

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

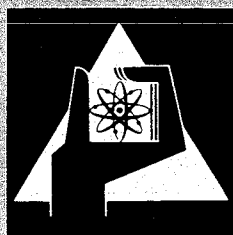
Dezember 1974

KFK 2114

Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle  
Abteilung Dekontaminationsbetriebe  
Projekt Nukleare Sicherheit

**Erfahrungen bei der Dekontamination von Reaktorbauteilen**

W. Bähr, Th. Dippel, M. Kienhöfer



**GESELLSCHAFT  
FÜR  
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

**KARLSRUHE**

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Dezember 1974

KFK 2114

Abteilung Behandlung radioaktiver Abfälle  
Abteilung Dekontaminationsbetriebe  
Projekt Nukleare Sicherheit

Erfahrungen bei der Dekontamination von  
Reaktorbauteilen

---

von

W. Bähr, Th. Dippel, M. Kienhöfer

Vortrag auf der VGB - Konferenz  
"Kraftwerk-Hilfseinrichtungen 1974"

Essen, Dezember 1974

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe



## Übersicht

Seit 1963 werden im Kernforschungszentrum Karlsruhe in einer Dekontaminationsanlage Reaktorkomponenten dekontaminiert. Die Dekontamination kleiner Teile wird in einer Handschuhboxenanlage ausgeführt, Großteile können in geräumige, boxähnliche Anlagen gebracht und dort dekontaminiert werden. Diese Einrichtungen sind mit Waschsystemen, Sandstrahlgeräten, heizbaren Tauchbädern und Elektrolysebecken ausgestattet.

Der Dekontaminationsprozeß ist ein sorgfältig dosierter chemischer oder mechanischer Angriff auf die Oberflächen der kontaminierten Komponenten. Der vorliegende Werkstoff, die Art der Kontamination und der erwünschte Dekontaminationsgrad bestimmen die Wahl des Dekontaminationsverfahrens.

Um kontaminationsfreie Teile nicht unnötig dem Angriff der Dekontaminationsmittel auszusetzen und um deren vollständige Entfernung nach der Dekontamination zu gewährleisten, ist das zeitraubende Zerlegen größerer Komponenten in ihre Einzelteile unumgänglich.

In den Anlagen des Kernforschungszentrums wurden bisher Reaktorkomponenten im Wert von 10 Mio DM dekontaminiert. Die Wirtschaftlichkeit der Reaktorkomponenten-Dekontamination darf nicht allein nach dem Dekontaminationsaufwand beurteilt werden. In manchen Fällen sind auch Dekontaminationskosten über den Neuwert einer Komponente hinaus gerechtfertigt, wenn so durch lange Wiederbeschaffungszeiten bedingte, hohe Stillstandskosten vermieden werden. In der Regel betragen die Dekontaminationskosten 20 - 25% des Neuwertes.

## Abstract

### Experience in the decontamination of power reactor components

Since 1963 at the Nuclear Research Center Karlsruhe a decontamination facility for reactor components is in operation. The decontamination of small parts is done in a glove-box-system; bulky components are decontaminated in a special box type housing. Equipment as laundry mashines, sand blasting units, heated stainless steel pickling basins and basins for electro-polishing are available.

The decontamination process is a well controlled chemical or mechanical attack to the surface of the component. The procedure for decontamination depends on the type of material, the kind of contamination and its degree.

Bulky and big equipment is dismantled to avoid the attack of decontamination solutions on not contaminated parts.

Up to now reactor components with a value of about 10 Mio DM had been decontaminated in the decontamination facility.

The economics for decontamination has not to be considered from the view of expenditure but also from the time of replacement with respect to the cost for shut down.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Einleitung	1
2. Kontamination von Reaktorkomponenten	2
3. Oberflächendekontamination	4
4. Die Dekontaminationsanlage des Kern- forschungszentrums Karlsruhe	7
5. Betriebserfahrungen	13
6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	19

1000

1000

1

1000

2

1000

3

1000

4

1000

5

1000

6

1000

7

1000



## 1. Einleitung

Regelmäßige Inspektion und Wartung, der Austausch und die Reparatur defekter Teile sind Maßnahmen, die zur Aufrechterhaltung des Kraftwerkbetriebes und zur Sicherung der Verfügbarkeit einer Anlage unumgänglich sind. Interventionsgruppen, die diese Arbeiten ausführen, werden mit den Einzelheiten ihres Kraftwerkes bestens vertraut und sammeln dabei ein außerordentlich wertvolles, jederzeit verfügbares Erfahrungspotential. Dieses gestattet es bei Störungen vor Ort rasch und gezielt eingreifen zu können.

Für Kernkraftwerke gelten diese Aspekte in gleicher Weise. Im nuklearen Teil eines Kernkraftwerkes wie dies beispielsweise am Primärkreislauf von Druckwasserreaktoren der Fall ist, werden jedoch alle Reparatur- und Wartungsarbeiten durch das dort herrschende Strahlenfeld zusätzlich erschwert. Die Notwendigkeit, das Fachpersonal, das ja nicht ohne weiteres zu ersetzen ist, bis an die zulässige Belastungsgrenze zu exponieren, kann dazu führen, daß es bei Störungen für unaufschiebbare Reparaturen nicht mehr zur Verfügung steht und seine Erfahrung und Detailkenntnis unmittelbar vor Ort ausfällt. Das Auftreten von Strahlenfeldern in den Systemen eines Kernkraftwerkes, die nicht unmittelbar zum Reaktorkern gehören, ist auf die unerwünschte Anwesenheit von radioaktiven Stoffen zurückzuführen. Dieser Effekt setzt praktisch mit der Inbetriebnahme des Reaktors ein. Mit fortschreitender Betriebszeit nimmt die Kontamination ständig zu, sodaß eine weitere Wartung oder Reparatur ohne vorhergehende Dekontamination nicht mehr möglich ist. Es ist daher unumgänglich, sich mit dem Problem der Dekontamination von Reaktorkomponenten auseinanderzusetzen.

Die Entfernung radioaktiver Substanzen von den Oberflächen ausgebauter Komponenten, ist eine wesentliche Voraussetzung für ihre Reparatur. Es wird dadurch nicht nur das unkontrollierte Verbreiten radioaktiver Stoffe während der Reparatur vermieden, sondern auch das Werkstattpersonal vor Strahlenbelastung und Inkorporation geschützt. Die Dekontamination

nicht mehr reparaturfähiger bzw. reparaturwürdiger Teile kann außerdem dazu führen, daß sie als konventioneller Schrott behandelt werden können, dessen Beseitigung erheblich geringere Kosten verursacht als radioaktiver Schrott. Auf die Beseitigung und Lagerung radioaktiver Abfälle selbst soll in diesem Bericht nicht eingegangen werden. Dieses war am 15. September 1973 bei der VGB-Sondertagung in Göteborg Thema eines Vortrags.

Im folgenden Beitrag wird über Erfahrungen berichtet, die bei der Dekontamination von Reaktorteilen nach ihrem Ausbau aus dem System des Kernkraftwerkes in der Abteilung Dekontaminationsbetriebe der Gesellschaft für Kernforschung gesammelt wurden.

## 2. Kontamination von Reaktorkomponenten

Die Vorgänge, die sich an den Oberflächen der Reaktorwerkstoffe abspielen, und zu Systemkontaminationen führen sind nur schwer zu deuten. Verantwortlich für die Kontamination sind inaktive Korrosionsprodukte, die im Reaktorkern durch Neutronen zu radioaktiven Stoffen aktiviert werden. In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten, in den Korrosionsprodukten enthaltenen radioaktiven Isotope und ihre Bildungsreaktionen aufgeführt. (Tab. 1).

In Wirklichkeit ist der Entstehungs- und Aktivierungsmechanismus weitaus komplizierter. Es kommen im wesentlichen drei Möglichkeiten in Frage.

- a.) Aktivierung von Korrosionsprodukten des Strukturmaterials im Bereich des Neutronenfeldes
- b.) Aktivierung im Kühlmittel gelöster und suspensierter Korrosionsprodukte beim Passieren des Neutronenfeldes.

Entstehung der wichtigsten radioaktiven Korrosionsprodukte im Reaktor

Inaktive Isotope	Bildungsreaktion	radioaktive Isotope	Halbwertszeit	Strahlenart	Energie MeV
Co-59	$n, \gamma$ →	Co-60	5,27d	$\gamma$	1,17; 1,33
Ni-58	$n, p$ →	Co-58	72d	$\gamma$	0,51; 0,80
Fe-54	$n, p$ →	Mn-54	324d	$\gamma$	0,84
Cr-50	$n, \gamma$ →	Cr-51	27d	$\gamma$	0,32
Zr-94	$n, \gamma$ →	Zr-95	65d	$\gamma$	0,73; 0,76

Alle inaktiven Isotope sind mit unterschiedlicher Häufigkeit Bestandteile von Reaktorbauteilwerkstoffen.

Tabelle 1

c.) Aktivierung von Korrosionsprodukten, die sich im Bereich des Neutronenfeldes ablagern, jedoch außerhalb des Neutronenfeldes gebildet worden sind. Nach unbestimmter Verweilzeit werden die aktivierten Korrosionsprodukte vom Kühlmittel in den Kreislauf zurücktransportiert und dort abgelagert.

Man kann begründet davon ausgehen, daß der letzte Prozess den entscheidenden Vorgang darstellt und auf diese Weise der größte Teil der Korrosionsprodukte gebildet wird. Für die Kontamination sind jedoch nur die langlebigen Aktivierungsprodukte von Bedeutung.

Die Kontaminationsmechanismen reichen von Ionenaustausch und Chemiesorption bis zur physikalischen Adsorption und Eindiffusion in Poren und Mikrorisse an der Materialoberfläche. Im einzelnen ist der Mechanismus des Ablösens, der Ablagerung und des Transportes noch nicht geklärt. Sicher ist aber, daß bei diesen Prozessen viele Parameter eine Rolle spielen, beispielsweise die chemische Zusammensetzung und Eigenschaften des Wassers und die chemische und physikalische Beschaffenheit der Materialoberfläche. Die Korrosionsprodukte selbst können gelöst, ional, kolloidal oder suspensiert vorliegen. Neben den Korrosionsprodukten können defekte oder bei der Herstellung nicht vollständig gereinigte Brennelemente Ursache weiterer Kontaminationen im Primärkreislauf sein. Hier handelt es sich dann um Spaltprodukte, die mit dem Kühlmittel aus dem Reaktorkern transportiert und in den Systemen abgelagert werden.

### 3. Oberflächendekontamination

Unter Oberflächendekontamination versteht man das Entfernen radioaktiver Stoffe von Oberflächen aller Art. Der Erfolg des Dekontaminationsprozesses und das Ergebnis der Dekontamination wird durch den Dekontaminationsfaktor ausgedrückt.

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

Der Dekontaminationsfaktor erlaubt ein qualitatives Urteil über die Wirksamkeit des eingesetzten Dekontaminationsverfahrens, macht aber keine Aussage über die Höhe der auf der Oberfläche verbleibenden Aktivität.

Der Begriff Oberflächendekontamination umfaßt sowohl die Reinigung der Oberfläche von radioaktiven Stoffen und konventionellem Schmutz, als auch das Entfernen der oxydischen Schutzschichten und das chemische Beizen von Metallen. Bei der Dekontamination werden daher alle Verfahren angewendet, die als Reinigungs- und Abtragungsprozesse betrachtet werden können.

Die verschiedenen Dekontaminationsmethoden unterteilt man in drei Gruppen:

- a. Mechanische Oberflächenbehandlung
- b. Chemisches Reinigen und Beizen
- c. Physiko-chemische Methoden

a. Mechanische Oberflächenbehandlung

Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich durch die unterschiedlichen Materialabtragungen.

Die schonendste Behandlung stellt das Staubsaugen, Abwischen und Bürsten der Oberflächen dar. Ähnliche Wirkung erzielt man durch Hochdruck- oder Dampfstrahlen wobei Reinigungsmittel zugesetzt werden. Stärkeren Oberflächenabtrag kann man mit Sandstrahlverfahren erreichen. Man unterscheidet dabei zwischen dem stark abtragenden Trockensandstrahlverfahren und dem für empfindlichere Oberflächen besser geeigneten Naßsandstrahlverfahren.

Der stärkste Oberflächenabtrag kann durch maschinelle Bearbeitung wie z.B. Schleifen erzielt werden.

b. Chemisches Beizen und Reinigen

Zur Oberflächenreinigung werden Waschlösungen mit Emulgatoren, Netzmitteln oder alkalischen Reinigungsmitteln angewendet. Zur Entfettung benützt man meistens organische Lösungsmittel. Eine Dekontamination mit Komplexbildnern ist insbesondere bei nichtmetallischen Oberflächen erfolgreich. Muß die Oberfläche chemisch angegriffen werden oder ist die Oxydschutzschicht abzulösen, sind organische und anorganische Säuren meist in Mischungen und verschiedenen Konzentrationen erforderlich. Häufig werden auch oxydierende oder reduzierende chemische Mittel angewendet. Bei allen Reinigungsverfahren spielt die Temperatur, die Einwirkzeit und die Konzentration der Chemikalien eine wesentliche Rolle.

c. Physiko-chemische Methoden

In der Regel werden für eine optimale Dekontamination die beschriebenen chemischen und mechanischen Verfahren kombiniert. Daneben gibt es aber auch Spezialverfahren, wie beispielsweise das Elektropolieren und das elektrolytische Entfetten. Zur Schmutz- und Fettentfernung wird auch die Ultraschallreinigung angewendet. Die Auswahl der jeweiligen Verfahren und die dafür erforderlichen Dekontaminationsmittel sind abhängig von der Kontaminationsart, der Aktivitätshöhe, der Beschaffenheit der zu reinigenden Oberfläche, die zur Verfügung stehende Zeit und dem gewünschten Dekontaminationsgrad. Entsprechend den Anforderungen ist die Zahl der angewandten Dekontaminationsmittel sehr groß.

Die einfachsten Dekontaminationsmittel sind Detergentien und Waschmittel. Sie werden in den meisten Fällen zur Vorreinigung kontaminierter Oberflächen verwendet. Ihre Wirksamkeit wird durch Erhöhung der Temperatur und mechanische Behandlung wie Bürsten erhöht. Eine Korrosion tritt praktisch nicht ein.

Die nächste Gruppe von Dekontaminationsmitteln sind die Komplexbildner. Sie werden dann benötigt, wenn man bei sehr geringerer Korrosionsrate schonend reinigen will. Die bekanntesten Komplexbildner sind EDTA, Polyphosphate und Nitrilotriessigsäure. Wegen ihrer komplexbildenden Eigenschaften werden aber auch Zitronensäure, Oxalsäure und Weinsäure, sowie deren Salze verwendet. Die Konzentration der Lösungen beträgt im allgemeinen 0,5 bis 1%.

Oberflächen, die sich durch Komplexbildner und Detergentien nicht reinigen lassen, werden erfolgreich mit Oxydations- oder Reduktionsmittel behandelt. Am bekanntesten ist eine Oxidation mit stark alkalischer Kaliumpermanganatlösung oder peroxydhaltiger Karbonatlösung.

Die wirksamsten, aber zugleich auch aggressivsten Dekontaminationsmittel sind anorganische Säuren. Sie stellen die wichtigste Gruppe der Dekontaminationsmittel dar und werden immer dann eingesetzt wenn andere Verfahren keine Wirkung mehr zeigen. Am häufigsten wird Salpetersäure verwendet, die in den meisten Fällen noch mit anderen anorganischen Säuren gemischt wird. Solche Mischungen sind äußerst korrosiv und dürfen nur unter genau kontrollierten Bedingungen angewendet werden. Sehr wirkungsvoll ist ein Gemisch von 3% Flußsäure und 20% Salpetersäure. Daneben haben sich für Kohlenstoffstahl, Messing und Aluminium auch Phosphorsäure, Schwefelsäure, Amidosulfonsäure, Zitronensäure und Oxalsäure bewährt.

Der Einsatz von Salzsäure wird fast immer umgangen, da hierbei die Gefahr von Lochfraß und Korngrenzenkorrosion besteht. In Beizpasten finden sich einige der genannten Säuren als aktives Agens. Diese Pasten finden daher in steigendem Umfang Anwendung bei der Dekontamination von Edeltählen. Einer ihrer Vorteile ist das geringe Volumen des dabei entstehenden radioaktiven Abfalls.

#### 4. Die Dekontaminationsanlage des Kernforschungszentrums Karlsruhe

Ende des Jahres 1968 wurde in Karlsruhe eine große Dekontaminationsanlage in Betrieb genommen, in der sowohl  $\beta/\gamma$ -als auch  $\alpha$ -kontaminierte Geräte und Anlagekomponenten dekontaminiert werden können. Neben den notwendigen Versorgungs- und Hilfseinrichtungen ist die Anlage mit allen erforderlichen Arbeitseinheiten ausgestattet, die für eine effektive Behandlung kontaminierter Teile unentbehrlich sind. Das Gebäude ist in zwei Raumabschnitte unterteilt. In der Großgerätedekontamination mit ca. 700 m<sup>2</sup> Grundfläche, die von einem Flächenkran mit einer Tragkraft von 25 t befahren wird, sind zwei Dekontaminationsboxen von 10 x 5 x 4,5 m und 5 x 3 x 3 m installiert die von oben beladen werden können.

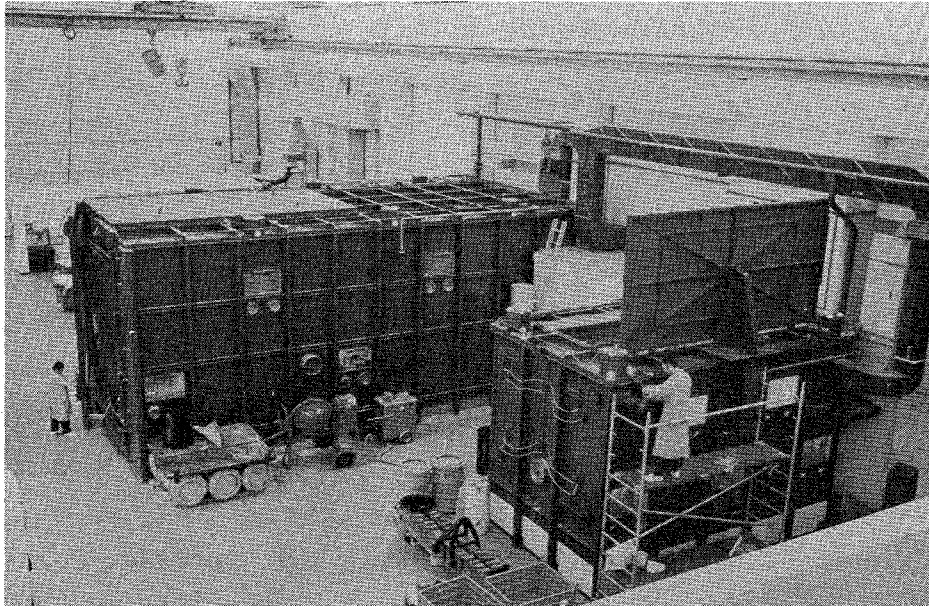


Abb. 1 Großgerätedekontamination mit zwei Arbeitsboxen

In die große Arbeitsbox können selbst beladene Tieflader bis zu 85 t wie beispielsweise Brennelementtransportfahrzeuge direkt gefahren und dekontaminiert werden. Die Box ist mit einem beweglichen Sprühhahnen - ähnlich dem einer automatischen Autowaschanlage - ausgestattet, mit dem auch heiße Dekontaminationslösungen gesprüht werden können. Die Seitenwände sind aus säurefestlackiertem Stahlblech und der Boden besteht aus einer mit Edelstahl plattierten, flachen Wanne, die zum Tor hin geneigt ist und mit einer Ablaufrinne endet. Die Längsseiten der Box enthalten Fenster und -Arbeitsöffnungen. In der Box sind drei Absaugmöglichkeiten vorhanden. Eine starke Absaugung mit 120-fachen Luftwechsel pro Stunde, eine Säuredampfabsaugung mit einer Unterdruckhaltung von 20 mm in der Box und eine Sonderabsaugung in ex-geschützter Ausführung, speziell für die Bearbeitung von mit metallischem Natrium benetzten Teilen.



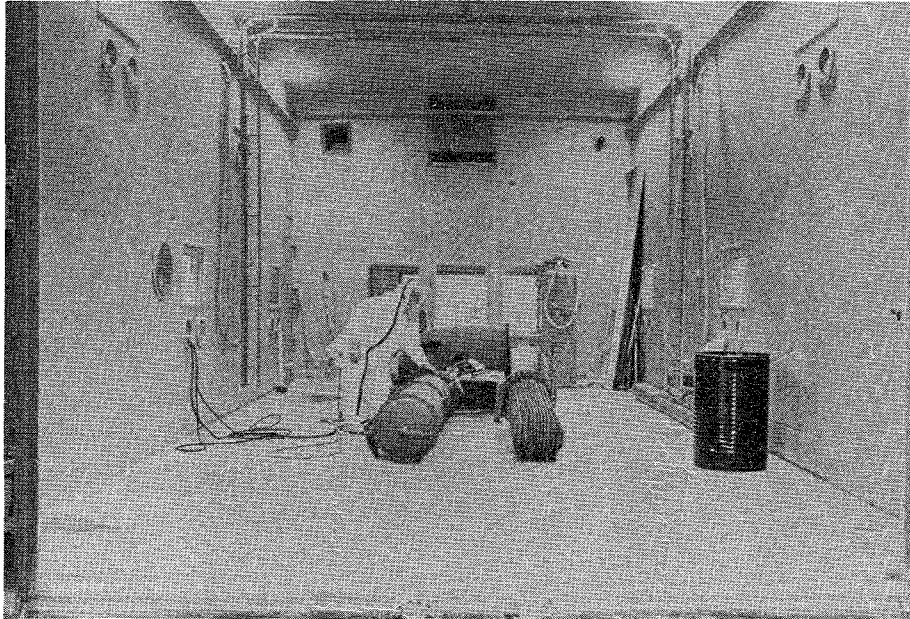


Abb. 2 Blick in die große Arbeitsbox

In der kleinen Arbeitsbox besteht der Boden aus einem 50 cm hohen Tragrahmen mit Edelstahltrichtern, die mit Rosten abgedeckt sind. Hier wird besonders mit den Naßsandstrahlverfahren gearbeitet, da Sand und Lösung leicht nach unten abläuft und damit recycelt werden kann. Ansonsten ist diese Box mit den gleichen Einrichtungen ausgestattet wie die große Arbeitsbox. Sämtliche Dekontaminationsarbeiten in beiden Boxeinheiten werden von Überwachungsräumen aus kontrolliert und gesteuert. Hier werden Sprührahmen und Boxöffnungen betätigt, die Pumpen für die verschiedensten Dekontaminationslösungen aus den darunterliegenden Vorratsbehältern zu- und abgeschaltet, ferner die Atemluftversorgung für das in Gasschutzanzügen arbeitende Personal überwacht. Die Kleingerätedekontamination mit einer Grundfläche von ca. 200 m<sup>2</sup> ist für die Bearbeitung von kleineren Teilen bis zu einem Gewicht von 250 kg eingerichtet.

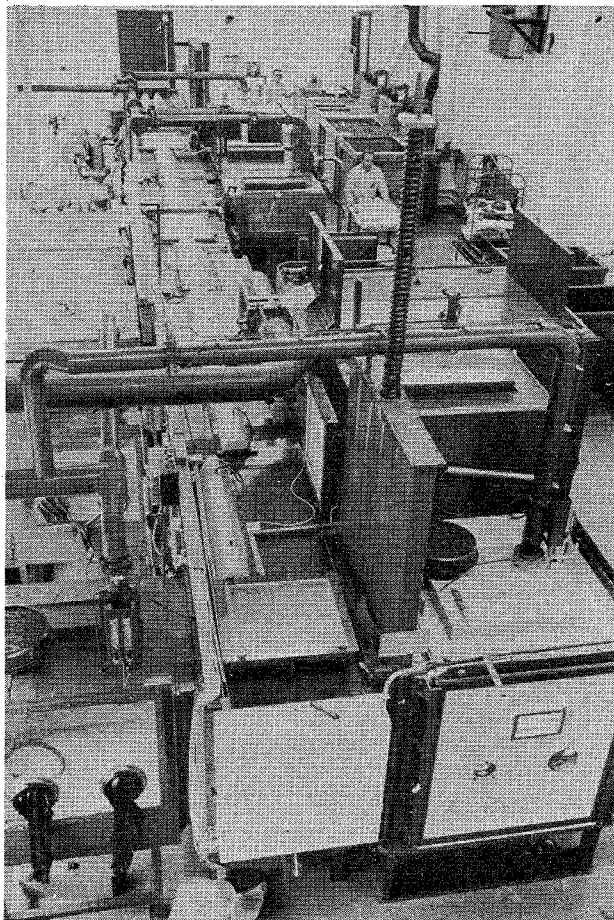


Abb. 3 Blick in die Kleingerätedekontamination mit  
Arbeitsboxen und Transporttunnel

Eine Reihe von Arbeitsboxen ist mit einem langen Transporttunnel verbunden, sodaß die verschiedensten Reinigungsmethoden ohne Ausschleusung der Geräte angewendet werden können. Die Boxkombination ist mit folgenden Arbeitseinheiten ausgestattet: Vier Demontageboxen, zwei Metallwaschmaschinen, die mit einem beheizten Behälter verbunden sind und in denen die Dekontaminationslösungen im Kreislauf gefahren wird, eine Hochdruckstrahlbox mit Vorratsbehältern und Spritzpistole bis 80 atü, eine Naßsandstrahlbox und eine Trockenstrahlbox.

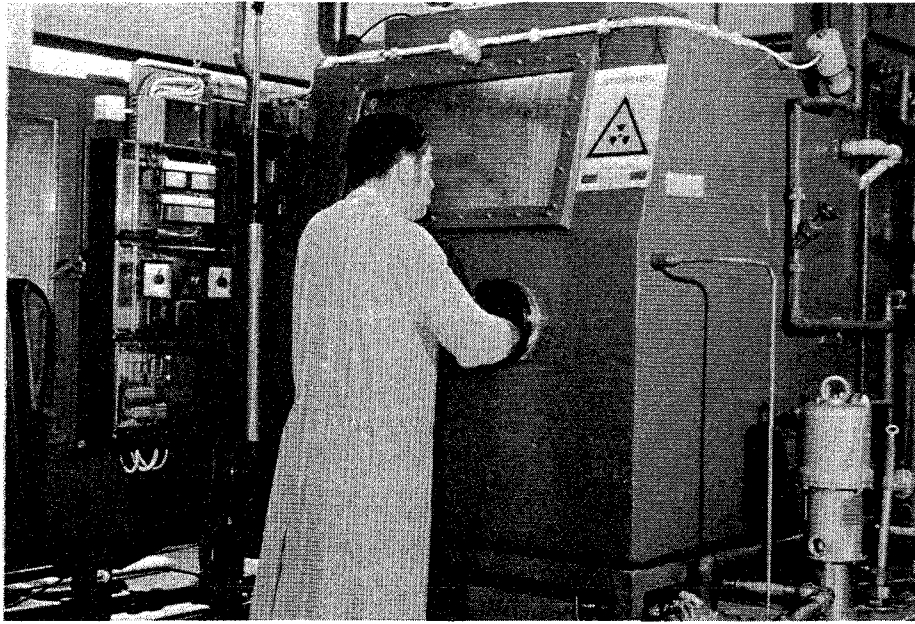


Abb. 4 Hochdruckstrahlbox

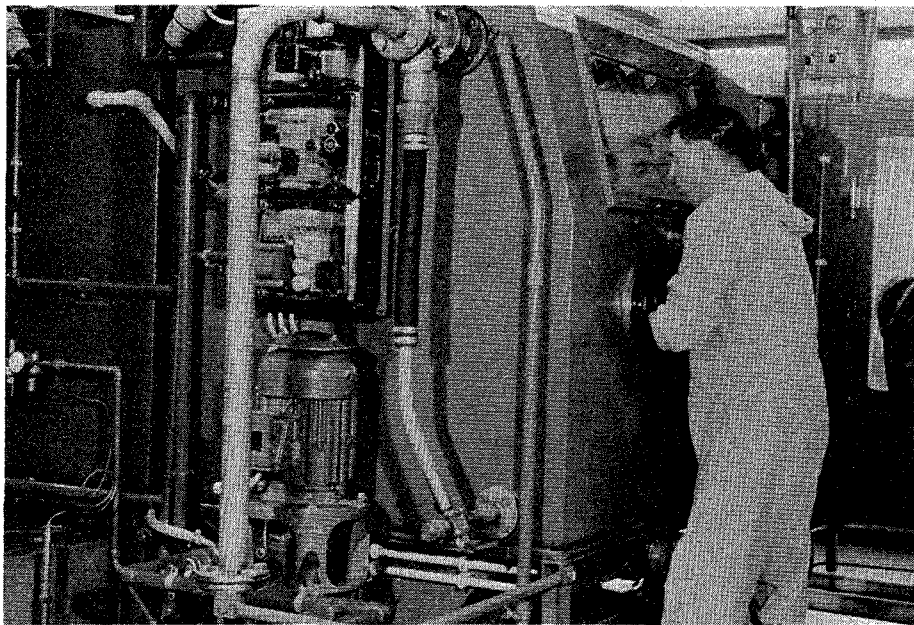


Abb. 5 Box für Naßsandstrahlen

Neben dieser Boxenkombination stehen vier beheizbare Beizbecken aus Edelstahl zur Verfügung, die mit pneumatisch bewegten Materialrösten ausgestattet und mit verschiedenen Säuren gefüllt sind. Ferner zwei Elektropolierbecken zur elektrolytischen Dekontamination und zwei Lösungsmittelbecken aus Keramik, die zur Lackentfernung und Entfettung dienen.

Für die Dekontamination von  $\alpha$ -kontaminierten, sperrigen Komponenten steht ein spezieller Raum von ca 80 m<sup>2</sup> zur Verfügung, der die Bearbeitung von Teilen bis zu 6 m Länge und 3 t Gewicht ermöglicht. In den Raum, der nur mit schweren Atemschutzanzügen und nur über eine mehrstufige Schleuse zugänglich ist, können gleichzeitig 4 Personen arbeiten. Er wird ebenfalls von einem Kontrollraum überwacht und ist mit allen Werkzeugen die für Dekontamination und Verschrottung notwendig sind ausgestattet.

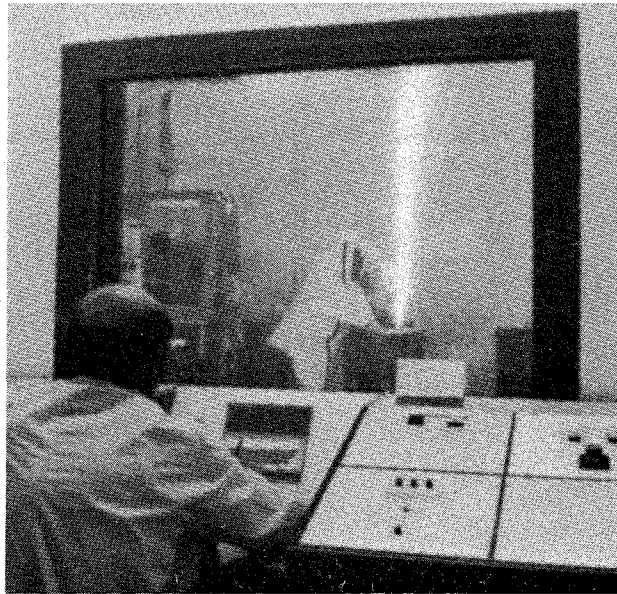


Abb. 6 Blick vom Kontrollraum in die  $\alpha$ -Gerätedekontamination

Selbstverständlich können in den großen Arbeitsboxen kontaminierte, nicht mehr verwendbare sperrige Komponente zerkleinert und endlagerfähig verpackt werden. Hierfür stehen eine Reihe von Spezialwerkzeugen zur Verfügung.

Daneben sind noch zwei Räume mit Boxen vorhanden, in denen Gasschutzanzüge, Atemgeräte und Gasmasken dekontaminiert werden. In einem zentralen Meßraum werden die einzelnen Dekontaminationsschritte durch Zwischenmessungen überwacht und nach einer Abschlußmessung von geeignetem Fachpersonal freigegeben.

#### 5. Betriebserfahrung

Seit Inbetriebnahme einer Gerätedekontamination im Jahre 1963 wurden bis zum Jahre 1973 Geräte mit einem Wert von 40 Mio DM dekontaminiert, wie aus Abbildung 7 zu ersehen ist. Darunter befanden sich Reaktorteile im Werte von 12 Mio DM. Dabei fielen alle Arten von Einrichtungen und Werkzeugen von den kleinsten Teilen mit einigen Gramms bis zu Großbehältern und Abschirmungen von 50 t an. Ebenso stark schwankend war der Wert der Teile der sich von einigen DM bis mehreren 100.000.- DM erstreckte. Es wurden sowohl hochempfindliche Elektronikgeräte wie auch Fahrzeuge, Werkzeugmaschinen und Behälter behandelt. Wie aus Tabelle 2 zu ersehen ist, kam der größte Teil der Reaktorbauteile aus dem Primärkreislauf. In erster Linie handelt es sich dabei um Pumpen, Ventile, Rohrleitungen, Behälter und Meßsonden. Wegen der hohen Aktivität besonders zu erwähnen, sind die sogenannten Brennelementumkehrstücke, von denen 400 Stück bearbeitet wurden und die bis zu 50 rem/h an Dosisleistung aufwiesen. Der Großteil der angelieferten Reaktorteile mußte nicht vollständig dekontaminiert werden. Nach Entfernung der oberflächlich haftenden Kontamination konnten die Geräte in betriebseigenen und für radioaktive Arbeiten eingerichtete Werkstätten repariert werden. Eine vollständige Reinigung war nur bei den Teilen notwendig, die entweder an Fremdfirmen weitergegeben, oder die in Werkstätten behandelt werden mußten, die nicht für radioaktives Arbeiten eingerichtet waren.

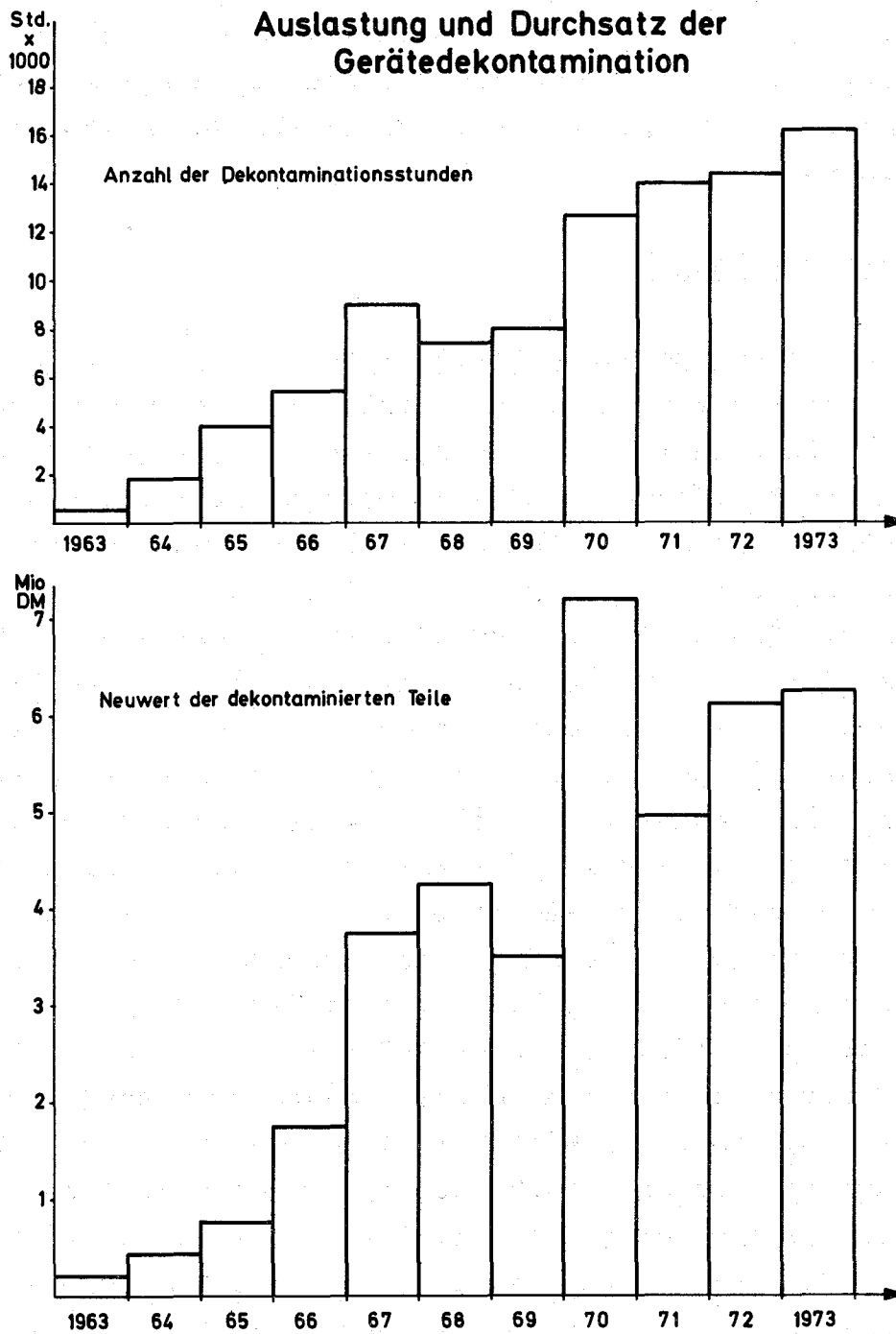


Abb. 7

Tab. 2 In der Gerätedekontamination der GfK dekontaminierte Reaktorteile (1963 - 1973)

Komponente	Menge	Dosisleistung r/h	
		vorher	nachher
Primärkreislaufpumpen	15	2-10	0,01 - 0,5
Wärmetauscher	6	1	0,01 - 0,5
Filtereinrichtungen	10	0,1-20	< 0,1
Ionentauscherbehälter	30	1-50	0,1 - 1
Hilfskreislaufpumpen	50	0,1-10	0,01 - 0,1
Großventile	30	1-10	0,01 - 0,1
Kleinventile	300	0,1-10	0,01 - 0,1
Rohrleitungen aus Primärkreislauf	200 m	0,1-10	0,01 - 0,1
Abwasserbehälter	20	0,1 - 2	< 0,01
Abwasserpumpen	100	0,1 - 0,5	< 0,01
Brennelementumkehrstücke	400	1- 50	0,1 - 1
Druckbehälter	30	0,1 - 10	0,01 - 0,1
Schwere Transportbehälter	50	0,1 - 1	0,01 - 0,1
Spezialwerkzeuge	800	0,1 - 10	0,01 - 0,1
Meß- und Regelgeräte	50	0,1 - 10	0,01 - 0,1

Von der Anlieferung bis zur Wiederverwendung müssen die Reaktorteile die in Abbildung 8 aufgezeigten Bearbeitungsstufen durchlaufen. Jedes Teil muß, nachdem es ausgemessen wurde, bis zur geplanten Verarbeitung zwischengelagert werden. In der vorgesehenen Dekontaminationsanlage wird das Gerät ausgepackt, zerlegt und gemessen.

Zunächst werden alle Teile mit handelsüblichen Reinigungsmitteln vorgereinigt. Kleine Teile werden in Waschboxen bei 60°C im

### Teilfunktionen bei der Dekontamination von Geräten und Anlageteilen

Reaktorbetrieb | Strahlenschutz | Dekontaminationsbetrieb | fest | Abfälle flüssig | inaktiv

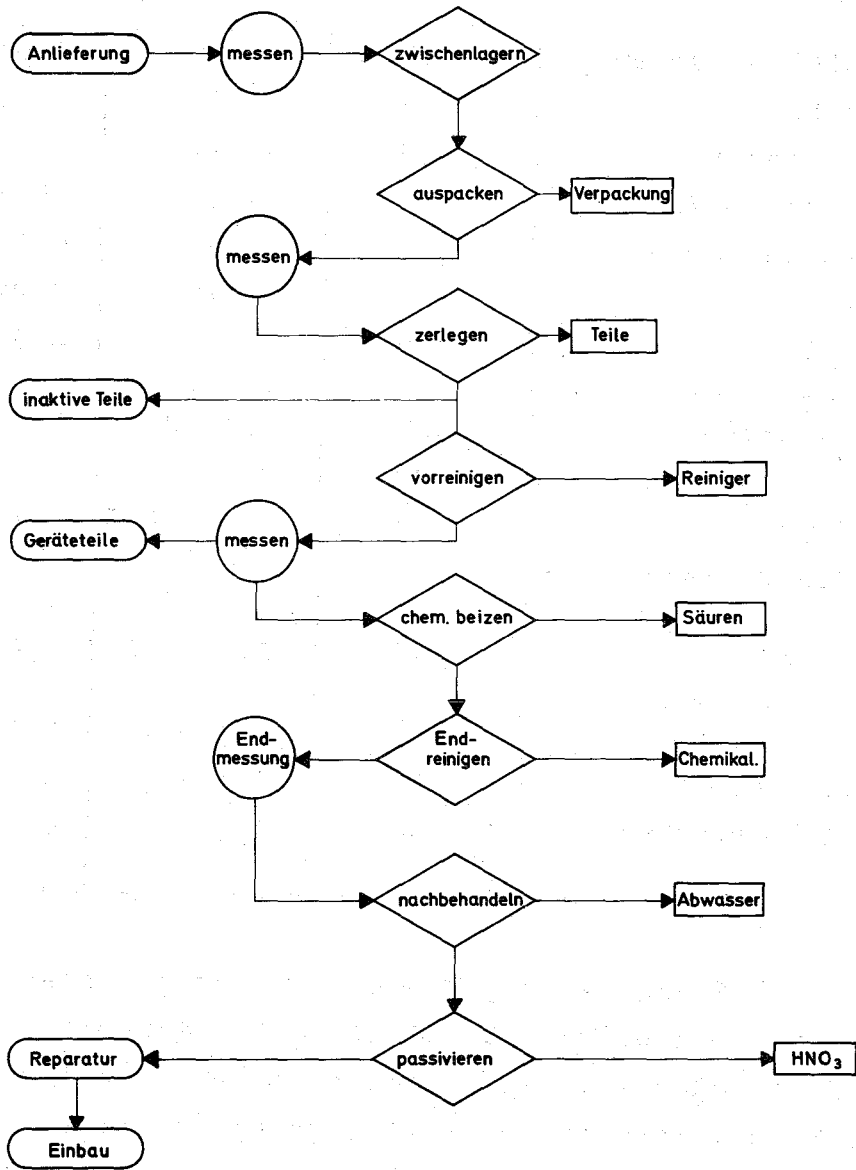


Abb. 8



Kreislaufverfahren abgespritzt, Großteile werden in entsprechenden Arbeitsboxen mit Dampfstrahl- oder Hochdruckstrahlgeräten intensiv behandelt. Die günstigste Temperatur liegt hierbei zwischen 80 - 120°C, bei einem Pumpendruck von über 50 atü. Nach der Vorreinigung werden für die einzelnen Teile je nach Art des Materials, Oberflächenbeschaffenheit, Kontamination und erforderlichen Dekontaminationsgrad die geeignetsten Verfahren und Dekontaminationsmittel ausgewählt. In den meisten Fällen handelt es sich hierbei um Oberflächenbeizen mit verschiedenen Säuren und Oxydationsmittel. Eine Beizbehandlung von Metallen wie Normalstahl, Messing und Aluminiumlegierungen erfolgt mit den erwähnten Säuren, denen zum Schutz des Metalls Inhibitoren zugefügt werden können. Kunststoffe, lackierte Oberflächen und Gläser können mit Erfolg durch schwach konzentrierte organische Säuren und Komplexbildner gereinigt werden. Der Zusatz von Detergentien und Inhibitoren ist auch hier vorteilhaft. Die Behandlung von austenitischen Edelstählen erfordert besondere Beachtung, da sie bei falscher Behandlung zu Spannungs- und Rißkorrosion neigen. Die Kontamination ist fast immer in Form von aktivierten Korrosionsprodukten in die Passivierungsschicht eingelagert oder sehr stark adsorbiert. Eine Dekontamination ist daher nur durch Abtragung der Passivierungsschicht möglich, die je nach Temperatur und Druck im Reaktor verschieden dick sein kann. Ein chemisches Auflösen der Schicht ohne korrosiven Angriff auf den darunter befindlichen Werkstoff ist mit eingesetzten und geprüften Säuremischungen nicht möglich. Ein selektives Herauslösen der radioaktiven Stoffe aus der Passivschicht ist ebenfalls unmöglich. Für die Dekontamination der Edelstähle, haben sich verschieden konzentrierte Mischungen von Salpeter- und Flußsäure bestens bewährt. Großteile, die nicht getaucht werden können, müssen mit Edelstahlbeizen behandelt werden.

Sind auf Edelstahl stärkere Zunderschichten vorhanden, müssen diese zunächst mit einer stark alkalischen Permanganatlösung bei 100° und über mehrere Stunden "aufgelockert" werden, bevor sie abbeizt werden können. Da mit dem Einsatz von Chemikalien und Beizmittel nicht immer der erforderliche Dekontaminationsfaktor erreicht wird, müssen zur Nacharbeitung häufig oberflächenabtragende Verfahren angewendet werden. Bei Präzisionsteilen und glatten Oberflächen wird dazu das Naßsandstrahlverfahren bevorzugt. Das Strahlmedium ist eine Mischung von möglichst feinem Quarzmehl mit Wasser und Detergentien, die mit starken Pumpen, z.T. unter Zugabe von Preßluft, auf die Oberfläche aufgestrahlt wird. Die geringste Abtragung unter Beibehaltung des Oberflächenglanzes erreicht man, wenn man anstelle von Quarzmehl Glasperlen verwendet. Die Behandlung grober Oberflächen und Gußteilen muß mit den stärker abtragenden Trockensandstrahlgeräten durchgeführt werden. Dabei hat sich feinkörniges Korund bewährt. Das Trockensandstrahlen erfolgt im Kreislauf, d.h. das Strahlmedium wird in einer Arbeitsbox über einen Bodentrichter abgesaugt, durch ein Zyklon vom Staub getrennt und wieder dem Strahlgerät zugeführt. Die Hauptaktivität wird dabei mit dem Staub abgeschieden.

Das Elektroddekontaminieren wurde bisher an Rohren oder an Reaktorteilen mit glatter Oberfläche angewendet. In fast allen Fällen wurden dabei sogenannte Wanderelektroden eingesetzt. Der Elektrolyt bestand entweder aus hochkonzentrierter Phosphorsäure oder schwach konzentrierter Oxalsäure. Die Reinigung war immer sehr erfolgreich und es konnten Dekontaminationsfaktoren bis zu 1000 erreicht werden.

Die Anwendung von Ultraschall für die Oberflächendekontamination hat sich weder im Betrieb noch im Labor bewährt. Günstige Ergebnisse konnte nur bei der Reinigung von staubförmigen Kontaminationen erzielt werden.

## 6. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Der Erfolg in der Gerätedekontamination orientiert sich normalerweise an der Menge und dem Wert, der durch Dekontamination wiederverwendbaren Apparaturen. Man setzt den Neuwert der Geräte in Vergleich zu den angefallenen Kosten der Dekontamination und der anschließenden Reparatur. Die Kosten der Dekontamination werden dabei in Form von Dekontaminationsstunden weiterverrechnet. In diesem Stundensatz sind sämtliche Aufwendungen der Gerätedekontamination enthalten, insbesondere Personalkosten, Materialverbrauch, feste und flüssige radioaktive Abfälle, Energiekosten und Strahlenschutz. Die Abschreibungen der Anlagen werden getrennt erfaßt. Die drei größten Posten innerhalb der Betriebskosten sind der Personalaufwand mit 35%, Materialverbrauch mit 20% und die radioaktiven Abfälle mit ebenfalls 20%.

Die Bedeutung der Gerätedekontamination kann aus solchen Kostenrechnungen allein nicht abgeleitet werden. In vielen Fällen gibt es Gesichtspunkte, die eine Dekontamination auch dann noch rechtfertigen, wenn die Dekontaminationskosten über dem Wert der zu dekontaminierenden Geräte liegen.

Dies gilt

- bei langen Lieferfristen, wenn die durch den Stillstand der Anlage bedingten Kosten Neuanschaffungs- bzw. Dekontaminationskosten weit übersteigen und durch Verkürzung der Stillstandszeit Kosten einzusparen sind.
- bei sperrigen, nicht ohne weiteres lagerfähigen Teilen, die nach der Dekontamination wie inaktiver Abfall zerkleinert oder gelagert werden können.

Zusammenfassend kann man sagen, daß sich die Dekontamination teurer oder schwer zu beschaffender Gegenstände immer lohnt.

Der Aufwand für die Dekontamination beträgt dabei in der Regel ca. 10 bis 20% des Geräteneuwertes. Die Tatsache, daß die in Karlsruhe vorhandene Anlage bei einem Selbstkostenaufwand von etwa 1,5 Mio DM im Durchschnitt Geräte im Wert von 4 bis 6 Mio DM/a dekontaminiert, zeigt, daß die Dekontamination von Geräten wirtschaftlich ist.