

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

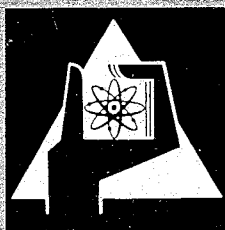
März 1968

KFK 720

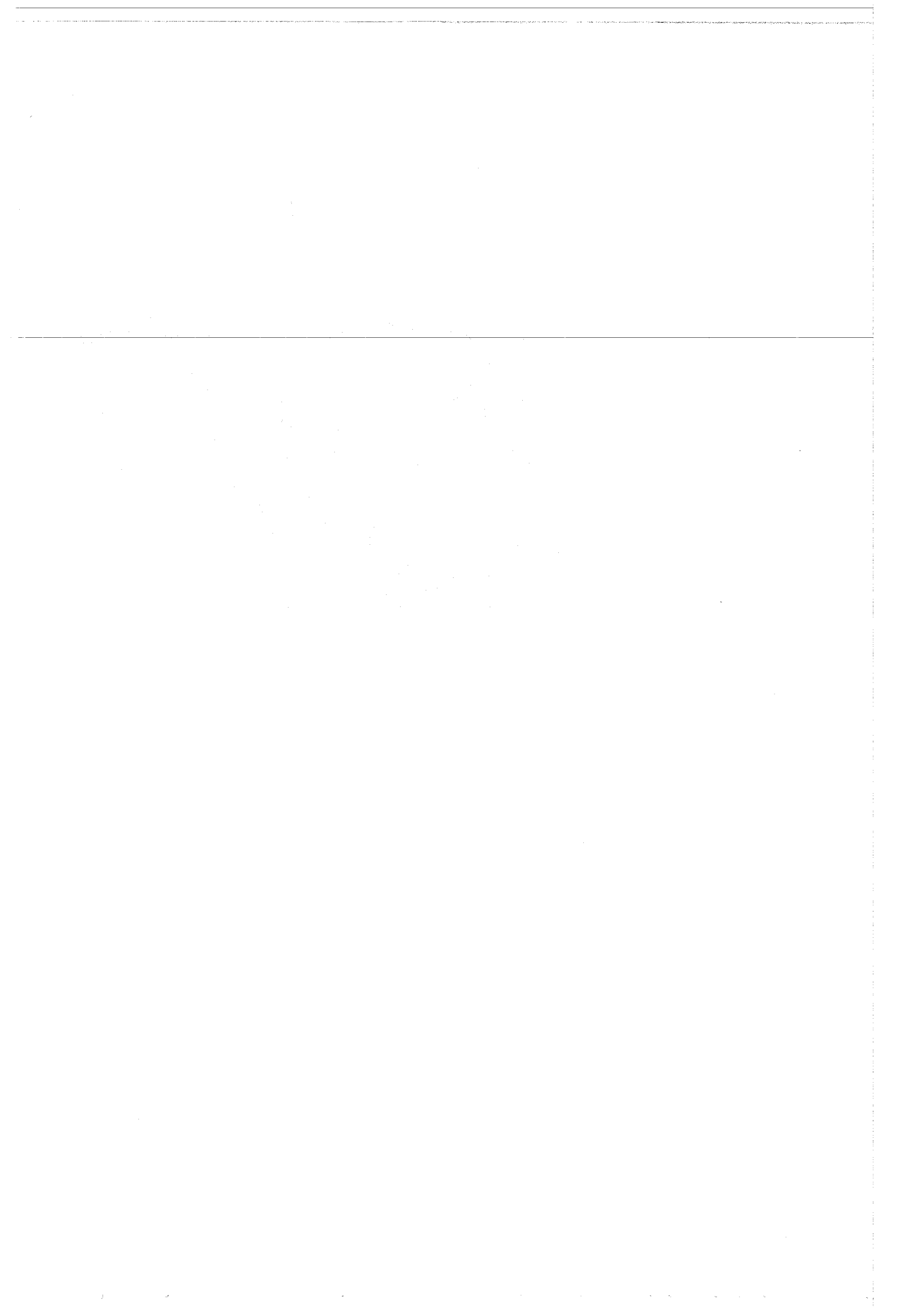
Abteilung Strahlenschutz und Dekontamination

Dekontamination von Reaktorbauteilen

H. Hepp



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE



---

# **Dekontamination von Reaktorbauteilen**

Von H. Hepp, Karlsruhe

Sonderdruck aus *Allianz-Berichte für Betriebstechnik und Schadenverhütung*.  
Heft 6, März 1968: 2. Allianz-Kolloquium über die Sachversicherung von Kernkraftwerken  
am 29. November 1967 in München.



Von H. Hepp, Karlsruhe\*)



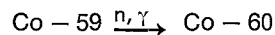
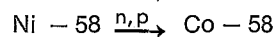
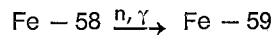
Zur Elektrizitätserzeugung werden in zunehmendem Maße Kernkraftwerke mit Reaktoren erprobter Konstruktion erstellt. Wenn die Vorhersagen der Fachleute zutreffen, dann sollen bis zum Jahr 1980 in der Bundesrepublik 15 000 bis 20 000 MWel in Kernkraftwerken installiert, d. h. etwa 30 Leistungsreaktoren errichtet werden. Mit der Gewinnung von Kernenergie ist die Kontamination von Reaktorbauteilen unlösbar verbunden. Der Zugang zu diesen Teilen wird dadurch eingeschränkt, und ihre Wartung sowie der Betrieb des Reaktors werden erschwert. Man ist schließlich gezwungen, die kontaminierten Teile zu reinigen oder auszuwechseln. In beiden Fällen sind unter Umständen beachtliche Mengen radioaktiver Abfälle zu beseitigen.

Wir müssen uns also zu Beginn dieser Entwicklung mit den Problemen der Dekontamination und der Beseitigung radioaktiver Abfälle auseinandersetzen. Es darf einerseits daraus keine Gefahr für die Menschheit erwachsen, aber andererseits muß auch der Aufwand hierfür in einem Rahmen bleiben, der eine wirtschaftliche Gewinnung von Kernenergie nicht in Frage stellt. In den folgenden Ausführungen wird die Beseitigung bzw. Lagerung radioaktiver Abfälle nicht berücksichtigt.

## Kontamination von Reaktorbauteilen

Unter einer Kontamination versteht man die unerwünschte Anwesenheit von Radionukliden in oder auf irgendwelchen Materialien. Bei Reaktoren setzt dieser Effekt praktisch mit ihrer Inbetriebnahme ein. Material des Primärkühlkreislaufes korrodiert, und die Korrosionsprodukte werden durch das Core transportiert

und im Neutronenfluß aktiviert, d. h. es werden Radionuklide gebildet, z. B.



Die Radionuklide setzen sich durch Adsorption, Fällung oder Ionenaustausch auf den Metalloberflächen ab und kontaminieren in der Weise alle Teile des Primärkühlkreislaufsystems. Der Aufbau der Radioaktivität an den Oberflächen erfolgt mit der Verkrustung durch die z. T. aktivierten Korrosionsprodukte.

Das Aktivitätsniveau an den Wandungen steigt mit der Zeit an, da die abgesetzten Radionuklide verhältnismäßig lange Halbwertszeiten (Fe-59: 45 Tage; Co-60: 5,3 Jahre) haben und nur ein geringer Teil der gebildeten Kruste wieder entfernt wird z. B. durch Auflösen oder Abblättern. Die Kontamination tritt bevorzugt an Stellen auf (Krümmungen, Ventile, Toträume), an denen die Strömung erschwert ist oder größere Temperaturunterschiede herrschen (Wärmetauscher).

Eine weitere Ursache von Kontaminationen in großem Umfang sind defekte oder äußerlich bei der Herstellung (z. B. mit Uran) verunreinigte Brennelemente, die Spaltprodukte in den Primärkühlkreislauf freisetzen.

## Deutung des Kontaminations- und Dekontaminationsprozesses

Die Vorgänge, die sich während der Kontamination bzw. der Dekontamination an der Oberfläche abspielen, sind nur schwer zu bestimmen. Die Kontamination kann sich staubförmig und verhältnismäßig lose auf der Oberfläche befinden; sie kann aber auch aus einer Lösung mit der Oberfläche chemisch reagieren. Man spricht im Einzelfall von einer Kontamination mit Radioisotopen durch Chemiesorption, durch physikalische Adsorption oder z. B. durch Diffusion in Risse oder Poren der Oberfläche.

Die Säuberung kontaminierter Oberflächen ist ein recht komplexer Vorgang und hängt vor allem von der Beschaffenheit der Oberfläche, d. h. ihrer Porosität, Rauheit, ihrer Benetzbarkeit, ihrer Reaktionsfähigkeit mit anwesenden Radionukliden sowie ihrem Adsorptionsverhalten ab. Das bedeutet, daß sich die Wahl eines Dekontaminationsverfahrens und der eingesetzten Mittel außer nach den vorliegenden Radionukliden und dem Alter der Kontamination, nach der Beschaffenheit der kontaminierten Oberfläche richten muß.

Bild 1 (Seite 23) zeigt das Ergebnis von Laborversuchen, bei denen Plättchen aus verschiedenem Material mit P-32, Ba-140 und J-131 kontaminiert wurden. Hier ist deutlich der Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit sowie das unterschiedliche Adsorptionsverhalten der genannten Radioisotope zu erkennen. Bei den Versu-

\*) Dr. rer. nat. H. Hepp, Gesellschaft für Kernforschung m. b. H., Karlsruhe

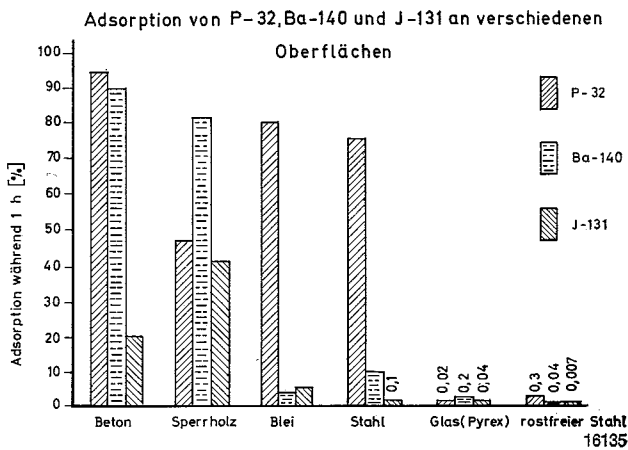


Bild 1. Abhängigkeit der Kontamination von der Oberflächenbeschaffenheit und dem Adsorptionsverhalten der Radionuklide [1].

chen wurden jeweils 0,1 ml einer Lösung mit einem der angegebenen Radionuklide auf ein Plättchen aufgetropft. Man ließ die Lösung eine Stunde lang einwirken, wusch sie ab und trocknete das Plättchen. Die auf der Oberfläche verbliebene Aktivität wurde gemessen [1].

Bei glatten Oberflächen werden zunächst die Ionen der Dekontaminationslösung adsorbiert und anschließend finden Austauschreaktionen zwischen der Oberfläche und der Lösung statt. Die Wirksamkeit und die Geschwindigkeit der Reinigung hängt also von der Verteilung der Radionuklide in den verschiedenen Phasen und einer raschen Gleichgewichtseinstellung ab.

Von porösen oder fehlerhaften Oberflächen lassen sich die Radionuklide wesentlich schwerer entfernen. Das bedeutet für die Dekontamination, daß wirksamere Verfahren und Mittel eingesetzt werden müssen, da die Radionuklide nicht nur direkt von der Oberfläche, sondern auch aus Poren oder Rissen zu beseitigen sind. Für die Dekontamination poröser Oberflächen sind Diffusionsvorgänge, die langsamer als Austauschreaktionen verlaufen, geschwindigkeitsbestimmend.

Neben diesen Diffusionsvorgängen spielen bei der Dekontamination mit chemischen Mitteln noch Reaktionen, wie die Ablösung nicht fest anhaftender Verunreinigungen, Ionenaustauschreaktionen, Reaktionen zwischen den Bestandteilen der Dekontaminationslösung und den adsorbierten Radionukliden sowie Komplexbildung eine Rolle.

### Die Dekontamination von Oberflächen

Um eindiffundierte Radionuklide mit normalem Zeitaufwand zu beseitigen, muß man eine dünne Oberflächenschicht abtragen. Oft läuft parallel zur Kontamination eine Korrosion oder Oxydation der Oberfläche. Normalerweise erschweren die entstandenen Korrosions- oder Oxydfilme die Dekontamination, da sie abgelöst werden müssen, unabhängig davon, ob die kontaminierenden Substanzen auf diesen Schichten fixiert sind oder sich direkt auf der Oberfläche befinden. In vielen Fällen lösen sich die Korrosions- und Oxydationsprodukte in den Dekontaminationsmitteln schlechter als das Grundmaterial.

Bei der Dekontamination mit Chemikalienlösungen treten deutliche Unterschiede in der Dekontaminierbarkeit verschiedener Oberflächen auf. So wird bei der Reinigung glatter, chemisch wenig reaktionsfähiger Oberflächen (z. B. Kunststoff) mit Säuren oder Komplexbildnern meistens der größte Teil der Kontamination schon durch einmalige Behandlung entfernt. Werden weitere Dekontaminationschritte erforderlich, so führen sie nur zum Erfolg, wenn man sie durch mechanische Reinigungsverfahren (z. B. Bürsten) unterstützt. Sehr günstig wirken sich bei der Reinigung das Erwärmen und Rühren einer Dekontaminationslösung aus. Metalloberflächen werden oft erst nach einer zweiten Dekontamination mit Säuren sauber oder wenn mit Oxydations- und Reduktionsmitteln gearbeitet wird. Sinkt nach einer Wiederholung der Reinigung die Oberflächenaktivität nicht mehr deutlich ab, dann ist eine weitere Säuberung mit dem gleichen Reagenz unrationell. Man muß dann vielmehr zu einem anderen Reagenz bzw. Verfahren übergehen.

In den Literaturangaben [2 bis 17] werden Dekontaminationsprobleme und praktische Erfahrungen bei der Oberflächendekontamination ausführlicher erörtert sowie verschiedene Dekontaminationsanlagen beschrieben.

### Dekontaminationsfaktor

Das Ergebnis einer Dekontamination drückt man durch den sogenannten Dekontaminationsfaktor

$$DF = \frac{\text{Aktivität der Oberfläche vor der Dekontamination}}{\text{Aktivität der Oberfläche nach der Dekontamination}}$$

aus. Ein angegebener DF-Wert ist aber nur als Richtwert anzusehen, der ein qualitatives Urteil über die Wirksamkeit eines Verfahrens oder eines eingesetzten Mittels erlaubt.

### Dekontaminationsverfahren und -mittel

Für die Oberflächenreinigung gibt es physikalische, chemische oder physikochemische Verfahren. Zu den physikalischen Methoden zählt man: Staubsaugen, Abwischen bzw. Abspritzen, Wasser- und Dampfstrahlen, Bürsten, Abschleifen und Abhobeln. Unter chemischen Methoden versteht man die Behandlung mit Säuren, Laugen, Komplexbildnern usw. sowie Ionenaustauscherverfahren. Als physikalisch-chemisch kann man die Kombination von physikalischen und chemischen Verfahren wie z. B. Elektropolieren ansehen [18–20].

Die Auswahl der Verfahren richtet sich vor allem nach der Art der Kontamination, der Kontaminationshöhe, dem gewünschten Dekontaminationsfaktor, der zu reinigenden Oberfläche und der Zeit, die für den Dekontaminationsprozeß zur Verfügung steht.

Die Zahl der angewandten Dekontaminationsreagenzien ist sehr groß. Eine Einteilung in bestimmte Klassen läßt sich nicht oder nur schwer treffen. Auch vom Standpunkt der Anforderung aus ist eine Klassifizierung nicht möglich, denn ein Dekontaminationsmittel soll verschiedene Eigenschaften besitzen:

- Es soll die Oberfläche schnell und vollständig benetzen und vorzugsweise an ihr adsorbiert werden
- Es soll die Kontamination gut ablösen, ohne die Oberfläche anzugreifen.

Es soll Komplexe mit den kontaminierenden Ionen eingehen, um ihre Rückadsorption zu verhindern.

Es soll wärmebeständig sein und damit ein Arbeiten in beheizten Becken über längere Zeit erlauben.

Außerdem verändert sich die Wirkung jeder Dekontaminationslösung in Abhängigkeit von Konzentration, Redoxpotential, pH-Wert, Temperatur, Einwirkzeit etc. Aus diesem Grund ist es unmöglich, ein Dekontaminationsmittel anzugeben, das sich für verschiedene Oberflächenmaterialien und alle Arten von Kontamination gleich gut eignet. Im folgenden werden deshalb die wichtigsten Dekontaminationsmittel ungeordnet aufgeführt.

#### Detergentien

Sie werden für die Dekontamination glatter, schwach kontaminierter Oberflächen verwendet. Ihre Wirksamkeit ist durch Temperaturerhöhung und Bürsten zu erhöhen. Korrosion tritt bei den eingesetzten niedrigen Konzentrationen (0,1 bis 1%) nicht ein. Verwendung finden die gleichen Detergentien, die auch im Haushalt und in der Industrie eingesetzt werden.

#### Komplexbildner

Man setzt Nitrilotriessigsäure (NTA), Äthylendiaminetetraessigsäure (EDTA) und ihre Salze ein. Auch manche Säuren, wie Flußsäure, Phosphorsäure, Oxalsäure, Weinsäure, Zitronensäure und ihre Salze wirken gleichzeitig als Komplexbildner. Dem Vorteil einer Maskierung unerwünschter Kationen stehen aber Nachteile gegenüber, z. B. die starke pH-Abhängigkeit und die Bildung schwer löslicher Salze, die den Dekontaminationsprozeß evtl. stören können. Am besten eignen sich EDTA und ihre Salze. Die Konzentration der Komplexbildner beträgt im allgemeinen 0,5 bis 1%. Die Konzentration der organischen Säuren und ihrer Salze, die vielfach als milde Dekontaminationsmittel allein verwendet werden, liegt zwischen 1 und 10%. Die organischen Säuren eignen sich für alle Oberflächen.

#### Laugen

Alkalische Lösungen mit oder ohne Zusätzen von Komplexbildnern werden gelegentlich für spezielle Dekontaminationszwecke verwendet, z. B. bei Kontamination mit Uran, Ruthenium und Niob 3 bis 10%ige NaOH mit  $\text{KMnO}_4$  und seltener auch alkalische  $\text{H}_2\text{O}_2$ -haltige Karbonatlösungen. Natriumtartrat- und  $\text{H}_2\text{O}_2$ -haltige NaOH wird z. B. für die Dekontamination von Edeltählen eingesetzt.

#### Säuren

Die wirksamsten aber auch zugleich aggressivsten Dekontaminationsmittel sind anorganische Säuren. Am häufigsten verwendet und verhältnismäßig billig sind  $\text{HNO}_3$  bzw.  $\text{HNO}_3$ -haltige Lösungen. Ihre Wirksamkeit ist durch Zusätze von  $\text{KMnO}_4$ , NaF oder HF zu steigern; diese Mischungen sind äußerst aggressiv. Sehr wirkungsvoll und dabei wenig aggressiv ist das Gemisch von 3% HF und 20%  $\text{HNO}_3$ , das vielfach bei der Dekontamination von Edeltählen verwendet wird. Man erhält dabei einen gleichmäßigen Abtrag und außerdem unterbleiben Lochfraß oder Korrosion an den Korngrenzen. HCl und  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , die nur unter Zusatz von Inhibitoren verwendbar sind, werden sehr selten gebraucht. Ebenso werden Phosphorsäure und

Amidosulfonsäure, die weniger korrodierend wirken, wenig und nur für besondere Zwecke eingesetzt.

#### Beiz- und Polierpasten

Sie werden für die Dekontamination großer Teile eingesetzt, um kontaminierte Abfalllösungen von der Reinigung einzusparen. Bei der Kunststoffreinigung führen besonders für die Endreinigung Polierpasten zum Ziel.

#### Dekontamination und Korrosion

Die Dekontamination von Metallen ist im wesentlichen ein Korrosionsprozeß, bei dem im Idealfall der Oberflächenfilm mit einer dünnen Schicht des darunterliegenden Materials entfernt wird. Es darf aber keine unkontrollierbare Korrosion stattfinden. Dadurch können empfindliche Geräte und Anlageteile unbrauchbar werden. Die eingesetzten Dekontaminationsmittel sind häufig stark sauer oder stark alkalisch. Saure Lösungen greifen aber Normalstahl und Aluminium beträchtlich an, wenn die geeigneten Inhibitoren fehlen. Bei der Dekontamination werden deshalb die gleichen Inhibitoren wie bei den Beizlösungen – organische Verbindungen, die eine oder mehrere stark polare Gruppen aufweisen – verwendet. Die Korrosion, die durch die Dekontaminationsreagenzien hervorgerufen wird, ist nicht nur auf die Abtragung des Metalls während des Dekontaminationsprozesses, sondern auch auf den weiteren Angriff bei den nachfolgenden Operationen als eine Folge der Entfernung des Schutzfilmes zurückzuführen.

Uneinheitliche Korrosion, z. B. Lochfraß, wirkt sich sehr störend aus. So wurden bei der Dekontamination von Primärkreisläufen mehrere Arten von nicht einheitlichen Angriffen auf die Metalloberflächen sowohl mit sauren als auch mit alkalischen Lösungen festgestellt, die tiefe Löcher und Risse in den Speziallegierungen entlang den Schweißnähten oder in Pumpenlagern ergaben. Vielfach fallen die Korrosionseffekte nicht sofort auf oder erscheinen erst nach mehrmaliger Dekontamination. Aus diesen Gründen soll man bei der Wahl der Dekontaminationsmittel sehr vorsichtig vorgehen, damit nicht z. B. durch zu aggressive Medien die Oberflächen beschädigt werden, d. h. in der Praxis muß man vorher die Abtragung durch Korrosion ungefähr abschätzen. Dabei ist auch der Metallverlust, der sofort nach der Dekontamination als Folge der Beseitigung des Schutzfilmes auftritt, mitzuzählen. Verschiedene Metalle, wie z. B. Normalstahl, korrodieren rapid, wenn man sie ohne Schutzfilm erneut dem Dekontaminationsreagenz aussetzt. Erst nach der Bildung des Schutzfilmes fällt die Korrosion bis zu einem Gleichgewichtswert ab. Dies wird im Bild 2 (Seite 25) am Beispiel des Normalstahls gezeigt [21]. 4 bedeutet Anstieg der Korrosion infolge der erhöhten Korrosionsrate nach der Dekontamination und  $\beta$  Metallverlust während der Dekontamination.

Bei der Zeit  $T_1$  korrodiert der Normalstahl mit gleichbleibender Geschwindigkeit, bis die Dekontamination beendet ist. Den Metallverlust während der Dekontamination gibt die Linie bc an. Nach der Dekontamination korrodiert das blanke Metall zuerst sehr rasch, bis wieder ein Gleichgewichtswert erreicht wird. Die Linie cd zeigt die erhöhte Korrosionsrate an und die Linie bd den Metallverlust während des gesamten Dekontaminationszyklus.

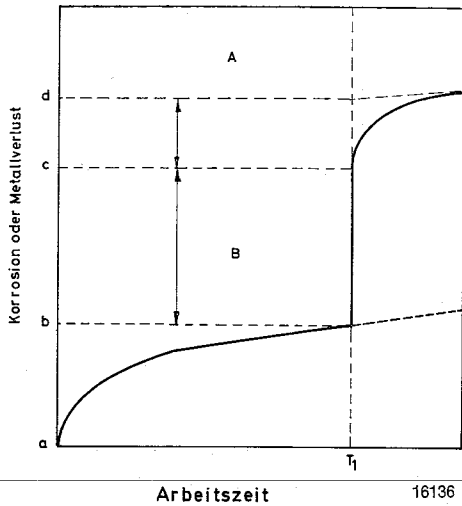


Bild 2. Korrosion bei der Dekontamination eines Normalstahls [21].

**Betriebserfahrungen mit der Dekontaminationsanlage des Kernforschungszentrums Karlsruhe**

**Beschreibung der Anlage**

Im Oktober 1964 wurde eine kleine Anlage zur Dekontamination radioaktiv verunreinigter Geräte in Betrieb genommen. Sie war ursprünglich für Dekontaminationsversuche vorgesehen, mußte aber sofort nach der Inbetriebnahme für die Reinigung der laufend anfallenden kontaminierten Geräte und Apparateile des Kernforschungszentrums eingesetzt werden.

Die Gerätedekontamination umfaßt einen Demontageraum, eine Arbeitshalle, drei Spezialarbeitsräume, ein Chemikalien- und ein Gerätelager. Die Material-Eingangsschleuse dient gleichzeitig als Lager für die kontaminierten Geräte, die Ausgangsschleuse als Meßraum für das gereinigte Material. Die Arbeits-einrichtungen sind für die Teile bis zu 1 m Länge und 500 kg Gewicht ausgelegt und beim Überschreiten dieser Größen nur mit Einschränkungen zu benutzen. Der Transport zwischen den einzelnen Einheiten erfolgt mit Hilfe von Hubwagen und einer Laufkatze.

Die kontaminierten Gegenstände werden in PE-Säcken angeliefert und zunächst in der Eingangsschleuse

Bild 3: Begehbare Demontagebox. Hier wurde eine Glovebox auspackt: auf der linken Seite liegt die Plastikhülle. Da die Glovebox wegen ihrer Größe in keiner anderen Arbeitseinrichtung gereinigt werden kann, muß sie in der Demontagebox vollständig dekontaminiert werden.

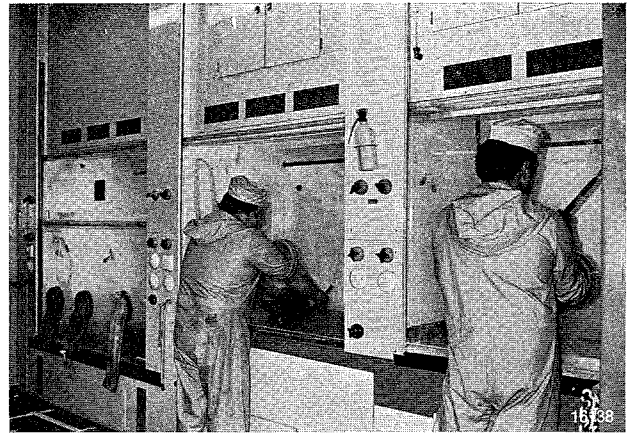
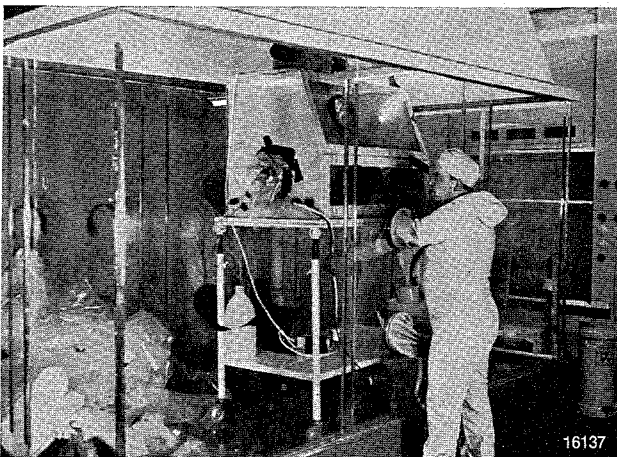


Bild 4. Abzüge für die Demontage bzw. die Vordekontamination. In den Abzügen können Geräte bzw. Apparateile entsprechender Größe zerlegt (das erfolgt gerade im mittleren Abzug) und z. B. mit rotierenden Bürsten unter Zusatz von Chemikalienlösungen oder auch organischen Lösungsmitteln (diese Arbeit wird im rechten Abzug ausgeführt) bearbeitet werden.

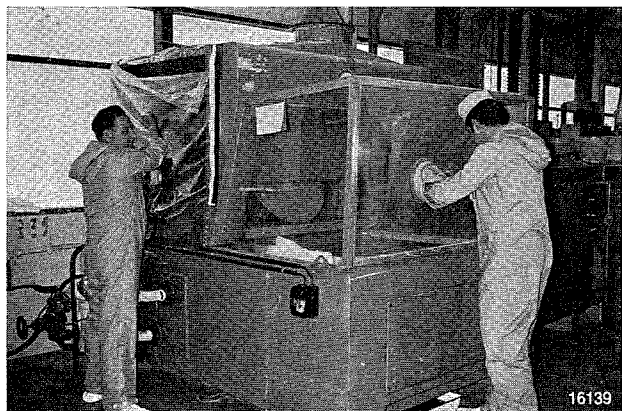
gelagert. Von dort werden sie mit einer Laufkatze in den Demontageraum gebracht und in einem großen begehbaren Abzug (3,5 x 1,5 m) mit verschiebbaren Seitenwänden (Bild 3) ausgepackt, in Einzelteile zerlegt und gegebenenfalls vorgereinigt.

Von der begehbaren Demontagebox werden kleine bzw. schon zerlegte Teile nach dem Auspacken in die Abzüge überführt (Bild 4), die mit Spannvorrichtungen und Einrichtungen für eine Handbehandlung versehen sind.

Die eigentlichen Reinigungsarbeiten erfolgen dann in der anschließenden Arbeitshalle. Eine erste Reinigung fast aller Teile wird in einer handelsüblichen Metallwaschmaschine (Bild 5) durchgeführt, die mit einer Beschickungsbox ausgestattet wurde. Hier werden die Gegenstände ca. 10–15 Min. allseitig in einer heißen Lösung (meist schwach saure Metallreinigungsmittel) abgespritzt. Die Lösung wird solange verwendet, bis sie zu stark kontaminiert ist.

In einer Dampfstrahlkabine (Bild 6 S. 26) wird überhitztes Wasser von 140 °C, dem Chemikalien zudosiert werden, auf die auf einem Drehrost befestigten Teile gespritzt. Sie ist als eine Ergänzung zur Metallwaschmaschine anzusehen, vor allen Dingen, wenn es sich

Bild 5. Metallwaschmaschine. Die Reinigung ist beendet; die Teile werden mit dem auf Schienen laufenden Arbeitsrost zunächst unter der Beschickungsbox abgestellt und verbleiben dort kurze Zeit, bis sich kein Dampf mehr entwickelt, der sonst zu Kontaminationen oder Inkorporationen führen könnte.





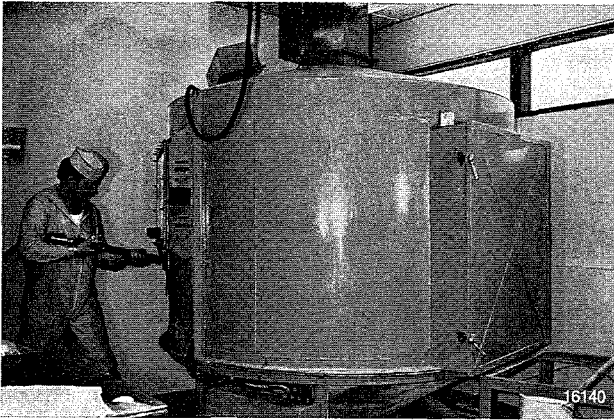


Bild 6. Dampfstrahlkabine. Auf der Bedienungsseite befinden sich die Dampfstrahlantenne und das Beobachtungsfenster. Die Beschickung erfolgt von der Seite mit einem beweglichen Rost.

um stärker kontaminierte Teile handelt, die eine rasche Kontamination der im Kreislauf geführten Reinigungslösung der Metallwaschmaschine hervorrufen würden. In der Dampfstrahlbox ist die Abwassermenge, die nach jeder Reinigung beseitigt werden muß, verhältnismäßig gering.

Zur Beizbehandlung stehen 4 beheizbare Edelstahlbecken (Bild 7) mit einem Fassungsvermögen von je 1 m<sup>3</sup> zur Verfügung. Die Becken sind mit Wipprosten ausgestattet, die für die Beladung aus den Becken ausgefahren werden können. Daneben stehen noch einige Tauchbecken verschiedener Abmessungen.

Mit den bisher beschriebenen Verfahren wird vielfach bereits eine ausreichende Dekontamination erzielt. Wenn eine Behandlung mit Säuren- und Chemikalienlösungen nicht ausreichen sollte, schließt sich eine

Bild 8. Die Naßsandstrahlanlage ist durch eine Hubtür in einen Beschickungs- und einen Arbeitsraum unterteilt. Kontaminierte Gegenstände werden mit einem auf Schienen beweglichen und drehbaren Arbeitsrost in den Arbeitsteil geschoben. Nach der Bearbeitung werden sie im Beschickungsteil mit Wasser abgespritzt und herausgenommen. Auf dem Bild ist der Innenraum der Beschickung zu erkennen.

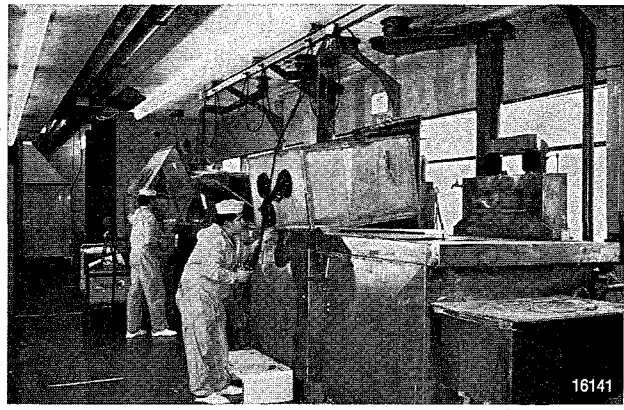
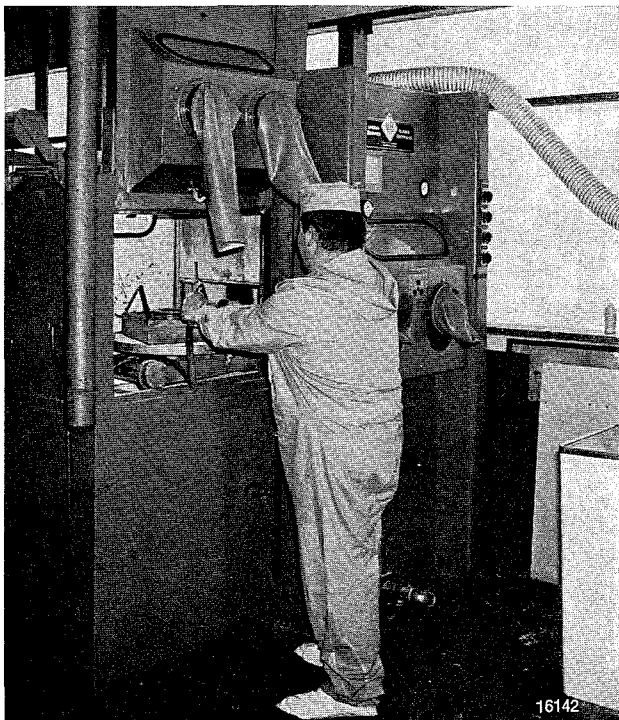


Bild 7. Edelstahlbecken für Tauchbehandlung. Die Beizbehandlung ist in einem Becken beendet worden. Bevor der Wipprost mit den behandelten Teilen ausgefahren wird, muß eine Box auf das Becken aufgesetzt werden, damit kein Dampf in den Arbeitsraum gelangt. Beim Be- und Entladen steht der Wipprost nämlich über der Beckenabsaugung.

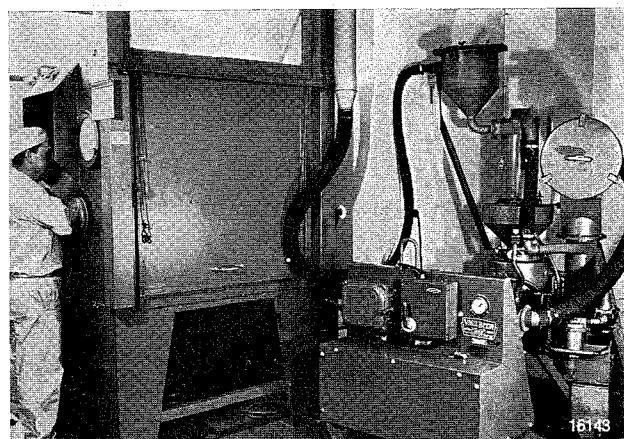
Oberflächenabtragung an. In einer Naßsandstrahlbox (Bild 8) werden die kontaminierten Gegenstände mit einer Aufschlämmung von Quarzmehl in Wasser, dem Chemikalien zugesetzt sind, gestrahlt. Der Strahl wird mit Preßluft von 3–6 atü auf die zu bearbeitenden Oberflächen gerichtet. In einem Vorratstrichter unter der Box wird das Gemisch gesammelt und solange im Kreislauf verwendet, bis es zu stark kontaminiert ist. Die verhältnismäßig geringe Abtragung macht das Verfahren auch für die Bearbeitung kontaminierter Reaktorbauteile interessant.

Für die Behandlung weniger empfindlicher Teile (z. B. Pumpengehäuse aus Guß) wird eine Trockensandstrahlanlage (Bild 9) verwendet. Das Strahlgut wird im Kreise geführt und kontinuierlich über einen Staubabscheider gereinigt. Als günstig erwies sich für diese Arbeiten Korund mit Körnungen von 30–120 mesh.

Die Behandlung ausgesprochener Kleinteile wird entweder in einem abgeschirmten Abzug mit Greifwerkzeugen oder in einem unabgeschirmten Abzug von Hand durchgeführt.

Sämtliche Arbeitseinrichtungen sind mit Luftabsaugung, einige zusätzlich mit Schleusen versehen. Dadurch wird erreicht, daß keine kontaminierte Luft in die Arbeitsräume gelangt und die Beschäftigten in der Regel in normaler Arbeitskleidung und ohne

Bild 9. In der Sandstrahlanlage wird ein kontaminierter Gegenstand bearbeitet. Auf der rechten Seite ist die umfangreiche Einrichtung für den Kreislaufbetrieb und die Staubabscheidung zu sehen.



Atemschutzgeräte arbeiten können. Die Arbeitseinrichtungen wurden so ausgewählt, daß möglichst wenig Handarbeiten zu verrichten sind.

Die beschriebene Dekontaminationsanlage erlaubt nur die Bearbeitung kleinerer Teile. Größere und schwerere Teile werden in einer provisorischen Box mit etwa 20 m<sup>2</sup> Grundfläche gereinigt. In dieser Arbeitsbox, die in einer Garage errichtet wurde, können die Beschäftigten in Gasschutzanzügen arbeiten. Allerdings bereitet der Transport der schweren und sperrigen Gegenstände große Schwierigkeiten. Die Handhabung stärker  $\alpha$ -kontaminierter Geräte ist ebenfalls nicht möglich. Deshalb wurde eine neue, große Anlage gebaut, die voraussichtlich im Frühjahr 1968 in Betrieb genommen wird. Sie enthält u. a. eine Arbeitshalle, in der Großteile bis zu 8 m Länge und 25 t Gewicht bearbeitet werden können. In einer zweiten Halle können die kleineren Teile dekontaminiert werden. Hier werden die noch brauchbaren Apparate aus der bestehenden Kleingerätedekontamination aufgestellt. Weiterhin ist in der neuen Anlage ein Raum zur Bearbeitung von kleinen  $\alpha$ -kontaminierten Geräten in Gloveboxen vorgesehen. In einer weiteren Arbeitshalle sollen größere  $\alpha$ -kontaminierte Geräte von Mitarbeitern in Gasschutzanzügen bearbeitet werden.

Die Einteilung der einzelnen Arbeitseinrichtungen zeigt der Grundriß (Bild 10). Besonders zu erwähnen sind die großen Arbeitseinheiten, in denen auch die schweren Reaktorbauteile ohne Schwierigkeiten bearbeitet werden können. In einem Demontagebecken (8 x 2,5 x 2,5 m) werden die Teile unter Wasser ausgepackt und zerlegt, um Aerosolbildung zu vermeiden. Eine große Arbeitsbox (10 x 5 x 4,5 m), die für eine Belastbarkeit von 80 t ausgelegt ist, kann einen beladenen Tieflader (z. B. mit Brennelementbehältern) zur Dekontamination aufnehmen. Die Box ist mit

einem beweglichen Sprührahmen — ähnlich den in automatischen Autowaschanlagen — ausgestattet, mit dem heiße, saure Lösungen auf kontaminierte Teile gesprüht werden. Ähnlich ist eine zweite, kleinere Dekontaminationsbox (5 x 3 x 3 m) ausgerüstet, die zusätzlich mit einer Naßsandstrahlanlage versehen ist. In beiden Boxen wird im wesentlichen in Gasschutzanzügen gearbeitet. Schließlich ist ein Rohrtauchbecken (8 x 0,5 x 0,5 m) mit einem Spezialanschluß vorhanden, um auch Rohrinnenspülungen ausführen zu können (Bild 11, S. 28).

#### Betriebserfahrungen

Seit der Inbetriebnahme der Anlage vor 3 Jahren wurden etwa 10 000 Teile mit einem Neuwert von 6 bis 7 Millionen DM dekontaminiert.

Vor Fertigstellung der Anlage im Oktober 1964 führte man die Dekontaminationsarbeiten in provisorisch hergerichteten Einrichtungen in Räumen der Abwasserdekontamination durch. In der graphischen Darstellung (Bild 12, S. 28) sind deshalb die Vierteljahresdurchsätze schon ab 1963 eingetragen.

Der größte Teil der angelieferten Teile hatte in 10 cm Abstand von der Oberfläche eine Strahlung von einigen mr/h. Werte von einigen r/h kamen selten vor. Rund 50 % der Geräte konnte soweit gereinigt werden, daß eine Oberflächenkontamination praktisch nicht mehr nachzuweisen war. Ein weiteres Viertel hätte mit einem höheren Arbeitsaufwand bis zum gleichen Grade dekontaminiert werden können. Darauf wurde jedoch verzichtet, da keine Notwendigkeit hierzu bestand. Der Rest hätte auch mit größerem Aufwand nicht vollständig dekontaminiert werden können. Die verbliebene geringfügige Aktivität beeinträchtigt jedoch die nötigen Reparaturen nur unwesentlich bzw. den Wiedereinsatz in aktiven Bereichen überhaupt nicht.

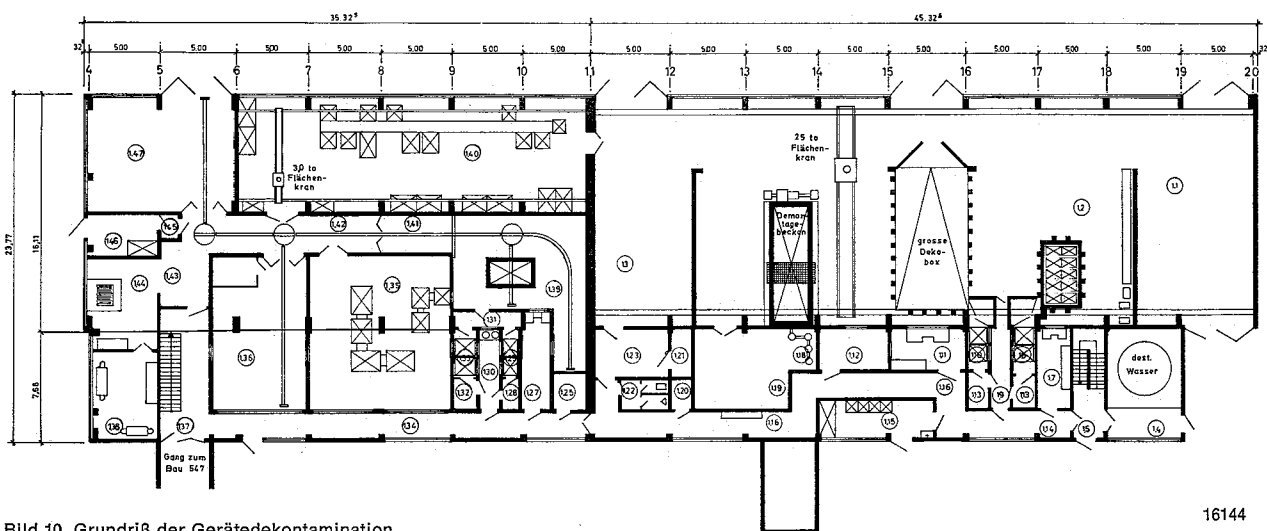


Bild 10. Grundriß der Gerätedekontamination.

16144

1.1 Durchfahrt	129,8 m <sup>2</sup>	1.13b Umkleideraum	3,8 m <sup>2</sup>	1.25 Putzraum	6,3 m <sup>2</sup>	1.37 Treppe	27,7 m <sup>2</sup>
1.2 Dekontam. Halle	469,1 m <sup>2</sup>	1.14 Gang (Tür bis Achse 16)	12,8 m <sup>2</sup>	1.29 Froschmannndusche	4,7 m <sup>2</sup>	1.38 Warme Werkstätte	28,9 m <sup>2</sup>
1.3 Meßplatz	98,9 m <sup>2</sup>	1.15 Lager für Chemikalien	15,8 m <sup>2</sup>	1.30 Helferraum	8,3 m <sup>2</sup>	1.39 $\alpha$ -Gerätedekont.	73,4 m <sup>2</sup>
1.4 Behälter für dest. Wasser	40,0 m <sup>2</sup>	1.16 Gang Achse 11—14	44,0 m <sup>2</sup>	1.31 Calhène-Schleuse	9,0 m <sup>2</sup>	1.40 Kleingerätedekont.	193,1 m <sup>2</sup>
1.5 Flur	16,1 m <sup>2</sup>	1.18 Jonenaustauscher	6,9 m <sup>2</sup>	1.28 Umkleideraum	3,88 m <sup>2</sup>	1.41 $\alpha$ -Geräteschleuse	14,9 m <sup>2</sup>
1.7 Überwachung	13,4 m <sup>2</sup>	1.19 Geräteraum	30,3 m <sup>2</sup>	1.27 Überwachung	14,4 m <sup>2</sup>	1.42 Gang	52,8 m <sup>2</sup>
1.8 Froschmannndusche	7,16 m <sup>2</sup>	1.20 Putzraum	3,2 m <sup>2</sup>	1.32 Umkleideraum	3,8 m <sup>2</sup>	1.43 Schuhbarriere	2,0 m <sup>2</sup>
1.9 Schuhbarriere	8,1 m <sup>2</sup>	1.21 Meßgerätelager	4,7 m <sup>2</sup>	1.33 Froschmannndusche	4,7 m <sup>2</sup>	1.44 Warme Werkstätte	30,5 m <sup>2</sup>
1.10 Froschmannndusche	7,16 m <sup>2</sup>	1.22 WC	6,8 m <sup>2</sup>	1.34 Gang	44,0 m <sup>2</sup>	1.45 Schleuse	2,0 m <sup>2</sup>
1.11 Überwachung	14,5 m <sup>2</sup>	1.23 Meßgerätelager	14,7 m <sup>2</sup>	1.35 PU-Abwasserdekont.	99,5 m <sup>2</sup>	1.46 Lackierung	15,4 m <sup>2</sup>
1.12 Meisterbüro	14,9 m <sup>2</sup>			1.36 Meßraum		1.47 Eingangslager	39,9 m <sup>2</sup>
1.13a Umkleideraum	3,8 m <sup>2</sup>			Remontage	64,2 m <sup>2</sup>		

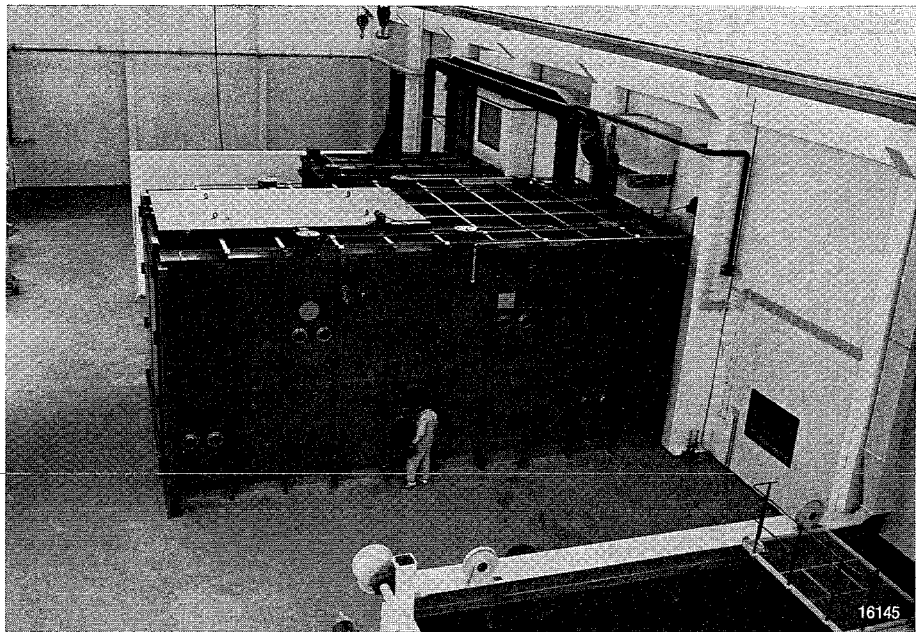


Bild 11. Blick auf das Demontagebecken und die beiden Dekontaminationsboxen in der großen Arbeitshalle.

Sehr häufig setzt man als ersten Dekontaminations-schritt die Reinigung in der Metallwaschmaschine ein. Bei dieser Behandlung werden lose auf der Oberfläche sitzende oder andere geringe Kontaminationen oftmals vollständig entfernt. Rund 25 % der Teile benötigen keine weitere Reinigung. Mit dem Dampfstrahlgerät waren unter den vorliegenden Bedingungen keine wesentlich besseren Ergebnisse als mit der Metallwaschmaschine zu erzielen. Das Gerät kam zum Einsatz, wenn höhere Aktivitäten vorlagen, die das im Kreislauf geführte Reinigungsmittel der Metallwaschmaschine zu rasch kontaminiert hätten.

Fast alle Geräte, die in der Metallwaschmaschine bzw. Dampfstrahlbox nicht ausreichend zu dekontaminieren waren, wurden einer Tauchbehandlung unterworfen, davon die Hälfte nacheinander in verschiedenen Lösungen. Im allgemeinen mußten Kontaktzeiten von mehreren Stunden bei Temperaturen um 60 °C aufgewendet werden.

In vielen Fällen, in denen die Behandlung mit Chemikalien keinen ausreichenden Erfolg hatte und eine geringfügige Abtragung der Oberfläche vertretbar war, erwies sich die Naßsandstrahlung als wirkungsvolles Verfahren, beispielsweise bei fest anhaftenden Oxidschichten. Rauhe Oberflächen werden durch die Naßsandstrahlung geglättet, während polierte anschließend nachzubehandeln sind.

Die Trockensandstrahlung eignet sich in erster Linie für die Reinigung von Gußteilen und von anderen weniger empfindlichen Geräten. Durch die Verwendung von feinkörnigem Strahlgut ist es möglich, die Oberflächenabtragung gering zu halten. Die Dekontaminationswirkung ist in der Regel sehr gut, selbst bei porösen Materialien. Die kontinuierliche Abscheidung des Abriebs hält die Aktivität des eingesetzten Korunds niedrig und trägt damit zum guten Erfolg bei.

#### Zusammenstellung der in der beschriebenen Dekontaminationsanlage gereinigten Reaktorbauteile

In Tafel 1 (Seite 29) werden Reaktorbauteile sowie andere kontaminierte Gegenstände, die von den Reaktorbetrieben zur Reinigung in die Dekontamina-

tionsanlage gebracht wurden, aufgezählt. Die Aufstellung enthält neben der Bezeichnung und der Materialangabe der Teile den Grund der Dekontaminationsforderung, die Anfallzahlen, die eingesetzten Dekontaminationsverfahren und -mittel sowie die benötigte Arbeitszeit. Man kann sagen, daß fast in allen Fällen gute bis sehr gute Dekontaminationsergebnisse erzielt werden konnten. Einige Beispiele hierfür sind in Tafel 2 (Seite 29) aufgeführt.

#### Dekontamination von Primärkreisläufen bzw. Reaktorbauteilen in anderen Ländern Europas und in den USA

Das schwere Wasser des RA-Reaktors (Jugoslawien) zeigte bei den Messungen von Ende 1961 bis Herbst 1963 einen ständig steigenden Gehalt an Co-60. Gleichzeitig erhöhte sich auch die Strahlung so stark, daß eine Dekontamination erforderlich wurde. Der hohe Co-60-Gehalt des D<sub>2</sub>O war auf Korrosion in den Zirkulationspumpen zurückzuführen, die Lager aus Stellite mit etwa 60 % Co besaßen. Insgesamt wurden auf den Edelstahloberflächen des Primärkreislaufsystems ca. 10 Ci, auf den Aluminiumoberflächen (Ex-

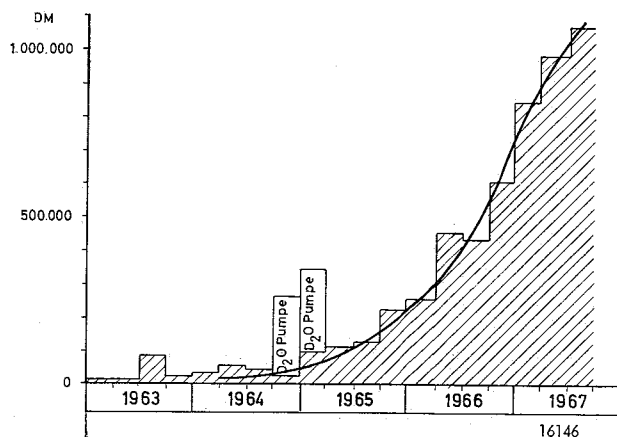


Bild 12. Vierteljahresdurchsätze der Gerätekontamination von 1963 bis 1967 bezogen auf den Neuwert der dekontaminierten Teile.

Gegenstände	Material	Grund der Dekontamination	Anfall pro Reaktor	Gesamtanfall (Stck.)	Arbeitszeit (h/Stck.)	Dekontaminationsverfahren und -mittel
Ventile und Schieber	Edelstahl gummiert	Teileaustausch	5 Stck./a	30	10	Beizbecken Beizsäuren
Rohre, Krümmer	Edelstahlguß	Abbau von Pumpen	10 Stck./a	50	5	Beizbecken, Naßsandstrahlen HNO <sub>3</sub>
Versch. Förderpumpen	Edelstahl	Verschleiß	2 Stck./a	12	60	Beizbecken HNO <sub>3</sub>
Abwasserpumpen	Normalstahl gummiert	Verschleiß	2 Stck./a	10	40	Beizbecken H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> Beizbecken KMnO <sub>4</sub> ,
Primärkreislaufpumpen	Edelstahl	Verschleiß der Lager, Garantieschäden	2-3 Stck./a	4	250	Beizsäuren, HF
Wärmeaustauscher	Edelstahl	Undichtigkeiten im Röhrensystem, Ablagerungen		1	200	versch. Beizsäuren
Brennelement-Umkehrstücke	Edelstahl	Beladung des Reaktors oder Core-Umsetzung	bis zu 100 Stck./a	300	8	Edelstahlbeizpasten
-Oberteile	Edelstahl	Beladung des Reaktors oder Core-Umsetzung		200	9	Elektropolieren
-Transportrohre	Edelstahl	Beladung des Reaktors oder Core-Umsetzung		200	7	Edelstahlbeizpasten
Brennelement-transportbehälter	Edelstahl	Brennelement-transport	1 Stck./a	6	50	Edelstahlbeizpasten
Schwere Transport- und Wechselflaschen (bis 65 t)	Edelstahl u. Normalstahl	Reparaturen	1 Stck. in 2 bis 3 Jahren	6 1	200 bis 300	versch. Säuren, Lösungsmittel
Versch. Werkzeuge	Normalstahl	Anfall b. Repar.	100 Stck./a	1000	1	Beizbecken, HNO <sub>3</sub>
Meßgeräte und Meßeinsätze	verschied.		5 Stck./a	30	25	Lösungsmittel

Tafel 1. Aufstellung von Reaktorbauteilen und anderen kontaminierten Gegenständen, die von den Reaktorbetrieben zur Dekontamination abgegeben wurden.

Teile	mr/h vor der Dekontamination	mr/h nach der Dekontamination
Ventile, Rohre	100 bis 500	1 bis 10
Förder- und Abwasserpumpen	200 bis 500	2 bis 5
Pumpen des Primärkreislaufs	1 500 bis 2 000	10 bis 50
Brennelementoberteile	bis 10 000	< 50
Brennelementtransportbehälter	500	< 1

Tafel 2. Angabe der Dosisleistungsmessungen vor und nach der Dekontamination.

perimentierkanäle und Brennelementhülsen) ca. 600 Ci und im Kühlwasser selbst etwa 50 Ci an Co-60 gemessen. Für die Dekontamination sowohl der Edelstahlteile als auch der Aluminiumoberflächen bewährten sich warme Lösungen mit 7% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> und 2% CrO<sub>3</sub>. Nach der Dekontamination war an den Oberflächen der Edelstahl- und der Aluminiumteile nur eine geringe und gleichmäßige Abtragung festzustellen. Die Dosisleistung an den einzelnen Pumpenteilen konnte von im Maximum 3 r/h auf 10 bis 140 mr/h reduziert werden. Die gesamte Dekontamination nahm etwa zwei Monate in Anspruch [22].

Der Plutonium Recycle Test Reaktor (PRTR) in Hanford wurde im Herbst 1965 wegen eines Brennelementschadens abgeschaltet. Bei dieser Gelegenheit dekontaminierte man den Primärkreislauf mit Hilfe einer alkalischen Permanganatlösung, gefolgt von einer Zitronensäurelösung. Als Inhibitor waren Diäthylthioharnstoff und Eisensulfat zugesetzt. Dosisleistungsmessungen vor und nach der Dekontamination ergaben Maximalwerte von 4500 mr/h bzw. 25 mr/h; die Durchschnittswerte lagen bei 300 mr/h bzw. 10 mr/h. Die Edelstahl- und Zirkaloyoberflächen wurden bei der Reinigung gleichmäßig und nur geringfügig korrodiert. Die Dekontaminationsarbeiten – ohne Vorbereitungen – konnten innerhalb 48 Stunden erledigt werden. Auch hier war der Gehalt an

Co-60 in den Korrosionsprodukten die Hauptursache der Kontamination [23, 24].

Der New Production Reactor (NPR) in Hanford verfügt als einziger Reaktor in den USA über ein eingebautes Dekontaminationssystem. Bei seiner Konstruktion wurden folgende Vorkehrungen getroffen, um das Ausmaß von Kontaminationen, d. h. die Häufigkeit von Dekontaminationen herabzusetzen:

- ein Ableitungssystem, um der Verbreitung von radioaktiven Substanzen, die z. B. durch Brennelementschäden in den Kühlkreislauf gelangen können, entgegenzuwirken;

- isolierte Aufstellung der Primärpumpen und Hauptdampfgeneratoren in 6 abgeschirmten Zellen; Einbau eines Rohrleitungssystems mit einem Minimum an Toträumen, Spalten und Vertiefungen;

- strenge Materialanforderungen, um den Gehalt von Elementen wie Kobalt und Silber, die den Hauptanteil der Aktivität von Ablagerungen bringen, niedrig zu halten.

Für die Dekontamination wurden Chemikalienbehälter, Mischbehälter, Rohrleitungen und Ventile installiert. Die vorbereiteten Chemikalienlösungen oder Spülwässer können an jeden Punkt des Primärkreislaufes gepumpt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, das Kühlsystem zu unterteilen, d. h., nach Bedarf teilweise zu dekontaminieren. Die verbrauchten, kontaminierten Lösungen können in speziellen Behältern aufgefangen werden. Das Dekontaminationssystem wurde 1965 an zwei der 12 Dampfgeneratoren, die für eine Überprüfung zu säubern waren, erprobt. Als Dekontaminationsmittel dienten hierbei eine alkalische Permanganatlösung, gefolgt von einer Amidosulfonsäurelösung. Man rechnet damit, daß in 1 bis 3 Jahren die entstandenen Co-60-Ablagerungen

die Dekontamination des Primärkreislaufes erfordern werden [23].

Bei der Bestrahlung von Americium-241 am BR-2-Reaktor in Mol im Sommer 1967 waren zwei Kapseln undicht geworden. Dabei wurden die Oberflächen des Primärkreislaufes hauptsächlich durch Curium-242 kontaminiert. Das sehr feinkörnige Cm-242 konnte durch die Reaktorfilter nicht zurückgehalten werden. Da es in Form eines unlöslichen Oxides vorlag, waren auch die eingesetzten Ionenaustauscher praktisch wirkungslos. Außerdem haftete es sehr fest an den Metallwänden, so daß Reinigungsverfahren wie Bürsten oder Schrubben mit Chemikalienlösungen keinen Erfolg brachten. Schließlich gelang es mit Hilfe von Lanthannitrat als Trägersubstanz den größten Teil des Curium-242 über Ionenaustauscher aus dem Wasser des Primärkreislaufsystems zu entfernen [25]. In Saclay wird der Wärmeaustauscher aus dem Primärkreislauf des FL-3-Reaktors jährlich zweimal dekontaminiert. Früher durchspülte man die Rohre mit Chemikalienlösungen bei Raumtemperatur und reinigte sie mechanisch. Wegen der hohen Strahlenbelastung mußten sich bis zum Abschluß der Arbeiten 13 Beschäftigte abwechseln. Neuerdings schließt man einen Edelstahlbehälter über Spezialverbindungsstücke an den Wärmeaustauscher an. Von hier aus können die Spülflüssigkeiten durch die Rohre des Wärmeaustauschers gepumpt werden. Der Behälter ist mit einer Heizung und einem Rührer ausgestattet. Als Dekontaminationsmittel werden alkalische Permanganatlösung und hinterher Oxalsäure eingesetzt. Eine anschließende Spülung mit Salpetersäure dient zur Passivierung. Dieses Verfahren bringt einen erheblichen Zeitgewinn sowie bessere Dekontaminationsergebnisse und außerdem eine wesentlich geringere Strahlengefährdung [26]. Weitere Angaben und Einzeldarstellungen über diese Probleme können aus der Literatur ersehen werden [27 bis 33].

Die erwähnten Beispiele zeigen, daß die Dekontamination von Primärkreislaufsystemen bzw. einzelnen Reaktorteilen durch eine erhöhte Strahlung, durch festhaftende Produkte, durch verschiedenartige Ablagerungen usw. sehr erschwert sein kann und den Einsatz verschiedener Dekontaminationsverfahren und -mittel, die oft erst erprobt werden müssen, erfordert. In den genannten Fällen führte die Dekontamination zum Erfolg und die gereinigten Teile konnten uneingeschränkt wiederverwendet werden.

#### Wirtschaftlichkeits- und Schlußbetrachtung

Bei stärker kontaminierten Reaktorbauteilen ist vielfach die Wartung oder Reparatur nicht mehr möglich. Man muß sich dann entscheiden, ob die Teile dekontaminiert oder durch neue ersetzt werden sollen. Ehe man sich für das Abgeben des stark kontaminierten und evtl. defekten Teiles zum radioaktiven Abfall entschließt, soll man sich den Preis des Ersatzteiles, die Kosten für die Beseitigung bzw. Lagerung des Abfalls sowie die mögliche Ausfallzeit für die Beschaffung des Ersatzes überlegen. Die Dekontamination bietet den Vorteil, daß man in kurzer Zeit wieder über das Teil verfügen kann. Es ist aber zu empfehlen vor jeder Dekontamination eine Kostenbetrachtung anzustellen.

Man kann sagen, daß sich bei teuren oder schwer zu beschaffenden Gegenständen die Dekontamination lohnt. Die Festlegung einer Grenze, ab der eine Reinigung unwirtschaftlich wird, muß von Fall zu Fall entschieden werden.

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß man die Dekontaminationserfahrungen bei der Errichtung neuer Anlagen verwerten sollte und beim Bau oder Kauf von Teilen entsprechende Anforderungen hinsichtlich des Materials, der Verarbeitung und der Konstruktion stellt sowie auf die gute Dekontaminierbarkeit der Oberflächen achtet.

#### Schrifttum

- [1] Tompkins, P. C., O. M. Bizzell, C. D. Watson: Practical Aspects of Surface Decontamination. *Nucleonics*, 7 (1950) No. 2, S. 42.
- [2] Tompkins, P. C., O. M. Bizzell, C. D. Watson: Paints, Plastics, and Floor Materials. *Industr. Engng. Chem.*, 42 (1950) No. 8, S. 1475.
- [3] Barry, P. J.: Some General Considerations in Chemical Decontamination. *Health Physics*, 1 (1958), S. 184.
- [4] Pomarola, J.: Méthodes de décontamination et d'intervention. Conférence du 17 Février 1960 au Centre National d'Etudes de la Protection Civile à Nainville-les-Roches.
- [5] Pomarola, J.: Conception des bâtiments servant à la décontamination des matériels fortement contaminés et volumineux, CEA, Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, 1er Sept. 1960.
- [6] Pomarola, J.: La décontamination des matériels et des locaux. *Bull. Inform. Sci. Tech.*, No. 39 (Avril 1960).
- [7] Mestre, E.: La décontamination des surfaces. *Énergie Nucléaire*, 3 (1961), S. 309.
- [8] Meservey, A. B.: Procedures and Practices for the Decontamination of Plant and Equipment. *Progress in Nucl. Energy*, Series IV, 4 (1961), S. 377.
- [9] White, J. M.: Decontamination Principles and Techniques. AECL - 1427 (1961).
- [10] Cook, A.: Principles and Recommended Practice for Decontamination of Radioactive Areas and Equipment. AHSB (S)R-32 (1962).
- [11] Moldenhawer, H. F.: Kontamination und Dekontamination von Oberflächen. *Kernenergie* 5 (1962) Nr. 8, S. 585.
- [12] Rodier, J., H. Bouzigues, P. Boutot: La décontamination du matériel dans le centre de production de plutonium de Marcoule. *Energie Nucl.*, 4 (1962) No. 5, S. 352.
- [13] Neil, J., A. M. Marko: Decontamination of Buildings and Equipment. AECL - 1531 (1962).
- [14] Blythe, H. J.: Decontamination at Harwell. AERE.R - 4307 (1963).
- [15] Cook, A. ed.: Decontamination. A Symposium Held at Risley on 20th March, 1963. AHSB (S) R - 57 (1963).
- [16] Cerré, P., J. de Kerdelleau, E. Mestre: Essais de décontamination par traitement chimique. Note CEA No. 415 (1963).
- [17] Clare, G. W.: The Decontamination Service at A.E.R.E. Harwell. CONF - 555 - 11 (1964).
- [18] Huff, J. B.: Electrodecontamination of Metals. *Nucleonics*, 14 (1956) No. 6, S. 70.
- [19] Cerré, P., E. Mestre, J. de Kerdelleau: Applications du polissage électrolytique à la décontamination de matériels contaminés par des éléments radioactifs. *Bull. Inform. Sci. Tech.*, No. 84 (Juin 1964), S. 37.
- [20] Siewert, G. und G. Trimborn: Elektrolytische Entseuchung radioaktiv verseuchter Metalloberflächen. *Kernenergie* 7 (1964) Nr. 5, S. 335.
- [21] Ayres, J. A.: Corrosion Aspects of Reactor Decontamination. *Proc. Series, Corrosion of Reactor Materials*, 1 (1962), S. 199.
- [22] Maksimović, Z., et al.: Decontamination of the Heavy Water System of the RA Reactor. *Bull. Boris Kidrič Institute of Nucl. Sciences*, 16 No. 4 (Oct. 1965), S. 263.
- [23] Ayres, J. A., L. D. Perrigo, R. D. Weed: Decontamination of a PWR. *Nucleonics*, 25 (1967) No. 4, S. 58.

- [24] Ayres, J. A.: Decontamination of Nuclear Reactor Systems. Materials Protection, 5 (1966), S. 11.
- [25] More Details on the BR - 2 Accident at Mol. Nucl. Engineering, 12 (1967) No. 137, S. 730.
- [26] Cerré, P. E. Mestre: Décontamination d'un échangeur de chaleur. Note CEA - N 516 (Fév. 1965).
- [27] Zegger, J. L., G.P. Pancer, W.S. Brown, D.D. Foley: Contamination and Decontamination in Nuclear Power Reactors. APAE - 43, Vol. 1 (1959).
- [28] Hughes, E. O., J. W. Greenwood: Contamination and Decontamination of NRU. Nucleonics, 18 (1960) No. 1, S. 76.
- [29] Scott, C. D., R. R. Holcomb: Reactor Coolant Cleanup. Nucl. Safety, 4 (1962) No. 2, S. 79.
- [30] Meservey, A. B.: Peroxide - Inhibited Decontamination Solutions for Carbon Steel and other Metals in the Gas-Cooled Reactor Program: Progress Report, Nov. 1959 - July 1962. ORNL - 3308.
- [31] Gibson, S. P., G. M. Allison, J. F. Atherley: Decontamination of the E - 20 Loop in NRU. Nucl. Technol., 2 (1963), S. 50.
- [32] Michael, N., G. R. Taylor, P. Cohen: Techniques of Atomic Reactor Plant Decontamination. ASME Publ., Paper 62 - WA - 290 (1963).
- [33] Rhode, K. L., R. R. Hammer, C. A. Zimmermann, M. E. Jacobson: Decontamination of Certain Reactor Components. IDO - 14 661 (1966), S. 94.

## Diskussion zum Referat von H. Hepp

**Kartak:**

„Herr Hepp, Sie sagten in Ihrem Referat, daß Sie Reaktorteile im Wert von etwa 6 Millionen DM dekontaminiert haben. Es wäre interessant zu erfahren, wie hoch dabei die Dekontaminierungskosten lagen.“

**Hepp:**

„Die Summe von 6 Millionen DM bezog sich auf den Wert sämtlicher Teile, die im Kernforschungszentrum dekontaminiert worden sind. Darunter nehmen die Reaktorbauteile, die zumeist einen hohen Neuwert besitzen, einen erheblichen Anteil ein. Von unserer Finanzabteilung wird ein Stundensatz von rd 70 DM berechnet. In diesem Betrag sind die Abschreibungen und die allgemeinen Verwaltungskosten eingerechnet. Die Betriebskosten und Personalkosten allein betragen etwa 42 DM je Stunde Dekontaminierungsarbeit. Über den Gesamtaufwand in unserer Gerätedekontamination im Jahre 1966 kann ich Ihnen folgende Zahlen nennen.

Personalkosten	150 000 DM
Strahlenschutz und Strahlenmeßdienst	40 000 DM
Materialverbrauch	40 000 DM
Wartung und Reparaturen	15 000 DM
Dampf und Preßluft	15 000 DM
Strom	18 000 DM
Heizung	6 000 DM
Wasser (Frischwasser)	2 000 DM
Chemieabwasser (zum konventionellen Klärwerk) etwa	7 000 DM
Wäscherei	3 500 DM
Chemikalien und Putzmittel	7 500 DM
Schutzkleidung	9 000 DM

Ich brauche nicht besonders darauf hinzuweisen, daß beim Dekontaminieren Abfälle entstehen, deren Bearbeitung und Lagerung hohe Kosten verursachen. Für die Aufbereitung des Abwassers rechnen wir zur Zeit mit rd. 180 DM/m<sup>3</sup>. Der Lagerpreis für Festabfälle, der natürlich eine Vorbehandlung mit einschließt, errechnet sich zur Zeit mit etwa 1 500 bis 2 000 DM/m<sup>3</sup>.

Ich möchte Ihnen noch einige Dekontaminationskosten aus anderen Anlagen angeben, wobei allerdings nicht bekannt ist, ob auch Abschreibungs-, Verwaltungskosten u. ä. darin enthalten sind. In Saclay liegen sie bei ca. 14% des Neuwertes der dekontaminierten Teile, in Marcoule bei ca. 18% (hier handelt es sich um mit Plutonium kontaminierte Teile, bei deren Reinigung die Beschäftigten nur unter Gaschutz arbeiten können); von englischen und ameri-

kanischen Anlagen werden Kosten von 10-15% des Neuwertes genannt. Für die Dekontamination von Teilen aus Heißen Zellen und Reprocessinganlagen, die ein fernbedientes Arbeiten erfordern, sind Werte von über 20 bzw. sogar über 30% angegeben worden.“

**Kartak:**

„Herr Braun, wir kennen in der nuklearen Sachversicherung Begriffe der betriebsbedingten und der unfallbedingten Kontamination. Wie kann ich nun bei einem Unfall oder bei einem Sachschaden die entstehenden Dekontaminationskosten eindeutig der einen oder der anderen Art zuordnen?“

**Braun:**

„Ich kann Ihnen ad hoc nicht sagen, wie man in der Praxis zwischen betriebsbedingter Verseuchung und unfallartiger Verseuchung unterscheiden wird. Man kann das im Augenblick nur abschätzen, es ist eine Frage der Erfahrung - mit einer Ausnahme: Wenn es sich um Teile handelt, die betriebsbedingt überhaupt nicht verseucht werden. Eine ähnliche Abschätzung finden Sie in anderen Bereichen der Versicherungswirtschaft auch, z. B. bei der Abgrenzung zwischen Maschinen- und Feuerversicherung. Auch in der Bauwesenversicherung, insbes. bei contractors all risk, müssen Sie bei einer globalen Versicherung eine gewisse Abgrenzung vornehmen. Im allgemeinen führt das aber nicht zu Schwierigkeiten bei der Abrechnung, wenn auf beiden Seiten Fachleute verhandeln.“

**Kartak:**

„Die Beispiele aus der Bauwesen- und Maschinenversicherung hinken etwas, denn in diesen Fällen habe ich zwei Versicherer und einer muß Ersatz leisten. Im Falle einer Kontamination dagegen stehe ich nur einem Versicherer gegenüber und die Entscheidung lautet: ersatzpflichtig in welcher Höhe, oder nicht ersatzpflichtig.“

**Braun:**

„Selbstverständlich haben Sie es dann nur mit einem Versicherer zu tun. Das entbindet aber den Versicherer und den Versicherungsnehmer nicht davon, sich über die Schadenfestsetzung zu einigen. Da wir noch kein praktisches Beispiel haben, müssen wir abwarten, bis der erste Schadenfall eintritt. Ich bin sicher, daß er sich lösen läßt, aber ein Patentrezept liegt im Moment nicht vor.“

Wir haben heute zum ersten Mal eine Vorstellung von der Größenordnung der Kosten erhalten, die auf uns

zukommen. Zu den Kosten, die in Karlsruhe entstehen, kommen z. B. noch die Transportkosten. Da es sich um kontaminierte Teile handelt, muß der Transport in Spezialbehältern durchgeführt werden. Außerdem kann es sein, daß die Kraftwerks-Gebäude kontaminiert sind und abgewaschen werden müssen."

**H e p p :**

„Es wurde erwähnt, daß es Teile gibt, die nicht mehr vollständig zu dekontaminieren sind. Das bedeutet aber nicht, daß diese Teile nicht mehr eingesetzt werden können. Aus der Praxis kann ich Ihnen sagen, daß die Wiederverwendung der genannten Teile in aktiven Bereichen fast in allen Fällen möglich war. Es ist eine Frage der Wirtschaftlichkeit, ob man kontaminierte Teile weitgehend reinigt oder nicht.

Zur Kostenentwicklung selbst möchte ich folgendes sagen: Wenn Sie sich überlegen, daß z. B. die Arbeitsstunde eines Kfz-Mechanikers etwa 20 Mark kostet, ohne daß z. B. Materialien dazu gerechnet sind und daß bei unseren Arbeiten das Tragen von Schutzkleidung oder sogar Gasschutzanzügen notwendig ist und diese Kleidung meistens wieder dekontaminiert werden muß, außerdem sehr hohe Kosten durch die Belüftung der Arbeitsräume, die Maßnahmen zum Sammeln der radioaktiven Abfalllösungen, das Ein- und Ausschleusen von Personen und Material entstehen, dann können Sie leicht ermessen, wie es zu den genannten Stundensätzen kommt.“

**B r a u n :**

„Ich glaube, man sollte sich an den Stundenkosten von 70 Mark nicht zu sehr stoßen. Es gibt einige Beispiele über durchgeführte Dekontaminationen im Ausland: Ein Schaden ereignete sich in einem japanischen Labor, die Entseuchung kostete rd. 1 Million DM. Einen zweiten Entseuchungsfall gab es bei einem Westinghouse Reaktor im Jahre 1960. Dort lag der Schaden bei einem Brennelement, das 4000 Dollar kostet; die gesamten Entseuchungskosten betragen dagegen rd. 1 Million Dollar. Die Nebenkosten, die Herr Hepp anführte, sind meiner Ansicht nach gravierender als die reinen Lohn- und Betriebskosten, die vielleicht mit 42 Mark je Stunde relativ hoch erscheinen.“

**S c h e n k :**

„Herr Hepp, in welchem Maße wird diese Anlage durch das Kernforschungszentrum ausgelastet sein und in welchem Ausmaß wird sie von Interessenten außerhalb des Kernforschungszentrums, also z. B. von Kernkraftwerksbetreibern benutzt werden können?“

**H e p p :**

„Für ein großes Kernforschungszentrum mit seinen vielen und unterschiedlichen Einrichtungen muß eine entsprechende Dekontaminationsanlage zur Verfügung stehen. Die Praxis zeigt, daß die Kleinteildekontamination im wesentlichen ausgelastet sein wird. Die Großteildekontamination verfügt dagegen noch über viel freie Kapazität, d. h. wir sind durchaus in der Lage, für auswärtige Interessenten, die selbst nur unter großen Schwierigkeiten dekontaminieren können, gerade große Teile zur Dekontamination anzunehmen. Nach der Inbetriebnahme der neuen Anlage wird es noch einfacher sein, diese Teile zu bearbeiten. Wir haben auch schon Teile von auswärtigen Firmen dekontaminiert, z. B. von Kahl eine Wasserpumpe aus dem Primärkreislauf. Außerdem bereiteten wir schon

radioaktives Abwasser für verschiedene auswärtige Firmen auf.

Neben der stationären Anlage verfügen wir noch über einen mobilen Dekontaminationstrupp für Arbeiten an Gebäuden und Anlagen innerhalb des Kernforschungszentrums. Für Zwischenfälle außerhalb des Kernforschungszentrums wird zur Zeit der Kerntechnische Hilfszug im Auftrag des Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung in Karlsruhe aufgebaut. Mit diesem Hilfszug konnten bereits einige kleinere Einsätze, im wesentlichen in Laboratoriumsgebäuden durchgeführt werden. Dabei handelte es sich vor allem um Kontaminationen durch Radiumverbindungen. Der Hilfszug wurde im letzten Jahr schon in Neuherberg bei München und in der vergangenen Woche in Lingen mit einer kleinen Einsatzübung vorgestellt. Natürlich muß noch sehr viel getan werden; besonders sind noch Spezialgeräte für größere Einsätze zu entwickeln und zu beschaffen.“

**F e l d m a n n :**

„Herr Hepp, ich möchte noch einmal auf die Durchschnittskosten zurückkommen. Sie erwähnten, daß z. B. in Saclay der Dekontaminationsaufwand etwa 14% des Neuwertes beträgt, meines Wissens liegt dies in Karlsruhe ähnlich. Mich würde interessieren – Karlsruhe hat ja außer Reaktorbauteilen auch andere Teile dekontaminiert – ist die Dekontamination von Reaktorbauteilen wesentlich aufwendiger oder die anderer Teile?“

**H e p p :**

„Dazu möchte ich sagen, daß Reaktorbauteile grundsätzlich nicht schwieriger zu dekontaminieren sind als andere Teile. Es kommt auf die Höhe der Aktivität, das Alter der Kontamination, die Beschaffenheit der Oberflächen und darauf an, ob es sich um ein kompliziertes Teil – z. B. ist ein Manipulator schwieriger als ein Pumpengehäuse zu dekontaminieren – handelt. Ein Beispiel hierzu: Die D<sub>2</sub>O-Pumpen vom FR 2 wurden schon mehrmals mit verhältnismäßig geringem Aufwand dekontaminiert. Dagegen war die erwähnte Pumpe von Kahl, die schon längere Zeit eingesetzt und mit einer Schicht von Korrosionsprodukt überzogen war, nur sehr schwierig zu dekontaminieren; das erforderte natürlich mehr Arbeitsstunden. Hinsichtlich des Dekontaminationsaufwandes kann ich Ihre Aussage bestätigen. Im Kernforschungszentrum Karlsruhe betragen die Dekontaminationskosten je nach dem Schwierigkeitsgrad der Reinigung zwischen 10 und 15% des Geräteneuwertes.“

**M a r n e t :**

„Sie sprachen von nur einem Dekontaminationszentrum in Deutschland, in Jülich gibt es ein ähnliches Zentrum. Kann man dort auch schon dekontaminieren, wenn ja, sind dort die Kostenverhältnisse ähnlich?“

**W e g m a n n :**

(Ergänzter Beitrag)

In der Kernforschungsanlage Jülich wird zur Zeit eine umfangreiche Dekontaminationsanlage gebaut. Die Baumaßnahmen sind bis auf die Inneneinrichtung praktisch abgeschlossen. Es ist davon auszugehen, daß die einzelnen Anlagenteile nach und nach bis Ende 1969 in Betrieb genommen werden können. Die Dekontaminationsanlage soll im wesentlichen eine Verdampfer-, Ionenaustauscher- und Veraschungsanlage sowie eine Geräteentstrahlung enthalten.

Die Verdampferanlage wird eine Leistung von 2 m<sup>3</sup> radioaktiver Abwässer in der Stunde haben. Die festen Rückstände werden in Lagerfässern durch Zugabe von Beton verfestigt und bis zur Abgabe an eine Bundessammelstelle gelagert.

Die Ionenaustauscheranlage soll der Aufbereitung besonderer radioaktiver Abwässer dienen. Der erreichbare Dekontaminationsgrad erlaubt die gefahrlose Ableitung des aufbereiteten Wassers in den Vorfluter. Die bei der Regenerierung der Austauschermassen anfallenden Lösungen werden wie radioaktive Abwässer (in der Regel nach Durchsatz in der Verdampferanlage) weiter behandelt.

Die Veraschungsanlage dient der Einengung aller brennbaren radioaktiven Abfälle, wie z. B. Labormüll, Kunststoffe, Filtermaterial, Textilien, Kadaver von Versuchstieren. Die Asche wird etwa 5–10% des ursprünglichen Volumens einnehmen. Sie wird gegebenenfalls in Lagerfässern durch Zugabe von Beton verfestigt und bis zur Ablieferung an eine Bundessammelstelle eingelagert.

In der Geräteentstrahlung werden kontaminierte Geräte, Armaturen, Maschinenteile usw. gereinigt. Entsprechende Einrichtungen ermöglichen alle gebräuchlichen Verfahren, wie Dampfstrahlen, Sandstrahlen, Honen, Ultraschallbehandlungen usw.

In einer provisorischen Geräteentstrahlungseinrichtung werden zur Zeit bereits kontaminierte Gegenstände, wie Manipulierarme, Transportbehälter, Werkzeuge, Reaktorteile, mit einem Neuwert von DM 20 000 bis DM 30 000 im Monat dekontaminiert. Da der Anfall an kontaminierten Gegenständen in den letzten Monaten insbesondere im Zusammenhang mit dem Umbau der beiden Forschungsreaktoren FRJ-1 und FRJ-2 die Kapazität des Provisoriums weit übersteigt, müssen diese Teile bis zur Fertigstellung der Großanlage eingelagert werden.

Bei der Geräteentstrahlung fallen feste und flüssige Rückstände an. Die festen Rückstände, z. B. aktiver Sand, werden in der Regel eingelagert. Wasser und

sonstige Flüssigkeiten werden wie radioaktive Abwässer behandelt. Geräteteile, die nicht genügend gereinigt werden können, werden im Abfallager eingelagert.

Es ist vorgesehen, derartige Teile sowie sperrige Gegenstände, vorwiegend Reaktorteile, die in der Masse durch Neutronenbestrahlung aktiviert sind und deshalb nicht dekontaminiert werden können, vor einer Einlagerung in ihrem Volumen durch Zerkleinern, Pressen, Einschmelzen und ähnliche Verfahren zu verringern.

Neben der provisorischen Geräteentstrahlung besteht ein mobiler Dekontaminationstrupp, dessen Aufgabe die Entstrahlung von Laboratorien und Betriebseinrichtungen an Ort und Stelle, insbesondere auch in den Reaktoren ist.

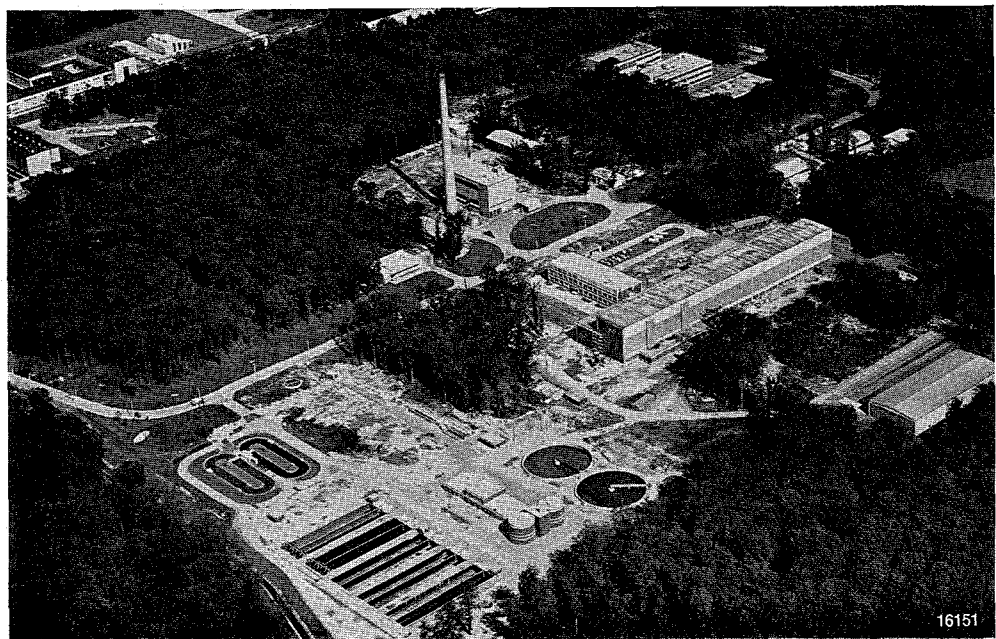
In einer Beizelei werden stationär und mit mobilen Einrichtungen in den Laboratorien und Betriebseinrichtungen Dekontaminationsbeizungen durchgeführt. Korrosionsschäden sind weitgehend ausgeschlossen, da beim Apparatebau von vornherein mit Rücksicht auf gegebenenfalls notwendige Beizungen geeignete Werkstoffe ausgewählt worden sind, und im Einzelfall die Beizrezepturen mit entsprechenden Passivierungsverfahren kombiniert werden. Mit diesem Verfahren sind bereits hervorragende Ergebnisse erzielt worden.

In der Aktivwäscherei wird die gesamte Wäsche und Arbeitskleidung des in Aktivbereichen eingesetzten Personals gereinigt. Der Reinigungseffekt wird strahlenmeßtechnisch überwacht.

Zu den Kosten der Dekontaminationsarbeiten kann noch nicht abschließend Stellung genommen werden, da die endgültigen Einrichtungen noch nicht in Betrieb genommen sind. Der Berechnung werden jedoch folgende Werte zu Grunde gelegt:

1. Personalkosten einschließlich Gemeinkostenzuschläge:
 

z. B. Lohnempfänger	DM 11,60
Laboranten	etwa DM 13,— bis DM 15,—
Techniker und	
Ingenieure	etwa DM 16,— bis DM 25,—



Blick auf die Kernforschungsanlage Jülich (Luftaufnahme: Aero-Lux, Frankfurt. Frei Reg. Präs. Wiesbd. Nr. 851/66)

16151



## 2. Gerätekosten:

unterschiedliche Stundensätze,  
Basis: Anschaffungskosten, Abschreibung,  
Reparatur, Vorhaltekosten etc.

Die Dekontaminationskosten berechnen sich demnach nach der Arbeitszeit und der Verwendung der Geräte. Nach den bisherigen Erfahrungen liegen die Kosten durchschnittlich bei 10–15% des Geräteneuwertes. Aus diesem Wert dürfen jedoch allein keine Rückschlüsse auf die Wirtschaftlichkeit der Dekontamination geschlossen werden. Eine kontaminierte und zugleich schadhafte oder alte Maschine erhält durch die Dekontamination nicht ihren Neuwert zurück. Andererseits können die Kosten für die Einlagerung eines kontaminierten Gegenstandes in einer Sammelstelle den Neuwert des Gegenstandes weit übersteigen.

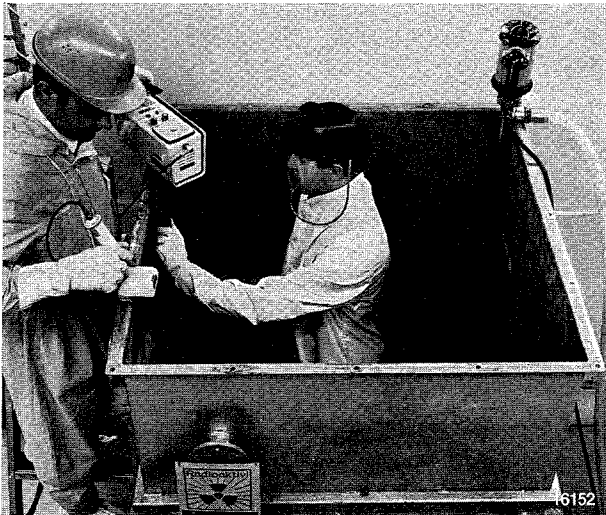
Zu der Frage der Abgrenzung der betriebsbedingten und unfallbedingten Kontamination sei nach unserer bisherigen Erfahrung bemerkt, daß es sich bei Kontaminationen in der Regel um sogenannte betriebsbedingte gehandelt hat. Soweit das nicht der Fall war, war die Ursache durch ein bestimmtes Ereignis eindeutig festzulegen, wobei auch die Abgrenzung etwa vorhandener betriebsbedingter Kontaminationen keine besonderen Schwierigkeiten geboten hat.“

## Mialki:

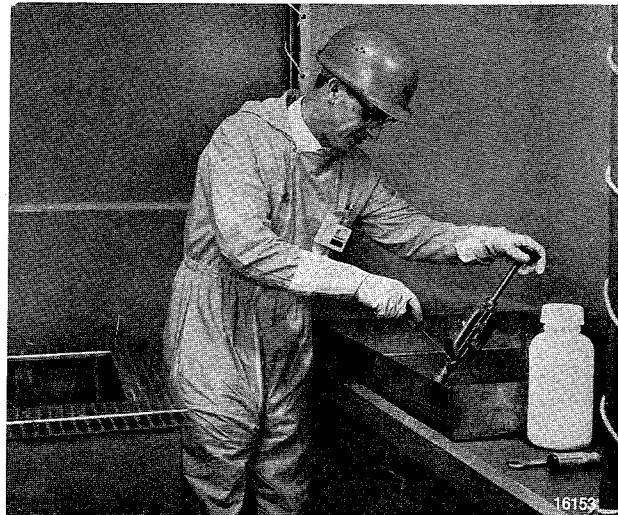
„Herr Hepp, Sie ließen in Ihrem Referat anklingen, daß auch das Problem der Beseitigung der Spaltprodukte auf uns zukommt. Wenn man eine Überschlagsrechnung aufstellt, ergibt sich bei einem Gigawattjahr elektrischer Arbeit rd. eine Tonne Spaltprodukte, deren Aktivität auch in der Größenordnung von GCurie liegt. Rechnet man, daß von einem bestimmten Zeitpunkt an etwa 40% der erzeugten Energie aus Kernkraftwerken stammen, dann fielen also rd. 200 t Spaltprodukte jährlich an, die zu beseitigen sind. Hat man sich überhaupt schon Gedanken darüber gemacht, wo diese Spaltprodukte gelagert werden können?“

## Hepp:

„Wir haben im Labor mit Versuchen zur Beseitigung dieser Abfälle begonnen, zunächst mit inaktiven, aber auch mit schwach aktiven Stoffen. Es ist vorgesehen, die hochaktiven Spaltproduktlösungen zu kalzinieren und anschließend zu Gläsern zu verschmelzen, die später im Salzbergwerk „Asse“ eingelagert werden sollen. Mit den ersten Abfällen aus der Wiederaufbereitungsanlage in Karlsruhe rechnen wir etwa 1972/73. Bis zum Jahr 1980 erwarten wir etwa 30 m<sup>3</sup> verfestigte, hochaktive und selbsterhitzende Abfälle.“



Oberflächendekontamination eines Edelstahlbehälters. Der Reinigungseffekt wird mit Hilfe eines Kontaminationsmeßgerätes laufend überwacht.



Strahlenschutzgerechte Zerlegung einer Handbohrmaschine zur anschließenden Behandlung in einem Ultraschall-Reinigungsgerät.