

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

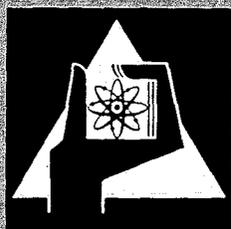
Mai 1972

KFK 1499

Abteilung Dekontaminationsbetriebe

**Methode zur Prüfung der Dekontaminierbarkeit von Anstrichsystemen,  
Fußbodenbelägen und nichtmetallischen Werkstoffen**

M. Kienhöfer, S. Kunze, H. Hepp



**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

Mai 1972

KFK 1499

Abteilung Dekontaminationsbetriebe

Methode zur Prüfung der Dekontaminierbarkeit  
von Anstrichsystemen, Fußbodenbelägen und nichtmetallischen  
Werkstoffen

von

M. Kienhöfer, S. Kunze, H. Hepp

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe



## Zusammenfassung

Nach einer kurzen Beschreibung der in den Ländern USA, Großbritannien, Frankreich, CSSR, DDR, Japan, Schweiz sowie der Bundesrepublik bisher bekannten Prüfmethoden zur Beurteilung der Dekontaminierbarkeit von Schutzanstrichen in Kontaminationsbereichen wird das im Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelte Verfahren vorgestellt, das neben der Prüfung der Dekontaminierbarkeit physikalische und chemische Untersuchungen einschließt. Die Reproduzierbarkeit ergab befriedigende Ergebnisse. Dekontaminationsergebnisse von 546 geprüften Industrieprodukten sind in einer Tabelle zusammengestellt.

Aufgrund der in den Betrieben und Instituten im Kernforschungszentrum Karlsruhe gesammelten Erfahrungen mit den eingesetzten Materialien wird auf die Dekontaminierbarkeit verschiedener Kunststoffe, Anstrichsysteme, Fußbodenbeläge, Spachtelmassen und Gummierungen eingegangen.

Der Einfluß der Chemikalienbeständigkeit der verschiedenen Materialien auf die Dekontaminierbarkeit wird diskutiert. Außerdem wird dargelegt, daß aufgrund des weitaus häufigeren Auftretens von Kontaminationen als von Strahlenschäden in den meisten kerntechnischen Anlagen und radiochemischen Laboratorien der Prüfung der infrage kommenden Materialien auf Dekontaminierbarkeit jener auf Strahlenbeständigkeit der Vorzug zu geben ist.

## Abstract

After a brief review of the test procedures for evaluating the decontamination characteristics of protective coatings for use in areas of possible contamination reported so far from the USA, Great Britain, France, CSSR, German Democratic Republic, Japan, Switzerland and Federal Republic of Germany, the procedure developed in Karlsruhe is introduced which includes physical and chemical investigations in addition to the decontamination test. The reproducibility proved to be satisfactory. Decontamination results of 546 tested industrial products are tabulated.

Based on the experiences gained with the materials used in the plants and institutes of the Karlsruhe Nuclear Research Center, also the decontamination characteristics of several plastics, paints, floor coverings, surface fillers and rubber linings are presented.

The influence of the stability against chemical attack on the decontamination characteristics is discussed. Finally it is pointed out that, since contaminations are to be expected much more frequently than radiation damages in most nuclear facilities and radiochemical laboratories, the testing of materials for decontamination characteristics must receive preference to that for radiation resistance.

---

## Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung
2. Zusammenstellung und Beschreibung fremder Prüfmethoden
3. Beschreibung des Karlsruher Prüfverfahrens
  - 3.1. Kontamination
    - 3.1.1. Eintrockenverfahren
    - 3.1.2. Einwirkverfahren
  - 3.2. Dekontamination
  - 3.3. Auswertung der Meßergebnisse
  - 3.4. Reproduzierbarkeit des Verfahrens
  - 3.5. Physikalische Untersuchungen
  - 3.6. Chemische Untersuchungen
  - 3.7. Prüfbericht
4. Versuchsergebnisse des Prüfverfahrens
  - 4.1. Dekontaminierbarkeit von Kunststoffen
  - 4.2. Dekontaminierbarkeit verschiedener Anstrichsysteme
  - 4.3. Dekontaminierbarkeit von Fußbodenbelägen, Spachtelmassen und Gummierungen
  - 4.4. Einfluß der Chemikalienbeständigkeit auf die Dekontaminierbarkeit
  - 4.5. Strahlenbeständigkeit von Kunststoffen und Anstrichsystemen
5. Schlußbetrachtung



## Einleitung

In kerntechnischen Anlagen und in radiochemischen Laboratorien, d.h. an Stellen, an denen mit Kontaminationen zu rechnen ist, sollten nicht nur Erfahrungen über die mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften der eingesetzten Werkstoffe, sondern auch über deren Dekontaminierbarkeit vorliegen.

Das gilt in besonderem Maße für die Schutzschichten, mit denen Wände, Decken, Fußböden, Einrichtungsgegenstände und Apparaturen versehen sind. Von diesen Beschichtungen erwartet man, außer daß sie korrosionsverhindernd wirken, auch, daß sie ein tieferes Eindringen radioaktiver Stoffe und damit eine Kontamination der geschützten Flächen weitgehend ausschließen. Verunreinigende radioaktive Stoffe dürfen also nur geringfügig adsorbiert werden und müssen möglichst einfach und schnell wieder entfernt werden können. Zu letzterem Zweck muß die Beschichtung gegenüber den üblichen Dekontaminationsmitteln soweit beständig sein, daß sie eine Reihe von Reinigungsoperationen unbeschadet überdauert. Nur in Sonderfällen (z.B. in Heißen Zellen) wird zusätzlich Strahlenbeständigkeit gefordert - die Schutzschichten dürfen nicht schon bei niedrigen Strahlendosen ihre Dekontaminierbarkeit einbüßen oder zerstört werden.

Seit den Anfängen der Kerntechnik befaßt sich die Industrie mit der Herstellung geeigneter Anstrichsysteme (Beschichtungen, Lacke, Versiegelungen) und kann heute eine Reihe von Produkten, die den Anforderungen in hohem Maße entsprechen, anbieten. Zur Prüfung der Anwendbarkeit und insbesondere der Dekontaminierbarkeit der verschiedenen Materialien wurden parallel zu deren Entwicklung in verschiedenen Ländern Prüfmethoden ausgearbeitet. In Deutschland wurden erste Vorversuche Ende der 50-er Jahre von der Strahlenmeßabteilung des Kernforschungszentrums Karlsruhe durchgeführt. 1963 wurde von den Verfassern unter Einbeziehung der Resultate der genannten eigenen und der ausländischen Untersuchungen in den Laboratorien der ADB im Kernforschungszentrum Karlsruhe ein in der BRD weithin anerkanntes Prüfverfahren entwickelt.

Alle bekannten Prüfverfahren beruhen auf dem gleichen Prinzip: Probeplättchen werden kontaminiert, ausgemessen, anschließend dekontaminiert und wieder gemessen. Je nach Verfahren gibt es eine unterschiedliche Anzahl von aufeinanderfolgenden Dekontaminationsschritten. Das Verhältnis der Zählraten ist ein Maß für die Dekontaminierbarkeit des geprüften Materials.

Als Kontaminierungsmittel müßten für eine präzise Untersuchung eigentlich alle infrage kommenden radioaktiven Nuklide getestet werden, da sich diese in ihrem Verhalten gegenüber den verschiede-

nen Oberflächen wesentlich unterscheiden. Aus Wirtschaftlichkeits- und Zeitgründen beschränkt man sich jedoch auf eine repräsentative Mischung von Spalt- und aktivierten Korrosionsprodukten, durch die eine, wenn auch nicht lückenlose so doch übersichtliche Orientierung über die Dekontaminationseigenschaften der Testmaterialien geboten wird.

Als Dekontaminationsmittel werden neben Wasser und handelsüblichen waschaktiven Substanzen Säuren, Laugen und Salzlösungen eingesetzt.

Im folgenden wird nach einer kurzen Vorstellung der einschlägigen, zum Teil standardisierten Prüfverfahren des Auslands die Karlsruher Methode detailliert beschrieben sowie die Untersuchungsergebnisse der wichtigsten Schutzschichtmaterialien in Tabellen zusammengefaßt.

## 2. Zusammenstellung und Beschreibung fremder Prüfmethoden

In fast allen Ländern, in denen Schutzschichten für kerntechnische Anlagen hergestellt und eingesetzt werden, hat man Prüfmethode zur Beurteilung der Dekontaminierbarkeit von Oberflächen entwickelt. Die Verfahren gehen im wesentlichen auf das gleiche Prinzip zurück, divergieren aber in den spezifischen Bedingungen erheblich, so daß ein direkter Vergleich der jeweiligen Meß-

daten nicht möglich ist. Uneinheitlich vorbehandeltes Untergrundmaterial, Abweichungen im Probenaufbau und unterschiedliche chemische und adsorptive Eigenschaften der zur Kontamination eingesetzten Nuklide führen in einigen Fällen sogar zu gegenläufigen Beurteilungen des geprüften Produktes.

Im folgenden werden die wichtigsten der bekannten Verfahren vorgestellt.

### 2.1. USA-Standard

Für die Untersuchungen werden als Untergrundmaterial Stahlprobplatten der Abmessung von ca. 65 x 125 x 3 mm verwendet. Die Prüfmuster werden vor der Kontamination gründlich entfettet und im Laborabzug in waagerechter Lage getrocknet (Mindestluftgeschwindigkeit 45 m/min). Je 0,2 ml einer auf pH 4 eingestellten Kontaminationslösung<sup>+</sup> werden auf die Probe pipettiert

---

<sup>+</sup>Mit ca. 20.000 MWd/t bestrahlter und anschließend 90 Tage, höchstens aber 3 Jahre gekühlter Uranbrennstoff wird in 8 m HNO<sub>3</sub> gelöst und in einer Polyäthylenvorratsflasche gelagert. Um einer Ausfällung von Zr und Nb vorzubeugen, wird erst kurz vor dem Aufbringen ein Teil dieser Vorratslösung mit Ammoniak auf pH 4 eingestellt. Die Spaltproduktlösung soll eine  $\beta$ - $\gamma$ -Aktivität von  $5 \cdot 10^6$  dpm/0,1 ml haben und in annähernd gleicher Größenordnung die Radionuklide <sup>144</sup>Ce, <sup>106</sup>Ru, <sup>95</sup>Zr und <sup>137</sup>Cs enthalten.

und im Laborabzug bei 25° C getrocknet. Anschlies- send wird jede Platte in einen Plastikbeutel (0,038 mm Stärke) überführt und mittels eines  $\gamma$ -Spektrometers mit NaJ-Kristall ausgemessen.

Die Dekontamination erfolgt in 3 Schritten:

- a) mit Leitungswasser
- b) mit Säuremischung<sup>++</sup> bei 25° C
- c) mit Säuremischung<sup>++</sup> bei 80° C

Man stellt hierzu ein 600 ml PE-Becherglas, das 400 ml Dekontaminationslösung und einen plastik- überzogenen Magnetstab enthält, auf einen Magnet- rührer. Jede Platte wird bis zu einer Tiefe von 5 cm so in die Dekontaminationslösung eingetaucht, daß die kontaminierte Seite der Probe nach dem Zentrum des Becherglases zeigt. Dann schaltet man den Rührer ein und beschleunigt, bis der Rührstab vom Wasserwirbelloch berührt wird. Nach 10 Min. wird das Muster herausgenommen, mit Wasser abge- spült, getrocknet und in einen Plastikbeutel ein- geschlossen. Nach jedem Dekontaminationsschritt wird die  $\gamma$ -Aktivität gemessen.

Ermittelt werden

$$DF_{H_2O} = \frac{\text{Imp/min Ausgangsaktivität}}{\text{Imp/min nach der Wasserwäsche}}$$

$$DF_{\text{Säure (25° C)}} = \frac{\text{Imp/min nach der Wasserwäsche}}{\text{Imp/min nach der Säurewäsche bei 25° C}}$$

<sup>++</sup>Säuremischung: 0,4 m Oxalsäure, 0,05 m NaF und 0,30 m H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

$$DF_{\text{Säure}} (80^{\circ} \text{ C}) = \frac{\text{Imp/min nach der Säurewäsche bei } 25^{\circ} \text{ C}}{\text{Imp/min nach der Säurewäsche bei } 80^{\circ} \text{ C}}$$

$$DF_{\text{gesamt}} = \frac{\text{Imp/min Ausgangsaktivität}}{\text{Imp/min nach der Säurewäsche bei } 80^{\circ} \text{ C}}$$

[11]

Anmerkung der Verfasser:

Dieses Standardverfahren ist für die Prüfung der Dekontaminierbarkeit von Oberflächen geeignet. Nachteilig erscheint allerdings der Einsatz einer pH-instabilen Kontaminationslösung. Weiterhin dürfte die Reproduzierbarkeit der Dekontaminationsergebnisse wegen der Verwendung von Leitungswasser als Dekontaminationsmittel und der beschriebenen Rührbedingungen nicht immer gut sein.

## 2.2. Britischer Standard

Verwendet werden Probeplättchen von mindestens 50 x 50 mm, gewöhnlich 150 x 100 mm Größe, die vor der Kontamination durch Eintauchen in eine 0,1 prozentige, wäßrige Detergentienlösung (Natriumdioctylsulfosuccinat) gereinigt und anschließend mit dest. Wasser gespült und trocken wattiert werden.

0,1 ml Nuklidlösung (5 mCi/l  $^{134}\text{CsCl}$  und 5 mCi/l  $^{60}\text{CoCl}_2$ , pH 5) werden mit einer Mikropipette auf die Probenoberfläche in den Mittelpunkt eines vorher aufgezeichneten Wachskreises von 38 mm Durchmesser aufgetragen und anschließend 24 Stun-

den bei  $21 \pm 3^{\circ} \text{C}$  in einer bedeckten Petrischale trocknen gelassen.

Die Messung der Aktivität erfolgt an einem Geiger-Müller-Zähler mit Glimmerendfenster. Die kontaminierten Flächen werden zuerst dreimal mit einer alkalischen<sup>+</sup>, dann dreimal mit einer sauren<sup>++</sup> Lösung nach folgender Technik dekontaminiert:

1 ml Dekontaminationslösung wird auf die kontaminierte Fläche pipettiert und für 5 Minuten auf der Oberfläche belassen. Anschließend wird durch sanftes Wischen mit Zellstoff die abgelöste Aktivität entfernt. Nach 3 Wäschen wird die in schiefe Lage gebrachte Prüfmusterfläche durch Begießen mit 50 ml dest. Wasser gespült, durch Tupfen mit Zellstoff getrocknet und die Restaktivität gemessen.

---

<sup>+</sup> alkalisch:	Natriumcarboxymethylcellulose	0,25 g/l
	Natriumdioctylsulfosuccinat	1,00 g/l
	Natriumtripolyphosphat	4,00 g/l
	EDTA	1,00 g/l
	dest. Wasser	
	mit NaOH auf pH 9 einstellen	
<sup>++</sup> sauer:	Na <sub>2</sub> EDTA	10,00 g/l
	Natriumdioctylsulfosuccinat	0,2 g/l
	dest. Wasser	
	mit Lauge oder Säure auf pH 5 einstellen.	

Die Meßergebnisse werden in  $\text{Imp}/\text{min}\cdot\text{cm}^2$  angegeben und dienen als Beurteilungsgrundlage

Meßergebnisse: [ $\text{Imp}/\text{min}\cdot\text{cm}^2$ ]	Beurteilung
0 - 1000	gut
1001 - 2000	wünschenswert
2001 - 5000	zweifelhaft, annehmbar unter gewissen Bedingungen
> 5001	nicht annehmbar

[13]

Anmerkung der Verfasser:

Im Gegensatz zum USA-Standardverfahren verwendet das Britische Standardverfahren eine pH-stabile Kontaminationslösung, bestehend aus einem Spalt- und einem aktivierten Korrosionsprodukt. Die Kontaminationsdauer wird auf 24 Stunden ausgedehnt.

Weniger gut reproduzierbar dürfte die Entfernung der Kontamination durch "sanftes" Wischen mit Zellstoff sein. Es fällt auf, daß auf eine Behandlung mit Wasser, dem billigsten Dekontaminationsmittel, verzichtet wird.

### 2.3. Französisches Verfahren

Im französischen Kernforschungszentrum Saclay wurde zur Überprüfung der Dekontaminierbarkeit von

Oberflächen ein Verfahren entwickelt, das hauptsächlich für die Prüfung von Materialien für die eigenen Anlagen gedacht ist. Für die Untersuchung benützt man Proben mit einem Durchmesser von 40 mm, auf die man 0,5 ml einer salpetersauren Spaltproduktlösung (pH 1) mit einer spezifischen Aktivität von 8  $\mu\text{Ci/ml}$  auftröpfelt. Dieses Volumen verteilt man über die ganze Oberfläche und läßt es 24 Stunden bei Raumtemperatur eintrocknen. Danach wird die Oberfläche mit Wasser aus einer Spritzflasche abgespült, unter einem belüfteten Abzug bei Raumtemperatur getrocknet und anschließend die Haftaktivität mit einem Glockenzähler gemessen. Zur Reinigung der kontaminierten Oberflächen erprobte man verschiedene Dekontaminationsmittel wie Wasser, Seifenlösung, Detergentien, Komplexe, verdünnte Salpetersäure und NAB, ein Produkt mit Schleifwirkung. Die verbliebene Restaktivität wird wieder mit dem Glockenzähler unter den festgelegten Bedingungen ermittelt. Die erzielten Reinigungseffekte werden als Dekontaminationsfaktoren angegeben.

[3,5,6]

#### 2.4. CSSR-Verfahren

Für die Untersuchungen werden Stahlblechproben mit den Abmessungen 80 x 54 x 1 mm mit einer einseitig aufgetragenen Schutzschicht benutzt. Als Kontaminationslösungen dienen Radionuklide, z.B.  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ , oder Nuklidgemische. Die spezifische Aktivität der eingesetzten Lösung, in der sich  $^{90}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Y}$  im radioaktiven Gleichgewicht befinden, beträgt 25  $\mu\text{Ci/ml}$ . Die Aktivität der aufgetropften Lösung wird entweder

direkt nach dem Auftropfen oder nach dem Eintrocknen des Tropfens auf der Probeoberfläche bei Raumtemperaturen mit einem Geiger-Müller-Zähler gemessen.

Zur Aktivitätsmessung wird eine Einlegevorrichtung verwendet, die auch das Messen hoher Aktivitäten durch Variieren des Abstands zum Detektor erlaubt.

Um eine reproduzierbare Dekontaminierung zu erzielen, wurde eine neuartige Apparatur entwickelt. Die Dekontaminationsflüssigkeit gelangt aus einem Gefäß in eine Glashaube, mit der die kontaminierte Fläche des Probebleches abgedeckt ist, und wird von dort in das Vorratsgefäß zurückgepumpt. Auf diese Weise zirkulieren 50 ml Lösung mit einer Geschwindigkeit von 1,2 l/h, so daß sich die Flüssigkeit über der kontaminierten Oberfläche der Probe innerhalb von 30 Minuten zwölfmal umtauscht. Durch Abspülen der von der Glashaube nicht abgedeckten Probefläche vermeidet man eine Ablagerung von radioaktiven Stoffen an unkontrollierbaren Stellen. Als Dekontaminationsmittel dient eine Lösung von 5,5 g/l Zitronensäure und 2 g/l HCl. An Hand von Desorptionskurven wird dargelegt, daß 30 Minuten Abspülzeit für den Vergleich der Dekontaminierbarkeit von Oberflächen ausreichen. [4,10,12]

---

Anmerkung der Verfasser:

Die verhältnismäßig kurze Dekontaminationszeit und die offensichtlich günstigen Ergebnisse beruhen vermutlich auf den guten Dekontaminations-

eigenschaften der untersuchten Lacktypen auf Epoxidharzbasis. Ergebnisse mit anderen Anstrichsystemen wurden leider nicht mitgeteilt.

## 2.5. DDR-Verfahren

Bereits im Jahre 1961 wurde ein älteres Verfahren veröffentlicht [7]. In einer neueren Versuchsserie [15] werden die Proben mit einer neutralen, trägerfreien Lösung von Strontiumnitrat ( $^{90}\text{Sr}$  und  $^{90}\text{Y}$  im radioaktiven Gleichgewicht), einer schwach salpetersauren Spaltproduktlösung (20-30 Tage alt) und mit einer neutralen, trägerfreien Zinknitratlösung ( $^{65}\text{Zn}$ ) kontaminiert. Man tropft jeweils 0,01 ml Lösung mit einer spezifischen Aktivität von 10-30  $\mu\text{Ci/ml}$  auf kreisförmige Stahlplatten von 30 mm Durchmesser und 1 mm Dicke, die im Tauchverfahren beiderseits beschichtet wurden. Der Durchmesser der aufgetragenen Flüssigkeitstropfen beträgt etwa 2 mm. Die Flüssigkeit wird mit einem IR-Strahler eingedunstet und anschließend die Aktivität mit einem Geiger-Müller-Zählrohr bestimmt. Die Dekontamination erfolgt durch Eintauchen der Proben in bewegte Dekontaminationslösungen und hinterher in destilliertes Wasser zum Abspülen. Nach dem Trocknen der Proben an der Luft oder unter einem IR-Strahler ermittelt man die verbliebene Restaktivität durch Ausmessen der Zählraten unter den gleichen Bedingungen wie bei der Bestimmung der Ausgangsaktivität. Als Dekontaminationsmittel werden alkalische Permanganatlösungen, Säuregemische mit Zusätzen von Salzen, Detergentien, Waschmitteln und Komplexonen in verschiedenen Konzentrationen eingesetzt.

Es wurde eine große Reihe von Lacken, Spachtelmas-  
sen und Emailen sowie Kunststoffen, u.a. Polyvinyl-  
chlorid, Polyäthylen, Polyamid und Polystyrol auf  
ihre Dekontaminationsfähigkeit untersucht.

Die aus der Dekontamination von Stählen übernomme-  
nen alkalisch oxidierenden und sauer reduzierenden  
heißen Lösungen erwiesen sich als zu aggressiv  
für Kunststoff- und Lackoberflächen und verschlech-  
terten deren Dekontaminierbarkeit. Mineralsäure und  
alkalifreie Lösungsgemische aus Detergentien, Wasch-  
mitteln, Komplexon, Zitronen-, Essig- und Oxalsäure  
wurden dagegen mit gutem Erfolg angewendet.

[7,15]

Anmerkung der Verfasser:

Die gefundenen Ergebnisse stimmen zum großen Teil  
mit den von uns erzielten überein. In einigen Fäl-  
len, wie bei Anstrichen auf Polyurethan- und Teer-  
epoxidharzbasis treten gegenüber unseren Untersuchun-  
gen allerdings starke Abweichungen auf.

## 2.6. Japanisches Verfahren

Auf die mit den zu untersuchenden Anstrichen ver-  
sehenen Stahlplättchen wird jeweils 0,1 ml der  
Kontaminationslösung aufgetropft. Als Kontaminations-  
mittel dienen verdünnte Lösungen folgender Radio-  
nuklide:  $^{35}\text{S}$  (in verdünnter HCl),  $^{32}\text{P}$  (in verdünnter  
HCl),  $^{131}\text{J}$  (in verdünnter  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ),  $^{140}\text{Ba}$   
(in verdünnter HCl) und Spaltprodukte (in verdünnter  
 $\text{HNO}_3$ ). Die aufgetragenen Lösungen werden durch  
Abdecken mit Glas vor dem Verdunsten geschützt.

Nach einstündiger Einwirkung wird mit destilliertem Wasser ab gespült, getrocknet und durch Ausmessen der Zählrate mit dem Geiger-Müller-Zählrohr die adsorbierte Radioaktivität ermittelt. Die Dekontamination erfolgt gezielt, und zwar für  $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$  mit einem Gemisch aus  $\text{HNO}_3$  und  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , für  $\text{H}_2^{35}\text{SO}_4$  mit verdünnter  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , für  $\text{Na}^{131}\text{J}$  mit verdünnter  $\text{HJ}$ , für  $^{140}\text{BaCl}_2$  und die Spaltprodukte mit verdünnter  $\text{HNO}_3$ . Nach dem Ausmessen der verbliebenen Restaktivitäten wird das Dekontaminationsverhalten der Anstriche und der Erfolg der Reinigungsverfahren bewertet.

[8]

Anmerkung der Verfasser:

Ein Vergleich der erzielten Ergebnisse mit den von uns erhaltenen ist nur zum Teil möglich, da wir bei unserer Prüfmethode andere Kontaminationslösungen und allgemein anwendbare Dekontaminationsmittel einsetzen.

## 2.7. Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, BRD

Es wurden verschiedene Anstrichsysteme auf Blechbasis getestet. Die Probepfättchen mit den Abmessungen 150 x 200 x 1 mm werden entfettet und in einer Glovebox gleichmäßig über die gesamte Fläche mit Kontaminationslösung besprüht, bei 25-30° C unter einem IR-Strahler getrocknet und über Nacht bei 30° C aufbewahrt. Die Messung mit einem Geiger-Müller-Zählrohr erfolgt an 15 festgelegten Stellen.

Als Kontaminationsmittel dienen:  $^{45}\text{Ca}$  in Form von  $\text{CaCl}_2$ -Lösung (1 ml; 1,9  $\mu\text{Ci}$ ; pH = 7,6), eine schwach salpetersaure Lösung von  $^{60}\text{Co}$  (1 ml; 2  $\mu\text{Ci}$ ; pH 1), eine anorganische Verbindung von  $^{35}\text{S}$  (1 ml; 3,5  $\mu\text{Ci}$ ; trägerfrei; pH 6 bis 7), eine neutrale organische Lösung (Thioharnstoff; Äthylalkohol und Wasser 1:1) von  $^{35}\text{S}$  (1 ml; 4  $\mu\text{Ci}$ ), eine Lösung von  $^{131}\text{J}$  als  $\text{NaJ}$  in  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (1 ml; 1,8  $\mu\text{Ci}$ ; pH 6) und  $^{147}\text{Pm}$  als Leuchtstoffpulver (ca. 2  $\mu\text{Ci}$ ), das mit einem Zellstofftuch auf den Probesträttchen verrieben wird. Die Dekontamination wird im allgemeinen in fünf Schritten durchgeführt. Zuerst spült man mit einem scharfen Wasserstrahl ab und erreicht mit Ausnahme des organischen  $^{35}\text{S}$ ,  $^{131}\text{J}$  und  $^{147}\text{Pm}$  eine beachtliche Dekontamination. Das Abreiben mit einem feuchten Zellstofftuch (2. Dekontaminationsschritt) bringt keine merkliche Verbesserung und wird deshalb bei den späteren Versuchen weggelassen. Im 3. Dekontaminationsschritt wäscht man die Proben mit einer siedenden Lösung von RSB-25 (Tensid), spült mit Wasser und trocknet mit einem Zellstofftuch. Nach einer Messung folgt der 4. Dekontaminationsschritt, der im Waschen mit einer zweiprozentigen Lösung von äthylendiaminoessigsäurem Natrium besteht und mit Abwaschen, Spülen, Trocknen sowie Aktivitätsmessung abschließt. Bei dem letzten Dekontaminationsschritt werden die Platten, außer die mit  $^{147}\text{Pm}$  kontaminierten, mit gleichionigen Lösungen gewaschen.

Die Dekontaminierbarkeit der Anstrichproben wird wie folgt beurteilt:

Dekontaminationsfaktor	Dekontaminierbarkeit
< 100	gering
100 - 299	mäßig
300 - 1000	gut
> 1000	sehr gut

Mit der geschilderten Methode zur Überprüfung der Dekontaminierbarkeit wurden zwar im Einzelfall überwiegend vergleichbare Ergebnisse erzielt, die jedoch keine generelle Beurteilung ermöglichen, da sich die geprüften Anstrichsysteme zu unterschiedlich gegenüber den eingesetzten Kontaminationslösungen verhielten.

Die Schritte 1 und 3 brachten den wesentlichen Anteil der Dekontamination, während die Behandlung mit Komplexonen und mit gleichionigen Lösungen kaum zur Verbesserung beitrugen. Die salpetersaure Lösung von  $^{60}\text{Co}$  griff teilweise die Lackoberflächen an und führte dadurch zu einer Verschlechterung der Dekontaminationsergebnisse.

Die Reinigung der mit  $^{131}\text{J}$  und organischem  $^{35}\text{S}$  kontaminierten Proben war nicht sonderlich wirkungsvoll. Die niedrigen Dekontaminationsfaktoren sind vermutlich darauf zurückzuführen, daß durch Oxydation Jod frei wird, das sich unter Aufspaltung von Doppelbindungen an die Moleküle der Schutzschicht anlagert,

bzw. es zu einer chemischen Bindung zwischen dem Thioharnstoff und dem Bindemittel des Lackes kommt.

[14]

Anmerkung der Verfasser:

Bei diesen Tests wurden nur sogenannte "milde" Dekontaminationsmittel eingesetzt, weil man Beschädigungen der Oberflächen durch Säuren, Laugen oder Scheuermittel ausschließen wollte. In der Praxis zeigt sich aber immer wieder, daß eine Dekontamination von Beschichtungen ohne aggressivere Reinigungsmittel kaum ausreichend effektiv durchgeführt werden kann. Diese Mittel sollten unseres Erachtens für die Ausarbeitung diesbezüglicher Dekontaminationsverfahren unbedingt herangezogen werden.

## 2.8. Verfahren der Kernforschungsanlage Jülich

Auf Prüfmuster der Größe von ca. 100 x 70 x 1 mm werden 0,02 ml einer salpetersauren Uranspaltproduktlösung mit einem pH-Wert von 1 (ca. 11  $\mu\text{Ci/ml}$ ) auf die Mitte der Probenoberfläche pipettiert und bei  $28 \pm 3^\circ \text{C}$  getrocknet. An 3 Proben wird nach einer Einwirkzeit von 24 Stunden, an 3 weiteren Proben nach einer Einwirkzeit von insgesamt 102 Stunden die Anfangsaktivität mit einem Großflächenmethandurchflußzähler SML-310 ermittelt. Anschließend erfolgt die Dekontamination in 4 Schritten:

### 1. Spülteste:

- a) Die kontaminierte Fläche wird mit 2 ml de-

stilliertem Wasser überschichtet und nach 10 Minuten Einwirkzeit mit 50 ml abgespült.

- b) Arbeitsweise a) unter Verwendung von 10-prozentiger RBS-50-Reinigungslösung statt Wasser.

## 2. Wischteste:

- a) Die Prüfmuster werden 30 Sekunden mit RBS-getränktem Zellstoff gewischt.
- b) Arbeitsweise a) unter Verwendung von 5-prozentiger Salpetersäurelösung statt RBS

Nach jedem Dekontaminationsschritt wird die Restaktivität bestimmt.

[17]

## 2.9. Schweizer Untersuchungsverfahren

Es werden 36 Probeplättchen der zu prüfenden Oberfläche mit den Mindestabmessungen 30 x 30 mm oder 30 mm im Durchmesser für die Untersuchung gefordert. Von diesen Proben kontaminiert man je 12 Stück mit einer der folgenden Lösungen von Spaltprodukten (Mindestalter 1 Monat):

- a) wäßrige neutrale Lösung von Spaltprodukten
- b) wäßrige 0,1 n HCl-Lösung von Spaltprodukten
- c) wäßrige 1,5 n NaOH-Lösung von Spaltprodukten

Dazu gibt man einen Tropfen der genannten Lösungen in die Mitte des Probeplättchens und läßt ihn bei Raumtemperatur vollständig eintrocknen. Anschließend wird die Aktivität des Plättchens durch Messen der Zählrate bestimmt. Zur Dekontamination

werden die Proben zweimal mit einem mit Dekontaminationslösung getränktem Wattebausch abgerieben und anschließend mit einem Wattebausch getrocknet. Als Dekontaminationsmittel verwendet man:

- a) 3 o/o  $\text{KMnO}_4$  in 10 o/o NaOH
- b) Reinigungsmittel K3 (1 : 5 verdünnt)
- c) Radiacwash (Atomlab Products Co., 1 : 5 verdünnt)
- d) 10 o/o Ammoniumcitrat in destilliertem Wasser.

Von jeder Kombination Kontaminations/Dekontaminationsmittel liegen auf diese Weise 3 Proben vor.

Nach der Aktivitätsmessung der dekontaminierten Plättchen erfolgt die Auswertung über einen mittleren Dekontaminationsfaktor. Man errechnet hierfür für die 36 Probepüttchen die Dekontaminationsfaktoren, vernachlässigt die 6 höchsten und bildet von den restlichen 30 Werten das arithmetische Mittel. Diesen Wert bezeichnet man als mittleren Dekontaminationsfaktor  $DF_m$ , der nach folgendem Schema für die Beurteilung der Dekontaminierbarkeit einer Oberfläche herangezogen werden soll:

$DF_m$	Beurteilung
> 180	ausgezeichnet
100 - 180	sehr gut
20 - 100	gut
5 - 20	schlecht
< 5	nicht dekontaminierbar

Außerdem werden die Proben einer Untersuchung auf chemische Beständigkeit (verschiedene Säuren, Lösungsmit-

tel, Chemikalienlösungen, Komplexbildner, Waschmittel und Deionat) unterzogen. Zusätzlich erfolgt noch eine Überprüfung der Wärmebeständigkeit.

**Anmerkung der Verfasser:**

Das Verfahren ist zwar sehr gründlich und universell, seiner Aufwendigkeit wegen aber für Reihenuntersuchungen weniger geeignet. Das manuelle Bearbeiten der Oberflächen mit Wattebauschen kann, insbesondere, wenn es von ungeübten Personen vorgenommen wird, die Reproduzierbarkeit erheblich beeinträchtigen.

### 3. Beschreibung des Karlsruher Prüfverfahrens

Im folgenden Abschnitt wird das im Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelte Verfahren vorgestellt. Dieses umfaßt neben der Prüfung der Dekontaminierbarkeit der Oberflächen auch physikalische und chemische Untersuchungen. Die physikalischen Untersuchungen sind hauptsächlich für die statistische Auswertung, die chemischen für die Beurteilung der Beständigkeit der Oberflächen und die Zusammensetzung der Reiniger im praktischen Einsatz von Bedeutung.

Für die Dekontaminationsprüfungen werden für jede zu untersuchende Probe 8 allseitig beschichtete Musterplatten, möglichst auf Stahlblech der Größe von ca. 70 x 150 mm benötigt.

Kontaminiert wird mit einem pH-stabilen, trägerfreien, salzsauren Isotopengemisch (3 Spaltprodukte, 1 aktiviertes Korrosionsprodukt) nach 2 abgestuften Verfahren. Das eine besteht im Aufbringen eines Tropfens auf die Oberfläche des Prüfmusters und sofortigem Eintrocknen mittels Luftgebläse (Eintrocknenverfahren), das andere in der Einwirkung der Kontaminationslösung über einen längeren Zeitraum auf eine größere abgegrenzte Fläche (Einwirkverfahren).

Dekontaminiert wird unter gut reproduzierbaren Bedingungen. Das Prüfmuster wird dreimal unter jeweiliger Verdopplung der Dekontaminationszeit in destilliertes Wasser eingetaucht und anschließend einmal in verdünnte Salzsäure; zum Schluß

wird mit einer Ionenaustauscherpaste nachbehandelt.

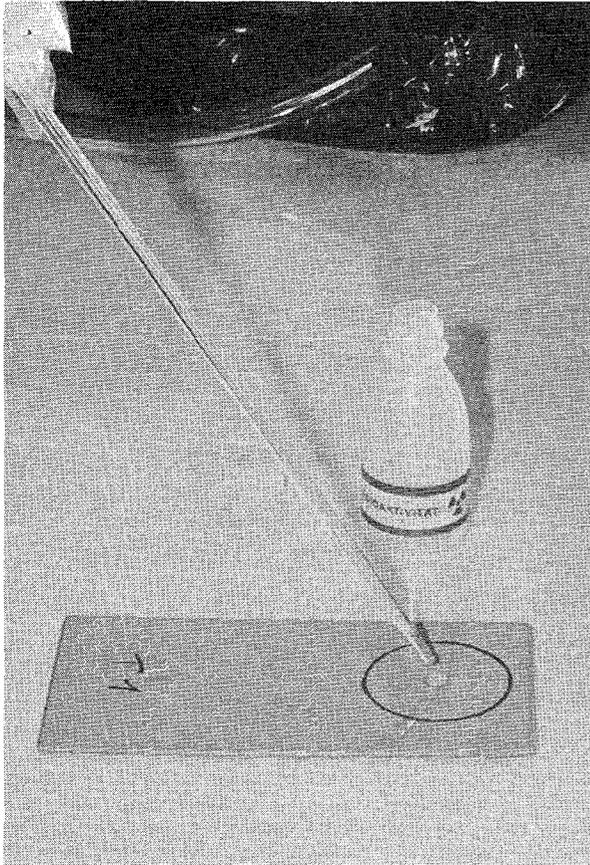
### 3.1. Kontamination

Als Kontaminationsmittel dient ein trägerfreies Isotopengemisch, bestehend aus  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ,  $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$  und  $^{60}\text{Co}$  annähernd gleicher Konzentration in salzsaurer Lösung mit einem pH-Wert von 4 und einer Gesamtaktivität von ca.  $10 \mu\text{Ci/ml}$ .

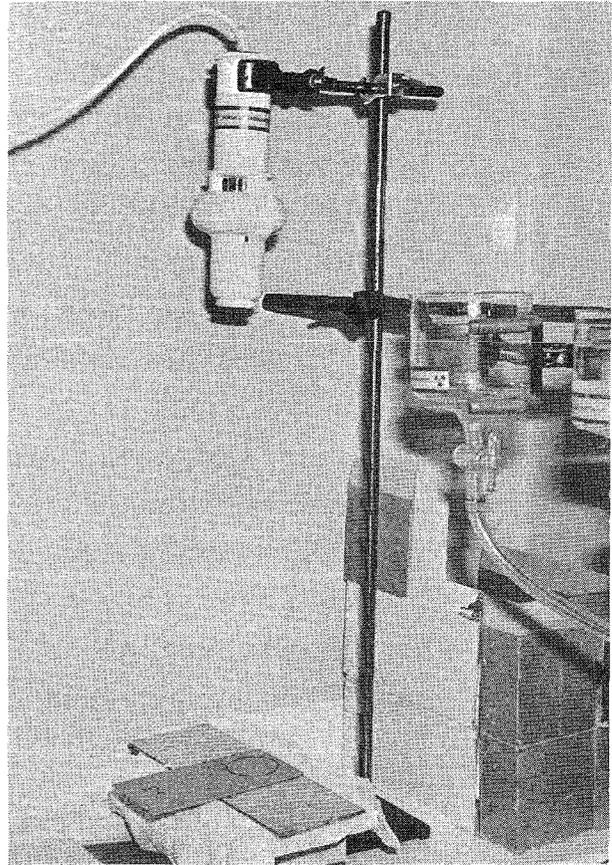
Die Oberfläche des Prüfmusters wird mit einer 0,1 prozentigen wäßrigen Detergentienlösung (Pril) gereinigt, mit Wasser gespült und trocken wattediert. Anschließend wird mit einer Schablone unter Verwendung eines Weichwachsstiftes ein Kreis von 5 cm Durchmesser aufgezeichnet. Es werden jeweils Parallelproben nach zwei verschiedenen Verfahren kontaminiert.

#### 3.1.1. Eintrockenverfahren

In den Mittelpunkt des Kreises werden mit einer Mikrokolbenpipette 0,1 ml Isotopenlösung aufgetragen. Der Tropfen wird in einem Laborabzug mit einem ca. 50 cm über der Probenoberfläche angebrachten Fön eingetrocknet.



Auftragen der Aktivität



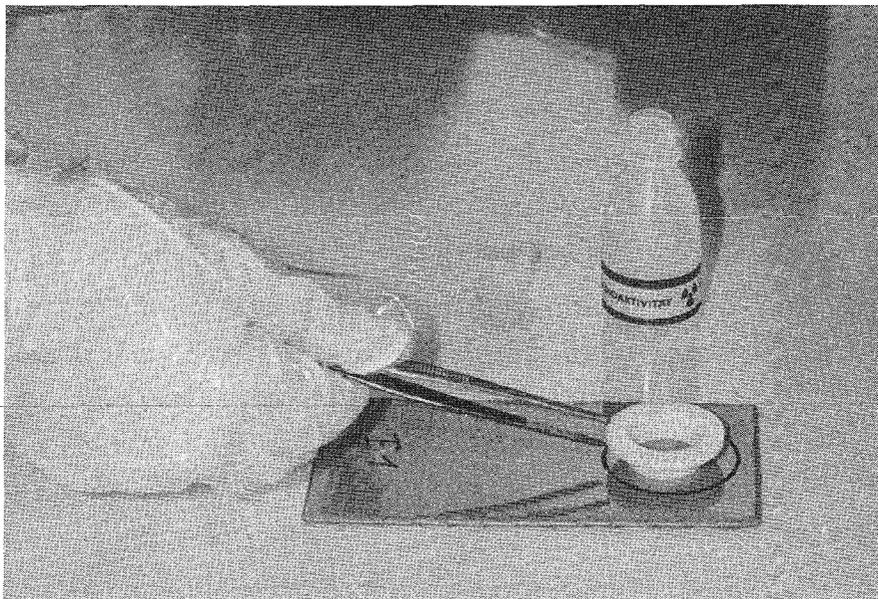
Trocknen der Probe

Anschließend wird der Trockenrückstand mit einem Telefunken-Strahlenmeßgerät MS Str. 610/2, Methan-durchflußzähler mit Endfenster MD 632/2, ausgemessen. Der Mittelwert aus mindestens 2 Messungen (Impulse/min) dient als Ausgangsaktivität.

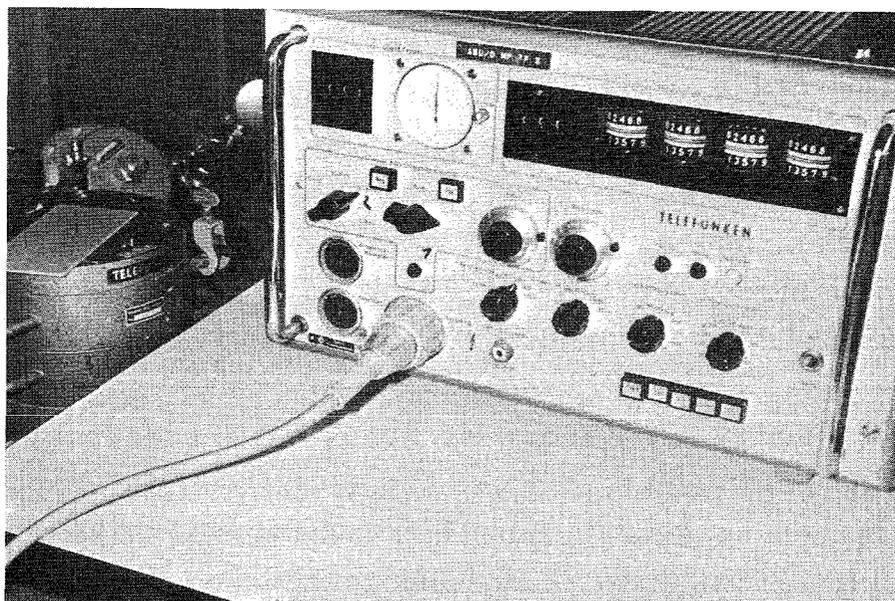
### 3.1.2. Einwirkverfahren

5 cm<sup>2</sup> der Probenoberfläche werden durch einen mit einem Lochbleiziegel beschwerten Teflonring abgegrenzt. In den Ringinnenraum pipettiert man 1 ml Isotopenlösung, verteilt gleichmäßig und läßt 2 Stunden einwirken. Danach wird noch vorhandene Flüssigkeit abgesaugt und sofort dekontaminiert.

Die Ausgangsaktivität ist nicht direkt meßbar, da beim Einwirkverfahren nicht der auf der Probe verbliebene Anteil, sondern die Gesamtaktivität der aufgetragenen Kontaminationslösung als Ausgangsaktivität angesehen wird. Man übernimmt praktischerweise den im Eintrocknenverfahren ermittelten Ausgangswert für 0,1 ml Kontaminationslösung und multipliziert diesen entsprechend dem beim Einwirkverfahren eingesetzten 1 ml mit dem Faktor 10.



Auftragen der Aktivität nach dem Einwirkverfahren



Messen der Aktivität

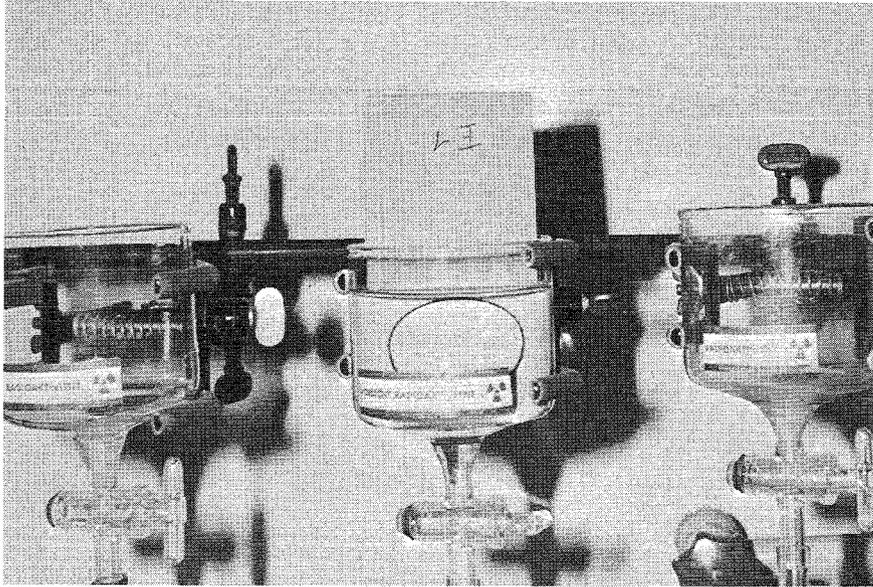
### 3.2. Dekontamination

Die Dekontamination wird in fünf Etappen vorgenommen:

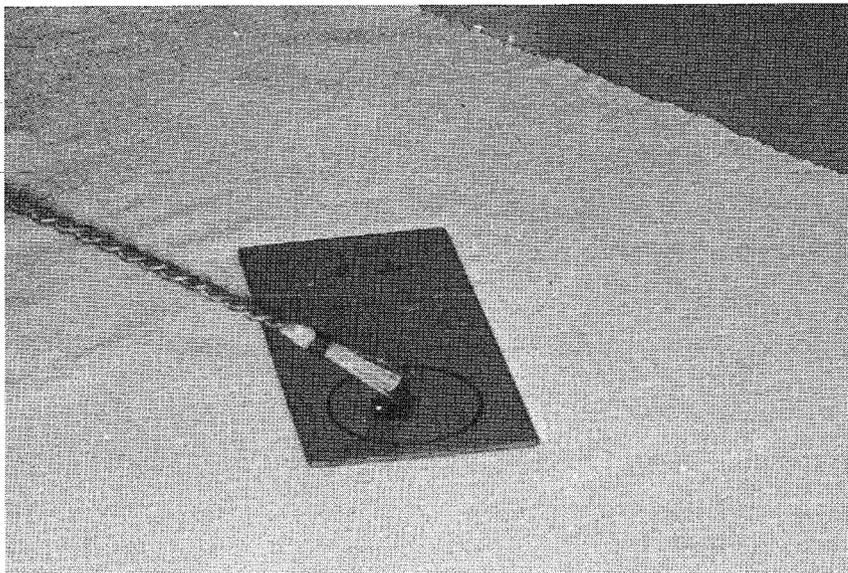
1. 30 sec. Tauchen in dest. Wasser von  $20^{\circ}$  C
2. 60 sec. Tauchen in dest. Wasser von  $20^{\circ}$  C
3. 120 sec. Tauchen in dest. Wasser von  $20^{\circ}$  C
4. 60 sec. Tauchen in 1 n Salzsäure und Spülen in dest. Wasser
5. 60 sec. Bürsten in kreisender Bewegung ohne Druck mit einer PVC-Bürste und 1 ml einer Dekontaminationspaste (bis zur Streichfähigkeit mit Wasser gekneteter Luodermin C/R-Paste). Anschließend Abspülen mit dest. Wasser.

Nach jedem Dekontaminationsschritt wird mit dem Fön getrocknet und aus mindestens 2 Messungen der

Mittelwert der verbleibenden Aktivität bestimmt.



Tauchen der Probe in Wasser bzw. Salzsäure



Bürsten der Probe mit einer Dekontaminationspaste

### 3.3. Auswertung der Meßergebnisse und Bewertung der Dekontaminierbarkeit

Nach den einzelnen Dekontaminationsschritten werden die auf der Oberfläche verbleibenden Aktivitätsprozentage ( $D_x$  o/o) wie folgt errechnet:

$$D_x \text{ o/o} = \frac{\text{verbleibende Aktivität (Imp/min)}}{\text{Ausgangsaktivität (Imp/min)}} \cdot 100 \text{ o/o}$$

Für die Endbewertung der Probe wird normalerweise nur allein die nach dem letzten Dekontaminationsschritt vorhandene Impulsrate (Restaktivität) nach Umrechnung zu  $D_x$  o/o herangezogen.

Die Skalenbreite der Benotung basiert auf den besten und schlechtesten Ergebnissen einer großen Reihe untersuchter Materialien. Die Skala selbst umfaßt 5 Bewertungsstufen und ist, jeweils verschieden für Anstrichsysteme und Fußbodenbeläge, wie folgt unterteilt:

#### Anstrichsysteme

Eintrockenverfahren	Einwirkverfahren <sup>+</sup>	Benotung
bis 0,5 $D_x$ o/o	bis 0,05 $D_x$ o/o	sehr gut
0,5 - 2 $D_x$ o/o	0,05 - 0,2 $D_x$ o/o	gut
2 - 5 $D_x$ o/o	0,2 - 0,5 $D_x$ o/o	mittel
5 - 10 $D_x$ o/o	0,5 - 1 $D_x$ o/o	schlecht
> 10 $D_x$ o/o	> 1 $D_x$ o/o	sehr schlecht

<sup>+</sup>Die  $D_x$  o/o-Wertskala des Einwirkverfahrens liegt um den Faktor 10 niedriger als die des Eintrockenverfahrens.

Fußbodenbeläge, Kunststoffe einschließlich Gummi

Eintrocknenverfahren		Einwirkverfahren <sup>++</sup>		Benotung
bis 0,2	$D_x$ o/o	bis 0,066	$D_x$ o/o	sehr gut
0,2 - 0,8	$D_x$ o/o	0,066 - 0,266	$D_x$ o/o	gut
0,8 - 2	$D_x$ o/o	0,266 - 0,66	$D_x$ o/o	mittel
2 - 5	$D_x$ o/o	0,66 - 1,66	$D_x$ o/o	schlecht
> 5	$D_x$ o/o	> 1,66	$D_x$ o/o	sehr schlecht

Generell muß betont werden, daß die Ergebnisse nur unter den angewandten Versuchsbedingungen strenge Gültigkeit haben. So können beispielsweise schon bei der Anwendung anderer Radionuklide (z.B.  $^{131}\text{J}$ ,  $^{35}\text{S}$  oder  $^{32}\text{P}$ ) in manchen Fällen starke Abweichungen auftreten.

#### 3.4. Reproduzierbarkeit des Verfahrens

Bei der Entwicklung des Prüfverfahrens war von vornherein klar, daß aufgrund der Natur der Untersuchungen Resultate in Form exakter Zahlenwerte kaum zu ermitteln sind. Um die Streubreite möglichst einzunengen, wurde das Verfahren auf zwei voneinander unabhängigen Methoden aufgebaut und jeweils Doppelbestimmungen eingeführt.

Zur Erfassung des Schwankungsbereichs wurden von 4 Laboranten zu verschiedenen Zeiten 7 bekannte Lackproben überprüft. Die Mittelwerte für die einzelnen

---

<sup>++</sup>Die  $D_x$  o/o-Wertskala des Einwirkverfahrens liegt um den Faktor 3 niedriger als die des Eintrocknenverfahrens.

Dekontaminationsschritte wurden in Tabelle 1 zusammengefaßt. Wie aus dieser zu ersehen ist, unterscheiden sich die Endergebnisse nur um den Faktor 2 bis 3; die Wertabweichungen bei den Zwischenstufen liegen ähnlich. Das Einwirkverfahren zeigt meist die bessere Übereinstimmung.

Da für die Beurteilung der Dekontaminationsfähigkeit nur Fehlerfaktoren in der Höhe von Größenordnungen ins Gewicht fallen, reicht bei der nachgewiesenen Fehlerbreite des Faktors 2 bis 3 die Reproduzierbarkeit des Verfahrens für die Praxis vollkommen aus.

Tabelle 1

## Reproduzierbarkeit des Dekontaminationsverfahrens

Material	Restaktivität in $D_x$ o/o nach 5 aufeinanderfolgenden Reinigungsstufen										Mittelwert der End- stufe und Dekontaminierbar- keit	
	30 Sekunden		60 Sekunden		120 Sekunden		60 Sekunden		60 Sekunden			
	Wasser		Wasser		Wasser		Salzsäure		Luodermin			
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Icosit K 25 S weiß Firma Lechler	15	0,49	13	0,40	12	0,36	2,8	0,18	0,45	0,02	0,79 gut	0,035 sehr gut
	21	0,68	21	0,64	20	0,59	4,6	0,15	0,23	0,02		
	24	0,59	24	0,55	22	0,53	6,9	0,29	1,20	0,04		
	20	0,38	19	0,34	17	0,29	5,6	0,11	1,30	0,06		
Icosit BW weiß Firma Lechler	18	0,49	11	0,33	9	0,31	1,7	0,09	0,04	0,014	0,028 sehr gut	0,014 sehr gut
	20	0,39	18	0,37	16	0,36	1,4	0,07	0,03	0,006		
	17	0,18	13	0,16	11	0,13	0,7	0,03	0,02	0,003		
	22	0,49	19	0,45	16	0,42	1,9	0,15	0,02	0,032		
Topol 1016 weiß Firma Lechler	27	1,90	16	1,80	15	1,24	2,2	0,20	0,26	0,065	0,14 sehr gut	0,038 sehr gut
	27	0,98	24	0,92	23	0,89	1,4	0,15	0,11	0,048		
	25	0,59	22	0,52	20	0,42	1,5	0,07	0,59	0,017		
	23	0,37	19	0,34	19	0,33	1,1	0,08	0,09	0,023		
Betonsiegel Firma Geholit	20	1,7	13	1,23	11	1,24	3,5	0,33	0,9	0,13	1,5 mittel	0,09 gut
	31	0,64	28	0,62	26	0,57	4,1	0,13	1,8	0,05		
	21	0,32	16	0,32	12	0,28	3,0	0,15	1,9	0,05		
	11	0,48	8	0,46	7	0,38	2,2	0,20	1,3	0,13		
Gehopon AL/W weiß Firma Geholit	22	0,42	15	0,40	14	0,32	2,8	0,13	0,14	0,06	0,22 sehr gut	0,025 sehr gut
	29	0,81	27	0,76	24	0,73	2,9	0,10	0,41	0,01		
	16	0,92	14	0,61	13	0,58	1,7	0,13	0,12	0,02		
	22	0,48	18	0,46	19	0,28	2,7	0,12	0,22	0,01		
Gehopon D Firma Geholit	16	0,32	9	0,25	8	0,24	1,3	0,07	0,05	0,005	0,055 sehr gut	0,0035 sehr gut
	17	0,30	14	0,30	13	0,29	1,2	0,04	0,02	0,001		
	14	0,30	12	0,29	10	0,27	0,8	0,02	0,07	0,003		
	15	0,29	14	0,27	13	0,25	1,5	0,06	0,08	0,005		

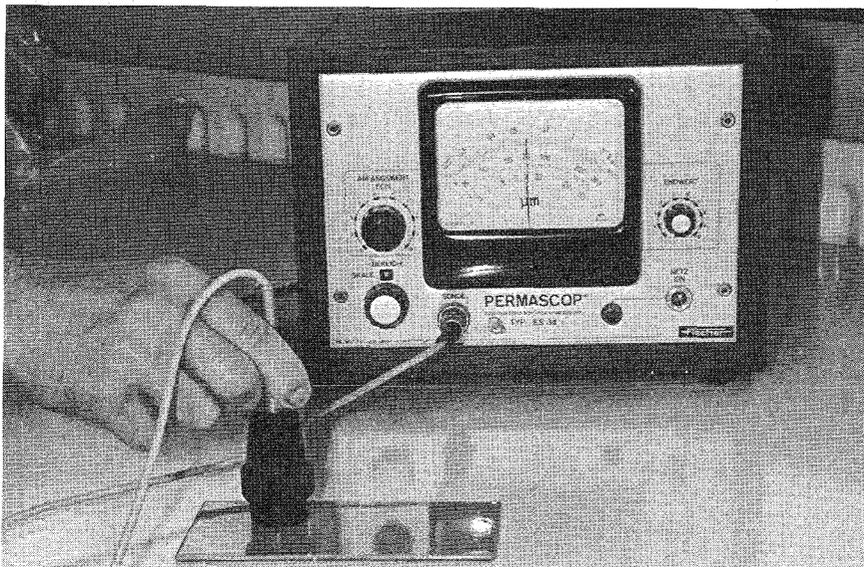
I = Eintrockenverfahren

II = Einwirkverfahren

### 3.5. Physikalische Untersuchungen

Da dekontaminierbare Flächen glatte, flüssigkeitsdichte und porenfreie Oberflächen aufweisen sollen, sind Schichtdicke, Glanz, Farbe, Festigkeit, Poren und Risse von Bedeutung für die Beurteilung.

- 3.5.1. Die Messung der Schichtdicke erfolgt mit einem elektronischen Schichtdickenmeßgerät (Permaskop der Firma Fischer, Stuttgart).

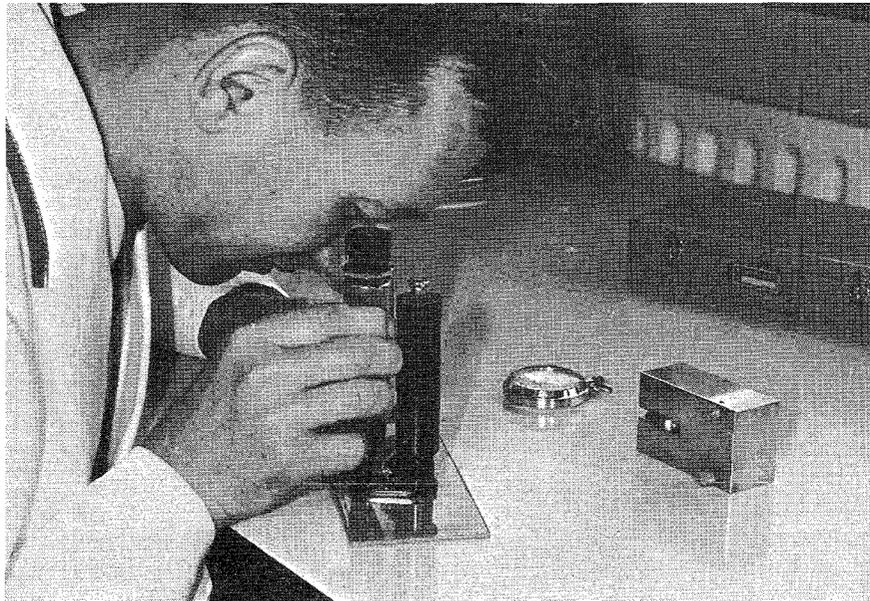


Messung der Schichtdicke

- 3.5.2. Die Glanzmessung der zu prüfenden Schicht wird mit einem Universal-Glanzmesser der Firma B. Lange, Berlin, oder visuell durchgeführt.

- 3.5.3. Die Farbe der Probe wird aus der Haupt-Übersichtskarte RAL 840 HR-Ü ermittelt.

- 3.5.4. Die Festigkeit der zu untersuchenden Schicht wird nach DIN 53 153 mit dem Eindruckhärteprüfer Buchholz Typ 263 bestimmt.



Prüfung der Festigkeit

- 3.5.5. Die Bestimmung von Poren und Rissen kann nach DIN 53 161 (Kupfersulfatverfahren für die Prüfung von Anstrichen auf Eisenwerkstoffen) oder visuell mit einem Lichtmikroskop (20 x) vorgenommen werden.

#### 3.5.6. Brennbarkeit

Ein Entflammbarkeitstest mit dem Prüfgerät der Firma Erichsen, Typ 263, kann auf Anforderung durchgeführt werden.

### 3.6. Chemische Untersuchungen

Ein dekontaminierbarer Oberflächenschutz sollte sehr gut chemikalienbeständig sein, um einerseits einen chemischen Angriff der radioaktiven Kontaminationslösung (die als saure, alkalische oder organische Lösung vorliegen kann) zu verhindern und andererseits auch aggressiveren Dekontaminationslösungen zu widerstehen.

#### 3.6.1. Säure-Lauge-Test

Auf die Probenoberfläche werden mit einer Pipette je 0,1 ml einer 1 n Salzsäure, einer konzentrierten Salpetersäure und einer 1 n Natronlauge aufgetragen. Nach einer Einwirkzeit von 2 Stunden



Prüfung auf Lösungsmittelbeständigkeit

werden die Chemikalien mit Wasser abgewaschen und eventuelle Veränderungen auf der Probe festgestellt.

### 3.6.2. Lösungsmittelteste

Die Untersuchung auf Lösungsmittelbeständigkeit wird mit Äthanol, Aceton, Benzol und Methylendichlorid durchgeführt. Das jeweilige Lösungsmittel wird in eine Bürette gefüllt, die Probenoberfläche in eine Schräglage von  $45^{\circ}$  gebracht und 10 Minuten mit einer Geschwindigkeit von 2 Tropfen/sec. betropft. Anschließend wird die Platte getrocknet und eine eventuelle Veränderung der Probenoberfläche festgestellt.

#### Prüfbericht

Alle Meßergebnisse und die Beurteilung werden in einem Prüfbericht (Formular siehe Abb.) festgehalten.

Außerdem enthält der Prüfbericht die vom Hersteller gelieferten Materialdaten, wie Art des Grundmaterials, Probeaufbau, Untergrund, Herstelltag und Alterung (nicht gealterte Proben werden in unserem Hause über 24 Stunden bei  $80^{\circ}$  C künstlich gealtert).

Datum: \_\_\_\_\_

Prüfbericht Nr.: \_\_\_\_\_

**a) Angaben des Lieferanten:**

Probe: \_\_\_\_\_  
 Firma: \_\_\_\_\_  
 Material: \_\_\_\_\_  
 Probeaufbau: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 Untergrund: \_\_\_\_\_  
 Herstelltag: \_\_\_\_\_ Alterung (24 h, 80 °C) am: \_\_\_\_\_

**b) Physikalische Untersuchung:**

Probeabmessung: \_\_\_\_\_ Farbe: \_\_\_\_\_ Ral Nr.: \_\_\_\_\_  
 Schichtdicke: \_\_\_\_\_ Flächengew.: \_\_\_\_\_  
 spez. Gew.: \_\_\_\_\_ Rauigkeit: \_\_\_\_\_  
 Glanz: \_\_\_\_\_ Festigkeit: \_\_\_\_\_  
 Sonstiges: \_\_\_\_\_

**c) Chemische Untersuchung:** Einwirkzeit 2 Std.

Säuren: 1 n HCl \_\_\_\_\_  
 Konz HNO<sub>3</sub> \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 Laugen: 1 n NaOH \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Lösungsmittel:** Einwirkzeit 10 Min.

Äthanol: \_\_\_\_\_  
 Azeton: \_\_\_\_\_  
 Benzol: \_\_\_\_\_  
 Methylenchlorid: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 Brennbarkeit: \_\_\_\_\_  
 Sonstiges: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**d) Dekontaminierbarkeit:**

Klasse: \_\_\_\_\_

Meßgerät: \_\_\_\_\_

Detektor: \_\_\_\_\_

	Einrockenverfahren	Einwirkverfahren	
Radionuklide			
Lösung			
Aktivität			mC/ml
Lsg.-Menge			ml
Anfangsakt.			Imp/m
30 sec. waschen in H <sub>2</sub> O dest.			Imp/m
Dekontamination			D <sub>x</sub> %
60 sec. waschen in H <sub>2</sub> O dest.			Imp/m
Dekontamination			D <sub>x</sub> %
120 sec. waschen in H <sub>2</sub> O dest.			Imp/m
Dekontamination			D <sub>x</sub> %
60 sec. waschen in 1 n HCl			
Dekontamination			D <sub>x</sub> %
Dekontamination			D <sub>x</sub> %
1 Min. bürsten mit Luo-Dermin c/R			Imp/m
Dekontamination			D <sub>x</sub> %
Dekontamination			Imp/m
Dekontamination			D <sub>x</sub> %
Dekontamination			Imp/m
Dekontamination			D <sub>x</sub> %

#### 4. Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Mit dem Karlsruher Prüfverfahren wurde - hauptsächlich für Fremdfirmen und -institute - seit 1963 eine große Anzahl von Materialien, wie Metalle, Kunststoffe, Lacke, Fußbodenbeläge, Keramik usw. auf Dekontaminierbarkeit untersucht. Die Ergebnisse wurden zur besseren Übersichtlichkeit und zum Vergleich in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Ein Großteil der für gut befundenen, geprüften Produkte wurde in Instituten, Reaktoren und Betriebsanlagen des Kernforschungszentrums Karlsruhe zur praktischen Erprobung eingesetzt und beobachtet. Die Ergebnisse des Testverfahrens decken sich mit den Erfahrungen der Praxis.

##### 4.1. Dekontaminierbarkeit von Kunststoffen

Die organischen Kunststoffe haben sich in der Reaktortechnik stark durchgesetzt und werden häufig als Rohre, Dichtungen, Behälter, Elektroisolationen etc. verwendet.

Ihr Dekontaminationsverhalten ist stark von ihrer Zusammensetzung und Molekularstruktur abhängig. Gut dekontaminieren lassen sich chemikalienbeständige, wasserabweisende Materialien mit möglichst glatter Oberfläche. Die günstigsten Eigenschaften haben die olefinischen Verbindungen und deren halogenhaltige Abkömmlinge. An der Spitze stehen Teflon und Polyäthylen sowie Polypropylen. Ihnen folgen, aufgeführt nach abnehmender Dekontaminationsfähig-

keit, Silikonharze, Phenolharze, PVC, Polyurethane und die Polyamide. Weniger gut zu reinigen sind Polymethacrylsäureester, Polyester und Kunstkautschuke. Die Dekontaminierbarkeit der einzelnen Kunststoffe ist ferner stark abhängig von Zusätzen wie Füllstoffen, Farbstoffen, Weichmachern usw. So kann z.B. bei PVC durch Zusätze jeder Dekontaminationsgrad zwischen sehr gut und sehr schlecht erzeugt werden. Im allgemeinen läßt sich sagen, daß das Dekontaminationsverhalten der Kunststoffe durch Zusätze fast immer negativ beeinflußt wird.

#### 4.2. Dekontaminierbarkeit von Anstrichsystemen

Über die Dekontaminierbarkeit von Anstrichen finden sich in der Literatur eine Reihe von Veröffentlichungen [1-8, 10-15, 17]. Erste systematische Untersuchungen wurden in den USA bereits im Jahre 1950 [1, 2] durchgeführt. Wie sich - auch aus späteren Prüfungen in anderen Ländern ergab und aus Tabelle 2 ersichtlich ist, sagt die Art der Grund-Kunstharztype allein noch nicht viel über die Dekontaminationsqualität des fertigen Lackes aus.

Die großen Schwankungen haben folgende Ursachen: Die Qualität an sich gleichartiger Harze ist herstellungsbedingt oft sehr unterschiedlich; durch Verschnitt mit anderen, zum Teil billigeren Harzen wird die Dekontaminierbarkeit meist negativ beeinflußt. Bei chemisch härtenden Produkten ist die richtige Härtermenge und -sorte von Be-

deutung. Zusatz von Weichmachern, Verlaufsmitteln, großer Pigment- und Füllstoffmengen zum Harz bewirkt meist eine Verschlechterung der Dekontaminierbarkeit. Insbesondere nimmt diese beim Überschreiten der kritischen Pigmentvolumenkonzentrationsverhältnisse extrem ab. Daraus erklärt sich, daß glänzende Lacke besser als seidenmatte und diese immer noch besser als matte zu dekontaminieren sind.

Die Untersuchungen über die Abhängigkeit der Dekontaminierbarkeit der fertigen Lacke von der Menge und Korngröße der Lackfüllmittel und -farbstoffe sind noch nicht abgeschlossen. Bis jetzt kann eindeutig nur gesagt werden, daß bei niedrigem Füllgrad der Einfluß des Pigments relativ gering ist.

Die Dekontaminierbarkeit von im Labor für gut befundenen Lacken kann im praktischen Einsatz durch unsachgemäße Verarbeitung bzw. ungeeigneten Untergrund ganz wesentlich herabgesetzt werden. Besonders zu achten ist in diesem Zusammenhang auf Porenfreiheit und genügende Schichtstärke. Dem Schichtaufbau selbst kommt, sofern die Deckschicht einwandfrei ausgebildet ist, normalerweise keine Bedeutung zu.

Die Kriterien bei der Auswahl der zweckmäßigsten Anstrichsysteme für die jeweiligen Kontaminations- und Reaktorbereiche sind Art des Untergrunds, geforderter Grad an Beständigkeit gegen Temperatur, Chemikalien oder Bestrahlung, zu erwartende Akti-

vitätshöhe und Dekontaminationshäufigkeit sowie notwendiger Dekontaminationsgrad. Neben der prinzipiellen Eignung wird die Entscheidung für die eine oder andere Lacktype auch erheblich durch wirtschaftliche Erwägungen bestimmt. Maßgebend sind diesbezüglich die Kosten des vollständigen Fertiganstrichs pro Quadratmeter, in die Materialpreis, Anzahl der benötigten Schichten und somit auch die Verarbeitungszeit eingehen, nicht etwa allein der Kilopreis des Lackes.

Die Berücksichtigung des Kostenfaktors wurde erst nach und nach aufgrund der gewonnenen Erfahrung ermöglicht, die eine zweckdienliche Differenzierung zuließ. In den Anfängen der Kerntechnik bestand der Trend, überall nur hochbeständige und bestens dekontaminierbare Anstriche einzusetzen, meist teure Epoxidharze, die sowohl auf Stahl und Beton als auch auf Verputz aufgetragen wurden. Zusätzliche Kosten brachte das Glätten des Untergrunds mit speziellen Spachtelmassen oder Anhydritputz bei Beton und verputzten Ziegelwänden mit sich. Es waren daher sehr bald Bestrebungen im Gange, diesen Anstrich durch billigere Lacke mit preisgünstigerem Untergrund, aber ähnlich gut dekontaminierbarer Oberfläche zu ersetzen. Wie die Übersichtstabelle (Tabelle 2) zeigt, konnte eine beachtliche Anzahl derartiger Anstrichsysteme ermittelt werden. Diese sind allerdings nicht unterschiedslos für alle Untergrundarten und Aktivitätsbereiche geeignet, wie auch ihre Beständigkeit gegen Chemikalien und Lösungsmittel nicht immer ganz befriedigend ist. Nach dem derzeitigen

Tabelle: 2 Dekontaminationsergebnisse von Anstrichsystemen<sup>+</sup>, Fußbodenbelägen u. nichtmetallischen Werkstoffen.

Probentyp	Gesamtzahl der Proben	Klassifizierung der Dekontaminierbarkeit				
		sehr gut	gut	mittel	schlecht	sehr schlecht
<b>I. Anstrichsysteme</b>						
a) physikalisch trocknende Produkte						
Chlorkautschuk	16	9	2	1	2	2
Cyclokautschuk	26	12	8	3	2	1
Dispersionsfarben	13		1	3	3	6
Nitrolacke	2			2		
Phenolharze	4	3	1			
Polymethacrylate(Acrylharze)	5	3	1			1
PVC-Mischpolymerisate	35	15	12	4	1	3
b) chemisch härtende Produkte ausgenommen oxydativ trocknende P- Epoxid <sup>++</sup>						
	216	109	48	18	7	4
" amingehärtet		8	4	1	1	
" erhöhter Pigmentgehalt				2		1
" polyamidgehärtet		1	4			
" Teerzusatz		1	2	2		3
Polyester	16	12	2	1	1	
Polyurethan	46	31	11	2	1	1
Siliconharze	2	1	1			
Siliconkautschuk	5	4	1			
c) oxydativ trocknende Produkte						
Alkydharze	16	9	6		1	
" -Cyclokautschuk-Komb.	34	18	9	4	2	1
<b>II. Fußbodenbeläge</b>						
Gummi	16		2	6	1	7
PVC	35	10	12	7	3	3
sonstige	3		1	1		1
<b>III. Nichtmetallische Werkstoffe</b>						
Emaile	2	1	1			
Fensterglas	2	1	1			
Gummierungen	19	1	4	2	4	8
Keramikplatten	11	8				3
Neoprene	3	2		1		
Plexiglas(Polymethacrylat)	2	1	1			
Polypropylen	2	2				
Polystyrol	1	1				
PVC-beschichtetes Gewebe	12	1	3	4	2	2
Teflon	2	2				
	<b>546</b>					

+ Beschichtungen, Lacke, Versiegelungen

++ nicht näher spezifiziert

Stand werden im Kernforschungszentrum Karlsruhe die verschiedenen Anstrichsysteme etwa wie folgt angewendet:

Für Bereiche mit besonders starker Kontamination sowie bei hoher Strahlung, z.B. in Heißen Zellen, Gloveboxen etc., wird nach wie vor Epoxidharz oder Polyurethan eingesetzt. In einigen wenigen Fällen, insbesondere bei Behältern, eignen sich auch ein-gebrannte Phenolharze. Alle diese Lacktypen sind hoch chemikalienbeständig, für häufige Dekontamination bestens geeignet und sehr strahlenresistent.

Werden keine so hohen Anforderungen gestellt, kann man auf preisgünstigere, zwar chemisch weniger beständige und gegen Lösungsmittel empfindlichere aber trotzdem sehr gut dekontaminierbare Lacke ausweichen. Hierfür kommen insbesondere in Frage: PVC-Mischpolymerisate, Chlor- und Cyclokautschuk, langölige Alkydharze und Polyester. Diese Lacktypen haben sich als Anstrich für Wände und Geräte in Reaktorgebäuden und Labors bewährt. Sie sind wesentlich billiger und weniger schwierig aufzubringen als die Epoxid- und Polyurethananstriche. In Karlsruhe wurden in Zusammenarbeit mit mehreren Lackfirmen insbesondere lichtbeständige Cyclokautschuk-Kombinationen entwickelt und getestet.

Einfache Nitrolacke und Ölfarben sind für Kontaminationsbereiche kaum zu empfehlen; mit Abstand am schlechtesten sind Dispersionsfarbanstriche zu werten.

Als gutes Beispiel für die in diesem Kapitel aufgestellten Regeln kann die Tabelle 3 dienen, in der die Dekontaminierbarkeitsqualitäten der wichtigsten Lacktypen der Firma Lechler-Chemie, Stuttgart, verzeichnet sind.

#### 4.3. Dekontaminierbarkeit von Fußbodenbelägen, Spachtelmassen und Gummierungen

##### 4.3.1. Fußbodenbeläge

Die Untersuchung von ca. 50 Fußbodenbelägen verschiedenster Zusammensetzung hat ergeben, daß sich für kontaminationsgefährdete Räume PVC-haltige Materialien am besten, Naturkautschuke und Linoleum dagegen nicht eignen. Allerdings gibt es auch innerhalb der PVC-Beläge enorme Unterschiede, die insbesondere auf Menge und Art der Füll- und Farbstoffe zurückzuführen sind. Zum Beispiel wirkt sich eine Überfüllung der Beläge oder ein zu grosser Weichmachergehalt des PVC negativ aus. Der Einfluß der verschiedenen Pigmente und Füllstoffe soll zu einem späteren Zeitpunkt noch systematisch untersucht werden. Aus den vorläufigen Prüfungsergebnissen geht hervor, daß bei Belägen mit guten Dekontaminationseigenschaften der Farbton frei gewählt werden kann.

Grundvoraussetzung ist aber eine glatte und glänzende Oberfläche. Die Abhängigkeit der Dekontaminierbarkeit von der Oberflächenbeschaffenheit wurde durch Untersuchungen an abgeschmirgelten und dadurch künstlich aufgerauhten Proben belegt. Bei

Tabelle 3

## Dekontaminierbarkeit verschiedener Anstricharten der Firma Lechler

Probentyp	Benotung	Eintrocknenverfahren Restaktivität	Einwirkverfahren Restaktivität
<u>physikalisch trocknende Produkte:</u>			
Teerpech-Emulsion	gut	2,0 D <sub>x</sub> o/o	0,2 D <sub>x</sub> o/o
Bitumen-Emulsion	mittel	0,3 D <sub>x</sub> o/o	0,5 D <sub>x</sub> o/o
Bitumen-Emulsion	sehr schlecht	7,0 D <sub>x</sub> o/o	4,0 D <sub>x</sub> o/o
<u>chemisch härtende Produkte:</u>			
Aetoxylinharz, isocyanatgehärtet	sehr gut	0,05 D <sub>x</sub> o/o	0,04 D <sub>x</sub> o/o
Ester, isocyanatgehärtet	sehr gut	0,2 D <sub>x</sub> o/o	0,03 D <sub>x</sub> o/o
Teerpech, isocyanatgehärtet	gut	0,5 D <sub>x</sub> o/o	0,15 D <sub>x</sub> o/o
Teerpech, Epoxidharz	mittel	0,3 D <sub>x</sub> o/o	0,2 D <sub>x</sub> o/o
Epoxidharz dick	gut	2,0 D <sub>x</sub> o/o	0,07 D <sub>x</sub> o/o
Epoxidverschnitt mit Schuppenpigment	gut	0,8 D <sub>x</sub> o/o	0,1 D <sub>x</sub> o/o
Epoxidharz stark zinkgefüllt	mittel	0,5 D <sub>x</sub> o/o	0,3 D <sub>x</sub> o/o
Kunstharz, isocyanatgehärtet	sehr gut	0,2 D <sub>x</sub> o/o	0,03 D <sub>x</sub> o/o
Ölfarbe	mittel	0,1 D <sub>x</sub> o/o	0,4 D <sub>x</sub> o/o
Chlorkautschuk-Kombination	gut	0,25 D <sub>x</sub> o/o	0,2 D <sub>x</sub> o/o

hochwertigen, elastischen Produkten verschlechtert sich die Dekontaminierbarkeit durch die Oberflächenrauheit nur um den Faktor 2 bis 5, während sie bei mittleren Qualitäten auf den zwanzigsten Teil absinken kann.

Ein Vergleich der Wasseraufnahmefähigkeit zeigt, daß Beläge mit geringer Quellbarkeit meistens am besten dekontaminierbar sind.

Aufgrund von Betriebserfahrungen werden im KFZ seit einigen Jahren nur noch einschichtige, homogene, ca. 2 mm starke Beläge verwendet. Das Material wird in möglichst breiten Bahnen verlegt, die Fugen und Sockelleisten verschweißt. Die früher verwendeten mehrschichtigen Beläge erwiesen sich als ungeeignet, da nur die oberste Deckschicht gut dekontaminierbar ist, die darunterliegenden aber so stark gefüllt sind, daß bei beschädigter Oberschicht die aktive Flüssigkeit eingesaugt wird und nicht mehr entfernbar ist.

Ein Kosten- und Qualitätsvergleich verschiedenster Fabrikate zeigte, daß der höhere Preis eines Produktes nicht unbedingt auch einer höheren Güte in bezug auf die Dekontaminierbarkeit entspricht; deshalb sollte jeder neu auf den Markt kommende Belag einem Test unterzogen werden.

#### 4.3.2. Spachtelmassen

Als Folge der uneinheitlichen Grundmaterialien und Herstellungsarten sind die qualitativen Un-

terschiede hinsichtlich der Dekontaminierbarkeit innerhalb der Palette der Spachtelmassen noch weit ausgeprägter als innerhalb der der Beläge. Als generelle Richtlinie kann gelten, daß glänzende, glatte, wenig gefüllte Schichten aus chemisch beständigem, wasserabweisenden Material sich gut bis sehr gut dekontaminieren lassen. Ein höherer Füllgrad wirkt sich besonders bei Verwendung von Quarzsand und Steinmehl ungünstig aus. Die besten Dekontaminationsergebnisse wurden bei lösemittelfreien Polyurethan- und Epoxidharzen erreicht, immer noch gute bei Polyestern.

Die Haupteinsatzgebiete der Fußbodenspachtelmassen sind Abwasserstationen, Behältergruben und schwerbelastete Böden. Hier kommen die Vorteile der Spachtelmassen zum Tragen, nämlich ihre enorme Haftfestigkeit mit dem Untergrund, ihre große mechanische Festigkeit und ihre hohe Wasserbeständigkeit. Dennoch haben sie den PVC-Belägen gegenüber auch Nachteile. Die gut bis sehr gut dekontaminierbaren Beschichtungen sind stark glänzend und wenig rutschfest. Die durch häufiges Begehen abgenutzten, glanzlosen Stellen sind wesentlich schlechter dekontaminierbar als die frischen Oberflächen. Die Beschichtungen sind nicht sehr elastisch und platzen beim Aufsetzen kantiger Gegenstände ab. Das Ausbessern beschädigter Stellen ist nicht einfach und zudem zeit- und kostenaufwendig. Das Entfernen nicht mehr dekontaminierbarer Beschichtungen ist auch in kleinem Umfang äußerst schwierig. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus fällt

ins Gewicht, daß Beschichtungen teurer als PVC-Beläge sind.

#### 4.3.3. Gummierungen

Die Dekontamination von Gummierungen brachte lediglich in wenigen Fällen (z.B. Hypalon) halbwegs gute Ergebnisse. Gummierungen haben sich deshalb für Behälter im Reaktorbereich und in Abwasserstationen nicht sehr durchgesetzt. Dagegen werden sie bei wechselnder Säure- und Chemikalienbeanspruchung in schwachaktiven Bereichen ihrer guten chemischen Beständigkeit zufolge oft gut dekontaminierbaren Materialien, sogar den Edelstählen vorgezogen.

[16]

#### 4.4. Einfluß der Chemikalienbeständigkeit auf die Dekontaminierbarkeit

In den meisten Fällen sind besonders chemikalienbeständige Materialien auch sehr gut zu dekontaminieren. Die Ausnahmen gehen hauptsächlich auf ungünstige Produktoberflächen zurück - wie bereits erwähnt, ist das Dekontaminationsverhalten vor allem eine Frage der Oberflächenad- und absorption. Typische Beispiele hierfür sind Anstriche und Gummierungen auf mineralischer oder graphithaltiger Basis mit matten oder rauhen Oberflächen, die sich trotz hoher Chemikalienbeständigkeit schlecht dekontaminieren lassen.

Eine stärkere Quellbarkeit bzw. Wasseraufnahmefähigkeit einer Oberfläche beeinflußt deren Dekontaminierbarkeit im negativen Sinne. Es konnte

nachgewiesen werden, daß bei Lacken ein Zusammenhang zwischen guter Dekontaminierbarkeit und geringer Wasserdampfdurchlässigkeit existiert. Die Werte der Wasserdampfdurchlässigkeit können als Anhaltspunkt bei der Vorauswahl der auf Dekontaminierbarkeit zu untersuchenden Lackproben dienen.

Neben den chemikalienbeständigen, aber schlecht dekontaminierbaren Materialien gibt es jedoch auch den umgekehrten Fall, nämlich, daß Anstrichsysteme und Beläge sich bestens dekontaminieren lassen, nach der Behandlung jedoch so stark angegriffen oder sogar zerstört sind, daß sie sich für einen weiteren Einsatz nicht mehr eignen. Eine Mindestbeständigkeit gegen Dekontaminationsmittel ist demgemäß unbedingt erforderlich. Daher wird in den Prüfzeugnissen bei geringer Beständigkeit der Produkte gegen schwache Säuren, Laugen und Lösungsmitteln ein entsprechender Einschränkungsvermerk eingetragen.

#### 4.5. Strahlenbeständigkeit von Kunststoffen und Anstrichsystemen

In radioaktiven Bereichen muß manchmal beim Einsatz von Kunststoffen und Anstrichen auf deren Strahlenbeständigkeit Rücksicht genommen werden. Bei der Beurteilung der Strahlenbeständigkeit ist natürlich die Art der Strahlung ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , Neutronen) zu beachten. Die Strahlenbeständigkeit steht mit der Dekontaminierbarkeit nicht in direktem Zusammenhang. Im ersten Fall handelt es sich um die

Resistenz gegenüber hochenergetischer Strahlung, im zweiten um die Widerstandsfähigkeit gegen Reinigungsmittel und -verfahren.

Bei den Bestrahlungsversuchen in der ADB\* wurden speziell entwickelte Lacke zweier Firmen in das Innenrohr einer 20.000 Ci-Kobaltquelle (Leistung ca.  $7 \cdot 10^6$  r/h) eingebracht und 150 Stunden lang bestrahlt. Nach 0,15, 1,5, 15 und 150 Stunden wurde der Film visuell begutachtet und die Befunde in einer Tabelle (Tab. 4) zusammengefaßt. Bei der Auswertung der Ergebnisse ist zu beachten, daß die Verfärbungen der Lacke nicht unbedingt nur als Strahleneffekte zu deuten sind, sondern auch temperaturbedingt sein können, da im Rohr eine Temperatur von 120 bis 150° C herrscht. Sicher ist allerdings, daß die ca. 6-tägige Wärmeeinwirkung nicht zur Zerstörung der Filme beiträgt; diese ist allein auf die Gammastrahlung zurückzuführen.

Die Untersuchungsergebnisse der Tabelle 4 zeigen gute Übereinstimmung mit den Angaben der Literatur [9]. Hervorzuheben ist, daß Cyclokautschuk, der in letzter Zeit häufig in Kontaminationsbereichen eingesetzt wird, teilweise höhere Strahlenresistenz aufweist als die hochchemikalienbeständigen Anstriche auf Epoxid- oder Polyurethanbasis.

---

\* Abteilung Dekontaminations-Betriebe

Tabelle 4

Untersuchung verschiedener Anstriche auf Strahlenbeständigkeit  
(Untergrundmaterial: Aluminiumblech)

Beschichtung	Visuelle Begutachtung nach einer Bestrahlung mit einer Co-Quelle einer Leistung von $7 \cdot 10^6$ r/h			
	nach 0,15 h	nach 1,5 h	nach 15 h	nach 150 h
Epoxidharz amingehärtet	Film unbeschädigt, gilbt	Film unbeschädigt, gilbt stark	Film unbeschädigt, gilbt sehr stark	Film spröde, blättert ab
Epoxidharz poly- amid-gehärtet	Film unbeschädigt, gilbt	Film unbeschädigt, gilbt stark	Film unbeschädigt, gilbt sehr stark	Film spröde, blättert ab
Epoxidharz iso- cyanatgehärtet	Film unbeschädigt, gilbt leicht	Film unbeschädigt, gilbt leicht	Film unbeschädigt, gilbt	Film leicht ver- sprödet, beginnt abzublättern
Polyurethan (D-D-Lack)	Film unbeschädigt, gilbt leicht	Film unbeschädigt, gilbt leicht	Film spröde, brau- ner Farbton	Film stark ver- sprödet, blättert ab
Cyclokautschuk rein	Film unbeschädigt, gilbt leicht	Film unbeschädigt, gilbt leicht	Film unbeschädigt, hellbraun	Film unbeschädigt, matt, hellbraun
Cyclokautschuk Alkydharz-Kombination	Film unbeschädigt, gilbt leicht	Film unbeschädigt, gilbt leicht	Film unbeschädigt, hellbraun	Film unbeschädigt, matt, hellbraun
Styrol-Butadien	Film klebrig, gilbt leicht	Film spröde, blät- tert ab	-	-
Vinyl-Mischpoly- merisat	Film leicht klebrig, gilbt leicht	Film unbeschädigt, gilbt leicht	Film unbeschädigt, gilbt	Film wenig ver- sprödet
Hypalon chlor-sul- foniertes Polyäthy- len	Film unbeschädigt, vergilbt nicht	Film unbeschädigt, vergilbt nicht	Film leicht ver- sprödet	Film spröde, blättert ab

5. Schlußbetrachtung

Erst nur für die eigenen Belange, dann infolge der Ausbreitung der Kerntechnik immer häufiger auch für die in- und ausländische Industrie, wurden Gutachten über die Dekontaminierbarkeit von Anstrichsystemen, Fußbodenbelägen und nichtmetallischen Werkstoffen angefertigt.

Die aufgrund der langjährigen Tests gewonnene Erfahrung sowie das erarbeitete Vergleichsmaterial sind eine gute Grundlage für die Auswahl geeigneter Produkte für die verschiedenen Kontaminationsbereiche. Mangels eines verbindlichen Normverfahrens in Deutschland hat sich das Karlsruher Verfahren bei Reaktorbetreibern bzw. Bauherren allgemein durchgesetzt.

Durch die Festlegung der Kontaminationsverfahren und der 5 Dekontaminationsschritte wurde eine Möglichkeit zur vergleichenden Prüfung geschaffen. Die Maximal- und Minimalprozentsätze der einzelnen Benotungsstufen sind Erfahrungswerte, die auf einer großen Anzahl von Untersuchungsergebnissen beruhen. Die Prüfungen sind in kurzer Zeit mit relativ einfachen Mitteln und geringem Kostenaufwand durchführbar, die Resultate gut reproduzierbar.

Für die Mitarbeit und die Durchführung von Untersuchungen bei der Ausarbeitung des Verfahrens sei Herrn John, für die Durchsicht dieser Arbeit Frau Starch vielmals gedankt.

Literaturverzeichnis

1. TOMKINS, P.C. und BIZZELL, O.M.  
"Working Surfaces for Radiochemical Laboratories.  
Glass, Stainless Steel and Lead"  
Ind. Eng. Chem. 42, 1469-1475 (1950)
2. TOMKINS, P.C., BIZZELL, O.M. und WATSON, C.D.  
"Working Surfaces for Radiochemical Laboratories.  
Paints, Plastics, and Floor Materials"  
Ind. Eng. Chem. 42, 1475-1481 (1950)
3. MESTRE, E. und SAUTIEZ, N.  
"Contamination radioactive de quelques surfaces en  
caoutchouc ou en matière plastique par des produits  
de fission. - Essais de décontamination"  
Note C.E.A. n° 218 (Octobre 1957)
4. DLOUHÝ, Z., KUTZENDORFER, J., MALÝ, J.  
"Dekontamination der mit Radioisotopen verseuchten  
Oberflächen"  
Kernenergie 3, 65-73 (1957)
5. MESTRE, E.  
"La décontamination des surfaces"  
Energie Nucléaire 3, 309-318 (1961)
6. MESTRE, E., SAUTIEZ, N., DE KERDELLEAU, J.  
"Essais de contamination de quelque matériaux utilisés  
dans les installations et équipements individuels"  
Note C.E.A. n° 378 (1962)
7. OTTO, R.  
"Untersuchungen über die Entseuchungsfähigkeit radio-  
aktiv verseuchter Epoxydharz- und Vinoflexlackanstriche"  
Kernenergie 4, 801-807 (1961)
8. SONTAG, REUTER  
"Radioaktive Verschmutzung und ihre Entfernung aus An-  
strichen und Werkstoffen"  
(Takeshi Kuninori u. Masaaki Hazue, Official Digest,  
36/470, 256 (März 1964)  
Deutsche Farben-Zeitschrift, 18, Heft 11 (1964)

9. WEST, G.A. et al  
"Gamma Radiation Damage and Decontamination Evaluation of Protective Coatings and Other Materials for Hot Laboratory and Fuel Processing Facilities"  
ORNL-3589 (1965)
10. ROTREKL, B.  
"Methode zur Entwicklung der Kontaminierbarkeit und Dekontaminierbarkeit der in der Kerntechnik gebrauchten Materialien"  
Kernenergie 10, 211-214 (1967)
11. United States of America Standards Institute, Inc.  
"Protective Coatings (Paints) for the Nuclear Industry"  
USASI N 5.9 (1967) UDC: 621.039: 667.61: 667.637
12. ROTREKL, B.  
"Die Prüfung der Oberflächeneigenschaften von Anstrichstoffen auf Epoxidharzbasis mittels radioaktiver Isotope"  
Kernenergie 11, 44-47 (1968)
13. British Standards Institution  
"Recommendations for the Assessment of Surface Materials for Use in Radioactive Areas. Part 1. Method of Test for Ease of Decontamination. Part 2. Guide to the Selection of Materials"  
BS 4247: Part 1: 1967, Part 2: 1969, UDC 620.16: 539.16
14. SCHMITT, B.F.  
"Prüfung der Dekontaminierbarkeit von Anstrichen"  
Kerntechnik 11, 397-402 (1969)
15. OTTO, R.  
"Untersuchungen über die Dekontaminationsfähigkeit radionuklid-kontaminierter Oberflächen"  
Isotopenpraxis 2, 27-34 (1969)
16. RATTAY, K.H.,  
"Dekontaminierbare Fußböden für Isotopen-Labore"  
Boden - Wand und Decke 2, 168-170 (1969)
17. BERGER, W., HEPP, H. und SAUERMAN, P.F.  
"Untersuchungen zur Dekontaminierbarkeit von Anstrichen"  
Farbe und Lack 76, 44-49 (1970).

