

EUR 5055 d

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

ERFAHRUNGEN MIT INSPEKTION, WARTUNG,
REPARATUR UND DEKONTAMINATION
IN KERNKRAFTWERKEN
MIT LEICHTWASSERREAKTOREN

1974



Bericht abgefaßt von
der Firma Lahmeyer International GmbH - Frankfurt/Main (Deutschland)
Professor Vodar, Laboratoire des Hautes Pressions, Paris-Bellevue (Frankreich)
Euratom Vertrag Nr. 044-71-11 ECIC

HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Gemeinschaften ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, ihre Vertragspartner und die in deren Namen handelnden Personen :

keine Gewähr dafür übernehmen, daß die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder daß die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;

keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird in den auf der vierten Umschlagseite genannten Vertriebsstellen

zum Preise von BF 185,—

verkauft.

**Kommission der
Europäischen Gemeinschaften
GD XIII - ZID
29, rue Aldringen
L u x e m b o u r g**

Februar 1974

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

EUR 5055 d

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

**ERFAHRUNGEN MIT INSPEKTION, WARTUNG,
REPARATUR UND DEKONTAMINATION
LEICHTWASSERREAKTOREN**

EUR 5055 d

DREN

**EXPERIENCES WITH INSPECTION, MAINTENANCE, REPAIR WORK
AND DECONTAMINATION IN NUCLEAR POWER PLANTS WITH
LIGHT WATER REACTORS**

Commission of the European Communities
Report prepared by
Firm Lahmeyer International GmbH, Frankfurt/Main - Germany
Professor Vodar, Laboratoire des Hautes Pressions, Paris-Bellevue - France
Euratom Contract No. 044-71-11 ECIC
Luxembourg, Februar 1974 - 150 Pages - 8 Figures - B.Fr. 185.—

After a preparatory study of the relevant literature and technical reports detailed discussions have been conducted with nuclear power plant operating staff in order to compile data on the experience acquired to date of repair-, inspection-, maintenance- and decontamination procedures and radiation-protection problems in nuclear power plants. The results have been presented in the form of recommendations for the construction and operation of future nuclear power plants.

EUR 5055 d

**EXPERIENCES WITH INSPECTION, MAINTENANCE, REPAIR WORK
AND DECONTAMINATION IN NUCLEAR POWER PLANTS WITH
LIGHT WATER REACTORS**

Commission of the European Communities
Report prepared by
Firm Lahmeyer International GmbH, Frankfurt/Main - Germany
Professor Vodar, Laboratoire des Hautes Pressions, Paris-Bellevue - France
Euratom Contract No. 044-71-11 ECIC
Luxembourg, Februar 1974 - 150 Pages - 8 Figures - B.Fr. 185.—

After a preparatory study of the relevant literature and technical reports detailed discussions have been conducted with nuclear power plant operating staff in order to compile data on the experience acquired to date of repair-, inspection-, maintenance- and decontamination procedures and radiation-protection problems in nuclear power plants. The results have been presented in the form of recommendations for the construction and operation of future nuclear power plants.

**Bericht abgefaßt von
der Firma Lahmeyer International GmbH - Frankfurt/Main (Deutschland)
Professor Vodar, Laboratoire des Hautes Pressions, Paris-Bellevue (Frankreich)
Euratom Vertrag Nr. 044-71-11 ECIC**

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einer vorbereitenden Literatur- und Berichtsauswertung wurden durch eingehende Befragungen und Diskussionen mit dem Kernkraftwerks-Betriebspersonal die in den Anlagen vorliegenden Erfahrungen mit den angewandten Reparatur-, Inspektions-, Wartungs- und Dekontaminationsverfahren sowie den dabei aufgetretenen Strahlungsproblemen gesammelt und zusammengestellt. Die Resultate wurden in Empfehlungen für den Bau und Betrieb zukünftiger Kernkraftwerks-Anlagen gefaßt.

Die Empfehlungen betreffen die Betreiber, die Hersteller, die Zulieferfirmen sowie die Architekt-Ingenieure und diejenigen, die den Anlagenbau vorbereiten und die Ausführung überwachen.

Aus im Laufe der Untersuchungen zu Tage getretenen relativ generellen Problemen sind zum Teil Empfehlungen entstanden, die an nationale und internationale Koordinierungs-Institutionen gerichtet sind.

Die überwiegende Anzahl der Empfehlungen bezieht sich auf die anlagentechnische Gestaltung, die Maschinenteknik, den Strahlenschutz und den Betrieb der Anlagen. Kleinere Gruppen umfassen Leittechnik, Elektrotechnik und Bautechnik.

Die Dekontaminationsprobleme sind in einem besonderen Abschnitt behandelt.

SCHLAGWORTE

INSPECTION
REPAIR
DECONTAMINATION
RADIATION PROTECTION
NUCLEAR POWER PLANTS

DESIGN
MECHANICAL STRUCTURES
OPERATION
TECHNICAL SPECIFICATIONS



Betreff:

Untersuchungen der in Kernkraftanlagen angewandten Reparatur-, Inspektions- und Wartungsverfahren sowie der dabei aufgetretenen Strahlungs-Exposition und Ausarbeitung von Empfehlungen für die Auslegung und Anordnung der Komponenten zukünftiger Kernkraftwerke.

Untersuchungen der im Zusammenhang mit der Dekontamination aufgetretenen Probleme.

Aktenzeichen: 273

Bearbeiter: v.Bruchhausen

Gegenzeichnung: Dr.Schmidt

Verteiler: 9 x EWG

Zusammenfassung:

Den Auftrag zu den oben angegebenen Untersuchungen erteilte die EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT (EURATOM) im Dezember 1971 an das Ingenieurunternehmen LAHMEYER INTERNATIONAL GmbH - zusammen mit Herrn Professor VODAR, dem Leiter des Laboratoire des Hautes Pressions, Paris-Bellevue. Der Auftrag bezog sich auf die Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren in den Ländern der EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT.

Außer durch eine Literatur- und Berichtsauswertung wurden die in den Anlagen vorliegenden Erfahrungen durch eingehende Befragungen und Diskussionen mit dem Betriebspersonal gesammelt und zusammengestellt. Die Resultate wurden in Empfehlungen für den Bau und den Betrieb zukünftiger Kernkraftwerks-Anlagen gefaßt.

Die Empfehlungen betreffen sowohl die Betreiber als auch die Hersteller und die Zulieferfirmen sowie die Architekt-Ingenieure und diejenigen, die den Anlagenbau vorbereiten und die Ausführung überwachen. Aus im Laufe der Untersuchungen zu Tage getretenen relativ generellen Problemen sind zum Teil Empfehlungen entstanden, die an die Adresse internationaler und nationaler Koordinierungs-Institutionen gerichtet sind.

Die überwiegende Anzahl der Empfehlungen bezieht sich auf die anlagentechnische Gestaltung, die Maschinenteknik, den Strahlenschutz und den Betrieb der Anlagen. Kleinere Gruppen umfassen Leittechnik, Elektrotechnik und Bautechnik.

Die Dekontaminationsprobleme sind - der Aufgabenstellung gemäß - in einem besonderen Abschnitt behandelt.

Gemäß der Aufgabenstellung sollten Empfehlungen für die bessere Gestaltung zukünftiger Kernkraftwerke aus den negativen Erfahrungen mit bereits fertigen, älteren Anlagen erarbeitet werden. Aus ihrer Fülle sollte daher nicht der Eindruck entstehen, daß diese Anlagen unzulänglich seien.

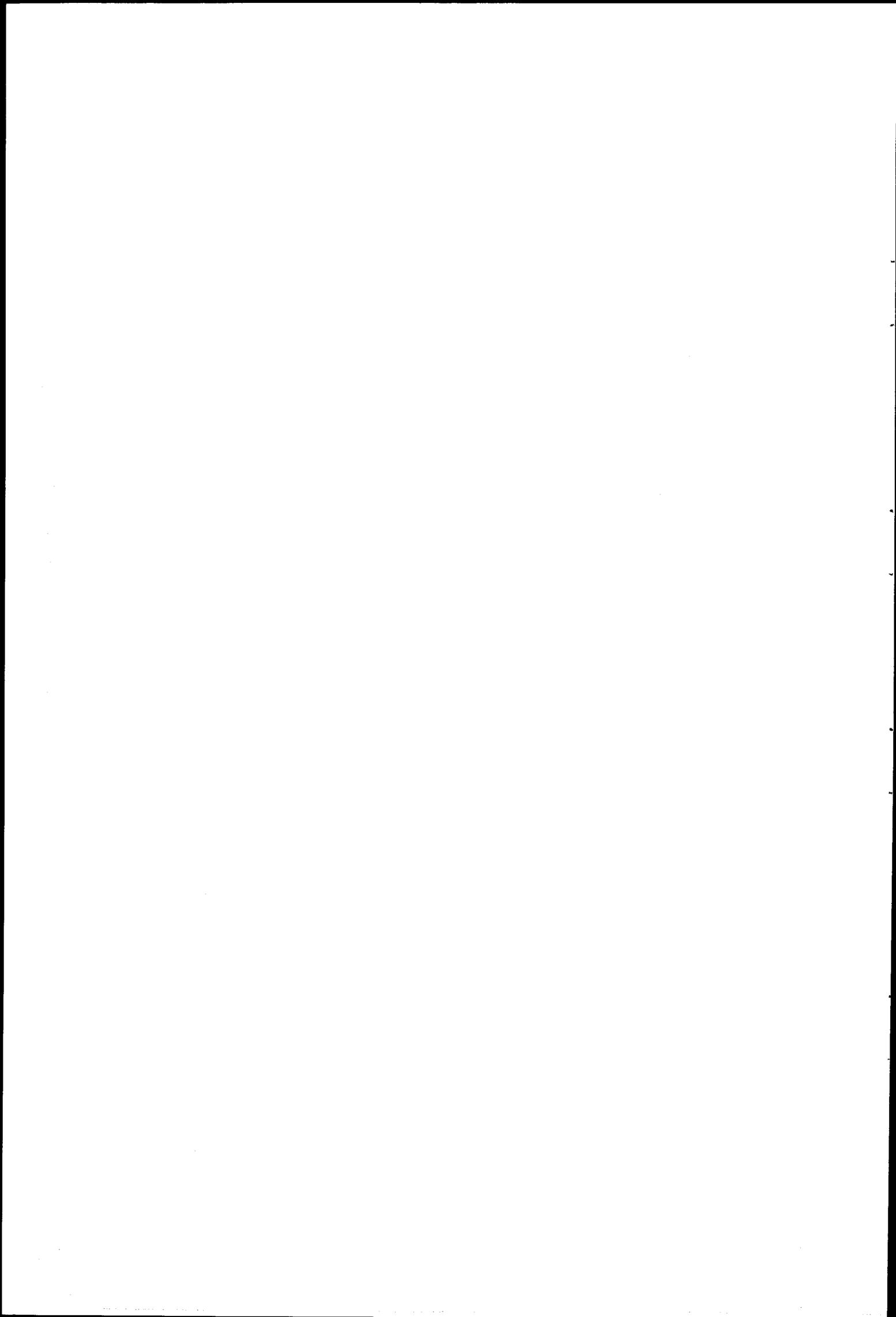
Es sei darauf hingewiesen, daß alle Betreiber bemüht waren, aufgetretene Fehler so schnell wie möglich zu beheben; in keinem Falle wurde bei diesen Maßnahmen die Sicherheit der Anlagen oder von Personen gefährdet.

Allen Institutionen und Personen, die ihre Erfahrungen mitteilten und in Diskussionen eintraten, sei für ihre Hilfe und Unterstützung bei dieser Arbeit gedankt.

G L I E D E R U N G

=====

	<u>Seiten</u>
1. Einführung	7
1.1 Aufgabenstellung und Ziele der Arbeit	7
1.2 Vorgehensweise	10
1.3 Technisch-wirtschaftliche Aspekte	12
1.4 Grundsatzbetrachtungen und -empfehlungen	19
1.5 Anwendung und Beachtung der Empfehlungen	24
1.6 Erfahrungsaustausch und -rückfluß	26
2. Maschinentechnik	27
2.1 Allgemeines	27
2.2 Brennelemente	29
2.3 Reaktorbehälter und -einbauten	37
2.4 Steuerstabantriebe	45
2.5 Wärmeaustauscher	48
2.6 Pumpen	57
2.7 Armaturen und Rohrleitungen	65
2.8 Hilfs- und Nebenanlagen	75
2.9 Lüftungsanlagen	78
3. Elektrotechnik; Meß- und Regeltechnik (Leittechnik)	80
3.1 Allgemeines	80
3.2 Kabel und Leitungen	83
3.3 Starkstromtechnik	84
3.4 Meß- und Regeltechnik (Leittechnik)	87
4. Bautechnik	91
5. Strahlenschutz	93
5.1 Kontrollbereiche	96
5.2 Ausrüstung	98
5.3 Überwachung der Personendosen	102
6. Dekontamination	105
6.1 Chemische Dekontamination	108
6.2 Mechanische Dekontamination	115
6.3 Prohibitiv-Verfahren	125
7. Anlagentechnische Konzeption	127
7.1 Grundsätzliches	128
7.2 Einzelerfahrungen aus den Anlagen	131
7.3 Komponentenbringung und -konzentration	133
7.4 Zur Werkstattfrage	136
7.5 Anlagen-Dokumentation	137
8. Betrieb	140
8.1 Personal-Organisation	140
8.2 Inspektion, Wiederholungsprüfungen	142
9. Schlußwort	150



1. EINFÜHRUNG

=====

1.1 Aufgabenstellung und Ziele der Arbeit

Im Dezember 1971 erteilte die Europäische Atomgemeinschaft (Euratom), vertreten durch die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel, dem Ingenieurunternehmen Lahmeyer International GmbH (LI), Frankfurt/Main (federführend) - zusammen mit Herrn Professor B. Vodar, dem Leiter des Laboratoire des Hautes Pressions, Paris-Bellevue - den Auftrag auf eine

- a. systematische Untersuchung der in Kernkraftwerken angewandten Reparatur-, Inspektions- und Wartungsverfahren sowie der dabei auftretenden Strahlungs-Exposition und Ausarbeitung von Empfehlungen für eine diesbezügliche bessere Auslegung und Anordnung der Komponenten und Komponentengruppen zukünftiger Kernkraftwerke.
- b. systematische Untersuchung der im Zusammenhang mit der Dekontamination von Kernkraftwerk-Kreisläufen auftretenden Probleme.

Der Auftrag bezog sich auf die Leichtwasserreaktor-Kernkraftwerke in den Ländern der Europäischen Gemeinschaft, bei denen bereits längerzeitige, d.h. über einige Jahre gesammelte Erfahrungen vorlagen. Dies war z.B. in den Anlagen Stade und Würgassen noch nicht der Fall.

Zusätzlich wurden das Kernkraftwerk Beznau I der Nord-Ost-Schweizerischen Kraftwerke AG (nicht EG-Land) sowie das AVR-Versuchskernkraftwerk Jülich (mit Kugelhaufenreaktor) in die Untersuchungen einbezogen.

Die in die Untersuchungen einbegriffenen und in Tabelle 1 aufgelisteten Anlagen waren mithin zwangsläufig nicht solche der neuesten Bauarten. Unter ihnen befanden sich

Tab. 1 Zusammenstellung der untersuchten Anlagen			
Anlage	Kurzbezeichnung	Reaktortyp	Leistung (MWe)
1. L'impianto elettronucleare "Enrico Fermi" di Trino Vercellese TRINO/Vercelli Italien	Trino	DWR	257
2. Kernkraftwerk Obrigheim 6951 OBRIGHEIM Deutschland	KWO	DWR	350
3. Hoofd Kernenergiecentrale Dodewaard DODEWAARD/Arnhem Niederlande	GKN	SWR	54
4. Centrale Nucléaire de Chooz 08 GIVET Frankreich	SENA	DWR	266
5. Kernkraftwerk Beznau I BEZNAU/Baden Schweiz	KKB I	DWR	350
6. Nuklear Schiff "Otto Hahn" Ges. für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt (GKSS) 2056 GEESTHACHT Deutschland	NS "Otto Hahn"	FDR	8 (10.000 WPS)
7. Kernkraftwerk Lingen 4450 LINGEN Deutschland	KWL	SWR mit foss. Überhitzer	255
8. Centrale Nucleare di Garigliano SCAURI-MINTURNO (Formia) Italien	Garigliano	SWR	150
9. Kernkraftwerk RWE-Bayernwerke 8871 GUNDREMMINGEN Deutschland	KRB	SWR	240
10. AVR-Versuchs-Kernkraftwerk 517 JÜLICH Deutschland	AVR	HTR	15
11. VAK-Versuchs-Atomkraftwerk Kahl 8756 KAHL Deutschland	VAK	SWR	15
12. BR-3 Ind. groep voor de Uitbating van de BR-3 p/a Studiecentrum voor Kernenergie 2400 MOL Belgien	BR-3	DWR	11,5

SWR = Siedewasser-Reaktor

DWR = Druckwasser-Reaktor

HTR = (gasgekühlter) Hochtemperatur-Reaktor

FDR = Fortgeschrittener Druckwasser-Reaktor

Versuchs- und Demonstrationsanlagen sowie solche der in Europa gebauten ersten Generation von Leistungsanlagen nach amerikanischer Technik.

In den neueren Anlagen mit Inbetriebnahmen ab 1972/73 (u.a. Stade, Würgassen, Beznau II) sind die in dem vorliegenden Bericht beschriebenen Erfahrungen teilweise schon berücksichtigt - mit welchem Erfolg, wird sich nach einer gewissen Betriebszeit dieser Anlagen zeigen.

Die für den vorliegenden Bericht getroffene Auswahl der Erfahrungen scheidet überholte, an veraltete Konzepte gebundene und für diese spezifische Probleme nach Möglichkeit bereits aus, beinhaltet aber dennoch diejenigen Mängel, welche sich auch in neue Anlagen eingeschlichen haben könnten, bzw. deren Übernahme in neue Anlagenkonzepte naheliegt, weil entweder die Grundsätzlichkeit des Fehlers nicht leicht erkennbar ist oder die Wichtigkeit leicht unterschätzt wird.

Es besteht der Eindruck, daß alle Betreiber bemüht waren, aufgetretene Fehler so schnell wie möglich zu beheben, um eine möglichst hohe Verfügbarkeit der Anlagen zu erreichen. In keinem Fall wurde aber bei diesen Maßnahmen die Sicherheit der Anlagen oder von Personen gefährdet; die gesetzlich vorgeschriebenen maximalen Dosisraten für das Personal konnten stets eingehalten werden.

Als "Wartungsarbeiten" werden alle routinemäßig durchzuführenden Eingriffe und Pflegemaßnahmen an einzelnen Komponenten verstanden, z.B. Schmierdienste, das routinemäßige Auswechseln von Ventilpackungen, der Ersatz defekter Beleuchtungskörper und anderer Verbrauchsgegenstände und -mittel. Alle nicht routinemäßigen, insbesondere größeren Eingriffe gelten als Reparaturen. Bei den Inspektionen wird zwischen den Routine-Kontrollen (Begehungen) der Schicht einerseits sowie periodisch vorgeschriebenen (Wiederholungsprüfungen) bzw. ad hoc angesetzten, zumeist eingehenderen Untersuchungen andererseits unterschieden.

Die Empfehlungen gehören teilweise zu mehreren Sachgebieten der Gliederung. Sie sind jeweils durch eine Unterstreichung oder durch Randstriche kenntlich gemacht. Sie richten sich im einzelnen sowohl an die Erbauer, Planer, Architekt-Ingenieure und Hersteller bzw. Lieferer als auch an die Bauherren und Betreiber bzw. Betriebspersonal.

Einige der im Laufe der Untersuchungen zu Tage getretenen Probleme waren grundsätzlicher Art. Auf ihre Abstellung oder Lösung zielende Empfehlungen sind an übernationale und/oder nationale Koordinierungsstellen adressiert, die im folgenden kurz als "Steuerstellen" bezeichnet werden. Hierbei handelt es sich entweder um die Anregung genereller Maßnahmen, zum Beispiel zu einer Intensivierung des Erfahrungs- (Rück-) Flusses, oder um Vorschläge zu ausgedehnteren Forschungs- und Entwicklungsprogrammen. In diesen Fällen scheinen Bedeutung oder Allgemeinheit zum Teil so umfassend, daß entweder die Möglichkeiten einzelner Industrieunternehmen überschritten oder daß diese kein Interesse hieran zeigen würden, weil sich keine firmenspezifischen Auswertungsmöglichkeiten darbieten.

1.2 Vorgehensweise

Wegen der Breite und der allein schon umfangsbedingten Unübersichtlichkeit sowie der Zeitrückständigkeit der für die Aufgabenstellung wichtigen Literatur einschließlich nicht publizierter Erfahrungsberichte war - neben deren eingehendem Studium, in das auch die relevanten Berichte aus den USA und aus anderen Ländern einbegriffen wurden - eine direkte Befragung der Erfahrungsträger erforderlich, eine "Erhebung" insbesondere der allgemeingültigen, nicht anlagenspezifischen Erfahrungen.

Die Befragung der Anlagenbetreiber wurde nach einer vorher ausgearbeiteten und dann ständig weiter verbesserten

Systematik vorgenommen, also anhand einer Art "Fragekatalog", basierend auf der von Euratom empfohlenen systematischen Gliederung von Kernkraftanlagen *). Die bedeutsamen Erfahrungsbereiche und Themenkomplexe wurden einzeln angesprochen; die für die Studie wichtigen Probleme und Angaben wurden diskutiert.

Über jedes Befragungs-Gespräch mit den Betreibern wurde ein Bericht im Umfang zwischen 50 und 100 Schreibmaschinenseiten angefertigt, in welchem die Informationen zu den einzelnen Themenkreisen festgehalten wurden. Diese "Anlagenberichte" stellen - neben der o. a. Literatur - die Stoffsammlung dar und sind nicht zur weiteren Verbreitung bestimmt.

In den einzelnen Kapiteln der vorliegenden Ausarbeitung findet sich eine Sammlung, Zusammenfassung, Auswertung und gegebenenfalls Bewertung der entsprechenden Informationen. Hieraus resultieren dann jeweils die bereits angesprochenen Empfehlungen für die Gestaltung zukünftiger Anlagen, die den Zweck und das Ziel dieser Arbeit darstellen.

Vor der endgültigen Festlegung einiger spezifischer Empfehlungen wurde aus Objektivitätsgründen ein Vergleich der Betreiber- und der Herstellermeinung angestrengt, d.h., einzelne relevante Probleme wurden mit den Herstellern diskutiert. Weitere Diskussionen fanden zum Beispiel mit der Electricité de France (EdF), der Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (ENEL) und dem zuständigen Fachauschuß der Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V. (VGB) sowie mit zahlreichen anderen Stellen und mit einzelnen Fachleuten statt.

Viele der aufgeführten Empfehlungen mögen zwar - insbesondere einzeln und für sich allein betrachtet - tri-

*) Schadensschlüssel

vial erscheinen. Sie beruhen jedoch dann auf langjährigen Erfahrungen des Anlagen-Betriebspersonals. Dies und die häufige Wiederholung vieler gleichartiger bzw. ähnlicher Erfahrungen in praktisch allen untersuchten Anlagen gibt auch solchen Empfehlungen ihr Gewicht.

1.3 Technisch-wirtschaftliche Aspekte

Das behandelte Problem, in der Zukunft inspektions-, wartungs- und reparaturfreundlichere Kernkraftwerke - mit einer geringeren Strahlenbelastung des Personals - zu erhalten, hat nicht nur eine technische sondern auch eine damit eng verbundene wirtschaftliche Seite:

Üblicherweise werden die Anlagekosten für Kernkraftwerke - insbesondere im internationalen Wettbewerb - von den Herstellern minimiert, um möglichst niedrige Angebotspreise zu erzielen und so die Auftragschancen zu erhöhen.

Daraus ergibt sich evtl. eine Reihe von Ursachen und Quellen zu größeren oder zusätzlichen Aufwendungen für das Bedienungs- und Wartungs- sowie für (eigenes oder fremdes) Reparaturpersonal, die zu Lasten der Anlagen-Betreiber gehen und an sich vorhersehbar und z.T. vermeidbar gewesen wären, ohne daß dies im Zuge der Anlagenerrichtung (auch nur in etwa vergleichbare) Mehrkosten verursacht hätte.

So wirken sich - um nur einige wenige Fälle zu nennen - zum Beispiel

- zu raumbeengt eingebaute Armaturen
- mehrere aktive Komponenten ohne Zwischen-Abschirmung in einem Raum
- kurze Standzeiten aktiver Komponenten

- komplizierte Demontage und Remontage von aktiven Komponenten

in dieser Weise aus und bedingen damit stark erhöhte Aufwendungen für Wartung, Inspektion oder Reparatur.

Mit anderen Worten: Zwischen Anlagekosten einerseits und Betriebskosten infolge Strahlenbelastung andererseits besteht eine Relation. Das heißt:

Bei der Planung zukünftiger Kernkraftwerke sollten die zu erwartenden Wartungs-, Inspektions- und Reparaturkosten sowie deren Abhängigkeit von der Strahlenbelastung des Personals - ihrerseits eine Funktion von Anlagengestaltung und Komponentenauswahl - eine Berücksichtigung als besondere Betriebskostenanteile im Rahmen der Gesamtanlagen-Optimierung finden.

Zu berücksichtigen ist also nicht nur die räumliche Aufteilung und die Art und Weise der Anbringung innerhalb der Anlage, sondern auch die Auswahl der einzelnen Komponenten, wie Armaturen, Pumpen usw., hinsichtlich ihrer schnellen und leichten Reparaturfähigkeit bzw. Auswechselbarkeit und ihrer Standzeit.

Der leichten und schnellen Ausführung von Reparaturen sowie kurzen Reparatur-Stillstandszeiten (Reparaturfreundlichkeit) kommt also ein Geldwert zu, der bei den vorge-
nannten Optimierungen zu berücksichtigen ist.

Bei ihnen sind folgende Kostenfaktoren von Einfluß:

a. Leistungsausfall

Den weitaus größten Einflußfaktor stellen die durch Betriebsausfall oder -einschränkung hervorgerufenen Kosten dar. Je nach Art, Lage und Größe etc. des Kraftwerkes und des Netzes pp entstehen Einnahmeverluste je Stillstandstag in der Größenordnung von rund 200 TDM

bei sehr großen Anlagen. Dazu müssen z.B. Kosten für den Ersatz-Strom addiert werden, so daß eine durchschnittliche Ausfallstunde einer größeren Anlage mit vielleicht DM 10.000 bis DM 20.000 zu bewerten wäre.

Das heißt, entsprechende Aufwendungen für die Vermeidung adäquater Stillstandszeiten müßten hier als rentabel angesehen werden.

b. Personalkosten

Zwischen den Stillstands- bzw. Ausfallzeiten einer Anlage einerseits sowie den Reparatur-, Wartungs- und Inspektionszeiten andererseits besteht eine Relation, die ihrerseits eng mit der Strahlenbelastung des Ausführungs- und des die Ausführung überwachenden Personals zusammenhängt.

Die zulässige Strahlenbelastung der einzelnen Personen ist durch nationale Gesetze geregelt, auf die hier nicht eingegangen werden soll.

Mit Erreichen der gesetzlich zugelassenen maximalen Dosen fällt die damit belastete Person für den weiteren Einsatz im Strahlenbereich aus. Zur Verminderung der Strahlendosis des auch für andere Aufgaben in der Anlage benötigten Betriebspersonals bzw. zum Ersatz jedes mit der Maximaldosis beaufschlagten Mannes muß qualifiziertes Leihpersonal eingesetzt werden. So ergibt sich unter Umständen ein durch die Strahlung verursachter beträchtlicher Mehraufwand an Personalkosten. Gegebenenfalls muß zusätzliches Personal eingestellt bzw. vorgehalten werden, um die gesamte Strahlendosis breiter zu verteilen.

c. Material- und Ersatzteil-Kosten

Die Kosten für Materialien und Ersatzteile spielen - sofern diese von einem Lager greifbar oder anderweitig sehr schnell beschafft werden können - gegen-

über den Kosten zu a. und b. meist nur eine untergeordnete Rolle.

Zur Verminderung der Arbeitszeit im Strahlenbereich und zur Verringerung der Stillstandszeit ist unter Umständen ein Austausch (auch größerer) Komponenten zu empfehlen. Hierzu zählen je nach Situation Pumpen, Wärmetauscher, Armaturen und eventuell auch ganze Dampferzeuger pp. Vorkehrungen für einen solchen Austausch auch großer Komponenten sollten bei dem Entwurf der Anlage getroffen werden; eine entsprechende Ersatzhaltung sollte in einem gewissen Rahmen sichergestellt sein.

Die absoluten Geldwerte der Kostenfaktoren zu a., b. und c. lassen sich für den Einzelfall, zum Beispiel für eine bestimmte Reparatur in einer vorgegebenen Anlage, relativ leicht erfassen; ihnen gegenüber wären die Kosten für die gleiche Arbeit ohne Strahlenbelastung in den meisten Fällen vernachlässigbar klein.

Je nach der Höhe der gesamten vorausgeschätzten Kosten zu a. bis c., in Abhängigkeit von den verschiedenen Vorbereitungs- und Ausführungsarten und -verfahren der Arbeiten, kann ihr Organisator relativ leicht über die günstigsten Lösungen entscheiden, z.B. unter Berücksichtigung eines eventuell neu zu beschaffenden Fernbedienungswerkzeuges o.a.

Bei einer gegebenen Anlage kann sich so auch zum Beispiel die Zweckmäßigkeit der Errichtung zusätzlicher Hilfsabschirmungen ergeben, deren Einbau oder Vorsehung im Zuge der Anlagenerstellung - ohne Strahlenbelastung - allerdings sehr viel weniger gekostet hätte *).

*) Ein Betrieb erklärte :

"Der nachträgliche Einbau von Abschirmungen hat hunderttausende von DM gekostet. Keine Abschirmung hätte für den Betrieb der Anlage noch mehr Geld gefordert."

Und :

"Der Einbau von abschirmenden Betonbühnen anstelle von Gitterrosten sowie eine bessere Anordnung von strahlenden Komponenten hätten während des Kraftwerksbaues keinen Pfennig zusätzlich gekostet".

Die infolge der Strahlung im Arbeitsbereich gegebenenfalls erwachsenden Zusatzkosten für die Arbeitsvorbereitung, die Einarbeitung von Fremdpersonal, das Training an einem eventuell anzufertigenden Modell, durch Spezialwerkzeuge und Vorrichtungen etc., lassen sich gleichfalls relativ einfach ermitteln und bei den Optimierungsüberlegungen für eine einzelne Reparatur in einer gegebenen Anlage berücksichtigen.

Die Problematik setzt dann ein, wenn derartige Reparaturen (einschließlich Inspektions- und Wartungsarbeiten) bei der Planung und dem Anlagenbau empfehlungsgemäß im vorhinein berücksichtigt werden sollen, wenn also über Investitionen - zum Beispiel für eine höhere statische Belastbarkeit im Hinblick auf vielleicht einmal notwendig werdende Hilfsabschirmungen oder für die Auswechselbarkeit kompletter Dampferzeuger - und deren Wirtschaftlichkeit zu entscheiden ist. Es erhebt sich dann nämlich die Frage nach der "rentablen" Höhe dieser Investitionen und nach der Vorrangigkeit der einzelnen Maßnahmen.

Die Ermittlung der optimalen Investitionshöhe für jede einzelne Maßnahme ist an sich in der gleichen Weise möglich wie bei der bereits beschriebenen Behandlung einzelner Reparaturfälle in einer vorgegebenen Anlage; im Planungsfalle wären jedoch hier jeweils mehrere Ausführungsvarianten hinsichtlich Anlagengestaltung und davon abhängiger Reparaturdurchführung bzw. -kosten zu betrachten.

Dieser Weg dürfte daher außerordentlich aufwendig sein, sich aber dennoch - dies scheinen die Untersuchungen zu zeigen - vielfach lohnen.

Zur Vereinfachung bzw. zur Umgehung umfangreicher Untersuchungen dieser Art müßte man daher nach anderen Verfahren suchen, nach Verfahren zur Ermittlung derjenigen Aufwendungshöhen, bis zu denen sich Investitionen zur Verbesserung insbesondere der Reparaturfreundlichkeit noch

rentieren, also letztlich zur Minimierung der Summen von Investitions- und später zu erwartenden (kapitalisierten) Reparatur- etc. Kosten.

In dieser Hinsicht vermitteln die Untersuchungen den Eindruck, daß sich der auf den einzelnen Fall einer Wartungsarbeit, einer Inspektion oder einer Reparatur bezogene Quotient

$$\frac{\text{Aufwand in DM}}{\text{Strahlenbelastung in rem}} = \frac{\text{Zahl der Personen}}{\text{Strahlenbelastung in rem}} \times \frac{\text{Aufwand in DM}}{\text{Zahl der Personen}}$$

als Optimierungs-Kriterium anzubieten scheint, bei dem der Nenner, die gesamte Strahlenbelastung des Personals (in Mann mal empfangene rem) während der betrachteten Arbeit, ein Maß für die strahlenbedingte Schwierigkeit der Reparatur und die Zweckmäßigkeit ihrer Ausführungsweise (aufgrund der vorliegenden Erfahrungen) darstellt.

Nach den bisherigen Eindrücken, die im Laufe der Untersuchungen gewonnen wurden, dürften sich für den o.a. Quotienten - eine gute Reparatur Erfahrung vorausgesetzt - Personal-Kostenwerte bis zu fünfstelligen DM-Beträgen ergeben, die je mit der Bestrahlung von 1 rem verbunden sind - die Stillstands- und Ausfallkosten zu a.) sowie die Material- und Ersatzteilkosten zu c.) nicht mitgerechnet.

In den folgenden Kapiteln befinden sich gelegentlich Kostenangaben, welche schon aufgrund ihrer Größenordnungen klar zeigen, daß bei der Planung und Kostenoptimierung zukünftiger Anlagen die Wartungs-, Inspektions- und Reparaturkosten berücksichtigt werden müssen.

Wegen des Auffangs der entsprechenden - letztlich zu Lasten des Bauherren gehenden, diesen dann aber von späteren Betriebskosten entlastenden - Anlage-Mehrkosten,

insbesondere auch derjenigen für die im einzelnen zu treffenden Maßnahmen, sei auf Kapitel 1.5 verwiesen. Hiernach sollten derartige Anforderungen in den Anfragespezifikationen für die Anbieter festgelegt werden, um so eine Gleichbasigkeit der verschiedenen Angebote zu wahren bzw. zu erhalten.

Eine an eine möglichst supranationale Steuerstelle gerichtete Empfehlung betrifft eine Grundsatzstudie über den angesprochenen Problemkreis, in die die Anlagenkonzeptionen möglichst vieler Herstellerfirmen und entsprechende Erfahrungen aus von diesen erstellten Anlagen mit verschiedenen Reaktortypen einbezogen werden sollten. Wegen der erforderlichen Eindringtiefe in die Kostenstruktur und die Kosten der entsprechenden Anlagen ist es evident, daß Umfang und Aufwand einer solchen Studie nicht unbeträchtlich sein dürften.

Eine Zusatzempfehlung beinhaltet sinngemäß eine systematische Tauglichkeitsuntersuchung der einschlägigen Kernkraftwerkskomponenten auf einer möglichst breiten, die entsprechenden Arbeiten der einzelnen Herstellerfirmen überschreitenden Basis.

Der überwiegende Teil der heutigen Kernkraftwerkskomponenten wurde nämlich - nach mehr oder weniger weitgehender Anpassung an die erhöhten Anforderungen, wie Standzeit, Wartungsfreiheit, Reparatur- und Inspektionsfreundlichkeit usw. - aus dem konventionellen Dampfkraftwerksbau übernommen und ist durchaus nicht einheitlich sondern von Hersteller zu Hersteller partiell sogar sehr verschieden. Aus diesen Gründen scheint eine systematische (Nach-) Selektion angebracht, die sowohl technische als auch technisch-wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen und auf eine Erhöhung der Wartungs-, Inspektions- und Reparaturfreundlichkeit der Anlagen abgestellt sein sollte.

Als Initiator sollte auch hier möglichst eine supra-nationale Steuerungsstelle auftreten, allein schon um den Zugang zu den heterogenen Erfahrungsquellen besser zu eröffnen.

1.4 Grundsatzbetrachtungen und -empfehlungen

Die in den einzelnen Kernkraftanlagen vorliegenden Erfahrungen (in bezug auf die Aufgabenstellung) differieren in ihrer Breite und Vielzahl erheblich voneinander, je nachdem wie stark die Kreisläufe aktiviert bzw. kontaminiert waren. Maßgebend hierfür war natürlich der Umstand, ob Brennelement-(BE)-Schäden eingetreten waren oder nicht.

Die aus den besuchten Anlagen berichteten Aktivitäten des Primär-Kühlmittels lagen nach mehrjährigem Betrieb etwa bei den in Tabelle 2 wiedergegebenen Werten.

Tab. 2 Aktivitäten des Primär-Wassers in Curie/m³
bei LWR-Anlagen

	mit Edelgasaktivitäten	ohne
maximal (mit BE-Schäden)	200	20
Durchschnitte	7	0,7
minimal (ohne BE-Schäden)	10 ⁻³	10 ⁻⁴

Bei Anlagen mit defekten Brennelementen lag die Gesamtaktivität zwischen 7 und 200 Ci/m³ Wasser, einschließlich Edelgasen.

Bei hohen Aktivitäten des Reaktor-Kühlmittels hatten Inspektions-, Wartungs- und Reparaturarbeiten im Primärbereich der Anlagen naturgemäß entsprechend hohe Dosisbelastungen des Ausführungspersonals zur Folge.

Die hauptsächlichlichen Gründe für die Kreislaufaktivität liegen - neben dem Substanzaustrag bei BE-Schäden - in der Korrosion der Werkstoffe des Kreislaufsystems, der Aktivierung der Korrosionsprodukte im Reaktor sowie ihrer Ablagerung an den Werkstoffoberflächen (Kontamination), also in gelösten und suspendierten sowie abgelagerten Substanzen.

Außerdem sind die aktiven Gase, insbesondere Edelgase, anzuführen, die jedoch relativ leicht ausgetrieben werden können. Zu den aktiven Gasen zählt als besonders harter γ -Strahler (6,2 MeV) das aus dem Sauerstoff O^{16} des Kühlmittels in einem (n;p)-Prozeß gebildete N^{16} mit einer Halbwertszeit von 7,35 Sekunden.

Die Korrosion der Werkstoffe sowie Bildung von festen und gelösten Korrosionsprodukten in den LWR-Kernkraftwerken unterscheiden sich dem Prinzip nach nicht von den entsprechenden Vorgängen, die von den konventionellen Dampfkraftwerken her bekannt sind. Auch hier bestehen die Korrosionsprodukte im wesentlichen aus Eisen-, Chrom- und anderen Metalloxiden, insbesondere Magnetit. Bei den Ablagerungen handelt es sich in beiden Fällen gleichfalls im wesentlichen um

- a. dünne, sehr widerstandsfeste und harte, polykristallin - evtl. in mehreren Schichten - "aufgewachsene" Ablagerungen an den die Kreisläufe einschließenden Materialien,
- b. suspendierte Festkörperteilchen relativ kleiner Korngrößen ($\leq 3 \mu\text{m}$).

Die körnigen Teilchen setzen sich lose auf Wände und kristalline Ablagerungen auf. Sie können - soweit nicht in die kristallinen Ablagerungen eingebaut - leicht mechanisch entfernt (abgewischt) werden.

In Kernkraftwerken mit LWR werden diese Korrosionsprodukte beim Durchgang durch den Reaktor - infolge des Neutronenflusses - aktiviert, besonders stark bei zeitweiliger Anlagerung an die Oberflächen der Brennelemente unter nachfolgender Wiederablösung.

Anhäufungen dieser radioaktiven Korrosionsprodukte werden besonders in strömungstoten Zonen beobachtet, z.B. im unteren Teil des Reaktordruckgefäßes, in den Wasserkammern der Dampferzeuger (DWR) und in den Blind-Rohrstücken von Entwässerungen ("Blinddärme") etc. Sie verursachen dort zum Teil punktuelle Strahlungsquellen erheblicher Stärke. In den Wasserkammern von DWR-Dampferzeugern wurden Dosisleistungen von 40 R/h und mehr festgestellt, in "Blinddärmen" 70 bis 100 R/h und mehr.

Bei SWR-Anlagen spielt die Verdampfungskonzentration der Korrosionsprodukte im Reaktordruckgefäß eine wesentliche Rolle, der jedoch auf der anderen Seite eine erhebliche Aktivitätsverminderung in den nachgeschalteten Hauptteilen des Primärkreislaufes als Vorteil gegenübersteht.

Zur Verringerung der Kreislaufaktivität und damit zur Erhöhung der Wartungs-, Inspektions- und Reparaturfreundlichkeit der LWR-Anlagen ergeben sich folgende

grundsätzliche Empfehlungen:

Sorgfältige Auswahl, Planung und Auslegung sowie Überwachung, Wartung und Bedienung der (Beipass-) Reinigungsanlagen einschließlich eventueller Magnetfilter. Sorgfältige Planung und Einhaltung der chemischen Betriebsbedingungen.

Sorgfältige Werkstoffauswahl.

Materialtechnologische Untersuchungen, um die physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften der Werkstoffe für den Einsatz in Kernkraftanlagen zu optimieren. Als Beispiel seien angeführt:

- Anwendung von Stellite im Hinblick auf Kobalt-60-Ausscheidung
- Brennelement-Hüllmaterial im Hinblick auf Hydrierschäden
- Dampferzeuger-Berohrung. Cu-Gehalt von Wärmetauscher- und Kondensatorrohren.
- Standfestigkeit von chromierten Stählen in Kompressoren und Armaturen
- Stopfbuchsmaterial

Die Bildung und die feste Ablagerung der Korrosionsprodukte folgen den Gesetzen der Löslichkeit der entsprechenden Oxide im Wasser in Abhängigkeit von Temperatur und Druck. Da hier noch breite Wissenslücken bestehen, sind Grundsatzuntersuchungen angebracht, deren Ausführung hinsichtlich Breite und Tiefe die Möglichkeiten selbst größerer Hersteller- und Betreiberfirmen bei weitem überschreitet. Deshalb scheint ein Gemeinschaftsforschungsprogramm auf übernationaler, z.B. europäischer Ebene angebracht, zu dem die entsprechenden Forschungszentren sowie Hochschulen ihre Beiträge leisten sollten, um zunächst die Ursachen von Korrosion, Korrosionsproduktbildung und festen Ablagerungsbildungen eindeutig - mit ihren Bedingungen - zu ermitteln.

Zusatz-Untersuchungen sollten die praktischen Erfahrungen aus einer größeren Zahl von (insbesondere auch US-) Anlagen konzentrieren und beisteuern.

Der erste Schritt müßte in der Aufstellung eines straffen Versuchs- und Arbeitsprogramms bestehen, dessen Ausführung dann in allen Zweigen und Phasen systematisch und sorgfältig zu überwachen wäre.

Im weiteren wird dann empfohlen, daß die für nukleare Anlagen geltenden Richtlinien für Inspektionen und Wiederholungsprüfungen einheitlicher und eindeutiger abgefaßt werden sollten, so daß tatsächlich schon bei der Konstruktion von Anlageteilen sowie bei dem Entwurf des Anlagenkonzeptes auf die während des späteren Betriebes notwendigen Prüfungen Rücksicht genommen werden kann.

Diese für die Prüfungen notwendigen Vorkehrungen beziehen sich auf die Zugänglichkeit und auf die Prüfungsmöglichkeit bzw. -erleichterung.

Einen großen Einfluß auf die Aufenthaltsdauer von Reparatur-, Wartungs- und Inspektionspersonal in Strahlenbereichen hat die Dokumentation der Anlage, also die Festlegung und Festhaltung aller Einzelheiten.

Der Sicherheitsbericht, Beschreibungen, Zeichnungen, Pläne, Kennzeichnungen in der Anlage, Photographien, Modelle und Anleitungen sollten dem Betreiber im Bedarfsfalle helfen, vor den eigentlichen Arbeiten im Strahlenbereich eine optimale Arbeitseinteilung und -vorbereitung (Zeit- und Einsatzplan, Werkzeuge und Hilfsmittel, Ersatzteile...) treffen zu können.

Alle Unterlagen sollten so früh wie möglich und auf dem neuesten Stand zur Verfügung stehen. Jede Änderung sollte sofort in den Unterlagen vermerkt werden, Nachträge, Ergänzungen, unterschiedliche Sprache und Normen sind innerhalb der Unterlagen möglichst zu vermeiden.

Zeichnungen und Pläne sollten jedes Detail, auch z.B. Entwässerungsleitungen mit kleinsten Durchmessern, enthalten. Zur Vermeidung von Komplikationen bei der Arbeitsdurchführung kann die Vorplanung an Modellen gute Hilfe leisten.

Der finanzielle Aufwand für diese Arbeiten lohnt sich, wenn während des Betriebes der Anlage Reparaturzeit im Strahlenbereich eingespart werden kann.

Hierzu tragen im vorhinein aufgestellte Reparaturanleitungen mit Sprengzeichnungen, Werkzeug- und Ersatzteilangaben, evtl. mit Personal- und Einsatzplänen, bei.

Für schwierige Arbeitsvorgänge, z.B. für Arbeiten in Dampferzeugern, im Reaktor, an den Hauptpumpen aktiver Kreisläufe,

an Steuerstabantrieben (SWR), sind zur Verkürzung der Arbeitszeit entsprechend umfangreiche Vorsorgen zu empfehlen.

Hierzu gehören eine systematische Sammlung, Ordnung und Vorhaltung von Reparatur- usw. Erfahrungsberichten, die auch zentral - z.B. von Steuerungsbehörden und -stellen oder EVU-Verbänden - aufgebaut werden könnten, sowie u. U. die Ausführung von Vorstudien und Experimenten und das Training des Personals an Modellen in natürlicher Größe, welche die Gegebenheiten am Einsatzort naturgetreu reproduzieren.

Das nötige Werkzeug kann sehr vielfältig und einsetzspezifisch (z.B. Endoskop, Beleuchtungsanlagen, Prüfgeräte usw.), und daher auch schwer zu beschaffen sein. Hier ist zu überlegen, ob es nicht sinnvoll wäre, entsprechende Geräte, aber auch Werkzeuge, Organisations-schemata u.a.m. mit mehreren Anlagenbetreibern gemeinschaftlich zu nutzen. Es könnte auch an die Bildung eines (z.B. europäischen) Fach-Trupps gedacht werden, welcher diese Ausrüstung neben anderem mit sich führt, und der die Anlagenbetreiber bei Organisation und Leitung schwieriger Arbeiten unterstützt, bzw. an spezialisierte und zentrale Reparaturtrupps für derartige Service-Leistungen sowie für größere (System-) Dekontaminationen.

1.5 Anwendung und Beachtung der Empfehlungen

Die z.T. bereits vorstehend aufgeführten und der überwiegende Teil der folgenden Empfehlungen bringt Vorteile für die Betreiber von Kernkraftanlagen in der Form einer Verringerung der Betriebskostenanteile für Reparatur, Wartung und Inspektion, die jedoch bis zu einem gewissen Grade durch - gegenüber dem bisherigen Stand - erhöhte Aufwendungen für die Anlagen-Planung und -Erstellung erkauft werden müssen.

Da die Hersteller jedoch an möglichst niedrigen Angebotspreisen interessiert sind, um dadurch ihre Auftragschancen - vor allem im internationalen Wettbewerb - zu erhöhen, und da die Investitionsplaner der Bauherren auf möglichst niedrige Anlagekosten Wert legen müssen, sind Wege zu überlegen, um hier entsprechende Anreize zu bieten. Das heißt, derjenige Anbieter bzw. Hersteller, der dem Bauherren die in der angesprochenen Hinsicht größten Vorteile bietet, darf deshalb nicht bestraft werden, weil er zu teuer anbietet, so daß sein Angebot deshalb aus Preisgründen ausscheidet. Es muß also sichergestellt werden, daß die Beachtung der Empfehlungen und die daraus dem Betreiber erwachsenden Vorteile bewertet und dem Hersteller honoriert werden. Dies scheint insbesondere auch im Hinblick auf den internationalen Markt wichtig, wo ein größerer Sicherheitsaufwand und Ausstattungskomfort bei Anfragen mit dem Passus: "nach Üblichkeit im Herstellerland" die Chancen des Angebotes nicht unerheblich mindern kann.

Mit anderen Worten: Es ist dafür Sorge zu tragen, daß die Anbieter für neue Anlagen die Empfehlungen in gleicher Weise beachten, daß also eine Gleichbasigkeit der Angebote erreicht wird.

Als einfachster und sicherster Weg empfiehlt sich der Einbau der Empfehlungen in der Form von Spezifikationen in die an die Hersteller gerichteten Angebots-Anforderungen auf Neuanlagen. Die Beachtung der Spezifikationen muß - vorher angekündigt - bei der Angebotsauswahl sorgfältig geprüft und gewertet werden.

Wegen der Schwierigkeiten ihrer Fassung und im Hinblick auf ihre enge Vermaschung mit anderen, gleichfalls zu spezifizierenden Anforderungen an die Angebote sowie ihre Einheitlichkeit ist an die Adresse von nationalen bzw. übernationalen Steuerstellen sowie an diejenigen der EVU's und ihrer Verbände eine Zusatzempfehlung zu richten, die die gegebenen Vorschläge zur Gestaltung zukünftiger Kernkraftwerke im einzelnen exakt spezifiziert.

1.6 Erfahrungsaustausch und -Rückfluß

An generellen Ergebnissen hat die Untersuchung weiterhin gezeigt, daß innerhalb der Europäischen Atomgemeinschaft, also über die Ländergrenzen hinweg, eine Verstärkung des Erfahrungsaustausches von Anlage zu Anlage sowie zwischen Betreibern und Herstellern empfehlenswert wäre. Hierbei müßte der Erfahrungsaustausch und -rückfluß so geregelt werden, daß auch die Verantwortlichen in den unteren Hierarchiestufen der Betriebe eingeschaltet werden.

Ein in regelmäßigen Abständen durchgeführter Erfahrungsaustausch, z.B. zwischen den Strahlenschutzleitern, den Reparaturfachleuten, den Dekontaminationsverantwortlichen oder den Chemikern der Anlagen oder z.B. zwischen Schichtführern untereinander sowie mit Konstrukteuren und anderen Fachleuten der Hersteller und Architekt-Ingenieure, würde als äußerst nutzbringend zu empfehlen sein.

Die bisher zu diesem Zweck getroffenen Maßnahmen sind offenbar (noch) nicht ausreichend.

2. MASCHINENTECHNIK =====

2.1 Allgemeines

Die umfangreichsten und wichtigsten Erfahrungen und Empfehlungen ergeben sich auf der maschinentechnischen Seite. Hier ist eine lange Reihe ausgeführter Arbeiten, auch an den inneren Teilen von Kernreaktoren, welche schon länger in Betrieb waren - einschließlich Reparaturen an der Kernmantelbefestigung, am Thermischen Schild, an Steuerstab-antriebstützen u.a.m. - zu verzeichnen. An Brennelementen wurden - unter äußerst ungünstigen Bedingungen (Strahlung und Raume) - Reparaturen ausgeführt. Weiterhin sind Arbeiten an allen wichtigen Komponenten, wie z.B. Primärkreis-pumpen, Filtern, Armaturen, Wärmetauschern usw. - zu nennen, die zum Teil unter sehr hohen Strahlenbelastungen ausgeführt wurden.

Bei Arbeiten innerhalb des Sicherheitsbehälters erwies sich - neben der Direkt-Strahlung von aktiven Komponenten - die Verseuchung der Gebäudeluft (Aerosole) häufig als hinderlich. Besonders unangenehm ist hier Jod 131, welches leicht inkorporiert wird und sich an bestimmten Stellen im Körper (u.a. Schilddrüsen) akkumuliert.

Maßnahmen zum Schutz gegen Aerosol-Aktivitäten und zur Verhinderung bzw. Eindämmung von Aerosol-Immissionen werden unter den Ziffern 2.7, 2.8, 2.9 und 5. (Armaturen, Hilfs- und Nebenanlagen, Lüftungsanlagen, Strahlenschutz) beschrieben.

Arbeiten, welche ein Öffnen von Primärkreis-komponenten, wie z.B. Druckgefäß, Pumpen, Dampferzeuger usw., erfordern, werden durch die bereits unter Ziffer 1.4 kurz beschriebenen radioaktiven Ablagerungen an den inneren Oberflächen behindert. Wie dort ausgeführt, bestehen die Korrosionsprodukte im Reaktorkühlmittel hauptsächlich

aus Eisen-, Chrom-, Kobalt-, Nickel- und anderen Metalloxiden. Vornehmlich in den Einkreis-SWR-Anlagen trat auch Kupfer (aus den Vorwärmern und dem Kondensator auf. Bei diesen Anlagen ist die Gefahr der Wasser-
verunreinigung besonders groß, da lange Rohrleitungen, die Turbine, der Kondensator und die Vorwärmer vom Reaktorkühlmittel durchflossen werden. Deshalb ist gerade bei diesen Anlagen eine möglichst weitgehende Kondensatreinigung notwendig.

Während sich die Korrosionsprodukte in Anlagen mit DWR durch den gesamten Primärkreis bewegen und sich an Krümmungen und Querschnittsveränderungen, in strömungstoten Zonen usw., leicht absetzen, findet in einem SWR-Reaktor - wie bereits angeführt - eine Aufkonzentration der Korrosionsprodukte statt. Deshalb ist bei den SWR-Anlagen eine Chemikalien-Zudosierung in den Primärkreislauf nicht wirkungsvoll. Bei den Anlagen mit DWR wird meist LiOH und Wasserstoff dem Primärkreis zugegeben, um den durch Radiolyse des Wassers entstehenden Anteil OH-Ionen bzw. die gebildeten freien Wasser- und Sauerstoffanteile zu binden.

Die bei beiden Anlagentypen (SWR und DWR) im Bei-Pass arbeitenden Reinigungsanlagen hatten die anfallenden Korrosionsprodukt-Mengen oft nicht auffangen können. Hier wäre zu überlegen, ob nicht ein Magnetfilter zum Abfangen der Magnetitanteile eine Verbesserung bringen könnte.

Zur Verminderung des stark strahlenden Kobalt-Anteiles der Korrosionsprodukte bietet sich die Reduzierung des Ni- bzw. Co-Gehaltes der Werkstoffe und die Einschränkung der Anwendung von stelliteierten Teilen im Primärkreislauf an.

Eine strikte Empfehlung gilt der besonderen Beachtung der Speise- und Kreislaufwasser-Überwachung und -Pflege.

Im Folgenden werden diejenigen Arbeiten aufgeführt, welche besondere strahlungsbedingte Maßnahmen erforderten, oder welche aus Strahlengründen besonders schwierig waren. Hierbei angewandte Dekontaminations-Verfahren werden in Kapitel 6 gesondert beschrieben. Primärkreislaufaktivitäten wurden unter Ziffer 1.4 in Tabelle 2 angegeben.

Zur Abrundung des Gesamtbildes seien an dieser Stelle noch folgende grundsätzlichen Empfehlungen ausgesprochen:

Solange auf dem Gebiet: "Zuverlässigkeit der Komponenten" keine wesentlichen Verbesserungen erreicht sind, müssen die Komponenten in LWR-Kernkraftwerken so angeordnet und eingebaut werden, daß die anfallenden Wartungs-, Inspektions- und Reparaturarbeiten sehr viel leichter (auch schneller) und mit sehr viel geringerer Strahlenbelastung des Personals durchgeführt werden können als bisher.

Bei Änderungen an Systemen oder Komponenten in der Anlage ist eine Verbesserung aller betreffender Dokumentations-Unterlagen vorzunehmen.

Hinreichend große Absetzflächen für Reparaturfälle sind vorzusehen.

Die Isolierung aller Komponenten, an welchen Inspektions-, Wartungs- oder Reparaturarbeiten geplant bzw. erwartet werden müssen, sollte aus schnell abnehmbaren bzw. montierbaren Formteilen bestehen.

2.2 Brennelemente

Die Handhabung von schadenfreien Brennelementen, d.h. von Brennelementen mit unveränderter Geometrie (ohne Verbiegung, Verklemmung, Verschiebung) und mit dichten

Hüllen, ist in allen besuchten Anlagen - soweit dies die Absicherung des Personals gegen Strahlung anbelangt - grundsätzlich zur Zufriedenheit gelöst worden.

2.2.1 Handhabungsprobleme

Schwierigkeiten bei der Brennelemententladung sind in einigen Anlagen durch Verunreinigung (Trübung) des Wassers im Flutraum entstanden. Bei dem Auffüllen des Flutraumes über dem Reaktor wurden Korrosionsprodukte aus dem Druckgefäß mit dem Auffüllwasser nach oben geschwemmt. Neben einer unangenehmen Beeinträchtigung der Durchsichtigkeit des Wassers ergab sich z.B. in einem Fall eine Strahlendosisleistung von 100 bis 150 mR/h an der Wasseroberfläche allein durch im Wasser gelöste Aktivität (vorwiegend J-131, Cs-134/137) sowie durch suspendierte Korrosionsprodukte, wie Co-58/60 und Fe-59. Daraus resultierte eine Strahlendosisleistung von 20 bis 50 mR/h auf der Bedienungsbühne.

Um der Aufschwemmung der Korrosionsprodukte im Druckgefäß aus dem Wege zu gehen, hat man in einem Fall angewärmtes Wasser aus dem Lagerbecken oberhalb des Reaktors in den Flutraum laufen lassen. Durch die so bewirkte Temperaturschichtung (Reaktorwasser kühler als Flutwasser) erreichte man die Füllung des Flutraumes mit klarem Wasser.

Eine weitere Verunreinigung des Flut- und Lagerbeckenwassers wurde durch das Ausladen und den Transport der Brennelemente verursacht.

Bei SWR-Anlagen wurden sich von den Brennelementen ablösende Wolken aus lose an der Oberfläche der Stäbe haftenden Korrosionsprodukten beobachtet.

Diese Verunreinigungen konnten wegen der sehr geringen Partikelgröße nur schlecht mit der Primärreinigungsanlage ausgefiltert werden. In einer anderen SWR-Anlage hat sich die ständige Filterung des Lagerbecken- und Flutwassers im Lagerbecken-Kühlkreislauf bewährt. Das Wasser wird etwa alle 30 Stunden einmal über ein mechanisch wirksames Anschwemmfilter umgewälzt.

Weiterhin hat sich der Einsatz von sogenannten "Unterwasser-Staubsaugern" bewährt; hierunter werden Geräte verstanden, welche entweder auf dem Wasser schwimmen oder am Beckenrand stehen und mittels einer Pumpe und Saugrüssel das verschmutzte Wasser über Filter pumpen.

Müssen Be- und Entladearbeiten, sowie Brennelement-Inspektions- und evtl. Reparaturarbeiten gleichzeitig durchgeführt werden, haben sich neben der Brennelementwechselmaschine fahrbare Bedienungsbühnen über dem Lagerbecken bewährt. Von einer solchen Bühne aus kann an den Brennelementen im Lagerbecken gearbeitet werden, ohne daß die Lademaschine blockiert wird. An der Bühne können - zusätzlich zum Lagerbeckenrand - Vorrichtungen zum Befestigen von Unterwasserwerkzeug und von Beleuchtungskörpern angebracht werden.

2.2.2 Brennelementdemontage und -prüfung

In mehreren Anlagen (SWR und DWR) wurden Brennelemente demontiert, um entweder schadhafte Stäbe zu finden oder um Reparaturen durchzuführen. Die Konstruktion der SWR- und der DWR-Elemente war für diese Arbeiten nicht vorgesehen. Ebensowenig waren die Lagerbecken für diese Art Arbeiten ausgelegt, ganz abgesehen von fehlenden Vorrichtungen für die Reparatur. Teilweise hatten die Brennelemente - wie bereits angeführt - einen Abbrand von bis zu 17.000 MWd/tU.

Das Auftreten von Brennelementschäden brachte neue Erkenntnisse über die Ausstattung der Anlagen mit Vorrichtungen zum Testen (Sipping, TV, Ultraschall, Wirbelstrom), zum Handhaben (Kastenabstreifmaschine, Drehvorrichtung, Absaugevorrichtung und Reparaturwerkzeug) und zum Transport (Transportflaschen) sowie für Konzeption und Konstruktion besserer Brennelemente (Hüllenmaterial, Feuchtigkeit des Brennstoffes, Fertigungskontrolle).

Um aus einer Kernladung defekte Brennelemente herauszufinden *), wird allgemein als erstes das sogenannte Sipping-Verfahren angewendet. Als Aktivitätsübertrager und damit als Meßmittel wird in den meisten Anlagen Wasser verwendet (Naß-Sipping).

Die Meßarbeiten wurden z.B. in einem Fall in speziellen Sipping-Boxen im Lagerbecken durchgeführt. Der Zeitbedarf vom Greifen eines Brennelementes im Becken über das Einsetzen in die Box, das Aufheizen auf 65 °C für eine Jodprobenahme und die Probenahme selbst bis zum Zurückgeben des Elementes betrug ca. eine halbe Stunde.

Für die Arbeiten wurden 5 Personen benötigt; die Strahlenbelastung lag bei ca. 30 mrem pro Person und Schicht (8 Stunden). D.h., bei der Durchmessung des gesamten Kernes wurde jede beteiligte Person im Durchschnitt mit 240 mrem belastet (121 BE in 60 Stunden, 8 Schichten).

In einem anderen Fall wurden die Sippingmessungen im Druckgefäß durchgeführt. Diese Methode erlaubt zwar ein schnelleres Arbeiten, ist aber wesentlich ungenauer, weil ein Aufheizen der Probe nicht möglich ist, und weil sich der Aktivitätspegel des Bezugsmediums (Reaktorwasser)

*) Die Fehlersuche durch Variation der Neutronenflußverteilung im Kern mittels Verstellen der Steuerstäbe ist bei modernen Anlagen mit den üblichen Steuerstabsfahrrechnern problematisch.

im Vergleich zu dem Probewasser aus den Brennelementen nicht wesentlich unterscheidet.

Eine andere Methode zum Feststellen von Leckagen in Brennelementen ist das Sippen mit Gas (Trocken-Sippen).

Hierfür wurde z.B. in einem Fall mit Stickstoff als Trägergas gearbeitet. Das zu testende Brennelement wurde im Lagerbecken in einer Spezial-Box eingeschlossen und über Schlauchanschlüsse mit einem Meßkreislauf verbunden. Diese Meßmethode hat sich gut bewährt: geringer Nulleffekt, keine Verschleppung von Aktivitäten, schnelle Messung (15 Min.) daher auch schnelle Erkennung eventueller Meßfehler, äußerst einfache Apparatur, keine Proben Transporte in ein Labor.

Beim Ausmessen des ganzen Kernes wurde die Bedienungsmannschaft von 4 Personen mit ca. 170 mrem pro Person belastet.

2.2.3 BE-Inspektionen und -Reparaturen

Reparaturarbeiten wurden sowohl an SWR- als auch an DWR-Brennelementen durchgeführt. Genaue Prüfungen der durch das Sippen als schadhaft ausgesonderten Elemente wurden mit Endoskop oder Fernsehkamera, Ultraschall und Wirbelstrom im Lagerbecken der Anlagen durchgeführt. Hierbei hat sich wiederum gezeigt, daß bei der Gestaltung der Lagerbecken auf solche Arbeiten Rücksicht genommen werden muß. Hierfür erforderlich sind genügend Platz zum Handhaben der Brennelemente sowie eine gute Beleuchtung. Absaugvorrichtungen, Inspektions-, Prüf- und Reparatereinrichtungen sollten leicht anbringbar bzw. vorhanden sein. Auch die Konstruktion der Brennelemente selbst sollte auf diese Arbeiten Rücksicht nehmen.

An DWR-Brennelementen wurden in einer Anlage Arbeiten vorgenommen, welche den Raum für eine Längenausdehnung der Stäbe nach größer werdendem Abbrand erweiterte. Es handelte sich hierbei also, genauer gesagt, um eine Vorsorgereparatur.

Bei SWR-Brennelementen wurden einzelne defekte Stäbe ausgewechselt. Es waren Schäden entdeckt worden, welche in drei Kategorien eingeteilt werden können:

- a. Wandschwächen
- b. Beulen
- c. Risse
- d. Schäden an der Schweißnaht der Endstopfen.

Bei DWR-Brennelementen sind die Schadenstypen ähnlich unterteilbar:

- a. Wandschwächen
- b. Einbeulungen
- c. Lochfraß
- d. Unerwartet große Längenausdehnung (kein direkter Schaden).

Im Rahmen dieser Studie kann nicht auf die technologischen und konstruktiven Eigenschaften von Brennelementen eingegangen werden. Es wird jedoch - wegen der Bedeutung von Brennelement-Schäden im Zusammenhang mit der Aktivität des Wärmetransportmediums sowie wegen der bei den Arbeiten an Brennelementen applizierten Strahlendosen - mit großem Nachdruck auf die Probleme der Brennelementfertigung und der Brennelementhandhabung hingewiesen. In den unten folgenden Empfehlungen sollen die Konsequenzen aus vorangegangenen 10 Erfahrungsjahren in den Anlagen zusammengefaßt werden.

In diesem Zusammenhang sei auch nochmals darauf hingewiesen, daß die Brennelemente mit Stahlhüllen sich als

sehr viel weniger schadensanfällig gezeigt haben als diejenigen mit Zircaloy-Canning. Seitens der Hersteller sollte deshalb die Hüllenmaterialfrage vielleicht doch noch einmal eingehend überprüft werden. Bei allen Vorteilen in bezug auf die Neutronenökonomie haben Brennelemente mit Zircaloy-Hüllen während des Einsatzes in den verschiedensten Anlagen zu einer Reihe von Fehlern bzw. zu einem erheblichen Reparatur- (und Stillstands-)Ausfall geführt.

Zusammenfassend werden folgende Empfehlungen gegeben:

In der Erkenntnis, daß Reparaturen an Brennelementen auch in nächster Zukunft wohl nicht auszuschließen sind, wird empfohlen, die BE-Konstruktion reparaturfreundlicher zu gestalten, indem z.B. selbstsichernde Verschraubungen oder Schnellverschlüsse verwendet werden. Brennelemente sollten so konstruiert sein, daß man sie unter Wasser mit Zuhilfenahme von Vorrichtungen leicht demontieren und wieder zusammensetzen kann.

Zum Einschließen von defekten Brennelementen haben sich in einer Anlage Flaschen bewährt, welche für diesen Zweck nachträglich angefertigt worden sind. In eine solche Flasche kann 1 Brennelement eingeschlossen und im Lagerbecken abgestellt werden, so daß das Lagerbeckenwasser nicht durch aus diesem Element austretende aktive Partikel verseucht wird. Die Kühlung des Elementes geschieht durch die Oberfläche der geschlossenen Flasche. Die Flaschen sollten so konstruiert sein, daß man sie im Brennelement-Transportbehälter abtransportieren kann.

Die Einrichtung einer fahrbaren Arbeitsbühne über dem Lagerbecken hat sich ganz besonders für die reibungslose Durchführung der Arbeiten im Becken - parallel zu Brennelement-Be- und Entladearbeiten - bewährt.

Am Beckenrand sollten genügend Platz sowie auch Aufhängevorrichtungen für das Unterwasserwerkzeug und für Hebezeuge vorhanden sein.

Für die Lagerbecken in neuen Anlagen wurde eine spezielle Unterteilung angeregt. Hiernach sollte ein mit einfachen Mitteln abgrenzbarer Bereich mit besonderer Absaugung und Wasserreinigung für die Inspektion und evtl. für eine Reparatur von Brennelementen eingerichtet werden. Hierin sollten auch Vorrichtungen zur Prüfung, Säuberung und Montage der Brennelemente fest eingebaut sein. Herunterfallende Gegenstände dürfen keine Beschädigung der Auskleidung dieser Beckenabteilung verursachen können.

Bei Brennelementwechseln trat oft eine starke Verunreinigung des Flutwassers durch aufgeschwemmte Korrosionsprodukte ein. Deshalb sollte eine Vorrichtung zur zusätzlichen Säuberung des Flutwassers während des Brennelementwechsels vorhanden sein (sog. Wasserstaubsauger).

Der Verschluß der Schleuse zwischen Flutraum und Lagerbecken sollte mit einer durch das Eigengewicht des Schleusentores erzeugten konischen Selbstdichtung ausgerüstet sein. Ein Verschluß mit Schrauben ist zu umständlich.

Der Brennelement-Transportkanal vom Flutraum zum Lagerbecken sollte zugänglich sein, damit evtl. hierin auftretende Defekte behoben werden können.

Auch muß die Unterwasserbeleuchtung des Lagerbeckens ausreichend sein. Leuchtstärken unter 500 W (Jod) sind sinnlos; gute Lampen beginnen ab 1000 W in Punktstrahlern. Für den Brennelementwechsel haben sich Beleuchtungskörper mit zusammen ca. 12 KW bewährt -

8 KW im Lagerbecken, 4 KW im Flutraum. Ein Punktstrahler ist an der Lademaschine nötig zum Anleuchten des Brennelementes, welches gegriffen werden soll. Die Leuchtkörper müssen unter Wasser einstellbar sein. Die Dichtungen müssen hitzebeständig sein und dürfen auch bei außerhalb des Wassers eingeschalteter Lampe nicht verspröden.

2.3 Reaktorbehälter und -einbauten

Bekanntlich müssen alle DWR- und SWR-Anlagen periodisch abgeschaltet werden, um Brennelemente umzusetzen und abgebrannte Elemente auszuwechseln. In den meisten Fällen erfolgt dies in einem Jahresrhythmus. D.h., einmal pro Jahr wird das Druckgefäß geöffnet; dabei werden - neben den eigentlichen Brennelement-Umsetzarbeiten - Wiederholungsinspektionen, Wartungs- und Reparaturarbeiten durchgeführt.

Zur beispielhaften Beschreibung dabei möglicherweise auftretender Probleme sei ein von Stahl aus einer SWR-Anlage stammender Betriebsbericht wörtlich zitiert:

"Reaktordruckgefäß schließen: Beide Lagerbeckentore eingesetzt und verschraubt, dann den Dampftrockner langsam in das Druckgefäß eingefahren und gleichzeitig den Flutraum entleert. Die Wände und den Boden des Flutraumes haben wir mit vollentsalztem Wasser kräftig abgespritzt und die heißen Korrosionsprodukte in die Flutraumentleerung geschwemmt. Beim Festziehen der Dampftrocknerbolzen merkten wir, daß der Trockner 10 mm zu hoch im Druckgefäß stand. Wir mußten noch einmal den Dampftrockner herausheben und den Flutraum auffüllen, erst dann konnten wir nach der Ursache suchen. Es stellte sich heraus, daß ein Bügel eines Materialprobenhalters

umgekippt war und auf der Auflagefläche des Dampftrockners am Kernmantel lag. Vermutlich ist er beim Hantieren mit Lampen im Reaktor durch ein Kabel umgekippt worden. Nachdem der Bügel wieder in seine ursprüngliche Lage gebracht worden war, konnte der Dampftrockner wieder in das Druckgefäß eingefahren und der Flutraum entleert werden.

Leider haben diese Arbeiten viel Zeit und zusätzliche Strahlenbelastung für das Personal gebracht. Wir mußten unsere Leute der mechanischen Werkstatt wegen Erreichen der Vierteljahresdosis von den Arbeiten abziehen. Die Dampftrocknerbolzen festschrauben, den Reaktordeckel aufs Druckgefäß aufsetzen und die Deckelbolzen hydraulisch spannen mußten wir dann mit 2 Elektrikern und 3 Chemiehilfsarbeitern durchführen. Diese Hilfskräfte wurden von einem Sachkundigen eingewiesen, der aber wegen seiner Strahlenbelastung nur noch von weitem oder kurzzeitig vor Ort die nötigen Hilfestellungen geben konnte."

2.3.1 Druckgefäßdeckel-Öffnen und -Schließen

Das Öffnen eines Druckgefäßdeckels umfaßt folgende Arbeiten:

Entfernen der Deckel-Isolierung, Demontage aller durch den Deckel führenden Anschlüsse (einschließlich Steuerstab-Antriebsvorrichtungen bei DWR), Lösen der Verschraubung und Abheben des Deckels. Das Schließen des Deckels umfaßt alle Arbeiten sinngemäß in umgekehrter Reihenfolge.

Das Öffnen der Druckgefäße wird unterschiedlich gehandhabt. In Anlagen deutscher Herkunft wurde im Rahmen des Lieferumfanges durchweg eine Deckelbolzen-Spannvorrichtung mitgeliefert, mit deren Hilfe eine wesentliche Ar-

beits- und damit Zeit- bzw. Strahlendosisersparnis beim Lösen und Verschrauben der Druckgefäßdeckel erreicht wird.

Bei einer Anlage amerikanischer Bauweise (DWR), bei der diese Vorrichtung fehlte, ergab sich für den Betreiber folgende Rechnung:

Arbeitsaufwand zum Öffnen des Deckels: 90 Mann-Stunden
Arbeitsaufwand zum Schließen des Deckels: 72 Mann-Stunden

Durch die Anwendung einer im Eigenbau gefertigten Vorrichtung welche wenigstens des Gewicht der Schrauben bei der Montage aufnimmt und so die Arbeiter entlastet, konnte der Arbeitsaufwand für das Deckel-Öffnen und -Schließen auf je rund 50 Mann-Stunden verkürzt werden. Zu dieser Verkürzung der Arbeitszeit trugen auch ein Training des Personals sowie eine Verbesserung der Isolierung des Deckels bei. Die Isolierung wurde so geändert, daß sie schnelle abnehmbar und wieder anbringbar ist. Diese Maßnahmen erbrachten eine Einsparung von 62 Mann-Stunden für das Öffnen und Schließen des Druckgefäßdeckels, was bei einer durchschnittlichen Umgebungsstrahlung von 45 mR/h zu einer Ersparnis an Strahlendosis von ca. 2,8 Mann-rem pro Jahr führte.

Erfahrungen aus einer DWR-Anlage deutscher Herkunft zeigen, daß man die vorher beschriebenen Arbeiten für das Öffnen des Druckgefäßes zuzüglich der Handhabung der Betonabschirmung über dem Flutraum in einem Tag (8 Stunden) durchführen kann.

Diese Zeitangabe entspricht ungefähr dem Aufwand von 50 Mann-Stunden bei der amerikanischen Anlage, nachdem man in letzterer die Hilfseinrichtung eingesetzt hatte. Die Leistungsgrößen der zum Vergleich herangezogenen Anlagen sind ungefähr gleich.

Bei einer SWR-Anlage deutscher Herkunft verursacht jedes Öffnen des Druckgefäßdeckels eine mittlere Strahlendosis von ca. 2 Mann-rem, jedes Schließen ca. 4 Mann-rem. Die mittlere Strahlungsleistung in der Umgebung des geschlossenen Druckgefäßdeckels beträgt ca. 50 mR/h. Die Deckelbolzen werden hydraulisch gespannt, und die Muttern sind mit der Vorrichtung zusammen transportierbar.

2.3.2 Dampftrockner und Wasserabscheider

Bei den meisten SWR-Anlagen befinden sich Dampftrockner und Wasserabscheider oberhalb des Kernes im Druckgefäß. Vor jedem Brennelementwechsel muß dieser Teil der Einbauten aus dem Druckgefäß herausgehoben werden. Zum Lösen bzw. Befestigen der Verschraubung wurde das Personal einer deutschen SWR-Anlage mit durchschnittlich ein bis zwei Mann-rem belastet, weil die Konstruktion eine Fernbedienung der Befestigung nicht zuließ.

In einer anderen SWR-Anlage kam es dadurch zu einer unnötigen Strahlenbelastung des Personals, daß ein nach Zeichnungen angefertigter neuer Spannring zur Befestigung des Wasserabscheiders/Dampftrockners nicht mit den Maßen des eingebauten Teiles übereinstimmte. Der Einbau des neuen Spannrings konnte erst nach drei Wochen Verzögerung beendet werden. Die hierbei vom Personal empfangene Strahlendosis betrug ca. 40 rem. Die Zeichnung des alten Spannrings war nicht geändert worden, nachdem man den Spannring selbst vor dem Einbau abgeändert hatte.

2.3.3 Thermischer Schild/Kernmantel

In zwei Druckwasser-Reaktor-Anlagen amerikanischer Herkunft mußten nach einer längeren Betriebszeit Arbeiten

an der Kernmantel-Befestigung und am thermischen Schild vorgenommen werden *). In beiden Fällen waren einige Befestigungsschrauben durch Schwingungen des thermischen Schildes im Wasserstrom gebrochen **).

Um die Reparaturen im Druckgefäß vornehmen zu können, wurden alle Einbauten entfernt und im Brennelementlagerbecken oder im Flutraum abgestellt.

Durch Neutroneneinwirkung waren die Kerneinbauteile, welche sich in der Nähe der aktiven Zone der Brennelemente befanden hoch aktiviert worden. Am thermischen Schild wurde in der einen Anlage in Höhe der Kernmitte eine Strahlung von 1750 R/h gemessen.

Um bei den Arbeiten die Strahlung aus dem Druckgefäß zu begrenzen, mußten 3 m Wasser über den Stellen stehen, an welchen gearbeitet werden sollte. Damit bei gefülltem Flutraum ein trockener Zugang zu der Arbeitsbühne über dem Wasserspiegel im Reaktorbehälter möglich war, wurde ein Rohrmantel entsprechenden Durchmessers vertikal auf das geöffnete Druckgefäß gesetzt.

Zum Ausbau mußte der thermische Schild unter Wasser zerschnitten und in einzelnen Stücken aus dem Reaktor abtransportiert werden. Zum Zerschneiden des Schildes wurde ein mechanisches Schneidgerät eingesetzt, das in der Werkstatt der Anlage gefertigt und erprobt worden war.

*) Die gleiche Notwendigkeit wurde bei einer Anlage deutscher Provenienz schon vor der Inbetriebnahme erkannt.

**) Siehe: W. Bastl: "Fortschritte in der Rauschanalyse zur betriebsmäßigen Überwachung von Druckwasser-Reaktoren", Reaktortagung 1973.

Um diese Arbeiten mit einer möglichst geringen Strahlungsexposition vornehmen zu können, wurde ein inaktives Modell im Maßstab 1:1 im Flutraum aufgebaut. Hiermit wurden die Einzelarbeiten und der Abtransport genauestens festgelegt und geübt.

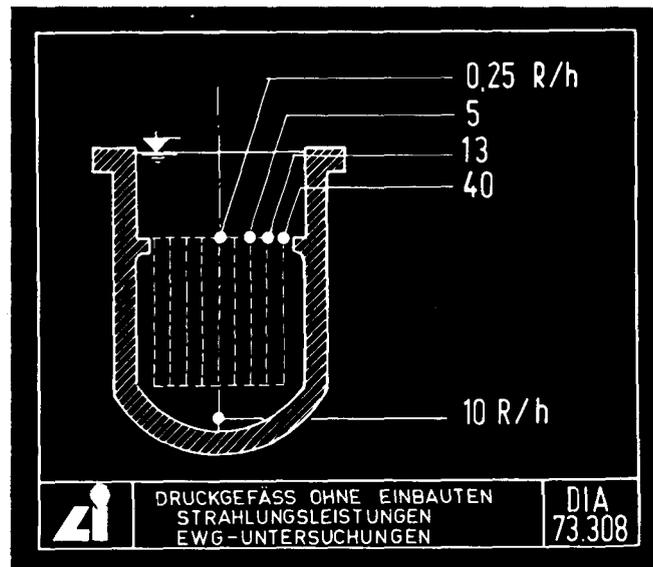


Bild 1

Nach der Entfernung des thermischen Schildes maß ein längs der Achse des Druckgefäßes niedergehender Taucher die Dosisleistungen innerhalb des gefluteten Gefäßes.

Die wesentlichen Ergebnisse seiner Messungen sind in Bild 1 wiedergegeben.

Die während der gesamten Reparatur in der einen Anlage aufgenommene höchste Personen-Einzeldosis betrug 1,05 rem *). Bei der anderen Anlage betrug die maximale Personendosis für das Entfernen des thermischen Schildes 1800 mrem, die mittlere vom Personal aufgenommene Dosis 400 mrem; die Arbeitszeit betrug in diesem Falle

*) M.J. Kieffer: Bulletin d'Information de l'A.T.E.N., No. 87 (1971)

4 Monate. Der Grund für diese relativ niedrige Strahlenbelastung war - neben den sehr guten Vorbereitungsarbeiten - die äußerst geringe Aktivität des Primärwassers, die zwischen 1 und $3 \cdot 10^{-4}$ Ci/m³ lag. In beiden Anlagen waren die Brennelemente (Stahlhüllen) schadenfrei geblieben.

Die Lagerung der hochaktiven Schnitt-Teile bereitet in Anlagen, bei welchen das Lagerbecken nur durch einen Tunnel mit dem Flutraum verbunden ist, Schwierigkeiten. Kann man die zerschnittenen Teile nicht in einem Behälter aus der Anlage heraustransportieren, so müssen die Teile durch den für den Transport der BE vorgesehenen Tunnel in das Lagerbecken transportiert werden.

Die Reparatur der Kernmantelbefestigung konnte nach genauer Planung und Vorübung an einem Modell ohne größere Schwierigkeiten im Flutraum (an der Wasseroberfläche 10 bis 20 mR/h) durchgeführt werden. Die vorgenommenen Arbeiten - einschließlich der Entfernung des thermischen Schildes - haben sich inzwischen bewährt.

2.3.4 Sonstige Reparaturen im Druckgefäß

In einer anderen Anlage wurde an dem Stutzen einer Rohrleitung am Druckgefäß ein Riß entdeckt. Messungen an dieser Stelle ergaben - bei eingebautem Kern - eine Strahlendosis von 3 R/h. Auch in diesem Falle wurde ein (Holz-)Modell im Maßstab 1:1 angefertigt und eine genaue Arbeitsvorbereitung für das Ausschleifen des Risses und das Schweißen getroffen. Die Arbeit wurde in 10 Tagen - vom Entdecken des Risses bis zur Prüfung der Schweißung - ausschließlich durch Fremdpersonal ausgeführt. Im Mittel empfangen die Personen eine Dosis von 1700 mrem. Das Verhältnis von reiner Arbeitszeit vor Ort zu Arbeitsvorbereitungszeit betrug ca. 10 : 90.

Bei einem Siedewasserreaktor älterer Bauart wurde eine Undichtigkeit an einer Steuerstabdurchführung durch den Druckgefäßboden festgestellt. Die daraufhin durchgeführte Ultraschall-Prüfung aller Steuerstabdurchführungen ergab, daß bei einigen Durchführungen Risse im oberen Stutzenbereich in der Nähe der Schweißnaht vorhanden waren. Nach einer genauen Überprüfung dieser Schäden war man sicher, daß es sich um Fertigungsfehler handelte; die Nähte der Verbindungen zwischen Stutzen und Rohren waren in den Wurzeln nicht voll durchgeschweißt. Für die Reparatur wurden die Stutzen ausgedreht. Anschließend wurde je ein neues Rohr mit Bund von oben eingeführt und fernbetätigt (automatisch) mit dem Originalstutzen im Reaktor verschweißt.

Die Ortung der undichten Stelle sowie die Ursachenfindung und die Reparatur gestalteten sich schwierig, da die Schadensstelle schwer zugänglich war und im Bereich hoher Strahlung lag. Weiterhin mußten die Vorrichtungen für die Prüfverfahren und für die Ausführung der Reparatur - Ausdrehen, fernbetätigtes, automatisches Schweißen - speziell, und zwar unter Beachtung der erforderlichen Qualität, entwickelt werden. Das Trennen und Ausdrehen der alten Durchführungen wurde von unten - über eine Distanz von ca. 2 m fernbetätigt - am trockenen Stutzen durchgeführt. Auch die Schweißvorrichtung wurde von unten, ca. 2 m weit, in das Rohr eingeführt und zentriert.

Die hohe Strahlenleistung führte zwangsläufig zu Personalproblemen. Oftmals mußte eingearbeitetes Personal ausgetauscht werden. Die Dosisleistung lag direkt unterhalb des Druckgefäßbodens bei 0,25 bis 0,5 R/h, örtlich am Primärwasser-Reinigungsstutzen bei 2 R/h. Im tieferliegenden Steuerstabantriebsraum wurden Werte von ungefähr 1 R/h gemessen.

Die hohe Strahlung rührte insbesondere von der Sperrwasserleitung und den Labyrinthdichtungen her. Durch

Entfernen dieser Leitungen konnte die Raumstrahlung auf 25 bis 40 mR/h gesenkt werden.

Folgende Empfehlungen seien hier noch einmal zusammengefaßt:

Die Erfahrungen der Betreiber und Ersteller von Kernkraftanlagen über Reparaturen am Druckgefäß oder an den Einbauten beruhen bislang auf einer noch geringen Anzahl von Fällen; gegenseitige Mitteilung und Erfahrungsaustausch ist bei solchen Arbeiten besonders wichtig.

Die für Prüf- und Reparaturarbeiten in oder am Druckgefäß erforderlichen Geräte, z.B. Endoskope, Fernsehanlagen, Schleif- und Schweißgeräte, sollten wegen der hohen Anschaffungspreise von mehreren Anlagenbetreibern gemeinschaftlich benutzt werden können.

Eine zweckmäßige Instrumentierung wichtiger Bauteile an diffizilen Stellen sollte nicht aus Kostengründen entfallen; die Nachprüfung der konstruktiven Auslegungsdaten durch Messungen an den Komponenten im Betrieb kann eine frühzeitige Erkennung von möglichen Schadensursachen sichern.

Das Öffnen und Schließen des Reaktor-Deckels sollte durch fernbedienbare Vorrichtungen erleichtert werden (Abnehmen der Isolierung, Bolzenspannvorrichtung). Bei SWR-Anlagen sollten auch Dampftrockner und Wasserabscheider mittels Fernbedienung aus- und eingebaut werden können.

2.4 Steuerstab-Antriebe

Aufgrund der Anbringung der Steuerstabantriebe der Siedewasserreaktoren unterhalb des Druckgefäßes, also un-

terhalb des Wasserspiegels, ergeben sich spezielle Probleme.

Bei den SWR-Anlagen werden jährlich - während des BE-Wechsels - einige Steuerstabantriebe ausgetauscht, inspiziert, überholt und wieder eingesetzt. Um dabei die Steuerstäbe vor Ausbauschäden zu schützen, werden sie zumeist im Reaktor belassen; die Führungsrohre werden oben abgedichtet. Beim Lösen der Antriebe wird das in den Führungsrohren stehende aktivierte Korrosionsprodukte enthaltene Wasser in den Raum verschüttet. Dadurch entsteht - neben einer unangenehmen Kontamination - eine erhöhte Dosisbelastung des Personals. Die Revision von 10 Steuerstabantrieben nach dieser Methode brachte in einem Falle eine Strahlenbelastung von 12,8 Mannrem.

Hinderlich war bei diesen Arbeiten auch die Stahlkonstruktion unter den Antrieben, welche ihr Herausschleudern bei einem Unfall verhindern soll, und welche jedes Mal teilweise demontiert werden mußte. Darüber hinaus bereitet die Enge des Raumes, in dem die Steuerstabantriebe untergebracht sind, Schwierigkeiten.

In einer Anlage baute man für die Revision der hier 120 kg schweren Antriebe eine Arbeitsbühne, welche druckluftbetrieben und in der Höhe verstellbar ist.

Die Strahlung betrug in der Mitte des Steuerstabantriebraumes 15 mR/h, an den Flanschen 10 R/h.

Der Aus- und Einbau je eines Antriebes wurde von zwei Personen in acht Stunden bewerkstelligt; die Inspektion wurde von zwei Personen in 4 Stunden durchgeführt. Zum Abbau der gesamten Innenkern-Instrumentierungs-Anschlüsse benötigten 2 Personen 8 Stunden, zum Abbau der Sicherheits-Stahlkonstruktion: 2 Personen 4 Stunden.

In der gleichen Anlage wurde die Mehrzahl der zur Reinigung des bei Schnellabschaltungen und Stillständen aus dem Reaktor in die Antriebe strömenden Wassers eingebauten Filter entfernt, um eine Ansammlung von Korrosions-Partikeln in jenen zu vermeiden. Die Reinigung der Antriebe durch das Spülwasser (Sperrwasser) wird (auch ohne die Filter) als genügend erachtet.

In einem anderen Falle wurden zwölf Regelstabantriebe ausgebaut und einer Prüfung unterzogen; außerdem wurde ein Flansch nachgeschliffen. Während der rund zweiwöchigen Arbeiten empfing eine Reihe von Mitarbeitern eine so hohe Strahlendosis, daß sie - um unter dem höchstzulässigen Wert von 3 rem pro Quartal zu bleiben - ausgetauscht werden mußten. Die Strahlenexposition betrug:

50 - 200 mrem:	2 Mann
200 - 500 mrem:	1 Mann
500 - 1000 mrem:	4 Mann
1000 - 1500 mrem:	6 Mann
1500 - 2000 mrem:	4 Mann
2000 - 2500 mrem:	3 Mann

Diese hohen Dosiswerte sind unter anderem darauf zurückzuführen, daß herkömmliches Handwerkzeug verwendet wurde, mit dem über längere Zeiten unmittelbar am Reaktorgefäß und den Befestigungsflanschen gearbeitet werden mußte.

Zur Zeit wird ein Modell des Steuerstabantrieb-Raumes im Maßstab 1:1 gebaut, das zur Erprobung neu entwickelter Fernbedienungswerkzeuge und zu Übungszwecken dienen soll.

Empfehlungen:

Bei SWR sollten die Einrichtungen zur Sicherung der Steuerstabantriebe gegen ein Herausschleudern (Un-

fallsicherung) so gebaut sein, daß sie für Inspektionsarbeiten an den Antrieben entweder leicht entfernbar sind, oder diese nicht behindern.

Eine Lösung ergäbe sich z.B. durch eine hydraulische Höhenverstellbarkeit des Gitters; zugleich könnte das Auffanggitter als Arbeitsplattform benutzt werden.

Damit bei einer DWR-Anlage die Steuerstabantriebsstutzen am Druckgefäßdeckel leichter inspiziert werden können, sollte die Deckelisolierung aus Formteilen bestehen, welche schnell montiert bzw. demontiert werden können.

2.5 Wärmeaustauscher

2.5.1 Dampferzeuger

Dampferzeugerschäden traten sowohl bei SWR- als auch bei DWR-Anlagen auf. Leckagen von der Primär- zur Sekundärseite, aus denen sich auf der Sekundärseite jeweils ein Anstieg der Wasseraktivität ergab, waren der Grund für viele Abschaltungen.

Über die Schadensursachen, die Lage und die Art der Schäden kann an dieser Stelle nicht berichtet werden. Es sei nur darauf hingewiesen, daß z.Z. noch keine einheitliche Meinung über den Schadensmechanismus besteht. Als sicher gilt jedoch, daß ein Zusammenhang zwischen Fertigung, Konstruktion, bestimmten Betriebsbedingungen (einschließlich Wasserchemie) und aufgetretenen Schäden besteht. Folgendes scheinen die maßgeblichen Einflußgrößen zu sein:

Fertigung: Sensibilisierung des Materials;
zu große Toleranzen der Rohrdurchführung
durch die Rohrplatte.

Konstruktion: Hohe Spannungen infolge Kaltverformung;
Totwasserzonen.

Betrieb: Unzulässige Temperaturgradienten.
Wasserchemie: Gegenwart von OH- und/oder Cl-Ionen.

Es scheint erwiesen, daß nur das Zusammenwirken mehrerer dieser Einflüsse zu Schäden führen kann. Auf jeden Fall aber sollten die Toleranzen zwischen dem Rohr- und dem Bohrungsdurchmesser in der Rohrplatte so klein wie möglich sein.

Die Glühparameter sollten so gewählt und eingehalten werden, daß das Material möglichst wenig sensibilisiert wird. Die Biegespannungen infolge der Kaltverformung sollten so klein wie möglich gehalten werden; die Einwalzverfahren sollten in dieser Hinsicht vielleicht noch einmal überprüft werden.

Die Walzstellen sollten so gelegt werden, daß von der Sekundärseite aus zwischen Rohr und Platte kein Spalt entsteht, in welchem ideale Verhältnisse für eine interkristalline Spannungsrißkorrosion herrschen würden.

Eine verbesserte Strömungsführung auf der Sekundärseite sollte Strömungstotzonen und damit Korrosionsprodukt-Ansammlungen vermeiden helfen, durch welche lokale Temperaturdifferenzen und chemische Reaktionszonen entstehen können.

Die Lage der Probenahme-Anschlüsse muß so geplant sein, daß die entnommenen Proben auch tatsächlich repräsentativ sind.

Weiterhin ist die primär- und sekundärseitige Speisewasserpflege von entscheidender Wichtigkeit. Insbesondere die maximal zulässigen Chlor- und OH-Ionen-Konzentration sind genauestens einzuhalten. Hierzu ist eine sorgfältige kontinuierliche Überwachung vonnöten.

Die Behebung von Schäden in Dampferzeugern mit nur einem äußerem Mannloch als Zugang zu beiden Wasserkammern hat sich als besonders schwierig erwiesen. Alle entsprechenden Anlagenbetreiber empfahlen, zukünftig auf die Verbindungsöffnung zwischen den Wasserkammern zu verzichten und stattdessen je ein Mannloch in jeder Kammer vorzusehen.

Als Beleg für diese Empfehlung sei eine Reparatur angeführt, bei welcher die in Tabelle 3 angegebenen Dosisbelastungen nur für den Aus- und Einbau des Zwischendeckels registriert wurden.

Tab. 3 Dosisbelastungen beim Aus- und Einbau eines Wasserkammer-Zwischendeckels D.E.

Arbeit am Zwischendeckel	Dosisbelastung gesamt (mrem)
ausbauen	3155
einbauen, 1. Versuch (3 Schrauben gefressen)	2740
lösen, ausbauen	9480
Gewinde nachschneiden, endgültiger Einbau	3563
Gesamt	18938
Aufenthaltszeit vor Ort: ca. 1,5 h	

Die Strahlungsleistung der Deckeloberfläche betrug ungefähr 20 R/h.

Für das Vorgehen bei den Reparaturen wurden allgemein ein genaues Programm, in exaktes Personaltraining sowie geeignete Hilfswerkzeuge, Vorrichtungen und Überwachungsmethoden als besonders wichtig erachtet.

Eine der Anlagen erreicht durch eine gute Einsatzplanung und Arbeitsvorbereitung, durch Einüben des Personals an einem Modell der Wasserkammern (Maßstab 1:1) und durch Fernscharaufzeichnung vorhergegangener Reparaturen zur Leckageabdichtung eine Verringerung der Reparaturzeit von anfänglich 10 Tagen auf ca. 1,5 Tage.

Von einer anderen Anlage seien folgende Werte angeführt:

Für eine der ersten Dampferzeuger-Reparaturen, bei der undichte Wärmeaustauscher-Rohre durch Stopfen verschlossen wurden, betrug die Gesamtdosis 78 rem;

Eingesetzt waren

57 Personen Fremdpersonal (70 rem)

32 Personen Eigenpersonal (8 rem)

89 Personen

Die Strahlung in den Wasserkammern betrug 15 R/h, die eigentliche Arbeitszeit zum Abdichten der defekten Rohre 5 Stunden, die gesamte Reparaturdauer 10 Tage.

Bei späteren gleichartigen Reparaturen betrug die Gesamtdosis nur noch 20 rem - bei noch erheblich größerem Arbeitsaufwand zudem. Jedoch war - neben einer Vorrichtung für das Fixieren einer Fernsehkamera in der Wasserkammer - eine Vorrichtung benutzt worden, die das Setzen der Verschußstopfen ohne Einstieg in die Wasserkammern erlaubte. Ferner waren hierbei mehrfach verbesserte Vorrichtungen für Wirbelstrommessungen angefertigt und angewendet worden. Alle diese Vorrichtungen werden unterhalb der Rohrplatte angebracht; sie erlauben das fernbediente Abfahren des Rohrbodens und das Ein- bzw. Ausfahren der Sonden von einem Arbeitsplatz außerhalb der Wasserkammern. Eine wesentliche Reduzierung der Reparaturzeit und damit der Strahlenbelastung wurde

auch dadurch erreicht, daß auf das Säubern der U-Rohr-Innenseiten vor dem Stopfen verzichtet wurde.

Entsprechende Vorrichtungen sollten den Betreibern von den Herstellern der Dampferzeuger (bei Bedarf) zur Verfügung gestellt werden. Die Positionierung, das Ein- und Ausfahren der Sonden und das Einbringen der Verschlußstopfen sollte durch ferngesteuerte Antriebe mit geeigneter Positionsüberwachung erfolgen. Die Vorrichtung sollte so gebaut sein, daß der Aufenthalt einer Person in der Wasserkammer möglichst kurz ist. Bei möglichst seltenem Umsetzen der Vorrichtung sollten alle Rohre geprüft bzw. gestopft werden können.

Zur Abdichtung der per Wirbelstromprüfung als fehlerhaft georteten Rohre wurde ein Sprengverfahren angewendet. Hierbei werden die Dicht-Zapfen mit 4 g Sprengpulver in das defekte Rohr eingeführt. Der Sprengsatz wird durch eine Zündschnur von außen gezündet.

Die verwendete Zündschnur war jedoch mit einer PVC-haltigen Isolierung ummantelt, so daß bei ca. 1800 vorgenommenen Sprengungen ungefähr 10 kg Chlor durch das Abbrennen der Zündschnüre frei wurde. Dieser Chloranfall im Kreislauf hatte sehr umfangreiche Reinigungsarbeiten - verbunden mit zwei Ionenaustauscher-Beladungen (Harzanfall) und einem Monat zusätzlichem Stillstand - zur Folge.

Dicht-Sprengstopfen sollten entweder mit Zündschnüren gezündet werden, deren Isolierung kein Chlor enthält, oder mit in den Zapfen eingebauten Zündsätzen.

Die Strahlung in den Wasserkammern der Dampferzeuger der besuchten Anlagen lag bei Werten zwischen 1,5 und 40 R/h, in einem Falle weit darüber hinaus.

Bezüglich einer Dekontamination *) der Kammern vor den Arbeiten bestanden unter den Betreibern verschiedene Meinungen:

- In einer Anlage verzichtete man auf die Dekontamination, weil man bei einer chemischen Behandlung einen Angriff der Metalloberflächen befürchtete und für andere Verfahren keine geeigneten Vorrichtungen besaß; eine behelfsmäßige Dekontamination wurde nicht vorgenommen, weil die Durchführung eine größere Strahlenbelastung zur Folge gehabt hätte als die Ausführung der Reparatur ohne eine solche.
- In einer anderen Anlage wurde eine mechanische Vorrichtung gebaut, welche den Aufenthalt des Personals in den Wasserkammern für die Dekontamination erspart. Das Verfahren beruht auf Sandstrahlung mit Borkristallen von 100 bis 300 μm Korngröße. Vorangegangene Versuche, in den Wasserkammern mit handgeführten Sandstrahlern zu arbeiten, hatten ergeben, daß derartige Dekont-Arbeiten eine größere Strahlungsbelastung verursachten, als durch sie während der nachfolgenden Reparaturarbeiten erspart worden wäre *).
- In einer dritten Anlage wurde eine chemische Kreislauf-Dekontamination vorgenommen. Das Verfahren, in dem Lösungen über einem kurzgeschlossenen Kreislauf durch den Primärteil der Dampferzeuger gepumpt wurden, erbrachte Dekont-Faktoren zwischen 15 und 200 *).

Empfehlungen:

Die Wasserkammern der Dampferzeuger sollten so konstruiert sein, daß strömungstote Zonen möglichst vermieden werden. Die Einläufe in die Wärmetauscherrohre sollten strömungsgünstig sein; die Rohrplatte auf der

*) siehe Abschnitt 6

Unterseite sollte nur möglichst wenige, senkrechte zur Strömungsrichtung stehende Flächen aufzeigen.

Die Konstruktion der Wasserkammern sollte eine Dekontamination mittels mechanischer Vorrichtungen (Wasserstrahler, Sandstrahler) erleichtern.

Zur Durchführung chemischer Dekontaminationen sollten schon bei der Planung zukünftiger Anlagen Möglichkeiten zum Kurzschließen bestimmter Kreislaufabschnitte, z.B. der Primärseite der Dampferzeuger mit den Primärpumpen und -rohrleitungen etc., vorgesehen werden *). Die Materialien der Pumpen- und Armaturendichtungen sollten entweder durch Sperrwasser geschützt werden können, oder gegenüber den entsprechenden chemischen Lösungen resistent sein. Auch Chemikalienaufgaben und -ablässe sowie Spülmöglichkeiten sind erforderlich.

Das Verfahren zum Öffnen und Schließen der Mannlöcher wurde in allen besuchten Anlagen angesprochen und als noch nicht optimal gelöst empfunden. Die Handhabung der schweren Mannlochdeckel und die Art des Dichtschraubens war in keinem der angesprochenen Fälle auf häufiger vorkommende Reparaturen abgestellt.

Eine Vereinfachung der Abdichtung der Mannlochdeckel wäre evtl. durch schnell zu lösende und wieder festzuziehende Patentverschlüsse möglich, wünschenswert wären fernbedienbare Verschlüsse.

Eine Anregung für eine entsprechende Lösung sei durch Bild 2 gegeben, welches eine Idee für einen Verschluss zeigt. Im übrigen scheinen hier eingehendere Untersuchungen vonnöten, deren Ausführung hiermit empfohlen wird.

*) Siehe Abschnitt 6.1.1

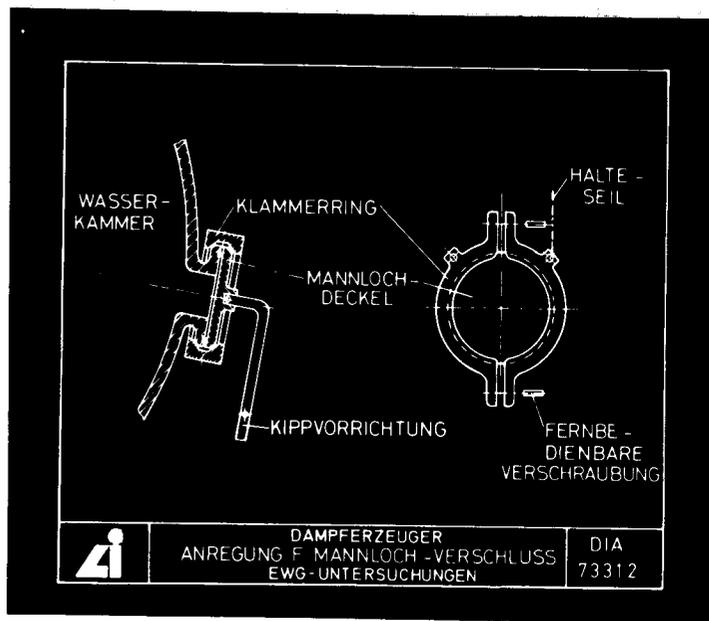


Bild 2

Es sollte eine Vorrichtung zum Anschlagen von Hebezeug (Öse, Transportweg) vorgesehen sein.

Bei der erwiesenen Häufigkeit von Dampferzeugerschäden ist eine Betrachtung der Reparaturkosten insofern interessant, als diese gemäß Abschnitt 1.3 in Relation zu einem höheren konstruktiven und fertigungstechnischen Aufwand zur Vermeidung bzw. Verminderung der Schäden gesehen werden müssen.

Bei einer 1969 durch den Betreiber übernommenen Anlage verursachte die Strahlungsbelastung bei Dampferzeugerschäden - zusätzlich zu Produktionsausfall, Untersuchungs- und Reparaturarbeiten - in nur etwa einem Jahr folgende Kosten:

Strahlenschutz und Wäscherei	160.000 DM
Eigen-Bau von Vorrichtungen	36.000 DM
Reinigung	63.000 DM
Diverse Dienstleistungen	45.000 DM
Radioaktive Abfallbeseitigung	<u>200.000 DM</u>
	504.000 DM

Auch dieses Beispiel zeigt, daß sich Ausgaben in beträchtlicher Höhe rentieren, um Arbeiten im Strahlungsbereich zu vereinfachen und den damit verbundenen, in dieser Rechnung noch nicht einmal berücksichtigten - sehr viel höhere Kosten verursachenden - Betriebsausfall (siehe 1.3) zu verkürzen.

An die Untersuchung der Vorteile einer Austauschbarkeit ganzer Apparate soll hier nur erinnert werden. An einen solchen Austausch sollte bei der Anlagenplanung auf jeden Fall gedacht werden.

2.5.2 Sonstige Wärmetauscher

Ist das Primärmedium einer Anlage - infolge von Korrosionsprodukten oder Brennelementschäden - hoch radioaktiv, so entstehen stark strahlende Ablagerungen auch in den Wärmetauschern der Hilfs- und Nebenanlagen, z.B. in den Nachkühlern des Reaktors und des Lagerbeckens, den Wärmetauschern der Reinigungsanlage und allen Wärmetauschern des konventionellen Bereiches, in welchen Primärmedium fließt.

In einer Anlage betrug die Strahlung an den Außenwänden der Leerlaufkühler (Brennstofflagerbecken und Reaktorkühlsystem) etwa 3 R/h. Um hieran Arbeiten durchführen zu können, wurden behelfsmäßige Abschirmwände aus 3 cm starkem Blei aufgestellt, die die Strahlung auf etwa 900 mR/h reduzierten. Das Reinigen der Kühler erwies sich wegen der hohen Strahlung und der beengten Einbauverhältnisse in dieser Anlage als sehr schwierig.

Für das Ausziehen der Berohrung einschließlich Abschirmung bzw. für das Auswechseln der ganzen Wärmetauscher müssen bei der Planung genügend Platz ggfs. Vorrichtungen (für das Anschlagen von Hebezeugen)

vorgesehen werden. Falls der Austausch ganzer Apparate nicht in Betracht gezogen werden kann, müssen von vornherein Abschirmungs-, Reinigungs-, Inspektions- und Abdichtreparatur-Maßnahmen festgelegt werden.

Es empfiehlt sich, jeweils drei Wärmetauscher von je 50 % Leistung einzusetzen. Bei vorgegebenen Abschlebungsmöglichkeiten kann so jeweils während des Betriebes an einem Wärmetauscher gearbeitet werden.

Im Primärkreislauf sind alle Materialien, welche Kupfer enthalten, unbedingt zu vermeiden. Bei SWR-Anlagen gilt dies sinngemäß für sämtliche mit Primärwasser beaufschlagten Systeme. Monelmetall im Vorwärmer, Kondensator etc. hat sich bewährt.

2.6 Pumpen

2.6.1 Hauptkühlmittelpumpen

Auch die Primärkreispumpen, einschließlich der Zwangumlaufpumpen in SWR-Anlagen, haben sich zum Teil reparaturanfällig gezeigt. Schadensursachen waren zum Beispiel Fehler an den Dichtungen, an der Wärmesperre und an den Flanschverbindungen. Auch erhöhte Leckagen oder Schwingungen der Welle zwangen zu Abschaltungen und Eingriffen.

Die Inspektionsintervalle für die Dichtungen, welche von den Herstellern empfohlen wurden, waren bisher nicht genau festlegbar; so bewegen sich zum Beispiel die vorausgeschätzten Standzeiten zwischen 15000 und 40000 Stunden.

Hierzu kommt, daß die Pumpenräume während des Betriebes - wegen der vorherrschenden Neutronenstrahlung -

zumeist nicht betretbar sind. So mußten zum Beispiel in einer Anlage weitreichende Abschirmmaßnahmen durchgeführt werden, um an einer Zwangumlaufpumpe arbeiten zu können. In dem Pumpenraum waren zusätzlich zu den diversen Rohrleitungen noch 15 große Absperrarmaturen untergebracht. Die Strahlung in diesem Raum betrug nach dem Abschalten der Anlage zwischen 7 und 70 R/h je nach dem Meßort.

Damit die Behebung einer vorliegenden Flanschleckage durchgeführt werden konnte, waren umfangreiche Vorarbeiten notwendig:

- a. Vermessungen der Dosisleistungen abhängig vom Ort.
- b. genaues Aufmaß des Raumes mit Einbauten, um eine Abschirmung der strahlenden Leitungen und Armaturen vorbereiten zu können.
- c. Arbeitsvorbereitung und Reparaturplanung anhand von Fotografien und Aufmaßen des Raumes.
- d. Anbringung von Hebezeugen und Erstellung einer provisorischen Einrichtung zur Dekontamination (wie Wanne, absaugbares Zelt)
- e. Bau von Hilfsabschirmungen
- f. Abbau und -transport der Isolierungen
- g. Reparatur
- h. Wiederherstellung des Betriebszustandes.

Änderungen der Leitungsführung während der Bauphase, welche teilweise nicht in die Zeichnungen übertragen worden waren, verursachten die Arbeiten zu b.). Vor allem

fehlten Zeichnungen über den Verlauf von Hilfsleitungen und Kabeltrassen sowie über die Lage der Bühnen. Allein dieser Fall gäbe genügend Anlaß zu der strikten Empfehlung, daß während des Baues - insbesondere auch während der Montage - einer Anlage keine Änderungen ohne eine sofortige Eintragung in alle entsprechenden Zeichnungen erfolgen dürfen. In den Zeichnungen sind weiterhin genaue Angaben über die statische Belastbarkeit der Flure und Hilfsbühnen erforderlich. Die Belastbarkeit der Bühnen muß so ausgelegt werden, daß sie auch für später anzubringende Hilfsabschirmungen ausreicht.

Die Hilfsabschirmungen wurden zum Teil mit vorgefertigten Spezial-Behältern (Formkästen) aufgebaut, welche vor Ort (zum Teil pneumatisch) mit Bleischrot gefüllt wurden. Hierzu mußten die genauen Aufmaße des Raumes vorliegen.

Die Kosten für diese Hilfsabschirmung beliefen sich - ohne Materialkosten - auf ca. 40000 DM. Die Gesamt-Dosis für die Reparatur betrug 70 rem. Das Personal, welches für die Abschirmarbeiten eingesetzt wurde, empfing zusammen eine Dosis von 5,7 rem; allein die Isolierarbeiten waren mit 2,4 rem verbunden.

Um derartige Strahlenbelastungen in zukünftigen Anlagen zu vermeiden bzw. zu reduzieren, werden folgende Empfehlungen ausgesprochen.

In einem Pumpenraum, in welchem Primärkreisumpen bzw. Umwälzpumpen stehen, dürfen keine weiteren, u. U. stark strahlende Komponenten, wie z.B. Schieber o.a. unabgeschirmt untergebracht sein.



Bild 3

Bild 3 zeigt stellvertretend für ein Beispiel in einem Pumpenraum die Anbringung eines Schiebers der Primärreinigungsanlage im Dampferzeugerraum mit 0,5 R/h Umgebungsstrahlung, in direkter Nähe zu einem Teil der Primärleitung mit einer Strahlung von 1 R/h. Am Schieber selbst betrug die Strahlung ebenfalls 1 R/h.

Die Pumpen müssen von Ihren aktives Medium führenden Leitungen abgeschirmt oder leicht abschirmbar sein.

Es müssen Hebezeuge vorgesehen sein, die auch im Falle einer größeren Reparatur hinsichtlich Leistung, Verfügbarkeit und Zugänglichkeit ausreichen. (Vorsicht bei der Einplanung des Gebäudekranes für solche Arbeiten im Hinblick auf andere Benutzungsmöglichkeiten!)

Alle Hilfsaggregate, welche nicht unbedingt in der Nähe der Hauptaggregate stehen müssen (z.B. Motorlüftung, Hilfsölversorgung), sollten außerhalb des Raumes und der Zonen hoher Strahlung installiert werden. Hinweis auf Feuergefahr bei Leckagen an Armatu-

die Dekontaminationsarbeiten (siehe Abschnitt 6) mit 1,3 rem belastet. Das Dekont-Ergebnis war sehr schlecht. Für die Dichtschweißung arbeitete 1 Person 0,5 Stunden und wurde dabei mit einer Dosis von 500 mrem belastet.

Eine weitere Reparatur betraf die Hydrodynamische Dichtung einer Hauptkühlmittelpumpe. Die Reparatur wurde von eingearbeitetem Personal in 4 Tagen durchgeführt. Es arbeiteten 19 Personen im 3-Schichtbetrieb. Die durchschnittlich pro Person aufgenommene Strahlendosis betrug ca. 300 mrem.

Empfehlungen:

Um die Dichtungen von Hauptkühlmittelpumpen leichter inspizieren bzw. reparieren zu können, sollte der Motor mit der Pumpe durch einen Flansch so verbunden sein, so daß der Motorständer während der Arbeiten stehen bleiben kann. Hierdurch wird auch das Einrichten des Aggregates beim Zusammenbau erleichtert.

Die Dichtungen sollten in ihrem Aufbau reparaturfreundlich, also schnell und leicht de- und remontierbar sein.

Dichtungen, welche mit Sperrwasser beaufschlagt werden, benötigen einen gleichmäßigen Sperrwasserdruck und äußerst sauberes Wasser. Deshalb sind ggfs. in der Sperrwasserversorgung Feinsiebe und Druckausgleichsbehälter vorzusehen.

Die Versorgung mit Sperrwasser aus der Pumpe selbst, also mit Kreislaufwasser, hatte in einer Anlage die Verschmutzung der Dichtung mit radioaktiven Korrosionsprodukten zur Folge.

Eine der besuchten Anlagen führt jährlich in der Abschaltphase Vorsorgereparaturen an den Gleitringdichtungen der Umwälzpumpen durch; die Graphitringe werden ausgetauscht. Um an den Pumpen arbeiten zu können, wurden die umliegenden Gitterroste mit Blei abgedeckt; Rohrleitungen und Armaturen wurden mit Bleiwolle, Bleiziegeln oder Setzsteinen umbaut.

Bei den Arbeiten hat sich der Einsatz einer Fernsehkamera und einer Gegensprechanlage zur Überwachung der Arbeiten bzw. zur Kommunikation bewährt.

Die Vorsorgereparaturen und Dichtungswartung an 3 Pumpen dieser Anlage verursachten in einem Jahre eine Gesamtdosis von 19,5 rem.

Da die Einbauten (Lager, Dichtung, Laufrad) der großen Pumpen in den meisten Fällen stark radioaktiv waren, mußten sie nach der Demontage dekontaminiert werden (siehe auch Abschnitt 6). Hierfür war jedoch in den meisten Anlagen keine Einrichtung vorgesehen. Deshalb mußten die Teile in provisorisch aufgestellten Wannen chemisch behandelt werden. Die Wannen wurden durch ein speziell an die Lüftungsanlage angeschlossenes Plastikzelt umbaut.

In einer Anlage, in der das Laufrad der Pumpe dekontaminiert werden mußte, wurde das Pumpengehäuse abgenommen. An seiner Stelle wurde eine Wanne um das Laufrad herum angeflanscht, an welcher Anschlüsse für die Spülleitungen angebracht waren. Die Verfahrensweise ist wiederum in Abschnitt 6 (Dekontamination) beschrieben.

Durch eine zweckmäßige (provisorische) Abschirmung des Arbeitsplatzes lassen sich u.U. Dekont-Arbeiten ersparen, bei denen die Strahlendosis eventuell höher ist, als bei den Reparaturarbeiten ohne Dekontamination.

In den meisten Fällen läßt sich durch eine genaue Ausmessung der Strahlung am Arbeitsplatz eine Optimierung der Vorgehensweise durchführen.

2.6.2 Kolbenpumpen

In einigen der in die Untersuchung einbegriffenen Anlagen sind Kolbenpumpen zur Förderung des Dichtungs-Sperrwassers der Hauptkühlmittelpumpen, zur Förderung des Wassers durch die Primär-Reinigungsanlage, für die Chemikalien-Zudosierung usw. vorhanden.

Die Standzeiten dieser Kolbenpumpen lagen zwischen 400 und 1500 Stunden. Eine Strahlenbelastung des Wartungspersonals entstand durch das Auswechseln der Stopfbuchsen bzw. Plunger. An der Pumpenoberfläche betrug die Strahlung durchschnittlich 100 mR/h. Das Wechseln der Stopfbuchsen mit Plunger nahm ungefähr 2 bis 3 Stunden in Anspruch.

Durch eine Verbesserung der Plunger-Oberfläche (Wolfram-Karbid-Aufschmelzung) konnte der Verschleiß am Kolben in einer Anlage erheblich herabgesetzt werden. Mit diesen Kolben konnte die Standzeit der Plunger um das 10-fache, auf etwa 4000 Stunden verlängert werden.

Teflon-Graphit-Packungen zeigten Standzeiten von ca. 1000 Stunden; mit Teflon-Asbest wurden 1200 h erreicht. Versuche mit verschiedenen Packungsmaterialien sind noch im Gange.

In einer Anlage wurden gute Erfahrungen mit dem Entgasen der Kurbelgehäuse von Primär-Reinigungspumpen vor einer Reparatur gesammelt. Durch Spülen mit Stickstoff konnte die Aktivität an der Pumpenoberfläche von ca. 200 mR/h auf ungefähr 100 mR/h gesenkt werden.

Die Standzeiten der Kolbenpumpen sollten, wenn diese aktives Medium fördern, erhöht werden. Ansonsten sollte man Kreiselpumpen verwenden.

2.6.3 Pumpen der Hilfs- und Nebenanlagen

Die Auswahl der Komponenten muß für den Einsatz in Strahlenbereichen von Kernkraftwerken unter anderen Gesichtspunkten vorgenommen werden, als es bisher für Aggregate, wie z.B. Kreiselpumpen, im konventionellen Anlagenbau üblich war.

Eine Maschine soll in Kernkraftanlagen während einer bestimmten Betriebsphase bei einem Minimum an Wartung zuverlässig arbeiten. Während dieser Zeit sollte z.B. noch nicht einmal das Nachziehen einer Schraube notwendig sein.

Die in den Kernkraftwerken eingesetzten Pumpen wurden zum Teil für die Anforderungen in konventionellen Anlagen konstruiert und gefertigt. Hierbei wurde auf die schnelle Demontage- und Montagemöglichkeit bisher offenbar nicht immer genügend Wert gelegt; ebenso auf die Abdichtung und Qualitätskontrolle.

Die Pumpen müssen so aufgestellt werden, daß ein Monteur zu ihnen gelangen kann, ohne daß er sich durch Zonen hoher Strahlungsintensität bewegen muß.

Aktive Zu- und Ableitungen sollten möglichst nur auf einer Seite der Pumpen verlaufen und zudem abschirmbar sein.

Durch eine zweckmäßige Konstruktion der Pumpen sollten Lager und Dichtungen, aber auch Antriebsmotore und Pumpen selbst schnell und leicht austauschbar sein. Hierzu tragen auch Schnellverschlüsse an Flanschen oder an Pumpen selbst bei.

In einer Anlage hat man die Erfahrung gemacht, daß Kugellager nach einer exakten Qualitätskontrolle Laufzeiten von vielen Jahren haben (über 20000 h), während die normalerweise gelieferten Lager Laufzeiten von nur 6000 h aufweisen.

| Kugellager für den Einsatz in Strahlenbereichen sollten eine besonders intensive Qualitätskontrolle durchlaufen.

| Auch das Auswuchten der Maschinen sollte stärker als bisher kontrolliert werden.

Schlecht ausgewuchtete Pumpen zeigten nach kurzer Zeit Dichtungsleckagen, verloren Öl und liefen trocken.

In mehreren Anlagen wurden Pumpen des Sumpf-, Entwässerungs-, Reinigungs- und Volumenregelungssystems sowie in der Aufbereitungsanlage nachträglich von Stopfbuchsauf Gleitringdichtungen umgerüstet, welche sperrwasserbeaufschlagt sind und daher kaum Leckage haben.

| Mechanische Dichtungen bringen längere Standzeiten, größere Wartungsfreiheit und geringere Leckagen als Stopfbuchsdichtungen.

2.7 Armaturen und Rohrleitungen

In einem großen Kernkraftwerk heutiger Bauart werden etwa 2000 Schieber und Ventile sowie größenordnungsmäßig 500 km Rohrleitungen für die verschiedensten Zwecke benötigt.

Armaturen, welche im Primärkreis mit aktivem Medium beaufschlagt werden, haben besondere Anforderungen an Dichtheit gegenüber der Atmosphäre, Standfestigkeit und schneller Wartungs- bzw. Reparierbarkeit zu erfüllen.

Im Hinblick hierauf werden die folgenden grundsätzlichen Empfehlungen ausgesprochen:

Die Zahl der in einer Anlage eingebauten Armaturen ist auf das Notwendigste zu beschränken.

Die Zahl der verwendeten Typen sollte auf ein Mindestmaß beschränkt werden (ca. 25 bei DWR, ca. 50 bei SWR).

Unterhalb des statischen Wasserspiegels des Reaktors sollten so wenig Armaturen wie möglich eingebaut werden.

Eingehende Qualitätskontrollen, Abnahme- und Einbauprüfungen.

2.7.1 Spindel- und Gehäuse-Abdichtungen

Die Spindelabdichtung wird üblicherweise entweder durch Stopfbuchsen oder durch einen Faltenbalg erreicht.

Die Faltenbalg-Abdichtung hat sich als wirkungsvoll und zuverlässig erwiesen, ist aber z.Zt. nur bis zu bestimmten Druck- und Durchmesser-Grenzen einsetzbar. Im Hochdruckbereich und bei großen Durchmessern können deshalb nur Stopfbuchs-Abdichtungen angewendet werden.

Die Weiterentwicklung von Faltenbalgabdichtungen für höhere Drücke und größere Durchmesser ist zu empfehlen.

Um eine möglichst gute Abdichtung zu erreichen, und um Leckagen sicherer feststellen und kontrollieren zu können, sollten im aktiven Bereich möglichst Stopfbuchsen mit Zwischenabsaugung verwendet werden.

Besondere Probleme bereiten in allen Anlagen Spindelkorrosionen, die offenbar schon sehr kurz nach dem Verpacken der Stopfbuchsen infolge chemischer Reaktion zwischen dem im Packungsmaterial enthaltenen Chlor und Fett einerseits sowie der Spindeloberfläche andererseits eintreten.

Durch Messungen des Ohmschen Widerstandes zwischen dem Packungsgehäuse und der Spindel kann der Fettgehalt von Packungen bestimmt werden. Der Ohmsche Widerstand sollte so groß wie möglich sein.

Hochwertige (Teflon-)Asbest-Packungen sollten einen Chlorgehalt von weniger als 0,8 % aufweisen, verbunden mit einem PTFE-Anteil (TEFLON) in der Größenordnung von 22 bis 25 %; ist der im Packungsmaterial enthaltene PTFE-Anteil höher, so sollte der Chlorgehalt noch niedriger liegen. *)

Bewährte Packungsmaterial-Paarungen sind außer Teflon-Asbest auch Teflon-Glaswolle und Graphit-Asbest.

Vor der Verwendung der Packungen sollte mit o.e. Widerstand-Meßverfahren jeweils die Qualität überprüft werden.

Für die Standfestigkeit und Wartungsnotwendigkeiten der Dichtungen ist aber nicht nur die Qualität des Packungsmaterials maßgebend, sondern auch die

besondere Sorgfalt beim Packen und Nachziehen nach einer bestimmten Betriebszeit.

Konstruktiv sollte auf Maßnahmen Wert gelegt werden, welche das Packungsgehäuse möglichst kühl halten, und welche Spindelschwingungen vermeiden oder von der Packung fernhalten. Ventilspindeln sollten eine genaue Führung besitzen.

*) VGB-Bericht : Reaktorarmaturen, 1973.

Ventile, welche im aktiven Anlagenbereich eingebaut werden, sollten zur Entlastung der Spindelabdichtung im geöffneten Zustand mit einem Rücksitz ausgerüstet sein; in diesen Sitz sollte der Ventilkegel beim Öffnen des Ventils auch hineingedreht werden.

In einigen Anlagen sind Schwierigkeiten beim Nachziehen der Stopfbuchsen von außen dadurch entstanden, daß sich das Packungsmaterial am Ring der Absaugkammer verklemmte, so daß die Nachziehkraft nicht auf den inneren Teil der Packung weitergeleitet wurde.

Die Konstruktion der Stopfbuchsen mit Absaugung muß derart sein, daß auch die innere Packung nachgezogen werden kann.

Stopfbuchsen mit einer doppelten Nachzieheinrichtung haben sich in einer Anlage sehr gut bewährt.

Um die Demontage von Stopfbuchsen großer oder mit starker Aktivität beaufschlagter Armaturen zu erleichtern, haben sich Ausdrückvorrichtungen bewährt, durch welche die Packungen mit Wasser- oder Luftdruck herausgepreßt werden.

Die Leckagemengen aus den Zwischenabsaugungen sollten einzeln in Schaugläsern außerhalb des Strahlenbereiches überwacht werden können. In jedem Schauglas sollten nicht mehr als 5 Leckageleitungen zusammengefaßt werden.

In einigen wichtigen Fällen ist die Fernüberwachung auf Leckagen durch Thermolemente in den Absaugleitungen nützlich.

Die Abdichtung der Armaturengehäuse nach der Uhde-Brettschneider-Methode hat sich nicht bewährt; nach längerer Betriebszeit können diese Verschlüsse so fest werden,

daß sie nur unter Gewaltanwendung zu öffnen sind.

Es sollte eine Gehäuseabdichtung entwickelt werden, welche schnell zu lösen bzw. zu montieren ist, und welche den hohen Anforderungen an die Dichtigkeit entspricht.

2.7.2 Armaturen-Anbringung und -Einbau

In einigen Anlagen wurden bis zu 500 Armaturen in einem einzigen Raum untergebracht, ohne daß Zwischen-Abschirmungen eingebaut wurden oder werden konnten. Besonders naheliegend war es, Armaturen der Entwässerungen räumlich zusammenzufassen, um die Wege des Bedienungspersonals beim An- und Abfahren der Anlage zu verkürzen. Bei der Planung solcher Räume wurde die Möglichkeit höherer Strahlung zu wenig berücksichtigt.

Bild 5 zeigt die gedrängte Anordnung von Armaturen in einem Raum der Reinigungsanlage.



Bild 5

In einigen Anlagen wird zur Zeit sogar ein nachträglicher Umbau ins Auge gefaßt, obwohl ein solcher sehr hohe Kosten verursacht.

Es wird empfohlen :

Armaturen des Primärkreises sollten jeweils nur an einer Raumwand angebracht werden und untereinander abgeschirmt oder provisorisch abschirmbar sein, um beim Arbeiten eine Bestrahlung des Personals durch Armaturen und Rohrleitungen pp. an den anderen Wänden auszuschalten.

Dieses gilt auch für motorisch angetriebene oder mechanisch fernbedienbare Armaturen, zu deren Wartung und Inspektion die Räume betreten werden müssen.

Antriebe sollten leicht demontierbar bzw. montierbar sein, desgleichen Positionsgeber, Endschalter und Drehmomentschalter. Eine Standardisierung dieser Teile ist anzustrengen; eine zu einfache und/oder zu schwache Ausführung dieser Teile sollte vermieden werden.

Armaturen und Antriebe müssen einzeln zugänglich sein, so daß an ihnen Arbeiten vorgenommen werden können.

Armaturen, welche nicht durch eine Doppelabspernung gesichert sind, sollten so eingebaut werden, daß die Anbringung eines Gefriermantels möglich ist.

Es sollte bei jeder einzelnen Armatur überlegt werden, ob und wie weit (auch die Stopfbuchse) isoliert werden muß. Die Isolierung muß schnell und einfach montierbar bzw. abnehmbar sein. Hierzu sollte man z. B. Formstücke mit Schnellbefestigungen verwenden.

Mit dem Einfrieren von Rohrleitungen wurden in einigen Anlagen gut Erfahrungen gesammelt. Als Gefriermittel wurden flüssiger Stickstoff oder ein Kohlensäure-Alkoholgemisch verwendet.

Die Gefrier-Temperatur der Kohlensäure liegt nicht so tief wie die Verflüssigungstemperatur des Stickstoffes, so daß ein Einfrieren mit CO_2 "sanfter" vor sich geht.

Erfahrungen mit der Anwendung von Trocken- CO_2 in einem Isopropyl-Alkohol-Bad reichen z.Z. bis zu Rohrdurchmessern von 150 mm gegen einen statischen Wasserdruck von 20 m. Versuche mit dem Einfrieren von Leitungsquerschnitten bis zu 250 mm \emptyset sind im Gange. Mit flüssigem Stickstoff sind Leitungen bis zu Nennweiten von 200 mm \emptyset eingefroren worden.

Die Weiterentwicklung der Einfrierverfahren, insbesondere auch zur Anwendung bei größeren Rohrdurchmessern, ist empfehlenswert.

2.7.3 Rohrleitungen

Das Verlegen aller Rohrleitungen, welche aktives Medium transportieren, sollte möglichst unter Einhaltung eines stetigen Gefälles geschehen.

Um diese Empfehlung zu verwirklichen, wird bei Planung und Montage nicht unerhebliche Mehrarbeit - gegenüber bislang - unvermeidbar sein. Der Zweck der Verlegung in ständigem Gefälle besteht darin, die Zahl der Entwässerungen und derjenigen Leitungsabschnitte zu vermindern, in welchen sich Korrosionsprodukte ansammeln können. Entwässerungen gehören zu denjenigen Leitungen, welche nicht stetig durchflossen und damit gespült werden. Hier sammeln sich bevorzugt u.U. stark strahlende Partikel an und bilden unangenehme Punktstrahlungsquellen.

Besonders leicht erfolgt dies in den Entleerungsleitungen von Behältern (auch Wärmetauschern pp.). In einer Anlage wurde an der Restentleerung eines Dampferzeugers eine Punktstrahlungsquelle mit der Leistung von 750 R/h gemessen.

Rest-Entleerungsleitungen von Behältern sollten daher nach Möglichkeit mit der Betriebsentleerung zusammengefaßt werden. Behälter sollten evtl. einen trichterförmigen Auslauf besitzen, um eine Ansammlung von Partikeln auf dem Behälterboden zu vermeiden. Der Korrosionsprodukt-Abfall in den Systemen, welche ständig durchströmt werden, wird hierdurch nicht merkbar größer.

Zusammenfassend seien zu dem Thema Rohrleitungen noch folgende Empfehlungen ausgesprochen:

Bei der Festlegung der Rohrleitungsführung und der Anbringung von Armaturen und ähnlichen anderen Komponenten muß hinreichend Platz vorgesehen werden, um einen Aus- und Einbau vornehmen, und um die Ersatzteile transportieren sowie um an den Komponenten arbeiten zu können.

Die Leitungsführung - zumindest für alle Primärmedium enthaltenden Rohrleitungen - sollte vor der Montage genauestens, evtl. sogar anhand eines Modells, festgelegt werden, um eine Optimierung von Anschlüssen, Rohrlängen, Abzweigungen und Abschirmungen zu ermöglichen. Die Zugänglichkeit muß gewährleistet sein. Der Modellbau kann evtl. sogar große Kosteneinsparungen während des Betriebes erbringen.

Rohrleitungen sollten - den verschiedenen Medien entsprechend - farbig gekennzeichnet sein; Pfeile auf der Isolierung sollten die Flußrichtung anzeigen.

Leitungen, welche aktives Medium führen, dürfen nicht unabgeschirmt durch begehbare Räume, Gänge und Korridore verlaufen.

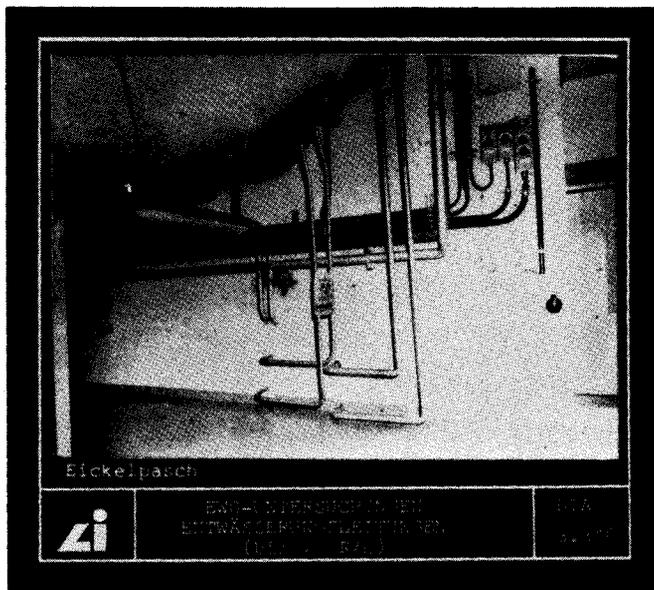


Bild 6

Bild 6 zeigt frei in einem Raum verlegte Entwässerungsleitungen, deren Strahlung mit 20 R/h gemessen wurde. Neben den Leitungen befinden sich Ortssteuerstellen und eine Steckdose.

In keinem Raum sollten mehrere Wände mit primärmediumführenden Rohrleitungen belegt werden, so daß Wartung und Reparaturen ohne Strahlung von anderen Wänden und Stellen des Raumes durchgeführt werden können.

Die von Sümpfen zur Aufbereitung führenden Rohrleitungen sollten größere Durchmesser haben als für den Normalbetrieb erforderlich, damit die während der Inbetriebnahme und anderer abnormaler Fälle anfallenden Spülwässer leicht abgepumpt werden können.

Krümmen in Naßdampfleitungen und Dauerentlüftungen (z.B. von Vorwärmern) müssen gegen Erosion gepanzert sein.

Entwässerungsanschlüsse sollten geschlossen ausgeführt werden; es sollten unter den Leckstellen keine

Trichter sondern Rohrverbindungen verwendet werden. Offene Entwässerungen führen zur Freisetzung von Aerosolen.

Probenahmestellen sollten in einem geschlossenen, absaugbaren Kasten - tunlichst mit Fernbedienungsmöglichkeiten - untergebracht sein.

Zur Förderung von höchstaktiven Medien und Stoffen, wie z.B. verbrauchten Ionentauscher-Harzen, sind flexible Schlauchverbindungen nicht zu empfehlen; unbedingt abzuraten ist von einer Schnellverschlußkupplung solcher Schläuche.

Zu allen (Meß-)Blenden müssen Blendenkarten vorhanden sein. Ein zweites Typenschild sollte jeweils auf die Isolierung montiert werden, damit die Blende auch von außen erkennbar und identifizierbar ist.

Der Säuretransport für die Kondensataufbereitung etc. sollte ohne Pumpen durch natürliche Gefälle oder durch Luftdruck vor sich gehen können.

Die Isolierung von Rohrleitungsabschnitten, welche regelmäßig inspiziert werden müssen (z.B. Schweißnähte), sollte schnell abnehmbar und montierbar sein.

Rohrleitungsverbindungen mit Armaturen und Komponenten können geschweißt oder geflanscht sein. Über das Für und Wider der jeweilig günstigen Verbindung herrschte bisher generell keine einhellige Meinung; es kann festgestellt werden, daß Flanschverbindungen - wenn sie verwendet werden - besser konstruiert werden müssen, als bisher.

Schnell zu lösende bzw. zu schließende Verbindungen sollten weiterentwickelt werden. Gute Erfahrungen haben einige Anlagen mit Gray-loc-Verbindungen gemacht.

2.8 Hilfs- und Nebenanlagen

2.8.1 Primärwasser-Reinigung

Die Primärwasser-Beipass-Reinigungsanlage war in vielen Kernkraftanlagen nicht in der Lage, die sich während des Betriebes in den Kreisläufen bildenden Korrosionsprodukte wirkungsvoll aufzufangen.

- Ursache kann einerseits die relativ zur umgewälzten Hauptkühlmittelmengen zuzugeringe Menge des durch die Primärwasser-Reinigung fließenden Teilstromes sein.

- Zweitens eignen sich Ionenaustauscherapparate nicht gut als mechanische Filter zum Zurückhalten von Korrosionspartikeln.

- Drittens akkumulieren sich die Korrosionspartikel strömungsbedingt bevorzugt im unteren Teil des Reaktor-Druckgefäßes, von wo die Beipass-Reinigungsanlagen ihren Teilstrom absaugt.

Hierzu lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

Die Kapazität der Beipass-Reinigungsanlagen sollte größer ausgelegt werden als bisher üblich und die Reinigungsteilströme evtl. stufenweise - je nach Bedarf - variabel einstellbar sein.

Vor den Ionenaustausch-Apparaten sollten mechanische Filter und möglichst auch Magnetit-Filter eingeschaltet werden.

Diese Reinigungseinrichtungen sowie die Wärmetauscher sollten zumindest doppelt vorhanden sein, um Abschaltungen wegen Filterwechseln oder Reinigungsarbeiten zu vermeiden.

Die Wärmetauscher sollten so eingebaut sein, daß man sie zum Säubern als Ganzes ausbauen und möglichst im Dekont-Raum (siehe Abschnitt 6) bzw. in der heißen Werkstatt (siehe Abschnitt 7.4) bearbeiten kann.

Die Teilstrom-Entnahme für die Beipass-Reinigung aus dem Druckgefäß sollte strömungsgerecht so erfolgen, daß möglichst viele Korrosionspartikel in den Teilstrom gelangen; Strömungstotzonen im Reaktor sollten möglichst abgebaut werden.

2.8.2 Abfall-Aufbereitungsanlage

Das Problem der Abfallaufbereitung und -lagerung ist in den Ländern der Gemeinschaft noch nicht allgemein gelöst. In einigen Ländern sind - zum Teil zentrale - Abfallagerstellen vorhanden, während die Abfälle in anderen Ländern noch in den Anlagen selbst gespeichert und aufbewahrt werden müssen. Hier dürfte eine bessere Regelung am Platze sein.

Eine zentrale Lagerung bzw. Endstapelung der radioaktiven Abfälle jeweils mehrerer Kernkraftanlagen bringt fraglos Kostenvorteile für die Betriebe mit sich. Soweit jedoch eine solche z.Z. noch nicht möglich ist, müssen ausreichende und strahlensichere Lagermöglichkeiten für eine Reihe von Betriebsjahren in den Anlagen selbst vorgesehen werden.

Auf die Lagerung und Stapelung der festen Abfälle soll in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden.

Um die flüssigen Abfallmengen möglichst klein zu halten und ihre Aufbereitung zu vereinfachen, hat sich eine Unterteilung der Abwässer in drei Gruppen in allen Anlagen bewährt : nach der potentiellen Höhe der Radioak-

tivität und nach den Beimischungen in:

- a. Primärwasser;
- b. Sumpf- und Schmutzwasser;
- c. Wasch- und Duschwasser.

Gute Erfahrungen bei der Aufbereitung wurden mit einem Fällungs-Flockungsverfahren (Beispiel: Patent Durcak) in Verbindung mit einer Verdampfungs-Eindickung gemacht.

Die Verdampfer sollten eine Stahlberohrung besitzen und mindestens $5 \text{ m}^3/\text{h}$ leisten können. Sie sollten speziell für die Eindickungsaufgabe konstruiert sein. Das Verdampferkonzentrat kann mit dem Fällungs-Flockungsverfahren zu einem transport- bzw. lagergünstigen Konzentrat hoher spezifischer Aktivität verarbeitet werden. Ein sparsamer Verbrauch schwer fäll- und flockbarer Substanzen erspart Aufwand für die Aufbereitung.

Sammeltanks für Abwässer sollten so bemessen werden, daß sie auch bei Revisionen oder großen Reparaturarbeiten genügend Kapazität besitzen.

Die Füllstandsanzeiger sollten das gesamte Volumen des Behälters erfassen.

Die Ableitung schwachaktiver Abwässer, z.B. in einen Fluß, sollte nicht in C-Stahl ausgeführt werden. Durch die Rostbildung in schwarzen Leitungen und durch die Akkumulierung von Aktivitäten in diesem Rost können sich Schwierigkeiten ergeben. So können zum Beispiel die Meßergebnisse bei einer Abgabe sauberen, salzfreien Wassers - z.B. zu Prüfzwecken - erheblich verfälscht werden. Zu empfehlen sind z.B. gummierte Leitungen oder Kunststoffleitungen.

Stark aktive Konzentrate bzw. fest Abfälle sollten möglichst in europäischer Zusammenarbeit zentral verarbeitet und gelagert werden.

In jeder Anlage sollte eine Verbrennungseinrichtung für aktive Schmierstoffe, Kleidung, Papier (Filter) usw. vorhanden sein.

2.9 Lüftungsanlagen

Die Hauptaufgabe der Lüftungsanlagen, nämlich Räume und Komponenten mit guter Luft zu versorgen und zu kühlen, soll hier nicht diskutiert werden. Es sollte selbstverständlich sein, daß in Räumen, welche begangen werden, Temperaturen über 50 °C vermieden werden.

Grundsätzlich sollte jedoch gesagt werden, daß die Lüftung der Räume und die Isolierung der Komponenten in der Zukunft besser als bisher durchdacht und möglichst optimiert werden sollten.

Im Hinblick darauf, daß an diversen Stellen im Kontrollbereich einer Anlage Aktivität durch eine Undichtigkeit aus dem Kühlmittel-Kreislauf in die Gebäudeatmosphäre austreten kann, muß die Lüftungsanlage so geplant sein, daß Aktivitäten

1. nicht von Räumen mit potentiell hoher Aerosolaktivität in solche mit zu erwartendem niedrigem Pegel transportiert werden können,
2. nicht vom "heißen" in den "kalten" Bereich transportiert werden können,
3. überwacht und nach ihrem Ursprungsort meßtechnisch verfolgt werden können.

In diesem Sinne seien folgende Empfehlungen angeführt:

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Umluftanlagen für Reaktorgebäude, Hilfs- und Nebenanlagengebäude sowie Maschinenhaus völlig voneinander zu trennen.

Der Luftstrom der Umluftanlagen ist so zu führen, daß Räume, in welchen die höchsten Aktivitäten erwartet werden, als letzte von der Umluft erreicht werden.

Jeder Raum, in welchem sich potentielle Leckagequellen (Armaturen mit Stopfbuchsen, Pumpen ...) befinden, sollten eine solche Abluftführung besitzen, bei der man Aerosolmeßgeräte leicht anschließen kann; die Anschlüsse sind vorzusehen. Eine fest installierte Fernmeßeinrichtung in der Hauptwarte wäre ideal.

Zumindest sollte im Sicherheitsbehälter eine Aerosol-Überwachung von Sammelsträngen der Abluft bestimmter Raumgruppen vorgesehen sein.

In dem Abluftstrang des Reaktorgebäudes sollte in Bypass-Schaltung ein 100 % Jodfilter (Aktivkohlefilter) eingebaut sein, der dann einzuschalten ist, wenn z.B. das Druckgefäß geöffnet wird.

Geräte zur Aerosol-Überwachung der Sicherheitsbehälteratmosphäre sollten wegen deren Wartungsnotwendigkeit und Fehlerhäufigkeit außerhalb des Sicherheitsbehälters angebracht werden; in vielen Anlagen ist das Betreten des Behälters während des Betriebes verboten.

Die Befeuchtung der Gebäudeluft sollte evtl. mit geimpftem Deionat vorgenommen werden.

Die an den Kühlern der Umluftanlagen durch Kondensation anfallenden Wassermengen sollten bachtet werden; sie sind ein guter Indikator für Leckagen aus den Kreisläufen.

Einlaßöffnungen für Frischluft der Zuluftanlage sollten so konstruiert sein, daß sie im Winter nicht einfrieren oder sich mit Schnee zusetzen.

3. ELEKTROTECHNIK; MESS- UND REGELTECHNIK (LEITTECHNIK)
=====

3.1 Allgemeines

Elektrotechnische sowie meß- und regeltechnische Einrichtungen und Ausrüstungen, Kabel und Leitungen unterscheiden sich in bezug auf die Thematik insofern grundsätzlich von den entsprechenden maschinentechnischen Komponenten und ihren Einzelheiten, als sie im allgemeinen nicht mit dem Primärkreislauf-Wasser in direkter Berührung stehen und - abgesehen von Meßfühlern und -verbindungen der Innenkern-Instrumentierung - auch keiner Aktivierung ausgesetzt sind.

Da an ihnen auszuführende Reparaturen jedoch häufig im Strahlungsbereich des Reaktors oder aktiver maschinentechnischen Komponenten vorgenommen werden müssen, ist auch hier der Reparatur-, Wartungs- und Inspektionsfreundlichkeit Aufmerksamkeit zu schenken.

In dieser Hinsicht besteht - so könnte man vielleicht sagen - bei den elektro- und leitetechnischen Einrichtungen und Ausrüstungen der größte Nachholbedarf: Die Geräte und Teile werden zumeist den normalen Fertigungsserien entnommen, bei denen allein schon auf ein schnelles Öffnen und Schließen der Gehäuse sowie auf ein schnelles Auswechseln einzelner Bauteile nicht der Wert gelegt wird, der entsprechenden Arbeiten bzw. Handgriffen unter Bestrahlung beigemessen werden muß.

Auch Anbringungsort und Anbringungsweise entsprechen häufig nicht den in dieser Hinsicht zu stellenden Anforderungen. Sind zum Beispiel Schalter, Beleuchtungskörper, Stellglieder, Schütze usw. zu hoch angebracht, so bedingt allein schon die Benutzung einer Leiter einen an sich unnötigen Aufenthalt des Personals im Strahlenbereich. Sinngemäßes gilt für alle anderen Arten einer unzweckmäßigen Anbringung.

Generell ist zu empfehlen:

Anbringung - soweit möglich - in Räumen, an Orten und Stellen leichter und bequemer Zugänglichkeit außerhalb des (potentiellen) Strahlungsbereiches anderer, insbesondere maschinentechnischer Komponenten einschließlich des Reaktors selbst.

Leichte Austauschbarkeit ganzer Geräte, Apparate etc., ggf. einzelner Bauteile innerhalb solcher, z.B. Einschübe, gedruckte Schaltungen, Röhren, Spulen, Endschalter usw.

Anwendung nur leicht zu öffnender und zu schließender Geräte- bzw. Gehäuse-(Schnellverschlüsse). Es sei noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, daß das Auswechseln eines auch noch so primitiven Instrumentes oder Schalters im Primärkreisbereich eine unangenehme Strahlenbelastung des Personals zur Folge haben kann.

Bei Transformatoren und Spulen etc. sollte allgemein eine höhere Isolationsklasse bevorzugt werden als an sich nötig. Selbstverständlich sind alle Isolationen für die effektiv zu erwartenden Ortstemperaturen auszulegen (bei einer Anlage ergaben sich zum Beispiel infolge einer zu niedrigen Isolationsklasse erhebliche Probleme).

Anschlüsse mit zuverlässigen Steckverbindungen verringern die Arbeitszeit bei Reparatur- und Wartungsarbeiten.

VDE- oder andere entsprechende Vorschriften sollten in jeder Anlage einheitlich (in allen Anlagenbereichen) eingehalten werden; von Bereich zu Bereich unterschiedliche Vorschriften sind dem Betrieb abträglich. Gegebenenfalls sollte man Konzepte wie z.B.

das von Erdung/Nullung schon in der Ausschreibung einheitlich für das gesamte Kraftwerk festlegen.

Es ist auf Vollständigkeit aller Unterlagen zu achten. So müssen zum Beispiel auch Innenschaltbilder für die Verstärker etc. vollständig und stets griffbereit in einer Anlage vorgehalten werden.

Jede Schaltungsänderung muß genauestens in die Pläne eingetragen werden.

Antriebs- und Regeleinrichtungen für Pumpen und andere Maschinen sollten durch eine abschirmende Wand von der Pumpe etc. getrennt angebracht werden.

Teile, welche nicht unbedingt in der Nähe der Maschinen pp. angebracht werden müssen, sollten außerhalb der mit Strahlung beaufschlagten Räume angeordnet werden. In diesem Sinne sollten z.B. Ölbehälter möglichst außerhalb der evtl. nicht begehbaren Räume, zumindest außerhalb der jeweiligen Abschirmung, aufgestellt werden, nicht zuletzt auch wegen der großen Brandgefahr.

Schutzhüllen aus Blech sollten die Ölleitungen gegebenenfalls vor Verletzungen schützen.

Die Einhaltung dieser Empfehlungen sollte im Laufe von Planung und Montage in allen Einzelfällen systematisch und wiederholt geprüft und kontrolliert werden.

Sorgfältige Qualitätskontrollen sind auch für elektrische Vorrichtungen und Geräte aller Art erforderlich.

3.2 Kabel und Leitungen

Elektrische Kabel und Leitungen sowie deren Verlegung bzw. Führung geben gleichfalls auch allgemeine Probleme auf. So hat man z.B. in einer Anlage versucht, die Leitungsführung sehr kompakt, d.h. konzentriert, auszuführen; hierdurch ergaben sich große Schwierigkeiten bei der Abschirmung der Meßkabel gegen die Induktionsströme von den Leistungskabeln sowie bei der Feuerversicherung.

Die aufgrund der Erfahrungen in den Anlagen auszusprechenden Empfehlungen sind folgende:

Die Verlegung der Hauptkabeltrassen sollte innerhalb der Anlage mit Rücksicht auf Redundanzen sowie im Hinblick darauf vorgenommen werden, daß sich bei Kreuzungen mit Rohrleitungen, Transportwegen usw. keine Schwierigkeiten ergeben.

Die Kabel sollten durch Reaktor- und Maschinenhaus in festen Kanälen geführt werden.

Die Heranführung der Kabel an die einzelnen Gebäude und Gebäude- bzw. Anlagenteile sollte möglichst in getrennten Kanälen von außen her erfolgen, z.B. vom Schaltanlagegebäude her, und zwar bereits in Redundanzen aufgeteilt.

Innerhalb der Anlagengebäude sollten eigens hierfür errichtete Steigschächte zu den einzelnen Geschoßen - mit Abzweigungen zu den verschiedenen Anlagenräumen - vorgesehen sein.

In Lüftungskanälen sollten keine Kabel und Leitungen verlegt werden (schlechte Zugänglichkeit und zu viel Bewegung, Reibung, Verschleiß).

Eine ins Detail gehende Trassierung und Verteilung sowie möglichst eine eindeutige Trennung ist für alle diejenigen Räume notwendig, in denen sich grössere Komponenten oder zum Beispiel Rohrleitungs-Konzentrationen befinden.

Auch sollte eine Trennung zwischen starkstromführenden und meßtechnischen Leitungen vorgenommen werden, um Induktionsbeeinflussungen dieser vorzubeugen.

Für eine größere Kabelanzahl haben sich ummauerte Stahlgerüste mit Zutrittsmöglichkeiten durch Türen sowie vertikale Steigleitern bewährt.

Bei einer relativ kleinen Kabelanzahl in einer Trasse reichen evtl. abgedeckte (im Hinblick auf eine Dekontamination durch Wasserstrahlen) Vertiefungsrinnen in den Wänden aus.

Kabel, welche in Zonen höherer Temperaturen verlegt werden, müssen versprödungssicher, d.h. mit großer Sicherheit gegen Übertemperatur ausgelegt oder gekühlt bzw. geschützt sein.

Das Kabelmaterial sollte so ausgewählt werden, daß es auch unter ungünstigen Bedingungen temperaturbeständig ist.

Obwohl diese Empfehlungen zum Teil trivial erscheinen mögen, scheint dennoch - aufgrund der vorliegenden Erfahrungen - eine strikte Beachtung und Einhaltungskontrolle vonnöten.

3.3 Starkstromtechnik

Starkstromtechnische Einrichtungen, Vorrichtungen, Geräte usw. sind - soweit im nuklearen Anlagenbereich er-

forderlich - ausgesprochene Hilfsmittel, die als solche besonders zuverlässig sein sollten. Ohne auf die eigentliche Technik einzugehen, seien - aufgrund der in den Anlagen vorliegenden Erfahrungen - folgende Empfehlungen ausgesprochen:

Alle Hilfsaggregate, wie Antriebe, Lüftungen, Ölversorgungspumpen; Schalter..., sollten - wenn möglich - aus strahlenbelasteten Räumen oder Zonen verbannt und an leicht begehbare Orte gelegt werden.

Stellmotore haben sich im allgemeinen als zuverlässig erwiesen. Durchgehende Standzeiten von 3 Jahren (ohne Ausfall) sind keine Seltenheit.

Schwierigkeiten bereiten jedoch häufig die Drehmomentabschaltung und die Endschalter. Ihr Einstellen vor Ort ist wegen der Strahlung und wegen örtlicher Gegebenheiten oft schwierig. Der Ausbau ist kompliziert und aufwendig, weil z.B. zu viele Schrauben gelöst werden müssen. Diese Ausrüstungen sollten zweckentsprechender konstruiert und möglichst wartungsfrei gemacht werden.

Erdschlußsucheinrichtungen sollten mit anwählbaren Abgängen vorgesehen werden.

Alle großen Motoren sollten mit Einschalt- und Betriebsstundenzählern versehen werden.

Die in Kernkraftwerken eingebauten Relais stammen im allgemeinen aus Serienproduktionen. Eine dem Anwendungszweck entsprechende Qualitätskontrolle ist bisher nicht üblich gewesen, jedoch mit Nachdruck zu empfehlen.

In Funktionsgruppenschaltungen verwandte Schaltele-

mente müssen in höchstem Maß unempfindlich gegen Hystereseerscheinungen sein.

Das Auswechseln von Beleuchtungskörpern ist eine Arbeit, welche u.U. große Strahlungsexposition mit sich bringt. Birnen in Schiffsarmaturen auszuwechseln, kostet viel Arbeitszeit. Schnellverschlüsse oder Steckverbindungen zum kompletten Austausch der Lampen wären hier zu empfehlen.

Die Beleuchtungseinrichtungen sollten im übrigen möglichst wartungsfrei sein. Fest angebrachte normale Schiffarmaturen sind wegen ihrer hohen Ausfallrate und wegen schlechter Auswechselbarkeit der Birnen nicht unbedingt zu empfehlen.

Es sollten 220/380 V-Steckdosen (25/60 A) in so großer Anzahl vorgesehen werden, daß die normalen Verlängerungskabel z.B. für Werkzeuge und für zusätzliche Beleuchtung nur maximal 25 m lang zu sein brauchen.

3.4 Meß- und Regeltechnik (Leittechnik)

Ein modernes Kraftwerk muß vom funktionellen Standpunkt aus gesehen als eine leittechnische Einheit angesprochen werden. Da die Leittechnik die Gesamtfunktion eines Kraftwerkes integrierend zusammenfaßt, sei zusätzlich zu den Ausführungen unter 3.1 - teilweise vielleicht sogar unter Wiederholung von dort und an anderen Stellen bereits Gesagtem - nochmals darauf hingewiesen, daß jede Abschaltung des Reaktors eine zusätzliche Strahlenbelastung des Personals infolge von Stellarbeiten, Kontrollgängen usw. zur Folge hat. So mußte zum Beispiel eine Anlage mehrmals wegen Fehlern in der Meß- und Regelanlage abgeschaltet werden. Ursachen für solches Fehlverhalten waren z.B. gebrochene Relais-Federn, klebende Relais oder verschmutzte Kontakte.

Allgemeine Empfehlungen:

In Räumen mit hoher Strahlung sollten sich keine nicht unbedingt dort erforderlichen Meßkreise und Regeleinrichtungen pp. befinden, welche gewartet werden müssen.

Eine besondere Qualitätskontrolle ist für solche Bauelemente (z.B. Relais...) erforderlich, welche in Regel- und Sicherheitssystemen von Kernkraftwerken zum Einsatz kommen. Diese Kontrollen sollten zusätzlich zu den bisher üblichen durch die Hersteller durchgeführt werden.

Regelkreise sollten redundant ausgelegt sein oder eine von Hand einschaltbare Umgehung besitzen.

Die wichtigsten Warntableaus und Betätigungsknöpfe sollten so groß sein, daß sie besonders leicht zu erkennen sind.

Die Meßgeräte für die chemischen Messungen, insbesondere zur Speisewasser-Überwachung im Primärkreis, sollten mit möglichst kleinen Probemengen - und möglichst kontinuierlich arbeiten.

3.4.1 Kernphysikalische Instrumentierung

Im Bereich der Kern- (Incore-) Instrumentierung ergab sich in mehreren Anlagen eine hohe Anfälligkeit der Meßkammer gegen Temperatur, Strahlung und Feuchtigkeit, die häufig zu Auswechselarbeiten unter Strahlenbelastung zwang. Repräsentative Personalbelastungsdosen konnten praktisch nirgendwo angegeben werden, zumal die Belastung sehr unterschiedlich war, je nachdem zum Beispiel wie intensiv man die Kammerstützen gespült hatte.

In einer Anlage mußten die gleichen Reparaturen an den Neutronenflußmeßkammern und an anderen Zielen der Kerninstrumentierung mehrmals durchgeführt werden. In der Anlage wurden z.B. die B 10-Quellbereichskanäle gegen BF₃ Zählrohre ausgewechselt.

Auch Zuführungskabel mußten wegen einer Versprödung - infolge Neutronenfluß und Temperatur - in einer Reihe von Fällen ausgewechselt werden.

Bei einer Reparatur der Zuführungskabel zu den Zählrohren arbeiteten in einer Anlage 5 Personen ungefähr 0,5 Stunden lang, wobei die aufgenommene Gesamtdosis zwischen 1 und 2 rem betrug. Auf 5 Personen verteilt, ergaben sich ca. 200 bis 400 mrem pro Person für diese an und für sich unnötige Arbeit, die nur dadurch erforderlich wurde, weil das Kabelmaterial nicht von vornherein hinreichend wärmebeständig ausgelegt worden war.

Die Durchführung der Thermoelement-Meßkabel durch den Reaktor-Deckel haben gleichfalls Anlaß zu Reparaturen gegeben; die Stecker zeigten Korrosionserscheinungen.

Empfehlungen:

Für Meßwertgeber, Regler, Instrumente usw. sind kürzere Zeitkonstanten anzustreben.

"Self Powered Detectors", trockene Meßkanäle, Standfestere Meßkammern sind gleichfalls zu erhebende Forderungen.

3.4.2 Konventionelle Meß- und Regeltechnik

Die praktischen Erfahrungen über die konventionelle Meß- und Regeltechnik gaben Anlaß zu folgenden speziellen Empfehlungen:

Als Druckmeßinstrumente sind Barton-Zellen zu empfehlen, die sich allgemein bewährt haben. Druckmanometer in Marineausführung mit Glycerinfüllung und Membranen haben sich in einigen Anlagen ebenfalls bewährt.

Als Füllstandsanzeiger sollten kapazitive Sonden oder Bartonzellen eingesetzt werden.

Grenzwertgeber für Absolut- oder Differenz-Drücke haben zum Teil eine sehr schlechte Zuverlässigkeit gezeigt. So sind zum Beispiel Barksdale-Schalter durch Beaufschlagung mit Überdrücken serienweise unbrauchbar geworden. Bewährt haben sich auch hier Bartonzellen.

Thermoelemente bzw. Widerstandsthermometer im Primärsystem haben häufig Anlaß zu Reparaturen gegeben. Vibrationen und Festfressen in den Hülisen waren besonders häufige Schadensursachen. In einer Anlage beträgt die Schadensquote z.Z. - nach mehrmaligem Wechsel der Hersteller und des Materials - ca. 2 bis 3 Meßfühler pro Jahr von insgesamt 36 eingebauten Meßwertgebern.

Lokale Temperatur-Meßgeräte sollten an heißen und aktiven Leitungen außerhalb der Isolierung angebracht werden.

Es hat sich gezeigt, daß eine automatische Überwachung (Anzeige) der Stellung des Diesel-Lastschalters (Kopplungsschalter) wichtig ist.

Betätigungsleitungen für Stellglieder bzw. Antriebe sollten gegebenenfalls an den Drehmos steckbar angebracht sein.

4. BAUTECHNIK
=====

Die ("äußere") geometrische Gestaltung eines Kernkraftwerks, die Größe der einzelnen Räume, ihre Grundrisse und Höhen sowie ihre Lage relativ zueinander, werden nach Gesichtspunkten der Anlagentechnik (s. Kapitel 7.) festgelegt. Das gleiche gilt für die Gestaltung der einzelnen Gebäude in sich sowie deren Grundsatzkonzeption und Gliederung.

Die Abschirmwandstärken ergeben sich aus kernphysikalischen Berechnungen und die Bodenbelastbarkeiten folgen aufgrund insbesondere der maschinentechnischen Konzeption.

Für alle diese Aufgaben übt der Bauingenieur lediglich beratende und ausführende Funktionen aus. Eine gewisse Gestaltungsfreiheit kommt ihm in Bezug auf die äußere Architektur zu, bei der er sich allerdings an alle vorgenannten Randbedingungen sowie an die Grundsatzkonzeptionen der Anlagentechnik halten muß.

In diesem Rahmen werden zur Betrachtung durch die Bautechnik die folgenden Empfehlungen zur reparatur-, wartungs- und inspektionsfreundlicheren Gestaltung zukünftiger - im Vergleich zu den untersuchten - Kernkraftwerke gegeben:

Die Tragfähigkeit von Decken und Böden sollte in den entsprechenden Räumen der nuklearen Anlagenteile so ausgelegt werden, daß eine Belastung durch zusätzliche Abschirmungen möglich ist.

In Räumen, in welchen unter Umständen Strahlung auftreten kann, und die dann evtl. auch mit Vollschutzkleidung begangen werden müssen, sollten enge Passagen, schmale Leitern und scharfe Kanten ver-

mieden werden, durch die das Personal mit seiner Schutzkleidung behindert würde.

Zwei-Komponenten-Kunststoff-Beschichtung der Fußböden im gesamten Reaktor- und Maschinenhaus, wo im gegebenen Falle aktive Leckagen auftreten könnten, zwecks leichter Dekontaminierbarkeit und Verminderung von Kontaminations-Verschleppungen.

Die Fußböden sollten in allen E-Anlagen und Relaisräumen rutschfest und isolierend sein.

Lagerstellen für radioaktive Teile sowie die Transportwege zu diesen Stellen, sollten Oberflächen besitzen, die mit einem einfachen Deionatstrahl leicht zu säubern (dekontaminieren) sind. Wenn möglich, sollten derartige Stellen, zumindest die Lagerstellen, mit Wasser überdeckbar sein.

Vollständige Revisionszeichnungen aller nicht zugänglichen Räume - einschließlich Stützkonstruktionen und Bühnen - mit Belastungsangaben müssen dem Bauherrn spätestens bei der Inbetriebnahme übergeben werden.

5. STRAHLENSCHUTZ
=====

In bezug auf die Themenstellung ist der Strahlenschutz, seine Organisation und Handhabung, von besonderer Bedeutung.

Die permanenten Strahlenschutzgruppen der in die Untersuchungen einbegriffenen Anlagen zeigten sich personell unterschiedlich stark besetzt und durchaus nicht gleichwertig ausgerüstet. Es wurden zum Teil beträchtliche Unterschiede festgestellt.

Personell sollte man - abgesehen von Eingangskontroll-, Wäscherei- und Nähpersonal pp. - etwa 10 Personen (darunter vielleicht 2 Akademiker) als für einen Anlageblock - relativ unabhängig von der Leistung - nötig annehmen. Der Leiter der Strahlenschutzgruppe, der möglichst zugleich Leiter der Chemiegruppe sein sollte, ist hier nicht eingerechnet.

Sechs oder sieben dieser Männer sollten Personenschutz-Meßtechniker sein, die während des Betriebes und in besonderen Fällen die Personendosisleistungen bestimmen und auch das Reparaturpersonal (Fremdpersonal) bei seiner Arbeit überwachen.

Für das Strahlenschutzpersonal sollte jeweils im voraus ein Jahres-Belastungsplan aufgestellt werden, der die maximal zulässige Belastung so gering als möglich hält und zumindest nicht voll ausschöpft, um für abnormale und unerwartete Fälle eine Reserve zu halten.

Vor jeder Arbeit in Bereichen größerer Strahlungsdosis-

leistung führt die Strahlenschutzgruppe Messungen der Strahlung vor Ort durch. Erst hiernach darf die Durchführung der Arbeit freigegeben werden. Für die Betriebe gilt:

Durch ein eindeutiges Verfahrens-Schema (Formblatt) muß sichergestellt sein, daß keine (neue) Arbeit innerhalb des Kontrollbereiches begonnen wird, ohne daß die Strahlenschutzgruppe die Arbeitsstelle freigegeben hat.

Der Strahlenschutzgruppe obliegt - aufgrund ihrer Messungen vor Ort - auch der Vorschlag, für den Fall von Reparaturen oder anderen (größeren) Maßnahmen Hilfsabschirmungen anbringen zu lassen.

Hierzu haben sich insbesondere etwa 20 kg schwere, aus Zöpfen gefertigte Bleimatten bewährt. Diese Matten sind gut zu handhaben und passen sich der Form des abzuschirmenden Gegenstandes leicht an. Die Matten sollten mit Plastikmaterial umhüllt sein, damit man sie leicht dekontaminieren kann. Solche Matten sind auch im Handel erhältlich.

Auch Setzsteine aus Normalbeton sowie Bleiziegel und Bleischrot werden verwendet. Bleischrot kann vor Ort in vorgefertigte Formen geschüttet werden. Eine pneumatische Förderung des Bleies sollte möglich sein.

Es sei jedoch vermerkt, daß ein nachträgliches Anbringen von (Hilfs-) Abschirmungen nur dann sinnvoll ist, wenn dadurch die Strahlenbelastung verringert wird, wenn also die Belastung durch Abschirmungsarbeiten und Reparatur zusammen geringer gehalten werden kann als bei der Reparatur des betreffenden Anlageteils ohne Abschirmung.

Eine Ausnahme von dieser Regel ergibt sich nur in einigen Sonderfällen, wenn nämlich die Reparaturen nur durch einige wenige Spezialisten durchgeführt werden können.

Der Einsatz von Fernsehkameras zur Arbeitsüberwachung von außen und zur Arbeitsablauf-Steuerung wird sich besonders in Bereichen mit hoher Strahlung lohnen; (z.B. Dampferzeuger-Wasserkammern). Die Kameras sollten durch Fernbedienung schwenkbar und fokussierbar sein.

Bevor nunmehr auf die Einrichtung für die Kontrollbereichs Ein- und Ausgänge sowie auf die Strahlenschutz-Ausrüstung eingegangen wird, sei noch ein generelles Thema angeschnitten:

Die Ermittlung bzw. Erfragung von durchschnittlichen und maximalen Personendosen in einzelnen Reparatur- etc. Fällen, erwies sich als außerordentlich schwierig. In vielen Anlagen hatte man die Dosen nämlich nicht nach den einzelnen Fällen geordnet registriert bzw. die Auswertungen nicht nach diesen getroffen.

Um in Zukunft eine leichtere Erfahrungsauswertung vornehmen zu können, geht die Empfehlung dahin, bei den Betriebsaufzeichnungen auch eine Zuordnung auf Fall-, Ort-, Personaleinsatz, Einsatzzeit (Mannstunden), Gesamt-, Mittel und Maximaldosen (rem) vorzunehmen. Außerdem sollten Incorporationen und Kontaminationen in gleicher Weise festgehalten werden.

Im übrigen sollte in jeder Anlage generell sichergestellt sein, daß auch für große Reparaturfälle - naturgemäß für Revisionen - genügend Umkleideraum, Schutzanzüge, Handschuhe, Überschuhe, Waschmaschinen, Strahlenüberwachungsgeräte usw. zur Verfügung stehen.

5.1 Strahlenschutzbereiche

Die Notwendigkeit einer Einrichtung von Kontrollbereichen, auch von Erweiterungen und eventuell von Zusatzeinrichtungen solcher, z.B. für größere Reparaturen, ist unbestritten und wurde offenbar auch in allen in die Untersuchungen einbegriffenen Anlagen sorgfältig beachtet. Daher können sich die folgenden Ausführungen auf Einzelheiten zu diesem Thema insbesondere auf geometrische Anordnungs- und Ausrüstungsfragen beschränken.

Die Ein- und Ausgänge zu den Überwachungs- und Kontrollbereichen müssen konsequent und so geplant werden, daß sich möglichst keine Überkreuzungen der Ein- und Ausgangswege ergeben. Anlage und Einrichtung der Kontrollbereichs-Ein- und Ausgangsräume sollten - im Hinblick auf abnormale Reparaturfälle u.ä. - relativ großzügig geplant werden. Erweiterungsmöglichkeiten, z.B. durch Aufstockung oder durch Ausdehnung etwa in Büro- oder Sozialräume, die sich verhältnismäßig leicht an andere Stellen der Anlage verlegen lassen, sollten a priori in die Planung einbezogen werden.

Die Zu- und Ausgänge zum Kontrollbereich eines Kernkraftwerkes sollten im Hinblick auf größere Reparaturen und ähnliche Anlässe - relativ unabhängig von der Leistung in MW - für täglich mindestens 400 bis 500 Ein- und Ausgänge von etwa 200 bis 300 Personen (Zahl der Umkleideplätze) ausgelegt werden 1). Dies bedingt mindestens

- Umkleideräume von etwa 100 m^2 einschließlich Kleidungsablagen (möglichst nur Spinde für inaktive Kleidung, Haken, Waschboxen)

1) In einer Anlage betreten beim ersten BE-Wechsel täglich 200 Personen (Zahl der Umkleideplätze) 700 mal den Kontrollbereich. Die Waschmaschinenkapazität wurde von 7 kg auf 20+10+7 kg erweitert.

In einer anderen Anlage ergaben sich täglich 200 Ein- und Ausgänge während des Ausbaus des thermischen Schildes. Dadurch wurde u.a. eine starke Vergrößerung der Ein- und Ausgangsräume sowie der Wäscherei etc. nötig.

- Wasch- und Duschräume von 85 bis 90 m²,
- Waschmaschinen- und Stapelungsraum für dekontaminierte Anzüge, Mäntel und Wäsche von etwa 100 m²,
- 2 Wasch- und 2 Trockenmaschinen für die Wäsche von je 25 kg während etwa 2 Stunden,
- 1 zusätzliche (Industrie-)Waschmaschine und eine Trocken-Zentrifuge für etwa 15 kg sind wünschenswert.

Beim Ausgang aus dem Kontrollbereich sollten ab den zwei hiermit empfohlenen Kontaminations-Meßgeräten zwei Wege vorgesehen sein:

- Für kontaminierte Personen über Waschräume, Duschen und andere Dekontaminierungs-Einrichtungen und Messungen zum Ausgang.
- Für nicht-kontaminierte Personen über einen Waschraum (mit freiwillig benutzbaren Duschen) direkt zum Ausgang.

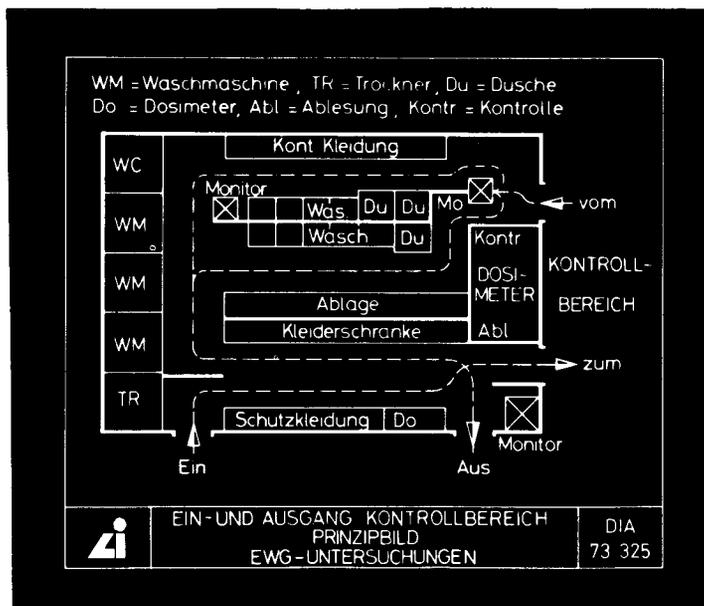


Bild 7

Bild Nr. 7 enthält die schematische Darstellung einer zweckmäßigen Kontroll-Bereichs-Ein- und Ausgangsgestaltung. Der Eintritt in den Strahlenschutzbereich erfolgt links unten. Die Entnahmen der Schutzkleidung und Dosimeter liegen auf dem Wege zum Pförtner, welcher den Dosimeterstand und die Personaldaten notiert, sowie den Eintritt in den Kontrollbereich freigibt.

Der Ausgang aus dem Kontrollbereich - oben rechts - führt wiederum an dem Pförtner vorbei zu einem Monitor, welcher anzeigt, ob die Person kontaminiert oder nicht kontaminiert ist. Kontaminierte Kleidung wird abgelegt, um gewaschen zu werden. Nach Passieren der Waschanlagen und eines weiteren Monitors vereinen sich die Wege zum Ausgang unten rechts - wiederum am Pförtner vorbei, über einen Monitor.

In der einzigen in der Untersuchungen einbegriffenen Zweiblockanlage hat sich die Zusammenfassung der Kontrollbereichs-Ein- und Ausgänge sowie der Strahlenschutzorganisation für beide Anlagen bewährt. Leider ist jedoch eine getrennte Überwachung der in die einzelnen Reaktoranlagen gehenden Personen schwierig durch die Zentralisierung der Eingangskontrollen hat man keine Kontrolle über das Betreten der einzelnen Anlage. Dies wirkt sich insbesondere in Reparaturzeiten negativ aus, wenn sehr viel Fremdpersonal in den Anlagen sein muß.

5.2 Ausrüstung

Einen Überblick über die Ausrüstungserfordernisse vermittelt eine Zusammenstellung der während der zweijährigen Reparatur in einem Kernkraftwerk verbrauchten Gegenstände

- 750 feuchtigkeitsdichte Anzüge
- 29.000 Textil-Kombianzüge

- 2.800 Atemschutzmasken
- 17.000 wasserdichte Handschuhe
- 87.000 Textilhandschuhe
- 7.500 kg Saugpapier
- 40.000 m² Abdeckfolie
- 117.000 m Klebestreifen
- 5.000 Dosimeterfilme

Die Wäscherei hat 76 Tonnen Stoff gewaschen und dekontaminiert.

Es wurden 127 Betonbehälter mit leicht aktiven festen Abfällen (Gesamt-Strahlung ca. 3 Ci) gefüllt; an leicht aktiven flüssigen Abfällen wurden 40.000 m³ mit einer äquivalenten β -Aktivität von 8 Ci abgegeben; 25 Betonbehälter wurden mit 550 m³ ausgedampften hochaktiven flüssigen Abfällen (ca. $5 \cdot 10^{-2}$ Ci/m³) gefüllt.

Der laufende Vorrat an Textil-Schutzanzügen beträgt zum Beispiel in einer anderen Anlage 2000 Stück und in einer dritten 1200 Stück (mit Kapuzen, ohne Taschen und ohne Knöpfe).

In einem Falle mußte bei hoher Jod-Aktivität in der Anlage gearbeitet werden. Die Jod-Aktivität betrug das 10-fache der maximal zulässigen Konzentration (MZK) von 10^{-6} Ci/m³ Luft. Um eine Diffusion der Aktivität in die Haut zu vermeiden, wurden die Anzüge mit Kalium-Jodid imprägniert. Diese Maßnahme hat sich bewährt.

Die Schuhe werden in dieser Anlage in 3 Gruppen eingeteilt:

- a.) einfache Straßenschuhe, markiert, halbhoch; mit ihnen geht das eigene Personal in die Kontrollzone.

b.) Baumwoll-Überschuhe; Fremdpersonal: weiß, Eigenpersonal in leicht kontaminierte Bereiche: blau.

c.) Gummistiefel für stark kontaminierte Bereiche.

Eine Anlage verwendet nur mit Gummisohlen versehene Überschuhe (Vorrat 5000 Stück) mit verschleißfesten Nähten. Diese sind, ohne daß die Sohlen klebrig werden, über 100 mal waschbar.

In vielen Anlagen ist man der Ansicht, daß eine derartige Pflege sowie eine gute Qualität der Anzüge etc. auf die Dauer billiger sind als eine mindere Qualität.

Für besonders schmutzige Arbeiten empfiehlt eine Anlage die Anwendung von Wegwerf-Overalls aus Papier. Spezielle Textil-Anzüge werden hier vom Betriebspersonal überhaupt nicht benutzt, da man die Verwendung normaler Arbeitskleidung - bei gelegentlich notwendigem Einsatz - für billiger hält.

Die Handschuhe bestehen in einer Anlage aus Baumwolle und Gummi. Beide werden, wie Überschuhe, gewaschen. In einer anderen Anlage werden (Textil-)Einweg-Handschuhe verwendet.

Für besondere Arbeiten im Sicherheitsbehälter wurde in einem Fall mit gutem Erfolg eine Fremdbelüftung der Gasmasken verwendet. Auf diese Weise wird den Arbeitenden das Atmen durch den Filter erleichtert. Das Personal geht mit den Masken zu seinem Arbeitsplatz und verbindet diese dort durch einen Schlauch mit dem Instrumenten-Preßluftsystem. Der Schlauch ist mittels eines Schnell-

verschlusses leicht am Filter der Gasmasken zu befestigen. Der Luftanschluß geschieht über eine transportable Verteilerstation mit mehreren Anschlüssen und Reduziereinrichtungen an die allgemeine Preßluftversorgung. Gleichzeitig kühlt und spült die Preßluft die Maske.

In einer Anlage hat sich der Einsatz von fremdbelüfteten Vollschutz-Anzügen bewährt, in denen Sprechfunkgeräte eingebaut waren. Besonders bei der Inspektion der Steuerstabantriebe (SWR) trug diese Einrichtung zu einer Beschleunigung der Arbeiten bei.

Die Kapazität der Wäscherei mußte in allen in die Untersuchung einbegriffenen Anlagen durchweg erheblich erweitert werden. So war zum Beispiel in einer Anlage von Anfang an nur eine Waschmaschine für 7 kg vorhanden, die dann durch 2 weitere Maschinen für 10 kg und 20 kg ergänzt wurde. Die Wäscherei in einer anderen Anlage arbeitet heute mit drei Waschmaschinen: eine à 20 kg, zwei à 10 kg. Die 20-kg Maschine ist eine Industriemaschine, welche sich außerordentlich gut bewährt hat. Sie wäscht doppelt so schnell wie normale Haushaltsmaschinen und verbraucht weniger Wasser, produziert also auch weniger (aktives) Abwasser.

Bei der Auslegung der Wäscherei ist zu bedenken, daß die bei umfangreichen Arbeiten erforderliche große Zahl der Arbeiter zwei- oder dreimal täglich die Wäsche wechseln muß; hierfür muß auch die Wäscherei ausgelegt sein. Außerdem ist in Betracht zu ziehen, daß sich das Wäsche-reipersonal in einigen Anlagen bereits weigerte, auch während größerer Reparaturperioden länger als 8 Stunden zu arbeiten, also Überstunden zu leisten. Durch solche Umstände gezwungen, mußte man hier die Zahl der Waschmaschinen erhöhen.

5.3 Überwachung und Fortschreibung der Personendosen

In den meisten der in die Untersuchung einbezogenen Anlagen werden auch heute noch Filmdosimeter verwendet, wenn zum Teil auch ungern, und obwohl zum Beispiel die Anzeigen der Filmplaketten durchweg ungenau sind. Es sei allerdings auch festgestellt, daß die Genauigkeit der Filmplaketten-Auswertung in den letzten Jahren stark gestiegen ist.

Ionisationskammer-Dosimeter in der Füllhalterform sind in allen Anlagen im Gebrauch. Ihr Vorteil beruht vor allem auf der schnellen Erkennbarkeit der empfangenen Strahlendosen.

Im Vergleich mit beiden Dosimeterarten zeigen die z.Zt. in einigen Anlagen angewendeten Glasdosimeter (im allgemeinen: Festkörperdosimeter) eine deutliche Überlegenheit, zumindest hinsichtlich der Meßgenauigkeit - dem Filmdosimeter gegenüber auch hinsichtlich der einfachen und schnellen Meßwertfeststellung. In diesem Sinne wäre ein Auswertgerät für Festkörperdosimetermessungen in den Anlagen erforderlich.

Es wäre zu erwägen, ob man diese Dosimeterart nicht - anstelle der Filmdosimeter - für die "amtlichen" Messungen anwenden und diese direkt in den Anlagen und von deren Personal durchführen lassen sollte, wie dies außerhalb Deutschlands zum Teil (bereits) geschieht. Auch die Herstellerfirmen würden sich - wenigstens zum Teil - einer derartigen Empfehlung anschließen.

Eine Doppelkontrolle durch "amtliche Festkörper-Dosimeter- und zusätzliche betriebliche Ionisationskammer-Messungen würde dadurch nicht hinfällig werden müssen.

Empfohlen wird auf jeden Fall eine tägliche Dosisfortschreibung für den einzelnen Mann sowie zunächst ein monatlicher Vergleich mit den Auswertergebnissen parallel verwendeter Filmdosimeter.

Für die Dosisfortschreibung wird weiterhin die Einführung eines zumindest europäischen Strahlenpasses für alle permanent, periodisch oder gelegentlich exponierte Personen empfohlen. Eine multilaterale Anerkennung derartiger Strahlenpässe müßte dann einen zweiten Schritt darstellen.

Zur Überwachung bzw. Fortschreibung der Personendosen des Betriebspersonals ist im Hinblick auf die Arbeitsdisposition die Anwendung einer vorhandenen Datenverarbeitungsanlage zu empfehlen, welche eine Auflistung nach Höhe, Herkunft und Verteilung der Strahlung auf das Personal leicht ermöglicht. Eine Handauswertung ist zeitraubend und aufwendig.

Zur Begrenzung der Personendosis bei einzelnen Arbeiten hat sich in einigen Anlagen ein Personenalarmdosimeter nach dem Ionisationskammerprinzip bewährt. Dieses Gerät ist auf eine Dosis von 20, 50, 100, 200, 300, 1000 und 5000 mrem einstellbar. Werden diese Werte erreicht, so gibt das Instrument einen laut vernehmbaren Alarm und ein Leuchtzeichen.

Zur Personendosis-Reduzierung hat sich dann ein Meß- und Warngerät gut bewährt. Es handelt sich um ein Strahlenpegel-Meßgerät in Zigarettenschachtel-Größe, welches um so schneller hintereinander unüberhörbare Piepstöne abgibt, je höher der Strahlenpegel ist. Ab etwa 300 mr/h erfolgt ein Dauerton. Der normale Nulleffekt verursacht ca. alle 10 Sekunden einen kurzen Ton.

Es gibt auch Geräte, bei welchen sich die Frequenz des

Alarmtones mit der vorherrschenden Stahlenleistung ändert. Diese Geräte veranlassen den Träger, um Stellen hoher Dosisraten herumzugehen, und die in Strahlungsreichen arbeitenden Personen, einen kleinen Platzwechsel vorzunehmen.

Die Strahlenbelastung des Personals bei Inspektionsrunden wurde durch den Gebrauch dieses Gerätes in einer Anlage um 50 % reduziert.

Zusätzlich ist in einigen Anlagen ein Ganzkörperzähler (Human-Body-Counter) für die Kontrolle auf Aktivitäts-Inkorporationen vorhanden. In einer Anlage erstellte man ein derartiges Gerät im Eigenbau für 250.000 DM, um hierdurch Reisekosten der Betriebsangehörigen zu zentralen Meßgeräten oder Leihkosten für ein fahrbares Gerät einzusparen.

Jeder einzelne Betriebsangehörige wird etwa zweimal jährlich einer Messung unterzogen. Von den Messungen werden gammaspektrometrische Auswertungen gemacht. Dies ist nach Meinung der Betriebsleitung die am meisten empfindliche Methode für Inkorporationsmessungen, weil hierdurch praktisch alles erfaßt wird. Andere Geräte, mit denen man den Mann von oben bis unten bestreicht, also am Körper entlangfahrend und dann die Aktivität so feststellend, hält die Betriebsleitung für in bezug auf die inkorporierten Dosen nicht so empfindlich.

6. DEKONTAMINATION
=====

Entstehung und Natur von Kontaminationen wurden - als Hauptverursacher der mit Reparatur-, Inspektions- und Wartungsarbeiten verbundenen Strahlungsbelastung des Ausführungspersonals - bereits unter 1.4, zum Teil auch unter Ziffer 2, beschrieben. Nochmalige Ausführungen hierüber erübrigen sich damit an dieser Stelle.

Das Gleiche gilt für entsprechende allgemeine Gegenmaßnahmen und für die grundsätzlichen Empfehlungen, die gleichfalls bereits unter 1.4 angegeben wurden, und die sich zum Beispiel auf eine sehr sorgfältige Speisewasserpflege, -konditionierung und -überwachung, auf Bypassreinigungsanlagen, Magnetfilter usw. beziehen, durch die die Kontamination in den Anlagenteilen herabgesetzt werden kann.

Aus diesem Grunde genügt es, hier nur auf die eigentliche Dekontamination einzugehen und die hierbei in den Anlagen aufgetretenen Verfahren kurz zu umreißen, die aufgetretenen Probleme zu beschreiben, sowie entsprechende Empfehlungen auszusprechen.

Die in den untersuchten Anlagen aufgetretenen Fälle und angewandten Verfahren lassen sich einteilen in:

1. Chemische Dekontamination
 - 1.1 von (Teil-) Systemen
 - 1.2 von (ausgebauten) Einzelteilen

2. Mechanische Dekontamination von Einzelteilen, Fußböden etc.
 - 2.1 durch Wasser- und Sandstrahlen
 - 2.2 durch Schrubben und Bürsten (ohne und mit Netzmitteln)

Außerdem sind noch anzuführen:

3. Prohibitiv-Verfahren

Im Anschluß an ihre Beschreibung folgen Ausführungen und Empfehlungen jeweils bezüglich der entsprechenden Dekontaminationseinrichtungen und -vorrichtungen etc. für zukünftige Anlagen.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- A. Die Dekontaminationserfahrungen in den europäischen Kernkraftwerksanlagen sind z.Zt. (noch) sehr limitiert.
- B. Die in den einzelnen Anlagen angewendeten Verfahren unterscheiden sich (noch) beträchtlich voneinander. Eine einheitliche Linie ist (noch) in keiner Weise zu erkennen.
- C. In bezug auf Erfahrungen und Verfahren kann geradezu (noch) von einem "Versuchsstadium" gesprochen werden, in dem sich die europäischen Anlagen zur Zeit (noch) befinden.

Es werden folgende allgemeine Empfehlungen ausgesprochen:

Erweiterung der ausgeführten Untersuchungen auf einen größeren Anlagenkreis unter Einbeziehung weiterer Kernkraftwerke, auch anderer Reaktortypen, insbesondere in den USA, sowie von Wiederaufbereitungs- und anderen Anlagen, in denen größere Radioaktivitäten gehandhabt werden.

Aufbau eines (möglichst europäischen) Dekontaminations-Fach-Trupps, der den Anlagen in Bedarfsfällen mit Rat (und evtl. Tat) zur Verfügung steht.

Es ist zu untersuchen, ob dieser Trupp identisch mit dem unter Ziffer 1.4, Seite 17, empfohlenen Reparatur-

trupp sein könnte oder sollte.

Einsatz eines (evtl. europäischen) Dekontaminations-Beauftragten mit den Aufgaben, entsprechende Maßnahmen zu planen, zu verfolgen und durchzusetzen sowie einen systematischeren Dekontaminations-Erfahrungsfluß zwischen den infrage stehenden Kreisen ins Leben zu rufen.

Der Dekontaminations-Beauftragte sollte weder auf der Hersteller- oder der Betreiberseite stehen noch forschungsorientiert sein. Die Aufgabe muß sehr praktisch angegangen werden.

Bezüglich zukünftiger Kernkraftwerke werden folgende Grundsatzempfehlungen gegeben:

Jedes Kernkraftwerk benötigt eine gewisse Minimalausstattung an Dekontaminationseinrichtungen und -vorrichtungen, die räumlich möglichst zusammengefaßt werden sollten:

α Wannen verschiedener Größe mit entsprechenden Heizvorrichtungen, Konvektionserzeugern, Chemikalienhandhabungseinrichtungen, Absaugungen etc.

β transportable Hochdruck-Heißdeionat-Spritzvorrichtungen

γ entsprechende Sandstrahlvorrichtungen

δ Auffangvorrichtungen für Dekontaminationslösungen und Wasser.

Ein entsprechender Dekontaminationsraum mit guter Belüftung sollte im Kontrollbezirk liegen; die Transportwege dorthin und von dort weg sollten - insbesondere für größere Teile - vorgeplant sein.

Es ist zu beachten, daß eine Dekontamination aktiver Anlageteile oft teurer ist als eine Reparatur unter Strahlenbedingungen.

Die Verwendung ferngesteuerter Reparatur- und Dekontaminations-Automate ist zwar wegen der hohen Entwicklungskosten meist sehr teuer; außerdem sind derartige Apparaturen oft nur auf einzelne Reparaturfälle beschränkt bzw. spezialisiert. Trotzdem sollte die (zentrale) Entwicklung und Verwendung derartiger Geräte angestrebt werden.

6.1 Chemische Dekontamination

Zur chemischen Dekontamination wird im allgemeinen ein Verfahren angewandt, das aus zwei Behandlungsschritten - bei Zwischen- und Nachspülungen mit Wasser - besteht.

a.) Behandlung mit einem Oxydationsmittel

Mittel	Temperatur Einwirkzeit	angewandt in den Anlagen zur System-Dekont. Teile Dekont.	
TURCO DECON 4502 (KMnO_4 , KOH, NaOH, Netzmittel)	95 °C 1 h	CHOOZ	GKN (70 °C) BR-3(110-120 °C)
0,2 % NaOH 0,2 % KMnO_4	95 °C 2-6 h		KWL

b.) Behandlung mit einem komplexbildenden Mittel zur komplexen Lösung der in Schritt a.) oxydierten Stoffe

Mittel	Temperatur Einwirkzeit	angewandt in den Anlagen zur System-Dekont. Teile Dekont.	
TURCO DECON 4521 (Oxal- und Zitronensäure, NH ₄ OH)	85 °C 1 h	CHOOZ BR3	Garigliano GKN BR-3
0,25 % Oxalsäure 0,25 % Zitronensäure	95 °C 3-9 h		KWL

Zur Erreichung einer befriedigenden Wirkung sind Grenzschichtbewegungen der Mittel an den Materialoberflächen erforderlich, die durch Strömungsvorgänge, Rühr- oder Ultraschallanwendung erzeugt werden können.

Einer Kurzbeschreibung der in den untersuchten Anlagen aufgetretenen Probleme seien einige weitere Empfehlungen vorausgestellt:

Dekontaminationsgerechte Werkstoffauswahl, Konstruktion und Trennmöglichkeiten für die für eine Dekontamination infrage kommenden Kreislaufsysteme bzw. Kreislaufabschnitte.

Da jede Dekontamination ein (kontrollierter) Korrosionsangriff auf die eingebauten Werkstoffe ist, wird durch die dabei erfolgende unvermeidbare Aufrauung der Werkstoffoberflächen möglicherweise beim nachfolgenden Leistungsbetrieb eine erneute Kontamination

des Kreislaufs möglichst klein gehalten werden. *)

Vorliegende Untersuchungen *) zeigen, daß ca. 50 % der Gesamtaktivität der Ablagerungen durch Co-59 und Co-60 erzeugt wird. Da Kobalt als Begleitelement von Nickel stets in austenitischen Chrom-Nickel-Stählen vorliegt und seine vollständige Entfernung durch Einsatz sehr reinen Vormaterials bei der Er-schmelzung erhebliche Mehrkosten verursacht, könnte man eine Lösung des Problems z.B. im Einsatz nickel-freier Werkstoffe sehen. Hierbei könnte unter anderem die Berohrung der Wärmetauscher, die einen großen An-teil an der Gesamtfläche des Kreislaufs haben, mit Rohren aus nickelfreien ferritischen Chromstählen in Betracht gezogen werden.

Bei der Anwendung chemischer Dekontmittel ist stets zu bedenken, daß die abgelassenen Lösungen in der Auf-bereitungsanlage verarbeitet werden müssen. Die Kapa-zität des Verdampfers darf durch Putz- oder Dekont-mittel nicht überschritten werden. Die Anwendung von Deionat und die Beschränkung von chemischen Reini-gungs- bzw. Dekont-Mitteln auf ein Mindestmaß hat in mehreren Anlagen zu einer zufriedenstellenden Kom-promißlösung geführt.

Untersuchungen und Entwicklungsarbeiten zur Verbesse-rung der vorhandenen Dekont-Mittel und ihrer Wirkungs-bedingungen (pH-Wert, Temperatur etc.) zur Vereini-fachung der Verfahren sowie evtl. zur Verringerung der Verfahrensschritte.

*) W. Ahlfänger, G. Herbsleb, G. Resch: Dekontamination nuklearer Anlagenteile VGB-Speisewassertagung 1971

6.1.1 Chemische Dekontamination von (Teil-)Systemen

In der Anlage Chooz wurden im Jahre 1968 Arbeiten an den mit einer festhaftenden Metalloxydschicht belegten Wandungen der Wasserkammern der Dampferzeuger (1-2 R/h) erforderlich, weil Bruchstücke von Verbindungsschrauben (zwischen dem oberen und dem unteren Ring des Kern-Mantels; siehe Abschnitt 2.3; Reaktorbehälter und Einbauten) Beschädigungen an den Rohrplatten verursacht hatten.

Um an den Rohrplatten arbeiten zu können mußten die Dampferzeuger von der anhaftenden Schicht aktiver Korrosionsprodukte befreit, d.h. dekontaminiert werden.

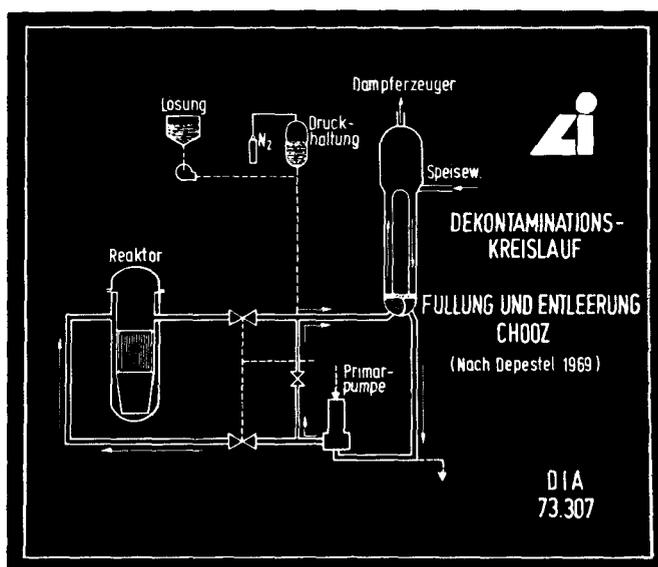


Bild 8

Hierzu wurde ein Dekontaminations-Kreislauf gemäß Bild 8 rechts oben und unten geschaltet. Er führte über die Dampferzeuger-Primärseiten, die Haupt-Kühlmittelpumpen und über eine Beipass-Leitung zurück zu den Dampferzeugern. Dieser Kreislauf wurde über das Borsäure-System gemäß Bild 8 oben links mit den verschiedenen Dekont-Lösungen gefüllt. Der Lösungsmittelablauf ist in Bild 8 rechts unten dargestellt.

Als Dekontaminationsmittel wurde zunächst TURCO DECON 4502 und nach dem Spülen TURCO DECON 4521 benutzt.

Zum Verhütung einer Einwirkung der Mittel auf Pumpendichtungen, stellitierte oder verchromte Flächen und Packungen von Ventilen mußten besondere Maßnahmen getroffen werden, die im EWG-Bericht Nr. 0/1/69 d (1969) beschrieben sind.

Die erzielten Dekontaminationsfaktoren lagen zwischen 14 und 200, wobei allerdings allein aufgrund des zitierten Berichtes zum Teil nicht unterschieden werden konnte, ob der jeweilige "Erfolg" tatsächlich der Dekontamination zugeschrieben werden kann, oder auf einen Verteilungseffekt bzw. auf das Abklingen kurzlebiger Radioelemente während der längeren Stillstandszeit von ca. 6 Monaten zurückzuführen ist.

Beim BR-3 wurde der gesamte Primärkreislauf mit TURCO DECON 4521 (Ammoniumoxalat und -zitat) dekontaminiert. Die basische Lösung TURCO DECON 4502 konnte im Kreislauf nicht angewendet werden, weil die Führung der Regelstabschafte in den Regelstabantrieben mit einer nicht-resistenten Chromoberfläche versehen waren. Das heißt, die Dekontamination wurde wegen dieser Materialien im Kreislauf nicht vollständig durchgeführt; man wandte nur das komplexbildende Mittel an.

Es scheint daher auch nicht verwunderlich, daß der Gesamt-Dekontaminationsfaktor nur 3 bis 4 betrug. Ein großer Erfolg bestand darin, daß die punktuellen Strahlungsmaxima (Ablagerungen in Strömungs-Totzonen) abgebaut wurden.

Die Konzentration der TURCO 4521 Lösung betrug 60 g/l, die Temperatur 90 °C. Die Dauer der Dekontamination,

also die Umwälzung des Mediums mit den Primärpumpen, wurde nach der Konzentration des Kobalt-60 bestimmt, und zwar wurde ca. eine halbe Stunde umgepumpt. In dieser halben Stunde war die Lösungs-Konzentration des Co-60 bis zu einem Maximum angewachsen. Mit Erreichen der Sättigung für das gelöste Kobalt-60 brach man die Dekontamination ab.

Danach wurden drei Spülungen mit frischem Wasser durchgeführt. Die erste Spülung erfolgte bei noch warmem Kreislauf, die beiden nächsten waren kalt. Die gebrauchten Spüllösungen wurden jeweils in Tanks abgelassen. Nach der Dekontamination des Kreislaufes stellte man mit einem Meßinstrument eine Strahlung zwischen 5 bis 6 R pro Stunde fest. Wenn man einen Dekontaminationsfaktor 3 annimmt, wären demnach vor der Dekontamination ungefähr 20 R pro Stunde vorhanden gewesen.

Die sehr viel höhere Dosisrate von 50 R pro Stunde, die man vor der Prozedur gemessen hat, kam offenbar durch die bereits erwähnten Punktstrahler innerhalb des Wärmeaustauschers zustande. Die Annahme von 25 R pro Stunde als Mittelwert der Strahlung des Gesamtbelages dürfte zumindest die Größenordnung richtig treffen.

Die Strahlung wurde als Beta-Gamma-Strahlung gemessen. Interessanterweise will man durch Experimente in einer Anlage festgestellt haben, daß die Beta-Strahlung eine Reichweite in Luft bis zu 3 Metern aufweist. Die entsprechenden Messungen erfolgten nach der Kontamination im trockenen Flutraum.

Insgesamt wurden Aktivitäten von 150 Ci aus dem Kreislauf herausgespült. Die Wassermenge im Kreislauf betrug 13 Tonnen.

Im Anschluß an die Dekontamination konnten keinerlei Nachteile aufgrund der Einwirkung der Lösung auf die

Materialien festgestellt werden.

Anmerkung:

Bei der chemischen Dekontamination kann man den Ablauf der Prozedur verfolgen, indem man laufend die Lösungskonzentration von Kobalt-60 mit dem Sättigungszustand vergleicht.

Hierzu sind keine chemischen Analysen erforderlich. Es genügen Aktivitätsmessungen.

6.1.2 Chemische Dekontamination von (ausgebauten) Einzelteilen

Im Kernkraftwerk Dodewaard wurden nachträglich Dekont-Wannen eingebaut. Eine 1,5 x 1 x 1 m³ messende doppelwandige Wanne mit einer Umwälzeinrichtung dient zur ersten Behandlung der zu dekontaminierenden Ausbauteile mit TURCO DECON 4501.

In einer zweiten Wanne von 1 x 0,6 x 0,75 m³ wird die zweite Behandlung mit einer 10 %igen, 70 °C-warmen TURCO DECON 4521-Lösung durchgeführt.

Eine eingebaute Umwälzanlage vergrößert die Wirkung.

Es wurden Dekontaminationsfaktoren (Aktivität vorher/nachher) von zwei bis drei bei der ersten Behandlung und von 10 bis 50 bei der zweiten Behandlung erreicht.

In der Anlage BR-3 wurde eine Pumpenläufer-Dekontamination in Schritten (mit Zwischenspülungen durch Wasser) durchgeführt mit:

- a.) TURCO DECON 4521
- b.) TURCO DECON 4502
- c.) TURCO DECON 4521

Das Gehäuse der Pumpe wurde abgenommen. An seiner Stelle wurde ein Schutzkasten unter der Pumpe (um den Propeller herum) angeschraubt, an welchem Anschlüsse für die Spüleleitungen vorhanden waren. Das Ganze wurde in ein Plastikzelt mit Absaugvorrichtung gesetzt. In einem Behälter, welcher neben dem Zelt stand, befand sich die Dekont-Lösung. In dem Zelt waren Kühlvorrichtungen für die umzupumpende Lösung vorgesehen.

Die Lösungen hatten eine Temperatur von ca. 120°C . Daher mußte man zur Vermeidung von Dämpfen die aus der Pumpe austretende Lösung zunächst kühlen, um sie dann in den Behälter entlassen zu können. Die elektrische Heizung war in dem Gehäuse unter der Pumpe eingebaut und hatte eine Leistung von 6 KW.

Die Bäder wurden statisch ausgeführt, d. h. ohne Rühren oder Bewegen z. B. durch Ultraschall. Die Gesamtprozedur erforderte etwa 2 Stunden.

In Garigliano erfolgte die Dekontamination einer Hauptumwälzpumpe zwecks Reparatur in folgender Weise :

Während des Ausbaus und des Krantransportes der Pumpe zu einem Raum vor der Materialschleuse wurde dort in einem Behälter eine Lösung mit dem Turco-Produkt 4521 von 90°C vorbereitet. In diese Lösung wurde das Laufrad der Pumpe 20 Stundenlang eingetaucht.

Nach dem Herausnehmen stellte man fest, daß sich ein Großteil des Belages gelöst hatte und im Behälter zurückgeblieben war. Das Laufzeug wurde alsdann mit Wasser und Bürste - unterbrochen von wiederholten Bädern mit der gleichen Lösung - metallisch blank geputzt.

Die Strahlung an der Oberfläche des Propellers betrug vor der Behandlung 10 R/h, nachher nur noch 50 mR/m.

Für die Prozedur insgesamt benötigten 6 Mann eine Zeit von 2 Tagen, wobei jede Person eine Strahlendosis von 500 mrem empfangt.

Als großer Nachteil erwies sich, daß innerhalb des Reaktorgebäudes kein ausreichend großer Raum für die Dekontamination größerer Teile vorhanden war. In dem Raum vor der Materialschleuse mußte daher erst ein Plastikzelt mit Anschluß an die Lüftungsanlage errichtet werden, unter dem der erste Behandlungsschritt durchgeführt wurde.

Nach dem Transport in die Werkstatt außerhalb des heißen Teils der Anlage fand dort - in einem besonders hierzu eingerichteten Kontrollbereich - die vollständige Demontage der Einzelteile und ihre Dekontamination mit TURCO 4521 statt.

In KWL wurden zur Dekontamination einer Zwangsumlaufpumpe, einer Primärreinigungspumpe und von 4 Dampfschiebern zwei Lösungen verwendet :

Lösung 1 : 0,25 % Oxalsäure
 0,25 % Zitronensäure
 Anwendungstemperatur ca. 95°C
 Einwirkungszeit 3 bis 9 Stunden.

Lösung 2 : 0,2 % NaOH
 0,2 % KMnO_4
 Anwendungstemperatur ca. 95°C
 Einwirkungsdauer 2 bis 6 Stunden.

Die Behandlung der zu dekontaminierenden Teile erfolgte in drei Stufen in der Reihenfolge Lösung 1 - Lösung 2 - Lösung 1 mit jeweiligem Zwischenspülen. Ahlfänger, Herbsleb und Resch beschreiben die Arbeiten sehr genau.

Wegen mehrerer in dieser Publikation *) beschriebener Einzelheiten sei ein Auszug daraus wiedergegeben :

Dekontamination ausgebauter größerer Anlagenteile

Auf Grund der aus den Laborversuchen gewonnenen Erkenntnisse wurde die Dekontamination bestimmter Betriebsarmaturen für den Stillstand 1971 fest eingeplant. Während des Stillstandes wurden die nachfolgend aufgeführten größeren Betriebsarmaturen dekontaminiert:

1. Zwangumlaufpumpe aus der Zwangumlaufschleife I, NW 700, Förderleistung $6000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
2. Pumpe I aus der Primärreinigungsleitung, NW 50, Förderleistung $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
3. Vier Dampfschieber mit stellitierten Dichtungsflächen aus den Primärdampfleitungen, NW 350.

Grundsätzlich wurde nach folgendem Schema verfahren:

1. Abschirmung der entsprechenden Anlagenteile durch Bleibaulemente.
2. Ausbau der zu überprüfenden Betriebsarmaturen.
3. Dekontamination in separaten Behältern.
4. Weiterbearbeitung in der heißen Werkstatt.

Zur Durchführung der Dekontamination wurden drei zylindrische Behälter aus Werkstoff Nr. 1.4550 hergestellt. Der größte Behälter hatte einen Inhalt von $1,3 \text{ m}^3$ und war mit einem Rührwerk ($1500, \text{U} \cdot \text{min}^{-1}$) sowie einer elektrischen Beheizung (Heizleistung 30 kW) ausgerüstet. Zur Vermeidung von Aerosolaktivitäten hatten die Behälter eine Abdeckung, die sich jedoch als nicht ausreichend erwies. Es war notwendig, die Behälter mit einem Kunststoffzelt zu umgeben. Während der Dekontamination wurden in dem Zelt Aerosolaktivitäten bis zu $10^{-6} \mu\text{Ci} \cdot \text{m}^{-1}$ gemessen. Das Zelt wurde deshalb an die Betriebsluftabsaugung angeschlossen.

Für die Dekontamination der Zwangumlaufpumpe und der Dampfschieber wurden die Behälter möglichst nahe dem Ausbauort aufgestellt.

Nach dem Zeitplan war zunächst die Behandlung der Zwangumlaufpumpe vorgesehen. Läufer, Deckel und Dichtpatrone wurden als Ganzes aus dem Pumpenkörper gezogen und in den größten Beizbehälter eingesetzt.

Die Primärreinigungspumpe wurde zunächst so weit auseinandergebaut, daß Pumpenrad, Pumpenläufer, Pumpendeckel und Stopfbuchsenteil als Einzelteile in einen kleineren Behälter eingesetzt werden konnten.

Dichtungsplatten, Halterung und Spindel der Dampfschieber wurden als Ganzes ebenfalls in einem kleineren Beizbehälter behandelt.

*) W. Ahlfänger, G. Herbsleb, G. Resch: Dekontamination nuklearer Anlagenteile VGB-Speisewassertagung 1971

Dekontamination der Zwangumlaufpumpe

Die Pumpenteile waren mit einer grauschwarzen Ablagerung bedeckt. Eine gründlichere Untersuchung vor der Dekontamination war wegen der hohen Dosisleistung nicht möglich. Die Dekontamination erfolgte wie oben beschrieben, jedoch wurde die mechanische Nachbehandlung mit einer in Wasser aufgeschlämmten groben Filterzellulose ($0,2 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) durchgeführt. Die Behandlungsdauer wurde gegenüber den Laborversuchen verlängert (Lösung 1: 9 h, Lösung 2: 7 h, Lösung 3: 9 h; Dauer der mechanischen Nachbehandlung: 7 h bei Raumtemperatur). Die Dosisleistung der Zwangumlaufpumpe wurde vor und nach der Behandlung gemessen. In den Dekontaminationslösungen wurden die Konzentrationen der Korrosionsprodukte und die Aktivitätszusammensetzung ermittelt. Die Versuchsergebnisse sind in Tafel 5 zusammengestellt.

Tafel 5. Dekontamination der Zwangumlaufpumpe.

Abgelöste Menge an Korrosionsprodukten [g · m ⁻²]		Anteil %	Abgelöste Aktivität [mCi · m ⁻²]		Anteil %
Fe ₂ O ₃	12,2	75,7	Co 60	88,9	43,2
MnO ₂	0,3	1,8	Co 58	9,3	4,5
Cr ₂ O ₃	2,0	12,3	Ce 141	5,2	2,5
NiO	1,3	8,2	Ce 144	10,7	5,2
CuO	0,1	0,7	Cr 51	9,3	4,5
ZrO ₂			Ru 103	42,5	20,7
MoO ₃	0,2	1,3	Ru 106	36,6	17,8
			Zr/Nb 95	3,2	1,6
Dosisleistungen [r · h ⁻¹]					
		vor Dekontamina- tion	nach Dekontamina- tion	Dekontamina- tionsfaktor	
Pumpendeckel		8	1	8	
Pumpenläufer		22	7	3	

Nach der Dekontamination (einschließlich der mechanischen Nachbehandlung) war der größte Teil der Oberfläche von Pumpenläufer und Pumpendeckel noch mit

dem grauschwarzen Belag bedeckt. Auf dem Pumpendeckel waren einzelne Stellen bereits metallisch blank. Die hier vorhandenen Ablagerungen konnten größtenteils durch Abbürsten entfernt werden. Die auf dem Pumpenläufer vorhandenen Ablagerungen konnten dagegen durch Bürsten nicht entfernt werden. Dieses unterschiedliche Verhalten ist darauf zurückzuführen, daß in dem Teil des Beizbehälters, in dem sich der Pumpenläufer befand, einerseits die optimale Beiztemperatur von $> 95^\circ \text{C}$ nicht erreicht wurde, zum anderen die Badbewegung beeinträchtigt war. Dieses Ergebnis unterstreicht die Notwendigkeit, sowohl die angegebene optimale Badtemperatur als auch eine ausreichende Badbewegung einzuhalten. Eine weitere Störung trat unseres Erachtens noch dadurch auf, daß die heißen Lösungen nach der

chemischen Dekontamination sehr schnell aus dem Behälter abgelassen wurden. Das hatte zur Folge, daß die bereits aufgelockerten Ablagerungen auf dem im oberen Teil des Bades befindlichen Pumpendeckel während der relativ langen Abkühlungsperiode wieder fest ankrusteten. Es ist also notwendig, die mit den heißen Lösungen behandelten Teile zwischen den einzelnen Schritten des Dekontaminationsverfahrens, besonders aber vor der mechanischen Nachbehandlung, stets befeuchtet zu halten. Diese Erkenntnisse wurden bei den weiteren Dekontaminationsarbeiten berücksichtigt.

Dekontamination der Primärreinigungspumpe

Die bei der Dekontamination der Primärreinigungspumpe erhaltenen Ergebnisse sind in Tafel 6 zusammen-

Tafel 6. Dekontamination der Primärreinigungspumpe.

	Dosisleistung [$r \cdot h^{-1}$]		Dekontaminationsfaktor
	vor Dekontamination	nach Dekontamination	
Pumpenrad	20,0	1,00	20
Pumpenläufer	0,3	0,01	30
Pumpendeckel	20,0	1,00	20
Stoffbuchsenteil	0,5	0,02	25

gestellt. Ersichtlich wurden bei der Dekontamination dieser Teile deutlich höhere Dekontaminationsfaktoren als bei der Zwangumlaufpumpe erreicht. Die Gründe hierfür sind in der Einhaltung der oben genannten Bedingungen hinsichtlich Badtemperatur, Badbewegung und Befeuchtung der Anlagenteile zu suchen.

Dekontamination der Dampfschieber

Da die Dichtflächen der Dampfschieber einer manuellen Nachbehandlung unterzogen werden sollten, wurde bei ihrer Dekontamination auf eine möglichst weitgehende Entfernung der Aktivität besonderer Wert gelegt. Es erschien daher sinnvoll, sowohl die Beizdauer bei den einzelnen Dekontaminationsschritten zu verlängern als auch den gesamten Dekontaminationszyklus zu wiederholen. Dabei zeigte sich, daß insbesondere nach längeren Verweilzeiten in der sauren Reinigungslösung auf der Metalloberfläche Eisenoxalat ausgefällt wurde, wobei in den Ausfällungen wiederum Aktivitäten fixiert wurden. Da das ausgefällte Eisenoxalat durch die mechanische Nachbehandlung nur unvollständig zu entfernen war, wurde die Dekontaminationswirkung durch diese Erscheinung beeinträchtigt. Es wurde versucht, das Eisenoxalat durch kurzzeitige Behandlung in alkalischer Kaliumpermanganatlösung zu oxydieren. Danach wurde das Kaliumpermanganat durch erneute Zugabe einer äquivalenten Menge Oxalsäure wieder reduziert. Nach diesem Verfahren und anschließender Nachbehandlung wurden sehr hohe Dekontaminationsfaktoren zwischen 50 und 120 erreicht.

Im Versuchatomkraftwerk Kahl wurde die chemische Dekontamination von Kreisläufen seitens der AEG in einem Versuchskreislauf erprobt. Man verwendete ein DECON-Produkt der Firma TURCO. Die Versuche liefen über drei Tage bei Temperaturen von 80°C. Der erreichte Dekontfaktor lag unter Zehn.

Es könnte hier evtl. bei den Dekontarbeiten nur zu einer Verschleppung und Vergleichmäßigung der Strahlung - ohne echten Aktivitätsabbau - gekommen sein; einzelne Punktstrahler sehr hoher Aktivität sind natürlich ausgemerzt worden.

Besondere Vorkehrungen zur Kreislaufdekontamination in der Form von Anschluß-Stutzen u.ä. werden (seitens der AEG) empfohlen.

Bei KRB wurde zur chemischen Dekontamination von ausgebauten Einzelteilen Zitronensäure angewendet. Die zu dekontaminierenden Teile wurden mit der Hand unter Zugabe dieses Mittels bearbeitet.

Versuche mit einem deutschen Mittel namens ARIS, waren noch nicht abgeschlossen.

Bei AVR in Jülich verwendet man überwiegend Äthanol als Dekontaminationsmittel.

In der Anlage Obrigheim wurde die chemische Dekontamination einzelner Teile lediglich versucht. Man kam zu dem Schluß, daß die harten Beläge selbst durch verhältnismäßig scharfe Dekontmittel, wie Flußsäure, Salpetersäure und Kaliumpermanganat nicht gelöst werden konnten.

Es ist jedoch zu bemerken, daß es im Kontrollbereich von KWO keine Möglichkeit gibt, größere Teile in einen Behälter mit einer Heizung und Umwälzeinrichtung

einzubringen und chemisch zu dekontaminieren. Es wurde z. B. versucht, einen Mannlochdeckel mit einer Strahlung von 35 R/h mit einer chemischen Lösung 30 Min. lang zu berieseln und anschließend abzuwaschen. Der Dekont-Faktor betrug 0,5.

KWO empfiehlt keine chemische Dekontamination am oder im Kreislauf.

6.2 Mechanische Dekontamination von Einzelteilen

6.2.1 Mechanische Dekontamination durch Wasser- und Sandstrahlen

Wasserstrahlen

In KWO wird zur Dekontamination von Behältern z. B. Brennelement-Transportbehältern, oder großen Oberflächen, z.B. Flutraumwände, Hochdruck-Heißwasser (Deionat) verwendet.

Zu seiner Erzeugung dienen in der Milchindustrie zur Reinigung der Kesselwagen benutzte Spritzgeräte, welche Wasser mit bis zu 90°C und 75 atü verwenden. Eine Zugabe von wenig Zitronensäure bzw. von einem alkalischen Lösungsmittel zu dem Deionat verbessert die Wirkung der Behandlung. Die Anwendung kann durch Hilfskräfte vorgenommen werden. Die Führung des Spritzstrahlers über die Oberfläche des zu dekontaminierenden Teiles kann automatisch erfolgen. Die Ergebnisse zeigen Dekont-Faktoren von 50 bis 100.

Auch bei KRB beruht eines der Dekontverfahren auf dem Waschen und Abspritzen mit Hochdruck-Heißwasser. Mittels eines "Wap-Gerätes" wurden gute Erfolge beim Dekontaminieren des Brennelementtransportbehälters bei einem Druck von 80 bis 100 atü gemacht.

In Garigliano erfolgte eine größere Dekontamination im Rahmen der unter Ziffer 2.3 beschriebenen Reparatur der Dampferzeuger. Die Ein- und Austrittskammern wurden mit reinem Deionat von 400 atü Wasserdruck, also ohne Zusätze abgespritzt. Hierbei lenkte zunächst ein Mann den Wasserstrahl von Hand. Später wurde ein automatischer Apparat verwendet.

Vor der Behandlung betrug die Aktivität in jeder Kammer 20 bis 30 R/h, danach 4 bis 5 R/h. Durch die Dekontamination wurden 2 Personen mit je einem rem beaufschlagt.

Für die Dekontamination und die anschließende Reparatur wurden insgesamt 60 Mann eingesetzt, welche zusammen 60 rem an Strahlung erhielten. Die anfallende aktive Flüssigkeit (nur 2 m³) hatte eine Radioaktivität von 2 Ci.

Es muß vermerkt werden, daß die Dekontamination größerer Teile in Garigliano ein echtes Problem darstellt, da einerseits nur geringe Erfahrungen vorliegen, und da andererseits - und vor allem - eine Lagerungsmöglichkeit für größere Mengen aktiver Flüssigkeiten fehlt.

Bei BR-3 hat man den Deckel des Druckgefäßes dekontaminiert, indem man kaltes Hochdruckwasser (70 Atmosphären), mit Borkristallen versetzt, anwendete. Die Borkristalle wurden mit einer an der Sprühlanze angebrachten Düse aus einem Behälter angesaugt. Mit dem kalten Wasser bespritzte man dann die Oberfläche des Deckels; das Bor löste die kontaminierten Partikel ab. Der erreichte Dekontaminationsfaktor betrug ungefähr 7.

Auch die Wände des Flutraumes dekontaminierte man bei BR-3 mit einem boratversetzten Wasserstrahl. Eine Hochdruckpumpe saugte aus einem Behälter Deionat. Am Ende

einer Lanze war eine Venturidüse angebracht, welche aus einem weiteren Behälter Borkristalle ansaugte und unter Hochdruck zusammen mit dem Wasser gegen die Oberfläche schleuderte.

Die Borkristalle konnten sich später in dem Wasser auflösen, so daß selbst bei geöffnetem Reaktor-druckgefäß und eingeladenen Brennelementen keine Verunreinigung und keine Reaktivitätserhöhung zu befürchten war.

Sandstrahlen

Bei KWO erfolgte die Dekontamination im wesentlichen durch Sandstrahlung mit Borkristallen von 100 bis 300 μm Korngröße.

Das Verfahren wird entweder in einer Strahlbox oder - wie z. B. im Falle der Dampferzeuger - direkt im Apparat angewendet.

In der Strahlbox kann auch normaler Sand (SiO_2) verwendet werden.

Die Sandstrahlung hat sich bewährt; es ist kein chemischer Angriff zu befürchten, harte Beläge werden einwandfrei entfernt und selbst geläppte Oberflächen können so bearbeitet werden, wenn sie kurz nachgeläpft werden.

Zur Behandlung der Oberflächen in den Dampferzeugerwasser-kammern wurde eine mechanische Vorrichtung gebaut, welche den Aufenthalt des Personals in den Wasserkammern erspart. Vorangegangene Versuche, in den Wasserkammern mit einem handgeführten Sandstrahler zu arbeiten, hatten ergeben, daß die Dekont-Arbeiten eine höhere Strahlenbelastung verursacht hätten, als

durch sie während der nachfolgenden Arbeiten erspart worden wäre.

Auch bei KRB wurden Maschinenteile mit einem Sandstrahlapparat dekontaminiert. Strahlmaterial war Quarzsand. Das Verfahren wurde bei Teilen bis zur Größe von Turbinenschaufeln angewendet.

Die Behandlung findet in einer Box statt, welche ca. 3 x 4 m² Fläche hat und 2 m hoch ist. Die zu behandelnden Teile können mit einem Kran in die Box transportiert werden.

Mit dieser Behandlung konnten fest haftende Beläge entfernt werden, so daß die Oberflächen sauber und glänzend wurden.

Nachträglich wurde ein Dekont-Raum durch Umbau in der heißen Werkstatt geschaffen.

6.2.2 Mechanische Dekontamination von Einzelteilen, einschließlich Fußböden, Labortische usw. durch Schrubben Bürsten

Methoden der in der Überschrift gekennzeichneten Art werden in fast allen Anlagen angewandt. Nur die angewendeten Werkzeuge und die im Zusammenhang damit angewendeten Netz- und Scheuermittel unterscheiden sich leicht.

So werden zum Beispiel in Obrigheim Werkzeuge, Kleinteile, Fußböden, Labortische etc. mit "Lutensol" in Form AP 6 und 10 dekontaminiert. Ein Zusatz zu diesem Mittel mit der Bezeichnung D 1 verbessert die chemischen Eigenschaften. D 1 besteht aus feingemahlenem Ionenaustauscher-Material, ist anionen- und kationenaktiv und wird von Bayer-Leverkusen hergestellt.

Durch die Zugabe von Quarzmehl wird das oben genannte Gemisch aus Lutensol plus D 1 zu einer schmierigen Masse, welche sich vorzüglich zur Dekontamination von Kleinteilen eignet.

In Garigliano wird bei Fußböden und Tischen mit Schrubbern und normalem Wasser, mit "Nalco" als Lösungsmittel versetzt, sowie mit Waschmitteln von der Art "Imi" und "Ata" gearbeitet.

Auch bei KRB werden "Wischaktivitäten" auf Fußböden und im Labor mit handelsüblichen Lösungs- bzw. Reinigungsmitteln beseitigt (Ajax, Persil, P 3 ...).

Zur Dekontamination nur leicht verseuchter Komponenten wurde auf der "Otto Hahn" ein flüssiges Waschmittel mit dem Namen "Ravasol" benutzt. Durch Bearbeiten der Teile mit Wasser und Wurzelbürste konnte der gewünschte Effekt erzielt werden.

Ventile wurden auf der "Otto Hahn" in einem ultraschallbeaufschlagten Wasserbehälter in einer Stunde vollständig dekontaminiert.

Bei BR-3 werden leichte Kontaminationen auf Böden usw. mit einer Seifenlösung dekontaminiert, welche "Dekontamin" heißt.

6.3 Prohibitiv-Verfahren

Als Beispiel für ein Vorsorgeverfahren zur Erleichterung (evtl. später einmal) erforderlicher Dekontamination sei die Anwendung von Schutzfarbe angeführt, mit welcher der Fußboden im Bereich potentieller Leckagestellen angestrichen wird, um ein Eindringen aktiver Flüssigkeiten in den Beton zu vermeiden.

Bei BR-3 in Mol bestand die Folge einer Kontamination des Flutraumes und dann auch des Lagerbeckens durch defekte Brennelemente darin, daß jedes Werkzeug und auch die Transportbehälter beim Eintauchen in das Wasser des Lagerbeckens kontaminiert und gezwungenermaßen nachher dekontaminiert werden mußten. Hierzu gab es in der Anlage von vorneherein nur eine sehr primitive Einrichtung.

Aus diesem Grunde versuchte man, eine Kunststoff-Schutzschicht auf Behälter und Werkzeuge pp. aufzutragen, welche man nach dem Eintauchen in das kontaminierte Wasser des Beckens wieder abziehen kann.

Man bestrich dann später die Wände des Flutraumes vollständig mit einem abziehbaren Kunststoff-Auftrag, so daß man nach dem Ablassen des Flutwassers den kontaminierten Farbanstrich abziehen und damit das Becken an und für sich sauber halten kann.

Es scheint empfehlenswert, in dieser Hinsicht, eingehendere Untersuchungen anzustrengen.

Bei AVR in Jülich besprüht man Labortische, Gestelle, evtl. auch Bodenflächen mit einem Wachs, das man nach einer Kontamination zusammen mit dieser ablöst.

Die Labortische werden in Mol vor dem Arbeiten mit Aktivitäten mit einer Plastikfolie ausgelegt. Auf die Folie wird Saugpapier gelegt; beides wird nachher verbrannt.

7. ANLAGENTECHNISCHE KONZEPTION
=====

Die Kombinations- oder Anlagentechnik faßt bekanntlich die Einzelelemente einer Anlage zu einem geschlossenen Ganzen zusammen, so daß die der Anlage gestellte Aufgabe in dem erforderlichen Ausmaß erfüllt werden kann. Sie bestimmt also die anlagentechnische Konzeption eines Kernkraftwerkes. Der Anlagentechniker muß die Belange der Einzeldisziplinen der Spezialtechnik und die Verfahrenstechnik so gegeneinander abwägen und miteinander koordinieren, daß aus der Kombination der Einzelelemente und durch die zeitliche Koordination aller Arbeiten in kürzester Bauzeit ein optimales, einheitliches Ganzes entsteht. Der Spezialtechniker fällt nach der "Lehre vom Kraftwerksbau" *) demgegenüber die Aufgabe zu, Art und Ausführung der einzelnen Anlagenelemente, z. B. Reaktor, Brennelemente, Hilfsanlagen, Regelung, Apparate, Maschinen, Rohrleitungen, Transformatoren, Schaltanlagen, Kabel usw. zu bestimmen.

Die grundsätzliche Konzeption der zukünftigen LWR-Kernkraftwerke liegt heute weitgehend fest. Sie unterscheidet sich je nach Reaktortyp (DWR, SWR) und Herstellerfirmen für das nukleare Dampferzeugersystem mehr oder weniger stark. Die Untersuchungen im Rahmen der Studie sollten weniger die Grundsatzkonzeption jener Firmen betreffen als vielmehr zweckmäßige Vorschläge bzw. Empfehlungen für die davon abgeleiteten Einzelaspekte vermitteln.

In diesem Sinne sind die folgenden Ausführungen und Empfehlungen dieses Abschnitts aufzufassen.

*) Siehe z. B.

K. Schröder u.a. : "Große Dampfkraftwerke", Bde 2, 3a und 3b, Berlin, Springer.

L. Musil : "Die Gesamtplanung von Dampfkraftwerken", Wien 1949.

K.R. Schmidt : "Nutzenergie aus Atomkernen", 2 Bde., Berlin 1959/60.

Grundsätzliches

Bei der (Detail-)Planung einer Anlage darf nicht nur an einen störungsfreien Betrieb, sondern muß auch an die Möglichkeit der Demontage und Remontage größerer Anlageteile im heißen Bereich gedacht werden. Dazu sind alle Räume - relativ ohne Rücksicht auf die entstehenden baulichen Mehrkosten - ausreichend groß zu bemessen. Insbesondere ist auf eine gute und schnelle Zugänglichkeit wichtiger Teile zu achten.

Die besseren Aus- und Einbaumöglichkeiten von Anlageteilen vermindern nicht nur die Strahlungsbelastung der Reparaturmannschaften, sondern verkürzen auch - wie bereits ausgeführt - durch geringere Reparaturdauer die Stillstände der Anlage, wodurch wiederum die Verfügbarkeit und damit die Rentabilität des Kraftwerkes verbessert wird. (Siehe 1.3).

Im Einzelnen wird empfohlen :

In den Ausschreibungs-Spezifikationen der Bauherren sollten entsprechende Anforderungen (siehe 1.5) gestellt werden, so daß nicht derjenige Anbieter billiger wird und bei der Ausschreibung günstiger abschneidet, der die Anlage reparaturunfreundlicher gestalten würde, weil er z. B. weniger Raum für Reparaturen und/oder weniger Zwischenabschirmungen etc. vorsieht, oder weil er seine Angebotskosten durch eine einfachere Bauweise und durch weniger Ausstattungskomfort reduziert.

Die Lage der einzelnen Anlagengebäude relativ zueinander erfordert sorgfältige Überlegungen, die sich bis zu einer arbeitgerechten Lageplanung für Büro-, Betriebs- und Sozialräume erstrecken sollten.

In zukünftigen Anlagen soll die Auslegung und Anordnung der Räume im nuklearen Bereich, die Zugänglichkeit zu den Komponenten und der Komponenten selbst noch mehr unter dem Aspekt überlegt werden, daß später evtl. Reparaturen, Wartungsarbeiten und Inspektionen unter Strahlenbelastung ausgeführt werden müssen.

Bei der Planung neuer Anlagen sind die Transportwege von den Montage- bzw. Reparaturstellen zu den Abstellplätzen, den Dekontaminationsein- und -vorrichtungen und den Werkstätten, insbesondere die Krantransportwege, mit besonderer Sorgfalt zu berücksichtigen. Hierzu sollten während der Planung nach jeder Konzeptionsänderung Transportweg-Analysen aufgestellt werden.

Es sollte angestrebt werden, daß möglichst viele der wichtigeren Komponenten austauschbar sind. Dies bezieht sich - neben den kleineren Teilen - auch auf Druckhalter, Dampferzeuger und evtl. sogar das Druckgefäß.

Der Problematik eines solchen Austausches muß man sich bewußt sein, denn der Abtransport zum Beispiel eines Druckgefäßes bereitet wegen der evtl. hohen Strahlung große Schwierigkeiten; auch die Lagerung darf nicht vergessen werden. Auf der anderen Seite bereitet eine Stilllegung eines Kraftwerkes einen vermutlich noch weit erheblicheren finanziellen Verlust.

Für die einzelnen Komponenten sollte eine Modell- bzw. Typenbeschränkung so weit wie möglich durchgeführt werden, um die Ersatzteilhaltung zu vereinfachen und um das Personal einfacher trainieren zu können.

Durch eine Verbesserung der Komponentenauswahl und durch geeignete Qualitätskontrollen können Ausfälle vermieden werden.

Es dürfen keinerlei konstruktive Änderungen an Komponenten einer Herstellerfirma gemacht werden, ohne daß die Konstruktion auf ihren Einsatzort genau abgestimmt ist (z. B. Anbringung der O-Ringe am unteren Teil des Flansches des Druckgefäß-Zwischenringes im BR-3). Nach einer Änderung müssen genaue Verbesserungen bzw. Ergänzungen der Beschreibung und Zeichnungen vorgenommen werden. (Dokumentation, s. Kapitel 7.5).

In mehreren Anlagen wurde festgestellt, daß schon bei der ersten Konzeption und dann weiterhin bei der gesamten Planung der Anlage in starkem Maße Rücksicht auf die evtl. im Betrieb auftretenden hohen Strahlungen bei einzelnen Komponenten Rücksicht genommen werden muß.

Hierzu gehören genügend Raum und eine sinnvolle räumliche Unterteilung, eine optimale Auslegung der Komponenten-Positionierung sowie der Rohrleitungs- und der Kabelverbindungen, eine ausreichende Vorsorge für Inspektion, Wartung, Reparatur und Wiederholungsprüfungen sowie für die normale Bedienung während des Betriebes.

Leitungen, welche hochaktive Medien transportieren (könnten), dürfen grundsätzlich nicht ohne Abschirmung verlaufen, insbesondere nicht in Gängen.

Solche Leitungen sollten während der Kraftwerksplanung evtl. mit Hilfe von Modellen geplant und immer wieder daraufhin kontrolliert werden, daß Leitungsführung, Leitungslängen, Anbringung der Ventile und die Zugänglichkeit sowie die Abschirmungen optimal festgelegt sind.

7.2 Einzel-Erfahrungen aus den Anlagen

Im folgenden sollten - beispielhaft zu werten - einige Einzelheiten aus verschiedenen Anlagen aufgeführt werden, um das seitens der Anlagentechnik zu betrachtende Spektrum zu beleuchten; Schlüsse und Folgerungen liegen auf der Hand, so daß sich expressis-verbis-Empfehlungen hier erübrigen.

In einer Anlage bemängelte man die Unterbringung von Nachkühlern, Nachkühlpumpen und aller Hilfsysteme hierfür - einschließlich Armaturen und Rohrleitungen - in einem kleinen Raum, in welchem naturgemäß eine hohe diffuse Strahlung herrscht.

Um Arbeiten an den Ventilen auszuführen, muß das Personal in einer anderen Anlage jeweils an dem neben dem Eingang stehenden Filter vorbeigehen und wird dabei relativ stark bestrahlt.

Die Verfestigungsanlage verarbeitet u. a. Harze, welche eine Strahlung bis zu 200 R/h aussenden. Der Raum, in welchem der Verdampfer steht, ist zwar abgeschirmt, jedoch befinden sich Ventile im Raum, die gewartet werden müssen.

Ähnlich steht es mit den Ionenaustauschern der Reinigungsanlage, in deren Nähe Armaturen stehen, welche gewartet werden müssen. Man baute daher nachträglich eine Zwischenwand aus Blei-Setzsteinen zwischen den Armaturen und den Behältern auf.

In einer anderen Anlage verursachten Arbeiten an den Dichtungen der Umwälzpumpen - infolge einer reparatur- und wartungsunfreundlichen Konstruktion - relativ sehr hohe Dosisbelastungen und Aufwände.

In der gleichen Anlage war die Reparatur der Wärmetauscher in der Primär-Reinigungsanlage infolge starker Kontamination durch die hochaktiven Korrosionsprodukte im Reaktorwasser sehr schwierig.

In einer weiteren Anlage ergaben sich Schwierigkeiten mit dem Entspannungsgefäß in der Primärreinigungsanlage, in welchem die Zugabe von Wasserstoff stattfindet, und das als Vorratsbehälter für Verlustwasser dient. In direktem Kontakt mit der Oberfläche dieses Apparates wurden Strahlungen bis zu 180 R pro Stunde gemessen. In diesem Gefäß, in welchem das Primärmedium entspannt wird, findet auch eine Ansammlung von Edelgas-Spaltprodukten statt. In dem Raum, in welchem das Gefäß steht, wurde eine Umgebungsstrahlung bis zu 3 R pro Stunde gemessen *). Der Raum befindet sich außerhalb des Sicherheitsbehälters in einem Keller, der dann mit Setzsteinen aus Beton zugemauert wurde. Der Füllstandsanzeiger wurde außerhalb des Raumes angebracht. Danach bestand die Schwierigkeit der Nichtzugänglichkeit. Reparatur und Wartung wurden bisher noch nicht erforderlich.

Ein weiteres Problem ergab sich in dieser Anlage durch die Konstruktion des Probenahmeraumes, in welchem sämtliche (ca. 10) Primärkreis-Probenahmestellen für die Chemie zusammengefaßt sind.

Die Probenahmen waren offen, also nicht durch eine Box abgeschlossen. Die Aktivität des Mediums betrug während der Probenahmen in dem Betriebsabschnitt mit BE-Schäden ca. 200 Ci/m^3 . Nachträglich wurden durch den Betrieb weitgehende Änderungen vorgenommen; u. a. wurden die Probenahmeventile fernbedienbar hinter Wände gesetzt, desgleichen die Durchflußmesser und die Kühler. Die Probenahmen werden seither in abgesaugten Handschuhboxen vorgenommen.

*) Siehe Bericht P. Gubel : "Health Physics Aspects of the Exploitation and Defueling of BR-3 - 2 bis with Contaminated Primary Circuit", Institute for Hygiene and Epidemiology, Brussels, 1971.

7.3 Komponenten-Anbringung und -Konzentration

Im Hinblick auf eventuell zu erwartende Reparatur-, Wartungs- und Inspektionserfordernisse wurde in praktisch allen Anlagen auf die Notwendigkeit entsprechender räumlicher Bewegungs- und Arbeitsmöglichkeiten hingewiesen. Aus den in den Anlagen vorliegenden Erfahrungen resultieren folgende Empfehlungen:

Nicht zu knapp bemessene Raumgrößen sowie eine generell großzügige Raumaufteilung - u. a. zum Beispiel in der Reaktorwasserreinigungsanlage oder im Steuerstabantriebsraum - erleichtert Inspektions-, Wartungs- und Reparaturarbeiten erheblich. Die Strahlendosen bei Arbeiten werden herabgesetzt.

Wichtige Komponenten des Primärkreises sollten in getrennten Räumen, bzw. Zellen - oder zumindest abgeschirmt voneinander - aufgestellt sein. Zwischen einzelnen hochaktiven Teilen sollte ein gewisser Mindestabstand für eine eventuelle Hilfsabschirmung und als Bewegungsraum eingehalten werden.

In einem Raum, in dem sich Primärkreiskomponenten befinden, welche inspiziert und gewartet werden müssen, oder an welchen Reparaturen zu erwarten sind, dürfen auf keinen Fall weitere, radioaktiv strahlende Komponenten eingebaut sein, ohne daß diese gegeneinander abgeschirmt sind.

Selbst z. B. Geräte, aus denen Teile nur herausgezogen und Ersatzteile wieder eingesteckt werden, können - in Strahlungszonen befindlich - höhere Strahlenbelastungen verursachen.

In keinem Raum sollten mehrere Wände mit primärmediumführenden Rohrleitungen, Apparaten und/oder Armaturen pp. belegt werden, damit das an

irgendeiner Stelle des Raumes arbeitende Personal nicht von mehreren Stellen bzw. Seiten Strahlung erhält. Das Einbringen von Hilfsabschirmungen bietet zwar bei hinreichend großen Räumen gegebenenfalls eine nachträglich Vorsorgemöglichkeit, ist jedoch (fast) stets mit einer radioaktiven Exposition verbunden.

In mehreren der in die Untersuchung einbegriffenen Anlagen befinden sich - zudem relativ kleine - Räume mit bis zu einigen hundert Primärkreislauf-Armaturen etc.; derartige Konzentrationen sind unter allen Umständen zu vermeiden.

In einer Anlage standen zusätzlich auch noch die Primärwasserfilter sowie stark strahlende Rohrleitungen unabgeschirmt nebeneinander. Die Strahlung an den Filtern betrug ca. 30 bis 50 R/h.

Vielleicht sollte man anstreben, daß diejenigen Armaturen, die jeweils zu einem Teilsystem gehören (maximal 10 bis 15) je in einem Raum - evtl. mit Zwischenabschirmungen - zusammengefaßt werden, und zwar so, daß der Bedienungsflur möglichst strahlenfrei gehalten wird.

Teilweise könnte man auch Schienen-Bahnen vorsehen, längs denen Abschirmvorrichtungen verfahren und so vor oder zwischen stark strahlende Teile gebracht werden könnten, um diese abzuschirmen.

Eine Abschirmung zwischen und vor allen einzelnen Armaturen dürfte sich nicht generell empfehlen.

Als weitere Mängelpunkte wurde in verschiedenen Anlagen die unpraktische Anbringung zu wartender Teile angeführt. In einer Anlage liegen zum Beispiel direkt

neben dem Druckhalter die Hauptventile mit ihren Stellmotoren, Positionsgebern und Endschaltern, zum Teil nur wenig über dem Boden.

Es wird empfohlen, die zu wartenden Teile in der richtigen Höhe anzubringen und auf schnelle Zugänglichkeit zu achten. Derartige Teile müssen außerdem so angebracht sein, daß das Wartungspersonal nicht an anderen stark strahlenden Teilen vorbei muß, um z. B. einen Endschalter zu kontrollieren. In einer Anlage muß man, um an den Druckhalter zu gelangen, durch einen Strahlenbereich mit 3 bis 5 R/h hindurchgehen. Eine Tür an der richtigen Stelle würde in einem solchen Falle die Bestrahlung stark herabsetzen.

Verbesserungswürdig ist die Konstruktion der Schleusen. In einer Anlage werden die drei vorhandenen Tore von Hand bedient. Jedes Tor muß dicht geschlossen werden, bevor das nächste aufgeht. Diese Technik ist bei der Personen- und der Materialschleuse gleich. Durch diese Schleusen würde die Ausschleusezeit im Alarmfall ca. 3 min. betragen. Eine Telefonverbindung aus der Schleuse ist vorzusehen !

Die Schleusentore des Sicherheitsbehälters sollten in der Ruhestellung nach Innen hin offengehalten werden, um im Notfall dem Personal einen schnellen Fluchtweg zu ermöglichen. Die Bedienung der Schleusen, besonders die der Notschleusen, sollte so einfach wie möglich sein.

Alle Hilfsaggregate, wie Antriebe, Lüftungen, Ölversorgungspumpen, Schalter usw. sollten nach Möglichkeit aus strahlenbelasteten Räumen verbannt und an begehbare Orte gelegt werden.

7.4 Zur Werkstattfrage

Die besonderen Verhältnisse bei der Reparatur und Bearbeitung von kontaminierten Teilen zwingen grundsätzlich zur Errichtung einer "heißen" Werkstatt im Kontrollbereich - neben einer "kalten" Werkstatt außerhalb desselben.

Nach den aus fast allen Anlagen vorliegenden Erfahrungen sollte die heiße Werkstatt im Minimum etwa 50 m² Bodenfläche umfassen, an die Lüftungsanlage angeschlossen sein und mindestens z. B. folgende Ausrüstung erhalten :

- 1 Drehbank mittlerer Größe
- 1 Bohrmaschine
- 1 Schleifbock
- 1 Absauggerät
- 1 Werkbank mit 2 Schraubstöcken
- 3 bis 5 fahrbare Werkbänke zur Verwendung an beliebigen Stellen des Kontrollbereiches
- einige Regale und Schränke für Werkzeuge und Vorrichtungen.

Nach den Erfahrungen einiger Betriebe sollte die aktive Werkstatt in je einen Bereich für mechanische, elektrotechnische und elektronische (Messinstrument-)Reparaturen unterteilt sein.

Nicht nur die Einrichtung und die Unterteilung sondern auch die Lage und die Umgebung der heißen Werkstatt in Bezug auf die übrigen Gebäude und Gebäudeteile ist von Wichtigkeit. Eine heiße Werkstatt, die weit entfernt von den Stellen liegt, wo die meisten Reparaturen anfallen, bedingt weite Wege, umständliche Transporte und eine erschwerte Überwachung durch den Strahlenschutz. Außerdem ist es günstig, wenn sie direkt mit einem Dekontamiererraum und einem Zwischenlagerplatz verbunden ist. Die Bedeutung des Dekontamiererraumes für

die heiße Werkstatt ist klar. Der Zwischenlagerplatz hat die Aufgabe, die während eines Reparaturstillstandes in großer Zahl aus dem Reaktorgebäude kommenden Bauteile, Armaturen, Rohrleitungsstücke etc. aufzunehmen, bis sie - meistens nach Wiederanfahren des Kraftwerks - in Ruhe einer weiteren Bearbeitung zugeführt werden können.

7.5 Anlagen-Dokumentation

Immer wieder und in praktisch allen Anlagen zeigte es sich - besonders bei schwierigen Arbeiten in Bereichen mit hoher Strahlung -, daß die Ausführung der Systeme und Apparate sowie Leitungsverlegung, Bauausführung und elektrische Schaltungen pp. den vom Hersteller gelieferten Plänen und Zeichnungen etc. nicht entsprachen. Derartige Dokumentationsfehler müssen unbedingt vermieden werden, auch wenn für die Revision der Zeichnungen und Unterlagen sehr hohe Kosten entstehen; der Mehraufwand an Arbeitszeit in Strahlungsbereichen zur Fehlersuche ist in allen Fällen größer als eine laufende Revision aller Zeichnungen, Pläne und Einstelltabelle usw.

Es ist daher zu empfehlen :

Alle Zeichnungen, Dokumentationen und Spezifikationen sollten (möglichst weitgehend) schon vor der Inbetriebnahme der Anlage korrigiert werden. Auch Geräte- und Einzeldaten sind festzuhalten einschließlich zum Beispiel

- Eichwerte und -kurven sowie Kenndaten von Meßblenden und anderen Vorrichtungen
- Bühnen- und Raumbelastbarkeiten
- Angaben über Prüfgeräte und Prüfanweisungen
- Montage- und Reparaturanweisungen für alle einzelnen Komponenten in der Form von "Sprengzeichnungen" mit Werkzeugangaben etc.

Mit der Bestellung von Teilen durch eine Zulieferfirma oder einen Architekt-Ingenieur sollten zugleich alle Spezifikationen und Zeichnungen an den Bauherrn (Baustelle) gehen.

Vor der Inbetriebnahme sollte eine Photo-Dokumentation aller wichtigen, während des Betriebs schwer zugänglichen Bereiche der Anlage - einschließlich Detailansichten - vorgenommen werden. Eine solche hilft bei späteren Arbeitsplanungen für Reparaturen etc. außerordentlich. Demgegenüber dürfte der Arbeitsaufwand für die Photo-Dokumentation relativ gering sein, (vielleicht 3 Mann ca. 3 Wochen).

Von stark aktiven Teilen, zum Beispiel Dampferzeuger-Wasserkammern, Steuerstabantrieben unter dem Reaktor sollten von vorneherein Modelle im Maßstab 1 : 1 erstellt werden, um eventuell spätere Arbeiten an diesen Stellen einüben und vor Ort dann schneller durchführen zu können.

Von einzelnen Räumen sollten ggf. originalgetreue Modelle im Maßstab 1 : 10 bis 1 : 20 angefertigt werden.

Von allen durchgeführten Arbeiten größeren Umfangs oder größerer Kompliziertheit sollten nicht nur exakte Aufzeichnungen sondern auch Filmaufnahmen (ggf. mit Fernsehkameras) gemacht werden, um so das Personal bei späteren ähnlichen Arbeiten - auch in anderen Anlagen - leichter und besser einweisen zu können.

Eine durchdachte Beschriftung und Kennzeichnung in der gesamten Anlage hilft dem Personal, bestimmte Leitungen, Armaturen oder Apparate schnell und sicher zu finden.

Ergänzungen zum Sicherheitsbericht sind nicht zu empfehlen, da bei mehrmaligen Ergänzungen - womöglich in verschiedenen Sprachen - eine schnelle und sichere Information sehr erschwert wird. Jede Änderung sollte eine verbesserte Neuauflage, zumindest der entsprechenden Seiten oder Abschnitte, auslösen.

Das Gleiche gilt für die Betriebshandbücher (Betriebsanleitungen), deren erste Entwürfe den Betreibern schon vor der Inbetriebnahme - spätestens nach Abschluß des Warmbetriebes - zur Verfügung gestellt werden sollten. Der zweite berichtigte Entwurf sollte vor dem Beginn des Probetriebes übergeben werden. Der letzte, vom Bauherrn - jedoch unabhängig von den Herstellern - eingehend zu überprüfende Entwurf sollte kurz darauf folgen.

Die Dokumentation mit Hilfe von Daten-Verarbeitungsanlagen (DVA) ist so weit entwickelt, daß ihre Anwendung in Kraftwerken zu empfehlen ist.

8. BETRIEB
=====

Zum Kontrollbereich von Kernkraftanlagen hat normalerweise nur das Stammpersonal, - u.a. der Schicht, der Werkstatt, des Strahlenschutzes usw. sowie das Aufsichtspersonal - Zutritt. Alle diese Personen sind für ihren Einsatz in ihrer eigenen Anlage spezialisiert und können daher jeweils nur schwer ersetzt werden, falls sie z.B. durch eine zu große Strahlenbelastung an ihrem weiteren Einsatz im Strahlenbereich gehindert werden.

Um die Strahlenbelastung dieses Stammpersonals so gering wie möglich zu halten, wurden in den vorangegangenen Kapiteln 2 bis 7 konstruktions- und verfahrenstechnische Wege vorgeschlagen.

Im Folgenden soll speziell auf organisatorische Maßnahmen sowie auf Hilfsmittel zur Fernüberwachung der Anlage und von Arbeiten eingegangen werden.

8.1 Personal-Organisation

In den in die Untersuchungen einbegriffenen Anlagen bestehen 5 Schichten, welche im 3-Schicht-Wechselbetrieb durchschnittlich je 8 Stunden arbeiten. Einige Anlagen halten darüber hinaus für Ferienzeiten und für besondere Fälle Reserve-schichten bereit.

Folgende grundsätzliche Empfehlungen entsprechen den Erfahrungen aller Anlagen:

Das Betriebspersonal von Kernkraftanlagen sollte bei der Planung und Ausführung der Anlage so früh wie irgend möglich eingeschaltet werden.

Damit das Betriebs-Fachpersonal für unerwartete wichtige Arbeiten in aktiven Bereichen möglichst verfügbar bleibt, sollten für abnormale Reparatur- und Wartungsarbeiten tunlichst Fremdkräfte eingesetzt werden.

Der Wechsel von Angehörigen des Betriebspersonals in einem Kernkraftwerk muß so vorbereitet werden, daß das neu eintretende Personal eine ausreichende Arbeits-Anleitung durch das alte Personal erhält.

Unerfahrene Hilfskräfte und Leihpersonal sollten für schwierige Tätigkeiten technisch und strahlenschutzmäßig genau unterrichtet und eingearbeitet werden. Hilfsmittel hierzu können TV- und Filmaufzeichnungen, Fotos, Modelle usw. sein.

Das Wartungs- und Reparaturpersonal, insbesondere auch das Leihpersonal, hat sich in vielen Fällen als sehr einsatzfreudig erwiesen. In einigen Fällen waren Personen sogar auf den Vermerk einer hohen Strahlendosis in ihrer Kartei stolz. Es sei nochmals angeführt, daß in keinem bekannt gewordenen Falle die gesetzlich zugelassene Dosis-Höchstgrenze bei Arbeiten in Strahlenbereichen überschritten wurde.

Trotzdem sollten insbesondere auch die Strahlenschutzabteilungen in der Zukunft noch stärker als bisher darüber wachen, daß - neben der Anwendung geeigneter technischer Hilfsmittel - die Strahlenschutzbelehrung, Einsatzplanung und Arbeitsvorbereitung einschließlich der Vorbereitung des Arbeitsortes auf eine Reduzierung der Strahlenbelastung des Personals ausgerichtet wird.

In diesem Zusammenhang sei auch nochmals auf die Notwendigkeit hingewiesen, daß der Erfahrungsaustausch gerade zwischen den Strahlenschutz-Sachverständigen der Anlagen untereinander, sowie mit den Anlagen-Herstellern von großer Bedeutung für den Entwurf und den Betrieb zukünftiger Anlagen sein wird.

Bei einem Vergleich der in den einzelnen Anlagen vorliegenden Erfahrungen hinsichtlich der Arbeiten im Strahlenbereich hat es sich gezeigt, daß die Aufschreibungen über die Zugehörigkeit von Einsatzort, Arbeitsort und Strahlendosis noch nicht überall mit der größtmöglichen Genauigkeit durchgeführt werden.

Außerdem liegen bei der Verwendung von Filmplaketten zur offiziellen Dosismessung große Zeitspannen zwischen dem Einsatz und der Dosisbestimmung einer Person.

Es wird empfohlen, das "amtliche" Dosis-Meßverfahren von Filmdosimetern auf Festkörperdosimeter umzustellen und die Dosis-Registrierung zu vervollkommen (evtl. DVA).

Wegen weiterer Ausführungen hierzu sei auf Abschnitt 5 (Strahlenschutz) verwiesen.

8.2 Inspektionen und Wiederholungsprüfungen

8.2.1 Routine-Begehungen

In allen Anlagen führt das Betriebspersonal 1 x pro Tag, zu- meist sogar 1 x pro Schicht eine Kontrollbegehung der Anlage aus, die auch durch Strahlenbereiche führt. Diese Kontrollgänge haben sich im konventionellen Kraftwerksbetrieb bewährt und dienen - neben dem ständigen Kontakt zwischen Personal und Anlage - der optischen Lecksuche (Sicht-Kontrolle), der Geräuschkontrolle sowie der Instrumentenüberwachung.

Die sich durch diese Rundgänge akkumulierenden Personendosen sind nicht gering. So ergaben sich zum Beispiel durch Rundgänge folgende Belastungen:

Anlage	Begehungen	Zahl der Personen	Dosen pro Mann	
			je Gang mrem	je Jahr rem
Beznau	je Schicht 14-tägig	2 2	10 100	1,0
BR-3	wöchentlich	2	50	2,5
Chooz	wöchentlich	2	40	1,8
Garigliano	je Schicht	2	30	1,0
KRB	täglich	2	50	2,3
KWO	je Schicht	2	24	1,0

In diesen Anlagen entsteht nach eigenen Angaben und allein durch Rundgänge eine jährliche Strahlenbelastung des Schichtpersonals zwischen 1 und 2,5 rem pro Person. Mit Hilfe des unter Ziffer 5.3 (Überwachung und Fortschreibung der Personaldosen) empfohlenen Strahlenpegel-Meßgerätes konnte in einer Anlage die bei Routinegängen vom Schichtpersonal empfangene Dosis halbiert werden.

Durch eine geeignete Fernüberwachung könnten die Inspektionsgeräte in der Zukunft eingeschränkt werden, z.B. durch das Anbringen von Mikrofonen an verschiedenen Pumpen, Behältern, Rohrleitungen, Armaturen usw. oder durch die vermehrte Installation von Instrumenten und Fernsehkameras zur Beobachtung z.B. der Steuerstabantriebs-einrichtungen, von Instrumenten, Armaturen usw.

Bei der Geräuschüberwachung durch Mikrophone ist darauf zu achten, daß diese Geräte den allgemeinen Geräuschpegel (z.B. durch die Lüftungsanlage bedingt) nur schwach wiedergeben. Es sollten deshalb Untersuchungen durchgeführt werden, bei welchen die Wirksamkeit von Spezial-

| mikrofonen (z.B. Richtmikrophone) geprüft wird.

| Schon bei der Planung zukünftiger Anlagen sollte auf die Installation von Fernsehkameras Rücksicht genommen werden. Die Aufnahmegeräte sollten einen Standplatz erhalten, von dem aus ein möglichst großer Bereich wichtiger Anlagenteile zu übersehen ist. Überwachungsinstrumente sollten in diesem Sichtbereich angeordnet sein. Die Kameras sollten evtl. durch Fernbedienung drehbar und fokussierbar (Gummilinse) sein.

Auf den allgemeinen Einfluß von Abschirmungsmaßnahmen sowie der Anordnung der Komponenten und Systeme auf die Strahlenbelastung des Personals bei Rundgängen wurde bereits an anderer Stelle eingegangen.

8.2.2 Wiederholungsprüfungen

Wesentlich mehr Probleme als die täglichen Routine-Rundgänge bereitet die periodische Inspektion von Anlagenteilen, da hierbei eingehendere Prüfungen (Ultraschall-, Röntgenprüfungen von Schweißnähten..) durchgeführt werden, bei denen das Personal im Bereich hoher Strahlung z.B. mit großen Strahldosen belastet wird.

Falls nicht besondere Störfälle ein früheres Eingreifen erforderlich machen, verlegt man diese periodischen Groß-Inspektionen in die Zeit des Brennstoffwechsels.

Periodische Prüfungen sind teils von den Sicherheitsbehörden vorgeschrieben, ergeben sich aber auch aus betrieblichen Gründen an komplizierten Teilen (wie z.B. an den Dichtungen und Lagern der Hauptkühlmittelpumpen) sowie aus dem Sicherheitsbewußtsein der Betriebe heraus.

Die für nukleare Anlagen gleichen Typs geltenden Richtlinien für Inspektionen und Wiederholungsprüfungen sollten in möglichst vielen Ländern einheitlich und so eindeutig abgefaßt sein, daß schon bei der Konstruktion von Anlagenteilen sowie bei dem Entwurf des Anlagenkonzeptes auf die während des späteren Betriebes notwendigen Prüfungen Rücksicht genommen werden kann. Zu erstreben ist eine Reduzierung der Prüfungshäufigkeit bzw. -notwendigkeit sowie die Verbesserung der Zugänglichkeit und der Prüfungseinrichtungen.

Vorstudien über jeden der auszuführenden Arbeitsschritte sind notwendig, um die Strahlenexposition vor Ort zu verringern.

Eine Reduzierung der Prüfungshäufigkeit könnte durch eine geeignete Fernüberwachung der Komponenten erreicht werden. Es könnte z.B. der Prüfungsrhythmus insofern geändert werden, als man diesen von Abnormitäten in der Anzeige einer installierten Fernüberwachung, von Schwingungen oder Eigenresonanzen in einzelnen Komponenten, abhängig macht. Eine Wiederholungsprüfung würde also nur dann notwendig sein, wenn durch bestimmte Messungen ein Anzeichen für das Vorhandensein einer Veränderung im Material oder im System gegeben wird.

Um die praktische Anwendbarkeit dieser Methode überprüfen zu können, ist es notwendig, den Zusammenhang zwischen mechanischen Fehlern (Risse, Brüche ...) und den Änderungen des Schwingungsbildes eines Bauteiles (Behälter, Rohrleitung usw.) durch diese Fehler zu untersuchen.

Die Fernüberwachung von Wellenschwingungen (Pumpen, Motoren, Turbinen) hat sich bereits in vielen Anlagen ebenso bewährt, wie die Fernüberwachung von Leckagen durch Temperatur- oder Aerosolmessung.

Wiederholungsprüfungen in Zonen hoher Aktivität an Komponenten kleiner bis mittlerer Größe sollten dadurch vermieden werden, daß solche Komponenten routinemäßig ausgebaut und durch Reserveteile ersetzt werden. Die Überprüfung kann dann in der heißen Werkstatt vorgenommen werden.

Die Personendosis bei den Wiederholungsprüfungen z.B. am Reaktor-Druckgefäß oder an den Dampferzeugern kann durch eine Verwendung geeigneter Vorrichtungen und Prüfungseinrichtungen sowie durch eine gute Organisation der Arbeiten (Arbeitsplanung, Fremdpersonal-Einsatzplanung, Arbeitsvorbereitung) auf ein Mindestmaß reduziert werden.

In einer Anlage (Dodewaard) hat man bei den Prüfungen im Druckgefäß die Erkenntnis gewonnen, daß der Einsatz einer Arbeitsbühne, welche auf den Gefäß-Flansch montiert wird, eine Erleichterung der Arbeiten und eine Verringerung der Strahlungsdosen bringt. Die Bühne wird einen Boden aus 3 cm starkem Blei besitzen und die Strahlung aus dem geöffneten Druckgefäß im Arbeitsbereich von ca. 1 R/h auf 50 mR/h herabsetzen.

Empfehlenswert ist auch ein mit Blei abgeschirmter und mit einem Fenster versehener Inspektionskäfig, in welchem ein Inspektor z.B. in das Druckgefäß hinabgelassen werden kann.

In mehreren Anlagen ist man dazu übergegangen, die Bolzen zum Verschließen des Druckgefäßdeckels vor dem Öffnen des Reaktors zu prüfen, um dadurch die Bestrahlung bei der Prüfung zu vermindern. Die Strahlenleistung betrug in einer Anlage in der Umgebung des geschlossenen Druckgefäßdeckels immerhin ca. 300 mR/h. Eine fernbedienbare Prüfeinrichtung wäre hier von Nutzen.

In einer weiteren Anlage wurde die Inneninspektion der Schweißnähte in Druckhalter und Dampferzeuger mit Hilfe einer Kamera und einem Spiegelsystem von außen durchgeführt.

Im Inneren des Druckbehälters war - nach vorangegangener Dekontamination - eine Strahlung von 30 R/h gemessen worden.

Mittels einer Vorrichtung, an welcher Beleuchtung und Spiegel befestigt waren, und welche durch einen geöffneten Stutzen in den Apparat eingeführt wurde, konnten mit einer Kamera von aussen Bilder sehr guter Qualität gemacht werden.

Erschwerend wirkte bei vielen Inspektions- und Prüfarbeiten an Behältern, Rohrleitungen und Armaturen auch, daß die Isolierung fest verlegt, d.h. angeschraubt oder gewickelt war. Die Abisolierung strahlender Leitungen erforderte viel Zeit und setzte die arbeitenden Leute bereits hohen Strahlungsbelastungen aus, bevor die eigentliche Reparatur begann. Inzwischen ist man in allen Anlagen auf schnell abnehmbare Isolierungen, und zwar Halbschalen mit Schnappverschlüssen an den wichtigen Stellen, übergegangen; für Abnahme und Anbringen wird nur noch ein Bruchteil der bisherigen Arbeitszeit benötigt.

Isolierungen an solchen Stellen, welche periodisch inspiziert werden müssen, sollten schnell abnehmbar bzw. montierbar sein.

Weitere Empfehlungen seien hier noch einmal zusammengestellt:

Genauere Arbeitsplanung und -vorbereitung sowie Übung an inaktiven Modellen verkürzen den Aufenthalt des Personals im Strahlenbereich.

Das praktische Üben der wirklich auszuführenden Arbeiten an inaktiven Modellen sollte unter Anwendung der wahrheitsgetreuen Arbeitsmethoden und Schutzmaßnahmen sowie Werkzeuge stattfinden.

Fernbedienungs-Inspektionswerkzeuge sollten unter den Kraftwerken ausgetauscht werden.

Durch ausreichende Ausstattung eines Betriebes mit Reserveteilen können Arbeitszeiten an kontaminierten Teilen in Bereichen hoher Strahlung verkürzt werden.

Trennbare Rohr- und Leitungsverbindungen sollten einfach und schnell zu demontieren und remontieren sein (z.B. Grayloc-Patentverschluß).

Pumpen, Armaturen und Rohrleitungen, welche Primärwasser - also evtl. aktives Medium - führen, müssen von vornherein so abgeschirmt sein, daß man ohne besondere Vorbereitungen an ihnen Prüfungen vornehmen kann. Die Zugänglichkeit zu den Komponenten muß vor dem Bau des Kraftwerkes durchdacht sein. Auch Transportanalysen für den Aus- und Einbau schwerer Komponenten sollten während der Planung durchgeführt werden.

Ein nachträgliches Anbringen von Abschirmungen ist nur dann sinnvoll, wenn dadurch die Strahlenbelastung bei Abschirmungsarbeiten und Inspektion geringer gehalten werden kann, als bei der Prüfung des betreffenden Anlageteils ohne Abschirmung.

Wiederholungs-Inspektionen in stark radioaktiven Behältern des Aufbereitungs- und Abwassersystems sollten nur mit Fernbedienungs-Werkzeugen und -Instrumenten durchgeführt werden.

Eine unkomplizierte Verständigungsmöglichkeit zwischen dem an irgendeinem Platz im Kontrollbereich arbeitenden Personal und der Hauptwarte muß durch Funk oder Telefon gewährleistet sein.

Hierzu können Geräte verwendet werden, welche über Einzel- oder Ringleitungen bzw. induktiv über das Arbeitsstromnetz angeschlossen werden. Tragbare Funkgeräte müssen entweder starke Sender besitzen, um das abschirmende Sicherheitsgefäß zu durchdringen, oder über Relaisstationen arbeiten.

9. SCHLUSSWORT

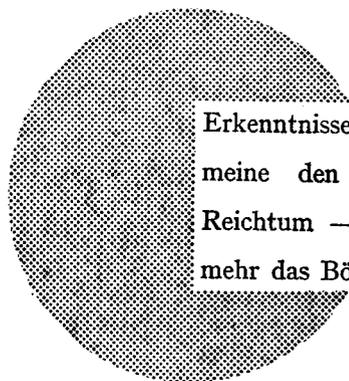
=====

Allen Institutionen, Betreibern und Firmen, welche uns bei der Durchführung der Untersuchungen unterstützt haben, sei an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt. Wir haben bei allen Befragungen eine große Bereitschaft zum Austausch der von den Einzelnen oft nur mühevoll erworbenen Erfahrungen gefunden und hoffen, daß die vorliegende Zusammenfassung der Erfahrungen dazu beitragen kann, daß alle Betroffenen den Nutzen des Erfahrungsaustausches noch besser erkennen und davon profitieren, als bisher.

AN UNSERE LESER

Alle von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten wissenschaftlichen und technischen Berichte werden in der Monatszeitschrift „euro-abstracts“ angezeigt. Abonnement (1 Jahr: BF 1 025,—) und Probehefte sind erhältlich bei:

**Amt für amtliche Veröffentlichungen
der Europäischen Gemeinschaften
Boîte postale 1003
Luxembourg**



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

VERTRIEBSSTELLEN

Alle von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Dokumente werden durch das Amt für amtliche Veröffentlichungen bei den unten angegebenen Adressen zu dem auf dem Umschlag angegebenen Preis verkauft. Bei schriftlicher Bestellung bitte die genaue Referenz und den Titel des Dokumentes deutlich angeben.

DEUTSCHLAND (BR)

Verlag Bundesanzeiger
5 Köln 1 — Postfach 108 006
Tel. (0221) 21 03 48
Fernschreiber: Anzeiger Bonn 08 882 595
Postscheckkonto 834 00 Köln

BELGIEN

Moniteur belge — Belgisch Staatsblad
Rue de Louvain 40-42 — Leuvenseweg 40-42
1000 Bruxelles — 1000 Brussel — Tel. 12 00 26
CCP 50-80 — Postgiro 50-80

Nebenstelle:
Librairie européenne — Europese Boekhandel
Rue de la Loi 244 — Wetstraat 244
1040 Bruxelles — 1040 Brussel

DÄNEMARK

J.H. Schultz — Boghandel
Møntergade 19
DK 1116 København K — Tel. 14 11 95

FRANKREICH

*Service de vente en France des publications
des Communautés européennes — Journal officiel*
26, rue Desaix — 75 732 Paris - Cédex 15^e
Tel. (1) 306 51 00 — CCP Paris 23-96

GROSSHERZOGTUM LUXEMBURG

*Amt für amtliche Veröffentlichungen
der Europäischen Gemeinschaften*
Boîte postale 1003 — Luxembourg
Tel. 4 79 41 — CCP 191-90
Compte courant bancaire: BIL 8-109/6003/200

IRLAND

Stationery Office — The Controller
Beggar's Bush
Dublin 4 — Tel. 6 54 01

ITALIEN

Libreria dello Stato
Piazza G. Verdi 10
00198 Roma — Tel. (6) 85 08
CCP 1/2640

NIEDERLANDE

Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf
Christoffel Plantijnstraat
's-Gravenhage — Tel. (070) 81 45 11
Postgiro 42 53 00

VEREINIGTES KÖNIGREICH

H.M. Stationery Office
P.O. Box 569
London S.E. 1 — Tel. 01-928 69 77, ext. 365

VEREINIGTE STAATEN VON AMERIKA

European Community Information Service
2100 M Street, N.W.
Suite 707
Washington, D.C., 20 037 — Tel. 296 51 31

SCHWEIZ

Librairie Payot
6, rue Grenus
1211 Genève — Tel. 31 89 50
CCP 12-236 Genève

SCHWEDEN

Librairie C.E. Fritze
2, Fredsgatan
Stockholm 16
Post Giro 193, Bank Giro 73/4015

SPANIEN

Libreria Mundi-Prensa
Castello 37
Madrid 1 — Tel. 275 51 31

ANDERE LÄNDER

*Amt für amtliche Veröffentlichungen
der Europäischen Gemeinschaften*
Boîte postale 1003 — Luxembourg
Tel. 4 79 41 — CCP 191-90
Compte courant bancaire: BIL 8-109/6003/200