiedergegeben ist. Diese trägt das Bezugszeichen **56**.

[0046] Die über eine Zuleitung **58, 60** dem Sammelbehälter **54, 56** zugeführte Flüssigkeit strömt erwahntermaßen mit einer ausreichend geringen Strömungsgeschwindigkeit in den Sammelbehälter **54, 56**, so dass ausreichend koagulierte Feststoffe z.B. > 0.01 mm Korngröße mittels Sedimentation gravimetrisch abgeschieden werden. Es bildet sich eine Sedimentationszone **62, 63**, die in eine Feststoffzone **64, 66** übergeht. Der Feinanteil der Suspension, der nicht sedimentiert, wird über Rücklaufleitungen **68, 70** in den Hauptkreislauf zurückgeführt, d.h. über die Leitung **44** gemäß **Fig. 2**. Hierdurch kann ein weiteres Wachstum dieses Feinanteils durch Anlagerung neu durch die Querstromfiltration **34** abgeschiedener Feststoffteilchen erfolgen. Diese werden sodann in einem späteren Durchfließen der Teilstromfiltration **46** abgeschieden.

[0047] Der Sammelbehälter **54, 56** ist dabei vorzugsweise derart geometrisch aufgebaut, dass eine erste bodenseitig verlaufende trichterförmige Bereich **72** eine Feststoff- oder Verdichtungszone **64, 66** ist, dass in einer sich anschließenden Zone **74** der Zulauf **58, 60** mündet und dass oberhalb von diesem von einer zweiten Zone **76** der Rücklauf **68, 70** ausgeht.

[0048] Dabei erfolgt insbesondere die Flüssigkeitszugabe, also die Mündung der Leitung **58, 60** im oberen Drittel. Die Länge der entsprechenden Sammelbehälter **54, 56** sollte ferner derart sein, dass der Abstand zwischen dem Zulauf **58, 60** und dem Rücklauf **68, 70** zumindest im Bereich von 30 cm liegt. Hierdurch bedingt entsteht eine Sedimentationszone **62, 63** unterhalb des Zulaufs **58, 60**. Erfindungsgemäß ist auch eine horizontale Durchströmung zur Sedimentation möglich, d.h. Zu- und Ablauf befinden sich in einer oder in etwa einer gemeinsamen horizontalen Ebene.

[0049] Unterhalb der Flüssigkeitszugabe **58, 60**, die durch Strömungsvorgänge nicht oder nicht wesentlich beeinflusst wird, wird eine ungestörte gravimetrische Sedimentation ermöglicht. Durch geeignete Behältergeometrie kann auch eine Konvektionsbeein-

flussung innerhalb der Sedimentationszone **62**, vermindert werden.

[0050] Die Flüssigkeitszugabe wird bevorzugt zum Zentrum des Behälters, also im Bereich dessen Längsachse **78** und zum Boden hin gerichtet ausgeführt. Eine andere wie seitliche Zuführung ist gleichfalls denkbar. Dadurch wird insbesondere für kleinere Feststoffteilchen ein Geschwindigkeitsvektor erzeugt, der die Abscheidung verbessert und zusätzliche Koagulationseffekte unmittelbar nach dem Austritt in die Sedimentationszone **62** ermöglicht.

[0051] Zwischen dem Zulauf **58, 60** und dem Rücklauf **68, 70** bildet sich eine sogenannte Umkehrzone (Zone **78**) aus, in der die Flüssigkeit, die über die Zulaufleitung **58, 60** eingespeist wird, zum Ablauf **68, 70** strömt. In dieser Umkehrzone **78** befinden sich zum größten Teil die Feststoffteilchen, die durch die Strömung nach oben getragen werden können. Bedingt durch die bewusst niedrig ausgelegte Scherbeanspruchung der Flüssigkeitsströmung können weitere Kolloide über die zuvor beschriebenen Anlagerungskräfte in dieser Zone **78** koagulieren und sich zu Agglomeraten aneinanderreihen. Dadurch wird eine gravimetrische Richtungsumkehr nach unten bewirkt und damit ein Sedimentieren. Künstliche Strömungsbarrieren und Verzögerungen unterstützen die Bildung entsprechender Agglomerationskeime. Diese der allgemeinen Kolloidströmung entgegengerichtete Sedimentation bewirkt eine weitere Anlagerung von Kolloiden und strömungstragenen Feststoffteilchen am Agglomerat und damit zusätzliche Abscheidung bzw. Transport in die Feststoffzone.

[0052] Stoffe, die leichter als die Suspension sind, werden die Sedimentationszone **62, 63** entgegen der Schwerkraft die Umkehrzone **78** durchwandern und im Bereich **80** des Behälters **56** gesammelt und dort von Zeit zu Zeit entfernt. Im Kopfbereich sammeln sich auch Öle und sonstige Medien, die leichter als die Flüssigkeit sind. Allerdings können die in den Kopfbereich wandernden Stoffe aufgrund des weiteren Kontaktes mit dem Bakterienkonzentrat umgesetzt werden und können somit agglomerieren, so dass diese zum Teil nach unten in die Sedimentationsstufe bzw. Feststoffzone **64** absinken.

[0053] Die Feststoffe, die schneller sedimentieren als die vorgegebene Geschwindigkeit der nach oben gerichteten Strömung in der Umkehrzone **78**, können aufgrund der gewählten Ausbildung des Behälters **54, 56** ungestört in die Sedimentationszone **62, 63** gelangen und abgeschieden werden. Da mit zunehmendem Abstand vom Austritt der Zuführleitung **58, 60** die Suspension diffus zerstreut wird, werden zu jedem Zeitpunkt auch kleinste Teilchen in der Sedimentationsstufe **63** abgeschieden. Hierbei treten ebenfalls Effekte wie in der Umkehrzone beschrieben auf.

[0054] Unterhalb der Sedimentationszone **62, 63** bildet sich die Feststoffzone **64, 66** aus, in der die Feststoffe sich durch immer neu von oben eintreffende Schichten weiter aufgeschichtet und damit verdichtet werden. Die Verdichtung kann durch geeignete

te Maßnahmen wie z.B. Rütteln oder niederfrequentes Beschallen mit der Eigenfrequenz der Teilchen verstärkt werden. Erfindungsgemäß kann aus dieser Feststoffzone **64**, **66** regelmäßig oder kontinuierlich eine Teilmenge zur weiteren Behandlung entnommen werden, ohne dass eine Störung der Teilstromfiltration stattfindet.

[0055] Die durch die bakterielle Aktivität entstehenden Gase werden in der Regel in der Flüssigkeit gelöst und über die Querstromfiltrationsanlage ausgelesen.

[0056] Es ist ebenfalls möglich, dass bei entsprechender Auslegung und Fahrweise in der Feststoffzone **64**, **66** die noch vorhandene bakterielle Aktivität zur vollständigen Mineralisierung des ursprünglich noch vorhandenen Nahrungsangebotes und damit Volumenreduktion genutzt wird. Entstehende Ausscheidungsprodukte der Bakterien wie CO₂, SO₂ werden mit der Flüssigkeit aus dem System herausgespült. Es ist ebenso möglich, dass in dieser Zone, in welcher ein Umschwung von aerober zu anaerober bakterieller Aktivität stattfindet, die wieder in Lösung gehenden Radionuklide und Schwermetalle durch Reaktion wie z.B. durch Bakterienaktivität freigesetzte Schwefelionen zu unlöslichen Teilchen reagieren und damit als Feststoff ausfallen.

[0057] Die sich auf der Feststoffzone **64**, **66** immer neu anlagernden aeroben Bakterien- und Feststoffschichten wirken als Barriere, so dass durch anaerobe Vorgänge gelöste Radionuklide und Schwermetalle nicht nach oben in die Sedimentationsstufe **62**, **63** ausgewaschen werden können.

[0058] In der Feststoffzone **64**, **66** ist bei entsprechender Verweildauer und geeigneten Lebensbedingungen für das Bakterienkonzentrat eine nahezu vollständige Mineralisierung möglich, die die endlagerechte Konditionierung und Volumenreduktion unterstützt.

[0059] Die Koagulation kann – falls erforderlich – durch andere physikalische (z.B. Distanz des Sammelbehälters der Teilstromfiltration von der Querstromfiltrationsanlage) oder chemische Mechanismen wie z.B. elektrische Ionisation, Flockungshilfsmittel usw. verbessert werden. Es ist ebenso denkbar, einen Teil oder die vollständige Querstromfiltrationsanlage oder Ladungsträger erzeugende Materialien (z.B. PVC) zu fertigen oder diese in das Strömungsfeld zu geben.

[0060] Durch die immer größer werdende Feststoffzone kann aus der mittels Teilstromfiltration komplettierten Querstromanlage ein Konzentrat (Abfall oder Wertstoff) mit relativ hohem Feststoffanteil und damit geringerem Aufwand in der nachfolgenden Konditionierung bzw. in der Verwertung abgeschieden werden.

[0061] Durch das Prinzip der wiederholten Entnahme und Zugabe eines Teilstroms aus dem Hauptstrom ist es nicht erforderlich, dass eine hohe Abscheiderate durch Sedimentation in dem Sammelbehälter erreicht wird. Solange eine Abscheiderate vor-

liegt, wird sich der Kreislauf der Querstromfiltration von selbst stabilisieren und einen bestimmten Wert einnehmen.

[0062] Wird beispielhaft in einer Querstromanlage ein biologisch vorbehandelter Feststoff auf ca. 2,6 Vol% angereichert und in einer entsprechend ausgeführten Teilstromfiltration auf ca. 0,8 Vol% abgereichert, werden in der Teilstromfiltration etwa 70 Vol% des Feststoffes abgeschieden. Etwa 30 Vol% des Feststoffes wird als kolloidale Teilchen zurück in den Kreislauf der Querstromfiltration zur weiteren Koagulation und späteren Abscheidung geführt.

[0063] Es ist ein ähnliches Prinzip aus der WO 01/44115 bekannt. Jedoch wird nach diesem Verfahren zur Abscheidung ein mechanischer Filter (Mikrofilter) und der entstehende Filterkuchen zur Abscheidung des Feststoffes in dem Teilstrom vorgeschlagen. Können nach diesem Verfahren größere Abscheideraten erreicht werden, so können nach der erfindungsgemäßen Lehre weitere Feststoffe aus Querstromfiltrationsanlagen kostengünstig aufkonzentriert werden.

[0064] Bei Feststoffen, wie sie z.B. aus aerob biologischen Behandlungsstufen ausgelesen werden, können undurchlässige Filterkuchen entstehen, die erfindungsgemäß allein durch die zuvor beschriebene Teilstromfiltration mit Sedimentation abgeschieden werden können.

[0065] Es sind Ausführungen von Ultrafiltrationsanlagen – auch in Kombination mit biologischer Vorbehandlung – bekannt, denen ein Vorlagebehälter, in dem der Rohabfall eingegeben wird, vorgeschaltet ist. Diese Ultrafiltrationsanlagen recyceln ihr Konzentrat kontinuierlich zurück in diesen Behälter. Insbesondere in Kombination mit einer biologischen Vorbehandlung in dem Vorlagebehälter (Reaktor) können die hohen Verweilzeiten der Biomasse im Reaktor optimal angepasste Bakterienstämme ausbilden, die Schadstoffe hervorragend mineralisieren können. Allerdings muss aus diesem System ein Überschussschlamm abgezogen werden, um eine Blockade des Querstromfilters zu verhindern. Bei diesem oft auch beheizten und belüfteten Reaktoren finden starke Durchmischungs- und Konvektionsvorgänge statt, die die oben beschriebene Sedimentation und Abscheidung kleiner Teilchen verhindern.

[0066] Das Gesamtprinzip der erfindungsgemäßen Lehre wird auch grundsätzlich durch **Fig. 5** verdeutlicht. In einen als Reaktor zu bezeichnendem Behälter **82** gelangt radioaktives Abwasser. In dem Reaktor **82** erfolgt entweder eine biologische Behandlung, also eine aerobe Zersetzung oder eine kalte Oxidation z.B. mit O₃, um einerseits eine Volumenreduzierung der Flüssigkeit zu erzielen und andererseits insbesondere langkettige organische Moleküle zu zerstören. Sofern in dem Reaktor **82** eine biologische Behandlung erfolgt, kann über eine Leitung **84** Luft bzw. Sauerstoff zugeführt werden. Im Falle der kalten Oxidation wird O₃ zugeleitet.

[0067] Über eine Leitung **86** wird das vorbehandelte

Abwasser von dem Reaktor **82** einer Querstromfiltration **86** zuvor beschriebener Art zugeführt. Die Verbindung zwischen der Querstromfiltration und einer nachgeschalteten parallel angeordneten Teilstromfiltration erfolgt in zuvor beschriebener Weise, so dass entsprechende Bezugszeichen in Bezug auf die Verbindungsleitungen benutzt werden.

[0068] Die Teilstromfiltration **90** weist dabei einen Behälter auf, wie dieser in den **Fig. 3** und **4** erläutert worden ist. Aus der jeweiligen Feststoff- oder Verdichtungszone **64**, **66** werden die Feststoffe, bei denen es sich vorzugsweise um einen Flüssigschlamm handelt, einem weiteren Behälter **92** zugeführt, in dem durch Oxidation eine Mineralisierung erfolgt, sofern dies notwendig ist. Im Falle, dass eine biologische Vorbehandlung erfolgte, ist dies grundsätzlich der Fall. Erfolgte jedoch ausschließlich eine Vorbehandlung mittels kalter Oxidation, so kann der Behälter **92** eingespart werden. Sodann gelangen die gegebenenfalls durch Oxidation mineralisierten Feststoffe in eine Trocknungs- und gegebenenfalls in eine vorgeschaltete Entwässerungseinrichtung **94**, um hochkonzentrierten endlagerfähigen Abfall zu erhalten.

[0069] Das über eine Leitung **96** die Querstromfiltration **86** verlassene Filtrat bzw. Permeat kann entweder unmittelbar als sauberes Wasser über eine Leitung **98** entnommen oder aber dann, wenn gelöste Radionuklidionen in unzulässiger Konzentration vorhanden sind, einem Ionenaustauscher, einer Elektrodeionisation oder einem elektrolytischen Abscheider oder einer Umkehrosmose zugeführt werden. Dies wird in **Fig. 5** durch das gestrichelt eingezeichnete Quadrat **100** symbolisiert.

[0070] Die abgeschiedenen ionischen Radionuklide werden sodann über eine Leitung **102** entweder dem Reaktor **82** oder einem weiteren Reaktor zugeführt, um entsprechend zuvor beschriebener Weise einer Ultraquerstromfiltration und einer Teilstromfiltration unterworfen zu werden. Entsprechend kann eine Kaskadierung erfolgen.

[0071] Auch besteht die Möglichkeit, die von dem Abscheider **100** stammenden und zu recycierenden Stoffe unmittelbar in die Leitung **84** zurückzuführen, wie durch die Verbindung **104** verdeutlicht wird.

[0072] Im Falle, dass eine Aufkonzentration durch Fällung erforderlich ist, insbesondere bei einer kalten Oxidation des Abwassers, kann dem Reaktor **82** unmittelbar oder der Leitung **84** vor der Ultrafiltration **86** Fällmittel zugegeben werden.

[0073] Vorteile und wesentliche Merkmale der erfindungsgemäßen Lehre ergeben sich aus nachstehender, allerdings nicht gewichteter Auflistung:

- modulares Verfahren mit Modulen, die bestimmte biologische, chemische und physikalische Effekte kombinieren. Im Idealfall werden Module in sequentieller Kombination verbunden: kalte Oxidation, Fällung bzw. biologische Behandlung; mechanische Abscheidung durch Querstromfiltration sowie Teilstromfiltration; gegebenenfalls ionische

Separierung; Konditionierung der Konzentrate;

- Auswahl und verfahrenstechnische Optimierung der Einzelmodule ohne Beeinflussung der Nachbarmodule;

- kalte Oxidation mittels O_3 zur Zerstörung komplexer organischer Moleküle;

- Aerobe biologische Behandlung zur Zersetzung organischer Moleküle und Biosorption von Radionukliden;

- Beschleunigung der Zersetzung und Biosorption der Radionuklide durch Einschalten von Ultraschall in den Reaktor;

- Rezyklieren und/oder Hintereinanderschalten von mehreren Bioreaktoren, um alle ionischen gelösten Radioaktivitäten abzuscheiden;

- Zugabe von z.B. waschaktiver Lösung zur Komplexbildung, Fällung und Ionenaustausch in das Filtrat/Permeat der Querstromfilteranlage wie z.B. Ultrafiltration zur weiteren Anlagerung radioaktiver Ionen mit der Ermöglichung im Bioreaktor die Aufnahme in die Bakterien durch deren Nahrungsaufnahme;

- Wegfall von ionenselektiven Methoden bei ausreichender Biosorption und mechanischer Abscheidung der Feststoffe insbesondere der kolloidalen Teilchen mittels Querstromfiltration, bevorzugt Ultrafiltration;

- Funktionsfähigkeit und Schutz der nachfolgenden mechanischen Abscheidung durch Oxidierung bzw. biologische Vorbehandlung komplexer Moleküle;

- Mechanische Abscheidung durch Separierung der Feststoffe von biologisch vorbehandelten radioaktiven Waschwässern aus Wäscherei. Boden und anderen Reinigungsaufgaben mittels Querstromfiltration wie Ultrafiltration zur Vermeidung wesentlich teurerer Zentrifugen;

- Schonende Abscheidung/Aulkonzentration der Bakterienmasse mittels einer Querstromanlage, wodurch eine Zentrifuge vermieden wird, die durch hohe Kräfte die Zellmembran zerstört und damit biosorbierte Radionuklide wieder freisetzt;

- Aufkonzentration der Bakterien und biologisch aktiven Massen durch die Kombination Bioreaktor und Querstromfiltration – ohne dass zwingend die Teilstromfiltration zu betreiben ist – mit dem Effekt der schnelleren Aufnahme der radioaktiven Stoffe in die Biomasse;

- Zersetzung der Bakterienmatrix z.B. mit N_2O_2 und damit Inertisierung des Konzentrats zur sicheren Lagerung;

- Durch die Verwendung der Querstromfiltration insbesondere Ultrafiltration kann inaktives Bor (Natriumborat), das in dem Abwasser gelöst vorliegt, aus dem System entfernt werden und trägt somit nicht zum Endlagervolumen bei, wohingegen bei der Verwendung von Verdampfern dieses zurückgehalten wird;

- Die Kombination Querstromfiltration (Ultrafiltration) und Ionenaustauscher erlaubt es, radioaktive

Abwässer vollständig bis unter Nachweisgrenze von radioaktiven Stoffen zu befreien. Dies gelingt insbesondere durch die strikte Trennung von Feststoffen (Ultrafiltration) und gelösten Stoffen (Ionenaustauscher) und deren Separierungen. Alternativ kann eine Aufkonzentration der Nuklide durch Elektrodeionisation anstelle des Einsatzes von Ionenaustauschern erfolgen. Damit können die gleichen Ionenaustauscher nahezu unbegrenzt zur Abscheidung/Reinigung eingesetzt werden;

- Das Ionenkonzentrat enthält alle Radionuklide in gelöster Form, die problemlos zurück in die Fällstufe oberhalb der mechanischen Querstromfiltration geführt werden können. Da bei einem Einsatz einer Elektrodeionisation keine Regeneriersalze eingesetzt werden, gelingt es durch Rezyklierung und fortlaufende Konzentrationserhöhung die gelösten Nuklide nach und nach in unlösliche Metallsulfide auszufällen. Diese Sulfide können während des normalen Betriebs der Querstromfiltrationsanlage wie auch andere Partikel in der Teilstromfiltration abgeschieden werden;

- Rezyklierung des Permeats/Filtrats aus der Querstromfiltrationsanlage in einen Bioreaktor zur weiteren Abscheidung der radioaktiven Ionen mittels Biosorption;

- Rezyklierung, bis nach der Querstromfiltrationsanlage ausreichend geringe Radioaktivität gemessen wird;

- Es können Fällmittel dem Kreislauf der Querstromfiltrationsanlage, bevorzugt in der Zuleitung, zugesetzt werden. Damit kann durch die innige Vermischung in der turbulenten Strömung und bei erfindungsgemäßer Vorbehandlung durch kalte Oxidation eine ausreichend gute Fällreaktion und damit gute Abscheiderate für Radionuklide erzielt werden;

- Da das Filtrat/Permeat der Ultrafiltrationsanlage, sofern keine ausreichende Biosorption für radioaktive Stoffe erzielt wurde, ausschließlich gelöst (ionische) Stoffe enthält und damit die Oberflächen der nachfolgenden Anlageteile nicht zusetzt, erhöht sich die Effektivität der Ionenaustauscher bzw. Elektrodeionisationsanlage. Somit kann bei entsprechender Vorbehandlung von radioaktiven Abwässern auf teure ionenselektive Ionenaustauscher verzichtet werden;

- Das rein ionische Vorliegen der Radionuklide ermöglicht es, dass diese auf Grund der elektrochemischen Spannungsreihe mittels Opferanoden bzw. Kathoden abgeschieden werden. Dazu wird das Ultrafiltrationseffluent ausreichend nahe über Oberflächen geleitet, die an Gleichspannung anliegen. Es entsteht eine Anlagerung und Konzentrierung der radioaktiven metallischen Ionen. Die Anlagerung ist allein durch die gewählte Geometrie und entstehende Dosisleistung begrenzt. Nach Erschöpfung der Anlagerungsflächen können diese im Endlagerbehälter ohne weitere Konditionie-

rung der Endlagerung zugeführt werden. Diese Methode erlaubt hohe Aktivitätskonzentrationen auf engstem Raum und trägt damit zu einer weiteren Volumenreduktion bei;

- Teilstromkonzentration, d.h. Aufkonzentrierung der von der Querstromfiltrationsanlage zurückgehaltenen Feststoffe in einem Abscheidebehälter oder in einem als Kaskade aufgebauten Abscheidebehälter, durch den die koagulierenden Feststoffe mittels Teilstromfiltration geleitet werden. In dem Abscheidebehälter kann entweder eine mechanische Abscheidung oder eine Sedimentationsabscheidung stattfinden, wobei letztere bevorzugt ist. Ein Abscheidemechanismus bei der Sedimentation ist auf Grund der Querstromfiltration aufkonzentrierten und koagulierten kleinen Feststoffteilchen möglich;

- Unterstützung der Koagulation durch elektrische Felder, Magnetfelder, geeignete Werkstoffwahl, z.B. Kunststoff wie PVC Rohrleitungssysteme zur Ladungsbildung auf Feststoffteilchen oder ähnlichem;

- Unterstützung der Koagulation durch ausreichend lange Zuführstrecken von Querstromfiltrationsanlage zum Sammelbehälter der Teilstromfiltrationsanlage;

- Bildung von Koagulationskeimen durch z.B. künstliche Strömungsbarrieren insbesondere in der Umkehrzone der Sammelbehälter;

- Sedimentation koagulierter Teilchen als alleiniger Abscheidemechanismus für Konzentrate aus Querstromfilteranlagen, die Feststoffe aus biologischen Reinigungsstufen separieren; insbesondere bei Feststoffen, die undurchlässige Filterkuchen bilden;

- Schaffung einer durchströmungsfreien Sedimentationszone in dem Behälter der Teilstromfiltration aus der Querstromfiltration (z.B. Ultrafiltration);

- Schaffung einer ungestörten Feststoffzone im Sedimentationsbehälter;

- Umbildung des Bakterienkonzentrats innerhalb der Feststoffzone von aerob zu anaerob wirkenden Bakterienstämmen;

- Mineralische Umsetzung der verbliebenen Nährstoffe in der anaeroben Zone zur weiteren Volumenreduktion und Inertisierung als Teil des endlagergerechten Konditionierens;

- Reaktion der durch die anaeroben Vorgänge als Ionen freigesetzten Radionuklide und gegebenenfalls Schwermetalle mit ebenfalls freigesetzten Schwefelionen in unlösliche Sulfide;

- Unterstützung der Verdichtung durch mechanische Hilfen wie z.B. Rütteln oder niederfrequente Beschallung;

- Sedimentation zur nicht thermischen Konzentration von nicht radioaktiven Feststoffen wie z.B. Gefahrstoffen oder auch zum Gewinnen und Recycling von Wertstoffen aus Lösungen wie z.B. Bakterien zur pharmazeutischen Wirkstoffherstel-

lung. Keramiken, Edelmetallen, Polymeren usw. als Konzentrierungsschritt vor der Weiterverarbeitung;

- Ausbildung und Funktion des Sedimentationsbehälters als Ölabscheider und andere Stoffe, deren Dichte geringer als Wasser ist;
- Teilweise oder vollständige Entnahme der Sediments zur Zuführung zu einer kalten Oxidation, Entwässerung, Trocknung, Zementierung oder sonstigen Konditioniermöglichkeit;
- Bewußtes Belassen der Feststoffe in der Feststoffzone als Nahrung für sich neu entwickelnde Bakterienstämme (von anaerob im unteren Bereich und aerob im oberen Bereich der Feststoffzone des Behälters). Diese Bakterien bauen sowohl kohlenstoffhaltige, schwefelhaltige (z.B. aus Dekontmitteln stammend) und anderen Verbindungen mineralisch ab. Es verbleiben ausschließlich die metallischen Nuklide und mineralischen Feststoffe in der unteren Feststoffzone;
- Schutz der nachfolgenden ionischen Abscheidestufen durch vollständige mechanische Abtrennung der Feststoffe in der mechanischen Querstromfiltration;
- Ionenabscheidung mittels Ausfällung wie z.B. Überführung in unlösliche Sulfide, pH-Anpassung und/oder Zugabe von inaktiven Metallsalzen;
- Ionenabscheidung mittels Ausnutzung des elektrochemischen Potentials der Radionuklide vor oder bevorzugt nach der vollständigen Separierung der Feststoffe durch Querstromfiltration (bevorzugt Ultrafiltration);
- Rezyklierung der mittels Umkehrosiose oder Elektrodeionisation abgeschiedenen Ionen in das Modul Fällung und Erhöhung der Abscheiderate;
- Kaskadenartige Kombination der Verfahren mit Rezyklierung der konzentrierten Nuklide in vorgeschalteten Verfahrensstufen;
- Duplizierung einzelner Verfahrensmodule zur Erhöhung der Abscheideraten;
- Aufkonzentrierung des Teilstroms zur Teilstromfiltration durch Gestaltung der Entnahmestelle unter Ausnutzung der Zentrifugalkräfte.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Behandeln von radioaktivem Abwasser, wobei das Abwasser von einem oder mehreren Sammelbehältern kommend in einer Behandlungsstufe einer Querstromfiltration sowie einer parallel zu dieser geschalteten Teilstromfiltration zugeführt wird sowie gegebenenfalls einen Ionenaustauscher durchströmt, wobei der Teilstromfiltration ein durch die Querstromfiltration aufkonzentrierter Teil des Abwassers zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Sammelbehälter für das Abwasser ein erster Reaktor verwendet wird, in dem in einer ersten Behandlungsstufe das Abwasser durch entweder aerobe Behandlung oder Oxidation organischer Bestandteile volumenreduziert wird und dass

in einer nachfolgenden zweiten Behandlungsstufe das Abwasser in der Querstromfiltration und in der Teilstromfiltration derart behandelt wird, dass der Querstromfiltration entnommenes Filtrat/Permeat entweder unmittelbar genutzt oder dem oder einem weiteren Reaktor zugeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Querstromfiltration ein Ionenaustauscher und/oder eine Elektrodeionisationsstufe nachgeschaltet wird, von dem bzw. der ionische Radionuklide dem Reaktor oder einem anderen Reaktor zugeführt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mit Radionukliden angereicherte Feststoffe in der Teilstromfiltration gravimetrisch abgeschieden werden.

4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilstromfiltration in einem zweiten Behälter durchgeführt wird, in dem in einer bodenseitigen Zone Feststoffe abgeschieden werden, in einer nachfolgenden über der ersten Zone verlaufenden Sedimentationsstufe oder über diese das von der Querstromfiltration stammende aufkonzentrierte Abwasser über einen Zulauf zugeführt wird und oberhalb oder seitlich der Sedimentationszone Abwasser über einen Ablauf abgeführt wird.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Steiggeschwindigkeit der Flüssigkeit zwischen dem Zulauf und dem Ablauf derart eingestellt wird, dass eine Sedimentation von Partikeln ermöglicht wird.

6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steiggeschwindigkeit V zwischen in etwa $0,1 \text{ cm/min}$ bis in etwa $\leq 5 \text{ cm/min}$, insbesondere in etwa 2 cm/min eingestellt wird.

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Feststoffzone des zweiten Behälters Feststoffe in Form von Flüssigschlamm entnommen und sodann getrocknet wird.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vor Trocknen des Flüssigschlammes dieser durch Oxidation inertisiert wird.

9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aufkonzentriertes Abwasser der Teilstromfiltration über einen parallel zum Hauptkreislauf bzw. Spülstrom der Querstromfiltration verlaufenden gegebene

nenfalls ein Förderaggregat aufweisenden Teilstromkreis geführt wird, in dem ein Teil des aufkonzentrierten Abwassers unmittelbar in die Teilstromfiltration strömt.

10. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des Querstromfiltration aufkonzentriertes Abwasser durch die Teilstromfiltration gefördert wird.

11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Teilstromfiltration ein von dem zu behandelnden Abwasser durchströmter Behälter verwendet wird, der eine bodenseitige Feststoffzone, eine sich an diese anschließende Sedimentationsstufe sowie eine über diese verlaufende Umkehrzone umfaßt.

12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die Durchführung des Verfahrens eine Abscheiderate > 0 in der Querstromfiltration ausreicht.

13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zu reinigende Abwasser in der Sedimentationsstufe oder zwischen der Sedimentationsstufe und der Umkehrzone einströmt.

14. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit in der Umkehrzone bei minimaler Einwirkung von Scherkräften auf in der Flüssigkeit vorhandene Partikel strömt.

15. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheidung der durch Biosorption angelagerten Radioaktivität aerob vorbehandelter radioaktiver Abwässer mittels Ultrafiltration und Teilstromfiltration erfolgt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Behandlungsmodule

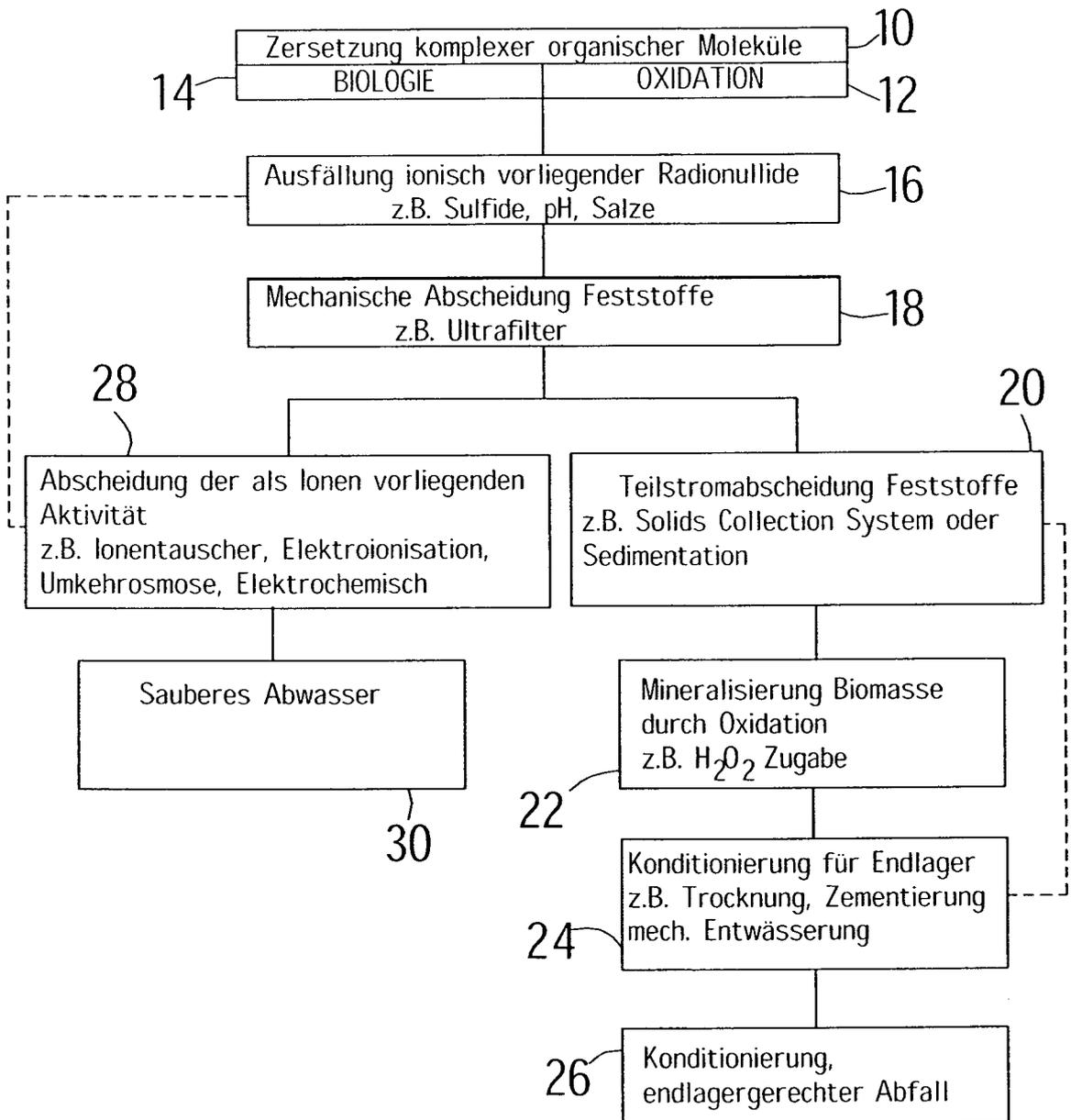


Fig.1

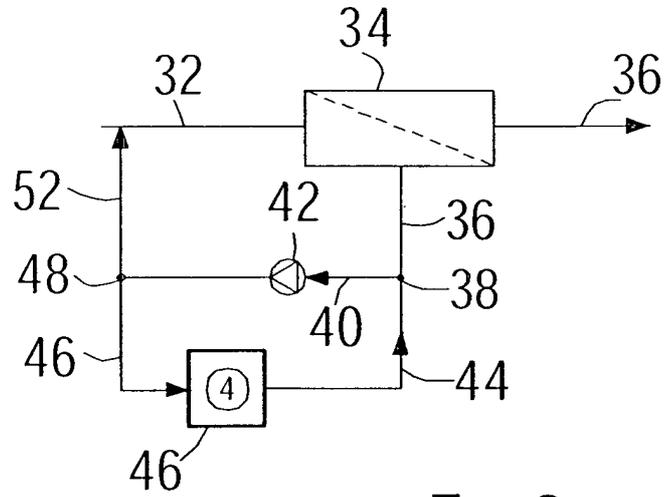


Fig.2

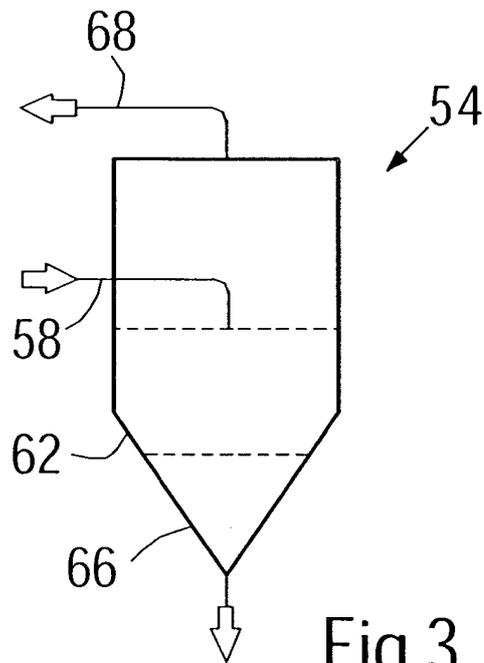


Fig.3

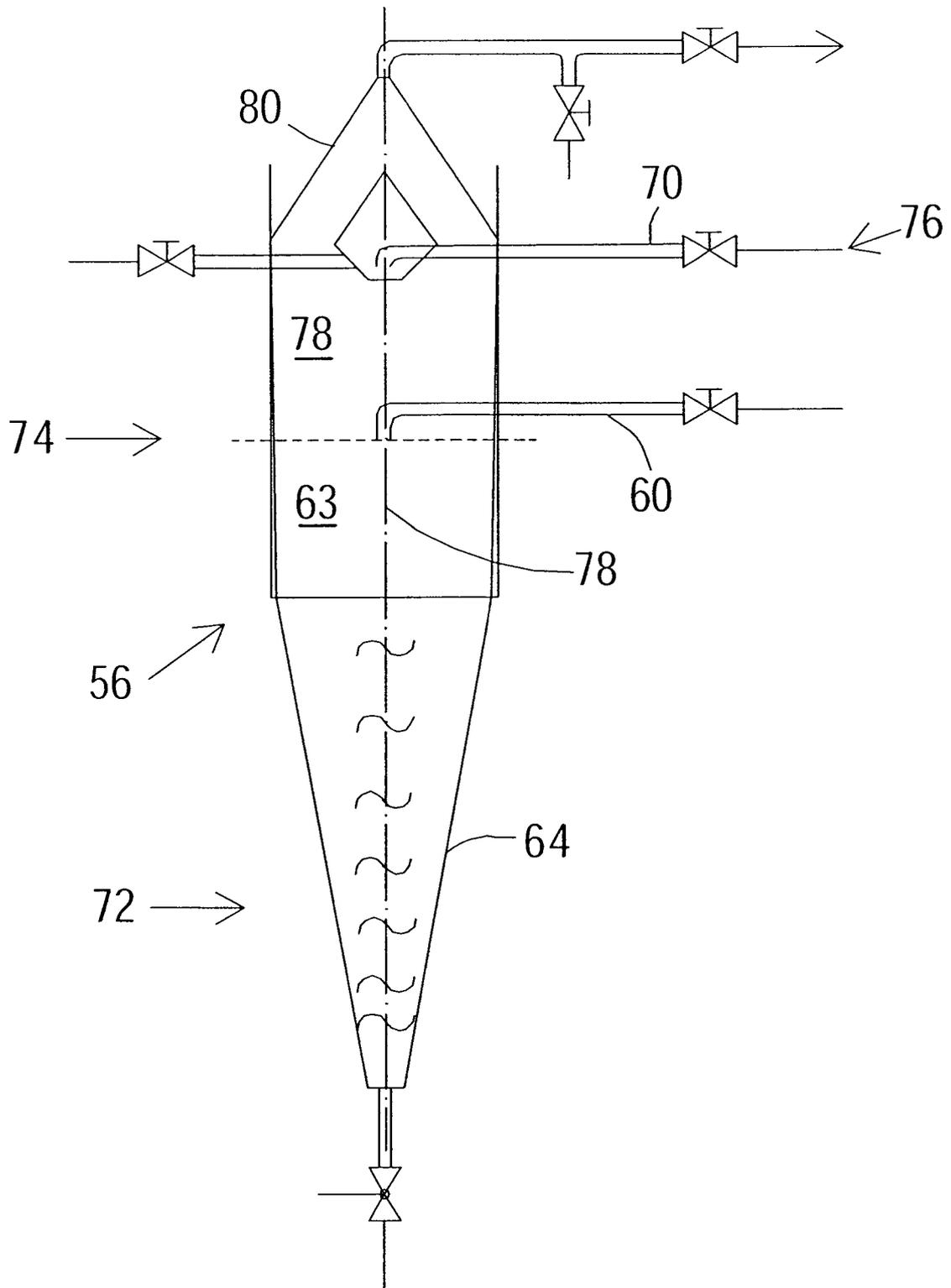


Fig.4

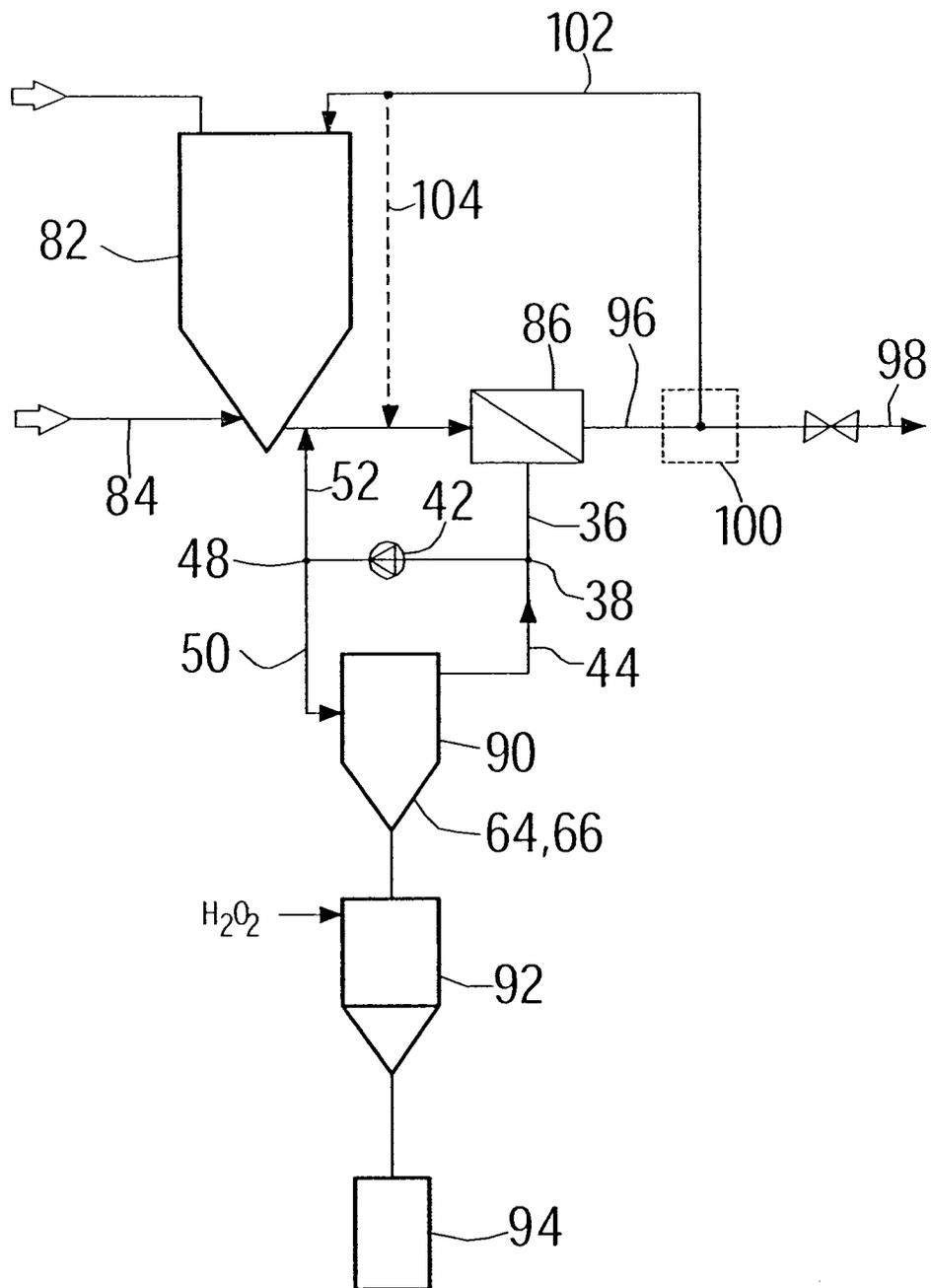


Fig.5