

KFK-36

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

SEPTEMBER 1960

KFK 36

INSTITUT FÜR HEISSE CHEMIE

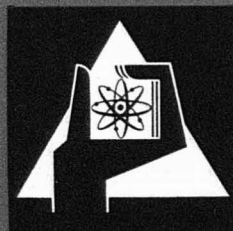
DIE BEHANDLUNG DER ABWÄSSER

AUF DEM GELÄNDE DES ATOMFORSCHUNGSZENTRUMS KARLSRUHE

S. KRAWCZYNSKI

Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.  
Zentralbücherei

9. JAN. 1961



KERNREAKTOR

BAU- UND BETRIEBS-GESELLSCHAFT M. B. H.

KARLSRUHE

# Die Behandlung der Abwässer auf dem Gelände des Atomforschungszentrums Karlsruhe

Von Stefan KRAWCZYNSKI, Karlsruhe

In einem früheren Artikel wurden die allgemeinen „Methoden der Behandlung radioaktiver Abwässer“ beschrieben [1]. Der vorliegende Aufsatz soll die praktischen Maßnahmen am Beispiel der Abwasserbehandlung auf dem Gelände des Atomforschungszentrums Karlsruhe behandeln.

Der in Karlsruhe erstellte Kernreaktor dient ausschließlich der Forschung. Es handelt sich um einen schwerwassermoderierten Reaktor, dessen Kernbrennstoff aus nicht angereichertem, natürlichem metallischem Uran besteht. Die thermische Energie des Reaktors von ca. 12 MW wird über zwei vollkommen geschlossene Kühlkreisläufe an die Atmosphäre abgegeben. Dadurch wurde erzielt, daß der Kernreaktor, Träger einer potentiellen Aktivität von ca.  $10^7$  Curie, absolut keine radioaktiven Stoffe an die Umgebung oder an das Wasser abgibt. Das „Schwere Wasser“ des ersten Kühlkreislaufes wird im Bypass kontinuierlich mittels synthetischer organischer Ionenaustauscherharze von den teilweise aktivierten Korrosionsprodukten des Reaktorcores (Reaktorherz) sowie von evtl. vorhandenen Spaltprodukten, die bei Undichtwerden der Brennstoffelementumhüllungen aus Aluminium in das „Schwere Wasser“ gelangen können, gereinigt. Nach Erschöpfung dieser Ionenaustauscherharze verzichtet man bewußt auf deren Regenerierung, trocknet sie zwecks Rückgewinnung des sehr teureren „Schweren Wassers“ und verwahrt sie in dicht verschweißten Behältern aus Edelstahl in einem sicheren Lager für radioaktive Festabfälle.

Radioaktive Abwässer treten jedoch bei zahlreichen Versuchen mit offenen radioaktiven Stoffen sowohl innerhalb der Institute als auch im geringen Maße am Reaktor selbst auf.

Neben diesen radioaktiven Abwässern fallen auf dem Gelände des Kernforschungszentrums nicht radioaktive, konventionelle Abwässer an, die sowohl hinsichtlich ihrer Menge als auch ihrer Zusammensetzung den Abwässern einer technischen Hochschule entsprechen.

Da man das konventionelle Abwasser des Kernforschungszentrums Karlsruhe wegen der entlegenen Lage der Station nicht mit den Abwässern der Stadt Karlsruhe vermischen konnte, und ferner kein leistungsfähiger Vorfluter in der näheren Umgebung zur Verfügung stand, war man gezwungen, auch für die konventionellen Abwässer entsprechende Aufbereitungsanlagen zu erstellen.

## Unterteilung der Abwässer auf der Reaktorstation Karlsruhe

Die Unterteilung der Abwässer erfolgt in folgender Weise (Bild 1):

- I Regenwasser,
- II Häusliche Abwässer (Fäkalien sowie Wasch- und Badeabwässer),
- III Chemische, radioaktiv nicht kontaminierte Abwässer,
- IV Radioaktiv möglicherweise kontaminierte Abwässer,
  - a) Dusch- und Wäscherei-Abwässer,
  - b) Chemie-Abwässer,
- V Chemie-Abwässer, radioaktiv stets verunreinigt,
- VI Abwässer aus dem Reaktor (Spülwässer),
- VII Radioaktive flüssige Konzentrate.

## Sammlung, Ableitung und Aufbereitung der konventionellen, radioaktiv nicht kontaminierten Abwässer

Die Regenwässer (I) der gesamten Station werden in Betonrohren einem kleinen Vorfluter, dem sog. Hirschgraben zugeführt. Das Wasser des Hirschgrabens dient zur Bewässe-

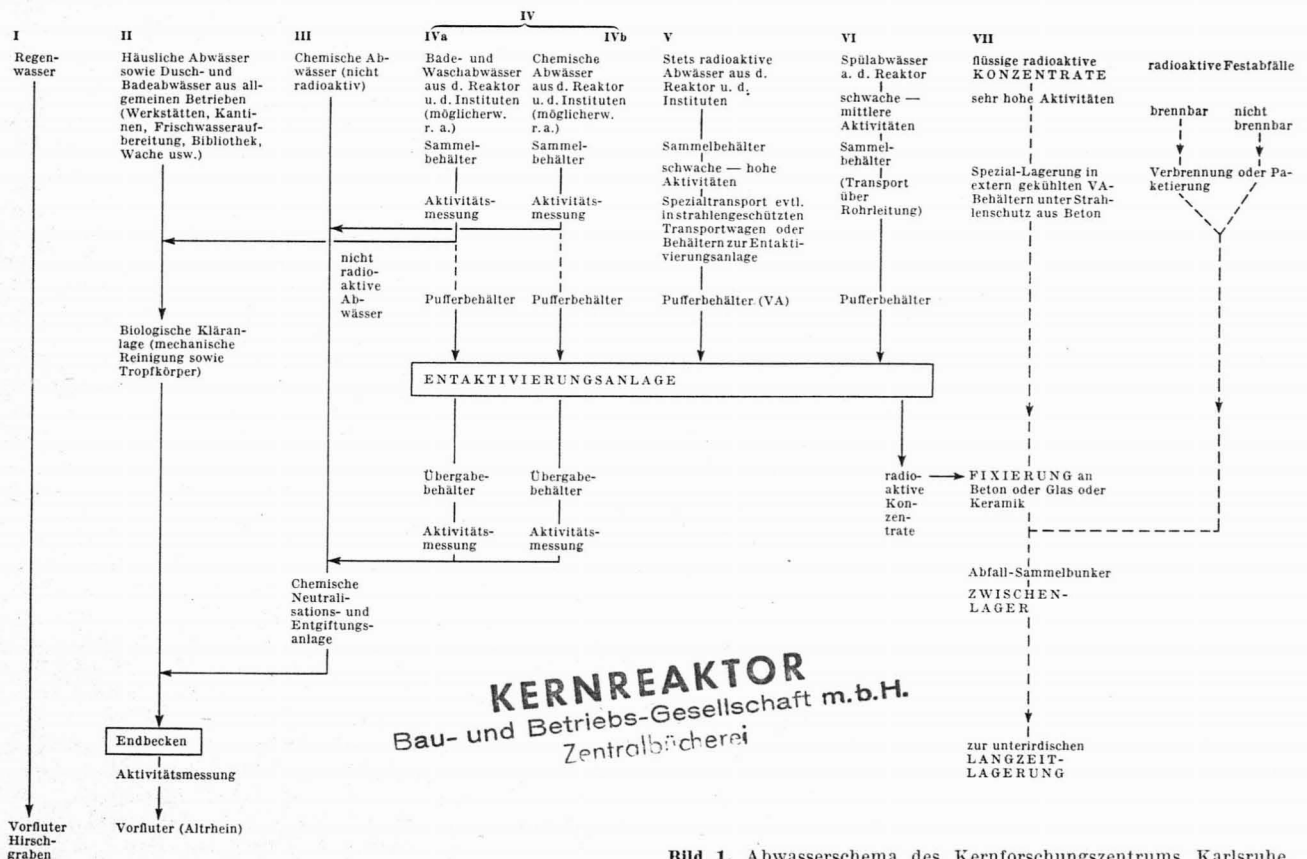


Bild 1. Abwasserschema des Kernforschungszentrums Karlsruhe.

zung von Wiesen und Feldern. Es ist ausgeschlossen, daß das Regenwasser über die vorhandene natürliche Radioaktivität hinaus, zusätzlich durch radioaktive Stoffe seitens der Station kontaminiert werden könnte. Zur Feststellung eines eindeutigen Aktivitäts-Durchschnittswertes (Null-Pegels) wurde die Messung der Radioaktivität des Wassers, der Luft und des Bodens bereits mehrere Jahre vor der Inbetriebnahme des Reaktors von der Strahlenschutz- und Meßabteilung der Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft Karlsruhe systematisch im Umkreis von vielen Kilometern mit Hilfe von Spezial-Meßwagen, als auch mittels ortsfester Meßstationen lückenlos durchgeführt.

Die „Häuslichen Abwässer“ (II) leitet man in Rohrleitungen aus Schleuderbeton im freien Gefälle unter Dazwischenschaltung von zwei Pumpstationen in die biologische Kläranlage (Bild 2 und 3). Das Abwasser fließt zum Zwecke einer mechanischen Vorreinigung zunächst über ein Üdemer-Becken, das nach dem Zweikammernprinzip arbeitet. Von dort leitet man es im freien Gefälle über einen stark belastbaren offenen biologischen Tropfkörper in ein Nachklärbecken. Während ein Teil des Wassers zum Üdemer-Becken rückgeführt wird, läuft der Rest zwei wechselweise zu beschickenden End-Rückhaltebecken zu, wo es sich mit dem chemisch aufbereiteten Abwässern vereinigt.

Die End-Rückhaltebecken (Bild 4) wurden aus reinen Sicherheitsgründen errichtet. In ihnen wird das gesamte Abwasser der Station mit Ausnahme der Regenwässer aufgefangen. Ihre Kapazität ist hinreichend, die Abwässer von

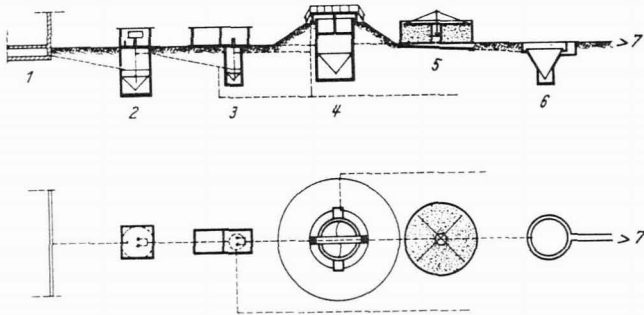


Bild 2. Schema der Biologischen Kläranlage.

1 Anfallstellen, 2 Pumpwerk, 3 Pumpwerk, 4 Üdemer-Becken, 5 Tropfkörper, 6 Nachklärbecken, 7 Leitung zu den Endrückhaltebecken.

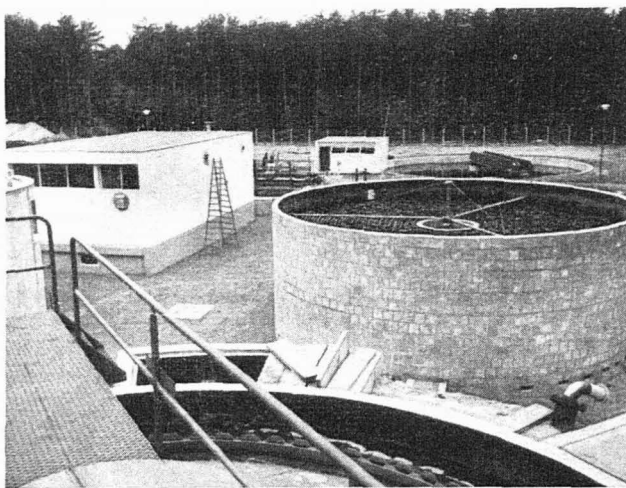


Bild 3. Ansicht der biologischen Kläranlage.

Im Vordergrund das Üdemer-Becken, dahinter der Tropfkörper, das Gebäude zur Linken ist die Chemische Neutralisations- und Entgiftungsanlage, im Hintergrund erkennt man die beiden End-Rückhalte-Becken.

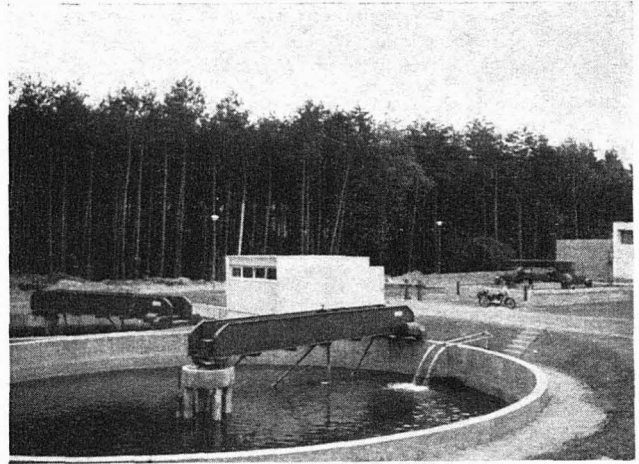


Bild 4. Ansicht der Rückhalte-Endbecken.

Rundräumer sorgen für eine gute Egalisierung des Abwassers. Die Entleerung der Becken erfolgt mittels Abpumpen, Bodenablässe sind nicht vorhanden.

zwei vollen Arbeitstagen aufzunehmen. Sie verfügen über keinen Bodenablaß. Die Entleerung durch Abpumpen erfolgt erst nach durchgeführter Messung der spez. Aktivität und Messung der chemischen Zusammensetzung (insbesondere hinsichtlich von Giften). Die Freigabe erteilt der Sicherheitsbeauftragte der Station. Das Abwasser fließt von den End-Rückhaltebecken über eine unterirdisch verlegte Rohrleitung aus Schleuderbeton in den mehrere Kilometer entfernten Vorfluter, einen Altrheinarm. Durch die Errichtung der Endbecken wird garantiert, daß absolut kein Wasser unkontrolliert die Station verlassen kann. Bei anderen, ähnlichen Stationen begnügte man sich häufig mit einer kontinuierlichen Messung der spez. Aktivität des abfließenden Abwassers. Letztere Methode birgt jedoch die Unsicherheit in sich, daß bei tatsächlich vorliegender ernsthafter Kontamination des abfließenden Abwassers bei Nichtvorhandensein entsprechend großer Puffervolumina eine Kontamination des Vorfluters kaum verhindert werden kann. Ferner liegt die Meßgenauigkeit der meisten kontinuierlich arbeitenden Meßgeräte oberhalb der zulässigen Toleranzkonzentration, zudem arbeiten die Geräte häufig nicht störungsfrei.

Die radioaktiv nicht kontaminierten „Chemie-Abwässer“ (III) werden am Anfallort in korrosionsgeschützten Behältern aus Stahl gesammelt und über Polyäthylendruckrohrleitungen (Bild 5) zur chemischen Neutralisations- und Entgiftungsanlage gepumpt (es handelt sich um Regenerierchemikalien der Ionenaustauscheranlage für das sek. Reaktorkühlkreiswasser, Regenerierchemikalien aus den Ionenaustauschern für entionisiertes Frischwasser für die Laboratorien, Regenerierchemikalien der Ionenaustauscher für das Wasser der Heizungsanlagen, Säure aus den Akkumulatoren-Ladestationen sowie Chemie-Wasser aus den Instituten und Laboratorien). Die Behandlung dieser „Chemie-Abwässer“ beschränkt sich auf eine Neutralisation mit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  bzw. Salzsäure sowie Flockung mit Eisen (III)-Salzen oder Aluminiumhydroxyd unter gleichzeitiger Belüftung. Bei Anwesenheit von besonderen Giften, wie Chromaten, Cyaniden usw. entgiftet man diese Abwässer im Chargenbetrieb nach bekannten Methoden [2]. Nach Klärung fließen diese Abwässer in die oben zitierten End-Rückhaltebecken. Die Schlämme werden gesondert behandelt und gelagert.

Die Sammlung der „möglicherweise radioaktiv verunreinigten Abwässer“ der Kategorie (IV) erfolgt in mehreren wechselweise zu beschickenden korrosionsgeschützten Stahlbehältern, die in isolierten Gruben aus Beton oder in besonderen wasserdichten Betongebäuden



untergebracht sind. Nach Füllung der Behälter wird anhand von Proben die spez. Aktivität des Behälterinhaltes geprüft. Liegt diese unterhalb der Toleranzkonzentration für Abwässer, so pumpt man sie in das Abwassernetz (III) für nicht radioaktive Chemie-Abwässer. Bei Überschreitung der Toleranzkonzentration übernehmen Tankwagen oder Spezialtransportwagen den Abtransport dieser Abwässer zur Entaktivierungsanlage. In Bild 6 ist die vereinfachte Schaltung der Sammelbehälter der Abwassersammelstation des radiochemischen Institutes dargestellt. Bild 7 gibt die Außenansicht der Abwassersammelstation, Bild 8 die Innenansicht (Montagebild) wieder.

Lieferanten für Abwässer obiger Kategorie sind:

1. Radiochemisches Institut. In diesem wird organisch und anorganisch mit sämtlichen Radionukliden unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung und spez. Aktivität gearbeitet.
2. Heiße Laboratorien des radiochemischen Institutes. In diesen kommen höhere Aktivitäten zur Verarbeitung.
3. Laboratorium für Isotopenverteilung. In diesem wird ein Großteil der in der Bundesrepublik zur Verarbeitung kommenden Isotope abgefüllt, standardisiert und zum Versand gebracht.
4. Institut für Strahlenbiologie. Es treten biologisch mit Fäces verunreinigte sowie detergentien- und chelathaltige Abwässer auf.

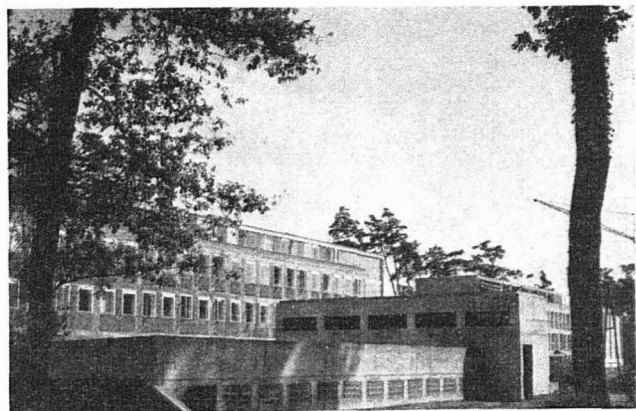


Bild 7. Außenansicht der Abwassersammelstation am Institut für Radiochemie.

5. Institut für Kernverfahrenstechnik. Die Abwässer dieses Institutes sind sehr konstant sowohl hinsichtlich der Volumina, als auch der chemischen Zusammensetzung.
6. Entaktivierungs-Forschungslaboratorien. In diesen werden mit sämtlichen Radionukliden sehr unterschiedlicher neutral-chemischer Zusammensetzung und spez. Aktivität neue Entaktivierungsverfahren entwickelt.
7. Betriebswäscherei für radioaktiv kontaminierte Berufswäsche. (Es treten große Volumina schwer entaktivierbarer komplex-, detergentien- und chelathaltiger Abwässer auf.)
8. Abwässer aus dem Reaktor und dem Reaktor-Betriebs- und Laborgebäude.

Zu diesen bereits vorhandenen Lieferanten für Abwässer der Kategorie IV werden in naher Zukunft folgende hinzukommen: „Heiße Metallurgische Zellen“, Institut für „Heiße Chemie“, Euratom-Transurane-Institut, Zyklotron sowie der Argonaut-Miniaturreaktor.

Stets radioaktiv verunreinigte Abwässer der Kategorie (V) werden in ähnlicher Weise wie die möglicherweise radioaktiv verunreinigten Abwässer der Kategorie (IV) gesammelt. Es wird hierbei besonderer Wert auf Korrosionsschutz sowie Strahlenschutz nach außen gelegt. In Sonderfällen erfolgt die Sammlung in Edelstahlbehältern (V 4 A), der Abtransport in strahlengeschützten Spezialtransportwagen.

Abwässer der Kategorie VI treten am Reaktor nur in Sonderfällen auf. Es handelt sich um schwach radioaktiv kontaminierte Abwässer, die von Reinigungsarbeiten herühren. Die Sammlung dieser Abwässer geschieht am Reaktor in Sammelbehältern von ca. 1000 m<sup>3</sup> Inhalt, von wo sie über eine Rohrleitung in die Entaktivierungsanlage gepumpt werden. Die Rohrleitung ist zum Schutz gegen Leckagen

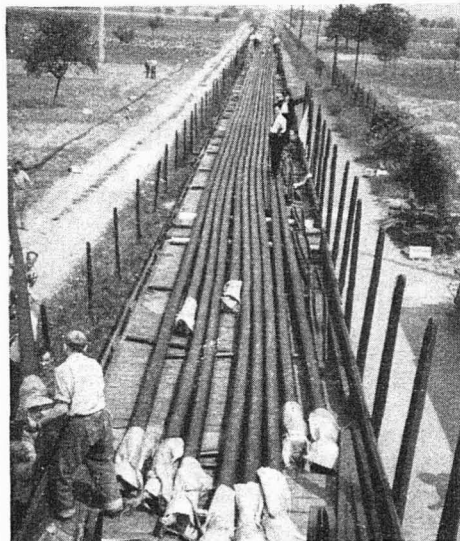


Bild 5. Transport der Polyäthylen-Druckrohrleitungen zur Reaktorstation Karlsruhe.

Nachdem sich Kunststoff-Leitungen bereits im belgischen Kernforschungszentrum Mol sehr bewährt haben, wurden solche auch für die Abführung von chemischen Abwässern auf der Reaktorstation Karlsruhe im Boden verlegt.

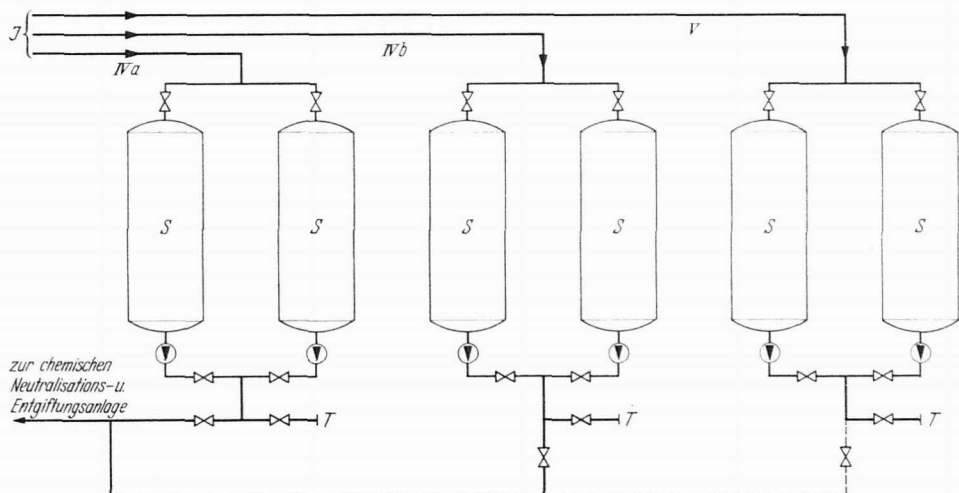
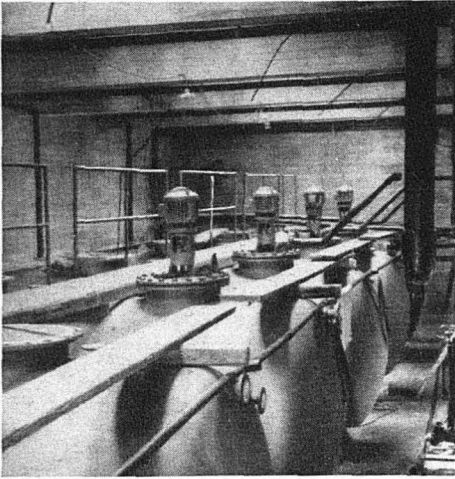


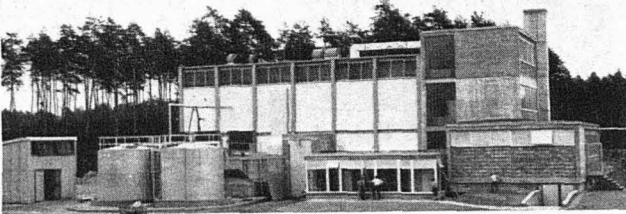
Bild 6.

Schaltung der Abwassersammelstation für radioaktive Abwässer und für Abwässer, die möglicherweise radioaktiv kontaminiert sein können.

T Anschluß an Tankwagen oder Spezialtransportwagen, J Institutsabwässer, S Sammelbehälter.



**Bild 8.** Montagebild im Innern der Abwassersammelstation für radioaktive Abwässer am Institut für Radiochemie. Die Behälter sind aus Stahl gefertigt und besitzen keine Bodenablässe. Der Korrosionsschutz besteht aus Epikote-Schutzanstrichen.



**Bild 9.** Außenansicht der Entaktivierungsanlage Karlsruhe. Das Gebäude beinhaltet eine Personen-Sicherheitsschleuse, Betriebslaboratorien sowie das Technikum, in dem die Apparate aufgestellt sind. Links im Bild sind die Übergabe-Behälter für bereits entaktiviertes Abwasser zu erkennen.

in einer allseitig geschlossenen korrosionsgeschützten Stahlwanne auf einer Rohrbrücke verlegt.

Abwässer der Kategorie VII, d. h. sehr hochaktive radioaktive flüssige Konzentrate fallen nur in sehr geringen Volumina beim chemischen Arbeiten mit sehr hohen Aktivitäten an. Sie werden wie radioaktive Primärpräparate behandelt. Ihre Sammlung erfolgt in Spezialflaschen unter Strahlenschutz. Ihr Abtransport geschieht unter Einhaltung besonderer Sicherheitsmaßnahmen. Man verzichtet bei ihnen auf eine weitere Einengung, rührt sie mit Zement zu Beton an und erreicht dadurch eine gute Fixierung.

#### Entaktivierung radioaktiv kontaminierter Abwässer

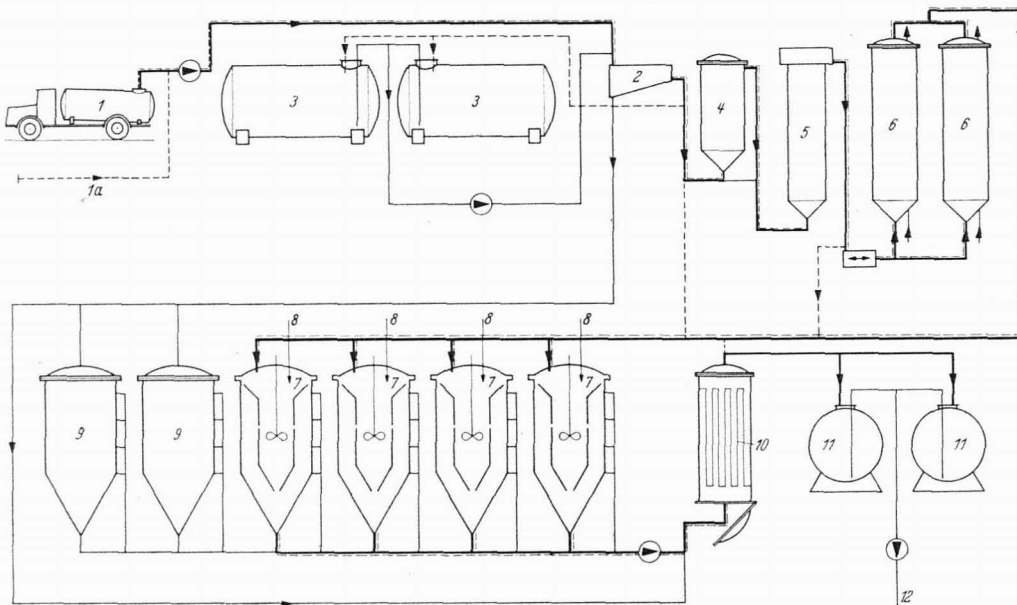
Die Entaktivierung hat die Aufgabe, dem Wasser die radioaktiven Stoffe bis unterhalb der zulässigen Toleranzkonzentration zu entziehen. Hierfür kommen in Karlsruhe folgende Methoden einzeln und kombiniert zur Anwendung:

1. Chemische Fällung (nach erfolgter Entkarbonisierung und elektroionaler Abscheidung),
2. Ionenaustausch (wahlweise nach erfolgter chemischer Vorbehandlung mittels Entkarbonisation, elektroionaler Abscheidung, partieller Phosphatfällung o. ä.),
3. Verdampfung (Verdampfung von Konzentraten sowie von Regenerier-Abwässern der Ionenaustauscheranlage).

Obige Methoden gestatten trotz der sehr schwankenden Zusammensetzung der anfallenden Abwässer in jedem Fall eine Entaktivierung bis unterhalb der zulässigen Toleranzkonzentration.

#### Die „Chemische Fällung“

Bei der Anwendung der chemischen Fällung kann man prinzipiell zwei Wege beschreiten. In dem einen Fall muß man nach Kenntnis der aktivitätsbestimmenden Radionuklide diese durch „gezielte“, dem speziellen Einzelfall angepaßte, chemische Fällungsreaktionen ausfällen. Auf diese Weise gelingt es stets, die Radioaktivität mit einer Effektivität von 10–1000 dem Wasser zu entziehen. Es sollen hier einige Beispiele der häufig vorkommenden Fällungsreaktionen erwähnt werden.



**Bild 10.** Vereinfachtes Fließschema der chemischen Fällanlage.

1 Übernahme der radioaktiven Abwässer vom Tankwagen aus, 1a Übernahme der radioaktiven Abwässer vom Reaktor über eine Rohrleitung, 2 Schlamm- und Fettabscheider, 3 Puffer-Behälter, 4 Kalksättiger, 5 Entkarbonisator-Kontakturm (Fa. Steinmüller, Gummersbach), 6 Elektroionale Abscheidung an Metallspänen, 7 Chemische Fäll- und Reaktions- sowie Dekantationsbehälter, mit eingebautem Schnellrührer und Mischzone, 8 Chemikalien-Dosierung, 9 Schlamm-Behälter, 10 Kerzendruckfilter, 11 Zwischenbehälter, 12 zu den Übergabebehältern oder zu der Ionenaustauscheranlage.

Bei Anwesenheit von Radioschwefel (als Sulfat vorliegend) fällt man diesen nach Zugabe von  $Ba^{++}$ -Ionen ( $BaCl_2$ ) als Bariumsulfat. In diesem Fall muß man evtl. die Fällung mehrmals unter gleichzeitiger Zugabe von inaktiven Sulfat-trägern (Natriumsulfat) wiederholen.

Bei Anwesenheit von Radiojod gibt man dem Wasser Natriumthiosulfat zu und fällt das Jodid durch Zugabe von Kupfersulfat als Kupferjodid. Diese Reaktion wird durch die im Abwasser ständig vorhandenen Mikroorganismen negativ beeinflusst.

Die Fällung des Jodids mittels Silberionen ist wesentlich effektiver. Da das Löslichkeitsprodukt des Silberjodids wesentlich kleiner ist als das von Silberchlorid läßt sich das Jodid fast quantitativ auch bei Vorhandensein eines Chlorid-überschusses ausfällen. Es genügen hierfür bereits sehr geringe Spuren von Silbernitrat. Evtl. ist auch hierbei eine mehrmalige Fällung nach vorheriger Zugabe von Jodid-Trägern notwendig. Auch der Austausch von Jodid gegen Chlorid an einem Silberchloridkontakt ist für die Jodentnahme wirkungsvoll.

Voraussetzung für eine gute Entaktivierungseffektivität ist bei obigen Fällungsreaktionen eine sehr gute Durchmischung des Abwassers mit den zugesetzten Fällungskemikalien.

Radiocaesium, das sich mit den konventionellen Fällungsreaktionen nicht aus dem Wasser ausfällen läßt, kann man mittels Nickel-Ferrocyanid im schwach sauren  $pH$ -Bereich quantitativ ausfällen. Gute Ergebnisse erhält man ferner für die Caesiumentnahme mit  $Fe(III)$ - sowie Kupfer-Ferrocyaniden. Letztere Reaktion kann man sogar im basischen  $pH$ -Bereich durchführen.

Radiophosphor (als Phosphat vorliegend) läßt sich mit Eisen (III)-Hydroxyd im neutralen  $pH$ -Bereich relativ gut koprecipitieren.

Die Methode der „gezielten“ chemischen Fällung scheitert jedoch meistens daran, daß die genaue Zusammensetzung des Abwassers nicht bekannt ist. Aus diesem Grund versucht man stets, für den Routinebetrieb der Entaktivierung solche Fällungsreaktionen auszuwählen, die möglichst viele Radionuklide zu erfassen vermögen.

Zur Zeit wird in Karlsruhe folgende Fällung durchgeführt:

1. Fällung des Radiocaesiums durch Zugabe von Kaliumferrocyanid und einem Überschuß an Kupfersulfat. Das Caesium wird als das Mischsalz Caesiumkupferferrocyanid fast quantitativ ausgefällt. Gleichzeitig fällt evtl. vorhandenes Radiojod (Jodid) als schwerlösliches Kupferjodid aus. Für die Jodentnahme ist die Zugabe von Natriumthiosulfat von großem Vorteil.

2. Fällung des als Sulfat vorliegenden Radioschwefels als Bariumsulfat mittels Zugabe von Bariumchlorid.

3. Entkarbonisierung im „Steinmüller-Schnellreaktor“ unter Zugabe von  $Ca(OH)_2$  (bei dieser Entkarbonisierung werden bei Spaltprodukt-Originalgemischen 93–95 vH der Gesamtaktivität dem Abwasser entnommen. Diese Methode hat den Vorteil, daß die Aktivität an die Karbonatkörner des Kontaktes fixiert werden).

4. Elektroionale Abscheidung an Metallspänen in einem Spezialpercolator. (Bei Spaltprodukt-Originalgemischen werden bis zu 98,5 vH dem Abwasser entnommen, wobei eine Bindung der Kolloide an die Metallhydroxydflocken erfolgt, die sich anschließend leicht abfiltrieren lassen. Es tritt ferner eine Abscheidung aller edleren Metall-Ionen an den unedleren Metallspänen ein. Die Metallspäne zeigen ferner bei Zufuhr von Sauerstoff eine gute Entaktivierungseffektivität für Radioruthen.)

5. Zudosierung von  $Ca(OH)_2$ , und Fällung bis auf Neutralpunkt mittels Phosphorsäure

(wahlweise: Zudosierung von  $Ca(OH)_2$ , Fällung mit  $Na_3PO_4$ , Zugabe von  $S^{--}$  und  $Fe(II)$ -Salzen,

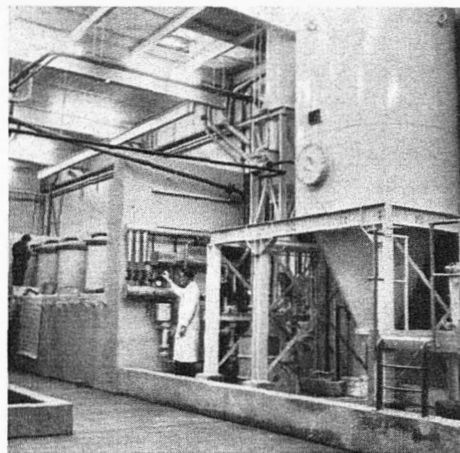


Bild 11.  
Ansicht der  
Entkarbonisie-  
rungsanlage.

Rechts ist der Kalksättiger ersichtlich, dahinter der Kontakturm, links hinten sieht man die Ionenaustauschersäulen, der Strahlenschutz reicht z. Z. nur bis zur halben Höhe der Säulen. Er wird bis zur vollen Höhe hochgezogen werden.

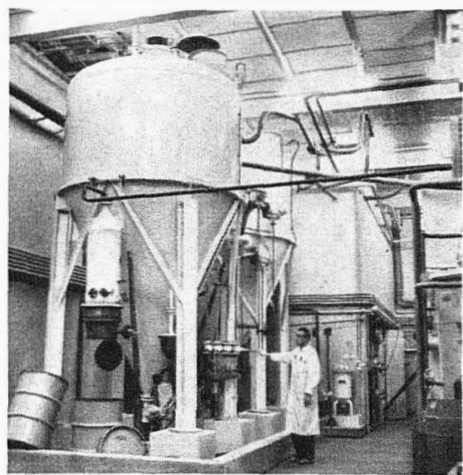


Bild 12.  
Ansicht der  
chemischen  
Fällbehälter.

Von den geplanten vier Reaktionsbehältern wurden zunächst zwei zur Erprobung aufgestellt.

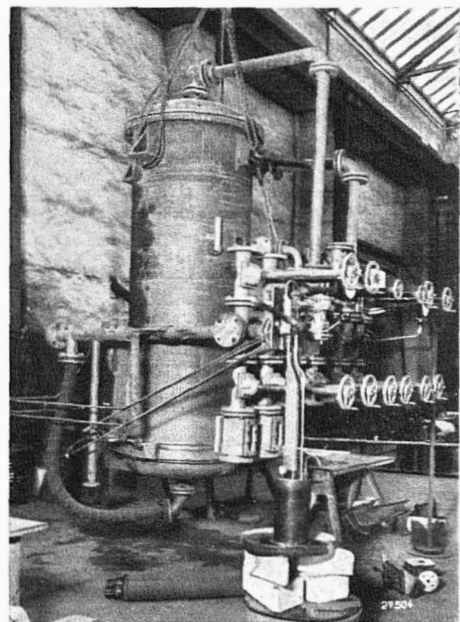


Bild 13.  
Montagebild  
des Kerzen-  
druckfilters.

(Lieferant: Filter-Harnisch, Heidelberg), am Boden ist eine Filterkerze aus Graphit-Segmenten zu erkennen, der Boden des Filters ist hydraulisch zu öffnen, man erkennt die verlängerten Spindeln der Ventile, die durch die Strahlenschutzwand hindurchgeführt werden.



Zudosierung von thermisch aufgeschlossenem Vermikulit und Montmorillonit).

6. Filtration unter Zugabe von gemahlener Braunkohle oder Abfällen synthetischer Ionenaustauscher als Filterhilfe. (Als Filterhilfe können ferner bei neutralen bis sauren Wässern Holzmehl und Torf dienen.)

Die so behandelten Abwässer werden nach Messung der spez. Aktivität in die „Chemische Neutralisations- und Entgiftungsanlage“ abgelassen, wo sie nochmals die konventionelle Fällung durchlaufen.

Das vereinfachte Fließschema der chemischen Fällungsanlage ist in Bild 10 dargestellt. Da es sich bei der Entaktivierungsanlage in Karlsruhe um eine reine Versuchsanlage handelt, wurde der für diesen Fall günstigere Chargenbetrieb gewählt. Gestattet er doch die Durchführung beliebiger Fällungsreaktionen bei beliebigen Reaktionsbedingungen, wie Variation der Anzahl der Fällungsstufen, des  $pH$ , der Reihenfolge, der Reaktionszeit usw.

Die Übernahme der Abwässer erfolgt von zwei Übernahmestationen aus. Die Abwässer schwacher bis mittlerer Aktivität werden über einen Fettabscheider entweder in die Fällanlage direkt oder in die Pufferbehälter eingespeist. Die Übernahme der hochradioaktiven Abwässer erfolgt von einer Spezialübernahmestation aus mittels Vakuum (Dampfstrahlinjektoren); sie werden in Pufferbehälter aus VA-Stahl gefördert und von dort in die Verdampferanlage eingespeist. Die Fette und Öle des Fettabscheiders werden getrennt gesammelt, die Schlämme in die Schlammbehälter abgelassen. In Bild 11 ist im Vordergrund die Entkarbonisierungsanlage ersichtlich. Sie besteht aus einem Kalksättiger und einem zylindrischen Kontakturm. Dieser enthält in der Praxis fast die gesamte Aktivität, so daß an seiner Oberfläche eine beachtliche  $\gamma$ -Strahlung auftritt. Um das Personal von direkter Bestrahlung zu schützen, wird man den unteren Teil des Zylinders mit einem Strahlenschutz von Blei (5 bis 10 cm) umgeben. Auch der Kalksättiger wird mit radioaktivem Wasser beschickt. In dessen Konusteil scheiden sich Schlämme aus, die ebenfalls beachtliche Radioaktivität enthalten können. Auch diesen unteren Teil des Konusbehälters wird man zu einem späteren Zeitpunkt mit Strahlenschutz aus Bleisteinen umgeben. Dieses ist jedoch bei der in nächster Zukunft vorhandenen geringen Aktivität nicht nötig, da man an der Oberfläche der Behälter noch keine  $\gamma$ -Aktivität nachweisen können. Die bis zur Erbsengröße angewachsenen Kontakt-Karbonatkörner fördert man hydraulisch in den Konusteil der Schlamm-Abfüllstation, wo sie gemeinsam mit chemischen Schlämmen in Fässern hinter lokalem Strahlenschutz abgefüllt werden.

Die Fällbehälter sind in Bild 12 dargestellt. Von den geplanten vier Behältern wurden zunächst für die erste Zeit der Inbetriebnahme zwei Behälter aufgestellt. Es handelt sich um gummierte Stahl-Konusbehälter mit eingebautem Schnellrührer und einer Mischzone. Die Zugabe der Chemikalien erfolgt in dieser Mischzone von einer Dosierstation aus. Der Fällungsprozeß wird anhand entnommener Proben eingestellt und gesteuert. Auf automatische Dosiereinrichtungen usw. wurde bewußt verzichtet. Zur elektroanalischen Abscheidung soll ein Percholorator besonderer Bauart zur Anwendung kommen. In diesem wird das Wasser hydraulisch im Kreis geführt und mit den Metallspänen von Eisen, Kupfer, Aluminium, Zink u. a. innig in Kontakt gebracht. Ein früher benutzter pulsierender Percholorator, bei dem mit Preßluft die Metallspäne aufgewirbelt wurden, hatte den großen Nachteil, eine sehr große Metallspanfüllung zu benötigen, die im Fall einer irreversiblen Kontamination nur sehr schwer aus dem Filter entfernt werden konnte. Am unteren Teil des Percholorators wird Preßluft in dosierten Mengen zugegeben. Die Metallspanfüllung kann hydraulisch in ein Abfüllgefäß geschwemmt werden, von wo sie sehr einfach fernbedient abgefüllt wird.

Die Trennung von fester und flüssiger Phase erfolgt mittels eines leistungsstarken Kerzendruckfilters. Bild 13 gibt ein Montagebild des Kerzendruckfilters wieder. Das Kerzendruckfilter befindet sich in der Anlage in einer völlig abgekapselten Kammer, so daß man es für den Leser photographisch nicht wiedergeben konnte. Die verlängerten Spindeln der Filter-Bedienungsventile reichen nach Einbau des Filters in die Anlage durch die Strahlenschutzwand hindurch. Das Filter besitzt Kerzen aus Graphit. Vor der Filtration wird auf die Filterkerzen eine Filtrationsanschwemmungsschicht mittels geeigneter Filterhilfsmittel (z. B. Fibra-Floc, Lehmann & Voss], Kohle-Asbest (Synofil) o. ä.) zum Schutze der Kerzen vor einer raschen Verstopfung und als eigentliche Filtrationsschicht angeschwemmt.

Während der Filtration werden je nach dem Feststoffgehalt des zu filtrierenden Abwassers Filterhilfsmittel in (mit der Filtrationszeit) steigender Menge laufend hinzugegeben. Die Stärke der sich aufbauenden Filtrationsschichten kann bis zu 80 mm betragen. Bei dieser Stärke ist der Druckabfall am Filter jedoch so groß, daß man diese als Filterkuchen bezeichnete Filtrationsschicht entfernen muß. Der Filterkuchen wird mit Preßluft trocken geblasen und mittels eines rückläufig geführten Luftdruckstoßes bei geöffnetem Filterboden abgestoßen. Die Schlämme werden in einer Abfüllvorrichtung in Polyäthylensäcke abgefüllt. Das Öffnen und Schließen des Filterbodens erfolgt fernbedient hydraulisch; dasselbe gilt für die Querverriegelung des Bodens.

Die absolute Abdichtung des Filterbodens gegen das Filtergehäuse wird durch eine mittels Druckluft angepreßte Lippendichtung einwandfrei erzielt.

#### Die Ionenaustauscheranlage

Zur Entaktivierung der Abwässer mittlerer bis hoher spezifischer Aktivität reicht die Methode der chemischen Fällung nicht mehr aus, es sei denn, daß man sehr komplizierte und teure Fällungsmethoden anwendet.

In Karlsruhe werden diese Wässer mit Hilfe des Ionenaustausches nach vorausgegangener chemischer Vorbehandlung entaktiviert.

In Bild 14 ist das vereinfachte Schema des zur Anwendung kommenden Ionenaustausches dargestellt.

#### Chemische Vorbehandlung der Abwässer

Die Abwässer werden nach Passieren des Fett- und Schlammabscheiders im Steinmüller-Entkarbonisator entkarbonisiert. Dabei fallen die Karbonate aus, wodurch der Salzgehalt um  $\frac{2}{3}$  reduziert wird, was zu einer nicht unbedeutenden Standzeiterhöhung der Ionenaustauscher führt. Das Abwasser wird im Anschluß an die Entkarbonisation über den bereits genannten Metallspanpercholorator geleitet. Hierdurch bezweckt man vor allen Dingen ein Ausflocken von Kolloiden und Beseitigung organischer Verunreinigungen. Die Ausfällung der restlich verbliebenen polyvalenten Kationen erfolgt mittels Phosphorsäure oder sec. Natriumhydrogenphosphat, so daß nach der Phosphatfällung im Wasser vornehmlich nur noch Alkali-Kationen anwesend sind. Vor Eintreten des Wassers in die Ionenaustauscher erfolgt eine Feinfiltration mittels des oben genannten Kerzendruckfilters. Zu einem späteren Zeitpunkt soll an dieser Stelle eine dreistufige Mehrzellen-Elektrodialyse eingeschaltet werden, deren Zweck eine Standzeiterhöhung der Ionenaustauscher ist.

Der Ionenaustausch besteht aus folgenden in Reihe geschalteten Ionenaustauschersäulen:

1. Kationenaustauscher (sulfurierte Kohle) (stark sauer),
2. Kationenaustauscher (sulfurierte Kohle) (stark sauer),
3. Anionenaustauscher (schwach basisch),

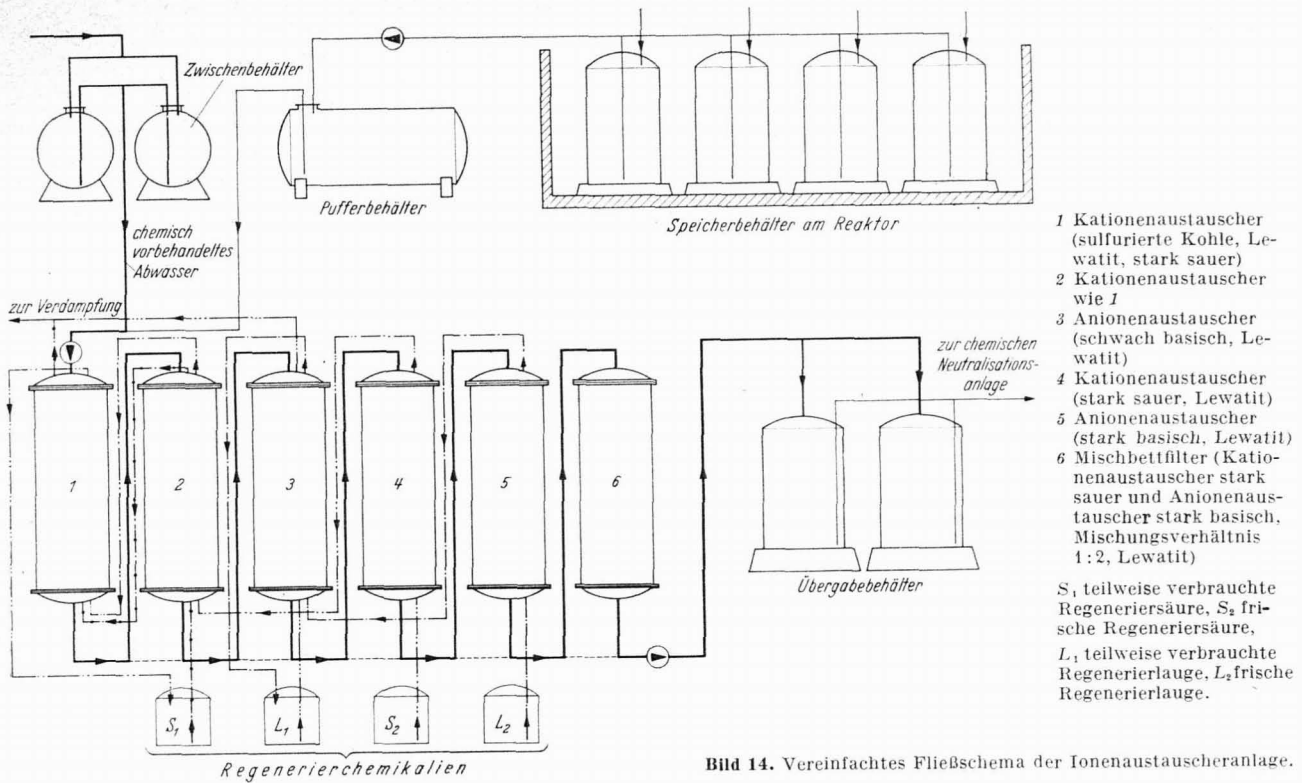


Bild 14. Vereinfachtes Fließschema der Ionenaustauscheranlage.

4. Kationenaustauscher (stark sauer),
5. Anionenaustauscher (stark basisch),
6. Mischbettfilter (Kationenaustauscher, stark sauer und stark basisch, Mischungsverhältnis 1:2).

Die Austauscher können je nach Bedarf einzeln oder in Reihe benutzt werden. In den meisten Fällen ist die Anwendung der Ionenaustauscher 1 und 5 hinreichend. Die Einfüllung und Austragung der Harze geschieht hydraulisch,

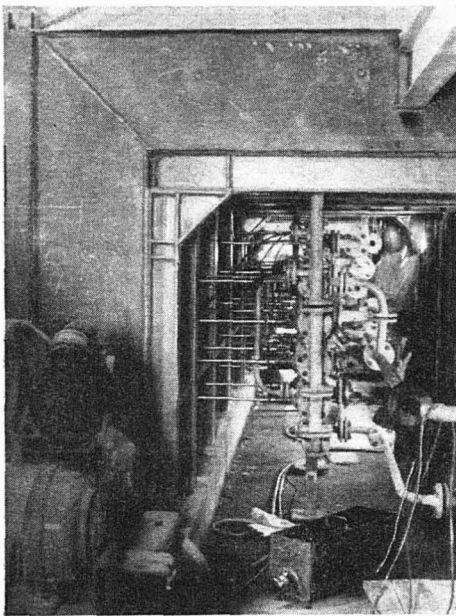


Bild 15. Montagebild des Installationsganges unterhalb der Ionenaustauscheranlage.  
 Es sind die zahlreichen Ventilspindeln zu sehen, die durch die links befindliche Strahlenschutz-Schottenwand hindurchreichen. Die Schottenwand wird mit Magnetit-Erzen gefüllt, man erzielt eine Strahlenschutzdichte  $> 3$ .

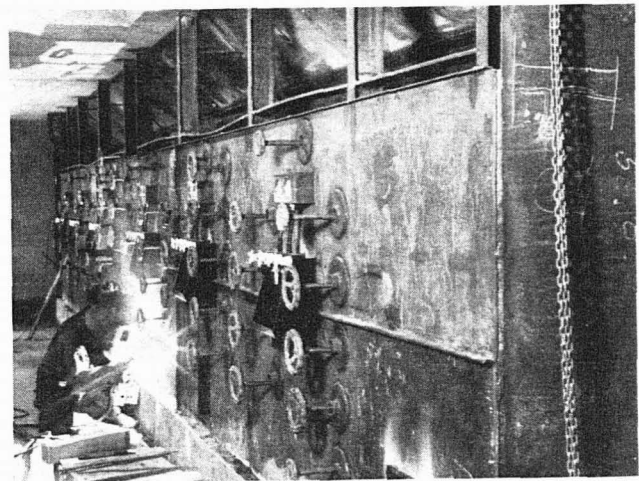


Bild 16. Vorderansicht der Ionenaustauscherbedienungs- wand (Schottenwand), (Montagebild).

fernbedient. In Bild 11 sind im Hintergrund die Ionenaustauschersäulen zu erkennen. Der Strahlenschutz ist bei dieser Abbildung nur teilweise angebracht, er wird jedoch z. Z. bis zum Kopfteil der Kolonnen hochgezogen. Auch oberhalb der Kolonnen erfolgt eine Abdeckung mit Betonfertigteilen von ca. 1 m Stärke (Normalbeton). Die sehr zahlreichen Ventile und Rohrleitungen liegen unterhalb der Ionenaustauscherkolonnen, von diesen durch einen Strahlenschutz von 1 m Schwerbeton getrennt, in einem Installationsgang. Bild 15 gibt ein Montagebild des Installationsganges wieder. Zum Bedienungsraum hin sind die Ventile durch eine Strahlenschutzwand von 80 cm Stärke abgetrennt. Es handelt sich hierbei um eine mit Magnetit-Erzen gefüllte Schottenwand aus Stahl. In Bild 16 sehen wir die Durchführung von Montagearbeiten an der äußeren Bedienungs- wand.



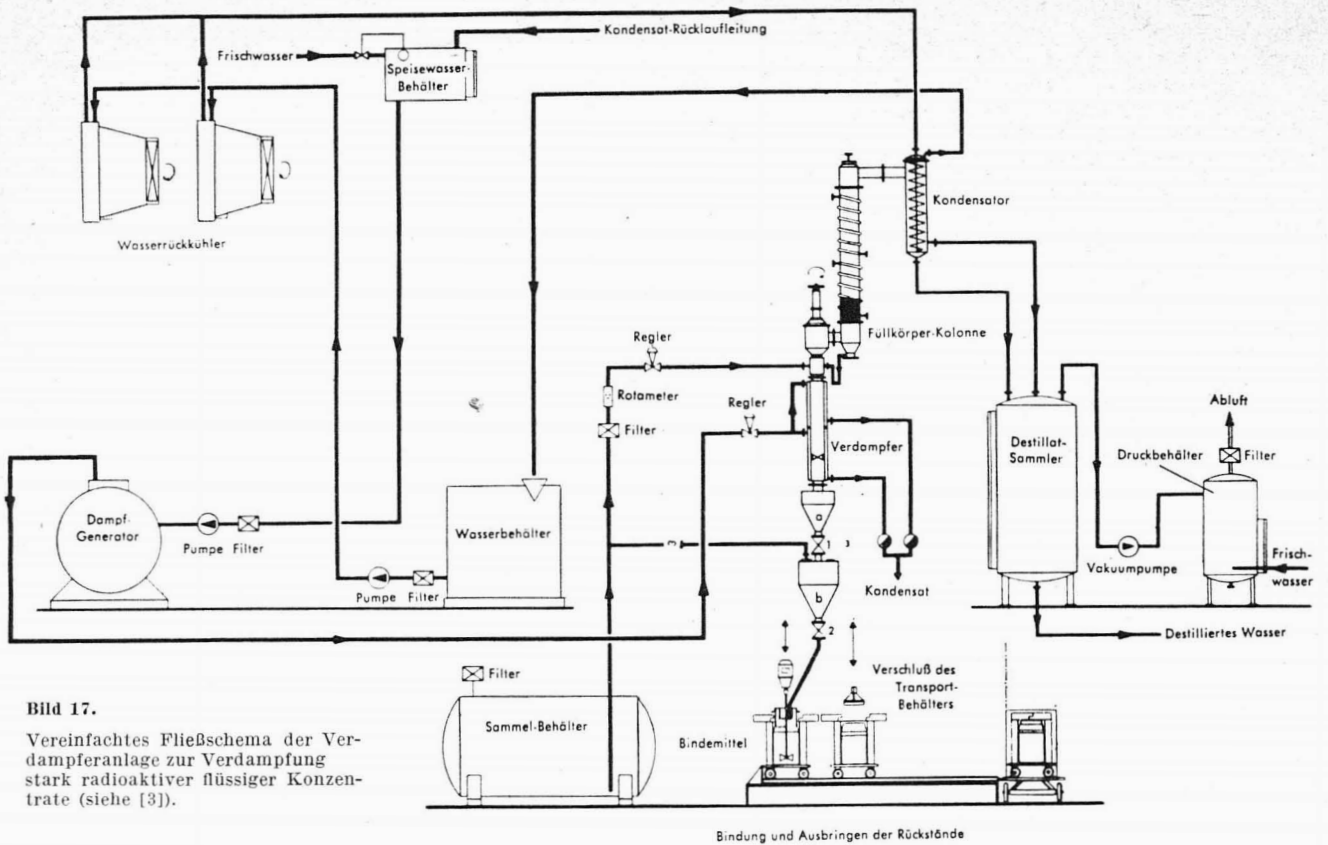
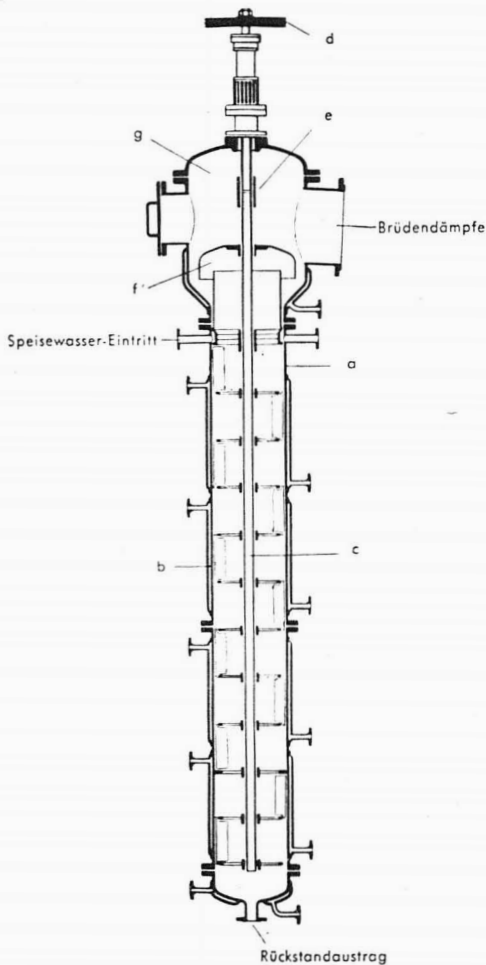


Bild 17.

Vereinfachtes Fließschema der Verdampferanlage zur Verdampfung stark radioaktiver flüssiger Konzentrate (siehe [3]).



Über die Regenerierung der Ionenaustauscher haben wir bereits früher [1], [3] berichtet. Bei sehr hochaktiven Abwässern sind, wie bereits oben erwähnt, 90—95 vH der Aktivität an die Kontaktkörner der Entkarbonisierung gebunden. Der Rest der Aktivität befindet sich fast ausschließlich in den Ionenaustauschern 1 und 3. In manchen Fällen wird es ratsam sein, auf die Regenerierung dieser zwei Austauscher zu verzichten und die Austauschermedien hydraulisch auszuspülen. Ansonsten wird die Regenerierung folgendermaßen durchgeführt:

1. Regenerierung der Ionenaustauscher 2 und 1 mit teilweise verbrauchter Säure aus einer früheren Regenerationsperiode.
2. Regenerierung der Austauscher 3, 2 und 1 in obiger Reihenfolge mit frischer Säure. Diese Säure dient bei der nächsten Regenerierungsperiode zur Regenerierung der Ionenaustauscher 2 und 1. Dasselbe gilt für die Austau-

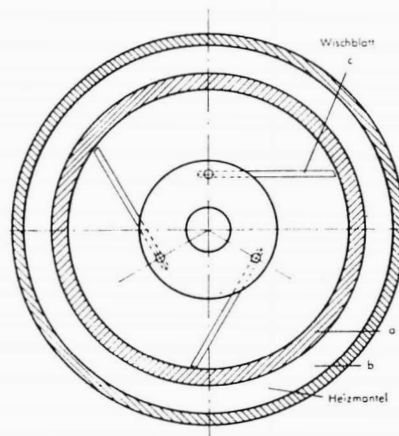


Bild 18.

Schnitte durch den Wischblatt-Dünnschichtverdampfer „Sambay“.

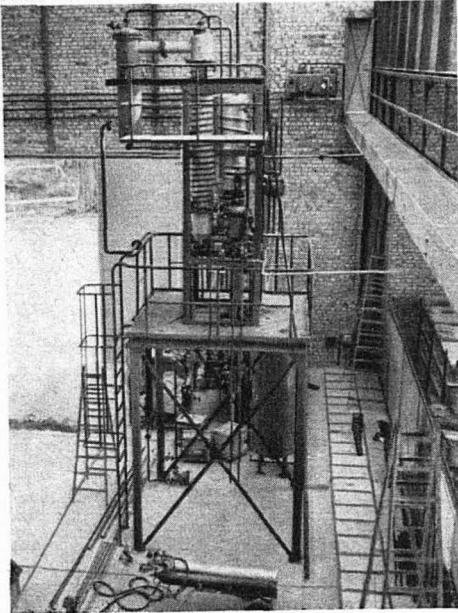


Bild 19. Versuchsaufbau der Verdampferanlage im Technikum der Kernreaktor-Bau- und Betriebsgesellschaft Karlsruhe.

scher 3 und 5. Das Mischbett wird gesondert mit frischer Säure und Lauge nach der Methode der getrennten Regeneration regeneriert.

Sowohl der erste Teil der Regeneriersäuren und Laugen wird miteinander vermischt, basifiziert und verdampft. Dasselbe gilt für  $\frac{1}{3}$  der Spülwässer.

#### Die Verdampfung

Über die Verdampfung als Methode der Entaktivierung von radioaktiven Abwässern wurde bereits am anderen Ort ausführlich berichtet [4].

In Karlsruhe kommt ein Dünnschicht-Wischblattverdampfer der Firma Samesreuther zur Verdampfung feststoffreicher Abwässer zur Anwendung. Das Fließschema der Verdampferanlage ist in Bild 17 dargestellt. Bild 18 gibt einen Vertikal- und Horizontal-Schnitt durch den Verdampfer, Bild 19 den Versuchsaufbau im Technikum der Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft Karlsruhe wieder. Der Verdampfer ist hinter Beton-Strahlenschutzwänden von 20 cm Bleiäquivalenz aufgestellt, wobei der Strahlenschutz jederzeit verstärkt werden kann. Die Nachreinigung des Dampfes erfolgt in einem Aerosolwäscher, bestehend aus einer raschigringgefüllten Rücklaufkolonne

sowie Glaswolle-Absolutfiltern. Bei Vorhandensein von elementarem Radiojod wird dieses in einem Hochtemperatur-Silbernitratfilter abgetrennt. Die Einspeisung in den Verdampfer erfolgt mittels Vakuum. Die hochradioaktiven Konzentrate werden in einer heißen Zelle in korrosionsschutzgeschützte Fässer abgefüllt und mit von der Verdampfung verbliebenem Restwasser mit Zement zu Beton angerührt. Für die Zukunft plant man in Karlsruhe nach kanadischem Vorbild eine Verschmelzung der radioaktiven Konzentrate mit Zuschlagstoffen bei hohen Temperaturen zu Glas. In dieser Form sind die radioaktiven Stoffe durch Wasser nur schwer eluierbar.

Die Konzentrate werden mit einem Hubstapler in den Bunker für radioaktive Festabfälle transportiert. In Bild 20 sehen wir den Transport von  $\beta$ -Strahlern in Sicken-deckelfässern in das Zwischenlager für radioaktive Festabfälle.



Bild 20. Abtransport von schwach radioaktiven Abfällen in das Zwischenlager.

Ein Strahlenschutzmann überwacht den Transport mittels eines sehr empfindlichen Meßgerätes.

Sämtliche mit oben geschilderten Methoden entaktivierte Abwässer werden nach Messung der spezifischen Restaktivität von zwei Übergabebehältern aus (Bild 9) zur chemischen Neutralisations- und Entgiftungsanlage gepumpt.

#### Literatur:

- [1] Krawczynski, S.: GWF 100 (1959), H. 36, S. 906/13.
- [2] Hartinger, L.: Industrieabwässer, April 1958, S. 43.
- [3] Krawczynski, S.: Kommunalwirtschaft (1959), H. 9, S. 392 ff.
- [4] Krawczynski, S.: Kerntechnik (1959), H. 1, S. 15 ff., H. 2, S. 60 ff., H. 5, S. 145 ff.