

GKSS 83/E/55

Die Stilllegung des Kernenergiehandelsschiffes OTTO HAHN

J. Kröger, H. K. J. Lettnin, K. Schmidt
(GKSS, Institut für Anlagentechnik)

U. Birkhold, J. Obst
(Gg. Noell GmbH, Würzburg)

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH

Abt. Bibliothek/Betriebswesen

Postfach 1160 · D-2054 Geesthacht

BX4

A. Ex

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH
Geesthacht **1983**

Als Manuskript vervielfältigt.

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor.

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH
2054 Geesthacht · Max-Planck-Straße · Postfach 11 60 · Tel. (04152) 12-1

GKSS 83/E/55

Die Stilllegung des Kernenergiehandelsschiffes OTTO HAHN

J. Kröger, H.K.J. Lettnin, K. Schmidt, U. Birkhold, J. Obst

60 Seiten mit 7 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung

Mit dem NS OTTO HAHN ist zum ersten Mal in der Welt ein nukleares Handelsschiff entsorgt und zum ersten Mal in der Bundesrepublik Deutschland eine Leistungsreaktoranlage stillgelegt worden. Ausgehend vom vorhandenen technischen und radiologischen Zustand der Anlage wird das Stilllegungskonzept der totalen Beseitigung vorgestellt. Genehmigungs- und Freigabeverfahren einschließlich der angewendeten Meßverfahren und Meßgeräte werden beschrieben und die einzelnen Phasen der Stilllegungsarbeiten behandelt. Die gesamten Massen und Aktivitäten werden bilanziert und die Stilllegungsergebnisse diskutiert. Mit der Aufhebung des Kontrollbereichs und der Freigabe des Schiffes waren die Stilllegungsarbeiten im Juni 1982 abgeschlossen.

Abstract

With NS OTTO HAHN for the first time in the world a nuclear merchant ship and for the first time in FRG a nuclear power plant was decommissioned. Starting from the existing technical and radiological state of the plant the decommissioning concept is shown. Licensing and release procedures including the applied measuring techniques are described and the single phases of the decommissioning work are dealt with. The total masses and activities are balanced and the results of the decommissioning are discussed. With the suspension of the control area and the release of the ship the decommissioning work was finished in June 1982.

Manuskripteingang in der Redaktion: 29.8.1983

Inhaltsverzeichnis

<u>1. Einleitung</u>	7
<u>2. Ausgangsbasis der Stilllegung</u>	7
2.1 Beschreibung der Antriebsanlage	7
2.2 Radiologischer Ausgangszustand	9
<u>3. Stilllegungskonzept</u>	10
3.1 Festlegung des Konzeptes	10
3.2 Aufbauplanung	13
<u>4. Genehmigungsverfahren</u>	16
4.1 Stilllegungsgenehmigung	16
4.2 Transportgenehmigung	17
<u>5. Freigabeverfahren</u>	18
5.1 Grundlage des Freigabeverfahrens und Grenzwerte	18
5.2 Meßverfahren und Meßgeräte	20
<u>6. Durchführung der Stilllegung</u>	24
6.1 Ablauf der Stilllegungsarbeiten	24
6.2 Eingesetzte Werkzeuge	31
6.3 Dekontaminationsmaßnahmen	33
6.4 Verpackung und Transport	35
6.5 Arbeits- und Strahlenschutz	38
6.6 Aktivitätsbilanz	40
<u>7. Aufhebung des Kontrollbereichs</u>	44
<u>8. Abschließende Betrachtung</u>	46
<u>Referenzen</u>	49
Tabellen und Abbildungen	50

1. Einleitung

Mit dem Nuklearschiff (NS) OTTO HAHN wurde zum ersten Mal ein Handelsschiff mit Kernenergieantrieb stillgelegt. Nach über 10-jährigem erfolgreichen Betrieb wurde im Februar 1979 der Reaktor endgültig abgeschaltet. In seiner Betriebszeit hat das Schiff 131 Forschungs- und Ladereisen nach den verschiedensten Häfen in 22 Ländern der Welt durchgeführt und dabei ca. 650 000 sm zurückgelegt /1/.

Im Jahre 1978 wurde endgültig entschieden, NS OTTO HAHN aus wirtschaftlichen Überlegungen stillzulegen.

Bereits im Jahre 1977 waren Untersuchungen über einen geeigneten Stilllegungsrahmen durchgeführt worden. Nach Abwägung der verschiedenen Gesichtspunkte und Berücksichtigung der vorgegebenen Randbedingungen fiel die Entscheidung für die totale Beseitigung des nuklearen Teils der Antriebsanlage.

Nach einer Ausschreibung wurde noch Ende Dezember 1979 der Auftrag zur Stilllegung an die Firma Gg. Noell GmbH, Würzburg, vergeben. Der Auftragsumfang beinhaltet die Demontage der nuklearen Anlage, Verpacken der demontierten Komponenten in Container bzw. Fässer und Dekontamination der an Bord verbleibenden Anlagenteile und Komponenten mit dem Ziel, das Schiff einer konventionellen Weiterverwendung zuzuführen.

2. Ausgangsbasis der Stilllegung

2.1 Beschreibung der Antriebsanlage

NS OTTO HAHN ist als Erzschiff konzipiert, das aufgrund seiner zusätzlichen Einrichtungen u.a. für die Unterbringung von Forschungspersonal auch als Passagierschiff klassifiziert ist und die höchste Klasse des GERMANISCHEN LLOYD und BUREAU VERITAS besitzt. Der Antriebsbereich befindet sich auf etwa 1/3 der Schiffslänge von hinten und gliedert sich in den Kontrollbereich, den anschließenden Turbinenraum und den Kesselraum mit den beiden Hilfskesseln auf(s. Abb. 1).

Der Kontrollbereich enthält die Reaktoranlage, die sich verteilt auf

- Reaktorraum mit Sicherheitsbehälter (RR)

- Nebenanlagenraum (NAR)
- Serviceraum mit Servicebecken (SR) (s. Abb. 2).

Der Reaktor der OTTO HAHN ist ein sogenannter Fortschrittlicher Druckwasserreaktor (FDR) in integrierter Bauweise, der für den Schiffsbetrieb konzipiert wurde. Er zeichnet sich durch stabiles Selbstregelverhalten und kompakte Bauweise aus. Einige Daten dazu enthält Tabelle 1.

Bei diesem Reaktortyp sind die Dampferzeuger und die Primärumswälzpumpen integraler Bestandteil des Druckgefäßes. Primärwasserführende Leitungen größerer Nennweiten sind daher nicht erforderlich. Die primärwasserbeaufschlagten Systeme beschränken sich auf den Reinigungs- und Sperrwasserkreislauf (R u. SP), das Abblasesystem (A), das Primärspeisesystem (S), das Probenentnahmesystem (P) und auf die Druck- und Niveaumeßleitungen des Primärsystems (PR). Alle diese Systeme und Kreisläufe, bis auf das Probeentnahmesystem, welches mit seinen Meßstrecken in den Nebenanlagenraum (NAR) hineinreicht, sind ausschließlich auf den Sicherheitsbehälter (SB) im Reaktorraum (RR) begrenzt.

Der untere Bereich des Reaktordruckbehälters (RDB) ist vom wassergefüllten Schildtank umgeben. Auf der im Schildtank montierten Tragplatte baut sich die aus Graugußplatten bestehende Primärabschirmung auf, die sich oberhalb der Schildtankdecke bis zur Regelstabantriebs-Tragplatte fortsetzt und mit der Regelstabshaube abschließt.

Durch die Primärabschirmung und den Wassermantel des Schildtanks wurde die Neutronen- und die Gammadosisleistung soweit herabgesetzt, daß auch bei Vollastbetrieb eine Begehung des Sicherheitsbehälters möglich war. Die Zone möglicher Aktivierung beschränkt sich deshalb auf den RDB mit seinen in Kernnähe liegenden Einbauten und auf die Primärabschirmungen innerhalb des Schildtanks.

Außerhalb der Sekundärabschirmung grenzt an den RR der Nebenanlagenraum (NAR) an. Während in seinem oberen Deck, außer der Zuluftanlage, hauptsächlich Betriebsräume, wie Labors, Werkstätten, Stores, der Dekontraum und die Personenzugangsschleuse mit den Wasch- und Duschräumen untergebracht sind, finden in den weiteren 4 Decks die zum Betrieb der nuklearen Anlage erforderlichen Hilfssysteme Platz.

Der Kontrollbereich wird durch den Serviceraum (SR) mit dem Servicebecken vervollständigt. Das Beckenwasser war, belegt durch die positiven Ergebnisse der Sippingtests, nur durch bei der Brennelementlagerung und BE-Handhabung abgespülte aktivierte Korrosionsprodukte kontaminiert und erreichte nicht die Aktivitätskonzentration des Primärwassers. Maschinenraum mit den Antriebs- und Hilfsturbinen sowie der Kesselraum gehören nicht zum Kontrollbereich.

2.2 Radiologischer Ausgangszustand

Die nukleare Betriebsphase des NS OTTO HAHN begann am 26.8.1968 mit dem erstmaligen Erreichen der Kritikalität und endete am 22.3.1979, nach Beendigung des zweiten BE-Zyklus mit dem endgültigen Abschalten der Reaktoranlage.

Zur Abschätzung der während dieser Zeit in der Anlage entweder innerhalb der Materialien durch Aktivierung oder als äußere Kontamination des Materials akkumulierten Aktivität, wurde 1977 in einer Studie die Reaktorleistung aus Betriebsdiagrammen früherer Jahre gemittelt und bis zum Zeitpunkt Ende 1978 hochgerechnet. Diese Abschätzung ergab ca. 1700 Volllasttage. Bis zum Beginn der Stilllegungsarbeiten wurde eine Vorlaufzeit von ca. 1 Jahr angenommen.

Unter diesen Randbedingungen wurde die Gesamt-Aktivität der aktivierten Komponenten zu ca. 4×10^5 Ci errechnet. Der Anteil des radiologisch signifikanten Nuklids Co 60 betrug dabei ca. $7,4 \times 10^4$ Ci. Die Gesamt-Aktivität aus Kontaminationen wurde zu ca. 48 Ci abgeschätzt.

In der Zeit vom 4.2.80 bis 13.2.80 wurden im Rahmen der Stilllegungsvorbereitungen an Bord des NS OTTO HAHN Messungen der γ -Dosisleistung im RR, NAR und SR, sowie in den Laderäumen 3 und 4 durchgeführt. Diese Messungen bildeten die Grundlage zur Abschätzung der zu erwartenden Strahlenbelastung des Demontagepersonals sowie zur Festlegung des Demontageablaufs (s. Abb. 3). Die höchste Kontaktdosisleistung wurde am Reinigungskreislauf (K1R) mit 500 mrem/h gemessen.

Die Systeme der Reaktoranlage enthielten dabei noch folgende Wassermengen aus der Betriebszeit der Anlage:

RDB und Primärsystem	ca. 28,0 m ³
Servicebecken	ca. 42,0 m ³
Aktivwasserbehälter	ca. 8,0 m ³
Prüfbehälter	ca. 1,0 m ³
Entwässerungsbehälter	ca. 1,0 m ³
Schildtank und NS-System	ca. 54,0 m ³
Borsäurebehälter	ca. 6,0 m ³
Zwischenkühlkreislauf	ca. 5,0 m ³
Abwasserbehälter (Juni 1980)	ca. 13,1 m ³
Gesamtmenge	ca. 158,1 m ³ =====

Das Gesamtaktivitätsinventar der Wässer betrug bei einer mittleren geschätzten Aktivitätskonzentration von 5×10^{-4} Ci/m³ ca. 0,08 Ci.

Die Gesamtmasse NS OTTO HAHN beträgt ca. 14.000 Mg. Darin sind mit ca. 2.800 Mg sämtliche aktiven und inaktiven Anlagen und Einrichtungen des Kontrollbereiches enthalten. Die Betonmassen der Sekundär- und Servicebeckenabschirmung haben hierbei mit ca. 1.780 Mg den wesentlichen Anteil an der Masse des Kontrollbereiches. Bei der Aufteilung der Massen in voraussichtlich freie bzw. freidekontaminierte und nicht frei-beseitigbare Massen (Tab. 2) verbleiben von den insgesamt ca. 2.800 Mg ca. 310 Mg als nicht frei-beseitigbar im Sinne der StrlSchV, Anlage IX.

3. Stilllegungskonzept

3.1 Festlegung des Konzeptes

Bereits 1977, nachdem eigene Konzeptüberlegungen zur Entsorgung des Schiffes vorangegangen waren, wurde die Firma Nuklear-Ingenieur-Service (NIS) mit einer Untersuchung über Stilllegungsvarianten und deren technische und wirtschaftliche Konsequenzen beauftragt. Die abgegrenzte Untersuchung beinhaltete verschiedene Alternativen, die aber letztlich auf die folgenden 3 Grundmuster zurückzuführen sind, die für jede Stilllegung einer nuklearen Anlage gelten:

- Sicherer Einschluß
- Teilbeseitigung mit gesichertem Resteinschluß
- Totale Beseitigung (Grüne Wiese)

Welches dieser 3 Grundmuster schließlich dem Stilllegungskonzept zugrunde gelegt wird, hängt zum großen Teil vom Aktivitätsinventar und dem Zeitpunkt der Stilllegung ab. In der Zeit zwischen dem Abschalten des Reaktors und dem Beginn der Entsorgungsmaßnahmen klingen die kurzlebigen Nuklide ab, so daß sich das Aktivitätsinventar merklich verringert. Bei NS OTTO HAHN betrug dieser Zeitraum vom Abschalten bis zum erwarteten Beginn der Stilllegungsarbeiten Herbst 1980 etwa 1 1/2 Jahre.

Vor Beginn der eigentlichen Stilllegungsmaßnahmen wurden die Brennelemente als Hauptaktivitätsquellen entfernt, so daß das Aktivitätsinventar nur noch aus mittel- und schwachaktiven Nukliden bestand. Damit bestimmte die Aktivierung der Kerneinbauten das gesamte Aktivitätsinventar an Bord. Die restlichen Aktivitäten aus Kontaminationen lagen um Größenordnungen niedriger. Damit repräsentierten die Kerneinbauten mit nur 1,5% der zu entsorgenden Gesamtmasse praktisch 100 % des Gesamtaktivitätsinventars. Das bestimmende Nuklid war Co 60 mit einer Halbwertszeit von 5,5 a.

Unter Berücksichtigung der vorgegebenen Randbedingungen und Ergebnisse der NIS-Studie sowie unter Einbeziehung der Planungen für Nachuntersuchungen an Komponenten der OTTO HAHN fiel die Entscheidung für die totale Beseitigung des nuklearen Teils der Antriebsanlage.

Mit der Durchführung der Stilllegungsarbeiten wurde 1979 die Fa. Gg.Noell GmbH beauftragt. Zunächst wurde von Noell das Stilllegungskonzept für den Genehmigungsantrag erarbeitet. Das Stilllegungskonzept ging davon aus, die gesamte Reaktoranlage mit Ausnahme des Sicherheitsbehälters und der Betonkonstruktionen des Sekundärschutzes und des Servicebeckens zu demontieren. Die demontierten Komponenten sollen dabei an Bord so weit dekontaminiert werden, wie es technisch und wirtschaftlich sinnvoll erscheint. Insgesamt stand damit eine Masse von ca. 1100 Mg zur Demontage bzw. Dekontamination an. Jedoch ergaben sich innerhalb dieser Gesamtmasse Verschiebungen, die nach Überschlagsrechnungen von Fa. Noell, den nicht frei zu dekontaminierenden Anteil gegenüber den ersten NIS-Schätzungen verdoppelten.

Der wesentliche Gesichtspunkt des Stilllegungskonzeptes waren strahlenschutztechnische Überlegungen zum Schutz des Personals und der Umwelt. So hatte die Entsorgung des nuklearen Teils unter Kontrollbereichsbedingungen zu erfolgen, d.h. in allen geschlossenen Räumen war ein leichter Unterdruck (gerichtete Strömung) zu halten und die Aerosolaktivität laufend zu überwachen. Dazu war die vorhandene Lüftungsanlage im Reaktor-nebenanlagenraum zu erhalten. Weiterhin wurde die Erweiterung des bestehenden Kontrollbereiches durch die Einbeziehung des angrenzenden Laderaumes Nr. 4 wie bei den vorangegangenen BE-Wechseln vorgesehen.

Die radiologische Belastung des Personals sollte möglichst gering gehalten werden. So wurden für den Abbau und die Zerlegung kontaminierter Bauteile bis auf wenige Ausnahmen nur mechanische Trennverfahren vorgesehen. Bei der Demontagefolge sollten zuerst die höher kontaminierten Bauteile entfernt werden, um das Aktivitätsniveau an den einzelnen Demontageorten möglichst schnell zu senken und damit die akkumulierte Dosis des Personals niedrig zu halten. Für die veranschlagte Stilllegungszeit wurde die kumulierte Gesamtdosis des Personals bei einer reinen Arbeitszeit vor Ort von 6 h zu 27 manrem geschätzt.

Organisatorisch war der Strahlenschutz in den anlagenbezogenen Strahlenschutz aufgeteilt, der von GKSS wahrgenommen wurde, und in den arbeitsbezogenen Strahlenschutz, der von Fa. Noell übernommen wurde.

Dem arbeitsbezogenen Strahlenschutz oblag neben der Personen- und Ortsüberwachung auch die Kontrolle und Bestimmung der Bauteilaktivitäten. Auf dieser Basis wurde eine Zuordnung in nicht dekontaminierbare, frei dekontaminierbare und freie Komponenten vorgenommen. Dabei wurde im Konzept von Freigabegrenzen ausgegangen, die vorbehaltlich der Genehmigung durch die zuständige Behörde, aus der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) § 4, Abs. 4/2e bzw. Anlage IX abgeleitet waren.

Als Stilllegungsplatz war das Werk Reiherstieg in Hamburg bei den Howaldtswerken - Deutsche Werft AG vorgesehen, die während der Betriebsphase des Schiffes als Reparatur- und Brennelementwechselplatz gedient hatte.

Mit der Stilllegung des NS OTTO HAHN bot sich die Möglichkeit, an ausgebauten Komponenten einer erprobten nuklearen Schiffsanlage Nachuntersuchungen verschiedenster Art durchzuführen. Dafür wurde in der ersten Phase die Errichtung einer Halle für Komponentennachuntersuchungen (HAKONA) auf dem Gelände des GKSS-Forschungszentrums zur Aufnahme der Komponenten vorgesehen.

3.2 Ablaufplanung

Die Ablaufplanung bildete die Basis für den Genehmigungsantrag. Ein wesentlicher Punkt für den Ablauf der Stilllegungsarbeiten war die Personalplanung. Das Konzept sah den Einsatz von 25 - 30 Personen vor, von denen die Bauleitung, die Arbeitsgruppenleiter und das Strahlenschutzpersonal von Fa. Noell gestellt wurde, während die Fachkräfte zur Demontage und Dekontamination von der Werft HDW kamen. Dabei war der Bauleiter gleichzeitig Strahlenschutz-Beauftragter des arbeitsbezogenen Strahlenschutzes, der sehr gute Anlagenkenntnisse aus der Betriebszeit der Anlage besaß. Die Abgrenzung zum anlagenbezogenen Strahlenschutz wurde in einer speziellen Strahlenschutzordnung geregelt. Die Gruppenleiter wurden von der Bauleitung und dem OTTO HAHN-Personal eingearbeitet. Die Organisation zeigt Abb. 4.

Den in den einzelnen Arbeitsbereichen arbeitenden Gruppen sollte bei Bedarf Dekontpersonal beigelegt werden.

Zu Beginn der Demontearbeiten mußten die einzelnen Systeme entleert werden, wobei das Primärwasser aus Abschirmungsgründen bis zum Aushub des RDB im Behälter verblieb. Die anfallenden Systemwasser sollten nach den Richtlinien der während des Betriebs durchgeführten Abwassertransporte einer Aufbereitungsanlage zugeführt werden.

Die Arbeiten im RB und SB wurden bestimmt durch:

- Demontage der äußeren Regelstabanordnung und oberen Primärabschirmung, Dekontamination und Verbringen nach Laderaum 3.

- Demontage der Systeme und Kreisläufe in folgender Reihenfolge:
 1. Reinigungskreislauf
 2. Sperrwassersystem
 3. Probenentnahmesystem
 4. Abblasesystem
 5. Primär-Speisesystem
 6. Schildtankkühlsystem
 7. Zwischenkühlwasser-Kreislauf
 8. Zusatzwassersystem
 9. Entwässerungssystem
 10. Evakuierungssystem
 11. Abgassystem

- Vorbereitung des RDB mit Schildtank zur Demontage und zum Abtransport.
- Dekontamination sämtlicher Wände des SB und des RR.

Die Arbeiten im NAR wurden bestimmt:

- Demontage der seewasserbeaufschlagten Vorlagen des ZW-Kreises sowie der Seewasserleitungen.
- Demontage der kontaminierten Kreisläufe und Systeme in den verschiedenen Decks des NAR in der Reihenfolge:
 1. Probenahmesystem
 2. Abgassystem
 3. Aktivwassersystem, ausschließlich Reinwasserbehälter
 4. Zwischenkühlwassersystem
 5. zurückgestellte Komponenten des AK-Systems
 6. Abwassersystem, mit Wasch- und Duscheinrichtung
 7. Zu- und Abluftsystem

- Demontage der Einrichtungen in Werkstätten und Labors.
- Dekontamination der verbleibenden Einbauten und sämtliche Wände im NAR

Die Arbeiten im SR wurden bestimmt durch:

- Demontage der Brennelementwechseleinrichtungen und Dekontamination
- Demontage der Einbauten des Servicebeckens einschließlich Hütter-Kran und Dekontamination des Beckens selbst.

- Dekontamination der im SR verbleibenden Einbauten und sämtlicher Wände.

Weiterhin Dekontamination des Laderaum 4 und des Ballastwassertanks 0801. Zur gerichteten Belüftung und Entlüftung dieses Tanks wurde eine Absaugung über die Kontrollbereichslüftung im NAR vorgesehen.

Die Materialhandhabung sollte im wesentlichen so erfolgen, daß nicht oder nur mit größerem Aufwand dekontaminierbare Bauteile je nach Größe in 400-l-Fässer oder Spezialcontainer von 18 m³ Inhalt verbracht werden, während freie oder frei dekontaminierte Komponenten im Laderaum Nr. 3 als normaler Schrott gesammelt werden. Die gefüllten und verschlossenen Fässer und Container lagerten bis zum Abtransport in Laderaum 4. Den Materialfluß zeigt Abb. 5.

Eine besondere Vorgehensweise war im Konzept für den Druckbehälter vorgesehen. Aufgrund der Aktivitätskonzentration der Einbauten, und hier insbesondere des Kerntaggerüstes, sollte der Druckbehälter als Ganzes gehandhabt werden. In der weiteren Konzeptphase fiel die Entscheidung für die Demontage und den anschließenden Transport des Druckbehälters mit Abschirmtank als Einheit. Diese Einheit mit einem Gewicht von ca. 480 Mg war auf dem Wasser- und Landweg nach Geesthacht zum Gelände der GKSS zu transportieren.

Einige vorbereitende Arbeiten sollten im Rahmen der noch bestehenden Betriebsgenehmigung abgewickelt werden, wozu im wesentlichen das Einrichten der Baustelle, die Demontage und Dekontamination bestimmter Bauteile und das Entleeren der Kreisläufe und Systeme zählten.

4. Genehmigungsverfahren

4.1 Stilllegungsgenehmigung

Die Stilllegung der NS OTTO HAHN erforderte eine Reihe von Genehmigungen, deren Erteilung in den Kompetenzbereich verschiedener Behörden und Institutionen fiel /2/.

Das Verfahren wurde am 21.4.1980 eingeleitet mit dem Stellen des gemeinschaftlichen Antrages auf Erteilung der Genehmigung zur Durchführung der Stilllegungsmaßnahmen beim Amt für Arbeitsschutz (AfA) in Hamburg.

Die Genehmigung wurde auf Grundlage der Ausführungen des Atomgesetzes, § 7, sowie der Strahlenschutzverordnung, hier insbesondere § 3 und 4, beantragt.

Der TÜV-Norddeutschland wurde vom Amt für Arbeitsschutz als Gutachter hinzugezogen. Sein Gutachten wurde am 14.11.1980 fertiggestellt und dem AfA übergeben. Das Gutachten beurteilte die Maßnahmen des radiologischen Arbeitsschutzes, die Restaktivitäten und gab eine Einschätzung des Gesamtrisikos.

Es wurde festgestellt, daß alle für die Arbeiten notwendigen Schutzrichtungen vorhanden sind und die erforderlichen Bedingungen zum Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen erfüllt werden. Dem radiologischen Arbeitsschutz und damit dem Gebot zur Minimierung der Strahlenbelastung wird bei Einhaltung der Gutachtensbedingungen ausreichend Rechnung getragen. Die Einschätzung des Gesamtrisikos für das Personal ergab, daß es dem eines Radionuklidlabors gleichsetzbar ist.

Mit Bescheid vom 1.12.1980 erteilte das Amt für Arbeitsschutz die Genehmigung zur Durchführung der Stilllegungsarbeiten auf NS OTTO HAHN. Damit wurden alle bisherigen Betriebsgenehmigungen aufgehoben. Im Rahmen der Stilllegungsgenehmigung wurden eine Reihe von Auflagen ausgesprochen. Diese forderten beispielsweise, die Aktivität aller demontierten Anlagenteile ist so genau wie möglich zu ermitteln und zu protokollieren:

- Teile, deren spezifische Aktivität eindeutig unterhalb der Werte des § 4, Abs. 4, Satz 1, Nr. 2e und Anlage IX, Spalte 4 liegt, sind als gewöhnlicher Abfall bzw. Schrott zu beseitigen.

- Teile, deren spezifische Aktivität eindeutig oberhalb der genannten Werte liegen, sind als radioaktiver Abfall abzuliefern, sofern nicht weiterhin ein genehmigungspflichtiger Umgang erfolgen soll.
- Für Teile, deren spezifische Aktivität nicht eindeutig zu erfassen ist, sind Vorschläge zu erarbeiten, welche weitergehenden Untersuchungen angestellt werden können, um der Genehmigungsbehörde eine Entscheidungshilfe zu liefern.

Für die Meßverfahren, das Einhalten der Grenzwerte nach § 4, Abs. 4, Satz 1, Nr. 2e und Anlage IX der StrSchV und die richtigen Zuordnung der zu klassifizierenden Teile nach den genannten Kategorien, war eine verantwortliche Person zu benennen.

Weitere Auflagen betrafen u.a. die

- Ertüchtigung der Lüftungsanlage
- Bereitstellung von Geräten zum aktiven und passiven Personenschutz wie:
Mobile Abschirmungen, mobile Absaugungen und Dosisleistungswarngeräte.
- Messung, Kennzeichnung und Sicherung der Abbaustrecken.
- Die Erstellung einer umfassenden und vollständigen Dokumentation.

4.2 Transportgenehmigung

Der Transport des Reaktordruckbehälters auf dem Land- und Wasserweg erforderte sowohl von der radiologischen wie von der konventionellen Seite her entsprechende Genehmigungen.

Der Transportweg verlief vom Hamburger Hafen elbaufwärts zum Geesthachter Hafen und von dort auf der Straße zum Gelände des GKSS-Forschungszentrums. Hier werden der Reaktordruckbehälter und verpackte Komponenten im Bereich der Halle für Komponenten-Nachuntersuchungen (HAKONA) für Nachuntersuchungen vorgehalten.

Das Versandstück (RDB mit Schildtank) enthielt radioaktive Stoffe in fester Form mit einer Aktivität nach neueren Abschätzungen von ca. 30.000 Ci der relevanten Nuklide Co 60, Mn 54 und Cs 137.

Der Antrag auf Genehmigung für den Transport auf dem Landweg wurde am 26.2.1980 bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig gestellt. Mit Bescheid vom 23.6.1980 erteilte die PTB die Genehmigung zur Durchführung des RDB-Transportes.

Mit Schreiben vom 31.1.1980 stellte Fa. Noell beim Bundesministerium für Verkehr Antrag auf Genehmigung des RDB-Transportes auf dem Wasserweg. Mit Bescheid vom 5.8.1980 erteilte der Bundesminister für Verkehr die Sondergenehmigung, den Behälter auf einem Leichter unter Einhaltung bestimmter Bedingungen befördern zu dürfen.

Wegen des hohen Gewichtes von fast 480 Mg mußten weiterhin eine Reihe von konventionellen Sondergenehmigungen eingeholt werden, wie

- Sondergenehmigung für den Einsatz des Schwimmkrans Magnus I im Hafen Hamburg
- Sondergenehmigung für den Antransport des 1000 t -Autokrans
- Sondergenehmigung für den Straßentransport mit Tieflader mit einer Länge von ca. 21 m, einer Breite von 6,20 m und einer Gesamthöhe von ca. 7 m.

5. Freigabeverfahren

5.1 Grundlagen des Freigabeverfahrens und Grenzwerte

Auf der Basis der erteilten Stilllegungsgenehmigung leitete sich das anzuwendende Freigabeverfahren ab. Als Freigabegrenzen wurden folgende Grenzwerte genannt, die eindeutig zu unterschreiten sind:

1. das 10^{-4} -fache der Werte nach Anlage IV, Tab. IV,1, Spalte 4 der StrlSchV. (massenbezogener Grenzwert), z.B. für Co 60 gilt 10^{-10} Ci/g.
2. $1 \times 10^{-5} \mu$ Ci/cm² nach Anlage IX Spalte 4 der StrlSchV (flächenbezogener Grenzwert).

Entsprechend der Genehmigung wurden drei Kategorien von Bauteilen unterschieden:

Kategorie 1: Teile, deren spezifische Aktivität die genannten Grenzwerte eindeutig unterschreitet und deren Geometrie den Nachweis der Grenzwertunterschreitung erlaubt.

Kategorie 2: Teile, deren spezifische Aktivität eindeutig oberhalb der genannten Grenzwerte liegt.

Kategorie 3: Teile, deren spezifische Aktivität nicht eindeutig zu fassen ist.

Die Kategorie 1 war nur für kontaminiertes Material einfacher Geometrie von Bedeutung, wie z.B. Abschirmplatten, Lüfterkanäle u.ä.

Bauteile der Kategorie 2 waren als radioaktiver Abfall zu behandeln bzw. zu verpacken, sofern nicht weiterhin ein genehmigungspflichtiger Umgang erfolgen sollte. Nach dem Stillegungskonzept war für den weitaus größten Teil dieser Bauteile der Abtransport in Containern oder Fässern zur HAKONA vorgesehen.

Zur Kategorie 3 gehörten ausschließlich Bauteile, deren spezifische Oberflächenaktivität sich von vornherein oder nach Dekontamination in der Größenordnung des Grenzwertes nach Anlage IX StrlSchV bewegt, deren komplizierte Geometrie aber die eindeutige Erfassung der Aktivität mit Kontaminationsmonitoren unmöglich macht. Zu diesen Bauteilen gehörten z.B. Rohrleitungen, Ventile.

Als Kriterien für die Freigabe der Räume und Decks des Kontrollbereiches galten ebenfalls die o.g. Grenzwerte, wobei bei den vorliegenden Strukturen die Bestimmung der Oberflächenkontamination ausreichte. Danach war der Nachweis der Grenzwertunterschreitung an sämtlichen Decken-, Wand- und Bodenflächen des Kontrollbereiches sowie an den Flächen der Betonabschirmungen und der im Schiff verbleibenden Bauteile, vornehmlich Abschirmungen, durch flächendeckende Messungen zu erbringen.

Der anlagenbezogene Strahlenschutz war verantwortlich für die richtige Wahl und Anwendung der Meßverfahren, das zuverlässige Einhalten der genannten Grenzwerte sowie für die Klassifizierung der Anlagenteile.

Über die Messungen des arbeits- und anlagenbezogenen Strahlenschutzes hinaus, wurden im Rahmen der jeweiligen vorläufigen Freigabe von Einzelbereichen des Kontrollbereiches stichprobenartige Kontrollmessungen durch Vertreter des Amtes für Arbeitsschutz und des TÜV-Norddeutschland durchgeführt.

Im Hinblick auf die endgültige Freigabe hatte sich die Genehmigungsbehörde vorbehalten, eine weitere unabhängige Institution als Gutachter einzuschalten.

5.2 Meßverfahren und Meßgeräte

Voraussetzung für die Erfüllung der entsprechenden Auflagen der Stilllegungsgenehmigung und der Grundsätze des Freigabeverfahrens war die Anwendung der geeigneten Meßverfahren und Meßgeräte.

Während bei Bauteilen mit einfacher Geometrie und niedriger Aktivität (Bauteile der Kategorie 1, schiffbauliche Strukturen) Direktmessungen möglich waren, mußten die Verfahren zur Bestimmung der Aktivität von Bauteilen mit komplizierter Geometrie (Bauteile der Kategorie 3 oder höherer Aktivität Bauteile der Kategorie 2) zunächst erarbeitet und in Absprache mit der Genehmigungsbehörde festgelegt werden.

Zur Direktmessung wurden α , β - und β , γ -Kontaminationsmonitore verwendet. Für den Einsatz der geeigneten Meßgeräte war sowohl deren Empfindlichkeit für die unterschiedlichen Strahlenarten, als auch die Nachweisempfindlichkeit (Wirkungsgrad) entscheidend.

Bedingt durch unterschiedliche Beschaffenheit der zu messenden Flächen mußten Geräte mit unterschiedlicher Strahlenempfindlichkeit gewählt werden. Die Nachweisgrenzen der eingesetzten α , β - bzw. β , γ -empfindlichen Kontaminationsmonitore mußten für Messungen im Sinne des Freigabeverfahrens zum Nachweis der Unterschreitung des Grenzwertes der Oberflächenaktivität ausreichend eindeutig unterhalb $1 \times 10^{-5} \mu \text{ Ci/cm}^2$ liegen.

Für direkte Messungen wurden folgende marktübliche Meßgeräte eingesetzt:

- Der Kontaminationsmonitor LB 1210 C (Fa. Berthold) ist mit einem Flüssiggas-Füllzählrohr mit einer effektiven Fensterfläche von 100 cm^2 ausgerüstet. Das Zählrohr mißt aus der Oberfläche austretende α - und β -Strahlung.
- Der Kontaminationsmonitor LB 1210 e (Fa. Berthold) ist mit einem Xenon-gefüllten Großflächenzählrohr mit einer effektiven Fensterfläche von 100 cm^2 ausgerüstet. Das Zählrohr mißt sowohl die β - als

auch die γ -Komponente der aus der Fläche austretenden Strahlung.

- Der Kontaminationsmonitor Minicont (Fa. Herfurth) ist mit einem Flüssiggas-Füllzählrohr mit einer effektiven Fensterfläche von 200 cm² ausgerüstet. Das Zählrohr mißt aus der Oberfläche austretende α - und β -Strahlung und besitzt eine ausreichend gute γ -Empfindlichkeit.

Sowohl die zu den Freigabemessungen verwendeten Kontaminationsmonitore LB 1210 B bzw. LB 1210 C, als auch die bei den Dekontararbeiten verwendeten Herfurth-Kontamaten wurden vor jedem Einsatz und während dessen Dauer wiederholt unter Verwendung von Flächenpräparaten kalibriert.

Im Zuge der Stilllegungsarbeiten demontierte Bauteile mit der Aussicht auf Zuordnung zu Kategorie 1 wurden in einen Bereich mit möglichst niedrigem Strahlungsuntergrund verbracht und dort flächendeckend ausgemessen. Die Oberflächenbeschaffenheit der Bauteile bestimmte die Wahl des Kontaminationsmonitors. In der Anfangsphase der Stilllegungsarbeiten mußten Messungen auf den freien Decks des äußeren Kontrollbereiches ausgeführt werden, später nach Absenken des Strahlenpegels war die Direktmessung auch weitgehend in den Räumen des inneren Kontrollbereiches möglich. Die Klassifizierung in die Kategorie 1 und die daraus resultierende Zuordnung zum gewöhnlichen Abfall oder Schrott (Lagerung Luke 3) erfolgte nur, wenn alle Einzelmeßergebnisse deutlich unterhalb des Grenzwertes lagen.

Die Überschreitung des Oberflächen-Aktivitätsgrenzwertes an nur einer Meßstelle bedeutete in jedem Fall die Rückführung zur Dekontamination oder bei ausbleibendem Dekonterfolg die Zuordnung des Bauteils in Kategorie 2 und damit Verpackung in Container oder Fässer. In beiden Fällen wurde der ermittelte Maximalwert der Oberflächenaktivität und die mit diesem Wert berechnete Aktivitätskonzentration zusammen mit der Masse und Fläche des Bauteils im Rahmen einer Aktivitäts- und Massenbilanz protokolliert.

Die Messungen an schiffbaulichen Strukturen sowie solchen Anlagenbauteilen und Einrichtungen, die lt. Stilllegungskonzept nach einer Freigabe an Bord bleiben sollten, konnten erst nach Demontage und Abtransport der

Bauteile mit höherer Aktivität in Angriff genommen werden. Mit den Messungen waren sämtliche Decken-, Wand- und Bodenflächen des Kontrollbereiches einschließlich Laderaum Nr. 4 zu erfassen. Weiterhin gehörten dazu die Betonflächen von Abschirmungen, die Bodentank-Innenfläche und die Außen- und Innenflächen der verbleibenden Kontrollbereichseinrichtungen.

Bei den flächendeckenden Messungen wurde jede Einzelmeßfläche durch Umfahren des Meßgerätes mit Filzschreiber oder Ölkreide markiert. Bei Überschreitung der Grenzzählrate wurde das Meßergebnis in das umgrenzte Feld eingetragen. Auf diese Weise entstand ein Meßraster, das zunächst den Flächenbereich des nachfolgenden Dekontschrittes umriß, letztendlich aber auch garantierte, daß alle Bereiche im Rahmen der flächendeckenden Messungen erfaßt worden waren.

Anschließend führte der anlagenbezogene Strahlenschutz ausgedehnte Stichprobenmessungen durch. Anschließende Kontrollmessungen wurden gemeinsam vom AfA und TÜV-Norddeutschland wiederum als Stichprobenmessungen vorgenommen. Positive Meßergebnisse führten dann zur vorläufigen Freigabe des Arbeitsabschnittes. Der Bereich oder der Raum wurde verschlossen oder abgesperrt.

Die Aktivität von Anlagenteilen, besonders der Kategorie 3, aber auch zum Teil der Kategorie 2, konnte teilweise aufgrund ihrer Geometrie nicht durch Direktmessungen ermittelt werden. Dies machte deshalb die Entwicklung von Meßverfahren erforderlich, die zumindest für eine Aktivitätsbestimmung im Sinne der Aktivitätsbilanzierung ausreichend genau waren und für die nur indirekte Messungen von Materialproben in Frage kamen.

Grundsätzlich eignen sich für die Messung von Materialproben mehrere, in ihrer Funktion und Strahlenempfindlichkeit unterschiedliche Meßgeräte.

Aufgeführt werden hier:

- Methan-Großflächenzähler
- Germanium-Lithium-Detektor mit Impulshöhenanalysator
- Natrium-Jodidkristall-Detektor mit Impulshöhenanalysator und Zähler

Für spezielle Meßaufgaben im Rahmen der Dekontarbeiten im Servicebecken, zu deren Abwicklung ein gesondert entwickeltes Probenahmeverfahren des "Eidgenössischen Instituts für Reaktortechnik" angewandt wurde, war ein GeLi-Detektor außerhalb des Kontrollbereiches installiert. Aufgrund der längeren Meßzeit bei niedrigen Aktivitäten und hoher Meßgenauigkeit wurden vorwiegend Na-J-Kristalldetektoren eingesetzt.

Die Energieauflösung des NaJ-Kristalls ist schlechter, der Wirkungsgrad aber erheblich besser als beim GeLi-Detektor. Da im Sinne der geforderten Aktivitätsbilanzierung- bzw. -erfassung in erster Linie die Gesamtaktivität zu ermitteln war, spielte die nuklidmäßige Aufschlüsselung eine untergeordnete Rolle und der Vorteil des besseren Wirkungsgrades des NaJ-Kristalls mit seiner Auswirkung in kurzen Meßzeiten konnte genutzt werden. Damit standen Meßverfahren zur Verfügung, mit denen die Aktivität von Materialproben in unterschiedlicher Form sehr schnell und mit ausreichender Genauigkeit gemessen werden konnten. Aus jedem Kreislauf, System oder Bauteil wurden repräsentative Materialproben geschnitten, die den Abmessungen des Meßstandards entsprechend zugeschnitten wurden, um die gleiche Meßgeometrie zu erhalten.

Mit der Fläche des jeweiligen Probenstückes wurde die spezifische Oberflächenaktivität berechnet, die Ergebnisse der Berechnung für einen Kreislauf, Teilabschnitt oder ein Bauteil gemittelt und über deren Fläche das Aktivitätsinventar des Kreislaufs, Teilabschnitts oder Anlagenteils ermittelt.

Damit wurde mit der Masse der Abbaustrecke die mittlere Aktivitätskonzentration in Ci/g berechnet.

Auf diese Weise wurde die Oberflächenaktivität aller nur indirekt zu messenden kontaminierten Bauteile bestimmt und zusammen mit den Werten

- Fläche und Masse des Bauteils	cm ² bzw. kg
- Aktivitätsinventar des Bauteils	Ci
- Gewichtsspezifische Aktivität	Ci/g

protokolliert.

6. Durchführung der Stilllegung

6.1 Ablauf der Stilllegungsarbeiten

Mit der Erteilung der Genehmigung und den darin ausgesprochenen Auflagen, der Festlegung des Freigabeverfahrens und der Aktivitätsgrenzwerte, sowie der Bereitstellung geeigneter Meßverfahren waren die Voraussetzungen für die Durchführung der Stilllegungsarbeiten mit dem Ziel der Freigabe des Schiffes zur weiteren konventionellen Nutzung erfüllt. Ein Teil dieser Voraussetzungen konnte nur in zeitlicher Staffe- lung während der Stilllegungsarbeiten geschaffen werden. Grundlagen mußten zunächst erarbeitet und die Ergebnisse der Genehmigungsbehörde vorge- stellt werden.

Der Gesamtablauf der Stilllegung läßt sich in folgende Abschnitte auf- gliedern:

- Phase 1: Vorarbeiten bis zur Erteilung der Stilllegungsgenehmigung
- Phase 2: Demontage der kontaminierten Kreisläufe, Systeme und Anlagen- teile
- Phase 3: Transport des RDB mit Schildtank
- Phase 4: Dekontamination der im Schiff verbleibenden Anlagenteile ein- schließlich der Sekundäranlage und der Schiffsstrukturen.

Zur Nutzung des Zeitraums zwischen Antragstellung und Erteilung der Stilllegungsgenehmigung wurde das AfA um Zustimmung zur Durchführung einer Reihe von Arbeiten ersucht, die noch im Rahmen der bestehenden Be- triebsgenehmigungen abgewickelt werden konnten. Diese Vorarbeiten wurden in der Zeit von Juni 1980 bis zur Erteilung der Stilllegungsgeenehmigung am 1.12.1980 durchgeführt und beinhalteten

- Einrichten des äußeren Kontrollbereiches, gemäß den Auflagen der be- stehenden Genehmigung zur BE-Handhabung
- Räumen der Luke 4 und Dekontamination der Bodenfläche und der Wand- fläche bis zu einer Höhe von ca. 2,5 m über Boden
- Erweitern der Personenzugangsschleuse um ca. 2 m durch Einbau einer neuen Schleusentür
- Entleerung der Systeme und Kreisläufe entsprechend der Arbeitsab- laufplanung.

Die durchgeführten Vorarbeiten betrafen zunächst die Demontage, Zerlegung, Dekontamination und Lagerung folgender Komponenten:

- Regelstabantriebs-Tragplatte mit Regelstabantrieben
- Primärabschirmung des RDB bis Schildtankdecke
- Drehdeckel
- Be-Wechselmaschine.

Bei Betrachtung der bewegten Massen und Aktivitäten ist die Phase 1 der Stilllegung deutlich gekennzeichnet durch das Übergewicht der Bauteile, die der Kategorie 1 zugeordnet werden könnten.

Nur ein geringer Teil mußte aufgrund des technisch nicht sinnvollen Dekontaufwandes in die Kategorie 2 oder 3 eingestuft und verpackt werden. Diese Bauteile trugen nur zu einem sehr geringen Teil zur Gesamtaktivität der verpackten Materialien bei.

Mit Erteilung der Stilllegungsgenehmigung trat die Stilllegung in die zweite Phase ein. Vor Beginn der Demontearbeiten mußten eine Reihe von Vorbereitungen, die z.T. durch Genehmigungsaufgaben bedingt waren, und erst nach Vorliegen der Genehmigung ausgeführt werden konnten, durchgeführt werden.

Diese betrafen u.a.

- Automatik-Alarmdosismelder mit einstellbarer Warnschwelle wurden beschafft und die Warnschwelle abhängig von der Ortsdosisleistung eingestellt
- Ein mobiler Aerosolmonitor zur Luftüberwachung bei Trennarbeiten mit erhöhter Aerosolfreisetzung wurde bereitgestellt
- Eine mobile Luftabsaugung zum Einsatz bei Abbaumaßnahmen, bei denen mit erhöhter Aerosolaktivität gerechnet werden mußte, wurde beschafft.
- Mobile Abschirmelemente wurden vorgehalten
- Modifizierung der Belüftung des Sicherheitsbehälters für die Stilllegungsarbeiten.

Die Phase 2 umfaßte den Zeitraum von der Erteilung der Stilllegungsgenehmigung im Dezember bis zum Abschluß der Demontearbeiten an kontaminierten Kreisläufen und Systemen Ende April 1981, d.h. einen Zeitraum von ca. 5 Monaten.

Nach diesem Zeitpunkt waren nur noch Teile des Abwassersystems und der lufttechnischen Anlage, soweit diese benötigt wurden, in Betrieb. Ein Teil der demontierten Komponenten und Anlagenteile wurde erst in der Phase 3 zerlegt und verpackt bzw. dekontaminiert und in Luke 3 gelagert. Der Schwerpunkt der Stilllegungsmaßnahmen in Phase 2 lag eindeutig bei der Demontage, Zerlegung und Verpackung der Kreisläufe, Systeme und Komponenten im SB, NAR und SR.

Die Demontagearbeiten wurden parallel in den 3 Arbeitsbereichen SBR (SB), NAR und SR durchgeführt. Die Zerlegung größerer Bauteile wurde vorzugsweise in freigeräumten Bereichen des NAR bzw. im Dekontraum durchgeführt. Die demontierten Komponenten und Bauteile im SB wurden zunächst in einen Transportbehälter eingebracht und anschließend im NAR oder SR in die Container verpackt.

Bedingt durch die Bauart und den Kontaminationsgrad der demontierten Komponenten, kam eine Dekontamination im wesentlichen nur für die ausgebauten Bühnenbauteile in Frage. Dekontararbeiten im Sinne des Freigabeverfahrens an Flächen von Betriebsräumen wurden mit Ausnahme der Dekontamination des Servicebeckens in diesem Zeitraum nicht durchgeführt.

Die Aktivität der zu verpackenden Komponenten wurde durch Probennahme ermittelt und protokolliert. Phase 2 der Stilllegung war durch den überwiegenden Anteil der verpackten Materialien aus Kategorie 2 und 3 bestimmt.

Phase 3 der Stilllegung ist in erster Linie gekennzeichnet durch den Transport des RDB mit Schildtank und die dazu erforderlichen Vorbereitungen.

Mit der Erteilung der Transportgenehmigung und der termingerechten Fertigstellung der HAKONA waren die Voraussetzungen zum Abtransport des RDB mit Schildtank gegeben.

Die bordseitigen Vorbereitungsarbeiten betrafen das Anbringen der Konsolen am Schildtank und der Hebevorrichtung am RDB-Deckel, das Entleeren des RDB und des Schildtanks, die Dekont- und Abschirmmaßnahmen zur Einhaltung der für Transport und die Vorhaltung in der HAKONA maßgebenden Grenzwerte.

Die außerbetrieblichen Vorbereitungen umfaßten u.a. die Befestigung des Transportwege im Hafen Geesthacht durch Rammen neuer Spundwände und den Bau einer neuen Zufahrtstraße.

Die Phase 3 umfaßte den Zeitraum von Beginn der Vorbereitungsarbeiten an Bord Anfang Mai bis zum Abschluß des RDB-Transportes und der anschließenden Aufräumarbeiten Ende Juni 1981, d.h. eine Zeitspanne von ca. 2 Monaten.

Nach Demontage und Abtransport sämtlicher Bauteile, einschließlich der Bühnenbauten aus dem SB wurden die Konsolen am Schildtank montiert. Zur Durchführung der erforderlichen Schweißarbeiten mußte der Schildtank schon zu diesem Zeitpunkt aus schweißtechnischen Gesichtspunkten entleert werden. Nach der vollständigen Entleerung und einer Grobdekontamination des SB-Sumpfes lag die Ortsdosisleistung bei maximal 0,4 mrem/h. Es waren daher keine zusätzlichen Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich.

Sämtliche RDB- und Schildtanköffnungen, bis auf den zur Entleerung erforderlichen RDB-Deckelflansch, wurden dicht verschlossen, die Primärpumpenstutzen mit Hauben abgedeckt. Anschließend wurde der RDB und Schildtank dekontaminiert und mit einer abziehbaren, nicht wasserlöslichen Lack beschichtet.

Gemäß dem Konzept und der Auflage sollten die Transportvorbereitungen kurz vor Aushub mit der Entleerung des RDB abgeschlossen werden. Nach der Entleerung stellten sich im Bereich der Primärumwälzpumpen Kontaktdosisleistungswerte bis maximal 800 mrem/h, im Deckelbereich bis zu 400 mrem/h ein. Durch Anbringen von örtlichen Bleiabschirmungen wurden die Dosisleistungen so abgesenkt, daß die Werte der Gefahrgutverordnung (GGVS) unterschritten wurden. Der Transport des 480 Mg schweren RDB mit Abschirmtank wurde vom 22.6. -25.6.1981 erfolgreich durchgeführt.

In Phase 3 wurden außerdem die bisher in Laderaum 4 gelagerten Container und Fässer abtransportiert. Parallel zum RDB-Transport gingen die Zerlegungs-, Dekont- und Verpackungsarbeiten an Bauteilen weiter, die noch nach ihrer Demontage im Kontrollbereich lagerten.

Nach Abtransport des RDB und Ausbau und Abtransport der in Phase 2 demontierten und verpackten Anlagenteile befanden sich nur noch wenige kontaminierte Anlagenteile an Bord. Die Ortsdosisleistung im Kontroll-

bereich war erheblich zurückgegangen und wurde in erster Linie nur durch die Abwässerbehälter (NAR) und die in Laderaum 4 lagernden Fässer und Harzbehälter beeinflusst.

In diesen Bereichen und im Dekontraum wurden zunächst noch nicht bearbeitete Bauteile, die in der Phase 2 demontiert worden waren, zerlegt und verpackt bzw. dekontaminiert.

In Räumen mit geringer Untergrundstrahlung und im Ballasttank 0801 konnte mit der Dekontamination der schiffbaulichen Strukturen und der im Schiff verbleibenden Anlagenteile begonnen und damit die Phase 4 der Stilllegung eingeleitet werden.

Diese umfaßte den Zeitraum von Beginn der Dekontarbeiten Anfang Juli 1981 bis zur Aufhebung des Kontrollbereiches am 16.6.1982, d.h. eine Zeitspanne von ca. 11 Monaten.

Konzeptgemäß wurden die Dekont- und Meßarbeiten zur Freigabe des Schiffes im Sicherheitsbehälter begonnen. Dazu mußte dieser, nach einer weiteren Grobdekontamination der Bodenkalotte, voll eingerüstet werden. Während des Ablaufs der Arbeiten schälte sich ein Verfahrensmuster, sowohl die Dekont- als auch die Meßverfahren betreffend, heraus, daß nach Absprache mit dem AfA auch in allen anderen Anlagenbereichen angewendet wurde:

- Ausgangsmessung mit großem Raster zur Ermittlung der Größenordnung der Kontamination
- Erster Dekontschritt: 1-2maliges Abwaschen sämtlicher Flächen
- Erste flächendeckende Messungen (Gesamtfläche). Bereiche, in denen der flächenbezogene Grenzwert überschritten wird, werden markiert und umgrenzt
- Zweiter Dekontschritt: Abbeizen der Farbschichten auf den kontaminierten Flächen
- Zweite flächendeckende Messung im bearbeiteten Bereich und nachfolgende Markierung kontaminierter Flächenteile
- Dritter Dekontschritt: Weiterhin kontaminierte Flächen werden gebeizt, geschliffen oder gefräst
- Dritte flächendeckende Messung im bearbeiteten Bereich. Weiterhin kontaminierte Flächen werden markiert und nochmals wie vorstehend bearbeitet oder herausgeschnitten bzw. demontiert und verpackt

- Bei Unterschreitung des Grenzwertes auf der Gesamtfläche führt der anlagenbezogene Strahlenschutz umfangreiche Stichprobenmessungen durch und meldet bei positivem Ergebnis die Kontrollmessung durch die Behördenvertreter an
- Die Vertreter des AfA und TÜV-Norddeutschland führen stichprobenartig Kontrollmessungen durch.

Die Dekont- und Meßarbeiten im SB gestalteten sich außerordentlich arbeitsintensiv und zeitaufwendig durch die im Bodenbereich notwendigen mehrmaligen Dekontschritte. Nach interner Überprüfung auf Kontaminationsfreiheit wurde der SB von Vertretern des AfA und des TÜV-Norddeutschland nochmals überprüft und zunächst verschlossen.

Als nächster Raum stand der Serviceraum mit Servicebecken zur Säuberung an. Jedoch machte der erhöhte Strahlungspegel im Serviceraum, bedingt durch die in Laderaum 4 lagernden aktiven Materialien des Inventars der Abwässerbehälter, dies zunächst unmöglich. Die Dekontamination des Ballasttanks mußte vorgezogen und parallel mit der RR-Dekontamination durchgeführt werden.

Ein weiterer Grund für diese Verschiebung von Tätigkeiten waren die Dekontaminationsarbeiten an der Sekundäranlage, die in der Zeit von Oktober bis Anfang Dezember 1981 durchgeführt wurden und die eine weitere Vorhaltung des Abwassersystems erforderten.

Auch die Dekont- und Meßarbeiten im Ballasttank 0801 erforderten einen beträchtlichen Arbeitseinsatz und Zeitaufwand. Hier mußten die Korrosionsschutzbeschichtung und Rostinkrustierungen an sämtlichen Flächen (Boden, Decke, Kimmplatten und Bodenwrangen, insgesamt ca. 1200 m²) mechanisch im ersten Schritt entfernt werden.

Weitere Schritte folgten mit Entrostern, Bürsten und chemischer Dekontamination.

Die Dekontarbeiten fanden hier unter erschwerten Arbeitsbedingungen mit erheblicher Staubentwicklung statt, weshalb das Tragen von Atemschutzmasken vorgeschrieben war.

Bis zum Jahresende 1981 war auch mit der Durchführung der ersten Dekontarbeiten in den RR-Nischen, auf dem NAR-Hauptdeck und dem Serviceraum begonnen worden. Zur Fortsetzung dieser Arbeiten und zur Durchführung

der Messungen war die Demontage und der Abtransport der Abwasserbehälter und der restlichen Leitungen des Abwassersystems erforderlich.

Die Demontage des Abwassersystems wurde im November mit dem Ausbau der Abwasser-Ringleitungen aus den Seitentanks des Reaktorbereiches und der vorderen Abschirmung der Abwasserbehälter eingeleitet. Im Dezember wurden die Abwasserbehälter zur nachfolgenden Demontage vollständig entleert. Dabei stellte sich heraus, daß sich im Tank eine erhebliche Schlammengemenge mit einer Dosisleistung von ca. 19 R/h abgelagert hatte. Der Schlamm wurde entfernt und in speziellen Abschirmbehältern einzementiert.

Nach Abtransport der Behälter war der Strahlenpegel im Kontrollbereich stark abgesunken. Damit war der Dosisleistungspegel soweit reduziert, daß die Voraussetzungen für die Freidekontamination und -messung in fast allen Räumen und Decks des Kontrollbereiches geschaffen waren.

Stichprobenartige Kontrollmessungen in den Seitentanks des Reaktorbereiches zeigten, daß es in diesen Bereichen durch Rohrleitungsleckagen während der Betriebszeit zu schwachen Kontaminationen gekommen war. 12 von 32 Tanks mit einer Gesamtfläche von ca. 2000 m² mußten dekontaminiert werden. Nach den Erfahrungen mit der Dekontamination des Ballasttanks 0801 rechnete man mit erheblicher Staubentwicklung. Deshalb stellte man die für die Endphase der Stilllegung geplante Demontage der Abluftanlage zurück. Die Tanks wurden zum Kontrollbereich hin geöffnet und von dort be- und entlüftet.

Ein besonderes Problem stellten die Querflutkanäle dar, die die kontaminierten Seiten- und Kimm tanks miteinander verbinden. Zwei der insgesamt 4 Kanäle waren begehbar und konnten dekontaminiert werden. Die beiden anderen Kanäle mußten ausgebaut werden.

Ende April 1982 konnte die Behörde nach Durchführung von Kontrollmessungen die vorläufige Freigabe der Seitentankbereiche erteilen.

Die Beseitigung der Restkontamination in den verbliebenen Räumen und Decks gestaltete sich z.T. sehr schwierig. So beeinflussten die noch an Bord befindlichen Strahlenquellen wie Fässer mit kontaminiertem Material oder kontaminiertes Werkzeug die Messungen erheblich. Selbst die Ionisationsfeuermelder führten zu einer Beeinträchtigung der Mes-

sungen in einigen Bereichen. Zusätzliche Erschwernisse brachten auch Kontaminationen, die aufgrund nicht durchgeschweißter Nähte unter und hinter die dicken Abschirmplatten der Abwasserbehälter gelangt waren und den zusätzlichen Ausbau dieser Abschirmungen erforderten.

Die Gesamtmasse der dekontaminierten Bauteile und verpackten Materialien und Abfälle setzte sich in Phase 4 aus noch nicht klassifizierten Komponenten der Phase 2, Bauteilen der Sekundäranlage, deren Restaktivität nach Beendigung der Dekontararbeiten die Grenzwerte überschritt, Beizrückständen aus der Dekontamination der Sekundäranlage, den verfestigten Schlämmen aus den Abwasserbehältern und Regenwassertanks und aus dem angefallenen Sekundärabfall bei der Dekontamination der Flächen zusammen.

Die Stilllegungsarbeiten an Bord waren am 14.6.1982 abgeschlossen. Zur Bestätigung der Kontaminationsfreiheit des Schiffes führte die PTB Braunschweig auf Veranlassung der Genehmigungsbehörde AfA Kontrollmessungen vom 14. - 16.6.82 auf OTTO HAHN durch.

6.2 Eingesetzte Werkzeuge

Einer der Grundsätze des Stilllegungskonzeptes war die bevorzugte Anwendung mechanischer Trennverfahren bei der Demontage kontaminierter Anlagenteile und Komponenten. Nur in Ausnahmefällen, wenn mechanische Trennverfahren nicht sinnvoll anwendbar waren, wurden thermische Verfahren eingesetzt. Die Demontage und Zerlegung von Abschirmbauteilen, Bühneneinbauten und schiffbaulichen Strukturen konnte mit thermischen Trennverfahren durchgeführt werden, da hier praktisch keine Kontamination vorlag.

Als mechanische Trennwerkzeuge kamen Scher-, Säge- und Fräswerkzeuge verschiedener Ausführung zur Anwendung. Dabei handelte es sich ausschließlich um mobile und leicht handhabbare handelsübliche Geräte, die vor ihrem Einsatz an Bord erprobt wurden.

Die Werkzeuge wurden, teilweise modifiziert und ertüchtigt, in Phase 1 der Stilllegung angeliefert und an Bord unter Betriebsbedingungen getestet.

Im folgenden wird eine kurze Übersicht über die bei den Stilllegungsarbeiten eingesetzten Werkzeuge gegeben:

Scherwerkzeuge

Werkzeug	Anwendungsbereich	Eignung
Hydraulikscheren	Rohre NW 40	kurze Rüst- u. Schnittzeiten
Blechknabber, elektr.	Bleche 4 mm	gute Handhabbarkeit
Blechscherer, elektr.	Bleche 2 mm	gute Handhabbarkeit

Sägen

Werkzeuge	Anwendungsbereich	Eignung
elektr. Stichsäge mit Rohrspannvorrichtung	Rohre NW 60-400	kurze Rüstzeiten Rohrspannvorrichtung zuverlässig u. robust
Stichsäge, elektr.	Bleche bis 10 mm Rohre bis NW 140 bzw. Profilhöhe	vorzugsweise handgeführt ansonsten wie oben
elektr. Kreissäge mit Spannvorrichtung	Rohre NW 10-60	minimaler Bedienungsaufwand, hohe Schnittgeschwindigkeit Handbedienung
Bügelsäge	Werkstücke mit Profil, Höhe bis 190 mm	kurze Rüstzeiten

Fräswerkzeuge

Werkzeuge	Anwendungsbereich	Eignung
Rohrfräse mit Rollenspannkette	Rohre und Behälter NW 500 - 2000	Ansetzen des Werkzeugs erfordert 2 Personen u. entsprechende Rüstzeit

Thermische Trennverfahren

Werkzeuge	Anwendungsbereich	Eignung
Autogenbrenner	ferristisches Material	einfaches, schnelles Verfahren, aber erhebliche Rauch- u. Gasentwicklung

6.3 Dekontaminationsmaßnahmen

Die Dekontaminationsarbeiten einschließlich der Aktivitätsmessungen machten neben der Demontage den größten Anteil am Stilllegungsumfang aus und waren insgesamt am zeitaufwendigsten. Verschiedene Geometrien und unterschiedliche Kontaminationen machten die Entwicklung entsprechender Dekontaminationstechniken notwendig. Prinzipiell standen die mechanische und chemische Dekontamination zur Verfügung, die wahlweise, aber auch kombiniert eingesetzt wurden, um die wirkungsvollsten Dekontergebnisse zu erzielen.

Der Erfolg der Dekontamination war im wesentlichen davon abhängig, inwieweit es gelang, kontaminierte Beläge der verschiedensten Art bis auf das durchweg kontaminationsfreie Strukturmaterial abzutragen. Diese Beläge bestanden entweder aus mehreren Farb- und Spachtelschichten oder aus Rostinkrustierungen unterschiedlicher Stärke und Erscheinungsform. Diese waren z.T. durch Ausbesserung der Farbschichten fixiert. Ein zügiger Ablauf der Dekontarbeiten konnte nur durch ständige Kontrollmessungen und Bestimmung des Dekonteffektes, sowie durch die Auswahl des jeweils effektivsten Verfahrens erreicht werden.

Die Methoden zur Dekontamination der demontierten Bauteile unterschieden sich in den Grundzügen nicht von den Verfahrensweisen zur Dekontamination der Räume und Decks des Kontrollbereiches.

In Phase 1 der Stilllegung waren Waschmittel, Kaltreiniger, Farbbeizer und Beizmittel auf Säurebasis verschiedener Art und mehrerer Hersteller sowohl im Hinblick auf ihre Dekontwirksamkeit als auch auf arbeits- und strahlenschutztechnische Belange getestet wurden.

Die wesentlichsten Ergebnisse der Dekontuntersuchungen waren, daß

- nicht jedes Dekontaminationsmittel für alle Nuklide gleich wirksam ist;
- der erzielbare Dekontaminationsfaktor keine direkte Funktion des Abtrags ist;
- ein Wechsel des Dekontaminationsmittels oft eine große Dekontwirkung bei kleinem Abtrag haben kann.

In vielen Fällen konnten mit handelsüblichen Industriebeizen sehr gute Dekonterfolge erzielt werden.

Für die Dekontamination des Servicebeckens wurde das EIR mit eingeschaltet, das auch eine neue Technik zur Probennahme auf der Basis eines elektrolytischen Verfahrens entwickelt hatte. Die kontaminierte Fläche der Stahlwanne betrug 150 m², die Gesamtaktivität etwa 2,5 mCi. Die Dekontergebnisse der insgesamt sieben Dekontaminationsschritte zur Unterschreitung der Freigrenze sind in der folgenden Zusammenstellung gegeben:

Behandlung Nr.	Abtrag (µm)	abgelöste Aktivität		Dekofaktor
		total (mCi)	spez. (pCi/cm ²)	
1	3,60	1,45	970	2,3
2	1,55	0,50	330	4,3
3	0,20	0,27	180	8
4	2,80	0,21	140	23
5	1,47	0,08	50	85
6	0,46	0,009	6	120
7	0,77	0,011	7	250

Zum Nachweis der Kontaminationsfreiheit mit dem zugrundegelegten Wert von 10⁻⁵ µCi/cm² mußten die Oberflächen sämtlicher Räume und freien Decks des Kontrollbereichs gereinigt und flächendeckend gemessen werden.

So konnte beispielsweise an der Innenfläche des SB in den ersten beiden Dekontaminationsschritten mit Waschen bzw. Beizen der größte Teil der Kontamination entfernt werden. Für die besonders hartnäckigen Verunreinigungen im Bodenbereich mußte dagegen mit mechanischen Verfahren wie Schleifen vorgegangen werden.

Dabei wurden einige Flächen bis zu dreimal bearbeitet. Entsprechend hoch war auch der Meßanteil. Durch notwendige Wiederholungsmessungen wurden bei einer Ausgangsfläche von 420 m² insgesamt 1000 m² ausgemessen.

Mit den zu dekontaminierenden Seitentanks im Reaktorbereich ergab sich der zu dekontaminierende und nachzumessende Flächenanteil für Kontrollbereich und Seitentanks zu etwa 14400 m². Davon mußten Teilflächen mehrmaligen Dekont- und Meßschritten unterworfen werden.

Der Arbeitsaufwand dafür steigerte sich naturgemäß von Schritt zu Schritt. Damit fielen insgesamt etwa eine Million Einzelmessungen an. Unterstellt man eine reine Meßzeit von 20 s pro Messung, so ergeben sich fast 6000 h Meßzeit.

Die ursprünglich nur für die Primäranlage vorgesehenen Dekontaminationsarbeiten wurden für die Sekundäranlage erforderlich. Die Sekundäranlage wurde in verschiedene Teilkreisläufe aufgeteilt und mit einer sauren Lösung gebeizt. Da sich die Kontamination nur in den Ablagerungen befanden, wurden diese mittels der Beize gelöst, der Schlamm aus der Beize herausfiltriert und anschließend mit Zement in Fässern konditioniert. Als Ergebnis wurde aus der Sekundäranlage eine Gesamtaktivität von ca. 0,78 mCi ausgetragen.

6.4 Verpackung und Transport

Mitentscheidend für die erfolgreiche, termingerechte Durchführung des Stilllegungsvorhabens war die getroffene Wahl der Verpackungsbehälter, die nach dem Stilllegungskonzept sowohl auf Container mit den durch die anlagenbedingten Raumverhältnisse bestimmten Innenabmessungen

$$L \times B \times H = 2,4 \times 1,8 \times 2,0 \text{ m}$$

als auch auf Fässer mit einem Inhalt von 400 l gefallen war.

Ausgehend von den Anfrageunterlagen wurde für die aktiven und nicht dekontaminierbaren Massen zunächst ein Bedarf von

32 Containern und
135 400 l-Fässern

ermittelt, wobei der erreichbare Füllgrad für beide Verpackungsarten nur grob abschätzbar war. Allerdings konnte dann ein deutlich höherer Anteil von Komponenten dekontaminiert werden, so daß die vorgesehene Containerzahl reduziert wurde. Im Laufe der Stilllegung wurden zu verfestigende

Schlämme, verpreßbare Abfälle und Müll in 200 l-Fässer eingebracht.

Mit Abschluß der Stilllegungsarbeiten waren folgende Massen und Aktivitäten verpackt

in Container: Gewicht: 179,3 Mg
Anzahl: 20 Container

in Fässer: Gewicht: 125,9 Mg
Anzahl: 400 l - Fässer: 224
200 l - Fässer: 139

Die Reduzierung der abgeschätzten Anzahl von Containern wurde im wesentlichen durch intensive und erfolgreiche Dekontamination erreicht.

Die nach dem Stilllegungskonzept erfolgende Verpackung der demontierten kontaminierten Materialien, wonach großvolumige und sperrige Bauteile in Container, Kleinmaterialien, Dekontabfälle und verpreßbare Materialien in Fässer eingebracht werden sollten, erwies sich im Hinblick auf einen zügigen Ablauf der Stilllegung und damit auf das Mannrem-Konzept als vorteilhaft.

Die meisten Bauteile fielen schon durch die Demontage in containergerechten Größen an. Nur in wenigen Fällen wären Container mit noch größeren Abmessungen erforderlich gewesen, um eine Zerlegung dieser Komponenten, die umfangreiche Strahlenschutzmaßnahmen erforderte, zu vermeiden. Im ganzen kann aber der durch die Containerabmessungen gegebene Zerlegungsaufwand als vertretbar angesehen werden.

Die Verpackung der Materialien wurde durch eine Dokumentation begleitet. Anhand der Dokumentation ist jedes zur Containerverpackung gelangte Bauteil, im Sinne des geplanten Nachuntersuchungsprogramms, auffindbar und nach seiner Herkunft (Abbaustrecke) zu identifizieren.

Der Abtransport der gefüllten Container und Fässer zur HAKONA erfolgte in mehreren Sammeltransporten nach den Richtlinien der Gefahrgutverordnung (GGVS). Im Rahmen dieser Sammeltransporte wurden auch die beiden Abwasserbehälter abgefahren.

Besondere Überlegungen waren zum Transport des 480 Mg schweren RDB mit Abschirmtank notwendig. Als Schwertransport mußten für die einzelnen Transportphasen des Wasser- und Landweges entsprechende Großgeräte vorgehalten werden.

- Ausheben des RDB aus dem NS Otto Hahn:
Schwimmkran Magnus I mit einer Gesamttragfähigkeit von 600 Mg.
- Transport auf der Elbe:
Schubverband mit einem Hochseeponton mit den Abmessungen 75x16 m und einer Tragfähigkeit von 3000 Mg.
- Umschlagen des RDB vom Ponton auf den Straßentransporter: Schwimmkran Magnus I
- Transport auf der Straße vom Hafen Geesthacht bis Gelände der GKSS, Gesamtstrecke ca. 5 km:
Tieflader mit den Abmessungen von 20x6m, 2x16 Achsen mit insgesamt 256 Rädern
- Umschlagen des RDB im Gelände der GKSS:
Autokran mit einer Tragfähigkeit von 1000 Mg.

Allein der Einsatz dieser Großgeräte und ihre terminliche Abstimmung bedurfte einer detaillierten Planung und Koordinierung schon längere Zeit vor dem eigentlichen Transport.

Am 22.6.1981 begann der Transport mit dem Ausheben des RDB durch den Schwimmkran MAGNUS I und dem Absetzen auf den Hochseeponton. Nach dem Umrüsten des Krans wurde am 24.6.81 frühmorgens bei Tidenniedrigwasser mit dem Transport des Schubverbandes auf der Elbe zum Geesthachter Hafen begonnen. Nach dem Umladen auf den Spezialtieflader erfolgte der Landtransport quer durch die Stadt Geesthacht zum Gelände der GKSS. Der Transport wurde unter großem Interesse der Bevölkerung durchgeführt.

Am 25.6.81 wurde das letzte Stück des Transports im Gelände der GKSS durchgeführt. Mit dem Umschlagen des RDB auf dem GKSS-Gelände war der Transport erfolgreich abgeschlossen.

Eine Sonderstellung nahmen die Abwassertransporte ein, die während der gesamten Stilllegungsperiode kontinuierlich durchgeführt wurden. Nach

Abtransport des größten Tals der Systemwasser aus den Hilfsanlagen zu Beginn der Stilllegung folgten regelmäßige Transporte des anfallenden Ab- und Waschwassers nach Jülich zur Konditionierung. Das Abwasser wurde in den vorhandenen Abwassertanks im NAR bzw. nach Ausbau der Tanks in Spezialbehältern gesammelt und in Tankwagen mit einer Kapazität von ca. 22 m³ abtransportiert.

Insgesamt wurden rd. 22 Transporte durchgeführt

mit 151,4 m³ Systemwässern
332,1 m³ Abwässer.

6.5 Arbeits- und Strahlenschutz

Die Grundsätze des Stilllegungskonzeptes und die daraus entwickelte Folge der Stilllegungsschritte sowie die Festlegung der Demontage- und Zerlegungsverfahren berücksichtigten von vornherein strahlenschutztechnische Belange im Hinblick auf eine Minimierung sowohl der Strahlenbelastung des Personals als auch der Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung. Besondere Maßnahmen wurden mit der täglichen Festlegung der Abbaustrecken in Zusammenarbeit zwischen dem arbeits- und anlagenbezogenen Strahlenschutz nach den jeweiligen Gegebenheiten geplant und angeordnet.

Gleiches galt für die erforderlichen Arbeitsschutzmaßnahmen.

Gemäß den Auflagen der Stilllegungsgenehmigung betrafen die besonderen Strahlenschutzmaßnahmen u.a.:

- Kennzeichnung von Arbeitsbereichen mit auffällig höherer als der mittleren Ortsdosisleistung
- Tragen von Dosisleistungswarngeräten bei Arbeiten in Bereichen mit wesentlich höherer als der mittleren Ortsdosisleistung
- kontinuierliche Überwachung der Raumluft bei Trennarbeiten, bei denen mit unzulässig hoher Aerosolaktivitätsfreisetzung zu rechnen war
- Einsatz einer mobilen Luftabsaugung
- sinnvoller Einsatz von mobilen Abschirmungen bei längerwährenden Arbeiten in Bereichen mit wesentlich über dem Durchschnitt liegenden Ortsdosisleistungswerten.

In folgenden Arbeitsbereichen wurde eine zeitweilige Kennzeichnung nach den vorstehend aufgeführten Maßgaben erforderlich (auflagengemäß wurde das Personal bei Arbeiten in diesen Bereichen mit Dosisleistungswarngeräten ausgerüstet):

- Schildtankdecke nach Entfernung des unteren Primärabschirmringes bis zur Montage einer festmontierten Abschirmung an den Dampferzeugerstützen. Eingestellte Warnschwelle 25 mR/h.
- Servicebecken nach Entleerung bis zur Beendigung der Demontage der Beckeneinbauten und Entfernung des Bodenschlammes. Bei den Arbeiten im Bodenbereich wurde die Schwelle der Warngeräte auf 100 mR/h eingestellt.
- Umgebung der Regenerativ-Wärmetauscher während der Demontage und der vor Ort durchgeführten Zerlegung. Warnschwelle auf 25 mR/h eingestellt.
- RDB-Deckelbereich während und nach Entleerung des RDB bis zur Abschirmung der Regelstabstützen. Warnschwelle auf 25 mR/h eingestellt.
- Abwasserstation nach der Entleerung des ersten zur Demontage vorgesehenen Abwasserbehälters und bis nach Entfernung und Konditionierung der in Abschirmbehältern eingebrachten Schlämme. Warnschwelle auf 25 mR/h eingestellt.

Während der Demontage- und Dekontararbeiten in Phase 4 bis zur Außerbetriebnahme des Lüftungssystems wurde die Aerosolaktivität der Kontrollbereichsablufte kontinuierlich überwacht. Weiterhin wurden alle Arbeiten durch eine Vielzahl von Aerosolprobenmessungen von seiten des Strahlenschutzes begleitet. Die Ergebnisse dieser Messungen entschieden über das Ausmaß der anzuwendenden Schutzmaßnahmen, z.B. Tragen von Staubmasken, Einsatz der mobilen Absaugung oder Tragen von Vollschutz-Atemmasken. In den weitaus meisten Fällen mußten Schutzmaßnahmen aber aus arbeitsschutztechnischen Gründen angeordnet werden (Bleidämpfe und Rauchgas).

Bei allen Arbeiten, die mit Rauchgas-, Staub- und Aerosolfreisetzen verbunden waren, wurden mobile Absaugungen eingesetzt. Deren Einsatz war weitgehend aus arbeitsschutztechnischen Gründen erforderlich. Die Aerosolaktivitätswerte überschritten in einem Fall kurzzeitig mit max. $2,5 \times 10^{-9} \mu\text{Ci}/\text{m}^3$ (Co 60, Cs 137) die für Kontrollbereichsbedingungen zulässigen Grenzwerte. Bei erhöhter Aerosolfreisetzung führte eine Änderung

der Zerlegungstechnik oder Fixierung der Oberflächenkontamination umgehend zur Reduzierung der Luftaktivität im Arbeitsbereich.

Mobile Abschirmungen bei den Demontage- und Zerlegungsarbeiten mußten nur in wenigen Fällen eingesetzt werden. Bei weitaus den meisten Arbeiten führte die Wahl der optimalen Demontage- oder Zerlegungstechnik zu einer kleineren Personalbelastung, z.B. der Abstand bei Einsatz der Stichsägen bzw. kurze Einsatzzeiten von Scheren, Kreissägen.

Eingesetzt wurden die Abschirmungen z.B. bei folgenden Arbeiten bzw. folgenden Arbeitsbereichen:

- Schildtankdecke (Bleimatten)
- Regenerativwärmetauscherdemontage (Bleimatten)
- Restschlambeseitigung im Servicebecken (Bleimatten)
- Abdeckung der Regelstabstützen nach Entleerung des RDB (Bleimatten)
- Lagerung des demontierten Mischbettfilters (Bleimatten)
- Abdecken von Komponenten im SB während Montagearbeiten mit Bleimatten.

6.6 Aktivitätsbilanz und Dosimetrie

Um einen Überblick über die Aktivitätsverteilung in den einzelnen Systemen zu erhalten und zur Erfüllung der in der Genehmigung ausgesprochenen Auflagen erfolgte die Bilanzierung aller Aktivitäten an Bord.

Auf der Basis von Probenahmen und Messungen vor Beginn der eigentlichen Stilllegungsarbeiten und bestätigt durch die nuklidspezifisch durchgeführten Stichprobenmessungen während der Stilllegung ergab sich, daß die verbliebene Aktivität zum weitaus überwiegenden Teil aus den langlebigen Radioisotopen des Kobalts und Caesiums besteht, wobei wiederum Co 60 sowohl bei luftgetragener als auch durch Flüssigkeitsbenetzung verursachter Kontamination überwiegt.

Der Co 60 Aktivitätsanteil vieler Bauteile beträgt ca. 90 %. Ausnahmen bildeten Bauteile des AK- und insbesondere das G-System, bei denen Cs 137 bis 77 % bei einem Co 60 Aktivitätsanteil von < 7 % gemessen wurde.

Die durchweg gleichbleibende Nuklidzusammensetzung innerhalb eines Systems machte eine ausreichend genaue Abschätzung der Aktivität der demonstrierten Bauteile möglich. Weiterhin wurde die Menge und Aktivität der abtransportierten System- und Abwässer, ebenso wie die mit der Kaminfortluft an die Umwelt abgegebene Aerosolaktivität und die Abluftmenge bilanziert.

Nach Durchführung der Dekontamination der Decks und Räume des Kontrollbereichs wiesen sämtliche Flächen dieses Bereiches nach Maßgabe des Genehmigungsbescheides Werte der spez. Oberflächenkontamination deutlich unterhalb $1 \times 10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ auf. In weiten Flächenbereichen wurde die Nachweisgrenze der Kontaminationsmonitore von $5 \times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ bei natürlicher Umgebungsstrahlung erreicht.

Insgesamt ergibt sich über die Stilllegungsperiode von Juni 1980 bis Juni 1982 folgende Massen- und Aktivitätsbilanz:

Aktivitätsaustrag durch Bauteile (Kontrollbereich)

Verpackungsart	Masse $[\bar{\text{Mg}}]$	Aktivität $[\bar{\text{Ci}}]$
10'-Container	179,3	$\sim 1,78$
200 l + 400 l-Fässer	125,9	$\sim 1,99$
Zwischensumme	305,2	$\sim 3,77$
=====		
freier Schrott	374,2	-
=====		
RDB mit Schildtank	480	$\sim 30\ 000$
=====		
Total	1159,4	

Aktivitätsaustrag durch Wasser

Art	Menge $[\bar{\text{m}}^3]$	Aktivität $[\bar{\text{Ci}}]$
Systemwasser	151,4	$\sim 0,08$
Wasch- + Abwasser	332,1	$\sim 0,10$
=====		
Total	483,5	$\sim 0,18$

Aktivitätsaustrag aus Sekundäranlage:

Insgesamt ca. $7,8 \times 10^{-4}$ Ci

Aktivitätsaustrag über die Kaminfortluft:

Gesamtluftmenge $1,4 \times 10^8 \text{ m}^3$

Aktivität ca. $2,1 \times 10^{-6}$ Ci

Damit ergibt sich das ausschließlich aus Kontamination herrührende Aktivitätsinventar der Reaktoranlage ohne RDB insgesamt zu 3,95 Ci.

Von der Genehmigungsbehörde war angeregt worden, der Frage nach der Freisetzung von Aerosolen aus bereits dekontaminierten Oberflächen nachzugehen. Zu solchen Messungen bot sich der Sicherheitsbehälter an.

Nach erfolgter Dekontamination und Kontaminationsmessungen wurde der Sicherheitsbehälter am 21.09.81 verschlossen.

Die Kontrollmessungen der Aktivitätskonzentration der SB-Raumluft wurden als nuklidspezifisch Messungen durchgeführt und in der Zeit vom 15.10.81 bis zum 01.04.1982 bilanziert. Die Ergebnisse zeigten, daß aus der dekontaminierten Oberfläche im SB keine radioaktiven Stoffe ausdiffundierten.

Nach dem Stilllegungskonzept war für den damals abgesteckten Umfang des Stilllegungsvorhabens eine Kollektivdosis von 27 manrem vorausgeschätzt worden, wobei der Abschluß der Stilllegungsarbeiten etwa Ende 1981 erwartet wurde.

Trotz der Ausweitung des Stilllegungsumfanges und der damit verbundenen Verschiebung des Stilllegungstermins auf Mitte 1982 betrug die Kollektivdosis des Stilllegungspersonals für den gesamten Zeitraum von ca. 24 Monaten:

30 rem nicht amtlich

35 rem amtlich

und liegt damit durchaus im Rahmen der Vorausschätzungen. Das konzeptgemäße Vorgehen, die erforderlichen Strahlenschutzmaßnahmen den Gegebenheiten der täglichen Abbaustrecken anzupassen, hat sich in dieser Beziehung positiv ausgewirkt.

Für die Arbeiten in jedem Bereich und jeder Arbeitsstrecke wurden Arbeitsstunden und Dosisleistung geschätzt und die wirklichen Daten zum Vergleich ebenfalls festgehalten. Siehe Abb. 7.

Die Strahlenexposition des Personals wurde mit Stabdosimetern zur nicht-amtlichen Überwachung, mit Filmplaketten bzw. Posphatglas-Dosimetern zur amtlichen Überwachung erfaßt.

Die Dosimeter verblieben auch außerhalb der Arbeitszeit im Kontrollbereich, aufbewahrt in der Personen-Zugangsschleuse. Aus diesem Grunde wurden die monatlichen Stabdosimeter-Anzeigen um den Anzeigewert eines dort ständig aufgehängten Dosimeters (Nulleffekt-Dosimeter) korrigiert, der in etwa 20-30 mrem/Monat betrug.

Wie Abb. 7 zeigt, wurden Spitzenwerte der Strahlenexposition in den folgenden Zeitabschnitten erreicht:

Juli - September 1980	Demontage der Primärabschirmung
Dezember 80 - Mai 1981	Höhepunkt der Demontearbeiten
Dezember 1981 -	Demontage der Abwasserbehälter und
Februar 1982	Schlammkonditionierung

Ein Vergleich der amtlichen und nicht amtlichen Dosen führt z.T. zu erheblichen Differenzen, die sich nicht durch die vorgenommenen Korrekturen der nicht amtlichen Dosimeteranzeigen erklären lassen.

Eine Systematik läßt sich nur insofern erkennen, als diese Abweichungen verstärkt in Zeitabschnitten mit hoher Dosisbelastung auftraten (Dezember 80, Februar, April und besonders Mai, Dezember 81, Januar 82). Beim amtlich durch Phosphatglas-Dosimetrie überwachten Personal des anlagenbezogenen Strahlenschutzes decken sich die Ergebnisse der amtlichen und nicht amtlichen Überwachung weitgehend. Hier läßt sich allerdings wiederum das Ausmaß der Exposition nur schwer vergleichen.

Neben kontinuierlicher Raumluftüberwachung mittels Aerosol-Aktivitätsmonitor wurden umfangreiche, die einzelnen Arbeitsschritte einleitende und begleitende Aerosolaktivitäts-Probemessungen durchgeführt, deren Ergebnisse die jeweils anzuwendenden Inhalations- und Inkorporationsschutzmaß-

nahmen bestimmten. Maximale Aktivitätskonzentrationen traten kurzzeitig bei der Zerlegung der Wärmetauscherbündel aus dem Servicebecken mit $2 - 4 \times 10^{-9} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ auf. Hier wurde die Aerosolfreisetzung durch Fixierung der trockenen Ablagerungen umgehend reduziert. Im allgemeinen lag die Aerosolaktivität der Kontrollbereichsluft direkt in den Arbeitsbereichen in den Grenzen zwischen

$$\text{max. } 2 \times 10^{-10} \text{ bis } 1 \times 10^{-11} \text{ Ci}/\text{m}^3$$

oder darunter.

Als Grenzwert für den Einsatz der mobilen Absaugung des mobilen Aerosol-Monitors sowie für die Verpflichtung zum Tragen von Atemschutz wurde eine Aerosol-Aktivitätskonzentration von $2,3 \times 10^{-10} \text{ Ci}/\text{m}^3$ eingeführt. Dieser Wert ist als restriktiv anzusehen.

Grundsätzlich wurden bei meßbarer Aerosolfreisetzung Strahlenschutzmaßnahmen eingeleitet und mobile Absaugungen eingesetzt bzw. das Tragen von Atemschutzmasken, Mundschutz, Kopfhauben, Handschuhen usw. angeordnet.

7. Aufhebung des Kontrollbereichs

Mitte Juni 1982 waren die Stilllegungsarbeiten an Bord abgeschlossen. Zur Bestätigung der erfolgreichen Dekontamination des Schiffes hatte die Genehmigungsbehörde die Physikalische-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig eingeschaltet, die als weitere unabhängige und neutrale Institution Kontrollmessungen durchführen sollte. Diese Messungen fanden vom 14.-16.6.1982 an Bord der OTTO HAHN statt.

Die Kontrollmessungen wurden stichprobenartig in sämtlichen Teilbereichen des inneren und äußeren Kontrollbereiches, der Sekundäranlage und darüber hinaus im übrigen Schiff durchgeführt.

Nach Messung der Ortsdosisleistung an einer Vielzahl von Punkten eines Teilbereiches wurden entweder gezielt, bei Abweichung der Einzelmessungen vom mittleren Ortsdosisleistungswert, oder stichprobenartig Messungen der Kontaktdosisleistungen an bestimmten Bauteilen vorgenommen.

Diese Messungen wurden teilweise durch Kontamatmessungen überprüft. Zur Kontrolle der nuklidspezifischen Zusammensetzung der Oberflächenaktivität von Betonabschirmungen wurde stichprobenartig der tragbare NaJ-Vielkanalanalysator verwendet.

Als Meßgeräte kamen ein Dosisleistungsmeßgerät hoher Empfindlichkeit, ein α, β -empfindlicher Kontaminationsmonitor, sowie ein transportabler NaJ-Vielkanalanalysator zum Einsatz.

Die Meßgeräte wurden mittels PTB-eigener Präparate kalibriert. Zunächst wurde in ausreichender Entfernung vom ehemaligen nuklearen Bereich des Schiffes Messungen des natürlichen Strahlenpegels eine Ortsdosisleistung von ca. $8 \mu\text{R/h}$ ermittelt.

Auf dem Hauptdeck im Bereich der Luke 4 wurde mit den stichprobenartigen Kontrollmessungen begonnen und diese anschließend in Laderaum 4 und an dem dort eingelagerten Treppengerüst fortgesetzt.

Im Laderaum 3 wurde der dort lagernde dekontaminierte Schrott auf Kontaminationsfreiheit überprüft.

Als nächster Teilbereich wurde der Serviceraum in gleicher Weise vermessen. Die im Bereich der Betonabschirmung des Servicebeckens leicht erhöhte Ortsdosisleistung ist auf deren natürliche Strahlung zurückzuführen. Dies konnte nach Probennahme mit dem vom transportablen NaJ-Vielkanalanalysator aufgenommenen Gamma-Spektrum gezeigt werden. Kalium 40 konnte deutlich, Cs 137 und Co 60 nicht nachgewiesen werden. Ähnlich verhielt es sich auch bei den Messungen der Betonabschirmung im RR.

Weitere Messungen wurden im Maschinen- und Kesselraum durchgeführt, in Labors und Werkstätten, im NAR und in den Seitentanks des Reaktorbereichs.

Der Ballasttank 0801 wurde nachfolgend ausgemessen. Damit waren alle Bereiche der Anlage, die zum Umfang der Stilllegungsarbeiten zu rechnen waren kontrolliert.

Weiterhin wurden Kontrollmessungen in freien Bereichen des Schiffes wie Wellentunnel, Rudermaschinenraum, Leitstand, Werkstatt, in den achteren

Aufbauten bis zum Sonnendeck und in den vorderen Aufbauten vom Hilfsdieselraum bis zur Brücke durchgeführt.

In der abschließenden Ergebnisdiskussion wurde die sorgfältige Dekontamination der Anlage und die daraus resultierenden, außerordentlich niedrigen Dosisleistungswerte im ehemaligen Kontrollbereich, die häufig im unteren Bereich des natürlichen Strahlungspegels lagen, von Seiten der PTB hervorgehoben.

Die Messungen durch die PTB bestätigten, daß das NS Otto Hahn in ausreichendem Umfang dekontaminiert worden war. Weitere Maßnahmen wurden nicht mehr als erforderlich angesehen.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse wurde am 1.9.1982 von der Genehmigungsbehörde, dem Amt für Arbeitsschutz der Freien und Hansestadt Hamburg, der Genehmigungsaufhebungsbescheid für das NS Otto Hahn erteilt. Dieser Bescheid führt aus, daß die zur Beseitigung der Reaktoranlage genehmigten Arbeiten abgeschlossen sind und an Bord des Schiffes nicht mehr mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird. Damit erweist sich die für den Umgang mit radioaktiven Stoffen auf dem NS Otto Hahn erteilte Genehmigung als gegenstandslos.

Im Bescheid wird hervorgehoben, daß die stärkste noch zu registrierende Strahlung an der Betonabschirmung auftritt und von der natürlichen Radioaktivität der mineralischen Baustoffe herrührt. Die Feststellung, daß das Schiff frei von strahlenschutzrechtlich zu beachtenden radioaktiven Stoffen ist, basiert auf den Messungen von fünf unabhängigen Institutionen (PTB, AfA, TÜV-Norddeutschland, NOELL, GKSS). Mit der Aufhebung des Kontrollbereiches und der Freigabe des Schiffes war die wichtigste Zielsetzung der Stilllegungsarbeiten - das Schiff ohne Einschränkungen für eine konventionelle Verwendung bereitzustellen - erfüllt.

8. Abschließende Betrachtung

Mit der erfolgreichen Stilllegung der OTTO HAHN ist zum ersten Mal in der Bundesrepublik Deutschland eine nukleare Leistungsanlage total entsorgt worden.

Damit wurde in verschiedenen Bereichen Neuland betreten, wo praktische Erfahrungen fehlten. Obwohl die Stilllegungsarbeiten weitgehend den Konzeptplanungen folgten, mußten durch unvorhersehbare Erschwernisse oder andere Schwierigkeiten vor Ort Alternativlösungen gefunden werden. Die gemachten Erfahrungen bestätigen das gewählte Konzept und die geplante Vorgehensweise, die auch für die Stilllegung und Entsorgung von Kernkraftwerken interessante Aspekte bieten. Auf der anderen Seite geben die gemachten Erfahrungen auch Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten im Hinblick auf Stilllegungsfreundlichkeit und Minimierung radioaktiven Abfalls.

Bei Anwendung geeigneter Dekontverfahren sowie ausreichend genauer Meßverfahren zur Erfassung der Aktivität an Bauteilen mit komplizierter Geometrie besteht durchaus die Möglichkeit, einen großen Teil der Primärbereichskomponenten im Sinne des Genehmigungsbescheides als gewöhnlichen Abfall beseitigen zu können. So konnten ca. 54 % der demontierten kontaminierten Massen der Kategorie 1 zugeordnet werden, wobei die Möglichkeit zur Messung niedriger Aktivitäten an komplizierten Geometrien aus dem nuklearen Bereich der Anlage nicht ausgeschöpft wurde.

Bei künftigen derartigen Stilllegungsvorhaben dürfte eine nach dem Kontaminationsgrad unterteilte Klassifizierung und Sortierung der Bauteile im Hinblick auf eine aufwendigere Dekontamination und Verpackung kontaminierter Komponenten sinnvoll sein.

Da 90 % der Ausgangsaktivität dieser Teile durch das kurzlebigere der beiden signifikanten Nuklide Co 60 und Cs 137 bestimmt wurde, werden nach 1 bzw. 3 Halbwertszeiten (5,2 bis ca. 16 Jahre) die Grenzwerte der Oberflächenaktivität erreicht bzw. unterschritten.

Bei entsprechender Sortierung, Verpackung und Lagerung könnten zu gegebener Zeit Bauteile nach den Maßgaben einer entsprechenden gesetzlichen Regelung einer überwachten Verhüttung zugeführt bzw. freigegeben werden.

Während der 4 Phasen der Stilllegung des NS Otto Hahn haben sich verschiedene Aspekte ergeben, deren Realisierung bei zukünftigen Projekten die Demontage- oder Dekontaminationsarbeiten erleichtern und die Strahlenbelastung des Personals weiter reduzieren könnten.

Ein sehr wichtiger Aspekt bei den Stilllegungsarbeiten ist die Arbeitssicherheit des Personals. Bei zeitweise bis zu 37 eingesetzten Personen und der Handhabung mechanischer Trennwerkzeuge und ätzender Chemikalien ist eine ständige Aufsicht wichtig. So war in der 2jährigen Stilllegungsperiode nur ein Unfall mit mittlerer Verletzung zu verzeichnen.

Beim Einbau von Abschirmungen ist darauf zu achten, daß sämtliche Schweißnähte durchgeschweißt sind und Zwischenräume so wirkungsvoll abgedichtet werden, daß keine kontaminierten Leckwässer hinter oder zwischen diese Abschirmungen gelangen können. Das Verschweißen von Abschirmungen generell erweist sich für Entsorgungen als ungünstig. Es sollte mehr Wert auf verschraubte Abschirmungen gelegt werden, die eine spätere Demontage erheblich erleichtern.

So empfiehlt es sich, bei Abwasserbehältern eine Möglichkeit zum periodischen Abziehen des sich absetzenden Schlammes vorzusehen.

Während der Betriebsphase des NS Otto Hahn war immer besonderes Augenmerk auf die Vermeidung von Aktivitätsausbreitungen in der Anlage gerichtet worden. Örtliche Kontaminationen wurden in der Regel umgehend beseitigt. Diese Tatsache wirkte sich im Ablauf der Stilllegungsarbeiten äußerst positiv aus. Nur in wenigen Fällen kam es in begrenztem Umfang zur Fixierung festhaftender Aktivitäten, die aufgrund des angehobenen Strahlenpegels in diesen Bereichen während der Betriebszeit nicht zu lokalisieren war. Diese Bereiche waren dann bei den Arbeiten zum Freigabeverfahren nur schwer dekontaminierbar. Ihre Bearbeitung erforderte einen unverhältnismäßig hohen Aufwand.

Im Sinne einer Erleichterung der Dekontararbeiten sollten Fixierungen nach Möglichkeit unterbleiben.

Referenzen

- [1] NS OTTO HAHN - Erstes deutsches Kernergieschiff
GKSS-Bericht 81/E/20
- [2] R. Winkler: Rechtsprobleme und Genehmigungsverfahren bei der
Stillegung kerntechnischer Anlagen
Atomenergie/Kerntechnik Bd. 39, Nr. 2, 1981

Tabelle 1: Reaktordaten des NS OTTO HAHN

Primärsystem

Thermische Leistung	38 MW
Wellenleistung	10000/11000 PS
Dampfdruck im Dampfdom	63,5 at
Temperatur am Kerneintritt	266,7 °C
Temperatur am Kernaustritt	278,0 °C
Primärdurchsatz	2370 Mg/h
Anzahl und Art der Umwälzpumpen	3 Spaltrohrpumpen
Leistung der Umwälzpumpen je	15 kW

Druckbehälter

Auslegungsüberdruck	85 at
Auslegungstemperatur	300 °C
Grundwerkstoff	13 MnMoNiV 53
Plattierung	X8 CrNiNb 189
Innendurchmesser	2360 mm
Innenhöhe	8570 mm

Dampferzeuger

Art	Zwangsdurchlauf
Anzahl der Systeme	3
Anzahl der Rohre	54 x 3 = 162
Rohrwerkstoff	Inconel
Wärmeübertragung	32,7 x 10 ⁴ kcal/h
Frischdampfmenge	64,6 Mg/h
Frischdampfüberdruck	30 at
Frischdampftemperatur	273 °C
Überhitzung	36 grd

Tabelle 2: Massen der Systeme und Komponenten in frei bzw. freidekontaminierbar und nicht frei geordnet

K O M P O N E N T E N	Masse [Mg]	
	frei bzw. frei-dekontaminierbar	nicht frei
- Reaktordruckbehälter (RDB) mit allen Einbauten	-	118
- Schildtank (innen)	-	9
- Schildtank (außen)	30	-
- Primärpumpen	-	4
- Tragplatte	42	-
- Primärabschirmung	189	119
- Abschirmung (allgemein)	20	-
- Sicherheitsbehälter	140	-
- Armaturen	4	6
- Rohrleitungen (allgemein)	10	9
- Pumpen (allgemein)	2	3
- Behälter (allgemein)	11	32
- Bühnen, Gestelle, Befestigungen,	185	5
- Isolierungen	-	3
- Filter, Abscheider, Kälteaggregate,	10	2
Kleinteile, Kabel, Lüftungskanäle, Sonstiges		
- Servicebecken und -einrichtungen	75	-
- Sekundär- und Servicebeckenabschirmung	1 780	-
	2 498	310
S U M M E		2 808

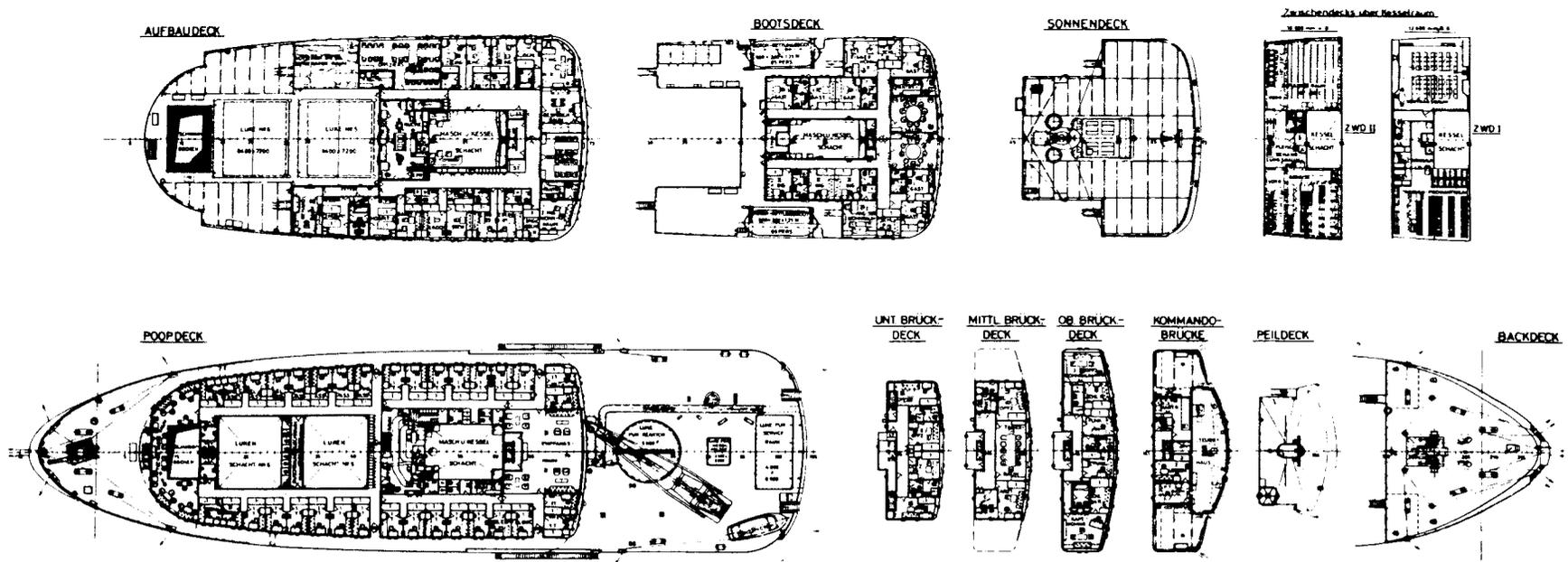
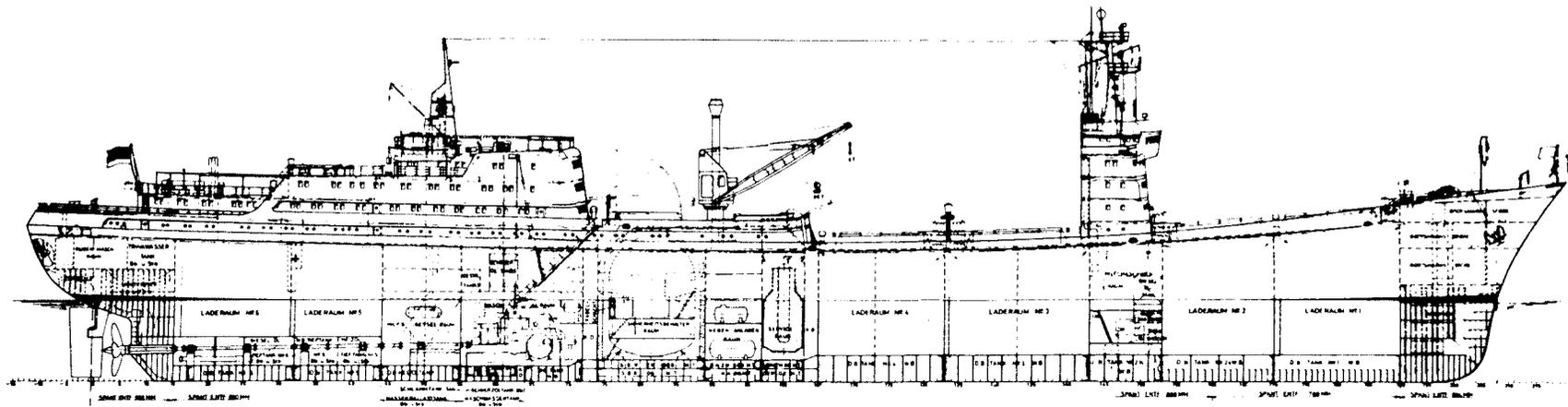


Bild 1: Längsschnitt NS OTTO HAHN

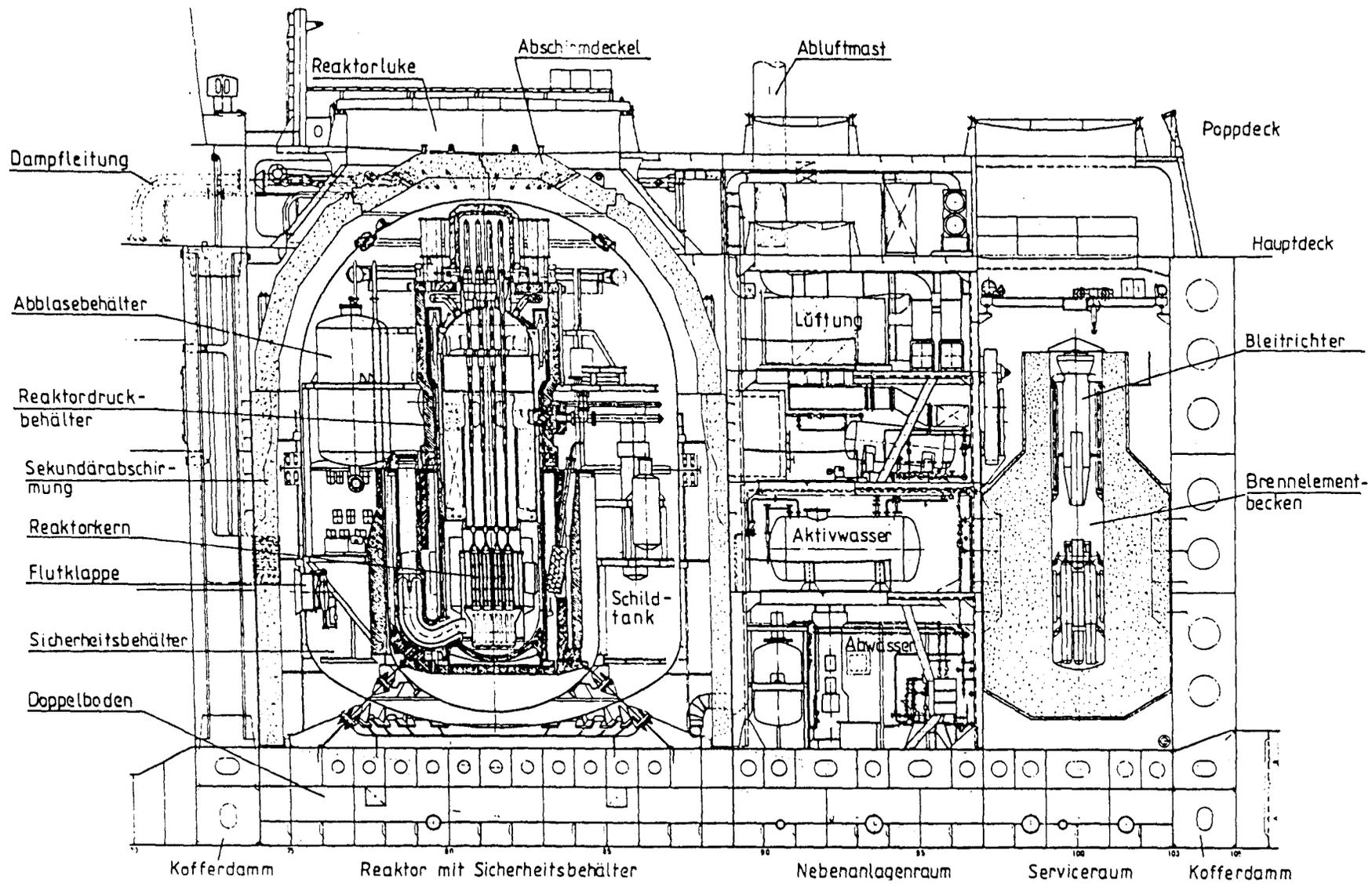


Bild 2: Reaktoranlage NS OTTO HAHN

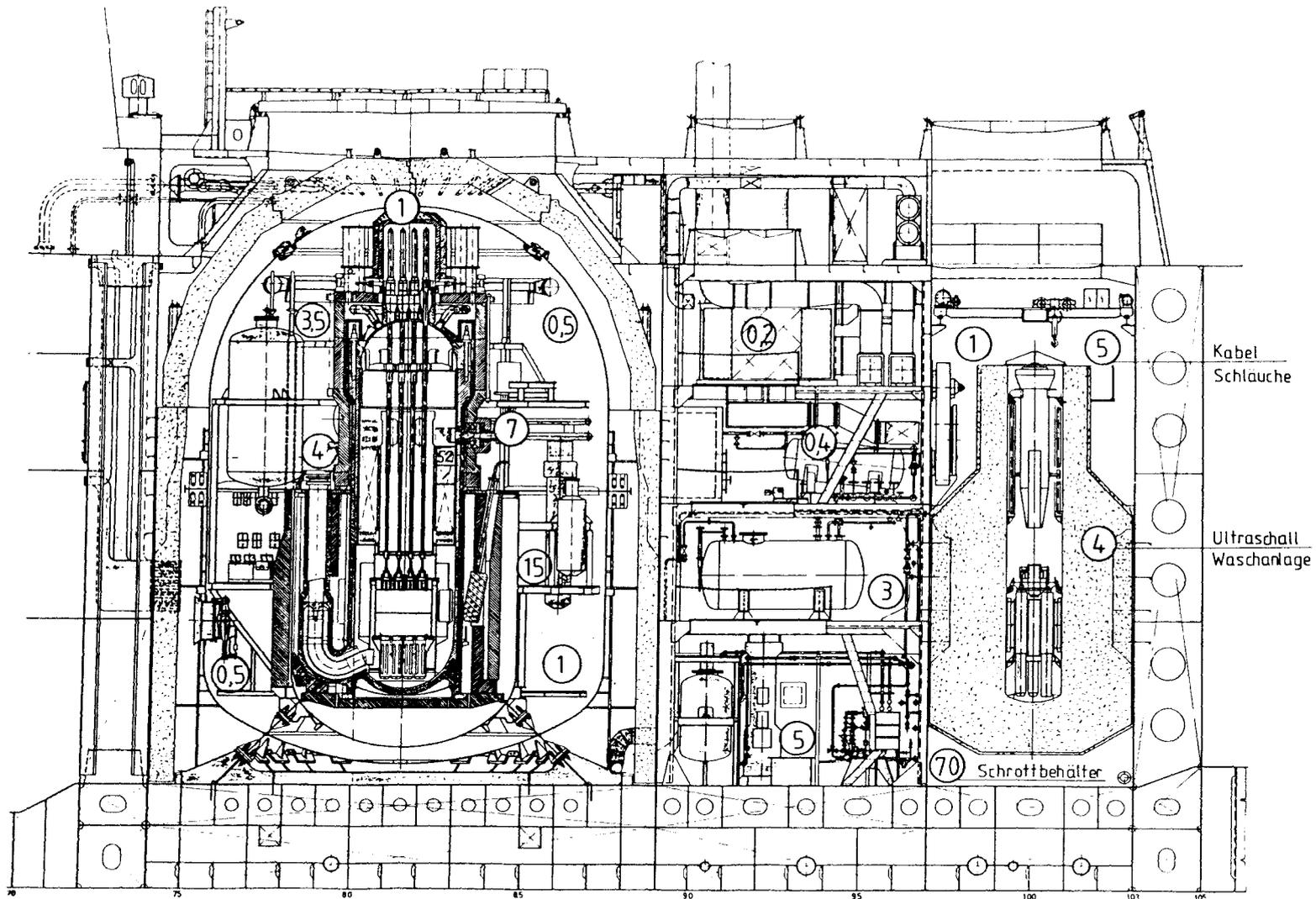


Bild 3: γ - Ortsdosisleistung im Reaktorbereich
 (vor Beginn der Stilllegungsarbeiten) ○ Ortsdosisleistung in mrem/h

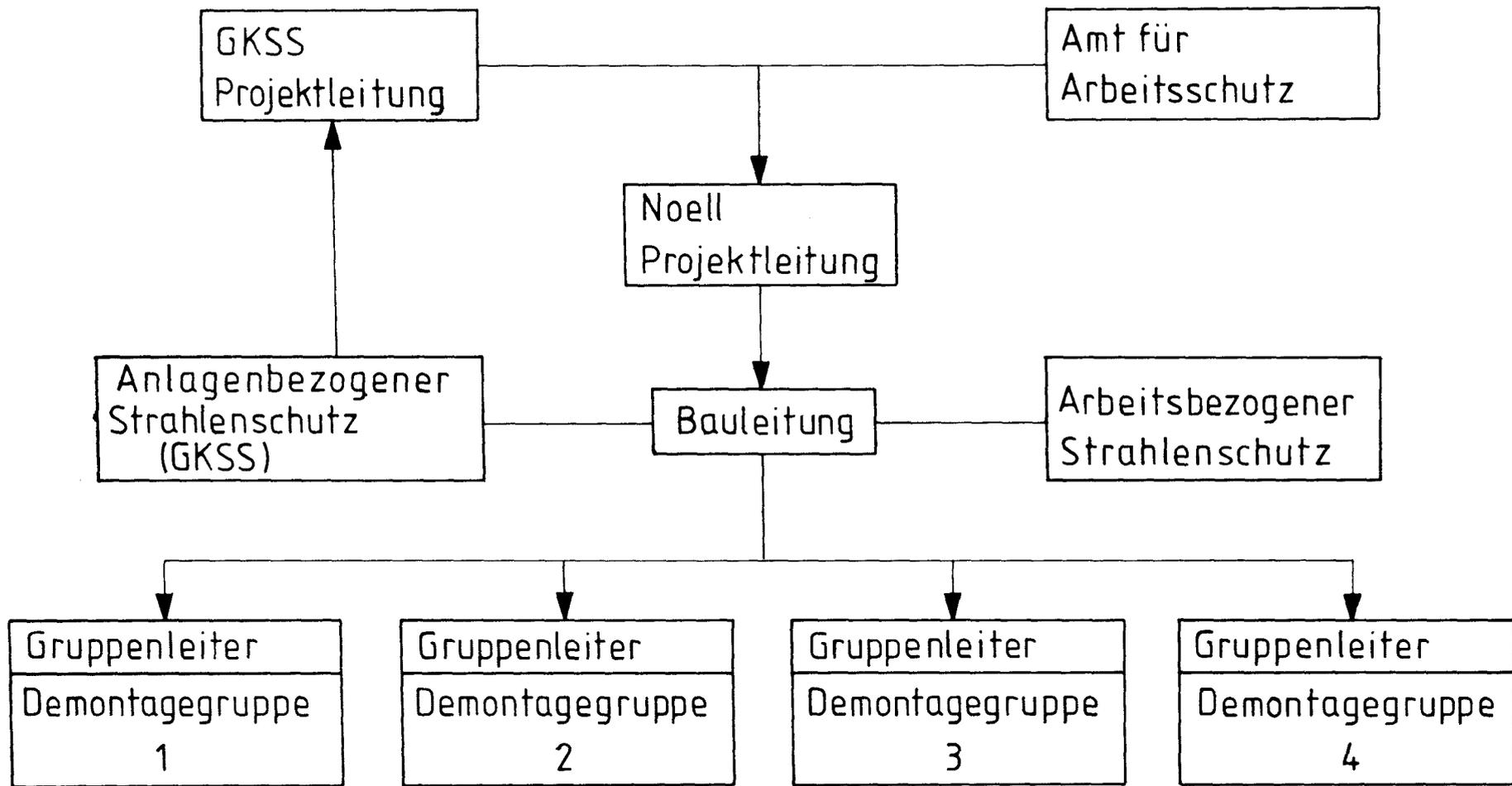


Bild 4: Organisationsschema für die Stilllegungsarbeiten

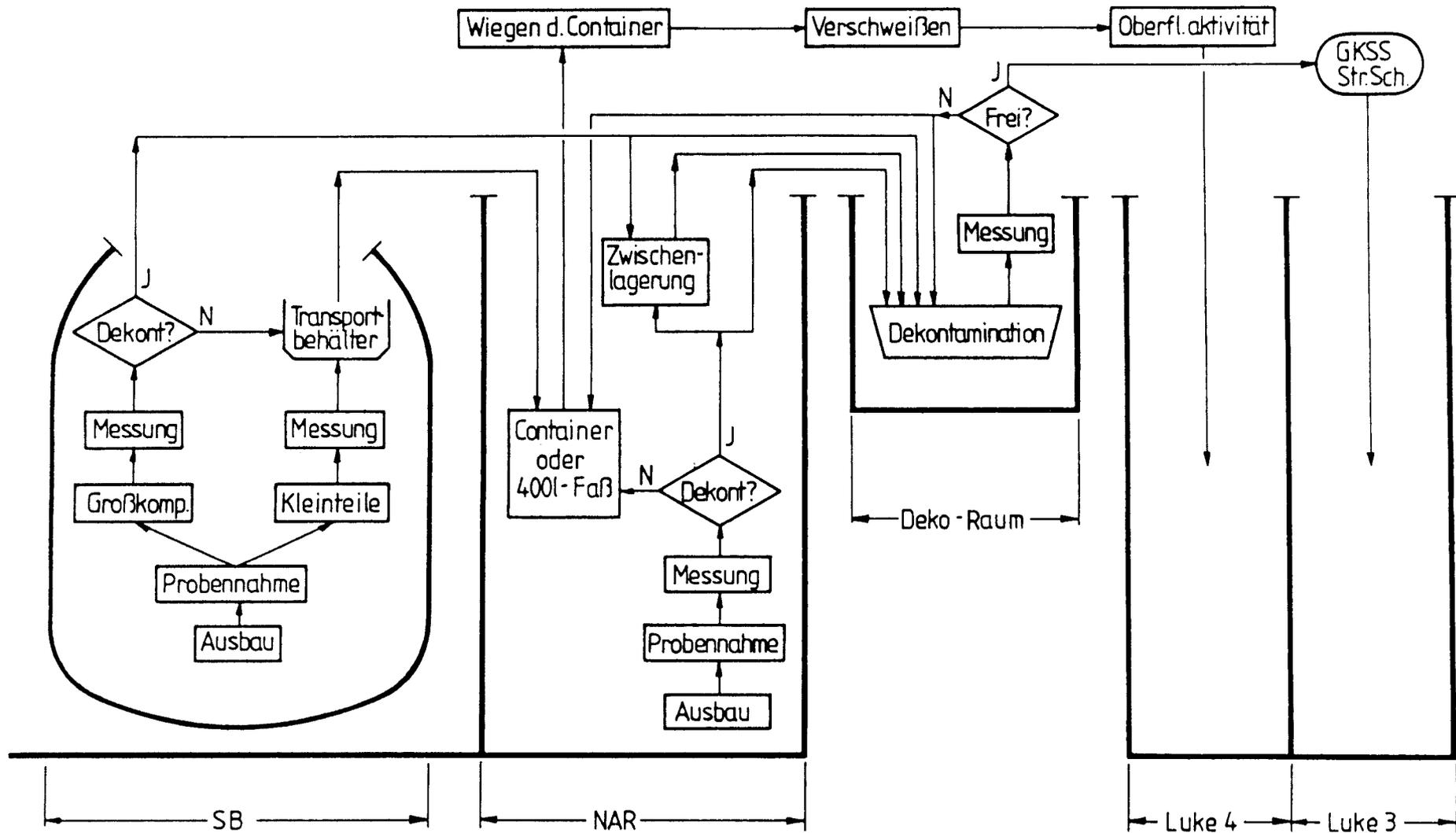


Bild 5: Schematische Darstellung des Materialflusses

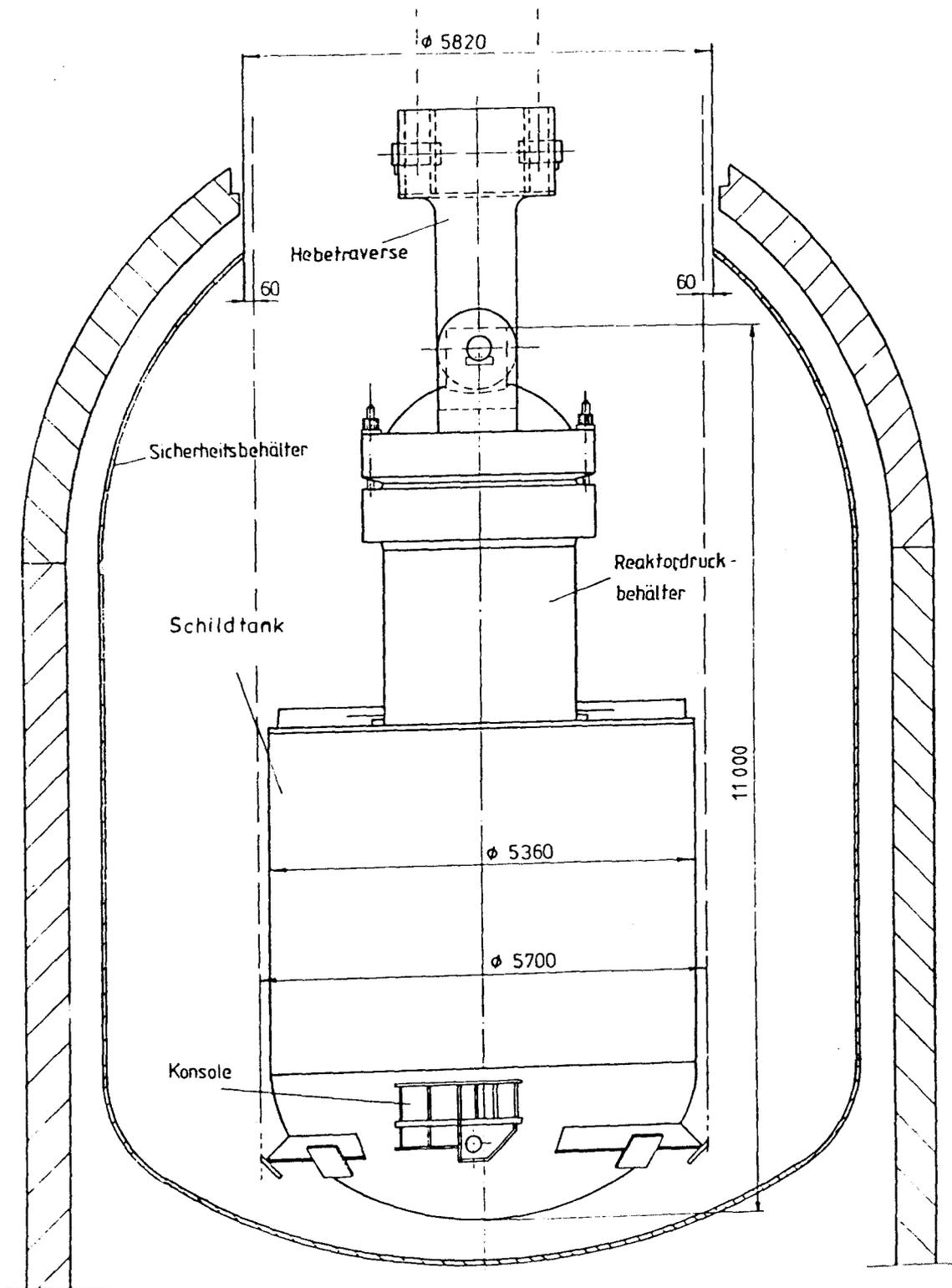


Bild 6: Reaktordruckbehälter mit Abschirmbehälter (Transporteinheit) im Sicherheitsbehälter der NS OTTO HAHN nach der Demontage aller anderen Einbauten

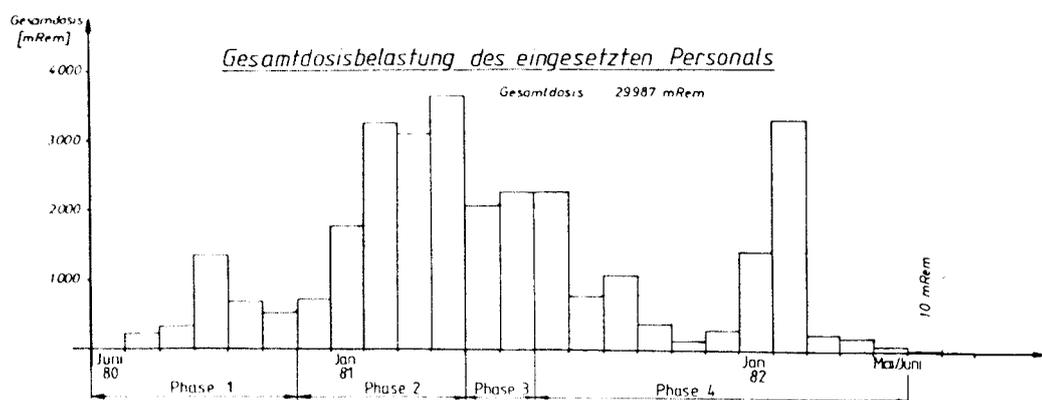
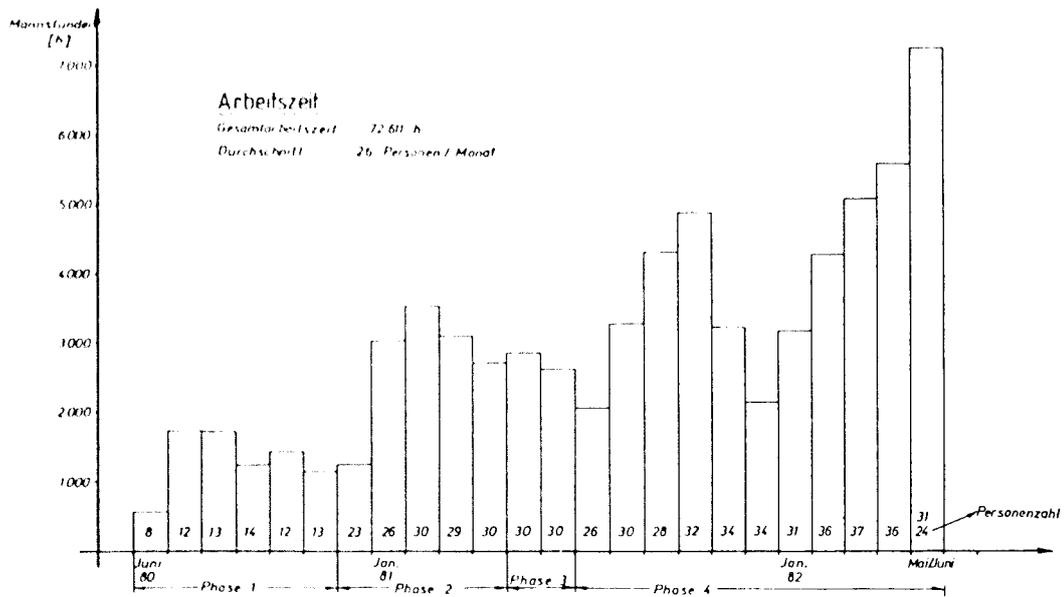


Bild 7: Monatliche Arbeitszeiten und Dosisbelastungen des Personals